

遊



日本惑星科学会誌

Planetary People 4

December 2025 vol34 no

星

人

- 火の鳥はやぶさ, 火星衛星MMX, 金星あかつき
- 海外研究記, TMT-ACCESS, EXPO2025
- フロンティアセミナー: 銀河系における星形成
- JpGU2025 学生優秀発表賞受賞者紹介

The Japanese Society for Planetary Sciences

日本惑星科学会誌「遊・星・人」投稿規定

日本惑星科学会

1. 投稿可能な記事

- ①学会誌に投稿できる記事内容は、
 - (a) 原著論文：惑星科学に関する研究のオリジナルな報告
 - (b) 解説論文：専門外の人にも分かりやすく解説した研究成果の総説や論説
 - (c) 解説記事：広く会員の関心をひく事柄についての解説
 - (d) 報告記事：学科、研究所、海外機関等の紹介、国内外の研究会の報告、New Face (博士号取得者の自己紹介)、インタビュー記事
 - (e) 情報記事：各種の情報記事
 - (f) エッセイ：上記の形式にとらわれず、惑星科学に関する話題を論じた文章など、広く会員の知的好奇心をみたすもの。

②投稿記事の長さについてはとくに制限をもうけない。ただし、標準的には上記 (a) ~ (c) については6~8ページ (1ページ2000字とし、タイトル、300字程度の概要、図表を含めたページ数)、(d) については4~6ページ、(e)、(f) は1ページとする。

③上記とは別に、会員 (故人) の追悼記事を、編集委員会からの依頼原稿として受け付ける。追悼記事の投稿を検討される場合は、事前に日本惑星科学会編集専門委員会委員長宛に問い合わせること。

2. 投稿資格者

日本惑星科学会会員及び編集委員会が適当と認めた者。

3. 投稿原稿及びその送付

- ①原則として、投稿原稿はワープロなどにより電子的に作成されたものであること。
また、原稿のファイル形式については「学会誌原稿作成の手引」に従うこと。
- ②投稿に際しては、原稿を日本惑星科学会編集専門委員会委員長宛に送付すること。(連絡先は「学会誌原稿作成の手引」参照。) 送付方法は、E-mail による送付が望ましい。但し、プリントアウトした原稿2部の郵送による送付も可とする。なお郵送された原稿は原則として返却しない。
- ③編集委員会が原稿を受領すれば、その日を受領日として、受領した旨投稿者に通知される。

4. 査読及びその後の取扱い

- ①投稿原稿は編集専門委員長が受領した後、原著論文や解説論文または編集専門委員会が必要と認めた記事については査読者が選定され査読に付される。
- ②査読終了後、査読者の意見を参考に編集専門委員会が掲載の可否を決定する。その際編集専門委員会は投稿者に論文の修正を求めることができる。
- ③査読に付されない記事についても、編集専門委員会が掲載の可否を決定し、必要があれば投稿者に修正を求めることができる。
- ④掲載が決定すれば直ちにその旨投稿者に通知される。
- ⑤編集専門委員会の求める修正が完了した最終稿は、WORD、PDF、テキストファイル、いずれかのファイル形式にて、E-mail などにより編集幹事宛に送付すること。(図表については、「学会誌原稿作成の手引」参照)
- ⑥査読に付された掲載記事については、査読を経た旨記事内に記載される (vol.24, no.3から適用)。

5. 校正

校正は投稿者の責任において行う、また、校正は原則として誤植の訂正に限る。

6. 別刷り

論文の PDF ファイルを提供する。

7. 著作権

投稿された記事の著作権は、会誌に掲載された時点で、著者から日本惑星科学会に移転されるものとする。

8. 倫理規定

学会誌に掲載される全ての記事は、「遊星人の記事掲載にあたっての倫理規程」について原稿投稿時に念書を提出し編集専門委員会に了承されなければならない(念書は投稿原稿送り状に記載)。規定を満たしていないことが発覚した場合には、投稿原稿の取り下げ等、各項に記載された処置がとられる。

9. 投稿料・出版費

原則として無料。

ただし、カラーページの印刷を希望する場合は、著者が印刷費を負担する。なお、著者が希望し、かつ編集委員会が認めたものについては、印刷費用を学会が負担する。カラー印刷の希望が無い場合、カラーの図は白黒印刷される。電子版は費用負担無しでカラーの図を掲載する。

日本惑星科学会誌 遊・星・人

第34巻 第4号

目 次

巻頭言 玄田 英典	235
<hr/>	
火の鳥「はやぶさ」未来編その36 ～Ryuguサンプル分析奮闘記～	
癸生川 陽子	236
もう一つの月世界へ：火星衛星探査計画MMX その11 ～火星圏の特性評価のためのMIRS分光ロメーター～	
マリア アントネッラ バルーチ, パーネル ベルナルディ, クリストフ・ドニー, 岩田隆浩, 他3名	243
もう一つの月世界へ：火星衛星探査計画MMX その12 ～MSAはフォボスと火星大気の質量分析を行う～	
横田 勝一郎, MMX MSAチーム	248
<hr/>	
一番星へ行こう！日本の金星探査機の挑戦 その64 ～あかつきと共に歩んだ学生生活～	
岩中 達郎	253
遊星人の海外研究記 その19 ～外様以上, パリジェンス未満～	
天野 香菜	258
<hr/>	
TMT-ACCESSワークショップの紹介	
鵜山 太智, 田畑 陽久, 伊王野 大介, 小野里 宏樹, 衣川 智弥, 鈴木 竜二, 瀧本 幸司, 他5名	263
惑星科学フロンティアセミナー2025参加報告	
藤澤 卓也	269
EXPO2025 大阪・関西万博スイス館における招待講演及びパネルディスカッションの報告	
芝池 諭人	271
<hr/>	
New faces	
鈴木 雄大, 渡辺 泰士	274
日本地球惑星科学連合2025年大会 学生優秀発表賞 受賞者紹介	278
JSPS Information	281

Contents

Preface	H. Genda	235
<hr/>		
Phoenix “Hayabusa”: A tale of the future (36) —The Ryugu sample analysis chronicles—	Y. Kebukawa	236
Fly me to another moon world: Martian Moons eXploration (MMX) (11) —MIRS spectrometer for characterization of Mars system—	M.A. Barucci, P. Bernardi, C. Donny, T. Iwata, H. Hakagawa, T. Nakamura, and 1 author	243
Fly me to another moon world: Martian Moons eXploration (MMX) (12) —MSA conducts mass spectrometry of Phobos and the Martian atmosphere—	S. Yokota, MMX MSA team	248
<hr/>		
Road to the first star: Venus orbiter from Japan (64) - My student days with Akatsuki -	T. Iwanaka	253
Letter from planetary people working abroad (19) – Between Samurai and Parisienne –	K. Amano	258
<hr/>		
Introduction to the TMT-ACCESS workshop	T. Uyama, A. Tabata, D. Iono, H. Onozato, T. Kinugawa, R. Suzuki, K. Takimoto, and 5 authors	263
Report on Planetary Science Frontier Seminar 2025	T. Fujisawa	269
Report on my invited talk and panel discussion at the Swiss Pavilion, EXPO 2025 Osaka, Kansai, Japan	Y. Shibaike	271
<hr/>		
New faces	Y. Suzuki, Y. Watanabe	274
Winners of JpGU 2025 Outstanding Student Presentation Award		278
JSPS Information		281

巻 頭 言

皆様、こんにちは。玄田英典と申します。2004年3月に東京大学で博士号を取得しました。それ以来、「New face」の執筆依頼がいつ来るかと21年間待っていたら、先に「巻頭言」の依頼が来てしまいました。せっかくなので、冒頭はNew face風に挨拶しつつ、ここでは少し昔話をさせていただきます。

私が大学院生だった頃、デジタル化が急速に進みました。たとえば学会では、OHPからノートパソコンによる発表へと切り替わりました。私も修士課程の時は、ノートパソコンを買ってもらえなかったのでOHPを使っており、OHPは事前に作成しておく必要がありました。一方、現在は発表直前までスライドの作成や修正が可能のため、他の人の発表に集中しにくい、といった副作用も感じます。また、当時は、読みたい論文があると、図書館に行ってコピーを取る必要がありましたが、今は容易にPDFをダウンロードできます。図書館に行くのも、コピーを取るのも手間だったので、本当に読みたい論文以外は複写せず、せっかく労力をかけて入手したのだから隅々まで読もうという覚悟も生まれました。便利が過ぎると弊害も出る、そんな実感があります。

大方のデジタル化が一段落した今、ChatGPTに代表される大規模言語モデル(LLM)が、研究やその周辺業務を大いに助けてくれるようになりました。私も計算コードのデバッグや簡単なスクリプトの作成に用いていますし、英語メールも要点を日本語で伝えるだけで整えてくれます。もっとも、相手方もLLMで返信をしている可能性を考えると、「ジョジョの奇妙な冒険」第3部から出てくるスタンド同士が本人に代わって戦う世界観を彷彿とさせます。研究の情報収集やアイデア出しでも大変重宝する一方で、首をかしげる回答が返ってくることも多々あります。20年以上この業界にいる経験から、私は誤りをすぐに見分けることができるので「良いとこ取り」ができていますが、学生がLLMに頼りすぎることには懸念があります。

LLMは進化を続け、今感じている問題は将来には解消されるかもしれません。ただ、この流れが行き過ぎると、修士論文の謝辞に、「研究のアイデア出しからテーマ決め、研究計画から結果の吟味まで、ChatGPT23.0に指導していただき感謝します。また、玄田教授には、ノートパソコンをご手配いただき感謝します。」と書かれる日が来るかもしれません。今後、指導教員としての存在価値をどこに見いだすべきか、今度、ChatGPTに相談してみようと思います。

玄田 英典(東京科学大学)

火の鳥「はやぶさ」未来編その36 ～Ryuguサンプル分析奮闘記～

癸生川 陽子¹

(要旨) 本稿では、はやぶさ2探査機によって回収された小惑星リュウグウ試料の初期分析や公募研究について、顕微赤外分光や走査型透過X線顕微鏡 (STXM) による分析結果を中心に、裏話もまじえつつ解説する。

1. はじめに

本稿の執筆を打診された際、軽い気持ちでお引き受けしたものの、さて何を書こうかと過去の記事をあさってみたところ、初期分析チームや高次キュレーションチームのリーダー陣がすでにしっかりとした記事を執筆しており、幾分気後れした。一度引き受けてしまったもの、断るわけにもいきまい(武士ではないけど二言は無い)、そこで本稿では、リュウグウ試料の有機物に関する初期分析および公募研究の成果について、裏話も交えながら軽めに紹介することとした。幾分パーソナルな内容となっていることをあらかじめお断りしておく。気楽に読んでいただければ幸いである。近年は各学会の和文誌の存続が各所で話題となる中[1]、こうしたゆるめの記事が学会和文誌の助けになればと思う。もっとも『遊星人』は毎号ずしりとした冊子が届くと評判なので杞憂であろう。

2. はやぶさ2初期分析 固体有機物チームの一員として

はやぶさ2初期分析 固体有機物チームの一員として2021年7月から(実際は6月から初期分析はスタートしていたが、私が実サンプルの分析を開始したのは7月からであった) 2022年5月末まで、リュウグウ

サンプルの分析を行った。私が担当したのは顕微赤外分光分析と放射光を用いた走査型透過X線顕微鏡(Scanning transmission X-ray microscopy, STXM)による有機物分析であった。固体有機物チームの全体については薮田さん(広島大学)の「火の鳥「はやぶさ」未来編 その31 ～リュウグウ試料の固体有機物分析～」[2]に詳しいので、ここでは少し個人的な裏話なども含めて紹介したい。ひとまずは、オーシャンズの一員になれて光栄である。オーシャンズシリーズは、オリジナル『オーシャンと十一人の仲間』(1960年) から最新の『オーシャンズ8』(2017年) まで全部見た。

さて、実際のサンプルの分析の前に、まずはリハーサルである。最初にリハーサル(のつもり)で分析を行ったときは、コロナ渦真っ最中で大学への出入りが最も制限されていた時期であった。だれもいない実験室で一人でじっくり集中してできたので、かえってよかったと思ったりした。ただ、大学(当時の所属、横浜国立大学)の実験室のある建物がちょうど耐震工事をしている最中で、仮住まいの実験室での作業であった。余談ではあるが、耐震工事のために一度退所してまた戻るといふ、ラボの引っ越しが2回あり、さらにその後私が東京工業大学(現:東京科学大学)に異動することになったため、また引っ越しをすることになった。葛飾北斎ばりに数年間の間に3回もラボの引っ越しをし、最近自宅の引っ越しまでして、もはや引っ越しのプロである。実験系のラボ

1. 東京科学大学 理学院地球惑星科学系
kebukawa.y.aa@m.titech.ac.jp

の引っ越しは大型装置からこまごました実験道具までいろいろあって大変で、この時ばかりは理論研究にしておけばよかったと思ったりした(大学4年生の研究室配属の時に理論系にするか実験系にするか迷ったものだ)。

リュウグウの試料が宇宙研に届いてからは、2021年4月7日にキュレーション施設のクリーンルーム内で実サンプルを見るという貴重な機会に参加させていただいた。リターンサンプル専用のクリーンルームは外からは何度か見せていただく機会があり、日本分析化学会の「ぶんせき」誌の編集委員をしていた時には取材で地下の空調設備まで見せていただいた[3]が、クリーンルームの中に入るのは初めてであり、とても良い経験であった。当時息子を妊娠中で予定日1か月前くらいだったため、XLだったかLだったか、クリーンスーツのお腹がパンパンで、着れなかったらどうしようと思った。息子は一緒にキュレーションのクリーンルームに入ったのである(自覚はないと思うが)。サンプルを見た所見としては、まず「黒いな」、そしてこの感じは有機物ありそうだなと思った。根拠はと言われると何ともいえないのだが、経験に基づく勘でともいうともっともらしいか。

2021年4月23日に息子が生まれて、リュウグウからとって「リュウ」と名付けた。ちなみにマックス・プランクと同じ誕生日である。帝王切開だったので医者に、手術いつにする～?とゆるく聞かれて、当時持っていた元素手帳をめくるとちょうどよい日にプランクの誕生日とあったのでその日にした。手術は楽だがその後がしんどい(なにせ切腹しているの)。実際にリュウグウのサンプル分析を始めたのは7月からだったので、そのころには体もだいぶ楽になっており、ちょうどよかった。最初にリュウグウ試料の分析をしたのは7月4日に高エネルギー加速器研究機構のフォトンファクトリーBL19AでのSTXM分析であった。昼過ぎくらいの時間帯にビームラインで待ち合わせだったところ、お昼の食堂がその日に限ってめちゃくちゃ混んでおり、やっとでできたねばねば丼を3分くらいでかき込んだものの、開始時間ぎりぎりになってしまい、皆さん準備万端でおそろいのところばつが悪かったものだ。ともあれ、最初にリュウグウの測定データを見たときは感動であった。その後、横浜国大での顕微赤外分光分析用に初めて試料を受け



図1: 2021年7月11日新横浜駅にて最初のリュウグウ試料を受け取った。

取ったのは7月11日、新横浜駅で固体有機物チームリーダーの薮田さんから手渡しであった(図1)。

夫が1年間育休をとってくれたのは大変助かった。そのため1年間の初期分析はスムーズに行えた、と言いたいところであるがそううまくはいかないこともある。リュウグウ試料は新鮮さが売りのひとつなので、ある程度予想できたことではあるが、身をもって鮮度を感じたのは周りの環境に非常に敏感でまるで呼吸をしているようだったことである。わかりやすいところでは、空気中の水蒸気、フィロシリケートを多く含む炭素質コンドライトは赤外スペクトルの 3400 cm^{-1} 付近にブロードな水の吸収帯が見られる。これらは主に空気中の水分の吸着によるものであり、 2900 cm^{-1} 付近の有機物(脂肪族C-H)のピークを見るのに邪魔になることがあるため、窒素ガス下などで弱く加熱して除去する場合がある。このような分析を行うと、リュウグウは吸着水が失われるのが早い。加熱ステージに窒素ガスを流しただけでも水の吸収帯の減少がみられる。一方で、比較のためのCIコンドライトでは、このようなことはなく、リュウグウでは十分な 60°C の加熱では多少は減るものの、まだ大きな水の吸収帯がのこっている状態であった。隕石の方は、地球上で保管されていた期間が長いので水をしっかり吸着していて取れにくいということであろうか。そしてやっかいなのは、測定中に脂肪族C-Hのピークがじわじわ増える、ということであった。いろいろ検証した結果、測定の最中に最も増えやすく、保管中はさほど増えない。30分以内に手早く測定すればあまり影響を受けない、ということである(論文投稿中)。ゼオライトを研究している方にさりげな

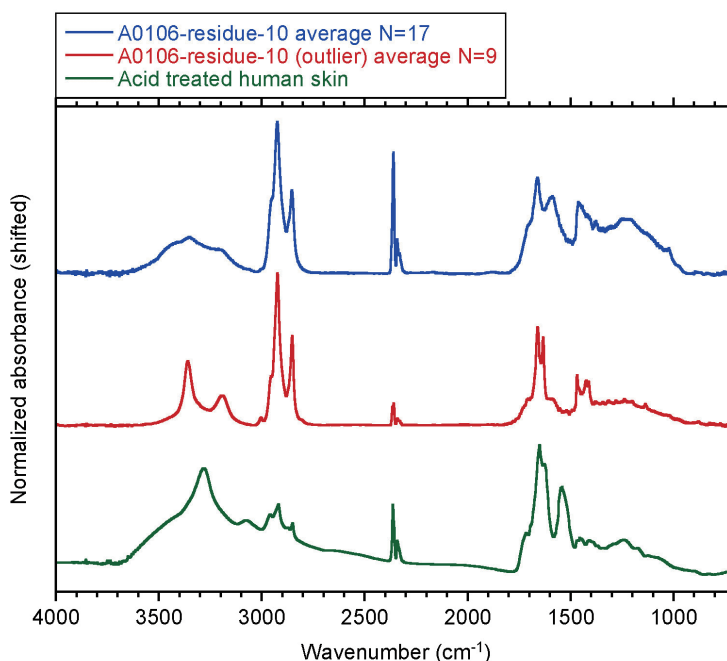


図2: リュウグウ試料A0106からの酸処理残差および酸処理後の皮膚の赤外吸収スペクトル。文献[5]を改変。

く聞いてみると、吸着サイト(新鮮な面)があればそりゃいろいろ吸着するわな、とのことであった。そんなものか。顕微赤外分光で透過測定をする際は、ダイヤモンド板に粒子を挟んで潰し、薄く平らな試料を用意するのだが、おそらくそのようにして新たに作られた吸着サイト(新鮮な面)に装置内に使われている機械オイルなんかに由来する揮発性有機化合物(Volatile organic compounds, VOC)が吸着したのではないかと考えている(論文投稿中)。以前からフィロシリケートに富む炭素質コンドライトはVOCを吸着しやすい、ということは分かっていたが[4]、それは顕微赤外分光用に潰した試料をシリコン素材とか粘着テープのようなものと一緒に保管しておくところしくないといったことだ。その手のものは当然使っていないにもかかわらず、測定中の数時間だけでこんなに吸着する、というのはリュウグウの新鮮さゆえであろう。VOC吸着説はチーム内の一部の人からは非常に不評だったこともあり、論文化するまでに時間がかかってしまったがなんとかこの記事を仕上

げる前に投稿することができた。初期分析の論文が書いていないまま、息子ばかりがVOC吸着並みの速さでどんどん大きくなる(注: あくまで筆者の体感であって定量的な比較ではない)ので焦ったものだ。

一方、固体有機物チーム、通称IOMチームの特色である、HF/HClを用いた酸処理で鉱物を溶かして回収した不溶性有機物(Insoluble organic matter, IOM)の分析については、上記のようなVOC汚染はさほど気にしなくてよいので気が楽である。IOMの作成は大変な作業ではあるが、このような縁の下の力持ち的な作業をしていただいたリーダーの薮田さんに感謝。しかし、こちらもひと悶着あり。リュウグウの酸処理残差には、通常の隕石IOMのような成分に加え、当初は“Sticky”と呼んでいた(論文出版時には“Outlier”と呼ぶことになった)、酸処理時に沈殿せず(薮田さん談)、やや色味の薄い(通常IOMは黒っぽいがstickyは茶色がかっていた)微量成分があった。赤外スペクトルを見ると、後者は 3350 cm^{-1} と 3180 cm^{-1} にN-Hのピークが出るこ

とが特徴的であった(図2)[5]。これらのN-Hのピークは前者のIOM-likeな相にも若干みられたので前者と後者の相は完全に分離されているわけではないのであろう。産業技術総合研究所の有機化合物のスペクトルデータベース(SDBS)で検索してみると、脂肪族一級アミドが似たような赤外スペクトルを示すため、これらと同等の官能基を持ち、溶媒抽出されないようなおそらくは高分子の成分であると考えられる[5]。こちらもこれまで隕石では見たことがないようなものだったため、なんだこれはとひと悶着で、前述のVOC吸着同様、一部の人からは不評であった。酸処理時のサーベントンプランクからはこのようなものは見られないため酸処理時の汚染ではなく(藪田さん談)、複数回にわたり独立して測定した複数セットの試料からも同様のスペクトルが得られたので分析中の汚染ではないということは言えそうである。さらに、もし汚染ということであれば、アミドという動物(ヒト)由来の汚染の可能性がある(例えばタンパク質などを構成するペプチド結合はアミド結合の一種である)、環境中から混入しやすい固体の汚染物質という皮膚が考えられるため、自分の皮膚をHF/HCl処理して測定してみた。自分の皮膚を酸処理というとドラスティックだが、何のことはない、ササクレを切って使用したのである。酸処理した皮膚の赤外スペクトルはRyuguサンプルのものとは異なったため(図2)、ヒト由来の汚染(皮膚)の可能性は排除できた[5]。さてそれなりに汚染の可能性は排除できたところで、これらoutlierは何者かということを考えてみる。カルボン酸とアンモニア(アミン)が脱水縮合することによりアミドが形成されるので、母天体からこれらを含む水が蒸発して抜けていく過程でできたのではないかと推測している[5]。これはリュウグウ試料から蒸発または凍結結晶化によって形成されたと考えられる炭酸ナトリウム鉱物などが見つかっていること[6]とも整合性があろう。

初期分析の成果については、本シリーズの藪田さんの回[2]に詳しく、このくらいしか書くことはないの、国際学会失敗談でも書いておこうと思う。失敗談の類は役に立つと信じている。「こういうことの無いように気を付けよう」と思ってもらってもよいし、読者諸氏が失敗したときに「こいつもやらかしてる」と思って気を休めるもよし。さて、初期分析の成果を皆で

発表しよう!と意気込んでいた2022年のLunar and Planetary Science Conference (LPSC)のことである。コロナ禍真っ最中、オンラインで参加。発表者は接続先が別なのに、聴衆と同じところに接続してしまい、発表者として認識されないという、盛大にやらかしてしまった。なんとか聴衆サイドからアピールして話させてもらったが持ち時間が大幅に短くなってしまった(早口でしゃべっていちおう一通りは話した)。事前のリハーサルまであったのに、だいぶ恥ずかしい話である。そこで科学者としてなぜそのようなミスをしたのかを考察してみる(つまり言い訳)。皆さんは「マミーブレイン」という言葉を知っているだろうか。ChatGPTに「マミーブレインとは?」と聞いてみると以下のような返答が来る(以下引用):

「マミーブレイン(mummy brain)」とは、主に出産前後の母親が経験する一時的な記憶力や注意力の低下、思考のぼんやり感などを指す言葉です。日本語では「産後ボケ」「ママ脳」と呼ばれることもあります。医学的には正式な診断名ではありませんが、ホルモン変化、睡眠不足、育児ストレスなどが関係していると考えられています。多くの場合、時間の経過とともに自然に改善します。

これが結構馬鹿にならない。比較的最近*Nature*誌のNews and Viewsに産前から産後にかけて自身の脳をMRIスキャンした人の記事が載っていた[7]。東京工業大学が東京医科歯科大学と統合したからといって医学の知識が身に付くわけではないので、ChatGPTとDeepLを駆使して元の論文[8]も読んでみると、妊娠に伴い大脳皮質の灰白質体積と皮質厚が顕著に減少し、白質の微細構造的整合性、脳室、脳脊髄液体積が上昇した、とのこと。灰白質の減少は、母性行動や感覚応答性の向上に関連する可能性があり、白質の増強は、感情・視覚情報処理の統合に寄与する経路の可塑的变化と考えられる[8]。いわゆる「マミーブレイン」は物忘れなどの否定的な側面よりは、育児への認知的・行動的適応とみるべきである[7]、とのことであった。ミスの言い訳になるのかならないのか、ともかく脳が大きく変化しているのはどうやら確かなようだ。なお、いわゆる「マミーブレイン」からはおそらく回復してきた今考えて、当時の実験データについては特に問題なかったであろうことは追記しておく。

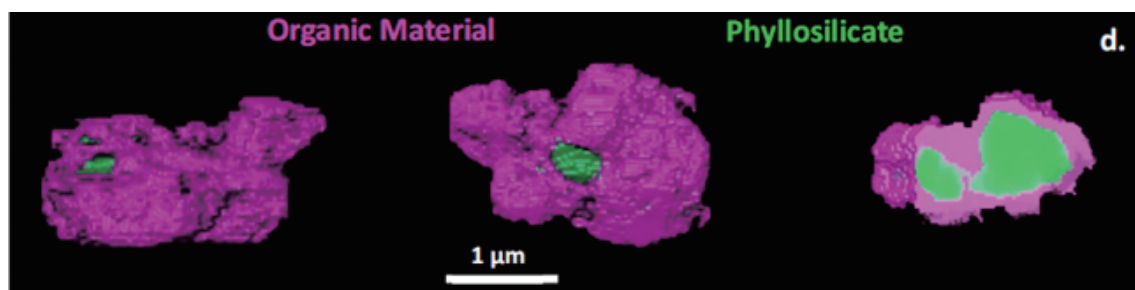


図3: フィロシリケートを包み込む有機物の3次元画像. 文献[9]より引用. Supplementary informationとしてウェブから3次元構造の動画が見られるので, こちらを見ていただくとよりわかりやすい.

以上のように, 初期分析の間はいろいろあったわけだが, オーシャンズもピンチがあるからこそ面白いのだ.

3. リュウグウ試料公募(AO)研究の紹介

ここからはまじめにAOで行った研究について紹介したい. 私がPIではないのだが, 2件のAO研究に参画した. 1つ目は, Hitesh ChangelaさんがPIのもの, 2つ目は Mehmet YesiltasさんがPIのものである.

1つめのほうは, STXMのデータは私が取得したものでコントリビューションは大きいと思う. その他, Changelaさんがメインで透過型電子顕微鏡(TEM)の他, FIB-SEMトモグラフィーという面白い手法を用いている[9]. FIB-SEMトモグラフィーは集束イオンビーム(FIB)を用いて試料をナノスケールで削り, 走査型電子顕微鏡(SEM)で各断面を撮影して3D再構築するという手法で, 同じく3次元分析だが非破壊のX線トモグラフィーと比べると, 破壊分析にはなるが, 高空間分解能であり, 元素分析ができるのが利点である. 私の行ったSTXM分析結果[9]は初期分析のSTXM分析結果[10]と比較して特に新しいこともないのだが, FIB-SEMトモグラフィーでフィロシリケートを包み込むような有機物(図3)[9]が見つかったのが面白いと思う. つまり水質変成でフィロシリケートができた後に有機物ができたというわけだ. もともと無水ケイ酸塩を有機物が包み込んでおり, そこに水が浸透してフィロシリケートができた可能性も完全には否定できないが,

2つ目のほうは, Yasiltasさんのナノスケール赤外分光法(nano-F TIR)がメインのプロジェクトである[11]. 比較のために, 通常の顕微赤外分光によるスペクトルも取得しておいた方が良いということで, 私の方で分析を行った. 初期分析では行わなかった, 大気遮断分析, つまり, 宇宙研から送られてきた試料を窒素パージしたグローブボックス内で開封し, 顕微赤外透過分析用に試料調整を行い, ガスパージできる加熱ステージ内に移したうえでグローブボックスから出して測定する, ということをやってみた. しかし, 赤外スペクトルは初期分析の時と特に変化はなかったのでほっとした. あとはnano-F TIRのための下働きで, 硫黄包埋したサンプルを作ってウルトラマイクロームを用いて平坦な面を出す, という作業を地味に頑張った. ウルトラマイクロームを使った薄片作成は何度か習ったことがあるがあまり自信はない. でも, 面だしだけなら何とかなる. 硫黄包埋も何かとテクニックが必要で, 複数の方に教わった方法を自分なりにアレンジして何とかうまくいく方法を編み出した(とはいえ時々失敗するが). 硫黄包埋やウルトラマイクロームを教えていただいた, 奥平恭子さん, 中藤亜衣子さん, 野口高明さん, 近藤正志さんには大変感謝しております. nano-F TIRの結果としては, 有機物は多様で, 芳香族・脂肪族炭素, カルボニル, エステル, アミド, アミン, ラクトンなどの官能基がみられた. イメージング分析から, 有機物の分布にA0030とC0034で異なる分布が見られた(図4)[11]. 先に述べた顕微赤外分光分析ではA0030とC0034はほぼ同様のスペクトルを示したので, このような詳細な分布が見られることはnano-F TIRならではの

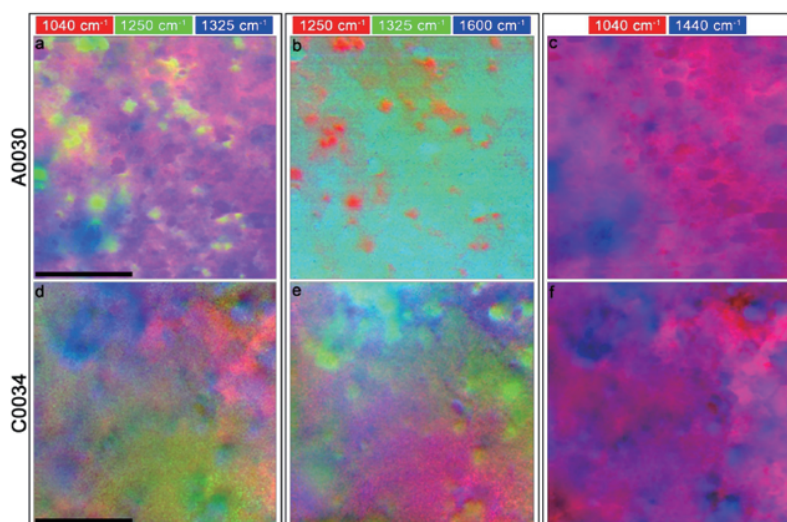


図4: リュウグウ試料のnano-FIRマップ。1040 cm^{-1} はフィロシリケートのSi-O, 1250 cm^{-1} 及び1325 cm^{-1} はC-O, 1600 cm^{-1} はC=C, 1440 cm^{-1} は炭酸塩。スケールバーは2 μm 。文献[11]より引用。

あろう。これらの差異は、母天体内部での水質変成の空間的な不均一、つまり水質、温度、もとの鉱物組成などの違いによると考えられる[11]。

4. 最後に

こうして振り返ってみると、初期分析の約1年はあっという間だった。そして子どもの成長は驚くほど早い。あんなに小さかったリュウ君が、今や身長が2倍以上になり、できることもたくさん増えた。一方で、自分の成長はというと成長しているのだろうか……。また、海外の共同研究者たちは論文をまとめるスピードがとにかく速い(人にもよるが)。AO研究で紹介したHitesh ChangelaさんもMehmet Yesiltasさんも、さっと原稿を仕上げてきて、気づけばAO研究に先を越されていた。Yesiltasさんは英語ネイティブではないので語学力の差は言い訳にならない。見習いたい限りである。

気を取り直して現在は小惑星比較研究チーム(Ryugu-Bennu Comparative Study Team)として、Bennu試料の分析にも取り組んでいる。「オーシャンズ2.0」だ。海外勢の2番煎じにはなりたくないところ。独自のアプローチもあるので、ご期待いた

だきたい(ハードル上げすぎか)。今後も、MMX計画による火星衛星フォボスからのサンプルリターンが予定されており、さらに彗星をターゲットとした次世代小天体サンプルリターンも検討が進んでいる。従来の地球外物質研究は、地球に降ってくる物質に依存した受動的なもので、どこから来たのかも不明なものが大部分だ。これからは、明確なターゲットに向かって自ら試料を取りに行く時代である。地上で手に入る地球外物質試料は、地球環境での風化や汚染の影響が否定できないことや、観測と実試料のギャップ、隕石として到達する物資のサンプリングバイアス(水や有機物が豊富で脆い物質は地上に到達しにくい)もあり、隕石(+惑星間塵や南極微隕石)だけでは限度がある。かつての大航海時代のように、サンプルリターン時代の到来は、惑星科学の新たなフロンティアを切り開く原動力となるであろう。そして、宇宙における物質進化、さらには生命起源の理解に大きく貢献すると期待される。次にどんな試料が私たちの手元に届くのか、想像するだけでも、この上なくわくわくする。

参考文献

- [1] 岩永理恵, 川口慎介, 2025, 社会政策 17, 67.
- [2] 藪田ひかる, 2024, 日本惑星科学会誌遊星人 33, 172.
- [3] 癸生川陽子ほか, 2019, ぶんせき 9, 405.
- [4] Kebukawa, Y. et al., 2009, Meteoritics & Planetary Science 44, 545.
- [5] Kebukawa, Y. et al., 2024, Meteoritics & Planetary Science 59, 1845.
- [6] Matsumoto, T. et al., 2024, Nature Astronomy 8, 1536.
- [7] McCormack, C. and Thomason, M., 2024, Nature 636, 583.
- [8] Pritschet, L. et al., 2024, Nature Neuroscience 27, 2253.
- [9] Changela, H. G. et al., 2024, Nature Communications 15, 6165.
- [10] De Gregorio, B. et al., 2024, Nature Communications 15, 7488.
- [11] Yesiltas, M. et al., 2024, Journal of Geophysical Research: Planets 129, e2023JE008090.

著者紹介

癸生川 陽子

東京科学大学 理学院地球惑星科学系 准教授。栃木県宇都宮市出身。東京工業大学にて修士課程修了の後、大阪大学にて博士課程修了。Carnegie Institution of Washington, 北海道大学, 横浜国立大学を経て2023年9月より現職。地球外物質中の有機物の分析や実験的研究を行っている。

もう一つの月世界へ： 火星衛星探査計画MMX その11 ～火星圏の特性評価のためのMIRSスペクトロ メーター～

マリア アントネッラ バルーチ¹, パーネル ベルナルディ¹, クリストフ・ドニー²,
岩田 隆浩³, 中川 広務⁴, 中村 智樹^{4*} and MMX MIRS チーム

(要旨) MIRS(MMX InfraRed Spectrometer) は, JAXAの火星衛星サンプリングミッション (Martian Moon eXploration) のために開発されたプッシュブルーム方式の赤外分光計である. MIRS は0.9～3.6 μm の波長域で火星圏を観測するよう設計されている. フォボスとダイモスの表面組成を測定し, 火星大気の変動を調査する.

1. はじめに

MIRSは, JAXAの火星衛星探査機MMXに搭載される撮像分光器である[1-3]. パリ天文台-PSL所属のLESIA(現LIRA: Laboratory for Instrumentation and Research in Astrophysics)が, 他の5つのフランス研究所と共同で開発し, CNESの協力と財政支援, ならびにJAXAおよびMELCOとの緊密な連携のもとで製造された.

MIRS撮像赤外分光計は, MMXのミッション目的を達成するために設計された. 0.9～3.6 μm の波長域で動作し, 分光波長分解能は約20 nmである. MIRSはフォボスを異なる軌道高度から観測し, これまでにない高い空間分解能でフォボスの表面特性を明らかにする.

QSO-M(中高度の擬周回軌道)では, フォボスの表面は20 mの分解能で観測され, より低い軌道ではより高い分解能で観測される. MIRSの高い信号対雑音比(S/N)は, フォボスの鉱物組成や物質分布

を特定することができる. ダイモスを複数回フライバイする間, MIRSは100 m以上の空間分解能で主要な領域を分光し, フォボスで観測されたのと同じ主要な吸収帯を検出し, 2つの衛星を直接比較することができる.

MMXの高度約6000 kmの火星赤道軌道により, MIRSは火星大気のマップを作成し, 他機器可視カメラと密接に協力して火星大気の短寿命気象現象を観測することができる. MIRSの火星観測は, ダストや雲だけでなく, 大気分子分布の時間的進化を追跡する世界初の観測になる.

ミッションの目的を達成するために, MIRSは以下の科学目標に回答を与えるべく設計されている: 1) フォボスが捕獲された小惑星として誕生したのか, それとも巨大衝突によって誕生したのかを明らかにする, 2) ダイモスの起源について新たな制約を与える, 3) 火星の気候の変遷に影響を与える火星大気中の物質循環のメカニズムを解明する.

2. MIRS 機器特性

MIRSはプッシュブルーム型のイメージング分光器である. 1つの検出器(2Dマトリクス)により, 一方方向のストライプの画像(空間方向)と, そのストリップの各ピクセルの第2方向のスペクトル(波長方向)を

1.LIRA-Observatoire de Paris, Université PSL, CNRS

2.CNES

3.ISAS/JAXA

4.東北大学

tomoki.nakamura.a8@tohoku.ac.jp

取得する。縦長の空間視野を探索機の進行方向にスキャンすることにより、2次元の画像と画像内各ピクセルの分光データを取得することができる。

MIRSは、電子機器部分(EBOX)、光学部分(OBOX)、EBOXとOBOXを接続するハーネスの3つから構成される(図1,2)。

OBOXは、主構造体、分光器と検出器、および分光器を -20°C 以下に受動的に冷却するための2つのラジエーターで構成されている。設計は、光学部品のアライメント精度を満たし、動作温度範囲における安定性を満たすことに注力された。EBOXはMMXシステムパネルと熱的に結合されている。

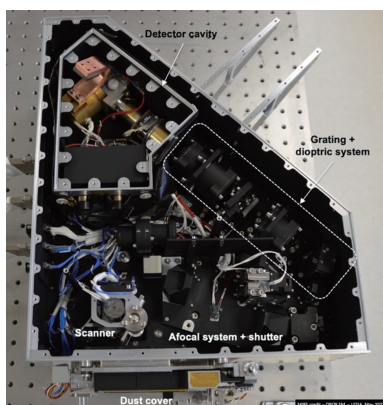


図1: OBOXの内部構造と外観。

EBOXには2つの電子基板が搭載されている:

- LVPS(低電圧電源) ボードは、MMXプラットフォームから供給される非レギュレーション $+50\text{V}$ からすべての電源電圧を生成する。
- ICU(Instrument Control Unit) ボードは、FPGA(Field Programmable Gate Array)を介してすべてのサブシステム(検出器アセンブリ、シャッター、スキャナー、ダストカバー、校正ランプ)を制御する。このボードは、2本のSpaceWireリンク(標準用および冗長用)を介してMMXMDP(ミッションデータプロセッサ)と通信する。

OBOXにはすべてのサブシステムが含まれている:

- 分光器のスリット上に結像させる望遠鏡。
- 光を分散させ、焦点面に結像させる分光器。スリットの後、入射光はコリメートされ、グレーティングに入射されることで波長方向に分散される。

- 画像を取得しデジタル化する検出器アセンブリとその近接エレクトロニクス(PE)。検出器は暗電流を低下させるため、冷凍機を使って 110 K まで冷却される。

- 軌道方向スキャナー
- 背景画像を取得するためのシャッター
- OBOXの入射窓を保護するダストカバー
- 飛行中に検出器の波長と感度を校正するランプ
- 装置を適正な温度範囲に保つための熱機器。OBOXを -40°C 以上に保つためのヒーターとメカニカルサーモスタットで構成されるサバイバルシステム、および分光器の熱放射を抑えるために受動的に冷却する2つのラジエーターで構成される。

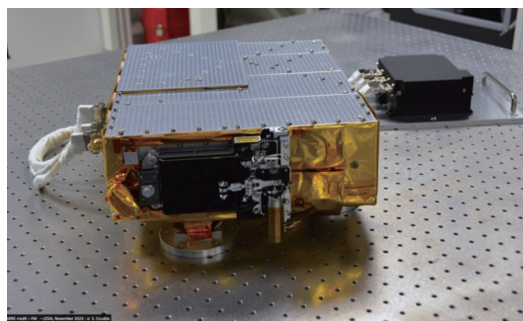


図2: MIRS分光器、フライトモデルの写真(左がObox, 右がEbox)。

光学系(図3)は次のように構成されている:

- 入射窓
- 走査ミラー
- 結像部: i) 分光器の入射スリットがある焦点面に、実像を作る結像望遠鏡, ii) 回折格子上に平行ビームを得るためのコリメータ。
- 光を分光する回折格子
- 光を実焦点面に集光する対物レンズ(対物レンズ1)
- 瞳を検出器のコールドストップ上に、分光像を検出器の感光領域上にそれぞれ結像させるリレー対物レンズ(対物レンズ2)

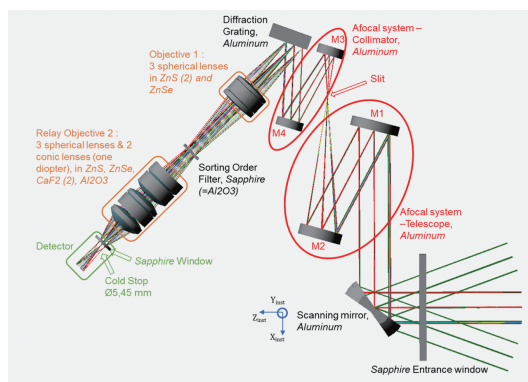


図3: MIRS 光学系.

表1: MIRS 性能表.

Parameters	Values
Spectral range	0.9 – 3.6 μm
Sampling	10.0 – 11.6 nm
Spectral resolution	21 nm in 0.9 – 3.2 μm and <32 nm in 3.2 – 3.6 μm
iFoV	0.325 – 0.350 mrad
FoV	$\pm 1.65^\circ$
S/N	106@3.2 μm in 2s for spectrometer temperature of 246K Conditions: 30° solar incidence, at 1.5AU, with typical Lambertian surface, and 30° phase angle.
Typical exposure time (raw image)	70 – 300 ms for Phobos observation. 40 – 150 ms for Mars observation. Raw images are co-added to reach the specified SNR

3. MIRS装置性能

最初のMIRSの性能検証プロセスは、低温 (-27°C)、大気圧でのOBOX搭載時の初期性能測定であった。最終的な性能は、数週間にわたる熱真空試験で評価された。専用の光学テストベンチが開発され、真空チャンバーの前に設置され、全波長範囲と全視野をスキャンできるようになった。

S/N予測は、開発当初に作成された数値シミュレーションによって行われた。このモデルは装置の測定特性(光透過率, 検出器暗電流, 量子効率, 読み出しノイズ, コールドストップ径)を考慮してさらに改良された。実機の検証は、熱真空試験中の測定データとモデルでの予測値を比較することによって行われた。このモデルは、特に熱バックグラウンドの

正しい評価を確認するのに役立った。モデルは、観測パラメータ(太陽照度, アルベド)と観測制約(最大許容積分時間)を入力として使用する。図4では、典型的な分光器温度(246-263 K)に対するS/N予測を示している。最高253 Kにおいて、2秒未満の測定で波長3.2 μm まで100以上のS/Nに達するという要求は、 30° より低い位相角で満たされている。より良いS/Nは、より低温の装置温度とより低い位相角で達成される。

専用ベンチ(CARA)を使用し、装置のOBOX温度(33°C , -20°C , -10°C)、黒体温度(300°C , 400°C , 500°C , 600°C , 800°C , 1000°C)、積分時間(0.2 msから最大25 msの範囲)を変化させ、相対および絶対放射量校正の精度を測定した。相対校正と絶対校正のために、火星に向かうMMXの巡航中に分光測光標準星の観測が予定されており、全スペクトル範囲におけるMIRSの校正が可能であり、ミッション中定期的に繰り返される。MIRSの装置性能は表1にまとめられている。

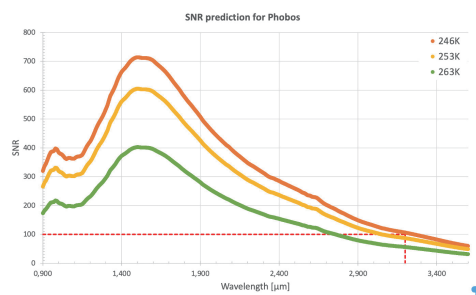
図4: 3つの分光器温度、位相角 30° におけるフォボス観測時のS/N評価。積分時間2秒未満.

図4に示すように、予想されるS/Nは波長が大きいほど低くなる。低位相角での観測はS/Nを向上させる。S/Nを最適化するためには、積分時間を長くすればよい。

4. 予想される成果

MIRSはフォボスの擬周回軌道(QSO)の高高度、中高度、低高度、およびダイモスの複数のフライバイで赤外スペクトルを取得し、異なる空間分解能でフォボス表面組成を調べる。MIRSによって達成される高いS/Nと前例のない空間分解能は、フォボスの赤

色と青色のユニットの物質組成と鉱物特性を把握することを可能にし、フォボス表面全体の地形多様性に関連する局所的な組成の不均一性を明らかにし、さらにダイモス表面の特徴も明らかにする。

MIRSは、測定波長範囲内にあるすべての吸収帯を分光学的に検出し、火星の2つの月の鉱物と有機物を含む物質組成を特定する。吸収帯の検出は深さ3%程度あれば可能である。火星の月以外の外来物質が存在する場合は、観測可能な空間分解能より物体が大きければ検出することができる。

MIRSは、高い空間分解能でフォボスの表面温度を測定し、表面の熱慣性を導き出すことができる。この熱慣性は、レゴリスの粒径や物質の空隙率に関する制約を与える。ダイモスの表面組成は、MIRSの観測によって、おそらく100 m以上の空間分解能で主要領域をマッピングし、フォボスで観測されたのと同じ主要な吸収帯を検出することによって二つの月の物質分布を比較できる。またこれらデータによって、潮汐変形のような火星まわりの位相に関連した地形変形などを検出することができるかもしれない。

MMXの軌道はフォボスと同じ軌道で、火星の観測に最適である。MIRSは数日で火星の全球マップを完成させ、1時間単位で特定のエリアの変動をカバーすることができる。MIRSの観測は、火星大気中のダストや水の輸送過程を制約する。塵の含有量や嵐、水氷の雲や水蒸気の分布をモニターすることによって、火星環境の歴史について新たな洞察を与

えるだろう。MIRSは搭載カメラと密接に協調観測することで、火星大気における短寿命の気象現象を観測することができる。特に、MIRSは2.0 μm バンドの分析で CO_2 を導出することができ、2.35 μm でCO、1.27 μm で O_2 、2.6 μm バンドで水蒸気を検出し、0.9~3.6 μm のスペクトル特徴で水氷雲を研究することができる。また、MIRSのスペクトルから、地表のレゴリスに吸着している水分量を推定することもできる。

MIRSは、i) フォボスの組成が、捕獲起源を示唆するフィロケイ酸塩、有機物および氷を含む炭素質コンドライトに似た、原始的な暗い小惑星に近いものか、ii) フォボスの組成が、たとえ少量であっても、巨大衝突による起源を示唆する火星のケイ酸鉱物や衝突時の高温相物質を含むものかを判別するのに役立つ。

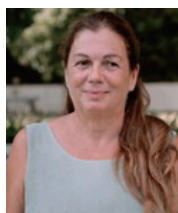
MIRSはMMXの他の搭載機器による観測とリターンサンプルの分析とともに、火星の月の起源と火星環境の進化過程を明らかにすることができる。

参考文献

- [1] Barucci, M. A. et al., 2021, Earth, Plan. and Space 73, 211.
- [2] Kuramoto, K. et al., 2022, Earth, Plan. and Space 74, 12.
- [3] Barucci et al. 2025, PEPS (2025) 12, 69.

著者紹介

マリア アントネッラ バルーチ



ラ・サピエンツァ・ローマ大学(イタリア)で数学博士号を取得後、JPL-カリフォルニア工科大学(米国)でポストドクを務め、1993年にパリ第7大学(フランス)で「天文学研究指導のためのハビリテーション」を取得。パリ天文台のLIRA(Laboratory

for Instrumentation and Research in Astrophysics)の上級研究員(特級)。ESA, JAXA, NASAの多くの惑星ミッションに共同研究者として参加。ESAのロゼッタ・ミッションを定義し、推進したチームの一員。OSIRIS-RExミッションへの卓越した貢献により、NASAシルバー・アチーブメント・メダルを受賞。JAXA MMXミッションのMIRS分光計の主任研究員。

パネル ベルナルディ



2002年以来、パリ天文台の一部門である国立科学研究センター(CNRS)の研究所, LIRA(旧LESIA)で研究エンジニアを務める。そのキャリアの中で、太陽系外惑星検出や星震学のためのCoRoT衛星を含む宇宙飛行装置の設計、組み立て、校正を行った。火星探査車パーシビアランス搭載スーパーカムマストユニットの技術開発を主導。MMXミッションに搭載されたMIRS観測装置のシステムエンジニア兼プロジェクトマネージャー。2001年にフランスのInstitut d'Optique Graduate Schoolを卒業。

クリストフ・ドニー



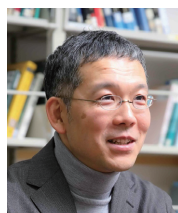
1997年にフランス国立電気通信工学研究所を卒業後、1999年にCNES(フランス国立宇宙センター)に入り、電気通信の研究に携わる。2007年、宇宙運用副本部長に就任し、さまざまなミッションの運用リーダーを務める：星震学と太陽系外惑星探査のためのCoRoT衛星、火星探査車キュリオシティのケムカム分析カメラ、MICROSCOPE衛星(等価原理研究のための基礎物理学)など。2018年、火星探査車パーシビアランス搭載スーパーカム運用センターの定義と開発を担当し、運用チームを率いる。2024年からは、JAXA MMXミッションのMIRS観測装置のCNESプロジェクトマネージャーを務める。

岩田 隆浩



宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所准教授。名古屋大学大学院理学研究科修了。理学博士。郵政省通信総合研究所主任研究員、宇宙開発事業団副主任開発部員を経て、2003年より現職。かぐや、はやぶさ2、MMX各プロジェクトに参画。専門は固体惑星科学、宇宙測地学、電波天文学。日本惑星科学会、日本天文学会、日本地球惑星科学連合等に所属。

中川 広務



東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻准教授。同専攻博士課程修了。博士(理学)。専門は超高層大気・惑星大気物理学。地球電磁気・地球惑星圏学会、日本惑星科学会、日本地球惑星科学連合等に所属。JAXA MMXミッションのMIRS分光器の共同主任研究員。



中村 智樹

東北大学大学院理学研究科地学専攻教授。東京大学大学院理学系研究科修了。博士(理学)。九州大学理学部助手、NASA/JSC太陽系探査部門、独マックスプランク研究所・宇宙化学部門に留学。九州大助教授を経て2012年から現職。初期太陽系進化学研究室を主宰。はやぶさ、はやぶさ2では初期分析を担当。MMXでは科学戦略チーム「Origin of Phobos and Deimos」のPI、およびミッションオペレーションワーキングチーム主査。MIRS分光器の共同科学主任。

もう一つの月世界へ： 火星衛星探査計画MMX その12 ～MSAはフォボスと火星大気の質量分析を行う～

横田 勝一郎¹, MMX MSAチーム

(要旨) MMX探査機に搭載されるMSAの開発は、太陽系惑星間空間でのプラズマ諸現象の「その場(in-situ)」観測を目的に、発展を続けてきたプラズマ計測技術を元に行っている。フォボス表面や火星大気を由来とするイオンを質量分析するため、MSAの質量分解能は大きく向上されている。本稿では、フォボスの起源や火星大気の進化の解明を目指すMSAについて紹介する。

1. はじめに

MMX探査機搭載のMSAは、イオン質量分析器と磁力計で構成され、火星衛星の起源や火星圏の変遷の解明を観測目的としている[1]。火星とその衛星は、他の太陽系天体と同様に太陽から吹きつける超音速プラズマ(太陽風)に晒され、様々な影響を受けている。火星では、大気が太陽風を直接受けて一部は宇宙空間に散逸し、電離層には誘導電流が発生して、周囲には磁気圏が形成される。フォボスやダイモスの表面にも太陽風は直撃し、二次粒子が叩き出され、周囲には非常に希薄な外気圏が形成される。MSAの出自はこのようなプラズマ環境のその場(in-situ)観測を行う計測装置であり、類似の機器は月周回衛星「かぐや」、水星探査機「ベビコロンボ」などに搭載されてきた[2]。

今回のMMX計画では、MSAが観測する対象は依然としてプラズマ環境(イオンと磁場)であるが、その目的は火星-衛星系の起源や進化の解明である[3]。このような研究テーマの発展的転換は、主に「かぐや」による月周辺のイオンと磁場観測成果を元に構築され、鍵となったのは質量分解能を $M/\Delta M \sim 100$ まで向上させることであった。本稿では、MSAの原理や性能、科学目標及び対応する観測計画を報告する

文献[3-5]を参照し、MSAの概要や予定する観測について概説する。

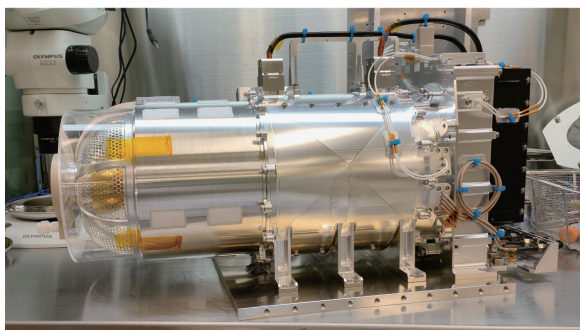
2. MSAの概要

MSAの構成要素として、その場のイオンを取り込んでエネルギーと質量を計測するイオン分析器と、磁場3成分を計測する2つの磁力計がある(図1)。自然界の磁場と探査機由来の磁場を区別するため、磁力計は2台構成である。この他に、コマンドやデータを処理する電子基板を収めた制御部がある。

イオン分析器にはその断面図(図1右)が示すように、上半部にトップハット型静電分析器があり、下半部にTime-Of-Flight型質量分析器がある[4]。最上部にはドーム型グリッドの開口部があり、交互に0 ~ +5 kV電圧が掃引される、一対の視野選別電極によって半球(2π sr)以上の視野が確保される。その下に位置する内側の球殻電極には0 ~ -5 kV電圧が掃引され、入射イオンはエネルギー選別を受ける。その後入射イオンは下半部の質量分析器に進み、-12 kVに印加された超薄膜炭素に向かって加速する。入射イオン透過の衝撃で発生した二次電子は、最下部の検出器MCPでスタート信号として処理される。透過によって中性化した入射イオンは、そのままMCPに到達してストップ信号となる。イオンのまま透過した場合、入射イオンは分析器内の電場による反射を

¹大阪大学大学院理学研究科
yokota@ess.sci.osaka-u.ac.jp

イオン分析器



磁力計

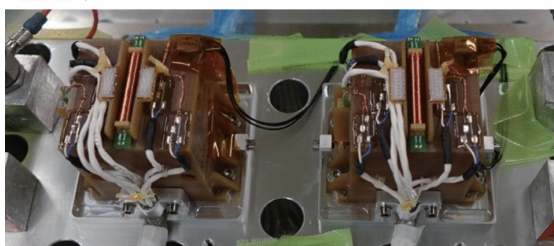
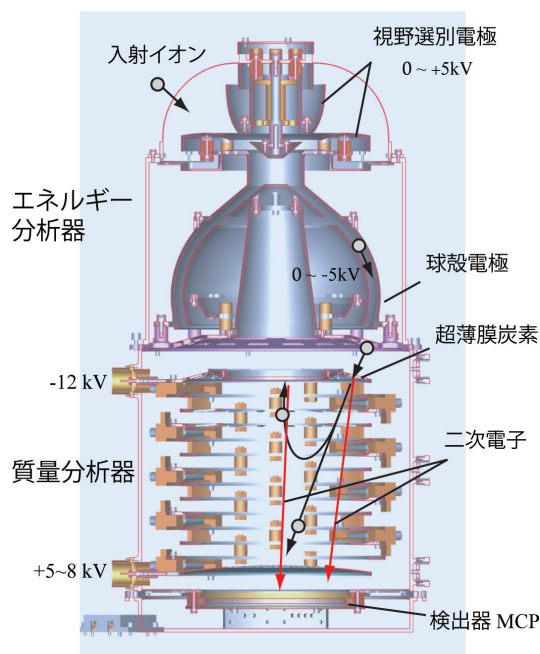


図1: MSAイオン分析器と磁力計の写真，およびイオン分析器断面図.



受けて天井部に衝突する。そこで発生した二次電子が、ストップ信号としてMCPにて検出される。スタート信号とストップ信号の時間差から、入射イオンの質量情報を獲得する。質量分解能を $M/\Delta M \sim 100$ に向上させるため、分析器内の電場は線型に増大する特殊な形態で設計されている。

MSAの磁力計は、基本波型直交フラックスゲート方式によってDCから ~ 100 Hzまでの変動成分の磁場を計測する[5]。出力信号のオフセットを大幅に低減するため、センサの励磁方法として新たに開発したバイアス・スイッチング、センサ、回路設計を利用し、従来の宇宙機用磁力計として大幅な小型化・軽量化・省電力化が実現されている。

3. MSAの火星一衛星系プラズマ環境観測

3.1 地球-月系のプラズマ環境

MMX探査機搭載MSAによる観測に先んじて、地球の月周辺のプラズマ環境に関する観測成果が、「かぐや」、ARTEMIS、Lunar Prospectorなど複

数の探査機から既に得られている。MMX計画でも同様の観測が期待されるため、観測によって近年大きく更新された月周辺プラズマ環境の描像を紹介する。適宜、月をフォボスに、地球を火星に読み替えることが可能である。

宇宙空間を満たすプラズマには、多くの場合巨視的に電磁流体としての近似が用いられ、降着円盤など宇宙の諸現象や、太陽風、地球磁気圏などは遜色なく記述されている。しかしながら、構成要素であるイオンと電子の運動の違いや、それぞれの粒子的挙動も重要であり、近似を拡張する取り組みが理論と観測の両面から続けられている。月の大きさはイオンの慣性長に近くなるため、その周辺はプラズマが絶えずイオンスケールで乱される迷え向きの状況となる。「かぐや」などによるプラズマ観測は、その事実を認識する契機となった[6]。

図2は太陽風や地球磁気圏の影響を受ける月周辺プラズマ環境の概念図である。太陽光に晒される月の昼側には太陽風も到来し、月面に吸収される。結果として夜側には何も無い領域(Void)が形成され、太陽風のイオンと電子はそれぞれの熱速度で徐々に

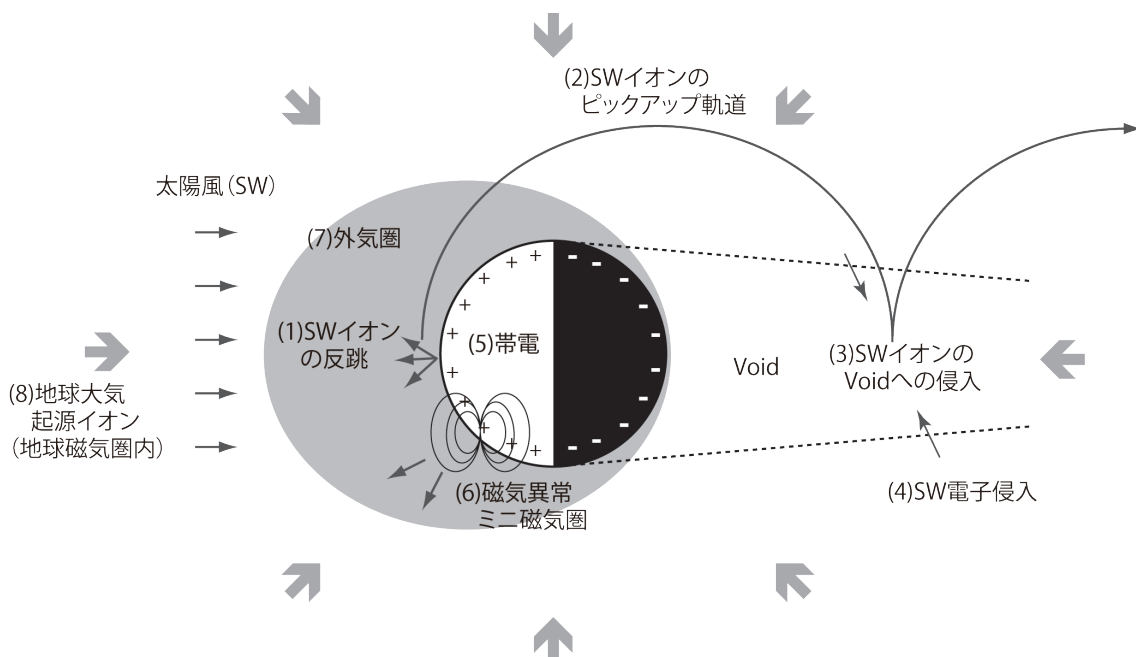


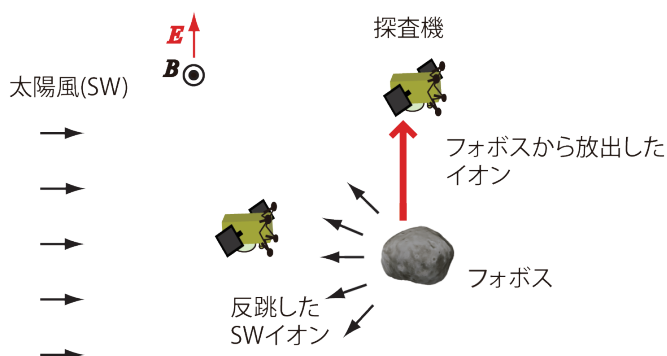
図2: 月周辺のプラズマ環境の概念図。

侵入する。ここまでは従来の流体近似の描像であるが、ここから近年の観測により追記された特徴を紹介する[7]。(1)太陽風イオンは半分未満が月面で反跳し、大部分は中性化するが、(2)一部はイオンのままで太陽風全体の運動と異なるピックアップ軌道を取る。(3)このようなイオンはVoid領域に効率よく侵入し、(4)さらに周辺の電子をVoidへと引き付ける。(5)昼側では日照により光電子が発生し、結果として地表面は正に帯電する。夜側は周囲のプラズマの状況に応じて、多くは負に帯電する。その結果、昼夜境界には電場が発生する。このような電場は、局所的な地形による日向・日陰の境界でも発生すると考えられる。(6)月は全球的な磁場を持たないが、大小様々な磁気異常を有する。イオン慣性長未満の絶妙な大きさのミニ磁気圏として太陽風と相互作用を行うため、周辺にはイオンスケール未満に抑制されたプラズマ諸現象が顕著になる。(7)太陽風や太陽光の照射により月面から様々な単原子・分子が放出され、月面を基底面とする外気圏が形成される[8]。月が地球磁気圏の中にある場合は、(8)地球大気起源のイオン(地球風)が吹き付けることになる。

3.2 MSAの観測対象

ここまでプラズマ環境自体を研究する視点から図2(1)-(8)の特徴を紹介したが、ここからは月の起源や進化に関する視点から特徴を紹介し、MMX計画への展開を提示する。最も重要な観測対象は、(7)探査機高度まで広がる月の外気圏である。その構成粒子は、太陽風やダストなど外的要因を疑う必要はあるが、月面物質を起源として組成比などの情報を含んでいる。地球から可視光で観測されるNaやKが外気圏粒子として最も知られているが、貴ガス元素もLADEE探査機の質量分析により検出されている。太陽風イオンを一次イオンビームとすると、近傍の探査機上で行う質量分析は、実験室で行う試料分析の一つである二次イオン質量分析(SIMS)と同一視できる[9]。実際に「かぐや」による月の金属イオンの質量分析は、文献[9]と比較すると月面物質は始原始的ではなく進化を受けた傾向を持つことを示した。この結果は、遅まきながら月の起源に対して巨大衝突説を支持している。月の外気圏には水が含まれる報告もあり[10]、探査機での質量分析は水を検出する有効な手段となっている。このように、MMX探査

太陽風中



火星磁気圏中

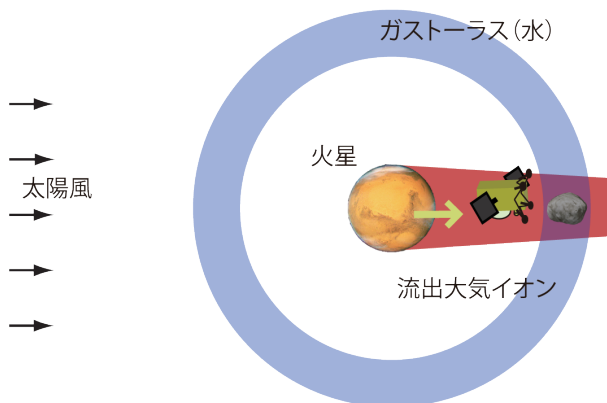


図3: MMX探査機搭載MSAによるイオン観測.

機上のMSAはフォボス表面に対して広域のSIMS分析を行い、内部氷(が作るガストーラス)がある場合は水分子イオンを検出し(図3)、フォボスの起源に迫ることが期待される。

月面物質の変遷においては、(1)月面に対して太陽風イオンが吸収・反跳されることや、(7)その衝撃で月面物質が放出されることの影響は大きい。また、(5)親惑星である地球から飛来する大気起源イオンも月面に吸収される。月面には、太陽風や地球大気の積年の履歴が残されているかもしれない。地球風という名称は、月の表側のみに吹き付けることを想起させるが、実際には極域や裏側を含む月面全てに地球

起源イオンは到来することができる。地球磁気圏のダイナミクスによって、逆方向の風や大きな熱速度が発生するためである。MMX計画でのMSAの役割としては、図3のようにフォボス表面物質の変遷に関わる全てのイオン入出力を定量的に観測することや、火星大気起源イオンから火星大気流出を観測することが挙げられる[11]。

以上のように、MSAイオン分析器はフォボス起源の金属イオンや水イオン、火星大気起源のイオン(同位体を含む)を観測対象とするため、質量分析には精度良く元素を同定することが求められる。そのため質量分解能は「かぐや」搭載イオン分析器ではM/

$\Delta M \sim 20$, 「ベピコロンボ」搭載イオン分析器では $M/\Delta M \sim 50$ であったが, MMX 搭載 MSA イオン分析器では $M/\Delta M \sim 100$ に向上させた. その他については, これまでの標準的な性能で十分であると見積もった.

MSA 磁力計は, イオンの運動を支配する太陽風の磁場を測定することを目的としている. 「かぐや」などの磁場計測では, (6)月の磁気異常が網羅的に調べられ, 月面分布マップまで作成されている[12]. しかしながら, その成因は今も複数のモデル検討があるものの未解決問題である. フォボスには磁気異常が無いというのが大方の予想であるが, MMX 探査機の低高度運用や着陸運用は絶好の観測機会となる. 万が一磁気異常を発見した場合はフォボスの起源に一石を投じることになるが, 計測感度以下の結果となっても上限値を導出することは可能である.

4. おわりに

MSA は MMX 計画の観測目的に合致するよう質量分解能を大幅に向上させているが, プラズマ環境の観測自体に変わりはない. 観測目的毎に排他的な運用を必要とせず, データ解析する際に利用者が自由に研究テーマを選ぶことになる. 「かぐや」によるプラズマ観測の場合も, 初期はプラズマ環境に関する研究の成果報告が主であったが, 最近では MMX 計画も契機となり月の科学に関わる成果が出続けている. MSA はこのように様々な研究テーマに対して広く間口を持つため, 将来の観測データに対して様々な利用があることを期待している. 目の前にある MMX 計画への貢献を目指して開発された MSA で

あるが, 今後様々な太陽系探査への利用も考えられる. そのためにも, MSA チームは MMX 計画に携わる全てのグループやメンバーと連携して, 観測成果の最大化に努めていきたい.

References

- [1] Kuramoto, K. et al., 2022, Earth Planets Space 74, 12.
- [2] 横田勝一郎, 寺田健太郎, 2018, プラズマ・核融合学会誌 95(6), 277.
- [3] Yokota, S. et al., 2021, Earth Planets Space 73, 216.
- [4] Yokota, S. et al., 2025, Prog Earth Planet Sci 12:51.
- [5] Matsuoka, A. et al., 2025, Prog. Earth Planet. Sci. 12:67.
- [6] Halekas, J. S. et al., 2011, Planet Space Sci 59(14), 1681.
- [7] Farrell, W. M. et al., 2023, Rev. Mineral. Geochem. 89(1), 563.
- [8] Grava, C. et al., 2021, Space Sci. Rev. 217, 61.
- [9] Schaible, M. J. et al., 2017, J. Geophys. Res. Planets 122, 1968.
- [10] Benna, M. et al., 2019, Nat. Geosci. 12, 333.
- [11] 益永圭ほか, 2024, 遊星人 33, 1.
- [12] Tsunakawa, H. et al., 2015, J. Geophys. Res. Planets 120, 1160.

著者紹介

横田 勝一郎

大阪大学大学院理学研究科准教授. 東京大学大学院理学系研究科博士課程修了. 博士(理学). 情報通信研究機構専攻研究員, JAXA 宇宙科学研究本部助手, JAXA 宇宙科学研究所助教を経て2017年10月から現職. 専門は惑星科学, 宇宙プラズマ物理学, 飛

翔体・宇宙機による粒子計測. 「かぐや」, 「ベピコロンボ」, MMS, 「あらせ」, MMX 探査機計画やICI-2, SS520-3 ロケット実験にて粒子計測器の開発に従事. MMX では MSA の PI を務める.

一番星へ行こう! 日本の金星探査機の挑戦 その64 ～あかつきと共に歩んだ学生生活～

岩中 達郎¹

(要旨) 大学に入学した2016年から、この度博士号を取得した2025年10月までの約9年半、金星大気の研究に取り組みました。「あかつき」がリアルタイムで送り届けた貴重なデータと向き合い、その解析を行った日々は、「あかつき」と過ごした学生生活でした。本稿では、筆者の博士課程での研究内容についてご紹介します。

1. はじめに

この度、東京大学大学院理学系研究科にて博士(理学)の学位を授与されました。大学に入学した2016年から、博士号を取得した2025年10月までの約9年半、多くの方々のご指導とご支援のもと、金星大気の研究に没頭する機会をいただきました。振り返れば、私の学生生活は、「あかつき」が金星周回軌道で観測を続けた期間(2015年12月～2024年4月)とほぼ重なります。まさに「あかつき」と共に歩んだ学生時代であり、そのデータを用いて一つの研究を成し遂げられたことに、深い感慨を覚えます。

金星は地球の環境と似ても似つかない惑星です。約90気圧という高压の二酸化炭素大気に覆われ、地表温度は約460℃にも達する灼熱の世界です。上空には4日で一周する「スーパーローテーション」と呼ばれる高速な東西風が存在します。そして、この過酷な環境を特徴づけるのが、高度約45 kmから70 kmにわたって惑星全体を絶えず覆う、濃硫酸の分厚い雲です。この雲は太陽光の約8割を反射し、金星のエネルギー収支を支配する極めて重要な存在です。

この硫酸雲の材料となるのが、二酸化硫黄(SO_2)です。 SO_2 は、雲頂付近の高度(約70 km)で太陽からの紫外線を受けて光化学反応を起こし、硫酸エア

ロゾルへと変化します。このプロセスが、金星の分厚い雲を維持していると考えられています。しかし、 SO_2 がどのようにして雲の下から雲頂へと運ばれ、どのくらいの量が実質的に供給されているのか、そしてその変動が金星の気象や気候にどう影響しているのか、多くの謎が残されています。

私の博士研究は、「あかつき」の観測データを用いて、この金星雲頂における SO_2 の分布とその時間・空間変動を詳細に捉え、その背後にある大気の動き(力学)との関係を明らかにすることを目的としました。まさに私が研究の道を歩み始めたのと時を同じくして観測を開始した「あかつき」のデータを用いることができたことは、とても幸運なことでした。

2. 「あかつき」データと解析手法

「あかつき」に搭載された紫外撮像装置(UVI)は、283 nmと365 nmという2つの紫外線の波長で金星の雲頂を撮影することができます。283 nmは SO_2 が強く紫外線を吸収する波長、365 nmは硫酸雲そのものや、正体不明ながら雲の模様を作る一因とされる、未同定の紫外線吸収物質の吸収波長に対応しています。当初、この2つの波長の画像を比較することで、 SO_2 と未同定吸収物質の分布を捉えることを目指しました。しかし、 SO_2 と未同定吸収物質の吸収帯は完全に分離しているわけではなく、特に SO_2 の吸

1. 理化学研究所 計算科学研究センター
tatsuro.iwanaka@riken.jp

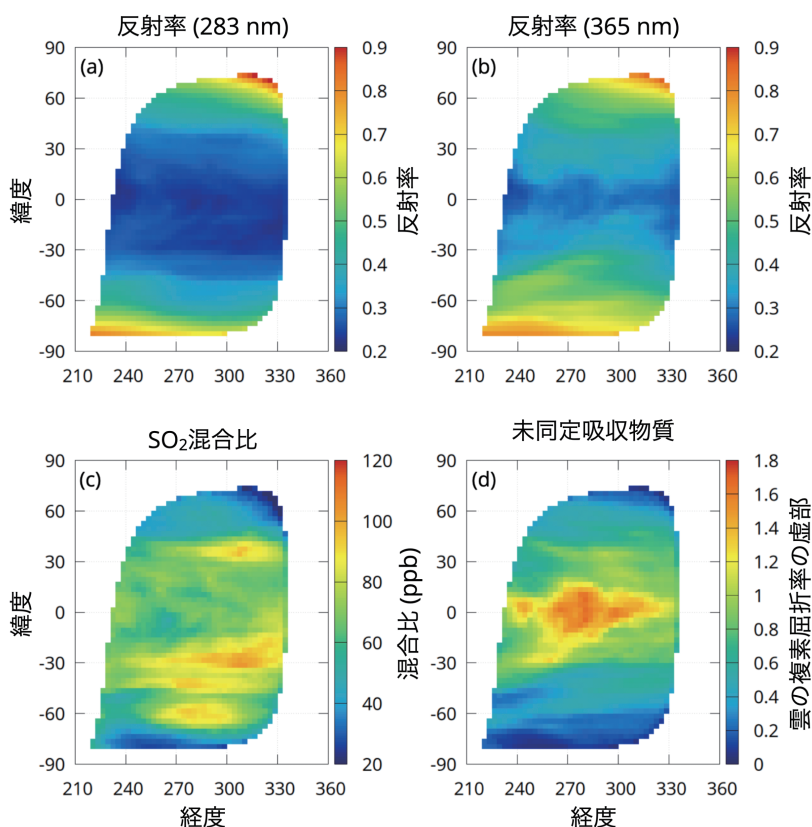


図1: 「あかつき」が観測した紫外反射率からのSO₂, n_i のリトリバルの一例. (a, b)が283 nm, 365 nmでの反射率分布, (c)がSO₂の混合比分布, (d)が n_i の分布を示す.

収が強い283 nmの波長でも、未同定吸収物質の影響が無視できません。つまり、単純に283 nmの画像が暗いからといって、そこにSO₂が多いとは限らないのです。この問題を解決し、2つの波長の画像からSO₂と未同定吸収物質（以降、 n_i と表記。雲粒子の複素屈折率の虚部で吸収の強さを表す）の分布を精度良く同時に導出することが、私の研究の中核となりました。

このため、私はまず、金星大気中での紫外線の散乱・吸収過程をシミュレーションし、大気上端での反射率を計算できる新しい放射輸送計算コードを開発しました。正20面体を再帰的に分割することで得られる格子を用いて散乱方向を離散化することで、探査機から見える金星の明るさを、あらゆる方向について高速かつ均一な解像度で計算できるようにしま

した。

次に、この放射輸送計算コードを用いて、様々なSO₂と n_i の量の組み合わせを仮定した場合にUVIが観測するであろう2波長の反射率を計算し、大規模なルックアップテーブルを作成しました。そして、実際に観測された283 nmと365 nmの反射率の組とデータベースを比較し、最もよく観測値を再現するSO₂と n_i の値を求めました。この手法により、「あかつき」が取得した膨大な紫外画像データ(2015年12月から2022年6月までの約15,000ペア)から、約2時間間隔という高い時間分解能で、雲頂SO₂と n_i の分布マップを作成することが可能になりました(図1)。開発した手法の妥当性は、地上からの赤外線望遠鏡による同時刻のSO₂観測結果との比較によっても確認されました。

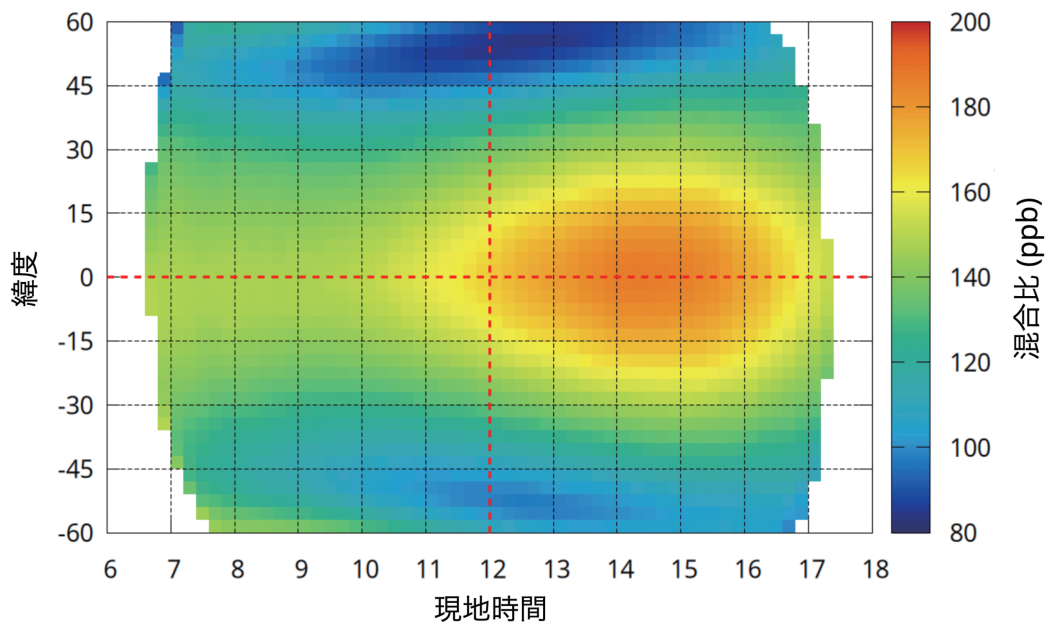


図2: 観測期間全体にわたるSO₂分布を平均することで得られたSO₂の現地時間・緯度分布.

3. 明らかになったSO₂の時空間変動

この新しいデータセットは、これまで断片的にしか知られていなかった金星雲頂のSO₂の振る舞いを、かつてない詳細さで描き出しました。

3.1 短期的な変動(数時間～数日スケール)

SO₂分布は非常にダイナミックで、数時間から数日という短い周期で急速に変化することが明らかになりました。特に赤道域では、SO₂の濃い「塊」のような構造が、形を変えながら西向きに移動していく様子が捉えられました。これは、大気波動による単なる上下振動だけではなく、実際に下層から雲頂へSO₂が供給されている場を捉えたのです。

さらに、時間と東西方向(経度)の変動を周期解析した結果、赤道域のSO₂と n_i の変動には、約4日周期で西進する成分が卓越していることが分かりました。これは、金星大気 of 巨大な流れ「スーパーローテーション」よりもわずかに速く伝わる「ケルビン波」と呼ばれる大規模な波動の影響と考えられます。この波に伴う上下運動が、SO₂の豊富な下層の空気を

雲頂まで周期的に持ち上げている様子が、今回のデータで初めて直接的に捉えられました。

3.2 平均的な空間分布

7年間のデータを平均化することで、信頼性の高いSO₂の平均的な分布図(現地時間と緯度に対する分布)を得ることができました(図2)。これまでの金星周回機は極軌道衛星で、特定の時期には特定の局所時間しか観測できないという制約がありましたが、「あかつき」は赤道面に近い軌道を持つため、昼間のほぼ全域を網羅的に観測でき、この種の分布図としては最も信頼性の高いものと考えています。

その結果、SO₂は赤道域で最も多く、中緯度に向かうにつれて減少する傾向が明らかになりました。これは、赤道で上昇し高緯度で下降する大規模な子午面循環「ハドレー循環」によって、SO₂が赤道から極向きに輸送される効果を反映していると考えられます。

さらに興味深いことに、現地時間に対しては、SO₂は昼過ぎの14時から15時頃に明確なピークを持つことが分かりました。これは、太陽加熱によって駆動される「熱潮汐波」(特に1日に2回周期を持つ半日



図3: ハワイ島・マウナケア山頂に位置するNASA赤外線望遠鏡施設 (IRTF)と満天の星空(筆者撮影)。

潮汐波)が、上昇流を励起し、下層から SO_2 を雲頂へ汲み上げている結果と解釈できます。この分布パターンは、最新の金星大気シミュレーションの結果ともよく一致しており、雲頂 SO_2 分布の形成における熱潮汐波の重要な役割を強く示唆するものです。

3.3 長期的な変動

2016年から2022年にかけての SO_2 と n_i の平均値の変動を求めたところ、数年スケールの増減が見られました。特に興味深いのは、この変動が、同じく「あかつき」データから導出された雲頂の平均東西風速(スーパーローテーションの速度)の変動と関連している可能性が示唆されたことです。

解析の結果、数年スケールで見ると SO_2 と n_i の増減と平均東西風速の増減は正の相関(連動して変化する傾向)を示す一方で、より長期的なトレンドとしては逆の相関が見られました。これは、複雑なフィードバック機構の存在を示唆します。例えば、短期的には、未同定吸収物質が増加すると太陽光吸収が増え、大気加熱が強まって大気運動が活発化し、風速が増加するかもしれませんが、一方、長期的には活発化した大気運動が SO_2 供給を増やし、それが雲の生成

を促してアルベド(反射率)を上昇させ、結果的に太陽光吸収と大気運動を弱める、といった負のフィードバックが働いている可能性も考えられます。この議論の検証のためには、これらのフィードバックがどのような時間スケールで応答するか、より詳細な解析が必要ですが、大気大循環と化学物質の分布の間に相互作用が存在しているかもしれない、という非常に興味深い結果が得られました。

4. おわりに

博士課程での最も忘れられない経験の一つが、2024年の2月にハワイ島マウナケア山頂にあるNASA赤外線望遠鏡施設(IRTF)に赴き、実際に金星の観測に参加したことです。UVIデータから導出した SO_2 分布の妥当性を検証するために、IRTFに設置された高波長分解能の分光撮像装置「TEXES」による「あかつき」との同時観測を行いました。普段は計算機上でデータを扱っている私にとって、標高4,000 mを超える厳しい環境の中、巨大な望遠鏡を自ら操作し、遠い金星からの赤外線を捉える現場に立ち会えたことは貴重な経験でした。望

遠鏡の巨大さ、澄み切った夜空に広がる満天の星々(図3)、そして観測チームの一員としてデータ取得に貢献できた達成感、何よりも、遠く金星を周回する「あかつき」と、ここハワイの山頂から、同じ瞬間に同じ金星を見つめているという事実、深く感動したことを覚えています。衛星観測と地上観測、それぞれの強みと役割を実感し、多角的なアプローチの重要性を再認識する機会にもなりました。

私の博士研究では、「あかつき」のUVIデータを用いて、金星雲頂における二酸化硫黄の時空間変動をこれまでにない高い解像度で捉え、その変動がケルビン波や熱潮汐波、ハドレー循環といった様々なスケールの大気現象と密接に関連していることを明らかにしました。これは、金星の硫酸雲形成の鍵を握る硫黄サイクルと、それを駆動する大気力学、さらには金星の気候システムの理解へと繋がる重要な一歩だと考えています。

しかし、金星にはまだ多くの謎が残されています。紫外線吸収物質の正体は何か? 実際にどれだけの SO_2 が不可逆的に雲頂へ供給されて、それがどのように、どれくらい雲へ変換されるのか? 夜側の SO_2 分布はどうなっているのか? これらの問いに答える

ためには、さらなる観測と、より洗練された数値モデルとの連携(データ同化)が不可欠です。また、将来にはNASAやESAで大型の金星探査が計画されており、「あかつき」が切り拓いた金星研究は、まさに新たな時代を迎えようとしています。

博士課程で得た知識と経験、そして「あかつき」と共に金星を追った日々を糧に、今後もこの魅力あふれる金星、そして惑星科学の研究に貢献していきたいと考えています。最後までお読みいただき、ありがとうございました。

著者紹介

岩中 達郎



理化学研究所計算科学研究センター 特別研究員。東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻博士課程修了。博士(理学)。同センターリサーチアソシエイトを経て2025年12月より現職。

遊星人の海外研究記 その19 ～外様以上、パリジェンヌ未満～

天野 香菜¹

1. はじめに

2025年10月現在、フランス・パリでの武者修行ももうすぐ2年というところで遊星人の海外研究記への寄稿のお話をいただいた。このシリーズでは既に同国内のボルドー[1]、ニース[2]での研究生活が取り上げられている。サイエンスの紹介は別の機会にとっておくとして、以下、わたしがいかに恵まれた環境を渡り歩きそれを楽しんできたかの自慢話に終始するのだが、なにかの折にご笑覧いただければうれしく思う。

2. 海外ポスドクに至った経緯

学生時代から、フランス(以下、仏と書くことがある)の研究コミュニティとはなにかとご縁があった。学生時代には東北大学の学位プログラム¹の支援を受けて仏グルノーブル・アルプ大学のInstitut de Planétologie et d'Astrophysique (IPAG, 図1)に計4か月滞在した。そこでEric Quirico教授やPierre Beck教授と隕石試料の分析を行ったおかげでフランスのラボの雰囲気を知り、現地でのネットワークも構築することができた。さらにわたしが院生時代の5年間を捧げたはやぶさ2帰還試料の分析プロジェクトでも多くの在仏研究者と関わる機会があった。指導教員の中村智樹教授が率いていたリュウグウの「石」の物質分析班(以下、Stoneチーム)[3]には、仏グループも複数参画しており、コロナ禍ではあったがオンラインミーティングなどを重ね、試料の

準備や分配をお手伝いしたことで、どこで誰がどんな研究・分析をしているのかを知ることができた。逆も然りで、相手方に自分の研究や人となりを知ってもらうことにもつながったと思う。

D3の秋に差し掛かってわたしはまだ進路に悩んでおり、その折にフランスではとある科研費プロジェクト(Agence Nationale de la Recherche: ANR)が始動していた。その内容は仏国内の複数の研究室で協働してリュウグウやベヌーなどの小惑星回収試料や隕石試料の物質分析を統合的に行うというもので、試料ハンドリングや分析のできるポスドクを探しているという。受け入れ先はStoneチームにも所属していたフランス国立自然史博物館(図1)のMathieu Roskosz教授である。いわゆるプロジェクト雇用のポスドクではあったが、こちらからいくつかテーマを提案したところ、おもしろそうだとってくれた。決して輝かしい業績を持っていたわけではないわたしが採用してもらえることになったのは、中村先生をはじめとする周りの方々が良い口コミを広げてくれたこと、またはやぶさ2プロジェクトという時代の後押しがあつてのことだと思う。

余談だが、わたしはもともと仏文化(料理、音楽、絵画など)の大ファンだったので彼の地でのポスドクのオファーはこれ以上ないほどに魅力的であった。実際、フランスへの憧れのような気持ちが実生活における困難を乗り越える原動力となった。

1. フランス国立自然史博物館
kana.amano@mnhn.fr

¹ 東北大学環境・地球科学国際共同大学院プログラム(GP-EES)。学生は海外の連携先研究機関で長期研修やダブルディグリー・共同指導学位等の取得が可能。

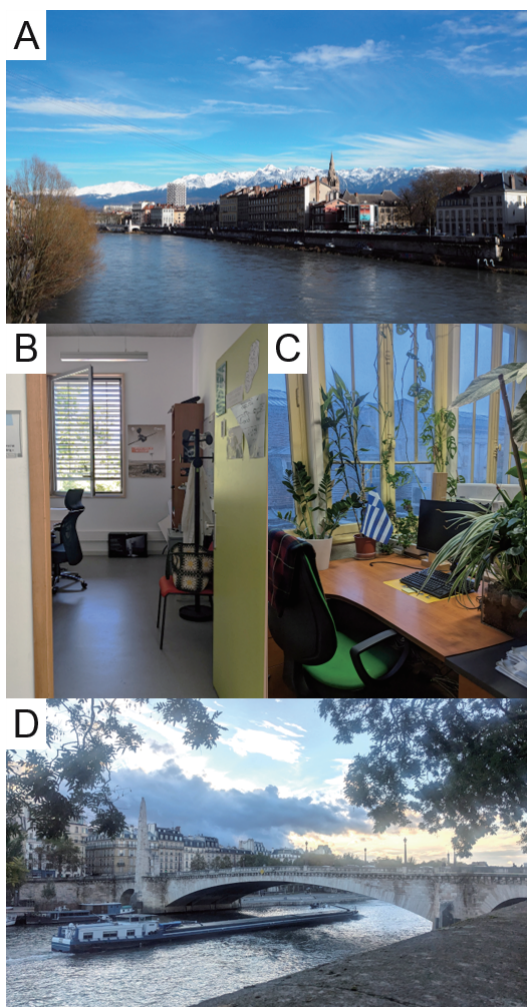


図1: (A)グルノーブル・イゼール川, (B)IPAGおよび(C)自然史博物館(パリ5区)での筆者のオフィス, (D)パリ・セーズ川。

3. 渡仏前後の手続き

渡航準備は円滑に進んだものとそうでないものの差がかなり激しかった。まずビザ申請のために博物館から雇用契約書を送ってもらった必要があったが、バカンス期間にかぶったり担当者とのやり取りに齟齬があったりして在日大使館での申請の予約日まで書類が届かず、玉突き的に契約の開始日自体を遅らせることになった。一方で、難航すると思われたアパート探しは最終的にMathieuの友人の友人の所有物件に決まった。ラボの徒歩圏内かつ便利で治安も比較的良好、家賃も高過ぎない。8階のいわゆる屋

根裏部屋だったが、エレベーターがついていた。銀行口座は日本人のいる支店であっさり開設することができた。このように日本語や英語のわかる人とやりとりできるというのは大都市に住むメリットのひとつだと感じる。納税も初年度に書類を郵送したあとは、オンラインで完結している。聞くところによると、行政手続きの電子化が進んでいて数年前と比べてもだいぶ楽になっているらしい(ただし変化が急速過ぎて数年前の情報はもはや参考にならない)。それでも滞在許可証の受け取りで4時間屋外で待たされたり、健康保険証が手元に届くまでに丸2年かかったりした。日本だったらもっとスムーズに事が進むはずなのにと思いつつ、しばらくフランスに住んでいるとこちらでも行政やサービスに過度な期待をしなくなる。そのおかげか自分にも過度なプレッシャーを課することがなくなり、それはそれで気楽である。それに、よほど重大な問題に直面したときは担当部署に電話をかけるか直接乗り込むかすれば迅速かつ驚くほど親身に対応してもらえる。この独特の人情味もまたフランスらしさだと感じている。

4. 語学留学に来たのかもしれない

グルノーブルでの数か月が英語でなんとかできていたので(今思うとなっていなかったが)、渡仏前に本格的な仏語学習はできていなかった。なんならパリはもっと国際的だろうからラボで英語を練習できたらいいな、くらいに思っていた。しかし、いざ博物館に着任すると仏語を話さない人(non-francophone)は自分だけだった。チームミーティングやメールはもちろんすべて仏語。ラボのセミナーの初めには仏語で「全員仏語わかるよね」と問いかけがあり(当然最初はこの質問さえわからない)、「わかりません!」と仏語で言わない限りはすべてが仏語で進んでいく。主張した末に結局仏語で乗り切られることもあり、彼らのお得意のストライキで対抗しようかとさえ思った。ほかにも仏語での白熱した議論のあとに結論だけをさっと英語で共有されたりランチの会話に入れなかったりしたのがどうにも悔しく、一念発起して早朝の語学学校に1年間通い、ソルボンヌ大学で学部生に交じって仏語の授業も受けた(この費用はラボが払ってくれた)。またラボの人とバーに行ったり同じア

パートに住むマダムと週末にお茶したりしているうちになんとなく仏語がわかるようになってきた。しかもある程度系統的に学んできた英語と違い、サバイバルで身に着けた仏語では間違いやアクセント(訛り)を恐れることなく堂々と話せてしまう。仏語に費やした時間を研究に割けていればとも思うが、おかげで現地コミュニティに溶け込むことができたので結果オーライである(と思うことにしている)。仏語学習のおかげで英語の難しい単語がわかるようになるとうれしい副作用もあった。

5. ラボの雰囲気

わたしが所属しているグループは実際、フランス国立自然史博物館(MNHN)、鉱物学・材料物理学・宇宙化学研究所(IMPIC), フランス国立科学研究センター(CNRS)、ソルボンヌ大学の共同研究ユニット的な位置づけであるため、それぞれの研究機関のメリットを享受できている実感がある²。試料や装置が潤沢なのもそうだが、とにかくスタッフが多い(図2)。仏研究機関には教育職(professeur, maître de conférencesなど³)と授業の受け持ちのない研究職(CNRS研究員など)の人々が混在し、技術職にしてよりサーチエンジニア(IR)、スタディエンジニア(IE)、テクニシャンなど職種がかなり細分化されている。隕石の鉱物の研究者でも、試料準備はエンジニアに任せているから自分で薄片なんかつくったことがない、と豪語する人もいて驚いた。計算系のラボでは情報技術者(informaticien)が活躍しているとも聞く。このように、フランスのラボではなんでもかんでも自分でやるというよりは自分の役割に集中して専門性を磨くことが美德である印象を受けた。日本全体でどうかはわからないが、東北大の地学の先生方は教務と並行してご自身で頭も手も動かしさらに学生も巻き込んで研究を進めている印象だったのでスタンスの違いを実感した。一方フランスでは、分業制が進んでいるためか、わからないことや不具合などがあるとすぐに人に訊く文化・訊ける土壌があると感じる。在室

中は皆オフィスのドアを開けたままにしている、用がなくても相手が作業中・議論中でも通りすがりに「Salut!」と声をかけるし、廊下やコーヒーマーカーの周りで雑談をたくさんする。わたしは人に質問する前に質問するための基礎知識を自力で埋めようとして結果的に時間がかかってしまうことが多いのだが、最近はラボの雰囲気のおかげで「知らない」「わからないので教えて」と言うハードルがだいぶ下がった。

またパリ近辺にはInstitut de physique du globe de Paris (IPGP)をはじめとする地球惑星科学の研究所や天文台などが多数あり、滞在期間の長短を問わず世界中から研究者が集まってくる。セミナーやワークショップなども頻繁に開かれ、惑星科学のさまざまな分野の研究者と話す機会が(わたしが学生時代を過ごした仙台よりも)多いのもありがたいと感じる。欧州で開かれる国際会議もパリからだと非常に行きやすい。

ところで、欧州人は環境問題への意識を強く持っていて、CO₂排出量を抑えるために飛行機で2時間のところを電車で12時間かけて移動する選択をとる人も少なくない。最近ラボで議論にあがっている新ルールの提案例として、鉄道で6時間以内で行ける出張では飛行機を使わない、チームごとに年間に排出できるCO₂量を制限する(たとえば誰かが頻繁に日本に出張するとブーイングをくらう可能性がある)、というものがある。このCO₂排出量の計算に郵送物も含めようかという議論が冗談なのか本気なのかわからないトーンでなされるほどだ(そうすると、必然的に日本からの試料の送付はより「コストが高く」なる)。島国かつ誰もが時間に追われている日本で今すぐ同じ取り組みをするのは難しいが、冷房設備のないパリでの猛暑を経験すると地球温暖化は決して他人ごとではなく、普段の行動から少しずつ変わっていくものである。

²博物館に籍があるため、博物館の全施設(企画展や動物園を含む)に同伴者1名とともに無料で入場できるのもよかった。

³博物館所属の「教育職」の場合は授業の代わりに博物館の運営や試料の収集・管理などが主な業務になりうる。



図2: ラボの面々、夏のバカンス前の手巻き寿司パーティで一枚。筆者(入り口付近の物陰にいる)が炊いた3 kgの酢飯が完売する盛況ぶりだった。

6. 博物館での研究

博士研究からの流れで、炭素質コンドライトの酸化還元状態、とりわけ含水鉱物中の鉄の価数状態に興味があり、さまざまなタイプの試料について調べてみたいと思っていた。ボスであるMathieuは小天体から惑星、鉱物から同位体化学まで博識かつ興味の幅が広いのだが、Stoneチームではリュウグウ試料の鉄の酸化還元状態の分析(メスバウアー分光)を担当していた。また当時博物館で職を得たところだったJean-Christophe Viennet博士も含水(粘土)鉱物のプロとして一緒に研究を進めてくれることになった。MathieuもそうだがJean-Christopheもとにかく面倒見がよく、コーヒーカップを片手にふらっと現れ、議論にも世間話にも仏語の練習にもよく付き合ってくれた。フランス人は早く帰って家庭の時間を大切にするとよく言われるが、彼らは間違いなく帰宅後も週末も仕事をしていた。わたしが特に感銘を受けたのは、最初のミーティングでふたりが「ポストドクのボスとしての最大のミッションは、ポストドクに任期無しの職をとらせること」と言ってくれたことである。ふたりのコネクションとプロジェクト雇用のポストドクという立ち位置をフル活用したことで、非常にスムーズに多種の分析装置にアクセスすることができた。実際、試料を持ってパリとその郊外、リール、ゲルノーブルなどをまわり、X線回折、赤外分光、電子顕微鏡、STXM/XANES、放射光メスバウアー分光などあらゆる分析をした。余談だが、このとき役に立ったのが自前のツールセット(図3)である。修了時に中村先

生の真似をして揃えたものだったが⁴、どこにいても周りの人からwell organized, very Japaneseと称賛された。なので海外に行かれる際には自分の使い慣れたツールを持っていくことを強くおすすめしたい。ブランドにもよるが、外国で同じものを揃えようと思ってもそううまくいかないことがある。また、隕石試料を保管のために葉包紙に包んで折りたたむたび「Japanese Origami!」と珍しがられた(図3)。

結果的にポストドク開始半年で有り余るほどのデータが集まったのだが、並べてみると当初わたしが持っていた仮説とは合うような合わないような結果となった。その折にMathieuからのインプットや近隣機関(特にIPGP)の研究からのインスピレーションを受け、個々の隕石試料のプロパティというよりはコンドライトの酸化還元度というより大きな枠組みでの議論に切り替え、論文として世に出すことができた[4]。出版後はMathieuとJean-Christopheが(わたしよりも)大々的にこの論文を宣伝してくれ、シャンパーニュでお祝いもした。

彼らの宣伝の甲斐もあり、仏国内の複数ラボがセミナーに呼んでくれた。日本にいろんな都市があるようにフランスの各都市にも違った魅力があり、出張先で景観や地方料理を堪能できるのはお得な気分になる。そして違うラボの人からいろいろなフィードバックがもらえるのもポストドク冥利に尽きるというものである。



図3: 自前のツールセットと葉包紙に包んだ試料粉末(右下)。

⁴弘法は筆を選び、能書は好筆を用う。ラボに転がっている共用ペンセットは汚れていたり折れていたりすることがある。

7. パリで出会う日本人

パリには理系研究者のコミュニティとして、パリ日本人研究者会(通称・生物会⁵)や若手物理の会などがあり、毎月セミナーや食事会を通して意見や情報を交換する機会がある。学生から任期無し職の方までが所属しており、暮らしの相談から研究のことまで大変お世話になっている。また、パリにいる日本人というだけで、日本にいたらお目にかかることすら難しいであろう方々とお話しする機会をいただくこともある。たとえば大使館やJSPSの方々、JAXAの理事の方々、研究者のキャリア形成を研究・支援する方などがそれにあたる。特に科学者以外の方と話すのはとても新鮮で、お話の内容はもとより、立ち振る舞いからですら学ぶことが山ほどある。またこちらも一人前の研究者として意見を求められるので思わず背筋が伸びる。

このように公私ともに貴重な経験が得られ、改めてフランスに来てよかったなと思うとともに、ここで学んだこと、築いたネットワークは一生の財産であ

⁵生物学・医学研究で有名なパスツール研究所で発足。メーリングリストには在仏の後に帰国された方を含め150名以上の登録があるようだ。

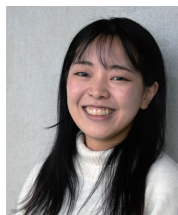
ると感じる。最後になってしまったが、この場を借りてこれまでお世話になった先生方、特に中村先生、Eric, Pierre, Mathieu, Jean-Christophe, そしてパリで出会った方々、一時帰国で温かく迎えてくださる皆様にも感謝申し上げたい。ありがとうございます。

参考文献

- [1] 小玉貴則, 2020, 日本惑星科学会誌 遊星人 29, 171.
- [2] 荻原正博, 2025, 日本惑星科学会誌 遊星人 34, 67.
- [3] 中村智樹ほか, 2023, 日本惑星科学会誌 遊星人 32, 226.
- [4] Amano, K. et al., 2025, Earth and Planetary Science 669, 119587.

著者紹介

天野 香菜



フランス国立自然史博物館ポストドクトラル研究員。2023年東北大学大学院理学研究科地学専攻博士課程後期修了。博士(理学)。2023年11月より現職。2025年11月よりパリ＝サクレー大

学・宇宙天体物理学研究所にポストドクトラル研究員として異動予定。専門は惑星物質科学。

TMT-ACCESSワークショップの紹介

鶴山 太智^{1,2}, 田畑 陽久³, 伊王野 大介⁴, 小野里 宏樹⁴, 衣川 智弥⁵,
鈴木 竜二⁴, 瀧本 幸司³, 野津 翔太⁶, 長谷川 靖紘⁷, 百瀬 莉恵子⁸,
森 万由子¹, 米田 謙太³

1. はじめに

日本が参画している次世代国際超大型光学赤外望遠鏡計画であるThirty Meter Telescope (TMT) は、従来の望遠鏡を遙かに凌駕する集光力・画像感度・空間分解能を有し、太陽系外惑星における生命探査や初代星・銀河の進化過程の解明をもたらすことが期待されています。太陽系外惑星や太陽系内天体の観測に加え、惑星探査ミッションとの連携も期待されていることもあり、日本惑星科学会からも計画の推進と実現に力強い支援を頂いています。TMTの運営・建設を担う TMT International Observatory (TIO)では、2022年末から2023年前半にかけてNSF PDR (Preliminary Design Review)が行われ、2024年10月には2024 TMT DSC (Detailed Science Case)が公開されました。また、ELT-JWST研究会が2回開催(2023年12月 ロサンゼルス, 2024年6月仙台)され、今後数十年で地上大型望遠鏡と宇宙ミッションの間に、さらに多くのエキサイティングな発展と戦略的相乗効果が期待できます。そこでTIO全体の機運に乗り、日本国内でもTMTサイエンスを強化し新しいサイエンスケースを創造するために、サイエンスワークショップ

シリーズ TMT-ACCESS (TMT eArly Career Centered, Engineers-Scientists Synergy)を若手研究者が主体となって運営し、2023年から毎年継続的に開催しています。

新しい建設タイムラインの下でTMTによる新たなサイエンスケースを幅広く検討するために、TMT-ACCESSはディスカッションに重点を置いた分野横断型のサイエンスワークショップとなっています。分野横断型とすることで、異分野の研究者間の交流を生み、各分野の境界領域にあるような新しいサイエンスケースを創出することを目指してきました。また、望遠鏡・装置開発者と科学研究中心のサイエンティストの相互理解を促進できるようなディスカッションやプログラムも提供し、サイエンスケースから次世代装置の計画・提案にもつながるような議論の場を提供してきました。

TMT-ACCESSでは、分野・研究手法/波長を問わず、将来TMTを利用した研究を行いたい研究者からの参加を期待しています。特に、これまでTMTサイエンス検討に関わる機会がほぼなかった若手研究者(大学院生含む)からの参加を強く推奨しています。

2. 実施概要

これまでにTMT-ACCESSは3回開催され(第一回: 2023年9月@TMT International Observatory, 米国・バサデナ[1,2]; 第二回: 2024年6月, 東北大学青葉山キャンパス, 仙台 [3]; 第三回: 2025年7月, 国立天文台三鷹キャンパス, 東京[4]), それぞれの回で世話人・招待講師含めて30-50人程度の参加者がありました(図

1.アストロバイオロジーセンター

2.California State University Northridge

3.宇宙航空研究開発機構

4.国立天文台

5.信州大学

6.東京大学

7.Jet Propulsion Laboratory / California Institute of Technology

8.Carnegie Observatories

taichi.uyama.astro@gmail.com

3). 本ワークショップは基本的に 1)招待講演, 2)ラボツアー, 3)グループワーク, 4)最終プレゼンと各参加者のレポート, で構成され, 特にサイエンス・エンジニアリングのバックグラウンドに関わらず様々な分野の研究者が交流し将来的なサイエンス, 新たな装置という目標に向かって自由な議論が出来る場所を目指しています. またグループワークでの交流と自由な議論を重視しており, 基本的には対面での参加者のみを想定しております.

第一回はTMTの装置開発に直接関わっているTIO・Caltechのスタッフや研究者の方達による招待講演や, 装置開発製造を行っているTMTラボのツアーを通し, TMTの望遠鏡や観測装置に関連する基本的な知識をインプットできただけでなく, このような超大型望遠鏡の準備が着実に進んでいるという事を自分たちの直接的な体験として知ることができ, 非常に有意義なものとなりました. 各招待講演では日本とのコラボレーションを具体的に紹介していただいて日本の若手研究者がTMTにより参画する事を期待されているという事が実感でき, 将来計画に対してより強いモチベーションへと繋げる事ができました. またハワイエンゲージメントとしてすばる望遠鏡でアウトリーチスペシャリストを務められている嘉数悠子氏にはTMT建設反対派とどのように対話を進めているかを紹介していただきました. 特にSNSなどを運用してしまうとTMT推進のためのプロパガンダになってしまうからあえて行わないというお話は非常に印象的で, 人知れず重大な仕事を進められているお姿に大きく感銘を受けました.

第二回は「日本がリードする20年後の光赤外線天文学」をテーマを設定し, 東北大学において開催される国際会議「ELT Science in Light of JWST」と併せて開催しました. 招待講師の皆さまに宇宙論・マルチメッセンジャー天文学・銀河形成・系外惑星などの各分野のレビュートークをして頂いたほか, 東北大学天文学専攻および地球物理学専攻のスタッフの皆さまにご協力頂き, 天文学のみならず太陽系科学・探査に関する様々な観測装置・実験装置の開発現場のラボツアーも実施しました. グループワークでは, 実際にTMTの観測装置開発においてサイエンス要求と装置性能を結びつけるために用いられている「サイエンスフローダウンマトリックス」を参照し, レビュー

講演を通じ学んだこの先10年間に予想される天文学の発展を踏まえて, TMTで取り組むべきサイエンスの強化・創造とその実現に必要な観測装置・装置性能について具体的かつ現実的な検討を行いました.

第三回は「極限性能を引き出すための装置開発の課題とブレイクスルーに向けて」というテーマを設定し, 第二回までは将来サイエンス中心で具体的な装置開発の議論まで進められなかったという課題に取り組むため, すばる望遠鏡・せいめい望遠鏡・東京大学アタカマ望遠鏡(TAO)に関する装置開発に携わっている方々を中心に招待し, また国立天文台・先端技術センターや東京大学・天文学教育研究センターの装置開発を進めているラボへのツアーを行い, 第二期・第三期以降の具体的なTMTの装置開発に重点をおいたワークショップを目指しました. 更に, 今回はグループワークの前にJWST (ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡) 特別セッションを開催し, 各招待講演者には最新の観測成果の紹介とそれを元に将来的な観測装置に期待したい内容を議論していただきました. また第三回からはTMT科学諮問委員会やTIOへのコンタクトを希望する人に対してTMT-ACCESSを通じてサポートできる体制を整えました.

3. 参加者統計

図1にTMT-ACCESS 2025 (第三回)の参加者統計, 図2にTMT-ACCESS過去3回分の参加者統計のまとめを掲載します. まず過去三回Early Career (学生+Postdoc)の参加者の割合がいずれも5割を超えていました. 参加者のScience Categories (Backgrounds)は太陽系・星形成/系外惑星・銀河進化・宇宙論/マルチメッセンジャー/装置開発と幅広い分野に渡る一方で, 特に第三回については星形成/系外惑星および装置開発の分野の参加者の割合が増えた一方, 銀河進化的分野の参加者の割合が減少しており, より幅広い分野・研究室への呼びかけなどに課題を残しました. ジェンダーバランスについては男性8・9割, 女性1・2割という傾向で推移しておりますが, 特に第三回については女性の学生の参加者が0となっているところが今後の課題として挙がっています.

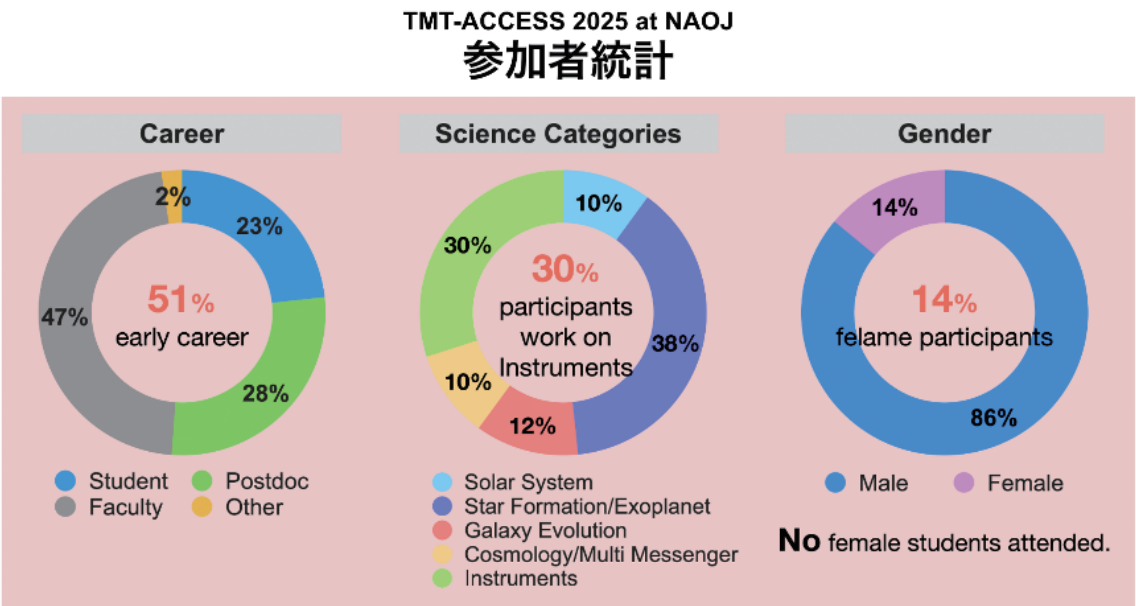


図1: TMT-ACCESS 2025 (第三回)の参加者統計 (image credit: 百瀬莉恵子).

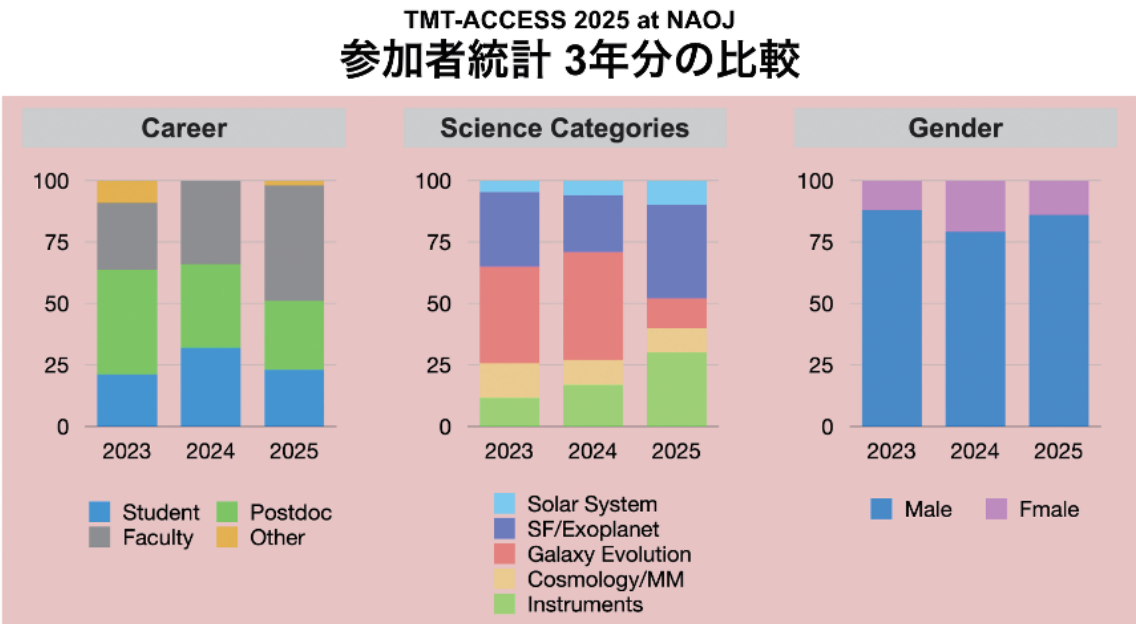


図2: TMT-ACCESS 参加者統計 3年分の比較 (image credit: 百瀬莉恵子).

4. 第三回世話人からのコメント

・森万由子（アストロバイオロジーセンター）

第一回は参加者として、第三回の今回は世話人としてTMT-ACCESSに参加しました。今回は国立天文台で開催ということもあり、普段同じキャンパス内で過ごしつつも顔を合わせたことのなかった装置開発の方々を知り合えたことが一番大きな収穫でした。開発棟のツアーでは、TMTの第1期装置IRISを始め、イメージスライサー、コロナグラフ、分光器など、国立天文台が開発する様々な装置の開発現場を目の前で見せていただきました。装置のサイズ感や精密さといった感覚もあまり持ち合わせていなかったため、ツアーで得た知識や感覚がその後の議論に大いに役立ちました。

グループディスカッションについては、実り多く、また苦労も多いものでした。今回の目標は、(噛み砕いて言えば)「実現可能性まで考慮しつつ夢の装置のアイデアを突き詰めること」でした。身近な装置を使って観測することの多い私は「与えられたスペックでどのようなサイエンスができるか」という思考に縛られてしまうこと、そして装置開発の現実的なプロセスを知らないで「これは夢物語かもしれないんですけど…」という前置きをせずにはいられないこと、色々な点で自分の不勉強を感じました。私たちのグループは「波長分解能30万の夢の装置」を提案したわけですが、一度道筋が立ってくると、削ぎ落としてはいけない波長はどこか、既存の装置のアップグレードで出せる性能の限界はどこか、と、より具体性が増えてきて、定量的な議論がしやすくなったように感じます。装置開発のプロたちが、何にワクワクして、何に頭を悩ませて装置をデザインしているのか、わずかながら垣間見ることができたことはとても良い経験になりました。

また世話人としては、どのような道筋を示せば議論がスムーズに進むのか、どうにかこうにかイメージしながら準備をしていたわけですが、大枠についてはうまく進んだ感覚があります。特に、各グループに少なくとも一人、装置開発のプロに入っていたいたおかげで、議論の方向性が定まりました。一方、TMT-ACCESSシリーズ全体として、議論の結果をどのようなアウトプットに繋げていくかという方向性

については色々な考え方がありそうです。様々な世代・分野を通して、TMT-ACCESSがどのような場となることをコミュニティから期待されているのか、そのためには既存の枠組みで良いのか、改めて考えなければならぬ気がしています。

・米田謙太（JAXA/宇宙科学研究所）

私の研究が系外惑星のためのコロナグラフ技術の開発で、まさにTMTで目指す重要なサイエンステーマのひとつということで、第1回のTMT-ACCESSの際に参加のお誘いをいただいたのですが日程が合わなく参加できず、東北大で開催された第2回に一般の参加者として参加しました。グループディスカッションがメインのワークショップということで、幅広いサイエンスや装置の研究を進める研究者の方と議論し、装置の研究者としては、コロナグラフ以外の観測装置の設計思想を学ぶことができました。

第3回の今回は世話人として誘っていただき、主にグループディスカッションの企画を担当することになりました。世話人の方々や企画を進め、今回のグループディスカッションでは、既存の(または現在検討されている)装置のとある性能が向上した夢の装置があった場合、どんなサイエンスを目指すか、またそのような装置を実現するためにはどんな技術課題があるかという流れで議論を進めてもらう形になりました。各グループにおいて、サイエンス側の要求と装置側の課題を議論することで、それぞれの研究の状況を理解して、最終的に具体的なサイエンス案、装置案としてまとめてもらえたと思います。装置の研究者の立場としては、普段の研究で「この性能を向上させるのは難易度が高い」と考えていたところと、サイエンスの研究者が要求する性能が一致しているところがあり、今後、この技術開発を本腰を入れて進めていくべきだと思えたところが大きな収穫でした。

今回は、上記のように議論の流れをあらかじめ世話人側で用意していたことで、時間内に具体的な装置案までまとめてもらえましたが、ディスカッションの時間がもっと確保できれば、より自由に議論してもらい、既存の装置にとらわれない奇抜な装置案が出てくるとより面白いし、装置開発者としてはそういった装置を実現するために、腕が鳴る研究課題を見つけられると考えています。もちろんワークショップの



図3: 第三回ワークショップ 参加者集合写真.

時間は限られているので、次回のワークショップでは今回の結果を基に、より面白いワークショップにしていければと思います。

またTMTブログ[1-4]の方にも他の世話人・参加者からの感想を載せてあります。こちらにも目を通していただければ、本ワークショップシリーズの雰囲気を感じていただけるかと思います。

5. 総括

TMTの建設が不透明な現状ではありますが、本ワークショップを通して将来のサイエンスや装置開発を議論する中で、TMTに限らず、すばる望遠鏡を始めとする他の望遠鏡の将来計画にも繋がりが得るような議論が湧き始めています。今後も参加者のバックグラウンドは限らず、むしろこれまで以上に様々な

分野の皆さんに参加していただけると、更に多くの視点で将来の観測的研究を議論できる楽しいワークショップになる事を世話人一同期待しております。TMTでは太陽系外惑星や太陽系内天体といった日本惑星科学会の会員の皆さまが研究対象とする天体の観測も、重要サイエンスの一つと位置付けられており、今後ますます議論が発展していくことを期待しています。一方で、興味はあるもののほとんど知らない人がいるところに一人で参加する、というところでハードルを感じる学生や若手研究者もいるかもしれません。若手研究者主体で将来計画を自由に議論するワークショップと銘打っておりますが、シニア研究者の方々も是非ともご参加いただいて将来計画の議論に混じっていただくだけでなく、周囲の学生や若手研究者が気軽に参加できるよう背中を押していただけると幸いです。また世話人として協力していた

だけの方や、ワークショップの運営について忌憚ないご意見を伺える方も随時募集しております。

最後に本ワークショップシリーズはTMT戦略基礎開発研究経費、中辻財団を始めとする研究会補助、国立天文台TMTプロジェクト、並びにご参加いただいた皆様のおかげで有意義なワークショップを開催する事ができております。こちらにて改めて感謝申し上げます。

参考文献

- [1] TMTブログ「若手研究者によるTMTサイエンスワークショップが開催」, <https://tmt.nao.ac.jp/blog/1781> (閲覧日:2025/10/27)
- [2] TMT International Observatory News “TMT Hosts Science Workshop for Early Career Astronomers and Engineers from Japan”, <https://www.tmt.org/news/622> (閲覧日:2025/10/27)
- [3] TMTブログ「若手研究者・技術者によるTMTサイエンスワークショップ第2回が開催」, <https://tmt.nao.ac.jp/blog/1864> (閲覧日:2025/10/27)
- [4] TMTブログ「TMTサイエンスワークショップ第3回が開催」, <https://tmt.nao.ac.jp/blog/1950> (閲覧日:2025/10/27)

惑星科学フロンティアセミナー2025参加報告

藤澤 卓也¹



図1: 道の駅しんしのつ前での参加者集合写真.

本年度の惑星科学会フロンティアセミナーは、8月25日(月)から28日(木)にかけて北海道石狩郡新篠津村の「しんしのつ温泉 たつぷの湯」にて開催されました(図1). 新篠津村でのフロンティアセミナーの開催は3回目になります. 今回のフロンティアセミナーの参加者は30名ほどで、学部生や道外からの学生の参加も多く、またとない交流の機会ともなりました. 宿泊先では、北海道ならではの食材をふんだんに使った食事が堪能でき、温泉にもゆっくり浸かって日頃の疲れを癒すことができました. 夜の懇親会では、普段お話しする機会のない先生方や他大学の学生とお酒を酌み交わしながら研究について語り合うことができ、大変貴重な時間となりました. 個人的には早朝会場近くの篠津湖をランニング

できたのが思い出深いです. 夏とは思えない涼しい風を感じながら、視界いっぱいに広がる田園風景の中を走るのは格別でした.

ここからは2日間にわたって行われたセミナーの内容についてご紹介します. 今回の講師は犬塚修一郎先生で、「銀河系における星形成」というテーマでご講演いただきました(図2). セミナーは以下の4つの章で構成されていました; 1. 概要. 2. 星間物質と星形成. 3. 原始星形成・星団形成. 4. 原始惑星系円盤. 第1章では、銀河のバブル構造に関して、犬塚先生ご自身の最新の研究を交えてお話いただきました. 第2章では、超新星爆発の衝撃波による銀河内構造の発達について解説していただきました. 第3章では、分子雲コアからの星形成について、第4章では、原始惑星系円盤の進化における磁場とアウトフローの働きについて詳しく解説していた

1. 北海道大学理学院宇宙理学専攻
fujisawa@ep.sci.hokudai.ac.jp



図2: セミナー中の様子. 写真奥が講演中の犬塚先生.

できました.惑星大気を研究している私にとって、普段なかなか触れる機会のない内容で、銀河ハローから星形成領域までの様々なスケールでのお話は非常に興味深く、大変勉強になりました。

特に印象的だったのは、衝撃波による物質の相転移でした。

今回のセミナーには、学部生や道外からの参加者も多く、犬塚先生は研究に用いられている物理について、イメージだけでなく基本的な数式から丁寧に解説してくださいました.本セミナーの様子はMOSIRプロジェクト (<https://www.cps-jp.org/~mosir/pub/>) によって記録されており、講義資料・動画はホームページ上で公開されています.もし、興味がある方や詳しい内容を知りたい方は、公開されている資料も参照してい

ただければと思います。

ご多忙の中、2日間にわたる講義をしてくださった犬塚修一郎先生に心より感謝申し上げます.また、本セミナーの企画・運営をしてくださったフロンティアセミナー実行委員会の皆様、そして参加費を補助していただいた日本惑星科学会様にも感謝いたします.惑星科学フロンティアセミナーは、様々な分野の第一人者の方から直接講義を受け、参加者同士で活発な議論を交わすことができる貴重な機会です.分野を横断した交流を通して、新たな視点や刺激を得ることができました.この参加報告書が、来年度以降のフロンティアセミナーをさらに盛り上げる一助となれば幸いです。

著者紹介

藤澤 卓也



北海道大学理学院宇宙理学専攻.

EXPO2025 大阪・関西万博スイス館における招待講演及びパネルディスカッションの報告

芝池 諭人¹



図1: イベントでの講演の様子([2]の図より転載).

今年大きな話題となったEXPO2025 大阪・関西万博のスイス館にて、私の研究やスイスでの研究生活についてお話しさせていただく機会がありましたので、報告いたします。

万博会場内のスイス館にて、ベルン大学および在大阪スイス領事館の主催で“University of Bern Day at the Swiss Pavilion”というイベントが4月に開催され、講演とパネルディスカッションを行いました(図1)。私は、博士学生時に5ヶ月間と博士取得後にポスドクとして4年4ヶ月間、ベルン大学で研究生活を送ってまいりましたので、その縁もありご招待いただくことになりました。私のめくるめく(?)スイス生活については、ぜひ拙文

「遊星人の海外研究記 その15」をご一読ください[1]。また、このイベントについては、現在私が所属する鹿児島大学天の川銀河研究センターの広報誌でも紹介させていただいていますので、そちらもご覧いただければ幸いです [2]。

さて、このイベントのアイデア自体は、昨年末にベルン大学を訪れた際に、ベルン大学の研究機関 Center for Space and Habitabilityの広報のSophie Krummenacher氏からお話をいただきました。Krummenacher氏には、ベルン在住の日本語話者向けの講演会を一緒に企画したり、在スイス日本国大使館とベルン大学の共催で日本スイス国交160周年の記念講演会を開催していただいたり、これまでも大変お世話になっておりました。スイスパビリオンでベルン

1. 鹿児島大学 大学院理工学研究科 天の川銀河研究センター
yuhito.shibaike@sci.kagoshima-u.ac.jp

大学として展示を行うことになっているが、ぜひまた講演会を開いてみてはどうでしょう?と提案いただき、ぜひぜひやりましょう、と快諾したのでした。

しかし、実際に執り行われたイベントは、この時の相談内容とはかなり違う形式となりました。あれよあれよという間に、在大阪スイス領事館のFabbri翼氏、ベルン大学学長のVirginia Richter教授、JAXA/ISAS所長の藤本正樹教授、ベルン大学Audrey Vorburger助教、Insel Group及びベルン大学のMatthias Wilhelm教授、京都大学の谷口忠大教授、そしてオンラインでESAのMarco Sieber宇宙飛行士、という、錚々たる方々が参加することとなり、イベントの規模が大きくなっていました。私などが講演して良いのか甚だ不安でしたが、せっかくいただいた機会ですので、覚悟を決めて臨むこととなりました。国家プロジェクト絡みの案件ということもあり、イベントの詳細は二転三転し、Krummenacher氏も大変苦労されていたのを覚えています。私としては、「講演すべき内容さえおおよそ決めていただければ、英語日本語でも対応できます」と伝え、あとは「座して待つ」しかありませんでした。一番驚かされたエピソードは、万博会場内のレストランをイベント参加者用に抑えてあったそうなのですが、急遽私たちのランチはお弁当になった、というものでした。その時間で代わりにJAXAの展示や某モビルスーツを見ることができたので、私としてはそれでよかったのですが(図2)。

さて、そんなこんなで始まったイベントでしたが、結果としては、非常に良いものになったと自負しております。まずFabbri氏とRichter教授からウェルカムトークがあり、その後私が“Unveiling the birth of planets”と題した講演を行いました(図1)。惑星がいかに誕生するのか、日本の「京都モデル」やスイスの「世界初の系外惑星の発見」など、これまでの研究の流れと現在の理解について、最新の数値計算や観測をふんだんに盛り込みつつ、解説しました。皆真剣な表情で聞いてくださり、分野外の皆様にも、惑星形成について興味を持っていただけたかな、と思っております。その後、藤本教授、Vorburger助教、Wilhelm教授、谷口教授、Sieber飛行士から、それぞれのご専門についてのトークがありました。内容は、宇宙探査、医療、そしてAIといった幅広い内容に及び、いずれも非常に興味深いものでした。そして最後には、上記5名になぜか急遽私も加わ



図2: 某MSの前ではしゃぐ私。

り、“Exploring Space, Advancing Human Health: How Space Research, Medicine and AI Shape Our Future”と題したパネルディスカッションを行いました。司会のVorburger助教に壇上から手招きされた時はかなり焦りましたが、ディスカッション中には私にもお話を振っていただき、事なきを得ました。分野の垣根を超えたディスカッションは、「多様でありながら、ひとつ」の理念を謳った大阪・関西万博にふさわしい内容であったと思います。そして、その後のネットワーキング会では、イベントに参加されたさまざまな分野の研究者や企業の方と(スイスワインに舌鼓を打ちながら)お話しする機会があり、これまた大変勉強になりました。

イベントの最後には、スイス館長Manuel Salchi氏直々の解説の元、スイス館を見学させていただきました。ESA主導のRosetta、JUICE、そしてComet Interceptor計画では、ベルン大学により作成された質量分析器が搭載・搭載予定であり、その展示がありました。Rosetta探査機は実際にチュリユモフ・ゲラシメンコ彗星の組成を分析しており、その結果を元に再現した彗星の「匂い」を嗅ぐこともできました。なんとも言い難いちょっと腐ったような匂いで、お世辞にも良い匂

いとは言えませんでした。とても貴重な体験となりました。今後彗星の論文を読むと、この匂いを思い出すことになるのでしょうか。ちなみに、この展示の日本語の説明文は、私が少し添削しました。スイス館に行かれた皆様、「謎日本語」は見つからなかったでしょう？

参考文献

- [1] 芝池諭人, 2024, 遊星人 33, 3.
- [2] 芝池諭人, 2025, 天の川センターニュース No.9, 17.

著者紹介

芝池 諭人



鹿児島大学大学院理工学研究科
天の川銀河研究センター特任助教。
東京工業大学理学院地球惑星科学系博士課程修了。博士(理学)。
ベルン大学ポスドク研究員、国立天文台アルマプロジェクト特

任研究員などを経て、2025年4月より現職。専門は惑星形成論。日本惑星科学会、日本天文学会、日本地球惑星科学連合、Swiss Society for Astrophysics and Astronomyなどに所属。

New faces

鈴木 雄大^{1, 2}

(宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 太陽系科学研究系, Center for Space Physics, College of Arts and Sciences, Boston University)

私が初めて惑星科学会に参加したのは、博士号を取得して1年半が経った2024年のことでした。

私は「揮発性物質」をキーワードに、水星や彗星の大気を対象として、その生成や散逸のメカニズムを探っています。これらの大気は宇宙空間環境の影響を強く受けるため、大学院時代は大気・プラズマ環境を主軸とする地球電磁気・地球惑星圏学会(SGEPSS)に参加していました。一方で、水星や彗星の大気を構成する原子の多くは表層からの脱離や昇華によって供給されるため、大気と表層を繋ぐ現象を本質的に理解するには、地質学的な視点が欠かせません。そこで私は、博士号取得を機に思い切って地質系のコミュニティに軸足を移すことにしました。

私が取り組んでいるのは、太陽系の内側・外側境界や希薄大気といった“境界領域”に関する研究で、専門に扱う研究者は国内ではごくわずかです。そのため、惑星科学会でもSGEPSSでも少し異色の領域かもしれませんが、そこにこそ太陽系の揮発性物質の進化史を読み解く鍵があると信じています。私がこのニッチな分野に飛び込んだ背景には、「太陽系や惑星の初期状態や物質進化の過程を知りたい」という強い関心があります。水星は太陽に最も近い惑星として、太陽系内側境界の制約を与えます。一方で、彗星は太陽系初期の姿を比較的よく保持している上、初期太陽系において揮発性物質を運ぶ重要な役割を担っていた可能性があります。



水星と彗星という2つの“すいせい”を結んで考えることで、太陽系の物質進化の全体像に迫れるのではないかと考えて、現在の研究テーマに至りました。

これまで私が行ってきた水星と彗星の大気の研究には、多くの共通点があります。

- ・観測データが限られるため、複数の手法を組み合わせる必要があること
 - ・表層や宇宙空間環境との繋がりが強く、大気だけでは研究が完結しないこと
 - ・日本国内では同じ分野の研究者が非常に少ないこと
- そのため、JpGUでもドンピシャと思えるセッションを見つけるのは容易ではなく、これまでに惑星大気圏・電離圏、惑星科学、水星といったセッションを渡り歩いてきました(水星セッションができたのはここ2年の話です)。SGEPSSでも、大学院生の頃は水星に関する発表はBepiColomboの概要の発表と自分の発表くらいしかありませんでした。火星は丸一日セッションが続くのに……。議論したくても相談できる相手がなかなか見つけられず、「研究友だち」を作るのも難しい日々でした。

博士課程では、コロナ禍や博士論文執筆スケジュールの関係で、国際学会に直面参加することができませんでした。しかし、博士課程修了後に初めて対面で国際学会やBepiColombo SWT (Science Working Team) ミーティングに参加すると、一気に世界が変わります。「世界には近い分野の研究者がこんなにいるの

1.宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 太陽系科学研究系
2.Center for Space Physics, College of Arts and Sciences, Boston University
yudai.suzuki.planets@gmail.com

か「世界には、観測データも数値計算モデルもこんなに豊富にあるのか」--井の中の蛙、大海を知りました。さらに、水星のサイエンスは内部-表層-大気-磁気圏-宇宙空間環境がシームレスに繋がっており、多様な分野の研究者が一堂に会するため、BepiColomboミーティングでは「仲の良い友だちの発表なのに、何を言っているのか全く分からない!」という悲しい状況も頻発しました。その度に、もっと勉強しなくてはという気持ちが湧き上がりました。また、「日欧共同探査計画なのに、日本側のプレイヤーが少なすぎる」という強い危機感も抱きました。

そこでこの数年友人たちと力を入れて取り組んでいるのが、国内若手水星研究者コミュニティの拡大です。昨年度は“Mercury: The View After MESSENGER”という教科書の輪読を行いました。今年度は、この教科書以降に出版された論文を中心とした論文紹介ゼミを実施しています。また、9月には水星を用いた比較惑星学的研究の立案をテーマとした研究会を北海道大学にて実施しました。研究会については近々こちらの遊・星・人に記事を掲載予定ですので、そちらもぜひご覧ください。こうした取り組みで特に嬉しかったのは、現在水星の研究を行っていない方も数多く参加してくださっていることです。ずっと参加してくださっている方の中には、最近水星研究に転身した方も複数います。今後もこのコミュニティを中心に国内における水星研究の存在感を高め、さらに世界の水星コミュニティにおける日本の存在感も増していけるよう努力していきたいと思います。

現在、私はJAXA宇宙科学研究所に籍を置きながら、Visiting Fellowとしてボストン大学に1年間滞在しています。アメリカでは、MESSENGER探査機のデータ解析や水星大気モデル計算を得意とする研究チームに入り、1年後のBepiColomboの水星周回軌道投入に向けて準備を進めています。先にも触れたように、水星研究のコミュニティは依然として日本よりも欧米の方が大きく、2年前にはBepiColomboの水星スイングバイ観測データの解析のためにフランスに約5ヶ月(2.5ヶ月×2回)滞在しました。今回は、「次はアメリカの文化を吸収しよう」という思いでアメリカへの渡航を決めました。

正直に言うと、自分は新しい環境への不安が大きい方だと思っています。渡航を決めたのは100%自分の意思なのに、出国前は直前まで「研究環境が最高なのは分かっ

ているけれど、海外に行くのは嫌だ!」と何度も嘆いていました(日本での環境が快適すぎて離れたくない、というもあります!)。そういえば、2年前にフランスに滞在した時も全く同じことを言っていた気がします。そして実際に渡航してみると、案の定ドタバタの連続でした。大学での手続き・オリエンテーション、家探し、銀行口座の開設……。特に、15件以上の物件に問い合わせメールを送って2件しか返信が来なかったときは、さすがに心が折れかけました。今はどれもほとんど落ち着き、新しい研究生活を楽しめています。所属する研究グループとは、水星研究だけでなく紫外線観測装置の開発などでもキーワードが共通しているため、いろいろなプロジェクトに関わっていけそうです。これから1年間で、自分の研究テーマをさらに広げつつ、新しい分野との繋がりも増やしていければと思っています。今は「1年後にアメリカを離れるのはもったいない!でも、日本には早く帰りたい!」という矛盾した気持ちを同時に抱えています。

大学の人たちも街中の人たちも、とても丁寧にこやかです。物価が非常に高く、残念ながら頻繁に外食や観光を楽しむのは難しいのですが、ボストンはアメリカ独立運動が始まった地(ボストン茶会事件!)として知られ、国内でも最も歴史のある街のひとつです。人々と繋がっていく上で、研究だけでなく街の文化や歴史を知ること大事だと思っています。学園都市としてのボストンを満喫しながら、生活そのものからも多くを吸収したいと思っています。渡航からまだ1ヶ月ほどですが、ようやく研究と生活の両輪が回り始めました。この1年を通して、国際共同研究の現場で得られる経験を最大限に吸収し、日本に持ち帰りたいと思います。

私はこれまで、観測データの解析・数値計算モデルの構築・観測装置の設計・開発といった多様な手法を用いて、水星・彗星の表層から希薄大気、そして宇宙空間環境の間の相互作用を追いかけてきました。これらの研究を進めるうえで、表層-大気-プラズマの間の現象の繋がりだけではなく、探査を円滑に進め成果を最大化するための理学-工学の繋がり、そして世界の最先端を取り入れるための日本-世界の繋がりが欠かせません。これからも、こうした多様なコミュニティの橋渡し役として、惑星科学の発展に貢献できる研究者を目指していきたいと考えています。今後ともどうぞよろしくお願いします。

渡辺 泰士¹

(国立研究開発法人国立環境研究所地球システム領域)

はじめまして、国立環境研究所に所属している渡辺泰士と申します。2025年から惑星科学会に入会させていただきますいております。私はこれまで、地球や惑星の表層環境がどのように形成されどのように変動してきたのか、さらに生命の出現や進化とどのように相互作用してきたのかについて、数値シミュレーションによる理論的研究を行ってきました。2022年3月に東京大学大学院理学系研究科の田近英一教授のご指導のもとで博士号を取得しました。その後、短期間ではありますが東京大学大気海洋研究所の阿部彩子教授のもとで特任研究員として勤務し、その後は気象庁気象研究所において約3年間にわたって派遣職員として研究開発業務に従事しました。2025年4月からは国立環境研究所に着任し、現代から地球温暖化が進行した将来の気候や物質循環に関する研究を進めています。

私が初めて惑星科学研究の最前線に触れたのは、学部3年次の夏に国立天文台で実施された「サマースチューデント」というプログラムに参加した時でした。RISE月惑星探査プロジェクトの竝木則行教授のご指導のもとで、氷衛星の地形解析を体験させていただきました。この経験は、それまで漠然と地球惑星科学に興味を抱いていた私にとって、分野への関心を明確にする大きな転機となりました。以降、私は地球・火星・タイタンといった物質循環を持つ天体の表層圏における気候や物質循環過程に強い関心を抱くようになりました。学部4年次には、卒業研究として東京大学大気海洋研究所の阿部彩子教授のご指導のもと、北半球の氷床量変動を推定するモデルを用いて、約150万年前における長期的な気候・氷床変動と地球軌道要素との関係について理論的に検討しました[1]。その後、私は火星にも軌道要素の変化と関連した気候変動が存在することを知り、火星の気候システム変動に関心を持ち、東京大学理学系研究科の田近英一教授の研究室に進学し



ました。修士課程の前半では、現在のように乾燥した条件にある火星の表層における二酸化炭素の挙動およびそれに伴う気候変化について、南北一次元エネルギーバランスモデルを用いて解析しました。この研究成果は最近になって国際誌に出版することができましたが[2]、当時の私は火星をテーマとして研究を続けることに不安を感じ、修士課程の途中で研究テーマを初期地球の大気進化および生命圏との相互作用についての研究へと変更し、博士課程の間も継続して取り組みました。特に、約24億年前に発生した「大酸化イベント」と呼ばれる地球大気酸素分圧の上昇のメカニズム、さらにその際の気候・物質循環・生命圏の相互作用について、様々な理論モデルを用いて解析を行いました。2020年2月から3月には、ペンシルバニア州立大学のJames F. Kasting教授(当時)の研究室に滞在し、大気光化学モデルの理解を深める貴重な機会を得ました。この経験も踏まえ、私は大酸化イベント発生以前の大気化学と海洋微生物生態系との相互作用を再現する理論モデル、ならびに炭素・酸素・リン・カルシウム・鉄・硫黄の地球表層圏における収支を取り扱うことができる理論モデルなどを開発し、当時の大気および海洋の化学組成やそれらと生物活動の相互作用を詳細に明らかにしてきました[3-7]。

気象庁気象研究所への着任後は、気象研究所で開発が進められている地球システムモデルの開発に携わりました。とりわけ、私は植物の光合成などの活動や植物の分布の変化、土壌への炭素の蓄積や微生物による分解などの炭素循環に関わるプロセス、さらには林野火災の分布の変化を推定することがで

1. 国立研究開発法人国立環境研究所地球システム領域
watanabe.yasuto@nies.go.jp

きる動的植生-林野火災モデルの開発および導入を担当しました。このモデルは、第7期結合モデル相互比較プロジェクト(CMIP7)において、気象研究所地球システムモデルの一部として採用される予定であり、地球温暖化予測の不確実性低減への貢献が期待されます。さらに、業務と並行して初期地球および系外惑星の大気進化に関する研究も行ってきました。大気光化学モデルを用いて無生物の地球類似惑星を想定した条件での大気組成をシミュレーションすることで、二酸化炭素・一酸化炭素・メタンといった主要炭素種の存在量比や、大気一酸化炭素分圧が急激に上昇する「CO暴走大気」の発生条件を詳細に明らかにしました[8]。さらに、東京大学の学生らと共同で、初期地球における原始的な海洋微生物生態系の出現後における大気メタン分圧の応答とその挙動の中心星スペクトルへの依存性についても詳細に検討しました[9]。加えて、地球における大規模火成活動に伴う大気組成の一時的な変動[7,10]や、中期完新世(6000年前)および最終間氷期(12.7万年前)における大気オゾン変動[11]に関する研究も行ってきました。

私はこれまで地球表層圏の変動を軸に広く研究を進めてきましたが、地球は現在までに生命の存在が確認されている唯一の惑星であり、その大気・気候・生態系の進化に関する理解は、検証可能な科学的フレームワークで系外惑星における生命存在可能性を議論するうえで不可欠な基盤となります。このため、地球表層圏の変動や進化についての理解は系外惑星における地球類似惑星についての理解とシームレスにつながるものとして考えています。私のこれまでの研究は、地球化学・気候学・生態学・惑星科学などの多くの分野にまたがりますが、地球惑星環境における多圏相互作用を総合的に理解するという観点から「地球惑星システム科学」と呼ぶことができます。もっとも、一言で地球惑星システムといっても、時空間スケールが異なれば支配的なプロセスも異なり、同一の現象であっても別の概念や用語で語られることもしばしばあります。このため、地球惑星システム全体を包括的に理解することは容易ではありません。私は分野横断的に地球惑星システムを理解するためには様々な分野で主体的に研究を行い、異なるバックグラウンドを持つ研究者と密に連携すること

が不可欠であると考えています。そのような考えのもとで、私は学生時代から研究テーマを選択してきました。学生時代から多くの研究を進める一方でなかなか論文を出版できずもどかしい思いもしましたが、広範な分野の知見を土台として広い視野で地球惑星システムを理解する力を養うことができたと感じております。今後も、地球の過去・現在・将来にわたる気候および物質循環系の挙動についての研究を軸に、地球惑星システム変動の包括的理解を目指しつつ、惑星科学分野にもこれまで以上に貢献していければと考えております。今後ともどうぞよろしくお願い致します。

- [1] Watanabe, Y. et al., 2023, CE&E 4, 113.
- [2] Watanabe, Y. et al., 2026, Icarus 444, 116795.
- [3] Watanabe, Y. and Tajika, E., 2021, EP&S 73, 188.
- [4] Watanabe, Y. et al., 2023, Gbio 21, 537.
- [5] Watanabe, Y. et al., 2023, Gbio 21, 689.
- [6] Watanabe, Y. et al., 2024, GRL 51, e2023GL108077.
- [7] Watanabe, Y. et al., 2025, CE&E 6, 178.
- [8] Watanabe, Y. and Ozaki, K., 2024, ApJ 961, 1.
- [9] Akahori, A. et al., 2024, ApJ 970, 20.
- [10] Matsumoto, H. et al., 2024, CE&E 5, 155.
- [11] Watanabe, Y. et al., 2025, CP 21, 2243–2261.

日本地球惑星科学連合2025年大会 学生優秀発表賞 受賞者紹介

本学会が団体会員として参加している日本地球惑星科学連合の2025年度大会(5月25日-5月30日、幕張メッセ)において「学生優秀発表賞」を受賞された本学会の学生会員をご紹介します。項目は、(1)氏名、(2)所属、(3)学年、(4)発表題目(英語)、(5)発表題目(和文)、(6)発表内容、(7)受賞コメント、の順です。

(1) 神田 恵太郎(かんだ けいたろう)

(2) 東北大学大学院 理学
研究科 地球物理学専攻
(3) 博士1年

(4) Lunar subsurface
rock size-frequency
distribution revealed
by Chang'E-4 Lunar Penetrating Radar



(5) 嫦娥4号の地中レーダー観測による月地下の岩石
サイズ-頻度分布調査

(6) 月面の形成年代や進化過程の理解を深めるため、これまで知られていなかった月地下の岩石サイズ-頻度分布を調査した。電波を用いた非破壊の地下計測手法である地中レーダーに着目し、嫦娥4号に搭載された地中レーダーによる観測のシミュレーションを実施した。その結果岩石の大きさに応じて観測波形が3種類の形態に変化することを明らかにした。この結果を嫦娥4号の地中レーダーデータ解析に適用し、初めて月地下の岩石サイズ-頻度分布を算出した。

(7) このような素晴らしい賞をいただき光栄に思います。指導教員である熊本篤志先生、共著者である石山謙先生、加藤雄人先生にこの場を借りてお礼申し上げます。この賞に恥じることはないよう、今後も研究活動に邁進します。

(1) 菖蒲迫 健介(しょうぶざこ けんすけ)

(2) 九州大学 大学院理学府
地球惑星科学専攻
(3) 博士3年

(4) Linear stability
analysis of Boussinesq
convection with
explicit methods and its verification
using a high-precision particle scheme



(5) 陽解法に基づくブシネスク対流の線形安定性解析および高精度な粒子法による検証

(6) 陽解法に基づく粒子法(例えば、SPH法)は、計算の並列化や複雑な現象の扱いやすさから、惑星内部のダイナミクス計算に最適である。しかし従来の手法には、計算精度と計算速度の点で解決すべき課題があった。そこで本研究では、粒子配置の乱れに有効な高精度な粒子法(最小二乗SPH法)を開発し、精度問題を解決した。加えて、計算を高速化する手法を導入し、それが物理的に妥当な解を与えるためのパラメータ条件を、線形安定性解析によって理論的に制約した。

(7) この度は荣誉ある賞を賜り、誠に光栄に存じます。ご指導いただきました指導教員の吉田茂生先生をはじめ、共同研究者の川田佳史さん、中島涼輔さんに深く感謝申し上げます。今後も惑星科学の更なる発展の一助となれるよう精進いたします。

(1) 狩生 宏喜(かりゅう ひろき)

(2) 東北大学 理学研究科 地球物理学専攻

(3) 博士3年

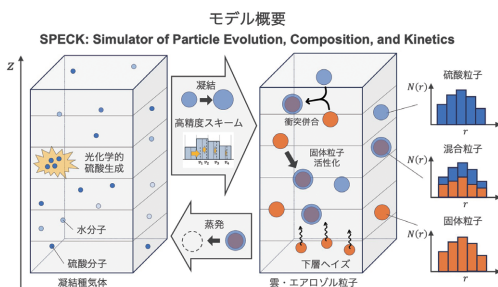
(4) A microphysics model of multicomponent Venus' clouds with a high-accuracy condensation scheme



(5) 高精度凝結スキームを用いた多成分金星雲微物理モデル

(6) 金星雲の構造を正確に再現することは、その複雑な微物理的特性のため依然として困難である。この問題を解決するため、我々は高精度凝結スキームを取り入れた微物理モデル「SPECK」を開発した。1次元計算でSPECKを既存モデルと比較検証した結果、微物理過程をより正確に計算できることが示された。SPECKは凝結成分を変えれば任意の種類の雲を計算できるため、太陽系内外の様々な惑星雲研究への応用が期待できる。

(7) このような栄誉ある賞を頂けたのは、指導教員である黒田先生、寺田先生、また共同研究者、研究室の皆さま、国際共同大学院の皆さまのご指導とサポートのおかげです。この場をお借りして感謝申し上げます。



(1) 稲田 菜里(いなだ しおり)

(2) 東京大学大学院総合文化研究科 広域科学専攻相関基礎科学系

(3) 博士1年

(4) Experimental investigation of sublimation

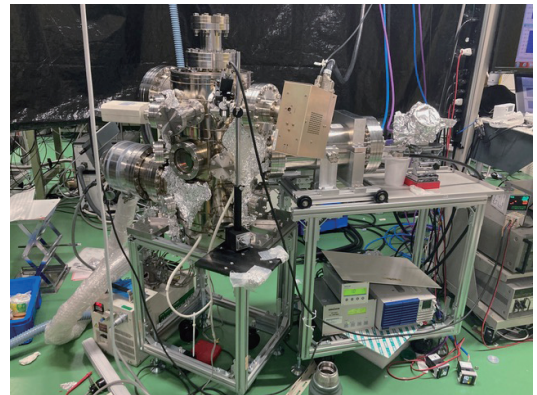


products of forsterite

(5) フォルステライト昇華生成物の実験的解明

(6) 惑星の材料となるケイ酸塩ダストの昇華は、太陽系初期化学進化の重要なプロセスである。近年、アルマ望遠鏡を用いた高解像度観測により、大質量星近傍の円盤内側でSiOなどの難揮発性分子が検出され、生成経路としてダストの昇華が提案されている。この検証を目的として、本研究ではケイ酸塩物質の昇華生成物を同定するための新たな実験装置の開発に取り組んだ(下図)。さらに、この装置を用いてフォルステライト(Mg_2SiO_4)の昇華生成物を調べた。

(7) 多大なご助力を賜りました共著者の先生方に感謝いたします。このような予察的発表での受賞は、研究コンセプトの地球惑星科学的意義を認めていただいたものと受け止め、身の引き締まる思いです。論文の形で成果をご報告できるよう、研究に邁進いたします。



(1) 谷口 啓悟(たにぐち けいご)

(2) 東京科学大学 地球生命研究所/理学院地球惑星科学専攻

(3) 博士3年

(4) Simulating the effects of salinity on ocean planet climates with 3D AOGCM

(5) 海洋惑星と呼ばれる、全球が深い海洋で覆われた惑星が理論的に示唆されている一方、海洋惑星の海洋循環や熱輸送、特に深層循環については、技術的



な問題もあり理解が進んでいない。本研究では大気海洋結合モデルMIROCを改良し、加えて深層循環を駆動する塩分に着目しながら、海洋惑星の大気海洋循環を検証した。塩分は子午面循環や海水分布のほか、自励振動といった系のふるまいにも大きく寄与することがわかった。

(6) この度栄誉ある賞を賜ることができ、大変光栄に存じます。小玉貴則先生、玄田英典先生、共同研究者の樋口太郎さん、小長谷貴志さんには感謝を申し上げますとともに、系外惑星気候の理解のため、さらに邁進していく所存です。

JSPS Information

- ◇日本惑星科学会第173回運営委員会議事録
- ◇日本惑星科学会第174回運営委員会議事録
- ◇日本惑星科学会賛助会員名簿
- ◇日本惑星科学会主催・共催・協賛・後援の研究会情報

◇日本惑星科学会第173回運営委員会議事録

期間:2025年8月18日(月)～8月24日(日)

議題:JpGU-AGU 2026の惑星科学セッションの開催形態

運営委員会委員:

出席(21名)

今村 剛, 竝木 則行, 大竹 真紀子,
千秋 博紀, 諸田 智克, 三浦 均, 百瀬 宗武,
瀧川 晶, 保井 みなみ, 横田 勝一郎, 癸生川 陽子, 生駒 大洋, 野村 英子,
藤谷 渉, 亀田 真吾, 佐々木 貴教, 野口里奈, 鎌田 俊一, 田中 秀和,
坂谷 尚哉, 黒川 宏之

欠席(2名)

黒澤 耕介, 田中 智

成立条件:期間内に議決返信のあった者を委員会出席とみなす.

議決方法:上記期間内にgoogle formから回答.

議題:

JpGU-AGU2026における惑星科学セッションに関して, AGUとの共催とするか否かの決定を会長の一任とすることについて, 承認を求める.

経緯:

2025年6月の第172回運営委員会で, JpGU-AGU2026における惑星科学セッションの開催形態は英語セッションと決定した.

一方、2024年11月時点では、JpGU側へ「現時点でAGUとの共催セッションを希望しない」と回答している。なお、共催セッションとは、AGUからコンビーナを出してもらい、JpGU・AGU双方所属の学会員がコンビーナを務めるセッションのことである。英語セッションと共催セッションは同義ではなく、変更が必要なのであれば早急にインプットが必要である。ただし、共催セッションにするか否かが本当に各セッション判断なのか、あるいは全セッションにAGU推薦のコンビーナを入れることになるのかは未確定である。このように共催セッションとするか否かについては未確定要素が多く、また判断材料にも乏しい。したがって、今後、この件についてJpGU事務局に情報を求めつつ、会長が副会長やコンビーナの皆さんと相談しながら判断することとしたい。

審議結果:

議案は原案のとおり承認された(可21・否0)

以上

◇日本惑星科学会第174回運営委員会議事録

日時:2025年9月3日(水)19:00 - 21:00

場所:東京大学駒場Iキャンパス 21KOMCEE East K114+Teams Meeting(ハイブリッド)

運営委員:

出席者 20名

今村 剛, 竝木 則行, 大竹 真紀子,
千秋 博紀, 諸田 智克, 黒澤 耕介, 三浦 均, 百瀬 宗武,
瀧川 晶, 横田 勝一郎, 癸生川 陽子, 野村 英子,
藤谷 渉, 田中 智, 佐々木 貴教, 野口里奈, 鎌田 俊一, 田中 秀和,
坂谷 尚哉, 黒川 宏之

欠席者3名(委任状:1通)

生駒 大洋, 亀田 真吾, 保井 みなみ

オブザーバー:

- ・渡邊 総務専門委員(事務局担当)
- ・平野 学会賞選考委員長

議題・報告事項:

- 2025年秋季講演会報告(成田 2025年秋季講演会組織委員長, 代理:黒川 秋季講演会組織委員)
参加者 316 名, 講演数87+10+1+110 件. 口頭発表 87 件(特別セッション10, 最優秀研究者賞受賞), ポスター 110 件(微減した). 学会本体からの補助なし, 赤字なし(黒字10万円程度)の見込み.
- 2026年秋季講演会実施案(野口 2026年秋季講演会委員長, 新潟大LOC)
9/14-17 に, 朱鷺メッセ国際会議室(400 名入る)を押さえた. 参加費は一般会員4,000円, 学生会員1,000円, 非

会員6,000円を想定しているが、申請中の新潟県開催費補助金が半額承認の場合は会費2000円値上げを予定。優秀発表者賞の審査や運営委員会は2日目にするなど選考委員会等と調整する。

3. 2027,2028年秋季講演会の開催地について(百瀬 行事部会長)

2027年度は神戸大学、2028年度は松江高専から承諾を得ている。可能であれば今後は4日間の開催を検討いただきたい。総会でも意見を募る。

4. 年会費の変更について(竝木 副会長)

学会の会計状況・事務局・サーバの移行を考慮し、遊星人電子化だけでは赤字を免れないので、2027年度からの会費の20%値上げを検討している。総会で値上げ案について説明する(2026年5月に具体的な値上げの案を提示し、秋学会で採否を取る)。

(渡邊)20%の値上げ幅では破綻する恐れがある。これからの物価高も考慮して値上げ幅を再検討すべきでは。事務局経費の減額交渉は難しい。

(千秋)10年後を見据えて、積立することを目的に30%値上げするのが良いのでは。

(諸田)積立分の値上げについては、学生に値上げの責を負わせないことも検討するのが良いのでは。

遊星人の電子化が具体的にいつから可能なのか、編集専門委員会で検討を進めてもらう。

5. 事務局運営体制について(諸田 事務局体制検討部会長)

JpGU新システムの開発業者は9月中に決まる予定。新システムの本運用は2027年から予定している。

年内中に部会でJpGUと使用料の相談、新システムの機能の確認を行い、次期事務局体制の方針案を作成する。案をもとに運営委員会で次期事務局体制を決定し、来年5月の総会で報告することとなった。

6. 第18期下期一般会計・特別会計予算案(横田 財務専門委員長)

例年通り。支出は学会誌が約300万円、事務局関連の管理費が約490万円を占め、赤字見込みである(このままでは2027年度に口座残金が枯渇する)ので遊星人の電子化に加え会費値上げを検討している。

7. 自然災害に伴う会費免除措置等について(横田 財務専門委員長)

早めの申請をお願いしたい。

8. 遊星人の発行状況報告(三浦 編集専門委員長)

順調に発行している。

遊星人の電子化について

アンケート結果:約7割が完全電子化に賛成、電子化のコンセンサスが得られたと思っている。

アンケートを受けての電子化方針:「電子化+POD」で進める。

2026年の1月以降速やかに移行することを総会で提案する。

9. 入退会状況報告(藤谷 総務専門委員長)

一般正会員 524 名、学生正会員 155 名、学生会員は昨年より 20 名程度増加。

10. 第64回総会の議長及び書記の推薦について(藤谷 総務専門委員長)

議長に豊川広晴会員、書記に清水雄太会員を推薦する。

上記は本運営委員会において承認された。

11.2025年度最優秀発表賞・優秀発表賞選考結果について(平野 学会賞選考委員長)

今年度は18名の応募があった。予稿に基づき、10名を本審査対象とした。審査の結果、最優秀発表賞を所司歩夢会員と日向輝会員に、優秀賞発表賞を北出直也会員に授与することが提案された。

上記は本運営委員会において承認された。

12.その他

JpGU-AGUの惑星科学セッションについて(藤谷 総務専門委員長)

開催形態について、今後は会長に一任する。

セッションプログラム委員の選出方法について来年度以降どうしていくか相談する。

以上

◇賛助会員名簿

2025年12月25日までに、賛助会員として本学会にご協力下さった団体は以下の通りです。社名等を掲載し、敬意と感謝の意を表します。(五十音順)

- ・NV5 Geospatial 株式会社
- ・株式会社ノビテック

◇日本惑星科学会主催・共催・協賛・後援の研究会情報

(a) 場所, (b) 主催者, (c) ウェブページ/連絡先など。

転記ミス、原稿作成後に変更等があるかもしれません。各自でご確認ください。

* 2025/11

** 2025年11月25日(火)-11月28日(金)第69回宇宙科学技術連合講演会

(a) 札幌コンベンションセンター

(b) 日本航空宇宙学会

(c) <https://smartconf.jp/content/sstc69/>

編集後記

遊星人編集幹事の野津翔太です。今回の遊星人は火の鳥はやぶさ・火星衛星MMX二本立て・金星あかつきの連載記事に加え、海外研究記（フランス・パリ）・惑星科学フロンティアセミナー2025報告・TMT-ACCESSワークショップの紹介・EXPO2025スイス館でのイベント紹介など、日本惑星科学会員が活躍する様々な活動の報告も含む充実したラインナップです。また、日本地球惑星科学連合2025年大会 学生優秀発表賞 受賞者紹介についても、受賞者の皆さんのコメント付きで掲載しております。2026年以降も引き続き奮っての記事投稿、お待ちしております。

2025年10月中旬から下旬にかけて、アメリカ東海岸に10日間ほど出張してきました。前半はボストン近郊ケンブリッジのハーバード・スミソニアン天体物理学センター（CfA）に滞在し研究議論やセミナー発表を行い、後半はアメリカ国内の都市間移動では珍しく鉄道（人生初のアムトラック乗車）で2時間半ほど北上し、メイン州ポートランド（オレゴン州の大都市ポートランドとは大陸の反対側にある別の街です）で "Astrochemistry in the Broadband Era - ngVLA & ALMA WSU" という将来計画議論を中心とした国際研究会に参加してきました。情報交換や研究議論・将来計画議論などを楽しみつつ終えた研究会最終日の夜、夕食に向かうためポートランドの街を歩いていたところ、街の中心部にある小さな

公園に日本の赤い丸型郵便ポストが2つも置かれているのを偶然発見しました。なぜこんなところに日本の郵便ポストが? と思い近づいたところ、ポストの横側に「姉妹都市の東京都品川区から5周年を記念して1989年に贈られたプレゼントである」旨が英語で記されていました。ホテルに戻った後に調べてみると品川区のウェブページに説明があり、1870年代に品川の大森貝塚を発見した考古学者・動物学者のエドワード・シルヴェスター・モース博士がメイン州ポートランド市出身だそうで、その繋がりで大森貝塚発見から約100年を記念し、1984年に品川区とポートランド市は姉妹都市となったそうです。その後、1989年にポートランド市内の旧郵便局跡地に公園を作ることになった際に、姉妹都市締結5周年を記念して品川区から丸型郵便ポスト2つが記念に贈られ、その後今に至るまで公園に設置されているとのことでした。日本でも見かける機会が少なくなった赤い丸型ポストを遠く離れたアメリカの地で見つけ、しかもそれは日本の考古学の基礎を築いたモース博士にちなみ贈られた36年前のプレゼントということで、旅先で少し心が温まる発見でした。今後も出張などで国内外を旅する機会には、旅の思い出となる様な、ちょっとした発見にも期待したいなと思います。（編集幹事 野津翔太）

編集委員

三浦 均(編集長),

野津 翔太(編集幹事),

荒川 創太, 小川 和律, 鎌田 俊一, 木村 勇氣, 黒澤 耕介, 癸生川 陽子, 小久保 英一郎, 小玉 貴則, 関口 朋彦, 瀧川 晶, 瀧 哲朗, 田中 秀和, 谷川 享行, 長 勇一郎, 成田 憲保, はしもと じょーじ, 濱野 景子, 樋口 有理可, 本田 親寿, 諸田 智克, 山本 聡, 和田 浩二

2025年12月25日発行

日本惑星科学会誌 遊・星・人 第34巻 第4号

定 価 一部 1,925円(税込・送料込)

編集人 三浦 均(日本惑星科学会編集専門委員会委員長)

印刷所 〒224-0044 神奈川県横浜市都筑区川向町787-1 株式会社 シュービ

発行所 日本惑星科学会事務局

〒604-8206

京都市中京区新町通三条上ル町頭町112 菊三ビル2階 201号室(StartupSide Kyoto)

Tel: 075-708-5984

e-mail: staff@wakusei.jp

(連絡はできる限り電子メールをお使いいただきますようご協力お願いいたします)

本誌に掲載された寄稿等の著作権は日本惑星科学会が所有しています。

複写される方へ

日本惑星科学会では、複写に係る著作権を一般社団法人学術著作権協会に委託しています。本誌に掲載された著作物を個人的な使用の目的以外で複写したい方は、(社)学術著作権協会(<https://www.jaacc.org/>)が提供している複製利用許諾システムを通じて申請して下さい。なお、著作物の転載・翻訳のような複写以外の許諾は、日本惑星科学会に直接ご連絡下さい。

1. 原稿の様式

○投稿原稿：

受領可能なファイルの形式は、MS WORD, PDF, またはテキストファイルである。原稿投稿時チェックリストを参照して作成すること。また、所定の投稿原稿送り状も提出すること。

○最終稿：

原稿の掲載が決定したら、最終原稿準備チェックリストを参照して必要なファイルを提出する。テキストデータ (WORD, TEX, テキストファイルなど) に加え、原稿をPDF化したファイルも提出すること。図は別ファイルにて提出。そのファイル形式は tiff, eps, pdf, pict が望ましい。jpeg, png も可。

投稿原稿送り状の雛型および各チェックリストはウェブサイト

(<https://www.wakusei.jp/book/pp/guide.html>)

から取得できる。

2. タイトル

記事のタイトルは20字程度以内。また、タイトル、筆者名、及び所属を和文・英文両者で付す。

(注：著者人数に対する制限はなく、紙面本文タイトルにおいて著者全員の氏名が原則掲載されるが、著者が多数である場合、各号の目次においては紙面の都合上一部著者名を省略することがある。)

3. 要旨

研究報告の記事や解説記事については、(原稿タイトルと著者名の後に) 300字程度の要旨をつける。

4. セクション

セクションは1,2,..., サブセクションは1.1,1.2,..., 細区分は(1),(2)...., の記号を頭にして、左寄せ、行末改行とする。

- ・文中での区分けは(a), (b), (c)を用いる。
- ・これら記号はすべて半角文字を用いる。
- ・セクションタイトルは簡潔にすること。

5. 述語

専門用語はなるべく避けるか、十分な説明をつける。特に、対応する日本語がある場合、英語・英略語は使わない。

6. 字体

- 数字、英字は半角とする。また () [] ; : など区切り記号も半角を用いる。
- 変数は斜体、ベクトルと行列は太字、を使う。

7. 句読点

句読点は全角の“,”と“.”を用いる。

8. 図、表

文中での図表の引用は“図1”, “図2”の形をとる。最終稿に図表の刷り上がり時の位置や大きさを指定のこと。他の文献から図表を転載する場合は、著者及び発行者より転載許可を得ること。また、出典を明記すること。

図作成のガイドライン：

原則として、電子ファイルとして作成すること。解像度は印刷時実寸で300dpi相当以上。ファイル形式は TIFF, EPS, PDF, JPEG, PNG が望ましい。

やむをえない場合に限り、写真も可とする。その際は L版サイズ以上の大ききで鮮明な写真を送付すること。送付された写真は原則として返却しない。カラーページは、著者の費用負担により可能。ただし、著者が希望し、かつ編集委員会が認めたものについては、印刷費用を学会が負担する。カラー印刷の希望が無い場合、電子版のみにカラー画像が掲載され、冊子体には白黒で印刷される。

9. 脚注

脚注は“1”などの記号をつける。

10. 文献の引用

引用文献は重要なものに限る。目安として20項目程度とする。ただし編集部が必要と認めた場合についてはこの限りではない。

本文中での引用は[1], [2]の形で通し番号をつけ、論文の末尾に一括してリストを載せる。[1,2,3]のように3つ以上の連番を引用する場合は、[1-3]のように、最初と最後の番号をハイフンで繋げる。

文献リストは以下の形式に従う。題名は省略する。3人以上の著者は、英文なら「et al.」, 和文なら「ほか」と表記する。「et al.」「ほか」のあとには半角カンマを入れる。雑誌名などは一般に使われる略称を用いる。雑誌名の後のカンマは不要。ページについては開始ページのみを記す。書籍の場合は出版社をカッコ書きで明記。各文献の最後にピリオドをつける。

参考文献

- [1] Wakusei, T. et al., 1989, ApJ 220, 293.
- [2] 惑星太郎ほか, 1993, 天文月報 86, 186.
- [3] Bohren, C. F. and Huffman, D. R., 1983, Absorption and Scattering of Light by Small Particles (New York: Wiley).
- [4] Hayashi, C. et al., 1985, in Protostars and Planets II (Tucson: University of Arizona Press), 1100.

11. 投稿原稿送付先

遊星人編集長 三浦 均

e-mail : chiefeditor@wakusei.jp

電子メールで送付できない場合は下記へ郵送

日本惑星科学会事務局

〒604-8206

京都市中京区新町通三条上ル町頭町112

菊三ビル2階 201号室(StartupSide Kyoto)

Tel: 075-708-5984

e-mail: staff@wakusei.jp



The Japanese Society for Planetary Sciences