Japan Geoscience Union Meeting 2013
(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

PPS23-01 会場:201A 時間:5 月 23 日 09:00-09:15

SELENE-2 に向けた月広帯域地震計システムの開発
Development of a lunar broadband seismometer system for SELENE-2

小林 直樹 [1*], 白石 浩章 [1], 小川 和律 [1], 山田 竜平 [2], 川村 太一 [3], Tanguy Nebut[3], Benoit Lecomte[3], Olivier Robert[3], Sebastien de Raucourt[3], Philippe Lognonne[3], Reinhard Roll[4], Marco Bierwirth[4], Rudolf Widmer-Schnidrig[5], 月広帯域地震計チーム [1]
Naoki Kobayashi[1*], Hiroaki Shiraishi[1], Kazunori Ogawa[1], Ryuhei Yamada[2], Taichi Kawamura[3], Tanguy Nebut[3], Benoit Lecomte[3], Olivier Robert[3], Sebastien de Raucourt[3], Philippe Lognonne[3], Reinhard Roll[4], Marco Bierwirth[4], Rudolf Widmer-Schnidrig[5], LBBS team[1]

[1] 宇宙科学研究所, [2] 国立天文台 RISE チーム, [3] パリ物理学研究所, [4] マックスプランク研究所, [5] シュトゥットガルト地球物理学研究所
[1]ISAS/JAXA, [2]NAO RISE project, [3]Institut de Physique du Globe de Paris, [4]Max Planck Institute for Solar System Research, [5]Stuttgart Institute of Geophysics

SELENE-2 is planed to be the first Japanese landing mission on the moon. As a strong candidate for an onboard instrument, we propose a lunar broadband seismometer system (LBBS). We have already presented the necessity of the broadband seismic observation beyond the Apollo seismic observation, requirements for the system, scientific objectives from the analyses of Apollo seismic data and the status of the development of LBBS. In this presentation, we introduce the recent progress in the development.

LBBS is a seismometer system having a broader bandwidth of 0.02 to 50 Hz and higher sensitivity than the seismic sensors of the Apollo project. To achieve the required performance at low risk, we decided to integrate an existing short period sensor (SP) and long period sensor (LP) in one package. The SP sensor is based on the velocity sensor developed in the course of the former Lunar-A project and has very high shock durability. The LP sensor is the VBB seismometer developed in France for the ExoMars project of ESA. These sensors shall be modified to satisfy the requirements of very high sensitivity and high stability against the severe surface environment on the moon. In addition, LBBS is composed of measurement and control electronics (ETHZ, Switzerland), leveling system (MPI, Germany) and a thermal shield, called survival module, with a recorder, communication circuits and batteries (JAXA, Japan).

We have carried out interface tests of 7 combinations among the components since autumn of 2010. In particular, we confirmed wellness of a partially integrated system of the SP sensor, measurement electronics and leveling system in an interface test at Zurich from Dec 2010 to Mar 2011. We successfully observed faint seismic tremors in ground motions. In July 2012, we carried out an interface test in which we integrated the SP, LP and leveling system at the Black Forest Observatory, Germany. For comparison, we also recorded outputs of a standard broadband sensor STS-2. All data outputs were recorded by an acquisition system of Quanterra Q330HR.

We analyzed the data so obtained, and found that waveforms obtained by LP and STS-2 almost similar one another and confirmed that LP can faithfully acquire ground motions irrespective of the neighboring SP. It, however, sometimes shows different waveforms from those of STS-2. The cause of this phenomenon is under investigation. On the other hand, SP data show very noisy time series not considered as ground motions. Spectra of the SP data show a flat shape and we cannot recognize spectral features of seismic tremors. Moreover, two horizontal SP sensors with an eigenperiod of 1 sec commonly took boxcar type off sets in the long period waveforms low-pass-filtered with a corner frequency of 0.1 Hz. This is an unacceptable result. They should show independent noises at such a low frequency much below 1 Hz. Thus we conclude that the SP data were polluted from an unknown source.

Potential causes of this phenomenon is (1) noises and instability in a 20 times amplifier, (2) an interference due to output impedance of the 20 times amplifier which may be out of range of the guarantee of Q330HR and (3) an electro-magnetic interference of LP on SP. We have already excluded the possibility of (1) by measuring the response of the amplifier using another acquisition device. In order to distinguish (2) and (3), we plan to obtain SP data without LP using Q330HR which will be rented.

In addition to the report on the above interface test, we also report results of vibration and thermal environment tests for two new manufacturing SP sensor models, and conceptual design of the survival module.

キーワード: 地震計, ノイズ, 干渉, 月震, 地動, 計測
Keywords: seismometer, noise, interference, moonquake, ground motion, measurement

Japan Geoscience Union Meeting 2013
(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

PPS23-02 会場:201A 時間:5 月 23 日 09:15-09:30

SELENE-2 搭載を目指したマクロ分光カメラおよび研磨装置の開発
Development of an in-site rock observation system onboard the next lunar landing mission SELENE-2

本田 親寿 [1*], 大竹真紀子 [2], 大嶽久志 [2], 古谷克司 [3], 大槻真嗣 [2], 佐伯和人 [4], 諸田智克 [5], 杉原孝充 [6]
Chikatoshi Honda[1*], Makiko Ohtake[2], Hisashi Ootake[2], Katsushi Furutani[3], Masatsugu Otsuki[2], Kazuto Saiki[4], Tomokatsu Morota[5], Takamitsu Sugihara[6]

[1] 会津大学, [2] 宇宙航空研究開発機構, [3] 豊田工業大学, [4] 大阪大学, [5] 名古屋大学, [6] 海洋研究開発機構
[1]Univerisity of Aizu, [2]Japan Aerospace and Exploration Agency, [3]Toyota Technological Institute, [4]Osaka University, [5]Nagoya University, [6]Japan Agency for Marine-Science and Technology

Compositional information of the lunar and planetary surface is important for understanding the bulk composition and evolution of the lunar and planetary bodies. For example, the information of the lunar highland could help us to know the solidification of the lunar magma ocean and to estimate the internal structure of the Moon. Previous studies had been done by using the lunar returned samples which have bias composition, so, it is important to select samples for well-understanding of more primitive highland materials by an in-situ observation.

We are now planning to develop a visible-SWIR macro camera with rock abrasion tool (RAT) which is required to establish a light-weighting for setting on a head of rover's arm. The RAT system will be required to observe the rock sample's texture and composition. An important issue is to grind the surface of rock under vacuum condition. We examined to make a grind test which was done to grind an anorthosite rock sample under a very low pressure of atmosphere by using a RAT developed by HONEYBEE ROBOTICS. As a result, we could confirm to be able to grind the rock sample with very low preload ($<$ 5 N), however, additional bit development work is required to increase the bit life margin (more than 10 grinds). We'll report the details of the examinations about the RAT system, optical design of a visible-SWIR macro camera, and a dark current test of a visible-InGaAs sensor.

キーワード: マクロ分光カメラ, 岩石研磨装置
Keywords: visible-SWIR macro camera, rock abrasion tool

Japan Geoscience Union Meeting 2013
(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

PPS23-03 会場:201A 時間:5 月 23 日 09:30-09:45

SELENE-2/月電磁探査装置 (LEMS)：電磁応答に対する月地殻の影響
SELENE-2/Lunar ElectroMagnetic Sounder (LEMS): The effect of lunar crust on electromagnetic response

松島 政貴[1*], 清水 久芳[2], 藤 浩明[3], 吉村 令慧[4], 高橋 太[1], 綱川 秀夫[1], 渋谷 秀敏[5], 松岡 彩子[6], 小田 啓邦[7], 飯島 祐一[6], 小川 和律[6], 田中 智[6]
Masaki Matsushima[1*], Hisayoshi Shimizu[2], Hiroaki TOH[3], Ryokei Yoshimura[4], Futoshi Takahashi[1], Hideo Tsunakawa[1], Hidetoshi Shibuya[5], Ayako Matsuoka[6], Hirokuni Oda[7], Yuichi Iijima[6], Kazunori Ogawa[6], Satoshi Tanaka[6]

[1] 東京工業大学, [2] 東京大学地震研究所, [3] 京都大学, [4] 京都大学防災研究所, [5] 熊本大学, [6] 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所, [7] 産業技術総合研究所
[1]Tokyo Institute of Technology, [2]ERI, University of Tokyo, [3]Kyoto University, [4]DPRI, Kyoto University, [5]Kumamoto University, [6]ISAS/JAXA, [7]AIST

In the SELENE-2 mission, we propose a lunar electromagnetic sounder (LEMS) to estimate the electrical conductivity structure of the Moon, from which the thermal structure in the lunar interior can be deduced. This means that electromagnetic sounding of the Moon provides any constraints on the lunar origin and evolution. It should also be noted that the electrical conductivity structure is independent of the seismic velocity structure derived from seismic measurements. Hence multiple mission instruments for geophysical exploration of the Moon are significant to investigate the lunar interior from various angles.

Magnetometers onboard a lunar orbiter measure temporal variations in the magnetic field of lunar external origin (the inducing field), which induce eddy currents in the lunar interior depending on the electrical conductivity distribution and frequencies of magnetic field. Magnetometers onboard a lunar lander measure temporal variations in the magnetic field of lunar internal origin (the induced field) generated by the eddy currents, as well as those in the inducing field. Electromagnetic response of the Moon can be obtained from these magnetic field measurements, and the response function is used to estimate the electrical conductivity structure by solving an inverse problem.

We have so far paid attention to the electrical conductivity structure of mantle which is the bulk of the Moon. We have investigated electromagnetic response of the Moon for prescribed conductivity models. The response function at higher frequencies obviously depends on the shallow structure, such as lunar crustal thickness and its electrical conductivity. Hence we examine the effect of lunar crust on electromagnetic response of the Moon. The result suggests that crustal thickness at the landing site may be estimated electromagnetically.

キーワード: 電磁探査, 月内部構造, SELENE-2
Keywords: electromagnetic sounding, lunar interior structure, SELENE-2

Japan Geoscience Union Meeting 2013
(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

PPS23-04 会場:201A 時間:5 月 23 日 09:45-10:00

月の天然放射性元素分布に基づく玄武岩質マグマの火成活動への制約
Constrains on the igneous activity of basaltic magma based on the distribution of radioactive elements on the Moon

平居 悠[1], 唐牛 譲[2*], 晴山 慎[2], 長岡 央[1], 藤林 ゆかり[1], 鎌田 俊一[3], 諸田 智克[4], 小林 進悟[5], 長谷部信行[1]
Yutaka Hirai[1], Yuzuru Karouji[2*], Makoto Hareyama[2], Hiroshi Nagaoka[1], Yukari Fujibayashi[1], Shunichi Kamata[3], Tomokatsu Morota[4], Shingo Kobayashi[5], HASEBE, Nobuyuki[1]

[1] 早稲田大学理工学研究所, [2] 宇宙航空研究開発機構, [3] 東京大学大学院理学系研究科, [4] 名古屋大学大学院環境学研究科, [5] 放射線医学総合研究所
[1]Research Institute for Science and Engineering, Waseda University, [2]Japan Aerospace Exploration Agency, [3]Graduate School of Science, The University of Tokyo, [4]Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, [5]National Institute of Radiological Sciences

Investigation for the eruption ages and causes of mare volcanism on the Moon is essential for understanding the thermal evolution inside the Moon. Morota et al. [1] estimated the eruption ages of mare basalt units in the nearside of the Moon by using the image data obtained by the Terrain Camera (TC) [2] onboard Kaguya. In addition, Kaguya Gamma-Ray Spectrometer (KGRS) [3] successfully observed global distributions of radioactive elements (K, Th, and U) on the Moon [4, 5]. These observations present that most of the relatively young basalt units ($<$ 2.5 Ga) locate in the Procellarum KREEP Terrane (PKT) [6] enriched in radioactive elements. The radioactive heating produced by the decay of the radioactive elements in KREEP may affect the volcanic activities in the PKT [e.g., 7]. Studies of lunar basaltic meteorites indicate that the younger basalt is more enriched in K and Th than the older basalts. However, such an investigation has not been conducted for globally distributed maria using remote sensing data. Therefore, we investigated the relationship between the abundance of radioactive elements and eruption ages of mare basalts by Kaguya data in this study. Moreover, we discussed the effect of radioactive heating for the igneous activity of the Moon.

We used the gamma-ray spectral data obtained by the KGRS at the low altitude (50 +- 20 km) from February to May, 2009. The gamma-ray counts observed by the KGRS were integrated on each of basalt units defined by previous studies [e.g., 8]. The peaks at 1461 keV (^{40}K) and 2615 keV (^{232}Th-^{208}Tl) were used to estimate their intensities. The eruption ages of each mare basalt unit are derived by [e.g., 1]. The counting rates of gamma-rays from K and Th were calibrated to elemental concentrations by an empirical method using returned samples as ground truth. We have chosen Apollo and Luna soil samples as ground truth [9].

The K and Th contents of mare basalts in PKT are higher than those of mare basalts outside PKT. In the PKT, the eruption lasted for a long time, and each unit is enriched in K and Th. As the eruption ages of basalt units in the PKT are younger, their K and Th contents increased more. It seems reasonable that a region in PKT has more heat source elements, more magma might have been generated. The partial melting zone below the layers enriched in heat source elements might last longer time than other regions in PKT. The source regions of younger magma needed more heating by the decay of radioactive elements for its remelting to offset cooling associated with heat loss of the Moon as a time went on. Thus, the younger basalts contain more K and Th contents than the older basalts.

In contrast, most of the basalt units outside the PKT have low abundances of K and Th. This implies that the effect of radioactive heating by the KREEP layer is small. In other words, there must be no or very small volume of KREEP layer outside the PKT. Moreover, most units erupted by 2.5 Ga. This result implies that the mare eruption without heat from KREEP layer drastically decreased around 2.5 Ga. Previous calculations of lunar thermal evolution suggest that the volume of partial melting zone decreases with time and may be very small around 2.5 Ga without KREEP layer [e.g., 10]. Our results of mare basalts outside the PKT are supported by the assumption inferred from thermal evolution calculations.

References: [1] Morota T. et al. (2011) EPSL, 302, 255-266. [2] Haruyama J. et al. (2008) EPS, 60, 243-255. [3] Hasebe N. et al. (2008) EPS, 60, 299-312. [4] Kobayashi S. et al. (2010) SSR, 154, 193-218. [5] Yamashita N. et al. (2010) GRL, 37, L10201. [6] Jolliff B. L. et al. (2000) JGR, 105, 4197-4216. [7] Wieczorek M. A. and Phillips R. J. (2000) JGR, 105, 20,417-20,430. [8] Hiesinger H. et al. (2003) JGR, 108, 5065. [9] Lucey P. et al. (2006) Rev. M& G, 60, 83-219 [10] Spohn T. et sl., (2001) Icarus, 149, 54-65.
Keywords: igneous activity, basaltic volcanism, radioactive elements, Kaguya (SELENE), gamma-ray spectrometer

Japan Geoscience Union Meeting 2013
(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

PPS23-05 会場:201A 時間:5 月 23 日 10:00-10:15

月の海の玄武岩組成の時空間変化
Relationship between compositions and ages of lunar mare basalts

加藤 伸祐 [1*], 諸田 智克 [1], 山口 靖 [1], 大嶽 久志 [2], 大竹 真紀子 [2]
Shinsuke Kato[1*], Tomokatsu Morota[1], Yasushi Yamaguchi[1], Hisashi Otake[2], Makiko Ohtake[2]

[1] 名古屋大学大学院環境学研究科地球環境科学専攻, [2] 宇宙航空研究開発機構
[1]Nagoya University Graduate School of Environmental Studies, [2]Japan Aerospace Exploration Agency

固体惑星の形成と進化の体系的な理解に向けて，地球型惑星の小型端成分である月の初期進化を理解することは重要である．しかし，月のマグマオーシャンからの固化過程やその後の大規模な構造変化の有無については未だに良く分かっていない．その解決の方法として，月の海の玄武岩の組成を調べることは非常に有効である．玄武岩の組成と年代との関係からマントルの水平・鉛直方向の組成に関する情報が得られる可能性があり，マグマオーシャンの固化モデルや月マントルの進化モデルを制約できると期待される．

海の玄武岩はチタン含有量に多様性があり，マグマソースの組成の違いを反映していると考えられる．チタンは液相濃集元素でありマグマオーシャンからの固化過程において浅部ほど高チタンとなるような鉛直構造を作ったと予想されている．更に，チタンは比重が大きいために，その分布が重力不安定の原因となり，不安定解消による構造逆転の結果，深部ほど高チタンとなるような分布へと変化した可能性も指摘されている．

玄武岩のチタン含有量からマントルの組成構造を紐解くには噴出年代との関係を調べることが有効である．月は比較的小型の天体であるため、その冷却過程は単純なものであったと考えられる．そのため，リソスフェアの成長に伴って月の部分溶融域は次第に深くなっていった．つまり、若い年代の玄武岩ほど深部のマントルの組成を反映していると考えられる．

これまでにも月の海の玄武岩の組成に関する研究は行われてきた．しかし，データの空間分解能には課題があり，はっきりとした傾向は分からなかった．本研究では，月周回衛星「かぐや」に搭載されたマルチバンドイメージャによる分光データを用いて高分解能でチタン含有量の指標となる θ_{Ti} の値を算出し，年代との相関関係を調べた．

その結果，約 20 億年頃に溶岩流噴出のピークがあること，Procellarum や Imbrium といった海では噴出が長く続いたこと，20 億年の噴出ピークにあたる溶岩流はチタン含有量が選択的に高いことが分かった．これらの事実から，我々はマントルの組成・構造変化に関して２つの可能性を議論する．１つ目はマントルの鉛直方向の組成を反映している可能性，２つ目は 20 億年頃にスーパープルームが起こったという可能性である。

キーワード: 月, 月の海の玄武岩, チタン含有量, 月マントル, PKT, マントルオーバーターン
Keywords: Moon, lunar mare basalts, titanium content, lunar mantle, the Procellarum KREEP Terrane, mantle over turn

Japan Geoscience Union Meeting 2013
(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

PPS23-06 会場:201A 時間:5 月 23 日 10:15-10:30

月面の二次クレーター検出のためのクレーター空間分布の評価方法の開発
Development of evaluating method of Spatial distribution of craters on Lunar Surface for detection of secondary craters

木下 達生 [1*], 本田 親寿 [1], 平田 成 [1], 諸田 智克 [2]
Tatsuo Kinoshita[1*], Chikatoshi Honda[1], Naru Hirata[1], Tomokatsu Morota[2]

[1] 会津大学先端情報科学研究センター宇宙情報科学クラスタ, [2] 名古屋大学大学院環境学研究科
[1]CAIST Arc-Space, Universty of Aizu, [2]Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

Secondary craters are impact craters formed by ejecta blocks that were thrown out of a primary crater formation. The secondary craters give a biased spatial distribution of craters. For a crater chronology, researchers extract the secondary craters from the surface including primary and secondary craters based on his or her subjective views.

The purpose of this research is to develop an algorithm for evaluating spatial distribution of craters on lunar and planetary images. In our algorithm, clustering analysis (S-LINK, Group average etc.) applies to ideal spatial distribution of craters and observed spatial distribution of craters, and evaluates whether a non-random portion in obtained image by comparing clustering analysis results of ideal and observed craters. We demonstrated for two regions in Mare Crisium and some Apollo landing sites. As a result, most of clustered secondary craters are detected quantitatively by our algorithm.

キーワード: 月, 二次クレーター, クラスター分析
Keywords: Moon, Secondary crater, Cluster analysis

Japan Geoscience Union Meeting 2013
(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

PPS23-07 会場:201A 時間:5 月 23 日 10:30-10:45

月・地球型惑星の軽元素等内部保存の新モデル研究
Study on New Model of Interior Reservoir of Light Elements on the Moon and Earth-Type Planets

三浦 保範 [1*]
Yasunori Miura[1*]

[1] 客員（国内外大学 ）
[1]Visiting (Universities)

月と地球型惑星（創成期の地球及びその他の無海水圏惑星）における軽元素の内部保存と循環などについては下記の様な問題点がある。

１）元素供給と太陽系天体（月・地球型惑星・小天体）に統一的な形成過程のモデルがなく、創世期と現代の天体間の形成過程を残存している固体岩石の時空データによる形成中心の研究が多い。
２）月面には創成期の破砕岩石が残存しているが、広大で基盤峡谷地形は発見されてなく、広く厚く多孔ガラス質表土ソイルに覆われている。
３）無大気・無海水圏の月面内部に蓄えられている軽元素がほぼ同じ大きさの火星内部と同じように埋蔵しているはずであるが、月は乾燥して高温の鉱物岩石が多く残存している。
４）月や創成期の地球型惑星（無海水圏）内部に重力に抗して軽元素が進入内蔵される形成モデルが提案されていない。

本研究では、これらの問題点の解明を下記のように提起する (Miura, 2013; in press)。
１）固体岩石は、微細粒子から衝突で気体・液体相から固体相になる過程を繰り返して固結残存した破砕状に固体部分を混在する「衝突成長」モデルで長い時空情報を考える。
２）現代の地球の大陸基盤は、プレート運動・地下沈降・マグマ溶融と噴出火山で固結して大きく成長した基盤岩であり特殊なでき方をしているので、それをすべての無海水圏の古い月・惑星に直接適用できない。
３）月面の大きさに小天体からもたらされる軽元素量は、火星と同じように内部に残存できているが、月面の岩石には軽元素が少なく高温の鉱物岩石が多く残存しているので、通常衝突だけでなく、巨大な惑星間衝突過程で多量の軽元素が欠損（段階１）したと考えられる（地球上に濃縮）。
４）軽元素が破壊した集合体で月面本体が形成れたが、その後不均質で微細に破砕した月面表面に衝突貫入して、内部に軽元素が蓄えられた（段階２）が、その全体量は炭酸ガス圏を形成する程ではないと考えられる。

以上から、月面の軽元素は初期（段階１）から末期（段階２）までに多量に消失したが、岩石固体または月内部に一部残存していると考えられる。海水圏を持たない金星や火星も同じ軽元素の衝突内部保存からの数段階経由で、炭酸ガス圏を形成したと思われる。
地球惑星の軽元素は、三圏循環過程で大幅に状態変化して、そのミニタイプ（短周期）である生命圏を形成している。そのため、現代の水惑星地球のデータは、系統的に月・地球型惑星の創成期のモデルには無理があると考えられる。

キーワード: 月, 地球型惑星, 軽元素, 内部保存, 新モデル, 巨大惑星衝突
Keywords: The Moon, Earth-type Planets, Light elemets, Interior reservoir, New model, Giant planetary impact

Japan Geoscience Union Meeting 2013
(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

PPS23-08 会場:201A 時間:5 月 23 日 11:00-11:15

SELENE 搭載α線検出器による月面ラドンガス放出領域
Sites of radon gas emission on the lunar surface obtained from the SELENE Alpha-Ray Detector (ARD)

木下 克之[1*], 渡邊舞[1], 野口冬馬[1], 伊藤真之[1], 高島健[2], 三谷烈史[2], 吉田健二[3], 柏木利介[4], 奥野祥二[4], 森國城[2], 西村純[2]
Kinoshita Katsuyuki[1*], WATANABE, Mai[1], NOGUCHI, Toma[1], ITOH, Masayuki[1], TAKASHIMA, Takeshi[2], MITANI, Takefumi[2], YOSHIDA, Kenji[3], KASHIWAGI, Toshisuke[4], OKUNO, Shoji[4], MORI, Kunishiro[2], NISHIMURA, Jun[2]

[1] 神戸大学, [2] 宇宙航空研究開発機構, [3] 芝浦工業大学, [4] 神奈川大学
[1]Kobe University, [2]ISAS/JAXA, [3]Shibaura Institute of Technology, [4]Kanagawa University

We report results from the observations by Alpha Ray Detector (ARD) onboard SELENE. ARD observes the alpha-particles from Rn-222 and its radioactive decay products including Po-210. Rn-222 is in the decay sequence of U-238. Since radon is rare gas, it diffuses through the fissures or porosity of the lunar surface structure upon its production and decays with the half life of 3.8 days. About half of the daughter nuclei are adsorbed on the lunar surface, and Po-210 is produced after several radioactive decay stages of which time scale is regulated by one of the intermediate products' half life of 22 years. Thus, the intensity of Po-210 alpha-particles gives information on the radon gas emission integrated over the last several decades whereas that of Rn-222 alpha-particles is an indicator of the current gas emission. By analyzing the ARD data, we obtained the Rn-222 and Po-210 distribution on the lunar surface with the spatial resolution of about 80 km (FWHM) which is about a factor of 4 or 5 times better than the observations in the past. One of the most intense peaks of the alpha-particle signal was at the Aristarchus region where Apollo 15, 16, and Lunar Prospector reported detection of radon alpha-particles. Another peak of Po-210 alpha-particle intensity was discovered in the region of Mare Moscovience on the far side of the moon, where the crust thickness has been found to be exceptionally thin. In terms of large-scale intensity distribution of the Po-210 alpha-particles, northern part of the PKT region showed higher intensity than the southern part of the PKT and FHT regions. This trend is not in complete accordance with the U-238 distribution on the lunar surface derived from gamma-ray observations which shows the highest intensity in the southern part of the PKT region. This is probably because the radon alpha-particle intensity reflects the subsurface distribution of U-238. We will discuss the overall picture of the radon gas emission on the lunar surface based on the results of the ARD observations.

キーワード: 月, ラドンガス, α粒子, 月地殻, セレーネ
Keywords: Moon, radon gas, alpha particle, lunar crust, SELENE

Japan Geoscience Union Meeting 2013
(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

PPS23-09 会場:201A 時間:5 月 23 日 11:15-11:30

月全球に分布する火砕性堆積物の分光解析によるマントル組成の不均一性推定
Heterogeneity of lunar mantle composition estimated by spectral analyses of Dark Mantle Deposits

有本 龍三 [1], 大竹 真紀子 [2*], 春山 純一 [2], 岩田 隆浩 [2]
Tatsumi Arimoto[1], Makiko Ohtake[2*], Junichi Haruyama[2], Takahiro Iwata[2]

[1] 東京大学, [2] 宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所
[1]The University of Tokyo, [2]JAXA / ISAS

The lunar mantle makes up 90% of the lunar volume. Therefore, it is important to determine the mantle composition for understanding the lunar bulk composition and the process of its differentiation from the lunar magmatic ocean. However, the composition of the lunar mantle remains unclear. On the other hand, pyroclastic beads which are volcanic glass or partially crystallized spheres provide a direct clue to lunar mantle composition. Previous studies suggested that pyroclastic beads are the result of an explosive fire-fountain originating deeper (300 to 500 km) in the mantle than basaltic magma and retain the original composition of the magma because the beads have higher Mg# than mare basalts and do not completely crystallize during eruption, due to the high upward speed. It is also reported that the color variation of pyroclastic beads correspond to their composition, in particular TiO_2 content, and the crystallinity of the beads. Also, the crystallinity of the beads correlates with quenching rate of the erupted magma formed them and the volatile content in the magma.

Dark Mantle Deposits (DMDs) are darkest regions on the Moon and are believed to contain pyroclastic beads. Thus, by estimating the composition and crystallinity of DMD based on remote-sensing data, we can investigate the composition and volatile content of the magma generated in the deeper lunar mantle on a global scale.

In this study we estimated the TiO_2 content and crystallinity of the largest 20 DMDs distributed globally over the Moon and investigates the compositional relationships of the magmatic sources, among DMDs and between DMDs and the surrounding mare basalt using spectral data obtained by the Multiband Imager (MI) on SELENE. First, we selected DMD locations which have the lowest reflectance and spectral absorption features of pyroclastic beads. Second, we judged the types of pyroclastic beads by comparing the spectral absorption shapes of DMDs in the MI data with that of the laboratory-measured data for Apollo pyroclastic beads. Finally, by comparing the spectra of different mixing ratios of glass and crystallized beads, we estimated the crystallinity and TiO_2 content of the DMD. We also estimated the TiO_2 content of mare basalts surrounding the DMDs in order to compare the composition of the DMDs with that of the mare basalts by producing Ti-maps based on MI spectral data.

Our results suggest that the TiO_2 estimates of DMDs had 2 groups including intermediate-Ti group ranged from 5.4 to 6.3wt% and high-Ti group with 9.1wt%. Also, the crystallinity of the pyroclastic beads of DMDs had 2 groups, including low crystallinity group ranged from 3 to 35%, and high crystallinity group ranged from 72 to 85%.

In addition, a comparison of Ti estimates for DMDs and the surrounding mare basalts indicated that DMDs tend toward higher TiO_2 content than mare.

This variation of composition and crystallinity of DMDs indicates the presence of an azimuthal heterogeneity of composition and volatile content in the lunar mantle, assuming that the depth of the magma source for each DMD has the same range.

The possibility of azimuthal compositional heterogeneity in the lunar mantle is consistent with and may suggest compositional diversity after a mantle overturn, which is the vertical transport of the mantle caused by gravitational instability of the high-Ti cumulate layer produced during the final solidification step of a magma ocean.

キーワード: ダークマントルデポジット, 月, かぐや, 火砕性粒子, チタン, 結晶度
Keywords: Dark Mantle Deposit, Moon, SELENE, pyroclastic beads, Ti, crystallinity

Japan Geoscience Union Meeting 2013
(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

PPS23-10 会場:201A 時間:5 月 23 日 11:30-11:45

深発月震の発生原因と月マントルの不均質構造に関する考察
Consideration of causes of deep moonquake generation and heterogeneity of the lunar mantle

山田 竜平 [1*], 野田 寛大 [1], 荒木 博志 [1]
Ryuhei Yamada[1*], Hirotomo Noda[1], Hiroshi Araki[1]

[1] 国立天文台 RISE 月惑星探査検討室
[1]National Astronomical Observatory of Japn / RISE project

NASA の Apollo 月地震探査により、月深部 700-1400km の間である特定の震源から、月地震（深発月震）が繰り返し発生する事が確認された。深発月震は、月-地球-太陽の位置関係、すなわち月内部に作用する潮汐力に関与して周期的に発生することが分かっているが (e.g., Lammlein, 1977, Bulow et al., 2007)、その発生原因には諸説あり (e.g., Cheng and Toksoz, 1978, Araki, 2001)、いまだその発生メカニズムについては不明な点が多い。

本研究では、特に Apollo 観測時に活発で震源位置が良く決まっている深発月震源 15 個を選びそれぞれの震源で深発月震イベントの発生特性を調べ、その発生メカニズムに関しての考察を行った。これまでの Apollo 地震データの解析から、深発月震はそれぞれの震源で、異なる振幅値のイベントを発生している事が分かっている (e.g., Lammlein, 1977)。そこで、まずその振幅値の変動の状況と、震源ごとの違いを調べるため、観測された各深発月震波形から地震モーメントを導出した。その結果、深発月震の地震モーメントは震源ごとに明らかな違いがあり (最大 1 桁程度)、特に地域性を示す事が分かった。

次に、各震源での地震モーメントの大きさと時間変動が潮汐応力と関係するかどうか調べるため、Apollo 観測当時の各震源域に加わる潮汐応力を計算した。この調査の結果、潮汐応力と地震モーメントの大きさとの間に高い関連性は見られなかったが、地震モーメントの大きいイベントを発する震源ほど、潮汐応力の時間変動との間に低い相関を示す傾向にある事が分かった。以上の結果は、深発月震の発生メカニズムが震源によって異なるか、もしくは同時に震源域付近の弾性的特性（マントル内部構造）が各震源域で異なる可能性を示唆している。

本発表では更に多くのデータを加えて解析した結果を示して、これまでの結論を検証するとともに、深発月震の発生メカニズムや月マントル内部の不均質構造についての更なる考察結果を示す。

キーワード: 深発月震, 地震モーメント, 潮汐応力, 月震発生メカニズム, 月内部構造, 月探査
Keywords: Deep moonquake, Seismic moment, Tidal stress, Generation mechanism of deep moonquake, Lunar interior structure, Lunar exploration

Japan Geoscience Union Meeting 2013
(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

PPS23-11 会場:201A 時間:5 月 23 日 11:45-12:00

粘弾性変形解析から示唆された古い衝突盆地形成年代
Early formations of lunar impact basins inferred from their viscoelastic states: Implication for the heavy bombardment

鎌田 俊一[1*], 杉田 精司[1], 阿部 豊[1], 石原 吉明[2], 原田 雄司[1], 並木 則行[3], 岩田 隆浩[4], 花田 英夫[5], 荒木 博志[5]
Shunichi Kamata[1*], Seiji Sugita[1], Yutaka Abe[1], Yoshiaki Ishihara[2], Yuji Harada[1], Noriyuki Namiki[3], Takahiro Iwata[4], Hideo Hanada[5], Hiroshi Araki[5]

[1] 東大, [2] 産総研, [3] 千葉工大, [4]JAXA, [5] 国立天文台
[1]Univ. of Tokyo, [2]AIST, [3]Chiteck, [4]JAXA, [5]NAOJ

Formations of impact basins are major geologic processes that had occurred on the early Moon [e.g., 1]. Because the upper part of the Moon probably cooled rapidly during its early history, the viscoelastic relaxation of topography would have occurred more vigorously immediately after the basin formation than later [e.g., 2]. Consequently, topographic undulations both at the surface and at the Moho (i.e., the boundary between the crust and mantle) around impact basins would reflect the thermal state of the lunar interior during basin formation ages. Thus, global survey of deformation states of impact basins is important for investigating the early thermal state of the Moon.

Using recent Kaguya geodetic data, Kamata et al. [3] investigate viscoelastic states of major lunar impact basins and obtain upper limit values for surface temperature gradient and for temperature at the Moho. However, no significant information about the thermal state for impact basins earlier than pre-Nectarian (PN) 5 is obtained. In this study, we investigate the thermal structure that can reproduce current crustal structures around early PN impact basins.

Our results indicate that a Moho temperature higher than the solidus of peridotite is necessary to reproduce early PN impact basins when the surrounding crustal thickness is thinner than 60 km. Both our crustal thickness model and a recent crustal thickness model based on LRO and GRAIL data [4] suggest that surrounding crustal thicknesses around degraded impact basins are less than 60 km. Consequently, if such degraded topographies for early PN ”basins” are actually remnants of ancient impact basin topographies, the mantle underneath these basins around their formation ages may be partially melted. This result further suggests that the timing of the complete solidification of the lunar magma ocean corresponds to the boundary between PN 4 and 5. Considering the duration of liquid magma ocean [e.g., 5], this boundary is about 4.1-4.3 Gy ago.

An important implication for the impact history of the Moon is obtained from our results. Based on Apollo sample analyses, a large increase in impact flux on the Moon around 3.9-4.1 Gy ago is proposed [e.g., 6]. This event is often called the Late Heavy Bombardment (LHB) and is very important for understanding the surface environment of the early Earth and the dynamical evolution of the Solar System [e.g., 7]. The absolute formation ages of impact basins, however, are still controversial [e.g., 8]. Because of this, the impact rate on the Moon during the LHB is highly unknown. Ryder [9] suggests an extremely large impact rate during the LHB and suggests that almost all impact basins are formed during the LHB. This speculation, however, is not consistent with our result because our results suggest that 20 out of 45 impact basins are formed before 4.1 Gy ago. This result is further consistent with recent E-belt impactor model [10, 11].

References:

[1] Wilhelms (1987). U.S. Geol. Surv. Prof. Pap. 1348. [2] Solomon et al. (1982). JGR, 87, 3975?3992. [3] Kamata et al. (2013). JGR, 118, doi:10.1002/jgre.20056 (in press). [4] Wieczorek et al. (2013). Science, 339, 671?675. [5] Meyer et al. (2010). Icarus, 208, 1?10. [6] Tera et al. (1974). EPSL, 22, 1?21. [7] Gomes et al. (2005). Nature, 435, 466?469. [8] Stoffler et al. (2006). Rev. Min. Geochem., 60, 519?596. [9] Ryder (2002). JGR, 107, doi:10.1029/2001JE001583. [10] Bottke et al. (2012). Nature, 485, 78?81. [11] Morbidelli et al. (2012). EPSL, 355-356, 144?151.

キーワード: 衝突盆地, 熱進化, 粘弾性, マグマオーシャン, 後期隕石重爆撃期
Keywords: Impact basin, Thermal evolution, Viscoelasticity, Magma ocean, Late Heavy Bombardment

Japan Geoscience Union Meeting 2013
(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

PPS23-12 会場:201A 時間:5 月 23 日 14:15-14:30

月高地地殻の形成過程推定：Mg#と Th 濃度相関からの考察
Formation mechanism of the lunar highland crust indicated by correlation between Mg# and Th content

大竹 真紀子[1*], 小林 進悟[2], 武田 弘[3], 諸田 智克[4], 石原 吉明[5], 松永 恒雄[6], 横田 康弘[6], 春山 純一[1], 山本 聡[6], 小川 佳子[7], 唐牛 譲[1], 佐伯 和人[8]
Makiko Ohtake[1*], Shingo Kobayashi[2], Hiroshi Takeda[3], Tomokatsu Morota[4], Yoshiaki Ishihara[5], Tsuneo Matsunaga[6], Yasuhiro Yokota[6], Junichi Haruyama[1], Satoru Yamamoto[6], Yoshiko Ogawa[7], Yuzuru Karouji[1], Kazuto Saiki[8]

[1] 宇宙航空研究開発機構, [2] 放射線医学研究所, [3] 千葉工大, [4] 名古屋大, [5] 産総研, [6] 国立環境研究所, [7] 会津大, [8] 大阪大
[1]JAXA, [2]NIRS, [3]Chiba Institute of Technology, [4]Nagoya University, [5]AIST, [6]NIES, [7]The University of Aizu, [8]Osaka University

月高地地殻の主要構成相である斜長岩は、マグマオーシャンが約 80%程度固化した後にマグマから斜長石が結晶化し、浮上・集積して形成したと考えられており、斜長岩がマグマから結晶化した時点でのマグマの分化程度を知る事は、高地地殻の形成過程（成長順序等）を知る上で重要である。我々はこれまでに、月周回衛星かぐや（SELENE）搭載スペクトルプロファイラ (Spectral profiler; SP) データを用い、月高地地殻斜長岩中に微小量含まれる苦鉄質鉱物の Mg#（モル比での Mg/(Mg+Fe) x 100、この値が大きいほど未分化なマグマから結晶化した事、すなわちより早い段階でマグマから結晶化したことを示す）の推定を行った。その結果、高地地殻の Mg#は月の表側で低く、より分化したマグマから結晶化し、月の裏側では表側に比べて高く、より未分化なマグマから時期的には表側よりも先に結晶化した岩石からなる事が示唆された。一方で、同じくかぐや搭載のγ線分光計による観測結果からも、液層濃集元素である Th の濃度が月高地で表側に比べて裏側ではより低く、月裏側がやはり先に結晶化した岩石からなる事が報告されている。

本研究では、これら斜長岩中の苦鉄質鉱物の Mg#と Th 濃度の間にどのような相関が有るかを調べる事により、月高地地殻の固化・形成過程の推定（表と裏での固化時期の違いを異なる元素組成を用いて検証し、該当時期におけるマグマ組成の変化を推定する）を試みた。手法としては、Mg#マップを Th 濃度データの空間分解能に合わせて平均化した上で、月面上各地点での Mg#値と Th 濃度の相関を得る。その後、各組成領域の面積情報と合わせて場所による地殻形成時期の推移を推定する。

解析の結果、Mg#と Th 濃度の間には地殻が形成したマグマの分化過程から推定される相関（マグマの分化が進むに従って Mg#が減少し、一方で Th 濃度が上昇する）が緩く見られる事が解った。この事から、月裏側高地の Mg#が高くかつ Th 濃度が低い領域は、表側高地に比べてより未分化なマグマから形成された事が、独立する 2 つの観測機器データを統合的に解析する事により確かめられた。これは、地殻物質の固化が月裏側で表側より早い時期に起こった事を示唆するとともに、これら固化過程が連続的に生じた証拠となる。

キーワード: かぐや, 月, 高地地殻
Keywords: Kaguya, moon, highland crust

Japan Geoscience Union Meeting 2013
(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

PPS23-13 会場:201A 時間:5 月 23 日 14:30-14:45

ハイパースペクトルリモートセンシングによる月スピネル全球捜索
Global Survey of Lunar Spinel-Rich Exposures by Satellite Hyperspectral Remote Sensing

山本 聡 [1*], 中村 良介 [2], 松永 恒雄 [1], 小川 佳子 [3], 石原 吉明 [2], 諸田 智克 [4], 平田 成 [3], 大竹 真紀子 [5], 廣井 孝弘 [6], 横田 康弘 [1], 春山 純一 [5]
Satoru Yamamoto[1*], Ryosuke Nakamura[2], Tsuneo Matsunaga[1], Yoshiko Ogawa[3], Yoshiaki Ishihara[2], Tomokatsu Morota[4], Naru Hirata[3], Makiko Ohtake[5], Takahiro Hiroi[6], Yasuhiro Yokota[1], Junichi Haruyama[5]

[1] 国環研, [2] 産総研, [3] 会津大, [4] 名大, [5]JAXA/ISAS, [6] ブラウン大
[1]NIES, [2]AIST, [3]Univ. of Aizu, [4]Nagoya Univ., [5]JAXA/ISAS, [6]Brown Univ.

The studies using the spectral data obtained by Spectral Profiler (SP) and Multiband Imager (MI) onboard the Japanese lunar explorer SELENE/Kaguya revealed the global distributions of the purest anorthosite (PAN), olivine-rich materials, and orthopyroxene-rich materials over the entire Moon. These results were based on the diagnostic bands of these lunar major minerals in spectral data with wavelength less than 1.7 micron. Recently, a prominent Mg-spinel-rich material (hereafter, Mg-spinel) on the lunar surface has been identified by Moon Mineralogy Mapper onboard Chandrayaan-1. Since the Mg-spinel is characterized by a strong absorption band around 2 micorn, the spectral data with wavelength longer than 1.7 micron are needed to find the Mg-spinel by remote-sensing spectral data. We have recently updated the radiometric calibration for SP NIR 2 data with wavelength longer than 1.7 micron. Based on the entire data set of SP, including the SP NIR 2 data, we conducted the global survey to find the Mg-spinel on the Moon. Here, we report the global distribution of the Mg-spinel sites based on this survey.

キーワード: リモートセンシング, ハイパースペクトル
Keywords: remote-sensing, hyperspectral

Japan Geoscience Union Meeting 2013
(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

PPS23-14 会場:201A 時間:5 月 23 日 14:45-15:00

月への大規模衝突によって形成された「マグマの海」の分化過程
Differentiation of impact-induced magma seas on the Moon

中村 良介 [1*], 山本 聡 [2], 松永 恒雄 [2], 石原 吉明 [1], 横田 康弘 [2], 廣井孝弘 [3]
Ryosuke Nakamura[1*], Satoru Yamamoto[2], Tsuneo Matsunaga[2], Yoshiaki Ishihara[1], Yasuhiro Yokota[2], Takahiro Hiroi[3]

[1] 産業技術総合研究所, [2] 国立環境研究所, [3] ブラウン大学
[1]AIST, [2]NIES, [3]Brown University

我々は月探査機「かぐや」に搭載された Spectral Profiler (SP) データの解析を行い、かんらん石・低カルシウム輝石の全球マッピングを行った。その結果、（１）かんらん石はモスクワの海・危難の海といった地殻の薄い比較的小さい衝突盆地周辺に（２）低カルシウム輝石は月の三大衝突盆地、すなわち南極＝エイトケン盆地・雨の海・プロセラルム盆地の周囲に、それぞれ存在することが明らかとなった。通常のマグマオーシャンの固化モデルでは、最初にかんらん石が晶出して底に沈み、その後に低カルシウム輝石が固化する。つまり SP による観測とは逆に、より深くまで掘削する大規模な衝突盆地の周辺にかんらん石が存在し、地殻の直下までしか掘れていない小規模な盆地では低カルシウム輝石が分布するはずである。この観測結果とモデルの不一致を説明するには、以下の３つの仮説が考えられる。

(i) マグマオーシャンが十分に深かったため、三大衝突盆地でも最初に晶出したマントル中のかんらん石層には到達しなかった。あるいは月のバルク組成は地球とは異なる ([Mg+Fe]/Si が低い) ため、マントルの大部分が低カルシウム輝石で構成されている。
(ii) オーバーターンによってマントルの上下が逆転し、かんらん石が低カルシウム輝石の上に来た。このため、より小さい盆地で上のかんらん石マントルが放出され、深部まで到達した三大盆地だけが低カルシウム輝石を露出させた。
(iii) 巨大衝突によって生じた大規模なメルトによってマグマの海が形成され、その固化の時に、マグマオーシャンと同様の分化が起こった。

(i) の場合、小規模盆地周辺のかんらん石はマントルに由来するものではなく、下部地殻中の Mg-suite であると考えられる。両者の主な違いは斜長石の含有量であるが、SP の観測する可視赤外域では斜長石の吸収帯は低カルシウム輝石／かんらん石によって隠されてしまうため、別の観測手段が必要となる。具体的には (a) X 線／ガンマ線による元素分布観測 (b) SiO2 の割合を制約できる熱赤外分光観測 (e.g., LRO/DIVINER) などがあるが、SP で検出された領域の空間的な広がりはせいぜい数 km であるため、(b) がより有力な手法となる。なお三大盆地周辺の低カルシウム輝石はマントル起源であるため、斜長石の混合比は低いと予測される。

(ii) の場合は、マグマオーシャンの固化やマントルオーバーターンの規模や時期に重要な制約が与えられる。表側の Procellarum KREEP Terrain (PKT) が KREEP 成分に富むということは、マグマオーシャンの残液成分 (urKREEP) がオーバーターンで沈み込みよりも先に大規模衝突が起こり、その成分を表面に露出させたということである。一方、裏側の South-Pole Aitken Terrain(SPAT) で KREEP 濃度が低いのは、この衝突が起こった時には urKREEP がすでにオーバーターンにより深部へ（あるいは先に起こった Procellarum 衝突の影響で表側へ）移動していたためと解釈するのが自然である。このモデルが正しいとすると、SP が同定した低カルシウム輝石およびかんらん石に富む岩体はいずれもマントルに起源を持つため、斜長石をほとんど含んでいないはずである。よって、(i) の場合と同様に、X・ガンマ線による元素組成分布および熱赤外分光による SiO2 量の観測が重要な役割を果たす。

衝突スケーリング則によれば、プロセラルム盆地や南極＝エイトケン盆地の内部には、数千 km の広がりと数十 km の深さを持つマグマの海が形成されたと推測される。このメルトが再結晶化する際の分化によって、低カルシウム輝石およびかんらん石が形成されたとするのが (iii) の説である。メルトの主成分は上部マントルだが、一定量の地殻の混合によって Ca/Al 成分が増えていれば斜長石が再晶出することも可能である。現在も PKT ／ SPAT の地下に存在する薄い斜長岩地殻は、Feldspathic Highland Terrain(FHT) のようにマグマオーシャンから直接固化したものではなく、マグマの海から形成された 2 次地殻である可能性が高い。かぐや搭載マルチバンドイメージャー（MI） の観測により、PKT の中心に位置するアリスタルコスクレーターの中央丘に有色鉱物をほとんど含まない純粋な斜長岩が露出している。この岩体がマグマの海から形成されたとすると、その年代はマグマオーシャンから晶出した斜長岩よりも若いはずである。またこのモデルでは、SP によって同定された低カルシウム輝石およびかんらん石に富む岩体が (ア）斜長石を含んでいる（イ）斜長岩と隣接している、ことがありうる。SP による全球サーベイから複数の鉱物種が隣接する領域を同定し、その複雑な地質を MI 多色画像で調べた結果は、この (iii) 説を強く支持する。

PPS23-14 会場:201A 時間:5 月 23 日 14:45-15:00

キーワード: 月, スペクトル, 赤外線, マントル, 衝突, 地殻
Keywords: Moon, Spectra, Infrared, Mantle, Impact, Crust

Japan Geoscience Union Meeting 2013
(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

PPS23-15 会場:201A 時間:5 月 23 日 15:00-15:15

かぐや LRS による月表面のレーダ観測
Radar observation of lunar surface by KAGUYA LRS

小林 敬生 [1*]
Takao Kobayashi[1*]

[1] 韓国地質資源研究院
[1]Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

We present recent result of lunar surface observation of KAGUYA Lunar Radar Sounder (LRS).

Extracting nadir surface echoes out of LRS observation data, we made a surface echo map of the Moon, i.e. LRS lunar surface image. Nadir surface echo was defined as the most intense peak of an A-scope data. More than 10^8 observation data was used. The LRS lunar surface image has a wide dynamic range of 20 dB, and shows variety of radar surface features as follows;

1. Highland surface appears darker while mare surface appears brighter.
2. Statistical property of surface echoes is different in highland and mare.
3. A crater whose diameter is larger than a few tens of kilometers can be recognized in the image.
4. The central peak of a middle sized crater is recognized as a dark spot.
5. Wrinkle ridges in maria appeared dark linear features.
6. Surface echo intensity of mare surface has a strong correlation with the surface age.

キーワード: かぐや, LRS, 月, 表面, レーダー
Keywords: KAGUYA, LRS, Moon, Surface, Radar

Japan Geoscience Union Meeting 2013
(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

PPS23-16 会場:201A 時間:5 月 23 日 15:15-15:30

かぐやで観測されたレーダエコー強度にもとづく月表面誘電率の決定
Determination of the permittivity of the lunar surface based on the radar echo intensity observed by the Kaguya

熊本 篤志 [1*], 小野 高幸 [1], 小林 敬生 [2], 春山 純一 [3]
Atsushi Kumamoto[1*], Takayuki Ono[1], Takao Kobayashi[2], Junichi Haruyama[3]

[1] 東北大学大学院理学研究科, [2] 韓国地質資源研究院, [3] 宇宙航空研究開発機構
[1]Tohoku University, [2]KIGAM, [3]JAXA

The permittivity of the lunar surface is considered to depend on the compositions and porosity of the surface materials. Therefore the determination of the permittivity is important for discussion of the geological conditions of the lunar surface. If we are going to use echo power for determination of the permittivity, we should note that the radar echo intensity depends not only on the permittivity but also on the roughness of the surface. Therefore, we have determined the permittivity of the lunar surface with considering the surface roughness. In the analysis, the permittivity is determined by using the radar echo intensity obtained by Kaguya Lunar Radar Sounder (LRS) [Ono et al, 2000; 2008; 2010], and the surface roughness parameters derived from Digital Terrain Model (DTM) based on Kaguya Terrain Camera (TC) observation [Haruyama et al., 2008].

The global distributions of the echo powers in a frequency range of 4-6 MHz were derived from the Kaguya/LRS dataset. We have used the intensity of off-nadir echoes in an incident angle larger than 3 degree. The reason why nadir echoes are not used in the analysis is because the echo intensity changes drastically in small incident angle especially at the smooth surface. The echoes arrived after the arrival of the nadir surface echo were identified as off-nadir echoes in this study. In addition, we have also derived the global distribution of the surface roughness parameters. The RMS height sigma of the surface can be obtained by $sigma^2 = <(h(x+dx)-h(x))^2>$, where h(x) is height of the surface derived from the Kaguya TC/DTM, dx is baseline length, and <> denotes the average. If we assume the self-affine surface model, the roughness parameters H and s can be obtained by the least square fitting of the RMS heights to $sigma = s(dx)^H$. The off-nadir surface echo power can be calculated based on the radar equation. Assuming Kirchhoff Approximation (KA), the backscattering coefficient in the radar equation can be obtained from the roughness parameters H and s, and permittivity [cf. Bruzzone et al., 2011]. Using the roughness parameters H and s obtained by Kaguya TC/DTM and changing the assumed permittivity, we can calculate the expected off-nadir surface echo powers and compare them with observed off-nadir surface echo power. Based on the comparison, we can determine most plausible permittivity.

The obtained Hurst exponent H is less than 0.5 in the maria, and about 0.9 in the highlands. The parameter s is about 1 in the maria, and about 0.3 in the highlands. The global distribution of H is similar with that reported by Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO) laser altimeter [Rosenburg et al., 2011]. By applying the analysis method mentioned above, we could obtain the observed and calculated surface echo powers in the regions where $0.25<H<0.35$, and $0.85<H<0.95$. Based on them, we could estimate the average permittivity in the maria (H~0.3) to be 4-5, and that in the highlands (H~0.9) to be 2.

It is inferred that the lunar basalt below the surface consists of grains and voids. The bulk permittivity of the lunar uppermost basalt layer depends on the permittivity of the grains and the ratio of the voids, or porosity. According to the previous studies based on the Apollo lunar samples [cf. Shkuratov et al., 2001], the grain permittivity can be estimated based on the ilmenite abundance. The ilmenite abundance can be derived from the Clementine multiband image data [Lucey et al., 2000].

Based on the bulk permittivity and grain permittivity determined in this study, we also estimated the porosity in the maria (H~0.3) to be 30 % and that in the highland (H~0.9) to be 60 %. It is considered that the surface of the highlands is older than that of the maria. Due to the longtime exposure to the impacts of the meteorites, the porosity of the lunar basalt in the highlands can be larger than that in the maria.
Keywords: Kaguya (SELENE), Lunar Radar Sounder (LRS), Terrain Camera (TC), Electric permittivity, Porosity, Surface roughness

Japan Geoscience Union Meeting 2013
(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

PPS23-17 会場:201A 時間:5 月 23 日 15:30-15:45

かぐや衛星観測データに基づいた月上層玄武岩の誘電率と空隙率の推定
Estimation of the permittivity and porosity of the lunar uppermost basalt layer based on the SELENE observation data

石山 謙 [1*], 熊本 篤志 [1], 小野 高幸 [1], 山口 靖 [2], 春山 純一 [3], 大竹 真紀子 [3], 加藤 雄人 [1], 寺田 直樹 [1], 押上 祥子 [4]
Ken Ishiyama[1*], Atsushi Kumamoto[1], Takayuki Ono[1], Yasushi Yamaguchi[2], Junichi Haruyama[3], Makiko Ohtake[3], Yuto Katoh[1], Naoki Terada[1], Shoko Oshigami[4]

[1] 東北大学, [2] 名古屋大学, [3] 宇宙科学研究所/宇宙航空研究開発機構, [4] 国立天文台
[1]Tohoku University, [2]Nagoya University, [3]ISAS/JAXA, [4]NAOJ

Permittivity is an important parameter for understanding the results obtained from various radar observations. For the investigation of lunar subsurface structures, Lunar Radar Sounder (LRS) onboard the SELENE (KAGUYA) spacecraft emitted the electromagnetic wave (4 - 6 MHz), and measured the delay (dt) between the electromagnetic waves reflected at a lunar surface and at subsurface boundaries [Ono et al., 2009]. In this study, we define an apparent radar depth (D), which is expressed as a function of D=(c∗dt)/2, where c is the speed of light in vacuum. The apparent radar depth relates to the thickness (T) between the surface and subsurface boundaries, at which the electromagnetic wave is reflected. However, we must note that the apparent radar depth is not equal to its thickness. Because the lunar subsurface layer has a bulk permittivity (E_{bulk}), it varies the velocity (v) of the electromagnetic wave in the subsurface layer. The thickness can thus be given as T=v∗dt/2=(c/(E_bulk)$^{0.5}$)∗dt)/2=D/(E_{bulk})$^{0.5}$. In radar observations, the information of the thickness of lunar basalt layer is significant for discussing the lunar volcanic activity [e.g., Hiesinger et al., 2003].

The values of the bulk permittivity (4 - 11), based on Apollo basalt samples, have been used in previous works [e.g., Peeple et al., 1978; Cooper et al., 1994; Oshigami et al., 2009]. We, however, cannot easily use the bulk permittivity. Because Apollo samples were collected on the lunar surface, we suspect whether the bulk permittivities based on Apollo basalt samples reflect the bulk permittivity of the lunar basalt layer. In this study, the bulk permittivity of the lunar uppermost basalt layer is estimated from the rate of D and T. In general, the subsurface bulk permittivity relates to the subsurface porosity [e.g., Shkuratov and Bondarenko, 2001]. The information of the porosity is important for discussing lunar geological conditions, so that the porosity is also estimated by using an empirical relationship between the bulk permittivity and porosity [Shkuratov and Bondarenko, 2001; Huang and Wieczorek, 2012].

We have used data sets obtained from three instruments onboard SELENE: LRS, Multiband Imager (MI), and Terrain Camera (TC). We first focused on the ejecta composition (FeO and TiO_2) around two types of impact craters (the haloed crater and non-haloed crater) due to the estimation of T. The non-haloed crater has the same ejecta composition with the surface composition of uppermost subsurface layer, while the haloed crater has the different ejecta composition from the surface composition of uppermost basalt layer. The haloed craters would be formed when meteorites excavate a lower basalt layer with the different composition from the uppermost basalt, which is lied on the lower basalt layer. The haloed crater and non-haloed crater are identified on the basis of FeO and/or TiO_2 maps created from the MI data. We would therefore constrain T from the depths of haloed crater and non-haloed crater (d_h and d_{non}) measured from the TC data: d_{non}<T<d_h. We note that the distance between haloed crater and non-haloed crater should be as short as possible. The true lunar subsurface boundary is probably oblique, so that the oblique subsurface boundary produces a bad limitation of T. In this study, the distance is limited within 6 km. D is also determined within 6 km from these craters by using the LRS data.

As the results, the bulk permittivity was estimated to be 2.3 - 4.2 in Unit 85 of Mare Humorum and 1.8 - 13.1 in Unit S13 of Mare Serenitatis. In particular, the bulk permittivity of Unit 85 of Mare Humorum was limited within a low bulk permittivity. This low bulk permittivity is indicative of a porous basalt layer with a porosity of 36 - 58%. This estimated porosity would be explained mainly by two different sources: intrinsic voids (vesicles and micro cracks) and impact-induced cracks (micro and macro cracks).

Japan Geoscience Union Meeting 2013
(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

PPS23-18 会場:201A 時間:5 月 23 日 15:45-16:00

ARTEMIS 衛星による地球磁気圏尾部ローブ内での昼側月面上空プラズマの観測
ARTEMIS observations of lunar dayside plasma in the terrestrial magnetotail lobe

原田 裕己 [1*], 町田 忍 [1], Jasper Halekas[2], Andrew Poppe[2], James McFadden[2]
Yuki Harada[1*], Shinobu Machida[1], HALEKAS, Jasper S.[2], POPPE, Andrew R.[2], MCFADDEN, James P.[2]

[1] 京都大, [2]University of California, Berkeley
[1]Kyoto Univ., [2]University of California, Berkeley

月が地球磁気圏尾部ローブ内に位置していた時に、ARTEMIS 衛星が観測した月に関連をもった電子、イオンの特徴を調べた。月プラズマ相互作用において月は単なるプラズマの吸収体であるとしばしば考えられてきたが、最近の観測によって月起源のプラズマが月周辺のプラズマ環境に大きな影響を与えることが明らかになってきた。今回我々は、地球磁気圏尾部ローブ内での低密度環境において、月起源のプラズマが重要な役割を果たすことを示す観測例を報告する。本研究では、昼側の月面上空と月から遠く離れた２つの点における同時観測データを用いることにより、背景プラズマの変化と月に関連した現象とを切り分けて解析を行った。

ARTEMIS 衛星の１機が昼側月面上空を飛行しながら磁力線によって月面に繋がっている時に、磁力線に沿って昼側月面から上昇して来る電子を観測した。上昇電子のピッチ角分布を調べると、そのピッチ角幅は、磁力線が月面となす角度に依存していることがわかった。この傾向は電子を放出する月面に対して傾いた磁力線の効果を考慮すると説明できる。また、上昇電子が 10~200 eV 程度の比較的高いエネルギーにおいても大きなフラックスをもつことから、これらの電子の大部分は月面から放出された光電子の高エネルギーテイルの部分であると推測される。このように月面から放出される光電子のエネルギー分布に高エネルギーテイルが存在するのであれば、周囲のプラズマから流入する電子電流が小さくなるローブ内では、昼側の月面は大きく正に帯電することが予想される。正に帯電した昼側月面付近に生じる上向きの電場は、月面のごく近傍で新たに電離した月外気圏由来のイオンを上向きに加速すると考えられ、実際に、同期間に昼側月面上空で磁力線に平行な速度成分をもつ月関連のイオンが観測された。月関連イオンの平行速度成分からは数 10 V 以上の正の月面ポテンシャルの存在が示唆された。また、月関連イオンに加えて、電子プラズマ周波数の上昇、衛星電位の減少、冷たい電子の増加など、月由来のプラズマの存在を示す兆候が同時に観測された。２地点で観測されたラングミュア波の周波数の差異から、昼側月面上空には背景の地球磁気圏尾部ローブに比べて数倍の密度のプラズマが存在していることが示された。さらに、これらの月関連プラズマの兆候と同時に背景電子の速度分布関数が変化しているのが観測され、そのことはローブ電子が月関連プラズマと直接的、または間接的に相互作用していることを示唆する。

これらの ARTEMIS 衛星による観測は、地球磁気圏尾部ローブ内では、昼側月面のごく近傍で新たに電離した密度の高い月由来のイオンが、大きく正に帯電した月面付近の電場によって上向きに加速され、上空数 100 km 以上に拡がり、周囲のプラズマと相互作用していることを示している。このように、ローブ内における昼側月面上空は、月面電場によってエネルギーを与えられた密度の高い重イオンが背景の sub-Alfvenic な流れをもつ低ベータプラズマ中に存在するという、非常に興味深いプラズマ環境であり、複数成分プラズマの物理過程の理解を進めるためにも更なる研究が必要である。

キーワード: 月, プラズマ, 表面帯電, ピックアップイオン, 光電子
Keywords: Moon, plasma, surface charging, pickup ion, photoelectron

Japan Geoscience Union Meeting 2013
(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

PPS23-19 会場:201A 時間:5 月 23 日 16:15-16:30

月周辺で観測される電子サイクロトロン高調波
Electron cycltron harmonic waves observed around the moon

片山 由美子 [1], 小嶋 浩嗣 [1*], 斎藤 義文 [2], 笠原 禎也 [3], 大村 善治 [1], 山本 忠輝 [4], 横田 勝一郎 [2], 西野 真木 [2], 橋本 弘藏 [1], 小野 高幸 [5], 綱川 秀夫 [6]
Yumiko Katayama[1], Hirotsugu Kojima[1*], Yoshifumi Saito[2], Yoshiya Kasahara[3], Yoshiharu Omura[1], Tadateru Yamamoto[4], Shoichiro Yokota[2], Masaki N Nishino[2], Kozo Hashimoto[1], Takayuki Ono[5], Hideo Tsunakawa[6]

[1] 京都大学生存圏研究所, [2] 宇宙航空研究開発機構, [3] 金沢大学, [4] 総研大, [5] 東北大学, [6] 東工大
[1]RISH, Kyoto university, [2]JAXA, [3]Kanazawa university, [4]Sokendai, [5]Tohoku university, [6]Tokyo TECH

The present paper discusses the generation of Electron Cyclotron Harmonic (ECH) waves observed around the Moon. Plasma wave data obtained by the KAGUYA satellite show the existence of two kinds of ECH waves. They are:the

ECH waves with lower order harmonics and ones with higher order harmonics which frequencies are close to the upper hybrid resonance frequency. ECH waves can be observed only when the moon is inside the terrestrial magnetosphere. They never appear in the solar wind. The configuration of local magnetic fields is also important. KAGUYA observes the both types of ECH waves along the magnetic field lines which are connected with magnetic anomalies which are scattered on the moon surface. Furthermore, while the lower order harmonics are observed in the nightside of the Moon in the plasma sheet and lobe regions, the higher order harmonics are observed in the dayside in the lobe region. The correlation studies between waves and particles show that the existence of two components of electrons is essential for the observation of the both types of ECH waves. Two components of electrons mean hot electrons with the loss cone velocity distribution and cold electrons. On the other hand, the generation of cold electrons is classified into two echanisms. One is the acceleration over the nightside moon surface which is negatively charged and the other is the emission of photo electrons while the spacecraft gets sunlight. In order to make sure the relation of ECH waves and electron distribution, we conducted the linear dispersion relation analysis and particle simulation using the realistic plasma parameters of electromagnetic environment based on the KAGUYA observation. The results clearly showed the parametric dependence of the ECH wave growth under the co-existence of the loss cone distribution of hot electrons and cold electrons. We discuss the generation of ECH waves consulting the parametric dependence and explain the relation of the ECH waves with the moon location in the magnetosphere.

キーワード: 電子サイクロトロン高調波, プラズマ波動, かぐや, 月
Keywords: Electron cyclotron harmonic waves, Plasma waves, KAGUYA, moon

Japan Geoscience Union Meeting 2013
(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

PPS23-20 会場:201A 時間:5 月 23 日 16:30-16:45

かぐやで観測された月周辺静電孤立波 (ESW) と電子ビーム
Electrostatic Solitary Waves (ESWs) and electron beams observed by Kaguya near the Moon

橋本 弘藏 [1*], 大村 善治 [1], 笠原 禎也 [2], 小嶋 浩嗣 [1], 斎藤 義文 [3], 西野 真木 [3], 小野 高幸 [4], 綱川 秀夫 [5]
Kozo Hashimoto[1*], Yoshiharu Omura[1], Yoshiya Kasahara[2], Hirotsugu Kojima[1], Yoshifumi Saito[3], Masaki N Nishino[3], Takayuki Ono[4], Hideo Tsunakawa[5]

[1] 京大生存圏研究所, [2] 金沢大総合メディア基盤センター, [3]JAXA 宇宙科学研究所, [4] 東北大院理学研究科, [5] 東工大院理工学研究科
[1]RISH, Kyoto U, [2]Information Media Center, Kanazawa U, [3]JAXA/ISAS, [4]Graduate School of Science, Tohoku U, [5]Deparment of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology

月周回衛星「かぐや（SELENE）」搭載 LRS[1] の WFC-L 波動観測装置 [2] では，100Hz-100kHz の波形を観測でき、多数の静電孤立波 (ESW) が観測されている [3]。通常は直交ダイポールアンテナやモノポールアンテナ対による ESW の解析も続けてきている。さらに背景磁場 [4] やプラズマ環境 [5] の解析も加味している。

観測された波形を，理想的な ESW 波形や，その生成過程と考えられている磁場に垂直な成分を含めて近似し，さらに，モノポール観測の場合には，伝搬速度やポテンシャルのスケール等に関する情報も評価してきた。

今回は，Geotail で観測された ESW の解析 [6] に倣い，電子の速度分布関数の磁場に垂直な成分を積分した，並行成分の分布関数から背景の熱電子の分布関数を差し引くことによって電子ビーム成分を導く。太陽風中，磁気異常上空，ウエィク境界，ウエィク内といった ESW が受信されている場所依存性と ESW，磁場環境との関係を吟味する。

References
[1] T. Ono, et al., The Lunar Radar Sounder (LRS) Onboard the KAGUYA (SELENE) Spacecraft, Space Science Reviews, 154, Nos. 1-4, 145-192, DOI:10.1007/s11214-010-9673-8, 2010
[2] Y. Kasahara, et al., Plasma Wave Observation Using Waveform Capture in the Lunar Radar Sounder on board the SELENE Spacecraft, Earth, Planets and Space, 60, 341-351, 2008.
[3] K. Hashimoto, et al., Electrostatic solitary waves associated with magnetic anomalies and wake boundary of the Moon observed by KAGUYA, Geophys. Res. Lett., 37, L19204, doi:10.1029/2010GL044529, 2010.
[4] H. Tsunakawa, et al., Lunar Magnetic Field Observation and Initial Global
Mapping of Lunar Magnetic Anomalies by MAP-LMAG Onboard SELENE (Kaguya), Space Sci. Rev. 154, 219-251,2010, DOI 10.1007/s11214-010-9652-0
[5] Y. Saito, et al., In-flight performance and initial results of Plasma energy Angle and Composition Experiment (PACE) on SELENE (Kaguya), Space Science Reviews, Vol. 154, No. 1-4, 265-303, 2010.
[6] Y. Omura, et al., Electrostatic solitary wavescarried by diffused electron beams observed by the Geotail spacecraft, Geophys. Res., Vol. 104, No. A7, 14,627-14,637, 1999.

キーワード: かぐや, 静電孤立波, 電子ビーム
Keywords: Kaguya, ESW, electron beam

Japan Geoscience Union Meeting 2013
(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

PPS23-21 会場:201A 時間:5 月 23 日 16:45-17:00

Type-II entry of solar wind protons into the lunar wake as a general phenomenon

Type-II entry of solar wind protons into the lunar wake as a general phenomenon

Masaki N Nishino[1*], Masaki Fujimoto[1], Yoshifumi Saito[1], Mariko Kawamura[2], Hideo Tsunakawa[3], Yoshiya Kasahara[4], Masaki Matsushima[3], Futoshi Takahashi[3], Hidetoshi Shibuya[5], Hisayoshi Shimizu[6], Yoshitaka Goto[4], Kozo Hashimoto[7], Yoshiharu Omura[7], Atsushi Kumamoto[8], Takayuki Ono[8], Shoichiro Yokota[1]
Masaki N Nishino[1*], Masaki Fujimoto[1], Yoshifumi Saito[1], Mariko Kawamura[2], Hideo Tsunakawa[3], Yoshiya Kasahara[4], Masaki Matsushima[3], Futoshi Takahashi[3], Hidetoshi Shibuya[5], Hisayoshi Shimizu[6], Yoshitaka Goto[4], Kozo Hashimoto[7], Yoshiharu Omura[7], Atsushi Kumamoto[8], Takayuki Ono[8], Shoichiro Yokota[1]

[1]JAXA, [2]The University of Tokyo, [3]Tokyo Institute of Technology, [4]Kanazawa University, [5]Kumamoto University, [6]ERI, The University of Tokyo, [7]RISH, Kyoto University, [8]Tohoku University
[1]JAXA, [2]The University of Tokyo, [3]Tokyo Institute of Technology, [4]Kanazawa University, [5]Kumamoto University, [6]ERI, The University of Tokyo, [7]RISH, Kyoto University, [8]Tohoku University

We study a type of solar wind entry into the lunar wake under various interplanetary magnetic field (IMF) conditions using SELENE (Kaguya) data. Our recent observations around the Moon revealed that so-called type-II (T2) entry of the solar wind protons into the near-Moon wake occurs when the IMF is dominated by the non-radial components (i.e. B_Y and/or B_Z). Under this condition a part of the solar wind protons scattered/reflected at the lunar dayside surface subsequently enters the central region of the near-Moon wake after a large-scale cycloid motion, which gives rise to electron acceleration and wave generation. The situation handled in the previous studies is that the magnetic field line around which the solar wind protons entering the wake are gyrating is detached from the lunar surface, and thus a possibility of the T2 proton entry into the region where field lines are connected to the lunar surface has not been considered yet. Here we report that the T2 entry process takes place under various IMF conditions, and that the protons can access the central wake region that is magnetically connected to the lunar nightside surface, which we categorize into the T2 entry with magnetic connection to the lunar surface (T2MC). Furthermore we show that the energy of the electron beams associated with the entered protons depends on the magnetic connectivity to the lunar nightside surface. Strong electron acceleration (up to several hundred eV to 1 keV) along the magnetic field associated with the T2 entry is prominent when the field line has its both ends in the solar wind, that is, when the magnetic field is detached from the lunar surface (i.e. the ”original” T2 entry that we rename to T2MD). On the other hand, no significant electron acceleration is found in the T2MC cases, although an enhancement of the electron flux associated with the T2 proton entry is evident. Our results indicate that, while the T2 entry of solar wind protons into the wake itself does not require a special IMF condition but is a rather general phenomenon, the characteristic energy of associated electrons does show a strong dependence on the magnetic connectivity to the lunar surface.

キーワード: Solar wind-Moon interaction, Lunar wake, SELENE, Wave-particle interaction, Plasma entry into wake
Keywords: Solar wind-Moon interaction, Lunar wake, SELENE, Wave-particle interaction, Plasma entry into wake

Japan Geoscience Union Meeting 2013
(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

PPS23-22 会場:201A 時間:5 月 23 日 17:00-17:15

かぐや衛星によって発見された月ウェイク中央部の ELF 帯磁場変動について
Magnetic fluctuations detected by Kaguya in the central wake

中嶋 達也[1], 和田 拓也[1], 中川 朋子[1*], 綱川 秀夫[2], 高橋 太[2], 渋谷 秀敏[3], 清水 久芳[4], 松島 政貴[2], 斎藤 義文[5], 西野 真木[5]
NAKASHIMA, Tatsuya[1], WADA, Takuya[1], Tomoko Nakagawa[1*], Hideo Tsunakawa[2], Futoshi Takahashi[2], Hidetoshi Shibuya[3], Hisayoshi Shimizu[4], Masaki Matsushima[2], Yoshifumi Saito[5], Masaki N Nishino[5]

[1] 東北工業大学工学部情報通信工学科, [2] 東京工業大学大学院理工学研究科地球惑星科学専攻, [3] 熊本大学大学院自然科学研究科, [4] 東京大学地震研究所, [5] 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所
[1]Tohoku Institute of Technology, [2]Deparment of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology, [3]Department of Earth and Environmental Sciences, Graduate School of Science and Technology, Kumamoto, [4]Earthquake Research Institute, University of Tokyo, [5]JAXA/ISAS

月には地球のような大規模な固有磁場が無いため、太陽風粒子は直接月面に衝突する。そのほとんどは月面で吸収され、ごく一部 (0.1 ないし 1%）の太陽風プロトンが月面ないし月表面の磁場で反射される。この反射プロトンは月周辺の磁場に擾乱を与えている。特に周期 100 秒程度の低周波の波と、0.03-10 Hz 程度の ELF 帯の波が特徴的である。後者は特に、月が太陽風中にあって衛星が月の昼間側にあるときはほとんど常に観測される。一方、月の夜側の、太陽風プラズマが入れないウェイク領域では、そのような磁場変動はほとんど見られないのが常である。

しかしながら、100km 高度の昼夜を通る軌道上のかぐや衛星搭載磁力計 MAP/LMAG によって、0.1-10Hz 程度の ELF 帯の磁場変動が月の夜側中央部（ウェイク中央部）付近に時折見られることが発見された。このような波の 15 例中、少なくとも 12 例は、真夜中でありながら、同時にイオンが観測されている。このイオンは日照側月面で反射したプロトンが太陽風の磁場を横切って回転を始め、ウェイク中央部に到達したもの (タイプ II エントリー, Nishino et al., 2009) と考えられる。波の継続時間（数分程度）は、イオンの観測時間より同程度か短いことが多かった。

これらの磁場変動には明確な回転方向は見られず、むしろ１次元的な変動であり、振動方向は背景磁場の方向に近いことが多かった。これらの変動が観測されるのは、背景磁場の y 方向成分（GSE 座標) が卓越している時に多かった。以上の性質から、この磁場変動は、タイプ II エントリーのプロトンビームによって生じたビームモードの磁気音波ではないかと考えられる。

キーワード: ELF, かぐや, MAP/LMAG, MAP/PACE, ウェイク, 月
Keywords: lunar wake, SELENE, magnetic fluctuations, solar wind, nightside, type-II entry

Japan Geoscience Union Meeting 2013
(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

PPS23-23 会場:201A 時間:5 月 23 日 17:15-17:30

プラズマ粒子シミュレーションによる太陽風‐小型ダイポール磁場相互作用の解析とその Reiner Gamma 磁場への応用
PIC simulation on the solar wind interactions with meso-scale magnetic dipole and its application to Reiner Gamma

臼井 英之[1*], 梅澤 美佐子[1], 松本 正晴[1], 西野 真木[2], 三宅 洋平[1]
Hideyuki Usui[1*], Misako Umezawa[1], Masaharu Matsumoto[1], Masaki N Nishino[2], Yohei Miyake[1]

[1] 神戸大学大学院システム情報学研究科, [2] 宇宙航空研究開発機構　宇宙科学研究所
[1]Graduate school of system informatics, Kobe University, [2]JAXA/ISAS

我々は、宇宙プラズマの運動論的効果を考慮したプラズマ粒子シミュレーションにより太陽風と小型局所ダイポール磁場との相互作用について研究を行っており、本講演では、その結果の一部を紹介するとともに月面ライナーガンマの局所磁場への応用事例を報告する。我々が対象としている代表的なダイポール磁場は、その中心と太陽風動圧の釣り合い点との距離が太陽風イオンの慣性長よりも小さくかつ電子ジャイロ半径よりは十分大きい、いわゆるメソスケール規模を想定している。地球規模のダイポール場と違い、メソスケール磁場の場合、磁場に対する電子とイオンのダイナミクスの違いが磁気圏形成やそれに関連するプラズマ現象に大きく影響すると予想される。すなわち、磁場を媒介した電子とイオンのスケールカップリングが重要となる。しかし、このような小型磁場構造と太陽風の間でどのような相互作用が生じるかという点については、いまだ定量的な理解が進んでいない。

太陽風プラズマ、特にイオンのラーマ半径がダイポール磁場構造の大きさとほぼ同程度もしくは大きくなるため、この定量的解析を行うには MHD モデルシミュレーションではなくプラズマの運動論的効果を考慮した粒子シミュレーションが適している。これまでのシミュレーション結果では、イオンラーマ半径より小さい磁場構造においてもメソスケールの磁気圏が形成されることがわかった。太陽風動圧と磁場の釣り合い点近傍において、イオンと電子の電荷分離が生じ、その結果生じる局所電場により、本来このスケールでは非磁化とみなされるイオン流も大きく影響を受けることを明らかにした。また、そこを中心にダイポール磁場が圧縮される点、および、その磁場圧縮領域で電子による境界層電流が流れその領域の厚さは電子のラーマ半径程度である点も粒子シミュレーションから明らかになった。ただし、惑星間空間磁場（ＩＭＦ）の影響を考えると、前面では衝撃波構造に似た擾乱領域の生成、また磁力線リコネクションによる小型ダイポール磁場の構造的変化などが考えられる。

今回、月面磁気異常の一例としてライナーガンマをモデルとして採用しそのプラズマ粒子シミュレーションを行った。太陽風に対してダイポール磁場がほぼ垂直に位置するため、ライナーガンマ上空でのプラズマおよび磁場密度の増加がみられるが、IMF の方向によってその違いがみられた。また磁場の影響により太陽風イオンがライナーガンマ領域の月面にほとんど達しないことも明らかになった。これらの現象について月面上空でのプラズマダイナミクスや電界構造を考慮しつつ議論する。

キーワード: プラズマ粒子シミュレーション, 磁気異常, 小型ダイポール磁場, 太陽風, ライナーガンマ
Keywords: Plasma particle simulation, magnetic anomaly, small-scale magnetic dipole, solar wind, Reiner Gamma

Japan Geoscience Union Meeting 2013
(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

PPS23-24 会場:201A 時間:5 月 23 日 17:30-17:45

月起源イオンに対する磁気異常の影響
The effect of magnetic anomalies on the detection of Moon originating ions

河村 麻梨子[1*], 斎藤 義文[2], 西野 真木[2], 上村 洸太[1], 横田 勝一郎[2], 綱川 秀夫[3]
Mariko Kawamura[1*], Yoshifumi Saito[2], Masaki N Nishino[2], Kota Uemura[1], Shoichiro Yokota[2], Hideo Tsunakawa[3]

[1] 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻, [2] 宇宙航空開発機構 宇宙科学研究所, [3] 東京工業大学大学院理工学研究科地球惑星科学専攻
[1]Department of Earth and Planetary Science, The University of Tokyo, [2]Institute of Space and Astronautical Sciences, Japan Aerospace Expolaration Agency, [3]Department of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology

月周辺には太陽風プラズマの他、月表面や月外気圏に由来する重イオン（月起源イオン）が存在することが地上観測などにより知られてきた。月起源イオンの生成・輸送過程は古くから提案されてきたが、どのプロセスが支配的であるかなど詳しいことは未だよくわかっていない。定性的には月表面からは太陽光による脱離や太陽風によるスパッタリング、熱脱離によって、外気圏からは中性大気の電離によって生じ、月が太陽風中にあるときは太陽風によるコンベクション電場や月表面の帯電によるポテンシャル電場で月面に戻るか宇宙空間に輸送されると考えられている。月周回衛星「かぐや」に搭載された低エネルギーイオン観測器 MAP-PACE IMA は世界で初めて月起源イオンのその場観測を行い、月が太陽風中にあるときに高度 100km において C^+, O^+, Na^+, K^+, Ar^+ のイオンを同定した。検出されたイオンのエネルギーはおよそ数百 eV であり、概ね太陽風によるコンベクション電場で加速されたとして説明できるものであった [Yokota et al, 2009]。

本研究では、IMA が検出する月起源イオンの量の変動から、月起源イオンの生成輸送過程の手掛かりを得ることを目的としている。特に、イオンには電磁場の影響が強いと考えられるため、コンベクション電場の影響と磁気異常の影響について解析を行った。

コンベクション電場と高度 100km 月起源イオンのフラックスを比較したところ、電場の北方向・東方向との相関は平均でほぼ 0 であったのに対し、動径成分とはやや正の相関がみられた。　検出されたフラックスの変動は、およそ電場の動径方向の変動で説明することができるが、「かぐや」が磁気異常上空を通過する際、ごく低エネルギーの月起源イオンフラックスの検出量について電場の変動だけでは説明できない減少がみられた。このことから、磁気異常が月起源イオンに及ぼす影響について考察する。

キーワード: 月, プラズマ, 磁気異常
Keywords: Moon, plasma, magnetic anomaly

Japan Geoscience Union Meeting 2013
(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

PPS23-P01 会場:コンベンションホール 時間:5 月 23 日 18:15-19:30

最新の SELENE、LRO データによる月数値標高モデル (DEM)
The newest lunar digital elevation model (DEM) from SELENE and LRO data

春山 純一[1*], 大竹 真紀子[1], 松永 恒雄[2], 岩崎 晃[3], 諸田 智克[4], 横田 康弘[2], 石原 吉明[5], 荒木 博志[6], 松本 晃治[6], 野田 寛大[6], 佐々木 晶[6]
Junichi Haruyama[1*], Makiko Ohtake[1], Tsuneo Matsunaga[2], Akira Iwasaki[3], Tomokatsu Morota[4], Yasuhiro Yokota[2], Yoshiaki Ishihara[5], Hiroshi Araki[6], Koji Matsumoto[6], Hirotomo Noda[6], Sho Sasaki[6]

[1] 宇宙航空研究開発機構/宇宙科学研究所, [2] 国立環境研究所地球環境研究センター, [3] 東京大学先端科学技術研究センター, [4] 名古屋大学大学院環境学研究科, [5] 産業技術総合研究所情報技術研究部門ジオインフォマティクス研究グループ, [6] 国立天文台 RISE 月探査プロジェクト
[1]Japan Aerospace Exploration Agency / Institute of Space and Astronautical Science, [2]Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies, [3]The Univiersity of Tokyo, Research Center for Advanced Science and Technology, [4]Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, [5]Geoinformatics Research Group, Information Technology Research Institute, National Institute of Adva, [6]National Astronomical Observatory, RISE Project

2007 年に我が国が打ち上げた月探査機 SELENE（かぐや）に搭載された地形カメラによる月全球の 10 m/画素の解像度立体視データを基礎に、SELENE 搭載マルチバンドイメージャデータならに米国月探査 LRO に搭載された高度計データ（LOLA）によって補完された月全球の数値標高モデル（DEM）の最新版について、本講演では紹介する。

これまで、SELENE 地形カメラのステレオ視画像を基にした数値地形モデル（Digital Terrain Model）データが、画像データとともに、SELENE　レベル 2 データベース（LINK 参照）配布されてきている。また、これらを基にした、月全球についてモザイク処理を施した DTM マップとオルソ画像マップも公開されている（LISM/高次プロダクト；プロダクト名は、DTM マップ、TC オルソマップ）。これらモザイクデータは、極域にいたるまで等経緯度図法で表された 3deg x 3deg のタイル状となっている。1 画素あたりの解像度は、赤道域では 7m/画素となるような、リサンプリングを施している。

地形カメラデータは、ほぼ月全球の観測を行ったが、裏側の高地等に、隣接軌道で数%以下程度ながら抜けが生じた。（ただし、全球に対する被覆抜けは 1 %以下）。また、極域については、陰が多く数値地形モデルが作成出来ないところが多い。そこで、地形カメラデータを基に、抜けの部分を他データによって埋めて、より被覆率の高い地形標高モデルが作成されている。この時利用されたのは、SELENE 搭載マルチバンドイメージャ（MI）可視域（VIS）データからの DTM と、LRO 搭載 LOLA（高度計）のデータである。MI-VIS データは、水平解像度 20 mである。MI-VIS は、二次元の検知器について、5 つのラインを残し後はマスクすることで、各ラインが、あたかも一次元センサーのようにして月面をスキャンし、二次元画像を得る。したがって、MI-VIS の異なるラインの間には、視差が生じることになる。この視差を使って、DTM が作成できる。最も前側と最も後ろ側のライン間の画角は、± 5.48 deg である。MI-DTM によって、特に裏側の高地で抜けたところが補完された。

LRO に搭載された LOLA は、スポット半径 20m の 5 つのビームが打たれる仕様になっており、各スポットの衛星進行方向の出射間隔は 10～20m である。経度方向の水平解像度は軌道間隔で決まるが、極域は、非常に密なデータが得られることになる。地形カメラの数値地形モデルデータより、緯度約 85 °以上で、LOLA の水平方向のデータ密度が上回る。

これら MI-DTM と LOLA データを統合して、新たに全球の数値標高モデル（Digital Elevation Model:DEM）「SLDEM2012」が作成されている。ただし、これまでの検証で、全球的に数 m のオフセットが LOLA データと、SLDEM2012 との間に残っていた。そこで、このオフセット処理を取り除く補正処理を行い、新たな DEM の作成を試みている。この DEM が出来れば、これまでの月面全球を覆う DEM マップとしては、世界最高精度のものとなる。この DEM マップは、月科学研究、更には将来の月探査において、非常に重要かつ有意義なものとなることが期待される。

【LINK】
SELENE データアーカイブサイト
（日本語）http://l2db.selene.darts.isas.jaxa.jp/
（英語） http://l2db.selene.darts.isas.jaxa.jp/index.html.en

キーワード: 月, 数値標高モデル, デム, 地形カメラ, セレーネ, かぐや
Keywords: Moon, digital elevation model, DEM, Terrain Camera, SELENE, Kaguya

Japan Geoscience Union Meeting 2013
(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

PPS23-P02 会場:コンベンションホール 時間:5 月 23 日 18:15-19:30

かぐや LRS データに基づく 月表側の火成活動の再解釈
Mare volcanism: Reinterpretation based on Kaguya Lunar Radar Sounder data

押上 祥子 [1*], 渡辺　志穂 [2], 山口 靖 [2], 山路 敦 [3], 小林 敬生 [4], 熊本 篤志 [5], 小野 高幸 [5]
Shoko Oshigami[1*], WATANABE, Shiho[2], Yasushi Yamaguchi[2], Atsushi Yamaji[3], Takao Kobayashi[4], Atsushi Kumamoto[5], Takayuki Ono[5]

[1] 国立天文台, [2] 名古屋大学, [3] 京都大学, [4] 韓国地質資源研究院, [5] 東北大学
[1]National Astronomical Observatory of Japan, [2]Nagoya University, [3]Kyoto University, [4]Korean Institute of Geoscience and Mineral Resources, [5]Tohoku University

The volumes of single geological units with different ages and compositions are essential for revealing characteristics of mare volcanisms and for constraining the thermal history of the Moon. Recently, the thicknesses of mare basalt units defined by previous lithofacies maps were indirectly estimated from Clementine multispectral data. That is, the depth-diameter relationship of the craters fringed with ejecta from the underlying basaltic units placed the constraints for the estimation. The results are derived for only limited areas in Oceanus Procellarum and Mare Serenitatis.

At present, the geological structures under the lunar maria are directly investigated using sounder observations. The Lunar Radar Sounder (LRS) onboard Kaguya (SELENE) detected widespread horizontal reflectors under some nearside maria. The LRS detects, using FM-CW radar (4-6 MHz), echoes from subsurface horizons with abrupt changes in dielectric constants at the apparent depths smaller than about 1 km. Oshigami et al. [2012] concluded that the reflectors correspond to the interfaces between basalt units with different FeO contents, suggesting that buried regolith layers were responsible for the radar returns. Therefore the LRS data have great potential to determine a lava effusion volume during a series of magmatism in lunar maria and its time dependence.

Thicknesses of mare basalt units with different ages and compositions are directly estimated from the LRS data in the several regions of lunar maria. Using the technique of Ono et al. [2009], we correlate subsurface reflectors with the surface geologic units, the ages of which have been estimated by several researchers, to evaluate the volumes of the units.

The estimated thicknesses of the geologic units were of the order of 10^1-10^2 meter, and showed a positive correlation with their ages. The resolution of our estimation was limited by the range resolution of the LRS data. Previous studies indicated that the typical thicknesses of single basalt flows were about 10 m or less in most of the studied sites. These estimations suggest that the geologic units are made up of dozens of lava flows.

Weider et al. [2010] estimated the thicknesses of a number of mare basalt units in Oceanus Procellarum and Mare Serenitatis, ranging from about 80 to 600 m. For the purpose of comparison, we took the unit S15 in Serenitatis defined by Hiesinger et al. [2000]: Weider et al. concluded that the representative thickness was about 500 m although individual data derived from craters located on the unit showed a wide variation, implying large uncertainty of thier estimation. In contrast, the LRS data exhibit that the averaged thickness of the unit S15 is about 150 m.

The volumes of the geologic units estimated in this study were of the order of 10^3 km^3, and showed a clear positive correlation with their ages. Again, the resolution of our method was limited by the range resolution of the LRS data. This volume range is consistent with flow volumes derived from numerical simulations of thermal erosion model for lunar sinuous rilles formation. The large sinuous rilles are estimated to have formed by thermal erosion with sustained lava flows of volume in the range 300-1200 km^3. The volume range derived from our study also comparable to the average flow volumes of continental flood basalt units forming after the Paleozoic and calculated flow volumes of Archean komatiite flows, both possibly originated from mantle plume activities on the Earth. The estimated volumes of the geologic mare units and their age variation on each maria potentially constrain key factors for the thermal evolution of the Moon; magma buoyancy and crustal thickness, impact basin topography effects on the ascent of magma, and thermal evolution trend.

キーワード: かぐや, 月レーダサウンダ, 月の海, 地下構造, 火成活動
Keywords: Kaguya, Lunar Radar Sounder, Lunar maria, Subsurface structure, Volcanism

Japan Geoscience Union Meeting 2013
(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

PPS23-P03 会場:コンベンションホール 時間:5 月 23 日 18:15-19:30

月核条件での Fe-O-S 系の融解と オリビン・鉄メルトの反応： 月核マントル境界への応用
Melting of the Fe-O-S system and reaction between olivine and iron melt at lunar core conditions

赤松 明香 [1*], 大谷 栄治 [1], 鈴木 昭夫 [1]
Haruka Akamatsu[1*], Eiji Ohtani[1], Akio Suzuki[1]

[1] 東北大学大学院理学研究科地学専攻
[1]Department of Earth and Planetary Materials Science, School of Science, Tohoku University

Despite recent insight regarding the Moon from satellite sensing and analyses of Apollo-era seismic data, there are still several unknown issues on the deep lunar interior. It is suggested that the Moon has a small iron-rich core with a radius between 220 and 450 km based on the calculated value of the mass and moments of interior (Konopliv et al., 1998), but the question about its feature is still under debate. Recent studies suggest the presence of a solid inner core and liquid outer core in the Moon (Weber et al., 2011). If we could constrain the temperature and composition of the lunar outer core, this would help us for better understanding of the lunar interior. Here, we focused on the interaction between liquid iron-alloy and solid silicate, and revealed the nature of the outer core of the Moon. The lunar mantle is characterizes by high FeO content compared to the Earth's mantle. This implies that Moon is oxidizing and oxygen can be in the lunar core. Therefore, Fe-O-S system is considered and we performed the partition experiments of oxygen between silicate and molten metal in this study.

High pressure experiments were conducted at 5 GPa from 760 C to 1400 C using 3000 ton Kawai-type multi-anvil apparatus of Tohoku University. We used powder mixtures of Fe, FeO and FeS as the metallic component of the starting material. Olivine crystals with Mg number of about 83 from Miyakejima, which is similar to the lunar mantle olivine, were used for the silicate component of the starting material. The sulfur content was 24 wt.% and the oxygen content varies 0 ~ 7 wt.% for the starting iron-alloys. Scanning electron microscope (SEM) was used for the texture observation of the recovered samples, and the electron probe micros-analyzers (EPMA) with Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) and wavelength-dispersive X-ray spectroscopy (WDS) were used to obtain the chemical compositions of recovered run products.

Some differences in reactions between the experiments made at 1000 C and at 1400 C were observed in the recovered samples. At 1000 C, the metallic sample melted partially and liquid phase had magnesiowustite crystals were observed at the boundary between the molten iron alloy and olivine. The Mg number of the olivine crystals increased with increasing the distance from the metal phase. At 1400 C, the metallic sample was totally-melted. Pyroxene and olivine crystals with reverse zoning were observed in the silicate phase, whose Mg number was higher than starting materials. The effects of oxygen content in metallic phase on silicate phase were not observed in this experimental condition. We calculated the distribution coefficient D of FeO between metal liquid and olivine crystal. Using this value, the amount of FeO in the lunar liquid outer core is 4.45 at.% at 1000 C and 1.63 at.% at 1400 C when the mantle Mg number is 80. If the amount of FeO is 4.45 at.%, the lunar outer core might have two layers because of existence of the immiscible two-liquid regions in the Fe-S-O system.

キーワード: 月核, Fe-O-S 系合金, カンラン石, 融解, 高圧
Keywords: lunar core-mantle boundary, Fe-O-S system, olivine, melting, high pressure

Japan Geoscience Union Meeting 2013
(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

PPS23-P04 会場:コンベンションホール 時間:5 月 23 日 18:15-19:30

Mare Imbrium 周辺の地殻物質
Crustal materials around Mare Imbrium: result of Kaguya data integration science

杉原 孝充 [1*], 大竹真紀子 [2], 春山純一 [2], 松永恒雄 [3]
Takamitsu Sugihara[1*], Makiko Ohtake[2], Junichi Haruyama[2], Tsuneo Matsunaga[3]

[1] 海洋研究開発機構　地球深部探査センター, [2] 宇宙航空研究開発機構, [3] 国立環境研究所
[1]CDEX/JAMSTEC, [2]JAXA, [3]NIES

In order to understand lithological distribution and geological structure of the lunar crust, it is important to conduct analysis of spectral images with high spatial resolution considering 3D geological structure by using high-spatial resolution topographic map. In this presentation, lithological distribution and it relationship with geological structure around Mare Imbrium will be discussed by using the Kaguya data acquired by MI, TC, KGRS and LALT. As well known, Imbrium basin is situated in Procellarum KREEP Terrane (PKT). Therefore this investigation would contributes to understand lithological structure of the PKT and influence of Imbrium basin formation on the PKT evolution. In addition to discussion on crustal materials around the PKT, implication for origin of high-Th (i.e. KREEPy) crustal materials will be discussed.

キーワード: 月, 地殻, かぐや, Procellarum KREEP Terrane, マグマオーシャン, 初期進化
Keywords: The Moon, Lunar crust, Kaguya/SELENE, Procellarum KREEP Terrane, Magma ocean, Early evolution

Japan Geoscience Union Meeting 2013
(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

PPS23-P05 会場:コンベンションホール 時間:5 月 23 日 18:15-19:30

月面クレーターの中央丘上の衝突メルトの存在とその意義
Presence of impact melts on central peaks of lunar craters and its implications

栗山 祐太朗[1], 大竹 真紀子[2*], 春山 純一[2], 岩田 隆浩[2]
Yutaro Kuriyama[1], Makiko Ohtake[2*], Junichi Haruyama[2], Takahiro Iwata[2]

[1] 東京大学大学院理学研究科・宇宙科学研究所, [2] 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所
[1]The University of Tokyo & ISAS/JAXA, [2]ISAS/JAXA

Introduction: Impact melts within complex impact craters are known to be flat and smooth deposits filling the floors or wall terraces [1]. Recent studies suggest that compositionally different layers with smooth surfaces are present on the central peaks in several lunar craters, implying impact melts [2, 3]. Impact melts on the central peaks could constrain the central peak formation timescale because impact melts will flow out if peaks are uplifted too quickly. However, little evidence and few examples of impact melts on the central peaks were reported. In this study, we investigate the central peaks of the all lunar complex craters listed by [4] to check for the presence of impact melts morphologically and compositionally.

Methods: Central peak morphologies and topographies are identified using SELENE data obtained by the Terrain Camera (TC, 7.4 m/pixel) and Multiband Imager (MI, visible: 20 m/pixel and near- infrared: 60 m/pixel); MI spectral data also provide compositions of geologic units. Impact melt textures are identified by characteristic features, such as cooling cracks and flowing features (lobes or levees), using data from the Narrow Angle Camera (NAC, 0.5-1.2 m/pixel) abroad the Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO) in addition to SELENE data.

Results: At least 13 of the analyzed central peaks have distinctive impact melt morphologies on their slopes. Seventy craters (including the above mentioned 13 craters) have spectrally unique geologic units on their gentler slopes with smooth surfaces exhibiting low albedo and weak absorption depth similar to their floor melts. The 70 craters vary in setting, diameter, and formation age, while almost all the 13 distinctive melt morphologies are observed in the craters formed in Copernican period [4], which is the latest selenogical period.

Discussion and Conclusions: Our observation that impact melts are found on the central peaks of more than half of the Copernican period craters implies that many central peaks could have impact melts. My analysis suggests that the unique geological units on the 70 central peaks are possibly impact melt origin, and melt morphologies on the older central peaks are probably obscured by erosion, which implies it is common that impact melts did not flow out completely from the central peaks when the peaks were uplifted. This suggests that impact melts already had relatively high viscosity but were not completely solidified when central peaks were uplifted.

References: [1] H. J. Melosh (1989) Impact Cra-tering -A Geologic Process. Oxford, New York, New York, USA. 245 pp. [2] M. Ohtake et al. (2009) Nature, 461, 236.241. [3] G. R. Osinski (2011) Earth Planet. Sci. Lett., 310, 167-181. [4] S. Tompkins and C. M. Pieters (1999) Meteorit. Planet. Sci., 34, 25.41

キーワード: 中央丘, 月, かぐや, 衝突クレーター, 衝突メルト
Keywords: central peak, moon, SELENE, impact crater, impact melt

Japan Geoscience Union Meeting 2013
(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

PPS23-P06 会場:コンベンションホール 時間:5 月 23 日 18:15-19:30

月トリウム高濃度岩石相の成因及び厚さの推定
Estimating the origin and thickness of high-thorium-content rock units on the lunar surface

伊藤 清貴 [1], 大竹 真紀子 [2*], 春山 純一 [2], 岩田 隆浩 [2]
Kiyotaka Ito[1], Makiko Ohtake[2*], Junichi Haruyama[2], Takahiro Iwata[2]

[1] 東京大学, [2] 宇宙航空研究開発機構
[1]The University of Tokyo, [2]JAXA

The abundance and distribution of thorium, an incompatible element, within a planetary body are very important for understanding the thermal history of a terrestrial planet because it correlates to the heat-source elemental abundance of these planets. Gamma-ray remote-sensing data depicts the global distribution of thorium of the lunar surface, in which thorium concentrates in the western hemisphere of the lunar near side around the mare region. Within this high thorium area are several hot spots, which have significantly higher thorium content. Lunar rocks containing abundant incompatible elements are called KREEP-rich rocks based on the Apollo sample analyses. KREEP should be formed in the boundary area between the lower crust and the upper mantle. However, the KREEP-rich rock is exposed on the lunar surface. Two processes were proposed as the mechanism for transporting KREEP-rich rocks from under the crust to the surface. One is an igneous process, in which KREEP-rich basalts erupt from magma generated in a deep area at the bottom of the crust. The other mechanism is the ejecta origin of Imbrium basin, in which a basin-formation event excavated the lower crust including KREEP-rich rocks and spread it as ejecta on the surface. The thorium hot spots can be considered to have been formed by either mechanism. However, because of a low spatial resolution of gamma-ray observation from orbit, we cannot identify the corresponding rock types of the thorium hot spots. Therefore, the actual distribution of the high thorium unit and its thorium abundance has not been well understood.

In this study, we used high-resolution visible to near-infrared band images obtained by Kaguya (SELENE) and combined them with a simulated thorium abundance based on Lunar Prospector gamma-ray data to estimate the origin of the thorium-rich rocks and their thorium concentrations. We selected two hot spots (Aristillus and Copernicus) to analyze as candidates of the two KREEP origins. Aristillus is a crater within the Imbrium basin, while Copernicus is located outside of the Imbrium basin.

Our results indicate that KREEP-rich rocks around Aristillus contain high calcium pyroxene, and its thorium abundance is estimated to 35 ppm, while there appears to be no thorium inside the crater. In contrast, KREEP-rich rocks around Copernicus contain low-calcium pyroxene with 12 ppm thorium content. By combining the results with their geologic contexts, KREEP rick rocks in Aristillus (Copernicus) are estimated to originate from KREEP basalts (Imbrium ejecta). The KREEP layer around Aristillus is estimated to be 1.6 km thick, and that around Copernicus is estimated to be 9 km thick. These results suggest that the thorium concentration within the crust is not uniform as assumed in a previous model but it forms a layer. It also clearly demonstrates that the previous model assuming constant thorium content within the crust from surface to the bottom (60 km deep) needs modification. Our estimation based on our new thorium abundance model for the Procellarum KREEP terrane derives much lower thorium abundance (50% less) than previously estimated.

キーワード: 月, トリウム, 熱史
Keywords: moon, thorium, thermal history

Japan Geoscience Union Meeting 2013
(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

PPS23-P07 会場:コンベンションホール 時間:5 月 23 日 18:15-19:30

雨の海北西部に位置するリッジの形成および再活動時期の制約
The formation and reactivation of a mare ridges in northern Imbrium

嵩 由芙子 [1*], 山路 敦 [1], 佐藤 活志 [1], 諸田 智克 [2], 春山 純一 [3], 大竹 真紀子 [3], 松永 恒雄 [4]
Yuko Dake[1*], Atsushi Yamaji[1], Katsushi Sato[1], Tomokatsu Morota[2], Junichi Haruyama[3], Makiko Ohtake[3], Tsuneo Matsunaga[4]

[1] 京都大学理学研究科, [2] 名古屋大学大学院環境学研究科, [3] 宇宙航空研究開発機構/宇宙科学研究本部, [4] 国立環境研究所環境計測研究センター
[1]Kyoto University, [2]Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, [3]Japan Aerospace Exploration Agency / Institute of Space and Astronautical Science, [4]Center for Environmental Measurement and Analysis, National Institute for Environmental Studies

Mare ridges are the manifestations of horizontal compressions in the shallow part of the lunar crust. They have been interpreted as the folds that determined the basaltic lava layers in mare basins. Since the distribution of the ridges is usually concentric with respect to basin centers, the compressional stress is thought to be originated from the flexure of lithosphere caused by the loading of mare basalts, which is called mascon tectonics. Possible mantle viscosity allowed such deformations to have had delay time of the order of 0.1 Gyr from the deposition of the basalt, which means the deformation was almost syndepositional. However, recent investigations on the underground structures showed that there is no lateral change of thickness of basalt lava around ridges, and this fact supports the post-depositional formation of ridges. On the lunar surface, the majority of mare basalts deposited before 3.0 Ga. Thus, the most of the ridge formation should have occurred before 3.0 Ga. The timing of the formation will be the clue to distinguish their origin, among global cooling, orbital evolution of the Earth?Moon system and mascon tectonics. This study found a crosscutting relationship between a ridge and a basalt unit, then constrained the formation age of the ridge using depositional ages of basalt lava units derived from the crater-size frequency distribution (CSFD).

By means of optical data taken by the cameras onboard SELENE (Kaguya), an ENE-WSW trending mare ridge that dammed up a relatively high-Ti basaltic unit was found near Sinus Iridum, northern Imbrium. The ridge is 300–400 m high, ˜30 km wide and ˜150 km long. Relatively high-Ti unit is dammed up by the ridge and relatively low-Ti unit made up the ridge. It was also found that the lowermost part of the ridge is partially covered by high-Ti unit, that is, a part of the ridge was uplifted after the deposition of the high-Ti basalt. In addition, there is a smaller ridge of ˜50 m in the younger unit. The smaller ridge runs roughly parallel to the ridge mentioned above. The reactivation and the formation of the small ridge showed that a compressional deformation occurred in the area after the deposition of high-Ti basalt. This study determined the depositional ages of high-Ti unit and low-Ti unit by performing CSFD measurements. The estimated ages were 3.0 Ga and 2.1 Ga for low-Ti unit and for high-Ti unit, respectively. The cross-cutting relationship showed that the major formation age of the ridge was between 3.0 to 2.1 Ga. Furthermore, it was revealed that the reactivation and the smaller ridge formation occurred after ˜2.1 Ga. Since most of the mare basalts were deposited before 3.0 Ga in the Imbrium basin and the ridge is a part of concentric ridges of the basin, the formation of the ridge was possibly induced by the latest stage of the mascon loading. However, the reactivation of the large ridge and the formation of the small ridge were too young for the mascon, requiring some mechanisms other than the loading. Global cooling and the increasing Earth-Moon distance are possible explanation.
Keywords: mare ridge, chronology, formation age

Japan Geoscience Union Meeting 2013
(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

PPS23-P08 会場:コンベンションホール 時間:5 月 23 日 18:15-19:30

月の裏側のクレーター空間分布の評価
Assessment of Hemispherical Spatial Distribution of Craters on the Lunar Farside.

伊東 里保[1*], 木下 達生[1], 本田 親寿[1], 平田 成[1], 諸田 智克[2]
Riho Ito[1*], Tatsuo Kinoshita[1], Chikatoshi Honda[1], Naru Hirata[1], Tomokatsu Morota[2]

[1] 会津大学, [2] 名古屋大学
[1]University of Aizu, [2]University of Nagoya

The impact craters on planetary surface show random spatial distribution. However, lunar surface expect to have a bias of spatial distribution of crater because the Moon have same rotation and revolution periods.

The previous research showed that rayed crater density at the apex (0 N, 270 E) is highest than antapex (0 N, 90 E). I compared crater size-frequency distribution of apex and antapex side about craters of over 20 km in diameter. In the result, the crater size-frequency distribution of the antapex side was higher than the apex side.

Purpose of this research is to develop an algorithm to assess spatial distribution of craters on lunar farside by using clustering analysis for finding where bias of craters is. In this algorithm, I apply the nearest single-linkage clustering (S-LINK) to simulated and actual craters, and assess whether the crater is random or not by comparing both of results. As a result, 2870 of 3112 craters were decided to non-random (1403 craters are at the apex side, and 1467 craters are at the anapex side). I investigated the crater frequency variation with longitude and latitude. The high frequency of non-random craters was found at north high latitude region, apex side (210 to 270 E) and antapex side (90 to 150 E).

キーワード: クレーター, 空間分布, クラスター分析, エイペックス
Keywords: Crater, Spatial distribution, Clustering analysis, apex

Japan Geoscience Union Meeting 2013
(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

PPS23-P10 会場:コンベンションホール 時間:5 月 23 日 18:15-19:30

次期月探査計画 SELENE-2 の現状と科学搭載機器の開発状況 (3)
Present Status of the next lunar landing mission SELENE-2 (3)

田中 智 [1*], 三谷 烈史 [1], 大嶽 久志 [1], 小川 和律 [1], 小林 直樹 [1], 橋本樹明 [1], 星野健 [1], 大槻真嗣 [1], 若林　幸子 [1], 木村 淳 [2]
Satoshi Tanaka[1*], Takefumi Mitani[1], Hisashi Otake[1], Kazunori Ogawa[1], Naoki Kobayashi[1], Tatsuaki Hashimoto[1], Takeshi Hoshino[1], Masatsugu Otuki[1], Sachiko Wakabayashi[1], Jun Kimura[2]

[1] 宇宙航空研究開発機構, [2] 惑星科学研究センター 北海道大学大学院理学院宇宙理学専攻
[1]Japan Aerospace Exploration Agency, [2]Center for Planetary Science Department of Cosmosciences, Hokkaido University

SELENE-2 project has been started from 2007 as the first Japanese lunar lander. The main prior object of the SELENE-2 mission is to develop safe and precise landing system on middle to large planets and satellites such as the Moon and Mars for a future lunar and planetary exploration. Another key technologies under investigation are surface mobility by a rover, and long night survival module without using nuclear power. In addition, some instruments for lunar science and future utilization have been so far investigated.

The Strategic Headquarters for Space Policy of Japanese government established ”Basic Plan for Space Policy” in June, 2009. Following the plan, a concrete strategy of Japanese lunar exploration had been discussed in ”Study group for lunar exploration” of Japanese government which was organized from August, 2009 to July, 2010. The final report of the group indicates that a spacecraft should land on lunar surface in around 2015 to promote lunar exploration using advanced robot technology in 2020. Despite of this result, the SELENE-2 is delayed and still remains as the Phase-A study. Presently, the earliest launch date is 2018 when we successfully proceed to Phase-B within the fiscal year 2013.

One of our meager but important progresses are that technological development of candidate instruments, especially, we have developed seismometry system and camera system, both of which were considered to be main scientific instruments for geophysical and geological instruments. As for the seismometry system, we have almost successfully performed interface tests which were done by international collaboration. Development of a sensor of the visible to near infrared camera system, on the other hand, also conducted good performance under the suitable temperature condition on board the rover.

We are preparing for the upcoming review board to proceed to phase-B study. In order to achieve it, we are under investigation to make high reliable system, and realistic scenario of the mission profile assuming some appropriate landing sites which have been selected among the Japanese lunar scientists. Further technical development is also to be aggressively continued for reducing risks.

キーワード: 月, 月探査, セレーネ 2
Keywords: Moon, Lunar exploration, SELENE-2

Japan Geoscience Union Meeting 2013
(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

PPS23-P11 会場:コンベンションホール 時間:5 月 23 日 18:15-19:30

月着陸探査計画 SELENE-2/VLBI 電波源の開発状況
Recent status of SELENE-2/VLBI instrument

菊池 冬彦 [1], 松本 晃治 [1*]
Fuyuhiko Kikuchi[1], Koji Matsumoto[1*]

[1] 国立天文台 RISE 月惑星探査検討室
[1]RISE Project, National Astronomical Observatory of Japan

We proposed a VLBI (very long baseline interferometry) radio source mission for the Moon lander SELENE-2. The purpose of our mission is to improve the lunar gravity field and to estimate the lunar interior structure. Differential VLBI observations between an orbiter and a lander are carried out to determine the position of the orbiter and the lander in addition to the conventional 2-way Doppler observation (Fig.1). VLBI measures a difference in an arrival time of a signal transmitted from a radio source to two ground stations. This measurement gives plane-of-sky position information of the radio source in contrast to 2-way Doppler measurement that gives line-of-sight position information. The combination of VLBI with Doppler is effective for precise position determination of the spacecraft.

This presentation shows the recent status of the VLBI radio source mission of SELENE-2.

1. A simulation study of the lunar gravity field estimation is carried out. The result shows that a potential Love number k2 accuracy better than 1 % can be achieved by 3 months of the VLBI mission duration provided that arc length is 14 days and that historical tracking data including SELENE are combined with.

2. The sensitivity of the geophysical parameters, in particular that of k2, the moment inertia of the Moon, and the seismic travel time, for the lunar deep interior structure is evaluated. A preliminary result shows that a density and a radius of the lunar core can be estimated within the error of 10 %.

3. We have conceptual design for an antenna that will be used on the lunar surface. A simulation evaluates the electric characters of the antenna, which are the gain, the beam pattern, and its temperature characteristics.

4. In order to decrease the power consumption of the VLBI radio source, the observation method and the manner of the operation are reconsidered.

Keywords: selene-2, vlbi, moon, internal structure

Japan Geoscience Union Meeting 2013
(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

PPS23-P12 会場:コンベンションホール 時間:5 月 23 日 18:15-19:30

波形の類似性を考慮した大規模月地震データの可視化システムの実装
An implementation of a visualization system for large scale moonquake data considering waveform similarity

後藤 康路 [1*], 山田 竜平 [2], 山本 幸生 [3], 横山 昌平 [4], 石川 博 [4]
Yasumichi Goto[1*], Ryuhei Yamada[2], Yukio Yamamoto[3], YOKOYAMA,Shohei[4], ISHIKAWA,Hiroshi[4]

[1] 静岡大学大学院情報学研究科, [2] 国立天文台　RISE 月惑星探査検討室, [3] 独立行政法人宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部, [4] 静岡大学情報学部情報科学科
[1]Graduate School of Informatics, Shizuoka University, [2]National Astronomical Observatory of Japan, RISE project, [3]The Institute of Space and Astronautical Science, [4]Department of Computer Science, Faculty of Informatics, Shizuoka University

1969-1977 の 7 年半の間，NASA のアポロミッションで月面に設置された地震計での連続観測により膨大な量の月地震データが取得された．これまでの月地震データの解析より，月深部およそ 700-1200km で起こる深発月震は同一の震源から周期的に発生する事が明らかにされており，(e.g., Lammlein, 1977) 特に，同一震源から発生する深発月震間では高い波形の類似性が見られている．(e.g., Nakamura,2003) この波形の類似性は震源を分類し，かつ月地震の発生原因を究明する上での重要な情報となるので，現在に至るまで，人手による月地震の分類が進んでおり，特に長周期地震計で観測されたデータの多くについては月地震の種類及び震源のラベル付けがされている．(Nakamura et al., 2008)

しかし，膨大なサイズの月地震データ全てを人手によって分類することは困難である．コンピュータを用いて月地震の分類を行う場合，正確な正解データが存在せず，データ自体も非常にノイズが大きいという特性を持っているため，相互相関法などの分類手法を直接適用しても全ての月震データに対して必ずしも有益な結果を得る事ができるとは限らない．

そこで，本研究では，月地震データの分類研究を促進するため，波形の類似性を考慮した月地震データを可視化するための Web システムの実装を目指す．本システムでは，まず Self-Organizing Map (SOM) を用い，月地震データを 2 次元空間上へマッピングする事で波形の類似性の観点から可視化を行う．また，処理のバックエンドに Hadoop を用いることで，膨大な量のデータに対する SOM の処理に対応する．SOM は，ある設定した特徴量に注目して機械的に波形を分類するので，様々な物理条件を反映させた分類結果を提示することが期待できる．Web インターフェイスを通して，SOM の結果及び月地震データを提示することにより，多くの研究者がその評価結果を参照し，解析研究に反映させる事が可能となる．本発表では、これまで実施した SOM による月地震分類の結果と Web インターフェースの開発状況についての報告を行う．

キーワード: 月地震, 可視化, 自己組織化マップ, Hadoop
Keywords: Moonquake, Visualization, Self-Organizing Map, Hadoop

Japan Geoscience Union Meeting 2013
(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

PPS23-P13 会場:コンベンションホール 時間:5 月 23 日 18:15-19:30

月レーザ測距用ホロー型逆反射板の材料選定及び重力・熱変形計算
Develpoment of the retro-reflector on the moon for the future lunar laser ranging

荒木 博志[1*], 鹿島伸吾[1], 野田 寛大[1], 國森 裕生[2], 増子仁美[3], 大坪 俊通[4], 宇都宮真[5], 松本吉昭[6]
Hiroshi Araki[1*], Kashima Shingo[1], Hirotomo Noda[1], Hiroo Kunimori[2], Mashiko Hiutomi[3], Toshimichi Otsubo[4], Utsunomiya Shin[5], Matsumoto Yoshiaki[6]

[1] 国立天文台, [2] 情報通信研究機構, [3] 岩手大学, [4] 一橋大学, [5] 宇宙科学研究所, [6] プラネット（株）
[1]National Astronomical Observatory of Japan, [2]National Institute of Information and Communications Technology, [3]Iwate Univercity, [4]Hitotsubashi Univercity, [5]Institute of Space and Astronautical Science, [6]PLANET INC.

月レーザ測距の精度は主に地上局や大気遅延モデルの改良によって最近 25 年ほどの間にほぼ 1 桁向上した。残存する誤差（～2cm）も単一素子型の逆反射板を新たに設置することで原理的に解消され、月の回転変動や潮汐変形の決定精度向上が期待される。

現在、アポロ 11 号の逆反射板を凌ぐ反射効率を持つ口径 20cm の単一素子逆反射板の開発を進めているが、プリズムでの製作は均質性や重量から困難であり、3 枚の板材を組み合わせるホロー（ミラー）型素子を目指している。材質は、(1) 熱膨張率と熱拡散率の比、(2) 比強度、等から、珪素 (Si) またはクリアセラム-EX(OHARA) が有力であり、製作法は 3 枚の板材をオプティカルコンタクトで接着する手法が有力である。発表では力学的／熱的物性に加え、口径 (D) や板材の厚み (t) を考慮する材質評価法とその検討結果、逆反射板の月面環境下における重力及び熱変形計算結果を示し今後の開発方針を議論する。

キーワード: 月レーザ測距, 逆反射板, 単一素子, ホロー, クリアセラム EX, 単結晶シリコン
Keywords: Lunar Laser Ranging, Retroreflector, Single, Hollow, CCZ-EX, Single crystal silicon

Japan Geoscience Union Meeting 2013
(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

PPS23-P14 会場:コンベンションホール 時間:5 月 23 日 18:15-19:30

惑星探査機搭載用 LIBS 試作機の開発
Developing a test model of Laser-Induced Breakdown Spectroscopy for mounting lunar and planetary rovers

奥村 裕 [1*], 亀田 真吾 [1], 石橋 高 [2], 和田 浩二 [2], 並木 則行 [2]
Yu Okumura[1*], Shingo Kameda[1], Ko Ishibashi[2], Koji Wada[2], Noriyuki Namiki[2]

[1] 立教大学, [2] 千葉工業大学
[1]Rikkyo University, [2]Chiba Institute of Technology

現在、JAXA では月周回衛星 SELENE(かぐや) の後続機として SELENE-2 の打ち上げを検討している。SELENE-2 では無人探査車を月に着陸させ地質調査を行うことを目標としており、ローバーで行う調査方法の一つとして LIBS を使用した元素組成測定が挙げられている。

LIBS(Laser Induced Breakdown Spectroscopy:レーザー誘起絶縁破壊分光装置) はレーザーと分光器を用いて、岩石の元素組成をその場で測定することができる装置である。2012 年の 8 月に火星に着陸して調査を行っている NASA の探査ローバー「Curiosity」にも搭載されており、実際に火星岩石の組成に関するデータも得られている。

LIBS は高エネルギーのパルスレーザーを測定対象に照射しプラズマ化させる。プラズマ化した原子は制動放射や再結合、脱励起によってエネルギーを失っていき、失われたエネルギーは光として放出される。発生した光を分光することによって波長元素ごとの輝線スペクトルが得られ、測定対象の組成を調べることが可能となる。

私たちは LIBS をローバーに搭載して試験を行うために LIBS 試作機を制作した。LIBS 試作機はブレークダウンに必要なエネルギー密度を得るためにレンズを使用し、レーザー光を集光させている。そして、1.0m~1.5m 先にある測定物に対して自動で焦点調整を行っている。

私たちは 2012 年 10 月 28 日から 11 月 3 日にかけて伊豆大島でフィールド試験を行った。今回のフィールド試験では 1m 前後離れた岩石に自動で焦点を合わせ、YAG レーザーを照射し、プラズマ光を発生させることに成功した。さらにこの操作を無線通信により行った。一方で測定対象によって、自動焦点調整ができないことがあった。これは測定対象の反射率の違いによって CCD カメラが電子飽和を起こしてしまうことが原因であった。このため、露光時間を自動で調整するプログラムを作成し、新たな自動焦点調整の手法を開発した。このプログラムによって露光時間を調整しながら、集光点の位置を探すことが可能となった。

キーワード: 元素組成, LIBS, 月, 火星
Keywords: elemental compositions, LIBS, Moon, Mars

Japan Geoscience Union Meeting 2013
(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

PPS23-P15 会場:コンベンションホール 時間:5 月 23 日 18:15-19:30

月面探査ローバカメラ搭載 visible-InGaAs センサの暗時特性
Performance of a visible-InGaAs sensor onboard a lunar exploration camera

本田 親寿 [1*], 鳥居大亮 [2], 大竹真紀子 [3], 木下達生 [1], 佐伯和人 [2], 諸田智克 [4], 大嶽久志 [3]
Chikatoshi Honda[1*], Daisuke Torii[2], Makiko Ohtake[3], Tatsuo Kinoshita[1], Kazuto Saiki[2], Tomokatsu Morota[4], Hisashi Ootake[3]

[1] 会津大学, [2] 大阪大学, [3] 宇宙航空研究開発機構, [4] 名古屋大学
[1]University of Aizu, [2]Osaka University, [3]Japan Aerospace and Exploration Agency, [4]Nagoya University

Information of the lunar highland could help us to know the solidification of the lunar magma ocean and to estimate the internal structure of the Moon. We are now planning to develop a visible-SWIR macro camera with rock abrasion tool (RAT) which is required to establish a light-weighting for setting on a head of rover's arm. The purpose of this camera is to observe the texture of polished rock surface (grain size, shape, species, and crystal configuration) to investigate the geologic history of the rock. The target crystal grain size is about 200 um in average diameter. We thus need a 500 x 500 pixel sensor to achieve 20 um/pixel spatial resolution with fields of view exceeding 100 mmphi. Spectra in the 0.8 ? 1.7 um region is important to analyze major mineral species found on the Moon. So, these requirements are achieved by a visible-InGaAs sensor which has sensitivity from visible to infrared wavelength. It is important to know the performance for using space exploration, especially, an environment at the lunar surface. We'll report the details of the examinations about a dark current test of a visible-InGaAs sensor.
Keywords: visible-InGaAs sensor, dark current

Japan Geoscience Union Meeting 2013
(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

PPS23-P16 会場:コンベンションホール 時間:5 月 23 日 18:15-19:30

ハレアカラ 40cm 望遠鏡による月面からのナトリウム原子放出の高分散分光観測
High-resolution spectroscopic observation of sodium atom emitted from the lunar surface using a Haleakala 40cm telescope

鈴木 大志 [1*], 坂野井 健 [1], 鍵谷 将人 [1], 岡野 章一 [1]
Taishi Suzuki[1*], Takeshi Sakanoi[1], Masato Kagitani[1], Shoichi Okano[1]

[1] 東北大学大学院理学研究科惑星プラズマ・大気研究センター
[1]Planetary Plasma and Atmospheric Research Center, Graduate School of Science, Tohoku University

月には表面気圧が地球のおよそ 10^{-17} の非常に希薄な完全無衝突大気が存在する。過去の研究により、月希薄大気の構成物質として、ヘリウム、アルゴン、ナトリウム、カリウム、水素、酸素が存在することが分かっている。このうちナトリウムとカリウムはそれらの大きな共鳴散乱断面積により比較的容易に地上光学リモートセンシングが可能であり、これらの共鳴散乱発光をトレーサーとした月希薄大気の観測が過去行われてきた。

月ナトリウム希薄大気生成の月面地理依存性については、月周回衛星 Kaguya による月ナトリウム大気発光の観測より局所的な分布の存在が示唆されている [Kagitani et al., 2010]。月表面はその地理的特徴から海と高地の 2 種類に分けられ、それぞれを構成している岩石やその土地の起伏に違いがある。これらの違いによって月希薄大気生成に地理依存性が生まれることが期待される。また、月希薄大気の放出プロセスメカニズムについて、光脱離（PSD）、太陽風イオンスパッタリング、微隕石衝突、熱脱離が挙げられるが、それぞれの定量的な放出量に対する寄与や、時空間変動は明らかになっていない。以上より、本研究では月ナトリウム大気の地理依存性と時間変動を解明することを目的とした。

観測はアメリカ・ハワイ州マウイ島ハレアカラ山頂の東北大学 40cm シュミット・カセグレン望遠鏡と波長分解能約 60,000 のエシェル分光器を用い、2011 年 7 月 18 日から 25 日と、2012 年 8 月 8 日から 9 日にかけて実施した。観測時には 500 秒角の長さのスリットを月縁に直交するように配置し、月面から高度 300km までのナトリウム発光分布を明らかにした。2011 年 7 月の観測では、月の下弦側の縁の南緯 20 度に位置する東の海とその対称点である北緯 20 度の高地の 2 点の上空のナトリウム大気の観測を行った。2012 年 8 月の観測では、月の北半球側に広がる嵐の大洋に着目し、南半球側から北半球側にいくにしたがって月ナトリウム大気発光量が変化していくことを期待し、月の下弦側の南北緯度 50 度、南北緯度 20 度、赤道上空の 5 点の観測を行った。2011 年と 2012 年の観測から、多くの場合ナトリウム発光高度分布は、高温成分（約 1000K）と低温成分（約 100K）の 2 成分で構成されることが明らかになった。

2011 年 7 月の観測結果について、高温成分の絶対発光強度の時間変動を調べたところ、7 月 19 日に増光がみられた。このとき、太陽風プロトンの数密度が増加していたことから、この増光は太陽風スパッタリングによるガーデニング効果が強められ、その結果 PSD が助長された結果と考えられる。また、この増光が特に南半球側で特に大きく見られたことから、南半球で特にガーデニング効果が卓越することが示唆される。

2012 年 8 月の観測結果からは、高温成分、低温成分ともに絶対発光強度について、南半球側のほうが北半球側より大きい傾向がみられた。高温成分については 2011 年 7 月の観測結果と同様の考察より、南半球側でガーデニング効果が卓越すると解釈できる。一方、低温成分については、放出プロセスに熱脱離に加えて、高温成分の再放出粒子の寄与を考慮することで、高温成分において見いだされたガーデニング効果の PSD への助長作用が低温成分にも反映されることが期待される。この結果、低温成分においても、高温成分と同様の南北非一様性が生じたと推察することができる。

南半球には、北半球と比べて高地の占める面積が多い。従って、南半球の絶対発光強度の増加は、高地におけるナトリウム放出率が海よりも高いことを示唆する。すなわち、高地は比較的起伏にとんだ土地であり単位表面当たりの表面積が大きいため、太陽風プロトンの入射に伴うガーデニング効果がより卓越することと考えられる。

Kagitani et al., 2010, Planetary and Space Science, 58, 1660-1664, Variation in lunar sodium exosphere measured from lunar orbiter SELENE (Kaguya)

Japan Geoscience Union Meeting 2013
(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

PPS23-P17 会場:コンベンションホール 時間:5 月 23 日 18:15-19:30

ライナーガンマ、リマシルサリスでの月磁気異常における表面下の磁化ソース
Subsurface magnetization source of Reiner Gamma and Rima Sirsalis magnetic anomalies on the Moon

横山 貴史[1*], 高橋 太[1], 綱川 秀夫[1]
takashi yokoyama[1*], Futoshi Takahashi[1], Hideo Tsunakawa[1]

[1] 東京工業大学大学院理工学研究科
[1]Department of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology

アポロ計画以降、磁力計と電子反射計の観測により月には磁気異常が複数存在することが知られている。しかしながら、これらの磁気異常の起源はまだ明らかになっていない。起源を推定するために、磁気異常ソースの磁化の情報を知ることは非常に重要である。本研究では、それらの形成過程に対する洞察を得るために２つの地域での月磁気異常をモデル化した。Reiner Gamma と Rima Sirsalis の磁気異常を対象とした。モデル化には低高度観測を行った期間での Lunar Prospector の磁力計データを使用した。まず、磁気双極子による単純なモデルをたて、その結果に基づいて磁気異常を一様に磁化した月面に垂直な直方体によりモデル化した。結果として、２つの磁気異常地域について計５つの磁気異常ソースモデルが得られた。Reiner Gamma での磁気異常では、直方体の位置と形状は高いアルベドを持つスワールの形態のような表面の特徴とよく一致することがわかった。このような一致は、表面での高いアルベドと磁気異常ソースとの間に相関があることを示唆している。Rima Sirsalis での磁気異常では、２つの細長いソースはともに６ km の深さに位置し、シルサリス渓谷に沿って延びている。この結果から、磁気異常ソースは表面下の渓谷と関係があるのかもしれない。本研究により表層や表面下での構造と磁気異常との相関を議論するためには、磁気双極子よりも直方体のような有限の大きさを持った磁化したソースを考える方が有効であることが実証された。

キーワード: 月, 磁気異常, 直方体ソース, スワール, 渓谷
Keywords: moon, magnetic anomaly, prism source, swirl, rille