

U01-01

会場:419

時間:5月1日 09:00-09:15

日本学術会議と国際活動（仮）
International Activities of Science Council of Japan (TBD)

春日 文子^{1*}
KASUGA, Fumiko^{1*}

¹ 日本学術会議
¹ Science Council of Japan

International activities of Science Council of Japan will be reviewed and discussed, including Future Earth, ICSU-WDS, and CODATA etc. (TBD)

Keywords: Future Earth, ICSU-WDS, GEOSS

Global Data Framework and Japanese Contribution Global Data Framework and Japanese Contribution

村山 泰啓^{1*}
MURAYAMA, Yasuhiro^{1*}

¹ 情報通信研究機構

¹National Institute of Information and Communicatoins Technology

Open data is not only the subject discussed in the last G8 meeting 2013, but also can be a wide-spread argument and can become substantially important factor in conducting science. Of course we cannot make all the research data publicly open immediately after its creation. But also data and paper are important in the modern science scheme, for validating results of a scientific research, e.g., its reproduction or statistical significance particularly in fields such as physics, earth science, or so. Recently there are found scientific results in certain percentage of original papers which are not necessarily reproducible in life science fields. Today's society has increasingly big concern with climate change and huge earthquake etc., where scientific research may directly affect real worlds like political and people's decision making. Validation of scientific papers is important since it may affect mutual trust between science and society. Here electronic data which can be linked to scientific papers in data citation scheme, are part of evidence of our scientific truth. In comparison to the history for a couple of hundred year of the printing culture in scholarly communications, the modern technology like Internet, hard disk drives, etc., have only the tens-of-years history. Human beings are now challenging this new system of electronic way to conduct science with society, seeking the right strategy for management of scholarly information. International data management activity like ICSU-WDS from the academic side, and RDA related to governmental arrangement are part of such big challenges of the international community. Furthermore Future Earth, the international 10-year transdisciplinary research programme are promoted by ICSU, UN bodies, Belmont Forum, etc. for future of the planetary earth and human beings, where ICSU-WDS and CODATA are required to support Future Earth's international scientific data management. We need careful discussions to promote those activities, but with a bright hope for the human society who has the indispensable intellectual infrastructure called "science".

Keywords: Scientific data, World Data System, open data, data management, data science, geophysics

U01-03

会場:419

時間:5月1日 09:30-09:45

The ICSU World Data System: Trusted Data Services for Global Science The ICSU World Data System: Trusted Data Services for Global Science

Edmunds Rorie^{1*} ; Mokrane Mustapha¹
EDMUNDS, Rorie^{1*} ; MOKRANE, Mustapha¹

¹ICSU-World Data System International Programme Office

¹ICSU-World Data System International Programme Office

This presentation will give a brief overview of the current activities of the International Council for Science – World Data System (ICSU-WDS). In particular, it will focus on ICSU-WDS' close involvement in the new Future Earth initiative and the Belmont Forum e-Infrastructure Steering Committee. It will also highlight joint projects between ICSU-WDS and the Research Data Alliance.

Keywords: ICSU-WDS, trusted data, long-term preservation, interoperability

U01-04

会場:419

時間:5月1日 09:45-10:05

データの時代への課題と行動計画 Issues and Agenda toward Data Era

岩田 修一^{1*}
IWATA, Shuichi^{1*}

¹ 事業構想大学院大学
¹MPD

Issues and agenda toward "Data Era" will be discussed.

キーワード: 日本学術会議, データ, CODATA
Keywords: Science Council of Japan, data, CODATA

アジアにおける Future Earth の重要性 Importance of Future Earth in Asia

安成 哲三^{1*}
YASUNARI, Tetsuzo^{1*}

¹ 総合地球環境学研究所

¹ Research Institute for Humanity and Nature

世界の自然科学者の集まりである International Council for Scientific (ICSU:国際科学会議) と人文社会科学者の集まりである International Social Science Council (ISSC: 国際社会科学協議会) が中心となって、地球環境変化研究と持続可能な地球社会の構築をめざした Future Earth という新しい国際的な枠組みが動きつつある。1970年代から地球環境の危機がさまざまなかたちで指摘されてきたが、21世紀に入っても地球環境は決して良くなっているとはいえない。温室効果ガス増加の抑制に向けた国際的な取り組みを含む「地球温暖化」への対策など、進められている面もあるが、水資源、大気や水汚染問題、生態系の破壊など、地球環境全体としてはより深刻化しているといっても過言ではない。Future Earthは、地球環境変化を包括的に理解しつつ、持続可能な人類社会の構築に向けて、研究者だけでなく、社会全体として行動を提起していこうという枠組みである。本発表では、まだ端緒についたばかりの Future Earth の設立経緯と現在の動向を説明し、今後、日本として、どう Future Earth に対応していくべきか、とくに自然科学分野だけでなく、人文社会科学関連のデータ・情報の包括的なアーカイブも含めて、Future Earth のアジアにおける重要性を含め、私なりの提案も含めて紹介したい。

キーワード: 地球環境変化, アジア, フューチャー・アース

Keywords: Global Environmental Change, Asia, Future Earth

気候－水循環－災害リスク軽減データ統合システムの開発 Integrated Data System on Climate, Water and Disaster Risk Reduction

小池 俊雄^{1*}
KOIKE, Toshio^{1*}

¹ 東京大学大学院工学系研究科
¹ School of Engineering, The University of Tokyo

水循環は気候システムにとって、また人間が社会的生活を営むための管理システムにとって重要な要素である。気候システムにおいて、水循環の極端事象が生じると洪水や渇水が生じ、社会は人的・経済的に大きなダメージを受ける。同時に、水循環は生物多様性・生態系、農業・食料、健康、エネルギーにおいても、自然システムとしての気候と管理システムとしての水資源管理と密接に関連している。さらには土地利用や森林破壊との関連において、炭素循環とも不可分である。地球観測、予測、データ統合・解析、管理システム、教育システムを連携させ、分野を超えて情報・知の統合化を進めることによって、災害リスクを軽減し、レジリエントな統合的な流域管理のプロトタイプを開発することが肝要である。

キーワード: 地球観測, 水循環, 気候変動, 減災, データ統合

Keywords: Earth Observation, Water Cycle, Climate Change, Disaster Risk Reduction, Data Integration

ボトムアップとトップダウンアプローチを併用した東アジアにおける森林火災からのCO₂と水田からのCH₄発生量の解析
Synergetic approach of bottom-up/top-down studies on CO₂ and CH₄ emissions from biomass burning and rice paddy in East A

今須 良一¹; 竹内 渉²; 関山 絢子²; 齋藤 尚子³; 松見 豊^{4*}; 川崎 昌博⁴; 林田 佐智子⁵; 小野 朗子⁵
IMASU, Ryoichi¹; TAKEUCHI, Wataru²; SEKIYAMA, Ayako²; SAITOH, Naoko³; MATSUMI, Yutaka^{4*}; KAWASAKI, Masahiro⁴; HAYASHIDA, Sachiko⁵; ONO, Akiko⁵

¹ 東京大学大気海洋研究所, ² 東京大学生産技術研究所, ³ 千葉大学環境リモートセンシング研究センター, ⁴ 名古屋大学太陽地球環境研究所, ⁵ 奈良女子大学

¹ Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, ² Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, ³ Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University, ⁴ Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, ⁵ Nara Women's University

There has been still a large discrepancy in estimations between bottom-up and top-down approaches for both CO₂ emissions from biomass burning and CH₄ from rice paddy in East Asia. The purpose of this study is to update the emission inventory databases as to be more consistent between these two approaches through a synergetic usage of satellite data, ground-based remote sensing measurements, and in situ data. The most important parameter to estimate total CO₂ emissions from biomass burning is the biomass amount of the forests. In this study the amount is estimated based on the normalized vegetation index (NDVI) observed by satellites and, CO₂ emissions from burning area are estimated by multiplying the fire strength evaluated from hot spot data with some auxiliary data such as soil moisture and groundwater level. As for the top-down approach, CO₂ concentration data observed from space are useful for constraining the inverse analysis of CO₂ emission strength. The greenhouse gas observing satellite (GOSAT) dedicated to observe atmospheric CO₂ and CH₄ concentrations was launched in 2009 and has been operated for more than five years. The main band of its sensor can measure the columnar CO₂ concentration, however, it cannot be directly converted into the concentration near the surface. One of our attempts is to develop a retrieval method to estimate CO₂ concentration in the lower troposphere, particularly in the boundary layer, from a synergy of spectrum data in a wide spectral range covering from short wavelength infrared to the thermal infrared. In order to validate this method we have carried out CO₂ sonde observations around Tokyo city where GOSAT has been operated in a specific observation mode (targeting mode) to obtain sufficient number of data over this area. Based on the validated results, this method will be applied to analyze the data observed in biomass burning areas. One of our important targets is Kalimantan (Indonesia) where peat fire is the main CO₂ emission source. We started the ground-based measurement of columnar CO₂ concentration using an optical spectrum analyzer (OSA), and expect that these temporally continuous data would be effective for achieving the consistency between bottom-up and top-down approaches. Also started are observations of columnar CH₄ concentration using the same type of spectrometer in Sichuan basin (China) and Karnal (India) where are identified as the extremely high CH₄ concentration area based on the almost decadal record of observations by SCIAMACHY and GOSAT. It is expected that the synergetic analysis of data from satellite and ground-based measurements could contribute to make clear the cause of high concentration of CH₄ in these areas.

キーワード: 二酸化炭素, メタン, GOSAT, トップダウンアプローチ, ボトムアップアプローチ, 地上リモートセンシング
Keywords: carbon dioxide, methane, GOSAT, top down approach, bottom up approach, ground-based remote sensing

生物多様性・生態系情報に基づく生態系機能の推定 Estimation of Ecological Function based on Biodiversity and Ecosystem Information

伊藤 元己^{1*}
ITO, Motomi^{1*}

¹ 東京大学大学院総合文化研究科

¹Graduate School of Arts and Sciences, University of Tokyo

グリーン・ネットワーク・オブ・エクセレンス (GRENE) プロジェクトの環境情報分野の1つとして、我々は生物多様性情報と生態系情報の収集と利用を進めている。これまでの3年間で50万件以上の植物分布情報、1万件以上の植生情報をデータベース化し、利用可能になっている。これらの情報を基に、さまざまな環境情報や土地利用情報を加えて、植物各種の分布確率推定や、樹種を考慮したより確度の高い森林の生態系機能分布推定が可能となってきた。本講演では、これらの適用例である森林現存量の推定、二酸化炭素収支、昆虫による作物の受粉サービス量などの推定例を示し、我々人類が生物多様性や生態系から受ける恩恵である「生態系サービス」の推定に向けた取り組みを紹介する。

キーワード: 生物多様性情報学, 生態情報学, 生態系機能, 生態系サービス, IPBES

Keywords: Biodiversity Informatics, Eco Informatics, Ecosystem Function, Ecosystem Services, IPBES

**GRENEプロジェクトで開発されたFMSによる飯舘村での放射性セシウム汚染土壌
の環境モニタリング**
**Environmental Monitoring of Soil contaminated by Radiocaesium in Iitate Village using
FMS developed in GRENE project**

溝口 勝^{1*}
MIZOGUCHI, Masaru^{1*}

¹ 東京大学大学院農学生命科学研究科

¹Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo

福島第一原子力発電所から放出された放射性セシウムの多くは5cm以内の表土に蓄積されている。そのため、日本政府（農林水産省）は農地除染のための3つの工法（表土剥ぎ取り、代かき、反転耕）を推奨している。現場ではこの3つの工法のうち主に表土剥ぎ取りによる除染が行われ、汚染土を含むフレコンバッグが水田に山積になっている。しかし、まだ汚染土の最終処分場は決まっていない。早期帰村と農業再生のためには、農家自身ができる除染方法を見つけることが緊急かつ重要な課題である。そこで、私たちは福島県飯舘村の水田で表土剥ぎ取り法と反転耕を組み合わせ、汚染表土を埋設する現場実験に挑戦している。私たちは“丁寧に”汚染土を処理するこの工法を「まてい工法」と命名した。現在、私たちはGRENEプロジェクトにおける農業研究用に開発した現地モニタリングシステム（FMS）に土壤放射線センサを取り付け、埋設した汚染土からの放射線量を監視している。降雨や灌漑による地下水の急速な変化にもかかわらず、現時点で埋設汚染土からの放射性セシウムの漏洩は確認されていない。この発表では、GRENEプロジェクトで開発したFMSの概要を説明すると共に、重要なグローバルデータの一つとして、福島における土壤放射線データベースの構築を提案したい。

キーワード: 除染, 放射線, 土壌, モニタリング, データベース, GRENE プロジェクト
Keywords: decontamination, radiation, soil, monitoring, database, GRENE project

レジリエントでサステイナブルな国土デザインのための環境情報活用フレームワーク Framework of Applications of Environmental Information for Realizing Resilient and Sustainable National Land Design

林 良嗣^{1*}; 加藤 孝明²; 鈴木 康弘¹; 谷川 寛樹¹; 佐藤 慎司³; 柴崎 亮介⁴; 塚原 健一⁵; 加藤 博和¹; 川添 善行²; 柴原 尚希¹; 秋山 祐樹⁶; 加知 範康⁵
HAYASHI, Yoshitsugu^{1*}; KATO, Takaaki²; SUZUKI, Yasuhiro¹; TANIKAWA, Hiroki¹; SATO, Shinji³; SHIBASAKI, Ryosuke⁴; TSUKAHARA, Kenichi⁵; KATO, Hirokazu¹; KAWAZOE, Yoshiyuki²; SHIBAHARA, Naoki¹; AKIYAMA, Yuki⁶; KACHI, Noriyasu⁵

¹名古屋大学大学院環境学研究科, ²東京大学生産技術研究所, ³東京大学大学院工学系研究科, ⁴東京大学空間情報科学研究センター, ⁵九州大学工学研究院, ⁶東京大学地球観測データ統融合連携研究機構

¹Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, ²Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, ³Graduate School of Engineering, The University of Tokyo, ⁴Center for Spatial Information Science, The University of Tokyo, ⁵Faculty of Engineering, Kyushu University, ⁶Earth Observation Data Integration and Fusion Research Initiative, The University of Tokyo

1. Introduction

This research project, GRENE-City, aims to construct a methodology to design and realize "resilient and sustainable national land" with mitigation and adaptation measures against vulnerabilities of national land and society. This "resilient" concept is derived from an understanding of "natural providence". The proposed system takes advantage of a broad range of information includes disaster risk caused by meteorological phenomena and others from DIAS (Data Integration and Analysis System) by the Earth Observation Data Integration and Fusion Research Initiative (EDITORIA), the University of Tokyo. As such the system will be developed as a "Progressive Integrated Database" based on various environmental information infrastructures provided by DIAS. In addition, this project aims to cultivate experts who can construct and utilize this database in actual policy making fields.

To achieve this goal, a re-design of national land and society for a reduplicative system in both normal and emergency situations is necessary. Both a "safety and security" concept, which takes account of damage reduction, and a "sustainability" concept which tackles low carbon, energy saving, and prevention of climate change, are needed in order to keep pace with the threats of predicted huge earthquakes and climate change.

2. Contents

Natural hazards caused by climate change, earthquakes and other disasters may be increasing, and could strike in the near future our vulnerable society which is characterized by with declining birth rate and a growing proportion of elderly people, population decline, urban sprawl and etc. Based on the common recognition on these problems, this research project sets out to construct a methodology to lead to safer peaceful mind and sustainable national land and society by using DIAS.

The system needs to use data on natural and social situations. The data on natural situations includes earthquakes, climate change and disasters. The data on social situations include population structure, economic conditions, infrastructure, and land use. Additionally, not only the present data, but also historical data, such as land use and infrastructure change, record of disasters, population structures, and other information, are collected. Therefore "four-dimensional GIS" will be constructed to allow quantitative prediction and to evaluate policies considering historical faces, past place names, and other qualitative information.

In consequence, the system will analyze the vulnerability of national land and society caused by social, geographical, and other conditions, and natural variations and disaster risks. This system supports the examination of various policies, especially, the effectiveness of "Smart shrink" which could stop urban sprawl.

3. Results and future works

1) Information archives

This project collected historical data on earthquakes, tsunamis, and other natural disasters from old documents and other resources. In particular, records of tsunami damages of the Great East Japan Earthquake are stored. A prototype Web-GIS is developed to show these photos and tsunami height with map information.

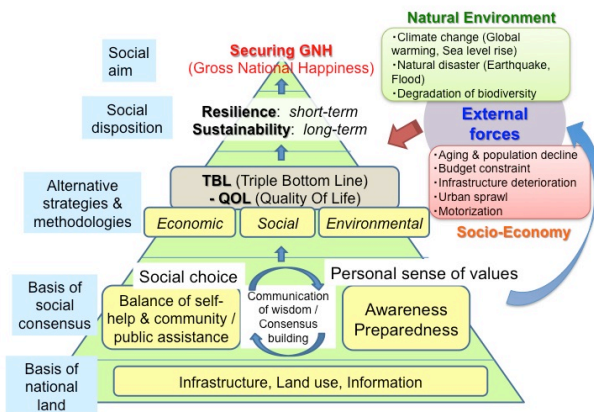
2) Analysis and design

This project offers the evaluation of national land and cities with a view to safety, security, and sustainability. The system introduces QOL (Quality of Life) indicators. Data about accessibility, amenity, and disaster vulnerability to calculate QOL indicators are collected and added to the system. This will be utilized to illustrate conditions of residential amenity and disaster vulnerability in each area of the national land.

3) Utilization and deployment

This evaluation system will be applied to case study cities and regions. The problems and demands of the system will also be clarified. As a result, the system and database will be developed to accommodate requests from policy planning of city and national land.

Keywords: resilient national land, sustainability, natural disaster, triple bottom line



Greene Ecohealth プロジェクトにおける地域健康と地球規模データ科学 Population health and global data sciences in Greene Ecohealth project

金子 聡^{1*}; 渡辺 知保²; 門司 和彦³; 西本 太⁴; Tiengkham Pongvongsa⁵
KANEKO, Satoshi^{1*}; WATANABE, Chiho²; MOJI, Kazuhiko³; NISHIMOTO, Futoshi⁴; TIENKHAM, Pongvongsa⁵

¹ 長崎大学熱帯医学研究所, ² 東京大学大学院医学研究科国際保健学専攻, ³ 長崎大学大学院国際健康開発研究科, ⁴ 総合地球環境学研究所, ⁵ ラオス人民民主共和国サバナケート県保健局

¹Institute of Tropical Medicine, Nagasaki University, ²School of International Health, Graduate School of Medicine, The University of Tokyo, ³Graduate school of international health development, Nagasaki University, ⁴Research institute for humanity and nature, ⁵Savannakhet Provincial Health Department, the Lao People's Democratic Republic

Age of global and big data has come. The amount of data explosively increase and the expectations of exploring such data and effective utilization of data analysis results go wide of the mark. We enjoyed somehow the benefits from the big data analysis in daily life and some of the field in sciences; however, how can it be delivered to the health field, especially in areas or regions where the data collection is difficult due to the lack of data collection system? In developed countries, we can have data related to health and it has been already used for improvement public health service system. Furthermore, it has been linked to environmental data to know the results from climate and environmental changes. But this is only limited to developing countries and data or information from developing countries or regions, where the most vulnerable people from climate changes live and no information exists even on population, is still lack in identifying and monitoring the real situation. To sort out such information lack situation, the GRENEcoH project, a GRENE-Ecohealth project that is running under the GRENE-environmental information program, has started data collection of population health in areas in the Lao People's Democratic Republic using up-to-date technology to collect and link individual data. The system called in general as Health and Demographic Surveillance System (HDSS), which collect information about residents in the certain given areas for research. The HDSS programs are run in different areas and by different organization in African and Asian countries, however, in Japan; the HDSS is not paid enough attention. In this presentation, the introduction and the scientific and social values of HDSS and our technology will be presented.

キーワード: 開発途上国, 辺縁地域, 地域健康, 感染症

Keywords: developing countries, marginal areas, population health, infectious disease

DIAS メタデータシステムの開発 Development of DIAS Metadata System

吉川 正俊^{1*}; 清水 敏之¹; 李 吉屹¹; 中原 陽子¹; 絹谷 弘子²
YOSHIKAWA, Masatoshi^{1*}; SHIMIZU, Toshiyuki¹; LI, Jiyi¹; NAKAHARA, Yoko¹; KINUTANI, Hiroko²

¹ 京都大学大学院情報学研究科, ² 東京大学生産技術研究所

¹Graduate School of Informatics, Kyoto University, ²Institute of Industrial Science, The University of Tokyo

We are developing a metadata system in the Data Integration and Analysis System (DIAS) project sponsored by Japan Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology. A major goal of the DIAS metadata system is to collect all metadata of earth observation data produced under the projects sponsored by Japanese government. The DIAS metadata system is comprised of metadata registration system, metadata retrieval system, and download system.

Cooperation with other data centers is also an important goal of the DIAS metadata system. We have imported metadata from JAMSTEC (Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology) data catalog and JaLTER (Japan Long Term Ecological Research Network) database, and supported integrated metadata search through the DIAS retrieval system. On the other hand, by exporting DIAS metadata, DIAS is now listed in the Earth Observation Catalogs of GEOSS Portal. We are developing a metadata coordination system to make it possible more comprehensive exchange of metadata among data centers.

キーワード: 地球観測データ, メタデータ
Keywords: earth observation data, metadata

DIASの運用体制の設計・提案 Design and proposal of operational DIAS

西村 一¹; 角田 晋也^{1*}; 小池 俊雄²; 福田 徹³; 野尻 幸宏⁴
NISHIMURA, Hajime¹; KAKUTA, Shinya^{1*}; KOIKE, Toshio²; FUKUDA, Toru³; NOJIRI, Yukihiro⁴

¹ 独立行政法人海洋研究開発機構, ² 東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻, ³ 宇宙航空研究開発機構 地球観測研究センター, ⁴ 国立環境研究所 地球環境研究センター

¹Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ²Department of Civil Engineering, School of Engineering, The University of Tokyo, ³Earth Observation Research Center, Japan Aerospace Exploration Agency, ⁴National Institute for Environmental Studies

DIAS (データ統合・解析システム、Data Integration and Analysis) は、様々な分野の利用者 (ステークホルダー) が協働して地球観測データ、気候変動予測データ、社会・経済データ等、超大容量で多様なデータ・情報を利活用し、資源管理、生物多様性、自然災害など、地球環境に関わる社会的課題に対し、適応策やレジリエントな社会形成に向けた情報を提供し、新たな科学知や公共的利益を創出する。それによって新たなイノベーションや社会の成長を牽引する社会インフラとなることを目指している。

2011年度よりDIAS第Ⅱ期計画として「地球環境情報統融合プログラム」(DIAS-P)が開始されており、その課題の一つとして、上記目的の実現に必要な科学的先端性を持続的に発揮し、実利用によって公共的利益を実現できる運用体制 (実運用DIAS) について、海洋研究開発機構が中心となって、東京大学 EDITORIA、宇宙航空研究開発機構および国立環境研究所との協力の下で設計し、文部科学省に提案することとしている。その設計作業のベースとして、実運用DIASが果たすべき役割を示す暫定的なレファレンスモデルを設定した。この概要は以下の通りである。このレファレンスモデルに示されたようなインフラや体制は実現すれば世界初のものとなる。このレファレンスモデルは、関係者のニーズを反映しつつ、設計作業の進捗に伴って毎年度見直される。

DIASは、さまざまな地球観測データのほか、実利用化ワークベンチ (各分野のステークホルダーの協働のもと、多様なデータ・情報を統融合し、公共的利益を創出するための情報基盤) および機能向上パートナーシップ (DIASの機能を持続的に向上するとともに新たな科学知を創出するための協働組織) を通じて得られるデータ (分野特有の観測データ、社会・経済データ、農・水産業活動に係るデータ、土地利用・土地被覆データ、道路・港湾などの交通ネットワークデータ、地形データ、災害発生データ、その他) を提供し流通させる統合ポータルとして、これらのメタデータを統合的に管理・公開する。アーカイブ自体が研究成果として認知されるような状況をいかにして創り出すかも今後の検討課題となる。

DIASのコアインフラは、データをアーカイブするための大容量ストレージおよびデータを解析・統融合するための解析空間や解析ツールからなる。いずれも大規模データを取り扱えるものとする。

DIASは、防災、資源管理などの政策決定者 (国内および途上国) を主たるユーザーとして想定するが、DIASの統融合データや解析機能を実際に主として使用するの、施策担当者 (decision maker) に判断材料を提供する研究者 (科学コミュニティ) や、実利用化ワークベンチにおいて協働する関係者とする。また、DIASデータポータルへのアクセスを通じて、エンドユーザー、市民活動グループ、民間サービスその他もユーザーとして想定する。

実利用化ワークベンチでは、ニーズによって、必要な気候・気象・海洋データの分解能が異なるので、ダウンスケールリングなどによって、求められるデータを作成する。公開が制限されているデータの利用を実利用化ワークベンチのドメイン研究者等が希望する場合は、そのための許認可手続きも実運用DIASが支援・代行し、さらには「こんなデータを探してもらいたい」という要望にも対応する。

実利用化ワークベンチは、エンドユーザーのニーズを把握した上で、継続的にプロトタイピングを行うとともに、成功事例の経験・ノウハウを積み重ねつつ段階的に対象範囲を拡大する。実利用化ワークベンチのプロトタイピング段階においては各利用分野の研究者、関係府省、自治体等と協働して有用な政策ツールを開発する。さらに、DIASは開発済みワークベンチの社会実装を支援し、他分野に展開するための普及・広報も行う。

以上の目的のため、オープンソースを用いて遠隔協働システム ubiDIASを開発し、各種ポリシー及び国連の持続可能な開発目標を調査・検討した。

キーワード: DIAS, 運用, 設計

Keywords: DIAS, operation, design

U01-14

会場:419

時間:5月1日 14:15-14:40

Activities of the Union Commission for Data and Information of the International Union
of Geodesy and Geophysics
Activities of the Union Commission for Data and Information of the International Union
of Geodesy and Geophysics

Fox Peter^{1*} ; Barton Charles²
FOX, Peter^{1*} ; BARTON, Charles²

¹Rensselaer Polytechnic Institute, ²Australian National University
¹Rensselaer Polytechnic Institute, ²Australian National University

The data and information activities of IUGG, International Union of Geodesy and Geophysics, will be introduced, from a viewpoint of IUGG's Union Commission for Data and Information.
Keywords: IUGG, Data and Information, eGY

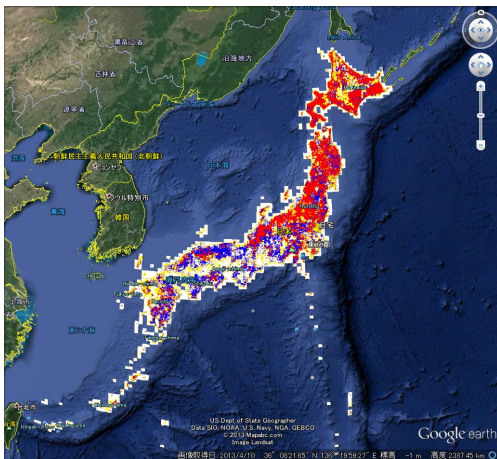
GRENE-ei 生物多様性分野で整備している日本の土地利用データベース LUIS の概要 The Land Use Information System (LUIS) Database which has been developed under the GRENE-ei biodiversity area

中島 英彰^{1*}; 氷見山 幸夫²; 三枝 信子¹; 野尻 幸宏¹
NAKAJIMA, Hideaki^{1*}; HIMIYAMA, Yukio²; SAIGUSA, Nobuko¹; NOJIRI, Yukihiko¹

¹ 国立環境研究所, ² 北海道教育大学旭川校
¹National Institute for Environmental Studies, ²Hokkaido University of Education, Asahikawa Branch

我々、国立環境研究所・地球環境研究センター・地球環境データベース推進室では、GRENE 環境情報分野 (GRENE-ei)・生物多様性分野において、かつて「GRID つくば」からデータ提供を行っていた、土地利用情報システム (Land-Use Information System: LUIS) のデータ提供システムの再構築を行っている。LUIS とは、3つの時代における国土地理院発行の地形図から、日本全国の土地利用の情報を、約 2 km メッシュ単位で数値データ化し、それぞれの時代の土地利用の様子やその変化を可視化するものである。3つの時代としては、「明治・大正期 (1900 年頃)」、「昭和中期 (1950 年頃)」、「昭和後期 (1985 年頃)」の 3つの時代がデータベース化されている。各々のメッシュ毎に、メッシュの左上隅の土地利用、メッシュ内で最大の面積を占める土地利用、その他メッシュ内に存在するすべての土地利用が、地形図の土地利用分類に従ってデータベース化してある。現在データを簡単な日本地図上にプロットする機能のほかに、Google Earth 上に表示させる機能についても開発を行っている。図は、Google Map 上にプロットした、1900 年と 1985 年の広葉樹の分布を示す。赤が両時代とも存在、青が消滅、黄が新たに出現を示している。将来は、国立環境研究所の地球環境データベースサーバーからデータを提供する予定である。今回は、このデータベースの概要について述べる。

キーワード: データベース, 土地利用, LUIS, 地形図, GRID つくば
Keywords: database, land use, LUIS, topographical map, GRID-Tsukuba



北極域データアーカイブ (ADS) Arctic Data archive System(ADS)

矢吹 裕伯^{1*}; 杉村 剛²

YABUKI, Hironori^{1*}; SUGIMURA, Takeshi²

¹ 海洋研究開発機構, ² 国立極地研究所

¹Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ²National Institute of Polar Research

Of all the regions on the planet, the Arctic currently shows the biggest rise in average temperature due to global warming, and is one of the regions expected to become most affected by climate change on the Earth in the future. The change in the Arctic area brings a profound impact to the global climate system through changes in interactions between the atmosphere, ocean circulation, and the cryosphere. These climate changes not only impact upon human activities, but also the Arctic flora and fauna ecosystem.

Large parts of the observations and mechanisms of the environmental change, including the climate of the Arctic region, are still not well understood. In order to further our understanding of these complex systems, an integrated study carried out with continuous observations in the Arctic is proposed. In the Arctic Environmental Observation Center in the National Institute of Polar Research, operations began on the Arctic Data archive System (ADS) in March 2012, in order to promote the mutual use of scientific data.

The purpose of the Arctic Data archive System is to archive and distribute multiple observational (atmosphere, ocean, terrestrial, and ecology) and model simulation datasets, and promote utilization of these datasets. ADS is the central repository of archived data on Arctic research in Japan.

キーワード: 北極域, 環境, 温暖化, ADS

Keywords: Arctic, Environment, Global Warming, ADS

JAXAの地球観測データによる地球惑星科学研究への貢献 JAXA's contributions for Earth and Planetary research using earth observation data

福田 徹^{1*}
FUKUDA, Toru^{1*}

¹宇宙航空研究開発機構地球観測研究センター
¹Earth Observation Research Center, JAXA

JAXA's earth observation satellites play an important role in providing essential information for Earth science and applications regarding global warming, climate change, water cycle change, agriculture, public health and disaster management.

JAXA have been operating Greenhouse gas Observing SATellite (GOSAT), and Global Change Observation Mission-Water 1 (GCOM-W1) successfully. These satellites are collecting geophysical data of the earth's surfaces and atmosphere those are important for the earth and planetary researches.

In addition to those ongoing earth observation satellite missions, new satellites will be added to the line.

One is GPM (Global Precipitation Measurement), the successor of TRMM focusing to measure precipitation. Another one is ALOS-2 (Advanced Land Observing Satellite) carrying an L-band synthetic aperture radar. Those new generation satellites will contribute to observe disaster, earth resources, climate change, water cycle, etc.

JAXA will make continuous efforts to create and provide satellite-based information for not only scientists but also decision makers and stakeholders in order to contribute to solving global and regional issues. In order to make such information useful, close collaboration with various players in various sectors is essential.

Keywords: GCOM, ALOS, GPM, TRMM, GOSAT

IUGONET project and its products for multidisciplinary study on upper atmospheric physics

IUGONET project and its products for multidisciplinary study on upper atmospheric physics

阿部 修司^{1*}; 谷田貝 垂紀代²; 小山 幸伸³; 田中 良昌⁴; 新堀 淳樹⁵; 上野 悟⁶; 梅村 宜生²; 佐藤 由佳⁴; 八木 学⁷; 堀智昭²

ABE, Shuji^{1*}; YATAGAI, Akiyo²; KOYAMA, Yukinobu³; TANAKA, Yoshimasa⁴; SHINBORI, Atsuki⁵; UENO, Satoru⁶; UMEMURA, Norio²; SATO, Yuka⁴; YAGI, Manabu⁷; HORI, Tomoaki²

¹九州大学 国際宇宙天気科学・教育センター, ²名古屋大学太陽地球環境研究所, ³京都大学大学院理学研究科附属地磁気世界資料解析センター, ⁴国立極地研究所, ⁵京都大学生存圏研究所, ⁶京都大学大学院理学研究科附属天文台, ⁷東北大学理学研究科 惑星プラズマ・大気研究センター

¹International Center for Space Weather Science and Education, Kyushu Univ., ²Solar Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya Univ., ³Data Analysis Center for Geomagnetism and Space Magnetism Graduate School of Science, Kyoto Univ., ⁴National Institute of Polar Research, ⁵Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto Univ., ⁶Kwasan & Hida Observatories, School of Science, Kyoto Univ., ⁷Planetary Plasma and Atmospheric Research Center, Graduate School of Science, Tohoku Univ.

In order to investigate the mechanism of long-term variations in the upper atmosphere, it is crucially important to make cross-cutting studies with various kinds of data observed between Sun and Earth region. Thus, it is needed to combine databases which maintained by each institute and to accelerate to make data-sharing network in the STP community. The IUGONET (Inter-university Upper atmosphere Global Observation NETwork) project was established in 2009 as a six-year research project supported from the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT), Japan. It consists of the five Japanese universities and institutes (NIPR, Tohoku University, Nagoya University, Kyoto University, and Kyushu University, that have been leading ground-based observations of the upper atmosphere for decades), and collaborates with many domestic (for example, the National Institute of Information and Communications Technology (NICT), the National Astronomical Observatory of Japan (NAOJ), and the Kakioka magnetometer observatory, Japan Meteorological Agency) and overseas institutes/projects (for example, ESPAS in EU). One of our products in the IUGONET data management framework is developing systems for searching metadata of these observational data, and the metadata database (MDB). In the STP community, there are various kinds of archived data observed by many instruments, for example radars, magnetometers, photometers, radio telescopes, helioscopes, and so on. The IUGONET MDB is based on DSpace as a metadata registering system, which is mainly used in literature management. It also adopts an extension of the SPASE data model as a metadata format, which is widely used in the upper atmospheric community in USA. As a result, this system can deal with all kind of data belonging to IUGONET institutes, including cosmic ray, meteorological information observed by automatic weather station, etc. The system can also get flexibility to other type of data including the satellites and the numerical simulation which are used in the STP community. It is one of our challenges to apply the IUGONET system to many kinds of data in other communities. This MDB system is in operation since 2011 with over 10 million metadata. Other challenge of the IUGONET is developing software which can use for scientific research and publication. The iUgonet Data Analysis Software (UDAS) is a plug-in software of Themis Data Analysis Software (TDAS), which is upgraded to Space Physics Environment Data Analysis System (SPEDAS). The UDAS provides many routines for loading the ground-based observational data from various types of instruments, and performing scientific data analysis. This platform made it easier for STP community to analyze a various kind of data in a unified way. The IUGONET project will be closed at the end of fiscal year 2014. In this presentation, we will introduce the achievements and problems of our six-year project and discuss futures for global data sharing and research.

Keywords: Solar-Terrestrial Physics, metadata database, data analysis software, IUGONET

Introduction of NICT ionospheric data archive system Introduction of NICT ionospheric data archive system

石井 守^{1*}; 丸山 隆¹; 津川 卓也¹
ISHII, Mamoru^{1*}; MARUYAMA, Takashi¹; TSUGAWA, Takuya¹

¹ 情報通信研究機構

¹NICT

NICT has a long history of operational ionospheric observation with ionosondes since IGY 1957. On the beginning, we had four domestic observatories, Wakkanai, Akita, Kokubunji and Yamagawa. After that Akita was closed and Okinawa joined and we operate these four observatories continuously. In addition, Syowa station in Antarctica has been observing ionosphere by NICT since IGY, too. In addition as the World Data Center for ionosphere, we have a lot of number of ionospheric data obtained by foreign institutes.

The present ionosonde system named 10C provides digital image of ionogram. However, all other previous systems provide analog image and recorded on films. Now it becomes a serious problem to lose data by corrupted of films. The only solution of this issue is to digitize the film image but usually the cost is very high. We search the way to keep low cost and comfortable quality for future analysis and find a method named ribbon scanning. In this method we keep whole of one film data in one file, which makes cost low and avoid losing data by frame skipping. We had trial of resolution of digital image and confirm the quality is same level of original image.

We already had some fruitful results using these data archive. Maruyama et al. [2012] shows the statistic results of ionospheric variation after large earthquakes. Other than these kinds of study we expect the archive is useful for discussion of long-term variation of ionosphere with climate change. For improving the use of these dataset we need to solve another issue. Film-digitized images are suitable to manual scaling with naked-eye but we cannot use these data automatically because the axes vary in each image. To solve the issue we need to try image analysis to detect the axes automatically.

Reference

Maruyama, T., T. Tsugawa, H. Kato, M. Ishii, and M. Nishioka, Rayleigh wave signature in ionograms induced by strong earthquakes, *J. Geophys. Res.*, DOI: 10.1029/2012JA017952.

Keywords: WDS, WDC, ionosphere, space weather

The Current and the Future of AIST GEO Grid Technologies- A Case Study of Fukushima Radiation Monitoring Application
The Current and the Future of AIST GEO Grid Technologies- A Case Study of Fukushima Radiation Monitoring Application

小島 功^{1*}; 中村 良介¹; 小川 宏高¹; 田中 良夫¹; 的野 晃整¹
KOJIMA, Isao^{1*}; NAKAMURA, Ryosuke¹; OGAWA, Hiroataka¹; TANAKA, Yoshio¹; MATONO, Akiyoshi¹

¹ 独立行政法人産業総合研究所

¹National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

The Current status and future perspective will be discussed of "GEO Grid" Technologies which have been studied and developed at AIST (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology). Also a case study of Fukushima Radiation Monitoring Application will be reviewed.

Keywords: GRID computing, geoscience data, database technology, information technology, RDA, ICSU-WDS

Making Dynamic Data Citable: Approaches to Data Citation within the Context of the RDA Working Group
Making Dynamic Data Citable: Approaches to Data Citation within the Context of the RDA Working Group

Rauber Andreas^{1*}
RAUBER, Andreas^{1*}

¹Vienna University of Technology

¹Vienna University of Technology

Being able to reliably and efficiently identify entire or subsets of data in large and dynamically growing or changing datasets constitutes a significant challenge for a range of research domains. In order to repeat an earlier study, to apply data from an earlier study to a new model, we need to be able to precisely identify the very subset of data used. While verbal descriptions of how the subset was created (e.g. by providing selected attribute ranges and time intervals) are hardly precise enough and do not support automated handling, keeping redundant copies of the data in question does not scale up to the big data settings encountered in many disciplines today. Furthermore, we need to be able to handle situations where new data gets added or existing data gets corrected or otherwise modified over time. Conventional approaches, such as assigning persistent identifiers to entire data sets or individual subsets or data items, are thus not sufficient.

In this talk we will review the challenges identified above and discuss solutions that are currently elaborated within the context of the working group of the Research Data Alliance (RDA) on Data Citation: Making Dynamic Data Citable. These approaches are based on versioned and time-stamped data sources, with persistent identifiers being assigned to the time-stamped queries/expressions that are used for creating the subset of data. We will further review examples of how these can be implemented for different types of data and see how this fits into the larger context of activities on Data Citation.

Keywords: Research Data Alliance, data citation, dynamic data, information technology, interoperability

データベースへのDOI付与に関する国内WDCの最近の活動 Recent activity of DOI-minting to database by WDCs in Japan

能勢 正仁^{1*}; 小山 幸伸¹; 家森 俊彦¹; 石井 守²; 村山 泰啓³; 門倉 昭⁴; 篠原 育⁵

NOSE, Masahito^{1*}; KOYAMA, Yukinobu¹; IYEMORI, Toshihiko¹; ISHII, Mamoru²; MURAYAMA, Yasuhiro³; KADOKURA, Akira⁴; SHINOHARA, Iku⁵

¹ 京都大学・地磁気世界資料センター, ² 情報通信研究機構・電離層宇宙天気世界資料センター, ³ 情報通信研究機構・WDS科学委員会, ⁴ 国立極地研究所・オーロラ世界資料センター, ⁵ 宇宙航空研究開発機構・宇宙科学衛星世界資料センター
¹WDC for Geomagnetism, Kyoto University, ²WDC for Ionosphere and Space Weather, NICT, ³WDS Scientific Committee, NICT, ⁴WDC for Aurora, National Institute of Polar Research, ⁵WDC for Space Science Satellites, JAXA

Recent electronic journals are published with DOI (digital object identifier) such as doi:10.1029/2012SW000785. DOI is a persistent name that is resolved into URL, where readers can obtain digital objects of the journal articles; for example, abstract, figures, and pdf files. The DOI system was launched around 2000 and becomes popular these days so that DOI is ordinarily indicated in references and citations.

The next development of the DOI system is to extend it to database. It makes possible for researchers to cite the data used in a scientific publication, which is called "data citation". Data citation provides the following benefits:

- Readers can more easily locate the data used in the paper, obtain necessary information of the data (i.e., metadata), and validate the findings of the paper.
- Readers can also easily discover datasets which are relevant to their interests but has not been noticed.
- Data contributors can gain professional recognition and rewards for their published data in the same way as for traditional publications.
- Data centers can measure the impact of individual datasets and receive proper credit of their work.

Recognizing the importance of data citation, World Data Centers (WDCs) in Japan including WDC for Aurora (National Institute of Polar Research), WDC for Geomagnetism (Kyoto University), WDC for Ionosphere and Space Weather (National Institute of Information and Communications Technology), and WDC for Space Science Satellites (Japan Aerospace Exploration Agency) started discussion to mint DOI to their own database in August 2013. The discussion finds that Japan Link Center (JaLC) is a proper agency to register DOI-URL mapping, because JaLC aims at public information services to promote science and technology in Japan and it handles scientific and academic metadata and content from holders nationwide, including national institutes, universities. Two representatives of the above 4 WDCs are working closely with JaLC to define a registration scheme to implement the DOI-URL mapping. We are also developing a web-based system to register metadata with JaLC and create landing pages for database. We expect to start a pilot program to mint DOI to the database from the middle of 2014.

Keywords: DOI, Database, Data Citation, Data Publication

U01-23

会場:419

時間:5月1日 17:20-17:45

Interlinking Articles And Data? The Past, Present, And Future Interlinking Articles And Data? The Past, Present, And Future

Koers Hylke^{1*}
KOERS, Hylke^{1*}

¹Elsevier
¹Elsevier

Activities of linking scholarly articles and scientific data will be introduced.
Keywords: data publication, scholarly article, data citation

Open Science Data Discovery Platform Open Science Data Discovery Platform

是津 耕司^{1*}
ZETTSU, Koji^{1*}

¹ 情報通信研究機構

¹National Institute of Information and Communicatoins Technology

Technology and use case studies of "Open Science Data Discovery Platform" will be introduced. So far we have harvested approximately 0.6 million metadata of data citation (DOIs and related metadata given to datasets) from publicly open databases of ICSU-WDS, PANGEA, ICPSR, etc., and have been developing new technology to leverage those data-citation link information and scholarly article archives. This technology, including linguistic, time-space, and ontological analysis techniques, is expected to have potential to enable new knowledge finding from various relations between datasets and articles, as well as analysis of higher-class clustering and grouping structures of relationships and links between science-technology information sources and even various communities which are related to science and technology data and articles. Through this process, perhaps to be like easy user-interface in future (like Web of Science), even international perspectives will be easily captured of more general science and technology research information pieces, links, and inter-relations to each other. For example, regarding climate change prediction and related decision making we may be able to find easily by an online search system how different earth observation datasets are used in political papers and meteorological papers.

キーワード: 科学データ, ICSU-WDS, データベース技術, データ検索, データサイテーション
Keywords: Scientific data, ICSU-WDS, database technology, data search, data citation

Hadoop による時系列衛星画像のための時空間データマイニングシステムの構築 Construction of spatio-temporal data mining system for time-series satellite imagery using Hadoop

西前 光¹; 三好 智也¹; 本田 理恵^{1*}
NISHIMAE, Kou¹; MIYOSHI, Tomoya¹; HONDA, Rie^{1*}

¹ 高知大学
¹ Kochi University

A large number of spatio-temporal data have been stored in various fields of science, such as remote sensing, numerical simulation, and astronomical observation, in which data often appears as time-series images. To extract spatio-temporal knowledge from spatio-temporal data including time-series images, spatio-temporal cross section relevant to a target task has to be extracted from a mass of data. Since these data are stored as a large number of files, utilization of distributed processing framework such as Hadoop or Gfarm is promising.

We constructed distributed data mining system for time-series satellite images using 53 nodes (3 masters and 50 slaves at maximum) of iMac and Hadoop which enables distributed file system and distributed processing using MapReduce. We evaluated the scalability and performance of the system for the task extracting time-series data from a large number of images carefully and found that partitioning the images into optimum numbers and reducing the data between map phase and reduce phase is essential.

The system was then applied to two different tasks focusing on time-series data analysis extracted from satellite imagery: statistical modeling of seasonal changes in vegetation index and spatio-temporal correlation analysis of weather satellite images. The tasks were successfully implemented on the system and the computational time was decreased in inverse proportion to the number of slave nodes, thus usefulness of the distributed system to spatio-temporal data mining for time-series images.

キーワード: 分散処理, Hadoop, MapReduce, データマイニング, 時空間, 衛星画像
Keywords: distributed processing, Hadoop, MapReduce, data mining, spatio-temporal, satellite imagery

NICTサイエンスクラウドの基盤技術開発、システム構築、および科学データ処理への応用

Basic Technologies, Integrated Systems and Applications of the NICT Science Cloud

村田 健史^{1*}; 渡邊 英伸¹; 鶴川 健太郎²; 村永 和哉²; 鈴木 豊²; 笠井 康子¹; 佐藤 晋介¹; 石井 昌憲¹; 山本 和憲¹; 長妻 努¹; 津川 卓也¹; 西岡 未知¹; 郭 智宏³; 黒澤 隆⁴; 水原 隆道⁵

MURATA, Ken T.^{1*}; WATANABE, Hidenobu¹; UKAWA, Kentaro²; MURANAGA, Kazuya²; YUTAKA, Suzuki²; KASAI, Yasuko¹; SATOH, Shinsuke¹; ISHII, Shoken¹; YAMAMOTO, Kazunori¹; NAGATSUMA, Tsutomu¹; TSUGAWA, Takuya¹; NISHIOKA, Michi¹; GUO, Zhihong³; KUROSAWA, Takashi⁴; MIZUHARA, Takamichi⁵

¹ 情報通信研究機構, ² 株式会社 セック, ³ 株式会社数理技研, ⁴ 株式会社 日立ソリューションズ東日本, ⁵ 株式会社 クレアリックテクノロジー

¹National Institute of Information and Communications Technology, ²Systems Engineering Consultants Co., LTD., ³SURIGIKEN Co.,Ltd., ⁴Hitachi Solutions East Japan, Ltd., ⁵CLEALINKTECHNOLOGY Co.,Ltd.

This paper is to propose a cloud system for science, which has been developed at NICT (National Institute of Information and Communications Technology), Japan. The NICT science cloud is an open cloud system for scientists who are going to carry out their informatics studies for their own science. The NICT science cloud is not for simple uses. Many functions are expected to the science cloud; such as data standardization, data collection and crawling, large and distributed data storage system, security and reliability, database and meta-database, data stewardship, long-term data preservation, data rescue and preservation, data mining, parallel processing, data publication and provision, semantic web, 3D and 4D visualization, out-reach and in-reach, and capacity buildings.



Global spectral crustal model Global spectral crustal model

TENZER, Robert^{1*} ; CHEN, Wenjin¹
TENZER, Robert^{1*} ; CHEN, Wenjin¹

¹School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University

¹School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University

We compile the harmonic coefficients, which describe the Earth crustal density structure with a spectral resolution complete to degree/order 180. These coefficients can be used in gravimetric studies of the Earth lithosphere structure, isostasy, crustal loading, sedimentary basins and related topics. The global spectral crustal model is separated into 9 specific layers of the topography, bathymetry, polar ice sheets, sediments (3-layers) and consolidated crust (3-layers). The harmonic coefficients describe uniformly the geometry and density (or density contrast) distribution within each crustal component. The topographic and bathymetric coefficients are generated from the topographic/bathymetric model ETOPO1 and the global geoid model GOCO03s. A uniform density model is adopted for the topography. The ocean density distribution is approximated by the depth-dependent seawater density model. The ETOPO1 topographic and the DTM2006.0 ice thickness data are used to generate the ice coefficients, while assuming a uniform density of the glacial ice. The geometry and density distribution within sediments is described by the 3 stratigraphic layers of a laterally varying density model, and the same structure is used to describe the density distribution within the consolidated crust down to the Moho interface. The sediment and consolidated crust coefficients are generated from the global crustal model CRUST1.0. The density contrasts of the ocean, ice, sediments and remaining crustal structures are taken relative to the reference crustal density.

キーワード: crust, density, gravimetric forward modeling, harmonic analysis
Keywords: crust, density, gravimetric forward modeling, harmonic analysis

薩摩硫黄島のミュオグラフィ観測 Muographic observations in Satsuma Iwojima, Japan

田中 宏幸^{1*}
TANAKA, Hiroyuki^{1*}

¹ 東京大学地震研究所

¹Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

Satsuma-Iwojima volcano continuously discharges large amounts of volcanic gasses without significant magma discharge. One of the proposed mechanisms of this continuous gas discharge is conduit magma convection. In this hypothesis, a magma conduit is connected to a deep magma chamber and a "degassing" phenomenon drives convection. Once the volatile component is released (by degassing) at the top of the magma conduit, the degassed magma sinks through the non-degassed magma occupying the pathway. A continuous supply of non-degassed magma from the magma chamber ensures that there is compensation for the degassed magma and the cycle continues. In 2008, a muography detector was placed at the foot of Satsuma-Iwojima volcano, and it captured an image of a large, shallow depth, low-density region existing beneath the crater floor. Degassing magma, with its high proportion of bubbles, has been interpreted as being the low-density region, and its dimension (location and size) was compared to the results from other field measurements, laboratory and theoretical studies. In 2013, an improved muography detector was developed and placed at the same location as the 2008 observation to exploit advanced muographic images in Satsuma-Iwojima. The recent progress in muographic observations will be reported.

キーワード: ミュオグラフィ, ミュオン, 火道, イメージング
Keywords: Muography, Muon, Volcanic Conduit, Imaging

火道内マグマ対流：Muon 観測からの制約 Conduit magma convection: Constraints from Muography

篠原 宏志^{1*}; 田中 宏幸²
SHINOHARA, Hiroshi^{1*}; TANAKA, Hiroyuki²

¹ 産業技術総合研究所, ² 東京大学、地震研究所
¹GSI, AIST, ²ERI, Univ. Tokyo

Muographic imaging is a powerful tool to radiographically reveal density structure of a shallow volcanic edifice with high energy muons and was applied to the rhyolitic dome of Iwodake, Satsuma-Iwojima in order to understand the conduit magma convection in this volcano. In this paper, we will discuss the constraints obtained by the muographic measurements performed in 2008 and their implication to the conduit magma convection model.

Conduit magma convection is a model to explain persistent degassing, that is continuous emission of large amount of volcanic gases without eruption and is driven by the density contrast between the ascending non-degassed magma and the descending degassed magma that is created by outgassing at the top of a magma column (Kazahaya et al., 1994). This model is commonly applied to less viscous basaltic magma systems but the application to andesitic or rhyolitic magma system is a matter of debate, because the large viscosity of these magmas can slow down the magma flows in the conduit. Although theoretical evaluation indicated that a larger diameter of a conduit can compensate the larger magma viscosity and can cause the rapid magma flows in the conduit, it is difficult to prove its occurrence under the ground, as the conduit magma convection is a steady state process with few seismic signals nor deformation. In contrast, the conduit magma convection suggests that intensive degassing occurs at top of a magma column, which is likely detectable as a low density zone in a shallow magma conduit system. Therefore the density structure survey the muon-radiography is an ideal method to reveal the size, shape and magnitude of density anomaly at the shallow volcanic edifice.

Quantitative re-evaluation of the muon radiography data at the Iwodake rhyolitic cone obtained by Tanaka et al. (2009) confirms the existence of a low-density body of 300 m in diameter and with $0.9-1.0 \text{ g cm}^{-3}$ at depths of 135-190 m from the summit crater floor. The low-density material is interpreted as rhyolitic magma with 60% vesicularity on average, and existence of this unstable highly vesiculated magma at shallow depth without any recent eruptive or intrusive activity is considered evidence of conduit magma convection. The structure of the convecting magma column top was modeled based on density calculations of vesiculated ascending and outgassed descending magmas, compared with the observed density anomaly. The existence of the low-density anomaly was confirmed by comparison with published gravity measurements, and the predicted degassing at the shallow magma conduit top agrees with observed heat discharge anomaly distribution localized at the summit area. This study confirms that high viscosity of silicic magmas can be compensated by a large size conduit to cause the conduit magma convection phenomena. The rare occurrence of conduit magma convection in a rhyolitic magma system at Iwodake is suggested to be due to its specific magma features of low H_2O content and high temperature.

キーワード: 火道内マグマ対流, ミュオン, 火山体浅部構造, 密度構造

Keywords: Conduit magma convection, muon-radiography, shallow volcanic edifice, density structure

高粘度混相流コードの開発：マグマダイナミクスシミュレーションにむけて Development of coupled Stokes–DEM simulation scheme for geodynamical magmatic studies

古市 幹人^{1*}; 西浦 泰介¹

FURUICHI, Mikito^{1*}; NISHIURA, Daisuke¹

¹ 海洋研究開発機構

¹ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

For geodynamical magmatic studies such as crystal settling at the melting roof of a magma chamber, we develop a robust and efficient simulation scheme for solving high-viscosity fluid and particle dynamics in a coupled computational fluid dynamics and discrete element method (CFD–DEM) framework. The high-viscosity fluid is treated by the Stokes-flow approximation, where the fluid interacts with particles via the drag force in a cell-averaged manner. The particles are tracked with contact forces by DEM. To efficiently solve such Stokes–DEM coupled equations, we propose two key techniques. One is formulation of particle motion without the inertial term, allowing a larger time step at higher viscosities. The other is a semi-implicit treatment of the cell-averaged particle velocity in the fluid equation to stabilize the calculation. We will explain some details of our model developments in the presentation. A series of numerical experiments shows that our proposed scheme can handle sinking particles in a high-viscosity fluid; such problems are difficult for the conventional CFD–DEM method. Then we will discuss our targeting geodynamical problems tackled with this simulation method.

キーワード: マグマ, 固液混相流, ストークス流れ, 個別要素法, メルトルーフ, 数値手法

Keywords: Magma, Particle-Laden flow, Stokes flow, Discrete element method, Melt roof, Numerical simulation

Recent updates on the DIAPHANE project of muon tomography Recent updates on the DIAPHANE project of muon tomography

MARTEAU, Jacques^{1*} ; GIBERT, Dominique² ; DE BREMOND D'ARS, Jean² ; JOURDE, Kevin³
MARTEAU, Jacques^{1*} ; GIBERT, Dominique² ; DE BREMOND D'ARS, Jean² ; JOURDE, Kevin³

¹Institut de Physique Nucleaire de Lyon, Univ Claude Bernard, UMR 5822 CNRS, Lyon, France, ²Geosciences Rennes, Univ Rennes 1, UMR 6118 CNRS, Rennes, France., ³Institut de Physique du Globe de Paris, Sorbonne Paris Cite, Univ Paris Diderot, UMR 7154 CNRS, F.

¹Institut de Physique Nucleaire de Lyon, Univ Claude Bernard, UMR 5822 CNRS, Lyon, France, ²Geosciences Rennes, Univ Rennes 1, UMR 6118 CNRS, Rennes, France., ³Institut de Physique du Globe de Paris, Sorbonne Paris Cite, Univ Paris Diderot, UMR 7154 CNRS, F.

Density radiography with atmospheric muons aims at determining the density variations or the absolute densities of geological or large volume bodies. The density is measured through the screening effect on the incident muons flux induced by the presence of matter, like for the X rays in a standard medical radiography. We will present recent updates on the DIAPHANE project which studies volcanoes with this technique since many years and is now deployed in the Lesser Antilles (Guadeloupe, Montserrat), Italy (Etna), the Philippines (Mayon) and in underground sites (France and Switzerland). Time-of-flight techniques have been developed to improve the data analysis and provide significant results.

キーワード: Volcanology, Muon tomography, Particles detector, Inverse problem
Keywords: Volcanology, Muon tomography, Particles detector, Inverse problem

Muon radiography by nuclear emulsions - Report on activity in Italy Muon radiography by nuclear emulsions - Report on activity in Italy

BOZZA, Cristiano^{1*}
BOZZA, Cristiano^{1*}

¹University of Salerno and INFN
¹University of Salerno and INFN

The nuclear emulsions technology has entered the field of muon radiography of volcanic edifices and faults in the last decade, and progressively attracted the interest of nuclear emulsion laboratories and experts from various countries. The historical first muographic image of a volcano was indeed generated by using this nuclear emulsion technology. In earlier times, large-scale application was limited by the readout time and manpower needs as the emulsion films had to be scanned by eye; modern fast automatic microscopes solved both issues with limited cost, and the readout and analysis speed increased by several orders of magnitude, opening the door to access muography that requires large statistics. The Italian nuclear emulsion groups of the Universities of Salerno, Napoli and Padova and the Laboratori Nazionali del Gran Sasso (INFN) have built an Italian network of scientists working on muography, establishing tight collaboration links with the Tokyo University Earthquake Research Institute; more Italian groups could join in the near future. The network performs many activities, from the preparation of emulsion film exposure, on-site data taking campaigns, to readout and data analysis.

Nuclear emulsions are usually cast in the shape of thin films (thickness in the range of 20-100 micrometers) coating transparent plastic bases. Even a single film can provide 3D tracks marking the passage path of ionizing particles, when observed by a dedicated microscope. Normally emulsions films are exposed in stacks, piling several sheets, so that a single particle, after development, leaves several aligned tracks, one in each film.

Automatic emulsion readout systems allow track detection and measuring on several m² of surface in few weeks, collecting large statistics, which is needed to investigate regions of high cosmic muon absorption. Angular resolution of the order of a few milliradians is commonly achieved, which gives the ability to discriminate relatively small details, depending on the distance between the detector and the observed volume. Currently, one line of research aims at developing faster and cheap film readout systems, based on commercial hardware, to increase the current data-taking speed by a factor 10 or better.

Emulsions are continuously sensitive, since the time of their production: while this is an advantage because they need no power supply, the lack of time discrimination makes data analysis for such detectors a delicate task. The high combinatorial background of 3D tracks, due to many months' pile-up, can be greatly reduced by exploiting the micrometric alignment precision of emulsion tracks. Application of nuclear emulsion data to muon radiography requires also particle identification. Multi-film stacks with interleaved slabs of dense scatterers (such as iron or lead), allow distinguishing soft particles, typically electrons/positrons from electromagnetic showers, from hard muons with 1 GeV/c momentum or higher. Dedicated simulation of the passage of hard muons through rock and in the emulsion-instrumented volume allows optimizing selection criteria and estimating purity and efficiency of the selection. Systematic errors on the predicted integrated flux, which is compared to the measured integrated flux, should be kept as small as possible; in turn, this requires proper modelling of the expected cosmic-ray muon flux, which demands specific efforts in some regions of the angular and energy spectrum, where the statistics is intrinsically lower. Simulation and modelling activities require specific software and sizeable computing resources and are shared among the collaborating groups.

Accounts are given of the status of muon radiography campaigns in which the Italian groups are mostly involved. The cases covered are Stromboli, Teide and the La Palma fault. For each case, the present situation, possible developments and future plans are also envisaged.

キーワード: nuclear, emulsion, muography, Italy, volcano, fault
Keywords: nuclear, emulsion, muography, Italy, volcano, fault

宇宙線ミュオンラジオグラフィのための原子核乾板検出器の開発とその応用 Development of Nuclear Emulsion Detector for Cosmic-ray Muon Radiography and Its Applications

森島 邦博^{1*}; 西尾 晃¹; 加藤 義人¹; 中野 敏行¹; 中村 光廣¹

MORISHIMA, Kunihiko^{1*}; NISHIO, Akira¹; KATO, Yoshito¹; NAKANO, Toshiyuki¹; NAKAMURA, Mitsuhiro¹

¹ 名古屋大学

¹ Nagoya University

We are developing nuclear emulsion and its automatic analysis system for cosmic-ray muon radiography (muography). Nuclear emulsion is very high-sensitive photographic film for detecting 3-dimensional trajectories of charged particles like muon in its volume with the very high position resolution (sub-micron), which gives us the very high angular resolution (a few mrad). In addition, nuclear emulsion does not require electronic power, the size is very compact and the weight is very light. And also, it is easy to perform the tomographic analysis using multiple detectors placed around the target. These features have advantages in the field observation for the measurement of geoscience object, archeological object, or in the disaster area like Fukushima Dai-ichi nuclear power plant.

In the case of Fukushima Dai-ichi nuclear power plant, high radioactivity shielding and lack of electronic power supplies should be taken into account. Nuclear emulsion is the powerful candidate used in such area. We have conducted the basic study of muon radiography of reactor core at fast reactor Joyo, which belongs to Japan Atomic Energy Agency (JAEA), in order to demonstrate the imaging of the reactor core. The result validates the observation of the reactor core with high resolution.

We will present technical developments of nuclear emulsion, latest scientific results including other observed objects and future prospects.

キーワード: 宇宙線ミュオンラジオグラフィ, 原子核乾板, 非破壊観測, 福島第一原子力発電所

Keywords: cosmic-ray muon radiography, nuclear emulsion, non-destructive observation, Fukushima Dai-ichi nuclear power plant

素粒子探査による世界遺産プランバナン寺院の構造調査 Muon radiography Monitoring for Structural Survey of the Prambanan World Heritage Temple

花里 利一^{1*}; 田中 宏幸²; 草茅 太郎¹; 岡本 裕美子¹

HANAZATO, Toshikazu^{1*}; TANAKA, Hiroyuki²; KUSAGAYA, Taro¹; OKAMOTO, Yumiko¹

¹ 三重大学, ² 東京大学

¹Mie University, ²University of Tokyo

Muon cosmic-ray can penetrate rocks and soils and give us projection of the path' density, therefore, muography technology has been successfully developed in the geological field for disaster prevention of volcano explosion 1). Furthermore, it was utilized to survey the inner condition of a blast furnace in a steel mill during its operation time. On the other hand, non-destructive tests are required, in general, to conduct structural survey of heritage structures with cultural and historical values. In particular, when World Heritage Monuments are surveyed, we have to follow this principle strictly. There are a number of World Cultural Heritages of masonry in seismic regions in the World. When their seismic safety is assessed, seismic structural survey is conducted by employing non-destructive tests. Considering that muography technology can be useful for structural survey of massive masonry structures as a non-destructive test, we installed the muon detecting system at the Prambanan Temples, World Cultural Heritage in Indonesia and monitored the muon cosmic-ray for 5 months. Here, the Prambanan Temples of stone masonry structures were severely damaged by Central Java Earthquake of 2006. We have been successfully involved in architectural and structural survey project conducted by an international and interdisciplinary team. The damaged masonry monuments have been restored after the earthquake, however, restoration work of Candi Siva, the oldest and highest monument of the Prambanan Temples, was not started yet, as its inner structural condition was unknown. If the inner structural conditions are revealed, 3-D finite element model is available for seismic structural diagnosis of such massive masonry structures. The scope of the present paper is to describe this challenge of non-destructive test utilizing muography technology for the Prambanan restoration project and to demonstrate applicability of this advanced technology to structural survey of World Cultural Heritages of masonry. The muon data obtained at the site indicated that the monument must have inner chambers that had been unknown. The data also indicated their sizes and locations. This information will be useful to provide analysis model for seismic evaluation.

References

1)Tanaka,H.K.M.,Taira,H.,Uchida,T.,Tanaka,M.,Takeo,M.,Ohiminato,T.,Aoki,R.,Nishiyama,et al. :

Three-dimensional computational axial tomography scan of a volcano with cosmic ray muon radiograph,

J. Geophys., Res.,115, B12332, 2010

Keywords: muon, structural survey, masonry, World Heritage, seismic safety

巨大石造建造物探査へのミュオグラフィの応用：エジプトのピラミッドに対する建築技術の発展過程 An Application of Muography to Exploring Gigantic Masonry Architectures: Evolution in Pyramid Construction Technique

大城 道則^{1*}
OHSHIRO, Michinori^{1*}

¹ 駒澤大学
¹ Komazawa University

Since the technique of Muography was used for the pyramid of Khafre (second pyramid of Giza) by L. W. Alvarez in 1970, academic researches using non-destructive testing methods have been applied to some huge stone structures (ex. the Pyramid of the Sun in Teotihuacan, Mexico, by A. Menchaca-Rocha). Although Alvarez and his team attempted to find a new chamber in the pyramid, they couldn't find any hidden chambers. However, now it is thought that the result was unreliable because their muon detector was an old type. After Alvarez the muon detector was developed and contributed to the elucidation of mechanism of a volcanic eruption in recent years (e.g. Asama volcano and Satsuma-Iwojima Volcano by H. Tanaka et al). Applying this technique, the internal structures of the Shiva temple in the Prambanan temple compounds (Indonesia) and the Parthenon (Greece) is explorable. On the basis of those results, we are going to go back to the roots of Muography by Alvarez by revisiting the pyramid.

It is assumed that if it is possible to use Muography for the pyramids in Egypt (the oldest huge stone building in the world), in terms of the usage and volume of differing density of the stone (limestone and granite), it would make clear the developmental sequence and construction way of pyramids which has been impossible to know until now. Therefore, we can confirm the human ingenuity of earthquake-proof structures by ancient Egyptians. Most of the pyramids were made of limestone. Harder granite was sometimes used to encase the pyramids. If it can be made clear where two different kinds of stones were used and how much stone were used for the pyramids, we can take possession of previously-unattainable new information in the study of earthquake-proof structures of pyramids.

The developmental sequence of burial of ancient Egyptian kings and the transition of the outer shape are as follows: 1. Simple graves, 2. Mastabas, 3. Step Pyramids, 4. Bent Pyramid, 5. Red Pyramid (true pyramid), 6. Pyramid of Khufu (true pyramid), 7. Pyramid of Khafre (true pyramid), 8. Pyramid of Menkaure (true pyramid).

Judging from the above-mentioned process, it is assumed that there were further stages in the development of pyramids. However, it is still not clear. If we have the opportunity to use muography to the above pyramids (from the step pyramid of Netjerykhet to three true pyramids in Giza), we can put an end to speculation as to the evolution theory of the pyramid from the viewpoint of earthquake-proof structures and advancement of civilization.

References

- (1) L. W. Alvarez et al, Search for Hidden Chambers in the Pyramids: The Structure of the Second Pyramid of Giza is Determined by Cosmic-ray Absorption, *Science* 167 (1970), pp.832-839.
- (2) A. Dodson, *The Pyramids of Ancient Egypt* (London, 2003).
- (3) M. C. Gonzalez-Garcia, Francis Halzen, Michele Maltoni, and Hiroyuki K. M. Tanaka, Radiography of Earth's Core and Mantle with Atmospheric Neutrinos, *Physical Review Letters*, 100, 061802, 2008.
- (4) Hiroyuki K.M. Tanaka, Tomohisa Uchida, Manobu Tanaka, Minoru Takeo, Jun Oikawa, Takao Ohminato, Yosuke Aoki, Etsuro Koyama and Hiroshi Tsuji, Detecting a mass change inside a volcano by cosmic-ray muon radiography (muography): First results from measurements at Asama volcano, Japan, *Geophysical Research Letters*, 36, L17302, 2009.
- (5) Hiroyuki K.M. Tanaka, Tomohisa Uchida, Manobu Tanaka, Hiroshi Shinohara, Cosmic-ray muon imaging of magma in a conduit: Degassing process of Satsuma-Iwojima Volcano, Japan, *Geophysical Research Letters*, 36, L01304, 2009.

キーワード: ミュオグラフィ, ピラミッド, 文明, 耐震構造
Keywords: muography, pyramid, civilization, earthquake-proof structures

U02-09

会場:419

時間:4月28日 12:27-12:42

Overview of Neutrino Geoscience Overview of Neutrino Geoscience

DYE, Steve^{1*}
DYE, Steve^{1*}

¹Hawaii Pacific University
¹Hawaii Pacific University

Radiogenic heating is a key component of the energy balance and thermal evolution of the Earth. Geo-neutrino observations from Japan and Italy are now measuring the radiogenic power of our planet. Although the error on the present measurement is too large to significantly constrain geological models, the potential of geo-neutrino observations is clearly demonstrated. This contribution traces the development of neutrino geosciences and discusses the prospects for geo-neutrino observations to inform geology.

キーワード: neutrino geoscience, radiogenic heat
Keywords: neutrino geoscience, radiogenic heat

KamLAND: 地球ニュートリノの観測結果 KamLAND: geo-neutrino result

清水 格^{1*}
SHIMIZU, Itaru^{1*}

¹ 東北大ニュートリノ科学研究センター
¹ RCNS, Tohoku University

Geo-neutrinos are anti-neutrinos (elementary particles) produced in radioactive decays within the Earth. Those anti-neutrinos can be detected in a terrestrial experiment using interaction via weak force, however, due to extremely low reaction probabilities, there were no feasible experiments for a long time. Owing to the development of large-size anti-neutrino detectors, the observation of geo-neutrinos has been finally made, and then composition models of the Earth are constrained from the radiogenic heat estimate. In this talk, a precise measurement of geo-neutrino flux from the Kamioka Liquid-scintillator Anti-Neutrino Detector (KamLAND) in Japan will be presented. In addition, the recent situation of KamLAND anti-neutrino data will be reviewed. Following the Fukushima nuclear accident in 2011, the most of Japanese nuclear reactors has been subjected to a protracted shutdown, resulting in the low reactor anti-neutrino background. It provides a unique opportunity to measure the geo-neutrinos with an improved sensitivity. Based on this low background data, prospects of geo-neutrino sensitivity with KamLAND data in the near future will be shown, and discuss the ability of discriminating between Earth models.

キーワード: 地球ニュートリノ
Keywords: geo-neutrino

U02-11

会場:419

時間:4月28日 14:30-14:45

Borexino: geo-neutrino results Borexino: geo-neutrino results

SUVOROV, Yury^{1*}
SUVOROV, Yury^{1*}

¹Yury Suvorov
¹Yury Suvorov

Geo-neutrinos are the electron anti-neutrinos produced by long-lived radioactive isotopes (such as U, Th and K) in the earth crust and mantle. Geo-neutrinos can be detected in kiloton scale organic liquid scintillator detectors located in underground laboratories. The detection reaction is the inverse-beta decay, which has a particular signature given by two correlated in space and time prompt and delayed signals.

In spite of the strong signature geo-neutrino can only be detected in massive low background set-ups designed for low energy (1 MeV) neutrinos.

Borexino at the GranSasso underground laboratory in Italy has been in operation since 2007 to search for sub-MeV solar neutrinos.

At present experimental studies of geo-neutrinos are carried out with Kamland at the Kamioka mine in Japan and with Borexino at GranSasso. The first attempt of a geo-neutrino measurement was done in Kamland in 2005. Only in 2010 and 2011 both Borexino and Kamland observed at more the 4sigma C.L. a signal from geo-neutrinos. The search of geo-neutrinos likewise the one of solar neutrinos for the sun provides a unique tool to probe the interior of the earth. Uranium and thorium from the crust and the mantle make the geo-neutrino flux on surface. The energy spectrum of the detected geo-neutrinos depends on the abundance of uranium and thorium and on the different beta decays in the two radioactive chains. A spectroscopy determination of the geo-neutrino signal can be done. This has been recently shown by Borexino. By means of this analysis the ultimate goal of the geo-neutrino search will be the determination of the uranium and thorium content in the mantle. For this purpose a combined analysis of more than one experiment results will be necessary. In this talk we will review the present status of geo-neutrino research. We elaborate on the recent results from Borexino and Kamland. The experimental difficulties and background sources will be discussed.

キーワード: neutrinos, geo neutrinos, Earth, crust, mantle
Keywords: neutrinos, geo neutrinos, Earth, crust, mantle

A reference Earth model for geoneutrinos A reference Earth model for geoneutrinos

HUANG, Yu²; MANTOVANI, Fabio^{1*}; RUDNICK, Roberta L.²; MCDONOUGH, William F.²
HUANG, Yu²; MANTOVANI, Fabio^{1*}; RUDNICK, Roberta L.²; MCDONOUGH, William F.²

¹University of Ferrara - INFN of Ferrara - Italy, ²University of Maryland, College Park, MD, USA

¹University of Ferrara - INFN of Ferrara - Italy, ²University of Maryland, College Park, MD, USA

Geoneutrino data from the KamLAND and Borexino experiments provide insights into Earth's energetics and global radiogenic heat production. In 2014, SNO+ will begin to collect data; the era of the exploration of our planet through geoneutrinos is definitely open.

Detection of geoneutrinos provides quantitative information about the total amounts of U and Th in the Earth and their distribution within the different reservoirs (crust, mantle and possibly core). One of the greatest potentials of geoneutrino is to discriminate among the different models for the bulk composition of the Earth, which are based on cosmochemical arguments and geochemical and geophysical observations. In order to determine the U and Th concentration of the deep Earth from the geoneutrino signal, the regional and crustal contribution to the geoneutrino flux needs to be determined from detailed geological studies.

We developed a geophysically based, three-dimensional global reference model for the abundances and distributions of U and Th in a Bulk Silicate Earth (BSE) model. The structure and composition of the outermost portion of the Earth, the crust and underlying lithospheric mantle, are detailed in the reference model; this portion of the Earth has the greatest influence on the geoneutrino fluxes. The structure of the crust is based on $1^\circ \times 1^\circ$ surface map of the Earth discriminating layers of sediments, upper, middle and lower crust. For the first time three geophysical global crustal models based on reflection and refraction seismic body wave (CRUST 2.0), surface wave dispersion (CUB 2.0), and gravimetric anomalies (GEMMA) are studied with the aim to estimate the contribution of geophysical uncertainties to the reference crustal model.

On the base of new compilations of geochemical data for sediments, oceanic and continental crust, we estimate the expected geoneutrino signal and its uncertainties for the crust of the Earth. Evaluating the U and Th abundances and their uncertainties in middle and lower crust are a focus of this model, along with using seismic velocity data to determine the lithological nature of these layers. The fraction of felsic and mafic rocks in the deep portions of the continental crust has been estimated by comparing the velocities of longitudinal and transverse seismic waves reported in the crustal model with the laboratory values obtained for ultrasonic velocities of different rock types.

An updated xenolithic peridotite database is used to represent the average composition of continental lithospheric mantle. The geoneutrino signal from this reservoir is calculated for the first time and it exceeds that from the oceanic crust at all three existing detectors.

Geoneutrino signal at Earth's surface is calculated in TNU (Terrestrial Neutrino Unit) (see figure) and Monte Carlo simulation is used to track the asymmetrical uncertainties of different crustal inputs. The combination of the global crust model, detailed local crust models, and the measured signal for each detector provides the critical inputs needed to assess the global mantle signal and its uncertainty. Thus, the mantle signal at each detector and its uncertainty can be independently combined to place limits on acceptable models for the mantle's radiogenic power.

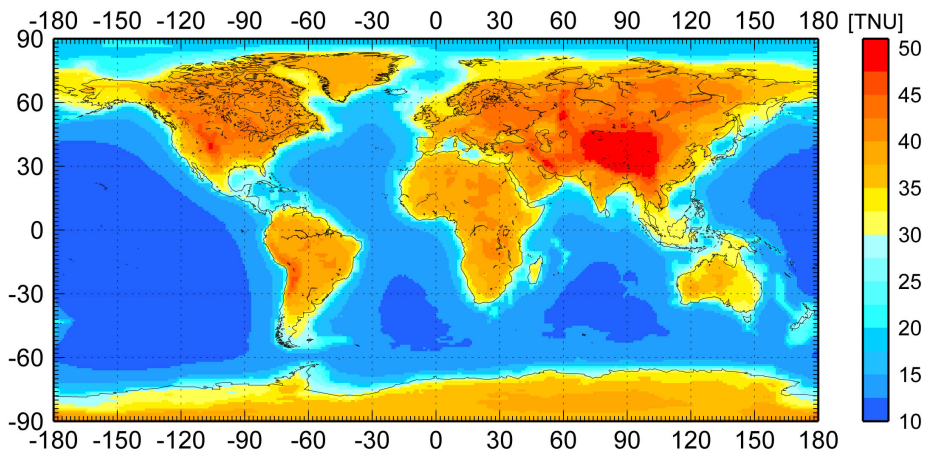
キーワード: geoneutrino flux, heat producing element, radiogenic heat power, reference crustal model, deep crust composition, bulk silicate Earth composition

Keywords: geoneutrino flux, heat producing element, radiogenic heat power, reference crustal model, deep crust composition, bulk silicate Earth composition

U02-12

会場:419

時間:4月28日 14:45-15:00



マントル中の希ガス貯蔵庫を地球ニュートリノ観測から特定できるか？ Can noble gas reservoirs in Earth's mantle be identified from the geoneutrino distribution?

角野 浩史^{1*}; Ballentine Chris²
SUMINO, Hirochika^{1*}; BALLENTINE, Chris²

¹ 東京大学大学院理学系研究科地殻化学実験施設, ² オックスフォード大学地球科学科

¹Geochemical Research Center, Graduate School of Science, University of Tokyo, ²Department of Earth Sciences, University of Oxford

Noble gas isotopes in mantle-derived samples are key tracers of chemical heterogeneity in the Earth's mantle and of the origin of the atmosphere. Samples of mid-ocean ridge basalt (MORB) and ocean island basalt (OIB) provide a comprehensive understanding of mantle noble gases. MORBs show relatively uniform $^3\text{He}/^4\text{He}$ ratios and in a $^{21}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}$ - $^{20}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}$ diagram form a mixing line between the atmospheric composition and the MORB-source endmember. The latter is formed by the addition of nucleogenic ^{21}Ne to the primordial Ne ("solar" or "Ne-B" composition, Ballentine et al., 2005; Honda et al., 1991; Tieloff et al., 2000; Mukhopadhyay, 2012). In contrast, OIB samples, which are derived from a deeper region of the mantle, can exhibit higher $^3\text{He}/^4\text{He}$ ratios and less nucleogenic Ne isotope compositions. The OIB characteristics provide evidence for a mantle source in which primordial He and Ne has been less diluted by addition of radiogenic ^4He and nucleogenic ^{21}Ne produced by the decay of U- and Th-series elements. Therefore, noble gas isotopic evolution in the mantle is directly related to the U and Th contents in their reservoirs. However, the reasons for the less-radiogenic/nucleogenic character of the plume source are under debate; it may be less degassed (e.g., Allegre et al. 1983; Kaneoka, 1983; Kurz et al. 1982; Porcelli and Ballentine, 2002; Porcelli and Elliott, 2008), re-gassed through volatile recycling (Holland and Ballentine 2006; Ballentine and Holland 2008), or depleted in U and Th by ancient melt extraction events (Parman, 2007; Albarede, 2008). Recent finding of different $^{129}\text{Xe}/^{130}\text{Xe}$ ratios (^{129}Xe is a product of extinct isotope ^{129}I , while ^{130}Xe is primordial) in the MORB and Icelandic plume source requires that a portion of the latter has been isolated from the MORB-source mantle over geological timescales (Mukhopadhyay, 2012). This finding is consistent with that the less degassed nature is essential for the high $^3\text{He}/^4\text{He}$ ratio of the plume source because high noble gas concentrations in the plume source is required to preserve Xe isotope heterogeneity against dilution by depleted or surface-recycled material with atmospheric or MORB-like $^{129}\text{Xe}/^{130}\text{Xe}$. If the plume source corresponds to the large low-shear-wave-velocity provinces (LLSVPs) or D" layer at the base of the mantle, it may indeed have existed since the formation of the Earth and cannot exclusively be composed of subducted slabs (Mukhopadhyay, 2012). This is consistent with high $^3\text{He}/^4\text{He}$ (primordial) and low $^3\text{He}/^4\text{He}$ (recycled) components in Polynesian OIBs (Parai et al., 2009). The geoneutrino distribution will shed light on this issue; the less degassed (i.e., primordial) plume source is expected to contain 30-40% of the total mantle U and Th and if the LLSVPs is dominated by undiluted primordial material this feature will generate a significantly higher geoneutrino flux than a LLSVPs dominated by ancient subducted slabs with U and Th contents most likely lower than the convecting mantle.

Subcontinental lithospheric mantle (SCLM) exhibits slightly lower $^3\text{He}/^4\text{He}$ ratio and more nucleogenic Ne feature (Gautheron and Moreira, 2002; Buikin et al., 2005), indicating it is enriched in U and Th relative to noble gases. Although U and Th concentrations in SCLM is estimated as 10-30 times those in the convecting mantle, its small volume fraction (ca. 1.5%) results in insignificant contribution to global geoneutrino flux. However, it may be significant for existing detectors located in or close to continental region such as KamLAND (Japan) and Borexino (Italy). An ocean-based or transportable detector like Hanohano (Sramek et al., 2013) is therefore expected to have a great advantage to reveal geoneutrino flux from the deep mantle.

キーワード: 希ガス, マントル, ウラン・トリウム, 地球ニュートリノ, LLSVP, D"層

Keywords: Noble gas, Mantle, Uranium and Thorium, Geoneutrino, LLSVP, D" layer

On the origin of large-scale heterogeneity in the deep mantle: Thermo-chemical mantle convection in a spherical geometry
On the origin of large-scale heterogeneity in the deep mantle: Thermo-chemical mantle convection in a spherical geometry

中川 貴司^{1*}
NAKAGAWA, Takashi^{1*}

¹IFREE, JAMSTEC
¹IFREE, JAMSTEC

The origin of large-scale heterogeneous structure in the deep mantle, that is, large low shear velocity provinces (LLSVP) is still debated, which is between thermo-chemical [e.g. Nakagawa et al., 2012] and purely thermal [e.g. Davies et al., 2012]. If the large-scale heterogeneous anomalies in the deep mantle are generated by basaltic piles, the large-scale anomalies such as LLSVP may be enhanced for huge amount of heat source compared to the ambient mantle. Current efforts of geoneutrino observations attempt to detect the large-scale anomalous region of radioactive elements in the deep mantle [personal communication with H. Tanaka], which may have large-scale enhanced region of radioactive element in the deep mantle beneath the southern Pacific from test simulations of geoneutrino detectors. In addition, this approach could give an answer for the origin of large-scale heterogeneous structure in the deep mantle. Here we introduce our current numerical modeling of thermo-chemical mantle convection in a spherical geometry with self-consistently calculated mineralogy. The advantage of this approach is to include all phase transitions in the mantle without any linearization of physics of phase transition in mantle minerals and calculate seismic anomalies from thermo-chemical structure obtained from numerical modeling directly. In this presentation, we will show several important information on resolving this issue.

キーワード: thermo-chemical convection, large-scale heterogeneity, mineral physics, radioactive heat source
Keywords: thermo-chemical mantle convection, large-scale heterogeneity, mineral physics, radioactive heat source

U02-15

会場:419

時間:4月28日 15:30-15:45

KamLAND における反ニュートリノ方向性 Anti-Neutrino Directionality with KamLAND

続 本達^{1*}

XU, Benda^{1*}

¹ 東北大ニュートリノ科学研究センター

¹ RCNS, Tohoku University

KamLAND holds its novelty in the observation of reactor anti-neutrino disappearance. After the great Tohoku earthquake in 2011, almost all nuclear power plants of Japan are closed for safety inspection. This Reactor-Off period offers a unique opportunity to study the directionality of anti-neutrinos from the earth and the remaining nuclear reactors with the liquid scintillator detector.

キーワード: ニュートリノ

Keywords: neutrino

地球ニュートリノグラフィを目指した地球ニュートリノの到来方向観測 Tracking geo-neutrinos towards the future geo-neutrino graphy

渡辺 寛子^{1*}

WATANABE, Hiroko^{1*}

¹ 東北大ニュートリノ科学研究センター

¹ RCNS, Tohoku University

Directional sensitive neutrino detectors contributed to astronomy and particle physics. The solar neutrino problem was firmly believed by the directional measurement of solar neutrinos, and the atmospheric neutrino oscillation was confirmed by the zenith angle distribution for two types of neutrinos. Liquid scintillator detectors are marked by the ability to detect low energy neutrino signals, such as reactor, geo, and extraterrestrial neutrinos. On the other hand, liquid scintillator detectors do not have sensitivity of neutrino direction.

KamLAND (Kamioka, Japan) and Borexino (Gran Sasso, Italy) have showed the geo anti-neutrino detection realized by the event rate and energy spectra. We have begun to use neutrinos as “probe” to observe the Earth’s interior. Geo-neutrino measurement does not have the sensitivity of its direction, so we can not distinguish the crust and mantle contribution.

It is hoped the development of new measurement technology to measure neutrino direction. Lithium-loaded liquid scintillator has the potential to have the high sensitivity of coming anti-neutrino direction. Directional sensitive detectors will contribute to the better understanding of the earth interior using geo anti-neutrino flux information. Other motivations are the earlier determination of supernova direction and improvement of oscillation sensitivity for reactor anti-neutrinos.

キーワード: 地球ニュートリノ

Keywords: geo-neutrino

地球ニュートリノデータの地球物理学的インバージョン：地球の化学構造を制約するための定式化
Geophysical Inversion of Geo-Neutrino Flux Data: Formulation for Revealing Chemical Structure in the Earth

竹内 希^{1*}
TAKEUCHI, Nozomu^{1*}

¹ 東京大学地震研究所
¹Earthquake Research Institute, University of Tokyo

Observation of geo-neutrino flux enables us to constrain distribution of radiogenic heat sources in the Earth (e.g., Enomoto et al. 2007, EPSL). Although the data provides unique information, resolution was limited because the observed data has been just one scalar quantity (geo-neutrino flux at the observational site). However, recent challenge to directional measurements by the RCNS group will greatly improve the resolution, because the observed data becomes a vector quantity with large dimension (geo-neutrino flux as a function of incident angle and azimuth).

In this study, I will formulate geophysical inverse problem to effectively constrain where and how much we have radiogenic heat sources in the Earth. Following procedures by Enomoto et al. (2007), we first categorize reservoirs of radiogenic elements (e.g., crust, bulk mantle, slab and LLSVP) and develop a reference distribution model of radiogenic elements in the Earth. We then compute a synthetic geo-neutrino flux pattern (as a function of incident direction) for each reservoir category. We assume that the observed flux can be expressed by linear combination of synthetic patterns and define their coefficients as model parameters.

The optimal coefficients can be obtained by solving an inverse problem. If the reference model is perfect, every coefficients should be equal to one. If the optimal coefficient deviates from one, it suggests that the assumed concentration was not appropriate for that reservoir category. This formulation should be useful for geophysical interpretation. For example, if the coefficient for LLSVP is large, we can suggest that a large amount of crustal material is accumulated in the LLSVP.

At the time of presentation, besides the details of the above formulation, I plan to show expected resolution when we use data obtained by the ongoing KamLAND experiment.

キーワード: geo-neutrino, KamLAND, geophysical inversion
Keywords: geo-neutrino, KamLAND, geophysical inversion

U02-18

会場:419

時間:4月28日 16:30-16:45

Hanohano: Future deep ocean geo-neutrino measurement
Hanohano: Future deep ocean geo-neutrino measurement

LEARNED, John^{1*}
LEARNED, John^{1*}

¹University of Hawaii
¹University of Hawaii

Neutrinos from the decay chains of Uranium and Thorium from within the Earth's mantle constitute a vital signature of the origin of most of the heat thought to be driving all of geodynamics. The only means conceived as yet to study the magnitude and geographical distribution of the flux of mantle geo-neutrinos is from a large and mobile deep ocean detector. This study cannot be done from crustal locations due to the overwhelming flux of neutrinos from local rocks. We present a description of the Hanohano Project, aimed at opening this new discipline.

キーワード: neutrino, uranium, thorium, geoneutrino, tomography
Keywords: neutrino, uranium, thorium, geoneutrino, tomography

Prospects of Earth Composition Measurements via Neutrino Tomography at Next-generation Neutrino Detectors Prospects of Earth Composition Measurements via Neutrino Tomography at Next-generation Neutrino Detectors

ROTT, Carsten^{1*}
ROTT, Carsten^{1*}

¹Sungkyunkwan University
¹Sungkyunkwan University

The Earth matter density is well determined through seismological measurements, however the chemical composition of the Earth has not yet been measured and only been inferred from meteorite samples. The Earth interior composition could be determined using neutrino tomography. Neutrinos are naturally produced in the Earth atmosphere and can be detected at neutrino telescopes. Neutrinos are elementary particles that are extremely light and only rarely interact, so that they can traverse the entire Earth without being absorbed. For the measurement, one can utilize a unique property of neutrinos, which is known as matter induced neutrino oscillations. This effect changes the neutrino properties based on the electron density of the medium through which the neutrino travels.

The dependence on electron density is what allows us to get a handle on the composition of the Earth. While seismological measurements determine the matter density, so to speak the average mass of nuclei, the oscillation effects depend on the electron density. In combination we can determine the average Z/A , where Z is the proton number (number of protons per nucleus) and A is the atomic mass (number of protons and neutrons per nucleus). The talk will introduce the measurement and discuss prospects at next-generation neutrino detectors like PINGU and Hyper-K, that could perform it.

キーワード: Neutrino, Tomography, IceCube, PINGU, Hyper-K, Earth Composition
Keywords: Neutrino, Tomography, IceCube, PINGU, Hyper-K, Earth Composition

The Hyper-Kamiokande Project The Hyper-Kamiokande Project

横山 将志^{1*}
YOKOYAMA, Masashi^{1*}

¹ 東京大学
¹The University of Tokyo

In this paper, we present the baseline design and expected performance of the Hyper-Kamiokande detector (Hyper-K)[1,2], a next generation underground water Cherenkov detector proposed in Japan. Hyper-Kamiokande is a successor of Super-Kamiokande (Super-K), which has been producing epoch-making results in particle physics and astrophysics, most notably the discovery of neutrino oscillation, since 1996. A water Cherenkov detector measures properties of elementary particles by detecting Cherenkov light, which is emitted when a charged particle travels faster than the velocity of light in water. Although neutrino itself does not emit Cherenkov light, it can be detected via particles produced in interaction with matter. Because the interaction probability is very small, a gigantic detector is necessary for the study of neutrinos. Water Cherenkov technique is the only solution to realize a Megaton scale detector with currently available technology. The design of Hyper-K is based on the highly successful Super-K, taking full advantage of a well-proven technology. The science goals of Hyper-K include not only the study of neutrino properties, but also broad topics in particle physics, astrophysics and geophysics.

Hyper-K consists of two cylindrical tanks lying side-by-side, the outer dimensions of each tank being 48 (W) 54 (H) 250 (L) m³. The total (fiducial) mass of the detector is 0.99 (0.56) million metric tons, which is about 20 (25) times larger than that of Super-K. The inner detector region is viewed by 99,000 20-inch PMTs, corresponding to the PMT density of 20% photo-cathode coverage (one half of that of Super-K). In order to enhance the performance of the detector and to reduce the construction cost, new types of photosensors are under development. The design of critical components such as excavation of large caverns, mechanical structure of the tank, and water purification system is established. Further R&D towards detailed technical design, together with study of science cases, is ongoing by an international working group consisting of more than hundred scientists from eleven countries over the world.

Hyper-K presents unprecedented potential for precision measurements of neutrino oscillation parameters and discovery reach for CP violation in the lepton sector. Hyper-K can extend the sensitivity to nucleon decays beyond what was achieved by Super-K by an order of magnitude or more. The scope of studies at Hyper-K also covers high precision measurements of solar neutrinos, observation of both supernova burst neutrinos and supernova relic neutrinos, and dark matter searches.

Although the main motivation of the Hyper-K project arises from particle physics and astrophysics, thanks to its large volume and excellent performance, Hyper-K will be also able to contribute to geophysics by detection of neutrinos coming through the inside of the earth as discussed in [1]. The prospects for geophysics using Hyper-K will be discussed.

References

- [1] K. Abe, T. Abe, H. Aihara, Y. Fukuda, Y. Hayato, K. Huang, A. K. Ichikawa and M. Ikeda et al., Letter of Intent: The Hyper-Kamiokande Experiment — Detector Design and Physics Potential —, arXiv:1109.3262 [hep-ex].
- [2] Hyper-Kamiokande Working Group, Hyper-Kamiokande Physics Opportunities, arXiv:1309.0184 [hep-ex].

キーワード: neutrino, radiography
Keywords: neutrino, radiography

Testing Geological Hypotheses Using Particle Physics Testing Geological Hypotheses Using Particle Physics

HERNLUND, John^{1*} ; TANAKA, Hiroyuki²
HERNLUND, John^{1*} ; TANAKA, Hiroyuki²

¹Earth-Life Science Institute, Tokyo Institute of Technology, ²Earthquake Research Institute, Tokyo University
¹Earth-Life Science Institute, Tokyo Institute of Technology, ²Earthquake Research Institute, Tokyo University

Installations of muon and neutrino observatories are yielding an increasing spirit of collaboration between particle physicists and Earth scientists interested in leveraging their resources and techniques and to apply them to major outstanding scientific problems in both fields. This comes at a very good time, as experimental methods and seismological analysis has increasingly illuminated the frontier of Earth's deep geological structure, leading to new ideas and hypotheses regarding the evolution of Earth since its formation. Particle geophysics offers unique new tools to test hypotheses regarding the geological evolution of the entire Earth, some of which should help to break through non-uniqueness hurdles that arise using more traditional approaches. Here we discuss some of the frontier problems in Earth science, and describe some potentially novel approaches that may lead to breakthroughs in our understanding of our planet. One already well-known application involves detection of anti-neutrinos generated by naturally occurring radioactive decay processes in Earth's interior, the strength and distribution of which is sensitive to different hypotheses regarding Earth's origin and evolution. Other approaches, which will be made possible using the high energy detectors in Antarctica, is the determination of the electron density inside the Earth. This is especially useful, since the electron density is sensitive to the molar fraction of elements in solution inside bodies like the core, while seismology is only sensitive to the weight percent of those solutes. Here we show how combining this independent information will help to solve major questions such as the composition of the core.

キーワード: Thermal Evolution, Chemical Evolution, Composition of Earth, Earth Formation, Hadean Geology, Deep Earth
Keywords: Thermal Evolution, Chemical Evolution, Composition of Earth, Earth Formation, Hadean Geology, Deep Earth

Review of the recent muon radiography observations by using nuclear emulsion detector Review of the recent muon radiography observations by using nuclear emulsion detector

宮本 成悟^{1*}
MIYAMOTO, Seigo^{1*}

¹ 東京大学
¹The University of Tokyo

Nuclear emulsion is one of three dimensional particle tracker which have micron position resolution and the feature that no electricity so we can put this detector everywhere easily and also this is suitable for non-fixed point observation.

Several observations for volcanoes were done and will be done from 2011 to 2014. The imaging the of Unzen lava dome, which was formed from 1991 to 1995, was done by Miyamoto et al and they found the detector got many back ground particles and the amount is more than several times than expected muon signal. this implies that we are on the stage of background particle study.

The emulsion cloud chamber (ECC) is a modular structure made of a sandwich of passive material plates such as lead interleaved with emulsion film layers. Nishiyama et al studied the source of background noise in cosmic-ray muon radiography using ECC. They found that the origin of background is expected to be electromagnetic components of air-showers or cosmic-ray muons scattered in topographic material whith momentums is less than 2GeV/c.

The shallow conduit shape of Stromboli will provide the important information for eruption dynamics modeling by Tioukov et al. Hernandez et al put the emulsion detector near the top of summit of Teide volcano to investigate the past eruption histroy of Teide. Teide volcano is located in Teferife, Canary Islands, Spain. They are also under observation of the fault appeared in La Palma, Canary Island, in 1949, which is the sign of huge land collapse or not. The width of the fault is expected to be 1 meter or less, so high position resolution of emulsion detector is suitable for this observation. They will measure the width, delth and the porosity of this fault.

宇宙線ミュオンラジオグラフィーと重力異常データの同時インバージョンによる
溶岩ドームの3次元密度構造解析
Simultaneous inversion of muon radiography and gravity anomaly data for 3-D density
structural analysis of lava domes

西山 竜一^{1*}; 宮本 成悟¹; 大島 弘光²; 大久保 修平¹; 田中 宏幸¹
NISHIYAMA, Ryuichi^{1*}; MIYAMOTO, Seigo¹; OSHIMA, Hiromitsu²; OKUBO, Shuhei¹; TANAKA, Hiroyuki¹

¹ 東京大学地震研究所, ² 北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター有珠火山観測所
¹Earthquake Research Institute, University of Tokyo, ²Usu Volcano Observatory, Hokkaido University

Cosmic-ray muon radiography (muography) has been utilized for obtaining the density profiles of volcanoes (eg. Tanaka et al., 2007; Lesparre et al., 2010; Cârloganu et al., 2013). Since gravity measurement is also sensitive to the internal density of the Earth, a combination of muography and gravimetry is expected to provide density profiles with fine resolutions (Okubo and Tanaka, 2012). Nishiyama et al. (2014) has developed a simultaneous inversion method of both two data for determining the 3-D density structures of volcanoes and has presented the feasibility of the hybrid measurement through a case study of a small (500 m in diameter) lava dome, Showa-Shinzan, Hokkaido, Japan. This study revealed that a vent extends downward beneath the dome.

We are now planning another hybrid measurement at Tarumai Lava Dome on the Shikotsu caldera, Hokkaido, Japan, in order to perform a comparative study on the internal structures of lava domes. The Tarumai lava dome has formed at the top of Mt. Tarumai during the 1909 eruption. We conducted gravity measurements at 23 stations spanning 1.5 km (NS) x 1.5 km (EW). We are preparing the muography detector for the coming measurement. We report the possible detector sites and the result of the resolution test of this new hybrid measurement.

References:

- Tanaka et al., *Earth Planet. Sci. Lett.*, 263, 104-113 (2007).
Lesparre et al., *Geophys. J. Int.*, 183, 1348-61 (2010).
Cârloganu et al., *Geosci. Instrum. Method. Data Syst.*, 2, 55?60 (2013).
Nishiyama et al., *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 119, doi:10.1002/2013JB010234 (2014, in press).

キーワード: 宇宙線ミュオンラジオグラフィー, 重力異常, 密度, 溶岩ドーム
Keywords: cosmic-ray muon radiography, gravity anomaly, density, lava dome

ミュオンを用いた地下水状態把握のテスト計測の紹介(いくつかの観測結果を含めて) Introduction about test measurement of the muon detection system for monitoring a ground- water (With some observations)

三宮 明^{1*}; 田中 宏幸²; 末永 弘³; 鈴木 浩一³

SANNOMIYA, Akira^{1*}; TANAKA, Hiroyuki²; SUENAGA, Hiroshi³; SUZUKI, Kouichi³

¹ 電源開発株式会社, ² 東京大学地震研究所, ³ 電力中央研究所

¹Electric Power Development Co., Ltd, ²Earthquake Research Institute, U of Tokyo, ³Central Research Institute of EPI

The technique to radiographically image the internal structure of gigantic objects by utilizing muon's significant penetration power (muography) enabled us to investigate the internal structure of volcanoes and the city foundation with higher spatial resolution than possible with the conventional techniques.

This observation technique is applicable to exploring a large-scale civil engineering structure, the internal state of a base rock, etc. However, feasibility of muographic application to monitoring inside the large-scale civil engineering structure has not confirmed yet. Therefore, we decided to carry out test measurements in order to explore the possibility of muography for monitoring groundwater levels.

We are currently investigating the response of the groundwater levels to major rainfall events in the landslide area. We selected this area as an observation area. The measurement was carried out from the inside of a scupper tunnel in the base rock. Our muon detection system consists of plastic scintillator, photomultipliers (PMTs), and a high voltage (HV) power supply.

The muography detector was installed to the observation site in August, 2012 and measurement was started on the same date.

The result will be compared with the independent measurement results of groundwater levels and soil resistivity in order to quantitatively assess the technological limit of muography.

So far, we obtained the preliminary result that showed variations in the penetrating muon intensity; hence the density as a response of major rain fall events by plotting a moving average of the 48-hour observation time at different time intervals of one hour, two hours, three hours, and six hours. It showed a clear rainfall effect when the time interval is 6 hours. The future prospect includes further case studies for different rainfall-underground water coupling scenarios.

キーワード: ミュオグラフィ, ミュオン観測装置, 地下水位, テスト計測, 地すべり

Keywords: muography, muon detection system, groundwater, test measurement, landslide

歴史的考察から得られるギリシア・パルテノン神殿の耐震性能低下の可能性とミュオグラフィによるその評価について
A Historical View on the Degradation on Seismic Performance of The Parthenon, Greece and Muography as the Potential Eval

青木 真兵^{1*}; 田中 宏幸²; 大城 道則³; 山下 真里亜⁴
AOKI, Shimpei^{1*}; TANAKA, Hiroyuki²; OHSHIRO, Michinori³; YAMASHITA, Maria⁴

¹ 関西大学文学部, ² 東京大学地震研究所, ³ 駒澤大学文学部, ⁴ 駒澤大学大学院人文科学研究科

¹Faculty of Letters, Kansai University, ²Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, ³Faculty of Letters, Komazawa University, ⁴Graduate Division of Arts and Sciences, Komazawa University

To reinforce the Parthenon against earthquakes, the process of disassembling and reassembling Doric columns is obligatory. For this, the column strength and durability is required to withstand the reconstruction process. Wooden rods in the dowels of each drum provide the mechanical strength of each column, however some of these rods may have been damaged during the Venetian bombardment of the Acropolis on September 26, 1687. Due to the size of the Parthenon's Doric columns, muography is more appropriate to image the internal structure than conventional radiographic techniques. Muography may be utilized as a non-destructive technique targeting the inside composition of the Parthenon's Doric columns, potentially providing the following information: (1) the durability of the columns against future earthquakes, and (2) the magnitude of the internal damage sustained during the Venetian bombardment. The results of this muographic survey would aid conservator's efforts to protect the Parthenon along with the possibly of applying to other cultural properties. Secondly, the state of the wooden rod inside the column will provide evidence for the time and temperature around the column (based on the geometrical structure and thermal conductivity of the column) which would contribute further evidence to historical discussions particular to the Parthenon, such as estimates of the amount of gun powder stored in the Parthenon by the Ottoman Empire and information on the aforementioned siege. Muography may supplement efforts to preserve and protect the Parthenon as well as contributing to our understanding of the historical events that have occurred in this ancient structure.

キーワード: 歴史的考察, 耐震性能低下, パルテノン神殿, ミュオグラフィ

Keywords: a Historical View, the Degradation on Seismic Performance, the Parthenon, Muography

Geo-neutrinos and reactor anti-neutrinos expected in Daya Bay II and in LENA Geo-neutrinos and reactor anti-neutrinos expected in Daya Bay II and in LENA

BALDONCINI, Marica^{1*}; ESPOSITO, Juan²; LUDHOVA, Livia³; MANTOVANI, Fabio¹; RICCI, Barbara¹; XHIXHA, Gerti¹; ZAVATARELLI, Sandra⁴
BALDONCINI, Marica^{1*}; ESPOSITO, Juan²; LUDHOVA, Livia³; MANTOVANI, Fabio¹; RICCI, Barbara¹; XHIXHA, Gerti¹; ZAVATARELLI, Sandra⁴

¹University of Ferrara, ²INFN, Legnaro National Laboratories, ³University of Milan, ⁴University of Genova

¹University of Ferrara, ²INFN, Legnaro National Laboratories, ³University of Milan, ⁴University of Genova

Geo-neutrinos produced by beta decays occurring in ²³⁸U and ²³²Th decay chains are presently detected via inverse beta reaction in liquid scintillation detectors (KamLAND and Borexino). Geo-neutrinos are a unique direct probe of our planet's interior since they instantaneously bring to the Earth's surface information concerning the total amount and distribution of U and Th in the crust and in the mantle, which are thought to be the main reservoirs of these elements. The geo-neutrino spectrum allows to discriminate the different Th and U components. Measuring geo-neutrino fluxes and spectra can shed light on the radiogenic contribution to the terrestrial heat power and on the Earth's nowadays composition, providing a direct test of the Bulk Silicate Earth models and giving additional constraints on the Earth's evolution models.

A better discrimination among different Earth's global models can be reached combining the results from several sites: new measurements of geo-neutrino fluxes are highly awaited from experiments entering operation, such as SNO+, or proposed to the scientific community, as LENA or Daya Bay II. In particular, LENA and Daya Bay II would provide a substantial increase of the detection sensitivity and of the event rate thanks to their large target masses (50 kton and 20 kton, respectively) compared to the 1 kton mass of KamLAND and SNO+ and to the 0.3 kton of Borexino.

The main background in geo-neutrino measurements is due to the electron anti-neutrinos produced by nuclear power plants, which are the strongest man-made anti-neutrino sources. Many fission products decay through beta processes with the consequent emission of electron anti-neutrinos, the so called reactor anti-neutrinos. The reactor anti-neutrino spectrum covers an energy range extending up to about 8 MeV, which results in a significant overlap between geo-neutrino and reactor anti-neutrino signals in the geo-neutrino energy window (1.8 – 3.3 MeV). The events of reactor anti-neutrinos are strongly dependent on the distance of the closely commercial nuclear power plants. Therefore, a careful analysis of the expected reactor anti-neutrino event rate at a given experimental site is mandatory.

In this framework, we estimate the expected reactor anti-neutrino signals at ongoing geo-neutrino experiments sites, in particular at Pyhasalmi and JUNO (Jiangmen Underground Neutrino Observatory), which are the candidate sites for hosting the LENA and Daya Bay II experiments, respectively. The inputs required to evaluate the reactor anti-neutrino flux come from neutrino properties, nuclear physics in the reactors and features of nuclear power plants. In our calculation we take into account the three neutrino oscillation mechanisms in vacuum, the most updated reactor anti-neutrino spectra and standard fuel compositions. According to the International Atomic Energy Agency (IAEA) database, we use detailed information on the locations and on the monthly time profiles of the thermal power for each nuclear core.

In Table 1 we report the expected geo-neutrino and reactor anti-neutrino signals for different locations, expressed in TNU (Terrestrial Neutrino Units). Nuclear power plants data refer to IAEA database reporting information of year 2012, when all of the Japanese nuclear power plants were still switched off. The ratio between the expected reactor anti-neutrino signal in the geo-neutrino energy window (R_G) and the expected geo-neutrino signal (G) is calculated all over the world in order to produce a R_G/G map. The values of R_G/G for future sites (Pyhasalmi and JUNO) are almost comparable to the operating ones (LNGS and Kamioka), with a slight preference for the Finnish location. The total uncertainty on the reactor signal predictions is on the order of 5%: among all the accounted sources of uncertainties, the ones giving the main contributions originate from the θ_{12} mixing angle, the anti-neutrino spectrum, the fuel composition and the thermal power.

キーワード: geo-neutrino, anti-neutrino from reactor, neutrino detector
Keywords: geo-neutrino, anti-neutrino from reactor, neutrino detector

U02-P05

会場:3階ポスター会場

時間:4月28日 18:15-19:30

Sites	R [TNU]	R_G [TNU]	G [TNU]	R_G/G
LNGS	85.8 ± 4.6	22.8 ± 1.1	$40.3^{+7.3}_{-5.8}$	0.6
KAMIOKA	70.1 ± 3.7	18.7 ± 1.1	$31.5^{+4.9}_{-4.1}$	0.6
SUDBURY	174.6 ± 9.0	43.1 ± 2.1	$45.4^{+7.5}_{-6.3}$	0.9
PHYASALMI	69.2 ± 3.7	17.5 ± 0.8	$45.3^{+7.0}_{-5.9}$	0.4
FREJUS	587.9 ± 31.0	134.0 ± 7.1	$42.4^{+7.6}_{-6.2}$	3.2
HOMESTAKE	27.7 ± 1.5	7.3 ± 0.3	$48.7^{+8.4}_{-6.9}$	0.1
HAWAII	3.4 ± 0.2	0.9 ± 0.04	$12.0^{+0.7}_{-0.6}$	0.1
CURACAO	9.5 ± 0.5	2.5 ± 0.1	$29.3^{+4.2}_{-3.3}$	0.1
JUNO	99.0 ± 5.1	27.4 ± 1.4	$39.7^{+6.5}_{-5.1}$	0.7

Table 1: Comparison between expected reactor (R) and geo (G) antineutrino signal. R_G indicates the reactor signal expected in the geo neutrino energy window ($E_{\bar{\nu}} < 3.26$ MeV). 1 TNU = 1event/year/ 10^{32} protons.

Towards a refined regional geological model for predicting geoneutrinos flux at Sudbury Neutrino Observatory (SNO+)

Towards a refined regional geological model for predicting geoneutrinos flux at Sudbury Neutrino Observatory (SNO+)

STRATI, Virginia^{1*}; HUANG, Yu²; MANTOVANI, Fabio¹; SHIREY, Steven B.³; RUDNICK, Roberta L.²; MCDONOUGH, William F.²

STRATI, Virginia^{1*}; HUANG, Yu²; MANTOVANI, Fabio¹; SHIREY, Steven B.³; RUDNICK, Roberta L.²; MCDONOUGH, William F.²

¹University of Ferrara, ²University of Maryland, ³Carnegie Institution of Washington

¹University of Ferrara, ²University of Maryland, ³Carnegie Institution of Washington

The SNO+ detector is the redeployment of the illustrious Sudbury Neutrino Observatory (SNO) at SNOLAB in Ontario (Canada). After the substitution of heavy water (D₂O) with liquid scintillator (CH₂) inside the inner vessel, in 2014 the 1 kton detector will come on-line and together with KamLAND in Japan and Borexino in Italy will accumulate geoneutrino events. Geoneutrinos are electron antineutrinos originating from beta decays of natural radioactive nuclides in the Earth interior. A fraction of them, generated from ²¹⁴Bi and ²³⁴Pa of ²³⁸U decay chain and from ²²⁸Ac and ²¹²Bi of ²³²Th decay chain, are above the threshold for inverse beta reaction on free protons and can be detected by SNO+. Geoneutrinos are a real time probe of Earth interior, because the flux at the terrestrial surface depends on the amount and distributions of U and Th in the Earth's reservoirs. To extract global information such as terrestrial radiogenic heat power or to test compositional models of the Bulk Silicate Earth (BSE), the regional contribution to the geoneutrino signal has to be controlled by study of regional geology.

We present the 3-D refined geological model of the main reservoirs of U and Th in the regional crust extended for approximately 2×10^5 km² around SNOLAB, including estimates of the volumes and masses of Upper, Middle and Lower crust, together with their uncertainties. According to the existing global reference model (Huang et al., 2013), this portion of the crust contributes for 43% of the total expected signal at SNO+. The remaining contributions come from the far field crust (34%), from continental lithospheric mantle (5%) and from the mantle (18%). Since SNO+ will accumulate statistically significant amounts of geoneutrino data in the coming years, the calculated signal that is predicted to be derived from the lithosphere can be subtracted from the experimentally determined total geoneutrino signal to estimate the mantle contribution.

The main crustal reservoirs are modeled by identifying three main surfaces: the Moho discontinuity, the top of the Lower Crust and the top of the Middle Crust. About 400 depth-controlling data points obtained from deep crustal refraction surveys and from teleseismic receivers are the inputs for the spatial interpolation performed with the Ordinary Kriging estimator. This method takes into account the spatial continuity of the depths and it provides the uncertainties of the crustal volumes. The Upper Crust is further modeled in detail combining information from vertical crustal cross sections and Geological Map of North America at 1:5,000,000 scale. Seven sub-reservoirs with distinctive characteristics lithologies, metamorphism, tectonic events and chemical composition are identified. The density and the abundances of U and Th in the seven sub-reservoirs are evaluated from the published litho-geochemical databases, including analyses of representative outcrop samples. The Middle and Lower Crust densities and radioactivity contents are evaluated from seismic constraints.

The numerical 3D model consists of about 9×10^8 cells of 1 km \times 1 km \times 0.1 km dimensions. For each of them geophysical information, such as latitude, longitude, depth and reservoir type, are combined with estimates of the U and Th abundances to predict the geoneutrino signal at SNO+ originated from the regional crust. The total geoneutrino signal at SNO+ is about 12% less than that calculated using the global reference model (Huang et al., 2013).

キーワード: geoneutrinos, SNO+, uranium, thorium, geological modeling

Keywords: geoneutrinos, SNO+, uranium, thorium, geological modeling

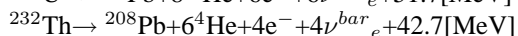
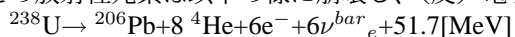
地球ニュートリノの測定精度向上に向けたカムランドのアップグレード計画 Upgrade plan of the KamLAND detector for improvement of sensitivity to geo-neutrino

小原 脩平^{1*}
OBARA, Shuhei^{1*}

¹ 東北大ニュートリノ科学研究センター
¹ RCNS, Tohoku University

素粒子の一種であるニュートリノは、弱い相互作用を通してのみ他の粒子と反応する。東北大 RCNS は、大型ニュートリノ検出器 KamLAND を用いてニュートリノ科学について研究している。地球内部の放射性熱源の推定や地球モデルの構成元素への制限をするには、地球内部で起こるベータ崩壊によって生じる地球ニュートリノを測定することが唯一の方法である。

KamLAND 検出器は低エネルギーの反電子ニュートリノを検出することが可能な点が特徴である。²³⁸U や ²³²Th などの放射性元素は以下の様に崩壊し、(反)電子ニュートリノ(地球ニュートリノ)を放出する。



地球ニュートリノを測定することで、放射性熱源について直接知ることができる。実際に KamLAND は過去に地球ニュートリノの測定を通して結果を出していて、²³⁸U や ²³²Th による放射性熱源が $20.1_{-9.1}^{+9.1}$ TW であるとの推定を行った。これは地球の全熱流量である 44 ± 1 TW よりも明らかに小さい結果である。

KamLAND 検出器の感度上昇を目標として、アップグレード計画(KamLAND2)が進行中である。例えば、大光量液体シンチレータ、集光ミラー、高量子効率の光電子増倍管(PMT)、カメラ、光るフィルムなどが挙げられる。

KamLAND2 実験においてはエネルギー及び位置分解能の向上が見込まれていて、これによって地球ニュートリノがより高い精度で、かつ多くの統計を得ることが可能となる。すなわち、モデルの検証や ²³⁸U と ²³²Th 比を求めるための精度があがる。

本講演では将来計画とその R&D に関して発表する。

Keywords: geo-neutrino

カムランドにおける次期エレクトロニクス The next-generation KamLAND electronics

林田 眞悟^{1*}
HAYASHIDA, Shingo^{1*}

¹ 東北大学ニュートリノ科学研究センター

¹ Research Center for Neutrino Science, Tohoku University

KamLAND was constructed to detect the low energy anti-neutrinos. And then, KamLAND detected reactor neutrinos and solved solar neutrino problem on 2003. And furthermore, KamLAND detected geo-neutrinos for the first time in the world on 2005. Currently, KamLAND has already been beginning to search several new physics. However, searching new physics in the detector of 10 years ago is difficult. So, it is necessary to update the detector. We are planning to update the KamLAND. As this updating, KamLAND electronics will be renewed using the latest technologies. The next-generation KamLAND electronics will certainly contribute to geoscience.

Keywords: Neutrino detector, Data taking, electronics

イメージング検出器 Imaging detector

三井 唯夫^{1*}
MITSUI, Tadao^{1*}

¹ 東北大ニュートリノ科学研究センター
¹ RCNS, Tohoku University

地球ニュートリノは、地球の熱源の約半分を占める放射性元素（ウラン、トリウムなど）から放出され、ニュートリノの透過力の高さから、マントル内部の寄与も観測できる可能性がある。2005 年に、1 キロトン液体シンチレータ検出器「カムランド」（岐阜県飛騨市）で地球ニュートリノが初めて観測されて以来、地球の熱源を探る新たな観測手段として注目されている。現在では、イタリアの液体シンチレータ検出器「ボレキシノー」も加わり、「2 点観測」を行っているが、観測点がまだ不足していることに加え、ニュートリノの到来方向を測定できていないことが、データの精密化の障壁となっている。我々は、地球ニュートリノの到来方向測定のための新たな検出器開発を進めており、カムランドへの実装を目指している。地球ニュートリノ検出の際に放出される中性子の放出方向を検出するため、中性子捕獲断面積の大きいリチウム 6 を溶かし込んだ液体シンチレータの開発、中性子捕獲位置を精密測定するため、液体シンチレータを撮影するイメージング検出器の開発などを行い、それらを組み合わせて地球ニュートリノの方向検出を目指している。本ポスターでは、イメージング検出器について解説する。シンチレータの微弱な発光を 1 光子単位で検出し、発光点を精度よく決定するため、受講面積が大きく収差が小さい光学系、量子効率が高く、位置分解能にすぐれた光検出器を組み合わせる必要がある。現在、もっとも有望な設計として、直径 50 cm のミラーを用いた光学系と、256 チャンネル・マルチアノード光電子増倍管を組み合わせたデザインを中心に、開発状況、実装計画、期待される成果を述べる。

キーワード: ニュートリノ, 地球ニュートリノ, 放射性熱源
Keywords: neutrino, geo-neutrino, radiogenic heat source

方向検出のためのリチウム液体シンチレーターの開発 Li loaded liquid scintillator for directional measurement

白旗 豊^{1*}
SHIRAHATA, Yutaka^{1*}

¹ 東北大ニュートリノ科学研究センター
¹ RCNS, Tohoku University

現在の液体シンチレータを用いた電子型反ニュートリノの検出では、陽子による逆 β 崩壊反応により放出される陽電子と中性子の遅延同時計測によって強力なバックグラウンド除去を行うことが出来る。そしてそれによって低エネルギー領域での電子型反ニュートリノの観測を行うことが可能となっている。

その反面現存する検出器では水チェレンコフ法のように電子型反ニュートリノの飛来方向を知ることが出来ない。しかし、陽電子の反応点と中性子の捕獲点を観測することによって電子型反ニュートリノの飛来方向を知ることが可能である。低エネルギーにおけるニュートリノの飛来方向の観測が可能になればニュートリノを観測対象ごとに区別することができるようになり、従来の観測よりもさらに高い精度での観測が出来ると期待される。

液体シンチレータによって電子型反ニュートリノの飛来方向を検出するためには、次の三つの問題を解決することが重要である。それは方向情報を失う前に中性子を捕獲すること、中性子捕獲反応点で発光現象を起こすこと、そしてその発光点を高い位置分解能で検出する装置を作ることである。

現在の液体シンチレータでは逆 β 崩壊により放出される熱中性子が陽電子により捕獲されるまでに平均 200 μ s かかり、陽電子によって捕獲された際に放出されるエネルギーは 2.2MeV の γ 線になってしまう。これでは、放出される熱中性子は十数 cm 拡散し位置情報はぼやけてしまい、2.2MeV の γ 線は約 40cm も移動するために中性子吸収点を特定することが出来なくなってしまふ。今回、この問題を解決するために中性子捕獲断面積が 940barn で陽子の 0.3barn に比べて非常に大きく、中性子捕獲時に液体シンチレータ中を長距離移動出来ない α 線を放出する ${}^6\text{Li}$ を導入した液体シンチレータを開発した。この新しい液体シンチレータにより上記の二つの問題点を解決し、同時に開発中である高い位置分解能で発光点を検出する装置と組み合わせることによって電子型反ニュートリノの飛来方向を検出することが出来ると期待される。

本講演では独自の方法で開発したリチウム含有液体シンチレータについて講演する。

キーワード: 地球ニュートリノ
Keywords: geo-neutrino

大型ニュートリノ実験による地球トモグラフィ Tomography of the earth with large-scale neutrino experiments

保科 琴代^{1*}
HOSHINA, Kotoyo^{1*}

¹ 東京大学地震研究所, ²Wisconsin IceCube Particle Astrophysics Center

¹Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, ²Wisconsin IceCube Particle Astrophysics Center

Experimental techniques to study inside of the Earth have been developing remarkably in the past decades. For example, in-situ x-ray diffraction measurements under high-pressure and high-temperature opened new era for studying about possible chemical components and structures of deep Earth. In the next ten years, we will obtain yet another technique for direct measurements of the Earth's interior.

Probing inner structures of the Earth with neutrinos has been discussed for more than 30 years. Neutrinos are chargeless particles and have very small cross-sections. They normally penetrate the Earth without any interaction, and from the rare interactions that do occur we obtain information on the density profile of the Earth's interior. However, the elusive characteristic of neutrinos poses a challenge for detecting them at experimental sites. To compensate for the small interaction cross-section, one needs a large volume neutrino detector.

The IceCube[1] neutrino observatory, completed in 2011 and has 1 cubic kilo-meter volume of detector size, is a possible candidate for this study. Current status of a study for measuring the core density of the Earth with atmospheric neutrino will be presented.

Another characteristic of neutrino is that they change their flavor periodically (neutrino oscillation). These oscillation patterns are affected by the density profile of electrons along the path of the neutrino. Comparisons between the Earth's mass-density profile and the electron-density profile give us ratio profiles of atomic number vs mass number (A/Z), which contains information of chemical composition of the Earth.

It is crucial to use a specific energy range for source neutrinos in order to perform the neutrino oscillation tomography. For Earth's core, the energy range is $\sim 1\text{GeV}$ to 30GeV . To detect the GeV-range neutrinos with sufficient statistics, next-generation experiments Hyper-Kamiokande[2] and PINGU[3] have been proposed. Possible discrimination powers of some chemical models of the Earth's core will be discussed.

Fig.1

Left: Exclusion of a pyrolite core model with respect to a pure iron core a time range of ten years. Right: The accuracy, measured in units of sigma, of the Z/A measurement for the assumption of an iron core. Calculated for PINGU[3].

References

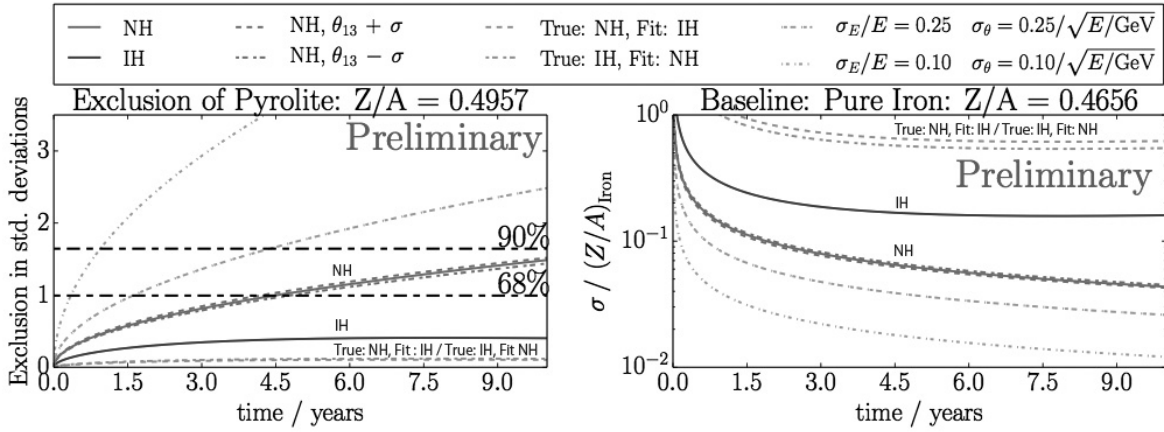
1. IceCube Collaboration, *Astroparticle Physics* 26, 155(2006)
2. LoI: The Hyper-Kamiokande experiment, arXiv:1109.3262(2011)
3. LoI: The Precision IceCube Next Generation Upgrade, arXiv:1401.2046 (2014)

キーワード: ニュートリノトモグラフィ, ニュートリノグラフィ, アイスキューブ
Keywords: neutrino tomography, neutrino radiography, IceCube

U02-P11

会場:3 階ポスター会場

時間:4 月 28 日 18:15-19:30



多層式ミュオグラフィ検出器による有珠山の内部構造探査 Muographic imaging of Usu volcano with a multilayer detector

草茅 太郎^{1*}; 田中 宏幸¹; 大島 弘光²; 前川 徳光²; 横山 泉³

KUSAGAYA, Taro^{1*}; TANAKA, Hiroyuki¹; OSHIMA, Hiromitsu²; MAEKAWA, Tokumitsu²; YOKOYAMA, Izumi³

¹ 東京大学地震研究所, ² 北海道大学大学院理学研究院, ³ 日本学士院

¹Earthquake Research Institute, University of Tokyo, ²Graduate School of Sciences, Hokkaido University, ³The Japan Academy

Usu volcano is one of the most active volcanoes in Japan and has erupted for four times in the recent 100 years (1910, 1943, 1977-1978 and 2000). In the 1977-1978 eruption, 18 craterlets and a U-shaped fault were formed in the summit crater. The eruption also caused the deformation in the summit crater area with a diameter of 1.8 km and formed an upheaval called Usu-Shinzan.

Preceding studies suggested that the cooling magma intrusion with a height of 600 m and a width of 300 m was located below the Usu-Shinzan by magnetotelluric soundings (e.g. Ogawa et al., 1998, Matsushima et al., 2001). And Yokoyama and Seino (2000) built a tilt model to interpret the formation of Usu-Shinzan. In this model, a block with a width of 800 m tilted approximately 11° on a pivot at a depth of 800 m. So, in the present work, we conducted the muographic imaging (radiography with cosmic-ray muon) of Usu volcano to confirm the existence of magma intrusion beneath Usu-Shinzan.

But there is the issue of background (BG) noise of muographic imaging for a large volcano (>1 km thick). Since the integrated intensity of traversing cosmic-ray muons steeply decays as a function of the thickness of the target, the signal-to-noise (S/N) ratio also decreases seriously as the size of target becomes larger, and thus the density distribution cannot be accurately measured at a large volcano. The background (BG) noise that reduces the S/N ratio mainly consists of the fake tracks that are generated by the accidental coincidence of the electromagnetic (EM) shower particles. The values of BG noise were $10^{-6} \text{ cm}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ s}^{-1}$ (Lesparre et al., 2012) and $10^{-7} \text{ cm}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ s}^{-1}$ (Carloganu et al., 2013). BG noise of $10^{-7} \text{ cm}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ s}^{-1}$ corresponds to integrated cosmic-ray muon intensity after traversing 1 km of 2.65-g cm^{-3} rock.

In order to solve this problem, we developed a novel muon detection system that consists of multiple layers of position sensitive detectors (PSDs) in conjunction with a trajectory analysis method to effectively reduce the BG noise. In this method, the EM shower-originated fake tracks are rejected by requesting a linear trajectory for a muon event (linear cut method) since EM shower particles randomly hit each PSD layer and make a non-linear trajectory in the detection system. This detection system was applied to Usu volcano, Hokkaido, Japan to image its internal density structure (the spatial distribution of the density). In this measurement, we utilized a muon detection system that consisted of 7 layers of PSDs. One PSD consisted of x- and y- arrays of plastic scintillator strips with an active area of 1.21 m² and a segmented area of 10x10 cm². The angular resolution was +/- 3°. The measurement duration was 1977 hours (82 days).

In this measurement, we compared the integrated cosmic-ray muon intensity traversing 2500 m of 1.5-g cm^{-3} rock with observed data at an elevation angle of 55.6 mrad. Assuming that the residual between the calculated intensity and data is BG noise, we obtained the BG noises of $5.4 \times 10^{-5} \text{ cm}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ s}^{-1}$ with two PSDs and $1.9 \times 10^{-6} \text{ cm}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ s}^{-1}$ with seven PSDs. The multilayered muon detector was effective to reduce the BG noise. However, BG noise remains and they may be attributed to another source of BG noise such as upward-going particles (Jourde et al., 2013). This measurement yielded the following results: (A) by analyzing the region that has a thickness of more than 1000 m, we confirmed that our detection system is sensitive to a density variation of 10% in 1300-m rock; and (B) there are high- and low-density anomalies beneath between Oo-Usu and Usu-Shinzan peaks, which is consistent with the magma intrusion and the resultant fault generation suggested by Yokoyama and Seino (2000), Ogawa et al. (1998) and Matsushima et al. (2001).

For the future prospect, we will try to use the shield in order to distinguish the upward-going particles from muons arriving from a volcano side.

キーワード: ミュオグラフィ, ミュオン, ラジオグラフィー

Keywords: muography, muon, radiography

PEPSの発展への期待 Expecting great development of PEPS

津田 敏隆^{1*}
TSUDA, Toshitaka^{1*}

¹ 京都大学生存圏研究所

¹ Research Institute for Sustainable Humanosphere (RISH), Kyoto University

JpGUがジャーナルを発行することは、連合大会開催と並んで、公益法人としての責務であると考えています。そのため、JpGU参加学協会との共存共栄の理念を基本に、この3年間余りにわたり多くの関係者と議論を続けて参りました。その結果、独自のオープンアクセス電子ジャーナルとして“Progress in Earth and Planetary Science”を発行することになりました。また、JSPSの研究成果公開促進費「国際情報発信強化」の予算が、2013年度から5ヶ年にわたり措置されることになり、経営基盤も充実してきました。

本事業を推進するため、JpGUは「ジャーナル企画経営委員会」と「ジャーナル編集委員会」を設置しました。前者は、JpGUのジャーナル出版事業の全体（方針、企画、財政など）に関する長期的な戦略を検討します。出版事業の将来展開について、参加49学協会との議論を踏まえて、地球惑星科学の学界全体の情報発信力の強化に向けた方策を検討します。なお、ジャーナル出版に見識のある方を委員として招請し、分野外からの意見にも耳を傾けるように努力します。

一方、「ジャーナル編集委員会」は、ジャーナル発行に関する実質的な業務である原稿収集・受付、査読・審査・受理、出版を行います。これには、国内外から多くの編集者が参加しています。

JpGU参加49学協会総てのご協力を基に、全会員の財産として新ジャーナル「Progress in Earth and Planetary Science」を育てていきたいと考えています。是非とも、会員諸氏がベストと思われる研究成果をご投稿下さることをお願いいたします。また、将来の発展に向けて皆様のご理解とご支援をお願い申し上げます。

キーワード: オープンアクセス, 電子ジャーナル, PEPS
Keywords: open access, e-journal, PEPS

物理系学術誌におけるオープンアクセス、歴史と現在 Open Access Issues in Physics Journals

植田 憲一^{1*}

UEDA, Ken-ichi^{1*}

¹ 電気通信大学 レーザー新世代研究センター

¹Institute for Laser Science, University of Electro-Communications

[物理系学術誌と arXiv, INSPIRE, SCOAP3]

物理系学術誌は学術情報、論文のオープンアクセスについて長い歴史を持っている。物理論文の評価基準そのものが、人類に新しい知識を提供しているかどうかで判定される以上、論文を広く公開することは当然とされ、出版に先立ってプレプリントを研究者仲間、競争相手に送りつける文化がある。研究活動そのものが研究者間の競走であると同時に、共同作業でもある。そのような背景文化の下、arXiv, INSPIREなどを生み出し、その延長としてのSCOAP3がある。巨大加速器で推進する高エネルギー物理実験グループのサポートのもと、世界に分散する理論研究者の論文投稿料を含めて、無料投稿、無料購読を提案する野心的な計画で、高エネルギー分野に特化した計画として、IUPAP WGでもサポートしてきた。予算のRedirectionを大胆に打ち出した点で注目される。現在は欧州の大きな負担でスタートしつつあるが、Sustainableにするためのさらなる工夫が必要となるだろう。

[論文の社会的公開と Public Access]

論文の社会的公開については、公共図書館、高校図書館に対する無料公開であるPublic AccessやICTP (International Center of Theoretical Physics)を通じた開発途上国への無料論文提供は1990年代から実施されている。少なくとも米国内では、公共図書館、高校図書館に出かけるというバリアがあるだけで、物理論文は全国民に対して無料公開が実現されている。パキスタン出身のサラムを記念して設立されたICTPはユネスコ、イタリア政府のサポートを受けながら、開発途上国の研究者、教育者に対して、ほとんどの物理系論文の無料提供をきちんとした登録管理のもとで行っており、世界の物理系学会、民間出版社が協力している。

[無料購読モデル vs 無料投稿モデル]

Gold OAについても、先頭を切っているといえるかもしれない。1997年には最初のGold OAジャーナルであるOptics Express (OSA), NJP (IOP)が刊行され、Sustainable Modelを実証した。Sustainable Modelとは経済的に成立するだけではなく、論文品質でも分野トップを両立させたことを意味している。ただし、その背景には、ジャーナル創刊グループの異常な努力があったこと、優れたフォーマットの結果、論文掲載決定後、投稿料のクレジット支払いと同時に、即時オンライン出版されるなど、新しい時代の出版を実現した点にある。APSのPhysical Review Xは別のScopeで始まり、Gold OAについてもその展望は一樣ではない。その一方、APSのPR Seriesでは電子出版に対する適応力の高さを活用し、電子出版技術の利益を著者サービスに集中して、実質的に著者負担金ゼロの条件を実現した。これにはPR Seriesの図書館購読努力と同時に、WTO加盟による中国からの図書館購読料収入の増加が大いに寄与している。昨今のOA化論議では、無料購読に重点が置かれているが、学術活動の活性化、学術出版の将来像を模索する点からいえば、著者支援の視点にも配慮し続けてきたのが、物理系学術誌のOpen Access化活動といえよう。誤解を恐れずいえば、購読料を無料にするために、物理論文の60%を出版するPR seriesの無料投稿を廃止して、著者負担金モデルに転換することは不可能といえよう。

[OA化をめぐるこれからの試行錯誤]

OAジャーナルの刊行目的そのものを問い直しながら試行錯誤を続けている。物理系の場合、世界のトップ学会がOAジャーナルを通じて新しい質を持ったトップジャーナルを作ろうとして努力してきた。その品質保持には学会、研究者の誇りをかけて努力してきた。しかし、Gold OAジャーナルは論文の掲載数が出版組織の収入に直結するメカニズムを持っており、自動的に品質を高めようというフィードバック機構を内在していない。容易に低品質化を生むシステムだということも指摘しておかねばならない。物理系学術誌のこれまでの経験からいえることは、今後も、分野、出版母体、各国の事情によって、多種多様な方向性がありえて、成功モデルに追随したとしても決して同じ結果は生まれないということである。日本の学術コミュニティが、自らの学術活動の現状と将来を展望して、自分で新しいOAモデルを発明することを望みたい。自ら決定するという学問の意識なしにOA化すれば、世界から注目されることはない。ただひとつ、明らかなことは、単独の学会、単独の分野だけで成功することは難しい。日本の学術土壌そのものが醸しだされる舞台を用意することが、学術出版の目的である。

U03-02

会場:メインホール

時間:5月1日 14:20-14:45

キーワード: オープンアクセス学術誌, IUPAP WG, Gold OA, Public Access, 購読料モデル, 著者負担金
Keywords: Open Access Journals, IUPAP WG, Gold OA, Public Access, Subscription Model, Author fee

学術情報のオープン化と科学データ Open Access to Academic and Scholarly Information and Scientific Data

村山 泰啓^{1*}
MURAYAMA, Yasuhiro^{1*}

¹ 情報通信研究機構

¹National Institute of Information and Communicatoin Technology

学術情報は、広い意味での科学、人文学の情報基盤であると考えれば、17世紀の学術ジャーナル *Philosophical Transactions* の成功から始まる学術情報、つまり論文の公開と共有は、近代科学が現代社会を構成する重要な要素となるために大きな役割をはたしてきたと言ってよいのではないだろうか。一方で、現代の科学技術研究においては論文だけで表現しきれない数値データ、3次元空間情報、音声、動画、などなどがデジタルメディアとして研究の発展と検証を支える重要な学術情報として国際的にも認識されるようになってきている。ジャーナルのオープンアクセス化が、印刷文化から電子メディア上への学術情報基盤の移行に相乗りした情報共有と科学技術の発展とイノベーションのための一助であるとするれば、上記のような研究データ類のうち、公開して共有すべきものも文献類と同じく情報基盤として整備される必要がある。2013年のG8首脳会合およびG8国科学大臣・アカデミー会長会合においてオープンデータおよび研究データのオープン化の原則的認識が共有され、ICSU-WDS (World Data System) のようなアカデミーサイドからの科学データの保全と共有・利活用、RDA (Research Data Alliance) のような政府関係の議論のある科学技術情報インフラのための活動、など多方面からの研究データの共有化の議論が進展しつつある。その一例として、共有されたデータに国際共通の恒久的識別子 (Persistent identifier; 実際には DOI などが用いられる) を付与して、論文出版とデータ出版をリンクさせるデータ引用 (data citation) の活動が、Thomson Reuter, Elsevier, Wiley など学術出版社と WDS, RDA, DataCite, ICSTI, Force11 などの国際組織によって積極的に進められつつある。データの保存・公開・審査/評価など多くの課題が残されているが、文献中におけるデータセットの DOI 引用を論文の DOI 引用と同レベルの学術業績評価に用いる議論などをふくめて、種々の困難を乗り越えて「データ出版」の概念が論文とともに成立するかどうか、今後の発展が待たれるところである。

キーワード: オープンデータ, 科学データ, ICSU-WDS, RDA, G8
Keywords: Open Data, Scientific Data, ICSU-WDS, RDA, G8

学術出版コンソーシアム設立に向けて-UniBio Pressの活動 Toward the Founding of a Scholarly Publishing Consortium: UniBio Press Activities

永井 裕子^{1*}
NAGAI, Yuko^{1*}

¹ 日本動物学会
¹The Zoological Society of Japan

日本学術会議科学者委員会学術誌検討分科会が平成 22 年 8 月に提言を行った学術出版コンソーシアム設立を目指す NPO 法人 UniBio Press の活動について発表する。UniBio Press は 8 学会との連携により、国際情報発信強化 (A) の採択を受け、参加学会はもちろん、日本の学会間の情報共有の場を創生すべく、この 1 年活動を行った。

キーワード: 日本学術会議, 学術出版, コンソーシアム, ユニバイオプレス
Keywords: the Science Council of Japan, Scholarly Publishing, Consortium, UniBio Press

欧文学術誌「Earth Planets and Space」の刷新と今後の展望 Renovation and future perspective of journal "Earth, Planets and Space"

小田 啓邦^{1*}; 小川 康雄²
ODA, Hirokumi^{1*}; OGAWA, Yasuo²

¹ 産業技術総合研究所, ² 東京工業大学

¹National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, ²Tokyo Institute of Technology

欧文学術誌*Earth, Planets and Space*(EPS 誌)は地球電磁気・地球惑星圏学会,日本地震学会,日本火山学会,日本測地学会,日本惑星科学会の5学会によって共同出版されている地球惑星科学分野のジャーナルである。EPS 誌は*Journal of Geomagnetism and Geoelectricity*および*Journal of Physics of the Earth*の2誌の後継誌として1998年に創刊された。EPS 誌では5学会のカバーする地球電磁気学・超高層学・宇宙科学・地震学・火山学・測地学・惑星科学を中心とした論文の投稿を受け付けている。EPS 誌は平成25年度の研究成果公開促進費「国際情報発信力強化」で5年間の出版事業計画が採択され、2014年1月から全ての論文のオープンアクセス出版が実現した。今後の方針として、EPS 誌は国際情報発信力を高めながらLetterを重点化し、2016年1月から日本地球惑星科学連合と共同で出版を行う予定である。発表では、平成25年度に行われた出版社変更とオープンアクセスへのビジネスモデル転換を中心とした事業内容の紹介を行うと共に、今後の展望について紹介させていただく。

キーワード: Earth, Planets and Space, オープンアクセス, 研究成果公開促進費, ビジネスモデル転換, 学術出版社, 学術情報発信

Keywords: Earth, Planets and Space, open access, Grant-in-Aid for Publication of Scientific Research Results, business model transition, academic publisher, scholarly communication

雑誌「Progress in Earth and Planetary Science」の編集と目指すもの Editorial policy and goal of Progress in Earth and Planetary Science

井龍 康文^{1*}

IRYU, Yasufumi^{1*}

¹Progress in Earth and Planetary Science 総編集長

¹General Chief Editor, Progress in Earth and Planetary Science

We at the Japan Geoscience Union (JpGU) launched a new open access e-journal called Progress in Earth and Planetary Science (PEPS) in October 2013. As its name suggests, the purpose of this journal is to publish papers that present new discoveries, ideas and unifying concepts in the various fields of earth and planetary sciences (space and planetary sciences, atmospheric and hydrospheric sciences, human geosciences, solid earth sciences, and biogeosciences). In addition to normal research papers and review articles we would also like to publish material based on the best presentations given at the JpGU Annual meetings, and we have asked and will ask session conveners from the meetings to recommend those presentations that they consider to be the most scientifically interesting.

Because PEPS is an open access journal, the following benefits can be provided to authors:

- All articles published by PEPS are made freely and permanently accessible online immediately upon publication, without subscription charges or registration barriers.
- Authors of articles published in PEPS are the copyright holders of their articles and have granted to any third party, in advance and in perpetuity, the right to use, reproduce or disseminate the article.

The authors will benefit from the e-journal as follows:

- No restrictions or limitations for pages, figures, tables, or additional files to enrich the content, including videos, animations, and large original data files.
- No cost for color figures/pictures.
- Fast publication?generally papers/articles can be published 3?4 months earlier in e-journals than in standard print publications.

By taking these advantages, we intend to make PEPS a top-level international journal, and therefore all submitted papers (including invited papers) will go through a full peer review process. In order to publish high level research papers and review articles, we have organized a strong editorial board composed exclusively of active scientists and asked them to ensure that the refereeing process is strict as well as fair.

The PEPS editorial team works and will work hard for PEPS. However success of this journal relies primarily on whether JpGU members submit many high quality manuscripts or not. We earnestly wait for your submission to PEPS.

キーワード: Progress in Earth and Planetary Science, 編集方針, オープンアクセス, 電子ジャーナル

Keywords: Progress in Earth and Planetary Science, Editorial policy, Open access, E-journal

日本地球惑星科学連合による「Progress in Earth and Planetary Science」の創刊 Publication of Progress in Earth and Planetary Science by JpGU

川幡 穂高^{1*}
KAWAHATA, Hodaka^{1*}

¹ 東京大学大気海洋研究所

¹ Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo

地球惑星科学に関する研究の発展を目指し、国際的なコミュニティーへの情報発信を通じて地球惑星科学の学術への発展に貢献するために、電子版欧文学術誌（ジャーナル）「Progress in Earth and Planetary Science」の発行活動を積極的に行う。この創刊された連合新規ジャーナルオープン・アクセス（OA）電子ジャーナルを通じて、さらに国際情報発信力強化を行っていく。公益社団法人日本地球惑星科学連合の本予算および日本学術振興会からの科学研究費補助金（研究成果公開促進費）を有効に活用して、趣旨にあうように幾つかの促進項目を推進する予定である。具体的には、①2014 連合大会の多角的・統合的な成果の発表の中からコンビナー推薦の優秀発表への投稿依頼、②ジャーナル国際セッションによる旅費の支援と原稿依頼、③ジャーナル国際シンポジウムによる旅費の支援と原稿依頼、④サイエンス・セクションからのジャーナル執筆以来などを行う。また、広く新ジャーナルの認知を得るために広報活動にも努める。特に、AGU, EGU, AOGS などの国際会議へのブース出展やパンフレットへの広告掲載を行うなど新ジャーナルを広く周知する取組を行う。さらに、連合大会と連携した海外情報発信強化・引用促進のアピールサイトの準備をおこなう。

キーワード: 日本地球惑星科学連合, オープン・アクセス（OA）電子ジャーナル, Progress in Earth and Planetary Science, 地球惑星科学, 参加学協会, 日本学術振興会

Keywords: JpGU, open access e-journal, PEPS, earth planetary science, Participating society, JSPS

航空機観測による大気科学・気候システム研究の推進-日本学術会議への日本気象学会の提案- Promotion of Scientific Research on Atmosphere and Climate System Using Aircrafts: Proposal of MSJ to SCJ

新野 宏^{1*}; 近藤 豊²; 佐藤 正樹¹; 小池 真²
NIINO, Hiroshi^{1*}; KONDO, Yutaka²; SATOH, Masaki¹; KOIKE, Makoto²

¹ 東京大学大気海洋研究所, ² 東京大学大学院理学系研究科

¹ Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, ² Graduate School of Science, The University of Tokyo

航空機による地球観測は、人工衛星観測、地上観測と並ぶ地球観測の3本柱の1つとして、大気科学および幅広い地球科学の研究コミュニティで長年にわたりその必要性が議論されてきた。特に最近、日本気象学会（以下気象学会）では学術委員会内に「航空機観測に関する検討部会（部会長 近藤豊（東大院・理）」を設置し、2年間にわたり検討を進めてきた。部会では、これまでの我が国の航空機観測の実績、国際的な航空機観測の状況、地球科学（特に大気科学分野）において航空機観測が必要とされる課題、我が国の現状、若手研究者の育成の必要性、予想される成果、人工衛星・地上観測との連携、実施体制や運用形態などについて、様々な観点から議論が行われた。2012年9月にはこれらの議論を集約した報告書「地球環境変動の研究と自然災害現象の実態とメカニズムの解明のための航空機の利用に関する提案」（http://www.metsoc.or.jp/cgi-bin/kokuki_iken/ikenboshu1_report.pdf）を取りまとめた。この報告書の内容は気象学会の学術委員会および理事会で承認され、計画の実施が推奨された。また地球惑星科学連合に参画する学協会である日本大気化学会（当時、大気化学研究会）運営委員会でも、報告書の内容が検討され、承認された。

このような準備・議論を背景として、気象学会は日本学術会議が公募した第22期学術の大型施設計画・大規模研究計画に関するマスタープラン「学術大型研究計画」に「航空機観測による大気科学・気候システム研究の推進」を提案した。その内容は以下の通りである。

本研究計画の目的は、地球観測研究専用の航空機を導入し、大気科学・気候システム研究を飛躍的に推進することである。地球温暖化を含む地球環境の変動が急速に進行し、人間の経済社会活動や水・食糧供給など生活の基盤に大きな影響を与えつつある。このため地球環境変動の現状を把握し将来を予測し、対策を講じることが重要である。文部科学省科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会の地球観測推進部会がまとめた「我が国における地球観測の実施方針」においては緊急に解明すべき問題として、温室効果気体の循環、雲物理・降水過程、対流圏大気の変化、極域の気候変化、水循環の変動などが挙げられている。

これらの地球環境問題に対応するには、地上からの観測ばかりでなく航空機を用いた地球観測システムの構築と、そのための広い分野の研究者が長期的な視点から利用できる航空機の運用体制を確立することが必要である。先端的な計測器を用いた航空機による直接観測は、測定項目、精度、時空間分解能の点で優れている。地球規模での観測では人工衛星も重要な役割を果たしているが、航空機観測と人工衛星の観測を組み合わせることにより大きな相乗効果が生じる。

また、地震・津波・洪水などの自然災害や原発事故・海洋汚染などの深刻な事故が起きている。このような災害・事故の際に、的確な観測器を搭載して機動的に観測できる体制を構築することが急務である。これにより迅速な対策を講じることが可能になる。

日本が知的リーダーシップを取り、諸外国の研究者と共同してアジアの環境問題の研究を推進するためには、共同利用できる航空機観測の研究基盤を安定的に供給することが必要である。また、共同利用のための航空機は最先端の測定機器（人工衛星搭載センサーを含む）の継続的な開発・試験のための重要なプラットフォームとなり、将来の航空機観測を担う若手研究者の育成にも不可欠である。これらの目的を達成するために、我が国独自の観測専用機を保有／占有し、大学や各種機関が中心となるボトムアップの共同利用組織により、大気科学を推進するシステムの構築が必要である。今後は、大気科学を中心とした研究課題の内容を深めるとともに、より広い地球科学分野における利用も含めて、計画を充実していく必要がある。

キーワード: 大気科学, 気候システム, 航空機, 日本気象学会, 日本学術会議, 大型研究計画マスタープラン

Keywords: Atmospheric Science, Climate System, Research Aircrafts, Meteorological Society of Japan, Science Council of Japan, Master Plan of Large Research Projects

航空機を利用した大気中温室効果ガスの長期観測 Long-term Observation of Atmospheric Greenhouse Gases using Aircraft

町田 敏暢^{1*}; 松枝 秀和²; 澤 庸介²; 森本 真司³; 青木 周司³
MACHIDA, Toshinobu^{1*}; MATSUEDA, Hidekazu²; SAWA, Yousuke²; MORIMOTO, Shinji³; AOKI, Shuji³

¹ 国立環境研究所, ² 気象研究所, ³ 東北大学大学院理学研究科

¹National Institute for Environmental Studies, ²Meteorological Research Institute, ³Graduate School of Science, Tohoku University

二酸化炭素 (CO₂) などの温室効果ガスの将来濃度を正確に予測するためには、これらのガスの全球循環を定量的に理解する必要がある。大気中温室効果ガスの空間分布や時間変動の把握は、地球表層からの発生量・吸収量の推定誤差を低減するための方法の一つである。しかしながら世界には未だにいくつかの大気観測の空白域が存在し、特に上空の観測は地上での観測に比べて極めて少ないのが現状である。

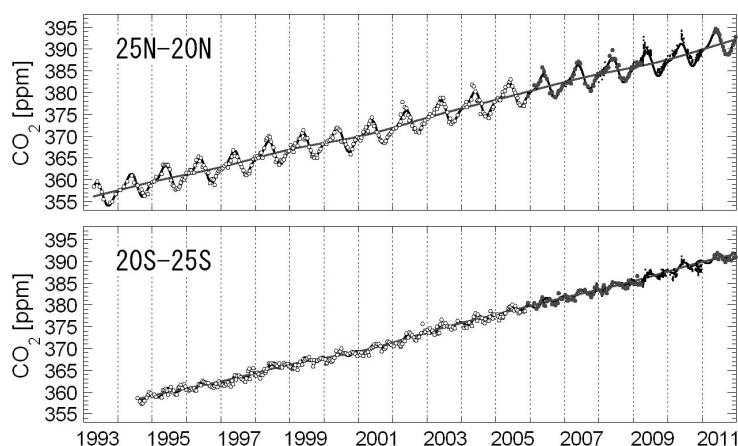
航空機は対流圏から下部成層圏までの高度における大気成分を観測する上で最も信頼のおける手法の一つである。大気中温室効果ガスの三次元分布や時間的な変動を明らかにすることを目的として、いくつかの観測計画が実施されている。

東北大学はチャーター機と定期航空便を利用して日本上空 200m から 10000m における CO₂ 濃度の観測を 1979 年から現在まで続けている。ここで得られた結果は上空の CO₂ 濃度データとしては世界最長の記録である。同じく東北大学は日本航空 (JAL) が運航するシドニー-成田間と成田-アムステルダム間で上部対流圏における CO₂ 濃度の緯度分布観測を 1984 年から 1985 年にかけて実施した。JAL の航空機を利用した日豪間の観測は気象研究所 (MRI) によって自動大気サンプリング装置 (ASE) を使って 1993 年に再開された。2005 年には JAL の観測を継続発展し、改良型 ASE と二酸化炭素濃度自動測定装置 (CME) を使った CONTRAIL プロジェクトが国立環境研究所と気象研究所によって開始された。新旧の ASE で観測された日豪間の上部対流圏における CO₂ 濃度の時系列を図に示す。CONTRAIL の CME は上空における世界の CO₂ 濃度データを飛躍的に増やすことに成功し、これらのデータは炭素循環の解明ばかりでなく、全球の大気循環、モデルの検証、衛星観測の検証などに利用されている。

日本において観測専用の航空機を導入した際には、上述の技術や装置を利用して大気中温室効果ガスを長期的に観測できる体制の構築を提案する。

キーワード: 温室効果ガス, 航空機, 二酸化炭素, 長期観測, 対流圏

Keywords: Greenhouse gases, Aircraft, CO₂, Long-term observation, Troposphere



航空機観測による反応性気体の大気化学解明 Elucidation of atmospheric chemistry of reactive gases from airborne observations

金谷 有剛^{1*}
KANAYA, Yugo^{1*}

¹ 海洋研究開発機構
¹JAMSTEC

大気酸化能を制御する OH ラジカルや、温暖化気体であり大気汚染物質でもある対流圏オゾンの収支を理解するには、前駆物質 (NO_x, CO, VOC など) を含む関連化学種の濃度の変動を、あらゆる時空間スケールでおさえることが重要である。近年、衛星観測の進展によって、NO₂ などの地域～全球スケールの分布情報や季節変動傾向などがとらえられるようになってきた。しかしながら、現在のところ衛星観測から得られる情報は鉛直積分されたカラム濃度であることが多く、高度分布情報は得られにくい。また、得られる水平分解能には限りがある。航空機観測はこのような点を補う情報を提供しうるものである。

航空機による in situ 観測は、NO_x や CO、VOC 類など、他の観測手段 (ゾンデ等) のない成分について、貴重な鉛直分布の情報を提供し、モデルシミュレーションの評価手段となってきた。今後もこのような役割を果たすことが重要である。また次世代の衛星観測解析では、多波長観測情報を組み合わせた高度分離技術が一層進展することが予想され、その検証手段としての航空機観測の重要度は高い。たとえば、衛星等からオゾンや CO については対流圏を高度方向に 2～3 層に分離して計測する試みや計画が進展しており、連携した航空機観測による検証が重要である。とくに、健康・農作物影響などの観点で重要な地表付近 (または大気境界層内) 濃度の把握は重要である。

In situ 計測に加え、航空機からのリモートセンシング計測は、水平・高度分解能を飛躍的に高める可能性を持っている。たとえば、衛星に搭載されるような直下視型のマルチチャンネル型イメージング分光器による航空機観測では、低高度からの観測利点を生かして、百メートル単位の水平分解能の観測が実現でき、都市内の前駆物質の不均一さもとらえることができ、メソスケール大気環境科学へも新風をもたらすことができるだろう。直下視だけでなく、航空機からリム多方向において分光計測を行い、それを多くの高度で行って、それらの結果を合わせて解析することで、詳細な高度分布計測を実現することもできる。

ハロゲン類など未知化学種の動態解明、陸域・海洋との相互作用も視野にいた観測も重要であり、その点についても強調したい。

キーワード: 高度分布, 窒素酸化物, 一酸化炭素, オゾン, 航空機からのリモートセンシング, 水平解像度

Keywords: vertical profile, nitrogen oxides, carbon monoxide, ozone, remote sensing from aircraft, spatial resolution

航空機によるエアロゾルの観測とモデル研究 Aerosol measurements by aircraft and modeling studies

大島 長^{1*}; 近藤 豊²; 小池 真²; 茂木 信宏²; 竹川 暢之³; 北 和之⁴; 中村 尚³
OSHIMA, Naga^{1*}; KONDO, Yutaka²; KOIKE, Makoto²; MOTOKI, Nobuhiro²; TAKEGAWA, Nobuyuki³; KITA, Kazuyuki⁴
; NAKAMURA, Hisashi³

¹ 気象研究所, ² 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻, ³ 東京大学先端科学技術研究センター, ⁴ 茨城大学理学部
¹Meteorological Research Institute, ²Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, The University of Tokyo, ³Research Center for Advanced Science and Technology, The University of Tokyo, ⁴Faculty of Science, Ibaraki University

大気中の多くのエアロゾル成分が太陽放射を散乱するのに対し、ブラックカーボン粒子は太陽放射を効率的に吸収し、大気を加熱する。このためブラックカーボンが気候システムに果たす役割は非常に重要であると認識されている。しかしながら、現在の全球モデルによるブラックカーボンの空間分布やその光吸収量の計算には大きな不確実性が含まれている。その主な要因としては、モデルで扱われるエアロゾルの鉛直輸送過程や降水による除去過程に大きな不確実性が含まれていることが挙げられる。エアロゾルの鉛直輸送過程と除去過程は、ブラックカーボンの空間分布や放射影響を直接的に決定するため、これらの過程の理解を深めることは非常に重要である。そのためには、対流圏全高度におけるブラックカーボンの観測が必要であるが、ブラックカーボンの主要な発生源である東アジア域では、2001年春に ACE Asia と TRACE-P 観測が実施されて以来、対流圏全高度でのブラックカーボンの航空機観測は実施されてこなかった。

このような状況の中で、2009年3-4月に A-FORCE (Aerosol Radiative Forcing in East Asia) 航空機観測が黄海・東シナ海・西太平洋上において実施され、計120回にわたって、ブラックカーボン粒子、一酸化炭素 (CO) 濃度、エアロゾル数濃度、雲微物理特性などが高度0-9 km において測定された (Oshima et al., 2012; Moteki et al., 2012; Koike et al., 2012; Takegawa et al., 2013)。その結果、非常に高濃度のブラックカーボンが黄海上空の自由対流圏中において観測された。また本研究 (Oshima et al., 2012) では、CO をトレーサとして扱うことで (数日間の時間スケールでは CO は大気中から除去されないとみなせる)、観測された空気塊中のブラックカーボン濃度と CO 濃度の比率の変化を用いて、大気中に排出されたブラックカーボンの何割が除去されずに観測点まで輸送されたかを示す輸送効率 (除去過程の指標) を導出した。このブラックカーボンの輸送効率は、空気塊が輸送中に経験する降水量に応じて減少し、高度2-4 km では70-90%、高度4-9 km では30-50%程度であった。

引き続き本研究 (Oshima et al., 2013) では、これらの観測から得られた知見に基づき、領域三次元化学輸送モデル WRF-CMAQ で扱われるエアロゾルの湿性沈着過程に独自の改良を加え、A-FORCE 航空機観測との比較を通じて、ブラックカーボンの鉛直輸送過程と除去過程について調べた。観測とモデル結果を比較したところ、モデルは観測から推定した輸送効率を全高度においてよく再現しており、これはモデルで取り扱われているエアロゾルの除去過程の妥当性を示している。春季東アジア域におけるブラックカーボンの輸送経路は主に3種類あり、大気境界層内を東向きに輸送される経路 (ブラックカーボンの降水による除去は弱い) に加えて、中国北東域 (低気圧活動に伴う上昇、中程度の除去) と中国南部の内陸域 (地形性と積雲対流活動に伴う上昇、強い除去) において境界層内から自由対流圏中へと上方輸送され、引き続き西風によって下部対流圏中と中部対流圏中をそれぞれ輸送される経路が存在することが示された。

本講演では、航空機によるエアロゾル観測の重要性と、航空機観測のモデル研究への重要性について焦点を当て、上記の研究成果について発表したい。

参考文献

- Koike, M., et al. (2012), *J. Geophys. Res.*, 117, D17205, doi:10.1029/2011JD017324.
Moteki, N., et al. (2012), *Geophys. Res. Lett.*, 39, L13802, doi:10.1029/2012GL052034.
Oshima, N., et al. (2012), *J. Geophys. Res.*, 117, D03204, doi:10.1029/2011JD016552.
Oshima, N., et al. (2013), *J. Geophys. Res. Atmos.*, 118, 13175-13198, doi:10.1002/2013JD020262.
Takegawa, N., et al. (2013), *Aerosol Sci. Technol.*, 47(10), 1059-1065.

キーワード: 航空機観測, エアロゾル, ブラックカーボン, エアロゾルモデル, 物質輸送, 除去過程
Keywords: Aircraft measurements, Aerosols, Black carbon, Aerosol model, Transport, Removal

航空機観測によるエアロゾル-雲相互作用研究 Aircraft measurements of aerosol-cloud interactions

小池 真^{1*}; 茂木 信宏¹; 近藤 豊¹; 竹川 暢之²
KOIKE, Makoto^{1*}; MOTEGI, Nobuhiro¹; KONDO, Yutaka¹; TAKEGAWA, Nobuyuki²

¹ 東京大学大学院・理学系研究科, ² 東京大学・先端科学技術研究センター

¹Graduate School of Science, University of Tokyo, ²Research Center for Advanced Science and Technology, University of Tokyo,

1. エアロゾル-雲相互作用研究の重要性

エアロゾルと雲の相互作用は、地球の気候に関わる重要な課題である。エアロゾルは雲凝結核 (CCN) や氷晶核 (IN) として働くことにより、雲粒数濃度や雲の相 (水雲/氷雲) を変化させる。この結果、エアロゾル量の変化は、雲のアルベドや、雲の速い応答 (adjustment) を通じて鉛直積算雲水量や雲量などの変化を引き起こす。これらの雲のミクロ・マクロな変化は、地球の放射収支や降水過程に大きな影響をおよぼすと考えられているが、その見積もりには大きな不確定性がある。

温暖化時の雲のフィードバック過程にも大きな不確定性があり、IPCC 第5次報告書においてもモデル間の下層雲の応答のばらつきが気候感度のばらつきの主要原因となっている。このような雲のフィードバック過程にエアロゾルがどのように関係するかも今後の研究が必要とされる。

一方において雲過程は液相反応によるエアロゾル生成や湿性沈着などを通じてエアロゾルに影響する。エアロゾルと雲の相互作用は、気象学と大気化学、あるいは大気圏と陸上生態系や海洋とを結ぶ重要なプロセスでもある。

2. 航空機観測によるエアロゾル-雲相互作用研究

人工衛星からのエアロゾルや雲物理量の観測は、グローバルなエアロゾルと雲の相互作用研究においてとても重要であるが、観測・推定できる物理量が限られていることや観測・推定の不確定性の問題がある。一方、航空機観測は観測できる時間・場所が限定されるが、エアロゾルと雲の相互作用の根幹であるエアロゾルや雲・降水粒子の粒径分布を直接観測することができる。このような航空機観測の利点により、航空機を主要な観測手段としたエアロゾルと雲の相互作用の観測的研究がこれまでカリフォルニア沖、ペルー沖、熱帯太平洋、インド洋、西アフリカ、北極圏など世界各地で実施されてきている。この結果、地球の放射収支で重要な役割を果たしている東太平洋の層積雲のオープンセル・クローズドセルの形態変化が降水に関係しており、その降水の変動を引き起こす原因のひとつとしてエアロゾルが関与している可能性などが分かってきた。

3. アジアにおける航空機観測

これまでの世界各地の研究から、エアロゾルと雲の相互作用は、エアロゾル数が増えれば雲の寿命が延びるといった単純な関係ではなく、雲システムの環境場に応じてその応答が変化することが報告されている。アジアは世界的に見てもエアロゾル濃度が高く、さらに今後も増大やその化学組成の変化などが予想される領域である。アジアはまた、アジアモンスーンに象徴されるように特徴ある気象条件の中で、様々なタイプの雲・降水システムが形成される。しかしながら、アジアでの航空機観測によるエアロゾルと雲の相互作用研究は極めて限られている。アジアの多様な気象条件において形成される雲へのエアロゾルの影響を体系的に調べていくことは、エアロゾルと雲の相互作用研究に大きな貢献ができることが期待される。

本発表では 2009 年と 2012 年に実施された A-FORCE 航空機観測でのエアロゾル-雲観測を紹介しながら、アジアにおける航空機観測のサイエンスについて議論したい。

キーワード: エアロゾル, 雲, 航空機観測, アジア
Keywords: aerosol, cloud, aircraft measurement, Asia

航空機観測を用いた台風中心付近を対象とした非静力大気海洋結合モデルの結果の評価 Evaluation of a result of a coupled atmosphere-ocean model around a tropical cyclone center using aircraft observations

篠田 太郎^{1*}; 久保 圭之¹; 相木 秀則²; 吉岡 真由美³; 加藤 雅也¹; 坪木 和久¹; 上田 博¹
SHINODA, Taro^{1*}; KUBO, Keishi¹; AIKI, Hidenori²; YOSHIOKA, Mayumi³; KATO, Masaya¹; TSUBOKI, Kazuhisa¹; UYEDA, Hiroshi¹

¹名古屋大学地球水循環研究センター, ²海洋研究開発機構, ³東北大学大気海洋変動観測研究センター
¹HyARC, Nagoya Univ., ²JAMSTEC, ³CAOS, Tohoku Univ.

航空機観測は台風の内部領域(眼や壁雲)の力学的、熱力学的、雲物理的な構造を理解するために有効な手段である。数値シミュレーションも台風の構造を明らかにするためには有効な手段であるが、台風の内部領域の再現性を評価することは大変難しい。本研究では、非静力大気海洋結合モデル CReSS-NHOES を用いて台風の再現実験を行い、その中心付近の構造について航空機観測の結果を用いて再現性を評価した研究の結果を紹介する。

対象とするのは2010年10月に熱帯西部太平洋で発達した第13号台風(T1013, Megi)である。アメリカ合衆国と台湾の強化観測 Impact of Typhoons on the Ocean in the Pacific (ITOP) 期間中、200のドロップゾンデがおよそ高度2.5 kmからT1013の内部領域や周辺に投下された。ドロップゾンデは、落下しながら気圧(高度)、気温、湿度、風向、風速の鉛直プロファイルを観測することができる測器である。これらの鉛直プロファイルを用いて数値実験の結果の評価を行う。数値実験は緯度経度座標系で水平解像度0.02度(およそ2 kmに相当)、T1013が発生してから1日後の10月14日00時(世界時)から7日間にわたって実施した。

数値実験では、台風の進路、中心気圧の変化傾向や最低値などを再現することができた。ドロップゾンデ観測と数値実験の結果を直接比較するために、中心気圧の値や変化傾向を考慮してドロップゾンデ観測が行われた時刻に相当する数値実験の時刻を決定した。ドロップゾンデ観測が実施された時刻における台風の中心位置は、気象庁より提供されるベストトラックデータを線形内挿することで得た。数値実験における対象時刻の中心位置は1時間毎の出力結果にBraunの手法を適用して得た。観測における台風中心に相対的なドロップゾンデ観測の位置を、そのまま数値実験における台風中心に相対的な観測プロファイルを適用した。

本研究では壁雲域を高度2 km以下の全ての層で相対湿度が95%以上、かついずれかの層で風速が 25 m s^{-1} 以上となる格子を含む領域とした。壁雲域の内側を眼の領域、外側を壁雲外域とした。数値実験による壁雲外域の温位、水蒸気混合比、風速の平均値は、ドロップゾンデ観測の平均値からの 1σ (標準偏差)の範囲内に収まっており、統計的には再現されたこれらのパラメータの再現性は良いと考えられる。台風T1013が急発達した後、数値実験では眼の領域で弱風域、壁雲の領域で最大風速域が見られた。これらの点から、定性的には台風の特徴を数値実験で再現できたと考えられる。しかしながら、数値実験では観測結果に比べて、壁雲域での温位がおよそ3 K高く、風速はおよそ 25 m s^{-1} 小さくなっていた。これらの定量的な相違は眼の構造の違いに起因するものであると推定できる。眼の構造についての問題点は航空機観測との比較により初めて明らかにすることができたものである。

キーワード: 航空機観測, 台風, 雲解像モデル, 大気海洋結合モデル, モデル検証

Keywords: aircraft observation, tropical cyclone, cloud-resolving model, coupled atmosphere-ocean model, model evaluation

冬の日本海およびオホーツク海上の飛行機観測 Aircraft observations over the Sea of Japan and the Sea of Okhotsk in winter

藤吉 康志^{1*}
FUJIYOSHI, Yasushi^{1*}

¹ 北海道大学低温科学研究所

¹Inst. Low Temp. Sci., Hokkaido Univ.

日本周辺の海域では、冬季の季節風吹き出し時に、大量の熱・水蒸気が海洋から大気に供給され、気団変質と呼ばれる現象が起こる。この気団変質は活発な対流により大気混合層や筋状の雪雲、さらには海氷を発達させる。日本海の雪雲は沿岸に世界有数の豪雪をもたらすと同時に我が国の重要な水資源をもたらす。また、近年の地球温暖化によって急激に面積が減っている北極海周辺の海氷は、大気や海洋の大きな熱的インパクトとして、大気・海洋の循環に大きな影響を与えている。このように、冬の寒冷海洋域は気候や水資源的にも重要な現象が生起している場所であるため、航空機を用いた現場観測を実施した。

日本海の気団変質過程についてはこれまで数値モデルや客観解析データを用いた研究は多数行われてきた。しかし、大気境界層の発達過程を調べるには海面熱フラックスが最大となるロシア沿岸域から日本海上空までの直接観測が必要不可欠である。そこで我々は、寒気の吹き出しの強さが異なる2001年1月と2月にロシア領内の日本海上空でロシア航空機を用いて大気境界層及び雲内観測を行った。飛行は、ハバロフスクを基点として風下方向に約350kmまでの範囲を、複数高度で行った。観測は、寒気吹き出しが弱く筋雲が全く発生しない条件下と、寒気が強く筋雲が発達した条件下、及びその中間の条件下で行った。

また、オホーツク海は冬季に結氷し、海氷は海面の熱・水蒸気フラックスを減少させ、その影響は、局地的にも全球的にも現れる。さらに、オホーツク海では、場所によって海氷密接度に差があり、狭い開水面（リード）を通して気団変質が起きていると考えられる。それを確かめるために我々は、2000年2月にサハリン沿岸からオホーツク海中部まで、海氷の密接度がさまざまに変化する経路上で、海面のアルベド、表面温度、および大気乱流熱フラックスの連続観測、同時に可視・赤外カメラによる海面の撮影を行った。

寒冷海洋域での海氷の長期変動を予測するためには、海氷面積と同時に厚さの情報が必要不可欠であるが、未だ現場測定以外決定版は無い。我々は、オホーツク海沿岸の紋別市に設置したXバンドドップラーレーダを用いて、冬季には海氷観測モードで海氷面積や海氷域の短時間変動を観測している。本レーダは3次元走査が可能であるので、海氷の3次元立体表示を行ったところ、海氷域の凹凸が表示された。しかし、この凹凸が実際の海氷の凹凸にどのように対応しているかどうかは、実測が無いので確認できていない。そこで、2014年2月に航空機で海氷の凹凸を測量し、レーダ画面上の海氷域の凹凸の物理的解釈を行った。

キーワード: 雪雲, 海氷, 海洋境界層

Keywords: snow clouds, sea ice, marine boundary layer

航空機による沿岸、海洋の研究と観測 Use of Aircraft for Coastal and Oceanographic Research and Observations

石坂 丞二^{1*}
ISHIZAKA, Joji^{1*}

¹ 名古屋大学地球水循環研究センター

¹Hydrospheric Atmospheric Research Center, Nagoya University

Aircraft should be useful to observe coastal and ocean environments, including physical, chemical and biological properties, especially under the rapid, unexpected and dangerous conditions, such as typhoon or volcanic eruption, where ship operation is difficult. It is expected that there are two methods of observations from aircraft, other than seaplane, for oceanographic research; one is remote sensing and another is use of air-deployable sensors or platforms. Various remote sensing sensors are available using visible, infrared, microwave and sound waves. They have advantage to satellite-based remote sensors with high resolution and more flexible overflight, and they should be useful for coastal applications. Most of the remote sensing sensors can only obtain surface information; however LIDAR can detect vertical profiles of some parameters such as plankton distribution. Air-deployable sensors have been used for measurements of vertical profiles of temperature (AXB T; Airborne eXpendable Bath yThermograph), salinity (AXCTD; Airborne eXpendable Conductivity Temperature and Depth probes), and current (AXCP; Airborne eXpendable Current Profilers). More recently, vertical profiling floats are developed and deployed for Argo project. There were attempts to deploy one of the vertical profiling floats, Electromagnetic Autonomous Profiling Explorer (EX-APEC), from airplane for typhoon observation and obtained profiles of temperature, density and currents. Autonomous profiling floats are now developing equipped with chemical, optical and biological parameters, and should be deployable from aircraft. Other various types of small autonomous underwater vehicles (AUV) are also underdevelopment and may be deployable from airplane in future. Combination studies of those physical, chemical, and biological parameters in coastal and ocean environments with atmospheric information, such as weather condition and chemical properties, are necessary to understand coupled atmospheric-ocean system.

キーワード: 航空機, 沿岸, 海洋, リモートセンシング, フロート, 台風
Keywords: aircraft, coast, ocean, remote sensing, float, typhoon

航空機搭載高分解能合成開口レーダによる地球観測 Earth Observation by using airborne SAR

浦塚 清峰^{1*}; 上本 純平¹; 児島 正一郎¹; 梅原 俊彦¹; 佐竹 誠¹; 小林 達治¹; 松岡 建志¹; 灘井 章嗣¹
URATSUKA, Seiho^{1*}; UEMOTO, Junpei¹; KOJIMA, Shoichiro¹; UMEHARA, Toshihiko¹; SATAKE, Makoto¹; KOBAYASHI,
Tatsuharu¹; MATSUOKA, Takeshi¹; NADAI, Akitsugu¹

¹ 情報通信研究機構

¹National Institute of Information and Communications Technology

合成開口レーダ (SAR) は、天候や日射にかかわらず、地上の状況を画像として取得できるため、人工衛星や航空機に搭載されてきているが、その有用性におけるもっとも重要な性能は、高い高度からの観測にかかわらず、高分解能であることである。

衛星搭載の SAR は、1990 年代より継続して打ち上げられてきており、現在までに実証から実用への段階となってきている。しかし、衛星搭載 SAR は、軌道上のセンサであるため観測機会、観測方向に制約がある。この制約に対して、航空機搭載 SAR は比較的自由に観測方向が得られること、場合によっては短期間に集中的な観測も可能であることなど観測機会を自由に三択することができる。航空機 SAR は雲の上からの観測が可能であることから、衛星同様に天候による制約は非常に少ない。性能の面からいえば、航空機センサは、衛星搭載に比べ、重量・寸法・電力等のリソースの制約や信頼性にかかるコストは小さくて済むことから、開発時点での最高の性能と機能を搭載できることが大きなメリットである。

情報通信研究機構 (NICT) は 1993 年より航空機搭載 SAR の開発に着手し、1998 年には 2 周波 (X 帯および L 帯) の航空機 SAR である Pi-SAR の運用を開始した。以降 2007 年まで、Pi-SAR による各種の実証実験を実施してきた。Pi-SAR の L 帯 (波長約 23cm) は宇宙航空研究開発機構 (JAXA) が開発を分担し、X 帯 (波長約 3cm) は NICT の開発であるが、同じ航空機に搭載して同時観測を実施した。それぞれの波長の持つ地表面の散乱特性や透過性を利用した応用的な研究も成果を上げてきた。NICT が開発した X 帯レーダは、表面からの散乱が卓越的であることから L 帯に比べ光学観測に近い判読性のある画像を取得できるほか、1.5m の高分解能性と 2 つのアンテナによる立体観測 (クロストラック・インターフェロメトリ) 機能を有する。高さ方向の精度は約 2m である。また、両波長とも垂直偏波と水平偏波の同時送受信による偏波散乱特性計測 (ポラリメトリ) の機能を有して、地表面の識別能力を高めている。完全なポラリメトリ手法は現在においても衛星 SAR ではリソースの制約が大きく実験的な段階にとどまっている。

X 帯 SAR の高分解能性とポラリメトリ、インターフェロメトリ機能を駆使した自然災害に向けた実際例は、2000 年に発生した北海道有珠山および三宅島の火山噴火であり、数度にわたる継続的な観測と関係機関へのデータ提供を行い、その有用性を実証した。さらに、NICT は 2008 年には分解能を 30cm まで高めた Pi-SAR2 を開発した。Pi-SAR 初号機同様にポラリメトリおよびインターフェロメトリも搭載している。このレーダは、SAR の応用範囲のうち、特に災害監視に重点を置いて実用性を向上させたものである。高分解能の必要性は、2004 年に発生した新潟県中越地震を Pi-SAR 初号機による観測を実施したときに、山岳地域の小規模で多数の土砂崩れに対して十分な判読が困難であったことの反省による。また、被災現地等へのデータの迅速な配信が重要であることが課題となっていた。

こうした課題の解決を目指し開発した Pi-SAR2 により、2011 年の東日本大震災時には、災害発生翌日に東北地方沿岸部を中心とした広域な観測を実施し 24 時間以内に一部データ (単偏波 (白黒画像)、2km 四方) の公開を実施したが、分解能の向上による大量のデータと広大な観測領域を一度に処理解析する能力が追い付かないこと、また大容量なデータを配信・公開する適切な手段がないことが、新たな課題として見いだされた。この問題に対しては、震災から現在までに画像再生処理システムの高速化とデータの公開システムの開発を行ってきた。また、画像再生処理システムは航空機上での処理システムにも応用し、2km 四方の領域であれば観測して航空機が旋回している間に全偏波の画像再生処理を終えて、疑似カラー画像を商用衛星回線経由でネット上に公開することも可能とした。また、データ公開は Pi-SAR 初号機で観測した過去のデータも含めて、オンデマンドで処理要求を受け付けるシステムを開発した。

このように地震や火山をはじめとする自然災害の被害把握を主な目的で開発し、その実績を持つ航空機 SAR であるが、SAR の持つ全天候性や航空機の機動性を活かして、地球科学、地球環境への応用がさらに期待される場所である。Pi-SAR 初号機を用いた応用については、海洋、海水、森林植生、火山などを観測目標にした各種の応用研究で成果を得てきたところであるが、これらの知見に加えて Pi-SAR2 が実現した 30cm の高分解能性能を活用した応用研究も進めているところである。

キーワード: 合成開口レーダ, ポラリメトリ, インターフェロメトリー

Keywords: Synthetic Aperture Radar, Polarimetry, Interferometry, Pi-SAR2

陸域生態系研究についての航空機観測の展開 Applicability of airborne remote sensing to terrestrial ecosystem sciences

鈴木 力英^{1*}
SUZUKI, Rikie^{1*}

¹ 海洋研究開発機構

¹ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

航空機は、衛星のように同一地域を何年にもわたり繰り返して観測することは一般的ではなく、また、広域を観測することもできない。しかし、陸域生態系を対象とした場合、航空機観測は衛星観測には無い多くの利点を持っている。一つは、当然であるが、航空機は衛星よりも低高度を飛行することから、画像の水平解像度をずっと高くできることである。一般に入手できる WorldView-2 や GeoEye-1 といった衛星の高解像度画像であっても、森林のような樹木の集団の中の個々の木を判読することは実際にはかなり難しい。しかし、航空機からであれば、一本一本の樹冠の構造や、林床の状態を判読することがきる。2000年に東シベリアのヤクーツク付近で春から夏にかけて行われた航空機観測では、100～150m上空から森林をビデオ撮影し、樹冠の緑葉の有無、林床の積雪の有無を判読することによって、同時に測定した分光反射率が樹冠や林床によってどのように影響を受けるかを明らかにした。その結果、疎な亜寒帯林では、衛星観測から導出された NDVI などの植生指数には林床の影響が大きいことが分かった。さらに低空の数 10m を飛行した場合、樹木の個葉や昆虫まで見分けられるようになり、生物の個体ベースにまで踏み込んだ生物多様性の研究も可能になるだろう。最近では、可視から近赤外域の波長帯に 100 以上のバンドを持つハイパースペクトル・カメラや LiDAR を航空機に搭載する例もある。植物種の同定や、葉の化学的形質や植生構造の推定が可能となり、植生の生態学的機能や生物多様性を把握する際の強力な手法として、今後も発展していくだろう。航空機観測のもう一つの利点として、地表面に対するセンサーの観測角と太陽光の入射角をある程度自由に選ぶことが可能であることが挙げられる。双方向性反射率分布関数 (BRDF) を元にした植生の綿密な光伝達モデルを設計することができるようになり、衛星データによる葉面積指数などの推定の高精度化に寄与できる。

キーワード: 森林生態系, LiDAR, 生態系機能, 生物多様性

Keywords: forest ecosystem, LiDAR, ecosystem function, biodiversity

無人機を利用した地球観測衛星のグランドトゥルスについて Ground Truth of Earth Observation Satellites using UAV

本多 嘉明^{1*}; 梶原 康司¹; 谷川 聡¹; 小野 佑作²
HONDA, Yoshiaki^{1*}; KAJIWARA, Koji¹; TANIGAWA, Satoshi¹; ONO, Yusaku²

¹ 千葉大学環境リモートセンシング研究センター, ² 独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 地球観測研究センター
¹Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University, ²Earth Observation Research Center, Japan Aerospace Exploration Agency

Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) is going to launch new Earth observation satellite GCOM-C1 in near future. The core sensor of GCOM-C1, Second Generation Global Imager (SGLI) has a set of along track slant viewing Visible and Near Infrared Radiometer (VNR). These multi-angular views aim to detect the structural information from vegetation canopy, especially forest canopy, for estimating productivity of the vegetation. SGLI Land science team has been developing the algorithm for 10 standard products (above ground biomass, canopy roughness index, shadow index, etc).

In this paper, we introduce the ground observation method developed by using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) in order to contribute the algorithm development and its validation. Mainly, multi-angular spectral observation method and simple BRDF model have been developed for estimating slant view response of forest canopy. The BRDF model developed by using multi-angular measurement has been able to obtain structural information from canopy. In addition, we have conducted some observation campaigns on typical forest in Japan in collaboration with other science team experienced with vegetation phenology and carbon flux measurement. Primary results of these observations are also be demonstrated.

キーワード: 無人航空機, 多波長光学放射計 (SGLI), 多方向観測, 樹冠, 植生の生産性

Keywords: UAV, Second Generation Global Imager (SGLI), Multi-angular observation, Forest canopy, Vegetation productivity

航空機観測を利用したリモートセンシング研究の新展開 New phase remote sensing stimulated by the use of airborne observation

久世 宏明^{1*}
KUZE, Hiroaki^{1*}

¹ 千葉大学環境リモートセンシング研究センター

¹Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University

千葉大学環境リモートセンシング研究センター (CEReS) では、衛星データおよび関連する地上観測データを処理・アーカイブ・公開し、リモートセンシングおよび環境関連分野のコミュニティに幅広く提供を行っている。大気リモートセンシングにおいては、日本を含むアジア地域において放射計ネットワーク (SKYNET) を展開し、関連するライダーや太陽光・天空光スペクトル観測と相まって衛星データ検証や東アジア域における大気エアロゾル・雲・大気汚染などの研究を進めている。植生リモートセンシング分野では、衛星データによる全球のバイオマス量の定量的把握に向け、衛星・地上および無人ヘリ観測によって陸上植生反射率計測の高精度化の研究を行っている。この研究を通じて、JAXA の次世代衛星である GCOM-C1 に向けての植生量リトリーバルアルゴリズムも開発されてきた。マイクロ波リモートセンシング分野では、小型衛星および無人航空機搭載に向けて円偏波合成開口レーダ (circularly polarized synthetic aperture radar, CP-SAR) の開発を進展させてきている。

現在、CEReS を含め、関係する大学附置の研究機関が連携して有人飛行機をチャーターし、大気観測およびリモートセンシングに新展開をもたらす新規研究計画が提案されている。この取り組みを通じ、大気科学・気候システム研究 (東大)・雲・降水システム研究 (名大)・およびリモートセンシングデータの高精度での科学的活用 (千葉大) が大きく進展することが期待される。千葉大 CEReS を中心としたリモートセンシング研究においては、航空機なしでは不可能であった衛星データの高精度大気補正を実現し、陸域、雪氷域、沿岸域などにおけるリモートセンシングデータの高精度化を図ることがその主目標となる。

高分解能の衛星データが増えるにつれ、そのデータから地表面や海洋表面の反射率などの物理量を高精度に導出する必要性が高まっている。その際の最大の問題となるのが大気中で起こる散乱と吸収による観測スペクトルの変化である。大気分子による影響 (レイリー散乱) は比較的簡単に補正が可能である。これに対して、雲とエアロゾルは空間的にも時間的にも変動が大きく、これらによるミー散乱の効果を正確に把握することには困難が伴う。従来は、この大気の影響を調べて補正するため、たとえばサンフォトメータやスカイラジオメータなどの放射測器を多数地上に展開し、エアロゾルや雲の光学特性の計測が行われてきた。また、無人ヘリコプターや無人航空機による地上高度 150 メートル以下での計測を実施してきた。しかし、これらの方法によっても、検証データの広域化には大きな制約があったことは否めない。

今回、立案している航空機プロジェクトでは、有人航空機により高高度からの地表面および放射量観測が実現可能である。放射計やハイパースペクトルカメラなどを無人 (低高度)・有人 (高高度) 航空機に搭載して地表面および大気データを取得することにより、大気補正に関わる放射伝達アルゴリズムの改善を実証的に進めることが可能になる。これによって、陸上植生反射率測定による植生物理量 (バイオマスなど) 推定アルゴリズムの精度を飛躍的に向上させることができる。さらに、CP-SAR を有人飛行機に搭載してデータを取得することにより、全天候型の地表面観測技術の実証試験を行うことができる。

アジア地域は世界でも有数の人口密集地域であり、経済活動の活発化による PM2.5 の越境汚染などの問題が深刻化している。また、気候変動にともなって持続可能な食料生産が問題となっている今日、これまで航空機リモートセンシング観測の空白域であった東アジアにおいて大気汚染物質のその場観測を行い、大気光学特性を明らかにし、衛星データからの高精度物理量導出を可能とするこの意義は大きい。同時に、航空機により計画的に大気・陸面・海洋観測を行うことは、地震・火山・土木・生態系など隣接領域への波及および減災に向けた社会的効果も大きいものと考えられる。

キーワード: リモートセンシング, 航空機観測, 植生, 大気, マイクロ波センサー

Keywords: remote sensing, airborne observation, vegetation, atmosphere, microwave sensor

航空機によって捕集された人為起源およびバイオマス燃焼から発生したエアロゾル
粒子の電子顕微鏡分析
Aerosol particles collected using aircrafts from anthropogenic sources and biomass burn-
ing and electron microscopy

足立 光司^{1*}
ADACHI, Kouji^{1*}

¹ 気象研究所
¹ Meteorological Research Institute

Aerosol particles collected during four sampling campaigns using aircrafts were analyzed using transmission electron microscopes (TEM). The samples were collected from two A-Force campaigns in 2013 (winter and summer) conducted in Japan and Korea, BBOP campaign in 2013 in the USA, and MILAGRO campaign in 2006 in Mexico. These campaigns aim to characterize aerosol particles from regional transportation, biomass burning, and both. The samples collected using aircrafts are useful for characterization of particle agings, especially changes of their mixing states, from emissions as the aircrafts can chase plumes of different aging periods. An example of such aerosol-particle aging is tar ball formation in biomass burning smoke. Tar ball is spherical, organic aerosol particles commonly from combustion smoke of a wide range of biomass burning. At the early stage of the emission, tar balls are liquid but as they age in the smoke, they become solid and spherical. Sets of biomass burning aerosol samples with different aging stages collected using an aircraft revealed such processes in atmosphere. I will also discuss the samples collected over Japan during the A-Force campaigns.

キーワード: 電子顕微鏡, 東アジア, 米北西部, A-Force, BBOP, MILAGRO
Keywords: Electron microscope, East Asia, Northwest US, A-Force, BBOP, MILAGRO

東シナ海上空における窒素化合物の航空機観測 Aerial observations for nitrogen compounds over the East China Sea

定永 靖宗^{1*}; 坂東 博¹; 新垣 雄光²; 加藤 俊吾³; 梶井 克純⁴; 張 代洲⁵; 渡邊 泉⁶; 藤本 敏行⁷; 奥山 喜久夫⁸; 萩 崇⁸; 瀬戸 章文⁹; 高見 昭憲¹⁰; 清水 厚¹⁰; 畠山 史郎⁶
SADANAGA, Yasuhiro^{1*}; BANDOW, Hiroshi¹; ARAKAKI, Takemitsu²; KATO, Shungo³; KAJII, Yoshizumi⁴; ZHANG, Daizhou⁵; WATANABE, Izumi⁶; FUJIMOTO, Toshiyuki⁷; OKUYAMA, Kikuo⁸; OGI, Takashi⁸; SETO, Takafumi⁹; TAKAMI, Akinori¹⁰; SHIMIZU, Atsushi¹⁰; HATAKEYAMA, Shiro⁶

¹大阪府立大学, ²琉球大学, ³首都大学東京, ⁴京都大学, ⁵熊本県立大学, ⁶東京農工大学, ⁷室蘭工業大学, ⁸広島大学, ⁹金沢大学, ¹⁰国立環境研究所

¹Osaka Prefecture University, ²University of the Ryukyus, ³Tokyo Metropolitan University, ⁴Kyoto University, ⁵Prefectural University of Kumamoto, ⁶Tokyo University of Agriculture and Technology, ⁷Muroran Institute of Technology, ⁸Hiroshima University, ⁹Kanazawa University, ¹⁰National Institute for Environmental Studies

In order to clarify long-range transport of air pollutants from the Asian continent, we have conducted aerial observation over the East China Sea and measured air pollutants centering on aerosols, as part of Grant-in-Aid for Scientific Research on Innovative Areas “ Impacts of Aerosols in East Asia on Plants and Human Health (ASEPH) ” . In this presentation, the results of nitrogen compounds such as nitrate are mainly described.

The aerial observations were conducted in October, 2009 (autumn), December, 2010 (winter) and March, 2012 (spring) over the East China Sea. The flights were performed between Fukue Island and the southern offing of Jeju Island and the flight altitudes were 500, 1000, 2000 and 3000 m. Onboard measurements of gaseous total odd nitrogen species, gaseous nitric acid (HNO₃(g)), O₃, SO₂, CO and black carbon were made and particles were collected on filters for ionic and metal component analyses.

The concentration ratios of particulate nitrate (NO₃⁻(p)) to inorganic total nitrate (T.NO₃ = HNO₃(g) + NO₃⁻(p)) were less than 0.5 in most of the flights except under high concentrations of dust particles (Kosa) or transboundary air pollutants. Most of NO₃⁻(p) would be NaNO₃ formed by the reaction of gaseous nitric acid (HNO₃(g)) with sea salt aerosols during the observations in autumn and winter except on October 17 and December 11, when high concentrations of Kosa were transported. In the spring observation, the fraction of NaNO₃ in NO₃⁻(p) was low and a large part of NO₃⁻(p) would be originated from reactions of HNO₃(g) with gas phase ammonia and soil dust particles.

O₃ concentrations decreased with altitude in autumn and increased in winter. Positive and negative correlations between NO_y-T.NO₃ and O₃ concentrations were observed throughout the flights in autumn and winter, respectively. This indicates that the major components of NO_y-T.NO₃ were secondary photochemical nitrogen oxides such as PANs and NO_x, in autumn and winter, respectively. The differences of vertical distribution and NO_y components between autumn and winter may be caused by the variation of solar radiation intensity.

キーワード: 航空機観測, 硝酸 (塩), 反応性総窒素酸化物, 東アジア

Keywords: aerial observation, nitrate, total odd nitrogen species, East Asia

航空機搭載ライダーによる水蒸気分布観測 Airborne lidar measurements of water-vapor profiles

阿保 真^{1*}; 長澤 親生¹; 柴田 泰邦¹; 内野 修²; 永井 智広²; 酒井 哲²; 柴田 隆³
ABO, Makoto^{1*}; NAGASAWA, Chikao¹; SHIBATA, Yasukuni¹; UCHINO, Osamu²; NAGAI, Tomohiro²; SAKAI, Tetsu²; SHIBATA, Takashi³

¹ 首都大学東京, ² 気象研究所, ³ 名古屋大学

¹Tokyo Metropolitan University, ²MRI, ³Nagoya University

大気中の水蒸気は、熱や水循環を通して気象・気候に重要な役割を演じている。また、二酸化炭素などの増加に伴う地球温暖化によって大気中の水蒸気がどのように変化していくかを監視していくことは気候の将来予測を行う上で重要である。水蒸気の観測は現在ゾンデや衛星から広く行われているが、飛翔体搭載ライダーを用いればさらに高い高度分解能で広範囲の水蒸気分布の観測が可能となる。我々は最終的には衛星搭載を目指した航空機搭載水蒸気差分吸収ライダーの開発を行い、1999年に実際に航空機に搭載し測定実験を行った。開発されたライダーは当時世界最高性能のものであった。

ライダーの心臓部となるレーザーとして、水蒸気吸収の強いものと弱いもの、それに吸収しない 820 nm 付近の 3 波長のレーザーを 1.2 ms 間隔で発振でき、それらトリプルパルスを送信できる LD (レーザーダイオード) 励起 Nd:YLF レーザー (平均出力 50 W) の SHG (平均出力 30 W、200 mJ、150 Hz) で励起された Ti:sapphire レーザーを開発した [1]。光音響セルを利用して水蒸気の吸収線に同調した単一モードの LD をリング型共振器で構成された Ti:sapphire レーザーに注入同期して、スペクトル幅 0.045 pm、スペクトル安定度 0.06 pm、平均出力 6.8 W (パルス当たり 45 mJ) を得た。

開発したレーザーを航空機に搭載して実験を行った。受信望遠光の口径は 20 cm で検出器には APD を用いた。送信、受信の視野はそれぞれ 0.8、1.6 mrad で、干渉フィルターの半値全幅 0.6 nm であった。観測は名古屋・東京・つくば上空を含む往復で行った。航空機搭載ライダーで測定された水蒸気分布と名古屋大学で同期観測されたラマンライダーによる水蒸気分布はよい一致を示した。

当時は励起用 LD の寿命が短いのが難点であったが、15 年経った今では、LD の技術も進んでおり、よりコンパクトで長寿命の航空機搭載水蒸気ライダーシステムの実現が可能である。

参考文献

[1] Yanagisawa, T., M. Imaki, Y. Hirano, O. Uchino, T. Nagai and C. Nagasawa, Int. Laser Sensing Symposium, 20th Japanese Laser Sensing Symposium, 191(1999)

[2] Nagai, T., O. Uchino, C. Nagasawa, T. Igarashi, T. Nakajima, Y. Hirano, S. Ueno and S. Wakabayashi, Int. Laser Sensing Symposium, 20th Japanese Laser Sensing Symposium, 211(1999)

キーワード: 水蒸気, 航空機搭載, ライダー

Keywords: water vapor, airborne, lidar

エンセラダスと初期地球の熱水系における生命利用可能エネルギー分布 Bioavailable energy distributions in the hydrothermal systems on Enceladus and early Earth

渋谷 岳造^{1*}; 関根 康人²; ラッセル マイケル³; 高井 研¹
SHIBUYA, Takazo^{1*}; SEKINE, Yasuhito²; RUSSELL, Michael³; TAKAI, Ken¹

¹ 海洋研究開発機構, ² 東京大学, ³ ジェット推進研究所
¹JAMSTEC, ²University of Tokyo, ³Jet Propulsion Laboratory

A recent research by Cassini spacecraft suggests that there are silica nanoparticles in Saturn's E-ring derived from the Enceladus plume (Hsu et al., submitted). The findings of silica nanoparticles imply active water-rock reactions. Furthermore, an experimental study simulating the reactions between chondritic material and alkaline seawater revealed that the formation of silica nanoparticles requires hydrothermal reactions at temperatures higher than 100 deg. C (Sekine et al., submitted). Considering a short residence time of nanoparticles in the ocean, these studies imply geologically-recent or on-going hydrothermal activity in the Enceladus' subsurface ocean. Therefore, we modeled possible hydrothermal fluid/rock reactions and bioavailable energy in the mixing zone between hydrothermal fluid and seawater on Enceladus. The thermodynamic calculations of reactions between CI chondrite and alkaline NaCl-NaHCO₃ seawater at 100 deg.C indicate that the pH of fluid increases up to about 10 and hydrogen concentration in the fluid is elevated up to 20 mmolal through the water/rock reaction. Based on the estimated fluid compositions, we calculated chemical property of the mixing zone between seawater and hydrogen-rich alkaline hydrothermal fluid, which revealed that a certain level of bioavailable energy is derived from redox reactions based on CO₂ and H₂ in the mixing zone whereas there are unlikely other electron acceptors such as sulfate and nitrate that are abundant in the terrestrial seawater. Thus, the CO₂-H₂ pair can be used for possible metabolic reaction, namely hydrogenotrophic methanogenesis and acetogenesis. In the low-temperature zone, the available energy of the Enceladus methanogenesis is higher than that of methanogenesis in the Rainbow field (Mid-Atlantic Ridge) where methanogens are certainly separated. It is therefore highly possible that H₂-based energy metabolisms have been generated in the Enceladus hydrothermal vent system. Considering that the most ancient metabolisms in the Hadean terrestrial hydrothermal vent system could be also H₂-based redox reactions, there is an energetic similarity between hydrothermal vent systems on Enceladus and Hadean Earth. The future exploration of Enceladus' plume would potentially provide clues to the origin of life on Earth.

隕石衝突での初期海洋中カルサイトと共存するバリンのD/L変換 Impact-induced D/L chiral changes of valine in early Earth's oceans

関根 利守^{1*}; 高瀬 篤志¹; 古川 善博²; 掛川 武²; 小林 敬道³

SEKINE, Toshimori^{1*}; TAKASE, Atsushi¹; FURUKAWA, Yoshihiro²; KAKEGAWA, Takeshi²; KOBAYASHI, Takamichi³

¹ 広島大学, ² 東北大学, ³ 物質・材料研究機構

¹Hiroshima University, ²Tohoku University, ³National Institute for Materials Science

隕石衝突での水溶液中のバリンのD/L変換に関する実験的検討を行った。初期海洋中でのアミノ酸D/L変換に関するこれまでの共存固体がオリビンの場合と比べて、カルサイトでは変換の速度が大きく、共存することで大きな相違があることが明らかになった。

キーワード: バリンのD/L変換, 隕石海洋衝突, カルサイト

Keywords: Impact-induced D/L chiral changes, D/L valine, Calcite

38億年前初期太古代岩石中に発見された最古の生命の痕跡 The oldest remnant of life in 3.8 Ga old early Archaean rocks

大友 陽子^{1*}; 掛川 武²

OHTOMO, Yoko^{1*}; KAKEGAWA, Takeshi²

¹ 海洋研究開発機構高知コア研究所, ² 東北大学

¹Kochi Institute for Core Sample Research, JAMSTEC, ²Graduate School of Science, Tohoku University

The suggestion that graphite in early Archaean rocks represents materials of biogenic origin has met with a degree of scepticism. Isotopic compositions of graphite in >3.7-billion-year-old rocks from the Isua Supracrustal Belt (ISB), western Greenland, which are believed to be of sedimentary origin, suggest that vast microbial ecosystems were present in early Archaean oceans. However, results of more recent studies suggest that most of graphite-bearing rocks were formed through interactions between crustal fluids and surrounding igneous rocks during later metasomatic events, thereby casting doubt on the existence of an extensive sedimentary sequence in the ISB and on the biogenic origin of constituents. In contrast, ¹³C-depleted graphite globules, which are considered to form from biogenic precursors, have been reported from the metamorphosed clastic sedimentary rocks in the ISB. However, these were found at a single locality. It therefore remains unclear whether traces of life at other localities in the ISB were lost during metamorphism or were originally absent. The presence of additional clastic sedimentary rocks containing graphite may provide evidence for the preservation of organic constituents in early Archaean rocks, thus supporting the notion that microbes were active in early Archaean oceans.

We conducted a geological survey along the northwestern area of the ISB. Banded iron formations contain interbedded black to grey schist layers, typically 40-80 cm thick. Rare earth element patterns in samples lie close to that in Post Archaean Australian Shale, suggesting that the protoliths of the schist was clastic marine sediments. The black-grey schist samples contain abundant reduced carbon (0.1-8.8 wt%), identified as graphite by X-ray diffraction analysis. The range of $\delta^{13}\text{C}$ values was -23.8 to -12.5 per mil (average, -17.9 per mil), which is within the range of values reported in previous studies. Scanning transmission electron microscope and high-resolution electron microscope observations present different nanoscale morphologies between the graphite of metasediment and secondary vein samples. Examined metasediment included graphitic polygonal grains and nanotubes. Sheeted flakes were a dominant morphology of secondary graphite, whereas polygonal grains and nanotubes were absent from them, suggesting a different origin from the secondarily derived graphite.

We modelled the theoretical $\delta^{13}\text{C}$ values of fluid-precipitated graphites. The lowest $\delta^{13}\text{C}$ values exceed -16.4 per mil when Rayleigh-type isotope fractionation operates in the fluids. Therefore, ¹³C-depleted biogenic organic matter in Isua clastic sediments is postulated as an initial carbon source to explain the lightest carbon isotope compositions (e.g., -23.8 per mil) in the present study. Distorted structures are common in pyrolysed and pressurized organic compounds. Such precursors commonly contain non-planar carbon ring compounds associated with abundant pores. Biogenic organic matter, which contains various molecules and functional groups, is suggested as the precursors of the graphite observed in metasediment.

In summary, the graphite in metasediment from the northwest ISB is distinct from the graphite in secondary vein samples. The combined information on geological occurrences, graphite morphologies, nanoscale structures, and isotopic compositions of the graphite in the metasediment suggests a biogenic origin of the graphite. High concentrations of ¹³C-depleted graphite in these rocks would require widespread biological activity to support the high rate of production and sedimentary delivery of organic matter to the >3.7-billion-year-old ocean floor.

キーワード: 生命の起源, グリーンランド, イスア表成岩帯, グラファイト, 生命の痕跡

Keywords: origin of life, Greenland, Isua Supracrustal Belt, graphite, remnants of life

南アフリカバーバートン地域ムーディーズ層(32億年前)に産出する碎屑性堆積岩の
鉱物学的地球化学的研究
Mineralogical and geochemical study of clastic sedimentary rocks in Barberton green-
stone belt, South Africa

川井 祥二^{1*}; 掛川 武¹
KAWAI, Shohji^{1*}; KAKEGAWA, Takeshi¹

¹ 東北大学大学院理学研究科地学専攻
¹ Graduate School of Science, Tohoku University

シアノバクテリアの出現時期を知る事は、初期地球環境を考える上で重要である。しかし太古代の岩石中に残されたシアノバクテリアの出現・活動時期には疑問点が多く、その詳しい出現時期は決まっていない。初期地球環境を探るため堆積岩中に含まれるRSE(酸化還元環境に敏感な元素)の挙動が注目されている。しかし南アフリカバーバートン地域の堆積岩中に含まれるRSEを調べた例はあまりない。そのため本研究では、(1)南アフリカバーバートン地域ムーディーズ層(32億年前)に産出する碎屑性堆積岩の鉱物学的地球化学的特徴を見出す、(2)碎屑性堆積岩に含まれるRSEの挙動について考察する、(3)32億年前の海洋環境の酸化還元状態を推定する、以上3点を目的とする。

本研究では現世の風化を受けていない碎屑性堆積岩(主に砂岩)のコア試料を分析に用いた。砂岩試料にはCrを含む黒雲母とフクサイトに包有されている丸みを帯びたクロム鉄鉱が観察された。またフクサイト等に関連していないクロム鉄鉱は見られなかった。これは周りのフクサイトが堆積にもたらされるまでの移動や続成作用による風化からクロム鉄鉱を守ったと考えられる。逆にクロム鉄鉱だけからなる碎屑性粒子は存在しなかった。

また、全岩化学組成分析結果によると大部分の元素(Ti, Zr, Cr等)はAlと正の相関を持っている事が分かった。この事から砂岩試料は大部分が碎屑物由来であると考えられる。一方でCu, Pb, Mo, MnはAlと相関を持たなかった。CuとPbは続成作用、変成作用時の流体によって堆積物中に混入したと思われる。MoとMnは堆積時や続成作用時に成分が移動した可能性が高い。Moには酸化的な海洋に溶け、有機物によって還元される事によって沈殿するという特徴がある。この事からMoは酸化的な海洋に一度溶けた事が示唆される。比較的有機物を多く含む試料中にMoの含有量が高い結果もこの考察を支持している。以上の酸化還元に敏感な鉱物や元素の特徴は32億年前には酸化的海洋環境が存在し、シアノバクテリアはすでに活動していた事を強く支持した。

キーワード: シアノバクテリア, クロム鉄鉱, バーバートン, RSE
Keywords: Cyanobacteria, Chromite, Barberton, RSE

古酸化還元指標としてのセリウム安定同位体分別 Cerium stable isotopic fractionation as a potential paleo-redox proxy

中田 亮一^{1*}; 田中 雅人¹; 谷水 雅治²; 高橋 嘉夫¹

NAKADA, Ryoichi^{1*}; TANAKA, Masato¹; TANIMIZU, Masaharu²; TAKAHASHI, Yoshio¹

¹ 広島大学大学院理学研究科, ² 海洋研究開発機構高知コア研究所

¹Department of Earth and Planetary Systems Science, Graduate School of Science, Hiroshima University, ²Kochi Institute for Core Sample Research, JAMSTEC

Cerium (Ce) anomaly that appears in rare earth element (REE) pattern is a tool to estimate paleoredox condition and has been used for many studies. Discussion in previous studies, however, has been limited to qualitative one based on the REE pattern. This study, therefore, aims to provide more quantitative information on the redox condition in paleoenvironment by Ce stable isotope ratio related to the redox-sensitive property of Ce. If fractionations of Ce stable isotope responds differently to various geochemical processes such as (i) oxidative scavenging on Mn oxide, (ii) precipitation as Ce(OH)₄, and (iii) adsorption of Ce³⁺ without oxidation, it is possible that Ce stable isotope ratio can give more information on redox condition in paleoenvironment.

Cerium(III) chloride solution was added to manganese oxide and iron hydroxide, respectively, with the concentration of Ce systematically changed. In both systems, pH was adjusted to 5.00, 6.80, 8.20, and 11.0 (±0.05) and shaken for 6 hours before the filtration using 0.2 μm membrane filter. In addition, precipitation of Ce was obtained by bubbling of O₂ gas in the same CeCl₃ solution. Stable isotope ratios of Ce in both liquid and solid phases were determined using MC-ICP-MS at Kochi Institute for Core Sample Research. The CeCl₃ solution used in the adsorption experiment was employed as standard solutions and the isotope ratio of each element was expressed in delta notation relative to the average standards, which is shown in the equation as follows: $\delta^{142}\text{Ce} = [(142\text{Ce}/140\text{Ce})_{\text{sample}} / (142\text{Ce}/140\text{Ce})_{\text{CeCl}_3} - 1] \times 10^3$.

Assuming equilibrium isotopic fractionation, the mean isotopic fractionation factor between the liquid and solid phases $\alpha_{Lq?So}$ of Ce adsorbed on ferrihydrite was within the analytical uncertainty for all the pH conditions. Meanwhile, the $\alpha_{Lq?So}$ of Ce adsorbed on δ-MnO₂ was gradually decreased with increasing pH. Most surprisingly, the $\alpha_{Lq?So}$ of spontaneous precipitation of Ce showed that, with increasing pH, the direction of the isotopic fractionation was in contrast to those in the adsorbed systems. These results suggests that the degree of mass-dependent fractionation of Ce can be used to clearly distinguish spontaneous precipitation from oxidative adsorption on δ-MnO₂, that occurs under more oxic conditions than the Ce(III)/Ce(IV) boundary. Our results suggest that the combination of the degrees of mass-dependent fractionation and chemical state of Ce can be used to classify the redox condition into the three stages based on Ce geochemistry, thereby offering a powerful tool for exploring redox conditions in paleo-ocean environments.

キーワード: セリウム, 安定同位体比, 酸化還元

Keywords: cerium, stable isotope, redox

初期大気進化の解読：D36S/D33S 化学層序の実験的復元 Decoding the Evolution of Early Atmosphere: Experimental Reconstruction of the D36S/D33S Chemostratigraphy

上野 雄一郎^{1*}; 遠藤 美朗¹; 三島 郁¹; ダニエラチェ セバスチアン⁴
UENO, Yuichiro^{1*}; ENDO, Yoshiaki¹; MISHIMA, Kaoru¹; DANIELACHE, Sebastian⁴

¹ 東京工業大学地球惑星科学専攻, ² 東京工業大学地球生命研究所, ³ 海洋研究開発機構プレカンブリアンエコシステムラボラトリー, ⁴ 上智大学理工学研究科

¹Department of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology, ²Earth-Life Science Institute (ELSI), Tokyo Institute of Technology, ³Precambrian Ecosystems Laboratory, JAMSTEC, ⁴Faculty of Science & Technology, Sophia University

Sulfur Mass-Independent Fractionation (S-MIF) has potential to monitor chemistry of the Earth's early atmosphere (Farquhar et al., 2000). Nonetheless, detailed mechanism of the S-MIF occurred in the Archean atmosphere is still poorly understood. Previous laboratory experiments indicate the anomalous isotopic fractionation depends largely on (1) wavelength or spectrum of the incident light source and (2) partial pressure of SO₂, though none of these experiments have not yet succeeded to fully reproduce the S-MIF recorded in the Archean sedimentary rocks (e.g., Danielache et al., 2008; Masterson et al., 2011; Whitehill & Ono, 2012). We have developed a new photochemical chamber for determining isotopic effect of the SO₂ photolysis under optically thin condition. Also, a new direct fluorination technique of carbonyl sulfide allowed us precise isotopic analysis down to 50 nmolS of photolysis product. The results indicate that the basic character of the S-MIF observed in the Archean record can be reproduced when SO₂ column density is reasonably low (i.e. 10 to 50 times higher than preindustrial atmosphere). The results with a numerical modeling of the atmospheric reaction network suggest that the observed change in D36S/D33S ratio can be adequately explained by the two factors: (1) SO₂ partial pressure and (2) amount of reducing gas (H₂, CH₄ and CO). In light of the new perspective, we have re-evaluated the geological record of the D36S/D33S ratio with additional analyses of Archean sedimentary sulfides from South Africa and India. Based on the magnitude of the S-MIF and the D36S/D33S ratio, the Archean period can be subdivided into four stages (i.e. > 3.0 Ga, 3.0-2.7 Ga, 2.7-2.5 Ga and 2.5-2.4 Ga). These changes probably reflect both intensity of volcanic SO₂ emission and concentration of reducing gasses under the O₂-free atmosphere. Particularly, the maximum scatter of D33S values observed in the stage 3 (2.7-2.5 Ga) requires high volcanic emission as well as very reducing atmospheric condition in the atmosphere at that time.

キーワード: 太古代, 大気化学, 非質量依存分別

Keywords: Archean, atmospheric chemistry, mass independent fractionation

KROME 化学パッケージによる太古代大気モデリング Archean Atmospheres Modeled with the KROME Chemistry Package

Danielache Sebastian^{1*}; 上野 雄一郎³; シモンチニ エウジェニオ²
DANIELACHE, Sebastian^{1*}; UENO, Yuichiro³; SIMONCINI, Eugenio²

¹ 上智大学・理工学部・物質生命理工学科, ²INAF, Astrophysical Observatory of Arcetri, Italy., ³ 東京工業大学・地球惑星専攻, ⁴ 東京工業大学・地球生命研究所

¹Sophia University, Faculty of Science & Technology, Department of Materials and Life Sciences, ²INAF, Astrophysical Observatory of Arcetri, Italy., ³Earth & Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology, ⁴Earth-Life Science Institute (ELSI), Tokyo Institute of Technology

Sulfur isotopic fractionation has been used as a tool to understand the composition of reducing atmospheres. Our previous work (Danielache et al., 2008 and 2012) have shown that UV-light triggers a large Sulfur Mass-Independent Fractionation (S-MIF) on the SO₂ photodissociation products. However photodissociation of unshielded UV-light alone cannot reproduce the S-MIF signals reported for the Archean and Early Proterozoic (>2300 Ma) nor its large variability mainly at 2600 Ma (D33S = +11 ‰) (Johnston, 2011). In order to study a planetary-like chemical network capable of accounting for a sulfur cycle in reducing conditions we have introduced a high-order solver (DLSODES) administrated by the KROME (Grassi et al.,) chemistry package. The package automatically generates a set of FORTRAN subroutines with build-in rate equations and solves them with accuracy and efficiency for sparse networks. This technique allows us to couple a detailed 4 sulfur isotopes chemistry to a 1D transport model capable of calculating the opacities influencing photochemistry and the temperature structure of an Archean atmosphere. We present preliminary results showing the ability of the code to deal with small isotopic fractionations and compare with already existing model studies of the Archean atmosphere.

Danielache, S. O., et al., (2008), High-precision spectroscopy of 32S, 33S, and 34S sulfur dioxide: Ultraviolet absorption cross sections and isotope effects, *J. Geophys. Res.*, 113(D17), D17314,

Danielache, S. O., et al., (2012), Photoabsorption cross-section measurements of 32S, 33S, 34S, and 36S sulfur dioxide for the B1B1-X1A1 absorption band, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 117(D24),

Johnston, D. T. (2011), Multiple sulfur isotopes and the evolution of Earth's surface sulfur cycle, *Earth Science Review.*, 106(1-2), 161-183.

Grassi T., et al., (2014), KROME - a package to embed chemistry in astrophysical simulations, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society.*, DOI: 10.1093/mnras/stu114 (arXiv:1311.1070 [astro-ph.GA]).

キーワード: 古大気, 硫黄, 安定同位体

Keywords: Archean Atmosphere, Sulphur, Stable Isotopes

ケイ酸塩風化の見かけの活性化エネルギーに対する大気組成の影響 Effects of atmospheric composition on apparent activation energy of silicate weathering

菅崎 良貴^{1*}; 村上 隆¹
KANZAKI, Yoshiki^{1*}; MURAKAMI, Takashi¹

¹ 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻

¹Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, University of Tokyo

Silicate weathering is a major sink of atmospheric CO₂. Because CO₂ is an important greenhouse gas, silicate weathering regulates not only the partial pressure of atmospheric CO₂ (P_{CO_2}) but also the surface temperature (T). The apparent activation energy of silicate weathering represents the temperature dependence of silicate weathering and thus interrelates the intensity of silicate weathering, P_{CO_2} and surface temperature. It has been reported that solution composition can affect the apparent activation energy of dissolution/precipitation of silicates (e.g., Casey and Sposito, 1992; Lasaga, 1995; Cama et al., 1999). However, the relationship between the solution composition and the apparent activation energy of silicate reaction is not yet fully understood.

To investigate the apparent activation energy of silicate weathering in a natural weathering system, we formulated the apparent activation energy of silicate weathering in three different scales, namely, (i) dissolution/precipitation of each mineral, (ii) elemental loss as the net reactions of the minerals and (iii) weathering flux from a weathering profile, based on the rate expressions in the three scales. It was found that, due to the effects of solution composition on the apparent activation energy, the temperature dependence of atmospheric CO₂ ($\Delta H^*_{CO_2}$) affects the apparent activation energy of silicate weathering. Based on the formulated apparent activation energy, we estimated the apparent activation energy of silicate-weathering flux as a function of $\Delta H^*_{CO_2}$. Then, the compensation law between the pre-exponential factor and the apparent activation energy of silicate-weathering flux was introduced from the literature, leading to the establishment of the relationship between silicate-weathering flux (F_{CO_2}), T and $\Delta H^*_{CO_2}$.

Based on the F_{CO_2} - T - $\Delta H^*_{CO_2}$ relationship and the greenhouse effects of atmospheric CO₂ in the literature, we calculated the ratio of change in F_{CO_2} to that in P_{CO_2} as an indicator of silicate-weathering feedback in the Precambrian. The calculation revealed that when $P_{CO_2} > \sim 10^{-0.5}$ atm, the feedback is negative and independent of P_{CO_2} and surface temperature. On the other hand, when $P_{CO_2} < \sim 10^{-0.5}$ atm, the feedback is independent of P_{CO_2} but dependent on surface temperature; at low ($< \sim 30$ °C) and high ($> \sim 30$ °C) temperatures, the feedback is negative and positive, respectively. Due to the positive feedback, the conditions of $P_{CO_2} < \sim 10^{-0.5}$ atm and $T > \sim 30$ °C are unstable, and immediately change, with a slight change in P_{CO_2} , to either the conditions of $P_{CO_2} > \sim 10^{-0.5}$ atm or those of $P_{CO_2} < \sim 10^{-0.5}$ atm and $T < \sim 30$ °C. When $P_{CO_2} < \sim 10^{-0.5}$ atm and $< \sim 30$ °C, the feedback is not only negative, but also becomes more negative as temperature decreases, suggesting that global glaciations are harder to bring about than previously thought.

キーワード: ケイ酸塩風化, 二酸化炭素, フィードバック, 先カンブリア時代
Keywords: silicate weathering, carbon dioxide, feedback, Precambrian

Kinetics and Mechanisms of Zeolite Crystallization at Hyperalkaline Conditions Kinetics and Mechanisms of Zeolite Crystallization at Hyperalkaline Conditions

FRANCISCO, Paul clarence^{1*}; SATO, Tsutomu¹; OTAKE, Tsubasa¹
FRANCISCO, Paul clarence^{1*}; SATO, Tsutomu¹; OTAKE, Tsubasa¹

¹Graduate School of Engineering, Hokkaido University

¹Graduate School of Engineering, Hokkaido University

The predicted precipitation of zeolites in geologic barrier systems for radioactive wastes due to the alkaline alteration of bentonite may result in the modification or loss of favorable physicochemical properties of the bentonite as a suitable barrier material. Zeolites formation is typically preceded by an amorphous precursor, the transformation of which is seen as the rate-controlling step. However, the structure of the precursor phase and the rates and mechanisms by which it transforms into crystalline zeolites are poorly understood. In this study, we investigated the rates and mechanisms of zeolite crystallization from solutions.

Batch synthesis experiments were carried out over a range of solution compositions ($\text{Si}/\text{Al} = 0.1$ to 8.0), pH (9.5 to 13.5) and temperature (25C to 90C) conditions in order to clarify the effects of these parameters on zeolite crystallization. Solid products were characterized using XRD, SEM-EDX, FTIR spectroscopy, Raman spectroscopy and MAS NMR spectroscopy.

Zeolite crystallization proceeds by the rapid formation of an amorphous precursor phase, followed by the slower transformation of this precursor into crystalline zeolite. Depending on the Si/Al ratio of the parent solution, the species of zeolite may vary. At $\text{Si}/\text{Al} > 1$, Faujasite forms slowly, whereas for $\text{Si}/\text{Al} < 1$, Zeolite A forms more rapidly. Higher pH and temperatures favor transformation.

Morphological information from SEM shows intimate physical relationship between crystalline zeolites and the amorphous precursor phase. Spectroscopic results from FTIR, Raman and MAS NMR indicate that ring structures are present in both amorphous and crystalline phases, indicating structural similarity between the two phases. These data may suggest that amorphous phases transform directly into crystalline zeolites. The activation energy of crystallization suggests that solid-state processes occur alongside dissolution of the amorphous phase in order for the transformation of the amorphous phase into crystalline zeolite to proceed.

キーワード: zeolite, mechanisms, transformation, spectroscopy

Keywords: zeolite, mechanisms, transformation, spectroscopy

アモルファス炭酸カルシウム (ACP) 相変化へのリン酸イオンの影響 Effects on Phosphate Ion for the Phase Changes of Amorphous Calcium Carbonate

杉浦 悠紀^{1*}; 小沼 一雄²; 山崎 淳司¹
SUGIURA, Yuki^{1*}; ONUMA, Kazuo²; YAMAZAKI, Astushi¹

¹ 早稲田大学創造理工学研究科地球・環境資源理工学専攻, ² 産業技術総合研究所ヒューマンライフテクノロジー研究部門
¹Department of Creative Science and Technology, Waseda University, ²National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Central 6

アモルファス炭酸カルシウム (ACC) は、生体模擬環境下において、カルシウムと炭酸を混合した場合、初生相として出現する。この ACC を経て、後発の結晶相が形成し、ACC の構造と、後発の結晶相の多形の間には密接な関係があるということが知られている。我々は、先行研究において生体必須元素である PO₄ は、 μ M スケールの濃度でも後発の多形の種類や安定性に大きな影響を与え、生体模擬環境下における初生結晶相であるバテライトの形成を強力に抑制し、カルサイトが代わりに晶出するというを示した。この理由として、ACC 中に取り込まれた PO₄ イオンがアモルファス相の転移機構を調整しているのではないかと仮説の元、PO₄ イオンの ACC の構造及び、安定性に与える影響について、in situ の方法である紫外・可視分光法 (UV/Vis) 及び、光散乱法 (時間分割方式静的光散乱法: TR-SLS, マルチアングル型動的光散乱法: MA-DLS) を用いて検証を行った。さらに、結合状態を詳しく観察するため、ラマン分光法にて ex situ の測定を行ったほか、Ca イオン電極を用いて、ACC の存在時間の評価を併せて行った。

重炭酸緩衝により、pH \sim 8.6 の条件において、炭酸水素ナトリウム溶液と塩化カルシウム溶液を、過飽和で混合し、ACC を析出させた。PO₄ イオンは、混合時に炭酸側の溶液に任意の濃度でリン酸水素カリウムを混合することで、濃度を 0-50 μ M の間で調節した。

UV/Vis 吸光スペクトルは、PO₄ イオンを含んでいない ACC では、カルサイトに似たスペクトルを示し、PO₄ イオンの濃度が増大していくにつれ、徐々にバテライトに似たスペクトルへと変化していった。また、この傾向はラマンによるスペクトル観察においても、同様の傾向を示した。さらに、これらの分光法に加え光散乱法によって ACC の粒径及び分子量を測定したところ、PO₄ イオン濃度が増大するにつれて、溶液中に存在する ACC は、密度、粒径のいずれも増大した。イオン電極を用いて、ACC の存在時間を測定したところ、PO₄ 濃度が増大するにつれて、ACC の存在時間は指数関数的に増大していくということが示された。

PO₄ イオン存在下において、ACC はバテライトに似た構造を示し、その安定性は増大する。また、この傾向は μ M スケールの PO₄ イオンの変動でも、アモルファスの構造や安定性は大きく変動し、また後発の多形の種類も大きく変化することが考えられる。含 PO₄ ACC は、生物中において炭酸カルシウム組織が形成する場合、共存する PO₄ イオンの影響を考慮する必要性を示唆することが明らかになった。

キーワード: アモルファス, 炭酸カルシウム, リン酸, 相転移, バイオミネラリゼーション
Keywords: Amorphous, Calcium carbonate, Phosphate, Phase transformation, Biomineralization

地熱熱水中の鉱物粒子の再検証：ポリケイ酸粒子と固相吸着粒子 Re-evaluation of mineral particles in geothermal fluid: Focus on polysilicic acid and adsorbed particles

米津 幸太郎^{1*}; 益田 千聖¹; 増永 幸²; 江藤 真由美²; 渡邊 公一郎¹; 横山 拓史²
YONEZU, Kotaro^{1*}; MASUDA, Chisato¹; MASUNAGA, Sachi²; ETOU, Mayumi²; WATANABE, Koichiro¹; YOKOYAMA, Takushi²

¹九州大学・工・地球資源,²九州大学・理・化学

¹Dept. of Earth Resources Engineering, Kyushu Univ., ²Dept. of Chemistry, Faculty of Sciences, Kyushu Univ.

地熱系では、しばしば地熱熱水中のケイ酸濃度とその物理化学的条件における非晶質シリカの溶解度を超える過飽和状態になる。その結果、熱水中でケイ酸の重合反応が起こり、ポリケイ酸粒子が生成するとともに、熱水中から固相表面に吸着した粒子が核となりシリカ系沈殿物の生成が起こる。シリカ系沈殿物の生成には、熱水中のケイ酸の重合および固相表面に吸着する粒子の両方が影響すると考えられる。本研究では、ケイ酸の重合で生成するポリケイ酸粒子と固相表面に吸着する粒子に着目し、それらのサイズや化学組成について検討した。

[1] 熱水中でのケイ酸の重合により生成するポリケイ酸粒子

ケイ酸の重合反応は、吸光度法によりモノケイ酸濃度の減少速度を測ることによって知ることができる。そのモノケイ酸濃度は非晶質シリカの溶解度まで減少するが、この方法からは生成するポリケイ酸に関する情報を得ることはできない。そこで本研究では、このポリケイ酸に関するサイズの情報を得るために、サイズ排除クロマトグラフィー（ゲルクロマトグラフィー）を用いた。この方法では、モノケイ酸濃度に加えてその溶出位置（あるいは分配係数 K_{av} ）からポリケイ酸に関する相対的なサイズについての情報を得ることができるが、絶対的なサイズを知ることはできない。吸光度法とゲルクロマトグラフィー法の組み合わせから定性的ではあるが、ケイ酸の重合反応は次の3つの反応で進行することが明らかにされている 1)。

- (1) モノケイ酸とモノケイ酸の反応からジケイ酸の生成と続くオリゴケイ酸の生成
- (2) モノケイ酸とポリケイ酸の反応によるポリケイ酸の成長 (M-P 反応)
- (3) ポリケイ酸間の反応によるポリケイ酸の成長 (P-P 反応)

近年、地熱熱水中のポリケイ酸のサイズを動的光散乱法 (DSL) で測定できることが示され、この方法を用いると、粒子の流体力学的サイズ分布を知ることができ、その時間変化も測定可能である。著者グループでは GPC の K_{av} と DSL の流体力学的サイズとの関係を構築し、 K_{av} からポリケイ酸の流体力学的サイズを見つめる方法を提案した 2)。しかし、どのようなサイズのポリケイ酸がどのように成長するのか (P-P 反応の機構) はわからない。そこで、本研究ではさらに分画したポリケイ酸粒子を透過電子顕微鏡 (TEM) で観察することで、ポリケイ酸一次粒子のサイズと凝集反応を明らかにするとともに、DLS により平均サイズの時間変化を測定することにより、ポリケイ酸サイズの時間変化を含めた溶液中におけるケイ酸の重合反応機構を明らかにした。

[2] 熱水から銅管表面へ沈殿・吸着する粒子

地熱発電所でのシリカスケールの生成では、固相表面に吸着した粒子が核となり（たとえば水酸化アルミニウム）これにモノケイ酸が吸着、重合することによりシリカ系沈殿物が生成する 3)。これは、シリカスケール中には熱水に比べてアルミニウムが非常に濃縮されること、さらに短時間銅板を熱水に浸けるとアルミニウムが優先的に吸着（沈殿）することから提案されている機構である。しかし、アルミニウム以外の粒子については研究された例がない。本研究では、口径の異なるフィルターでろ過した場合のフィルターに捕捉された粒子および熱水に浸した銅管表面に吸着した粒子を SEM で観察した。また、特徴的な粒子については EDX により化学組成を調べた。ここで、銅管表面に吸着する粒子は、もともと熱水中に粒子として存在したものと固相表面で熱水から析出したものがあると考えられるが区別しがたい場合がある。フィルター上には口径以上に成長したポリケイ酸や鉱物粒子が捕捉された。一方、熱水中で生成したポリケイ酸は銅管表面にはほとんど吸着しなかった。銅管表面には岩石粒子、アルミノケイ酸塩、水酸化アルミニウム、マグネシウムケイ酸塩など様々な化学組成、サイズの粒子が吸着することがわかった。これらすべての粒子がシリカ質沈殿物生成の核として働くのかどうかを検証する必要がある。

今後、地熱エネルギー利用を促進するためにバイナリー発電が増加すると予想されている。その発電方式では熱交換器表面にシリカスケール（シリカ質沈殿物）が生成し、熱交換率が低下することが懸念される。本研究の結果は、バイナリー発電におけるシリカスケール生成を防止する技術を開発する際の基礎情報になると考えられる。

文献

- 1) Shimada and Tarutani, Bull. Chem. Soc. Jpn., 53, 3488 (1980).

U05-11

会場:419

時間:4月30日 12:30-12:45

- 2) Otsu et al., Anal Sci., 29, 333 (2013).
- 3) 横山ら、地熱, 39, 43 (2002).

キーワード: ポリケイ酸, 地熱, バイナリー発電, ケイ酸の重合, 鉱物粒子

Keywords: polysilicic acid, geothermal fluid, binary power generation, polymerization of silicic acid, mineral particles

ウランの地球微生物学—地下深部環境への挑戦—
Geomicrobiology of Uranium - Challenges for the Deep Geological Environment

鈴木 庸平^{1*}
SUZUKI, Yohey^{1*}

¹ 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻
¹Department of Earth & Planetary Science, The University of Tokyo

Our understanding of uranium mobility in the environment has been rapidly expanding in the past decades, especially due to problems associated with environmental remediation of uranium-contaminated sites and geological disposal of spent fuels composed mostly of UO_2 . Although neither of these environmental problems was relevant in Japan, Fukushima Daiichi nuclear disaster has dramatically changed our situation. Despite the significant advancement, it is still difficult to predict the form, distribution and fate of uranium in the deep subsurface, as exemplified by studies of a Swedish geological disposal site where high concentrations of uranium was unexpectedly found in the granitic aquifer. In this presentation, the state of the art investigations of microbially mediated redox reactions and uranium mobility in the deep granitic aquifer at Mizunami Underground Research Laboratory (URL) will be presented to discuss factors controlling long-term uranium migration, as well as the relevance to the formation processes of Tono uranium deposit nearby the URL.

キーワード: ウラン, 微生物, 酸化還元反応, 地下実験施設

Keywords: uranium, microorganisms, redox transformation, underground research laboratory

好塩性古細菌 *Haloarcula* は生育温度によって2種類の 16S rRNA 遺伝子の転写を制御する *Haloarcula* strains regulate transcription of two types of 16S rRNA genes by growth temperatures

佐藤 悠^{1*}; 木村 浩之¹
SATO, Yu^{1*}; KIMURA, Hiroyuki¹

¹ 静岡大学大学院理学研究科

¹ Graduate school of Science, Shizuoka university

翻訳はリボソームにて行われるタンパク質を合成するプロセスである。リボソームは小サブユニットと大サブユニットの2つのユニットがある。原核生物のリボソーム小サブユニットは 16S rRNA といくつかのタンパク質からなる。多くの微生物学者は原核生物の系統解析や同定に 16S rRNA 遺伝子を利用している。16S rRNA 遺伝子の塩基配列にはその原核生物の適応温度が自然とされるされていると報告されている。この見識は原核生物の生育温度と 16S rRNA 遺伝子配列のグアニンとシトシンの含まれる量 (G+C 含量) との間の高い相関に基づいている。一般的に、好熱菌および超好熱は高い G + C 含量の 16S rRNA (約 56-69%) を有している。対照的に、中温菌および好冷菌の原核生物は比較的に低い G + C 含量の 16S rRNA (約 51-59%) を有することが知られている。

ユーリアーキオータ門の好塩性古細菌に属する *Haloarcula* は、ゲノム上に2種類の 16S rRNA 遺伝子を有することが知られている。これらの 16S rRNA は異なる塩基配列と G + C 含量を示す。本研究では、熱に対する安定性を示す高い G + C 含量の 16S rRNA (58%) が高温での増殖時に多く発現し、一方、低 G + C 含量の 16S rRNA (56%) は低温での細胞増殖時に多く発現するという仮説を立てた。この仮説を検証するために、RT-qPCR 法により様々な温度条件下における *Haloarcula* 菌株の 16S rRNA 遺伝子の転写応答を測定した。その結果、40-55 °C の高い温度条件下において G + C 含量の高い 16S rRNA 遺伝子の発現量が著しく増加した。一方、25-35 °C の低い温度条件下では、低い G + C 含量の 16S rRNA 遺伝子が有意に発現した。これらの結果より、*Haloarcula* は環境温度により G + C 含量の異なる 16S rRNA 遺伝子の転写を制御すると示された。

キーワード: 好塩性古細菌, 16S rRNA, G+C 含量, 翻訳, 環境温度

Keywords: halophilic archaea, 16S rRNA, G+C contents, translation, environmental temperature

沖縄トラフにおけるメタン酸化に依存した生態系にメタン濃度が及ぼす影響 The effect of methane concentration on methanotrophic bathymodiolid mussels in the Okinawa Trough hydrothermal fields

宮崎 ゆかり^{1*}; 砂村 倫成¹; 石橋 純一郎²; 渡部 裕美³; 今野 祐多³; 鈴木 庸平¹

MIYAZAKI, Yukari^{1*}; SUNAMURA, Michinari¹; ISHIBASHI, Junichiro²; WATANABE, Hiromi³; KONNO, Uta³; SUZUKI, Yohey¹

¹ 東京大学理学系研究科, ² 九州大学大学院理学研究院, ³ 海洋研究開発機構

¹ Graduate School of Science, the University of Tokyo, ² Graduate School of Science, the University of Kyusyu, ³ JAMSTEC

メタン (CH₄) は温暖化ガスであり、メタンをエネルギー源とする生物の出現は地球規模での気候変動に關与した可能性が指摘される。堆積物に記録されたメタン酸化菌の活動による同位体組成の軽い有機物から、当時の大気・海洋のメタン濃度を復元できることが期待されている。現在の海洋においてメタンをエネルギーとして生態系が形成される海域は非常に限定的であり、冷湧水域と熱水噴出域が挙げられる。冷湧水域では堆積物中で嫌氣的メタン酸化によってメタンが硫化水素に変換され、同位体組成が軽くない硫酸化の化学合成生物に利用される。一方、熱水噴出域で大量のメタンが放出されるのは大陸縁辺の厚い堆積物を伴う海域で、メタン酸化菌と共生するヒバリガイが重要な一次生産者である。沖縄トラフはメタンに富む多様な熱水活動域が報告されており、メタン濃度に加えて水深や火山活動がシンカイヒバリガイを代表とするメタン酸化に依存した生態系に与える影響を深海環境で観測できる数少ないテクトニックセッティングである。

沖縄トラフにおいて五箇所の熱水噴出域：中部沖縄トラフの南奄西海丘、伊是名海穴、与論海丘及び南部沖縄トラフの鳩間海丘、伊良部海丘で調査を行った。玄武岩質溶岩の露出した伊良部海丘を除き、おおむねどの噴出域でもデイサイトまたは安山岩を覆う厚い堆積物が見られる。与論海丘及び伊良部海丘を除く調査海域でシンカイヒバリガイが優占し、伊良部海丘ではシンカイヒバリガイ類は見られず、代わりに深海熱水性のフジツボ (ネッスイハナカゴ) が優占種であった。与論海丘では大型生物はほとんど見られなかったが、サイズの小さいヒバリガイが1個体だけ産状不明で採取された。

ヒバリガイがほとんど棲息しなかった与論海丘と伊良部海丘では、CH₄濃度が2-9 μM程度で低かったのに対し、棲息するサイトではCH₄濃度が~80 μM程度であった。与論海丘とほぼ同じ水深の南奄西ではヒバリガイが棲息したため、水深が主な制約ではないと考えられる。また一個体採取されたため、幼生分散による理由でもなく、メタン濃度が分布を制約していると考えられた。伊良部海丘で見られたフジツボは触手に繊維状の外部共生菌が伴うため、この外部共生菌のエネルギー代謝を分子系統と炭素同位体組成から硫酸化であることを明らかにした。従って、伊良部海丘においてもメタン濃度が低い場合ヒバリガイが棲息しないことが示唆された。以上の結果から、およそ10 μMのCH₄濃度が軽い同位体組成を伴うメタン酸化に依存した生態系が成立するためのしきい値であり、大気中のメタン濃度の復元に繋がると期待される。

キーワード: 熱水噴出孔, シンカイヒバリガイ, ネッスイハナカゴ, メタン酸化細菌, 沖縄トラフ

Keywords: hydrothermal vent, Bathymodiolus sp., Neoverruca sp., methanotroph, Okinawa Trough

微生物活動により生じた水酸化鉄の堆積後に起こる鉄および炭素の循環 Biogeochemical cycles of iron and carbon in biogenic iron-rich sediment

菊池 早希子^{1*}; 牧田 寛子²; 今野 祐多²; 白石 史人¹; 高井 研²; 高橋 嘉夫¹
KIKUCHI, Sakiko^{1*}; MAKITA, Hiroko²; KONNO, Uta²; SHIRAISHI, Fumito¹; TAKAI, Ken²; TAKAHASHI, Yoshio¹

¹ 広島大学理学研究科地球惑星システム学専攻, ² 海洋研究開発機構

¹Department of Earth and Planetary Systems Science, Graduate School of Science, Hiroshima University, ²Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Biogenic iron oxides are the mixture of iron oxyhydroxides and organic materials which are produced by the metabolic activities of bacteria. These biogenic iron oxides work not only as adsorbent for various trace elements, but also as a source of iron and carbon for microorganisms. However, there is only little information about the degradation process of biogenic iron oxides and the effect to microbial activities after their sedimentation. Thus, the purpose of our study is to identify the spatial changes of iron species and microbial communities in biogenic iron-rich sediment (10 cm long).

We observed the existence sharp shifts for iron mineral species and microbial communities in the sediment. The dominance of ferrihydrite at the surface sediment (0-2 cm) subsequently turned into goethite and siderite at sediment depth 2-5 cm, corresponding to the iron reduction. However, iron reduction was depleted at depth deeper than 5 cm, as opposed to the remarkable increase of methane concentration. The microbial clone libraries were dominated by iron-oxidizing chemolithoautotrophic bacteria in the sediment 0-2 cm. In contrast, phylotypes represented by iron reducing and fermenting bacteria at 4 cm, and uncultured delta-proteobacteria and methanogenic archaea were recovered at 10 cm depth. These changes of iron mineral species, carbon metabolisms, and microbial communities only within a few centimeter intervals will also couple to the drastic change in cycles of trace element around the biogenic iron-rich sediment.

キーワード: 水酸化鉄, 鉄酸化菌, フェリハイドライト, シデライト, 鉄還元菌, メタン

Keywords: iron oxides, iron-oxidizing bacteria, Ferrihydrite, Siderite, iron-reducing bacteria, methane

微生物によるナノ粒子化と微生物－ナノ粒子間相互作用 Interaction of nanoparticles with microorganisms

宇都宮 聡^{1*}; 塩津 弘之¹; 正木 翔太¹; ジャン ミンユ¹; 大貫 敏彦²

UTSUNOMIYA, Satoshi^{1*}; SHIOTSU, Hiroyuki¹; MASAKI, Shota¹; JIANG, Mingyu¹; OHNUKI, Toshihiko²

¹九州大学, ²日本原子力研究開発機構

¹Kyushu University, ²JAEA

Nano-mineralization by microorganisms is a key process that can constrain the migration of actinides and REEs. This study demonstrates the REEs accumulation experiments to understand the effect of pH, coexistent REEs and the functional group of cells surfaces on the crystal chemistry of biogenic nanoparticle formation. During the experiment at 25 °C, all REEs were removed from the solution by 24 h at pH 4 and 5, while 50 % of the initial amount remained in the solution at pH 3 after 24 h. The nano-particles at pH 3 had monazite structure, while the particles forming at pH 4 and 5 were amorphous. The REE pattern at 24 h indicated the preferential uptake of LREEs. In case transuranic elements coexist, those elements should be preferentially incorporated into the particles compared to REEs. No cytotoxicity of CeNPs was detected; however, CeNPs induced an excess expression of two proteins: Eno2p and Rps24bp. The released organic substances enhanced anion adsorption and changed surface property of CeNPs. This leads to high colloid stability in solutions. This process is of great importance in the migration of radionuclides in the subsurface environment.

キーワード: 微生物, 希土類, ナノ粒子

Keywords: Nanoparticles, Microorganisms, Rare earth elements

石炭層と珪藻岩層における地下微生物によるメタン生成研究と応用展望 Microbial methanogenesis in coal seams and diatomaceous formations: Topics and application prospects

清水了^{1*}
SHIMIZU, Satoru^{1*}

¹NOASTEC 財団 幌延地圏環境研究所

¹Horonobe Research Institute for the Subsurface Environment

1. はじめに

様々な地下環境において微生物によるメタン生成が行われている。例えば、本講演の中心的話題の一つである石炭層においては世界各地で微生物起源のメタンが検出されており、既出の総説で紹介されている¹⁾。しかし、それら地下環境におけるメタン生成プロセスについては殆どわかっていない。これらを明らかにすることは、人類が地球規模の炭素循環メカニズムを理解しメタンをエネルギー資源としてより有効に活用するために必要である。本講演では、日本のほぼ北端に位置する幌延地域において著者らが行っている石炭層や珪藻岩層のメタン生成プロセスの解明を目指した研究とその応用方法の検討について概説する。

2. 石炭層と珪藻岩層のメタン生成微生物

(1) 石炭層の地下微生物

著者らが行った研究のうち主に石狩炭田(瀝青炭)²⁾および天北炭田(褐炭)について概説する。調査の結果、石狩炭田夕張地域の垂瀝青炭層(深度 843-907m)から得られた地層水にはメタン生成に関わる微生物の遺伝子が高比率で検出された。遺伝子解析および培養法によって水素と二酸化炭素、酢酸、メタノールなどのメチル化合物からメタンを作る微生物が存在することが明らかになっている。一方、天北炭田からは水素と二酸化炭素、酢酸およびエタノールからメタンを生成する微生物群の培養に成功している。

(2) 珪藻岩層の地下微生物

幌延地域の珪藻岩層の地層水には微生物起源のメタンが溶存限界まで含まれている。この地域の珪藻岩層(地下約 300m-600m)の地層水について、どのような微生物が生息しているのか調査を行った結果、メタン菌が非常に高い割合で存在することが明らかになっている³⁾。その内訳は、CO₂ 基質型のメタン菌が卓越していた。著者らは、遺伝子解析により明らかになった優占種のメタン菌の単離^{4,5)}にも成功している。これらの幌延の優占種であるメタン菌の生化学的な機能を詳細に研究することにより、地下のメタン生成プロセスの一端を明らかにすることができる。

3. 地下でメタンを生成するときのボトルネック解消と石炭層と珪藻岩層のメタン生成ポテンシャル

地下でメタンを生成してエネルギー資源として回収すること(以下、メタン生成ジオバイオリクターとする)は、石炭層を例にとると、炭鉱建設をせずに地下から直接ガスを採取できる点で経済性に優れる。しかし、メタン生成プロセスを加速させエネルギー資源として回収するためには、根源物質からメタン生成微生物が利用可能な物質までの分解プロセスが速度論的にボトルネックとなる。この反応プロセスはいくつかの仮説が提唱されているが、実験的に証明されていない。

我々は、このボトルネック解消に対し、いくつかのアプローチを行っているが、最も有望視しているのが過酸化水素を利用した方法である。過酸化水素と低ランクの石炭を反応させると短時間で石炭質量の数 10% (最大で約 80%) がメタン生成微生物群の利用可能な有機物に変換される⁶⁾。我々はこの既存技術を応用したメタン生成ジオバイオリクターの検討を進めており、この反応溶液に対してメタン生成微生物群集の添加によるメタン生成に成功している。同様の結果は珪藻岩でも生じるが、有機物含有量が少ないため岩石重量あたりの生成される有機物量は石炭に比べて少ない。しかし、石炭層の層厚数mに比べて珪藻岩の最大層厚 1km 以上を考慮すると、資源としての密度は低い絶対量としては無視できないポテンシャルを有していると考えられる。

References)

- 1) Strapoc et al. (2011) *Annu. Rev. Earth Planet Sci.* 39, 617-656.
- 2) Shimizu et al. (2007) *Geobiology* 5, 423-433.
- 3) Shimizu et al. (2006) *Geobiology* 4, 203-213.
- 4) Shimizu et al. (2011) *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 61, 2503-2507.
- 5) Shimizu et al. (2013) *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 63, 4320-4323.
- 6) Miura et al. (1996) *Energy & Fuels* 10, 1196-1201

キーワード: 天然ガス, 石炭, 珪藻岩, 地下微生物, メタン生成, ジオバイオリクター

Keywords: Methane, Coal, diatomaceous rock, subsurface microorganisms, methanogenesis, Geo-bioreactor

表層水圏と堆積物中のヒ素の移動過程 Transportation process of As in surface and shallow ground waters

益田 晴恵^{1*}
MASUDA, Harue^{1*}

¹ 大阪市立大学
¹Osaka City University

ヒ素汚染地下水は1990年代以降、世界的な問題であり、多くの研究が進められてきたが、いまだに原因が明確になっていない。表層水中あるいは帯水層堆積物のごく浅層でヒ素を含む鉱物が酸化分解して帯水層堆積物にヒ素を吸着した酸水酸化鉄が形成され、地下水の還元と同時にこれが分解してヒ素が地下水中に溶出すると考える研究者が多い。黒雲母や黄鉄鉱などはヒ素を含む原因鉱物であると指摘されてきたが、実際にこれらの鉱物中にヒ素を確認した研究は多くない。ここでは、表層水中でヒ素が運搬される過程と堆積物中でヒ素が溶出するメカニズムを考察した。

河川水中のヒ素は、溶存するものと懸濁物に吸着して運ばれるものがある。紅河では河川水中の総ヒ素濃度は ~ 10 ppbであり、溶存態と懸濁態の割合は紅河では6:4であった。紅河の河川水にはギブサイトや酸水酸化鉄が多く含まれているが、ヒ素の担体はそれらではなく粘土鉱物であった。一方、ガンジス・ブラマプトラ水系や紅河の河床堆積物中のヒ素濃度は数 $\times 15$ ppm程度である。泥質堆積物でヒ素濃度が高い傾向はあるが、砂質堆積物でも10ppmを超える時がある。これらの堆積物中のヒ素の大部分は難溶態物質に含まれており、碎屑性鉱物中に固定されている。私たちはバングラデシュやパキスタンのヒ素汚染地域で緑泥石がヒ素を不純物として含んでいることを明らかにしたが、河川によっては異なる碎屑性鉱物がヒ素の担体であるかもしれない。これらの結果は、表層水中に溶存するヒ素が堆積物中に移動する際には粘土鉱物による吸着濃縮は重要であるが、もっとも重要なヒ素運搬過程は碎屑性粒子の移動であることを示している。

一方、間隙水中のヒ素濃度は酸化還元電位やpHによって、比較的浅い深度で変化する。化学環境の変化には微生物活動が関与していると推定されるが、生物自体がヒ素の溶出に関わっている証拠はない。陸上の地下水帯水層では、酸化により碎屑性粒子の分解が起こる深度でヒ素の間隙水中への溶出と、酸水酸化鉄の形成とそれへのヒ素の吸着が起こる。これは一時的にヒ素を堆積物中に濃縮する反応である。しかし、大部分のヒ素は吸着しない。そのため、この部分がヒ素汚染地下水の出現にもっとも深く関わる反応である。

キーワード: ヒ素汚染地下水, 微生物化学反応, 緑泥石, 針鉄鉱, ギブサイト

Keywords: arsenic contaminated groundwater, microbial geochemical reactio, chlorite, goethite, gibbsite

土壤中における有機ヒ素化合物の吸着挙動 Adsorption behavior of organoarsenic compounds in soils

田中 雅人^{1*}; 高橋 嘉夫¹
TANAKA, Masato^{1*}; TAKAHASHI, Yoshio¹

¹ 広島大学大学院理学研究科

¹ Graduate School of Science, Hiroshima University

The arsenic pollution is a world problem. Natural originated inorganic arsenic compounds are predominant cause of the water-related disease. In addition, anthropogenic originated organoarsenic compounds such as phenylarsonic acid (PAA) and diphenylarsinic acid (DPAA) are also pollution source. For example, DPAA polluted well water caused serious health problems in Kamisu, Japan [1]. These phenyl arsenic compounds are considered as a decomposition product of chemical warfare agents produced during World Wars I and II, and even now such compounds still remain in the ground [2]. Recently, adsorption and mobility of these aromatic arsenic compounds in agricultural soils have been investigated [3]. However, their adsorption mechanisms on soil are still unknown. In general, the adsorption property of chemical compounds influences its migration process in natural environments such as soil-water system. Thus, it is important to understand the adsorption mechanism of the arsenic compounds to predict future fate of them in environment. Recently, we reported adsorption structures of PAA and DPAA on ferrihydrite obtained by X-ray absorption fine structure (XAFS) analysis and quantum chemical calculations [4]. In this study, we conducted As K-edge XAFS measurements for organoarsenic compounds adsorbed on soil, as well as a sequential extraction, to understand their adsorption behavior in the soil. EXAFS analysis suggests that all arsenic compounds in this study adsorbed on Fe or Al (oxyhydr)oxide in the soil mainly regardless of the organic functional groups. This fact indicates that the Fe/Al (oxyhydr)oxide can control the mobility of organoarsenic compounds in the ground.

References:

- [1] Hanaoka S, Nagasawa E, Nomura K, Yamazawa M and Ishizaki M 2005 Appl. Organometal. Chem. 19 265.
- [2] Wang A, Li S, Teng Y, Liu W, Wu L, Zhang H, Huang Y, Luo Y and Christie P 2013 J. Environ. Sci. 25 1172.
- [3] Maejima Y, Murano H, Iwafune T, Arai T and Baba K 2011 Soil Sci. Plant Nutr. 57 429.
- [4] Tanaka M, Togo Y S, Yamaguchi N and Takahashi Y 2014 J Colloid Interface Sci., 415, 13.

キーワード: 土壌, 吸着, X線吸収微細構造, 有機ヒ素
Keywords: soil, adsorption, XAFS, organoarsenic

初期海洋中のグリシン重合体からの隕石衝突生成物 Impact-induced products from glycine polymers in early Earth's oceans

関根 利守^{1*}; 香月 勇人¹; 杉村 康輔¹; 小林 敬道²
SEKINE, Toshimori^{1*}; KATSUKI, Yuto¹; SUGUMURA, Kousuke¹; KOBAYASHI, Takamichi²

¹ 広島大学, ² 物質・材料研究機構

¹Hiroshima University, ²National Institute for Materials Science

± 初期海洋中のグリシン多量体が隕石衝突でどう変化するかを検討する目的で、グリシン₂₋₄量体が衝撃波を受けた時の生成物に関する実験結果を発表する。

キーワード: 初期海洋中のグリシン重合体, 隕石衝突生成物

Keywords: Glycine polymers in early Earth's oceans, Impact-induced products

グリシン重合化に及ぼす鉱物種の影響 Effect of mineral species on the glycine polymerization

大西 浩之^{1*}; 北台 紀夫²; 福士 圭介³
ONISHI, Hiroyuki^{1*}; KITADAI, Norio²; FUKUSHI, Keisuke³

¹ 金沢大学自然システム学類, ² 東京工業大学地球生命研究所, ³ 金沢大学環日本海域環境研究センター
¹Department of Nature System, Kanazawa Univ., ²Earth Life Science Institute, Tokyokogyo Univ., ³Inst Nature and Environmental Technology, Sci., Kanazawa Univ.

地球上の生命の主要な構成物質であるタンパク質は、アミノ酸の脱水縮重合により生成する。最初の生命の誕生において、アミノ酸の重合化は必要不可欠であり、地球表層環境におけるアミノ酸重合化プロセスの理解は生命の起源の解明にとって重要である。アミノ酸の重合化は地球表層の条件下において進みづらいことが知られており、初期地球環境におけるアミノ酸重合がどのようにおこったのかは大きなミステリーとなっている (Zaia et al., 2004)。

これまで地球初期環境を模擬した多くのアミノ酸重合実験が行われてきたが、鉱物を媒介させた実験が目撃されている。そのなかで、主流となっている実験方法の一つはアミノ酸溶液と鉱物粉末を混合し、乾燥条件で固体アミノ酸の重合化を促す方法である (e.g., Bujdak and Rode, 1997a)。Bujdak and Rode, (1997b) では Quartz と Alumina を用いた固体アミノ酸重合実験から、Aluminaの方が Quartz よりもアラニン重合化を促進していることを確認し、アミノ酸の重合には鉱物種の影響が大きいことを示唆している。しかし、鉱物の有するどのような機能がアミノ酸重合化に影響を与えるのかは未だ分かっていない。Bujdak and Rode, (1997b) 以来これまでに様々な鉱物種についてアミノ酸重合化模擬実験が行われてきているが、先行研究の間では実験条件が統一されておらず、鉱物毎のアミノ酸重合化促進効果の比較ができない。そこで本研究では様々な鉱物 (Rutile, Anatase, Amorphous silica, Quartz, γ -Al₂O₃, Corundum, Hematite, Magnetite, Forsterite) に対し統一された条件でアミノ酸重合化実験を行い、アミノ酸重合化を促進する要因を探ることを目的にした。

キーワード: アミノ酸, 重合, 鉱物
Keywords: amino acid, polymerization, mineral

超塩基性岩－水相互作用における水素生成に対する鉱物の役割 Role of minerals for hydrogen generation in the interaction between ultramafic rocks and water

福原直基^{1*}; 佐藤努¹; 大竹翼¹

FUKUHARA, Naoki^{1*}; SATO, Tsutomu¹; OTAKE, Tsubasa¹

¹ 北海道大学大学院工学院環境循環システム専攻環境地質学研究室

¹Laboratory of Environmental Geology, Hokkaido university, Graduate School of Engineering, Hokkaido U

Hydrogen generation by high temperature serpentinization is understood as hydration of mafic and ultramafic rocks, owing to the oxidation of reduced iron present in the olivine or pyroxene. On the other hand, in the Oman Ophiolite and Lost City Hydrothermal Field (LCHF) in the Mid-Atlantic Ridge, hydrogen is generated via low temperature serpentinization. Moreover, previous experimental study shown generating hydrogen at low temperatures (<100 degrees C). However, since even the rate of hydrogen generation by high temperature serpentinization is slow, the mechanism of hydrogen generation by low temperature in short period is yet to be explained. Therefore, the objective of this study is to clarify the mechanism of hydrogen generation via low temperature serpentinization for a short period. Batch experiments were conducted at 30 degrees C, 60 degrees C and 90 degrees C using minerals which constitute ultramafic rocks (olivine, Magnetite, Fe-Ni alloy), and serpentinite. Samples were taken after various reaction times (3h, 6h, 12h, 24h, and 1week). Liquid samples were analyzed by ICP-AES, ion chromatography, UV-Vis, pH, and ORP. Mineral phase changes in the solid samples were characterized by TG-DTA, SEM-EDX and XRD. The concentration of hydrogen gas was determined by GC-RGD.

Hydrogen generation was observed in all samples. Highest concentration of hydrogen gas was observed in the experiment using Fe-Ni alloy. In the experiment using Fe-Ni alloy, apparent surface change was not observed at the surface of Fe-Ni alloy. Therefore, hydrogen gas was generated by catalysis of Fe-Ni. The generation of hydrogen gas by this catalysis would be higher than that of generated hydrogen accomplished by the dissolution of olivine, which is the dominant mineral in the ultramafic rocks.

In this study, the hydrogen generation was confirmed at a temperature of less than 90 degrees C. The hydrogen generation process is catalyzed by Fe-Ni alloys or magnetite present in secondary minerals by serpentinization.

南アフリカ・バーバトン地域に産出する約 32 億年前の縞状鉄鉱層におけるクロム濃集の空間的広がり Spatial distribution of chromium enrichment in 3.2 Ga Moodies BIF, Barberton Greenstone Belt, South Africa

石川 宏^{1*}; 大竹 翼¹; 川井 祥二²; 佐藤 努¹; 掛川 武²
ISHIKAWA, Ko^{1*}; OTAKE, Tsubasa¹; KAWAI, Shohji²; SATO, Tsutomu¹; KAKEGAWA, Takeshi²

¹北海道大学大学院工学研究院 環境循環システム部門, ²東北大学大学院理学研究科 地学専攻
¹Division of Sustainable Resource Engineering, Graduate School of Engineering, Hokkaido University, K, ²Department of Earth Science, Graduate School of Science, Tohoku University, Aoba 6-3, Aoba-ku, Senda

化学堆積岩である縞状鉄鉱層の微量元素組成から初期地球表層環境の推定する研究が行われている。例えば、24.8 億年前に形成された縞状鉄鉱層中にみられる高い Cr/Ti は大気酸素濃度上昇に伴って硫化物の酸化的風化により生じた酸性環境下で Cr が化学的に供給されたためであるとされている。しかしながら、これまで大古代の堆積岩に関する研究は深海域に限られていたが、浅海域で形成した南アフリカ・バーバトン地域の Moodies 層群に産出する 32 億年前の縞状鉄鉱層においても化学的供給によるクロム濃集が発見された。この発見は、32 億年に浅海域において酸化的環境が存在していたことを示唆している。しかしながら、この縞状鉄鉱層中のクロム濃集は一露頭及び一鉱山試料において確認されたものであり、どの程度クロム濃集が空間的広がりを持つか十分な調査はなされていない。そこで、本研究は Moodies 層群の新たな露頭における堆積環境を明らかにし、縞状鉄鉱層のクロム濃集を調べることを目的とした。

バーバトンから北に 10km ほどに位置する Eureka syncline にある新たな露頭において調査を行った。新たな露頭で発見した縞状鉄鉱層は礫岩質珪岩の下位に存在し、先行研究である Moodies Hills block において発見された縞状鉄鉱層と同時代に堆積したものであることが確認された。先行研究の縞状鉄鉱層は層厚 22m であり、上位に層厚 122m のシルト質砂岩と砂岩が堆積していた一方、本研究の縞状鉄鉱層は層厚 36m であり、上位に層厚 103m の硬砂岩とシルト質砂岩が堆積していた。顕微鏡観察から、縞状鉄鉱層が微細な石英と赤鉄鉱 ($15 \mu\text{m}$) からなる赤色層と粒径の大きな磁鉄鉱 ($50 \mu\text{m}$) からなる黒色層から構成され、典型的な酸化物型の縞状鉄鉱層であることが確認された。Cr のホスト鉱物であるクロム鉄鉱は碎屑性堆積岩 (シルト質砂岩)、縞状鉄鉱層ともに確認できた。縞状鉄鉱層中のクロム鉄鉱は、先行研究同様に磁鉄鉱中に内包され存在していた。観察されたクロム鉄鉱は FE-EPMA を用いて定量分析を行った。碎屑性堆積岩と縞状鉄鉱層の試料による差はみられず、いずれも高 Cr# (0.76~0.89) と低 Mg# (0.001~0.01) を持っていた。XRF による全岩組成分析の結果、Cr/Ti についても両者に違いはみられず、本件研究における縞状鉄鉱層中には、先行研究でみられたクロム濃集は確認できなかった。この理由については (1) 分析手法の違いによるもの (2) 堆積環境の違いによるもの可能性として考えられる。(1) について、先行研究では酸溶解後、ICP-MS により全岩組成分析を行っているが、本研究では XRF によるため、Ti の検出限界値に 3 桁の違いがある。したがって、一部試料において Ti が検出限界値以下であったため、Cr/Ti について正當に評価できていない可能性が考えられる。あるいは (2) 本研究の縞状鉄鉱層は先行研究よりも深い場で堆積した可能性が考えられ、このことは浅海域においても特に浅い場にのみ酸化的環境が広がっていたことを示唆している。

キーワード: 縞状鉄鉱層, クロム, クロム鉄鉱, バーバトン緑色岩体, 初期地球表層環境

Keywords: Banded Iron Formation, chromium, chromite, Barberton Greenstone Belt, surface environments on early Earth

カナダオンタリオ州、ガンフrint層(19億年前)中の初生鉱物と続成作用による変化
Change by a diagenesis of first minerals in 1.9 Ga sedimentary rocks of the Gunflint Formation

二階堂 映美^{1*}; 掛川 武¹
NIKAIDO, Emi^{1*}; KAKEGAWA, Takeshi¹

¹ 東北大学大学院理学研究科
¹ Graduate School of Science, Tohoku University

Some microfossils in the 1.9 Ga Gunflint Formation show clear morphology of aerobic microorganisms. However, carbon isotope compositions of microfossils and other geochemical characteristics suggest the activity of anaerobic microorganisms in the same rock sample. This leads to the skepticism if the 1.9 Ga surface ocean environments were essentially anoxic and oxic environments were very limited.

In order to examine if oxic world were more common or anoxic world were more common, shallow water sedimentary rocks were collected from Kakabeka (the bottom of the Gunflint) and Telly Fox (the top of the Gunflint) areas. The following features were found in the present study. (1) Chemistry of carbonate change into either Fe-rich or Mg-rich from calcite during diagenesis. Fe-rich feature is only found at the bottom of the Gunflint Formation, suggesting wide injection of reduced fluids in sediments. (2) Carbon isotope compositions were similar to cyanobacteria value, and feature of anaerobic bacteria were not detected. This suggests that previous report of carbon isotope compositions of anaerobic bacteria was limited in a few places and not widespread in the Gunflint Formation. Therefore, aerobic microorganism was the major life forms. (3) Sulfur isotope compositions of pyrite range from -2 to +15 per mil, suggesting closed system sulfate reduction. The closed system was most likely isolated oxic seawater from anoxic sediments, probably high sedimentation of SiO₂ and CaCO₃. In addition, isolated sediments were anaerobic bacterial world, where organic matter from the oxic world was largely consumed.

キーワード: 続成作用, 酸化的環境, 還元的環境, 閉じた系
Keywords: diagenesis, oxic, anoxic, closed system

全球凍結後に見られるリン酸塩ストロマトライトの成因 Origin of phosphate stromatolite formed after the snowball Earth

白石 史人^{1*}; 奥村 知世²; 高島 千鶴³; 狩野 彰宏⁴

SHIRAISHI, Fumito^{1*}; OKUMURA, Tomoyo²; TAKASHIMA, Chizuru³; KANO, Akihiro⁴

¹ 広島大・理・地球惑星, ² 海洋研究開発機構, ³ 佐賀大・文化教育・環境基礎, ⁴ 九州大・比文・地球変動

¹Hiroshima University, ²JAMSTEC, ³Saga University, ⁴Kyushu University

ブラジル・バイーア州イレセー近郊には、新原生代に起きた全球凍結前後の地層が分布している。そのうちの一つ、サリトレ層ではキャップカーボネートの上位にリン酸塩（アパタイト）からなる特異なストロマトライトが見られる。ストロマトライトは密集した柱状形態を示し、スランプ褶曲した層状ドロマイト中に産する。ストロマトライトと層状ドロマイトの関係は、一部で漸移的であるものの、多くの場合はシャープな境界をもつ。ストロマトライトには様々な形態の微化石が含まれている。特に多く産出するのは、直径5~10 μm 、長さ~300 μm 程度のフィラメント状微化石であり、その形態はシアノバクテリアに類似している。このことから、リン酸塩ストロマトライトの形成にはシアノバクテリアなどの光合成微生物が関与していたと考えられる。

そこで、微生物の光合成がアパタイトの沈殿に与える影響を明らかにするため、200 μM の CO_2 を海水から除去した時のアパタイト飽和度をPhreeqcによって計算した。その結果、溶存リン濃度が1 μM 程度あれば、アパタイトの飽和度は光合成によって著しく高められることが明らかになった。一方、炭酸カルシウムの飽和度も光合成によって同時に高められるが、アパタイト飽和度に比べるとその影響は相対的に小さい。その結果、微生物の光合成によってアパタイトが優先的に沈殿し、リン酸塩ストロマトライトが形成すると考えられる。

現在の海水表層（有光層）では、溶存リンは植物プランクトンによって消費しつくされている。ゆえに溶存リン濃度は表層で極めて低く、深層（水深~1000 m）でも数 μM 程度しかない。サリトレ層の堆積当時においても、海水表層については現在と同様の状況であったと考えられるが、深層については全球凍結後のために溶存リン濃度が現在よりもかなり高かったことが予想される。そのような深層水がシアノバクテリアマットの発達する浅海域に湧昇・流入すれば、数 μM 程度の溶存リン濃度上昇にも鋭敏に反応して、リン酸塩ストロマトライトが形成されただろう。

秋田県北鹿地域にみられる黒鉱床形成後に堆積した鉄・マンガン堆積岩に記録された大きな鉄の同位体分別
Large Fe isotope fractionations in ferruginous sedimentary rocks above Kuroko deposits in the Hokuroku district

鈴木 陵平^{1*}; 大竹 翼¹; 山田 亮一²; 申 基澈³; 昆 慶明⁴; 米田 哲郎¹; 佐藤 努¹

SUZUKI, Ryohei^{1*}; TSUBASA, Otake¹; YAMADA, Ryoichi²; SHIN, Ki-cheoul³; KON, Yoshiaki⁴; YONEDA, Tetsuro¹; SATO, Tsutomu¹

¹ 北海道大学大学院工学院環境循環システム専攻, ² 東北大学理学研究科, ³ 総合地球環境学研究所, ⁴ 独立行政法人産業技術総合研究所

¹Laboratory of Environmental Geology, Graduate School of Engineering, Hokkaido University, ²Tohoku Univ., ³Research Institute for Humanity and Nature, ⁴National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

The Hokuroku district in Akita Prefecture, Japan, hosts many large volcanogenic massive sulfide (VMS) deposits called Kuroko deposits formed around 15.3 million years ago by ancient submarine hydrothermal activity. VMS deposits were formed by the precipitation of metals from hydrothermal fluids and could have contacted with seawater in geological timescales. Because they are composed of sulfide minerals that are stable in a reducing environment, such as pyrite and chalcopyrite, an anoxic environment in the Hokuroku basin may play an important role in the preservation of the sulfide ores containing valuable metals in Kuroko deposits. However, geochemical evidence of such an environment occurring in Hokuroku district is currently lacking. Therefore, objective of this study is to investigate the distribution of REEs and the variation of Fe isotope compositions in the Fe-Mn-rich sedimentary rocks associated with VMS deposits in the Hokuroku district to understand the depositional environments and ancient sea-floor hydrothermal systems in the Hokuroku basin. Sedimentary rock samples obtained from both outcrops and mines in the Hokuroku district include ferruginous cherts occurring directly on or above a Kuroko deposit, manganese-rich siliceous mudstone, and amber in mudstone or tuff. Samples were analyzed by XRD, petrography, and SEM-EDS for mineralogy, by XRF and LA-ICPMS for chemical composition and MC-ICPMS for iron isotope composition ($\delta^{56}\text{Fe} (\text{‰}) = 1000 * [(\frac{^{56}\text{Fe}}{^{54}\text{Fe}})_{\text{sample}} / (\frac{^{56}\text{Fe}}{^{54}\text{Fe}})_{\text{IRMM-14}} - 1]$).

The results of these analyses show the $\delta^{56}\text{Fe}$ values of mine samples occurring directly on and above Kuroko deposits were -1.5 to 0.5 ‰. These values are largely fractionated from $\delta^{56}\text{Fe}$ value that is similar with igneous rock's $\delta^{56}\text{Fe}$. Iron isotopic fractionation occurs when ferrioxide precipitate part of the bivalent iron present in the reservoir. These values are largely fractionated from the $\delta^{56}\text{Fe}$ value of the standard (i.e., 0 ‰), which is a similar to that of igneous rocks. The samples that have a large negative value also bears negative Ce anomaly. These signatures indicate that partial oxidation of dissolved ferrous iron occurred by mixing ferrous iron-bearing anoxic water with oxygen-bearing seawater, and therefore that the sea-floor of the Hokuroku Basin was anoxic. On the other hand, $\delta^{56}\text{Fe}$ values of chemical sedimentary rocks formed during 2-3 Ma after Kuroko deposits formed ranges from -0.8 to -0.3 ‰. These values are similar to that of dissolved ferrous ion in a modern sea-floor hydrothermal fluid. Therefore, the $\delta^{56}\text{Fe}$ values of the samples indicate near complete oxidation of dissolved ferrous iron in an oxic environment. Therefore, the results of this Fe isotope study suggest that the depositional environment in the Hokuroku basin shifted from anoxic to oxic after the formation of Kuroko deposit.

Keywords: iron isotope, rare earth pattern, anoxic environment, Volcanogenic massive sulfide, hydrothermal system

秋田県奥奥八九郎温泉に産する炭酸塩・鉄・シリカ鉱物のSEMおよびTEMによる観察
SEM and TEM observations of carbonate, Fe-oxide and silica minerals in Okuoku-hachikuro hot spring, Akita Prefecture

寺島 昇吾^{1*}; 掛川 武¹
TERAJIMA, Shogo^{1*}; KAKEGAWA, Takeshi¹

¹ 東北大学大学院理学研究科地学専攻
¹ Graduate School of Science, Tohoku University

Recent studies of biomineralization mainly treated biominerals produced by evolved life. It is uncertain if primordial microbes are capable to precipitate biominerals. If biomineralization by early life is well documented, it will help to understand the Precambrian environments more in details.

Abundant carbonates are precipitating at Okuoku-hachikuro hot spring, located in Kosaka, Akita Prefecture, Japan. We collected sinters, soft to solidified sediments and microbial mats. Then, those constituents were observed using field emission-scanning electron microscopy (FE-SEM). Minerals around microbial sheath were also observed by transmitted electron microscopy (TEM). Analyses of X-ray diffraction, pH, DO, dissolved amino acids, carbon isotope compositions and chlorophyll compositions were also performed.

Hot spring water does not contain appreciable amounts of dissolved oxygen, but Fe-oxides immediately precipitated after discharge. Chlorophyll analyses indicate no presence of anoxic photosynthesizing bacteria. These results suggest that Fe were precipitated by Fe-oxidizing bacteria dominantly, supported by SEM observation of characteristic morphology of the sheath. Cyanobacteria become more dominant in the distance.

Most samples contain radial aggregates of needle-shape aragonite. Such morphology was found in bubble in the "first" discharging fluid. Each needle in radial aggregates seems to be bigger depending on a distance from the discharging point. Aggregates of coarser and random orientated needles of aragonite are found in lower stream zone, where evaporation and cooling of hot spring water are more visible. Because of no systematic correlation to biological activities (microbial mat, amino acid, organic carbon, etc.) to those morphological changes, all aragonites are formed inorganically. On the other hand, Fe-oxide covering sheath are found locally. Using dilute hydrochloric acid etching, Fe-oxide is observed clearly, especially in zone 1. It has 3 morphological types: sheath-like, agglomerated and needle in radial aggregates. It is noteworthy that Fe-oxides never grow in large crystals. This can possibly because microbial activities or organic molecules may prohibit the growth of Fe-oxides. Furthermore Si was detected in Fe-oxide. This result suggests that Fe-oxide probably adsorbs amorphous silica selectively. Such unique morphology may help to interpret the origin of hematite in Precambrian banded iron formations.

キーワード: アラゴナイト, 鉄酸化物, 鉄酸化菌, SEM, TEM
Keywords: aragonite, Fe-oxide, Fe-oxidizing bacteria, SEM, TEM

硫黄酸化細菌とシアノバクテリアの関わる温泉成ストロマトライトの縞組織形成プロセス Microbial processes forming lamination in hot spring stromatolites by sulfur oxidizing bacteria and cyanobacteria.

奥村 知世^{1*}; 高島 千鶴²; 平野 未沙²; 狩野 彰宏³
OKUMURA, Tomoyo^{1*}; TAKASHIMA, Chizuru²; HIRANO, Misa²; KANO, Akihiro³

¹ 独立行政法人海洋研究開発機構, ² 佐賀大学・文化教育, ³ 九州大学・比文
¹JAMSTEC, ²Faculty of Culture and Education, Saga Univ., ³SCS, Kyushu Univ.

二酸化炭素とカルシウムイオンに富む温泉水から沈殿する炭酸塩堆積物(トラバーチン)には、一般的にサブミリメートルオーダーの縞組織が発達し、太古のストロマトライトと組織・成分ともに酷似している。近年、水温が55度以下の硫化物に乏しいトラバーチン堆積場では、シアノバクテリアまたは従属栄養細菌のバイオフィルムの成長が日周期で起こり、無機的に沈殿する結晶の成長を阻害することで、縞が形成されることが確認された(1,2)。しかし、より高温で硫化物に富むトラバーチン堆積場では、縞組織は一般的でなくなり(3)、上述の微生物-鉱物相互作用プロセスが生じなくなるものと予測される。本研究では、高温で硫化物に富むインドネシアスマトラ島北部の Sipoholon 温泉において、縞組織が発達する地球微生物学的条件を探索する。

Sipoholon 温泉は、世界最大のカルデラ湖であるトバ湖の南部 Tarutung 地域で湧出する多数の温泉の中で、トラバーチンが最も活発に堆積する温泉である。調査地は、約5万 km²にわたってトラバーチンが発達し、人為的影響の少ないエリア A、採石場内のエリア B、温泉施設に隣接するエリア C の3つに分けられる。全てのエリアでは、湯元付近で、硫黄芝や淡黄色の硫黄を含む縞を持たない堆積物が、中流から下流にかけて白色の縞をもつ堆積物が形成されていた。白色のトラバーチンの表面の色は、水温に応じて変化しており、55度付近ではピンク色を、50度以下では緑色を呈していた。緑色の試料では、針状結晶が密集した明色層とバイオフィルムと細粒結晶構成される孔隙質な暗色層が0.5-1.0 mmの間隔で繰り返すことで縞が形成されていた。一方、ピンク色の試料では、明色層と暗色層の境界は不明瞭であった。

エリア C において、温泉水と緑色・ピンク色のトラバーチンを48時間、4時間おきにサンプリングを行った結果、2つとも暗色層が昼間に、明色層が夜間に形成されていることを確認した。湯元及びトラバーチンが発達する地点において、流量、pH、アルカリ度、カルシウムイオン濃度は昼と夜でほぼ一定であった。溶存酸素濃度は、湯元では期間を通して一定であったが、堆積地点では昼間に高く、夜間に低い値をとっていた。2色の試料の16S rRNA 遺伝子の系統解析を行ったところ、微生物の群集組成は両試料で似通っており、偏性化学栄養性の硫黄酸化細菌が卓越していた。ただし、緑色の試料でシアノバクテリアとクロロフレクサス等の光合成細菌がより多様であった。蛍光顕微鏡で光合成細菌の分布を観察した結果、緑色の試料では昼間の暗色層に、ピンク色の試料では縞とは無関係に、表面付近で疎らに分布していた。

以上の結果から、緑色の試料では、従来の報告と同様に、光合成細菌が日周期でトラバーチン表面にバイオフィルムを形成することで縞を形成することがわかった。一方、ピンク色の試料では、光合成によって生成された酸素が増加する昼間に、硫黄酸化細菌を主体とするバイオフィルムが発達することで縞が形成される。これは日輪形成における新たな微生物プロセスである。ピンク色の試料の縞が不明瞭なのは、縞を形成する化学合成細菌を主体とするバイオフィルムの生育が、酸素の供給という外的要因でコントロールされるためであると考えられる。この新規のプロセスは、酸素に乏しく硫化物に富む太古海洋で生じうる、ストロマトライトを形成する微生物プロセスの一つである可能性がある。

[引用文献]

- (1) Takashima, C. and Kano, A. (2008) *Sedimentary Geology*, 208, 114-119.
- (2) Okumura, T., Takashima, C., Shiraishi, F., Nishida, S., Kano, A. (2013) *Geomicrobiology Journal*, 30, 910-927.
- (3) Fouke, B.W., Farmer, J.D., Des Marais, D.J., Pratt, L., Sturchio, N.C., Burns, P.C., Discipulo, M.K. (2000) *Journal of Sedimentary Research*, 70, 565-585.

キーワード: トラバーチン, 縞組織, ストロマトライト, シアノバクテリア, 硫黄酸化細菌
Keywords: travertine, lamination, stromatolite, cyanobacteria, sulfur-oxidizing bacteria

シアノバクテリア細胞の加熱実験：脂肪族炭化水素の熱変化に対するシリカと埋包の影響 Influences of silica and embedding on thermal alteration of aliphatic hydrocarbons in cyanobacteria as evaluated by FTIR

伊規須 素子^{1*}; 横山 正²; 上野 雄一郎³; 中嶋 悟²; 丸山 茂徳³
IGISU, Motoko^{1*}; YOKOYAMA, Tadashi²; UENO, Yuichiro³; NAKASHIMA, Satoru²; MARUYAMA, Shigenori³

¹ 海洋研究開発機構, ² 大阪大学, ³ 東京工業大学
¹JAMSTEC, ²Osaka University, ³Tokyo Institute of Technology

先カンブリア時代の原核生物化石の基本的特徴として有機質の細胞構造を持つことが挙げられる (例えば Schopf, 1992; Knoll, 2003). しかし, それらはサイズが小さく, 構造が単純で, 多かれ少なかれ変質しているため, 形態観察から詳細な分類を行うことは困難である. これまでに著者らは, 原核生物化石分類に有用な化学指標を得るために, 顕微赤外分光法を用い, 化石および現生原核生物の分析を行ってきた. 約 8.5 億年前と約 19 億年前の細菌化石から脂肪族炭化水素 C-H 結合を検出し (Igisu et al., 2006), 化石の 2960cm⁻¹/2925cm⁻¹ (CH₃/CH₂) ピーク強度比 R_{3/2} から, 細菌脂質が選択的に保存された可能性を示した (Igisu et al., 2009).

しかし, 堆積物が続成作用を受ける過程で, 細胞を構成する有機物の分子構造は変化すると考えられる. また, その変化は鉱物の存在に影響を受ける可能性がある.

本発表では, シリカへの埋包と加熱が細菌細胞中の C-H 結合に与える影響を報告する. 具体的には, 現生のシアノバクテリアの等温加熱実験を行い, 顕微赤外分光法により, 細胞中の有機官能基の変化を (1) 細胞のみ (2) 細胞+シリカ (3) 細胞+ KBr (より強固に埋包) の系について調べた. その結果, いずれの系でもシアノバクテリア中の C-H 結合は加熱とともに減少したが, 上記の (2) と (3) の系では (1) よりも C-H 結合の減少速度が小さくなった. また加熱生成物の 2960cm⁻¹/2925cm⁻¹ (CH₃/CH₂: R_{3/2}) ピーク強度比は出発物質に比べ増加あるいは変化が殆どなかった. 加熱生成物のラマンスペクトルは約 8.5 億年前と約 19 億年前の細菌化石と類似した特徴を持つことから, 細菌細胞は化石と同程度に炭化したと考えられる. 以上の結果から, シリカへの埋包は細胞中 C-H 結合の熱変質を遅くするが, R_{3/2} を減少させることはないことが分かった. 先行研究で示した化石の低い R_{3/2} は, 長い脂質の可能性を示唆していたが, 化石化過程における熱と鉱物の影響ではこのような値を生成することはないと考えられる.

キーワード: 顕微赤外分光法, シアノバクテリア, シリカ, 熱変質, 脂肪族炭化水素
Keywords: micro-FTIR, cyanobacteria, silica, thermal alteration, aliphatic hydrocarbon

微生物鉱物化における細胞外高分子の役割：島根県木部谷温泉の例 Role(s) of extracellular polymeric substance in microbial mineralization

中村 有希^{1*}; 白石 史人¹
NAKAMURA, Yuki^{1*}; SHIRAIISHI, Fumito¹

¹ 広島大・理・地球惑星
¹Hiroshima University

Microbialites are defined as organosedimentary deposits that have accreted as a result of benthic microbial community binding detrital sediment or forming the locus of mineral precipitation. Most of microbialites are consisted of carbonate minerals, and considered to be formed by microorganism, such as cyanobacteria and sulfate reducing bacteria. Microbialite records the history of interaction between life and Earth environment, and therefore, it is important to understand their formation. Microbialites are formed mainly by three processes, including grain-trapping, mineral precipitation by metabolism and mineral nucleation by extracellular polymeric substances (EPS). Grain-trapping is locally important, but key processes are precipitation and nucleation. The knowledge of precipitation process by bacterial metabolism has increased, while that of EPS is still limited. Therefore, this study aims to investigate the influences of EPS on microbialite formation. We examined carbonate deposit developed at Kibedani hot spring, Shimane Prefecture. Calcite was despite of undersaturation in bulk water. Microelectrode measurement revealed that this deposit is formed as a result of photosynthesis-induced CaCO_3 precipitation. The result of EPS staining observation by Confocal Laser Scanning Microscope revealed that this deposit contains abundant acidic EPS, which is generally considered to have important roles in mineral nucleation. This deposit composed of two layers: the upper layer is consisted of empty EPS sheaths and the lower layer is of cyanobacteria with EPS sheaths. Both layers contain acidic EPS, while only lower layer was mineralized. This observation implies that acidic EPS cannot solely cause nucleation, and requires high mineral saturation state induced e.g. by photosynthesis.

トウファ堆積物から推定される微生物岩組織の規制要因 Controlling factors of microbialite textures inferred by a tufa deposit

半澤 勇作^{1*}; 奥村 知世²; 白石 史人¹
HANZAWA, Yuhsaku^{1*}; OKUMURA, Tomoyo²; SHIRAIISHI, Fumito¹

¹ 広島大学大学院理学研究科地球惑星システム学専攻, ² 独立行政法人海洋研究開発機構海洋・極限環境生物圏領域
¹Hiroshima university, ²Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

微生物岩は底生微生物群集による碎屑物の捕獲・結束, または鉱物沈殿場形成によって集積した生物成堆積物を起源とし, 生命-水-鉱物の相互作用によって形成される。その代表例は, 葉理を持つストロマトライトと, 凝集状のスロンボライトである。地球史において, ストロマトライトは約 35 億年前から出現し, 13 億年前に全盛を迎える。その後, ストロマトライトは減少に転じ, 特に約 5 億年前にはそれと入れ替わるようにスロンボライトが出現する。その原因は未だに理解されていないが, 同時期に起きた全球凍結や後生生物の急速な進化など, 地球史・生命史における重大イベントに起因している可能性があり, 環境変化や生物進化を理解する上で重要な事象であろう。この主要な微生物岩の変遷について詳細に検討するためには, 現世の微生物堆積物の研究が不可欠であるが, 現在の海洋環境ではストロマトライト・スロンボライト共に非常に稀である。一方, それらは陸域において比較的豊富に存在することから, 本研究では淡水域に発達する微生物成炭酸塩堆積物であるトウファに着目し, 微生物岩の堆積組織を規制する要因を明らかにすることを目的とした。

トウファは一般的にストロマトライトのような葉理を発達させる。しかし, 岡山県高梁市上野に見られるトウファは, 水流条件の違いによってストロマトライト状組織だけでなくスロンボライト状組織も発達させ, 特異な産状を示すことから研究対象とした。水化学組成においては, ストロマトライト状・スロンボライト状トウファの堆積場とも大きな差は見られず, 一般的なトウファ堆積場のそれと同様であった。トウファ表面に分布する微生物と, 微生物の代謝生成物である細胞外高分子 (EPS) を染色して共焦点レーザー走査顕微鏡で観察したところ, その分布は二つの堆積物間で大きく異なっていた。スロンボライト状トウファの表面では, 球状シアノバクテリアが密に生息して直径約 500 μm の半球状の高まりを形成しており, EPS はその内部と周囲に満遍なく分布していた。一方ストロマトライト状トウファの表面の大部分では方解石が露出しており, 糸状シアノバクテリアが一部 EPS を伴って疎らに分布していた。薄片で両堆積物の垂直断面を観察したところ, スロンボライト状トウファでは, 堆積物表面には直径約 500 μm の方解石の単結晶が見られ, その表面では球状シアノバクテリアが, その周囲では糸状シアノバクテリアが生息している様子が見られた。一方, ストロマトライト状トウファでは, 直径約 10 μm の細粒な方解石結晶からなっており, 堆積物内部では糸状シアノバクテリアが垂直に分布して葉理を形成していた。これらの堆積物に生息する微生物群集を同定するために, 16S rRNA 遺伝子の系統解析を行ったところ, どちらの堆積物も微生物群集の約半数がシアノバクテリアであり, その他の群集組成も大部分が共通していた。しかし, スロンボライト状トウファには, ストロマトライト状トウファには認められない 5 系統の微生物が検出された。このことは, スロンボライト状トウファを構成する微生物群集の方が高い多様性を持つということを表している。またシアノバクテリアに関しても, スロンボライト状トウファの方が高い多様性を持っていた。

以上の結果から, ストロマトライトとスロンボライトの堆積組織の違いは, 微生物と EPS の構成の違いに起因することが示唆された。この知見に基づけば, 約 5 億年前における, 主要な微生物岩の変遷は, カンブリア爆発と同時期に微生物群集の進化も加速した結果である。

キーワード: 微生物岩, ストロマトライト, スロンボライト, トウファ, 炭酸塩岩
Keywords: microbialite, stromatolite, thrombolite, tufa, carbonate rock

土壌の微細構造と生物活動 Soil micromorphology and the effect of biotic activity

鈴木 茂之^{1*}; 服部 勉²; 服部 黎子²; 三村 佳織³; 石黒 宗秀⁴
SUZUKI, Shigeyuki^{1*}; HATTORI, Tsutomu²; HATTORI, Reiko²; MIMURA, Kaori³; ISHIGURO, Munehide⁴

¹ 岡山大学, ² アチック・ラボ, ³ 兼松日産農林株式会社, ⁴ 北海道大学
¹Okayama University, ²Atic Laboratory, ³Kanematsu-NNK Corporation, ⁴Hokkaido University

土壌は岩石圏と生物圏との境界部において、大気や水圏との作用も加わって形成されるもので、鉱物と生物が関わりあう最前線の物質とみなされる。土は極めて微細な粒子からなり、そこに住む細菌たちも微細であるため、これらの解明は困難を極めるが、多様で豊かな微生物世界が存在する(服部, 1987)。粘土粒子の形成が、鉱物の機械的な細粒化だけではなく、細菌の活動が関わる結晶作用があることも示唆されて来ている(服部, 2006)。生物の活動と土壌形成の相互作用について、微細構造の観察をもとに検討した。土壌の試料は岡山大学圃場、岡山大学構内沖積土層水田土壌(弥生時代~近世)、仙台市近郊沖積土層、バングラデシュ Dhaka 近郊沖積土層泥炭質古土壌(約 3000 年前)を用いた。ミクロ団粒の産状は FitzPatrick(1993)と同様な方法で、不攪乱土壌試料から偏光顕微鏡用薄片を作成して観察した。シリカ・ナノ粒子の観察には電子顕微鏡を用いた。

ミクロ団粒形成: 岡山大学圃場の畑作土壌は団粒状の構造が認められる。1~2 mm 程度のマクロ団粒は砂サイズの鉱物や岩石片の他、主に泥サイズ以下の粒子からなる。泥サイズの粒子は 0.05~0.3mm 程度の団粒をなしている様子がしばしば識別できる。この団粒はミクロ団粒とみされ、マクロ団粒がミクロ団粒の集合によって形成されていることを示す。岡山大学構内の弥生時代から近世の水田土壌においては、マクロ団粒は識別出来なかったが、0.1~0.5mm 程度のミクロ団粒に相当すると考えられる粒状の組織が認められる。Dhaka 近郊の古土壌は耕作土ではないと推測されるが、同様のミクロ団粒と考えられる構造が認められる。個々のミクロ団粒はお互いに癒着し境界が不明瞭な場合が多いが、腐植質泥の含有量・鉱物や岩石片の割合・二酸化マンガンや水酸化鉄などの沈着物の有無や程度などによる組成の違いによって識別できる。伴われる構造として、根の跡などの生物擾乱が顕著で、乾裂と推測される亀裂も多い。このような構造は FitzPatrick(1993)など多くの研究で明らかにされているように、天候などの表層環境の変化のほか生物の活動による影響が大きいことがわかる。

シリカ・ナノ粒子の形成: 一次粒子表面を電子顕微鏡で観察すると、etch pit など極微小な穴や溝が形成されている。このような融解した構造のほか、極微細な鉱物の形成も認められる。また細菌の周辺に鉱物が形成した様子も認められる。これらのことから、土壌の主要構成物である泥サイズの粒子は、物理的細粒化、化学的結晶作用によるほか、細菌を媒介としたシリカ・ナノ粒子の形成によるものも含まれると推測される。

FitzPatrick, E.A. (1993) *Soil Microscopy and Micromorphology*, Wiley

服部 勉 (1987) 大地の微生物世界, 岩波新書

服部 勉 (2006) 土と微生物, 60(2), 105-107

キーワード: 土壌, ミクロ団粒, シリカ・ナノ粒子, 細菌
Keywords: soil, microaggregate, silica-nano particle, bacteria

A novel remediation method for nickel-bearing wastewater at neutral conditions A novel remediation method for nickel-bearing wastewater at neutral conditions

岡橋 東子^{1*}; 西内 亨¹; 佐藤 努²; 大竹 翼²; 米田 哲朗²

OKAHASHI, Haruko^{1*}; NISHIUCHI, Toru¹; SATO, Tsutomu²; OTAKE, Tsubasa²; YONEDA, Tetsuro²

¹ 北大・工学院, ² 北大・工学研究院

¹Graduate School of Engineering, Hokkaido University, ²Faculty of Engineering, Hokkaido University

Advances in technology such as the electronics and metal plating industries have increased the demand of Ni year by year. On the other hand, the resources are unevenly distributed in a few countries and the supply is highly dependent on strategic policies. Moreover, since Ni is not produced in Japan and it is dependent on imports from foreign countries, the supply structures of Ni are vulnerable. Because of this, the necessity of recovering Ni from wastewaters and other waste forms has been increasing. Some industrial wastewaters contain large amounts of Ni. Generally, the removal of Ni from contaminated wastewater by adding antalkaline and flocculants to increase the pH to 10 or above would result in the generation of Ni-hydroxides after treatment. After that, it is necessary to adjust the pH below the effluent standard (pH 5.8~8.6). However, this method suffers from some disadvantages, such as the high cost for chemical reagents, problems in the disposal of alkali sludge and inefficient treatment system. Therefore, a more sustainable remediation method must be developed to achieve sustainable wastewater treatment operations. This study focused on natural attenuation processes which are safer, cost-effective and more environmentally friendly than traditional methods. For example, at Dougamaru abandoned mine in Japan, high concentrations of Cu and Zn in wastewater are naturally incorporated in the structure of layered double hydroxides (LDH), which forms in the presence of Al ions, hence, natural attenuation of Cu and Zn occurs (Okamoto et al., 2010). Because LDH has the hydroxide structure, six-coordinated heavy metals such as Cu, Ni and Co can be incorporated into the structure during the formation process. Therefore the objective of this study is to develop a remediation method for Ni-bearing wastewaters at neutral conditions, and to clarify the behavior of Ni in the neutralization and precipitation process.

In this context, to check the applicability of LDH in the treatment of Ni-bearing wastewaters, synthesis experiments were carried out by co-precipitation of Ni-bearing LDHs containing SO_4^{2-} as the interlayer anion with different concentrations of dissolved Al ions. Analysis of water chemistry before and after the co-precipitation show that the removal efficiencies of Ni from the synthetic wastewaters increased with increasing dissolved Al concentration. The results further show that the presence of Al in the formation of LDH removed Ni at pH values lower than previous methods which precipitated Ni-hydroxides. It is expected that treatment costs will be reduced in actual wastewater treatment systems because Al addition leads to the reduction of antalkaline use and the neutralization process.

Ni adsorption experiments and extraction experiments were conducted to investigate the sorption behavior of Ni. Only a small amount of Ni was adsorbed to LDH and basaluminite (major minerals in coprecipitation experiments) as inner- and outer-sphere complexes. From the result of XAFS analysis, Ni was incorporated into the structure by being able to precipitate LDH selectively. This shows Ni is fixed securely in the structure of LDH and that the mobility of Ni will be governed by the solubility of LDH. Thermodynamic modeling suggests that the precipitation of LDHs with the optimum Al/Ni molar ratio (0.25~0.50) is determined by the initial conditions (e.g. pH, Al, Ni concentrations). Furthermore, modeling results reproduce the experimental results such as removal efficiency and mineral species well, opening the possibility of its application in actual wastewater treatment operations.

Keywords: Remediation, Layered double hydroxide, Nickel

スマトラ島北部に発達するトラバーチンの流下経路での水質変化と微生物相の応答 Changes in water properties and microbial facies along a flow path of a travertine developed in northern Sumatra Island,

高島 千鶴^{1*}; 平野 未沙¹; 奥村 知世²; 狩野 彰宏³
TAKASHIMA, Chizuru^{1*}; HIRANO, Misa¹; OKUMURA, Tomoyo²; KANO, Akihiro³

¹ 佐賀大学 文化教育学部, ² 海洋研究開発機構, ³ 九州大学 比較社会文化研究院
¹Saga Univ., ²JAMSTEC, ³Kyushu Univ.

インドネシアのスマトラ島には多くの火山が存在し、それに伴い温泉が多く湧出している。これらの温泉の中には、トラバーチンと呼ばれる堆積物を沈殿させるものが知られているが、研究例は少ない。トラバーチンは先カンブリア紀のストロマトライトと成分的・組織的にも類似しているため、先カンブリア紀の海洋環境や微生物相を知る手がかりになる可能性がある (Takashima and Kano, 2008; Okumura et al., 2013)。

本研究対象は、スマトラ島北部にある世界最大のカルデラ湖であるトバ湖の約 30 km 南に位置する Sipoholon 温泉である。Sipoholon 温泉では総面積約 5 万 km² の 3 つのエリアにトラバーチンが活発に堆積している。本研究では人工的な影響が最も少ない Area A を対象とし、温泉水の溶存成分、水の酸素・炭素安定同位体比の測定、堆積物組織に関する基礎的な情報を記載する。それを基に、流下経路沿いでの水質変化やトラバーチンの特徴を明らかにし、微生物相との関連性について考察する。

Area A の流路は全長約 35 m で、湯元から約 15 m までの緩斜面では幅 50 cm 程度の流路沿いにトラバーチンが沈殿している。そこから水は急傾斜になりトラバーチンドームの急斜面上で広く流れる。ドームの下は再び傾斜が緩くなり、温泉水はテラス状のリムプールを経て、最終的に直径約 5 m のプールに流れ込む。湯元では 286 L/min の硫黄臭を伴う温泉水が湧出しており、水温は 61.4 °C, pH 6.48, 溶存酸素濃度 (DO) 0.60 mg/L の高温・中性・微好氣的な水である。温泉水は Ca²⁺ (約 360 mg/L), SO₄²⁻ (約 530 mg/L) に富み、Mg²⁺ や Cl⁻ に乏しい。上流から下流へと水温は低下し、DO は大気中の酸素を吸収するため増加する。下流に向かい pH は上昇し、アルカリ度と Ca²⁺ 濃度は低下している。このことは CO₂ の脱ガスにより、炭酸塩に対する過飽和度が上昇し、トラバーチンが沈殿していることを示す。

Sipoholon 温泉のトラバーチンは上流では比較的固いが、下流に行くほど柔らかくなる傾向がある。これは炭酸塩鉱物の結晶型や組織の違いを反映している。上流の硬い部分はアラゴナイトの針状結晶が球状に密集した組織を示し、下流の柔らかい部分にはダンベル型の結晶が見られた。XRD 分析によると、トラバーチンは主にアラゴナイトで構成されているが、場所によってはカルサイトと共存していることがある。

トラバーチンの表面に付着している微生物相は、上流から下流にかけて明瞭に変化している。上流付近に見られる白色のフィラメント状微生物マットは硫酸化細菌で構成される硫黄芝 (牧ほか, 2004) であると考えられる。硫黄芝は硫化水素を含んだ高温でほぼ中性の環境で繁殖することが知られており、これらは湯元付近の条件と一致する。中流域の流量の多い領域には薄いピンク色をした部分が見られ、紅色イオウ細菌が存在していると考えられる。下流域の流量が少ない場所には緑色の微生物マットが付着しており、蛍光顕微鏡下で自家蛍光を示すフィラメント状シアノバクテリアを主体とする。このシアノバクテリアマットが覆っている場所の水温はいずれも 45 °C 以下であった。このように、Sipoholon 温泉の堆積物の色変化は流量や流速に伴う水温変化や栄養源に応答した微生物相変化を反映している。

【引用文献】

Takashima, C. and Kano, A. (2008) Microbial processes forming daily lamination in a stromatolitic travertine. *Sedimentary Geology*, 208, 114-119.

Okumura, T. et al. (2013) Processes forming daily lamination in a microbe-rich travertine under low flow condition at the Nagano-yu Hot Spring, Southwestern Japan. *Geomicrobiology Journal*, 30, 910-927.

牧陽之助ほか (2004) 微生物被膜における原初的な生物共働のモデル 硫酸化細菌群集 (硫黄芝) におけるフィラメント構造と硫酸化反応. *Viva Origino*, 32, 96-108.

キーワード: トラバーチン, アラゴナイト, 硫酸化細菌, シアノバクテリア
Keywords: travertine, aragonite, sulfur oxidizing bacteria, cyanobacteria

浮遊性有孔虫の異常殻形成に関する研究 A study of irregular shaped tests formation of planktonic foraminifera

堀 真子^{1*}; 白井 厚太郎¹; 高畑 直人¹; 佐野 有司¹; 倉沢 篤史²; 木元 克典²
HORI, Masako^{1*}; SHIRAI, Kotaro¹; TAKAHATA, Naoto¹; SANNO, Yuji¹; KURASAWA, Atsushi²; KIMOTO, Katsunori²

¹ 東京大学大気海洋研究所, ² 海洋研究開発機構

¹ Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, ² Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

浮遊性有孔虫は、石灰質の殻を形成する単細胞の原生生物であり、有用な示準化石であるだけでなく、その殻の酸素安定同位体比や微量元素比は、古海洋環境を推定する指標として広く利用されてきた。有孔虫の殻は、一般に、複数のチャンパーに分かれており、初期に形成した殻を中心として、螺旋状にひとつずつ形成する。過去の研究では、しばしば有孔虫をバッチやフロー環境で飼育し、微量元素や同位体組成といった化学指標と環境因子の対応関係が調べられてきた。一方で、殻形成に関わる元素の移動や、トリガーとなる因子については不明な点が多く残されている。たとえば、飼育下では、天然では見られない異常な形状の殻が形成することがある。異常な殻形成のメカニズムを理解することは、逆説的に、有孔虫の正常な殻形成のプロセスの理解を促すと期待される。

そこで、本研究では、有孔虫の殻形成を観察する目的で、相模湾で採集した2種類の浮遊性有孔虫 (*Globigerina bulloides*, *Globigerinoides ruber*) を温度管理下で飼育した。飼育温度は、19℃から2℃ずつ変化させて、25℃までの4段階とした。殻の形成時期を特定するため、カルシウム同位体試薬を随時添加し、マーキングを行った。また、別の個体に対して、海水のカルシウム濃度を10%変化させた場合についても観察を行った。添加したカルシウム試薬はpHを調整しており、カルシウム濃度の増加によるpHの変化はないものとする。

この結果、19℃、21℃、23℃で飼育された10個の*G. ruber*のうち、3個体が新たに正常な殻を形成した。一方、*G. bulloides*は7個体中5個体が殻を形成し、このうち、外洋での採集後、2週間以上生存していた3個体に、異常な殻形成が認められた。異常な殻が形成した時点の水温は、21℃と25℃であり、殻形成と温度の間に直接的な関係はない。考えられる因子は溶存酸素濃度、または溶存有機物濃度の変化である。有孔虫は殻を形成する際、POMと呼ばれる有機物膜を形成することが知られている。石灰化母液中の有機物濃度が変化すると、POMの正常な形成が妨げられ、異常な殻形成につながる可能性がある。

また、飼育海水のカルシウム濃度を変化させた場合については、12時間以内に棘状突起を落とす現象が認められた。棘状突起はバッチの底に落ちていたことから、溶解ではなく、有孔虫本体から離脱したものである。カルシウムは、殻形成だけでなくさまざまな生体反応に利用される元素であることから、カルシウム濃度の急激な上昇が、有孔虫の生体機能に異常をもたらした可能性がある。

キーワード: 浮遊性有孔虫, 飼育実験

Keywords: planktonic foraminifera, laboratory culture

準安定な鉄水酸化物への様々な陰イオンの吸着とその後の挙動 Anion adsorption and post-adsorption behavior of metastable iron hydroxides

小玉 立^{1*}; 岡橋 東子¹; 山本 崇人¹; 佐藤 努¹; 大竹 翼¹; 米田 哲朗¹

KODAMA, Ritsu^{1*}; OKAHASHI, Haruko¹; YAMAMOTO, Takato¹; SATO, Tsutomu¹; OTAKE, Tsubasa¹; YONEDA, Tetsuro¹

¹ 北海道大学大学院工学院環境循環システム専攻環境地質学研究室

¹Laboratory of Environmental Geology, Hokkaido university, Graduate School of Engineering, Hokkaido U

Pollution by dissolved anions has been a pertinent environmental concern in many areas around the world. For example, acid mine drainage from abandoned mines and contaminated waters resulting from the Fukushima nuclear power plant accident emphasize the importance of predicting the behavior of the dissolved trace elements on Earth's surface environments. Iron minerals may play a potentially important role in the control of dissolved trace elements in the environment. In particular, poorly crystalline iron minerals exhibit excellent adsorption capacities for toxic anions due to their high specific surface areas and reactivity. In order to evaluate the potential of poorly crystalline iron minerals as stable sinks of dissolved hazardous ions, it is necessary to investigate the adsorption mechanism on these minerals and their post-adsorption behaviors.

Adsorption experiments using arsenate, phosphate, chromate, sulfate, selenate, fluoride, and chloride were performed to investigate the selectivity of Schwertmannite and Ferrihydrite for various anions. Adsorption selectivity decreases in the following order: $\text{H}_2\text{AsO}_4^- > \text{H}_2\text{PO}_4^- > \text{HCrO}_4^- > \text{SeO}_4^{2-} \cong \text{SO}_4^{2-} \gg \text{F}^- \cong \text{Cl}^-$. Schwertmannite and Ferrihydrite didn't have an ability to adsorb F^- and Cl^- . The adsorption mechanism of these anions was investigated using zeta potential measurements. The results indicated that H_2AsO_4^- , H_2PO_4^- and HCrO_4^- formed inner-sphere complexes while SeO_4^{2-} and SO_4^{2-} formed outer-sphere complexes. The adsorption mechanism of these anions to both Schwertmannite and Ferrihydrite is generally similar, except in the case of HCrO_4^- .

Accelerated alteration experiments were performed to observe post-adsorption behaviors of Schwertmannite and Ferrihydrite. Oriented specimens loaded with varying amounts of adsorbed anions were aged under saturated water vapor pressure conditions at 50 °C for 30 days and analyzed by XRD. Results show that larger amounts of adsorbed anions delay the transformation of Schwertmannite and Ferrihydrite into more stable phases, indicating that adsorption of anions, particularly as inner-sphere complexes, stabilizes poorly crystalline iron minerals.

These results show that poorly crystalline iron minerals are capable of taking up a range of toxic anions from contaminated waters and that the stability of these minerals will be affected by the amount of anions sorbed on the surface. These suggest that poorly crystalline iron minerals may serve as stable, long-term sinks for toxic anions.

準安定なカルシウム炭酸塩鉱物への陰イオン吸着とその後の挙動 Anion adsorption and post-adsorption behavior of metastable calcium carbonate polymorph

山本 崇人^{1*}; 小玉 立¹; 佐藤 努¹; 大竹 翼¹

YAMAMOTO, Takato^{1*}; KODAMA, Ritsu¹; SATO, Tsutomu¹; OTAKE, Tsubasa¹

¹ 北海道大学大学院工学院環境循環システム専攻環境地質学研究室

¹Laboratory of Environmental Geology, Hokkaido University

In Japanese transuranic (TRU) waste disposal facilities, I-129 is the most important radionuclide that must be considered in long-term safety assessments of the repository. However, the degradation of cement materials used in the repositories can produce high pH pore fluids that can affect to anion transport behavior. Therefore, it is necessary to understand the behavior of anions such as I⁻ in hyperalkaline conditions. Examples of I⁻ behavior in natural hyperalkaline environments, such as in Oman, show that I⁻ is taken up by aragonite, opening up the possibility of calcium carbonates as inhibitors of I⁻ migration. This concept is currently being applied in the development of the Advanced Liquid Processing System (ALPS), which employs carbonate coprecipitation to treat contaminated waters resulting from the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. However, the stability of the carbonate phases precipitated in this system as well as the anion uptake capacities of these phases are poorly understood. In a previous study, (Kasahara, 2012), it was found that monohydrocalcite (MHC), a precursor of aragonite, affects the iodine capacity of aragonite, making it a possibly important material that can control the behavior of anions. The objective of this study therefore, is to investigate the sorption capacity of MHC for anions and its stability. MHC ($Mg^{2+}/Ca^{2+}=6$; $Ca^{2+}/CO_3^{2-}=1$) was synthesized and used for sorption experiments involving F⁻, Br⁻, I⁻, IO₃⁻, SO₄²⁺, CrO₄²⁻, HAsO₄²⁻, and phase transformation experiments. Results show that K_d values of HAsO₄²⁻ and F⁻ on MHC are high, while IO₃⁻, SO₄²⁻ are relatively low. On the other hand, Br⁻, I⁻, NO₃⁻, CrO₄²⁻ were not taken up. It is because MHC has high chemical reactivity and high specific surface (4 times large of aragonite, 15 times large of calcite), in addition MHC is most low density of calcium carbonate, so MHC can take up relatively large amount of anions than other calcium carbonate. And other thing, MHC involves Mg²⁺ abundantly. This study indicates that Mg²⁺ form fluoride adsorption site. Results of the transformation experiments show that MHC with no adsorbed anions easily transforms into a stable phase, whereas MHC loaded with increasing amounts of anions transform after longer durations. It is because the driving force for the transformation decreases with the anions content in the solution. In conclusion, MHC can take up fluoride and oxyanions that ionic radii is similar to carbonate but larger than that. In addition, MHC is stabilized as a function of uptake amount of anions.

はやぶさ2の統合サイエンス On activities in the interdisciplinary science of Hayabusa-2

小林 直樹^{1*}; 渡邊 誠一郎²; はやぶさ2 統合サイエンスチーム¹
KOBAYASHI, Naoki^{1*}; WATANABE, Sei-ichiro²; THE INTERDISCIPLINARY SCIENCE TEAM, Hayabusa-2¹

¹ 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所, ² 名古屋大学大学院環境学研究科地球環境科学専攻

¹ ISAS/JAXA, ² Division of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Nagoya University

はやぶさ2はC型近地球小惑星である1999JU3からサンプルを持ち帰る小惑星探査ミッションである。その搭載科学装置として、近赤外線分光計(NIRS3)、中間赤外線カメラ(TIR)、可視カメラ(ONC-T)、レーザ高度計(LIDAR)、サンプル(SMP)、衝突装置(SCI)、理学観測用分離カメラ(DCAM-D)、小型ランダ(MASCOT)を搭載する。これらの観測装置を駆使して1999JU3の表層物質と表層状態を特定し、最大3つのサンプリング箇所を選定する。地球に帰還するサンプルの分析により、1999JU3上で生じている物理、化学作用を理解すること、その天体の形成から現在に至る迄の歴史を読み解くことを目指している。従って搭載機器を駆使した表面物質と状態の特徴付け戦略ははやぶさ2の科学成果を成功に導く鍵となっている。そこでサンプルリターンミッションをより効果的なものとするべく、はやぶさ2プロジェクトでは統合サイエンスチームを立ち上げ検討してきた。本報告でははやぶさ2の統合サイエンス活動を紹介する。

はやぶさ2統合サイエンスチームは2012年12月に発足した。発足時に掲げた目的は以下の通りである：はやぶさ2の科学シナリオの全体像の構築、機器横断的なサイエンステーマの識別と各テーマにおける観測装置の役割を明確にすること、ミッションシナリオにおける科学的制約条件と科学的評価を明確化すること、そしてサイエンスの裾野を広げること即ち「小惑星からの惑星科学」を考え尽くすことである。統合サイエンスチームの議論はプロジェクトメンバーにはオープンな場で行われている。これまでに、リターンサンプルの分析戦略、リモセン機器による小惑星表面の不均質の同定、表面温度推定戦略、クレータ年代学、衝突地形、形状モデル作成法、C型小惑星の反射スペクトル、宇宙風化などを真摯に議論してきた。その成果は「表面物質と状態の切り分け戦略」として論理流れ図として結実している。この図には「基本観測量」、「統合観測量」、「同定できる特徴」、その「指標」および「総合的な推定量」の互いの関係が示されている。図中にはこれらの観測量、推定量への各機器の寄与も明示されている。また、統合サイエンスチームでは衝突装置に関する科学運用に関しても熱心に議論されている。衝突装置は微小重力下での壮大な衝突実験を実現し、また、表面をはぎ取ることで内部の物質を露出させる役割を担う。しかしSCIの運用は探査機のシステムリソースを食う大掛かりなものであり、良く練られた運用プランが必須となっている。

作成された論理フロー図ははやぶさ2の科学を成功に導く指針となるものである。それは今後も改訂され、論理的により完備なものとなり込まれる。そのために、論理図を補完する検討や実験などをとりまとめる専門作業グループを設けている。現在は総合試験や機器のキャリブレーション試験など開発フェーズの山場を迎えているため、統合サイエンスの活動をやや落としているが、開発フェーズが終わりに近づくに連れて統合サイエンス活動を活発化させる。はやぶさ2の統合サイエンス活動はその科学ミッションを成功に導く鍵であり、日本における惑星探査を増進させる役割を担うものと考えている。

キーワード: はやぶさ2, 小惑星, 探査, 表層物質, 統合サイエンス, サンプルリターン

Keywords: Hayabusa-2, asteroid, exploration, surface material, interdisciplinary science, sample return

はやぶさ2 ONC-Tの反射分光観測による含水鉱物吸収の検出可能性 Detectability of 0.7 μm absorption band of hydrous minerals using the Hayabusa2 ONC-T Flight Model

亀田 真吾^{1*}; 武井 亮斗¹; 佐藤 允基¹; 奥村 裕¹; 長 勇一郎²; ONC Science Team³
KAMEDA, Shingo^{1*}; AKITO, Takei,¹; SATO, Masaki¹; OKUMURA, Yu¹; CHO, Yuichiro²; ONC, Science team³

¹立教大学, ²東京大学, ³JAXA

¹Rikkyo University, ²The University of Tokyo, ³JAXA

Hayabusa2 has three cameras for optical navigation to the asteroid 1999JU3. ONC-T is one of them and it can be used also for reflectance spectroscopy. The results of the ground-based observation suggested that hydrous materials might remain on the 1999JU3 but on the small part of the surface. To bring them to the Earth, we should perform reflectance spectroscopic observation near the asteroid using ONC-T to locate the point where hydrous mineral is rich.

In this presentation, we will report the result of final calibration test of ONC-T and discuss the detectability of hydrous minerals on 1999JU3.

はやぶさ2レーザ高度計の科学観測のための開発 Development and tests of Hayabusa-2 LIDAR

並木 則行^{1*}; 水野 貴秀²; 千秋 博紀¹; 山田 竜平³; 野田 寛大³; 清水 誠³; 平田 成⁴; 池田 人⁵; 阿部 新助⁶; 松本 晃治³; 押上 祥子³; 吉田 二美³; 平田 直之⁷; 宮本 英昭⁷; 佐々木 晶⁸; 荒木 博志³; 田澤 誠一³; 石原 吉明²; 小林 正規¹; 和田 浩二¹; 出村 裕英⁴; 木村 淳⁹; 早川 雅彦²; 小林 直樹²; 三田 信²; 川原 康介²; 國森 裕生¹⁰
NAMIKI, Noriyuki^{1*}; MIZUNO, Takahide²; SENSU, Hiroki¹; YAMADA, Ryuhei³; NODA, Hiroto³; SHIZUGAMI, Makoto³; HIRATA, Naru⁴; IKEDA, Hitoshi⁵; ABE, Shinsuke⁶; MATSUMOTO, Koji³; OSHIGAMI, Shoko³; YOSHIDA, Fumi³; HIRATA, Naoyuki⁷; MIYAMOTO, Hideaki⁷; SASAKI, Sho⁸; ARAKI, Hiroshi³; TAZAWA, Seiichi³; ISHIHARA, Yoshiaki²; KOBAYASHI, Masanori¹; WADA, Koji¹; DEMURA, Hirohide⁴; KIMURA, Jun⁹; HAYAKAWA, Masahiko²; KOBAYASHI, Naoki²; MITA, Makoto²; KAWAHARA, Kousuke²; KUNIMORI, Hiroo¹⁰

¹ 千葉工業大学, ²JAXA 宇宙科学研究本部, ³ 国立天文台, ⁴ 会津大学, ⁵ 宇宙航空研究開発機構, ⁶ 日本大学, ⁷ 東京大学, ⁸ 大阪大学, ⁹ 東京工業大学, ¹⁰ 通信総合研究所

¹PERC/Chitech, ²ISAS/JAXA, ³NAOJ, ⁴The University of Aizu, ⁵ARD/JAXA, ⁶Nihon University, ⁷The University of Tokyo, ⁸Osaka University, ⁹Tokyo Institute of Technology, ¹⁰NICT

小惑星探査機「はやぶさ2」に搭載されるレーザ距離計(LIDAR)の観測データを使った科学観測目標について講演する。小惑星探査の科学的意義を一言にまとめるならば、「原始惑星系円盤⇒微惑星⇒小惑星へといたる過程の missing piece を明らかにする」ということになるだろう。リターンサンプルは隕石と異なり産地情報を有しているため、サンプル分析結果をリモートセンシング観測と結びつけることで、サンプルが経験した「過程」を遡ることができるかも知れない。

「はやぶさ2」のリモートセンシング観測データはその場観察で得られる産地情報である。LIDARは本来は光学航法のためのバス機器であるが、サイエンスチームは距離測定から得られるデータを科学利用する。LIDAR観測の科学目標とは、「衝突破壊・合体のプロセスを含めた小天体物理進化の謎解き」であり、具体的には下記の3つを掲げている。

- (1) 1993JU3の分光スペクトル観測(AMICA, NIR3, アルベド)から collisional family を同定する。
- (2) 形状と重力から平均空隙率を計算し, rubble pile 天体の衝突破壊・合体の歴史を推定する。
- (3) リターンサンプルの宇宙線照射年代, 太陽風インプランテーションから軌道進化を制約する。

加えて Itokawa 探査の科学成果を発展させる(リターンサンプルをさらに活用する)ために以下の2点を新たな科学目標に追加した。

(4) Rubble pile 天体を実証する。Itokawa と 1999JU3 の比較から, rubble pile 天体普遍性とバリエーションを議論する。そのために, 接近運用の復路で成るべく多くの重力観測を実施して空隙率の均一/不均一性を測定する。形状中心と重心の相違を 10 m の精度で測定することを目標としている。

(5) 小惑星ダストのその場観察を行う。従来の研究で提唱されているように, もし小惑星周辺に浮遊するダストが存在するならばレーザの微弱な反射光が検知されるはずである。はやぶさサンプルの出自は表層レゴリスであるのか, 浮遊ダストであるのか, を確認する。小惑星周辺に漂う浮遊ダストを発見することができれば, 空間密度分から, 小惑星ダストの移流・攪拌をその場観察し(3)の解釈に反映する。

講演ではこれらの目標達成のために必要な観測機器性能を紹介し, 試験と開発の現状を報告する。

キーワード: はやぶさ, 小惑星, 探査, レーザ, 高度計

Keywords: Hayabusa, asteroid, exploration, LIDAR

はやぶさ2 TIRの観測から表面熱物性を求める戦略 A strategy to estimate thermal properties using Thermal Infrared Imager on board Hayabusa-2.

千秋 博紀^{1*}; 滝田 隼²; 田中 智³; 岡田 達明³
SENSHU, Hiroki^{1*}; TAKITA, Jun²; TANAKA, Satoshi³; OKADA, Tatsuaki³

¹ 千葉工業大学惑星探査研究センター, ² 東京大学大学院理学系研究科, ³ 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所
¹PERC/Chitech, ²Graduate School of Science, Tokyo University, ³ISAS/JAXA

Thermal InfraRed imager (TIR) on board Hayabusa-2, an upcoming Japanese mission to C-type asteroid 1999JU3, is non-cooled bolometer which image mid-infrared thermal emission from the asteroidal surface. The field-of-view (FOV) of TIR is 16x12 degrees and its effective pixels are 320x240. So the spatial resolution, which depends on distance from the surface, is about 18m from an altitude of 20km (Home position) and less than 1m from an altitude of 1km.

By comparing the temperature distribution obtained by TIR and thermal evolution model, we can get thermophysical properties such as thermal inertia and emissivity. These parameters are diagnostic for the characteristic size of surface grain.

In this presentation we will present our strategy to estimate the thermophysical properties from TIR observation.

キーワード: はやぶさ2, 熱赤外カメラ, 表面温度, 熱物性, 熱慣性率, 放射率

Keywords: hayabusa-2, thermal infrared imager, surface temperature, thermal properties, thermal inertia, emissivity

小惑星の表面地形と重力ポテンシャルの関係 Relationship on Surface Morphology of Small Asteroids and Geopotential

平田 成^{1*}; 松本 晃治²; 木村 淳³
HIRATA, Naru^{1*}; MATSUMOTO, Koji²; KIMURA, Jun³

¹ 会津大学, ² 国立天文台 RISE 月惑星探査検討室, ³ 東京工業大学地球生命研究所

¹ARC-Space/CAIST, The University of Aizu, ²RISE Project, The National Astronomical Observatory of Japan, ³The Earth-Life Science Institute (ELSI) of Tokyo Institute of Technology

小惑星イトカワの表面は smooth terrain と rough terrain という対照的な二種類の地質要素に区分できる。smooth terrain は数 cm 径の細粒の物質で覆われた平坦な特徴を持つのに対し、rough terrain は数 10 cm から数 m に及ぶ boulder で覆われた起伏の激しさで特徴づけられる。イトカワ上では smooth terrain は 3 カ所に分布している。このうち、南極域の MUSES-C 地域、北極域の Sagamihara 地域の 2 カ所が最大の広がりを持つ。Sagamihara 地域に隣接する Uchinoura 地域は、前二者よりは小規模な smooth terrain である。

イトカワでは形状モデルと自転モデルが得られているので、均質な内部構造を仮定すれば表面の重力ポテンシャルを求めることができる。このようにして得られた重力ポテンシャルマップと smooth terrain の分布を比較すると、smooth terrain は重力ポテンシャルの低い領域に分布し、その表面はほぼ等ポテンシャルになっている。これは、移動しやすい細粒物質が隕石衝突などに伴う振動によって低ポテンシャルの地域に溜まった結果 smooth terrain が形成された、という説明とよく対応する。

イトカワの場合、全体形状が両極方向に強く扁平しているため（軸比約 1.2）、両極域は全球で最も標高が低い、すなわちポテンシャルの低い地域となる。そこに細粒の物質が溜まった結果、MUSES-C 地域と Sagamihara 地域の二つの smooth terrain になったと解釈できる。Uchinoura 地域はその形状から衝突クレーターと考えられる。クレーター底もまたローカルな低ポテンシャル域であり、そこに細粒の物質が溜まったものであろう。

天体表面の細粒物質の体積が、表面全体を覆うほど十分であれば、このような分布の偏りは観察されないと考えられるが、若く、小さな小惑星ではレゴリス形成が十分進んでいないため、イトカワのように低ポテンシャルの地域にのみ限定された smooth terrain の形成が見られるはずである。

従って、小惑星の形状または軸比、そして自転状態が得られれば、重力ポテンシャル分布を推定することで、小惑星上での smooth terrain の分布を予測することができる。

小惑星探査機はやぶさ 2 の対象天体である 1999 JU3 は、ライトカーブ観測によって軸比が約 1.2、自転周期は 7.63 h と見積もられている。引力ポテンシャルと遠心力ポテンシャルの関係から、極（短軸上）と赤道（長軸上）での重力ポテンシャル差を求めると、1999 JU3 表面ではやや引力ポテンシャルが勝っているものの、ほぼ両者が釣り合った状態にあることがわかった。従って、この小惑星表面で smooth terrain が形成されている場合、その分布はやや極域に偏っているか、あるいはクレーターなどのローカルな低地にあることが予測される。

キーワード: 小惑星, ジオポテンシャル, smooth terrain, イトカワ, 1999JU3
Keywords: Asteroid, geopotential, smooth terrain, Itokawa, 1999JU3

イトカワの多バンド画像の主成分分析から示唆されるS型小惑星のスペクトル進化 Spectral evolution of s-type asteroids suggested by principal component analysis of multi-band images of Itokawa

古賀 すみれ^{1*}; 杉田 精司¹; 鎌田 俊一²; 石黒 正晃³; 廣井 孝弘⁴; 佐々木 晶⁵

KOGA, Sumire^{1*}; SUGITA, Seiji¹; KAMATA, Shunichi²; ISHIGURO, Masateru³; HIROI, Takahiro⁴; SASAKI, Sho⁵

¹ 東京大学大学院新領域創成科学研究科, ² 北海道大学 理学研究院, ³ ソウル大学 物理天文学科, ⁴ ブラウン大学惑星地質,
⁵ 大阪大学大学院理学研究科宇宙地球科学専攻

¹Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo, ²Dept. of Earth and Planetary Sci., UC Santa Cruz, ³Department of Physics and Astronomy, Seoul National University, ⁴Department of Geological Science, Brown University, ⁵Department of Earth and Space Science, Graduate School of Science, Osaka University

背景・目的

イトカワ表面では組成の不均一性が小さいことや、宇宙風化の程度の異なる地域があることなどが知られているが [1,2]、宇宙風化以外にスペクトルを変化させる要素の有無は十分に検証されていない。我々は AMICA (Asteroid Multi-band Imaging CAmera) のイトカワ多バンド画像を用いた主成分分析 (PCA) で、主成分スペクトルとその空間分布を調べている。これまでの解析で、イトカワ、メインベルト小惑星、レーザー照射した隕石のスペクトルの PCA を使った比較から、微小隕石衝突による宇宙風化 [3] により小惑星のスペクトルがどう進化するかが示唆されていた [4]。しかし電磁ノイズの影響で、他の要素については解析できていなかった。本研究では電磁ノイズを除去し、宇宙風化以外に起因するスペクトル変化のトレンドを吟味することを目的として解析する。

方法

AMICA の可視 6 バンド画像 (中心波長 381,429,553,700,861,960nm) を使用した。画像に含まれている周期的な電磁ノイズを正弦波の重ね合わせを引いて除去した。[5] に従い画像校正と反射率への変換、平行移動による位置合わせを行った。

得られた画像を 553nm 画像で規格化し、PCA を行った。特徴的な黒い岩 (Black Boulder) の入った画像も用いた。Black Boulder の成因として [6] で衝撃暗化が指摘されている。また、イトカワのスペクトルを ECAS [7] の 540 個の小惑星スペクトルデータと合わせた PCA でイトカワとメインベルト小惑星のスペクトル分布とを比較した。

結果

電磁ノイズ除去処理により、除去前に比演算画像に顕著に見られた縞模様を除去できた。

イトカワのデータだけの PCA では、PC1 は、430-700nm で特に急な立ち上がりをもつ全体的に右肩上がりのスペクトルとなった。PC1 スコア空間分布は、大きなボルダーの上で値が低いなど先行研究 [8] で得られている宇宙風化度空間分布と調和的であった。

PC2 は 553nm 以外の波長で正の値を持ち、短・長波長の両側に上がったスペクトルとなった。550nm 付近でピーク形を持つ PC2 はイトカワ主要構成物質の無水ケイ酸塩のスペクトルと異なり、物質科学的な解釈は難しい。ボルダーの多い地域では PC1 は大きい、PC2 は小さい値をとるが、PC 1 スコアの極小になるボルダーを取り囲むように PC2 スコアの極大が分布するという特徴が見られた。また、PC1、2 の寄与率はそれぞれ 60-75%、20-30% であった。

一方、Black Boulder のスペクトルは ECAS の PC 空間において他の部分の作るクラスターと離れた位置に分布した。

議論と展望

イトカワだけのスペクトルの PC1、2 の寄与率はイトカワの表面スペクトルの不均一性は 2 つのプロセスによって支配されていることを示唆する。また、PC1、2 スコアの分布は、PC2 を決めるプロセスが、宇宙風化の中間的に進行したところで過渡的に起こることを示しているかも知れない。まだイトカワ表面の一部しか観察できていないため今後は全球解析を進めていく。学会の講演では他の地域に見られる傾向を報告する予定である。

一方、Black Boulder が作るスペクトルのトレンドが宇宙風化の影響が卓越する他の地域と異なる事実は、Black Boulder の起源が宇宙風化とは別のプロセス (衝撃暗化が一つの可能性) であることを示唆する。

今回の解析でイトカワ全体で起きている典型的宇宙風化以外のトレンドも捉えることができた。微小隕石による宇宙風化だけでなくより大きな衝突による進化プロセスを合わせて考慮することで、小惑星の進化過程を制約しスペクトルにより分類される小惑星クラス同士の関係性を導けるかも知れない。

参考文献

[1] Abe, M et al. (2006) Sci. 312, 1334. [2] Hiroi, T. et al. (2006) Nature 443, 56. [3] Sasaki, S. et al. (2001) Nature 410,

U06-06

会場:503

時間:4月28日 10:15-10:30

555-557. [4] Koga, S. et al. (2014) 45th LPSC, Abstract #1721. [5] Ishiguro, M. et al., (2010) Icarus, 207, 714. [6] Hirata, N. and Ishiguro, M., (2011) 42nd LPSC, Abstract #1821. [7] Tedesco, E.F. et al. (1982) Astron.J. 87, 1585. [8] Ishiguro, M. et al. (2007) MAPS 42, 1791.

はやぶさ2の衝突装置 Small carry-on impactor of Hayabusa2

佐伯孝尚^{1*}; 今村裕志¹; 澤田弘崇¹; 荒川政彦²; 高木靖彦³; 門野敏彦⁴; 和田浩二⁵; 早川雅彦¹; 白井慶¹; 岡本千里¹; 小川和律⁶; 飯島祐一¹

SAIKI, Takanao^{1*}; IMAMURA, Hiroshi¹; SAWADA, Hiroataka¹; ARAKAWA, Masahiko²; TAKAGI, Yasuhiko³; KADONO, Toshihiko⁴; WADA, Koji⁵; HAYAKAWA, Masahiko¹; SHIRAI, Kei¹; OKAMOTO, Chisato¹; OGAWA, Kazunori⁶; IIJIMA, Yuichi¹

¹宇宙航空研究開発機構, ²神戸大学, ³愛知東邦大学, ⁴産業医科大学, ⁵千葉工業大学, ⁶東京大学

¹Japan Aerospace Exploration Agency, ²Kobe University, ³Aichi Toho University, ⁴University of Occupational and Environmental Health, ⁵Chiba Institute of Technology, ⁶University of Tokyo

Small Carry-on Impactor of Hayabusa2

A Japanese spacecraft, Hayabusa2, the successor of Hayabusa, which came back from the Asteroid Itokawa with sample materials after its 7-year-interplanetary journeys, is a current mission of Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) and scheduled to be launched in 2014. Hayabusa2 is a similar sample return mission to Hayabusa, however the type of the target asteroid is different from that of Hayabusa. Asteroid Itokawa, explored by Hayabusa is a rock-rich S-type one. Hayabusa2 will go to a C-type asteroid. Both C-type and S-type asteroids consist of rocks, but C-type asteroids are considered to have organic and water materials. Hayabusa2 has two objectives to discover: organic matters and water in the solar system and relationship between life and ocean water. C-type asteroids are the most common variety and many of them are in the outer part of the asteroid belt beyond 2.7 AU. An asteroid, called 1999 JU3, is chosen as the target of Hayabusa2 mission because it is considerably easy to reach. It has a similar orbit as that of Itokawa and it is in the orbit that occasionally comes close to the earth orbit.

The design of Hayabusa2 basically follows Hayabusa. Its configuration, size and weight are almost same as Hayabusa and the touch-down operation will be performed in much the same way. However, it is planned to be equipped with some new components. Small Carry-on Impactor (SCI) is one of the new challenges. The observations by Hayabusa discovered that Itokawa was rubble-pile body with the macro-porosity. No direct observational data as for their internal structures and sub-surface materials were available, however. One of the most important scientific objectives of Hayabusa2 is to investigate chemical and physical properties of the internal materials and structures in order to understand the history of formation of small bodies such as small, un-differentiated asteroids. In order to achieve this objective, the SCI is required to remove the surface regolith and create an artificial crater on the surface of the asteroid. Different from other impact missions, Hayabusa2 can make a detailed observation of the resultant crater after the impact. Observing the size of the crater is very important to investigate the physical properties of the asteroid. Additionally, Hayabusa2 will try to touchdown near the crater to get the fresh material of the asteroid.

It is very difficult to create a meaningful crater on the asteroid. High kinetic energy (i.e. about 2km/s impact speed and 2kg impact mass) is required to make a crater, but the high speed is difficult to realize. The famous impact mission, Deep Impact was the direct impact mission, which used the interplanetary velocity for the impact speed. Consequently, the impact energy became very high. On the other hand, SCI of Hayabusa2 is a carry-on type impactor and it should accelerate itself after the separation from the mother spacecraft. Therefore, how to accelerate the impact body is a big challenge of SCI. The traditional acceleration devices such as rocket motors and thrusters are difficult to hit the asteroid without a guidance system because the acceleration distance is large. To overcome this difficulty, the powerful explosive is use in SCI. The special type of shaped charge makes it possible to accelerate the impact head in a very short amount of time (less than 1 millisecond) and it becomes possible to crash into the asteroid.

The development of SCI is now almost finished. A lot of tests were conducted during the development period. The overview of the small carry-on impactor system and the results of the development tests will be presented in the conference.

キーワード: はやぶさ2, 衝突装置, 人工クレータ

Keywords: Hayabusa2, Impactor, Artificial Crater

はやぶさ2 小型搭載型衝突装置による科学
Small Carry-on Impactor Elucidates the Nature of Craters and the Evolution of our solar system

和田 浩二^{1*}; SCI チーム²; DCAM3 チーム²
WADA, Koji^{1*}; SCI, Team²; DCAM3, Team²

¹ 千葉工業大学惑星探査研究センター, ² はやぶさ2プロジェクト
¹PERC/Chitech, ²Hayabusa-2 Project

Hayabusa-2, the Japanese next asteroid exploration mission, equips Small Carry-on Impactor (SCI) to launch a decimeter scale projectile on an asteroid surface. This is a novel apparatus to excavate the asteroid surface, and hopefully it will enable us to observe a fresh surface without space weathering and thermal alteration. Furthermore, we will be able to recover the asteroid sample excavated from several 10 cm depth at the deposit of the impact ejecta. The SCI impact on the asteroid is very good chance to examine the projectile scale on the crater scaling law in addition to the study on the gravity effect on the crater formation process. In this presentation, I will introduce the scientific goals of Hayabusa-2 mission using SCI and the scientific problems to be solved in the near future to maximize the scientific outputs of the SCI impact.

キーワード: はやぶさ2, 小型搭載型衝突装置, 衝突, 小惑星
Keywords: Hayabusa-2, SCI, impact, asteroid

はやぶさ2衝突装置(SCI)爆薬部飛翔性能確認試験 The final impact tests of Small Carry-on Impactor(SCI) equipped on HAYABUSA-2

早川 雅彦^{1*}; 佐伯 孝尚¹; 今村 裕志²; 白井 慶²; 和田 浩二³; 荒川 政彦⁴; 岡本 千里²; 津田 雄一¹; 高木 靖彦⁵; 門野 敏彦⁶; 中澤 暁²; 飯島 祐一¹; 矢野 創²; 上斗米 秀夫⁷; 松崎 伸一⁷

HAYAKAWA, Masahiko^{1*}; SAIKI, Takanao¹; IMAMURA, Hiroshi²; SHIRAI, Kei²; WADA, Koji³; ARAKAWA, Masahiko⁴; OKAMOTO, Chisato²; TSUDA, Yuichi¹; TAKAGI, Yasuhiko⁵; KADONO, Toshihiko⁶; NAKAZAWA, Satoru²; IJIMA, Yuichi¹; YANO, Hajime²; KAMITOMAI, Hideo⁷; MATSUZAKI, Shinichi⁷

¹ 宇宙航空開発機構宇宙科学研究所, ² 宇宙航空開発機構月惑星探査プログラムグループ, ³ 千葉工業大学宇宙探査研究センター, ⁴ 神戸大学大学院理学研究科, ⁵ 愛知東邦大学, ⁶ 産業医科大学学医学部, ⁷ 日本工機(株)

¹ ISAS/JAXA, ² JSPEC/JAXA, ³ Planetary Exploration Research Center/Chiba Institute of Technology, ⁴ Graduate School of Science, Kobe University, ⁵ Aichi Toho University, ⁶ University of Occupational and Environmental Health, ⁷ NIPPONN KOHKI Co. Ltd

「はやぶさ2」は現在、フライトモデル総合試験の真っ最中である。これに先立ち各サブシステムは個々に単体を製作完了し、単体総合試験を行って正常動作することを確認して総合試験に合流することになる。はやぶさ2号機から採用されたSCI (Small Carry-on Impactor) は新規サブシステムで、「はやぶさ2」本体から切り離された後、爆薬に点火し銅の弾丸を小惑星1999JU3表面に打ち込むためのものである。

本講演では2013年10月にSCIの爆薬部のFM相当品の最終性能確認試験が行われたので報告する。SCIによって小惑星に打ちこまれる弾丸の重さは約2kg、衝突速度は約2km/secというスペックである。報告する試験ではフライトモデルと同ロットで製作されたSCI爆薬部のフライトモデル相当品に衝撃振動、温度サイクルなどの環境負荷を行い、常温、高温、低温状態で射出試験に供した。相当品がフライトモデルで受けるであろう環境を負荷された後も要求スペックを満たしていることが確認された。

また、このような大規模な衝突(実験)はそうそう行なえないので、衝突現象の解明という立場からも、実験室と天体表面を繋ぐスケールの実験としても位置付けることができ、SCIサイエンスチームとして着弾点でクレーターのできる様子を高速度カメラ、赤外線カメラ、加速度計、地震計などを用いて撮影・計測を行った。その試験(実験)の概要を報告する。

キーワード: はやぶさ2, 衝突装置, 衝突実験, 飛翔実験, クレーター

Keywords: HAYABUSA-2, Small Carry-on Impactor, impact experiment, crater, explosion



はやぶさ2 DCAM3-Dの光学性能検証試験 Optical performance verification of DCAM3-D/Hayabusa 2

石橋 高^{1*}; 荒川 政彦²; 飯島 祐一³; 小川 和律⁴; 白井 慶³; 和田 浩二¹; 本田 理恵⁵; 澤田 弘崇³; 坂谷 尚哉⁶; 門野 敏彦⁷; 小林 正規¹; 中澤 暁³; 早川 基³; 池田 優二⁸
ISHIBASHI, Ko^{1*}; ARAKAWA, Masahiko²; IJIMA, Yuichi³; OGAWA, Kazunori⁴; SHIRAI, Kei³; WADA, Koji¹; HONDA, Rie⁵; SAWADA, Hirota³; SAKATANI, Naoya⁶; KADONO, Toshihiko⁷; KOBAYASHI, Masanori¹; NAKAZAWA, Satoru³; HAYAKAWA, Hajime³; IKEDA, Yuji⁸

¹ 千葉工業大学, ² 神戸大学, ³ 宇宙航空研究開発機構, ⁴ 東京大学, ⁵ 高知大学, ⁶ 総合研究大学院大学, ⁷ 産業医科大学, ⁸ フォトコーディング

¹Chiba Institute of Technology, ²Kobe University, ³Japan Aerospace Exploration Agency, ⁴University of Tokyo, ⁵Kochi University, ⁶The Graduate University for Advanced Studies, ⁷University of Occupational and Environmental Health, ⁸Photocoding

はやぶさ2では、探査対象天体である小惑星 1999JU3 の起源と進化を探るため、小惑星上への SCI (衝突体) の衝突が行われる。重量約 2kg の銅の弾丸を秒速約 2km/s で小惑星表面に衝突させる。この衝突により小惑星上に人工クレーターを形成し、その内部または周囲からの試料採取を行う。また、形成されたクレーター内部の観測から小惑星内部の構造に関する知見が得られると期待されている。さらに、この SCI の衝突は微小天体上での衝突現象を明らかにするという、小惑星上での衝突実験という側面も持ち合わせている。

現在、はやぶさ2に搭載される小型分離カメラ「DCAM3」の開発が進められている。DCAM3は、はやぶさ2本体から分離され、小惑星への SCI の衝突現象を可視光で観測するカメラである。DCAM3にはアナログ系 (DCAM3-A)、デジタル系 (DCAM3-D) の2つのカメラが搭載される。DCAM3-Dは科学観測に利用され、その目的は、(1) SCI (衝突体) の発射および小惑星への衝突の確認、(2) SCI 衝突により生成されるイジェクタの観測である。(1)では、SCI の発射位置や小惑星上の着弾点の位置の観測から、衝突条件の明確化を行う。(2)では、形成されるイジェクタカーテンの形状や移動速度、岩片の放出速度などから、標的状態の明確化、イジェクタのスケーリング則の検証、1999JU3 の表層構造の推定などを行う。

これらの観測目的を達成するためには、DCAM3-D 光学系は非常に厳しい要求仕様を満たさなければならない。SCI と小惑星の両方を捉えるための大きな視野角 (74°)、画像全領域での高い結像・集光性能、暗い SCI やイジェクタを捉えるための明るい光学系 (F>1.7)、耐放射線性、限られたリソース (重量 30g 以下、光軸長 40mm 以下) といった条件に加え、これらをアクティブな温度制御無しで達成することが求められる。

本発表では、DCAM3-D の FM 光学系 (レンズ+ CMOS センサ) の光学性能検証試験の実施状況およびその結果について報告する。光学性能検証試験は、センサの電気試験、コリメータ試験、積分球試験から成る。センサの電気試験では、光学検証試験のベースとなる CMOS センサの性能の評価を行った。当初センサはカタログ値通りの性能が出ていなかったが、調査と改善を経てカタログ値通りの性能を達成することができた。コリメータ試験では、まずシム調整により適切なレンズ-センサ基板距離およびレンズ-センサ角度の最適化を行った。次いで真空下 (<1torr) において温度・波長域・画角をパラメータとして振り、コリメータに設置したピンホール像の撮像を行い、結像・集光性能 (ensquared energy)、空間分解能、歪曲などの評価を行った。シム調整に関しては、より良い結像・集光性能を得るために三回に渡る最適化を行った。積分球試験では感度、周辺減光、迷光などの評価を行った。これら一連の光学性能検証試験の結果は良好であり、DCAM3-D 光学系は非常に厳しい要求仕様を概ね満たしていることが確認された。

キーワード: 小惑星, 惑星探査, はやぶさ2, 観測機器

Keywords: asteroid, planetary exploration, Hayabusa-2, scientific payload

ラブルパイル天体の内部構造がクレーター形成過程に及ぼす影響 The effect of substrate structure of rubble-pile bodies on cratering process

巽 瑛理^{1*}; 杉田 精司¹
TATSUMI, Eri^{1*}; SUGITA, Seiji¹

¹ 東京大学大学院新領域創成科学研究科

¹ Graduate School of Frontier Science, The University of Tokyo

背景と研究の目的: Hayabusa によって探査が行われた小惑星イトカワの表層には、他の天体には見られない地形が多く観測される。その象徴的な地形の一つに、ボールダーの豊富な表層でのほぼ円形の窪地が挙げられる (Hirata et al. 2009)。本稿では以下、この窪地を QCD (Quasi-Circular Depression) と呼ぶ。QCD は衝突で形成した可能性が高いが、QCD を衝突クレーターであるとしてイトカワの表面年代を推定すると、75Myr-1Gyr と非常に大きな不確実性が出てしまう (Michel et al., 2009)。この大きな不確実性は、主にラブルパイル天体表面でのクレーター則の不確実性による。小天体でのクレーター形成は、大天体で起こっている衝突エネルギーに比べると非常に小さな衝突エネルギーで起こっているはずである (Benz and Asphaug, 1999)。そのような衝突エネルギーでは、従来のクレーター形成過程で議論されてきた材料強度スケールと重力スケールの中間的なプロセスが卓越すると考えられる。つまり、ラブルパイル天体は重力的に相互結合して形作られているので、全体としては物質強度を持たないが、個々の岩塊は強度を持つため、表層ボールダーの破壊による衝突エネルギーの散逸を無視できないのである (Armoring 効果)。

また、クレーター形成過程において重要なのが、質量損失である。脱出速度の小さい小天体では高速イジェクタの質量は質量損失そのものであり、小惑星の消滅のタイムスケールに直接的に関係する。

イトカワはボールダーが豊富な表層を持ち、密度も低いことからラブルパイル天体とされている (Abe et al., 2006; Saito et al., 2006)。しかし、その内部構造の直接的な観測はなく、表層の下の基層構造は不明である。先行研究からは、粉体層でのクレーター形成が容器の影響を受けることや、ターゲットの背面の物質の有無によってターゲットの破壊の程度が変わることが分かっている (荒川ほか, 2012)。このことから、基層がボールダーかレゴリス層かによって、表面ボールダーの破壊やクレーター形成過程が大きく変化すると推論できる。

本研究では、同じラブルパイル天体であっても内部が材料強度を持ったボールダーか、材料強度を持たないレゴリスのような物質かがクレーター形成に大きく影響する可能性に着目した。このような内部の材料強度の有無が表面のクレーター形成にどれほどの影響を与えるかを実験的に検証した。また、小天体のタイムスケールを決める上で重要となる、クレーターの大きさ、エジェクタ質量に着目し、計測を行った。

衝突実験: 実験では、ガラスビーズを模擬レゴリスとし、ガラスビーズ焼結体を 8~15mm 程度に破碎することで模擬ボールダーを作成した。ターゲットの表層は模擬ボールダーで作り、基層は模擬レゴリスのケースと模擬ボールダーのケースの両方を用意した。インパクターはポリカ弾丸 (ϕ 10mm) を 160~180m/s で衝突させ、高速度カメラでクレーター形成過程を観察した。

実験結果: 予備的な実験では、基層がボールダー層であるときには、イジェクタ質量はレゴリス層であるときの 1/5 以下であり、最終的なクレーター直径も 2 割程度小さくなることが観察された。また、基層がボールダーであるとき、表層のボールダーの破壊の程度が高くなることが確認された。この 2 つの観察結果から、基層がボールダーであるときには、衝突エネルギーがボールダーの破壊により多く使われ、クレーター形成に使われるエネルギーが減少したと考えられる。この理由としては、ボールダーの力学的インピーダンスがレゴリスの 10 倍程度と大きいため、基層がボールダーの場合は強い反射波が表面に戻り、表層のボールダーが効率的に破壊されたという可能性が挙げられる。一方、基層がレゴリス層の場合には、インパクターとボールダーの衝突で発生した応力波はボールダーからインピーダンスの小さいレゴリス層へと効率的に透過し、強度を持たないレゴリス層の運動エネルギーに変換される。結果として、レゴリス層の運動により、表層でのボールダーの破壊はほとんど起こらず、イジェクタの質量が大きくなったと説明できる。

小惑星進化への影響: 上記のように、内部がボールダーのように材料強度を持つ場合にはクレーター直径がレゴリス層に形成される直径に比べて 2 割程度変化するため、イトカワのようなラブルパイル天体の表面年代は単純には決定できない。しかし、本研究で得られたクレーター直径が強度スケールよりも重力スケールに近いという観測事実から、表面年代について先行研究で示された範囲を低年代側 ($\sim 10^8$ 年) ヘシフトさせることが予想される。また、小天体内部もボールダーである場合には、衝突に伴う質量損失が大幅に減る可能性があることが分かった。このことから、小天体の内部構造の違いによって小天体の消滅時間が 5 倍程度変わりうることを示唆された。

キーワード: ラブルパイル天体, クレーター形成, 質量損失, 破壊
Keywords: rubble-pile bodies, impact cratering, mass loss, fragmentation

宇宙空間のコンピュータビジョン: はやぶさ2のための光学航法技術の開発 Computer Vision in Space: Optical Navigation Technology Development for Hayabusa-2

太田 直哉^{1*}
OHTA, Naoya^{1*}

¹ 群馬大学
¹ Gunma University

コンピュータビジョン(以下CVと表記)はカメラで得られた画像を処理し、そこに撮影されている物体の情報を得る技術である。我々ははやぶさ2形状モデル開発グループはこの技術をはやぶさ2の光学ナビゲーションのために利用し、小惑星の形状を復元する技術を開発している。本稿ではその状況について報告する。一方、CV技術の宇宙環境へ適用は、単なる既存の技術の応用に留まらず、この分野を新たな展開へ導く要素も含んでいる。本稿ではこれについても言及する。

小惑星探査機はやぶさ2のミッションにおいて、小惑星へタッチダウンする位置の決定などのために、小惑星の形状モデルを作成する必要がある。しかし小惑星が遠方のため、このモデルは地上からの観測では作成できず、探査機が小惑星に近づいた時点での計測に依らなければならない。またレーザーなど能動的な計測方法は使用エネルギーの点から困難で、カメラによる画像を用いた手法が主になる。我々はこの技術を確立することを目的としている。

画像から物体形状を計算する技術は、CV分野で精力的に研究されている。したがって我々の目的のためには、惑星科学の研究者とCVをはじめとする画像技術の研究者との共同作業が望ましい。グループの運営は惑星科学の研究者である東京大学の杉田精司教授、会津大学の平田成准教授などを中心に行われているが、研究者としてはCV分野から早稲田大学の石川博教授と筆者、コンピュータグラフィクス(以下CG)分野からは東京大学の高橋成雄准教授が参加して、分野融合的に研究を行っている。

現在我々はCV分野で開発されたstructure from motionの技術をそのまま小惑星の形状復元に適用し、有効性を検証している。これは対象を多方向から撮影した画像を用いて形状を計算する技術である。その結果、はやぶさ2のナビゲーションに必要な最低限の形状が得られることは確認されている。しかしより柔軟なナビゲーションを可能にする精度を得ようとすれば、復元技術を更に高度化しなければならない。そのため、上記に加えphotometric stereoの利用を検討している。

photometric stereoは物体の反射特性を利用した形状復元法である。しかしこの技術の利用に当たっては、CV技術をそのまま本目的に利用できない。その理由は探査機が小惑星の形状を復元する状況と、この技術が本来想定している状況とが異なるからである。本来のphotometric stereoは、対象物体を同一視点から照明方向を変えて撮影することを想定している。しかし探査機を小惑星の自転に同期して同じ相対位置に制御し続けることは、燃料の制約上困難である。また物体の反射モデルとしてCV分野ではLambert則やPhongのモデルが用いられるが、小惑星の反射特性はHapke則やMinnaert則などによって記述される。このことから、我々のグループではphotometric stereoを基礎にしながらも、宇宙探査のための小惑星形状復元のための新たな技術を開発し、はやぶさ2のナビゲーションに役立てることを考えている。

CVの発祥を考えると、人間あるいは生物の視覚機能を人工的に実現することが動機となっている。そのため開発された技術も用途を限定せず、使用環境も地球上の一般的な空間を仮定している場合が多い。このことから上記のように、それが宇宙探査のための計測技術としてはそのまま利用できない場合が起こる。しかし、逆に宇宙探査という明確な目的をもってCV技術を見た場合、この技術にまた違った展開が期待できるのではないかと思われる。

宇宙空間での使用を想定した場合、以下のような特殊性が見出せる。まず照明環境は太陽からの平行光のみを想定すれば良い場合も多く、この単純性を最大限に利用した処理が開発できる。また前述のように、地上の一般物体を想定したものではない特別な反射モデルが利用される。また探査機の中で処理を行う場合は実行できる処理量は限られる。そのため処理の目的を明確にし、それを達成する必要最小限の処理を開発するという評価基準が必要になる。また画像を地上に転送して処理する場合には、今度は画像の枚数が制限される。その一方必要とする処理量に制限は少なく、更に長時間の処理も許容される場合も多い。このような場合には対象のCGモデルから画像を作成し、それが観測画像に一致するようにモデルを更新するCG-CV loopのような手法も現実味を帯びるのではないかと思われる。その他形状だけではなく、惑星探査のための計測として必要な情報を得ること、処理結果に関して誤差の指標(error bar)をつけること、など宇宙探査に必要な情報を積極的に提供する技術の開発も、CV分野の一つの重要な研究方向になり得ると考えている。

キーワード: 画像計測, 形状復元, 光学ナビゲーション, はやぶさ2

Keywords: image measurement, shape reconstruction, optical navigation, Hayabusa-2

太陽系有機物の分析化学は惑星科学に何をもたらすことができるか Analytical chemistry of organic compounds in the Solar System: An attempt to link with planetary science

藪田 ひかる^{1*}
YABUTA, Hikaru^{1*}

¹ 大阪大学理学研究科

¹Osaka University, Department of Earth and Space Science

Analytical chemistry of organic compounds in the Solar System small bodies is a microscopic approach for understanding of the origin and evolution of building blocks of the Solar System and life, which has a complementary relationship with macroscopic approaches such as observational and theoretical astronomy. This approach would provide a significance of considering organic compounds in the planetary formation theory, which has been constructed only by silicate and ice dusts. Indeed, significant roles of organic compounds in the early Solar System are explained by (1) high abundances of C, H, O, N in the Solar System, (2) major components of dusts in interstellar clouds, (3) high reactivity to heat, light, shock, water, and minerals (chemical indicator recording the processes in the Solar System), (4) possible contribution to accretion of dusts, due to their stickiness (Kouchi et al. 2002), and (5) possible contribution to redox imbalance in solar nebula (that determined the chemical compositions of chondrules) (Yurimoto and Kuramoto, 1998). Despite these significant roles, however, organic cosmochemistry was not a very popular field in planetary science until several years ago. One of the reasons may be because of difficulty in visualization of organic compounds, i.e., drawing of a big picture. In this point, I attempt to show a simple example. When starch-syrup is heated, how is it changed. One would tell that the color is changed from colorless to brown, the originally sticky syrup becomes less sticky candy, and water-soluble syrup becomes an insoluble solid. These descriptions are based on visibility and are easy to understand. On the other hand, if these phenomena are translated to organic analytical chemistry, the description becomes quite different from the former; hydroxyl groups of glucose changes to carbonyl groups via dehydration as well as aromaticity increases with heating. However, it should be noted that two ways of descriptions explain exactly the same phenomenon. That demonstrates that physical properties (color, stickiness, and solubility) are determined by molecular chemical structures. Likewise, analytical chemistry of organic compounds in the Solar System has a potential to reveal the molecular science that determines physics of macroscopic planetary formation, such as the color of asteroids (albedo). This will become possible by improvements of the in-situ organic analyses such as spectromicroscopy (e.g., STXM), electron microscopy (TEM), and ion probe mass spectrometry (e.g., nanoSIMS), through visualization of the distributions of organics and minerals in the Solar System materials which record the chemical evolution from dusts to planetesimals.

キーワード: 有機物, 太陽系, 分析化学, 小天体, 惑星形成, 可視化

Keywords: Organic compounds, Solar System, Analytical chemistry, small bodies, planetary formation, visualization

原始惑星系円盤における複雑な有機分子生成モデル Formation Process of Complex Organic Molecules in Protoplanetary Disks

野村 英子^{1*}
NOMURA, Hideko^{1*}

¹ 東京工業大学
¹Tokyo Institute of Technology

原始惑星系円盤における化学反応は、太陽系内物質の起源に繋がると考えられる。近年、星間雲の電波遷移線観測により、複雑な有機分子が新たに発見されている一方で、太陽系内の彗星や隕石にもアミノ酸などが見つかった。本研究では、星間雲における有機分子生成モデルを原始惑星系円盤の温度・密度構造に適用し、円盤における複雑な有機分子生成について議論した。具体的には、中心星からの照射を考慮した円盤温度・密度構造モデルをもとに、星間塵表面反応も含めた化学反応ネットワーク計算を行った。その結果、円盤外縁の低温部の星間塵上においては水素付加反応による分子生成が進むのに対し、円盤半径十～数十 AU 付近の暖かな領域においては、星間塵上のラジカル同士の反応による、さらに複雑な有機分子生成が進むことを示した。我々の分子存在量の計算結果を彗星からの有機分子輝線観測の結果と比較したところ、良い一致を示した。また、中心星からの紫外線により塵表面から脱離した分子を ALMA で観測することにより、円盤内の塵表面反応の観測的検証の可能性を示唆した。講演ではさらに、小惑星帯における有機物生成についても議論したい。

キーワード: 原始惑星系円盤, 有機分子生成
Keywords: protoplanetary disks, formation of organic molecules

はやぶさ帰還試料キュレーション状況の報告 Status report of curation of Hayabusa-returned samples

矢田 達^{1*}; 安部 正真¹; 上梶 真之¹; 唐牛 譲¹; 石橋 之宏¹; 岡田 達明¹; 佐竹 渉¹; 藤本 正樹¹
YADA, Toru^{1*}; ABE, Masanao¹; UESUGI, Masayuki¹; KAROUJI, Yuzuru¹; ISHIBASHI, Yukihiko¹; OKADA, Tatsuaki¹; SATAKE, Wataru¹; FUJIMOTO, Masaki¹

¹ 宇宙航空研究開発機構

¹ Japan Aerospace Exploration Agency

2010年6月、小惑星探査機「はやぶさ」はS型地球近傍小惑星イトカワより表層粒子試料を地球に帰還させた(Abe et al., 2011)。それ以降、JAXA キュレーションチーム(ESCuTe)では、「はやぶさ」のサンプルキャッチャーからの粒子の回収・記載を進め、現在の所、400個超の粒子が初期記載済みとして公表されている(Yada et al., 2014a)。本発表では、その回収初期記載と試料の配付・研究の現状と今後の予定についてまとめる。

帰還した探査機「はやぶさ」の再突入カプセルから取り出されたサンプルコンテナは、JAXA キュレーションセンター(ESCuC)のクリーンルームにおいて洗浄分解の末、真空環境のクリーンチェンバー第1室で開封され、イトカワ表層物質を収めたサンプルキャッチャーが取り出され、試料のハンドリングを行う高純度窒素環境のクリーンチェンバー第2室へ移された。サンプルキャッチャーは主に、捕獲試料が通過する回転筒と、2回目のタッチダウンの際に捕獲された試料を収めるA室と、1回目のタッチダウン捕獲試料を収めるB室からなる。当初、試料を取り出す為にそれぞれキャッチャーA、B室のフタと同じサイズの合成石英ガラス製の円盤を準備し、そのガラス円盤の上にキャッチャーに振動を与えて内部の粒子を落下させることで回収を行っていた。そのガラス円盤状から、専用に開発した静電制御マイクロコンピュータを用いて、一つ一つ電子顕微鏡用密閉型試料ホルダー上に移動して、SEM-EDSで記載を行い、クリーンチェンバー第2室内のグリッドを切った合成石英ガラス板上に移動し、粒子IDを付けて保管している(Yada et al., 2014b)。このガラス円盤の他に、2013年度にはキャッチャーB室のフタを、専用の電子顕微鏡用密閉型ホルダーに設置してSEM-EDSによりフタ上の粒子を直接記載している。

ガラス円盤を用いた方法は、粒子を記載する為にマイクロコンピュータで1個ずつ移動させる手間とリスクを伴う。この手間とリスクを解消する為、我々は2013年度にキャッチャーA、B室フタと同サイズで、専用の電子顕微鏡用密閉型ホルダーに設置して直接SEM-EDSによる記載が可能な、メタルディスクを開発した。2014年度よりこのディスクによる粒子回収を開始し、最終的には2年強をかけてキャッチャー内の粒子の全容を把握する予定である(Yada T. et al., 2014a)。

JAXA/ESCuTeでは、2012年初頭より全世界の研究者より「はやぶさ」帰還試料について研究プロポーザルを募集し、外部専門家から成る委員会による審査を経て選ばれたプロポーザルに対して試料を配付する、国際公募研究を開始した。現在までほぼ1年に1回のペースで行われており、第3回目の公募が2014年度より開始する予定である。国際公募研究の成果は、2013年より始まったJAXAが主催する国際シンポジウム(Hayabusa 2013: Symposium of Solar System Materials)にて発表され、抄録が国際誌にまとめられる予定である。

また、希少な特徴を持ち、国際公募研究に供する事が難しい試料について、JAXA/ESCuTeの取り纏めの元に2013年よりコンソーシアム研究を開始している。現在の所、最大サイズケイ酸塩粒子、塩を含むケイ酸塩粒子、硫化鉄粒子、リン酸塩を含む粒子の4種類について、コンソーシアム研究が進められている(Uesugi et al., 2013; Yada et al., 2013; Karouji et al., 2013)。今後も別の希少な特徴を持つ試料について、コンソーシアム研究を開始する予定である。

参考文献:

- Abe M. et al. (2011) LPS XLII, Abstract #1638.
- Karouji Y. et al. (2013) 76th Ann. Meteorit. Soc. Meeting, Abstract #5148.
- Uesugi M. et al. (2013) 76th Ann. Meteorit. Soc. Meeting, Abstract #5186.
- Yada T. et al. (2013) 76th Ann. Meteorit. Soc. Meeting, Abstract #5150.
- Yada T. et al. (2014a) LPS XLV, Abstract #1759.
- Yada T. et al. (2014b) MAPS, in press.

キーワード: はやぶさ, 小惑星, キュレーション, サンプルリターン
Keywords: Hayabusa, asteroid, curation, sample return

はやぶさ帰還試料中の炭素質物質の起源同定の試み Examination of the origin of carbonaceous particles in Hayabusa-returned samples

上相 真之^{1*}; 奈良岡 浩²; 伊藤 元雄³; 藪田 ひかる⁴; 北島 富美雄²; 高野 淑識³; 三田 肇⁵; 癸生川 陽子⁶; 矢田 達¹; 唐牛 讓¹; 石橋 之宏¹; 佐竹 渉⁷; 岡田 達明¹; 安部 正真¹
UESUGI, Masayuki^{1*}; NARAOKA, Hiroshi²; ITO, Motoo³; YABUTA, Hikaru⁴; KITAJIMA, Fumio²; TAKANO, Yoshinori³; MITA, Hajime⁵; KEBUKAWA, Yoko⁶; YADA, Toru¹; KAROUJI, Yuzuru¹; ISHIBASHI, Yukihiro¹; SATAKE, Wataru⁷; OKADA, Tatsuaki¹; ABE, Masanao¹

¹ 独立行政法人宇宙航空研究開発機構, ² 九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門, ³ 海洋研究開発機構 高知コア研究所, ⁴ 大阪大学大学院理学研究科宇宙地球科学専攻, ⁵ 福岡工業大学工学部生命環境科学科, ⁶ 北海道大学 大学院理学研究院 自然史科学専攻 地球惑星システム科学, ⁷ 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻

¹Japan aerospace exploration agency, ²Department of Earth and Planetary Sciences, Kyushu University, ³Kochi Institute for Core Sample Research JAMSTEC, ⁴Osaka University, Department of Earth and Space Science, ⁵Fukuoka Institute of Technology, Faculty of Engineering, Department of Life, Environment and Mater, ⁶Department of Natural History Sciences Hokkaido University, ⁷Department of Earth and Planetary Science, University of Tokyo

Extraterrestrial Sample Curation Team (ESCuTe) recovered more than 50 carbonaceous particles from the sample catcher of the Hayabusa spacecraft. Those carbonaceous materials, named as category 3, were found in the form of particles with similar size range of the silicate particles those confirmed as Itokawa regolith particles. Initial description by the SEM-EDS analysis shows variable textures and chemical compositions of them, suggesting the multiple origins of the carbonaceous materials.

Preliminary examinations of category 3 particles were carefully processed in parallel with those of silicate materials. However, we could not obtain the information for the origin of category 3 particles before the opening of international announcement of opportunity (A/O). The ESCuTe and preliminary examination team of category 3 particles have continued the investigations. In this paper, we report the several recent results obtained from the sequential analyses.

Samples allocated for the preliminary examinations of category 3 are RA-QD02-0008, RA-QD02-0120, RA-QD02-0180, RB-QD04-0001, RB-QD04-0037-01 and RB-QD04-0047-02. RA-QD02-0008 was lost during the manipulation at first preliminary examination. Three samples, RA-QD02-0120, RB-QD04-0001, and RB-QD04-0047-02, were pressed on the Au plate and fixed without any adhesive materials. We analyzed H, C and N isotopic composition by nano-SIMS in the beginning of the sequential study, in order to investigate the isotopic anomaly which is a direct evidence of extraterrestrial origin of organic materials [8]. FT-IR and micro-Raman spectroscopy were also applied for the pressed samples [9]. After ToF-SIMS analysis of those particles, the samples were sliced by FIB in order to investigate the fine structure of the samples by XANES and TEM/STEM [10].

We performed those analyses with determining the effect on the subsequent analyses, such as sample damages and contaminations. The rest two particles, RA-QD02-0180 and RB-QD04-0037-01 were pressed on indium plates, because significant disturbance by Au on the ToF-SIMS analyses was found. We will also report the construction of the sequential analysis flow of tiny carbonaceous particles.

In parallel with the Hayabusa-returned particles, we processed observation and analysis of insoluble organic matter (IOM) of A881458 (CM2) and several possible materials of the origin of the category 3 particles, such as viton, silicon rubber, vectran and particles collected from the Hayabusa2 clean room.

We did not obtain any signature of extraterrestrial origin from category 3 particles so far. We are planning to continue the preliminary examination of category 3 by the end of March 2014. We are also planning to open the category 3 particles to the future International A/O, with the data of preliminary examinations before the end of 2014.

References: [1] Yada et al. 2011. *Meteoritics & Planetary Science* 32:A74. [2] Nakamura et al. 2011. *Science* 333:1113-1116. [3] Yurimoto et al. 2011. *Science* 333:1116-1119. [4] Ebihara et al. 2011. *Science* 333:1119-1121. [5] Noguchi et al. (2011) *Science* 333:1121-1125. [6] Tsuchiyama et al. 2011. *Science* 333:1125-1128. [7] Nagao et al. 2011. *Science* 333:1128-1131. [8] Ito et al. 2013. Abstract of Hayabusa Symposium, [9] Kitajima et al., 2013 Abstract of Hayabusa Symposium, [10] Uesugi et al. 2013. Abstract of Hayabusa Symposium

はやぶさカテゴリ3有機物試料中の水素、炭素と窒素同位体組成 H, C and N isotopic compositions of HAYABUSA Category 3 organic samples

伊藤 元雄^{1*}; 上相 真之²; 奈良岡 浩³; 藪田 ひかる⁴; 北島 富美雄³; 三田 肇⁵; 高野 淑識⁶; 唐牛 讓²; 矢田 達²; 石橋 之宏²; 岡田 達明²; 安部 正真²

ITO, Motoo^{1*}; UESUGI, Masayuki²; NARAOKA, Hiroshi³; YABUTA, Hikaru⁴; KITAJIMA, Fumio³; MITA, Hajime⁵; TAKANO, Yoshinori⁶; KAROUJI, Yuzuru²; YADA, Toru²; ISHIBASHI, Yukihiko²; OKADA, Tatsuaki²; ABE, Masanao²

¹ 海洋研究開発機構 高知コア研究所, ² 宇宙航空研究開発機構, ³ 九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門, ⁴ 大阪大学大学院理学研究科宇宙地球科学専攻, ⁵ 福岡工業大学工学部生命環境科学科, ⁶ 海洋研究開発機構 海洋・極限環境生物圏領域

¹Kochi Institute for Core Sample Research, JAMSTEC, ²Japan Aerospace Exploration Agency, ³Department of Earth and Planetary Sciences, Kyushu University, ⁴Osaka University, Department of Earth and Space Science, ⁵Fukuoka Institute of Technology, Department of Life, Environment and Materials Science, ⁶Institute of Biogeosciences, JAMSTEC

Hayabusa spacecraft had brought back asteroid Itokawa particles to the Earth on June 2010. More than 1,500 mineral particles were identified on the Qz glass after the compulsive free fall, and most of them were very small ranging from 10 to 300 μm but are mostly smaller than 50 μm (Nakamura et al., 2011). In addition several amount of carbonaceous materials were found that is called Category 3. Based on FE-SEM and EDS observations at JAXA Extraterrestrial Sample Curation Team, those samples mainly composed of C, N, O and some of them contain NaCl and KCl (JAXA Hayabusa sample catalogue).

H, C and N isotopic compositions of extraterrestrial organic materials in Stardust cometary samples (McKeegan et al., 2006), IDPs (Messenger, 2000), IOM (Busemann et al. 2006) and nanoglobules in primitive chondrite (Nakamura-Messenger et al., 2006) provide a clue for understanding of origin and nature of the Solar System. Large D and ¹⁵N isotopic enrichments were observed, and C isotope is slightly enriched in ¹³C in extraterrestrial organic materials (Pizzarello, 2005). Those data suggest that extraterrestrial organics are probably interstellar material that was survived through formation processes (planetesimals) of the Solar System (Sanford et al., 2001), and may also have material that formed in the cold molecular cloud region of the protoplanetary disk (Aikawa et al., 2002).

Here we report H, C and N isotopic measurement of organic materials from Hayabusa Category 3 samples, RB-QD04-0047-02, RA-QD02-0120 and RB-QD04-0001, by an ion imaging with the JAMSTEC NanoSIMS ion microprobe. The purposes of this study are to evaluate terrestrial contaminations in the Hayabusa spacecraft and in the JAXA curation facility, and to find extraterrestrial organic materials on the basis of H, C and N isotope measurements.

Each Hayabusa organic sample was pressed on Au plate together with terrestrial organic standards of 1-hydroxybenzotriazole hydrate and BBOT with known H, C and N isotopic compositions. Following the SEM study to check the sample condition, texture and morphology, the samples were analyzed for H, C and N isotopic compositions by an isotopic imaging with the JAMSTEC NanoSIMS 50L at Kochi Institute for Core Sample Research.

We studied three Hayabusa organic samples, RB-QD04-0047-02, RA-QD02-0120 and RB-QD04-0001. All of the samples have been initially investigated by a FE-SEM and EDX observation at JAXA Hayabusa curation facility, and the EDX spectra of the samples contain C, N and O; the dominant elements are C, and N (Hayabusa sample catalogue).

Based on NanoSIMS isotopic images of H, C and N in RB-QD04-0047-02, RA-QD02-0120 and RB-QD04-0001, all three samples show homogeneous and terrestrial H, C and N isotopic compositions within an error ($\delta\text{D} = 60 \pm 13$ permil, $\delta^{13}\text{C} = 3 \pm 3$ permil and $\delta^{15}\text{N} = -4 \pm 2$ permil for RB-QD04-0047-02; $\delta\text{D} = 81 \pm 54$ permil, $\delta^{13}\text{C} = -20 \pm 8$ permil and $\delta^{15}\text{N} = 2 \pm 2$ permil for RA-QD02-0120; $\delta\text{D} = 135 \pm 32$ permil, $\delta^{13}\text{C} = -20 \pm 9$ permil and $\delta^{15}\text{N} = 16 \pm 12$ permil for RB-QD04-0001).

The IOMs in CI and CM chondrites show heterogeneous distributions of delta-D at the molecular (Remusat et al. 2009) and micron scale level (Busemann et al., 2006). The IOMs of CR, CM and CI have D and ¹⁵N isotopic enrichments in micron-sized regions (hot spots). The IOMs in ordinary chondrites are heterogeneous, however, they do not show many micron-scale anomalies as IOMs in carbonaceous chondrite (Remusat et al., 2013). It is obvious that H, C and N isotope signatures of Hayabusa organic samples are different from those of IOMs in carbonaceous and ordinary chondrites: i.e., No hot spots, terrestrial values for H, C and N isotopes.

We have not found strong evidence of extraterrestrial origin because isotope compositions of H, C and N in Hayabusa organic samples show terrestrial values, and homogeneous distributions of H, C and N in the samples, which are unlike to IOM in various types of chondrites.

メインベルト小惑星のアルベド分布の傾向 Albedo properties of main belt asteroids based on the infrared all-sky surveyors

白井 文彦^{1*}
USUI, Fumihiko^{1*}

¹ 東京大学
¹University of Tokyo

Presently, the number of asteroids is known to be more than 620,000, and more than 90% of asteroids are classified as the main-belt asteroids (MBAs). The spatial distribution of compositions among MBAs is of particular interest, because the main belt is the largest reservoir of asteroids in the solar system. Asteroids are thought to be the remnants of planetesimals formed in the early solar system, and have a clue to study the formation and evolution of asteroids, origin of meteoroids and the near-Earth asteroids, as well as the formation of the solar system. Size and albedo are one of the most basic physical quantities of asteroid. Knowledge of size and albedo is essential in many fields of asteroid research, such as chemical composition and mineralogy, the size-frequency distribution of dynamical families and populations of asteroids, and the relationship between asteroids in the outer solar system and comets.

Several techniques have been developed to determine the size of asteroids. One of the most effective methods for measuring asteroidal size and albedo indirectly is through the use of radiometry, where a combination of the thermal infrared flux and the absolute magnitude as the reflected sunlight. Using radiometric measurements, a large number of objects can be observed in a short period of time, providing coherent data for large populations of asteroids within the asteroid belt. Infrared observations can be made still better under ideal circumstances, from space. The first space-borne infrared telescope is the Infrared Astronomical Satellite (IRAS; Neugebauer et al. 1984), launched in 1983 and performed a survey of the entire sky. To date, there are two other infrared astronomical satellites dedicated to all-sky survey: the Japanese infrared satellite AKARI (Murakami et al. 2007), and the Wide-field Infrared Survey Explorer (WISE; Wright et al. 2010). Based on the all-sky survey data obtained by IRAS, AKARI, and WISE, the largest asteroid catalogs containing size and albedo data were constructed (e.g., Tedesco et al. 2002; Usui et al. 2011; Mainzer et al. 2011). The total number of asteroids detected with size and albedo information with these three surveyors is 138,285, which is 22% of currently known asteroids with orbits.

In addition, several outstanding works have provided the taxonomic classification of asteroids (e.g., Tholen 1989; Bus & Binzel 2002; Lazzaro et al. 2004; Carvano et al. 2010), based on ground-based spectroscopic observations within optical and near-infrared wavelengths. Along with these taxonomic classifications, size and albedo data also contribute to our understanding of asteroid compositions. In general, the albedo of C-types is considered as low and that of S-types is high (e.g., Zellner & Gradie 1976). The relationship between taxonomic types and albedo is, however, complex and type determinations cannot be made on the basis of albedo values alone. Recently albedos of C- and S-type asteroids are found to vary widely, especially for sizes smaller than several tens km (Usui et al. 2013). Furthermore, in spite of the albedo transition process like space weathering, the heliocentric distribution of the mean albedo of asteroids in each taxonomic type is found to be nearly flat. In the total distribution, on the other hand, the mean albedo value gradually decreases with increasing the semimajor axis, presumably due to the compositional mixing ratios of taxonomic types.

In this talk, we present the details of data compiling of size, albedo, and taxonomy of MBAs, and discuss the compositional distribution in the main belt regions.

キーワード: 小惑星, メインベルト, 赤外線サーベイ, サイズ・アルベド, スペクトルタイプ分類
Keywords: asteroids, main belt, infrared surveys, size and albedo, taxonomic classifications

内側小惑星帯のベストイドのライトカーブサーベイ Lightcurve Survey of Vestoids in the Inner Asteroid Belt

長谷川直^{1*}; 宮坂 正大²; 三戸 洋之³; 猿楽 祐樹¹; 小澤 友彦⁴; 黒田 大介⁵; 吉田 道利⁶; 柳澤 顕史⁵; 清水 康広⁵; 長山 省吾⁵; 戸田 博之⁵; 沖田 喜一⁵; 河合 誠之⁷; 関口 朋彦⁸; 石黒 正晃⁹; 安部 正真¹
HASEGAWA, Sunao^{1*}; MIYASAKA, Seidai²; MITO, Hiroyuki³; SARUGAKU, Yuki¹; OZAWA, Tomohiko⁴; KURODA, Daisuke⁵; YOSHIDA, Michitoshi⁶; YANAGISAWA, Kenshi⁵; SHIMIZU, Yasuhiro⁵; NAGAYAMA, Shogo⁵; TODA, Hiroyuki⁵; OKITA, Kouji⁵; KAWAI, Nobuyuki⁷; SEKIGUCHI, Tomohiko⁸; ISHIGURO, Masateru⁹; ABE, Masanao¹

¹ 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所, ² 東京都庁, ³ 東京大学木曾観測所, ⁴ みさと天文台, ⁵ 国立天文台岡山天体物理観測所, ⁶ 広島大学宇宙科学センター, ⁷ 東京工業大学理工学研究科, ⁸ 北海道教育大学教育学部, ⁹ ソウル大学物理天文学科
¹Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency, ²Tokyo Metropolitan Government, ³Kiso Observatory, Institute of Astronomy, The University of Tokyo, ⁴Misato Observatory, ⁵Okayama Astrophysical Observatory, National Astronomical Observatory, ⁶Hiroshima Astrophysical Science Center, Hiroshima University, ⁷Graduate School of engineering, , Tokyo Institute of Technology, ⁸Asahikawa Campus, Hokkaido University of Education, ⁹Department of Physical and Astronomy, Seoul National University

We have made the lightcurve observation of 13 vestoids ((1933) Tinchin, (2011) Veteraniya, (2508) Alupka, (3657) Ermolova, (3900) Knezevic, (4005) Dyagilev, (4383) Suruga, (4434) Nikulin, (4796) Lewis, (6331) 1992 FZ₁, (8645) 1998 TN, (10285) Renemichelsen, and (10320) Reiland).

Lightcurves in the R-band of rotation periods were found for (1933) Tinchin, (2011) Veteraniya, (2508) Alupka, (3657) Ermolova, (3900) Knezevic, (4005) Dyagilev, (4383) Suruga, (4796) Lewis, (6331) 1992 FZ₁, (8645) 1998 TN, and (10320) Reiland.

The distribution of rotational rates of 59 vestoids in the inner main belt, including 29 members of the Vesta family that are regarded as ejecta from the asteroid (4) Vesta, is inconsistent with the best-fit Maxwellian distribution.

This inconsistency may be due to the effect of thermal radiation Yarkovsky- O'Keefe-Radzievskii-Paddack (YORP) torques, and implies that the collision event that formed vestoids is sub-billion to several billion years in age.

キーワード: 小惑星, ベスタ

Keywords: asteroid, vesta

ロケット実験 CIBER による黄道光の近赤外線スペクトル観測 Near-infrared spectral measurements of zodiacal light by CIBER rocket experiments

松浦周二^{1*}; 新井俊明¹; 大西陽介¹; 白旗麻衣¹; 津村耕司¹; 松本敏雄²; Bock James³; CIBER チーム³
MATSUURA, Shuji^{1*}; ARAI, Toshiaki¹; ONISHI, Yosuke¹; SHIRAHATA, Mai¹; TSUMURA, Kohji¹; MATSUMOTO,
Toshio²; BOCK, James³; CIBER, Team³

¹宇宙航空研究開発機構, ²ASIAA, ³カリフォルニア工科大学
¹JAXA, ²ASIAA, ³Caltech

我々は、太陽系から銀河系外にいたるあらゆる赤外線の宇宙拡散放射を、視線方向の積分である宇宙赤外線背景放射として、ロケット実験 CIBER (Cosmic Infrared Background Experiment) により観測した。CIBER 実験の目的のひとつは、宇宙赤外線背景放射を構成する放射成分のうち、惑星間ダストによる太陽光散乱である黄道光を観測することである。これまでに実施した CIBER 実験により、波長 0.8-2 μ m の近赤外線における黄道光の放射スペクトルと偏光度を観測することに初めて成功した。本講演では、その観測結果について報告する。

CIBER 実験は、日米韓の国際共同実験として、NASA の観測ロケットプログラムのもと実施した。2009 年から 2013 年までに 4 回の実験を行い、全ての実験において高度 200km 以上での地球大気の影響がない良好な観測データを取得できた。CIBER 実験の主目的である銀河系外の拡散放射を検出する要求から、観測天域を黄道光が比較的暗い太陽離角 90 度以上に限ったが、黄緯に対する輝度の依存性を利用して、様々な放射成分を含む観測値から黄道光を成分分離した。その結果、黄道光の連続スペクトルと偏光度を取得するとともに、輝度の季節変化に関する情報を得た。

観測された黄道光の赤外線放射スペクトルには、有為な黄緯依存性や季節変化がなく、太陽スペクトルに対して波長 1.5 μ m より短波長における明らかな赤化が見られた。この結果から、放射源である惑星間ダストは、ミクロンサイズ以上の大きさを持つとともに、短波長での鉱物吸収の存在を示している。偏光度は黄極において最大の 20-25% が観測され、可視域での過去の測定値と比較して同等以上であることがわかった。また、偏光度には有為な波長依存性がなく、この点においても観測波長よりも十分大きい惑星間ダストが主であることが示唆される。

本講演では、観測結果を報告するとともに、これを隕石や彗星ダストの反射スペクトルや偏光の観測と比較し、惑星間ダストの光学特性について議論する。

キーワード: 黄道光, 惑星間ダスト, 赤外線, 観測

Keywords: zodiacal light, interplanetary dust, infrared, observation

反射スペクトルから見た木星小衛星の起源 Reflectance Spectra of Jovian Small Satellites and Implication of their Origin

高遠 徳尚^{1*}; 寺田 宏¹; 吉田 二美¹; 大槻 圭史²
TAKATO, Naruhisa^{1*}; TERADA, Hiroshi¹; YOSHIDA, Fumi¹; OHTSUKI, Keiji²

¹ 国立天文台, ² 神戸大学

¹National Astronomical Observatory of Japan, ²Kobe Univ.

1. はじめに 木星にはガリレオ衛星より内側を回る4つの小衛星と、その外側を回る多数の不規則衛星が存在する。力学的な考察と測光データから、これらの衛星は木星系外の天体が捕獲されたものと考えられている。しかしそれを証明する直接的証拠に欠けており、また太陽系内のどの領域で形成された天体をどのようなプロセスで捕獲したのかも未だ解明されていない。木星の不規則衛星の成因を解明することは、Niceモデルに見られるような太陽系内の動径方向の物質移動の理論に関して重要な制限を与えることができる点でも重要である。本研究では、Thebeの波長3 μ m帯での狭帯域測光観測を行い、水質変性鉱物の存在を確認するとともに、今まで分光観測がなされていなかった主要な不規則衛星の可視分光観測を行い、そのスペクトル型を正確に決定し、木星周辺の小惑星（ヒルダ群、トロヤ群）との比較を行った。

2. 観測と結果

(1) Thebeの3 μ m帯狭帯域測光観測

Thebeは暗くかつ木星に近いので、8m望遠鏡でも3 μ m帯の分光観測は困難である。そこでSubaru IRCSのH₂O Iceフィルター($\lambda = 2.974-3.126 \mu$ m)とKバンドフィルターによる測光観測から、3 μ m帯の吸収の深さを求めた(観測は2005年5月25日UTに行った)。その結果ThebeにもAmaltheaと同様に3 μ m帯に吸収があり、3.05 μ mの反射率はKバンドの0.67倍であることが分かった。この方法の有効性は、スペクトルが既知のAmaltheaと同様に観測することで確認している。

(2) 不規則衛星の可視分光観測

順行衛星のHimalia family(5天体中4天体)とThemisto、逆行衛星のCarme, Kalyke(Carme family), Ananke, Pasiphae(それぞれのfamilyの代表), Sinope, Callirrhoeの11天体、およびAmalthea(今までに可視光スペクトルが得られていなかった)を、2012年12月7日UT及び2014年12月21日UTにSubaru/FOCASを用いて分光観測($\lambda = 0.38-0.9 \mu$ m, 一部天体は $\lambda = 0.48-0.9 \mu$ m, スリット幅2")を行った。その結果、Himalia familyは広義のCタイプ、同じ順行のThemistoはDタイプ、逆行衛星はAnankeがC, PasiphaeがX, その他はDタイプであることが分かった。Amaltheaは過去に得られたデータと合わせてみると、波長0.6-2.4 μ mで見るとDタイプと良く一致するが、波長0.6 μ m以下では急激に反射率が減少している。また3 μ m帯に深い吸収があるのが特徴である。

3. 考察 ガリレオ衛星より内側を回るAmalthea, Thebeと、Dタイプ小惑星とのスペクトル上の大きな違いは3 μ m帯の吸収(水質変性鉱物による)と考えられる)の有無である。これらの小衛星は小惑星から木星が捕獲した天体そのものではなく、木星系円盤の一部となってガリレオ衛星の材料にもなった、円盤内でかなりプロセス(衝突合体、加熱)された天体が木星に落ちてきたものと考えの方が自然である。AmaltheaのスペクトルがCalistoの氷が少ない領域のスペクトルと類似していることも、この考えを支持している。

不規則衛星は木星が小惑星から捕獲したと考えられているが、どこからいつ捕獲したのかは分かっていない。可能性が高いのは現在の木星の近くに存在するトロヤ群あるいはヒルダ群である。これらの小惑星のスペクトルタイプは不規則衛星と似ているものが多い。Grav et al.(2012)によると、どちらの群もC, Pタイプ(～Xタイプ)とDタイプとで構成されていて、Dタイプの割合(個数の割合)は直径が大きいほど少なくなるが、トロヤ群の方が全体としてDタイプの割合が多く、また直径によるDタイプの割合の減少の仕方が緩い(直径20 km以上の天体でDタイプの割合は、トロヤ群約85%、ヒルダ群約75%であるが、直径100 km以上ではトロヤ群約70%に対しヒルダ群は約10%である)。

我々の観測結果からC, XタイプとDタイプの割合を直径の関数として求めると、木星の不規則衛星はヒルダ群の分布と良く一致することが分かった。全く違った起源からスペクトルタイプ-サイズ分布を再現するのは容易ではないと思われるので、この結果は木星の不規則衛星がヒルダ群と共通の供給源から捕獲されたことを強く示唆している。と

4. まとめ

(1) Amalthea, Thebeなどのガリレオ衛星の内側を回る小衛星は、木星系円盤内でプロセスされた微衛星の残骸である可能性が高い。

(2) ガリレオ衛星の外側を回る不規則衛星は、トロヤ群ではなくヒルダ群と共通の供給源から捕獲された天体の可能性が高い。

キーワード: 衛星, 木星, スペクトル, ヒルダ群, トロヤ群

Keywords: satellites, Jupiter, spectrum, Hilda group, Trojan

含水ケイ酸塩鉱物に対する太陽風プロトンによる風化作用の影響 Weathering effect of solar wind proton on hydrated silicate minerals

仲内 悠祐^{1*}; 安部 正真²; 北里 宏平³; 土山 明⁴; 安田 啓介⁵

NAKAUCHI, Yusuke^{1*}; ABE, Masanao²; KITAZATO, Kohei³; TSUCHIYAMA, Akira⁴; YASUDA, Keisuke⁵

¹ 総合研究大学院大学, ² 宇宙航空研究開発機構, ³ 会津大学, ⁴ 京都大学, ⁵ 若狭湾エネルギー研究センター

¹The Graduate University for Advanced Studies, ²Japan Aerospace Exploration Agency, ³University of Aizu, ⁴Kyoto University,

⁵The Wakasa Wan Energy Reserch Center

NIRS3 is an on-board near infrared spectrometer of Hayabusa-2 project which is aimed at returning samples from C-type asteroid 1999 JU3. In this project, it is important to characterize mineralogical and heterogeneities on the asteroid surface for the sampling site selection. Observing wavelength of NIRS3 is including the 3 μm band which is charactering C-type asteroid (*Rivkin et al. LPSC 2002, Milliken et al. 2007*). The NIRS3 will measure reflectance spectra of asteroid surface in the wavelength range of 1.8 - 3.2 μm . This wavelength region includes features mainly related to OH and H₂O.

The spectral properties of the surface, however, would have different trend to the subsurface, because the surface of asteroids would be exposed to solar wind and micrometeorite. As for the reflectance spectrum of the moon, the absorption feature from 2.8 μm to 3.0 μm was reported in M³ data (*Pieters et al. 2009*). It is thought that the implantation of solar wind proton is one of the causes (*McCord et al. 2011*). The solar wind protons will affect the spectral shape of 3 μm region of air less bodies. Thus we study effect of irradiation of solar wind protons on near-infrared reflectance spectra by laboratory experiment.

We executed the simulation of irradiation of solar wind protons using ion implantation device at the Wakasa Wan Energy Research Center (WERC), Fukui. This device can irradiate H₂⁺ beam with 10 keV in a vacuum (under 1×10^{-5} Pa). The total amount of H₂⁺ was about 10¹⁸ ion/cm². Three samples were prepared; olivine (San Carlos, Arizona), antigorite (Sangenchaya, Kyoto), saponite (synthetic: Kunimine Industries Co., Ltd.). Antigorite and saponite were sieved between 50 μm and 75 μm and olivine served between 75 μm and 105 μm , and then they were heated for 24 hours at 423 K. They were packed into Cu cups and formed pellets. After irradiated the spectra were measured using FTIR, which resolution was 2.0 cm⁻¹ in wavenumber. We adopted the analysis method of *Ichimura et al. (2012)*, which is to compare the reflectance spectra of altered sample, R, with unaltered sample, R₀, to determine the alteration ratio of spectra, R/R₀, without absorption water.

The alteration ratios of irradiated samples were different between minerals. The alteration ratio of olivine showed increasing of broad absorption feature from 2.8 μm to 3.8 μm due to OH/H₂O production. In antigorite and saponite, the alteration ratio, additionally, showed characteristic change related to coupling state of -OH. In the alteration ratio of antigorite, stretching of -OH bonded water molecule (-OH \cdots ^HOH) at 2.77 μm and stretching of -OH \cdots ^HOSi at 2.85 μm was increased conspicuously. On the other hands, the alteration ratio of saponite was changed conspicuously at 2.77 μm .

We think that the difference of the bands which showed conspicuously change is related with structure of minerals. Antigorite have -OH into the crystal. Therefore the irradiated protons broke bonds of Si-O and produced newer hydrogen bonds which are -OH \cdots ^HOH or -OH \cdots ^HOSi. Saponite has H₂O as interlayer water. It would be similarly broken bands of Si-O and produced newer hydrogen bonds which are -OH \cdots ^HOH. These spectral changes can explain same process. These features support that the irradiated protons react with bonds of Si-O in the crystal.

In this study, we showed that the alteration of feature related with OH/H₂O is different from each mineral. Next step, we will examine the other minerals against determination minerals and the amount of water from reflectance spectra.

キーワード: はやぶさ 2, 宇宙風化, 太陽風, 水, C 型小惑星, 照射実験

Keywords: Hayabusa-2, space weathering, solar wind, OH/H₂O, C-type Asteroid, proton implantation

ナノ秒パルスレーザー照射実験による宇宙風化作用において硫化鉄の果たす役割の検証 The effect of coexisting iron sulfide on space weathering by nanosecond pulse laser irradiation

岡崎 瑞祈^{1*}; 佐々木 晶¹; 廣井 孝弘²
OKAZAKI, Mizuki^{1*}; SASAKI, Sho¹; HIROI, Takahiro²

¹ 大阪大学理学研究科, ² ブラウン大学
¹School of Science, Osaka University, ²Brown University

大気のない天体表面が、太陽風や微小隕石の衝突などにより見た目の色や明るさが変化していく現象を宇宙風化作用という。存在度から普通コンドライトはS型小惑星由来と考えられているが、スペクトルは一致せず、S型小惑星はスペクトルが赤化・暗化・吸収帯が弱くなっているということが議論されてきた。宇宙風化作用を受けた鉱物表面には、ナノ鉄微粒子が生成していることが月のソイルからも見られているが、ナノ秒パルスレーザーを鉱物表面に照射するとナノ鉄微粒子を実験的に生成することができ、宇宙風化作用のスペクトル変化を再現出来る。

また、はやぶさが小惑星イトカワから持ち帰った微粒子の宇宙風化された表面の電子顕微鏡観察・元素分析から、ナノ鉄微粒子を含むアモルファス層の外側に硫化鉄のナノ微粒子を含む層が発見された。また別に数10 μmサイズの硫化鉄の結晶も見つかっており、硫黄に関して興味深い事実が明らかになっている。ここから、硫黄は揮発性に富むため天体表面で起こる宇宙風化作用に関係があるのではと推測し、パルスレーザーを用いて風化させ分光装置でスペクトルをとる室内実験を行った。

粒子サイズ45~75 μmのカンラン石、輝石に同サイズの硫化鉄を10%、20%混ぜたペレットを作成しナノ秒パルスレーザーを照射してスペクトル変化を引き起こした。また対照実験として同サイズの鉄を10%、20%混ぜたものや、粒子サイズ45 μm以下の硫化鉄を混ぜたものでも実験を行った。

その結果から、硫黄が含まれる場合は、スペクトルが赤化も強く、また近赤外領域も暗化していることが確認された。鉄のみが含まれる場合は赤化は見られるものの暗化は見られないのに対し、硫化鉄が含まれる場合では赤化に加え、レーザー照射前に比べ20%の暗化も見られた。これまで赤化に注目されてきた宇宙風化作用だが、硫化鉄が加わった場合では暗化も見られ、風化が強まることが確認できた。赤化に関してはナノ鉄（もしくは硫化鉄）微粒子の存在が考えられるが、全体的な暗化に関しては検討中である。

図： パルスレーザーを照射したサンプル

キーワード: 宇宙風化作用, 硫化鉄, レーザー照射実験, 小惑星, イトカワ
Keywords: space weathering, iron sulfide, experiments using pulse laser, asteroids, Itokawa



Hayabusa 2 探査候補天体 1999 JU3 の光学特性 Photometric Properties of (162173) 1999 JU3 in Preparation for JAXA Hayabusa 2 Sample Return Mission

石黒 正晃^{1*}; 黒田 大介²; 長谷川 直³; Hayabusa 2 地上観測グループ⁴
ISHIGURO, Masateru^{1*}; KURODA, Daisuke²; HASEGAWA, Sunao³; HAYABUSA 2, Observation sub-group⁴

¹ソウル大学物理天文学科, ²国立天文台岡山天体物理観測所, ³宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所, ⁴宇宙航空研究開発機構

¹Department of Physical and Astronomy, Seoul National University, ²Okayama Astrophysical Observatory, National Astronomical Observatory of Japan, ³Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency, ⁴Japan Aerospace Exploration Agency

A near-Earth asteroid, (162173) 1999 JU3 (hereafter 1999 JU3), is a primary target asteroid for Hayabusa 2 sample return mission. We conducted a worldwide campaign to make photometric observations of the asteroid to determine the physical properties. 1999 JU3 is classified into C-type asteroid having a nearly spherical shape and the synodic rotational period of 7.6312 ± 0.0010 hr.

In this presentation, we will report further information about 1999 JU3 determined since last JpGU meeting in 2013. We investigated the magnitude-phase angle relation. We obtained the parameters for IAU H-G formalism, $H = 19.20 \pm 0.12$ and $G = 0.077 \pm 0.011$ (V-band, 550nm), respectively. In combination of our result with infrared photometry, the geometric albedo is updated to be 0.05 (Mueller et al. in preparation), which is typical to but slightly smaller than the average of C-type asteroids in main-belt. We found that the magnitude-phase angle relation has a linear behavior in a wide range of the phase angles (5-80 degree) and show a possible non-linear opposition brightening within the phase angle of 5 degree. The phase slope is consistent to those of tens-km C-type asteroids, that is, $0.04 \text{ mag degree}^{-1}$. The opposition effect amplitude, $\approx 10\%$ or less, is slightly weaker than that of a precursor C-type mission target body, (253) Mathilde, but the difference seems to reflect the diversity of C-type asteroids. Recently, Shevchenko & Belskaya (2010) reported that $\sim 20\%$ of all studied low albedo asteroids did not show detectable opposition effect. We explore the significance of 1999 JU3 data with remote-sensing devices in terms of the opposition effect.

キーワード: はやぶさ 2, 1999 JU3, 地上観測

Keywords: Hayabusa 2, 1999 JU3, Ground-based observations

はやぶさ2搭載レーザー高度計によるC型小惑星のアルベド観測 Observation of geometric albedo of the C-type asteroid by the laser altimeter on Hayabusa-2 spacecraft

山田 竜平^{1*}; 千秋 博紀²; 阿部 新助³; 吉田 二美¹; 平田 直之⁴; 石原 吉明⁵; 平田 成⁶; 野田 寛大¹; 並木 則行²
YAMADA, Ryuhei^{1*}; SENSU, Hiroki²; ABE, Shinsuke³; YOSHIDA, Fumi¹; HIRATA, Naoyuki⁴; ISHIHARA, Yoshiaki⁵
; HIRATA, Naru⁶; NODA, Hiroto¹; NAMIKI, Noriyuki²

¹ 国立天文台, ² 千葉工業大学, ³ 日本大学, ⁴ 東京大学, ⁵ 宇宙航空研究開発機構, ⁶ 会津大学

¹National Astronomical Observatory of Japan, ²Chiba Institute of Technology, ³Nihon University, ⁴University of Tokyo, ⁵Japan Aerospace Exploration Agency, ⁶The University of Aizu

2014 年末打上げ予定の小惑星探査機「はやぶさ2」では、近地球型のC型小惑星「1999JU3」の探査を行う。我々ははやぶさ2に搭載されるレーザー高度計(LIDAR)を使用して、レーザー波長(1064nm)における1999JU3のアルベドを調べる事を検討している。はやぶさ2搭載用のLIDARには探査機-小惑星間の距離を測定する機能に加えて、レーザーパルスの送信光強度と受信光強度を測定する機能がついており、この強度データを用いて小惑星表面のジオメトリックアルベドを推定する事が可能である。

本発表では、まず、はやぶさ2搭載LIDARの特性調査試験の結果から、LIDARを用いて小惑星表面アルベドを現状どの程度の精度で決定可能か評価した結果を示す。ここでは、機器の特性から決まるアルベドの決定精度に加え、小惑星の表面傾斜や、ラフネスがLIDARの観測値から求まるアルベドの推定値にどの程度影響を及ぼすか検討した結果についても述べる。

我々はLIDARの観測値から決められる小惑星表面のアルベド分布及び他機器の観測データを組み合わせて(1)1999JU3の岩石・鉱物タイプ、(2)水質変成度の高低、(3)宇宙風化、外来物質による表面変成についての情報を得る事を検討している。本発表では先に評価した精度で決められるアルベド値から、どの程度これらの科学情報について言及できるか調査した結果についても報告する予定である。

キーワード: 小惑星アルベド, C型小惑星, 1999JU3, はやぶさ2, レーザー高度計

Keywords: Albedo of Asteroid, C-type asteroid, 1999JU3, Hayabusa-2, Laser Altimeter

はやぶさ 2 搭載近赤外分光計 NIRS3 のフライトモデル性能 Performances of Flight Model of NIRS3: the Near Infrared Spectrometer on Hayabusa-2

岩田 隆浩^{1*}; 北里 宏平²; 安部 正真¹; 荒井 武彦¹; 仲内 悠祐³; 中村 智樹⁴; 廣井 孝弘⁵; 松岡 萌⁴; 松浦 周二¹; 尾崎 正伸¹; 渡邊 誠一郎⁶

IWATA, Takahiro^{1*}; KITAZATO, Kohei²; ABE, Masanao¹; ARAI, Takehiko¹; NAKAUCHI, Yusuke³; NAKAMURA, Tomoki⁴; HIROI, Takahiro⁵; MATSUOKA, Moe⁴; MATSUURA, Shuji¹; OZAKI, Masanobu¹; WATANABE, Sei-ichiro⁶

¹JAXA 宇宙科学研究所, ²会津大, ³総研大, ⁴東北大, ⁵ブラウン大, ⁶名古屋大

¹Institute of Space and Astronautical Science, JAXA, ²University of Aizu, ³Graduate University for Advanced Studies, ⁴Tohoku University, ⁵Brown University, ⁶Nagoya University

近赤外分光計 (NIRS3) は、小惑星探査機「はやぶさ 2」に搭載され、1.8~3.2 ミクロン帯の近赤外波長域において小惑星表面からの太陽反射光及び熱放射を分光測定するリモートセンシング機器である。NIRS3 の主要目的は、C 型小惑星 1999JU3 において 3 ミクロン帯での OH 基の対称伸縮振動や水分子の変角振動による吸収を検出し、小惑星表面における水・含水鉱物の分布状態を明らかにすることである。C 型小惑星の素材ならびにその分布を調べることは、太陽系の初期進化の様子や地球の水の起源を解明する上で重要である。このため我々は、地球上の水による 3 ミクロン帯の吸収の影響を受けないように、小惑星表面を直接観測する。含水鉱物の量を 1~2 wt% の精度で推定するため、我々は 2.6 ミクロン帯での SN 比が 50 を超えることを目標に、NIRS3 観測システムを設計した。

NIRS3 のフライトモデルについて、2013 年より地上試験を開始した。NIRS3-S (センサ部) を NIRS3 試験用小型チャンバ内で軌道上温度である -80 °C に冷却して、黒体炉からの近赤外光を入射し、感度校正、波長校正のための基礎データを取得するとともに、S/N 等の基本性能を確認した。この結果、軌道上 S/N 予測値は、定常観測において目標を大きく上回る 300 以上となることが確認された。また、NIRS3 の単体熱真空試験・機械環境試験、及びシステム総合試験においても、NIRS3 が軌道上環境で十分な機能・性能を維持できることが確認された。さらに、黒体炉の近赤外光を、鉱物試料 (serpentine, olivine)、C コンドライト (Murchison, Murray, Jbilet Winselwan) で反射させて NIRS3 で受光することにより、これらの反射スペクトルが FTIR (フーリエ変換型赤外分光計) で得られるものと整合的であることを示した。これらの地上試験の結果から、NIRS3 を用いた C 形小惑星表面での、初期構成、水質変成、熱変成、宇宙風化に関して、新たな知見が得られることが期待される。

キーワード: はやぶさ 2, 小惑星, 1999JU3, NIRS3, 近赤外線, 分光計

Keywords: Hayabusa-2, asteroid, 1999JU3, NIRS3, near infrared, spectrometer

「はやぶさ2」搭載中間赤外カメラ TIR : 科学観測と地上較正 Thermal Infrared Imager TIR on Hayabusa2: Instrumentation and Ground Calibration

岡田 達明^{1*}; 福原 哲哉³; 田中 智¹; 田口 真⁴; 荒井 武彦²; 今村 剛¹; 千秋 博紀⁵; 出村 裕英⁶; 小川 佳子⁶; 北里 宏平⁶; 長谷川 直¹; 関口 朋彦⁷; 中村 良介⁸; 神山 徹⁸; 松永 恒雄⁹; 和田 武彦¹; 滝田 隼¹⁰; 坂谷 尚哉¹⁰; 堀川 大和¹¹; ヘルバート ヨルン¹²; ミュラー トマス¹³; ハガーマン アクセル¹⁴; はやぶさ2 TIR チーム²

OKADA, Tatsuaki^{1*}; FUKUHARA, Tetsuya³; TANAKA, Satoshi¹; TAGUCHI, Makoto⁴; ARAI, Takehiko²; IMAMURA, Takeshi¹; SENSHU, Hiroki⁵; DEMURA, Hirohide⁶; OGAWA, Yoshiko⁶; KITAZATO, Kohei⁶; HASEGAWA, Sunao¹; SEKIGUCHI, Tomohiko⁷; NAKAMURA, Ryosuke⁸; KOUYAMA, Toru⁸; MATSUNAGA, Tsuneo⁹; WADA, Takehiko¹; TAKITA, Jun¹⁰; SAKATANI, Naoya¹⁰; HORIKAWA, Yamato¹¹; HELBERT, Jorn¹²; MUELLER, Thomas¹³; HAGERMANN, Axel¹⁴; HAYABUSA2, Tir team²

¹ 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所, ² 宇宙航空研究開発機構月惑星探査プログラムグループ, ³ 北海道大学, ⁴ 立教大学, ⁵ 千葉工業大学, ⁶ 会津大学, ⁷ 北海道教育大学, ⁸ 産業総合研究所, ⁹ 国立環境研究所, ¹⁰ 東京大学, ¹¹ 総合研究大学院大学, ¹² ドイツ航空宇宙センター, ¹³ マックスプランク地球外物理学研究所, ¹⁴ オープン大学

¹ ISAS/JAXA, ² JSPEC/JAXA, ³ Hokkaido University, ⁴ Rikkyo University, ⁵ Chiba Institute of Technology, ⁶ University of Aizu, ⁷ Hokkaido University of Education, ⁸ AIST, ⁹ NIES, ¹⁰ University of Tokyo, ¹¹ Sokendai, ¹² German Aerospace Center (DLR), ¹³ Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics (MPE), ¹⁴ Open University

小惑星探査機「はやぶさ2」に搭載する中間赤外カメラ TIR は近地球型の C 型小惑星 (162173) 1999JU3 の 2 次元熱撮像を行い、表層熱物性を全球的に調べる装置である。小天体探査では始原物質の探求や初期進化過程を示す物質科学探査に注目が集まるが、微惑星の形成やその後の力学的な成長・進化過程の解明には物性探査も重要である。

原始太陽系で微惑星が形成される際には低密度 (高空隙) 天体が作られ、衝突合体を伴う成長過程により圧密されてゆくと考えられる。C 型小惑星は低密度な例も多く、稠密な岩塊が空隙の多い状態で集合しているか、多孔質な岩塊や高空隙土壌の堆積が考えられる。これらの特徴は TIR 観測から得られる熱物性、特に熱慣性により識別できる可能性がある。C 型小惑星では過去に脱水過程を経たと考えられる。その痕跡が貫入地形や溝地形として小惑星上に現存し、熱慣性の差異として発見できるかもしれない。小惑星イトカワでもみられた表層粒子流や、クレータ周辺のイジェクタ堆積層などは周辺地域に比べて平均粒径が小粒かつ高空隙率が想定されるため、熱慣性の違いによって検出できるだろう。周辺浮遊物 (衛星) や、ダスト雲、揮発性噴出物があれば、それらからの赤外放射を検出できる可能性がある。また、現地で熱撮像を行うことにより、地上観測から見積もられる小惑星の熱物性の推定精度について評価することができ、将来の小惑星地上観測の信頼度に与える貢献度は大きい。

TIR は 2 次元非冷却ボロメータを検出器に用いた中間赤外カメラである。有効画素数は 328×248 、視野は $16^\circ \times 12^\circ$ 、画素解像度は 0.05° であり、高度 20km の Home Position (HP) から撮像すると 20m (直径約 0.9km の小惑星 1999JU3 の全体が 45 画素)、高度 1km から撮像すると 1m 以下の画素解像度で $280\text{m} \times 210\text{m}$ の範囲をカバーできる。これは HP からの小惑星全体の特徴の把握やサンプル回収地点の事前・事後に行う現地調査・産状把握に適する。なお、TIR の光学系の焦点距離は 34m だが、距離 5m でも 1cm 以上の構造を識別できる。「はやぶさ2」では小惑星 1999JU3 を太陽距離 0.96~1.42AU で太陽側から観測する。C 型小惑星のアルベド 0.05、熱放射率 0.90~0.95 と仮定すると、小惑星昼側の表層温度は $-40^\circ\text{C} \sim +150^\circ\text{C}$ と見積もられる。TIR の観測波長域は $8 \sim 12 \mu\text{m}$ であり、表層からの熱放射への感度は良好である。

TIR の撮像性能の較正試験を $-40 \sim +150^\circ\text{C}$ に対して実施してきている。最終目標はこの温度範囲で各画素に対して絶対温度 3°C 、NETD で 0.3°C 以下の精度を達成する較正データを求めることである。較正装置は、低温側は真空チェンバ中の黒体ターゲット、高温側はクリーンブース内でオイルバスや平面黒体ターゲットを用いており、TIR のレンズ温度や取り付けパネル面温度を制御しながら実施してきた。観測時には較正時と同じ OFPN (Onboard Flat Pattern Noise) データを設定する必要があり、全温度域で同一の OFPN の使用が理想である。これまで概ね成立することを確認しているが、別の較正システムの使用による低温・高温域のデータの接続、検出器への入射エネルギーによるデータのバイアス変化の補正、幾何較正などを進め、TIR の較正精度の向上を目指している。講演では TIR の科学観測目標と較正試験の結果について報告する。

キーワード: 小惑星, はやぶさ2, 熱物性, 熱赤外, ボロメータ, 惑星探査

Keywords: asteroid, Hayabusa2, thermo-physical property, Thermal Infrared, bolometer, planetary exploration

小天体表面における粒子サイズと空隙率の関係 Relationship between Regolith Particle Size and Porosity on Small Bodies

木内 真人^{1*}; 中村 昭子¹
KIUCHI, Masato^{1*}; NAKAMURA, Akiko¹

¹ 神戸大学大学院理学研究科

¹Department of Earth and Planetary Sciences, Kobe University

小天体表面はレゴリス層と呼ばれる粒子層によって覆われており、レゴリス層の粒子サイズと空隙率は重要な物性値である。例として、天体表面の反射率や熱慣性は粒子サイズや空隙率に依存する。また、これらの物性値はクレーター効率のような衝突応答性に影響を与える。過去には、アポロ計画による月レゴリスの粒子サイズの直接測定が行われており、平均空隙率が51%と推定されている (Michell et al., 1974)。また、観測による推定として、地上レーダー観測による空隙率の推定では、小惑星表面の平均空隙率は $51 \pm 14\%$ という結果を得ており (Magri et al., 2001)、反射率の角度依存性を用いた空隙率の推定では、S型小惑星表面の空隙率の範囲は40-80%となっている (Hapke, 1986; Domingue et al., 2002)。本研究では、まず地上実験のデータより、空隙率と粒子にはたらく力の関係を得た。そして、その関係を小天体表面の条件に適用することで、レゴリス層の空隙率と粒子サイズの関係性を求めた。

Yu et al. (2003) では、実験データをもとに、液架橋力をもとにした粒子間力 F_v と粒子にかかる重力 F_g の比 R_F と空隙率の関係が表されている。空隙率は粒子が密に充填していない状態でそれぞれ測定されており、粒子サイズによって空隙率は異なる値をとる。本研究では、粒子間力はファンデルワールス力が支配的だと想定し、ファンデルワールス力には吸着分子の影響を考慮した以下のモデル式 (Perko et al., 2001) を適用した。

$$F_v = AS^2 r / 48 \Omega^2 \quad (1)$$

A はハマカー定数 (物性値)、r は粒子半径、 Ω は吸着分子半径 (ここでは酸素イオン半径) である。また S は cleanliness ratio と呼ばれるもので、粒子表面の吸着分子の少なさを表しており、地球上では0.1程度、宇宙空間では約1という値をとる。過去研究のデータに我々が行ったフライアッシュの測定データを加え、また (1) 式を用いることで、空隙率 p と $R_F (=F_v/F_g)$ の関係

$$p = p_0 + (1 - p_0) \exp(-m R_F^{-2}) \quad (2)$$

を得た。ここで、 p_0 , m , n は定数である。また、(1) 式を (2) 式に代入することで、次式が得られる。

$$p = p_0 + (1 - p_0) \exp \{-m (AS^2 / 64 \pi \Omega^2 \rho g r^2)^{-n}\} \quad (3)$$

ここで ρ は粒子密度、 g は重力加速度である。(3) 式に小天体表面の条件を適用することで、小天体表面の粒子半径と空隙率の関係を得ることができる。例として小惑星イトカワ表面における空隙率と粒子半径の関係を得た。はやぶさの画像より得られたイトカワの粒子サイズは、細かい粒子層が広がる地域では mm-cm サイズと推定されており (Yano et al., 2006)、今回得られた関係によると、この範囲の粒子サイズでは0.55 - 0.8の範囲の空隙率をもつと見積もられる。同様の方法で、その他の小天体表面における空隙率と粒子サイズの見積ることができる。

また Gundlach and Blum (2013) では、熱慣性データとレゴリス層における熱伝導率モデルから、レゴリス層の粒子サイズを推定している。ここで、(3) 式の関係と Gundlach and Blum (2013) の関係を組み合わせることで、小天体表面の粒子サイズと空隙率をそれぞれ推定することができ、その結果についても報告する。

キーワード: 小惑星, レゴリス, 空隙率

Keywords: asteroid, regolith, porosity

TIRによるSCIクレーターの検出方法の検討 How to detect a small crater produced by Small Carry-on Impactor (SCI) using Thermal InfraRed Camera (TIR)

和田 浩二^{1*}; 中村 昭子²; 黒澤 耕介¹; SCI チーム³; TIR チーム³

WADA, Koji^{1*}; NAKAMURA, Akiko²; KUROSAWA, Kosuke¹; SCI, Team³; TIR, Team³

¹ 千葉工業大学惑星探査研究センター, ² 神戸大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻, ³ はやぶさ2プロジェクト
¹PERC/Chitech, ²Department of Earth and Planetary Sciences, Kobe University, ³Hayabusa-2 Project

In Hayabusa-2 mission, a crater will be formed on the surface of a C-type asteroid 1999JU3 using Small Carry-on Impactor (SCI) and the crater should be quickly detected from the mother ship. The detection, however, will become difficult when the crater is very small with a diameter of only 30 cm, near to the resolution limit of on-board cameras. On the other hand, Thermal InfraRed Camera (TIR) mounted on Hayabusa-2 has a possibility to detect such a small crater even if the crater size is sub-pixel of TIR resolution, because the temperature on the surface of a small crater is expected to be different from that around the crater. We, therefore, have started examination about the possibility and method to detect a SCI-formed small crater using TIR. In this presentation, we introduce the basic idea and the preliminary results of our modeling.

キーワード: はやぶさ2, 衝突, 小惑星, 熱赤外カメラ, 小型搭載型衝突装置, クレーター熱モデル

Keywords: Hayabusa-2, Impact, SCI, TIR, crater thermal model, asteroid

はやぶさ2・SCIの地上校正実験：クレーターサイズについて Hayabusa 2/SCI: calibration impact experiments

門野 敏彦^{1*}; 荒川 政彦²; 辻堂 さやか²; 保井 みなみ³; 長谷川 直⁴; 黒澤 耕介⁵; 白井 慶⁴; 早川 雅彦⁴; 岡本 千里⁴; 佐伯 孝尚⁴; 今村 裕志⁴; 矢野 創⁴; 中澤 暁⁴; 小川 和律⁴; 飯島 祐一⁴; 平田 成⁶; 高木 靖彦⁷; 和田 浩二⁵
KADONO, Toshihiko^{1*}; ARAKAWA, Masahiko²; TSUJIDO, Sayaka²; YASUI, Minami³; HASEGAWA, Sunao⁴; KUROSAWA, Kosuke⁵; SHIRAI, Kei⁴; HAYAKAWA, Masahiko⁴; OKAMOTO, Chisato⁴; SAIKI, Takanao⁴; IMAMURA, Hiroshi⁴; YANO, Hajime⁴; NAKAZAWA, Satoru⁴; OGAWA, Kazunori⁴; IJIMA, Yuichi⁴; HIRATA, Naru⁶; TAKAGI, Yasuhiko⁷; WADA, Koji⁵

¹産業医科大学, ²神戸大学大学院理学研究科, ³神戸大学自然科学系先端融合研究環重点研究部, ⁴宇宙航空研究開発機構, ⁵千葉工業大学 惑星探査研究センター, ⁶会津大学 コンピュータ理工学部, ⁷愛知東邦大学

¹University of Occupational and Environmental Health, ²Graduate School of Science, Kobe University, ³Organization of Advanced Science and Technology, Kobe University, ⁴Japan Aerospace Exploration Agency, ⁵Planetary Exploration Research Center, Chiba Institute of Technology, ⁶Dep. of Computer Science and Engineering, Univ. of Aizu, ⁷Aichi Toho University

はやぶさ2探査機に搭載予定のSCI(Small Carryon Impactor)は直径15cm, 質量2kg, 中空の銅球である。これを小惑星表面に秒速2kmで衝突させて形成されるクレーターや放出物の分布を調べる予定である。クレーターなどから天体表面がどのような状態(組成, 構造)であるかを推定するためには, 予め状態がわかっている標的にSCIと同様の飛翔体を衝突させて, どのようなクレーターが形成されるのかを調べておく必要がある。われわれは宇宙研の二段式水素銃を使って中空弾丸を加速し, 石膏, 玄武岩に衝突させてクレーターを調べた。また, 神岡で行われた実スケールの実験において砂に衝突させてできたクレーターのサイズも調べた。これらの結果について報告する。

キーワード: はやぶさ2, SCI, 衝突実験

Keywords: Hayabusa 2, Small Carryon Impactor, Impact experiments

石英砂上への衝突クレーター形成実験：エジェクタの速度分布に対する弾丸密度依存性 Impact crater formation on quartz sand: the effect of projectile density on ejecta velocity distributions

辻堂 さやか^{1*}; 荒川 政彦¹; 和田 浩二²; 鈴木 絢子³
TSUJIDO, Sayaka^{1*}; ARAKAWA, Masahiko¹; WADA, Koji²; SUZUKI, Ayako³

¹ 神戸大学大学院理学研究科, ² 千葉工業大学惑星探査研究センター, ³ 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所
¹Graduate School of Science, Kobe University, ²Planetary Exploration Research Center, Chiba Institute of Technology, ³Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency

1. はじめに

衝突クレーター形成に伴うエジェクタの速度分布を理解することは、固体天体表層の衝突進化を考える上で重要である。特に小惑星の表層は様々な物性を持つと考えられ、表層の空隙率、強度、密度等は、その起源や進化により大きく変化する。従って、様々な物性を持つ表面でのクレーター形成に伴うエジェクタ速度分布の知見が重要である。一方、小惑星帯には幾つかのタイプの小惑星が存在し、その物性はタイプにより大きく異なる。力学強度や密度が異なる小惑星同士が衝突してクレーターを形成すると、その組み合わせによって、形成されるクレーターの大きさや形状は変化する。はやぶさ、Dawn、はやぶさ2などの小惑星探査が進む中、小惑星表層に関する情報は飛躍的に増えてきた。今後、より精密な室内実験により、クレーター形成過程に対する衝突物質の依存性が明らかになれば、観測されるクレーターから衝突天体の種類などが特定できるようになる。そのためには、ターゲットや弾丸の物性を系統的に変化させたクレーター形成実験が必要である。しかしながら、これまで、クレーター形成に伴うエジェクタの速度分布に関しては、弾丸密度の依存性に関する研究は十分に行われていない。

そこで、本研究では弾丸密度に着目し、衝突クレーター形成に伴うエジェクタの速度分布に対する弾丸密度依存性を明らかにした。そのために8種類の密度の異なる弾丸を用いて石英砂ターゲットに対して衝突クレーター形成実験を行った。

2. 実験・解析方法

標的粒子には、直径500 μmの石英砂、直径500 μmまたは100 μmのガラスビーズ球の3種類を用いた。それらの粒子を直径30cmの金属容器に入れて標的試料とした。石英砂またはガラスビーズを用いて準備した標的試料の空隙率はそれぞれ、44.7%、41.4%、37.6%である。標的を設置する真空チャンバー内の圧力は、 $<10^3$ Paとした。また、弾丸には密度の異なる8種類の球形弾丸(ナイロン、ガラス、アルミナ、ジルコニア、チタン、鉄、銅、鉛)を用いた。弾丸直径はすべて3mmであり、この弾丸を直径10mmのサポを用いて、一段式軽ガス銃により加速した。エジェクタの正確な観測には、弾丸の加速ガスからの影響を完全に除く必要がある。そのために2つの手段を講じている。まず、弾丸発射用サポにより加速ガスの直接流入を防いでいる。さらに、金属容器をアクリルボックスに入れて、チャンバー内に広がった加速ガスが回り込んでエジェクタに影響を与えるのを防いでいる。標的への衝突速度(v_i)は、24~217 m/sとした。

放出された個々の標的粒子の軌跡を計測することによってエジェクタ速度分布を求めた。そのために高速デジタルビデオカメラを使用して、撮影速度2000-10000コマ/秒で粒子放出の様子を撮影した。取得したビデオから>30個の粒子の軌跡を追跡し、それぞれの粒子の放出位置と放出速度、そして放出角度の関係を求めた。

3. 結果・考察

撮影された高速ビデオ画像でエジェクタが広がっている様子を見ると、密度の小さなナイロン弾丸と密度の大きなジルコニア弾丸ではその形状が大きく異なることがわかった。ナイロンでは、エジェクタカーテンの外縁が水平面となす角が小さく50°程度でありエジェクタカーテンは潰れて見える。一方、ジルコニアではその角度は58°程度とカーテンが立って見えた。このカーテン形状の差の理由を調べるために粒子の放出角度について調べてみた。その結果、放出位置と放出角度については、全ての弾丸において衝突点に近い地点から放出された粒子ほど、放出角度が大きく、放出位置が衝突点から遠くなるにつれて減少していく傾向が見られた。その角度は、最大48°程度であり、30°程度まで角度は小さくなった。しかしながら、この傾向の弾丸密度による依存性は見られなかった。これは、エジェクタカーテン形状の差は、放出角度の違いが原因ではないことを示している。一方、エジェクタ速度のスケール則(式①)において、弾丸密度が $<6\text{g/cm}^3$ の範囲では、 μ は弾丸密度に比例していることがわかった。(式②)

$$v_0/v_i = a(x/R)^{-1/\mu} \quad \text{-式①}$$

$$\mu = 0.05 \rho + 0.38 \quad \text{-式②}$$

すなわち、カーテン形状の差は、速度分布の差が原因であることがわかった。しかしながら、鉄についてはカーテ

U06-P08

会場:3 階ポスター会場

時間:4 月 28 日 18:15-19:30

ンが立っているにも関わらずこのトレンドに乗らなかった。さらに、クレーターサイズの弾丸密度依存性について（式③）のような関係が求まった。

$$[R * (\rho t/m)^{(1/3)}] = 11 * [\rho t / \rho p]^{0.096} \quad \text{?式③}$$

今後、さらに広い速度範囲で様々な物性を持つ標的試料に対してエジェクタ速度分布の弾丸密度依存性を明らかにしていきたい。

粉粒体斜面に対する衝突クレータリング実験 Impact cratering experiments on granular slopes

林 康介^{1*}; 隅田 育郎¹
HAYASHI, Kosuke^{1*}; SUMITA, Ikuro¹

¹ 金沢大学大学院 自然科学研究科

¹ Graduate School of Natural Science and Technology

衝突クレータリングは惑星表層の地形を決める重要な素過程の一つであり、その物理を理解するために粉粒体をターゲットとした室内実験が多く行われてきた(例: Walsh et al., 2003, de Vet and Bruyn, 2007)。これらの実験では、形成されるクレーターの形態は実際のクレーターと同様に衝突エネルギーが大きくなるにつれて単純クレーターから複雑クレーターに変化し、クレーターの形成過程において強度よりも重力が支配的な場合にはクレーターの直径はエネルギーの約1/4乗に比例することが分かっている。近年、小惑星の探査が進み、さらに多様なクレーターが発見されるようになってきた。小惑星に見られるクレーターは重力・強度支配の遷移領域に該当するものがあり、私達はそれを理解するための基礎実験を行った(Takita and Sumita, 2013)。一方で小惑星はそのサイズに比して起伏が激しいため、斜面に衝突することにより形成されたと考えられるクレーターも発見されている(Jaumann et al., 2012)。過去のクレータリング実験は水平なターゲットへの衝突実験が主であるため、斜面に対する衝突は良く理解されていない。本発表では、斜面の傾斜角がクレーターの形成に与える影響を理解するために行った実験の結果について報告する。

本実験では、縦25cm、横18cm、深さ9cmのアクリル容器に平均粒径0.204mm、密度2.66g/cm³、安息角37.2°の砂を充填率が約0.56になるように詰めた粉粒体ターゲットを任意の傾斜角 θ 傾け、その上からステンレス球のインパクトター(直径11mm、22.2mm、密度7.70g/cm³、質量5.5g、44.1g)を自由落下させてクレーターを形成する。クレーターの形成過程は高速カメラで撮影する。衝突エネルギーEが0.055Jと0.073J、0.58Jの3種類、 θ が0°、11°、16°、22°、34°の5種類の合計15通りの実験を行った。

クレーター形成の前後に粉粒体表面の形状をレーザー変位計をステッピングモーターで動かしながら3次元的に測定する。変位計の分解能は高さ方向に約0.024mm、水平方向に約0.1mmである。ステッピングモーターは0.2mm刻みで動く。クレーター形成前の表面の形状データの値をクレーター形成後の表面の形状データの値から差し引くことでクレーター形成による粉粒体ターゲット表面の鉛直変位を求める。鉛直下向きの最大変位をCrater depth、斜面方向の長さを水平射影した最大距離をCrater length、走向方向の最大水平距離をCrater widthとする。

解析の結果、 θ が約20°以上になるとリムと呼ばれるクレーターの周りの盛り上がった部分が途切れることが分かった。高速度カメラで撮影した画像の観察から、 θ が大きくなるに伴い、衝突地点の上側の粒子の崩壊の規模が大きくなることが分かった。これが高傾斜角でリムが途切れる原因である。また、実験で作られたクレーターとベスタのクレーターの地形データ(Jaumann et al., 2012)を比較すると、最深点が斜面下側に寄り、イジェクタが斜面下側に広がる点が共通していた。Crater depthは θ が大きくなるに従って単調減少する。Crater length及びCrater widthは θ が0°から22°までは大きく変わらないが22°を超えると増加する。この結果、クレーターのDepth/Length比は θ の増加に伴って0.25から0.05まで減少する。これは θ の効果のみによって幅広いDepth/Length比のクレーターが形成できることを示している。

各長さスケールのエネルギー依存性を AE^{α} の形にべき指数フィットすると(Eは衝突エネルギー)、 θ が変化すると係数Aばかりでなく、 α の値が変化した。これは、斜面衝突では平面のスケールリング則をそのまま適用できないことを示している。

引用文献:

de Vet and Bruyn., 2007. Phys.Rev E 76, 041306

Jaumann et al., 2012. Science 336, 687

Takita and Sumita, 2013. Phys.Rev E 88, 022203

Walsh et al., 2003, PRL 91.104301

キーワード: 衝突クレータリング, 粉粒体
Keywords: impact cratering, granular matter

鉄隕石衝突破壊強度の試料サイズ依存性 Size Dependence of Impact Disruption Threshold of Iron Meteorites

桂 武邦¹; 中村 昭子^{1*}; 高部 彩奈¹; 岡本 尚也¹; 三軒 一義¹; 長谷川 直²; Liu Xun³; 真下 茂³
KATSURA, Takekuni¹; NAKAMURA, Akiko^{1*}; TAKABE, Ayana¹; OKAMOTO, Takaya¹; SANGEN, Kazuyoshi¹; HASEGAWA,
Sunao²; LIU, Xun³; MASHIMO, Tsutomu³

¹ 神戸大学大学院理学研究科, ² 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所, ³ 熊本大学パルスパワー研究所
¹Graduate School of Science, Kobe University, ²Institute of Space and Astronautical Science, ³Institute of Pulsed Power Science,
Kumamoto University

鉄隕石や M 型小惑星のいくつかは、分化した微惑星のコアや始原天体にできたメルトプールを起源としていると考えられる。鉄が分化してから鉄隕石が惑星間空間に衝突で放出されるまでの間、鉄質の天体は、質量や温度や衝突速度が異なる様々な衝突過程を経験したと考えられる。

本研究では、常温で、数 mm から数 cm の鉄隕石を弾丸もしくは標的とする衝突破壊実験を、衝突速度数 100 m/s から数 km/s の範囲で行った。一つの例外を除き、鉄隕石試料のほうが衝突対象試料より小さい条件で実験を行った。結果の比較のために、スチールの衝突破壊実験も行った。

鉄隕石試料やスチール試料の破片サイズ分布は、岩石のものとは異なり、その展延性のために細かい破片が少ないことが示された。また、最大破片質量割合は、弾丸の運動エネルギーを系の質量で割ったエネルギー密度だけでなく、試料のサイズにも依存することが示された。我々は、鉄隕石の動的強度が試料サイズに対してべき乗依存性を持つと仮定した。この動的強度を用いて初期発生圧力を規格化したところ、最大破片質量割合は、規格化された初期発生圧力の -2 乗に依存することが示された。さらに、鉄隕石試料やスチール試料の圧縮変形度も、動的強度で規格化された初期発生圧力を用いて整理できることが示された。

本研究は宇宙科学研究所のスペースプラズマ共同利用と、熊本大学パルスパワー GCOE プログラムにより支援を受けました。

キーワード: 小天体, 鉄隕石, 衝突過程

Keywords: Small Bodies, Iron Meteorite, Impact Process

はやぶさ 2 探査天体 1999 JU3 のクレーター年代学モデルの構築と ONC による観測可能性 Cratering chronology models for the near-Earth asteroid 1999 JU3

安藤 滉祐^{1*}; 諸田 智克¹; 杉田 精司²; 本田 理恵³; 亀田 真吾⁴; 山田 学⁵; 本田 親寿⁶; 鈴木 秀彦⁴; 渡邊 誠一郎⁷
ANDO, Kosuke^{1*}; MOROTA, Tomokatsu¹; SUGITA, Seiji²; HONDA, Rie³; KAMEDA, Shingo⁴; YAMADA, Manabu⁵; HONDA, Chikatoshi⁶; SUZUKI, Hidehiko⁴; WATANABE, Sei-ichiro⁷

¹ 名古屋大学大学院環境学研究科, ² 東京大学大学院新領域創成科学研究科複雑理工学専攻, ³ 高知大学理学部応用理学科, ⁴ 立教大学理学部, ⁵ 千葉工業大学惑星探査研究センター, ⁶ 会津大学, ⁷ 名古屋大学大学院環境学研究科地球環境科学専攻
¹Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, ²Department of Complexity Science and Engineering, Graduate School of Frontier Science, The University, ³Department of Information Science, Kochi University, ⁴School of Science, Rikkyo University, ⁵Planetary Exploration Research Center, Chiba Institute of Technology, ⁶The University of Aizu, ⁷Division of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Nagoya University

2014 年打ち上げ予定の小惑星探査機「はやぶさ 2」は、C 型小惑星である「1999 JU3」を探査対象とし、そのサンプルリターンを大きな目的の一つとしている。微量、微小スケールのサンプルから太陽系スケールの情報を得るためにはマルチスケールの進化過程の理解が必要である。つまり、そのサンプルがどのような物質であり、1999 JU3 上ではどのように存在していたのか、そして 1999 JU3 が太陽系のどこで生まれ、どのような進化をたどってきたのか、を知る必要がある。1999 JU3 の進化過程を探る上で、その形成年代の理解は特に重要である。本研究は、はやぶさ 2 で得られるであろう 1999 JU3 の詳細画像データからクレーター年代学手法にもとづく年代決定を可能とするために、1999 JU3 表面におけるクレーター年代学関数（表面年代とクレーター数密度の関係）の構築を目的とする。また、得られたクレーター年代学関数に基づいて、工学航法カメラ（ONC）によるクレーター観測による年代決定精度の検証を行う。

高空隙ターゲットに形成されるキャビティ形状・衝突破壊のスケーリング解析 Scaling analysis of cavity morphology and disruption threshold for highly porous targets

岡本 尚也^{1*}; 中村 昭子¹; 長谷川 直²
OKAMOTO, Takaya^{1*}; NAKAMURA, Akiko¹; HASEGAWA, Sunao²

¹ 神戸大学大学院理学研究科, ² 宇宙科学研究所

¹Graduate School of Science, Kobe University, ²Institute of Space and Astronautical Science

小天体表面に衝突体が衝突してつくるクレーターの形状は、その天体の空隙率や密度、強度、そして衝突体の大きさ、密度、強度、速度によって変わることが考えられる。これまで<60%の大きな空隙率を持つターゲット（石膏、ガラスビーズ焼結体、雪）を用いた衝突実験が行われており、クレーターの深さや直径が調べられてきた。しかし、近年の探査計画や地上観測によりこれらの天体は非常に空隙率が高い(<86%)ものまでであることが分かってきた。それら小天体の形成期における衝突進化を理解するためにはさらに大きな空隙率を用いた実験が必要となってくる。我々はこれまでよりさらに高い空隙率を持つターゲットに形成されるキャビティ形状について調べた。そしてこれまでの研究データを合わせることで幅広い範囲の空隙率を持つターゲットにできるキャビティ形状について整理した。また、衝突進化史において重要となる衝突破壊強度と空隙率の関係についても整理した。

これまで我々は空隙率 80, 87, 94%を持つターゲットを作成し、衝突速度が毎秒数キロメートルの衝突実験を行ってきた (Okamoto et al., 2013)。弾丸にはチタン、アルミニウム、玄武岩、ステンレスを用いてきたが、これらに比べて低密度のナイロン弾丸も新たに用いた。トラックの形状は、弾丸破壊の程度が小さい場合は細長いニンジン型、破壊の程度が大きい場合は太短いカブ型が観察された。本発表ではこのカブ型のキャビティ形状について報告する。

カブ型のキャビティをクレーターとみなし、この最大径と入口径を従来の強度支配域のクレータースケーリング則を用いて整理したところ、キャビティの最大径と入口径は程よくスケールされ、半経験式をそれぞれ得た。衝突点から最大径までの距離は、弾丸の運動エネルギーが初期の運動エネルギーの $1/e$ となる特徴的長さと相関が見られた。特徴的長さは抵抗係数の関数となっており、抵抗係数は弾丸の破壊の程度に依存することから、弾丸の破壊が最大径までの距離に関与していることが示唆された。

成長中のキャビティの体積、最大径、深さと衝突からの時間との関係を調べた。横軸に (衝突速度) × (時間) / (弾丸半径) で表される規格化時間を、縦軸に (キャビティ体積) × (ターゲット密度) / (弾丸質量) のキャビティ規格化体積を用いて整理した (Schmidt and Housen., 1987)。成長中のキャビティの規格化体積は衝突速度の違いに依らず規格化時間に対してべき乗の関係が見られた。(ターゲット密度) / (弾丸密度) の比が大きい方がべき指数はわずかに大きな値をとった。一方、弾丸直径で規格化したキャビティ最大径と深さはどちらも形成初期段階では無次元時間とべき乗の関係が見られた。これらのべき指数は、規格化体積について得られたべき指数と矛盾しなかった。すなわち、キャビティは楕円体の一部として成長していることがわかった。

衝突破壊されたターゲットの質量が元の質量の半分になるときのエネルギー密度を衝突破壊強度という。衝突破壊強度は空隙率が大きいターゲットほど衝突破壊強度はやや大きくなる傾向になった。またターゲットの直径/高さの比が0.5のときよりも1.0の時の方が衝突破壊強度は大きくなった。本発表では、様々な先行研究の衝突破壊強度を無次元化して整理したものについて議論する。

キーワード: 衝突実験, 小天体, クレーター, カタストロフィック破壊
Keywords: impact experiment, small body, crater, catastrophic disruption

はやぶさ試料最大粒子のコンソーシアム研究 A consortium study of the largest particle of Hayabusa-returned samples

上梶 真之^{1*}; 唐牛 譲¹; 矢田 達¹; 石橋 之宏¹; 佐竹 涉²; 岡田 達明¹; 安部 正真¹
UESUGI, Masayuki^{1*}; KAROUJI, Yuzuru¹; YADA, Toru¹; ISHIBASHI, Yukihiro¹; SATAKE, Wataru²; OKADA, Tatsuaki¹
; ABE, Masanao¹

¹ 宇宙航空研究開発機構, ² 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻

¹Japan Aerospace Exploration Agency, ²Department of Earth and Planetary Science, University of Tokyo

Hayabusa-returned samples retrieved by the Hayabusa spacecraft were already distributed and investigated in the preliminary examinations and international A/Os. Through the investigations, several insights have been obtained on the formation process of 25143 Itokawa and surface processes occurred on the asteroid, as well as the confirmation that the particles were certainly regolith particles from there [1-6].

There are several particles, however, which have not been distributed for those examinations because of their rare features appeared in the initial description done by extraterrestrial sample curation team (ESCuTe) of JAXA. Though those particles will provide us further information for Itokawa and evolution of the asteroid, the samples should be investigated as carefully as possible to reduce consumption and damage of the samples. RA-QD02-0136-01 is currently the largest sample of Hayabusa-returned samples recovered from the sample catcher. The major axis of the particle ra is around 310 μm , and weight of the particles is estimated around 20 μg , assuming the volume $V = 4/3\pi r_a r_b r_c \sim 4/3\pi/(2\sqrt{2})r_a^3$ and density of the particle as 3.4 g/cm^3 , where r_a , r_b and r_c are major axis, semi-major axis and minor axis, respectively. The RA-QD02-0136-01 is mainly composed of Ca-rich pyroxene, and also contains minor amount of low-Ca pyroxene, olivine, plagioclase and troilite. In order to maximize scientific gain from the Hayabusa-returned samples, we decided to investigate this particle by constructing a specific consortium for the analysis.

6 teams were joined the consortium, and following analyses were proposed.

M. Uesugi and A. Tsuchiyama : CT observation of 3D texture and surface observation

J. Park and Rutger team : Ar age analysis to determine the shock ages

K. Nishiizumi and K. Nagao : Analysis of cosmogenic nuclides to estimate the erosion rate of Itokawa

N. Kita and D. Nakashima : O-isotope analysis of high-Ca pyroxenes and plagioclases by SIMS

F. Langenhorst : TEM observation of the dislocations for estimating shock effect by small impacts

L. Keller : TEM observation of the space weathering rims

Currently, we prepare the sample cutting method, and evaluate effect of the cutting and sample transfer on the subsequent analysis. We will report the sequential flow of the analyses and results of the rehearsals.

References: [1] Nakamura et al. 2011. Science 333:1113-1116. [2] Yurimoto et al. 2011. Science 333:1116-1119. [3] Ebihara et al. 2011. Science 333:1119-1121. [4] Noguchi et al. (2011) Science 333:1121-1125. [5] Tsuchiyama et al. 2011. Science 333:1125-1128. [6] Nagao et al. 2011. Science 333:1128-1131.

塩を含むイトカワ粒子のコンソーシアム研究の現状 Present status of a consortium study of a NaCl bearing Itokawa particle

矢田 達^{1*}; 上相 真之¹; 唐牛 讓¹; 野口 高明²; 伊藤 元雄³; 石橋 之宏¹; 岡田 達明¹; 安部 正真¹
YADA, Toru^{1*}; UESUGI, Masayuki¹; KAROUJI, Yuzuru¹; NOGUCHI, Takaaki²; ITO, Motoo³; ISHIBASHI, Yukihiro¹; OKADA, Tatsuaki¹; ABE, Masanao¹

¹ 宇宙航空研究開発機構, ² 茨城大学理学部, ³ 海洋研究開発機構

¹Japan Aerospace Exploration Agency, ²Faculty of Science, Ibaraki University, ³Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

2010 年 6 月、小惑星探査機「はやぶさ」は S 型地球近傍小惑星イトカワより表層粒子試料を地球に帰還させた (Abe et al., 2011)。それ以降、JAXA キュレーションチーム (ESCUTE) では、「はやぶさ」のサンプルキャッチャーからの粒子の回収・記載を進め、現在の所、400 個超の粒子が初期記載済みとして公表されている (Yada et al., 2014)。この内、希少な特徴を持つ粒子については、複数の研究グループからのプロポーザルが重複し、配布が困難になることが予想される為、コンソーシアム研究の対象となっている。JAXA キュレーションチームがコンソーシアム研究を取り纏めて、広く研究者研究グループを募り、参加する研究者間で科学成果を最大化する為の分析準備及び分析のフローを議論の上決定し、そのフローに則って分析を進める。

このコンソーシアム研究の対象となっている粒子の一つに、塩を含むケイ酸塩鉱物粒子がある。この粒子 (RA-QD02-0129) は粒径 40 μ m で、主に斜長石的組成のケイ酸塩からなり、その表面に 3.75 μ m の自形の NaCl 粒子が存在している。今まで記載された 400 個超の「はやぶさ」帰還粒子の中で、塩を含むケイ酸塩粒子は、この粒子 1 個だけである。

惑星物質試料において、塩の存在は非常に希少かつ貴重である。普通コンドライト隕石では、今までに H コンドライトのモナハン、ザグ隕石からしか塩は見つかっていない。これらの隕石から見つかった塩は消滅核種のヨウ素 129 の痕跡が見つかっており、初期太陽系において H コンドライト母天体もしくは他の天体で形成され、両隕石に取り込まれたと考えられている (Zolensky et al., 1999; Whitby et al., 2000)。塩の形成には水が関わっており、塩が形成された母天体の起源について貴重な情報が得られると期待される。また塩と水の存在は有機物の物質進化とも密接に絡んでおり、生命の起源にも関連する興味深い研究対象である。

この粒子の研究でまず重要なのは、この粒子に含まれている塩の地球外起源を証明することである。地球外起源であることが示された場合、更にイトカワもしくは LL コンドライト母天体起源か、外来起源かを明らかにすることが重要となる。塩は非常に微小で、前述の隕石の塩で検出された、初期太陽系の年代を示す消滅核種ヨウ素 129 の娘核種キセノン 129 の検出は、現在の質量分析計の性能では難しい。現在の所、この微小な塩の地球外起源を証明することが出来る物質科学的証拠として考えられているのは、(1) 塩からの太陽フレアトラックの検出、(2) 塩表層からの太陽風ヘリウムの検出、(3) 塩表層の宇宙風化層の存在、である。(1)、(3) の為には塩の超薄切片の透過電子顕微鏡観察、(2) の為にはレーザーイオン化質量分析計による分析が必要である。分析計画としては、ヘリウムを人工的に打ち込んだ塩や、モナハン隕石の塩などの模擬試料によるリハーサル分析により検出観察手段を確立し、本番の試料の分析に望む予定である。

参考文献:

- Abe M. et al. (2011) LPS XLII, Abstract #1638.
- Whitby J. et al. (2000) Science 288, 1819.
- Yada T. et al. (2014) LPS XLV, Abstract #1759.
- Zolensky M. E. et al. (1999) Science 285, 1377.

キーワード: イトカワ, 小惑星, 塩, コンソーシアム

Keywords: Itokawa, asteroid, NaCl, consortium

アグリゲートタイプイトカワ粒子の3次元構造について Three-dimensional structures of aggregate-type Itokawa particles

矢田 達^{1*}; 上相 真之¹; 唐牛 讓¹; 上杉 健太郎³; 土山 明²; 石橋 之宏¹; 岡田 達明¹; 安部 正真¹
YADA, Toru^{1*}; UESUGI, Masayuki¹; KAROUJI, Yuzuru¹; UESUGI, Kentaro³; TSUCHIYAMA, Akira²; ISHIBASHI,
Yukihiko¹; OKADA, Tatsuaki¹; ABE, Masanao¹

¹宇宙航空研究開発機構, ²京都大学大学院理学研究科, ³高輝度光科学研究センター

¹Japan Aerospace Exploration Agency, ²Graduate school of science, Kyoto University, ³Japan Synchrotron Radiation Research Institute

微小天体表層においては、衝突やそれに起因した振動による破碎摩耗などにより生じたレゴリス粒子が存在している。その形成過程成因を探ることで、微小天体や、その前駆天体の物理化学的環境を知ることが出来ると考えられる。

小惑星探査機「はやぶさ」は2010年6月、S型の地球近傍小惑星イトカワから表層の試料を地球に帰還させた (Abe et al., 2011)。この微小天体表層のレゴリス粒子の中でも微小な構成粒子の集合体 (アグリゲート) タイプの粒子について、その3次元構造を明らかにし、最終的に微小構成粒子の3次元配置とその形成過程を解明することにより、その粒子の形成環境を明らかにするのが本研究の目的である。

本研究では、初期記載された400個超のはやぶさ帰還粒子の内、JAXAの配分枠の中から選ばれた5つのアグリゲートタイプイトカワ粒子 (粒径55-128 μm) について、まず放射光CTの手法を用いて3次元構造解析を行った。脆い構造のアグリゲート粒子の放射光CTを行う為に、微小な逆ピラミッド形状の窒化ケイ素膜から成る試料ホルダーの内部に粒子を設置した。これをSPring-8のBL47XUにおいて7keV、8keVの2種のエネルギーの放射光を照射し、得られた透過X線像を元に計算機により3次元内部構造を再構成する。それぞれのエネルギーによる鉱物のX線吸収係数の差から鉱物種を識別する事が可能となる (Tsuchiyama et al., 2013)。

現在、取得データの計算機による解析中である。今後はこのデータを元に微小構成粒子の3次元配置を明らかにし、その形成過程について考察を行う予定である。また、微小粒子間の微細構造を明らかにする為に、それら粒子の一部について、集束イオンビーム加工装置により超薄切片を作成し、透過顕微鏡観察を行う予定である。

参考文献:

Abe M. et al. (2011) LPS XLII, Abstract #1638.

Tsuchiyama et al. (2013) GCA 116, 5.

キーワード: イトカワ, 小惑星, アグリゲート, 3次元構造, 放射光CT

Keywords: Itokawa, asteroid, aggregate, three-dimensional structure, synchrotron CT

硫化鉄およびリン酸塩鉱物を含むはやぶさ帰還試料のコンソーシアム研究 Consortium Study of Troilite and Phosphate-bearing HAYABUSA Returned Samples

唐牛 讓^{1*}; 上相 真之¹; 矢田 達¹; 石橋 之宏¹; 佐竹 涉²; 岡田 達明¹; 安部 正真¹
KAROUJI, Yuzuru^{1*}; UESUGI, Masayuki¹; YADA, Toru¹; ISHIBASHI, Yukihiro¹; SATAKE, Wataru²; OKADA, Tatsuaki¹
; ABE, Masanao¹

¹ 宇宙航空研究開発機構, ² 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻

¹Japan Aerospace Exploration Agency, ²Department of Earth and Planetary Science, University of Tokyo

HAYABUSA returned samples have been shown as Itokawa origin by the preliminary examinations (e.g. Nakamura et al., 2011). Furthermore, international AO study has begun last year, and a formation process of asteroid Itokawa is becoming revealed.

HAYABUSA returned samples are described initially by JAXA Extraterrestrial Sample Curation Team (ESCuTe), and a sample catalogue is prepared based on the data of initial description (e.g. Yada et al., 2014). More than 400 returned samples were described so far. These described samples are classified into four categories. A number of samples of each category to be distributed for international AO are decided based on the sample catalogue. But it is difficult to distribute such samples with rare characteristics in composition, mineralogy, structure, or size, although those samples should maintain scientifically important information.

Therefore, in JAXA, ESCuTe started to organize the consortium studies in order to obtain the scientific information as many as possible from these samples (e.g. Yada et al., 2014; Uesugi et al., 2014). In this paper, we report the research plan for the particles mainly composed of FeS and which contain phosphate minerals.

RA-QD02-0245 composed mainly of FeS (40 micron) with smaller attached olivine and pyroxene grains. This particle was analyzed by X-ray CT at SPring-8 for 3D texture without atmosphere. Two ultra-thin section will be made from the edge of this particle by FIB. The ultra-thin sections will be examined by TEM in detail for space-weathering effect on FeS surface. The main mass of this particle will be analyzed for chemical composition. Especially, the siderophile element composition gives us information on the formation process of Itokawa parent body.

Some particles including phosphate mineral were found by the initial description. Because Ca-phosphate tends to be enriched in incompatible elements such as REEs, Th and U, we propose the investigation of U-Pb systematics using Nano-SIMS in order to study the history recorded in the phosphates. We will perform the U-Pb dating of the phosphates as many as possible and aim to understand the thermal history of Itokawa parent body such as crystallization age and the catastrophic collision if recorded.

Keywords: HAYABUSA, Itokawa, troilite, phosphate, siderophile element, U-Pb dating

Bundler と PMVS2 を用いた Structure-from-Motion 法による小惑星形状推定手法 Asteroid Shape Reconstruction by Structure-from-Motion Method with Bundler and PMVS2

平田 成^{1*}; 森 洋平¹; はやぶさ 2 形状モデル 検討グループ²

HIRATA, Naru^{1*}; MORI, Yohei¹; HAYABUSA-2 SHAPE RECONSTRUCTION, Study group²

¹ 会津大学, ² はやぶさ 2 プロジェクト

¹ARC-Space/CAIST, The University of Aizu, ²Hayabusa-2 project

はやぶさ 2 プロジェクトにおける小惑星形状モデル作成手法の検討のため、オープンソースとして公開されている形状復元ツールの評価を行った。評価したのは Structure from Motion による形状復元が可能なソフト Bundler と、これと協働して高解像度の形状モデルを作成可能なソフト PMVS2 である。はやぶさ探査機が取得した、小惑星イトカワの画像を入力として、前記ツールによる形状復元を行い、既存の形状モデルと比較することで精度、解像度などを評価した。Bundler と PMVS2 による形状復元は、迅速な処理が特徴であり、精度、解像度の点でも運用初期に必要な条件を満たしている。より高解像度な形状モデルは shape-from-shading や照度差ステレオなどの他の手法によって構築する必要がある。

キーワード: 小惑星, 形状推定, bundler, PMVS2, Structure-from-Motion, はやぶさ 2

Keywords: Asteroid, shape reconstruction, bundler, PMVS2, Structure-from-Motion, Hayabusa-2

異なる空間分解能惑星画像間の対応点探索 Feature matching in planetary images with multiple spatial resolutions by using SIFT algorithm

小玉 洋之¹; 本田 親寿^{1*}

KODAMA, Hiroyuki¹; HONDA, Chikatoshi^{1*}

¹ 会津大学

¹The University of Aizu

This study uses feature matching in planetary images with multiple spatial resolution. To know where lower altitude images are taken in high altitude images is performed based on images without the position and attitude of spacecraft in this study. The lower altitude images of AMICA on-board the Hayabusa spacecraft, asteroid probe are found as a correspondence of image features (keypoint) in higher altitude images. We adopted the Scale Invariant Features Transform (SIFT) to represent a kind of key-point of image for image feature matching. In generally, the SIFT keypoint is robust to scale transition, change of lighting condition, parallel displacement, and rotation of image, so this keypoint is suitable to feature matching of planetary image which contains of scale and rotation between different images. As a result, for the improvement of accuracy of feature matching, it is important to have a preprocessing of image (e.g., equalizing).

キーワード: 惑星画像, SIFT, 対応点探索, AMICA

Keywords: planetary image, SIFT, feature matching, AMICA

フォボスのグループ：3次元マッピングと統計解析を通じた形成過程の推察 Grooves on Phobos: Spatial distributions and their implications to the formational mechanism

菊地 紘^{1*}; 宮本 英昭¹
KIKUCHI, Hiroshi^{1*}; MIYAMOTO, Hideaki¹

¹ 東京大学総合研究博物館

¹The University Museum, The University of Tokyo

火星の衛星であるフォボスは主星に最も近接した衛星である。近年ではフォボスは地球の衛星である月とは全く異なる起源が提案されている [1] が、このような距離で衛星が存在するために起源や進化を考えることは、一般に衛星を理解する上で重要である。またこの近さゆえ、主星と衛星の影響を調べる上でも最も適した天体であると考えられる。現時点で約 3000 枚の高解像度画像が蓄積されており、フォボスは最も多くの情報が取得されている小天体となった。

フォボスの表層で見られる顕著な特徴のひとつとして、グループと呼ばれる直線状の溝のような構造が挙げられる。不思議なことに火星のもう一つの衛星であるダイモスは、サイズ、スペクトル、軌道パラメータで類似した特徴をもっているにも関わらずグループは全く見られない。またグループは他の多くの小天体にも見られる地形であるが、定義すら曖昧で成因はよくわかっていない。そのため最も多くの情報が得られているフォボスを例にグループの形成過程を明らかにすれば、小天体全体の表層進化過程の理解にも大きく貢献するものと考えられる。

フォボスのグループの形成仮説として、詳細な 2 次元射影図上でマッピングすることで、火星の衝突で生じたイジェクタが二次衝突としてフォボスに衝突し、グループが形成したとする仮説が最も調和的であると示された [2]。しかしながらこの仮説ではイジェクタが直線状に並ばないことや北半球にグループが形成されにくいことがシミュレーションにより示された [3]。そのためグループの調和的な形成仮説は未だ存在しない。グループの形態的特徴を知る際、2 次元データの解析は主流で便利であるが、反面グループの情報が特に極付近で歪んでしまうので、定量的な議論をするためにも新しい手法が求められる。

そこで我々は高解像度画像を丁寧に分析することで、488 本のグループの位置や長さを確認し、これらをフォボスの 3 次元数値形状モデル上に投影した。その結果、すべてのグループが、たとえ一見複雑な形状にみえるグループであっても、それぞれ実際は 1 つの平面上に存在していることを見出した。定量的な解析が可能になったことで、グループは主に 3 種類 (A,B,C 型) に分類できることがわかった。

A,C 型グループの存在する平面を解析したところ、この平面は黄道面と平行な面と比較的一致することがわかった。他方で黄道面から棒状に連なる小破片がフォボスに衝突したならば、衝突確率は理論的に火星の赤道面から離れたところで最も高いことが示される。この理論値と観測値の分布を比較したとき、類似した傾向があることがわかった。さらに、衝突頻度を考慮し、グループの形態を 3 次元モデルでシミュレートしたときも、観測事実と調和的な結果が得られた。以上の同値関係から A,C 型グループは黄道面から小破片が衝突したことで形成されたと考えられる仮説が最も調和的であると我々は結論付けた。

小破片が直線状に並んでいなければグループとして認識されない。潮汐力により天体が破壊され、棒状に引き延ばされる現象は 1994 年に観測されたシューメーカー・リビー第 9 彗星が観測されており、我々は火星でもこのような現象が起きていると考え、数値シミュレーションを用いて検証をした。結果、適切なパラメータを与えれば小破片の軌道とフォボスが交差するときに小破片が棒状に引き延ばされることを確認できた。さらにこれがダイモスの軌道と交差ときには、小破片が拡散してしまい、直線とは認識されない結果を得ることができた。これはグループがフォボスにあってダイモスにはない説明の一つになりえると考えられる。

一方観測事実から B 型グループについては、A,C 型と比べて密で細く pit chain が少ないことが確認されており、さらに我々が解析したところ、衝突方向がフォボスの進行方向と一致すること、ほとんどの B 型は北半球にしかない特徴があることが判明した。このことから我々は様々な仮説を検討、検証し、少なくとも 2 つの仮説がそれを満足するものであると考えた。そのうちの一つは火星にかつて環が存在したことで説明できる可能性を示唆し、同時にこのアイデアはフォボスの捕獲説を補完する説明にも繋がることを見出した。我々の仮説はフォボスのグループを調和的に説明できるばかりでなく、地質学的な観点から天体が捕獲されることを初めて示唆する重要な証拠になると考えられる。

本講演では、フォボスのグループが特徴的な形態をしているのは、フォボスが最も主星に近い天体であったためであり、フォボス特有の性質であることを説明する。

参考文献

- [1]Craddock, R.A., 2011. Icarus, 211, 1150-1161
- [2]Murray, J.B., Iliffe, J.C., 2011. Geomorphology. Geol. Soc, Spec. Publ., London, pp.21-41
- [3]Ramsley, K.R., James, W. H., 2013. Planetary and Space Science, 69-95

U06-P19

会場:3 階ポスター会場

時間:4 月 28 日 18:15-19:30

キーワード: フォボス, グループ, 火星, 潮汐破壊, 衝突
Keywords: Phobos, groove, Mars, tidal-disruption, impact

探査候補となる地球近傍小惑星の可視分光観測 Visible wavelength spectroscopy of sub-km-sized Near-Earth Asteroids with low delta-v

黒田 大介^{1*}; 石黒 正晃²; 高遠 徳尚³; 長谷川 直⁴; 安部 正真⁴; 津田 雄一⁴; 杉田 精司⁵; 白井 文彦⁶; 服部 堯³; 岩田 生³; 今西 昌俊³; 寺田 宏³; Choi Young-Jun⁷; 渡邊 誠一郎⁸; 吉川 真⁴
KURODA, Daisuke^{1*}; ISHIGURO, Masateru²; TAKATO, Naruhisa³; HASEGAWA, Sunao⁴; ABE, Masanao⁴; TSUDA, Yuichi⁴; SUGITA, Seiji⁵; USUI, Fumihiko⁶; HATTORI, Takashi³; IWATA, Ikuru³; IMANISHI, Masatoshi³; TERADA, Hiroshi³; CHOI, Young-jun⁷; WATANABE, Sei-ichiro⁸; YOSHIKAWA, Makoto⁴

¹ 国立天文台 岡山天体物理観測所, ² ソウル大学物理天文学科, ³ 国立天文台ハワイ観測所, ⁴ 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所, ⁵ 東京大学新領域創成科学研究科, ⁶ 東京大学大学院理学系研究科, ⁷ 韓国天文宇宙科学研究院, ⁸ 名古屋大学大学院環境学研究科

¹Okayama Astrophysical Observatory, National Astronomical Observatory of Japan, ²Department of Physics and Astronomy, Seoul National University, ³Subaru Telescope, National Astronomical Observatory of Japan, ⁴Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency, ⁵Graduate School of Frontier Science, The University of Tokyo, ⁶Graduate School of Science, The University of Tokyo, ⁷Korea Astronomy and Space Science Institute, ⁸Graduate School of Science, Nagoya University

We present a unique data set of the taxonomic type of near-Earth asteroids (NEAs) accessible with available spacecraft.

The research on NEAs has entered a new phase thanks to sample-return space explorations together with state-of-the-art large ground-based telescopes. We made observations of twelve asteroids with Subaru, GEMINI-North, GEMINI-South and Okayama 188cm telescopes. They have low delta-v orbits with potential to be investigated by manned/unmanned spacecraft. Also, ten sub-km-sized bodies are included in them, and are one of remarkable characteristics in terms of an evolutionary scenario.

We find that eleven asteroids are classified as S-complex and one asteroid as V-type. Most S-complex asteroids (eight out of eleven, ~70%) have spectra similar to subgroups of Q or Sq-type, suggesting that these objects are less matured against space weathering.

In this presentation, we show their spectra and discuss dominance of S-complex asteroids based on the previous research.

キーワード: 小惑星, 可視分光観測, スペクトル分類

Keywords: asteroid, visible spectroscopy, taxonomic classification

太陽系小天体の発見観測と位置観測に特化した可視広帯域フィルターの開発と性能評価
Development of a wide-band optical filter optimized for deep imaging of small solar-system bodies

奥村 真一郎^{1*}; 西山 広太¹; 浦川 聖太郎¹; 坂本 強¹; 高橋 典嗣¹; 吉川 真²
OKUMURA, Shin-ichiro^{1*}; NISHIYAMA, Kota¹; URAKAWA, Seitaro¹; SAKAMOTO, Tsuyoshi¹; TAKAHASHI, Noritsugu¹; YOSHIKAWA, Makoto²

¹ 日本スペースガード協会, ² 宇宙航空研究開発機構
¹Japan Spaceguard Association, ²JAXA

太陽系小天体のように太陽光を反射して光る天体の発見観測、位置測定観測に特化した可視広帯域フィルターを設計、製作し評価を行った。「Wi」フィルターと名付けた新設計のフィルターは市街光、特に水銀やナトリウムの輝線の影響を減らす設計となっている。(1) 人工光の多くはVバンド帯の波長に集中していること、(2) 太陽光スペクトルの「フォトン数」のピークは 6350Å にあること、(3) 多くの小惑星は可視光の波長範囲において 7000Å 前後に反射率のピークがある事、を理由に新フィルターのカットオン波長は Schott のガラスフィルター「OG590」を使用することにより 5880Å に設定した。一方、カットオフ波長は OH 夜光の影響、9400Å にある水蒸気の吸収帯を考慮して 9400Å とし、これは干渉膜により仕様を満たす。

これまで使用していた、市販品の波長カットフィルター (Wフィルター、4900-9100Å) を使用する場合と比べ、Wiフィルターにより空の明るさは人工光の影響の場合のみならず月明かりの散乱光に対しても 10-20%減らすことが出来た。小惑星観測時において、Wフィルターと比べてWiフィルターは透過波長範囲を 16%狭くしているにもかかわらずWiフィルターの使用により小惑星の出力フラックス値は 3% 増えた。結果、Wiフィルターの使用により小惑星観測時の信号対雑音比を平均で 6 % 向上させることができた。完全空乏型 CCD のように長波長側で感度の高い CCD を使用する場合にはさらに大きな改善が見られると思われる。

参考:

Wide-Band Optical Filter Optimized for Deep Imaging of Small Solar-System Bodies,
Okumura *et al.* Publications of the Astronomical Society of Japan, **64**, 47 (2012)

キーワード: 可視, 太陽系小天体, 光害, 広帯域フィルター

Keywords: optical, small solar system body, light pollution, wide-band filter

ほうおう座流星群の出現予報 Prediction of Phoeicid in 2014

首藤 宙伸¹; 佐藤 勲^{2*}
SHUTO, Hironobu¹; SATO, Isao^{2*}

¹ 日本大学, ² 日本天文学会
¹Nihon Univ., ²Astronomical Society of Japan

1956年に大出現したほうおう座流星群は、ブランパン彗星 (289P/Blanpain) を母天体とする流星群で、2014年に出現する可能性がある。ブランパン彗星は、1819年に彗星として発見されて以来、長く見失われており、1819年にバーストを起こした可能性が考えられる。このため、1956年の大出現は、1819年のダストトレールの接近によるものである可能性が考えられ、今年の大出現の可能性についても、この観点から検討が進められている。また、ブランパン彗星の平均公転周期は5.27年で、木星と9:4の共鳴関係にあり、95年周期がある。従って今回は、2051年に大出現することが予想されている。

キーワード: 流星
Keywords: Meteors

小惑星天体を形成する多状態混合固化物質 Solidified and mixed materials on Asteroid body

三浦 保範^{1*}
MIURA, Yasunori^{1*}

¹ 国内外大学
¹In & Out University

本研究は次のようにまとめられる。

- 1) 小惑星の研究は、地球内外天体の創成期物質のでき方に貴重な情報を提供してくれる。
- 2) 小惑星の表層物質は地球の固体岩石鉱物の集積で考えられているが、地球の鉱物結晶と同じ物質同定法を使うのでわかりにくい。しかし小惑星物質は多状態を混合した非晶質を含む固化物質である。
- 3) 小惑星天体は、衝突溶融形成により非球形表面で形成されているのは、微粒子衝突で不均質不規則分布から推察できる。
- 4) 小惑星の多状態含有固体物質の内部分布と保存などにより、衝突孔内部に流体質の特徴が観察される可能性がある。
- 5) 小惑星起源隕石が地球岩石と形成が異なることがイオン衝撃実験でわかる。地球の多層に分かれる結晶質岩石（マグマ溶融）物質は、かたいケイ酸塩構造が形成されているので、最初にイオン衝撃で発生するのはアルカリイオン (Na,K,Ca) が多い。小惑星表面の岩石は、衝突熱の形成のため、イオン衝撃で脆弱なケイ酸 (Si,Al) が破壊されやすく高い発生になることが多い。
- 6) 地球の衝突岩石は、原岩のケイ酸構造がかたいので地球の深成岩と同じイオン衝撃の形式を示すことが多い。主な差異はマクロな破碎組織でなく、高温からの急冷か徐冷による原子結合の軟弱か均質強化の違いである。
- 7) 小惑星の岩石は無大気・無水天体であるので、直接に衝撃形成された多状態含有固体相と衝突しながら多状態が媒体となって粒子が増大する、「衝突進化物質」を示す。
- 8) 地球創成期は小惑星と同じ衝突形成で不規則表面が地球に残存している。内部の軽元素流体が大量に放出し（巨大衝突）、大気から凝固した海水層を形成する三状態圏の循環層を示すのでマクロ生命体が発生している。小惑星には三状態循環圏が全体でないで、局所的な状態変化によるマイクロ疑似物質が高解像度電子顕微鏡でその場観察または地球への持ち帰り試料観察される。
- 9) 小惑星の多状態含有固体物質は液体・気体分子が固結時に非晶質化した固体で、容易に人工的衝撃で離脱して固体化部分を異常に強調した物質を観察することになるので、現地でのその場の衝撃試料回収は避けるべきである。

キーワード: 小惑星, 固化集合体, 非晶質固化, 流体, イオン衝撃実験, ミクロ疑似体物質

Keywords: Asteroids, solid aggregates, amorphous materials, fluid, ion bombardment run, micro quasi life-like materials

マルチインパクト仮説による月と地球の起源 The Origin of The Moon and The Earth in Multi-Impact Hypothesis

種子 彰^{1*}
TANEKO, Akira^{1*}

¹SEED SCIENCE Lab.
¹SEED SCIENCE Lab.

マルチインパクト仮説による月と地球の起源

これは、地球と月の起源への新仮説、下記疑問と解釈への統一的な解決策の提案です。

- (1). 何故、地球では五度以上もの生物大絶滅が起きたのか?
- (2). 隕石には、未分化コンドライトと分化石質エコンドライト・鉄隕石が何故混在するか?
- (3). 何故、小惑星帯では惑星に成れなかった(旧説)のか? イトカワは分化した破片では?
- (4). 巨大惑星衝突説の問題点を解決する、月と深海底のオリジナル起源説を提案。
- (5). 何故、原始惑星セラが破壊したのか? = 木星摂動による軌道変形と潮汐力による悲劇。
- (6). 木星摂動によるセラ軌道の偏平率の増加と木星接近による潮汐力による破壊。
- (7). プレートテクトニクスの Plate 境界形成と、地殻の無い深海底形成の起源を提案。
- (8). 大陸移動と深海底更新の起源と、駆動力の謎を解明。
- (9). 何故、ダイヤモンドパイプが南アフリカに形成されたのか?
- (10). 何故、コア偏芯(約一割)が起きているのか? = ブラジル上空バンアレン帯の異常
- (11). 木星大赤斑の起源の新仮説、その何故と如何にを考える。
- (12). 何故、外惑星の冥王星(今は小惑星)がシリケイト星であるのか?

今までのジャイアントインパクト仮説は、月を作る為だけの理論である。
地球への火星サイズコア有り原始惑星が地球への偶然衝突の結果であり、
更に月がマントルだけ形成される条件を計算しているだけである。これはオリジナルな衝突仮説です。

原始惑星セラがボーデ法則のセレス位置に誕生した。分化した惑星セラは、木星摂動により楕円軌道が偏平化した。
エネルギー保存の為に長軸は一定である。セラの偏心率は増加し、太陽を焦点とするその軌道は木星近点側に伸びて接近する。

セラは木星と衝突する直前に、木星の潮汐力で断裂した。そのマントル破片が地球に衝突することにより、月が形成された。

セラが地球への衝突した位置が太平洋になり、プレート境界亀裂の起源となった。

更に時間差攻撃のマルチインパクトで複数の深海底も形成された。慣性モーメントの偏芯は大陸移動説や海底更新説の駆動力と推定される。

エネルギーが大きいマントル破片は冥王星になり、重く高密度なコアリッチ破片は内惑星側に飛散して水星になった。
セラの破片が木星へ衝突して、それが木星の大赤斑の起源となったことを私は推定した。

分化している鉄隕石・石鉄隕石・石質隕石と、未分化なコンドライトとが混在している事。

セレスが小惑星帯に存在するという事実は、隕石の起源はこの仮説によりすなおに納得できる。

マルチインパクト説は度重なる生物大絶滅の根拠となり、海が 70 % を占める理由でもあり、プレート境界亀裂の起源も理解できた。

この様にマルチインパクト仮説は、月を作るだけでなく地球の現状も統一的に説明できる。

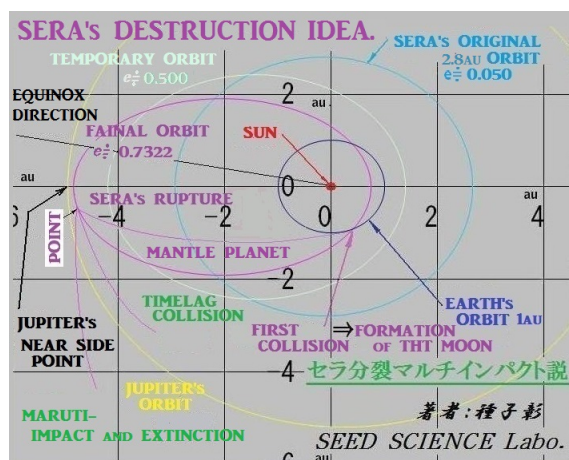
もし小惑星イトカワがセラ地殻の集合?等が確認できれば、本仮説の証明にもなると思われる。

キーワード: セラ潮汐破壊, 木星の摂動, セラの軌道変遷, 公転面の一致, フィーデングゾーン (集積範囲), 深海底の起源
Keywords: Serra tidal disruption, Perturbation of Jupiter, Orbit transition of Serra, Match of the planets revolving surface, Feedengue zone (integrated range), Origin of Deep Sea Bottom

U06-P24

会場:3 階ポスター会場

時間:4 月 28 日 18:15-19:30



アジアにおける Future Earth の重要性 Importance of Future Earth in Asia

安成 哲三^{1*}
YASUNARI, Tetsuzo^{1*}

¹ 総合地球環境学研究所

¹ Research Institute for Humanity and Nature

世界の自然科学者の集まりである International Council for Scientific (ICSU:国際科学会議) と人文社会科学者の集まりである International Social Science Council (ISSC: 国際社会科学協議会) が中心となって、地球環境変化研究と持続可能な地球社会の構築をめざした Future Earth という新しい国際的な枠組みが動きつつある。1970年代から地球環境の危機がさまざまなかたちで指摘されてきたが、21世紀に入っても地球環境は決して良くなっているとはいえない。温室効果ガス増加の抑制に向けた国際的な取り組みを含む「地球温暖化」への対策など、進められている面もあるが、水資源、大気や水汚染問題、生態系の破壊など、地球環境全体としてはより深刻化しているといっても過言ではない。Future Earth は、地球環境変化を包括的に理解しつつ、持続可能な人類社会の構築に向けて、研究者だけでなく、社会全体として行動を提起していこうという枠組みである。本稿では、まだ端緒についたばかりの Future Earth の設立経緯と現在の動向を説明し、今後、日本として、どう Future Earth に対応していくべきか、とくに Future Earth のアジアにおける重要性を含め、私なりの提案も含めて紹介したい。

キーワード: Future Earth, アジア
Keywords: Future Earth, Asia

地球温暖化リスクのトレードオフと社会のリスク判断 Trade-offs in climate risks and societal risk decision

江守 正多^{1*}
EMORI, Seita^{1*}

¹ 国立環境研究所
¹National Institute for Environmental Studies

国連気候変動枠組条約における国際交渉では、温暖化対策の長期目標として「産業化前を基準に世界の平均気温上昇を2℃以内に抑える観点から対策を行う必要がある」という認識が合意されている。昨年9月に発表されたIPCC第1作業部会の第5次評価報告書によれば、この目標を50%の可能性で達成するためには、人類が今から将来にわたって排出する二酸化炭素の総量を300 GtC程度に抑える必要がある。現在の世界の排出量は年間10 GtC程度であるので、仮に現在の排出量が毎年続くとした場合で、わずか30年でこの制限に達してしまう。「2℃以内」の目標を本気で目指すのであれば、世界の二酸化炭素排出量をできるだけ速やかに減少に転じさせ、今世紀末を目途にゼロに近づけていかねばならない。

温暖化の影響についても対策についても多くの研究があるが、それらの全体像には大きな不確実性がある。世界平均気温で「2℃」を超える温暖化が人間社会や生態系にどんなリスクをもたらすかも、徹底的な排出削減対策が社会経済にどんなリスクをもたらすのかも、現時点で正確に把握できる人はいない。また、そのようなリスクの発現の仕方は国、地域、世代や様々な社会属性によって異なり、温暖化を放置したとしても、徹底的に対策をしたとしても、それぞれの場合で「得をする」人と「損をする」人が生じるだろう。さらに、温暖化の影響をどう捉えるかは単なる損得の問題ではなく、生態系や途上国や将来世代に押し付けられたリスクにどの程度心を痛めるかといった、人によって異なる価値判断が関わってくる。専門家が持つ専門知識を社会の価値判断と接続することにより、科学的な合理性が高いと同時に社会における納得感も高いような意思決定を導く作業を丁寧に行う必要があると考える。

熱帯泥炭地・低湿地におけるモニタリング-センシング-モデリングによるMRVシステム Integrated MRV system using Monitoring-Sensing-Modeling in Tropical Peatland and Wet/lowland

大崎 満^{1*}; 広瀬 和世²
OSAKI, Mitsuru^{1*}; HIROSE, Kazuyo²

¹ 北海道大学大学院農学研究院, ² 財団法人宇宙システム開発利用推進機構
¹Research Faculty of Agriculture, Hokkaido University, ²Earth Remote Sensing Division, Japan Space Systems

地球上に残っている熱帯森林は、おもにアマゾン、中央アフリカ、東南アジアの泥炭地に多く、特に、カリマンタン、スマトラ、パプアニューギニアで顕著で、巨大な炭素集積庫となっている。また、東南アジアには低湿地生態が多く、食糧生産、住民の生活、気候変動への緩和策や適応策といった生産生態として極めて重要である。これら低湿地生態は、土壌が肥沃で自然との共生系が確立し、多くの人口を養うことができた。このようなシステムを、人-自然共生系、日本語ではサトヤマ生態系とよび、カンボジア、タイ、ミャンマー、インドネシア、マレーシア、フィリピン、バングラデッシュにみとめられる。このように、泥炭や低湿地では、炭素蓄積系で国際的にも極めて重要な生態系である。UNFCCCのSBSTA38 やワークショップでは、泥炭、沿岸生態（マングローブ、珊瑚礁）、永久凍土を高密度炭素生態と呼び、重点研究を推奨している。

コペンハーゲンのCOP15で温暖化ガスの生態系からの放出評価するMRV（計測・報告・検証）のために、リモートセンシングと地上部モニタリングを統合することが求められた。JST-JICAのSATREPSプロジェクト「インドネシアの熱帯泥炭・森林における火災と炭素管理」において、コペンハーゲンのCOP15提言にそってMRVシステムを世界に先駆けて構築し、炭素量マッピングと炭素フラックスマッピングに成功し、生態炭素モデルとなっていくと期待される。

キーワード: サトヤマ生態, 計測・報告・検証, レッドプラス, 熱帯泥炭, 低湿地, 高密度炭素生態
Keywords: Satoyama Ecosystem, MRV, REDD+, Tropical peatland, Wet/low lands, High Carbon Reservoir Ecosystem

海洋生態系サービスの保全と持続可能な利用に関する国際ガバナンスの現状 Current state of international governance on conservation and sustainable use of marine ecosystem services

八木 信行^{1*}
YAGI, Nobuyuki^{1*}

¹ 東京大学大学院農学生命科学研究科
¹ Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo

海の恵み（すなわち海洋の生態系サービス）を国際社会が適切に管理し、最適利用することが国際的な課題となっている。実際、生物多様性条約（CBD）においてはEBSA（Ecologically or Biologically Significant Areas）に関する議論が、また国連食糧農業機関（FAO）においてもVME（vulnerable marine ecosystem）に関する議論がなされ、生物多様性の保全上重要度が高い海域の抽出などが進みつつある。これらは、既存の枠組みの中で法的拘束力を伴わない海域保全の枠組みを議論している性格であるが、加えて、公海域における生物多様性を保全と持続可能な利用を行うための国際条約を交渉するか否かに関して議論する作業部会が、国連で逐次開催されている。作業部会の正式名は「General Assembly Ad Hoc Open-ended Informal Working Group to study issues relating to the conservation and sustainable use of marine biological diversity beyond areas of national jurisdiction」であり、結論を第69回国連総会（2014年の冬）の終会までに出すこととされている。

しかしながら、これらの国際的な議論は、漁業操業を規制することだけに焦点が当たっており、海洋生態系や生態系サービスそのものを保全するとの視点が欠けている点が問題であると考えられる。ただし、生態系サービスを保全するために法的な管理を実施するとすれば、誰によるどのような活動を管理するか特定する必要があり、公海の場合は様々な人的活動（陸上期限ものも含めて）存在しているため、この特定作業が簡単ではないとの問題も生じる。むしろ法学的なコントロールよりも生態系への支払いといった経済的な手法を検討することが有効である可能性も考えられる。

キーワード: 生態系サービス, 国連海洋法条約, 生物多様性条約, 国連食糧農業機関
Keywords: Ecosystem services, UNCLOS, CBD, FAO, EBSA

持続可能な地球環境へ向けた国際共同研究の国内外でのプラットフォームの形成 Global and regional platforms for integrated environmental and sustainability studies

谷口 真人^{1*}
TANIGUCHI, Makoto^{1*}

¹ 総合地球環境学研究所

¹ Research Institute for Humanity and Nature

持続可能な地球環境に向けての国際共同研究イニシアティブである Future Earth は、国際科学会議 (ICSU)・国際社会科学会議 (ISSC) などの学術コミュニティと、IGFA や Belmont Forum などの研究資金提供団体、UNE, UNEP, UNESCO の国際機関等が様々なステークホルダーと協働し、地球環境を包括的に理解し、地球規模課題の解決に資する研究の総合的な推進を目指す国際協働研究の枠組みである。3つのテーマである (1) 地球のダイナミック変動、(2) 地球規模の開発と発展 (3) 持続可能な地球社会への転換 のもとに、2014 年から 10 年計画でスタートする Future Earth は、課題解決型の自然科学・社会科学・人文科学の枠を越えた統合的・学際的な研究であるとともに、利害関係者が協働で研究の立案・実行を行う事などを特徴とする。

我が国におけるこれまでの地球環境研究は、主に Global Environmental Change (GEC) の4つのプログラム WCRP, IGBP, DIVERSITAS, IHDP を中心に、地球環境変動の理解を進めてきた。Future Earth ではこれらの GEC 研究に、Sustainable Development Goals に関する研究を加え、トップダウンフレミングとボトムアッププロセッシングを基本に、さらに統合的に地球環境研究を進めようとしている。また Future Earth は、これまでのように研究の最後にその成果を社会に実装するのではなく、初期の段階からすべての利害関係者が問題点を共有し、その解決に向けての道すじを共に考え (co-design)、科学と社会との合意形成を繰り返しながら研究成果を共創し (co-produce)、その成果を社会へ共に送り出す (co-delivery) 新しい方法であり、グローバルとローカルをつなぐリージョナルでの解決策の模索や、若手の登用、学際研究を超えた統合研究等を中心概念においている。

現在、この Future Earth の国際オフィスや地域ハブといった Future Earth core projects を支える事務局体制と、core projects の在り方自体が議論されており、特にこれまで、地球環境に関する多くの研究実績のあるアジア地域においては、日本が Future Earth の地域ハブとしての役割を果たし、研究者を含むステークホルダー間のネットワークを構築し、Future Earth 関連の研究に必要な手法・データ・能力などを提供するプラットフォームの形成が期待されている。またこのプラットフォームとネットワークの下でのキャパシティービルディングや人材育成に関しても、これまでの環境教育や環境人材育成の枠を超えて、ステークホルダー間の knowledge transfer の観点から、より広い枠組み作りが必要とされる。本発表では、Future Earth の core projects とその推進体制のありかた、および国内外でのプラットフォームの形成等について議論する材料を提供する。

キーワード: 地球環境変化研究, 持続可能な地球環境, フューチャーアース, プラットフォーム, キャパシティービルディング
Keywords: global environmental change studies, global sustainability, future earth, platform, capacity building

東アジア縁辺海の持続可能性イニシャチブについて On Sustainability Initiative for Marginal Seas in East Asia

山形 俊男^{1*}; クルズルーデス²; ハッサン ノーディン³
YAMAGATA, Toshio^{1*}; CRUZ, Lourdes J.²; HASAN, Nordin M.³

¹ 海洋研究開発機構アプリケーションラボ, ² フィリッピン 学術会議, ³ 国際科学会議、アジア太平洋地域事務所
¹ Application Lab, JAMSTEC, ² National Research Council, the Philippines, ³ ICSU, Regional Office for Asia and the Pacific

The marginal seas of East Asia (MSEA hereafter) along the western Pacific, geologically as the interface between the Pacific Ocean and the Asian land mass, have islands spread from the Bering Sea down to the Indonesian seas consisting mainly of the Japanese, Philippine, and Indonesian Archipelagos. The MSEA is very important to international commerce and global security as linkage of heavily populated megacities with active societal, economical and industrial activities.

The MSEA is also the region of the highest marine biodiversity in the world, and its coral reefs and waters around atolls and small islands serve as the spawning ground and nursery of many marine species including tuna and other pelagic species that serve as very important food commodities in the Pacific islands, the Asia mainland and North America. To conserve the health of the MSEA under the pressure from the global change is of our urgent need. The region also lies along the path of destructive typhoons that originate in the western North Pacific and affect the Philippines, Vietnam, Hong Kong, China, Korea, and Japan. It is known that the western North Pacific is one of the most active basins where about 26 typhoons are generated annually, majority of which enter the Philippine area. The latest typhoon, Haiyan, the strongest storm recorded at landfall and the deadliest Philippine typhoon causing storm surges ever recorded, impinged heavily on human life, food security, energy supply, health, wellbeing, and transportation and communication systems in addition to extreme destruction of property, the economy and the ecosystem of Central Philippines. The outpouring of support from the international community to help the Philippines rise out of the disaster is well appreciated particularly by the victims of typhoon Haiyan and its storm surges. Many lessons now learned can be shared to minimize the impact, improve the resiliency of communities and to ensure protection of people against the anticipated increase in the number of future disasters due to global climate change. The cold phase of the Interdecadal Pacific Oscillation which brought the apparent hiatus of the global warming will eventually change and we expect a dramatic climate regime shift as observed in 1976.

In the spirit of the Future Earth initiative of ICSU, we are proposing a collaboration mechanism to share knowledge and expertise for better well-being among ICSU members around the MSEA to work for solutions of relevant problems in the region. While focusing on the maritime region, the researchers will aim to contribute to the attainment of the goals of Future Earth, namely: 1) to develop the knowledge for responding effectively to the risks and opportunities of global environmental change, and 2) to support transformation towards global sustainability in the coming decades. The main region of the proposed study will be the Exclusive Economic Zone beyond the territorial limit (generally 12 nautical miles from shore) in MSEA as well as international waters relevant to the sustainable use of common areas. The collaboration will involve joint researches and capacity building particularly of young scientist in developing countries. We had the brainstorming pre-scoping workshop for SIMSEA in February in Yokohama, of which purposes are:

1) To exchange information and knowledge on the existing discipline-oriented research programs on the marginal seas in Asia and the western Pacific for integrative sustainability research program involving natural, social, economic, engineering and technological sciences.

2) To discuss and co-design a collaborative interdisciplinary research program on the marginal seas of Asia and the western Pacific that meets the criteria of research toward global sustainability under the framework of Future Earth.

We will summarize the outcome of the pre-scoping meeting and envisage the future of SIMSEA in accord with Future Earth.

キーワード: 未来の地球, 縁辺海, 東アジア, 数十年スケールの太平洋振動, 地球変化, 気候変動

Keywords: Future Earth, Marginal Seas, East Asia, Interdecadal Pacific Oscillation, Global Change, Climate Variations

Future Earth の議論のプラットフォームとしての Digital Earth Digital Earth as a communication platform for Future Earth

福井 弘道^{1*}
FUKUI, Hiromichi^{1*}

¹ 中部大学中部高等学術研究所国際 GIS センター

¹ International Digital Earth Applied Science Research Center, Chubu Univ.

情報化社会の本質は、サイバースペースにおける意志決定が、リアルワールドに先導的な役割を果たすことにある。従って実物世界のメタファーとして、いかに情報が欠落することなくサイバースペースを構築して利用するかは重要な課題である。サイバースペースを、デジタル化された地理空間情報に基づいて構築することによって、実空間から仮想空間への正確な写像が可能になり、様々な自然現象や社会経済活動などを仮想空間上に可視化できる。また同時に、この仮想空間を共有している人間とコミュニケーションを行い、相互理解・協調作業の場を提供できることになる。地理空間情報を多解像度や多次元で高度に活用することによって、再構築されるサイバースペースのことを、「デジタルアース」と呼んでいる。デジタルアースは、地球上の様々な問題複合体の全体像に漸近することを可能とするツールである。本発表ではデジタルアースを、多様なステークホルダーが参加して進められる Future Earth 計画のプラットフォームとして開発・利用することを提案したい。

インターネットを利用して誰もが地球上の任意の場所を宇宙から眺め、地表の様々な情報を探索することを可能にする技術が三次元デジタルアース・ジオブラウザである。これをプラットフォームに、モデル解析やシミュレーションを行い、その結果を可視化して議論を行い、また専門家の利用だけでなく市民が参加して市民科学者としてコミュニティマッピングを行い、意思決定支援ツールとして利用するなど、多様な展開が試みられている。社会を構成している様々な人が多様なセンサによる観測データ、統計、SNS などのテキストデータ、ビッグデータを提供し合い、位置情報利用の利用が促進されるメカニズムが動き出し、社会の基盤的な道具として GIS やデジタルアースの利用が始まっている。

科学は本来、単一の真理を探究するものであるが、現実はその発展段階にあるので、異なる見解に至る科学的知識やその実証データが存在しているのが実態である。従って、現に存在する認識の相違が、いったい何に起因するのか、問題複合体の全体像を学術を統合して多次元の視点からエビデンスベースに確認する過程は重要である。さらに今日のように時代（社会・地球）が大きく変化している時に、人類社会の将来に向けた行動を決定するためには、多数決や代議制によるデモクラシーではなく、公開された科学的根拠や実証データ・情報の下で意見が変化することも前提にした「熟議（デリバレーション）によるデモクラシー（討議型民主主義）」が求められている。本稿ではデジタルアースを基に、社会と科学の双方向のコミュニケーションを活性化し、エビデンスベースドデリバレーション研究を推進することを検討する。

具体的にデジタルアースは、統計や地図、衛星画像、環境モニタリングデータなどから構成される空間情報基盤を双方向サービスするクラウド、SNS やニュースなどをクロールし集積、事象データ（イベント）を双方向サービスするクラウド、それらから提供される多様な情報をその精度や不確実性など品質に応じて可視化して表示する「多次元情報表示装置」を備えたインタラクティブなゲーミングシミュレーションルームなどで構成される。これを活用する、環境コミュニケーション・リスクコミュニケーション、防災・危機管理演習、地球環境変動と Future Earth の検討など多様な研究者のユースケースを公募し、それらの利用結果に基づく知見を蓄積、解析することで、システム・制度の標準化を行い社会に還元する共同研究の推進を提案したい。デジタルアースは、1) マルチユーザーが想定できる（広い情報アクセス・情報提供/投稿の機会の提供と多様な表現と可視化が可能）、2) マルチスケールである（汎地球な課題からローカルな課題まで、過去からリアルタイムそして将来まで、シームレスに移動が可能）、3) マルチテーマである（データ統合が可能で、現実社会の仮想空間での再現が可能である）、といった特色を有する。

デジタルアースは、自然科学、社会・人文科学等の多数の研究領域を統合するだけでなく、専門家と市民、市民間の相互作用を促す、科学コミュニケーション・プラットフォームとして認識されている。その利用に伴い、知的財産権やプライバシーなどの倫理的な課題といった、新しく挑戦的な課題も表面化してきた。さらに、デジタル・ネイティブとなる次世代の教育のための、デジタルアース教育課程も議論されなくてはならない。また、具体的なデジタルアースの整備構築と利用の推進にあたり、産官学が共同参加するテストベットの構築も求められる。

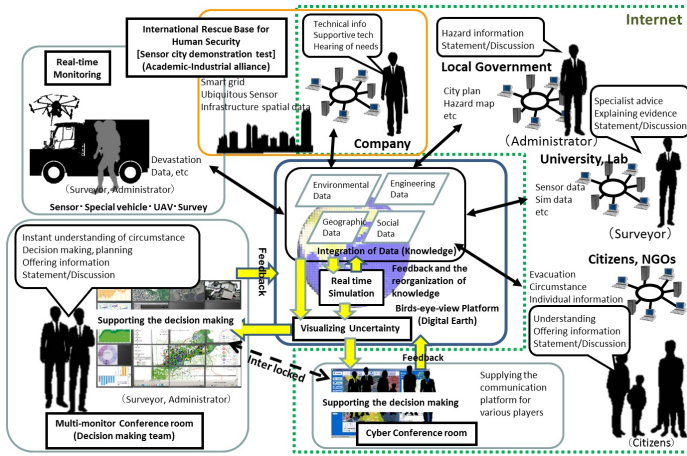
キーワード: デジタルアース, 地理情報システム, 市民科学, データジャーナリズム, 持続可能な開発のための教育 (ESD), Future Earth

Keywords: Digital Earth, Geographic Information System, Citizen Sciences, Data Journalism, Education for Sustainable Development, Future Earth

U07-07

会場:501

時間:5月1日 11:50-12:15



Future Earth と持続可能な開発目標 Future Earth and Sustainable Development Goals

蟹江 憲史^{1*}
KANIE, Norichika^{1*}

¹ 東京工業大学
¹Tokyo Institute of Technology

ミレニアム開発目標 (MDGs) が 2015 年に達成期限を迎える一方で、2012 年の国連持続可能な開発に関する会議 (リオ+20) において、全ての国を対象とした「持続可能な開発目標 (SDGs)」を策定し、ポスト 2015 年開発アジェンダに統合することが合意された。これは、MDGs に続く、いわゆる「ポスト MDGs」のあり方に関する議論をより複雑化する考えられている。ただでさえ議論の多い国際開発目標論議に、持続可能な開発という新たな視点を入れることになるからである。両者は一見親和性の高い課題とも考えられるが、実際には、「開発」と「環境」の実務・研究コミュニティ、そして行政区分は分割されており、両者の融合を現実のものとするには多くの困難が伴うと考えられる。

近年の多くの科学的知見は、地球許容量の限界 (Planetary Boundary) を指摘しており、既に気候変動、窒素循環、生物多様性等いくつかの分野ではその限界を超えているという知見もある (Rockstrom et al. 2009)。人類世 (Anthropocene) という概念は、地球は既に完新世 (Holocene) といわれる自然地質時代区分を超えて、地理生態学上において人間が中心的な役割を担うということをも提唱した。水不足、異常気象、食糧生産状況の悪化、生物多様性の損失、海面上昇等の新たな課題は、人間開発の基本条件を悪化するリスクを伴う。

こうした中、蟹江らの共同研究は、人類世という地球による資源環境制約が開発にとって無視できない時代における持続可能な開発を以下のように定義した。「今日及び将来世代の人類の繁栄を支える地球システムを保ちながら、今日の世代のニーズをみたくような開発」(Griggs et al 2013)。すなわち、すでにいくつかの領域で限界を超えている地球環境破壊の現状が、人類開発の状況の悪化を招いていることを勘案すると、持続可能な開発を経済、社会、環境の 3 つの対等な柱で構成されていると考えるヨハネスブルグサミット以来の考え方は限界に直面していると言わざるを得ない。21 世紀における持続可能な開発は、地球環境をその基本的な必要条件として、その上に経済や社会が成り立っているという重層的な考え方へと転換していく必要がある。従って、SDGs は一方で MDGs の根幹である貧困削減を追求し、他方で地球環境制約を考慮するという二つの基準を統合したものとなる必要がある。

こうした概念的複雑性は、SDGs の実現上も課題となる。SDGs を実現するには、いかにして科学的知見を政策実行の現実に反映していくかという点で、新たな挑戦を伴う。たとえば、気候変動に関する気候変動枠組み条約や生物多様性に関する生物多様性条約といった国際枠組みと、SDGs との関係はどうなるのか、どのように住み分けを行うのか、既存機関と SDGs との関係はどうなるのか、といった課題がある。あるいは、モニタリングに関しても、貧困人口などのこれまで MDGs でも行っていた方法に加え、SDGs には、例えば地球システム変化のモニタリング等も含まれることになる。地球システム変化に対応する人類社会の変化を促す起爆剤が SDGs だとすれば、SDGs の実行は非常に広範にわたり、また、大きな社会システムの変化を伴うものとなる可能性がある。

そうすると、実行可能性を確保するためにも、SDGs はその設定過程から、実行に関与することが想定される政策担当者やステークホルダーと協働することが効果的である。いわゆる協働企画 (co-design) である。そこからはじめ、協働生産 (co-production)、協働提供 (co-delivery) を実行することが、SDGs 成功の鍵となるといえよう。こうしたトランスディシプリナリーな研究は Future Earth が推進しようとする研究形態の一つであるが、その格好の先進事例となる潜在性を持っているのが SDGs であるといえよう。

キーワード: Future Earth, 持続可能な開発, 持続可能な開発目標, ポスト 2015 開発アジェンダ, ガバナンス
Keywords: Future Earth, Sustainable Development, Sustainable Development Goals, Post 2015 Development Agenda, Governance

How will Humanity Survive and Flourish on Future Planet Earth? How will Humanity Survive and Flourish on Future Planet Earth?

De Mulder Eduardo^{1*}
DE MULDER, Eduardo^{1*}

¹Earth Science Matters Foundation
¹Earth Science Matters Foundation

In the past half century the world has changed in an unprecedented way. For the first time ever humans observed their planet from outer space. Our species also has become a geologic factor while beginning to interfere with natural forces in the Earth to a scale which can no longer be ignored. These caused geographic modifications at the Earth's surface and geographic maps begin to show more and more distinct human imprints. Simultaneously, our knowledge about the Earth has increased to a level that the Earth crust's anatomy and composition is increasingly known and that we begin to understand how our planet works. Knowing the basic principles of the Earth processes paves the way to forward modelling and more and more accurately predicting the impacts of human interaction with planet Earth. That, in turn, provides tools to anticipate on both assets and threats for an increasingly large and complex human population. As long as we remain dependent on our home planet societies should benefit more from such rapidly increasing knowledge to balance development with the Earth's bearing capacity. Here, we describe recent progress in our knowledge of the Earth and some trends in human development. In combination, these may point to knowledge-based options on how human societies may cope with potentials and limitations posed by planet Earth in view with the ambitions expressed by the Future Earth science initiative.

Planet Earth by itself is not in danger and humans will never threaten its existence for another 5 billion years. But human activities will continue and possibly aggravate impacting the biosphere, the hydrosphere, and to a lesser degree, also the geosphere. Dimensions of such changes will be determined by physical factors in the first place but ability of human societies to cope with such changes also depends on cultural diversity.

Five global trends in human development are discussed: population, urbanisation, living standard, environmental awareness and science & technology. Together these trends point to a growing need for physical space to accommodate future human ambitions. Science and technology trends demonstrate accelerating potential abilities of human society to address such needs. As we proceed in the Anthropocene the need to integrate humanity issues and the geosciences will further increase while reconfirming the growing relevance of the discipline of the Human Geosciences.

So far, the Earth sciences play a modest role in the Future Earth initiative. That is in sharp contrast with global ambitions to arrive at a Green Economy, as expressed in Rio+20, to be developed in balance with the Earth's bearing capacities. Recent progress in geoscientific and technological research demonstrate the potential of such development. This has been widely exposed during the International Year of Planet Earth (IYPE, 2007-2009). This global initiative was proclaimed by the UN and was particularly successful in its outreach programme. In turn, the IYPE served as a model for developing the International Year of Global Understanding, spearheaded by the IGU, and for the UN Year of the Soil (2015).

Human ingenuity spurred discovery of larger natural resources than ever before to drive our economies to unprecedented heights. Future Earth might mobilize the brain powers accumulated in the heads of 400,000 Earth scientists around the world towards a sustainable economy.

データ統合による科学の知の創出 Scientific Knowledge Creation Supported by Data Integration and Information Fusion

小池 俊雄^{1*}
KOIKE, Toshio^{1*}

¹ 東京大学工学系研究科
¹ School of Engineering, The University of Tokyo

仮説を表式化し、それを観測、測定して実証することによって事実に基づく知識を生み出す演繹的推論手法と、逆に事実に基づく知識の集まりから新たな仮説を生み出す帰納的推論手法とが、ループを描くことによって、膨大な事実に基づく知識が形成される。その中で、移転、共有が可能となった形式知が科学の知である。

人類の歴史の中で、科学の知は爆発的な増加を遂げた。その結果、形式知となる過程、すなわち移転、共有を実現する段階で、対象分野の細分化が進んだ。その結果、部分システムにおける科学の知は集積されても、それらが全体システムに反映されない、あるいは全体システムや他の部分システムの影響を当該部分システムに取り込めないために、分化した分野間にまたがる問題の本質的な解決につながらないという事態となっている。

地球環境に関わる様々な学問分野と情報科学技術分野が連携して、地球観測データや数値モデル、社会経済データを効果的に統合し、情報を融合するデータ・情報基盤を構築し、その基盤上でさまざまな地球科学分野が協働して地球環境問題を解決に導く科学の知を創造するための分野間連携 (inter-disciplinarity) の確立が望まれるところである。

顕在化している地球規模課題の解決はもとより、新しく直面する課題に対しても、早期に課題の全体像を的確に把握し、効果的な対応策を見出すための科学の知を創造するとともに、その適用によって問題を解決し、公共的利益を創出することが求められており、科学と社会との連携 (trans-disciplinarity) の実現が望まれている。その実現には、環境科学の諸分野と情報科学技術分野の協力によるデータ・情報基盤の構築が不可欠で、その国内外への展開が求められている。

「データ統合・解析システム (DIAS)」は、最先端の情報科学技術と地球環境に関わる様々な科学技術の連携によって、1) 分野を超えて共有できる知の創造、2) 世界で共有できる知の創造、3) 体感できるデータと情報の提供、これらを実現するための、地球観測データや数値モデル、社会経済データを効果的に統合し、情報を融合するデータインフラである。DIAS を基盤にさまざまな科学分野が協働して地球環境問題を解決に導く科学の知を創造するための分野間連携 (inter-disciplinarity) と科学コミュニティと社会との連携 (trans-disciplinarity) の確立への取り組みが始まっている。

キーワード: データ統合, 分野間連携, 科学と社会の連携
Keywords: Data Integration, inter-disciplinarity, trans-disciplinarity

地理空間データとフューチャーアース：デジタル標高モデルを例に Geospatial data and Future Earth: a case of digital elevation models

小口 高^{1*}
OGUCHI, Takashi^{1*}

¹ 東京大学・空間情報科学研究センター

¹ CSIS, Univ. Tokyo

フューチャーアースは1998年にアル・ゴアが提唱したデジタルアースの概念と関連する。デジタルアースは世界の多様な解像度の地理空間データを整備して広く公開し、全球～地域スケールの環境問題の解決に効率的に取り組める状況の国際的な普及を目的としていた。次いで関連する国際プロジェクトも始まったが、アル・ゴアの大統領選挙での敗北もあり、21世紀の活動は相対的に地味なものとなっている。ただしデジタルアースの概念の一部は、世界中で日々活用されるようになったグーグルアースやビングマップスのようなインターネットサービスとして具現化された。これらのサービスは、主に多様な解像度の地図、衛星画像、航空写真の閲覧を目的としている。一方、デジタルアースには、科学や文化などに関するより多様な地理空間データを提供する計画も含まれていた。このためのデータの整備と公開は、一般的な地図や画像に比べると進んでいない。しかし徐々には進んでおり、その動向を理解しつつ地理空間データを活用し、フューチャーアースの活動に取り入れていくことが重要である。本発表では地理空間データのうち、もっとも基本的なものの一つであるデジタル標高モデル (DEM) を取り上げ、解像度の異なる DEM の世界もしくは地域における整備状況と、フューチャーアースと関連する DEM の応用事例を紹介する。

キーワード: フューチャーアース, 地理空間データ, デジタル標高モデル, デジタルアース

Keywords: Future Earth, geospatial data, digital elevation model, Digital Earth

超高解像度地球環境予測による Future Earth 研究の推進 Promoting Studies under Future Earth supported by Super-High Resolution Simulations on the Global Environment

沖 大幹^{1*}
OKI, Taikan^{1*}

¹ 東京大学生産技術研究所

¹Institute of Industrial Science, The University of Tokyo

人間が地球システムの一部であり、現在は人間活動が地球環境を変えつつある Anthropocene(人類世)に入っているという認識は一般的となったが、それはいつ頃からどのように展開してきたのであろうか。人口の増大や経済発展、都市化の進展が資源消費やいわゆる温室効果ガスの増大、土地被覆・土地利用の変化を通じて気候変動や資源枯渇、生態系サービスの劣化を招き、食料、水、エネルギーなどへの安定したアクセスへの障害や貧富の差の拡大、災害被害の甚大化をもたらして、結果としては健康で文化的な生活を阻害しつつあるとしても、世界各地の生態系、人間社会はどのように変化しつつあって、地域・地球環境とどのように相互作用しているのであろうか。

こうした問いに答えるには、産業革命以降現在までの 150 年と今後 150 年、あわせて 300 年にわたるいわば地球人間圏の大転換期を俯瞰し、日本、アジア、世界という領域を対象として、人間社会も含んだ地球環境の観測や現地調査、社会統計情報や地域・地球環境変化に関する歴史的資料の収集などによって人間社会環境変化のデータを集積し、時空間変動を統合的に解析・マッピングし、地球人間圏がどのように変動してきたのかをつまびらかに記述し、様々な地球人間圏要素間の相互作用環を解明する必要がある。

その基礎情報提供のため次のような超高解像度地球環境予測プロジェクトを提案する。対象は地球上の全大陸とし、最終的には 1km(30 秒) 格子でエネルギー、水、物質循環、炭素収支等を過去 150 年間、将来 150 年間にわたって推計し、人間活動に伴う社会変化、気候変動の影響を包括的に考慮しつつ、持続可能なエネルギーや食料、水などの資源、人間健康、生態系サービスのこれまでの変化や、今後懸念される問題点を超空間分解能で明らかにする。日本でも NICAM による世界で唯一の超高解像度気候予測、動的植生モデル SEIB-DGVM や人間活動も考慮できる陸面水文・水資源モデル H08/HiGW-MAT、氾濫を考慮した CaMa-Flood など先端的なモデル群、衛星による地球観測と地上観測を統合した DIAS、太陽光/風力などの潜在的発電容量推計モデル、社会経済モデル AIM/ALPSII や防災分野との連携などが揃っており実現可能性は高い。Future Earth に合わせて予備研究を開始し、早期の実現が期待される。

キーワード: フューチャーアース, オフラインシミュレーション, 超高解像度, 人新世

Keywords: future earth, offline simulation, super-high resolution, anthropocene

アジアの経済発展と地球環境の持続性 Asian Economic Development and Global Environmental Sustainability

杉原 薫^{1*}
SUGIHARA, Kaoru^{1*}

¹ 政策研究大学院大学
¹National Graduate Institute for Policy Studies

過去 20 年ほどのあいだに、成長アジアは、世界でもっとも多くの資源・エネルギーを輸入する地域になってしまった。いわゆる無資源国だけではなく、かつての資源国もほとんどが資源の輸入国に転じたからである。他方、東アジアでは、欧米を中心に発達した資本集約的・資源集約的な工業化がそのまま移植されたのではなく、比較的労働集約的で資源節約的な技術が発達してきたので、エネルギー集約度（GDP 1 単位を産出するためのエネルギー消費量）は低い傾向にあった。日本のエネルギー節約型技術は現在でも世界をリードする水準にある。こうして、東南アジア、南アジアを含む広域アジアは、いまや生産者としても消費者としても世界の資源・エネルギーの需給関係を規定する存在になりつつある。

言うまでもなく、モンスーンアジアは、ヒマラヤ山脈を焦点とする、地球最大の水・熱循環を作り出しており、そこに世界人口のほぼ半分が居住している。それは、熱帯・温帯といった区分を超える、文明と経済の大きなまとまりを歴史的に形成してきた。現在では、この地域が全面的に工業化・都市化しつつあり、そこでの資源・エネルギー利用が世界経済の動きを律しはじめているのである。

アジアの経済発展は地球環境の持続性にどのような影響を与えてきたのか。また、アジア地域が長期にわたって、固有の環境のなかで形成してきた経済発展径路は、それが地球環境全体に影響を及ぼし始めたとき、その将来をどのように規定するのであろうか。本報告では、この問題についての内外の歴史研究の成果を要約しつつ、現在の認識水準を共有したい。

なお、私は、現在日本学術会議「フューチャー・アースの推進に関する委員会」において、人文・社会科学がどのように貢献できるのかを考える立場にある。本連合の会員との交流をつうじて文理融合型研究の可能性を探ることができれば幸いである。

キーワード: アジア, 経済発展, 地球環境の持続性, 径路依存性

Keywords: Asia, economic development, global environmental sustainability, path dependency

Future Earth の視点から見た国際地学オリンピック International Earth Science Olympiad from the viewpoint of Future Earth

瀧上 豊^{1*}; 久田 健一郎²
TAKIGAMI, Yutaka^{1*}; HISADA, Ken-ichiro²

¹ 関東学園大学, ² 筑波大学生命環境科学研究科

¹Kanto Gakuen University, ²Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba

Future Earth —持続的な地球を考えると、大切なことは地球全体を知ることと国際的な協力であろう。地球全体を知る学問は地学（地球科学）であり、その国際的な competition である国際地学オリンピックは Future Earth とどのような結びつきがあるのだろうか？ 本講演はその視点から国際地学オリンピックを眺めてみる。

国際地学オリンピック (IESO) とは高校生のための国際科学オリンピックの1つで 2007 年第 1 回韓国大会から 2008 年フィリピン、2009 年台湾、2010 年インドネシア、2011 年イタリア、2012 年アルゼンチン、2013 年インドと毎年開催されている。参加国数もはじめの 6 カ国程度から 20 カ国以上になり、2016 年には日本の三重県で開催予定である。

この地学オリンピック事業のなかで Future Earth と大きく関連しているものをあげてみたい。

1) 国際協力野外調査 (ITFI)

国際地学オリンピックの他の科学オリンピックとの大きな違いはこの ITFI にあると思う。これは 1 カ国 4 名の参加高校生がバラバラになり、各国混合で 5 – 6 名のチームを作り野外調査を行い、その結果をまとめてプレゼンする企画である。個人のメダル対象の企画ではないが、その作業は各国の生徒同士が英語で相談しながら進めていく。内容は地学の内容だけでなく、地域の生活との結びつきに関連した事柄がテーマになることもある。若者にとって、このような国際共同作業は将来 Future Earth を考えていく上で、貴重な体験になると予想できる。

2) 参加国の増加

日本の地学みたいに地球科学の全分野を学習している国は少ない。しかし、参加国が増加していく傾向は、将来の地球全体にわたる環境問題などを考える上で、各国が地球科学の重要性を理解していることが 1 つの理由と考えられる。

3) 国際大会の問題

国際大会の問題は地質・固体地球、気象・海洋、天文・惑星の 3 分野に分かれているが、複合問題の出題が、現在、検討されている。このことも Future Earth を考えるうえで、重要なことと考えられる。なお、2016 年の日本大会では、Future Earth を意識した、複合問題を積極的に出したいと、個人的には考えている。

4) 日本の状況

地学が主要な大学理系受験科目でないために、地学オリンピックの受験者の約半分は文系であり、女子生徒も約 30% いる。また、国際大会参加 OB は地球科学だけでなく法学部や文学部、医学部へも進学している。このことは将来あらゆる分野の人が Future Earth を考える下地を持っていることになる。理想的にはすべての高校生が地学オリンピックを受験してくれるのが望ましいことであるが、日本の高校地学の履修率は他の 3 つの理科科目に比べて少ないのが残念である。

このように、地学（地球科学）を学び、地学オリンピックに参加することは、人間を含む地球全体を考えていくことが必要である地球の未来 (Future Earth) にとって、とても重要なことだと考える。

キーワード: 地学オリンピック

Keywords: Earth Science Olympiad

持続可能な地球への教育ー国際地理オリンピック The education for sustainable earth - The International Geography Olympiad

井田 仁康^{1*}
IDA, Yoshiyasu^{1*}

¹ 筑波大学
¹University of Tsukuba

国際地理オリンピックでは、国際水準の地理をめざし、各国からの問題が収集され、作成される。これらの問題は、マルチメディア、記述、フィールドワークの3タイプに分けられるが、いずれも地理の基礎的な知識の上に、将来の社会、地球をみずえる力を育成しようとする問題が作成される。特に、フィールドワーク試験では、現地の自然現象、人びとの生活を直接見ることで、現状の理解だけでなく、将来を見る目を養おうとする。翻ってわが国の地理教育をみると、現状の理解にとどまり、自然と人間の関わりおよびその変化を通して、将来を見据えようとする観点が欠けている。実際に、子の宇佐一理オリンピックでは、日本チームは、フィールドワークテストの点が低い傾向にある。これは、わが国の地理教育でフィールドワークがなされていないという技術的なこともあるが、将来を見据えようとする教育がなされていないことが、その主要な要因であろう。わが国の地理教育においては、地理的な知識に基づいて、地理的な観点から、将来を見据えていこうとする学習内容が促進される必要がある。これにより培われる能力は、国際的な地理コンテストで優秀な成績をおさめるということを越えて、持続的地球への教育として必要不可欠なものとなろう。

キーワード: 持続可能な地球, 国際地理オリンピック, 地理教育, フィールドワーク, フューチャーアース
Keywords: sustainable earth, future earth, geography education, international geography olympiad, fieldwork

インド洋-太平洋における沿岸域を含む海洋生態系の持続可能な将来 Sustainable Future of Coastal and Marine Ecosystems in the Indo-Pacific Ocean

植松 光夫^{1*}
UEMATSU, Mitsuo^{1*}

¹ 東京大学大気海洋研究所

¹ Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo

The Indo-Pacific Ocean Region encompasses diverse coastal ecosystems, as represented by coral reefs, mangrove forests, sea-grass beds, and even deep basin over 4000 m deep. These diverse environments harbor the unique and extremely high biodiversity of the region, known as the major biodiversity hotspot in the world. However, the region is also under serious threat of environmental decline from various human impacts due, for example, to loads of pollutants from land and habitat destruction associated with resort development and fisheries. There are also concerns about negative impacts of global climate change associated with ocean acidification.

As one of Future Earth initiatives, we should establish future perspectives and needs for strengthening sustainable ocean environment and development. A project aims at further expanding the network of the scientific and socio-economic studies and education on the Indo-Pacific Ocean Region, through (1) research collaboration applying new approaches and methodologies such as satellite remote sensing, molecular genetic analyses, and high-precision analyses of biogeochemical parameters, (2) integrative, inter-disciplinary ecosystem researches, and (3) establishment of core of coastal marine science and socio-economy in each country and multilateral network. Through these activities the project aims at enhancing education of researchers who will play major roles not only in domestic but also in international activities on global issues.

As a practical matter that impeded harmonized implementation of the program, there will be a large gap among the member countries in their funding capabilities, resulting in the shortage of funding in some countries. This may be partly due to the differences in political priorities for basic environmental and/or socio-economic research among countries. There are also problems that the importance and practical application of basic research to urgent environmental issues have not effectively been reflected in the response of funding organizations, policy makers, and/or popular audience, despite our efforts to demonstrate and disseminate these issues in various occasions.

Keywords: Indo-Pacific Ocean region, marine ecosystem, coastal region, biodiversity, inter-disciplinary research, impacts of global climate change

持続可能な地球の未来への地球惑星科学的展望 Geoscientific Perspective for Sustainable Future Earth

氷見山 幸夫^{1*}
HIMIYAMA, Yukio^{1*}

¹ 北海道教育大学
¹ Hokkaido University of Education

現在世界は多くの深刻な地球環境問題を抱えており、また震災や異常気象災害などの自然災害の増加に苛まれている。ICSU(国際科学会議)とISSC(国際社会科学協議会)が主導するFuture Earth(地球の未来)計画による地球環境研究と災害・防災研究の大規模な再編成は、そのような深刻な状況の改善をめざすものである。Future Earthは世界の持続可能性を高めるための研究計画であり、地球環境と人間活動との関係や自然災害を含む地球表層に生起する諸事象を研究対象とする地球惑星科学にとって、それへの貢献は全人類の使命である。日本地球惑星科学連合は2005年秋の日本学術会議改変に呼応して発足し、その際に5つの大括りの分野別セクションを設定、その一つとして地球人間圏科学セクションを設けた。これは当時世界的に見ても画期的なことであったが、その後発生した東日本大震災に際して幾多の関連するシンポジウムの開催に関わるなど、その成果は遺憾なく発揮され、また自然科学と人文社会科学との連携を重視するFuture Earth計画の本格化が迫り、今またその真価が問われている。地球人間圏科学はこれまで学際的観点から地球人間圏の自然科学的・人文社会科学的諸事象を研究し、様々な地球環境問題や災害の軽減に取り組んできた実績を活かし、地球惑星科学コミュニティのFuture Earthへの取り組みをけん引することができる。発表では、地球人間圏科学を含む地球惑星科学におけるこれまでの関連研究の成果を踏まえ、地球環境問題と災害の軽減に向け、地球惑星科学コミュニティの果すべき役割とその具体化への行程などを論ずる。

キーワード: 地球惑星科学, フューチャーアース, 地球環境問題, 持続可能性, 地球人間圏科学
Keywords: geoscience, Future Earth, global environmental problem, human geoscience, sustainability

日本地震学会における東日本大震災対応と学界の災害・環境対応のあり方 Actions to the Eastern Japan earthquake disaster by SSJ and to disaster and environmental issues in academic communities

田所 敬一^{1*}
TADOKORO, Keiichi^{1*}

¹ 名古屋大学環境学研究科

¹ Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

1. 日本地震学会の体制と東日本大震災後の対応

日本地震学会では、常設委員会として「災害調査委員会」を設置している。東日本大震災時は、現地調査の際に有用な速報的研究結果に関する情報収集を行い、学会の web サイト上でリンク集として公開した以外は、地震学会としての独自の調査活動は実施していない。災害調査委員会主導で学会独自の現地調査ができなかったことは、委員長として痛恨の極みである。

災害調査委員会の重要な責務のひとつは、地震・津波災害に関する学会間連携の窓口機能であり、東日本大震災後には、連合の環境災害対応委員会での活動とともに、地震工学会等の関連学会との「東北地方太平洋沖地震被害調査連絡会」に参画した。この連絡会は、他の地震災害にも対応するべく、現在では「地震被害調査関連学会連絡会」へと発展している。

別の常設委員会である広報委員会では、以下のような一般・マスコミへの啓発活動を行った：

- ・一般向け広報紙「なみふる」における東北地方太平洋沖地震の特集
- ・過去の学会広報紙から抜粋した東北地方太平洋沖地震に関係する記事のとりまとめと web サイトでの公表
- ・地震の基礎知識や災害対策等の一般向けに役立つような情報のリンク集の作成と web サイトでの公表
- ・一般からの問い合わせへの直接の回答
- ・記者懇談会の開催
- ・講演会・取材への講師等派遣依頼への対応

日本学術会議の中では、「東日本大震災の総合対応に関する学協会連絡会」に参画し、共同声明の採択、連続シンポジウムや学術フォーラムの開催に携わった。

2. 学界の災害・環境対応のあり方：不可分である災害と地球環境問題

東日本大震災の教訓は「自然災害と地球環境問題は不可分」ということであった。自然災害がきっかけとなった福島における全電源喪失事故の影響で、我が国は火力発電所の稼働率を上げざるをえなくなった。人間活動・経済活動を停滞させないためにはやむを得ない対応であるが、その結果、温室効果ガスの排出量が増すことになり、今度は地球環境問題への取り組みが課題となる。

このような一見異なる問題を統合して捉える目が、今後の地球惑星科学には必要である。そのためには、地球惑星科学界内での連携の推進が必要であることは言うまでもない。さらに、地球惑星科学は人類の繁栄の根幹に関わる学問領域であるとの意識の下、これを持続可能な人間社会の構築に生かすためには、学界外との連携が不可欠である。連合には学界内に留まらず学界外との連携の核としての役目も期待したい。

地震学会における東日本大震災への対応の経験から、緊急時の活動や学会（界）間連携を成功させるためには、平時における周到な準備をいかに整えるかが課題として浮かび上がった。地震学会の災害対応委員会内では、緊急時にどんな体制で誰がどんな調査を行うかのブレインストーミングが全くなされておらず、独自の災害調査ができなかった。また、学会間連携の青写真が描けておらず、連携した行動がいざ始めると対応に苦慮することが多かった。地球惑星科学界内での連携の推進に関しても同じであり、同じ地球惑星科学とは言っても異なる学問的背景をもつ学会間が連携するのは容易なことではない。次の大災害に備えて、平時から連携の準備を整えておくことが大事であり、まず手始めに、東日本大震災を教科書として「災害科学の中の地球環境問題」といったブレインストーミング的な研究会等を立ち上げてはどうか。

東日本大震災の復興にむけた日本地質学会の取り組み Activities of the Geological Society of Japan in support of reconstruction after the 2011 Tohoku earthquake disaster

高木 秀雄^{1*}
TAKAGI, Hideo^{1*}

¹ 早稲田大学 (日本地質学会理事, 社会貢献部会長)

¹Waseda University (JGS Director of Outreach and Geopark Affairs)

I introduce the activities of the Geological Society of Japan (JGS) in support of the reconstruction after the 2011 Tohoku earthquake disaster on behalf of the Social Contribution Committee of the JGS. The JGS asked its members to submit proposals in support of the disaster recovery, and six of nine research programs in 2011 and one of two in 2012 were adopted and supported by funds of the Society. The seven projects can be categorized into three research categories: 1. recovery of specimens from museums destroyed by the tsunami, 2. development of methods of decontamination to help deal with the radioactive material spread by the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident, and 3. surveys to recognize and quantify liquefaction caused by the Tohoku earthquake. The results of these studies were reported in poster presentations given at the JGS annual meetings and in newsletter articles published in 2012 and 2013. This report also introduces briefly the geopark activity that has been promoted by the JGS and its importance for local education in earth science including disaster prevention and mitigation in the eastern Tohoku coastal area (Sanriku area).

キーワード: 日本地質学会, 東日本大震災, 津波, 液状化, 除染, 博物館標本レスキュー

Keywords: Geological Society of Japan, 2011 Tohoku earthquake disaster, tsunami, liquefaction, decontamination of radioactive materials, recovery of museum specimens

活断層研究・古地震研究の震災における役割と今後の課題 Reframing the academic responsibility of JSAF on the basis of its activities after the 2011 Tohoku earthquake

穴倉 正展^{1*}
SHISHIKURA, Masanobu^{1*}

¹ 産業技術総合研究所 活断層・地震研究センター
¹ Active Fault and Earthquake Research Center, AIST

日本活断層学会は2007年の学会発足以来、おもに活断層が引き起こした地震を対象として災害対応に当たってきた。活断層というと内陸直下型地震の印象を持たれるが、海溝型地震も含めた海域活断層も対象としており、特に古地震学的な観点での研究においては、オン・フォールト、オフ・フォールトにかかわらず活動履歴の解明を行ってきた。

本学会の災害時における対応として重要な活動の1つは、地表地震断層や海岸の変動、津波など、地震に伴う地形・地質学的に現れた諸現象を、現地調査を主体にリモートセンシング等も取り入れて正確に把握することである。これは「現在は過去を解く鍵、過去は未来を測る鍵」として捉えているためであり、modern analogueが活断層研究、古地震研究の基本だからである。

2011年東北地方太平洋沖地震(M9.0)では、津波の浸水規模などが古地震学的に解明されていた869年貞観地震と類似していたことから、過去の地震、津波を探る研究が注目を浴びるようになった。しかし地震後に行われた現地調査により、津波堆積物の分布と実際の浸水域との違いなど、過去を探り未来を測る上での地形・地質学的な痕跡調査の課題も明るみになった。このほか地震に伴う海岸の沈降現象にも着目すると、海岸段丘が示す変動地形学的にみた長期的な変動との矛盾が未だに解決できていない。

その後2011年4月11日に発生した福島県浜通り地震(M7.0)は、内陸直下を震源とし、明瞭な地表地震断層が出現したため、多くの本学会関係者が現地調査を行った。出現した断層の位置・形状と変位量について詳細にマッピングしたところ、既知の断層である井戸沢断層および湯ノ岳断層とトレースがほぼ一致した。海溝型の巨大地震に誘発されて内陸活断層が活動する可能性は十分あり得ることであったが、両断層とも地震前の評価では、活動性が低く、しかも東北地方では珍しい正断層であったことから、これらが活動することはほとんど考慮されていなかった。実際に地震後に行われた複数の機関によるトレンチ調査においても、1回前の活動はいずれも1万年以上前まで遡り、活動性の低さを物語る。この地震に限らず、近年に国内で発生した内陸活断層による地震は、多くが変動地形学的にみて比較的不明瞭な断層を震源としており、従来の見方では認定しにくい活断層の検出とその評価が大きな課題の一つとなっている。

今回の震災を通して、活断層研究や古地震研究の立場からも様々な課題が改めて浮き彫りになったが、海溝型の超巨大地震にしろ、内陸活断層にしろ、再来間隔の長い地震の過去の活動を解明する上では、地形や地層の痕跡に頼るしか方法がなく、低頻度大規模災害の対策の上で、この分野が今後もますます重要になっていくことは疑いない。社会の期待に十分に答えるために、研究手法の高度化など学術的な議論の場としての学会の役割も非常に大きいと言える。

キーワード: 日本活断層学会, 2011年東北地方太平洋沖地震, 2011年福島県浜通り地震, 活断層研究, 古地震研究
Keywords: Japanese Society for Active Fault Studies, 2011 great Tohoku Earthquake, 2011 Fukushima Prefecture Hamadori Earthquake, Active Fault Study, Paleoseismological Study

東日本大震災に対する日本地理学会の取り組みと学協会の災害対応のあり方 Activity of the AJG to the Great East Japan Earthquake Disaster: Role of academic societies at a big disaster

熊木 洋太^{1*}
KUMAKI, Yohta^{1*}

¹ 日本地理学会／専修大学

¹ Association of Japanese Geographers / Senshu Univ.

東日本大震災発生に際し、日本地理学会は次の対応を行った。

1) 理事長を本部長とする災害対応本部を立ち上げ、各方面からの問い合わせへの対応、会員の現地調査活動等の連絡調整、他の学協会との連携・情報交換、会員による調査速報・解説・提言の専用ホームページ上での公開などを行った。

2) 空中写真判読やマッピングを重視する地理学の特性を踏まえ、上記本部内に津波浸水域の全域を明らかにする作業チームを組織して、3月28日に第1報を発信した（その後12月まで8回改訂）。

3) 会員等から寄付を募り、被災学校へ地理教材を贈った。

4) 2014年3月まで、東日本大震災関連の公開シンポジウムを10件開催（うち4件は福島で開催）。内容は自然地理学的観点のもの（津波、液状化、斜面災害・造成地災害、放射線量など）と人文地理学的観点のもの（被災住民の生活、復興あり方など）とがある。

大規模災害発生時には、地球惑星科学の学協会は、何が起こったのか、今後何が起こるのか、を解明する学術的な活動だけではなく、それを素早く、わかりやすく、広く発信すること、被災地の住民や政府・自治体のとるべき行動を専門知から支援すること、教育への支援などに積極的に取り組むべきであろう。JpGUとしても、フィールドに入って活動する研究者を支援するとともに、災害発生時のための社会に向けた窓口を持つことが重要であろう。

環境問題や災害に対する危機解決への地図学会からの貢献 Cartographic society's contributions to crisis resolution of environmental issues and disasters

有川 正俊^{1*}; 森田 喬¹; 鎌田 高造¹; 熊木 洋太¹; 佐藤 潤¹
ARIKAWA, Masatoshi^{1*}; MORITA, Takashi¹; KAMADA, Kouzou¹; KUMAKI, Yohta¹; SATO, Jun¹

¹ 日本地図学会

¹ Japan Cartographers Association

環境問題と災害における危機管理において地図は重要である。しかし、危機管理における地図供給・利用の現状が適切なものであるかは明確にされていない。本発表では、地図学会の観点から危機管理において、地図供給・利用がどのような貢献ができ、また現在どのような問題があるかを明らかにしたい。特に、以下の点に関して論じる。

- (1) 迅速性と品質
- (2) 被災地の状況に応じた地図供給の適正さ
- (3) 被災状況レベルに応じた地図供給のシナリオ設計
- (4) 紙地図とデジタル地図
- (5) 現在のハザードマップの検証
- (6) 意思決定・コミュニケーション・メディアにおける地図リテラシーの欠如
- (7) 国際貢献
- (8) ボランティアによる地図製作, 位置情報 SNS, ユビキタスマッピング
- (9) 時空間ビッグデータの利活用

キーワード: 地図, 災害地図, 航空写真, 地理空間情報, ハザードマップ, VGI

Keywords: maps, disaster maps, aerial photographs, geospatial information, hazard maps, Volunteered Geographic Information

地理空間情報を用いた災害対応支援活動 Disaster Response Support Activity based on Geospatial Information

畑山 満則^{1*}
HATAYAMA, Michinori^{1*}

¹ 京都大学防災研究所

¹ Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

災害時の対応作業を支援するアプリケーションやサービスはどのように変化してきたのだろうか。巨大災害発生の時期とともに追ってみた（図参照）。

1995年の阪神・淡路大震災時には、GUIの黎明期と重なっていることから、複数ウインドウを開き、情報を可視化するアプリケーションが注目を集めた。特に、地理空間情報（位置情報）を中心にデータを管理する地理情報システム（GIS：Geographic Information System）は、研究機関が積極的に利用したことや行政機関が災害対応業務に利用した例もあり、普及が促進された。また、地図データ作成のための航空写真を利用した被災状況把握の試みがなされ、高解像度衛星画像の利用の可能性も指摘された。震災以降は、インターネットプロバイダーも増加し、利用が安価で簡単になったことを受けて、自治体がホームページを開設し、様々な情報が発信されるようになった。

2004年に発生した中越地震では、このWeb2.0を代表するサービスであるブログにより避難所の情報などが発信された。また、1998年ごろに提案され、Web2.0の後押しもあり普及の兆しを見せていたWebGISを情報共有のためのプラットフォームとして利用した情報発信も国土地理院や民間NPOなどから行われた。これらのサービスの背景データとして、地図だけでなく衛星写真や航空写真が積極的に利用された。

2005年にGoogle Earthが頒布され、2006年にはクラウドコンピューティングが提唱されたことを機に、さらに変化が訪れる。2007年には、地理空間情報活用推進基本法が施行されたことを受け、空間情報の取得としてGPSなどの衛星測位システムが活発に利用され、GISで取り扱うデータが飛躍的に増えた。

東日本大震災では、カーナビゲーションシステムのサービス向上のために収集されているプローブ情報（各車両の位置情報）をデータソースとした道路通行実績が提供され、標準プロトコルを介してWeb上に公開されており、様々な機関のWebGISで閲覧、利用することが可能となった。

1980年代前半から開発がすすめられていたオープンソースGISを用いて、2010年のハイチ地震ではOpenStreetMapプロジェクトによるクライスマッピングの試みが行われている。これは被災地の地図情報をインターネット上でボランティアに整備するプロジェクトであり、GISの整備があまり進んでいない被災地の支援に新たな可能性を見せた。

以上のように、阪神・淡路大震災以降の個人利用のコンピュータ及び周辺環境の変化により、平常時の防災活動や災害時の対応活動における情報の収集、作成、分析は、行政や専門機関のみが行うものから、非専門家も行うことができるものに転換してきた。さらに、今後は、Web空間上に玉石混濁の情報があふれかえるビッグデータ時代を迎えることが予測されており、災害時に情報がないという状態から、災害時には情報であふれかえり、かえって混沌とする状態に移行することが予測される。

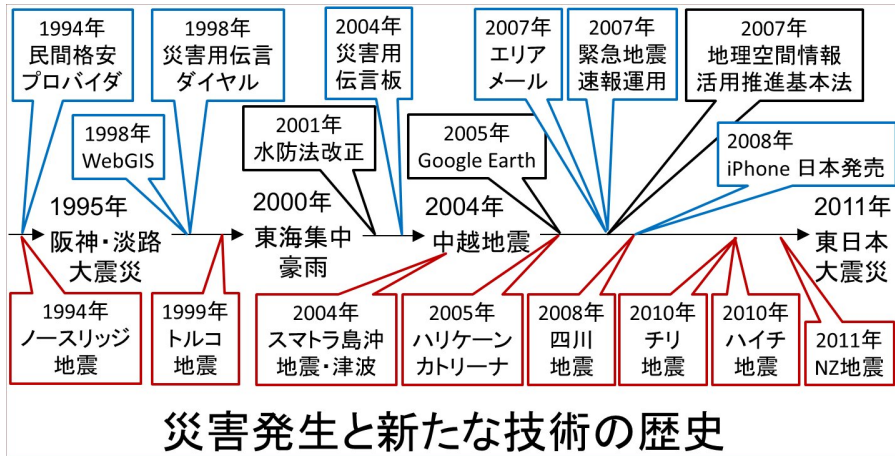
キーワード: 地理空間情報, GIS, 災害対応支援活動

Keywords: Geospatial Information, GIS, Disaster Response Support Activity

U08-06

会場:メインホール

時間:5月2日 10:15-10:30



福島第一原子力発電所事故に関わる環境汚染と大気科学の役割
Environmental pollution by the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident and role
of the atmospheric science

中島 映至^{1*}

NAKAJIMA, Teruyuki^{1*}

¹ 東京大学大気海洋研究所

¹ Atmosphere and Ocean Research Institute

There are several past and future issues to be discussed regarding the role of the atmospheric science in the accident of the Fukushima Daiichi nuclear power plant. SPEEDI model results were not effectively used in the evacuation plan by the government. It was found, on the other hand, that the performance of atmospheric chemistry transport models are comparable to or better than that of SPEEDI, for simulation of distribution of radioactive material over the wide area contaminated by the accident. In that situation, a bottom-up process were useful to gather results of simulation and in situ measurements by volunteer scientists to be utilized in the decision process of the government. The Science Council of Japan is now under discussion of establishing an emergency action manual for gathering data and knowledge by scientists to be shared by professionals to make useful outputs to government and public. As also indicated by the IPCC assessment process for climate change, it is important to present uncertainties included in the scientific knowledge to be released. In this regard, it is important for the atmospheric science to contribute to reducing the uncertainties through a further progress of the atmospheric dynamics, physics, and chemistry modeling system and through establishing more robust monitoring system of weather and other quantities. I like to discuss these issues for improving our ability to reduce damage caused by future disasters that may happen.

水文科学会は東日本大震災にどう向き合っていくのか How JAHS will manage the Great East Japan Earthquake?

近藤 昭彦^{1*}; 安原 正也²; 塚本 齊²
KONDOH, Akihiko^{1*}; YASUHARA, Masaya²; TSUKAMOTO, Hitoshi²

¹ 千葉大学環境リモートセンシング研究センター, ² 産業技術総合研究所
¹CEReS, Chiba University, ²The National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

日本水文科学会は水文科学を核として研究者が集う学術団体であるが、水は環境を形成するとともに、人間活動にとって不可欠な資源でもある。よって、人間活動と水循環の関係も重要な課題であり、1999年の世界科学会議におけるブダペスト宣言の中の”Science in the Society, Science for the Society”、2010年の日本学術会議「日本の展望」における“社会のための学術”を強く意識した活動も行っている。特に2011年3月11日の東北太平洋沖地震以降は、社会の中で科学が果たす役割を強く意識することになった。

東日本大震災以降は津波、原子力災害に関して学会連携による活動を行ってきたが、ここでは東電福島第一原発事故により環境中に放出された放射性物質の沈着とその後の移行に関わる社会と科学の役割について述べたい。それは、放射性物質が沈着した後の移行、再配分課程はこれまで水文学が蓄積してきた知識が活用できる場であるからである。

環境中に沈着した放射性物質の今後の挙動に関する研究は、メカニズム研究と分布研究に分けられる。前者はすでに複数の学会や機関が実施し、優れた成果が得られている。しかし、後者に関してはまだ調査・研究が十分とはいえない状況である。文部科学省による航空機モニタリング等の成果もあるが、分布について議論する際の鉄則が十分考慮されていない。地理学や生態学の分野では分布を扱う際には必ず縮尺と同時に議論を行う。それは、縮尺により地図で表現できる情報の種類、観点が異なってくるからである。文部科学省によって公開された広域の空間線量率、沈着量のマップは避難区域の線引きを行うためには大いに役立ったに違いない。しかし、環境回復、帰還、復興の段階では大縮尺のマップが必要となるのである。なぜなら、最も酷く放射性物質に汚染された阿武隈山地は山村であり、そこにおける暮らしは田畑、居住地だけではなく、里山流域の水・物質循環に大きく依存しているからである。だから、地域の方々は山林除染を強く要望したのである。国は山林除染は当初行わない姿勢であったが、地域の要望に押されて検討するという事になっている。しかし、山林の汚染状況については十分な調査が行われている訳ではない。ここに科学セクターの役割がある。このような背景から、山地斜面の汚染の状況調査を歩行サーベイ等の手法を用いて調査し、地域と共有しながら今後の方策について議論しているところである。

原発事故から3年目に入り、相次いで計画的避難区域の見直しが行われ、一部の地域では避難指示解除準備区域に変更されることとなった。帰還を望んでいる住民が最も気に掛けているのは水である。山村には広域水道はなく、里山流域から取水する簡易水道が水源だからである。水文学の知識によると地下水の滞留時間は一般に長く、取水深度が深くなると数百年といった年代にも簡単に到達する。実際に川俣町山木屋地区において生活水源のフロンによる年代測定を行ったところ、概ね30年以上であった。適切な場所に深井戸を掘削すれば水資源に関する問題は解決できると考えられる。地域の水循環のあり方に関する知識、経験を問題の場において活用することが科学者の役割でもある。

一方、東電福島第一原発建屋周辺における汚染水問題が重要な課題として浮かび上がってきた。海外からの報道等によると、日本には地質技術者、水文技術者が不足しているとみられていることが明らかであった。これは日本の科学コミュニティにとって看過することができない重要な問題である。原発建屋は海岸段丘として形成された台地の一部を掘削した場所に建てられている。敷地全体は谷によって囲まれており、ほぼ独立した台地上に立地している。このような地形条件では独立した局地下水流動系が形成され、台地面で涵養された地下水が周辺の低地から流出する。阿武隈山地からの地下水は地域（広域）地下水流動系に属し、その流束は小さく、多くは海岸段丘を刻む谷底や海底に流出し、その滞留時間は極めて長いはずである。問題は敷地の載っている台地における局地下水流動系であることは水文学者ならば誰でもわかることであった。日本には優れた技術者、研究者がたくさんいるのになぜ放置されたのか。政治と科学の関係が日本の重要な課題の一つである。

科学は社会の中にあり、社会によって支えられている。よって、社会のための科学を目指すべきである。問題解決を共有する枠組みの中で、科学の役割をどのように果たすのか。我々は考えなければならない。

キーワード: 日本水文科学会, 原子力災害, 福島, 水文科学の役割, 分布図とスケール, 地下水流動系

Keywords: Japanese Association of Hydrological Sciences, nuclear disaster, FUKUSHIMA, the roll of hydrological sciences, distribution map and its scale, groundwater flow system

福島事故起源の放射性物質の陸域から水域への移行 Transfer of radionuclides to river by Fukushima Daiichi NPP

恩田 裕一^{1*}
ONDA, Yuichi^{1*}

¹ 筑波大学アイソトープ環境動態研究センター

¹ Center for Research in Isotopes and Environmental Dynamics, University of Tsukuba

福島原発事故により地表に降下した放射性物質は、その後、土壌や河川等を通じて拡散することが予想される。そこで、様々な土地利用の地域における放射性物質の存在量・移動量の測定、森林を含む多様な土地利用からの放射性物質の再飛散量の測定を大学共同グループとして2011年7月以来行っている。調査内容は、森林から野放射性物質の移行、水の移動に伴う、放射性物質の土壌水・地下水・渓流水・河川水への移行調査と、様々な土地利用での土壌区画からの土砂および放射性物質の河川への移行モニタリングを行った。

調査地域は、阿武隈川水系口太川上流域の川俣町山木屋地区である。調査対象地のCs-137の沈着量は300~600kBq/m²である。畑地、採草地、牧草地、およびスギ林を含む5カ所の傾斜地と試験水田を選定し、区画内からの土砂・放射性核種の流出量の観測を行った。また、阿武隈川流域を中心に30カ所の測定点において、浮遊砂を通じた放射性物質の移行量についてモニタリングを行っている。

3年近い調査の結果、侵食土砂のCs-137濃度はあまり減少していない一方、水田からのCs-137浮遊砂濃度には減少が見られた。河川を通じた浮遊砂中のCs-137は減少を続けており、現在のところ2重指数関数モデルにフィッティングされるような変化が見られていることがわかった。

キーワード: Cs-137, 福島第一原子力発電所, 土壌侵食, 浮遊砂, 河川, フラックス

Keywords: Cs-137, Fukushima Daiichi NPP, soil erosion, suspended sediment, river, flux

湖沼生態系での環境放射性物質のストックとフロー Stock and Flow of Environmental radionuclides in Lake ecosystem

野原 精一^{1*}
NOHARA, Seiichi^{1*}

¹ 独立行政法人国立環境研究所
¹ National Institute for Environmental Studies

赤城山頂部の大沼（おの）は、湖水面標高 1,345 m、湖水面積 0.87 km²、集水域面積 4.185 km² のカルデラ湖である。冬季の 12 月中に完全結氷し、春季の 4 月中に解氷する。主な流入河川は覚満川のみで、湖岸には幾つかの湧水があり、流出は沼尾川と赤城大沼用水のみである。湖水の平均滞留時間は約 2.3 年である。生息する魚類は、ワカサギ、ウグイ、オイカワ、コイ、イワナ、ヨシノボリなどが確認されている。

2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所事故により、多量の放射性物質が大気中に放出され、福島原発から 190 km はなれた赤城大沼周辺にも放射性物質が降下した。当時の流域は多くが積雪に覆われ、雪解け時に大部分の放射性物質が湖沼に流れ込んだ。湖内に生息するワカサギの放射性セシウム濃度は、2011 年 8 月時点で当時の食品の暫定規制値 (500 Bq/kg) を越える 640 Bq/kg であった。原因究明と将来予測に基づいた対策が急務となり、群馬大学・群馬県水産試験場・国立環境研究所および武蔵大学とで環境省の環境研究総合推進費を使って 2 年間にわたり共同研究を進めてきた。

本調査の内容は、①降下した放射性セシウムによる土壌汚染の状況評価とその経年変化の観測、②赤城大沼における湖水、周辺土壌、湖沼底質、さらに魚類を含む水生生物の放射性セシウムによる汚染状況評価とその経年変化の観測、③赤城大沼の陸水学・水文学的調査および湖沼生態系の放射性セシウム汚染の基礎となる食物網の解明、などである。

その後徐々に減少して、1 年後の 2012 年 8 月時には 210 Bq/kg、2 年後の 2013 年 8 月時には 130 Bq/kg、そして最終測定値は 99 Bq/kg (2014 年 1 月時現在) となっている。湖水 ¹³⁷Cs レベルとワカサギ中 ¹³⁷Cs レベルは高い相関を示し、その濃縮係数は約 1400 である。動物プランクトンには 10~150 Bq/kg、湖水 0.10 Bq/L、底質 1000~2,500 Bq/kg-dry の大量の放射性セシウムが底質と湖水に蓄積し、そのうち 5g/m²/day の沈殿物が沈降して 1,000 Bq/m²/day が循環していると考えられる。

キーワード: 福島第一原発事故, 環境放射能, 湖沼生態系

Keywords: Fukushima daiichi nuclear plant accident, environmental radioactivity, Lake ecosystem

日本地下水学会の震災に対応した活動 Activities of JAGH relating to the earthquake disaster and disaster relief

中川 啓^{1*}; 徳永 朋祥²; 杉田 文³; 開發 一郎⁴; 嶋田 純⁵
NAKAGAWA, Kei^{1*}; TOKUNAGA, Tomochika²; SUGITA, Fumi³; KAIHOTSU, Ichiro⁴; SHIMADA, Jun⁵

¹ 長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科, ² 東京大学大学院新領域創成科学研究科, ³ 千葉商科大学商経学部, ⁴ 広島大学大学院総合科学研究科, ⁵ 熊本大学大学院自然科学研究科

¹Graduate School of Fisheries Science and Environmental Studies, Nagasaki University, ²Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo, ³Faculty of Commerce and Economics, Chiba University of Commerce, ⁴Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University, ⁵Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University

日本地下水学会では、2011年3月に起こった東北地方太平洋沖地震に対応して、次のような活動を行ってきた。

企画委員会(委員長:中島 誠)では、2012年5月26日に地盤工学会と水文・水資源学会を後援に迎え、シンポジウム「震災時の非常用水源としての地下水利用の在り方」を東京大学柏キャンパスにおいて開催した。まず次の4名から話題提供していただいた。山本健一氏(国土交通省)「水供給システムの安全・安心確保」、上野善晴氏(岩手県)「東日本大震災津波の被災地における水の確保について(報告)」、竹本和弘氏(名古屋市)「名古屋市における災害時の生活用水としての地下水の活用について」、中川 啓氏(長崎大学)「東日本大震災における津波被害を受けた水源地下水の調査」その後、谷口真人氏(総合地球環境学研究所)をコーディネーターとしてパネルディスカッションを行った。本シンポジウムでは、非常時と平常時の地下水の使い方の違いや管理方法、登録制などの議論が行われた。本シンポジウムの内容は、谷口・中島により学会誌にまとめられ、災害時の地下水の有効性、非常時のストックとしての水をどの程度どのような形で蓄えておくべきか、そのためのインフラ整備をどのように行っていくべきか、また、管理・維持・利用形態を常にブラッシュアップして、社会と自然の回復の過程で、地下水が持つ役割を十分認識する必要があることなどを述べている(谷口・中島, 地下水学会誌, 55(1), pp.37-64, 2013)。

編集委員会(委員長:徳永朋祥)では、2件の特集号を企画・出版した。小特集「東日本大震災と地下水」(学会誌, 54(1), 2012.2)では、「技術報告:森 一司ほか:2011年東北地方太平洋沖地震による仙台平野南部地域での地下水環境変化について」と「短報:杉田 文:東北地方太平洋沖地震の津波による千葉県旭市沿岸部における地下水利用と地下水水質への影響」を掲載し、特集「震災と地下水」(学会誌, 55(1), 2013.2)では、「論説:谷口真人:安全保障としての地下水の重要性」、「短報:大年邦雄ほか:東日本大震災における井戸被害についての現地調査」、「資料:中川 啓ほか:平成23年東北地方太平洋沖地震の津波による水源地下水への影響について」、「資料:勝見 武ほか:東日本大震災により発生した災害廃棄物・津波堆積物の処理と有効利用について」、「資料:谷口真人・中島 誠:シンポジウム「震災時の非常用水源としての地下水利用の在り方」」を掲載した。いずれもJ-stageで公開されているので、ぜひごらんになっていただきたい(<https://www.jstage.jst.go.jp/browse/jagh/-char/ja/>)。

現地調査に関しては、水文・水資源学会との合同調査団(調査団長:開發一郎)を組織し、2011年6月16日~19日および2011年8月1日~3日に、釜石市、陸前高田市、南三陸町の水道事業所における資料収集・水源での採水、仙台市若葉区の災害対策井戸における採水を行った。また追加調査として2011年11月22日~23日に、東京大学と長崎大学で、調査対象地を南三陸町に絞り、地下水・河川水・土壌のサンプリングを行った。調査では、主に津波による水道水源の地下水の塩水化からの回復傾向について調べた。

キーワード: 日本地下水学会, 東北地方太平洋沖地震, シンポジウム, 特集号, 合同調査団, 地下水の塩水化

Keywords: JAGH, The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Symposium, Special issue, Joint investigation team, Salinization of groundwater

放射性核種の海洋分散に関するモデル比較の取り組み Oceanic dispersion model intercomparison for the Fukushima accident

升本 順夫^{1*}
MASUMOTO, Yukio^{1*}

¹ 東京大学大学院理学系研究科
¹The University of Tokyo

2011年3月に発生した福島第一原子力発電所から海洋へ漏洩した放射性核種は、東北沿岸域の流速変動や西部北太平洋域の表層海流系、さらには中規模渦擾乱等によって分散してゆく。このような分散過程の再現を試みた複数の数値モデルの結果から、互いに共通する傾向を示す部分もあるものの、モデル間で異なる振る舞いをしている場合や、結果のばらつきが大きい場合があることも分ってきた。本講演では、海洋学会に設置された震災対応ワーキンググループのモデリングサブグループの下で、また、その後学術会議のワーキンググループの下で行われた海洋モデル比較の結果を紹介するとともに、我々研究者にとって今後何を考えて行く必要があるかを議論する。

キーワード: 海洋分散モデル, 放射性核種, モデル相互比較
Keywords: Oceanic Dispersion Model, Radionuclides, Model Intercomparison

土壌からの放射性セシウム除染を目的としたゼオライト-マグネタイト複合材料の開発 Development of Composite Materials with Zeolite and Magnetite for Radioactive Cs Decontamination in Soil

青野 宏通^{1*}
AONO, Hiromichi^{1*}

¹ 愛媛大学
¹ Ehime University

1. 緒言

福島第一原子力発電所の事故により排出された放射性Csによる土壌の汚染が深刻な問題となっている。この除染方法としてゼオライトを用いる方法が検討されており、我々は石炭火力発電所から排出される石炭灰を原料としてアルカリ処理により合成したNa-P1型人工ゼオライト($\text{Na}_6\text{Al}_6\text{Si}_{10}\text{O}_{32}\cdot 12\text{H}_2\text{O}$)が安価かつ高い陽イオン交換容量(CEC)をもつことに注目し検討を進めてきている。除染方法として、溶液中の放射性Csは比較的容易に回収でき、例えば汚染された水をゼオライト充填したカラムに通すことにより除染することが可能である。しかし、土壌の除染については、ゼオライトを水田などに散布してCs吸着させてもそれを回収する方法がない。

一方、マグネタイト(Fe_3O_4)のナノ微粒子も鉄の塩化物のアルカリ処理により合成することができ、この合成法はNa-P1ゼオライトと酷似している。そこで、同じ容器内に原料を入れ同時にアルカリ処理することによりゼオライト-マグネタイト複合材料(以下、磁化ゼオライトとする)が合成できることを見いだした。これにより水田などに散布し、Cs吸着後の磁場回収が可能となる。

本研究では、磁化Na-P1型ゼオライトの合成方法、その複合材料の材料組織と陽イオン交換容量について検討を行った。さらに、福島県で土壌(川俣町1,000~2,000Bq/kg、飯館村10,000Bq/kg以上、南相馬市1,000~2,000Bq/kg)から放射性Csを取り除く実証試験を実施した結果について述べる。

2. 実験

実験室でのゼオライト及び磁化ゼオライト作製は、四国電力JIS-II種の石炭焼却灰を原料として主に100℃で加熱還流を24h行った。福島での土壌除染に用いる磁化ゼオライト作製は、中部電力の石炭焼却灰を原料として、永井機械製造製造会社に委託して大量合成を行なった。この場合、先にマグネタイトナノ微粒子を100℃で作製し、ゼオライトの原料である石炭焼却灰と混合した後、これをアルカリ処理(密閉して140℃で3h加熱)することにより作製した。本試験では、マグネタイトを16wt%含むように合成した磁化ゼオライトを用いた。磁選については、土壌と水(シュウ酸アンモニウムや塩化カリウムを含む溶出助剤)を1:1の割合で10分間ミキシングした後、直ちにネオジウム磁石(8000 Gauss)を用いた磁選機にかけて磁化ゼオライトと土壌の分離を行った。初回のみ磁化Na-P1型ゼオライトと溶出助剤を添加し、ミキシング及び磁選操作を行ない、分離された土壌を再度磁選し2段目の操作、再々度3段目の操作を行なった。

3. 結果

3-1. Na-P1型人工ゼオライトによる農作物への放射性セシウム移行制御

ゼオライトを水田に散布することにより、農作物への放射性セシウム汚染がどれだけ抑制されるかを調べるため、福島の2,000Bq/kgの土壌にNa-P1型ゼオライトを含む紙シート(リンテック株式会社製造)を敷き、田植えを行なったところ、玄米中への移行がかなり抑制されることがわかった。

3-2. 磁化Na-P1型ゼオライトの作製とその性能

ゼオライト粒子のサイズは数 μm 程度であり、その粒内にマグネタイトのナノ微粒子が点在していること観察できた。また、ゼオライトの粒界に凝集したマグネタイトが存在していることがわかる。これにより、ゼオライトとマグネタイトナノ微粒子との一体型複合材料が得られ、土壌との混合によっても磁選回収が可能であることを示している。

3-3. 磁化Na-P1型ゼオライトによる汚染土壌からの放射性セシウム除去効果

福島の土壌には多くのパーミキュライトなどの粘土成分を含んでおり、これが強く放射性セシウムを固定しているため除染を困難にさせている。これに溶出助剤として、 K^+ や NH_4^+ イオンを含む溶液を加えることによりイオン置換が起こり、放射性セシウムが遊離する。混合した磁化ゼオライト粉末は、陽イオン交換容量が大きく、土壌近傍に混合されているためかなりの割合で移行する。最後に、磁選操作により磁化ゼオライトを回収することにより除染を行なう。

飯館村の汚染土壌に10%の磁化Na-P1型ゼオライトを添加し、様々な溶出助剤を用いて除染を行なった。初回に磁化Na-P1型ゼオライトと溶出助剤を添加し、ミキシング及び磁選操作を行ない、分離された土壌を再度磁選し2段目の操作、再々度3段目の操作を行なった。3回の磁選操作により平均80%の放射性セシウムが除染された。各種土壌を用いて磁選操作を行なった結果、磁化Na-P1型ゼオライトの混合量は土壌に対して5%または10%とし、溶出助剤は4%シュウ酸アンモニウム+0.1%KClに統一した。放射能の減衰率が大きいのは川俣、飯館、南相馬の順であった。これは層

U08-13

会場:メインホール

時間:5月2日 12:15-12:30

内に Cs⁺ を取り込み易いバーミキュライトの含有率が多い程除染が困難であることを示している。

キーワード: 放射性 Cs 除染, Na-P1 型ゼオライト, マグネタイト, 複合材料

Keywords: Radioactive Cs Decontamination, Na-P1 type zeolite, Magnetite, Composite Material

地球環境問題と災害への地球人間圏科学からの取り組み The Mission of Human Geoscience in the Study of Disasters and Global Environmental Problems

氷見山 幸夫^{1*}
HIMIYAMA, Yukio^{1*}

¹ 北海道教育大学
¹ Hokkaido University of Education

地球人間圏科学セクションは東日本大震災発災前から、増大する大規模災害と地球環境問題に統合的に取り組むことの必要性を主張し、日本学術会議地球人間圏分科会と共同でシンポジウムの開催や提言等を行ってきた。それらの活動と、今なお続く東日本大震災のこれまでの経緯、それに地球環境問題とそれらに対する取り組みの経緯を振り返り、地球人間圏科学の現在そして未来に向けたミッションを考える。

キーワード: 地球人間圏科学, 東日本大震災, 地球環境問題, 持続可能性, 災害
Keywords: human geoscience, Great East Japan Disaster, global environmental problem, sustainability, disaster

東日本大震災の教訓と減災に向けての研究展望 A new research field after the 2011 Tohoku earthquake and tsunami

今村 文彦^{1*}
IMAMURA, Fumihiko^{1*}

¹ 東北大学災害科学国際研究所
¹International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University

2011年3月11日14時46分、東北地方太平洋沖地震とそれに伴う津波により、東日本は甚大な被害を受けました。この時、2万人近くの人々が犠牲となり、家屋・建物、社会インフラ、生態系や景観へも大きな影響を与えました。さらに、福島第一原子力発電所の爆発事故も発生し、人類がこれまで経験の無い広範囲にわたる複合災害が発生した。

東日本大震災の被害実態と教訓に基づく実践的防災学の研究拠点形成が大きな課題であり、巨大地震および津波の発生メカニズムの解明から被害の状況、将来の評価・予測などを展開し、さらに当時の教訓を震災アーカイブなどに記録していかなければならない。さらに、国内外の災害に備えるため、リスク評価の信頼の向上、支援学の構築、災害医学との連携、歴史文化を踏まえた防災のあり方などの学際研究が必要であろう。

自然災害科学研究において、事前対策、災害の発生、被害の波及、緊急対応、復旧・復興、将来への備えを一連の災害サイクルにとらえ、それぞれのプロセスにおける事象を解明し、その教訓を一般化・統合化することが必要である。

東日本大震災における調査研究、復興事業への取り組みから得られる知見や、世界をフィールドとした自然災害科学研究の成果を社会に組み込み、複雑化する災害サイクルに対して人間・社会が賢く対応し、苦難を乗り越え、教訓を活かしていく社会システムを構築するための学問を「実践的防災学」として体系化し、その学術的価値を創成したい。

キーワード: 災害科学, 東日本大震災
Keywords: Disaster Science, 2011 Tohoku earthquake and tsunami

火山学は環境・災害にどう向き合っていくのか？ How volcanology will manage environment and hazard?

藤井 敏嗣^{1*}
FUJII, Toshitsugu^{1*}

¹NPO 環境防災総合政策研究機構 環境・防災研究所
¹Crisis & Environment Management Policy Institute (CeMI)

火山災害は水害や土石流災害、地震災害と比べて低頻度である。しかし、いったん火山噴火が発生した場合、その被災範囲は他の災害に比べてはるかに広範囲に及ぶこともある。火山噴火は防止することは不可能であるので、災害から生命をまもり、経済活動の損害を最小にするためには、火山噴火の時期や規模、様式、推移を適切に判断し、適切な時期に避難等の防災行動を促すことである。このためには火山学の発展が直接的に有効である。また、火山噴火のメカニズムが完全に理解できない段階でも火山学の知見が減災に有効であるという側面がある。この観点から、わが国の火山研究者は火山噴火予知連絡会や地方の火山防災協議会等において、火山災害軽減に貢献してきた。

火山災害の軽減には、火山周辺の住民・行政が火山噴火についての正しい知識を身につけていることが有効である。また、適切なハザードマップと避難計画が整備され、日常的に避難訓練が繰り返されていることが、住民の火山に対する関心を保つために重要である。特に、わが国の行政において、防災担当者が2年程度で交代するという現状では、行政レベルでの火山噴火・災害に関する啓発活動や図上避難訓練などを定期的に繰り返すことの意味は大きい。このような場面で火山専門家としての火山学会員の役割は重要である。

最近、原子力発電所の立地に関するガイドラインに火山噴火が取り入れられた。わが国のような火山国でありながら、これまで考慮されることのなかった火山噴火に関するガイドラインが取り入れられたことは重要である。しかし、あまりに拙速に導入されたこともあり、問題も多い。わが国では国土が壊滅的な被害を受ける可能性もある超巨大噴火も1万年に1回の頻度で発生する。このような現象が原発の立地や放射性廃棄物の処理にどのような影響を及ぼすのかは明確になっていない。また、この事実が必ずしも国民に周知されているわけではない。このような地学的環境の中でエネルギー政策も含め、どのような方向を目指すべきかの意思決定に火山学、地球科学の果たす役割と責任は大きい。

しかし、これまでのところ、これらへの対応は学会としてではなく、個人研究者としておこなわれている。学会としてどこまで関与するかについては共通の理解があるわけではない。日本火山学会では、学会内に常設の防災委員会を設置し、学会としてどこまで関与すべきかを含めて検討を行おうとしている。

キーワード: 火山学, 火山災害, 防災

Keywords: Volcanology, volcanic hazard, volcanic disaster mitigation

近年の雪氷災害の変容と新たな課題 Recent transformation of the snow and ice disaster and emerging issues

河島 克久^{1*}; 上石 勲²

KAWASHIMA, Katsuhisa^{1*}; KAMIISHI, Isao²

¹ 新潟大学災害・復興科学研究所, ² 防災科学技術研究所雪氷防災研究センター

¹Research Institute for Natural Hazards and Disaster Recovery, Niigata University, ²Snow and Ice Research Center, National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

近年, 地球温暖化や少子高齢化の進行など, 我が国を取り巻く自然環境や社会環境は大きく変化してきた。数十年前には, 温暖化の進行に伴い降積雪量が激減し, その結果雪氷災害も大幅に軽減されるのではないかという考え方や思い込みがしばしば見受けられた。しかし, 平成 18 年豪雪以降, 頻繁に大雪が出現し, 温暖化と積雪変動との関係が単純な問題ではないことが最近では広く受け入れられつつある。2010/11 年冬季から 2012/13 年冬季まで 3 冬連続で出現した豪雪はその好例であり, それぞれ 131 人, 133 人, 104 人もの雪による死者が出ており, 災害態様も昭和の時代から大きく変容している。また, 近年多発する地震・豪雨と関連して, これまではあまり検討されてこなかった複合災害の問題がクローズアップされるようになり, 雪氷災害対策にも新たな取り組みが求められている。

本発表では, まず過去の甚大な雪氷災害として昭和 38 年 1 月豪雪, 56 豪雪 (通称), 平成 18 年豪雪などを振り返り, 自然環境・社会環境の変化に伴う雪氷災害の変容を考察する。次に, 近年, 積雪地域を襲った大地震 (中越地震, 長野県北部地震) や豪雨 (新潟・福島豪雨) が雪氷災害分野にもたらした教訓と課題について複合災害の観点から述べる。最後に, 雪氷災害の軽減に向けた今後の取り組みや研究展望について議論する予定である。

キーワード: 雪氷災害

Keywords: snow and ice disaster

宇宙災害と宇宙天気研究 Space disasters and space weather studies

菊池 崇^{1*}
KIKUCHI, Takashi^{1*}

¹ 名古屋大学太陽地球環境研究所

¹Solar-Terrestrial Environment Laboratory

現在の宇宙利用時代において衛星による通信、放送、測位が社会活動、経済活動に欠かせない。また、宇宙ステーションにおける有人宇宙活動が実施されている。これら衛星の半導体機器や太陽電池パネルは、太陽フレア高エネルギー粒子や磁気圏放射線帯粒子などの宇宙放射線により誤動作や劣化を受け、一時的な衛星の機能停止や回復不能な事故に見舞われる。また、太陽フレア X 線による電離圏異常電離（デリンジャー現象）による船舶航空無線・海外放送の途絶、磁気嵐による電力送電線・海底ケーブル電源線誘導電流障害、電離圏嵐による衛星測位誤差や衛星画像劣化、そして超高層大気加熱による衛星軌道・姿勢障害など多様な障害が発生する。1989年3月の磁気嵐時には、磁気嵐誘導電流によりカナダで大規模停電が発生し、同年10月には北海道で赤色オーロラが発生するとともに我が国の送電線でも強い誘導電流が確認された。1994年2月の冬季オリンピックの最中には衛星放送が中断し、2000年7月にはわが国の科学衛星が大気加熱の影響を受けて姿勢制御不能になる事故が発生した。その後も、衛星放送の中断、地球観測衛星や気象衛星の不具合など、宇宙放射線の影響と見られる事故が発生している。我々は2011年3月の大震災以降、数100年から1000年に一度という巨大大事象でさえ身近に起こるという事実を目の当たりにした。宇宙災害においても、1859年に発生したCarrington 事象では、1989年3月の大規模停電を引き起こした磁気嵐の数倍の規模の磁気嵐が発生し、当時の先端技術であった有線通信網に甚大な被害が発生している。現代のハイテク時代に同規模の磁気嵐が発生すると、その被害は甚大なものになる。宇宙科学分野の学会や研究集会において、極端宇宙事象を含む宇宙天気の変動に際して起こりうる宇宙災害に対する備えを念頭に、太陽フレアの予測や、磁気嵐、電離圏嵐、そしてその結果発生する宇宙放射線や誘導電流などを定量的に推定する研究を実施している。本講演では、宇宙災害の概略と事象の予測を可能にする研究の現状を紹介する。

キーワード: 宇宙天気, 磁気嵐, 誘導電流, 宇宙放射線, 衛星障害, 大規模停電

Keywords: Space weather, magnetic storm, geomagnetically induced current, radiation particles, satellite anomaly, power outage

津波堆積物を用いた南海トラフ東部の津波規模の推定 Estimation of the paleotsunami size using tsunami deposits along the eastern Nankai Trough

藤原 治^{1*}
FUJIWARA, Osamu^{1*}

¹産総研 活断層・地震研究センター
¹Active Fault and Earthquake Research Center, AIST

南海トラフについては、2011年東北地方太平洋沖地震を受けて、国による地震・津波の想定が見直された（中央防災会議、2011、2012）が、発表された“最大クラスの地震・津波”が従来の想定よりも非常に大きなものであったため社会の注目を引いている。これは、今後の想定地震・津波の考え方として、「あらゆる可能性を考慮した最大クラスの巨大地震・津波」を検討した結果とされる。ここで起こる地震と津波は日本の産業・人口の中核を直撃するため、それに対する防災について社会の関心が高まっている。一部の自治体などでは巨大津波を想定した防災・減災対策も進みつつある。

しかし、この“最大クラスの地震・津波”については、それが実際に過去に発生したことがあるかどうかは不明である。南海トラフ沿岸では、過去1300年にわたる歴史記録があるが、このような超巨大な地震と津波の発生は知られていない。それが本当に起きうるかを検討するには、より時間スケールを広げた地質学的な検証が必要である。それには、過去の津波の地質記録である「津波堆積物」を使った古津波イベントの調査研究が重要である。しかし、過去に発生した地震や津波の規模、再来間隔を詳細に解明し、それに基づいて将来起こり得る地震・津波の具体的な規模やその時期などを予測し、防災対策を提案するには、まだ情報が不足している。

津波堆積物から津波の規模を復元するには、津波が起きた時の地形を考慮する必要がある。過去の海岸地形は現在とは大きく異なるのが普通である。このため、津波堆積物が見つかった場所の現在の情報（海岸からの距離や標高）が、そのまま津波の規模を表している訳ではない。たとえば、沖積平野の海岸線は縄文時代には現在よりずっと内陸にあったが、その後の土砂の堆積によって次第に現在の場所まで前進してきた（平野が広がった）。海岸が前進した距離は、浜松平野では過去7000年間で3-4km程にもなる。このため、古い時代の津波堆積物が内陸部で見つかったとしても、それは津波が大きかったとは限らず、海岸線が現在よりずっと内陸にあって、津波が届きやすかっただけかもしれない。

また、隆起速度が速い場所では、古い時代の地層は現在では標高が高い場所に分布している。たとえば、御前崎の周辺では5000年前に海面付近で堆積した地層は、現在では標高7m程度のところまで隆起して海岸段丘を構成している。古い時代の津波堆積物が段丘の上から見つかったとしても、それが直接津波の高さを示していないことになる。遡上高を復元するには、津波が起きてから現在までの隆起量を差し引いて考える必要がある。これ以外にも、津波規模の推定には、土砂供給量の減少などによる海岸の侵食（海岸線が内陸へ後退する）や、風で運ばれた砂による海岸砂丘の成長（自然の堤防を嵩上げする効果）なども影響する。

本発表では、以上のような地形の変化を考慮しつつ、遠州灘沿岸から駿河湾西岸にかけて行っている津波堆積物の研究をレビューして報告する。これまでの調査結果からは、過去4000-5000年間程度については、歴史記録に比べて極端に大きな津波の痕跡は見つっていない。

キーワード: 南海トラフ, 東海地震, 津波, 津波堆積物
Keywords: Nankai Trough, Tokai earthquake, Tsunami, Tsunami deposit

南海トラフ沿いの津波堆積物から考える巨大地震と原子力発電所 Tsunami Sediment along the Nankai Trough and Nuclear Power Plants

岡村 眞^{1*}
OKAMURA, Makoto^{1*}

¹ 高知大学総合研究センター
¹ Science Research Center

東北地方太平洋沖地震が証明したことは、私たち地震の研究者は千年に一度の地震を「想定外」にしてしまう実力しかないということである。仙台平野を襲った貞観津波や海溝よりの地震による巨大津波の可能性などは、研究者には知られていたという事実はあったとしても、それは社会的には黙殺され、結局のところほとんどなかったに等しい。ないどころか多くの地震の研究者が、あたかも科学が地震を解明しつつあるような幻想をバラまいてきたことにより、「まさかこんなところまで津波がくるはずがない」という住民の思い込みを助長する役割を果たしたと言うこともできる。これらの事実を正しく認識しない限り、私たちは前に進むことはできない。

海溝型の巨大地震は、およそ数十年から数百年の繰り返し間隔を持っていると考えられている。それが正しいのであれば、当然、千年に一度、一万年に一度という出来事もあると考えるのが常識だ。しかしながら、私たちは実際には千年に一回というレベルの知識すら十分には持ち合わせていない。私たちはこれまで南海トラフ地震による津波の履歴を明らかにするために、沿岸湖沼の津波堆積物の研究を行ってきた。その結果、ある程度大きな津波は過去六千年間にわたって三百年に一回程度の割合で繰り返し発生していること、宝永地震津波は歴史記録で言われているように千年に一度の規模の地震であったが、過去数千年間では最大とは言えないことなどを明らかにすることができた。しかしながら、私たちが地質記録から知ることができるのは、過去数千年間のおおまかな津波観でしかない。津波堆積物を研究すれば過去の記録は解明できるような風潮があるが、調査をすれば必ず成果が得られるわけではない。私たちは30以上の湖沼で調査を行ってきたが、このなかで良好な記録を得ることができたのは数例であり、率にすれば3割に満たない。私たちが研究対象としているような沿岸湖沼は、南海トラフ沿岸が過去数千年間では沈降域であることから存在しており、こういった湖沼のない仙台平野や三陸沿岸で同様の研究を行うことは不可能に近い。反対に仙台平野で行われた貞観地震の津波堆積物の分布を詳細に追うような研究は、広い平野が存在せず、津波が山まで駆け上がってしまう四国や紀伊半島の沿岸域では難しい。さらに、津波堆積物が有効に利用できるのは、最大でも、海水準が現在とほぼ等しい過去約7000年の間に限られる。地質記録から具体的にどこで何メートルの津波が来たのかを明らかにすることは困難であるし、まして次の津波がどこで何メートルになるのか、わかるはずもない。私たちは過去の履歴を知る努力を少しずつ重ねていかなければならないが、そこで得られる結果についても冷静に限界を判断する必要がある。

これまで原子力発電所は絶対に事故を起こさないとされてきた。100%の安全は科学者もしくは技術者にとってはあり得ないことだが、では、原発の事故は何年に一回程度なら容認されるのか。千年に一度の地震を「想定外」にしてしまう地震の研究者が、どうして原発の安全を保障することができるのか。これまで多くの原発が地震や津波の被害を受けてこなかったのは、決して科学者が安全性を正しく審査しているからではない。単に、原発が地震や津波の被害を受けるなどということは、常識的にはめったに起こらないことだからである。めったに起こらないはずのことが、柏崎、福島と立て続けに起こったという事実は、何よりも私たちが原発の地震、津波に対する安全性をまったく評価できていないことを証明している。

今回の福島事故に対して、これまで原発の安全審査を行ってきた研究者、日本海溝の地震の研究を行ってきた研究者、そして地震の予知の予算を使用した研究者、誰一人として責任をとったものはいない。私たちはベストを尽くしていたが、そこまでは至らなかったのだから仕方がない、と言うことができるかもしれない。しかし、もしも次に事故が起こった場合、私たち地震の研究者は「想定外」でしたと言い訳して責任を逃れることが許されるとは思わない。

私たちは千年に一度の地震に対処できなかった。あれからたった3年しかたっていないにもかかわらず、地震の研究者は原発の安全性にお墨付きを与えようとしている。税金を使って研究を行っている私たちには、分からないことがたくさんあるということを謙虚に認識するとともに、正しく説明する義務がある。

キーワード: 巨大地震, 南海トラフ, 津波堆積物, 原子力発電所
Keywords: mega-quake, Nankai Trough, tsunami sediment, nuclear power plant

東北地方太平洋沖地震前後の巨大津波の研究と原発の安全審査 Change of giant tsunami study and the risk evaluation of the NPP before and after the 2011 Tohoku earthquake

岡村 行信^{1*}

OKAMURA, Yukinobu^{1*}

¹ 産業技術総合研究所

¹The National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

東北地方太平洋沖地震が発生した2011年3月11日は、産業技術総合研究所が中心となって進めていた貞観地震研究が一段落し、地震調査研究推進本部ではその成果を含む日本海溝の評価が公表寸前の段階であった。一方で、原子力発電所の安全審査はスピード感が失われていた時機であったと言える。

産総研による仙台平野における津波堆積物研究は2004年から開始し、2005年度から2009年度までは文部科学省のプロジェクトの一部として研究を続け、2010年春に最終報告書を提出した。その中には、福島県北部から石巻周辺で津波堆積物が広がり、その分布域まで浸水する津波を発生させるためには、宮城県から福島県沖でマグニチュード8.4以上の地震は発生したと推定されること、地震発生間隔は450から800年程度であると記述されている。その時点で、産総研の研究チームでは、津波堆積物調査の範囲が不十分であるため、北側と南側の波源域がさらに広がる可能性があること、砂質の津波堆積物の分布域より津波浸水域が広いはずであるという認識を持っていた。それを証明するための調査を福島県南部から茨城県などで開始し始めていたが、条件の良い調査地点を見つけることができていなかった。

原子力発電所の安全審査は、新たな安全審査指針に既存の発電所が適合するかどうかの審査が2007年頃から始まっていた。審査は、3つのサブグループで担当を分割し、各サブグループの審査が終わった段階で全委員が集まる合同会合で最終確認を行うと手順で行われた。地震動に関する審査が優先され、その審査結果を中間報告としてまとめる作業が先行し、津波の評価を含む本報告は後回しにされた。福島第1原発の中間報告案は2009年春の全体会合に提出されたが、産総研による貞観地震の研究成果が考慮されていなかった。その後最低限のモデルだけは考慮されたが、貞観地震の本格的な評価は本報告で行うという条件で議論が先送りされた。その後の議論も津波の評価も一度も行われないうまま、2011年3月11日を迎えた。

産総研の貞観地震に関する研究成果は、2005年以降学会など発表で発表し、マスコミでも報道されたが、日本海溝でM8.4以上の巨大な地震と津波が発生する可能性について学会レベルで議論が広がることはなかったように思われる。さらに、想定津波の規模を大きくすることは社会的な影響と抵抗も大きかった。巨大津波に対する危機感は学会、社会全体に乏しかった中で、原子力発電所は稼働したまま審査を受けており、予定が遅れていても、原発が止まることはなかった。

東北地方太平洋沖地震によってそのような状況は180°変わった。防災意識は高まり、津波や地震の想定も、既往最大ではなく、最大規模が当然になった。原発への見方も厳しくなり、安全が確認されないと稼働できない状況に変わった。国が巨大な地震・津波を想定することに躊躇しなくなったことから、地質学的な研究から想定外の巨大津波の可能性を指摘ができる余地はかなり小さくなった。しかしながら、海溝型地震についてまだわからないことは多く残っている。それらを明らかにする努力を続けるとともに、確実にわかっていることと、可能性があること、わからないことを社会に正確に伝えていくことが重要である。

キーワード: 津波堆積物, 巨大津波, 貞観地震, 津波評価

Keywords: tsunami deposits, giant tsunami, Jogan earthquake, Tsunami evaluation

海溝型巨大地震の強震動の特性と巨大剛構造物としての原子力発電所の応答 Strong motion characteristics of Mega-Thrust earthquake and the seismic response of NPP as a massive, stiff structure

川瀬 博^{1*}
KAWASE, Hiroshi^{1*}

¹ 京都大学防災研究所
¹ DPRI, Kyoto University

東北地方太平洋沖地震では宮城県・茨城県を中心に多くの地点で大きな加速度を有する強震記録を観測した。気象庁の報告では震度7となったのは栗原市の K-NET 築館 (MYG004) だけであったが、震度6強を示した観測点は40地点に及んだ。その観測記録の最大加速度および最大速度は既往の距離減衰関係式と概ね対応しており、最大加速度では三陸から茨城県に至る広い沿岸地域において500Gal以上となっていたが、その大加速度領域内でも最大速度では80cm/sec以下となっていた。このように加速度が大きい割には速度はそれほど大きくなく、兵庫県南部地震の経験から求められた大被害となる条件である最大加速度800Gal以上、最大速度100cm/sec以上の条件を満たし、かつ明瞭な「やや短周期」パルスが見られた観測記録は見あたらなかった。

実際、筑波大学の境教授は震度6強以上を記録した観測点回りの被害建物棟数を現地調査し、非常に小さい被害率であったことを報告している。また我々は東北地方・関東地方北部における K-NET および KiK-net による観測強震動波形を兵庫県南部地震の震災の帯の中での被害率を再現できる非線形構造物応答解析モデルに入力して数値的に被害率(大破倒壊率)を計算しているが、2,700Galを記録した K-NET 築館 (MYG006) を含む一部の加速度の大きな地点を除きほとんどの地点で被害率は10%以下となることがわかっている。このことは剛構造設計のコンセプトに基づいて水平抵抗強度を付与することを主たる目的としている日本の耐震設計・耐震建築が、加速度が大きいだけのランダムな震動に対しては十分な抵抗力を持っていることを示している。

一方、今後発生が危惧される南海トラフ沿いの強震動予測については、中央防災会議が予測震度を計算しており、従来は南海セグメントと東南海・東海セグメントの3連動モデルまでの計算であったが、東北地方太平洋沖地震を受けて4連動モデルの震度分布を公表し、さらにそれによる被害予測結果も公表している。しかし、この4連動モデルの構造物震害予測は計算した計測震度とその計測震度一被害率の関係をを用いた経験的被害関数によっているものであり、その被害関数はもっぱら兵庫県南部地震の被害率によって決まっているので、上記のような強震動特性の違いが反映されておらず、明らかに過大評価となっている。

実際、東北地方太平洋沖地震と同様に非線形構造物応答解析モデルに対して、我々が独自に統計的グリーン関数法と不均質アスペリティを有する震源モデルで計算した強震動波形を入力して被害率を計算したところ、30%以上の大被害が予測されたのはアスペリティ近傍でかつ地盤の軟弱な一部地域に留まり、全面的に大被害が生じるわけではないという結果を得ている。これは構造物の震害予測に際しては実被害を予測でき、かつ強震動特性の性質の違いを反映できる手法を用いることが重要であることを示している。

原子力発電所の巨大地震による被災リスクを考える上でもこの強震動特性と原子力発電所の応答特性との関係は重要である。一般構造物と同様に原子力発電所は剛構造設計のコンセプトに基づいて設計されており、単にその共振振動数だけを考えれば海溝型巨大地震で大加速度地震動が入力した場合、大きな応答が生じることが危惧されるわけであるが、ではそれが直ちに大きな構造物被害に結びつくかという点、一般構造物と同様なメカニズムによってそうはならない可能性が高い。

その点に関して我々は2003年時点での中央防災会議の3連動モデルの公開計算強震動波形を用いて(なお4連動モデルの計算強震動波形は未だ公開されていない)、その沿岸域全域での計算波形による原子力発電所の原子炉建屋の最大層間水平(せん断)変形を計算し、それと地震動最大値指標との関係を整理している(Seckin et al., 2008, WCEE)。その結果、計算された原子炉建屋の最大層間水平(せん断)変形は、その設計値を超える大きな最大加速度・短周期成分にもかかわらず弾性限界値の2倍程度に留まり、危惧されるような大被害レベルには達しないことがわかった。このことは一般に十分理解されているとはいいがたいが、原子炉建屋の(建築物としての)設計クライテリアはそのせん断変形量を最小限にすることとしているため、言い換えると設計レベルをある周波数で超えることが直ちに被害に結びつくわけではないことを意味している。

以上本報告では、巨大海溝型地震の強震動特性と構造物被害の生じるメカニズムについて既往の研究成果に基づいて得られている知見を整理した。今後は中央防災会議の4連動モデルによる計算波形の公開を待って上記の計算を再度行って同様のことが言えるかどうかを確認する必要がある。

キーワード: 強震動, 海溝型巨大地震, 剛構造物, せん断変形

U09-04

会場:502

時間:5月1日 16:15-16:40

Keywords: strong motion, Mega-thrust earthquake, Stiff structure, shear deformation

東北地方太平洋沖巨大地震後の津波に対する原子力発電所の安全基準のあり方 Safety regulations of nuclear power plant for tsunami after the 2011 great Tohoku-oki earthquake

谷岡 勇市郎^{1*}
TANIOKA, Yuichiro^{1*}

¹ 北海道大学地震火山研究観測センター
¹ Institute of Seismology and Volcanology

2011年東北地方太平洋沖巨大地震により発生した大津波により福島第一原子力発電所が炉心融解および建家爆発に至り、今も放射能汚染により多くの住民が避難する大事故となった。事故発生後、間もなく原子力安全委員会の下に地震・津波関連指針等検討委員会が設置され、耐震設計審査指針の改訂が議論された。事故以前の審査指針では津波については「地震随伴事象に対する考慮」として扱われていたが、新指針では「耐震安全設計方針」とは別項目として「津波に対する安全設計方針」を作ることが議論された。2012年3月には津波に対する設計方針が盛り込まれた、新しい審査指針および安全審査の手引きがまとめられた。その後、2012年9月に原子力規制委員会が発足し、その下に「地震・津波に関わる規制基準に関わる検討チーム」が結成された。そこで新たに「地震及び津波に関わる新安全設計基準」が議論され、2013年6月に新安全設計基準がまとめられた。

そこには、基本として多重防御の思想が取り入れられている。1) 基準津波に対して敷地内に津波を侵入させない。2) 何らかの原因で津波が侵入した場合に備えて、施設及び建家内に津波を侵入させない。3) 何らかの原因で建家に津波が侵入し、電源喪失が発生した場合に備えて、高台に電源供給源を確保し、重大事故に陥らせない。基準津波に対しては、最大級の巨大地震による津波波源を考慮することとした。ここで問題となるのが、この多重防御の思想の理解であろう。津波が侵入した場合に備えて建家は防水されているのだから、基準津波による少々の浸水を許しても大丈夫と考える業者が出てくる。このような考えが出てくると逆に多重防御にすることにより、逆に危険性が増すことにつながりかねない。厳密に多重防御の思想を適用して欲しいと願う。

耐震規制基準と地震の科学 Seismic Safety Regulations and Earthquake Science

瀬瀬 一起^{1*}
KOKETSU, Kazuki^{1*}

¹ 東京大学地震研究所
¹ Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo

原子力発電所の耐震規制基準は、他の構造物と同じように地震動ハザードと津波ハザードの評価から始まっている。地震動ハザードの評価方法には大別して確率論的予測とシナリオ予測があるが、耐震規制基準においてはシナリオ予測を基本とし、残余のリスクの評価のために確率論的予測を補助的に行う。従って、地震の科学の知見が主に貢献するのは、シナリオ予測におけるシナリオ地震の想定にある。

本発表では、コンビナーの要請に従い原子力発電所の地震動ハザード評価を中心に議論するが、海溝型巨大地震に関連して津波ハザード評価についても述べる。また、東北地方太平洋沖地震によって原子力発電所で生じた各種事象と、これらのハザード評価やシナリオ地震の想定との関係について著者の見解を述べる。

最後に、原子力発電所の耐震安全性評価における地震の科学の果たす役割について議論し、まったく未経験の事象を予見することができなければ、地震の科学は原子力発電所の真の安全性には貢献できないことを示す。また、「何ものにもとらわれず、科学的・技術的な見地から、独立して意思決定を行う」ことで真の安全性が得られるという思い込みの危険性を議論する。

地球科学者と行政担当者の相互理解による災害軽減をめざす Collaboration beyond the difference between science and government

山岡 耕春^{1*}
YAMAOKA, Koshun^{1*}

¹ 名古屋大学環境学研究科

¹ Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

行政や社会はアクションを起してこそ意味がある。そのために科学の知見を取り入れた判断・決断が必要となる。一方科学は、学術的研究によって人類の知見を広げ、深めていく。そのためいったん得られた結論でさえも、その後の研究によって覆されることもある。その結果、科学の成果を社会や行政に取り入れる場合、社会や行政が求めるイチかゼロかの判断・決断との不整合が顕在化することが多い。また地球科学の分野においては、社会や行政の前提とする時間・空間スケールと地球科学の扱う時間・空間スケールの違いによる不整合も顕在化する。科学や行政に携わる人たちは、このようなお互いの違いを理解し、協力し合う必要がある。

以下に、具体例として、火山噴火予知、地震発生の長期評価について考える。

火山噴火予知は、科学と社会・行政との関係が比較的うまく機能している。その最大の理由は、「顔の見える距離」であろう。火山の防災は、日本では気象庁の火山活動関連の情報をもとに避難が行われる。その手法や情報の妥当性については火山噴火予知連絡会で行政と研究者が同席する場で議論される。地質学から地球物理学までの分野の研究者が網羅され、多面的な検討が行われるとともに、学会においても議論がなされる。気象庁においても比較的狭い範囲の人たちが長期にわたって関係している。個別火山においても科学者の献身的な取り組みにより地元行政と研究者間の顔の見える関係が作られている。

地震の科学を直接社会に活かす役割をしているのが地震調査研究推進本部（地震本部）である。しかし、火山噴火予知と異なり、地震は研究者の人口も多い。地震調査委員会の各部会等では比較的長期間委員をする研究者が多いものの、地震本部の事務局は約2年毎に交代し、全体として顔の見える関係が保ちにくい。地震本部からこの状態なので、科学者と社会との距離が近くなることは困難である。さらに地震研究者の大半は大都市（特に首都圏）にいるため、県によっては国からの公式な情報以上の情報が自治体の防災担当者が届きにくい。

火山噴火予知に関し、社会からの要請にもとづいて火山噴火予知連で検討されて作られたのが「噴火警戒レベル」である。これはレベル設定が住民の避難行動を一对一に対応する様に作られている。これは科学的にはあきらかに背伸びをした情報であり、導入に慎重な意見もあった。現在は、安全側の運用で役立っている。例えば、2011年新燃岳の噴火は直前にまったく前兆が捉えられなかったが、前年の活動後にレベル2の情報が維持されたため、人命が失われることはなかった。

地震発生の長期評価や強震動予測図は、1995年の阪神淡路大震災後、全国で発生する地震について網羅的に評価するという社会からの要請に答えるためにめざしたものである。予測は固有地震モデルに基づいている。地震の長期的な発生確率を評価するとしたら、現時点で用いることの出来る最善の手法であろう。行政がこのような予測を行う場合、国民に対する責任から、全国隈無く評価することになる。その結果として科学的に不確実な部分も、ある種の割り切りによって答えを出す必要に迫られる。東北地方の太平洋沖については、過去の地震発生履歴に基づき領域を分割し、それぞれについて固有地震の考えを当てはめていた。それぞれの固有地震をアスペリティに対応させるという科学的裏付けの努力はされていたが、アスペリティの相互作用を取り入れることができていなかった。相互作用は、臨界現象につながる本質的な物理であり、2011年東北地方太平洋沖地震を評価の枠組みの中に取り入れられなかった原因の本質である。震災後、「東北地方太平洋型」として評価には取り入れられているものの、基本的な評価の枠組みは元のままである。これらを防災に活かすためのアクションについては、内閣府や地方自治体にゆだねられている。

以上の2例は、社会の要請、行政の施策、科学の実力との間で生み出されたものである。社会の防災に活かすための仕組みを作るうして、科学の実力との間にギャップが生じている例である。社会や行政がアクションを起さなければ防災に役立たない。効果的なコミュニケーションを通じて、我々が生み出したものを継続的により良いものにしていく努力が必要である。

U10-02

会場:メインホール

時間:5月1日 09:45-10:15

Space Policy in Japan after new decision system Space Policy in Japan after new decision system

松井 孝典^{1*}
MATSUI, Takafumi^{1*}

¹ 千葉工業大学惑星探査研究センター
¹Planetary Exploration Research Center, Chiba Institute of Technology

In 2012, decision system on space policy in Japan changed. Since then, new space policy has been decided under the supervision of national committee on space policy. In this talk I will introduce the structure of this new system and vision of space exploration of our country in the next decade.

地球惑星科学と行政の関わりー海洋科学の立場から
The relationship between Earth and Planetary Science and politics from the stand point
of oceanography

小池 勲夫^{1*}
KOIKE, Isao^{1*}

¹ 琉球大学
¹ University of Ryukyus

Ocean political issue is one of the most critical issues in recent Japan including continental shelf, resources, fishing, conservation of living resources, and total environment of the Earth. Science has been required to give contribution to policy making, which means that to keep balance is important for us. I will discuss the situation of science in recent Japanese ocean politics and how we should go.

地球環境への横断的アプローチと”Future Earth” Transdisciplinary approach for global environment and Future Earth

安成 哲三^{1*}
YASUNARI, Tetsuzo^{1*}

¹ 総合地球環境学研究所
¹ Research Institute for Humanity and Nature

The global environmental studies are now required to make progress toward global sustainability and futurability of the earth system. RIHN is now stepping forward to transdisciplinary approach for tackling these issues. This approach involves strong collaboration with the international Future Earth initiative. We also emphasize the importance of Asia-Pacific region as a complex tectonic-environmental hot spot region on these issues.

U10-05

会場:メインホール

時間:5月1日 11:30-12:00

科学者と行政・社会の関係 Relationship between scientists and government - public

横山 広美^{1*}
YOKOYAMA, Hiromi^{1*}

¹ 東京大学大学院理学系研究科
¹Department of Earth and Planetary Science

科学者は行政・社会にどのように発言すべきかについて考えます。

キーワード: 科学者, 行政, 社会
Keywords: scientists, government, public

U10-06

会場:メインホール

時間:5月1日 12:00-12:30

地球惑星科学と社会・行政 Earth science, community, and government

永原 裕子^{1*}
NAGAHARA, Hiroko^{1*}

¹ 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻
¹Dept. Earth Planet. Sci., The Univ. Tokyo

Earth and planetary science stands on a special position between natural science and the community and government, which in turn means an importance of our community from both sides. We have encountered various difficulties in March 2011, when our words gave a great influence on community and we had frustration how we presented scientific results that might have caused social confusion. We will discuss how Earth and planetary science keep good distances from social community and government and how we should play our role.

キーワード: 地球惑星科学, 社会, 行政
Keywords: earth and planetary science, community, government