



「あかつき」のフェアウェル画像

通信途絶前「あかつき」最後期の金星画像のうち、2024年3月22日に比較的金星に近い距離から良好な解像度で得られたもの。上はLIR、右はUVIの2波長を疑似カラー合成。不良画素はお化粧せず黒いままに残した。



The Forefront of Space Science

宇宙
科学
最前線

迫れ、あかつきの星！(6)

～変動する金星のスーパーローテーションを追って～

太陽系科学研究系 教授 佐藤 毅彦(さとう たけひこ)

「あかつき」のライフワーク

2025年9月18日、運用チームは探査機へ「通信オフ」コマンドを送信し、これにより金星探査機「あかつき」の運用は公式に終了しました。前年2024年4月末に通信途絶に陥るまで、周回軌道での金星観測期間は8年4ヶ月余りでした。「あかつき」の最重要ターゲットは言うまでもなく、金星大気のスーパーローテーションでした。スーパーローテーションとは何か、そしてその維持メカニズムについての知見は、「迫れ、あかつきの星！(1)」(ISASニュース2020年9月号^{*1})で堀之内 武氏が詳しく解説されています。ここではスーパーローテーションとはゆっくり自転する金星本体よりはるかに高速で西向きに回転する大気の運動であり、地表から70kmほど上空の雲頂付近で風速100m/sにも達すると述べるにとどめ、本稿ではその「変動」についてその後分かってきたことを紹介します。こうした研究は長いスパンでデータが蓄積されて初めて可能になりますから、まさに「あかつき」のライフワークであったと言えます。

先輩「ヴィーナス・エクスプレス」が遺してくれたもの

「あかつき」の先輩に当たる欧州のヴィーナス・エクスプレ

ス(以降ではVExと略記)は、2006年から2014年まで複数の搭載機器で金星データを取得しました。金星雲頂付近のデータは主に、VMCとVIRTIS-M/VIS^{*2}という観測装置で得られています。このうちVMCによる2006年5月から2010年3月までの観測データ(波長365nm)を解析しスーパーローテーション風速の変動を調べた研究が、神山 徹氏らによって発表されています[1]。VExは金星北極側に近金点、南極側に遠金点をもつ24時間周期の長楕円極軌道で金星を周回していました。軌道平面が慣性空間固定のため1金星年(225地球日)の間に、おおむね100日の雲追跡好期と130日の観測空白のサイクルが繰り返されます(図1)。また金星近傍では探査機の運動速度が速まり視野のオーバーラップが得られず、複数画像からの雲追跡はできません。図1で南半球中低緯度(南緯42°から18°)に情報が限られているのは、そのためです。得られた風速変動のデータに対して周期解析を行ったところ、周期255日について最も強いピーク(南緯18°)が得られました。南緯18°の風速変動に対する相関係数は南緯24°では0.94と高く、南緯30°でも0.80という良い相関を見せています。対照的に南緯36°では0.58、南緯42°では0.30のように低くなることから、低緯度帯には共通の変動のあることが分かりました。周期255日は1金星年より長く、公転に伴う季節変動とは違う何か風速変動をもたらしているのでは、と結論づけられ

*1 https://www.isas.jaxa.jp/outreach/isas_news/files/ISASnews474.pdf

*2 VMC = Venus Monitoring Camera VIRTIS = Visible and Infrared Thermal Imaging Spectrometer-M/VISは紫外・可視光のマッピング観測チャンネルを意味

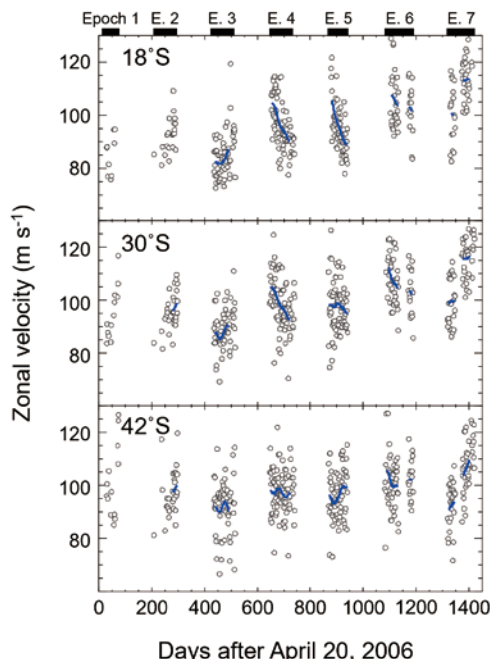


図1：VEx/VMCデータから雲追跡により得た金星スーパーローテーション風速の年変化。青色曲線は測定データを平滑化したもの[1]。オリジナルの図から南緯24°と36°を省略している。

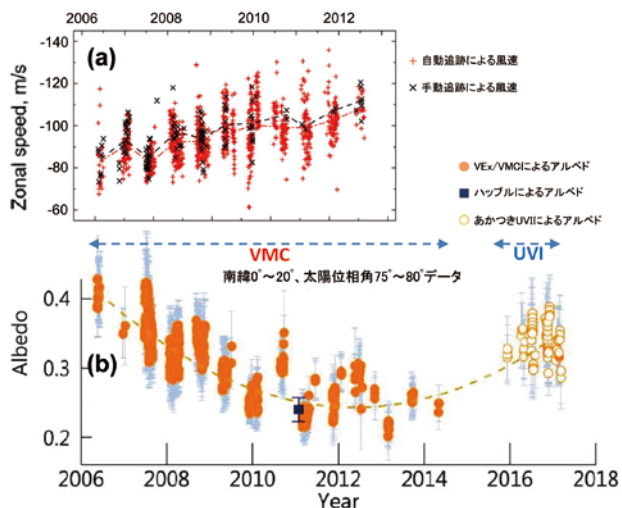


図2：風速の年変化 (a) [2]と紫外線アルベドの年変化 (b) [3]を比較したもの。横軸の年が(a)と(b)とで揃うように縮尺して並べてあり、アルベドの低下と風速の増大が対応している様子が見られる。

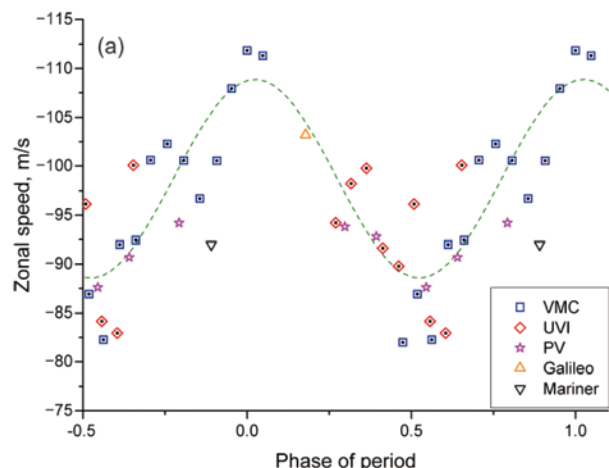


図3：12.5年の長周期変動を仮定し複数ミッションの風速データを整理したもの。VEx/VMC、あかつきUVIを主に、パイオニア・ヴィーナス、ガリレオ、マリナー10号のデータがプロットされている。曲線は12.5年周期の正弦波[4]。

ました。

同じVEx/VMCデータを、しかし2012年までカバレッジを伸ばして独自に雲追跡と解析を実施した研究がKhatuntsev氏らにより発表されています[2]。観測期間が延びたことによりスーパーローテーションの加速傾向が明瞭となり、2006年頃の風速85 m/sから2012年半ばの110 m/sへと加速したことを報告しています(図2a)。一方、神山氏らが示した255日周期[1]について彼らは238日周期にピークを得たものの、これは金星の太陽日(118日)とVMC観測の季節性(約222日)の合成周期ではないかと疑義を述べています。

VExからバトンを受け継いで

2010年12月の周回軌道投入に失敗した「あかつき」はそのちょうど5年後、2015年12月7日のチャレンジで金星周回軌道入りを達成しました。1年を超える長めの空白が挟まったとはいえ、VExで得られた情報とつなげて長期にわたる準連続データにもとづく研究がスタートしたと言ってよいでしょう。

いち早くその成果を出したのは、あかつきプロジェクト研究員のYeon Joo Lee氏らでした。Lee氏は金星の平均的な紫外線アルベドを抽出し、VEx/VMC、あかつきUVI、補助的にMESSENGERフライバイ、ハッブル宇宙望遠鏡のデータを加えて、2006年から2016年の長期変動を調べたのです[3]。異なるミッション間での「明るさの絶対値」比較は、口で言うほど簡単ではありません。観測データは、(1)対象のスペクトル、(2)フィルターを含む全光学系の透過率スペクトル、(3)検出器の感度スペクトルをすべて掛け合わせたもの、さらには画素毎の感度差や読み出し電気系増幅率のばらつきなど、多くの誤差要因を含みます。Lee氏らは各機器の特性をしっかりと把握し細心の注意を払って、複数ミッションのデータを時系列に整理したのでした。

苦勞の甲斐あって、得られた時系列データは大変に興味深いものでした(図2b)。VExの観測期間を通じて紫外線アルベドはおおむね低下する(太陽光吸収が増す)傾向にあり、その値は2011年から13年頃に「底」を打っているように見えます。そしてあかつきUVIが観測を始めたときには金星アルベドは、2008年頃のレベルに戻っていたことがわかります。ここからが面白いところで、あかつきUVIデータを用いた雲追跡による風速決定も当然すぐに始まりました。この初期に得られたスーパーローテーション風速はVExの期間に比べると「顕著に遅かった」のです。つまり2006年から2012年までスーパーローテーションは加速し[2]、その期間の紫外アルベドはほぼ単調に低下した(太陽光吸収が増した)。そして2016年にアルベドが高くなると、それに呼応するようにやや遅いスーパーローテーションが見られたというストーリーが描けそうです。Lee氏らは実際に金星大循環モデルの「太陽加熱率」を人為的に増大させたところ、スーパーローテーションが速くなる様子が見られたと報告しています。ただし、まだ「応答のタイムスケール」や「アルベドの激しい空間的・時間的変動による影響」は不明という問題があり、この単純なストーリーがすべてを解決してくれるわけではなさそうです。

スーパーローテーションの「長周期」変動？

さて、再びスーパーローテーション風速の変動に戻しましょう。これについて面白い研究成果を発表したのがKhatuntsev氏

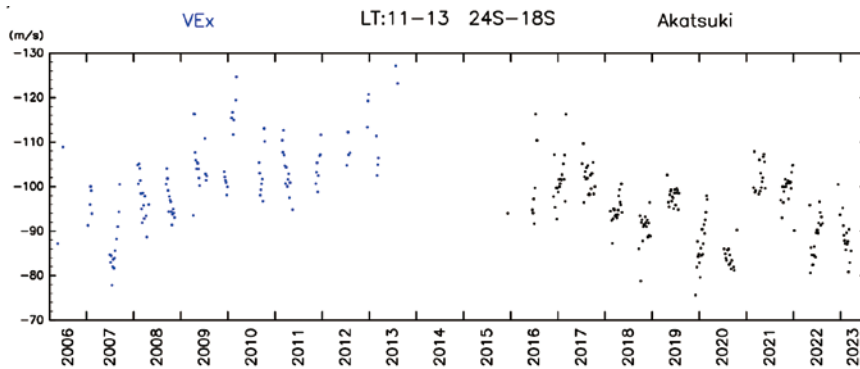


図4: VEx/VMCとあかつきUVIによる風速データをつなげたもの[5]。観測地方時を11時から13時、緯度帯を南緯24°から18°に限定し、2006年から2023年までの期間をカバーしている。特に2019年以降のデータにはカオス的な振舞いが見られる。

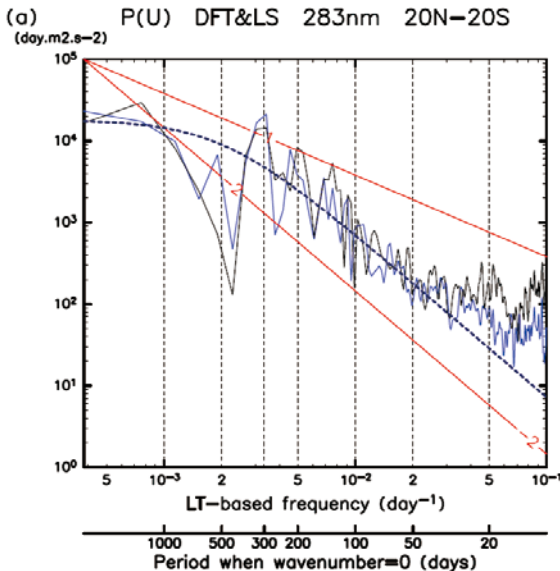


図5: あかつきUVIによる風速変動データの周波数解析結果。観測波長は283 nm、緯度帯は赤道をはさみ南北20°に限定。破線で示したレッド・ノイズの振舞いと似て、広い周波数の成分を含んでいることが分かる[5]。

らです[4]。彼らはVEx/VMCの全期間にあかつきUVIの2021年5月までの風速データをつなぎ、全体に12.5年を周期とする正弦波のような変動があると考えました。そこへさらにマリナー10号(1974年)、パイオニア・ヴィーナス(1979年~1985年)、ガリレオ(1990年)といった大昔のデータを加えて吟味したのです(図3)。この図では仮定した周期にもとづき、過去データを正弦波の対応する位相にプロットしています。読者の皆さんにはどう見えるでしょうか?それっぽいと言われればそうですし、しかしデータ全体が1周期以上の繰り返しプロットとなっておりその中に正弦波が描かれていることで、「人間の目はそれらに引きずられやすくなる」ということもあるかも知れません。

自然から謙虚に教えてもらうのが科学ですから、その後も続いたあかつきUVIによる風速データを虚心に見ることが王道です。そして実際それは驚くべきものだったのです(図4)。堀之内氏は2023年5月までカバレッジを伸ばし、その全期間について風速の変動を検討しました[5]。確かに2019年までは「スムーズな正弦波的長期変動」に従っているように見えます。ところが2020年、その様子は一変します。2019年後期から2020年初めにバラつきが激しく、その後著しく低速の期間。そして2021年に大きく加速したあとは2023年にかけて、また減速傾向にあるようにも見えます。もしVEx/VMC側のプロットをマスクしてあかつきUVIだけを見た場合、

何か明瞭な変動パターンがあるというよりは、もっとカオス的な振舞いを感じるでしょう。

そこで堀之内氏は(その時点で最長の)あかつき7.2年分のデータに対して、周波数解析を行いました。結果は広い周波数範囲にわたるスペクトル分布(ノイズ的とも言える)が見られるというものでした(図5)。「単一周期の卓越」を期待していた先行研究とは異なるアプローチの成果と言えます。VEx/VMCデータ解析で得た255日周期[1]は明瞭には立たないものの、500日周期付近にスペクトルの落ち込みがあるためそれより少し短い周期の変動が強調されて見えることはあるかも知れない、とコメントしています(おそらく[2]の238日も)。全体として見れば、地球の大気がそうであるように金星の大気も、外的要因(たとえば太陽活動周期)に左右されて周期的な応答を示すというよりはむしろ、自身の持つ内部要因(さまざまな波動の相互作用のような)による自励的な変動が支配的と考えられる、という結論です。

そしてバトンはまた後続の金星ミッションへ

それでもまだ、太陽周期に影響されることがあるのではないか。何しろ上記の研究結果では7.2年分のデータが解析対象でしたから、11年や12年の周期性を否定するとも肯定するとも決定的には言えないのです。それが、あかつきミッションの「後期運用3」を渴望した原動力でした。2029年3月末まで、承認された通りの期間にわたるデータを取得できれば、この問い「金星大気の変動は、外的要因(太陽活動周期など)に左右されるのか、それともほぼ自励的なのか」に決定的な答えを出せたかも知れません。地球には海があり大陸があり、その中を水が循環して熱を運び大変に複雑な系を成していますから、地球がとても自励的な変動を見せるのは分かる気がします。海と大陸の区別のない金星は、地球より単純なのでしょうか?それとも雲層(ほぼ地球の気象現象が見られる領域に対応)より下の領域に、まだまだ我々の想像のはるかに及ばない世界があつて期待は裏切られ続けるのか?この疑問の解明は、次世代の金星探査ミッションへと引き継がれてゆくことになりました。

【参考文献】

- [1] Kouyama et al., 2013, JGR Planets 118, 37-46.
- [2] Khatuntsev et al., 2013, Icarus 226, 140-158.
- [3] Lee et al., 2019, Astron. J 158, 126, <https://doi.org/10.3847/1538-3881/ab3120>.
- [4] Khatuntsev et al., 2022, Atmosphere 13 (12), <https://doi.org/10.3390/atmos13122023>.
- [5] Horinouchi et al., 2024, JGR Planets 129, <https://doi.org/10.1029/2023JE008221>.

第3回MMX会議が行われました

1月13日から16日の4日間、第3回のMMX (Martian Moons eXploration) 会議が宇宙研で行われました。MMX会議は、昨年6月以来の開催となります。今回もハイブリッドでの開催。国内外から現地・オンライン参加合わせて約100名以上が参加しました。特に現地参加組が最大で約80名に達しました。これまでのMMX会議の中では最大の参加者数でした。MMXの打上げを2026年度に控えて、直接議論に参加したい、という気持ちの表れかと思えます。海外からは、NASA, JHU/APL, CNES, DLRといった国際協力機関から参加がありました。

今回の会議構成は以下のようになっています。

- 初日 プロジェクト全体会議
- 2日目 運用計画全体会議
- 3日目 ミッション機器チーム会議
- 4日目 地上システム会議

初日の全体会議では、川勝プロマネからMMXプロジェクトの進捗状況について説明がありました。探査機の開発過程やシステム総合試験の様子を写真や動画を交えて紹介し、日頃実機を直接見る機会が少ない参加者の関心をひきました。そのほかでは、MMXが目指すサイエンス、探査機システム試験の進捗状況や、種子島での射場作業に関する説明がありました。広報関係では、米田 あゆ・諏訪 理 両宇宙飛行士がMMXの広報アンバサダーに就任されたことが報告されました。今回、集合写真は、いつもは研究管理棟1階のロビーで撮影するところですが、宇



第3回MMX会議の会場の様子

宙研らしい場所であるということで、寒空の下ではありましたが、M-Vロケットの前で撮影しました*。

3日目の午前には、海外機関参加者の希望者による三菱電機鎌倉製作所への見学ツアーが実施され、実際に、システム総合試験中のMMXの機体を見学しました。実機を直接見る機会が少ないこともあり、実機の大きさに参加者は感動していました。会議の合間の休憩時間には、海外からの参加者に対して、エリザベス・タスカーさんがショートインタビュー(各1分) 動画撮影を行いました。これは、今後順次、SNSなどで公開していく予定です。

4日間の会議を通して、MMXのチームメンバー間で、活発な情報共有と意見交換が行われました。会議そのもので、休憩時間で、あるいは懇親会の場で、ミッション成功に向けた具体的な方策が熱く語られ、会場には真剣な空気が漂いました。打上げまでもうすぐ——その現実味が増す中で、関係者の意識と士気は一段と高まり、チームとしての結束も強まりました。

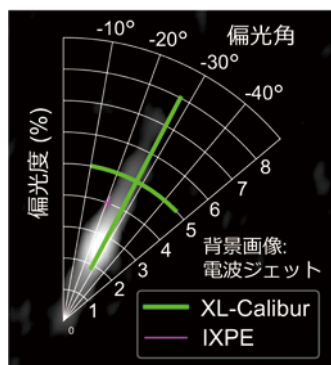
(矢治 健太郎)

* 集合写真は、6p 連載記事「MMX はフォボスを目指す」を参照。

XL-Calibur実験がブラックホールコロナの硬X線偏光観測に成功

日米スウェーデンの国際協力による気球実験XL-Caliburは、ブラックホール近傍にある超高温プラズマ「コロナ」の構造に迫る硬X線偏光観測に成功しました。

ブラックホールの強重力に囚われ、激しい速度で回転運動する近傍の物質は降着円盤を形成し、円盤に対しほぼ垂直方向に高速のジェットが放出されます。そして円盤内の激しい摩擦により、約10億度の超高温プラズマであるコロナが形成されます。このコロナの存在は半世紀前から示唆されているものの、どこに・どのような形状で存在するのかは長年の謎だったのです。



図：XL-Caliburによる白鳥座X-1の硬X線偏光観測の結果

コロナが放射する硬X線の「偏光」(光の振動方向の揃い具合)は、この謎を解明する手がかりになります。コロナが円盤に沿って広がっていれば、偏光方向はジェットと平行になり、コロナがジェットの周りに存在していれば、偏光方向はジェットと垂直になることが理論的に予想されています。しかし従来の観測装置では感度不足により測定できません

でした。そこで開発されたのが、従来の20倍の感度を持つXL-Caliburです*1。

2024年7月9日、スウェーデン・キルナより放球されたXL-Caliburは、成層圏を6日間漂う中でブラックホールX線連星系の白鳥座X-1を観測し、ジェットに沿った方向に約5%の偏光を検出することに成功しました*2(図参照)。この観測結果は、コロナが降着円盤に沿って広がった構造を持つことを示唆しています。

本実験最大の特長は、世界最大の有効面積を有する日本製の硬X線望遠鏡です。ASTRO-Hで日本が培った技術を活かし、口径約45cmの中に、厚み0.2mmの薄い反射鏡をバウムクーヘン状に213層も精密に並べることに成功し、大面積を実現しています。反射率を高めるため、反射鏡表面にはプラチナ/炭素の多層膜が成膜されています。反射鏡基板や望遠鏡筐体はアルミニウムからできており、大面積ながら約60kgと超軽量です。天体からの微弱な硬X線を効率良く集める巨大な「瞳」がXL-Calibur実験の成功を支えました。

この成功を受けて、南天にある他の天体を観測するため、我々は南極における約1ヶ月に及ぶ長期間観測フライトを2027年末に計画しています。この観測に備え、装置の改良や性能評価に取り組む予定です。さらなる科学的な成果を発信できるよう、次のフライトに向けて準備を進めて参ります。

(大阪大学/倉本 春希)

*1 2018年にJAXA小規模計画に採択。 *2 XL-Calibur Collaboration 2025, ApJ, 994, 37, ISASニュース2024年10月号https://www.isas.jaxa.jp/outreach/isas_news/files/ISASnews523.pdf

電子線描画技術を用いてダイヤモンド半導体を試作し、世界最高レベルのマイクロ波・ミリ波帯の増幅を達成

佐賀大学とJAXAは、2023年より実施中の文部科学省「内閣府宇宙開発利用加速化戦略プログラム」(スターダストプログラム)の委託事業において、次世代の究極のパワー半導体材料とされるダイヤモンドを用いて、電子線描画技術によるT型形状の微細ゲート構造を持った高周波半導体デバイスを試作し、世界最高レベルの120GHzのマイクロ波・ミリ波帯の増幅を達成しました。

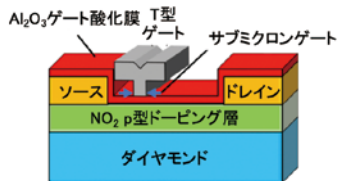


図1: 試作に成功したダイヤモンドMOSFETの構造

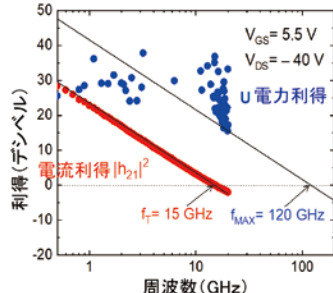


図2: 高周波領域の増幅利得特性

スターダストプログラムでは、ダイヤモンド半導体技術を用いて、宇宙向けの人工衛星搭載の送信用マイクロ波電力増幅デバイスの実用化を目指しており、地上の移動体通信システムの送信出力や電力効率を飛躍的に向上させるデュアルユース技術としても期待されています。

放送用送信機、各種レーダー送信機、衛星通信用送信機は、電力増幅素子に長らく真空管が利用されてきましたが、近年、信頼性向上を目的とした半導体増幅素子を用

いる固体化が盛んに進められています。宇宙通信用の地上局送信機や衛星搭載中継器では、小型高効率化実現のために、マイクロ波帯での固体増幅素子の高出力が強く望まれており、また信頼性向上のために高い宇宙放射線耐性が必要とされています。特にダイヤモンドは、結晶構造が持つ物性から、従来のシリコンやシリコンカーバイド、窒化ガリウムと比べ、放熱性及耐電圧性、放射線耐性に優れており、環境の厳しい宇宙空間において安定に動作させることができます。ところがダイヤモンドは皆様もご存じの通り高価で、硬度が高く極めて加工が困難な材料でもあります。

ダイヤモンド半導体デバイス試作にあたり、最初のアプローチとして、ダイヤモンド基板とゲート絶縁膜の高純度化に着手し、ゲート絶縁膜の耐電圧を向上させ、パワー半導体のオフ時の耐電圧を向上させました。さらに電子線による描画技術を用いて157nmの微細なゲート電極構造を作製する技術を開発しました。この2つの技術の組み合わせにより、マイクロ波・ミリ波帯で増幅するダイヤモンド半導体の作製が可能になりました(図1)。

今回、試作したダイヤモンド半導体の電力利得(U)を測定したところ、遮断周波数が120GHzを超える高周波特性が得られ、マイクロ波・ミリ波帯において増幅可能ことが実証できました(図2)。増幅素子のパッケージングなどの後工程の技術の開発も並行して進めており、宇宙環境での動作実証に向けた研究開発を加速していきます。(富木 淳史)

観測ロケットの高頻度化：ファストトラック制度の新設へ！

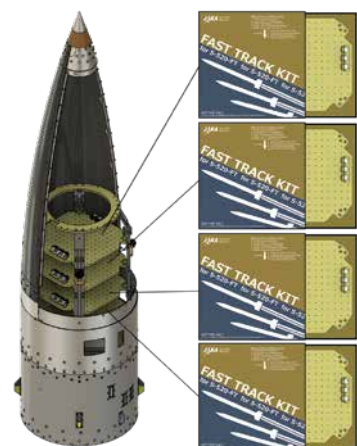
次、予約を取れるのは5年後の便ですねーそう言われたら諦める人がほとんどではないでしょうか。観測ロケット実験のお話です。5年後と言えば、今と全く異なる環境に身を置く人が大部分でしょう。多くの人にとって、短期に成果が出なければ次に繋がらない時代です。

なぜこのような状況になっているのでしょうか。その理由は観測ロケットのプロジェクト期間にあります。キックオフから打上げまで30ヶ月。これだけ時間がかかるのは、トップサイエンスを目指すために毎号機システムリソース最適化を行っているからです。しかし近年は、迅速に成果が欲しいユーザーが増えています。そこで我々は現在、ファストトラック制度の準備を進めています。これは観測ロケット開発プロセスを簡素化し、プロジェクト期間を12ヶ月未満に圧縮するものです。大学共同利用制度とファストトラック制度の組合せにより、S-520観測ロケットの打上げを4機/年まで高頻度化する計画です(従来比4倍)。

観測ロケット実験を検討しているユーザーにはファストトラック・キットを配布する構想を進めています。キットには標準搭載板が同梱されており、これにミッション機器をネジ止めしてJAXAに持ち込めば、すぐ打ち上げられるというコンセプトです。ファストトラックでは、言葉(文書)から始まるのではなく、あな

たの部屋に搭載板が宅配されるところから始まります。宇宙実証したい機器が手元があれば、搭載板上にレイアウトしてください。3Dプリンタ模型を並べてみるのも良いでしょう。うまく並べられたら、次にやることは必ずと見えてきます。ネジ止めするためには、どのようなアダプタがあればよいだろうか？ワイヤハーネスはどの経路で配線すればよいだろうか？通信アダプタは

どうすればよいだろうか？飛行中に壊れないだろうか？ご安心ください、宇宙研には過去50年で培われた解決方法が揃っています。観測ロケット実験グループはFlight Proven & Fast Trackingをキーワードに、宇宙プロジェクト加速に貢献していきたいと考えております。(白杵 智章)



S-520ファストトラック制度の概要
ユーザーにFTキット配布を行い、実験採択から12ヶ月で宇宙実証へ！



MMXはフォボスを目指す!



宇宙に国境はない
—MMXを支える
国際協力のかたち—



「責任を分担する」ことで可能になる 国際協力ミッション

宇宙空間そのものに国境は存在しません。しかし、国境のない宇宙空間における探査活動中に、予期せぬ事故が起きた場合、各国の間で事故の責任を容易に追及できてしまう仕組みであったならば、各国はリスクを恐れ、宇宙探査そのものへの参入に慎重になり、国際的な探査活動の進展が妨げられてしまう可能性があります。こうした事態を避けるため、宇宙開発の国際協力においては、「宇宙空間で発生した事故や事象について、一定の範囲で責任追及の権利を相互に放棄する」という趣旨の、いわゆるクロスウェーバー条項を前提とすることが一般的です。この仕組みは、宇宙探査を安全かつ持続的に進めるための、いわば“見えないインフラ”として機能しています。

MMXでは、開発を共に進めるパートナーとして、NASA、CNES、ESA、DLRの4つの海外機関と、それぞれ国際協定を締結しています。各機関は自らの強みを活かし、ミッション機器の開発、サイエンス分野での貢献、地上局支援等、さまざまな分野でMMXミッションに参画しています。いずれもJAXAと各機関が対等な立場で所掌分野の責任を担う形で国際協定を締結しています(表)。

例えば、MMXの打上げや運用の過程において、各機関が主導して開発したミッション機器が、意図せず機能不全に陥ったり、何らかの事故によって使用できなくなったりする可能性はゼロではありません。しかし、そのような場合であっても、各国がその責任をJAXAに追及しないという前提が、国際協定の中で定められているからこそ、JAXAは各宇宙機関と安心して開発を連携させ、長期にわたる高難度の探査ミッションを進めることができます。

MMXミッションの科学成果を国際協力の柱に

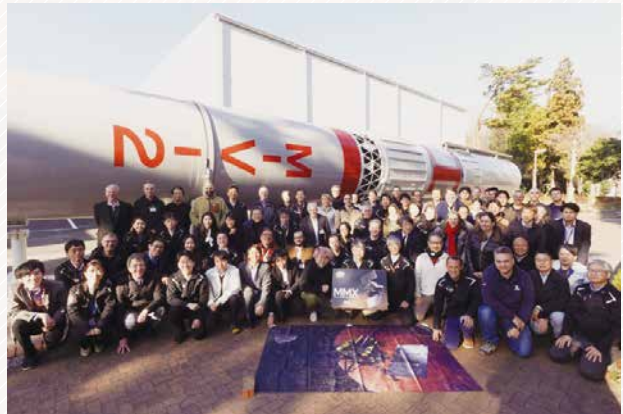
火星圏を往復し、フォボスの地表サンプルを地球へ持ち帰るといふMMXミッションにおいて、国際協力が担う重要な要素は、フォボスから回収されるサンプル試料の取り扱いではないでしょうか。

フォボスのサンプルは、JAXAが主導しつつも、世界各国の知見と技術を結集して取得されるものであり、特定の国に閉じたものではありません。その科学的価値は極めて高く、人類共通の知的資産です。サンプルの保管や分析には、厳格

海外機関	協力案件
NASA (米国)	<ul style="list-style-type: none"> ガンマ線・中性子線分光計 (MEGANE) ニューマティック採取機構 (P-Sampler) 地上局支援 (管制、ミッションデータ受信)、他
ESA (欧州)	<ul style="list-style-type: none"> 深宇宙用通信機 (Ka帯) 地上局支援 (管制、ミッションデータ受信)
CNES (フランス)	<ul style="list-style-type: none"> 近赤外線分光装置 (MIRS) MMXローバ (MMX Rover) (DLRと共同) 近接運用支援
DLR (ドイツ)	<ul style="list-style-type: none"> MMXローバ (MMX Rover) (CNESと共同) 試験設備提供 (落下塔、微小重力模擬)

- ・ 強調項目は搭載機器。
- ・ 各機関とも、この他に、参加科学者の活動を支援。

表：海外機関ごとの協力案件一覧



MMX プロジェクト関係者での集合写真 (2026年1月撮影)

な基準を満たした専門施設が必要ですが、それに加えて、仮に一箇所でサンプルを保管していた場合、予期せぬ事故やトラブルが生じると、貴重な試料が永久に失われてしまうというリスクも否定できません。こうしたリスクを低減するため、MMXでは国際協力の一環として、サンプルの保管および分析を行う施設を日本国内に限らず、複数の海外機関に分散して確保することを、いくつかの国際協定の中で取り決めています。

これにより、サンプルを長期にわたって安全に維持し、その科学的価値を最大限に引き出すことができるようになります。

さらに、フォボスのサンプルに基づく科学成果についても、MMXでは国際協定の中で一定の取り決めがなされています。MMXには、各機関が選定した科学者がサイエンスボードメンバーとして参画し、ミッション初期から共同研究を進めてきました。それぞれの機関が選定した科学者が論文を執筆する際に、成果の競合や不公平が生じないように、あらかじめ研究テーマや役割分担が定められています。このような枠組みによって、国際的な協力関係のもとで、科学的成果が円滑に創出される環境を整えています。

MMXは2026年度打上げ、2031年度の地球帰還(予定)の間、国際・国内から集まる多彩なメンバーと共に開発を継続します。

町元 恵瑠 (まちもと える)



相模原市役所 市長公室
シビックプライド担当部長

白井 由美 (しらい ゆみ)

宇宙研と相模原

いつも大変お世話になっている宇宙研の広報の方から「いも焼酎」への執筆依頼をいただき、早速バックナンバーを拝見すると、これまでの執筆者の方々の素晴らしい経歴と記事に絶叫！こ、これは開き直るしかありません。素人ですがご容赦ください。

宇宙研が相模原市に移転した1989年、思い返すと私が星々と出会った年でもあるかもしれません。当時学生だった私は趣味である写真撮影に没頭するカメラ小僧で、風景やお祭り、動物などジャンルを問わず撮りまくっておりました。当然星空の撮影にもチャレンジしていましたが、当時はフィルムカメラが主流で、現像しては真っ黒な写真の数々にがっかりすることばかり。そんな中、神津島への旅行が決定！「きっと私にも素晴らしい写真が撮れる！」と夜中に宿を抜け出し、冬の静かな海辺で意気揚々とシャッターを押しましたが・・・結果はご想像にお任せします(笑)。ただ、星ってこんなに沢山あるの？というくらい素晴らしい天然のプラネタリアムに出会えた感動は今でも忘れられません。

そして、学生時代から少しだけ？時は流れ、神津島の星空も記憶の彼方に眠っていた2025年4月に相模原市役所でシティプロモーションを所管するシビックプライド担当部長を拝命することとなりました。本市ではJAXA相模原キャンパスがあることが市民の誇りとなっており、またシティプロモーションの4つの柱の1つに「宇宙を身近に感じられるまち」を掲げています。とはいえ私の宇宙に関する知識と言えば、『水星＝ハレー彗星？』、『金星＝きんぼし？』、『地球＝青い』、『火星＝マーズアタック』、『木星＝キンモクセイ』、『土星＝ドーナツ』、『天王星以降＝？』くらいのもので、ほぼ宇宙初心者といった状態。こんな私に宇宙を所管する部長が務まるのか不安を感じていました。

しかし、蓋を開けてみれば、就任早々の桜まつりの銀河連邦(JAXAの研究施設が縁で交流を始めた5市2町、大樹町、角田市、大船渡市、能代市、佐久市、肝付町、相模原市が「ユーモアとパロディ」の精神で結成した友好都市)のレセプションでは、各共和国の皆様や宇宙研の方々と楽しくお酒を飲み交わし、5月に開催された宇宙科学講演会ではMMXの講演で知識を深め、その後の交流会では宇宙研のイケメン研究者とお酒を飲み交わし、宇宙研の協力を得て銀河連邦で出展した大阪・関西万博では、藤本所長の軽妙なトークに感動し、その後は大阪の夜でお酒を飲み交わ



し、7月の銀河連邦フォーラムでは各共和国の皆様とお酒を飲み交わし、翌日はロケットの打上げに立ち会う(結果としては打上げは延期になりましたが…)など、当初の心配はどこ吹く風で、とても貴重な体験(ほぼお酒ですか)をさせていただく日々を過ごしています。

そして、宇宙初心者であった私も、徐々に知識を蓄え、今では『水星＝「みお』』、『金星＝「あかつき』』、『火星＝MMX』という言葉がすぐに頭に浮かぶ程度には成長をし、今年予定されている、「はやぶさ2」の小惑星フライバイ、MMXの打上げ、「みお」の水星周回軌道投入などの大型プロジェクトを楽しみにしていると同時に、世界から注目を集める壮大なチャレンジに挑む宇宙研のある本市に住んでいることを誇らしく思う自分がいます。

この「ワクワク感」や「誇り」を、市民をはじめとした多くの皆様と共有したいという思いもあり、本市では昨年10月に「JAXA応援団」を結成しました。以前藤本所長が、「研究者は日々地道な作業をしているので、みなさんの応援が大きな力になる」というお話をいただいたことがとても印象に残っていて、沢山の方に応援団となっただけ、一体感を持って応援することで、シビックプライドの醸成につながるとともに、少しでも宇宙研の皆さまの力になれることを期待しています。

本市では、宇宙研周辺の通りや地元商店街に宇宙に関連した名称がつけられ、最寄りのJR淵野辺駅では、2014年から銀河鉄道999が発車メロディとして使用され、昨年7月には10億個の星々と8K映像を同時に楽しめる世界初のプラネタリアムがリニューアルオープンするなど、「宇宙を身近に感じられるまち」を目指したまちづくりを進めています。宇宙研が本市にあり、宇宙研の皆さまがいつでも地域に寄り添ってくれていることが、一番大きな力になっていることは言うまでもありません。本市のシビックプライドの要として、今後も様々な宇宙関連事業を行うとともに、研究者や宇宙飛行士が本市から誕生することを目指して「宇宙オタク」を量産していきますので、引き続きよろしくお祈りします。

》 経験を伝える

「あらせ」成功の背景にあるもの

——さまざまなミッションに携わってこられたそうですね。

これまで「のぞみ」「かぐや」「SDS-1」「みお」「あらせ」などに携わり、現在は深宇宙探査技術実証機DESTINY⁺のプロジェクトマネージャを務めています。その中でも、立ち上げから中心となって関わった「あらせ」には、特に思い入れがあります。

——「あらせ」は、どのような衛星ですか？

地球周辺には高エネルギーの電子が充満した領域があり、放射線帯と呼ばれています。高エネルギーの電子がつくられる過程を、その場で直接観測し、その機構を明らかにしようというのが、「あらせ」です。実は、地上試験の終盤で大きな不具合が出ました。その日は試験が予定より早く終わったため、メーカーの人から「こんな試験をやってみますか」と提案があり、それを試した際に発生したのです。解析の結果、その不具合が起きる確率は極めて小さく、この時は打上げ前に対策できましたが、仮に打上げ後に発生していたら、衛星は即、運用終了となっていたでしょう。

「高島さんは不具合が出ると、ニコニコしてうれしそうですね」と言われたことがあります。私にとって初めての衛星となった「のぞみ」は、火星周回軌道に入れることができませんでした。ほかにもさまざまな失敗を経験してきたからこそ、地上で不具合を出し切ることが、どれほど重要かを知っています。だから、「今ここで不具合が出てよかった」と思うんです。

なんちゅうミッションだ！

——プロジェクトマネージャを務めているDESTINY⁺とは？

DESTINY⁺は、ふたご座流星群の母天体である小惑星フェートンのフライバイ探査を行います。フェートンは小惑星に分類されていますが、彗星のようにダストを出している不思議な天体です。こうしたダストが、地球に有機物をもたらすのに大きな役割を果たしたと考えられています。ダストの放出機構を明らかにするため、DESTINY⁺はフェートンから500kmという距離を高速で通り過ぎながら2台の望遠カメラでその表面を観測します。

ミッションの概要を初めて聞いたときは、「なんちゅうミッションだ！」と思いました。フェートンは黄道面に対して大きく傾いた軌道を持っているので、黄道面付近を飛行する探査機が観測できるチャンスは公転周期の間で2回しかありません(片方は水

宇宙機応用工学研究系 教授

高島 健 (たかしま たけし)

1969年、神奈川県出身。早稲田大学大学院理工学研究科博士後期課程終了。理学(博士)。早稲田大学理工学総合研究センター助手、名古屋大学大学院理学研究科素粒子宇宙物理学専攻助手を経て、2002年宇宙科学研究所次世代探査機研究センター助手。太陽系科学研究系准教授などを経て2020年より現職。



星軌道より内側！なので事実上1回)。そのタイミングで探査機がフェートンの近くを高速で通り抜けながら観測しなければならないなんて、普通はやろうと思わないでしょう(笑)。

——DESTINY⁺の打上げ予定は？

ESAの小惑星探査機Ramsesとの相乗りで、2028年度にH3ロケットで打上げ予定です。Ramsesは2029年に地球に大接近するアポフィスを探査します。DESTINY⁺も同じ方向に打ち出されます。ならばアポフィスも観測しようということに。観測結果はRamsesの観測計画に役立てられ、地球防衛に貢献できます。

軌道設計はやり直しです。しかも、フェートンのフライバイの日付は変えられない。問題が生じたときのために代替の軌道が用意されていないといけません。そんな無茶な要求に対して、軌道屋さんは頑張って軌道を探し、ほぼ解が見つかっています。すごいですよね。

経験機会の減少を「伝える」ことで補う

——今後やりたいことはありますか？

伝えることです。昔は、良くも悪くも経験がたくさんできました。今は、経験する機会が減っています。そこを補うものが、伝えることかな、と思うのです。

伝える方法の1つが、文書化です。文書になっていれば、AI技術を使って情報を整理したり、有益な情報を抽出したりもできます。ただし、書かれていることについて、「なぜこの基準をつくったのだろう」「これで本当にいいのか」と考えることも必要です。文章にすると陳腐化してしまいがちですし、人にひも付いているノウハウも多くあります。やはり、人から人へ言葉で伝えることも重要でしょう。

いろいろ言っていますが、どれも自分が失敗してきたことです。失敗を経験すると、次に同じ失敗をしないように注意します。ところが最近では、経験する機会が減ったことに加え、大成功を収めるミッションも増え、うまくいくことだけを想定しがちです。だからこそ、自分の失敗の経験を伝えていかなければ、と思うのです。

——休みの日はどうされていますか？

休日にも、「あそこの設計をこうしたらどうかな」とか、つい考えてしまう。このままではよくないと思い、地元の阿波踊りグループに入りました。意外と難しい。しかも、ほかのことを考えると、リズムがずれてしまいます。だから、ミッションのことが頭の中から消えるんです。いい趣味を見つけました！

編集後記

本号も最後までご覧いただきありがとうございました。ISASで日々進む研究やミッション準備の熱意を、少しでも誌面からお伝えできれば幸いです。今後も多様な活動をわかりやすくお届けしてまいります。

(前田 良知)



ISASニュース No.539 2026年2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/JAXA 宇宙科学研究所長 藤本 正樹
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 トリッド
〒252-5210 神奈川県相模原市中央区由野台3-1-1 isasnews@isas.jaxa.jp

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