

## その場年代計測装置による月惑星年代学探査

### Lunar and Planetary chronological missions based on the in-situ geochronology instruments

諸田 智克<sup>1\*</sup>, 杉田 精司<sup>2</sup>, 長 勇一郎<sup>2</sup>, 三浦 弥生<sup>2</sup>, 渡邊 誠一郎<sup>1</sup>, 古本 宗充<sup>1</sup>, 本田 親寿<sup>3</sup>, 杉原 孝充<sup>4</sup>, 石原 吉明<sup>5</sup>, 大竹 真紀子<sup>6</sup>, 唐牛 譲<sup>6</sup>, 石橋 高<sup>7</sup>, 荒井 朋子<sup>7</sup>, 武田 弘<sup>2</sup>, 寺田 健太郎<sup>8</sup>, 鎌田 俊一<sup>2</sup>, 佐伯 和人<sup>8</sup>, 小林 進悟<sup>9</sup>, 亀田 真吾<sup>10</sup>, 吉岡 和夫<sup>6</sup>, 岡崎 隆司<sup>11</sup>, 並木 則行<sup>7</sup>, 小林 正規<sup>7</sup>, 大野 宗祐<sup>7</sup>, 千秋 博紀<sup>7</sup>, 和田 浩二<sup>7</sup>, 橋 省吾<sup>12</sup>  
Tomokatsu Morota<sup>1\*</sup>, Seiji Sugita<sup>2</sup>, Yuichiro Cho<sup>2</sup>, Yayoi N. Miura<sup>2</sup>, Sei-ichiro WATANABE<sup>1</sup>, Muneyoshi Furumoto<sup>1</sup>, Chikatoshi Honda<sup>3</sup>, Takamitsu Sugihara<sup>4</sup>, Yoshiaki Ishihara<sup>5</sup>, Makiko Ohtake<sup>6</sup>, Yuzuru Karouji<sup>6</sup>, Ko Ishibashi<sup>7</sup>, Tomoko Arai<sup>7</sup>, Hiroshi Takeda<sup>2</sup>, Kentaro Terada<sup>8</sup>, Shunichi Kamata<sup>2</sup>, Kazuto Saiki<sup>8</sup>, Shingo Kobayashi<sup>9</sup>, Shingo Kameda<sup>10</sup>, Kazuo Yoshioka<sup>6</sup>, Ryuji Okazaki<sup>11</sup>, Noriyuki Namiki<sup>7</sup>, Masanori Kobayashi<sup>7</sup>, Sohsuke Ohno<sup>7</sup>, Hiroki Senshu<sup>7</sup>, Koji Wada<sup>7</sup>, Shogo Tachibana<sup>12</sup>

<sup>1</sup>名古屋大学, <sup>2</sup>東京大学, <sup>3</sup>会津大学, <sup>4</sup>海洋研究開発機構, <sup>5</sup>産総研, <sup>6</sup>JAXA, <sup>7</sup>千葉工業大学, <sup>8</sup>大阪大学, <sup>9</sup>方医研, <sup>10</sup>立教大学, <sup>11</sup>九州大学, <sup>12</sup>北海道大学

<sup>1</sup>Nagoya Univ., <sup>2</sup>Univ. Tokyo, <sup>3</sup>Univ. Aizu, <sup>4</sup>JAMSTEC, <sup>5</sup>AIST, <sup>6</sup>JAXA, <sup>7</sup>Chiba Inst. of Tec., <sup>8</sup>Osaka Univ., <sup>9</sup>NIRS, <sup>10</sup>Rikkyo Univ., <sup>11</sup>Kyushu Univ., <sup>12</sup>Hokkaido Univ.

日本における今後の月惑星探査を力強く推進するためには、一連の探査計画において共通の柱となる理学目標の設定が必須であることは言うまでもない。惑星科学が目指す一つのゴールは、太陽系で起こったとされる様々なイベントの有無と相互の因果関係を解明し、太陽系形成から現在に至る歴史を滑らかにつなぐことである。このような観点から我々は月惑星年代学を柱として、太陽系進化史の解明を目指したその場年代測定機器を用いた探査計画を提案する。

本提案は月面着陸による地質・物質科学調査、その場 K-Ar 年代測定にもとづいて月面の重要地域の年代決定を行うものである。探査候補地域はコペルニクスなどの若いクレータのフロア、または嵐の大洋にある若い溶岩流領域とする。これらの地域の形成年代と既存のリモートセンシングデータから計測されるクレータ統計情報と組み合わせることにより、過去 38 億年に及ぶ太陽系内側の天体衝突史の理解が完成する。それにより、(1) 地球近傍天体の供給過程、ソース規模の時間変化の制約、(2) 地球型惑星表面の年代決定手法（クレータ年代学）の確立と地質進化履歴復元の高精度化が達成される。

本探査で獲得されるその場年代決定技術や月面移動地質調査技術、地質学・年代的知見は、将来の月面サンプルリターン計画や火星探査計画に継承されるべきものである。

キーワード: 月惑星探査, 月, 年代学, クレータ, K-Ar 年代測定

Keywords: Lunar and Planetary explorations, moon, chronology, crater, K-Ar dating

## 将来探査に向けた月裏側高地地殻物質のサンプルリターン検討 Sample return from the lunar farside highland proposed for the future lunar exploration mission

大竹 真紀子<sup>1\*</sup>, 荒井 朋子<sup>2</sup>, 武田 弘<sup>2</sup>, 唐牛 謙<sup>1</sup>, 佐伯 和人<sup>3</sup>, 諸田 智克<sup>4</sup>, 小林 進悟<sup>5</sup>, 大槻真嗣<sup>1</sup>, 國井康晴<sup>6</sup>  
Makiko Ohtake<sup>1\*</sup>, Tomoko Arai<sup>2</sup>, Hiroshi Takeda<sup>2</sup>, Yuzuru Karouji<sup>1</sup>, Kazuto Saiki<sup>3</sup>, Tomokatsu Morota<sup>4</sup>, Shingo Kobayashi<sup>5</sup>, Masatsugu Otsuki<sup>1</sup>, Yasuharu Kunii<sup>6</sup>

<sup>1</sup>宇宙航空研究開発機構, <sup>2</sup>千葉工大, <sup>3</sup>大阪大, <sup>4</sup>名古屋大, <sup>5</sup>放射線医学研究所, <sup>6</sup>中央大学

<sup>1</sup>JAXA, <sup>2</sup>Chiba Institute of Technology, <sup>3</sup>Osaka University, <sup>4</sup>Nagoya University, <sup>5</sup>NIRS, <sup>6</sup>Chuo University

これまでの研究により、月の形成直後には表層が数 100km 以上にわたって溶融したマグマオーシャンが存在していたと考えられる。月高地地殻は、マグマオーシャンの固化時にマグマから結晶した斜長石が集積して形成したと推定される事から、月地殻組成を把握することは、地殻形成過程すなわち月マグマオーシャンの固化過程や組成を知る上で、非常に重要である。

従来、月の地殻組成は月で採取された帰還試料や月隕石の分析値を基に推定されてきたが、最近になって、月周回衛星“かぐや”データをを用いた研究などにより、月表側から採取された既存の帰還試料とは組成が異なる、より早い分化段階でマグマオーシャンから固化・形成した始原的な地殻物質が、月裏側に存在する事が指摘されている。これら未採取の月裏側地殻物質を入手し、地上に置いて詳細な化学組成の分析を実施する事は、月高地地殻の組成、月マグマオーシャンの固化過程や熱履歴を知ることに加え、月・地球系の形成過程を考える上でも重要な課題である。

本提案では、来る 10 年の惑星探査計画検討の一環として、固体天体探査として最初に行う“着陸その場年代測定探査”実施後に、次のステップとして実施する月裏側の高地地域からのサンプルリターンミッションを検討した。本ミッションでは、先に行う着陸その場年代測定探査によって確立する、月面精密着陸技術および月面その場での試料操作・測定技術を基にして、月裏側で既存の月探査データからあらかじめ選定した地点に着陸し、試料の測定により選定を実施した上で、未採取地殻物質の採取帰還を行う。帰還試料を地球に持ち帰り、それら試料の詳細な組成分析、同位体分析、組織分析、既存のリモートセンシングデータとの比較のための分光測定、風化度測定など、さまざまな分析を行うことにより、先に述べた月地殻組成の把握による科学目標達成を目指す。

月からのサンプルリターン実施は、科学的に火星やその他、比較的大型の固体天体の形成・分化を知る上での基礎理論構築に重要であると伴に、それら大型の固体天体からのサンプルリターン技術を確立するという観点でも意義が大きい。

キーワード: 来たる 10 年の月惑星探査, サンプルリターン, 月, 高地地殻

Keywords: Next decade for planetary explorations, sample return, moon, highland crust

## MELOS1 火星着陸探査計画 MELOS1 Mars Landing Exploration Plan

佐藤 毅彦<sup>1\*</sup>, 宮本 英昭<sup>2</sup>, 山岸 明彦<sup>3</sup>, はしもと じょーじ<sup>4</sup>, 千秋 博紀<sup>5</sup>, 石丸 亮<sup>5</sup>, 亀田 真吾<sup>6</sup>, 久保田 孝<sup>1</sup>, 藤田 和央<sup>1</sup>, 石上 玄也<sup>1</sup>, 尾川 順子<sup>1</sup>, 岡田 達明<sup>1</sup>

Takehiko Satoh<sup>1\*</sup>, Hideaki Miyamoto<sup>2</sup>, Akihiko Yamagishi<sup>3</sup>, George HASHIMOTO<sup>4</sup>, Hiroki Senshu<sup>5</sup>, Ryo Ishimaru<sup>5</sup>, Shingo Kameda<sup>6</sup>, Takashi Kubota<sup>1</sup>, Kazuhisa Fujita<sup>1</sup>, Genya Ishigami<sup>1</sup>, Naoko Ogawa<sup>1</sup>, Tatsuaki Okada<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 宇宙航空研究開発機構, <sup>2</sup> 東京大学, <sup>3</sup> 東京薬科大学, <sup>4</sup> 岡山大学, <sup>5</sup> 千葉工業大学, <sup>6</sup> 立教大学

<sup>1</sup>Japan Aerospace Exploration Agency, <sup>2</sup>University of Tokyo, <sup>3</sup>Tokyo University of Pharmacy and Life Sciences, <sup>4</sup>Okayama University, <sup>5</sup>Chiba Institute of Technology, <sup>6</sup>Rikkyo University

火星のさまざまな科学的側面、それに対して周回機と着陸機を組み合わせた複合探査で挑もうと検討を行っているのが、MELOS 計画である。必ずしも同時に単一ミッションとして行う必要のないものは、時間をかけてシリーズ探査とする、その基本方針のもとまずは MELOS1 を具体化すべく検討を続けてきた。ミッションは大規模になるほどその立ち上げは難しい。周回機 + 着陸機の構成にこだわり続けては、最初のミッションをいつ行えるか分からない情勢であるから、MELOS1 は着陸機 + クルーズステージという簡潔な構成にする方針でいる。Curiosity の成功で息を吹き返した米国の火星探査があり、欧露の ExoMars ミッションがあり、われわれが目指す 2020 年代に外国の周回機が火星を回っていて通信リレーを頼れるとする仮定は、無理なことではない。

着陸機側の構成はまだもう少し柔らかいものの、40-50 kg ローバーに生命探査を中心としたいくつかの理学測器を搭載したものが検討されている。火星着陸探査は、人類の活動領域を拡大する「探査」の重要ステップであるとともに、科学的発見をなし得るフィールドへ降り立つという極めて大きな意義をもつ。地球外生命、その発見は科学史上最大の発見となり得るだろう。広大で変化に富む火星地表、これまで 7 回の着陸は類似した環境の地点であり、得られた火星生命可能性に関する知見はごく限定的といえる。流水地形やメタン放出の疑われる泥火山地形など、生命発見に最も高効率と考えられる場所は、前人未踏の探査対象であり、高精度着陸、新型生命検出

装置を備え、こうした場所に降り立っての生命探査を世界に先駆けて行う。それが現在想定されている MELOS1 計画である。

本講演では検討の進捗状況を報告するとともに、日本の将来計画の中における火星着陸探査の位置づけなど、広い視野をもった議論を行いたい。

## ソーラー電力セイル探査機による トロヤ群小惑星探査および宇宙赤外線背景放射観測

### Exploration of Trojan asteroids and observations of cosmic infrared background radiation by a solar power sail mission

中村 良介<sup>1\*</sup>, 矢野 創<sup>2</sup>, 船瀬 龍<sup>2</sup>, 森 治<sup>2</sup>, 吉田 二美<sup>3</sup>, 小久保 英一郎<sup>3</sup>, 津田雄一<sup>3</sup>, 松浦周二<sup>2</sup>, 高遠 徳尚<sup>3</sup>, 関根 康人<sup>4</sup>, 橘 省吾<sup>5</sup>

Ryosuke Nakamura<sup>1\*</sup>, Hajime Yano<sup>2</sup>, Ryu Funase<sup>2</sup>, Osamu Mori<sup>2</sup>, Fumi Yoshida<sup>3</sup>, Eiichiro Kokubo<sup>3</sup>, Yuichi Tsuda<sup>3</sup>, Shuuji Matsuura<sup>2</sup>, Naruhisa Takato<sup>3</sup>, Yasuhito Sekine<sup>4</sup>, Shogo Tachibana<sup>5</sup>

<sup>1</sup>産業技術総合研究所, <sup>2</sup>宇宙航空研究開発機構, <sup>3</sup>国立天文台, <sup>4</sup>東京大学, <sup>5</sup>北海道大学

<sup>1</sup>AIST, <sup>2</sup>JAXA, <sup>3</sup>NAOJ, <sup>4</sup>University of Tokyo, <sup>5</sup>Hokkaido University

原始太陽系円盤を構成していた初期物質を探るためには、惑星形成時の熱変成の影響を免れた小惑星・彗星・惑星間塵といった小天体の研究が不可欠である。なかでも木星のラグランジュ点付近に存在するトロヤ群小惑星は、小惑星と彗星の間をつなぐ天体であり、原始太陽系円盤の物質分布や微惑星の成長・移動プロセスを調べる上で重要なターゲットである。本稿では、日本が世界に先駆けて実証したソーラー電力セイル技術を用いたトロヤ群小惑星探査ミッションを提案する。この探査は(1)トロヤ群小惑星の詳細な物質組成や熱史・衝突史を調べることで、その起源と進化を明らかにする(2)惑星間塵の空間分布を測定することで、彗星・小惑星からの生成率や軌道進化に関する理解を深め、その結果を他の惑星系に応用する(2)惑星間塵の影響の少ない小惑星帯以遠からの宇宙赤外線背景放射観測によって、宇宙初期に形成された第一世代の星を調べる、という科学目標をあわせ持つ、惑星科学・天文学・宇宙工学の融合ミッションである。

キーワード: 小惑星, ラグランジュ点, ソーラーセイル, 赤外線, サンプルリターン

Keywords: Asteroid, Lagrange point, Solar Sail, infrared, sample return

## 小惑星 Phaethon 探査 Proposed mission to asteroid Phaethon

荒井 朋子<sup>1\*</sup>  
Tomoko Arai<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 千葉工業大学 惑星探査研究センター

<sup>1</sup> Planetary Exploration Research Center, Chiba Institute of Technology

地球近傍小惑星 3200Phaethon はふたご座流星群の母天体であるが、彗星活動は乏しく、彗星と小惑星の中間の特徴を持つ活動的小惑星（あるいは枯渇彗星）と考えられている。また、ふたご座流星群のスペクトル観測から報告されているナトリウムの枯渇及び不均質は、陽加熱の影響よりも局所的な部分溶融を経た母天体の組成不均質を反映している可能性が高い。部分溶融の痕跡を残す原始的な分化隕石中に見られる薄片規模（mm-cm スケール）でのナトリウム不均質は、上記の可能性を支持する。従って、Phaethon では局所的な加熱溶融・分別を経験した物質と始原的な彗星物質が共存する可能性が期待され、Phaethon は太陽系固体天体形成の最初期プロセスを解明するための貴重な探査標的である。また、天文学、天体力学、小惑星・彗星科学、隕石学、実験岩石学などの惑星科学の多分野に横断的な本質的課題解明の鍵を握る理想的な天体である。さらに、Phaethon は直径約 5 km と地球近傍小惑星の中でもサイズが大きいこと、スペースガードの観点から地球への衝突可能性の監視が必要な天体である。Phaethon は、小惑星 2005UD 及び 1999YC と類似した軌道及び小惑星表面の反射スペクトルタイプを持つことから、Phaethon の分裂破片だと考えられている（Phaethon-Geminid-Complex: PGC）。また、メインベルト小惑星パラスと Phaethon との関連も示唆されている。本講演では、Phaethon 探査検討チームの最新状況を紹介すると共に、小惑星 Phaethon 及び PGC の科学的意義及びイプシロンロケット及び小型科学衛星を利用した Phaethon のフライバイ探査及び PGC のマルチフライバイ探査実現性の検討結果について述べる。

キーワード: 小惑星, 探査計画, フェイトン, PGC

Keywords: Asteroid, Mission plan, Phaethon, Phaethon-Geminid-Complex (PGC)



## 土星衛星エンセラダスのプルーム物質の化学・生命探査：サンプルリターンとその場質量分析の重要性

### A space exploration for Enceladus' plumes: importance of sample return and in-situ mass spectrometry

関根 康人<sup>1\*</sup>, 高野 淑識<sup>2</sup>, 矢野 創<sup>3</sup>, 船瀬 龍<sup>4</sup>, 高井 研<sup>5</sup>, 石原盛男<sup>6</sup>, 渋谷 岳造<sup>5</sup>, 橋 省吾<sup>7</sup>, 倉本 圭<sup>8</sup>, 藪田 ひかる<sup>9</sup>, 木村 淳<sup>8</sup>, 古川 善博<sup>10</sup>

Yasuhito Sekine<sup>1\*</sup>, Yoshinori Takano<sup>2</sup>, Hajime Yano<sup>3</sup>, Ryu Funase<sup>4</sup>, Ken Takai<sup>5</sup>, Morio Ishihara<sup>6</sup>, Takazo Shibuya<sup>5</sup>, Shogo Tachibana<sup>7</sup>, Kiyoshi Kuramoto<sup>8</sup>, Hikaru Yabuta<sup>9</sup>, Jun Kimura<sup>8</sup>, Yoshihiro Furukawa<sup>10</sup>

<sup>1</sup> 東京大学・新領域, <sup>2</sup> 海洋研究開発機構 海洋・極限環境生物圏領域, <sup>3</sup> JAXA ISAS, <sup>4</sup> 東京大学・工, <sup>5</sup> 海洋研究開発機構 PEL, <sup>6</sup> 大阪大学・理, <sup>7</sup> 北海道大学・理, <sup>8</sup> 北海道大学・理, <sup>9</sup> 大阪大学・理, <sup>10</sup> 東北大学・理

<sup>1</sup>Dept. Complexity Sci. & Engr., Univ. Tokyo, <sup>2</sup>Inst. Biogeosciences, JASMTEC, <sup>3</sup>ISAS, JAXA, <sup>4</sup>Dept. Aeronautics & Astronautics, Univ. Tokyo, <sup>5</sup>PEL, JAMSTEC, <sup>6</sup>Dept. Physics, Osaka Univ., <sup>7</sup>Dept. Natural History Sci., Hokkaido Univ., <sup>8</sup>Dept. CosmoSci., Hokkaido Univ., <sup>9</sup>Dept. Earth & Space Sci., Osaka Univ., <sup>10</sup>Dept. Earth Sci., Tohoku Univ.

Here we propose a sample-return mission of water-rich plumes erupting from warm fractures near the south pole of Enceladus. During collection of plume samples, the spacecraft will conduct in-situ gas analyses with a high-resolution multi-turn time of flight mass spectrometer. The mass spectrometry would provide the abundances and isotopic compositions of major gas species included in the plumes. These observational data would allow us to discuss the temperature and isotopic heterogeneity of primordial volatiles in the Saturn-forming region of the protoplanetary disk, geochemical processes occurred in Enceladus' ocean, and possible metabolic reactions and energy for chemithoautotrophy. Once the plume samples are returned safely in 2030's, microscopic analyses for returned samples will be conducted, including synchrotron X-ray analyses, chemical and mineralogical analyses with a nano-SIMS, and calorimetry with radioactive isotopic tracers. In order to achieve both sufficiently high encountering velocity for TOF spectroscopy and low velocity for intact capture of the plume particles, the spacecraft needs to either orbit Saturn and fly-by Enceladus or orbit the satellite itself and still is able to return to the earth after the rendezvous phase.

キーワード: 惑星探査, 氷衛星, エンセラダス, サンプルリターン, その場分析

Keywords: Space exploration, icy satellite, Enceladus, sample return, in-situ analysis

## JUICE 計画への参加が意味するもの What does it mean to participate in the JUICE mission?

藤本 正樹<sup>1\*</sup>  
Masaki Fujimoto<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>JAXA 宇宙科学研究所  
<sup>1</sup>ISAS, JAXA

Boosted by the discovery of exo-planets, the habitability issue is becoming more and more of a central issue in planetary science. An icy moon with a sub-surface ocean is a focal point of discussion in this line. In May 2012, ESA selected JUICE as its L-class mission to be launched in 2022. The main target of the JUICE mission is Ganymede, an icy moon that orbits around Jupiter.

The AO for the instruments to be onboard the JUICE mission was issued in July 2012. At the time of writing, the results of the AO is yet to be released in February 2013. There are several groups from Japan that are playing roles in the proposal teams led by European-PIs. When (any of) these teams win, that is the time that the door for the outer-solar system exploration is opened for Japanese planetary science community. Furthermore, it is the first mission ever to orbit around an icy moon and it goes without saying that JUICE is a world-class mission.

What does this opportunity mean for the Japanese community? In parallel to this participation to the world-class international collaboration project, what others should be planned and executed by the community? It is designed that this talk will trigger such a discussion.

キーワード: 国際大型計画, 氷衛星探査  
Keywords: International collaboration, Exploration of icy moons

## 月着陸探査ミッション SELENE-2 Moon Landing Mission SELENE-2

橋本 樹明<sup>1\*</sup>, 星野健<sup>1</sup>, 田中 智<sup>1</sup>, 大嶽 久志<sup>1</sup>, 大槻真嗣<sup>1</sup>, 森本仁<sup>1</sup>

Tatsuaki Hashimoto<sup>1\*</sup>, Takeshi Hoshino<sup>1</sup>, Satoshi Tanaka<sup>1</sup>, Hisashi Otake<sup>1</sup>, Masatsugu Otsuki<sup>1</sup>, Hitoshi Morimoto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 宇宙航空研究開発機構

<sup>1</sup> Japan Aerospace Exploration Agency

JAXA では、SELENE (「かぐや」) での月周回観測に続き、SELENE-2 で月面着陸を行い、SELENE-X で更に高度な探査 (サンプルリターンなど) を実施することを検討している。SELENE-2 のミッション目的は、以下のように大別される。

### 1. 将来の月惑星探査に必要な技術の開発・実証

月面への軟着陸は米国、旧ソ連が 40 年以上前に実現しているが、今後の本格的な月探査においては、目的とした場所へ百 m 程度の精度で着陸することが求められている。これを実現するためには、表面地形と地図を照合することにより自己位置を同定するなど、質的に新しい着陸技術が必要となる。

着陸機のみでは月面の一点での活動に限られるので、広域を移動探査する手段 (ローバ) が必須である。月面上では米国、ソ連による大型ローバの実現例があるが、科学探査用の小型ローバは月レゴリス上においてはスタックしやすい。走行機構に大幅な改良が必要である。

月面上で長期観測を行うためには、2 週間の夜を越えて活動する技術が必要である。これまでの月探査においては、原子力エネルギーを用いて越夜していたが、我が国においては原子力の宇宙利用についての国民的コンセンサスが得られていないことから、代替エネルギーが求められている。SELENE-2 では、熱設計の工夫によって、太陽電池と蓄電池によるシステムで数 W 程度の小電力観測機器の 2 週間の越夜が可能である見通しを得ている。

### 2. 月の起源と進化の解明につながる科学観測

月の誕生の謎に迫るためには、月の原材料物質の割合を知る必要がある。このためには、現在の月内部の地殻、マントル、中心核がそれぞれの程度の大きさであり、どのような物質でできているかを計測することが重要である。一方、月の進化過程を明らかにするためには、地殻やマントルを形成する物質、特に岩石の組成や結晶構造などを、その産状とともに詳細に観測する必要がある。そのためには、月表面に存在する月深部からの噴出物質等についての詳細な地質学的探査と、月の内部構造を知るための地球物理学的探査が 2 つの柱となる。

SELENE-2 では、着陸機あるいはローバからの撮像および分光により広域の地形観測を行い、特徴的岩石露頭へのアクセスを行う。そして、岩石表面を研磨しての顕微鏡観測を行い、鉱物組成の確定を行うことを計画している。また、月震波形の計測、熱流量観測、電磁場観測を行い、月内部構造の解明を目指している。

### 3. 将来の有人探査等のための月面環境調査

宇宙飛行士が月面に長期に滞在して複雑な作業を実施する場合、アポロ時代の短期間滞在、発見的探査に比して、必要な環境調査項目、精度ともに異なるものが必要である。例えば、月面の放射線環境は、現在の解析モデルでは 1 桁以上の誤差があり、月面滞在可能日数や放射線シールドの設計が大きく異なってしまう。また、長期間真空中に暴露されてきたレゴリスダストがどう振る舞うのか、あるいは空気のある与圧部に入り込んだときに化学的反応の時定数はどの程度かなど、地上にあるアポロの回収サンプルを用いた実験だけではわからないことも多い。また、ローバの走行、あるいは月面基地建設のためには、地盤の特性の把握が必要である。

### 4. 国民理解の増進、国際協力・貢献など

月面からの高精細映像による教育・啓蒙効果については、「かぐや」のハイビジョン映像により実証されている。また、月惑星探査 (特に有人探査) は国際協力を前提として進める時代にあって、我が国がいかに国際貢献できるかは、国としての地位の確保につながるものである。

これらのミッションを実現するためには、H2A ロケット級の打ち上げ能力が必要と考えている。この場合、1 トン前後のドライ重量の探査機を月面に着陸させることが可能である。着陸に必要なバス系重量は 700kg 程度必要であり、探査ローバも含むミッション機器の総重量は 200 ~ 300kg になるものと推算されている。

SELENE-2 では、着陸地点について以下の条件を設定した。

- ・緯度 60deg 以下：温度環境から
- ・経度 80deg 以下：地球との直接通信の制約から

この条件下で、月の科学の観点で最適な着陸点を検討すべく、2010 年 3 月より「SELENE-2 着陸地点検討会議」を組織し議論を行ってきた。2011 年 9 月に 10 の着陸地点と 1 つの広域エリア条件に集約され、現在、さらなる絞り込みを行っている。

SELENE-2 は、2007 年より JAXA のプリプロジェクトとして、概念設計 (Phase-A study) を実施してきた。前宇宙基本計画においては 2015 年頃の実施が示唆されていたが、国の経済状況から、プロジェクト移行 (Phase-B) は遅れてい



# Japan Geoscience Union Meeting 2013

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

©2013. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



PPS22-08

会場:103

時間:5月22日 16:45-17:00

る。世界的には有人月探査への動きが加速されつつある中で、プリプロジェクトチームとしては、早期のプロジェクト移行を目指し、技術的な準備を着実に進めている。

キーワード: 高精度着陸, 探査, ローバ, 越夜

Keywords: Precise landing, Exploration, rover, Night survival

## SGEPSSにおける将来探査検討の現状

### Future earth and planetary explorations envisioned in the SGEPSS subgroup on future explorations

寺田 直樹<sup>1\*</sup>, SGEPSS 分科会「将来探査検討分科会」<sup>2</sup>  
Naoki Terada<sup>1\*</sup>, the SGEPSS subgroup on future explorations<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> 地球電磁気・地球惑星圏学会

<sup>1</sup>Graduate School of Science, Tohoku University, <sup>2</sup>Society of Geomagnetism and Earth, Planetary and Space Sciences

地球電磁気・地球惑星圏学会 (SGEPSS) では、惑星科学会の「月惑星探査の来たる 10 年」に対応する活動として、2011 年 11 月に有志が集い「将来探査検討分科会」を立ち上げ、地球惑星圏探査の将来展望と研究戦略の検討、科学的な問題意識や技術情報の共有、並びに、次代を担う若手の育成に向けた活動を進めている。また SGEPSS では、本分科会の活動に加えて、2012 年 5 月に「将来構想検討ワーキンググループ」を発足させ、学会としての将来構想を纏めた文書「地球電磁気学・地球惑星圏科学の現状と将来」を作成した。この将来構想文書は 2013 年 1 月の時点で完成版を作成し、学会ホームページでの公開と冊子体の作成を行った。本講演では、SGEPSS 将来構想文書の探査に関する部分を紹介し、将来探査検討分科会における検討状況を紹介する。

キーワード: 地球惑星探査, 地球電磁気・地球惑星圏学会分科会

Keywords: Earth and planetary exploration, SGEPSS subgroup

## 月惑星科学研究コンソーシアム構想 Lunar and Planetary Science Consortium Plan

倉本 圭<sup>1\*</sup>  
Kiyoshi Kuramoto<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 日本惑星科学会  
<sup>1</sup>Japanese Soc. Planet. Sci.

「かぐや」と「はやぶさ」は太陽系について多くの発見をなしとげ、理論や地上装置による研究が牽引してきた我が国の惑星科学に、新展開をもたらした。今後の新たな月惑星探査に、研究者はむろん国民も期待を寄せており、多様なプランが活発に検討されつつある。その一方で、歴史の浅い我が国の惑星科学において、巨大科学である月惑星探査を、惑星科学研究の新たな支柱として定着させ展開するためのコミュニティ基盤の形成が急務の課題となっている。そのための一つの提案として、月惑星科学研究コンソーシアム構想について紹介する。

月惑星探査の性格として、巨大大事業であり多様な人材を長期に渡って要すること、手法と対象に多岐の選択肢が存在し、科学面だけでなく技術面や費用面など多角的な見地からの検討や検証が必要となること、取得データに希少性があると同時にしばしば膨大になること、打ち上げ間隔がしばしば長期に渡ること、等が挙げられる。月惑星科学コンソーシアム構想では、機能分化した拠点のネットワークを作ることにより、上述の特性を持つ月惑星探査を、惑星科学コミュニティが多面的に分担して支え展開する仕組みの構築を模索する。

本構想のシーズは、近年、各々の献身的努力によって進められてきた大学内あるいは大学間研究教育組織の立ち上げにある。これらの組織はそれぞれ、惑星科学コミュニティにおける知見集積と国内外人材交流、月惑星探査データベースの構築配信、惑星探査機器の基礎開発、惑星大気シミュレーションモデルの開発提供、地上分析装置の開発など、それぞれ機能分化した特色ある活動を推進しつつある。これらの組織を有機的に結合しながら拠点として実質化させ、惑星科学に関連する科学コミュニティと JAXA/ISAS および海外組織と密接な協力関係を形成し、月惑星探査を惑星科学の支柱として展開したい。

なお、本構想の立案には多くの方々のご協力を頂いている。単著の形をとっているが、日本惑星科学会将来計画委員会において検討しつつある提案として御理解願いたい。

キーワード: 月惑星探査, 基盤形成, 連携, 組織化  
Keywords: lunar and planetary exploration mission, infrastructure, organization, cooperation

## 「月惑星探査来る10年」第三段階経過報告 Next decade initiatives for lunar planetary explorations: The third stage

渡邊 誠一郎<sup>1\*</sup>

Sei-ichiro WATANABE<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学環境学研究科

<sup>1</sup> Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

「月惑星探査来る10年」の検討活動は、第二段階の提案を基に第三段階に入った。講演では、第三段階の主旨と進め方を説明する。

後発でさまざまな学問分野を内包する日本の惑星科学コミュニティは、「ボトムアップで暖められた探査提案を厳しい議論と共同作業を通じて集約し、コミュニティとして推すプロジェクトを選定する」という経験をこれまでほとんど積み上げられていない。しかし、国の宇宙科学予算の遞減により、特に中・大型衛星の打ち上げ機会は減少し、そのわずかな機会を巡って他分野との厳しい競争に直面している。この競争を勝ち抜くには、魅力があり他分野に対しても十分な説得力を持つミッションをまとめ上げ、工学系や他分野の協力を得ながら、惑星科学コミュニティが一丸となってそれを推進していく態勢が必要である。今後十数年というタイムスパンで考えた場合、惑星探査の中・大型衛星はせいぜい1機か2機しか上がらないと覚悟すべきである。いくつかの提案は小型衛星ミッションあるいは国際協力ミッションとして位置づけるのが妥当であろう。コミュニティとして、今後の探査の位置づけと進め方を明確にする中期ビジョンの構築と共有が喫緊の課題と考える。

そこで、第三段階では、第一段階におけるトップサイエンスの議論と第二段階でのみなさんからの提案を素材とし、第二段階パネル委員のコメントを踏まえつつ、それらを発展的に昇華させ、日本の惑星科学推進の「中期ビジョン」(MRV)を共有し、そのビジョンに位置づけられた「惑星探査ミッション」を選び、整合性があり説得力のある「ミッション・コンセプト」(MC)を仕上げることを目標とする。

第三段階は次のような工程で進めていきたいと考えている。

第一工程：大テーマを複数設定し、各大テーマを柱とするセクションを、提案者を中心に、関心のある惑星科学研究者や他分野の有識者などに参加いただいて構成し、「セクション別検討会」を実施する。そして、セクション毎に研究推進のMRVとその下に位置づけられた惑星探査ミッションのMCの一次案(「科学的目的」と「概要・特徴」の整合性に留意)を作成いただく。

第二工程：各セクションから提出されたMRVとMCの一次案を、第三段階パネル委員が検討し、コメントを返す。コメントには問題点/不十分な点の指摘、参考となるであろう各委員の経験の披露、今後の進め方や協力を仰ぐべきキーパーソンの紹介などを想定。なお、MRV一次案については将来計画委員会でも検討/評価をお願いし、同委員会の検討にも活用いただく予定。

第三工程：提案者は第二工程のコメントを踏まえて、MC一次案のポリッシュアップを図り、整合性と説得力を強化したMC二次案(「体制・経費・スケジュール」の明確化に留意)を作成する。この工程では、第一工程でのセッションの枠を取り払い、複数の提案の更なる集約や、工学系や他の宇宙科学探査経験者の参加の促進、検討体制の強化を進めていただく。

最終工程：提出された各MC二次案に対して、第三段階パネル委員より、総合的な評価とワーキンググループ化に向けたアドバイスを行う。

まずは第一工程ですが、第二段階提案者であるみなさんに対して以下の2つの大テーマを柱とするセクション別検討会を9月14日・15日に開催された。

大テーマ1：月惑星の構造と進化の比較学

大テーマ2：生命に至る宇宙物質の進化学

注：なお、「地球型惑星大気・磁気圏探査」については地球電磁気・地球惑星圏学会が主催する将来計画分科会において、別途、検討される予定である。

各提案者は、少なくともどちらかのセクションに属して、MRVとMCの検討に参加いただいた。各セクションで必ずしも1つのミッションに絞り込む必要はないが、策定いただくMRVの中に各ミッションを位置づけ、それぞれがフラグシップ的な中・大型衛星ミッションをめざすのか、小型衛星ミッションや国際協力ミッションを狙うのかを明確にしていくことを要請した。

現在は第二工程にあり、その議論を含めて講演で紹介する予定である。

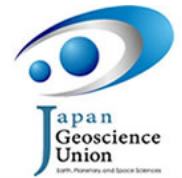
キーワード: 惑星科学, 宇宙科学, 将来計画

Keywords: planetary science, space science, future planning

# Japan Geoscience Union Meeting 2013

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

©2013. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



PPS22-12

会場:103

時間:5月22日 17:45-18:00

## 来たる10年パネルの取り組み Approach of the next decade panel

出村 裕英<sup>1\*</sup>

Hirohide Demura<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 会津大学

<sup>1</sup>The University of Aizu

来たる10年パネルの議論をまとめる。



## K-Ar年代その場計測装置の開発状況 Development of an in-situ K-Ar dating instrument

長 勇一郎<sup>1\*</sup>, 三浦 弥生<sup>2</sup>, 諸田 智克<sup>3</sup>, 亀田 真吾<sup>4</sup>, 吉岡 和夫<sup>5</sup>, 岡崎 隆司<sup>6</sup>, 並木 則行<sup>7</sup>, 石橋 高<sup>7</sup>, 大野 宗祐<sup>7</sup>, 小林 正規<sup>7</sup>, 荒井 朋子<sup>7</sup>, 千秋 博紀<sup>7</sup>, 和田 浩二<sup>7</sup>, 杉田 精司<sup>8</sup>

Yuichiro Cho<sup>1\*</sup>, Yayoi N. Miura<sup>2</sup>, Tomokatsu Morota<sup>3</sup>, Shingo Kameda<sup>4</sup>, Kazuo Yoshioka<sup>5</sup>, Ryuji Okazaki<sup>6</sup>, Noriyuki Namiki<sup>7</sup>, Ko Ishibashi<sup>7</sup>, Sohsuke Ohno<sup>7</sup>, Masanori Kobayashi<sup>7</sup>, Tomoko Arai<sup>7</sup>, Hiroki Senshu<sup>7</sup>, Koji Wada<sup>7</sup>, Seiji Sugita<sup>8</sup>

<sup>1</sup> 東京大学 理学系研究科 地球惑星科学専攻, <sup>2</sup> 東京大学 地震研究所, <sup>3</sup> 名古屋大学, <sup>4</sup> 立教大学, <sup>5</sup> 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所, <sup>6</sup> 九州大学, <sup>7</sup> 千葉工業大学 惑星探査研究センター, <sup>8</sup> 東京大学 新領域創成科学研究科 複雑理工学専攻

<sup>1</sup>Dept. Earth & Planetary Science, Univ. Tokyo, <sup>2</sup>Earthquake Research Institute, Univ. Tokyo, <sup>3</sup>Nagoya University, <sup>4</sup>Rikkyo University, <sup>5</sup>ISAS/JAXA, <sup>6</sup>Kyushu University, <sup>7</sup>PERC, Chiba Institute of Technology, <sup>8</sup>Dept. Complexity Science and Engineering, Univ. Tokyo

We have been developing an in-situ dating method based on the K-Ar system for future planetary landing missions. The K-Ar dating method employs radiometric decay of  $^{40}\text{K}$  into  $^{40}\text{Ar}$  with half-life of 1.25 Gyr [Steiger & Jager, 1977]. Our system measures K and Ar with two techniques at the same laser irradiation spot on a sample: laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) and quadrupole mass spectrometry (QMS), respectively (LIBS-QMS system). Potassium and argon are extracted from a sample simultaneously by the laser ablation, in which the sample is vaporized by a series of intense ( $> 1\text{GW}/\text{cm}^2$ ) laser pulses. We used a Nd:YAG laser with 6 ns of pulse width and 1064 nm of wavelength (Surelite I, Continuum). The laser energy was set at 100 mJ and the spot diameter was  $\sim 500$  micron. The pulse repetition rate was 2 Hz. We used a small spectrometer with a charge couple device (CCD) (HR 2000+, Ocean Photonics Inc.), to simulate a small and simple spectrometer for the spacecraft missions. The light emission from plasma was collected by a lens and transmitted through an optical fiber to the entrance slit of the spectrometer. The spectral acquisition time was 1 ms and the shutter was opened before the laser pulses reached the sample; time-integrated plasma emission was observed to simulate a non-gated operations on the planetary missions. The intensity of the K line at 769 nm was normalized by that of the O emission line at 777 nm in order to reduce signal fluctuations.

The gas extracted from the sample was purified with a Ti-Zr getter. The purified Ar gas was trapped on the charcoal trap cooled by liquid nitrogen. The Ar isotopes,  $^{36}\text{Ar}$ ,  $^{38}\text{Ar}$  and  $^{40}\text{Ar}$ , are measured with the quadrupole mass spectrometer. Blank mass spectra were also acquired and subtracted from the main data. Finally, the volume of laser ablation pit was measured with a laser microscope to obtain the concentration of  $^{40}\text{Ar}$  within the pit.

In order to construct a calibration curve for  $\text{K}_2\text{O}$ , 24 geologic samples with known  $\text{K}_2\text{O}$  concentration were measured with our LIBS system. The calibration line can be fitted by a power law:  $I=0.11C^{0.55}-0.00686$ , where I and C are the signal intensity and  $\text{K}_2\text{O}$  concentration (wt%). The detection limit and the quantification limit of our LIBS system were 300 ppm and 1 wt%, respectively. Also the detection limits of  $^{36}\text{Ar}$  and  $^{40}\text{Ar}$  were measured to be  $2 \times 10^{-12}$  and  $2 \times 10^{-11}$  [cm<sup>3</sup> STP], respectively, in this study. As a result, if a rover encounters a rock with  $\text{K}_2\text{O}=1$  wt%, as Mars Exploration Rover found at Gusev crater, our instrument is expected to measure K and Ar from a rock sample; i.e., the error in LIBS measurement would be  $<20\%$  and the S/N for QMS signals would be sufficient ( $\approx 200$ ).

Using our instrument, we measured three samples whose K concentrations and ages have been measured previously with flame photometry and a sector mass spectrometer: a hornblende ( $\text{K}_2\text{O}=1.12$  wt%, 1.75 Ga), a biotite ( $\text{K}_2\text{O}=8.44$  wt%, 1.79 Ga), and a plagioclase ( $\text{K}_2\text{O}=1.42$  wt%, 1.77 Ga) [Nagao, unpublished data]. We obtained the model ages of  $2.1 \pm 0.3$ ,  $1.8 \pm 0.2$ , and  $2.0 \pm 0.3$  Ga, respectively.

Since the three samples have similar ages and different K concentrations, we should be able to construct a "virtual" isochron by plotting the concentrations of K and  $^{40}\text{Ar}_{rad}$ . The slope of the isochron simulated with our experimental data yields 1.34 Ga of age. The data with known values yields 1.79 Ga. Such underestimation probably results from both overestimation for K and underestimation for  $^{40}\text{Ar}$  in the biotite data, which have large weight for the regression. Nevertheless, a positive correlation between [K] and  $[^{40}\text{Ar}_{rad}]$  is obvious. Although further improvement in the accuracy of our measurements is necessary, the data obtained in this study demonstrate that our LIBS-QMS method can reproduce the trend essential for quantitative isochron-based age measurements.

キーワード: 来る 10 年機器提案, その場年代計測装置, 固体惑星着陸探査, K-Ar 年代

Keywords: Decadal Survey, In-situ age measurements, Planetary landing missions, K-Ar dating

## 月・惑星着陸探査用元素分析装置：レーザ誘起絶縁破壊分光装置 (LIBS) Elemental analyzer for landed lunar and planetary explorations: Laser-induced breakdown spectrometer (LIBS)

石橋 高<sup>1\*</sup>, 亀田 真吾<sup>2</sup>, 小林 正規<sup>1</sup>, 並木 則行<sup>1</sup>, 荒井 朋子<sup>1</sup>, 和田 浩二<sup>1</sup>, 千秋 博紀<sup>1</sup>, 大野 宗祐<sup>1</sup>, 長 勇一郎<sup>3</sup>, 杉田 精司<sup>4</sup>  
Ko Ishibashi<sup>1\*</sup>, Shingo Kameda<sup>2</sup>, Masanori Kobayashi<sup>1</sup>, Noriyuki Namiki<sup>1</sup>, Tomoko Arai<sup>1</sup>, Koji Wada<sup>1</sup>, Hiroki Senshu<sup>1</sup>, Sohsuke Ohno<sup>1</sup>, Yuichiro Cho<sup>3</sup>, Seiji Sugita<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 千葉工業大学/惑星探査研究センター, <sup>2</sup> 立教大学/理学部, <sup>3</sup> 東京大学/理学系研究科, <sup>4</sup> 東京大学/新領域創成科学研究科  
<sup>1</sup> Planetary Exploration Research Center, Chiba Institute of Technology, <sup>2</sup> School of Science, Rikkyo University, <sup>3</sup> Graduate School of Science, The University of Tokyo, <sup>4</sup> Graduate School of Frontier Science, The University of Tokyo

我々は、「月惑星探査の来たる10年」第二段階パネルへの個別観測機器提案として、レーザ誘起絶縁破壊分光装置 (LIBS; laser-induced breakdown spectrometer) を提案し、昨年の連合大会の本セッションにおいて、提案の概要の説明を行った。今回はその後の進捗状況の報告を行う。

LIBSはレーザと分光器を用いた元素分析装置である。パルスレーザ光を測定対象試料上に集光し、その一部を蒸発・プラズマ化する。プラズマブリューム中で励起された原子やイオンは時間の経過に伴い脱励起して低エネルギー状態に移行するが、脱励起前後のエネルギーレベルの差に応じた波長の電磁波 (紫外～近赤外光) を放出する。それを分光測定し、試料中に含まれている元素の輝線スペクトルを取得する。輝線の位置は各元素に固有であり、輝線の強度は元素濃度に相関があるため、スペクトルを解析することで試料の定性および定量分析、すなわち元素濃度測定や鉱物の分類などが可能である。

LIBSは以下のような特徴を持つ。(1) 遠隔分析可能 (現実的には最大10m程度)、(2) 短時間でのデータ取得 (最短で数秒)、(3) 軽元素を含むほぼすべての元素を測定可能、(4) 高空間分解能 (数十 $\mu\text{m}$ ～数mm)、(5) 試料の前処理が不要、(6) 放射線源不要。これらの特徴により、LIBSは着陸機やローバ探査に最も適した元素分析装置になると期待されている。従来の手法に比べて定量精度にやや欠ける、という問題もあったが、多変量解析を用いたスペクトル解析手法の改善により、この問題は克服されつつある。LIBSの持つこれらの特徴により、LIBSは月・惑星着陸探査における強力な元素分析ツールになる可能性を持っている。実際に現在火星を探査中の Mars Science Laboratory には LIBS が搭載されており、これが宇宙における初の LIBS の使用となった。今後の着陸惑星探査において、LIBS はスタンダードな元素分析装置になってゆくと考えられる。

現在我々のグループでは、主に着陸月探査を念頭に置いて LIBS の開発を進めている。昨年までに、LIBS の基本設計、測定距離可変光学系の光学設計を終えた。それに平行して、LIBS による元素組成定量手法の改良 (マトリックス効果による定量精度低下の克服) も行った。昨年は、レーザおよび分光器のスペックの見直しを行い、さらなる軽量化の目処が付き、現在は総重量 3.5 kg を目指して開発を進めている。また昨年は、LIBS の試作機を用いて 2 種類のフィールド試験を行った。一つは、野外での元素組成測定試験 (千葉工大が担当)、もう一つは野外での LIBS 光学系のローバ搭載試験 (立教大が担当) である。フィールド試験は、いずれも伊豆大島の裏砂漠 (三原山の麓) で行った。

野外での元素組成測定試験は、小型のポータブル LIBS を用いて行った。このポータブル LIBS は、3 mJ/pulse のパルスレーザと、対物距離 50 mm の集光光学系を持つ近距離測定用の LIBS である。あらかじめ実験室において火成岩のスタンダード試料の測定を行い、元素濃度定量のための回帰モデルを作成した。この LIBS を用いて、フィールドにおける自然地形 (転石や溶岩流など) の元素組成測定試験を行った。太陽光のもとでの測定であったが、短時間で高い S/N 比を持つスペクトルが得られた。これらのスペクトルを解析することで、玄武岩として妥当な元素組成が得られた。ただし、解析のエラーは大きく、これは回帰モデル作成に用いたスタンダード試料数が少ないことに起因すると考えられる。スタンダード岩石試料を充実させ、定量精度を向上させることが今後の課題である。野外での LIBS のローバ搭載試験では、対物距離可変型 LIBS の光学系の試作機をローバ (Micro 6, JAXA) に搭載し、遠隔操作による自動焦点合わせ試験、レーザ照射試験を行った。

今後は、対物距離可変型 LIBS の試作機をローバに搭載し、測定地点の選定、自動焦点合わせ、レーザ照射、スペクトル取得、元素組成測定の一連の流れを実施する予定である。それを通して、LIBS 測定運用手順の確認やローバ搭載時の自然地形での元素組成測定の確認などを行いたいと考えている。

キーワード: 着陸探査, 元素分析装置

Keywords: landed exploration, elemental analyzer

## 火星ペネトレータによるネットワーク観測提案

### Investigation of Martian surface and internal structure by multiple penetrator probes

白石 浩章<sup>1\*</sup>, 山田 竜平<sup>2</sup>, 石原 吉明<sup>3</sup>, 小林 直樹<sup>1</sup>, 早川 雅彦<sup>1</sup>, 田中 智<sup>1</sup>, 鈴木 宏二郎<sup>4</sup>

Hiroaki Shiraishi<sup>1\*</sup>, Ryuhei Yamada<sup>2</sup>, Yoshiaki Ishihara<sup>3</sup>, Naoki Kobayashi<sup>1</sup>, Masahiko Hayakawa<sup>1</sup>, Satoshi Tanaka<sup>1</sup>, Kojiro Suzuki<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所, <sup>2</sup> 国立天文台 RISE 月惑星探査検討室, <sup>3</sup> 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, <sup>4</sup> 東京大学大学院新領域創成科学研究科

<sup>1</sup>Japan Aerospace Exploration Agency, Institute of Space and Astronautical Science, <sup>2</sup>National Astronomical Observatory of Japan, RISE project, <sup>3</sup>International Institute of Advanced Industrial Science and Technology, <sup>4</sup>Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo

多点ネットワークを構成して火星表層環境と内部構造を観測するペネトレータミッションを提案する。現在の火星内部で生じているダイナミクスを反映する地震活動と熱的状态を調査するとともに、地球型惑星の分化過程を反映する地殻 - 上部マントル構造と固体内部から表層および大気層への物質輸送過程に関する知見を得る。ペネトレータモジュールは突入速度 300m/sec で火星表層下 2~3m に潜り込むプローブ本体に、耐熱シールドと空力減速機構の役割をする膜面展開型柔構造エアロシェルを統合することで小型軽量のシステムを構成する。貫入設置するペネトレータプローブ本体には内部構造と表層物質の物理特性を観測するため地震計、加速度計、熱伝導率計、温度計を搭載する。一方、柔構造エアロシェルには圧力計、温度計、磁力計、カメラを搭載して大気突入時のモニタリングを行う。周回衛星から分離された4機のペネトレータモジュールは、比較的最近までの火山活動が指摘される Elysium 地域や地震発生頻度が多いと想定される断層地形が密に存在する Tharsis 地域に最大 300km 間隔で分散設置される。両地域は過去の軟着陸ミッションでも探査が行われていない高い標高地域にも対応するため有力な設置候補地点と考えている。火星大気による減速を十分に利用して低高度地域に軟着陸せざるを得なかった軟着陸ミッションに比べて、高速のまま貫入設置できるペネトレータの特色を生かすことができる。火星における地震探査の試みはパイキング着陸機による例があるが、観測機器の性能や設置環境の制約によって内部地震を明確に同定するには至っていない。そのため、隕石衝突起源イベントの頻度・サイズ分布と合わせて火星の地震発生状況を知ることが最も重要な理学目的である。配置された測線距離および内部地震の規模によって地殻 - 上部マントルに至る弾性的構造を調べることも可能である。特に、浅部の主要な物質境界面となる地殻の厚さと密度の決定は地球型惑星の分化過程の理解のために重要な物理量である。衝突起源の地震イベントは現在の火星への隕石衝突頻度とサイズ分布を把握するとともに、比較的大きな衝突イベントを検出できれば地殻 - 上部マントル構造と水平方向の不均質性を知るうえで有力な手段となりうる。他の領域に比較して最近まで火成活動が起こっていた領域ではスポット的に高い地殻熱流量の値が期待できるため、その上限を抑えるだけでも火成活動の有無や時期についての情報が得られる。また、過去の火星周回衛星による熱慣性・放射特性マップや 線分光計データの Ground Truth として、表層物質の熱伝導率や貫入減速時の加速度プロファイルはその物理特性を理解する基礎データであり、氷層や凍土の有無やレゴリスの層序を理解することの一助となる。さらに、熱流量の長期観測は表層構造の季節変動についての基礎データを与える。周回衛星には光学カメラを搭載して、地震観測期間中に隕石が衝突して形成されたクレータや地滑りの発生位置を検出する。同定されたイベントは既知の震源位置として地震波による内部構造解析に利用することができる。将来の火星探査ミッションに対する展望として本提案は本格的な多点ネットワークミッションのプレカーサと位置づけることができる。つまり、火星内部地震・隕石衝突の発生頻度やマグニチュードの情報はその後の火星探査において最適なネットワーク配置の検討、観測機器の仕様決定や運用計画の策定に重要な情報となる。また、表層の気象観測量(温度・圧力・磁場など)の日周・季節変動データは広帯域地震計にとっての環境ノイズ源でもあることから、波形データの校正に極めて有用であるとともに将来の広帯域地震探査において展開・設置方法を最適化する際の基礎資料にもなる。

キーワード: 火星探査, 表層環境, 内部構造, ペネトレータ, 地震計, 熱流量計

Keywords: Mars Exploration, surface Environment, internal Structure, penetrator, seismometer, heat flow probe



## ペネトレータ・システム実証のための小型科学衛星ミッションの提案 A proposal of a small scientific satellite mission to validate penetrator systems

村上 英記<sup>1\*</sup>, 白石 浩章<sup>2</sup>, 小林 直樹<sup>2</sup>, 山田 竜平<sup>3</sup>, 田中 智<sup>2</sup>, 早川 雅彦<sup>2</sup>, 早川 基<sup>2</sup>, 竹内 希<sup>4</sup>, 岡元 太郎<sup>5</sup>, 久家 慶子<sup>6</sup>, 石原 靖<sup>7</sup>, 趙 大鵬<sup>8</sup>

Hideki Murakami<sup>1\*</sup>, Hiroaki Shiraiishi<sup>2</sup>, Naoki Kobayashi<sup>2</sup>, Ryuhei Yamada<sup>3</sup>, Satoshi Tanaka<sup>2</sup>, Masahiko Hayakawa<sup>2</sup>, Hajime Hayakawa<sup>2</sup>, Nozomu Takeuchi<sup>4</sup>, Taro Okamoto<sup>5</sup>, Keiko Kuge<sup>6</sup>, Yasushi Ishihara<sup>7</sup>, Dapeng Zhao<sup>8</sup>

<sup>1</sup> 高知大学理学部, <sup>2</sup> 独立行政法人宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部固体惑星科学研究系, <sup>3</sup> 国立天文台 RISE 月惑星探査検討室, <sup>4</sup> 東京大学地震研究所, <sup>5</sup> 東京工業大学大学院理工学研究科地球惑星科学専攻, <sup>6</sup> 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻地球物理学教室, <sup>7</sup> 海洋研究開発機構 地球内部ダイナミクス領域, <sup>8</sup> 東北大学大学院理学研究科附属地震・噴火予知研究観測センター

<sup>1</sup> Faculty of Science, Kochi University, <sup>2</sup> Department of Planetary Science, Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Explo, <sup>3</sup> National Astronomical Observatory of Japan, RISE project, <sup>4</sup> Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, <sup>5</sup> Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institut, <sup>6</sup> Department of Geophysics, Graduate School of Science, Kyoto University, <sup>7</sup> IFREE, JAMSTEC, <sup>8</sup> Department of Geophysics, Tohoku University

月内部構造探査用に開発したペネトレータ技術を宇宙実証するための Follow-on Mission として、小型衛星クラスでのプロジェクトを提案する。ペネトレータは小型軽量の高速貫入型プローブで、一度の打上げで多点ネットワーク観測を実現するために有効なツールである。特に、貫入衝撃に耐えられる搭載機器の開発が最も大きな技術的ハードルである。しかし、ペネトレータによるネットワーク観測を実現するためには、(1) 周回衛星からの分離・投下技術、(2) 分離姿勢制御と貫入制御、(3) ペネトレータ - 周回衛星間の通信技術、(4) 長期間の多点同時観測を実施する運用技術なども必須である。地球物理学的な月内部構造探査を目的として旧 LUNAR-A プロジェクトではこれらの工学技術を独自に開発して地上試験を行ってきたが、End-to-End での検証試験や月周回での飛翔実証は行われていない。

そこで、現在 JAXA で開発中のイプシロンロケット (の増強型) での打ち上げを想定して、3 軸姿勢制御型の周回機と既存の開発技術を極力継承した 2/3 スケールの小型ペネトレータ 2 機を合わせた 400kg 級の衛星システムによる工学実証計画を検討した。本提案の主たる目的は将来の本格的な 月面ネットワーク観測ミッションに繋げるプレカーサとするとともに、ペネトレータシステムの小型・軽量化を実現することで月以外の遠い天体への探査に適用する際のテストベットの創出であるが、科学観測のケーススタディーとしても未踏地である月裏側の表層環境および浅部構造を探査するミッション案も合わせて検討した。

搭載候補機器として、地震計、熱流量計、ガンマ線分光計、加速度計、磁力計が挙げられるが、これらの機器を世界で初めて月の裏側に設置して科学観測を実施する。特に、Feldspathic Highland Terrain と呼ばれる月面でもっとも古い地質年代に形成された地殻物質が存在すると考えられている領域については、将来のサンプルリターンの有力候補地点となっていることから事前の観測が行われれば極めて有用な情報が得られる。本発表では、小型ペネトレータと衛星システムの設計案とともに搭載機器の概略、科学目標、運用シナリオなどについて紹介する。

キーワード: ペネトレーター・システム, 月内部探査, 小型科学衛星

Keywords: penetrator system, lunar interior exploration, small scientific satellite

## 蛍光顕微鏡による地球圏外生命探査法の開発 Fluorescent microscopy for searching extraterrestrial life

吉村 義隆<sup>1\*</sup>, 青木 耕平<sup>1</sup>, 本多 元<sup>2</sup>, 菅井 彩加<sup>2</sup>, 市瀬 悠<sup>2</sup>, 山岸 明彦<sup>3</sup>  
Yoshitaka Yoshimura<sup>1\*</sup>, AOKI, Kohei<sup>1</sup>, Hajime Honda<sup>2</sup>, SUGAI, Ayaka<sup>2</sup>, ICHINOSE, Yu<sup>2</sup>, Akihiko Yamagishi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 玉川大学 農学部, <sup>2</sup> 長岡技術科学大学 生物系, <sup>3</sup> 東京薬科大学 生命科学部

<sup>1</sup>College of Agriculture, Tamagawa University, <sup>2</sup>Department of Bioengineering, Nagaoka Univ. Tech., <sup>3</sup>Department of Molecular Biology, Tokyo University of Pharmacy and Life Science

Fluorescent microscopy is a method to detect localized biosignatures *in situ* and a potentially powerful tool to detect extraterrestrial life. It is highly sensitive and will provide clear evidence for extraterrestrial life as images. Stained objects are observed with an epifluorescence microscope with a resolution of 1 micrometer. Many types of fluorescent dyes are commercially available and used in various biological studies. In this study, fluorescent dyes were selected based on the basic characteristics of life: genetic information, metabolism, and discrimination of self from non-self. Each characteristic was detected using a different type of fluorescent dye that was specific for nucleic acids, enzymes, or cytoplasmic membranes. The range of detectable molecules of the selected dyes was investigated with various samples: cultured bacteria, miniature cells which were deficient in DNA, proteins, protenoids, PAH, and Martian soil simulants. The optimum combination of dyes that had the potential to distinguish biological objects from non-biological compounds and useful to search extraterrestrial life especially on Mars will be discussed.

キーワード: 蛍光, 顕微鏡, 火星, アストロバイオロジー  
Keywords: fluorescence, microscope, Mars, astrobiology



## アストロバイオロジー研究施設構想 Astrobiology Exploration Research Institute

杉田 精司<sup>1\*</sup>, 垪本 尚義<sup>2</sup>, 橘 省吾<sup>2</sup>, 関根 康人<sup>1</sup>  
Seiji Sugita<sup>1\*</sup>, Hisayoshi Yurimoto<sup>2</sup>, Shogo Tachibana<sup>2</sup>, Yasuhito Sekine<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学, <sup>2</sup> 北海道大学

<sup>1</sup>University of Tokyo, <sup>2</sup>Hokkaido University

宇宙における生命の起源の解明は自然科学における究極の目標の1つである。太陽系外惑星の発見によって、宇宙における生命の普遍性の議論が可能になりつつあるが、地球での生命の起源も解明されておらず、太陽系内での地球以外生命の存否もわかっていない。それは実証的証拠が不足しているためである。この実証的証拠は、生命誕生の材料を供給する可能性のある始原天体や、火星やエウロパのような生命存在可能性が議論されている天体からのサンプルを地球に持ち帰り、最先端の分析を行うことで得られるものである。

このようなアストロバイオロジー探査の成立には、有機物など揮発性物質に富む化合物（いわゆるソフトマテリアル）の高精度分析が本質的に重要である。このソフトマテリアルの分析には、惑星表面上でのその場分析と実験室内でのナノスケール分析の両方があるが、我が国においてはどちらの面に関して主導的な研究拠点は全く未整備である。本構想では、月惑星探査器等最科学計測機器の開発機能と宇宙物質ナノ分析の機能を装備したサンプルリターン惑星探査科学拠点「アストロバイオロジー研究施設」を産学連携により構築することを提案する。

本件研究施設では、惑星科学に関連する科学コミュニティとJAXA/ISAS および海外組織と密接な協力関係を形成するだけでなく、産業界との連携も効果的に活用した高い技術開発力の実現を特徴とする。さらに、本拠点とミッションを利用して産学両方の人材育成を行い、太陽系と生命の起源の実証的解明とその成果を利用した産業イノベーションにより科学先進国としての日本のブランド力を強化し国民生活にフィードバックすることを目指す。

キーワード: 惑星探査, アストロバイオロジー, 拠点形成, 産学連携, 搭載機器開発, ソフトマテリアル

Keywords: planetary exploration, astrobiology, center of excellence, industry-academia collaboration, Onboard instrument development, soft material

## 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<sup>1\*</sup>, 小林 直樹<sup>2</sup>, 出村 裕英<sup>3</sup>, 大槻 圭史<sup>4</sup>

Noriyuki Namiki<sup>1\*</sup>, Naoki Kobayashi<sup>2</sup>, Hirohide Demura<sup>3</sup>, Keiji Ohtsuki<sup>4</sup>

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

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

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。

2010年から開始した検討は、トップサイエンスを議論する第一段階、ミッション提案と観測機器提案の科学目標を評価する第二段階を経て、ミッション提案の実現性を評価する第三段階に移行した。2012年9月14-15日にはセッション別分科会を開催し、「月惑星の構造と進化の比較学」と「生命に至る宇宙物質の進化学」という2つの大テーマにそって、13の個別提案の集約を図った。この分科会では冒頭で集約の方針を議論し (i) 「10年に一度の中型ミッション」をフラッグシップミッションと呼ぶこと (ii) 政策型ミッション、小型ミッションを排除しないが、「来たる10年」第三段階ではフラッグシップミッションに集中すること、を定めた。その結果、現在3つのグループにまとまってミッションコンセプトの策定を進めている。

キーワード: 惑星探査

Keywords: Planetary exploration

## 107P/Wilson-Harrington サンプルリターン計画のめざすもの Scientific goals for sample-return mission from 107P/Wilson-Harrington

橋 省吾<sup>1\*</sup>, 浦川 聖太郎<sup>2</sup>, 吉川 真<sup>3</sup>, 中村 良介<sup>4</sup>, 石黒 正晃<sup>5</sup>

Shogo Tachibana<sup>1\*</sup>, Seitaro URAKAWA<sup>2</sup>, Makoto Yoshikawa<sup>3</sup>, Ryosuke Nakamura<sup>4</sup>, Masateru Ishiguro<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学, <sup>2</sup> 日本スペースガード協会, <sup>3</sup> 宇宙航空研究開発機構, <sup>4</sup> 産業技術総合研究所, <sup>5</sup> ソウル大学

<sup>1</sup>Hokkaido Univ., <sup>2</sup>JSGA, <sup>3</sup>JAXA, <sup>4</sup>AIST, <sup>5</sup>Seoul National University

We propose Sample Return mission from 107P/Wilson-Harrington. The target object is a near-Earth dormant comet that potentially preserve pristine minerals, ice, and organics in the early solar system, which may not be intact in target asteroids for Hayabusa-2, Osiris-REx, and MarcoPolo-R. Samples from 107P/Wilson-Harrington will contribute significantly to our understanding of the evolution of the early solar system.

キーワード: サンプルリターン, 彗星, 小惑星

Keywords: sample return, comet, asteroid