

PPS023-01

会場:303

時間:5月26日 08:30-08:45

月惑星探査の来たる10年：現在までの検討状況と今後の予定

Lunar and planetary explorations in a coming decade: Current status and ongoing schedule

並木 則行^{1*}, 小林 直樹², 大槻 圭史³, 出村 裕英⁴

Noriyuki Namiki^{1*}, Naoki Kobayashi², Keiji Ohtsuki³, Hirohide Demura⁴

¹ 千葉工業大学, ²JAXA 宇宙科学研究本部固体惑星科学研究系, ³ 神戸大学, ⁴ 会津大学

¹PERC/Chitech, ²Department of Planetary Science, ISAS, ³Kobe University, ⁴The University of Aizu

日本惑星科学会 将来惑星探査検討グループでは、日本の惑星探査の長期的な展望を検討し、その検討結果をまとめた報告書の作成を目指している。この検討活動は惑星科学のコミュニティが、惑星科学会会員、非会員を問わず、自らの責任において将来像を描いていく作業である。著者らは事務局としてこの検討作業を支援している。

近年でははやぶさ、かぐやの探査の成功もあって宇宙開発を政策的に推し進めようという機運があり、惑星探査の機会が増えつつある。しかしながら、我が国の惑星探査科学の長期的な成功・発展のためには、科学的視点に立った探査計画の立案のみならず、人材育成や関連基礎研究の推進を含め、惑星探査科学を強力に推進する体制の確立を、惑星科学コミュニティとして益々強化して行くことが不可欠であり急務である。今、個々の研究者はもちろん、コミュニティ全体が強い意志で自律的かつ主体的に探査を推進していくことが求められている。

長期ビジョンの策定を開始するにあたり、我々は以下の5点を検討方針の要点と考えた（A）惑星科学コミュニティの力量を自覚し、2017年から2027年までの惑星探査将来計画を自主的に検討することを目的とする（B）惑星科学の第一級の科学（“トップサイエンス”）を抽出するとともに、観測機器提案・ミッション機器提案を募って、コミュニティが支えるミッションを創成する（C）作業は三段階に分けて行う。第一段階ではトップサイエンスを抽出し、第二段階ではミッション提案と観測器提案を科学的重要性に基づいて統合・改良し、第三段階ではミッション提案と観測器提案の実現性評価を行う（D）各段階で学会・シンポジウム等での中間報告を繰り返して、広く意見聴取を図る（E）他の宇宙科学関連学会・コミュニティとの連携を図る。これらを達成するために、検討作業全体には2.5～3年程度がかかると想定している。

2010年連合大会において我々は本セッションを開催し、5つのパネルを設置した。即ち（1）地球型惑星固体パネル（2）地球型惑星大気・磁気圏パネル（3）小天体パネル（4）木星型惑星・氷衛星・系外惑星パネル（5）アストロバイオロジーパネル、である。各パネルは検討の第一段階として、それぞれのカテゴリについてのトップサイエンスの抽出を行った。広くコミュニティからトップサイエンス提案を受け付け、2010年9月10日に神戸大学において公開討論会を開催した。さらに2010年11月より2011年1月末にかけて（1）（3）（4）（5）の4つのパネルで分科会を開催し、取りまとめを行った。本セッションでは各パネルリーダーよりそのとりまとめが報告される。

キーワード: 惑星探査

Keywords: Planetary exploration

Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



PPS023-02

会場:303

時間:5月26日 08:45-09:15

Results of America's Planetary Science Decadal Survey Results of America's Planetary Science Decadal Survey

Squyers Steven^{1*}

Steven Squyers^{1*}

¹Cornell University, Astronomy Department

¹Cornell University, Astronomy Department

Once every ten years, the U.S. National Research Council carries out a "decadal survey" in planetary science. The objective is to recommend a decade-long national strategy for solar system exploration for NASA and the NSF. The most recent planetary decadal survey has placed particular emphasis on formulating a strategy that can realistically be implemented with the funds expected to be available for NASA and the NSF in the decade from 2013 to 2022. Inputs to the decadal survey were provided at a number of "town hall" meetings at professional conferences, and via 199 white papers written and submitted by more than 1600 members of the scientific community. These inputs led to definition of a set of high priority science questions, which in turn prompted study of 28 different mission candidates. Some of these mission candidates were studied in detail by the Applied Physics Laboratory, Goddard Space Flight Center, the Jet Propulsion Laboratory, and Marshall Space Flight Center. Missions studied in detail were also subjected to a cost and technical evaluation conducted by Aerospace Corporation. A recommended set of missions for the decade was then assembled, taking into account science priorities, cost and technical risk, and available resources. The plan also includes recommendations regarding funding for research and analysis, technology development, ground-based and orbital telescope facilities, and other topics. Consideration of possible international collaboration in planetary exploration was an important part of the decadal process. The report will be released in the first part of 2011, and the recommendations from the report will be described in this presentation.

Keywords: Planetary Science, Decadal Survey, The National Academies

Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



PPS023-03

会場:303

時間:5月26日 09:15-09:30

月・固体惑星の科学：惑星探査の将来構想に向けて Sciences for the moon and solid planets toward planning future planetary explorations

倉本 圭^{1*}, 大谷 栄治²

Kiyoshi Kuramoto^{1*}, Eiji Ohtani²

¹ 北大・理, ² 東北大・理

¹Hokkaido University, ²Tohoku University

地球型惑星固体探査に関する第一級の科学について、20件を超える公募提案ならびに討論会における議論を踏まえて検討を行った結果を報告する。

キーワード: 月, 固体惑星, 惑星探査, 内部構造, 起源と進化, 表層環境

Keywords: moon, solid planets, planetary exploration, internal structure, origin and evolution, surface environment

PPS023-04

会場:303

時間:5月26日 09:30-09:45

小天体パネルの活動報告

Panel Report on Explorations for Small Solar System Bodies

荒川政彦¹, 伊藤孝士², 坂本尚義³, 渡部 潤一^{2*}

Masahiko Arakawa¹, Takashi Ito², Hisayoshi Yurimoto³, Jun-ichi Watanabe^{2*}

¹ 名古屋大学, ² 国立天文台, ³ 北海道大学

¹Nagoya University, ²National Astronomical Observatory, ³Hokkaido University

小天体パネルでは、広く関連する研究者グループ(物質分析、衝突関係、小天体観測、小天体力学等々)への関係者への趣旨説明・ヒアリングを通じ、全体計画(月惑星探査の来る十年)への意見聴取を行うとともに、小天体探査に関する12通の提案書について議論をしてきた。平成22年9月1日には事務局も交えた小天体パネル全員の会合を国立天文台・三鷹で行い、集約した意見を9月10日の公開討論会(神戸大学)で公表した。その公開討論会后、12月10日には、小天体パネル分科会を国立天文台三鷹で開催し、そこで各提案書の主提案者より探査提案の趣旨説明と意義について情報共有を図った。

これら一連の議論で、提案書からトップサイエンスを構成するにあたり、二つの科学目標的な軸に沿って分類するという試みを行った。一つの軸は、小天体を構成する物質の始原度である。定義には曖昧な部分もあるが、ここではシリケートおよび、これに相反する有機物や氷の含有量を基準としている。もう一つの軸は天体の構造、すなわち天体のサイズもしくは分化している天体が未分化天体であるか、である。分化している小天体への探査と未分化小天体への探査ではその科学目標も自ずと異なるはずなので、この分類軸の導入も意味を持つ。

さらに、提案書は探査手法によっても三区分に分類された。(a) サンプルリターンやその場分析といった手法によるもの、(b) 衝突現象の実現など物理探査的な手法によるもの、(c) リモートセンシングの手法によるもの、である。

これらの三区分の各々に応じて二つの科学目標的な軸によるグラフを作り、提案された探査計画が、それらの位相空間でどのような位置付けになるのか、そして提案書がどのように分布するかを検討した。異なる提案者から提案された異なる提案書が同一の科学目標分布を持っているとすれば、そこで検討されている科学目標は多くの研究者にとって共通に重要であり、それ故に惑星科学業界全体への波及効果も高いはずである。

その結果、小天体の中でも特に始原的・未分化な天体への探査(可能であればサンプル採取)が必要であるという主張が共通であることが目立った。小天体パネルとしては「トップサイエンス」目標のひとつとして、特に彗星核やD型小惑星などに代表される始原的・未分化な小天体への探査により、太陽系の起源に近づくという方向性を挙げることとなった。

さらに、探査機が最初の探査によって解明される謎よりも、生み出される謎が多い状況では、最初の探査結果を踏まえ、よく熟考された再探査から得られる理解は極めて深くなりうる、という共通認識に至った。大型天体で行われている再探査は、小天体のケースでは、天体の多様性ばかりに目がいくためか、見落としがちであることに警鐘を鳴らしておきたい。本パネルとしては「トップサイエンス」目標を達成する手段として、同一天体を複数回訪れる「再訪」的探査により、発見段階から理解段階へと進む重要性について挙げておくことになった。

本発表では、小天体パネルの掲げるトップサイエンスのふたつの方向性と、その具体例を紹介する。

キーワード: 惑星探査, 探査計画, トップサイエンス

Keywords: Planetary Exploration, Future Plan, Top Science

PPS023-05

会場:303

時間:5月26日 09:45-10:00

木星型惑星・氷衛星・系外惑星パネル第一段階検討報告

Report of Jupiter, Icy satellite, Extrasolar planets panel of next decade initiatives for lunar planetary explorations

高橋 幸弘^{1*}, 中島 健介², 木村 淳¹, 中本 泰史³, 三好 由純⁴

Yukihiro Takahashi^{1*}, Kensuke Nakajima², Jun Kimura¹, Taishi Nakamoto³, Yoshizumi Miyoshi⁴

¹ 北海道大学, ² 九州大学, ³ 東京工業大学, ⁴ 名古屋大学

¹Hokkaido University, ²Kyushu University, ³Tokyo Institute of Technology, ⁴Nagoya University

Jupiter, Icy satellite, Extrasolar planets panel members

One of the panels of Next decade initiatives for lunar planetary explorations has dealt with topics of future exploration, including Jovian atmosphere, icy satellite, extrasolar planets, and Jovian magnetosphere. Panel leaders with experts of broad range of related-science discussed possible explorations basically from the pure scientific point of view, taking into account both near future missions that have been already planned and ideas for far future exploration. Not only the direct explorations but also the space and ground-based telescopic observations, as well as theoretical studies, were argued.

キーワード: 探査, 木星, 氷衛星, 系外惑星, 大気, 磁気圏

Keywords: exploration, Jupiter, icy satellite, extrasolar planets, atmosphere, magnetosphere

PPS023-06

会場:303

時間:5月26日 10:00-10:15

アストロバイオロジーパネル第一段階のまとめ Summary of the Astrobiology Panel in the first stage

小林 憲正^{1*}, 山岸 明彦²

Kensei Kobayashi^{1*}, Akihiko Yamagishi²

¹ 横浜国立大学大学院工学研究院, ² 東京薬科大学生命科学科

¹Yokohama National University, ²Tokyo University of Pharm. Life Sci.

「月惑星探査の来たる10年」の検討の中で、アストロバイオロジーパネルがもうけられ、その第一段階の議論として、トップサイエンスの抽出を行ったので、その結果を報告する。本パネルでは(1)「火星生命探査」と(2)「氷衛星・小天体生命探査」をトップサイエンスとして提案する。

アストロバイオロジーの目標は、われわれがどこから来たか、われわれは何者か、われわれはどこに行くのか、という人類の究極的な謎へのアプローチであり、これは現在の惑星探査の目標と重なる。本パネルは以下の理由で、「火星生命探査」を特に重要と考え提案する。1. 生命探査は地球惑星科学における究極の目標の一つであること。2. 本提案は地球科学全般への寄与が大きいこと。3. 火星では地球型生命をモデルとして観測計画を立てることが出来ること。4. VikingはもとよりMSLおよびExoMarsの分析機器よりも数桁感度の高い探査方法を既に準備していること。5. 極地砂漠や高地砂漠での微生物密度が104細胞/グラム土壌であるのに対し、10細胞/グラム土壌の感度を実現できること。6. 従って、かりに生命が検出されない場合に、生命はほとんどいないという結論が出せること。7. 今後、国内外で準備中の探査計画から探査地域の絞り込みが十分可能と推察されること。8. 火星表面での生命探査の可能性を具体的に示した世界初の提案であること。

第二に、木星・土星等の氷衛星や小天体の生命・有機物探査を提案する。太陽系において、ボイジャー・ガリレオ・カッシーニ探査等により木星の衛星のエウロパ、土星の衛星のタイタン・エンセラドスに生命を育み得る環境が存在することが示唆されたことにより、これらの天体は太陽系アストロバイオロジー探査の重要なターゲットとなった。また、生命の起源を考える上で、(1) 始原的有機物の生成、(2) 惑星(衛星)環境での有機物の進化、(3) 生命の誕生、というステップが考えられるが、原始地球環境が残されていない現在、有機物の生成と変成が継続的に起こっているタイタンは、(2)の化石としても重要である。現在、欧米を中心に木星系探査(EJSM)、土星系探査(TSSM)の議論がされているが、日本独自の視点で、ターゲットとするサイトや分子種、検出法が提案可能と考えられる。

火星探査においては、欧米でExoMars等の計画が進行中であるが、日本でも独自のミッション(MELOS)が議論されている。その中での生命探査に関する議論も紹介する。氷衛星探査では、トップサイエンスとしては、まずタイタンを優先する。氷衛星探査は10?15年では達成不可能かも知れないが、将来を見据えた観測装置開発は来る10年での重要課題であり、海外との共同ミッションを念頭に、国内では機器開発に重点をおくという方針も考慮に入れて良い。今後、惑星形成論研究者など、様々な専門の研究者を含む、コミュニティの拡大が強く望まれる。

キーワード: 惑星探査, アストロバイオロジー, 火星, 氷衛星, 生命探査, 有機物

Keywords: planetary missions, astrobiology, Mars, ice satellites, life detection, organic compounds

Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



PPS023-07

会場:303

時間:5月26日 10:45-11:00

SGEPSS's activities toward planetary exploration SGEPSS's activities toward planetary exploration

藤本 正樹^{1*}, 寺田 直樹², 三好 由純³

Masaki Fujimoto^{1*}, Naoki Terada², Yoshizumi Miyoshi³

¹JAXA 宇宙科学研究所, ²東北大学, ³名古屋大学太陽地球環境研究所

¹ISAS, JAXA, ²Tohoku University, ³STEL, Nagoya University

宇宙プラズマ関連の現在の将来構想は、Geotail の成功経験、「のぞみ」での検討経験、BepiColombo での欧州との共同計画運営経験、の3つをベースに、積み上げられてきたものである。ミッション案構築の端緒においては、Geotail での成功で自身を得た若手による手弁当の勉強会がコアとなった。また、ある程度成熟した段階で ISAS の WG という形を得て活動をしてきている。その一方で、これらの構想も、着想時から5?10年を経つつあり、本質的な部分の価値は失われていないものの、宇宙科学を取りまく状況の変化にも対応して、実装に関しては再検討を行うことも必要な段階に来ている。また、若手による新たな構想構築活動が活発化することも望まれている。

キーワード: 惑星探査, SGEPSS

Keywords: Planetary exploration, SGEPSS

Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



PPS023-08

会場:303

時間:5月26日 11:00-11:15

惑星大気探査の将来構想

Plans for planetary atmosphere exploration in Japan

今村 剛^{1*}

Takeshi Imamura^{1*}

¹ 宇宙航空研究開発機構

¹ Japan Aerospace Exploration Agency

日本における惑星大気探査は金星探査機「あかつき」で幕を開けるはずである。その後は MELOS 計画で火星大気探査を実施すべく、科学目標の絞り込みと観測戦略の検討を進めている。金星への再挑戦や木星以遠の惑星への対応はこれからの議論次第である。このような将来計画の検討状況について報告する。

キーワード: 惑星, 大気

Keywords: planet, atmosphere

PPS023-09

会場:303

時間:5月26日 11:15-11:30

今後の月惑星磁場探査に向けて Toward future magnetic exploration of moons and planets

松島 政貴^{1*}, 高橋 太¹

Masaki Matsushima^{1*}, Futoshi Takahashi¹

¹ 東京工業大学

¹Tokyo Institute of Technology

月・惑星内部構造探査の目的は、それらの起源および進化過程を明らかにすることである。現在の月・惑星の内部構造は、それらが形成された後にたどってきた歴史の帰結だからである。地球の場合のように、詳細な内部構造を通してダイナミクスを理解することも可能となる。

月・惑星の内部構造を探るための最も直接的なものは地震波を観測することであり、月・惑星内部の力学的構造を推定することができる。熱流量を観測することにより、内部の熱的構造を推定することができる。月・惑星を周回する衛星の軌道を解析することにより、重力場、およびそれに関連する密度構造を推定することができる。そして磁場探査を実施することにより、前記とは「独立な」内部構造情報を得ることが可能となる。月・惑星が固有磁場を持つのであれば、その内部でダイナモ作用が働き、磁場を生成するだけのエネルギー源があることを示す。大規模な固有磁場がなくても、磁気異常の存在が明らかになれば、かつては固有磁場を持っていた可能性がでてくる。また、月・惑星の電磁応答を調べることにより、月・惑星の電磁気学的構造、つまり電気伝導度構造を推定することができる。電気伝導度は温度によって大きく変わるので、電気伝導度分布から温度分布を推定することもできる。このように、月・惑星磁場探査は、月・惑星の内部構造、起源、そして進化過程を理解するために極めて重要な役割を果たしている。

BepiColombo 水星探査は順調に進行中であり、水星固有磁場探査の実施により、その起源に迫ることができるようになるであろう。今後、推進すべき課題は、月内部の電磁探査（月内部構造の解明）、月磁気異常の成因および形成年代の決定（月の進化）、火星磁気異常の詳細なマッピング（火星の進化）、そして火星内部の電磁探査（火星内部構造の解明）などが挙げられる。

キーワード: 磁場探査, 惑星, 月, 内部構造

Keywords: magnetic exploration, planets, moons, interior structure

PPS023-10

会場:303

時間:5月26日 11:30-11:45

若手の目から見た惑星探査の将来像

A future image of lunar and planetary explorations from the viewpoint of a young scientist

諸田 智克^{1*}, 石原 吉明²

Tomokatsu Morota^{1*}, Yoshiaki Ishihara²

¹ 宇宙研, ² 国立天文台

¹JAXA/ISAS, ²NAOJ

日本惑星科学会の将来惑星探査検討グループが主催する「月惑星探査の来たる10年」の活動は「惑星科学コミュニティの力量を自覚した上で探査の将来計画を自主的に企画する」ことを目的としている。これまでも将来探査を検討する活動はあったが、それらと今回の活動の大きな違いは目的の中の「コミュニティの力量を自覚すること」と「自主的に企画する」の部分に表れている。特に前者に関して、科学的観点からはあれも大事これも大事と総花的に言いたくなるが、予算はもちろん、我々の技術力もマンパワーも有限であるため、優先順位づけは必須である。

10年後の惑星探査の現場における主役は現在の「若手」であり、このような惑星探査の将来像を決める検討作業に若手研究者の参加は重要である。本講演では若手研究者に目から見た惑星探査の将来像について議論したい。

キーワード: 月惑星探査, 若手研究者

Keywords: lunar and planetary explorations, young scientists

PPS023-11

会場:303

時間:5月26日 11:45-12:00

惑星探査と宇宙惑星科学コミュニティ Planetary exploration and space science community

渡邊 誠一郎^{1*}

Sei-ichiro Watanabe^{1*}

¹ 名古屋大学

¹Nagoya University

惑星探査プロジェクトと宇宙惑星科学コミュニティの関係のあり方について議論する。

難航しつつも日本が独自開発した惑星探査の汎用ツール・ペネトレータを1つの例として、日本の惑星探査の進め方の問題点を分析し、開発に長時間を要する汎用的な探査技術をコミュニティとしていかに育てるべきかを議論する。ペネトレータはルナ A 計画の枠内では開発が間に合わず完成できなかったが、ルナ A 計画の中止以降も実験が継続され、昨年の最終試験で問題ないことが確認され、独自探査技術として確立された。

講演では、まずペネトレータ開発の歴史を振り返りその問題点と完成にこぎつけたキーポイントを考える。次にハードランニングによっても機能を維持する通信・処理機能を持つキャリア技術にめどが立ったことを、コミュニティでどう共有すべきかを考える。さらに日本のコミュニティが(今のところ)世界には未だ無いプローブ技術で何を狙うかの考察する。ペネトレータへは、地震計、熱流量計、加速度計、温度計、磁力計、電波源などの地球物理学装置だけでなく、 μ TAS などの化学分析装置の搭載も提案されている。ペネトレータ利用の探査計画によって、耐衝撃性という観点からも計測器の微小化技術の更なる先鋭化が求められることになる。これは日本が得意とする開発要素であり、ミッション全体の低コスト化にも貢献すると考えられる。天文業界は装置の大型化によって次世代の天文学を描いているが、日本の固体惑星科学は対衝撃性のあるマイクロプローブ開発をお家芸と明確に打ち出すのもよいかも知れない。

探査を取り巻く境界条件がめまぐるしく変化する状況下で、探査を継続的に推進するには、独自基盤技術を計画的に育成すべく投資配分を考えるとともに、各プロジェクトと宇宙惑星科学コミュニティ全体とのより一層の連携が必要である。のぞみ、ルナ A、はやぶさ、かぐや、あかつきの経験をどう活かして行くのか。そのために学会として取り組んでいかねばならない活動についても言及したい。

PPS023-12

会場:303

時間:5月26日 12:00-12:30

惑星探査における宇宙科学研究所の役割 The role of ISAS in the Japanese Exploration

中村 正人^{1*}

Masato Nakamura^{1*}

¹ 宇宙科学研究所

¹ Inst. of Space and Astronautical Science

太陽系探査科学、すなわち惑星探査は宇宙科学の一翼を担う学問分野である。太陽系探査科学は単なる博物学にとどまらず、物理的、化学的手法を駆使して太陽系内惑星の多様性を解明するロードマップを描くべきものである。

これと対立する概念として、国の政策として進める太陽系探査（言い換えれば宇宙開発）が特に月探査（将来的には火星探査）には存在するかもしれない。これは国家としての威信をかけ、また国際的な技術的な優位性を得ようとして行う活動である。しかし、これらの探査でも科学が重要な柱であることは間違いなく、国際的流れでもある。政策に主眼を置く探査においても広くコミュニティの意見をくみ上げ、意義ある科学をミッションに組み込んでいく仕組みを作ることこそ科学者の責務である。

日本の太陽系探査科学の現状をみると理論研究は世界的にもトップクラスと言えるかも知れない。しかし現実の探査は米国に30年以上遅れをとっている。“のぞみ”、“あかつき”と立て続けに失敗を繰り返している日本の現状は、経験不足を批判されても致し方ないところである。このことは昔のこと（太陽系が出来た頃）、遠くのこと（深宇宙）が実証的に判らない事を意味し、太陽系探査科学を進めていく上で大きな障害となっている。

このような状況の中で宇宙科学研究所の存在は重要である。宇宙科学研究所は大学共同利用の機関として、様々な宇宙理学、宇宙工学のコミュニティの意見を背景に具体的に宇宙科学プロジェクトを実行していく母体である。太陽系探査科学を宇宙科学として位置づける第一歩は、コミュニティの意見を学会レベルで纏めて、宇宙科学研究所にその実行を要求する事ではなからうか？宇宙科学研究所は限られた資金的、人的リソースに縛られているように見えるかも知れないが、コミュニティからの強い意見により、そのリソースの幅を増大させるべく努力する事も必要であるように思われる。

惑星探査は往還に時間のかかるプロジェクトとなる。それだけに、熟慮されたプログラムを宇宙科学研究所に提示し、それを多くの他の分野からの批判にさらし、よりよいプログラムを練り上げて宇宙科学研究所に実行を迫るほどの気概が生まれる事が望まれる。

キーワード: 惑星探査

Keywords: Exploration

PPS023-P01

会場:コンベンションホール

時間:5月26日 16:15-18:45

探査とコミュニティ：ケーススタディ Planetary explorations and community: a case study

小林 直樹^{1*}, 村上 英記², 早川 雅彦¹

Naoki Kobayashi^{1*}, Hideki Murakami², Masahiko Hayakawa¹

¹ 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所, ² 高知大学理学部応用理学科

¹ ISAS/JAXA, ² Dept. Applied Sciences, Kochi Univ.

惑星探査を効果的に進めるためには機器開発を進めるチームだけではなく、探査プロジェクトを取り巻く科学者コミュニティのあり方も重要な要素である。コミュニティ作りは探査そのものの将来計画とは直接には関係しないが、将来計画の実現に向けて或は実施される探査の科学成果、波及効果を考える上では大きな要素であろう。この発表では探査コミュニティ作りの取り組みとして二つの取り組みを紹介する。一つは惑星探査用の地震計の開発を進めているコミュニティであり、もう一つはこれまでの日本の探査である「はやぶさ」、「かぐや」のデータを使った実習会の取り組みである。

日本の地震学的な月惑星内部構造探査としては Lunar-A 計画があった。Lunar-A は槍型のペネトレータに短周期地震計を搭載し、そのペネトレータによる観測ネットワークを月面上に構築する計画であった。しかし、ペネトレータ技術の完成が難航したために計画自体は 2007 年に中止となった。開発した地震計の技術はメーカーによって防災用の短周期地震計として活用されているが、携わった理学研究者にとって厳しい結果であった。多額の出費が必要であり、野心的であるには技術的にも困難な目標となりがちな探査において予定通りプロジェクトが進行するとは限らない。そうした状況でも参加する研究者に実りがある開発体制が必要であろう。現在、我々は地震研究所を中心として月・火星探査用の広帯域地震計を開発している。Lunar-A の教訓から開発自体を探査に特化するのではなく、開発した技術要素が地球観測にも活かせるよう多面的な地震計開発チームを立ち上げた。チームの構成員は月・火星探査の地震計の開発者だけでなく、海底地震計、地上広帯域地震計の開発や計測に関わる研究者、地震解析や理論の専門家、比較惑星科学の研究者からなる。1、2 ヶ月おきに開催している会議では開発している地震計の技術的な進捗だけでなく、月惑星探査のプロジェクトの動向や海底地震計プロジェクトの進捗、地震学、惑星科学のトピック的な研究や論文の紹介などを行っている。こうした議論を通して探査の道のりの途中で生まれてくる科学や技術を愉しむ活動を目指している。

もう一つの取り組みは月惑星探査データ解析実習会である。これまでの日本の固体系の月惑星探査の在り方を振り返るとプロジェクトチームとチーム周辺の地球惑星科学のコミュニティとは意識のギャップがあるように感じる。しかし、大規模な探査を推進するにあたっては母体となるコミュニティとの一体感のあるプロジェクトの進め方は必須であり、今後一層問われてくる。データ解析実習会はこれまでに取得した「はやぶさ」や「かぐや」のデータを多くの若い研究者、学生に触れてもらい、探査データから生まれてくる科学に興味を持ってもらい、将来惑星探査の担い手になる研究者の掘り起こしが狙いである。探査の中心人物とまでは行かなくても、実習会を通して月惑星の探査へのリアリティを実感できるようになろう。また、次期小惑星探査、月探査を計画するにあたって、これまで人類が手にしたデータを十二分に解析し次なるプロジェクトに活かして行くのはプロジェクトチームと母体コミュニティの共通の義務であろう。データ解析実習会がその一助となればと願っている。しかし、「来る 10 年」で検討しているようなプランを今後 10 数年で実施していくには、実習会の活動だけではまだまだ不十分である。本発表では「はやぶさ」や「かぐや」のデータを利用し切るためにはどういう方策がありうるのか、それによって強いコミュニティをどう作って行くのかについて議論したい。

キーワード: 月惑星探査, コミュニティ, ルナ A, 広帯域地震計, データ解析, 実習会

Keywords: lunar and planetary explorations, community, Lunar-A, broadband seismometer, data analyses, school

PPS023-P02

会場:コンベンションホール

時間:5月26日 16:15-18:45

ペネトレータ技術を応用した惑星探査ミッションについて Future prospect of planetary exploration by penetrator technology

白石 浩章^{1*}, 小林 直樹¹, 田中 智¹, 村上 英記², 藤村 彰夫¹

Hiroaki Shiraishi^{1*}, Naoki Kobayashi¹, Satoshi Tanaka¹, Hideki Murakami², Akio Fujimura¹

¹ 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所, ² 高知大学

¹ ISAS/JAXA, ² Kochi University

ペネトレータとは月や惑星の表面に高速貫入・設置することで観測を行うハードランディング型の観測プローブのことである。通常の軟着陸機(ランダー)に比べて小型・軽量化された衛星システムを実現することができ、一回のミッションで固体惑星表面の複数点に設置して地球物理観測網を広範囲で展開することができる。また、掘削装置を利用せずに表層下のその場観測を実現することができるため、探査機システムの小型・軽量化が要求される宇宙ミッションにおいて重要な観測手段に位置づけられてきた。そのため、諸外国でも惑星探査ミッションへ適用するための開発研究が長年行われてきているが、2014年に彗星探査を目指す欧州宇宙機関のRosettaミッション(加速度計と温度計を搭載し軟着陸機のアンカーの役割も担う)を除くとその有効性がいまだ宇宙実証されていない状況である。ペネトレータ技術の最も大きな開発要素は高速貫入に伴って発生する衝撃への耐性であり、ケース外套を含めた搭載機器を保護するための高度な艱装技術(ポッティングと呼ぶ)が求められる。地震計および熱流量計による内部構造探査を目的として旧LUNAR-A計画用に開発してきた月探査用ペネトレータでは、搭載機器の耐衝撃性について一定の見通しが立ったものの、重量・電力リソースの厳しい制約の中で実現したシステムであるため、将来の惑星探査ミッションに発展応用していくためにはさらに技術的課題を解決し、新たな科学観測機器も開発していく必要がある。例えば、2003年から2004年にかけてJAXA内外の専門家による一連の評価委員会においても技術開発と製造性に関する以下のような指摘がなされた。

- (1) コンポーネント製造からポッティング工程終了まで約1年の長期間を要する。
 - (2) 現行仕様の充填剤および実装方法では、ポッティング工程中および貫入試験後に内部搭載機器を分解・調査することが困難である。
 - (3) 現行のCFRP製一体構造の搭載方式ではポッティング工程中および貫入試験後に一部の機器に不具合が発生すると、ペネトレータ全ブロックが以降の試験に使用できなく(使い捨てに)なるリスクを抱えている。
- つまり、現状の製造工程と試験方法では試験回数が少なくなること、ターンアラウンドの期間が長くなること、試験前後の調査・改修が十分に実施できないことなどから開発の長期化、高コスト化、ひいては開発技術の信頼性低下を招く結果に至ったという指摘である。そのため、通常の宇宙衛星には適用されない貫入衝撃を模擬する試験装置を整備するとともに、搭載機器の製造工程と地上試験のターンアラウンドを短縮化することで多数回の検証機会を設けることが重要である。課せられる衝撃レベルや環境条件は探査目標とする天体とミッションを遂行する科学観測機器の組合せによって異なることが予想されるが、厳しい搭載環境条件を回避もしくは緩和する方策についても検討していく必要がある。本研究では、月探査用ペネトレータを技術開発し実際の宇宙ミッションへの適用を試みてきた経験をもとに、月以外の惑星天体を対象としたペネトレータ方式によるミッションを提案し、それぞれの科学目標を達成するための候補観測機器、新規開発要素および観測運用方法などについて検討を行った結果を報告する。

レーザ絶縁破壊分光観測による惑星表層物質の元素分析 Elemental analysis of planetary surface materials by laser-induced breakdown spectroscopy

石橋 高^{1*}, 亀田 真吾¹, 長 勇一郎², 杉田 精司³, 三浦 弥生⁴, 大野 宗祐¹, 荒井 朋子¹, 和田 浩二¹, 小林 正規¹, 千秋 博紀¹, 後藤 和久¹, 並木 則行¹, 松井 孝典¹

Ko Ishibashi^{1*}, Shingo Kameda¹, Yuichiro Cho², Seiji Sugita³, Yayoi N. Miura⁴, Sohsuke Ohno¹, Tomoko Arai¹, Koji Wada¹, Masanori Kobayashi¹, Hiroki Senshu¹, Kazuhisa Goto¹, Noriyuki Namiki¹, Takafumi Matsui¹

¹ 千葉工業大学・惑星探査研究センター, ² 東京大学・理・地球惑星科, ³ 東京大学・新領域・複雑理工, ⁴ 東京大学・地震研
¹PERC, Chitech, ²Dept. Earth. Planet. Sci., Univ. Tokyo, ³Dept. Complex. Sci. Eng., Univ. Tokyo, ⁴Earthquake Res. Inst., Univ. Tokyo

月惑星の固体系探査は一般に周回衛星によるリモートセンシング, 着陸機とローバによるその場観察, サンプルリターン, 有人探査, の段階を経て進められる。日本の月惑星探査では「はやぶさ」, 「かぐや」がリモートセンシングで大きな成功を収めたばかりであるが, NASA/ESA が主導する火星探査ではその場観察の最終段階に入っており, サンプルリターンへ向けて着々と準備が進められている。月についても「かぐや」以降, 中国, インド, NASA が次々に探査機を打ち上げ, リモートセンシングでの観測はほぼ終了した。現在は各国ともその場観察とサンプルリターンの計画段階へ移行している。月・火星以外の天体についても, 遅かれ早かれ同じ段階を経て国際的動向が進むのは自明である。日本も次期月探査で初めて地球外天体への軟着陸を目指しているが, 搭載観測機器の開発は欧米に大きく遅れをとっている。われわれは, 将来の着陸機・ローバへの搭載が必須となるであろう, 大変重要な観測機器として, LIBSの開発を行っている。この意見書ではLIBSが実現する惑星表層物質の元素分析の科学について提案する。

これまでのリモートセンシングによる月惑星探査では, 太陽系の各天体が複雑多様な表層組成を示しており, 「どこからでも良いからサンプルを持ち帰れば, その天体の起源や進化が分かる」というほど単純なサンプルリターンはあり得ないことを明確に示している。歴史上最も成功したサンプルリターンミッションであるアポロ計画の月岩石資料でさえ, 月隕石やリモートセンシングデータとの対比から, 月表側の限定的な領域のサンプルでしかないことが最近では理解されている。火星はさらに複雑で, 赤い惑星の多様な堆積岩は着陸地点毎に異なる姿をみせる。

従来の惑星探査の経験から, その場観察では複数点に着陸する必要性と, 着陸地点の地質という“文脈”を理解することの重要性が強く指摘されている。殊に後者に関しては, ローバを使った広範囲の移動能力が不可欠である。また, 個々の試料分析に時間を要してしまえばローバの移動能力を活かせないので, 簡易で効率的な光学分析機器が必須である。この点においてLIBSは(i)測定距離が1~10 mと可変で, (ii)空間分解能が高く(1 mm以下), (iii)測定時間が短い(数秒~数分以内)上に, (iv)多様な元素の定量分析が可能で(アルカリ元素, 軽元素, 希土類元素を含む), 且つ(v)試料の前処理が不要と, 非常に有効である。

火星の気候変動・進化史の解明にあつては, 着陸機・ローバ探査によって, 着陸地点とその周囲の領域において岩石の組成を測りその分布を明らかにすることが求められる。その要請にLIBSは十分答えられる機器である。LIBSは, 岩石試料をレーザで加熱・蒸発させ, 生成されたプラズマの輝線スペクトルを測定することで, その岩石試料の元素組成を計測する。それゆえLIBSは, 火星のみならず, 月や他の惑星上でも広範囲の領域に分布する岩石組成を測定することを可能である。また, レーザによるアブレーション効果があり, 岩石の表層数mmを覆っているダストコーティングを剥ぎ取って内部のフレッシュな岩石組成を計測することが可能である。同時に, LIBSは主要元素のみならず, 軽元素・揮発性元素の計測もできる。最近になってその存在が示唆されている火星のメタンの起源や火星生命(の痕跡)に迫れる。さらに, LIBSによる測定は他の機器による測定と組み合わせることで探査計画をより有意義なものとする。たとえば, ローバによる探査では, LIBSによって多少離れた地点の岩石元素組成の素早い計測を行うことで, ローバが進むべき興味深い地点の選定が可能となる。また, Ar-K年代測定を質量分析計で行う場合には, 十分な量のKが存在する地点に行く必要があるが, そのような地点をあらかじめLIBS測定によって見当がつけられる, という相補性がある。

火星着陸機・ローバ探査におけるLIBSによる測定によって以下のような貢献が期待される。

- (1.1) 堆積岩の組成および分布(層序)の測定と大気組成進化および水・二酸化炭素の行方
- (1.2) 火成岩の組成(安山岩か玄武岩か)の測定と地殻あるいはマントルからの脱ガス過程, 火星内部の酸化還元状態
- (1.3) 生命(の痕跡)および生命活動に必要な物質の検出

一方, 月表層での元素分析の科学目標は大きく, 下記の4つに分けることができる。

- (2.1) 月斜長岩質地殻の化学組成
- (2.2) 月バルクのアルカリ元素濃度決定への制約
- (2.3) 海の玄武岩流の垂直方向組成多様性の探査とマントル組成の推定
- (2.4) かんらん石の $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})$ 比とかんらん石/斜長石の存在度決定

キーワード: 惑星探査, 元素分析, レーザー, 分光

Keywords: planetary exploration, elemental analysis, laser, spectroscopy

PPS023-P04

会場:コンベンションホール

時間:5月26日 16:15-18:45

”Small is beautiful” planetary missions: 小型軽量多地点の化学探査が目指す惑星の化学と生物学 ”Small is beautiful” planetary missions

関根 康人^{1*}, 火原彰秀², 鈴木宏二郎¹, 杉田 精司¹, 松井孝典³

Yasuhito Sekine^{1*}, Akihito Hibara², Kojiro Suzuki¹, Seiji Sugita¹, Takafumi Matsui³

¹ 東大新領域, ² 東大生研, ³ 千葉工大惑星探査センター

¹Grad. Sch. of Frontier Sci., Univ. Tokyo, ²Inst. Industrial Sci., Univ. Tokyo, ³PERC, Chiba Inst. Tec.

Micro-Total Analysis System (micro-TAS) describes a miniaturized chip-sized device that automates all necessary steps for chemical analysis of a sample, such as sampling, transport, filtering, dilution, reactions, separation, and detection. Such micro-TAS technology has been originally developed in analytical chemistry and recently has started to be widely applied in many fields, e.g., medical care, marine technology, and police investigation. Because of its very small size, micro-TAS can be placed close to a sampling site, where human cannot reach easily. In this paper, we discuss possible applications of micro-TAS to space and planetary explorations. Together with our small and distributed FS landers, we propose a new type of planetary explorations with the aim of detection of biomarkers and volcanic gases on Mars, Titan and Enceladus.

キーワード: 惑星探査, 化学分析, 火星, タイタン, メタン, 火山

Keywords: planetary explorations, chemical analysis, Mars, Titan, methane, volcano

PPS023-P05

会場:コンベンションホール

時間:5月26日 16:15-18:45

内惑星系-小惑星帯領域の天体進化を探る探査の提案

Exploration of collisional history and material evolution in the inner region and the main belt of the solar system

平田 成^{1*}, 出村 裕英¹, 岡田 達明², 阿部 新助³, 荒井 朋子⁴, 佐々木 晶⁵

Naru Hirata^{1*}, Hirohide Demura¹, Tatsuaki Okada², Shinsuke Abe³, Tomoko Arai⁴, Sho Sasaki⁵

¹ 会津大学, ²JAXA, ³ 台湾中央大学, ⁴ 千葉工業大学, ⁵ 国立天文台

¹Univ. of Aizu, ²JAXA, ³NCU, ⁴Chiba Institute of Technology, ⁵NAOJ

小惑星探査機「はやぶさ」の重要な成果の一つは、小惑星イトカワが rubble-pile 構造を持っていたという発見である。これはイトカワが、より大きな小惑星が衝突破壊された後、その破片が再集積した天体である、ということを意味している。小惑星同士の大規模な衝突によって、catastrophic な破壊が生じると、その破片は多数の新しい小惑星となり、一部が再集積して rubble-pile 天体となる。小惑星帯ではこの現象によって初生時から現在の状態までサイズ頻度分布の進化が生じている。この進化過程を遡れば太陽系形成初期の小惑星帯小天体のサイズ頻度分布、すなわち原始太陽系の物質分布についての情報を得ることになる。これは、「なぜ小惑星は惑星になれなかったのか」という問いに答えることと等しい。

一方、隕石をはじめとする地球外物質のコレクションは大きく充実するようになったが、地球の原材料物質は何か、という地球惑星科学の基本的な問題にはまだわれわれは答えることができていない。現在までの隕石研究と地上観測、そして理論的検討の成果として、原始太陽系の中には日心距離に応じた化学組成の変化が生じていたと考えられるようになっているが、「はやぶさ」のサンプルリターン成功はこのような原始太陽系星雲における物質分布の再構築する上で大きな手がかりを与えたことになるだろう。

このような状況を踏まえて、われわれは次世代の探査計画として、太陽系の内惑星系・小惑星帯の初期物質分布とその後の物理的、化学的進化を捉えるための小惑星探査を提案する。系統的な小惑星の探査により、小惑星帯サイズ頻度分布進化モデルの構築と、惑星と小惑星の化学的多様性の起源を知るのがその目的である。

キーワード: 小惑星探査, 衝突進化, 物質科学, リモートセンシング, サンプルリターン

Keywords: Asteroid exploration, impact history, material science, remote sensing, sample return

PPS023-P06

会場:コンベンションホール

時間:5月26日 16:15-18:45

炭素と塩素含有物による月惑星探査

Lunar planetary exploration by carbon- and chlorine-bearing materials

三浦 保範^{1*}

Yasunori Miura^{1*}

¹ 山口大学

¹ Yamaguchi University

- 1) 月面の破砕岩には、炭素や塩素などの揮発性元素を多く残存する。
- 2) 炭素は、さまざまな陽イオン (Ca, Mg, Fe) と固体状態でミクロなナノ組織を示す。
- 3) 塩素と微量重元素も、固体状鉱物岩石で破碎的な急冷組織中に残存している。
- 4) 大気のない月面には、惑星間衝突残物以外に、小惑星衝突と太陽風などの太陽からの飛来物の影響があり、炭素には特にその傾向がみられる。
- 5) 月の磁性鉱物や磁場に影響する、炭素含有鉱物の相変化により、月での磁性変化が新たに考えられる。
- 6) 炭素は多くのアポロ月面の衝突破砕岩に特異的に残存し、月の高地クラスト破砕岩の Ca に富む灰長石などにも残存している。
- 7) 今後月面探査では炭素と塩素の揮発性元素含有物の探査が、月の形成解明に重要である。
- 8) 地球に比べて無活動的な月内部での (月型火山性または月震性) 衝撃波爆発によるガス発生で陥没窪み構造の形成にも炭素含有物が関与していると考えられる。
- 9) この研究手法は、火星や小惑星探査やその他の惑星探査に応用可能なグローバルな探査である。

キーワード: 月探査, 炭素含有物, 塩素含有物, 磁性鉱物と磁場, 惑星間衝突, 太陽風飛来

Keywords: lunar exploration, carbon-bearing materials, chlorine-bearing materials, magnetic minerals and magnetism, planetary impacts, solar wind transportation