

第5回月と火星の縦孔・地下空洞探査研究会 開催報告

春山 純一¹

1. はじめに

2015年3月2日(月), 3日(火)に, 宇宙航空研究開発機構(JAXA)相模原キャンパス/宇宙科学研究所(ISAS)にて, 月と火星の縦孔・地下空洞探査研究会が開催された。これまで, 世話人をISASの春山が引き受けてきたが, 今回は新たにJAXA研究開発本部の河野功氏も共同世話人となり, 開催した。この研究会は, すでに5回目を数える。これまで会は, 「月, 火星の縦孔・溶岩チューブ探査研究会」であったが, 溶岩チューブに限らない地下空洞をも視野に入れることを鑑み, 「月, 火星の縦孔・地下空洞探査研究会」と名も新たに, 研究会を開催させていただいた。講演者は30名以上, 二日間で, のべ100人以上の方々の参加していただいた, 充実した研究会となった。

2009年, SELENE(かぐや)は, 月の嵐の大洋の中のマリウス丘に直径・深さ共に50 mを超える巨大な縦孔を発見した。その後のSELENEデータによる全球調査で, 更に二つ直径・深さ共に100 m規模の縦孔が発見された。これらは, 火成活動に起因する地下空洞につながるのではないかと考えられた。SELENEの後に月を訪れた, 米国探査機LROは, SELENEが発見した縦孔について, これら縦孔が地下の巨大な空洞に開いたと信じるに足る画像データを取得している。これら縦孔・地下空洞は, 科学的に多くの重要な課題の解決につながる鍵を秘めている。また, 縦孔や地下空洞は, 放射線や隕石衝突から遮蔽されることもあり,

将来の人類活動拠点として非常に有効である。

月の縦孔発見の翌年度, 平成22年度より毎年度, 「月と火星の縦孔・溶岩チューブ探査研究会」として, 理学者・工学者・中高校/高専教育関係者を含むアウトリーチ関係者など, 幅広い方々と, 様々な視点で, こうした月や火星の縦孔・地下空洞の探査について, 研究会を重ねてきた。第二回となった平成23年度の研究会では, 富士山麓の洞窟の実地調査も兼ね, 特に工学関係者からは実地を見て調査方法を色々考えられたという意見が寄せられた。一方, 富士山麓まで行くのは参加しづらいという声もあり, 平成24年度は, 会場を都内東京大学本郷に移して開催することになった。この時は大雪となり一部参加者が来れないなどのハプニングもあったが活発な討議となった。その翌年となる一昨年の第4回研究会は, 海外からの研究者の複数の参加もあり, 国際的な活動への広がりを見せた。そして今回, 第5回を迎えた。

これまでの研究会での議論は着実に深まりを見せてきている。その結果の現れとして, 昨年度平成26年度からは, 宇宙工学委員会の下のリサーチグループとして, 月惑星の縦孔・地下空洞探査のプロジェクト化を目指す活動も新たに始まったことが挙げられる。この「月惑星の縦孔・地下空洞探査」リサーチグループの主査が今回の研究会の共同世話人である, JAXA研究開発本部の河野功氏である。彼は, 旧宇宙開発事業団(NASDA)による宇宙でのランデブー技術実証衛星ETS-7「おりひめ」「ひこぼし」の開発をリードした実力派工学研究者であり, 私が旧NASDAに職を得た20年前以来の知己でもある。当時は, どちらかという遊び仲間という関係であったが, 20年の時を経てプロジェクトを目指す活動を一緒にさせていただく

1. 国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構
Haruyama, junichi@jaxa.jp

表1：研究会のプログラム。

3月2日(月) プログラム		
13:00 - 13:30	受付	
13:30 - 13:35	開催の辞	春山 純一 (JAXA)
13:35 - 15:10	セッション1-1 科学1	
13:35 - 13:50	月と火星の縦孔・地下空洞	春山 純一 (JAXA)
13:50 - 14:10	プラズマ・電磁気環境研究見地からの月の縦孔探査	西野 真木 (名古屋大)
14:10 - 14:30	月の縦孔周辺のプラズマ静電環境に関する粒子シミュレーション	三宅 洋平 (神戸大)
14:30 - 14:50	縦孔底面を含む月表土への水捕獲に関する考察	橋爪 光 (大阪大)
14:50 - 15:10	PKT領域縦孔からのサンプルリターン の意義	諸田 智克 (名古屋大)
15:10 - 15:20	休憩	
15:20 - 16:35	セッション1-2 工学1	
15:20 - 15:45	搭載性を考慮した着陸誘導技術の研究	上野 誠也 (横浜国大)
15:45 - 16:10	縦孔探査を目的としたローバーシステムの開発とフィールド試験	吉田 和哉 (東北大)
16:10 - 16:35	人型ロボットシステム研究と月探査への挑戦	岡田 慧 (東京大)
16:35 - 16:45	休憩	
16:45 - 17:45	セッション1-3 工学2、アウトリーチ1	
16:45 - 17:05	月縦孔用遠隔操作型代理科学者システムの検討	児玉 浩明 (MHI)
17:05 - 17:25	月の縦孔・地下空洞探査システムの検討	松尾 忍 (MHI)
17:25 - 17:45	次期学習指導要領 高校地学分野の改正とUZUME計画	藤原 靖 (向の岡工高)
3月3日(火) プログラム		
9:30 - 10:00	受付	
10:00 - 11:40	セッション2-1 アウトリーチ2、科学2、工学3	
10:00 - 10:20	月・火星の縦穴探査のアウトリーチ ～自身の経験から～	寺菌 淳也 (会津大)
10:20 - 10:40	『月の縦孔探査かるた』を用いたアウトリーチ活動	新井 真由美 (未来館)
10:40 - 11:00	宇宙塵による惑星への有機物供給の検証:「たんぼぼ」から「うずめ」へ	小林 憲正 (横浜国大)
11:00 - 11:20	ワイヤ投てき型プローブによる縦孔探査	有隅 仁 (産総研)
11:20 - 11:40	球体型全方向観測ロボットのコンセプト実証モデルの開発	山田 康介 (慶應大)
11:40 - 12:40	昼食	
12:40 - 14:40	セッション2-2 工学4、科学3	
12:40 - 13:00	小型月着陸技術実証ミッション"SLIM"の提案について	坂井 真一郎 (JAXA)
13:00 - 13:20	UZUME探査データを、より魅力的に	山本 幸生 (JAXA)
13:20 - 13:40	月の縦穴と地下空洞での天文学	岩田 隆浩 (JAXA)
13:40 - 14:00	月惑星の縦孔・地下空洞探査:探査機器の検討状況	西堀 俊幸 (JAXA)
14:00 - 14:20	小型低消費電力レーザー距離画像センサの開発	石上 玄也 (慶應大)
14:20 - 14:40	月探査用レーザーセンサの概要	加瀬 貞二 (NEC)
14:40 - 14:50	休憩	
14:50 - 17:10	セッション2-3 科学4、工学5	
14:50 - 15:10	月・火星表面及び縦穴内での放射線線量の評価	長谷部 信行 (早稲田大)
15:10 - 15:30	月面放射線環境計測準備状況	永松 愛子 (JAXA)
15:30 - 15:50	月・火星における緊急被ばく医療	道川 祐市 (放医研)
15:50 - 16:10	月の縦穴探査をシミュレーションする地球の候補地点	白尾 元理 (惑星地質研)
16:10 - 16:30	縦孔探査と検疫	嶋田 和人 (JAXA)
16:30 - 16:50	たんぼぼ計画における微生物捕集と微生物宇宙曝露実験とその先	横堀 伸一 (東京薬科大)
16:50 - 17:10	UZUMEが拓く有人宇宙活動の未来(生命維持技術に関して)	桜井 誠人 (JAXA)
17:10 - 17:20	休憩	
17:20 - 17:55	セッション2-4 まとめ、総合討論、閉会の辞	
17:20 - 17:50	月と火星の縦孔・地下空洞探査実現に向けて、総合討論	河野 功 (JAXA)、春山 純一
17:50 - 17:55	閉会の辞	河野 功 (JAXA)

ことになった。これほど信頼に足る相手はいない。リサーチグループという公式に活動も認められてこの一年、縦孔・地下空洞探査に向けての研究、特に工学面での研究の進展は、理学者である私から見ると、一挙に長足の進歩、と感嘆せずにはいられない。今回の研究会でも、こうした工学面での研究成果が語られ、一気に月火星の縦孔・地下空洞探査は、実現へと向かいだした感がある。

2. 研究会プログラム

研究会講演プログラムを表1に示す。惑星科学の理學中心の講演会と異なり、この研究会の特徴は、理学者・工学者が一堂に会するという点である。探査は、理學と工学の緊密な連携協力があってこそ成り立つ。これは、SELENE (SELEnological and Engineering Explorer:月の理學と工学の探査機)がまさに体現したものであるが、その精神を受け継ぐ。更に加えて、この研究会では第一回より、学校教育、一般教育関係者を含めたアウトリーチ関係者の講演も積極的にいたしている。将来の基地構想なども考えると、惑星科学者、惑星探査工学研究者を超えた広がりが必要となる。長期的なビジョンでのプログラムとしていくことが求められよう。どうやったら、より多くの方々に知っていただき、理解をいただき、そして、参加いただくか、月惑星の縦孔・地下空洞探査の重要なテーマの一つである。研究会では一人講演時間が質疑合わせてわずか15分から20分、それでも、きついスケジュールとなり、講演者の方には、もう少し話をしたかった方も多かったのではないだろうか。かといって、3日

間の会にするには、すでに多くの学会・研究会がある中で難しいであろう。悩ましいところである。1日目の後夜には、宇宙研のカフェテリアに場を移し、ざっくりばらんな「意見交換会」を行い、将来の探査に向けて、様々な分野、様々な年代の方々により、日中の研究会とはまた異なった有意義な議論がなされた。

3. 講演：理學・工学・アウトリーチ

研究会での講演では、プログラムを見ていただければ分かるように、プラズマ電磁場環境、水揮発性物質、火成活動、生命探査など、様々な理學分野からの研究発表・講演が行われており、月火星の縦孔・地下空洞に多くの理學的興味が存在することが分かる。天文観測のための最適地といった報告もなされている。これらの発表をまとめるのは難しいが、縦孔探査の理學的魅力を語るとすると、まず言えることは、月-地球系の進化を解明する上で、もっとも重要な因子のひとつである月-地球系外からの物質供給の情報を得られる可能性が非常に高い特異な場所である、ということである。新鮮なままの、縦孔露頭や、地下空洞内は、彗星・小惑星からどれだけの水等揮発性物質が供給されたのかといった点について精度よい情報を提供するであろう。過去の太陽活動に関わる情報も得られるだろう。もしかすると、地球の過去の物質も見つかるかもしれない、との発表があった。次に言えることは、月火星の縦孔・地下空洞は、月の内部構造の調査に最適な場所ということである。月のような大型衛星は、主惑星に強い潮汐力を働かせ、主惑星の進化、生命の発現に大きな影響を与えた可能性がある。潮汐力がどの



図1：講演会の様子。

時点でどのように働いたかは、月の内部構造、その形成初期から今日に至るまでの進化の過程を知る必要がある。そこで、やはり魅力にあふれていると言えるのが、熱的に静謐な縦孔底や、地下空洞内である。秤動・月震の(長期)観測による核や、マントル構造解明への期待がある。温度・熱流量・残留磁気の調査や直接サンプリングにより、地下の放射性物質、溶融核発現の有無、PKT領域火成活動の時期・量・温度・物質の詳細を解き明かすための情報が期待される、というのである。

工学面での研究発表は、リサーチグループの研究の進展もあり、縦孔を探査するためのシステム、個別技術、アイデアレベルのものから、すでにプロトタイプ開発まで行われているものまで多様な発表であった。着陸については、誘導制御の基礎的な面からのレビュー的講演から、実際に進んでいる小型着陸探査SLIMの検討状況報告までカバーされた。どうやって着陸点から縦孔までアプローチするのかについては一番議論もはずんだといえよう。投てきシステム、ヒューマノイド型ロボット、球形プローブなど、思っていた以上に工学的研究は進んでいることに、今更ながら驚かされた。一方で、観測機器については、いくつか説明されたものの、もっと多様な研究が進められるべきだという感を持った。日本には優れた観測機器開発能力をもった方々がおられる。今後、そういう方々にもっと参加協力頂く事に余地があるといえよう。

縦孔や地下空洞に基地を建設するという構想も、極めて現実的な課題となりつつあることが、講演から見えてきた。今や縦孔・地下空洞探査が地下空洞開発へと進むことも、決して遠い将来では無いのではないかと思われた。そういう状況の中でむしろ、探査という手段を使ってどんな理学的課題が解決されるのか？ということだけでなく、探査・開発において、理学がどのような貢献ができるのか？という視点ももっと必要となりそうである。縦孔・地下空洞探査、そして開発は、様々な学問分野が必要とされることも緊急医療という観点からの講演の際に非常に感じられた。これまで、月惑星探査を人々に語るとき、「応援して下さい」であったが、こと月火星の縦孔・地下空洞探査では、「参加して下さい」と言うべきなのであろうと、改めて思った。

アウトリーチの研究活動報告も非常に興味をひくものが多かった。最近、「縦孔探査かるた」活動がボランティア的に進められている。「かるた」には、縦孔探査に関連しての月惑星科学や探査技術のことが盛り込まれ、きわめて教育的な配慮がされている。この活動で、月や火星の縦孔のことを初めて知ったという小学生がたくさんいる。地道ながらも、こういう活動を通してこそ、国民に支持され、期待される探査となっていこう。学校の教育現場でも、うまく縦孔・地下空洞探査というネタを使って、国民の科学技術力を上げることに使っていけないか。第一線の研究と学校教育

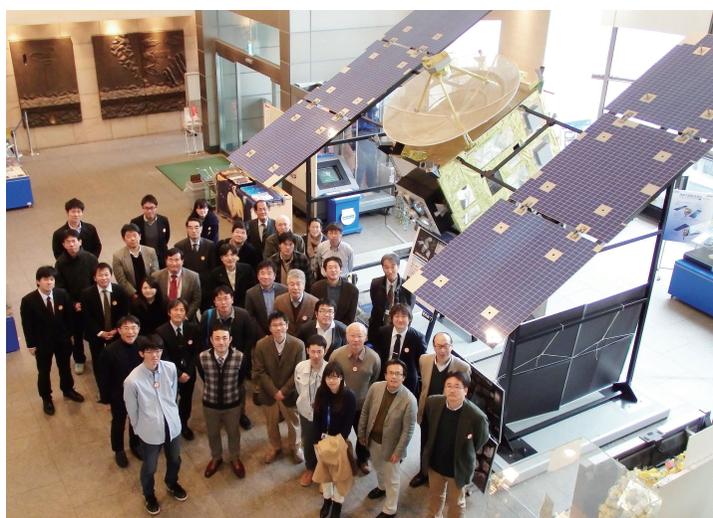


図2：集合写真。

をつなぎ合わせようとしてくれる高校の先生方がおられることに、日本の未来の明るさを感じたのは私だけでは無かったと思う。

4. 今後に向けて

出会いは、大事で有り、なんと楽しいことであろうか。JAXA内のJSPECという組織が行ってきたSELENE-2の着陸点検討の際には、私は縦孔探査を提案した。しかし、そこでは、早い月着陸実現こそが命題と思い、「縦孔の中には入らず、縦孔に近づいてのみの探査」という方針での提案を行った。しかし、それは失敗であった。痛恨のミスであった。この方針は、「縦孔の中には入らなければ、科学成果がない」と墮とされる理由となり、縦孔探査の優先順位は著しく落とされることになってしまったのである。一方、アームを持つ巨大ローバが繰り出され、サンプルを確かめ、拾って、割って、切って、磨いて、顕微分光するというような探査が推されることになった。このようなシステムの近未来での実現性がどの程度のものであったのか分からないが、縦孔探査でもやはり工学的な実現性が重要だと改めて思ったものである。そういう忸怩たる思いのさ中、河野氏に出会い、縦孔探査をあらためて、「ウズメ」(UZUME: Unprecedented Zipangu Underworld of the Moon/Mars, 古今未曾有の日本の月/火星 地下世界探査)計画と名付け、新たなスタートを切った。ウズメ計画は、2020年代初頭の月縦孔・地下空洞内探査技術実証、2020年代半ばの縦孔・地下空洞からのサンプルリターン、2030年前後の火星の縦孔探査を目指そうとしている。数年前には、とても無理無理、と思われていたことが、河野氏はじめ、JAXA久保田氏、野田氏、東北大吉田氏といった探査工学分野の大御所研究者の方々の好意的助言、JAXA内の川勝氏ら、豊田工大の古谷氏ら、古くからのつきあいの工学関係者の助力、加えて、JAXAの大槻氏、慶應大学の石上氏のような30代の若手工学研究者らとの出会いにより、次第に現実化しつつあると心底感じている。今回報告させていただいた研究会を終えて、改めて惑星科学会の皆様には言わせていただきたいと思う。「ウズメ計画に参加しませんか？」