

平成 30 年 6 月 7 日現在

機関番号：82645

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26400459

研究課題名(和文) リモートセンシングデータ解析による月と火星の地下溶岩チューブ存否検証・分布調査

研究課題名(英文) Investigation of existence and distribution of lunar and Martian lava tubes by remote sensing data

研究代表者

春山 純一 (Haruyama, Junichi)

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・助教

研究者番号：40373443

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：月と火星には、様々な惑星科学の科学的課題解決の鍵を持ち、また放射線や隕石から守られる将来の基地としても有用な、溶岩チューブが地下にあるとされる。本研究では、最新のリモートセンシングデータを利用し、その存在、分布を検証した。月、火星において、画像データから溶岩チューブの天窓となりそうな縦孔(凹み構造)を、新たに確認し、さらにレーダデータ、重力場データから、月での溶岩チューブの存在可能性を高める知見を得た。こうした成果は、論文などで発表され、公開されている。また、関連して、地下空洞に縦孔が開くことの検証を計算機シミュレーションで行い、実際、縦孔は溶岩チューブ構造に開いた可能性が高いことを示した。

研究成果の概要(英文)：It is hypothesized that there exist lava tubes below the surface of the Moon and Mars; these lava tubes are keeping the clues to solve various scientific issues of planetary science and are the most appropriate candidates for lunar/Martian as shelters from radiation and/or micrometeorites. We investigated the possibility of existence of lunar/Martian lava tube and their distribution. We discovered new pits on the Moon and Mars that are possible skylights of underground 'lava tubes by explorers' image data. Furthermore, we acquired new knowledge about possibility of existence of lava tubes from radar and gravity data of the Moon and Mars. These results have been already published.

研究分野：惑星科学

キーワード：月 火星 溶岩チューブ SELENE かぐや 縦孔 リモートセンシング 探査

## 1. 研究開始当初の背景

月や火星における地下の溶岩チューブ形成は、溶岩の遠距離輸送が可能になるなど、表層進化プロセスにおける重要な要素である。溶岩チューブは地下にあるため、これまでなかなかその調査が困難だったが、近年、月探査機 SELENE や火星探査機 MRO 等により、月や火星で溶岩チューブ形成を示唆する情報が集積してきた。

## 2. 研究の目的

そこで本研究では、最新の探査機リモートセンシング(リモセン)データを基に、月火星の溶岩チューブ形成有無の検証しつつ、その特徴・分布調査を行い、チューブ形成が両天体の表層進化に果たした役割を解明する。溶岩チューブ内は、穏やかな温度や宇宙線回避といった特殊な環境を呈し、本研究の結果は、月火星溶岩チューブ内の揮発性成分の濃集や物質進化可能性の研究等、宇宙科学の多方面にわたる研究発展にも寄与する。

## 3. 研究の方法

(1) 溶岩チューブ存否の画像データでの検証:これまで報告されている溶岩チューブの天窓/縦孔や横穴/入り口(以下「入り口候補」)について、高解像度カメラ画像を収集する。また、取得された、周りの地形学的情報も合わせ、入り口候補に見える構造が、実際溶岩チューブに接続しているかどうかの解析判定を行う。

(2) 溶岩チューブ存否の画像以外データによる検証:入り口候補が報告されている月火星地域の分光・地下構造データ(地下探査レーダ等)を用い、地質学的特性の整理を行うことで、溶岩チューブ形成の可能性を論ずる。リルの詳細解析、地球の溶岩チューブなどの知見もこれに資する。

(3) 新しい溶岩チューブ候補同定と分布調査:第二段階で得られた知見を基に、まだ報告されていない溶岩チューブ候補を同定する。また、その分布調査を行う。

(4) 火成活動議論:得られた知見を基にチューブ形成を伴う火成活動を議論する。

## 4. 研究成果

(1) 「かぐや」地形カメラ、「LRO」カメラ画像データを使用した月の地下溶岩チューブ存否検証・分布調査について、以下の成果を挙げた:①Oceanus Procellarum に、凹み構造を二カ所新たに発見した、②月 Copernicus クレータに、インパクトメルト起源の凹み構造、橋梁構造を発見した、③Oceanus Procellarum の溶岩チューブは、地形上、地質上、特に目立って特徴は無いことを検証した。

(2) 「かぐや」レーダサウンダーデータによるマリウス丘、リマ・メラン領域における溶岩チューブ存在を示唆する地下構造を発見

した。

(3) 「MRO」HiRISE カメラデータを使用し、火星の地下溶岩チューブ存否検証・分布調査を行い以下の成果を挙げた:①極域を含む全緯度において、数 10 以上の縦孔構造を発見した、②特にエリシウム山の縦孔構造を調査したところ、その底と周りの構造に関連があるものが有ることが分かり、上部の陥没による可能性を指摘した。

(4) 縦孔の形成過程について iSALE コードを用いた数値実験により、衝突説を裏付ける結果を得た。

(5) 溶岩チューブ内の水の挙動について、温度が $-20^{\circ}\text{C}$ である環境では、10km 程度の距離の空洞では数秒で水分子は散逸すること、しかし、壁への吸着効果次第では残存の可能性を示した。

これらは、国内外の学会等で発表された。特にレーダサウンダーデータによるマリウス丘における溶岩チューブ存在可能性の示唆は、国際誌に査読付き論文として発表され、JAXA として公式に記者会見をして発表したほか、国内外のメディア等に掲載され、非常に注目された。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 8 件)

2017 年以降

- ① Tetsuya Kaku,他 13 名(春山純一 2 番目), "Detection of intact lava tubes at Marius Hills on the Moon by SELENE (Kaguya) Lunar Radar Sounder", *Geophys. Res. Lett.* accepted, 2017. 査読有り
- ② Tatsuhiro Michikami, 他 4 名(春山純一 2 番目), "Oblique impact cratering experiments in brittle targets: Implications for elliptical craters on the Moon", *Planet. Spac. Sci.* 135, 27-36, 2017. 査読有り

2016

- ③ Yuko Daket 他 6 名(春山純一 4 番目), "Tectonic evolution of northwestern Imbrium of the Moon that lasted in the Copernican Period", *Earth Planets Space* 68(1), article id.157, 2016. 査読有り
- ④ Junichi Haruyama 他 29 名(研究代表者筆頭), "Mission Concepts of Unprecedented Zipangu Underworld of the Moon Exploration (UZUME) Project", *Trans. Japan Soc. Aeronaut. Space Sci., Space Tec.*, 2016. PP.

Pk\_147-Pk\_150, 査読有り

2015

- ⑤ Ik-Seon Hong 他 2 名 (春山純一 3 番目), “3D Modeling of Lacus Mortis Pit Crater with Presumed Interior Tube Structure”, *J. Astron. Space Sci.* 32(2), 113-120, 2015. 査読有り

2014

- ⑥ Le Qiao 他 3 名 (春山純一 4 番目) “Geological features and evolution history of Sinus Iridum, the Moon”, *Planet. Spac. Sci.* 101, p. 37-52, 2014. 査読有り
- ⑦ Tatsuhiro Michikami 他 5 名 (春山純一 5 番目), “Impact cratering experiments in brittle targets with variable thickness: Implications for deep pit craters on Mars”, *Planet. Space. Sci.*, 71-80, 2014. 査読有り
- ⑧ Tomokatsu Morota 他 15 名 (春山純一 15 番目) “Lunar Mare Volcanism: Lateral Heterogeneities in Volcanic Activity and Relationship with Crustal Structure”, in “*Volcanism and Tectonism Across the Inner Solar System*”, eds by T. Platz, M. Massironi, P.K. Byrne, H. Hiesinger, Geological Society of London, Special Publications, 2014. 査読有り

[学会発表] (計 30 件)

以下, 海外での代表的発表

- ① Yokota, Y.; Haruyama, J.; 他 4 名. Formation Scenario of Continuous Slopes Associated with Lunar Mare Pit/Hole Structures, 49th Lunar and Planetary Science Conference 19-23 March, 2018, held at The Woodlands, Texas LPI Contribution No. 2083, id.1907, 2018
- ② Kaku, T.; Haruyama, J.; 他 13 名. Existence of a Lunar Lava Tube at West of Rima Mairan Suggested by SELENE LRS. 49th Lunar and Planetary Science Conference 19-23 March, 2018, held at The Woodlands, Texas LPI Contribution No. 2083, id.1830, 2018
- ③ Haruyama, J.; 他 16 名. Detection of Lunar Lava Tubes by Lunar Radar Sounder Onboard SELENE (Kaguya), 48th Lunar and Planetary Science Conference, held 20-24 March 2017, at The Woodlands, Texas. LPI Contribution No. 1964, id.1711, 2017

- ④ Whittaker, W. L.; Haruyama, J.; 他 11 名. Planetary Pits and Caves: Targets for Science Exploration, Planetary Science Vision 2050 Workshop, held 27-28 February and 1 March, 2017 in Washington, DC. LPI Contribution No. 1989, id.8207, 2017
- ⑤ Haruyama, J.; 他 20 名. Lunar Holes and Their Associating Subsurface Caverns: From SELENE (Kaguya) to UZUME, New Views of the Moon 2, Proceedings of the conference held May 24-26, 2016 in Houston, Texas. LPI Contribution No. 1911, id.6033, 2017
- ⑥ Hong, IS.; Cho, E.; Yi, Y.; Yu, J.; Haruyama, J. 3D Printed Structure of Lacus Mortis Pit Crater with Assumption of Cave Underneath, 2nd International Planetary Caves Conference, held 20-23 October, 2015 in Flagstaff, Arizona. LPI Contribution No. 1883, p.9015, 2015
- ⑦ Haruyama, J.; 他 29 名. Unprecedented Zipangu Underworld of the Moon Exploration (UZUME), European Planetary Science Congress 2014, EPSC Abstracts, Vol. 9, id. EPSC2014-465, 2014

[図書] (計 1 件)

- ① 春山 純一、ロビー出版、月の縦孔・地下空洞とは何か、2016

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年月日:  
国内外の別:

[その他]  
ホームページ等

6. 研究組織  
(1) 研究代表者

春山 純一 (HARUYAMA, Junichi)  
国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・助教  
研究者番号： 40373443

(2)研究分担者 なし  
( )

研究者番号：

(3)連携研究者 なし  
( )

研究者番号：

(4)研究協力者 なし  
( )