

「月惑星探査の来る10年」検討：第二段階パネルからの報告 Planetary Exploration in a Coming Decade Activity: Suggestions from the 2nd-stage committee to proposals

向井 正^{1*}, 杉田 精司², 笠羽 康正³, 中村 智樹⁴, 田村 元秀⁵

MUKAI, Tadashi^{1*}, SUGITA, Seiji², KASABA, Yasumasa³, NAKAMURA, Tomoki⁴, TAMURA, Motohide⁵

¹ 神戸大学, ² 東京大学, ³ 東北大学, ⁴ 東北大学, ⁵ 国立天文台

¹Kobe University, ²University of Tokyo, ³Tohoku University, ⁴Tohoku University, ⁵National Astronomical Observatory

日本惑星科学会の「月惑星探査の来る10年」検討 第二段階パネルは、2011年連合大会から開始し、2011年12月までミッション提案と観測機器提案を募集した。8つのミッション提案と5つの観測機器提案があった。第二段階パネルではこれらの提案を精査し、提案をさらに練りあげていくための意見をまとめた。第二段階パネルからの意見は、各提案者に送られ、さらに提案者とパネルの意見交換を行う予定である。本セッションでは、そうした意見を反映した改訂提案が講演される。第二段階パネルからは、これら13提案の概観を講評する。

キーワード: 惑星探査

Keywords: planetary exploration

小型探査機による月着陸実験構想 SLIM の概要 Conceptual Study on SLIM - Lunar Landing Demonstration via Small Explorer

澤井 秀次郎^{1*}, 福田盛介¹, 水野貴秀¹, 中谷幸司¹
SAWAI, Shujiro^{1*}, Seisuke Fukuda¹, Takahide Mizuno¹, Koji Nakaya¹

¹ 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所

¹Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency

Authors keep perusing the possibility of lunar exploration via small spacecraft. It will enlarge the opportunities of exploration. Especially, high risk challenging missions would become realistic with the small spacecraft. As a first step, smart pin-point landing technology demonstrator, named as SLIM (Smart Lander for Investigating Moon) is now under conceptual study. This paper summarizes the status of SLIM study.

キーワード: 月面探査, 軟着陸

Keywords: Lunar exploration, Soft Landing

月面年代学シリーズ探査

Lunar landing missions for in-situ dating of impact-melt rocks

諸田 智克^{1*}, 渡邊 誠一郎¹, 古本 宗充¹, 本田 親寿², 杉原 孝充³, 石原 吉明⁴, 大竹 真紀子⁵, 小林 直樹⁵, 唐牛 譲⁶, 荒井 朋子⁷, 武田 弘⁸, 寺田 健太郎⁹, 杉田 精司⁸, 鎌田 俊一⁸, 長 勇一郎⁸, 三浦 弥生⁸, 佐伯 和人¹⁰

MOROTA, Tomokatsu^{1*}, WATANABE, Sei-ichiro¹, FURUMOTO, Muneyoshi¹, HONDA, Chikatoshi², SUGIHARA, Takamitsu³, ISHIHARA, Yoshiaki⁴, OHTAKE, Makiko⁵, KOBAYASHI, Naoki⁵, KAROUJI, Yuzuru⁶, ARAI, Tomoko⁷, TAKEDA, Hiroshi⁸, TERADA, Kentaro⁹, SUGITA, Seiji⁸, KAMATA, Shunichi⁸, CHO, Yuichiro⁸, MIURA, Yayoi N.⁸, SAIKI, Kazuto¹⁰

¹名古屋大, ²会津大, ³海洋研究開発機構, ⁴国立天文台, ⁵宇宙研/JAXA, ⁶JSPEC/JAXA, ⁷千葉工大, ⁸東京大, ⁹広島大, ¹⁰大阪大

¹Nagoya Univ., ²Univ. Aizu, ³JAMSTEC, ⁴NAOJ, ⁵ISAS/JAXA, ⁶JSPEC/JAXA, ⁷Chiba Inst. of Tec., ⁸Univ. Tokyo, ⁹Hiroshima Univ., ¹⁰Osaka Univ.

月面クレータは太陽系における小天体の衝突合体・破壊進化、軌道進化を記録している。本講演では、その場年代測定にもとづいて、月面の重要地域の年代を決定するシリーズ探査を提案する。搭載機器とその機能を絞り込むことで軽量化し、月面の複数箇所（3～4カ所）を調べるシリーズ探査とする。本提案の重要性は、年代測定と月面クレータ記録を結びつけて、小天体・巨大惑星の軌道進化に制約を与え、現在の太陽系形成の描像を実証・検証することにより、惑星科学コミュニティ全体への波及効果は大きいと考える。

キーワード: 月, 年代測定, 月探査, クレーター年代学

Keywords: moon, radioactive dating, lunar exploration, cratering chronology

月裏側高地地殻物質のサンプルリターン提案 Proposed sample return mission from the lunar farside highland

大竹 真紀子^{1*}, 荒井 朋子², 武田 弘², 唐牛 謙¹, 佐伯 和人³, 諸田 智克⁴

OHTAKE, Makiko^{1*}, ARAI, Tomoko², TAKEDA, Hiroshi², KAROUJI, Yuzuru¹, SAIKI, Kazuto³, MOROTA, Tomokatsu⁴

¹ 宇宙航空研究開発機構, ² 千葉工大, ³ 大阪大学, ⁴ 名古屋大学

¹JAXA, ²Chiba Institute of Technology, ³Osaka University, ⁴Nagoya University

Compositional information of the lunar highland is important for understanding the bulk composition and solidification of the lunar magma ocean and for estimating the internal structure of the Moon. However, recent studies [1][2] indicate that the previous understanding [3] of the lunar highland composition based primarily on the lunar samples returned from the nearside by Apollo and Luna missions is insufficient for understanding the overall crustal composition because more primitive highland materials with different composition from the current sample collection, which we do not have, are present in the farside highland.

Therefore, we are proposing a sample return mission to the lunar farside highland to fill the gap in our knowledge by obtaining the most primitive highland material and investigating such previously unknown samples. Information from these samples, such as crystallization age, major and trace element composition, isotopic composition, and crystal texture, are important for understanding the cooling and solidification history of the lunar magma ocean, formation of the crust, degree of differentiation when the highland material crystallized, and composition of the bulk lunar magma ocean.

A region around Freundlich-Sharonov and Dirichlet-Jackson basin where Th content is the lowest [1] and the Mg# (Mg/[Mg+Fe]) in mole percent in mafic minerals is the highest [2], both suggesting that this region is the most primitive highland on the lunar surface, is a potential sampling site. The proposed mission consists of one lander with return capability, a manipulator to collect both regolith and small (a few centimeters in diameter) rocks from around the lander, and spectral cameras for sample selection. Further study is required to estimate the minimum sample requirement of sample number and weight to achieve our scientific goal.

[1] S. Kobayashi, LPSC, #1795 (2010).

[2] M. Ohtake et al., LPSC, #1977 (2011).

[3] P. Warren, Am. Mineralogist, 78, 360-376 (1993).

キーワード: サンプルリターン, 月, 裏側高地地殻, 原始地殻物質

Keywords: sample return, Moon, farside highland, primitive highland material

火星大気散逸探査 Mars atmospheric escape exploration

寺田 直樹^{1*}, 松岡 彩子², 関 華奈子³, 阿部 琢美², 火星大気散逸探査検討 WG¹

TERADA, Naoki^{1*}, MATSUOKA, Ayako², SEKI, Kanako³, ABE, Takumi², Martian Atmospheric Escape Study Group¹

¹ 東北大学大学院理学研究科, ² 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所, ³ 名古屋大学太陽地球環境研究所

¹Graduate School of Science, Tohoku University, ²Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency, ³Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University

The Mars atmospheric escape exploration working group (post-Nozomi mission WG), established on December 2011, has been investigating a mission to study the atmospheric escape from Mars with emphases placed on its possible impacts on the climate change on early Mars and on understanding the habitable zone of unmagnetized terrestrial planets. Although this mission is not proposed to the category of "next decade initiatives for lunar planetary explorations", we consider it fruitful to discuss possible collaborations with relevant research communities. SGEPS's activities toward planetary exploration will be also presented.

キーワード: 火星, 大気散逸, プラズマ, 探査

Keywords: Mars, Atmospheric escape, Plasma, Exploration

JUICE 及び地上望遠鏡観測による木星雷放電観測の可能性 Possibility of Lightning and thundercloud observation in Jupiter by JUICE and ground-based-telescope

中島 健介^{2*}

NAKAJIMA, Kensuke^{2*}

¹ 北海道大学 宇宙理学専攻, ² 九州大学地球惑星科学科

¹Dept. CosmoSciences, Hokkaido University, ²Dept. Earth and Planetary Sciences

Lightning measurement is an excellent way to explore the planetary atmosphere like as in the Earth based on the knowledge of the relationship between the atmospheric dynamics and electrical charge. It has been suggested for a decade that thunderstorms in Jupiter take important roles not only in the investigation of meteorology, which determines the large scale structures such as belt/zone and big ovals, but also in probing the water abundance of the deep atmosphere, which is crucial to constrain the behavior of volatiles in early solar system. Here we suggest lightning measurement with optical camera onboard spacecraft especially in JUICE mission and on a

ground-based telescope. Making use of two H Balmer Alpha line at 656.3 nm filters, the information on the depth of lightning discharge could be derived.

We are suggesting such functions to the onboard camera of JUICE and also plan to try to detect lightning flashes with a 1.6 m reflector of Hokkaido University.

キーワード: 木星, 積乱雲, 雷放電, JUICE, 地上望遠鏡

Keywords: Jupiter, thunderstorm, lightning, JUICE, telescope

土星衛星エンセラダスのプルーム物質の化学・生命探査

Enceladus' exploration: chemical and biological investigations of water-rich plumes

関根 康人^{1*}, 高野 淑識², 矢野 創³, 船瀬 龍³, 高井 研², 石原盛男⁴, 渋谷 岳造², 橘 省吾¹, 倉本 圭⁵, 藪田 ひかる⁴, 木村 淳⁵, 古川 善博⁶, 田端 誠³

SEKINE, Yasuhito^{1*}, TAKANO, Yoshinori², YANO, Hajime³, FUNASE, Ryu³, TAKAI, Ken², Morio Ishihara⁴, SHIBUYA, Takazo², TACHIBANA, Shogo¹, KURAMOTO, Kiyoshi⁵, YABUTA, Hikaru⁴, KIMURA, Jun⁵, FURUKAWA, Yoshihiro⁶, Makoto Tabata³

¹ 東京大学, ² 海洋研究開発機構, ³ JAXA, ⁴ 大阪大学, ⁵ 北海道大学, ⁶ 東北大学

¹ Univ. Tokyo, ² JAMSTEC, ³ JAXA, ⁴ Osaka Univ., ⁵ Hokkaido Univ., ⁶ Tohoku Univ.

カッシーニ探査機によるエンセラダスの南極付近から噴出するプルームの発見は、「氷衛星の海洋・化学・生命」の理解に飛躍的に迫る、内部海物質の直接サンプリングの可能性を示した大きなブレイクスルーであるといえる。これまでカッシーニによって、プルーム物質は内部の岩石と相互作用する液体の海に由来していることが明らかになったが、1) サンプリング時の相対速度が大きいこと、2) 質量分析装置の分解能が低く測定する質量範囲も狭いこと、などが原因で、内部海の化学組成の推定、化学進化や生命活動を維持するエネルギーの有無を本質的に検証することはできていない。さらにエンセラダス・プルームの存在は、太陽系物質科学や惑星物理学の観点からも極めて重要である。エンセラダスなど土星系規則衛星は、原始太陽系の土星形成領域の微惑星から形成したため、氷衛星物質の採取と詳細な分析は、土星形成領域での揮発性成分の存在形態や温度条件を制約すると期待される。さらに、プルームの噴出する南極と反対の北極では、地質活動は形成以降ほとんど起きておらず、内部構造に何らかの南北非対称が存在しているかもしれない。次世代探査においてこれらの問題を解明することは、エンセラダスの内部海は生命を育む環境か？その環境はいつどのように形成し、いつまで存続するのか？ということ明らかにすることに直結し、さらに21世紀の自然科学における最重要課題である「太陽系における生命生存可能性の理解」に迫るものであるといえる。

本ミッションでは、エンセラダス・プルームの高分解能質量分析 ($m/z = 2?1000$) によるその場定量・同位体分析と、捕獲したプルーム物質に対し詳細な物質化学分析 (サンプルリターン後の放射光による顕微分光イメージングや nano-SIMS など) や生命代謝活性測定 (Radio-tracer 法やカロリーメトリ) を行なうことで、内部海の化学組成の解明、初期太陽系物質進化の制約、そして生命存在可能性を探ることを目的とする。土星系エンセラダス探査という技術的課題の多い探査計画のため、3つのミッション設計の候補を提案する。タイプ1では自由帰還軌道による探査、タイプ2では土星周回軌道投入後のエンセラダス・フライバイを経ての地球帰還探査、タイプ3では土星周回後、エンセラダス極周回軌道に投入し地球帰還する探査である。カッシーニ探査機が $8?18$ km/s 程度という高速度でサンプリングしていたのに対し、タイプ2、3でのサンプリング速度はそれぞれ約 4 km/s、約 200 m/s であり、タイプ2では含水鉱物や塩化物、有機物が、タイプ3では生命関連分子 (あわよくば望みうる最大の成果としての微小生命そのもの) までも原状態のまま捕獲できる可能性がある。含水鉱物や塩化物の化学・鉱物組成は、内部海組成や熱水活動の有無を制約する極めて重要な物質情報であり、有機物の同位体組成や放射光による顕微分光分析により、鉱物との相互作用や化学進化過程を明らかにすることもできる。また、タイプ3ではレーザー高度計や可視赤外分光カメラにより、潮汐作用に伴う表面変位や地形変化から内部構造を制約する基礎データを取得する。生命に関しては、その活動を直接探査する方法の他にも、プルーム中の気体組成の高分子化合物までの定量を行なうことで、生命現象に由来すると考えられる分子 (バイオマーカー) の存否や、エネルギー論的に見た生命生存可能条件を制約することができる。太陽系物質科学の観点からは、C, H, O, N を含む分子種とそれぞれの同位体比を測定することで、原始太陽系星雲の揮発性元素の分布や均一化が土星領域でどれだけ進行していたのか明らかにすることができるだろう。

本提案は、「宇宙に生命は存在するのか」という根源的な問いに対して科学史上最も明快な答えを導く達成可能性の高いプロジェクトであり、この人類の知的好奇心の究極に位置する科学命題に対して理・工学の様々な分野での次世代を担う若手研究者が惑星探査に参入し結集する点が画期的である。

キーワード: 惑星探査, 土星, 氷衛星, エンセラダス, 海洋

Keywords: planetary exploration, Saturn, icy satellite, Enceladus, ocean

107P/Wilson-Harrington サンプルリターン計画 Sample return from 107P/Wilson-Harrington

橋 省吾^{1*}, 浦川 聖太郎², 吉川 真³, 中村 良介⁴, 石黒 正晃⁵
TACHIBANA, Shogo^{1*}, URAKAWA, Seitaro², YOSHIKAWA, Makoto³, NAKAMURA, Ryosuke⁴, ISHIGURO, Masateru⁵

¹ 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻, ² 日本スペースガード協会, ³ 宇宙航空研究開発機構, ⁴ 産業技術総合研究所, ⁵ ソウル大学

¹Dept. Earth Planet. Sci., Univ. Tokyo, ²Japan Spaceguard Association, ³JAXA, ⁴AIST, ⁵Seoul National University

We propose Sample Return mission from 107P/Wilson-Harrington, which is a dormant comet that potentially preserve pristine minerals, ice, and organics in the early solar system. Several sample return missions from primitive undifferentiated asteroids, such as Hayabusa-2, Osiris-REx, and MarcoPolo-R, have been planned to obtain samples from near-Earth C-type or related asteroids. Compared to those asteroids, 107P/Wilson-Harrington may preserve ice in its interior, and sample return of pristine ice is expected in the proposed mission.

キーワード: サンプルリターン, 始原天体, ウィルソンハリントン

Keywords: sample return, primitive bodies, Wilson-Harrington

深宇宙探査技術実験ミッション DESTINY Deep Space Exploration Technology Experiment Mission DESTINY

川勝 康弘^{1*}

KAWAKATSU, Yasuhiro^{1*}

¹ 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所

¹JAXA/ISAS

DESTINY (Demonstration and Experiment of Space Technology for INterplanetary voYage の略) は、ISAS 小型科学衛星 3号機での打ち上げを目指す工学実験機である。3号機のミッション選定は2012年、打上げは2017年に計画されている。

図に示すように、DESTINYはイプシロンロケットで打ち上げられ、地球周回楕円軌道に投入される。大型イオンエンジンにより実験機を加速、軌道高度を上げ、月スイングバイを経てハロー遷移軌道に投入する。ハロー軌道に到達後は、1周回以上軌道を維持し、その後、状況がゆるせば、ハロー軌道を離れ、地球圏内(外)の探査をおこなう。

このミッション・プロファイルの中で、将来の深宇宙探査の鍵となる先端技術に関わる、以下の7つの工学実験を実施する。

1. イプシロンロケットによる高エネルギー軌道投入

高エネルギー軌道投入に適したロケットの構成・飛行計画を追求し、イプシロンロケットによる投入能力を評価する。この成果は、イプシロンロケットを用いた深宇宙探査ミッションを構想するための基礎情報となる。

2. 薄膜軽量太陽電池パネル

大型イオンエンジンを運転するための大電力を軽量で実現するために、JAXAで開発中の薄膜太陽電池パネルを使用し、その機能・性能を評価する。この太陽電池パネルは、従来品に比して2倍以上の出力・質量比が見込まれ、探査機電源系の質量を大幅に減らすことが期待できる。外惑星探査(JMO、MELOS)や、大型イオンエンジンを要する探査での使用が見込まれる。

3. 大型イオンエンジン

DESTINYは、ロケットにより長楕円軌道に投入されたのち、自身の軌道制御によりハロー遷移軌道に到達する。この軌道変換を実現するため、ISASにて開発中の大型イオンエンジン($\mu 20$)を使用し、その機能・性能を評価する。このイオンエンジンは、はやぶさで使用された $\mu 10$ の約5倍の推力を有し、イオンエンジンを必要とする大型探査(SOLAR-C、はやぶさ Mk2)での使用が見込まれる。

4. 先端的熱制御

DESTINYのミッションモジュールに搭載される大型イオンエンジンは、運転時に500W以上の熱を発生する。限られた放熱面積、軌道制御のために変動する太陽熱入力方向、という厳しい条件下での排熱を実現するため、ループヒートパイプを使用する先端的熱制御系を構成し、その機能・性能を評価する。ループヒートパイプは、複雑に変動する熱環境下で、高度な熱管理が要求されるミッション等で極めて有効な技術である。ミッション期間中の外部熱環境が大きく変化する深宇宙探査や、大発熱機器のオン・オフ等により内部発熱量が大きく変化するミッションでの使用が見込まれる。

5. イオンエンジン運転中の軌道決定

イオンエンジンの起動・停止による運用負荷を下げ、軌道制御の運用効率を上げるために、イオンエンジン運転中に軌道決定を実施し、その性能・運用性を評価する。

6. 運用の自律化・効率化

衛星マネジメント系を自律化・高機能化し、コマンド運用・テレメトリ取得を効率化し、その運用性を評価する。この技術は、探査機を遠方で運用し、回線も細く伝播遅延時間も長い深宇宙探査で特に有用で、将来の深宇宙探査ミッションすべてでの使用が見込まれる。

7. ハロー軌道遷移・維持の軌道制御

DESTINYは、ハロー軌道に到達し、1周回以上軌道を維持する。軌道投入のリスクを減らし、軌道制御量を抑制するため、力学系理論を用いた軌道制御方法を用い、その性能・運用性を評価する。この技術は、ハロー軌道で運用される次期赤外線天文衛星(SPICA)で使用される計画である。

DESTINY自身は太陽・地球系L2点まわりのハロー軌道に投入されるが、そのミッションプロファイルは、月ミッションや脱出ミッションに容易に応用可能である。また、DESTINY実験機自身の宇宙航行能力は高く、他の打上手段(静止衛星や、他の深宇宙ミッション等の相乗りなど)によるミッションへの応用も可能である。発表では、このような観点から、深宇宙ミッションへの敷居を下げるDESTINYミッションの意義についても論じる。

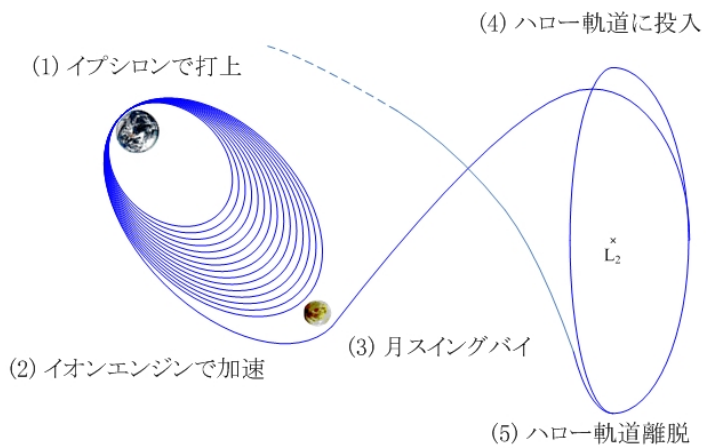
キーワード: 小型科学衛星, 工学実験, 深宇宙探査, DESTINY

PPS23-09

会場:302

時間:5月24日 11:15-11:30

Keywords: Small Science Satellite, Technology Experiment, Deep Space Exploration, DESTINY



「月惑星探査の来る10年」検討：第二段階から第三段階への移行 Planetary Exploration in a Coming Decade Activity: From 2nd to 3rd Stage

並木 則行^{1*}, 出村 裕英², 小林 直樹³, 大槻 圭史⁴

NAMIKI, Noriyuki^{1*}, DEMURA, Hirohide², KOBAYASHI, Naoki³, OHTSUKI, Keiji⁴

¹ 千葉工業大学 惑星探査研究センター, ² 公立大学法人会津大学, ³ 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部, ⁴ 神戸大学大学院理学研究科

¹PERC/Chitech, ²The University of Aizu, ³ISAS/JAXA, ⁴Graduate School of Science, 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。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。

2011年連合大会以降、検討は第二段階にはいり、ミッション提案と機器開発提案を受け付けた。これらの提案は第二段階委員によりレビューされ、再検討が行われる。第二段階は本セッションでの議論をもとに日本惑星科学会誌 遊・星・人への報告記事投稿をもって終了する。一方第三段階は、本セッションからスタートとする。

キーワード: 惑星探査

Keywords: Planetary Exploration