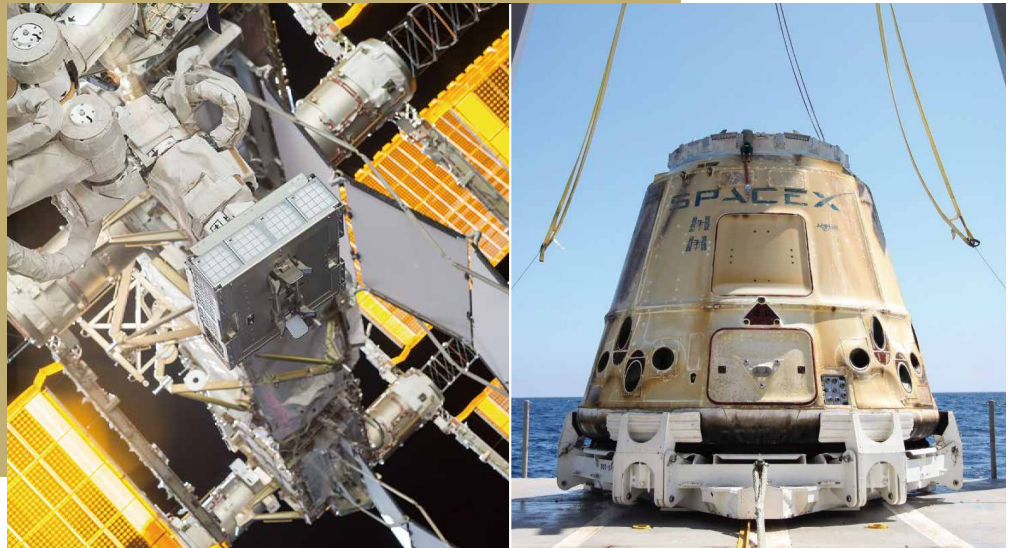


アストロバイオロジー宇宙実験 「たんぽぽ」初号機の 始まりと終わり

「有機物・微生物の宇宙曝露と宇宙塵・微生物の捕集」を目指した「たんぽぽ」は、2015年5月26日に初年度試料を搭載した簡易曝露実験装置(ExHAM)が、国際宇宙ステーション「きぼう」ロボットアームを使って同船外実験プラットフォーム上に設置されて以来(図左)、4年3ヶ月にわたって地球低軌道上で運用が続けられました。そして2019年8月28日には、最終年度試料を搭載したドラゴン宇宙船が太平洋へ着水し、無事回収されました(図右)。(画像JAXA、NASA、Space-X)



たんぽぽプロジェクトの最初の曝露と最後の回収

The Forefront of Space Science

宇宙
科学
最前線

宇宙探査と惑星保護

宇宙飛行工学研究系 教授 藤田 和央(ふじた かずひさ)

はじめに

宇宙探査は、惑星保護を抜きに語ることができない。惑星保護とは、探査の対象天体の環境を、地球から運搬される微生物や生命関連物質による汚染から保全すること、また対象天体から探査機が地球圏(月を含む)へ帰還する際に、潜在的な地球外生命と生命関連物質による汚染から地球圏を保護することである。前者は、太陽系天体は人類共通の資産であるという観点から、先行する探査によってもたらされる天体汚染が将来の探査の障害になることがないように、また、対象天体に存在するかもしれない固有の生命圏に致命的な影響を与えることがないように、との倫理的観点から要請されている。後者は、地球生命圏の安全に係る要請である。

このような惑星保護の概念は、宇宙開発の黎明期より既に起案されており、人類初の人工衛星となったスプートニク打上げの翌年である1958年には、国際科学会議(ICSU)が「地球外探査による天体汚染に関する特別委員会」を組織し、同年秋、惑星保護の実施に関する最初の国際的な行動規範が制定された。この行動規範は惑星保護方針(Planetary Protection Policy)と呼ばれ、以来、惑星保護方針は、同年ICSUが新たに設立した「国際宇宙空間研究委員会」(COSPAR)へ引き継がれ、今日に至っている。1966年には、国連において「月その他の天体

を含む宇宙空間の探査および利用における国家活動を律する原則に関する条約(宇宙条約)」が採択され(翌1967年に発効)、そのIX条が惑星保護の法的根拠となっている。以来、COSPARは、宇宙開発に携わる国家が宇宙条約を遵守し、惑星保護の2つの要請に答えることができるように、その国際基準のガイドラインとして、惑星保護方針を保持し普及させている。

惑星保護の概要

COSPAR惑星保護方針では、全ての宇宙探査ミッションは、探査の対象天体の重要性和実施する探査の形態によってカテゴリ分けされ、各カテゴリに対して異なるレベルの惑星保護要求が規定されている。特に、過去に(あるいは現在も)生命を育む環境を有していた可能性があり、宇宙機による汚染が将来の調査に悪影響を及ぼす危険がある太陽系天体(保護される太陽系天体)へ探査を行う場合、惑星保護要求は厳しくなる。表1に、対象天体・探査形態による惑星保護カテゴリの区分と、各カテゴリにおける惑星保護要求の概要を示す。

現在、保護される太陽系天体として規定されているのは、火星、木星の衛星エウロパ、土星の衛星エンケラドスであるが、これは現在の科学的知見と探査対象天体として検討された経緯によるものであって、今後これらだけが保護される太陽系天体であるという保証はない。今後、科学的知見が拡

カテゴリ	対象ミッション	対象天体	惑星保護要求
I	化学進化の過程や生命の起源に関して、科学的観点からは重要でないと考えられる天体への、全ての形態のミッション	S型小惑星、イオ、水星	なし
II	化学進化の過程や生命の起源に関して、科学的観点からは重要性が高いが、科学的意見によれば、宇宙機による汚染が将来の調査に悪影響を及ぼす恐れのあるほとんどの天体への、全ての形態のミッション	(II-1) 金星、彗星、小惑星 (P型、D型、C型)、木星、木星の衛星 (イオ、エウロパ、ガニメデを除く)、土星、土星の衛星 (タイタン、エンケラドスを除く)、天王星、天王星の衛星、海王星、海王星の衛星 (トリトンを除く)、冥王星の 1/2 サイズ以下のカイパーベルト天体	惑星保護文書要求をテーラリングした簡易な文書作成
		(II-2) 月	(II-1)に加えて有機物目録
		(II-3) ガニメデ、タイタン、トリトン、冥王星と衛星カロ、冥王星の 1/2 サイズ以上のカイパーベルト天体	(II-1)に加えて汚染確率解析
III	保護される太陽系天体へのフライバイおよび周回ミッション		惑星保護文書要求に準拠した文書作成、有機物目録、衝突確率解析、汚染確率解析
IV	保護される太陽系天体への地表ミッション	火星、エウロパ、エンケラドス	惑星保護文書要求に準拠した文書作成、有機物目録、有機物サンプルの保管、材料・部品・組立品・設備に対する滅菌とバイオペン管理
V	天体由来の生命体が存在しないと考えられる太陽系天体からの地球帰還(制約のない地球帰還; Unrestricted Earth Return)	金星、月、S型小天体、イオ、水星、左記以外は都度判断	往路行程のカテゴリに対応した惑星保護要求のみ
	上記以外の地球帰還(制約付き地球帰還; Restricted Earth Return)	火星、エウロパ、エンケラドス、左記以外は都度判断	滅菌および検証 検証ができない場合は完全な封じ込め

表1 惑星保護カテゴリと対象天体、探査形態、および惑星保護要求(概要)

大し、他の天体が探査対象として検討される際には、COSPAR 惑星保護パネルにおいて国際的な検討が行われ、新たな天体が加わることもあり得る。このように、惑星保護方針は科学的知見の拡大と、新たな探査ミッションの要請に応じて逐次変更される可能性があることに注意されたい。

保護される太陽系天体への探査においては、地球から運搬する生命および生命由来物質による対象天体および対象地域の汚染を極小化し、天体の環境を保全することが求められている。これを実現するために、惑星保護方針では、例えば

- ①対象天体へ到達する軌道エネルギーを有する全ての飛翔物体(ロケット上段、デブリ、およびフライバイあるいは周回する宇宙機など)の対象天体への衝突確率や、対象地域への汚染確率を規定値以下とすること。
 - ②対象天体へ影響を与える(環境への曝露、接触、着陸など)飛翔物体については滅菌処理を行い、打上げ時点でその汚染度を規定値以下とすること。
 - ③飛翔物体の汚染度を判定するために、所定の方法によって検査を行うこと。
 - ④対象天体へ輸送される有機物(規定されるもの)を、管理下で50年間保管すること。
- などの設計標準が定義されている。詳細は「惑星等保護プログラム標準」(JMR-014)を参照されたい。

一方、地球圏へ帰還、あるいはサンプルを回収する場合においては、保護される太陽系天体以外の天体からであれば、原則、無条件で帰還できる(制約のない地球帰還)。「はやぶさ」、「はやぶさ2」、また検討中の火星衛星探査計画(MMX)も、このカテゴリである。これに対して、保護される太陽系天体から影響を受けて(環境への曝露、接触、サンプル採取など)帰還する場合には、帰還前の全宇宙機システムの滅菌と検査を行うか、滅菌の検証ができない場合には完全な封じ込め(接触の連鎖の断ち切り)を行うことが要求される(制約付き地球帰還)。この場合、地球圏へ増殖可能な地球外生命体が持ち込まれる確率を 10^{-6} 以下とする必要がある。「制約付き地球帰還」を実現するためには極めて難易度の高い技術が要求され、NASAを

含め過去の宇宙探査でこの基準が適用された例はない。2020年代後半に計画されている火星サンプルリターンミッションは、この基準を適用する最初のミッションとなるであろう。

我が国の惑星保護の現状

これまで我が国では、個々の宇宙探査プロジェクトにおいてCOSPAR惑星保護方針に準拠した設計・運用基準を採用し、COSPAR惑星保護パネルにおいて国際的な合意を形成することによって、プロジェクトを実施してきた。しかし、今後我が国が月への複数の探査、MMX、さらには火星探査など、高レベルのカテゴリを含む惑星保護方針の対象となる複数のプロジェクトを実施する可能性があることや、2017年より施行された「人工衛星等の打上げおよび人工衛星の管理に関する法律(宇宙活動法)」においても惑星保護への対応が求められることから、JAXAが組織的に惑星保護へ取り組むべきと考えられた。この状況を受けて、2018年12月よりJAXA安全・信頼性推進部を本拠とする惑星等保護体制が発足し、また国内の大学および研究機関から参加する専門委員と連携して関連する文書(惑星等保護規定、惑星等保護プログラム標準、および関連ハンドブック等)が制定された。現在JAXAでは、図1に示す惑星保護体制によって、COSPAR惑星保護方針の着実な遵守に組織的に取り組んでいる。

ただし、現在制定されている惑星等保護プログラム標準は、直近のカテゴリⅠ～Ⅲのプロジェクトへの対応を優先して制定を急いだため、火星の表面探査(カテゴリⅣ)や火星からのサンプルリターン(カテゴリⅤの「制約付き地球帰還」)に対応できない(表1の網掛け部分は未対応)。一方で、本年度改訂される予定の「日本の宇宙探査全体シナリオ」(JAXA国際宇宙探査推進チーム作成)においては、国際火星有人探査へ参加することを最終ゴールとして、2020年代後半に火星探査実証ミッションが、また2030年代前半に火星総合探査ミッションが掲げられており、カテゴリⅣの惑星保護技術を獲得することが急務となっている。これに応えるために、現在、惑星保護の中長期計画を策定し、惑星等保護プログラム標準の拡張とハンド

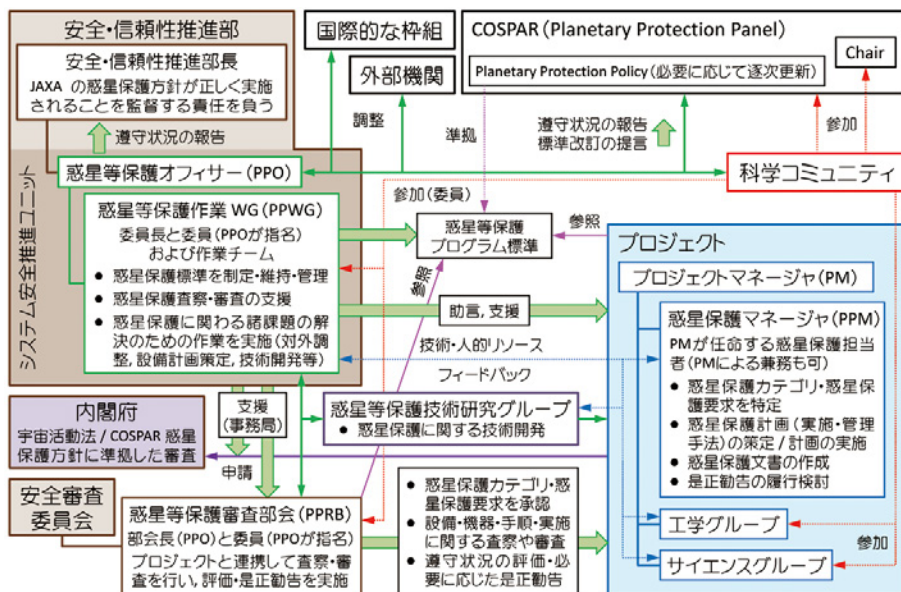


図1 JAXAにおける惑星保護体制の概要(惑星等保護技術研究グループについては、現在設置を検討中)

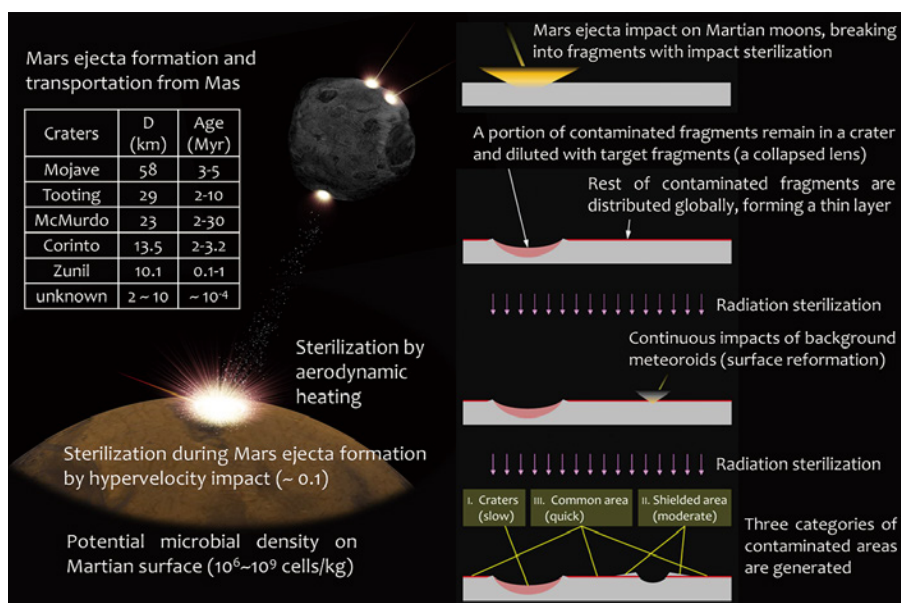


図2 火星から火星衛星への物質輸送(Fujita, K. et al., 2019; Kurosawa, K. et al., 2019)

ブックの整備、カテゴリIV技術(滅菌、バイオバーデン試験*)の獲得、および設備計画の策定を、関係部署と協議しながら推進しているところである。

最近の大きな成果

MMXは、火星の衛星(フォボス、ディモス)を探索し、そこからサンプルを採取して地球へ帰還するミッションであり、「はやぶさ2」に続くサンプルリターンミッションとして、検討が進められている。「はやぶさ2」の目標である小惑星には、生命は存在しないと考えられるため、復路においてはカテゴリIVの「制約のない地球帰還」が適用された。しかし、火星には固有の生命(微生物)が現存する可能性が否定できず、火星表面での巨大隕石衝突によって生じる放出物質が火星衛星へ輸送されることから、MMXが火星衛星上で採取するサンプルが火星固有の微生物によって汚染されているという可能性が否定できない。2017年当時、既に火星衛星サンプルリターンを検討していたESAでは、サンプルの微生物汚染確率に大きな幅があり、これが国際標準許容値(10^{-6})以下であると判断できなかった

* 残存する増殖可能な微生物の数を定量化する試験のこと。

ことから、火星衛星サンプルリターンを「制約付き地球帰還」として識別し、これがCOSPARにおける国際標準となりつつあった。この状況では、MMXにおいても「制約付き地球帰還」が適用され、極めて難易度の高い技術が必要となることが予想され、MMXの前に立ちちはだかる大きな懸念材料となっていた。

JAXAの惑星保護体制発足の目的の一つは、プロジェクトを支援し、COSPAR惑星保護パネルにおいて惑星保護方針が改訂される際に、将来のJAXAの探査ミッションに不利となる勧告がなされないよう働きかけることである。この目標をMMXにおいて果たすため、千葉工大、東工大、東大等と連携した検討チームを編成し、過去の火星表層史における巨大隕石衝突、火星放出物の生成、火星衛星への物質輸送、火星放出物の火星衛星への衝突や放射線による滅菌過程などの詳細なプロセスを考慮し(図2)、確率的・統計的な分析を行うことによって、火星衛星の微生物汚染分布確率を世界で初めて定量化し、MMXがそこで採取するサンプルの微生物汚染確率が 10^{-6} よりも十分に小さいことを証明した。この結果はCOSPARで審議され、最終的にMMXは「制約のない地球帰還」であるという勧告を得ることに成功した。すなわち、MMXは「はやぶさ2」の技術の延長として実施することが可能となり、MMXの技術・コスト・

スケジュールに係るリスクを大幅に低減することができた。

おわりに

惑星保護は国際社会において持続的な探査を実施するためには必要不可欠であり、探査ミッションに一定の制約を与えるが、発想を変えれば、その技術の向上によって、MMXのケースのように、他国に先んじたミッションの創生を可能とする。近年、民間企業の探査への参入や、火星サンプルリターン、有人火星ミッション等の検討が活発化し、惑星保護の枠組みや必要とされる技術領域が大きく変動しつつある中で、新しい技術領域へ新規参入し、これをリードする好機であると言える。より多くの方に興味を持っていただき、惑星保護の中長期計画で想定する多様な研究開発へ、より多くの方にご参加いただき、我が国が将来にわたって探査先進国であり続けるための土台を支えることができるよう、ご協力をお願いしたい。

参考文献

- Fujita, K. et al., LSSR, <https://doi.org/10.1016/j.lssr.2019.07.009>
Kurosawa, K. et al., LSSR, <https://doi.org/10.1016/j.lssr.2019.07.006>

「はやぶさ2」:リュウグウを周回する人工衛星実験を実施

小惑星リュウグウから地球への帰途につく前の最後の挑戦として、リュウグウの周りに人工物体を周回させる実験を行いました。これは、打上げ前の予定には入っていなかったものです。

ここで用いた人工物体は、2個のターゲットマーカとMINERVA-II2の合計3つです。MINERVA-II2は東北大を中心とした大学コンソーシアムで製作された小型ローバで、本来は低高度で分離をしてリュウグウ表面に着地させる予定でした。しかし、搭載されたデータ処理系の動作不安定によりローバからテレメトリデータを得ることができず、このまま分離してもデータが得られない可能性が高いことがわかりました(2018年11月8日、東北大学発表)。

そこで、「はやぶさ2」プロジェクトに加えて、東北大学、九州工業大学、米国コロラド大学にて検討を行った結果、少し高い高度からローバを分離しリュウグウの周りを周回させる運用を行うことになりました。このことで、工学的には、微小天体において小型機を高高度から分離し着陸させるという技術の実験になりますし、理学的にはリュウグウの重力場の高精度推定に寄与できることとなります。

まずリハーサルとして、9月17日にターゲットマーカを分離する運用を行いました。日本時間で午前1時過ぎ、探査機は高度1kmほどまで降下し、2つのターゲットマーカを赤道方向と極方向に連続して分離しました(図1)。分離時のターゲットマーカの速度は、水平方向に約12cm/sです。その後、2つの

ターゲットマーカがリュウグウの周りを周回している様子が確認されています。

このリハーサルでうまく行くことが実証できましたので、10月3日にMINERVA-II2の分離を行いました。リハーサルと同様に、午前1時前に高度1kmでMINERVA-II2を分離しました。分離直後のMINERVA-II2は、「はやぶさ2」側面に搭載されている広角の光学航法カメラ(ONC-W2)によって探査機から離れていく様子が撮影されました(図2)。

「はやぶさ2」は、直径1km程度の微小天体の回りに3つの人工物体を周回させたことになります。これも世界初です。実は、分離カメラ(DCAM3)もリュウグウの周りを運動したはずなので、合計4機の人工衛星をリュウグウの周りに放出したことになるのですが。

(吉川 真)



図1 分離されたターゲットマーカ(1つ目)。この合成写真ではターゲットマーカが降下しているように見えるが、実際は探査機が上昇してターゲットマーカから離れている。(画像のクレジット:JAXA、千葉工大、東京大、高知大、立教大、名古屋大、明治大、会津大、産総研)



図2 分離直後のMINERVA-II2。(画像のクレジット:JAXA、千葉工大、産総研、立教大、東京大、高知大、立教大、名古屋大、明治大、会津大)

「たんぽぽ」最終年度試料が地球帰還、「たんぽぽ2」は軌道上運用開始

「たんぽぽ」計画は、日本初のアストロバイオロジー宇宙実験として2015年から4年間、国際宇宙ステーション(ISS)で軌道上運用されてきました。そして日本時間2019年9月25日夜、最終年度試料である捕集パネル最後の1枚が、ISASの宇宙生命・物質科学実験室(LABAM)クリーンルームに帰還しました(図1)。2015年5月に計36枚の捕集パネルの一部として地球低軌道に打ち上げられ、2018年7月25日から2019年8月6日の計377日間宇宙に曝露されました。その後8月28日にドラゴン宇宙船に搭載されて太平洋へ着水し、9月に筑波経由でISASに届けられました。2016年以来毎年地球帰還した捕集パネル内のエアロゲルには、超高速衝突した宇宙塵やスペースデブリが捕まっており、ISASでの初期分析作業ののちに日本全国で詳細分析が続けられています。すでに過去3年間の固体微粒子の存在量の経年変化を明らかにしつつあり、微小デブリの軌道寿命が太陽活動周期と相関している証拠も見出しました。

帰還試料の分析が進むにつれ、より発展的な研究や新技術の宇宙実証の必要性も生まれました。そこで2017年より「たんぽぽ2」プロジェクトチームを発足させ、ISS曝露部有償利用公募への採択を経て、新しい曝露パネル2枚と捕集パネル3枚を、2019年7月26日にSpace-X社CRS18号機で打ち上げました。たんぽぽ4年度試料と入れ替わる形で、1年間の宇宙曝露実験を8月19日から実施中です。

これは日本のアストロバイオロジー研究コミュニティの今後の発展と学術的真価が問われるステップです。地球生命の原材料

が宇宙より降下したとするパンスペルミア仮説と化学進化仮説の実証を目指した「初代たんぽぽ」から発展して、「たんぽぽ2」は「塵から生命へ」という共通テーマを掲げました。具体的には、(1) 新星爆発による窒素含有炭素質ダストの生成、(2) 宇宙空間でのアミノ酸からペプチドへの化学進化、(3) 宇宙塵中のアミノ酸前駆体の変成、(4) 炭素質小惑星中有機物の宇宙風化、(5) 火星初期導入生物としての陸棲藍藻の宇宙耐性、計5個のサブテーマで曝露パネル

を使い、(6) 海洋天体ブリューム微粒子の非破壊捕集技術としての疎水性・親水性エアロゲルの宇宙実証、というサブテーマは捕集パネルを使うことで、宇宙塵生成から火星や海洋天体での生命研究に至る道筋を開拓します。中核メンバーも若返り、次世代への橋渡しも担っています(図2)。

(矢野 創)



図1 1年間の宇宙曝露を終えてISASに帰還した「たんぽぽ」第4年度捕集パネル。



図2 筑波にてExHAM搭載の軌道上運用を終えた「たんぽぽ2」プロジェクトメンバー。

ひので国際科学会議「Hinode-13/IPELS 2019」開催

「ひので」衛星の第13回国際科学会議を2019年9月2～6日の5日間にわたり東京大学本郷キャンパスの伊藤謝恩ホールと理学部2号館講堂で開催しました。今回の科学会議は、プラズマ科学分野横断会議IPELSとの合同会議として開催しました。「ひので」科学会議は、打上げ直後の2007年以来毎年、日米欧もちまわりで開催されてきました。一方で、IPELSは、実験室プラズマの研究者が主導して磁気圏や太陽天体プラズマの研究者とともに、分野間の研究連携を深めるために1990年代から続いてきた集まりです。今回初めてこの両会議を同時に開くことで、より広い視野での新たな連携を進めようとの試みで、国内や世界各国から208名の参加を得て開催されました。



ひので国際会議「Hinode-13/IPELS 2019」の参加者。

全参加者がひと部屋に集まって開かれた午前中のセッションでは、波動・乱流、磁気リコネクションなどプラズマ物理のキーワードを核に、プレナリー講演が太陽観測や実験室プラズマなど異なった視

点からの内容を、基礎知識から最新研究までをカバーしました。ふだんIPELSに参加しない太陽分野の研究者にとっては、Alfvén波などの太陽で見られる現象の基礎的な過程が実験室で再現されるさまをみることができ、一方で「ひので」会議に初めて参加したプラズマ研究者にとっては太陽の最新画像や分光偏光データから刺激を受ける機会となったと思います。予想外の視点から出てくる質問に、講演者がとまどったり、楽しんで答えたりする様子がみられました。コーヒープレイクには、複数分野の参加者が混在した話の輪が、あちこちにできあがっていました。

目白の椿山荘で開催されたバンケットでは、「ひので」打上げ時のリーダーのひとりであった常田佐久国立天文台長（前宇宙科学研究所長）が挨拶したほか、ちょうどJAXAとの会合で来日中であったNASA科学ミッション本部太陽系物理学部門部長のフォックス博士が登壇されました。そこでSolar-C EUVSTプロジェクト参加の米国側プロポーザルの採択が発表されて会場が沸いていました。なお、Solar-C EUVSTを軸にした将来計画については最終日に時間を割き討議が行われました。

今回初めて合同開催してみても、準備段階では互いの文化の違いなどにとまどった場面もありましたが、実際に会議を開いてみると互いに新鮮な情報交換ができて、これからの展開が期待できると感じました。（横山 央明）

ビジネス共創 ―宇宙科学から社会インフラへ？―

内閣府の革新的研究開発推進プログラム (ImPACT) では、プログラムの一つとして慶応大学の白坂成功プログラムマネージャのもと「オンデマンド即時観測が可能な小型合成開口レーダ衛星システム」の研究開発が実施されました。このプログラムの課題は、自然災害等で観測が必要になったときに合成開口レーダー (SAR) 衛星を使い、即時に広域災害にも対応した対象物の観測が可能なシステムの構築です。JAXA宇宙科学研究所は、「SARシステム」を担当し、齊藤宏文先生をチーム長とした所内チーム体制が生まれ、小型衛星搭載用のSARのミッション機器開発が行われました。70cm×70cm×70cm程度で100kg級の小型衛星に搭載可能な装置開発がお題です。カメラは光で画像を取得しますが、SARは電波を使います。観測対象に電波を照射し、反射して戻ってきた電波から画像を作ります。電

波は雲があっても透過しますので天候によらず観測できます。また、自ら電波を放射するので昼夜を問わず観測できます。70cm角程度の7枚のアンテナパネルを折り畳んで衛星に搭載し衛星軌道上で展開することで長さ約5mのアンテナが実現されました。像がぼけ



図2 熱真空試験前のフライトモデル。

ないように均一な電波を放射できるようにするところが肝の技術です。また、強力な電波を放射するための大電力増幅器も開発しました。小さな衛星に1kWの電波を発生する装置を搭載するには放熱が重要な課題でした。詳細はISASニュース2019年2月号の齊藤先生の記事を参照ください。ImPACTの成果を引き継ぎ、社会実装を目指す会社が「Synspective」です。2019年のSpaceNews*にも取り上げられました。JAXAと新たな事業を共創するプログラムのもと、実証1号機、2号機の開発が進められています。宇宙研で開発したSAR装置を搭載する1号機は2020年に打上げが予定されています。3号機からは量産が始まります。Synspective社は、2022年までに6機、将来は25機での小型SAR衛星群による運用を目指しています。全世界の主要都市を毎日観測することが可能になります。宇宙科学の成果を用いた新たな価値の創造によるハイインパクト・ハイリターンが期待できます。（田中 孝治）

1st Demonstration X-band SAR Satellite
Deployable SAR Antenna Panel with Solar Cells
Mass : 140kg
Size : 5 x 0.7 x 0.7m (in Orbit)
0.7m Cubic(at Launch)
Resolution : 1~3m
Launch : 2020

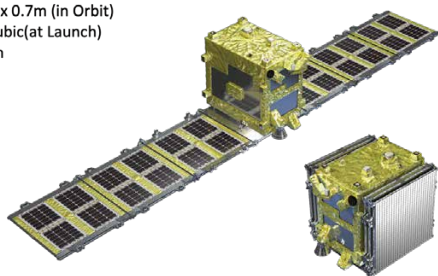


図1 実証1号機 (Strix-a) の諸元。

* <https://spacenews.com/japanese-sar-startup-synspective-reaches-100-million-in-funding/>, by [Caleb Henry] <https://spacenews.com/author/caleb-henry/> — July 26, 2019

EQUULEUS/OMOTENASHI探査機の開発状況

2020年打上げ予定である米国SLS (Space Launch System) ロケット1号機 (Artemis 1) にJAXAの2機の超小型探査機EQUULEUS (EQUilibrUM Lunar-Earth point 6U Spacecraft) とOMOTENASHI (Outstanding MOOn exploration TEchnologies demonstrated by NANO Semi-Hard Impactor) が搭載されます。各探査機の総質量は14kg以内、サイズは113mm×239mm×366mm以内に制限されており、また有人宇宙船Orionとの相乗であるため、有人システムに対応した高い安全性が必要です。EQUULEUSは東京大学の学生が中心で、OMOTENASHIはJAXAの若手技術者が中心に開発をしています。現在、両探査機のフライトモデルの試験を実施中です。

EQUULEUSは、地球・月系ラグランジュ点への軌道変換技術の実証を行うとともに、極端紫外撮像装置による地球磁気圏プラズマの観測、可視光カメラによる月面に衝突する微小隕石による発光現象 (月面衝突閃光) の観測、MLI (多層断熱材) に内蔵されたフィルムによる月近傍の宇宙空間のダスト環境の計測を行うことを目的としています。安全に扱える超小型の推進装置として、水蒸気を使用するガスジェット推進装置も開発しました。詳しくは、ISASニュース2017年10月号 (http://www.isas.jaxa.jp/outreach/isas_news/files/ISASnews439.pdf) をご参照ください。

これまでに、各機器の試験、探査機としての総合動作、熱真空試験は終え、現在は実際の軌道上での運用を模擬した試験を実施しています。今後、振動試験などの残りの環境試験を実施していく予定です。

OMOTENASHIは、世界最小で月面に着陸する技術の実証が主目的ですが、月に到達するまでの軌道上での放射線環境の測定も行います。超小型探査機では、高度計、速度計などのセンサや精密に推力を調整できる推進装置を搭載するスペースがないので、月面に軟着陸をすることは困難です。そこで予め計算したシーケンスに従って小型の固体ロケットを使って減速することにしました。推進力を調整することができないので、月面へは時速180km程度で衝突する可能性があります。その衝撃を吸収するため、クラッシュャブル材料とエアバッグを装備しています。また、探査機全体を減速するためには大きな固体ロケットが必

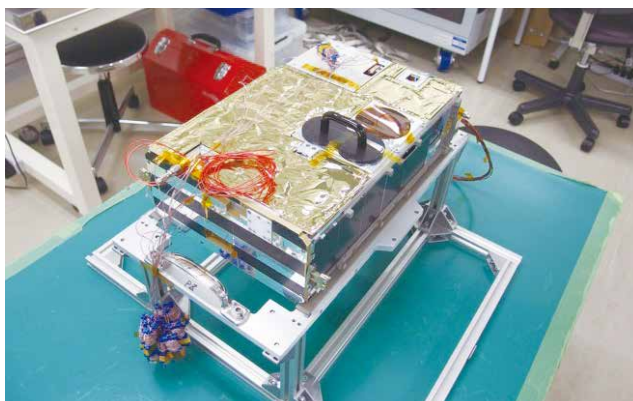


図1 EQUULEUS探査機のフライトモデル (試験用ハーネス・熱電対が接続された状態)。

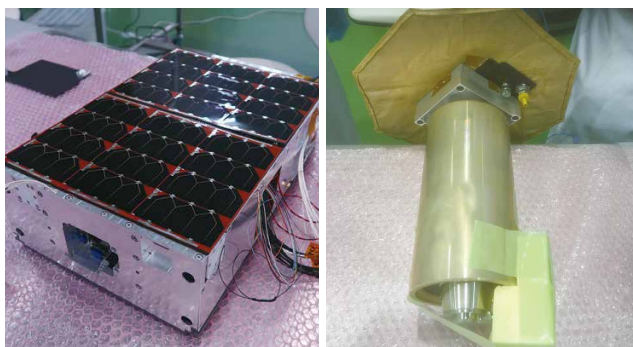
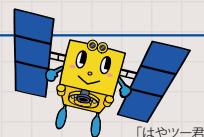


図2 仮組状態のOMOTENASHI探査機。右が月面に到達する700gのプロープと固体ロケット部分 (マスダミー)。左が着陸直前に分離する探査機本体部分。

要となるため、月面に到達するのは約700gの小さなプロープだけとし、機体の大部分は固体ロケット点火と同時に分離します。詳しくはプロジェクトのホームページ (<http://www.isas.jaxa.jp/home/omotenashi/index.html>) を参照ください。

これまでに各機器の単体試験と機器間のインターフェイス試験を終え、現在、探査機に最終的に組み込む作業をしています。これから年内、振動試験、熱真空試験などの環境試験を実施していきます。
(船瀬 龍、橋本 樹明)

★ JAXA相模原キャンパス 特別公開 2019



JAXA相模原キャンパスの特別公開を11月2日 (土) に開催します。通常の見学では見ることができない施設の公開、最新の研究紹介、講演、科学衛星/探査機やロケットの模型展示、工作/実験など、子どもから大人まで楽しめるイベントが盛りだくさんです。ぜひお越しください。

日時	2019年(令和元年)11月2日(土) 10時00分～16時30分(最終入場は16時15分)
会場	JAXA相模原キャンパス/相模原市立博物館/国立映画アーカイブ 〒252-5210 神奈川県相模原市中央区由野台3-1-1
交通アクセス	JAXA相模原キャンパスへのアクセス JR淵野辺駅南口より直通の無料送迎バスを運行します。 (特別公開当日限定、乗降場所・運行時間はチラシをご参照ください。) 当日はたいへんな混雑が予想されます。公共交通機関をご利用ください。



詳しくは下記をご覧ください。
<http://www.isas.jaxa.jp/outreach/events/002183.html>

「みお」つくし

世代も国境も越え水星へ挑むベピコロomboの物語

水星/「惑わない星」より



「みお」搭載磁場観測装置 MGF

水星到着後の「みお」を描いた画像では、探査機から突き出ている一対の伸展物（伸展マスト）が目を引く。伸展マストには水星周辺の磁場を観測するためのセンサが載っている。約5メートルもの長さを持つ伸展マストをわざわざ伸ばす目的は、探査機本体からセンサを離して探査機が出す磁場の影響を受けにくくし、高い精度の磁場観測を可能にすることにある。

一対の伸展物のうち一方には、直流から数十ヘルツまでのゆっくり変動する磁場を測るフラックスゲート方式磁力計（MGF）のセンサが二つ載っている。センサはそれぞれ、探査機本体内部の二枚の回路部基板上と電気ケーブルで繋がっている。これら二式の磁力計の一つはオーストリアとドイツを中心としたヨーロッパのグループ、もう一つは日本のグループにより開発、製造されたものである。二式載せている理由は二つある。一つは、磁場計測は「みお」の科学ミッションの達成に不可欠なので、仮に一つが故障しても、もう一つで磁場計測を可能にすること。もう一つの理由は、探査機からの距離が異なる二か所の磁場を同時に測り、探査機が出す磁場の影響を正確に評価することである。伸展マストの先端（探査機との距離4.6メートル）にヨーロッパグループのセンサ、途中（探査機との距離2.9メートル）に日本グループのセンサを載せ、磁場の同時測定を行う。

フラックスゲート磁力計は、「みお」だけでなく、BepiColomboプロジェクトの相棒である水星表面探査機（MPO、ISASニュース2019年7月号参照）にも二式搭載されている。二つの探査機によって得られた磁場データを、日本とヨーロッパの合同チームで協力して解析し、水星の磁場環境を総合的に解明する計画である。

水星の磁場に関する観測の歴史は、1974年から1975年にかけてのマリナー10探査機によるフライバイ観測にさかのぼる。この観測によって、水星が地球と同じく双極子型の惑星磁場を持ち（ただし磁気モーメントは地球の約2000分の1）水星の周りに磁気圏を形成していることが発見された。この発見は、当時の惑星の磁場発生に関する理解に大転換を起こした。しかしフライバイ観測ではデータが十分でなく、磁気モーメントの正確な決定や双極子以外の磁場成分の分離が出来なかった。その後メッセンジャー探査機による2011年から2015年にかけての水星周回観測により、水星の正確な磁気モーメントや、双極子モーメントが水星の中心より北に寄っていることが明らかになった。メッセンジャー探査機の近水点は北半球に固定されていたのに対し、「みお」とMPOは南北対称の軌道で磁場観測を行う。この利点を生かし、水星の磁気モーメントをより精度高く求めれば、惑星に磁場が発生する機構の研究が進むと期待されている。

地球と比べ、水星は惑星固有の磁気モーメントが小さく、

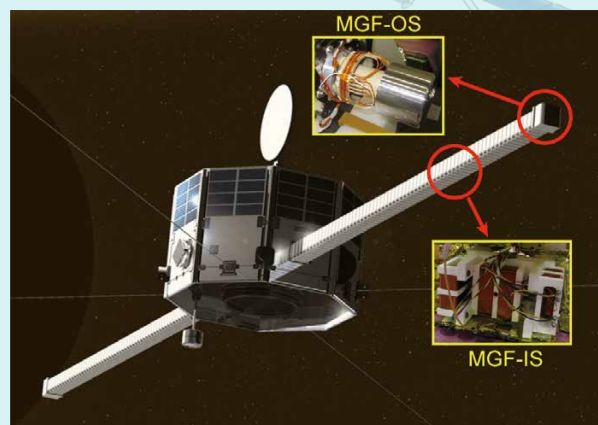


図1 「みお」は水星周回軌道投入後、5メートルの長さの伸展マストを展開し、先端に搭載したMGF-OSセンサと中間に搭載したMGF-ISセンサの2つのフラックスゲート方式センサにより水星の周囲の磁場を観測する。

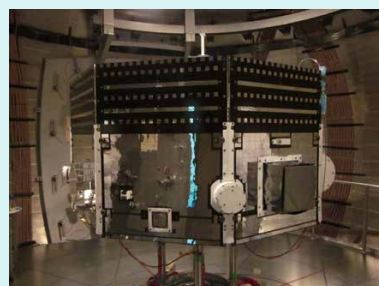


図2 探査機が出す磁場を測定するため、相模原キャンパス磁気シールドルームの中で試験中の「みお」（2013年7月3日）。

太陽風の動圧が強い。このため、水星周辺や水星表層の電磁場が、太陽風の磁場や速度の変化の影響を強く受けることが知られている。また、水星の磁気圏は、太陽風の変動にきわめて俊敏に反応すると考えられている。メッセンジャー探査機では一点であった磁場の観測点を、「みお」とMPOの二点に拡大することは、その二点間で起きている物理過程に切り込むことを可能にする。それはデータが二倍になることよりはるかに重要な意味を持つ。

BepiColomboは昨年10月20日に無事打ち上げられた。11月9日の初期運用で、「みお」の二式のMGFが正常に機能することが確認された。更に、今年8月6日には前述の伸展マストを固定していたラッチを無事に解除した（ISASニュース2019年9月号を参照）。ただ、マストの伸展は2025年の水星周回軌道投入まで待たなければならない。それまでは「みお」の磁力計のデータはBepiColombo本体が出す磁場ノイズの影響を受けるため、本来の力を発揮することが困難である。メッセンジャー探査機の成果を更に吟味しデータ解析ツールを万全に整えることにより、水星周回後の科学観測に備えていきたい。

MGF副主任研究者 松岡 彩子（まつおか あやこ）



名誉教授・元所長
西村 純 (にしむら じゅん)

新しい研究セミナーのスタイル…

定年になったのはかなり前のことであるが、ISASニュースは毎月送っていただいている。封筒を開けながら、今月は何が書いてあるだろうかと、楽しみである。

ISASでは開所以来、宇宙科学談話会などの機会を通じて最新のテーマについての解説や講演が行われてきた。談話会を通して研究の情報交換が行われ、新しい共同研究の芽が出てくる。適切な題目を選び講師を探して来るのは結構大変な仕事だが、ISASの担当の方がやってくださっている。

題目も講師も最近の重要な分野を選んで、興味をそそる題目が並んでいる。

最近取り上げられた題目を見ても、その範囲は非常に広く

- ・宇宙における大型建造物
 - ・宇宙人の存在
 - ・銀河系内の生命起源
 - ・核融合エネルギーの国際共同研究
 - ・放射線と健康
 - ・「あかり」による近赤外観測の成果
 - ・大型赤外望遠鏡SPICAの計画
 - ・X線のクエーサーによる重力レンズ効果
 - ・すばる望遠鏡Hyper Suprime Camで観測されたAGNと巨大ブラックホール
 - ・最近のオーストラリアの電波天文学の情勢
 - ・CMBの研究
- 等の紹介が行われている。

参加するには研究所の会議室に出向けばよいのだが、離れた所に住んでいる人は参加出来ない。しかし、最近ではインターネットのお陰で談話会のスタイルも変わってきた。ビデオシステムを使えば北は北海道から全国的に参加できる。なんと素晴らしいセミナーではないか…。IT社会への先駆けか？

これは共同利用研究所の新しい機能として、新しい時代の到来である。

もしこのようなシステムが備えられれば、かなり多くの人がビデオで参加されるのではないかと期待していた。しかし、始まってみると、初めの内は、ビデオでの参加者は数名に留まっていたが、最近では十数名の方が全国から参加されて初めの目標に近いことも有ようになってきた。その理由はこのシステムの存在を知らなかったためか、或

いは、若い内は忙しくて自分の専門に近い講演にしか興味を持つ余裕が湧いてこないのか、この機会にぜひ視野を広めるためにビデオの談話会に参加されることとお勧めしたい。

宇宙線研究所にも研究会があってよく柏まで出かけて参加してい

たが、ここは神岡に大きなニュートリノ検出施設スーパーカミオカンデを持っているので、講演の様子はインターネットで神岡に繋がるようになっていた。しかし、神岡以外には繋がらないので宇宙研と同じビデオシステムを入れることをお勧めしていた。やがて宇宙線研にも整備され、柏まで行かずに、自宅で最新の話題が議論される研究会に参加できるようになった。

共同研究をしている若い友人が会議室に私が居ないので、安心して居眠りをしていた。講演が終わり質問時間に入った時、ネット中継を始めた時期で天井に取り付けたスピーカーの調整が悪かったのか、突然大きな私の声が上から降ってきたので、ドキッとして、椅子から落ちそうになったのである。「やはり、柏まで来て下さいよ…。」と文句を言われたことがある。

ISASに関わる最近の大きな話題と言えばやはり「はやぶさ2」と小惑星リュウグウであろう。これは、MUSES-Aの月ミッションに始まるISASの研究と技術的集積の大いなる成果である。「はやぶさ2」がタッチダウンの時期は、私は運悪く体調を崩して入院していた。医師から若い頃は何をやっていたのですか、と聞かれたので「宇宙関係……」と返事をした。ISASの管制室の様子がTVで流れ、日本中が湧き上がっていた時のことである。それ以来、担当の医師と美人の看護婦さんの対応が親切になった様に感じたのは気のせいなのか？「はやぶさ」と「ISAS」のおかげである。

この40年間、各研究機関の広報誌の数も増えて、また出来もよくなってきた。広報誌の中でのISASニュースは昔ほど目立たなくなってきた。

そういえば、解説の内容は詳しくなったが、ページ数は少し減り、ISASニュースは必要不可欠なことを正確に伝えるのに力が注がれているように見える。しかし、長期的に見ると無駄な部分が全体を盛り上げて、大事な役割を演じていることはよくあることで、初期のISASニュースの特徴はこの余計な部分にあったのではないだろうか。

古の聖哲、荘子の言うところの「無用の用」である。退院して家に戻り、久しぶりに禁じられていた晩酌を傾けていると普段考えつかない迷案(?)が次々と浮かび上がってくる。

これも「無用の用」なのであろうか……。



新型ゴム気球実験(1970年頃)。
右が筆者。

編集後記

30年程前からの隠れファン(ドラマの影響?)として、ラグビーのワールドカップでの熱い試合に心打たれています。今年は、系外惑星の発見、リチウムイオン電池開発、と宇宙科学や宇宙機技術とも関係があるテーマがノーベル賞に。おめでとうございます。

(清水 敏文)



ISASニュース No.463 2019年10月号

ISSN 0285-2861

発行 / 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
発行責任者 / 宇宙科学広報・普及主幹 生田 ちさと
編集責任者 / ISAS ニュース編集委員長 山村 一誠
デザイン制作協力 / 株式会社アズディップ

〒252-5210 神奈川県相模原市中央区由野台 3-1-1 TEL: 042-759-8008

ISASニュースはインターネットでもご覧いただけます。▶<http://www.isas.jaxa.jp/>