

2022年12月、XRISMIは筑波宇宙センターの試験設備にて、振動試験(左写真)と音響試験(右写真)を実施しました。写真は、それぞれの試験の前に準備を行っている様子です。衛星構造の動特性評価と、打上げ時相当の振動荷重を負荷することによる強度評価を目的とする振動試験、衛星構体及び搭載機器の高周波領域での耐振動性、搭載機器のランダム振動環境条件を確認することが目的の音響試験を計画通りに終えたことで、XRISMIは大きな山を越えました。



振動試験



音響試験

The Forefront of Space Science

宇宙
科学
最前線

日本初・外惑星探査の実現に向けた第一歩とは？ —なぜ？どこに？どうやって？—

太陽系科学研究系 国際トップヤングフェロー 兵頭 龍樹(ひょうどうりゅうき)

1.はじめに

「あなたの人生に決定的な影響を与えたできごとは何ですか？」—子どもの頃に見たあの景色、あの本との出会い、部活動の経験、留学経験、あの人との出会い。人それぞれ、生きていれば何かしらの決定打を経験して今があるのだと思います。

我々が住む太陽系も、その始まりから今の姿でいたわけではなく、誕生秘話があり、辿った“人生”があります。太陽系を太陽系たらしめることになった決定打の1つは、間違いなく、木星および土星の形成と進化です。木星と土星は、その誕生とともに、その圧倒的な重力(木星は地球の約300倍、土星は地球の約100倍の質量)によって、太陽系内の様々な物質をかき混ぜました(太陽系の大動乱)。その結果、地球が地球として集積しました。木星や土星が存在していなければ、地球は我々の知る地球でなくなっていたし、そこに生命も存在していなかった可能性が大いにあります。だから例えば、「地球がどのように形成され、生命が生まれたのか?」「他の星の周りにも地球のような惑星があり、また生命がいるのか?」の答えを知りたいならば、木星と土星の歴史を紐解かなければなりません。

2.外惑星探査が太陽系史を解き明かす鍵

現在、太陽系形成論のモデルは乱立を極めています(図1)。提案されるモデルによって、木星や土星が形成するタイミング、太陽からの距離、その後の軌道進化が大きく異なります。木星や土星が引き起こす太陽系の大動乱によって惑星の材料物質は大規模混合します。惑星の形成後にも、木星や土星の移動や重力によって(遠方から例えば地球に)、水や有機物を豊富に含む小天体が輸送されます。つまりモデルが異なれば、太陽系全体の形成と進化の歴史が大きく変わることを意味しているのです。

一方、モデルを裏付ける証拠が圧倒的に少ない現状です。決定的な証拠は惑星探査でしか手に入りません。高性能の望遠鏡によって重要なヒントが得られることはありますが、やはり探査(その場での観測・分析、サンプルリターン)には勝りません。これまでの惑星探査(「はやぶさ2」など)によって、太陽系の物質が大動乱を経験したという重要な証拠が得られてきました。しかし、木星や土星の形成や進化を直接的に明らかにするような物的証拠は乏しい状況です(つまり具体的にどのような大動乱が太陽系に起こったのかは不明)。ここを明らかにするためにも、さらなる木星や土星の外惑星探査が必要です。

3. 外惑星探査の意義と世界の動向

木星や土星の形成過程を直接的に理解することができれば、上述の理由から、太陽系の真実に近づきます。さらに近年、木星と土星の周囲に、内部海を持つ衛星（表面は凍っているが内部に液体の水が存在する衛星）の存在が明らかになってきました。このような衛星は、地球とは異なるハビタブル環境（生命生存可能環境）の存在可能性を示唆しており、「生命とは何か？」「この宇宙に生命はどれくらい、どのように存在しているのか？」を改めて問うきっかけになります（地球との比較学としても重要）。

実際、欧米はこのようなモチベーションを持って、これまでもNASA・Galileo（木星探査計画）、NASA-ESA・Cassini-Huygens（土星探査計画）、NASA・Juno（木星探査計画）などを代表として精力的に外惑星探査を行ってきました。ESA・JUICE（2023年打上げ予定・木星氷衛星ガニメデ探査）、NASA・EuropaClipper（2024年打上げ予定・木星氷衛星エウロパ探査）、NASA・Dragonfly（2026年打上げ予定・土星衛星タイタン探査）の打上げも控えています。

これからの世界の動向においても、2020-2030年代計画に向けた米国科学アカデミー・Decadal Surveyおよび2030-2050年代計画に向けたESA・Voyage 2050において外惑星探査を徹底して進めると宣言している状況がはっきりと伺えます。さらに中国も独自に木星圏などの外惑星探査を進める姿勢を見せています。

4. 日本独自の外惑星探査の一例（土星リング探査）

地球などの内惑星には無く、木星や土星などの外惑星にのみ特徴的なことがあります。それは独自のリング（環）と衛星系を持つということです。リングは無数の粒子（氷だったり、岩石だったり）が惑星を回ることでの姿を形成しています。

以下、土星リングの概要を説明したのち（4.1節）、土星リングを調べることの惑星科学的な意義と価値を議論します（4.2節）。4.3節では、日本独自かつ日本初となる外惑星探査の1案として土星リング探査を提案します。

4.1. そもそも、土星リングとは？

外惑星（木星、土星、天王星、海王星）の中でも土星のリングは、その質量が圧倒的に大きく（約 1.5×10^{19} kg）、99%以上が水の氷からなり（CO₂氷などではない）、数千円の望遠鏡ですら地球からその姿を捉えることができます。その

幅は7万キロ程度で、厚みが数十m程度です。土星リング粒子のサイズは、数cmから10mサイズであると過去の観測から推定されています。リング粒子の軌道周期は1日よりも短く、一周する間に数十回から数百回の粒子間衝突が起こっています。粒子のケプラー速度（土星の周りを回る速度）は約20km/sですが、粒子間の衝突速度は数mm/sほどです。土星リングは、いま現在でも、数日というタイムスケールで力学的な進化（粒子の集積や拡散）を遂げている極めて“生きた”ダイナミックな系です。

4.2. 土星リングの惑星科学的な面白さは？

土星リング探査の惑星科学的な意義と価値として、次の3つが挙げられます。

- (1) 土星リングの理解は、太陽系形成史を紐解く“smoking gun（動かぬ証拠）”となる。
- (2) 土星リングの拡散現象の理解は、この宇宙に普遍的に存在する円盤・リングの拡散現象の一例を直接押さえることとなり、拡散現象の一般的な理解に波及する。
- (3) 土星リングの拡散進化の理解は、土星衛星の形成過程と進化の理解に繋がる。

(1) に関して。惑星が持つリングは、巨大惑星の集積過程または惑星移動を含む太陽系の大動乱イベント（惑星の集積や移動の熱力学的/力学的な環境）の直接的な副産物として形成される。つまり惑星の形成や力学進化が異なれば、リングの形成過程も変わり、リング粒子の化学組成や物理特性も変わります。それゆえに、リング粒子の深い理解（氷の物理化学的な性質や化学組成、同位体組成の理解）は、リングの形成イベントとその材料物質の理解に繋がり、太陽系形成史（太古の惑星集積・移動）の理解に直接的に波及します。また、現在のリングの力学構造（ギャップ構造や密度ムラの存在）は、土星衛星との重力相互作用（平均運動共鳴）および土星内部の質量不均質や質量分布を反映して形成されます。現在の土星内部構造は、その集積過程（例えば、ガスおよび小さいor大きい固体が、同時にor別々に、ゆっくりor素早く集積するかどうか）によって変わります。そのため、リングの詳細構造を明らかにすることは、土星の集積過程を解明することに直接的に繋がります。

(2) に関して。拡散現象はこの宇宙にあらゆるスケールで普遍的に存在します（銀河、原始惑星系円盤、デブリ円盤なども全て拡散円盤です）。シミュレーションや理論モデルを超えて、拡散という物理現象を直接的に理解する一例として土星リングは魅力的なシステムです。しかもその進化タイムスケールは日

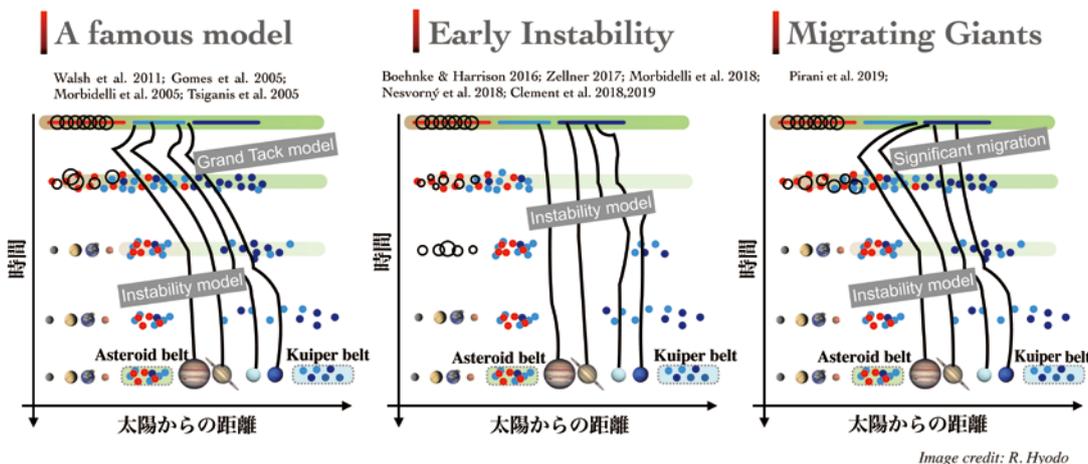


図1：乱立する太陽系の形成モデル（大動乱）の概略図。それぞれのモデルにおいて、巨大惑星の形成のタイミング、太陽からの距離、軌道進化（黒線）が大きく異なる。それぞれのモデルによって、観測される太陽系の力学構造や物質分布の一部は説明できるが、全てを説明できるモデルは現在のところ存在していない。

Image credit: R. Hyodo

単位であり、人類が十分に観測可能です。特に土星リングでは、無数の粒子が衝突によるエネルギー散逸と重力エネルギーの注入を繰り返す、エネルギー注入・散逸系で、それがself-gravity wakesと呼ばれる局所自己重力構造を生みます(粒子の集まりが作る構造: 図2参照)。このself-gravity wakesが巨視的なリングの角運動量輸送(拡散)を制御し、さらにエネルギー散逸もコントロールします。

(3)に関して。土星リングは、その力学的進化(拡散進化)を数十億年続けることで周囲にリング粒子をばら撒き、それらが集積することで複数の氷衛星が形成された、と考えられています(なので衛星は時間とともに次々と形成された)。内部海が存在し、生命が存在しうる環境が期待される氷衛星エンケラドスも、土星リングの拡散現象によって形成されたと考えられています。リングの拡散はこの宇宙の基本的な物理現象で、リングは衛星を普遍的に形成する母体かもしれません。つまりもしエンケラドスに生命が存在している場合、その誕生秘話には、リングから衛星への進化が深く関係しているかもしれません(リング粒子が生命の材料物質かもしれない)。

4.3. 土星リング探査のこれまで、これから

これまで土星リングは、NASA・Cassini探査計画によって精力的な観測が行われてきました。とくに顕著な科学成果として、リング総質量の制約、リング内に存在する数kmサイズ以上の衛星の発見、リング粒子群が作る巨視的構造(>数kmサイズ)の詳細観測(縞構造、propeller構造)、動径方向に存在する物質分布など、が挙げられます。しかしCassiniの土星リング観測における最高空間解像度は、300m/pixel程度に限定され、リング粒子一粒一粒の物理・化学特性(~1-10m/pixelの解像度が必要)や衛星形成過程にも関わる拡散現象を司るself-gravity wakes(~30-100m/pixel)を直接明らかにすることはできませんでした(図2)。

Cassiniを超えて土星リングを探査するためには、リングにより近づく必要があります(例えばCassiniではAリングまで56,000km程度であったが、1,000km程度まで近づきたい)。近づけば近づくほど、無数の粒子がランダムに飛び交っているので、探査機がリング粒子と衝突し破碎されるリスクが高まります。一方Cassiniのおかげで、粒子数密度が極めて低い領域が明らかになりました。そのような場所を通過することで、安全に、Cassiniよりもリングに近づける軌道設計が考えられます。Cassiniを超える土星リング探査は、リスクとチャレンジ精神が必要な探査です。欧米の巨額大型探査は、なかなか手を出しにくいでしょう。日本の独自性を発揮するチャンスであると考えます。

また土星リングに近づくということは、必然的に土星本体にも近づくこととなります。これは土星大気や土星磁気圏を観測する絶好の機会です。近年、NASA・Junoが木星大気の構造および化学組成と同位体組成を調べ、木星の形成過程の制約に重要な貢献を果たしました。しかし土星に関して、このような探査は未だ行われていません。

5. 外惑星探査×小惑星マルチフライバイ探査

最後に、外惑星探査(土星リング探査)は、小惑星探査の

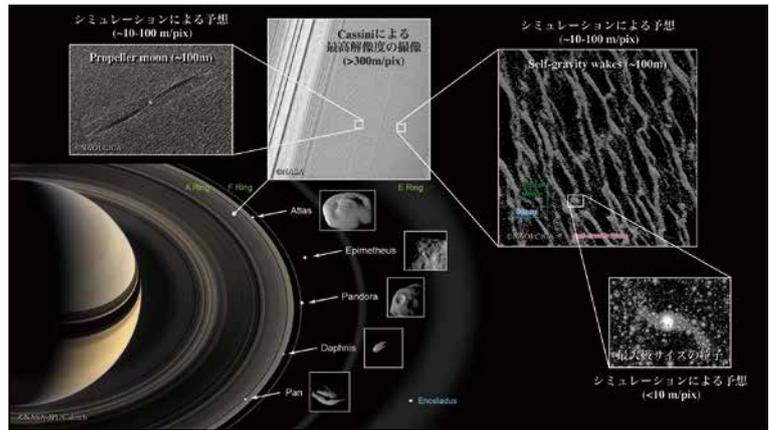


図2: 土星のリングと衛星。現在のところNASA・Cassini探査で、土星リングの姿は300m/pixel以上の解像度で捉えられているが、シミュレーションや理論から存在が期待されるself-gravity wakesやpropeller構造を作る小衛星(~100m/pixel以下)や個々のリング粒子(<10m/pixel)の姿は捉えることができない。

新しい形を実証する貴重な機会になりうるという話をします。外惑星領域に到達するために、地球型惑星(金星や地球)のスイングバイを利用します。スイングバイは、その度に探査機の軌道を調整する機会です。そのタイミングで然るべき小惑星のフライバイ探査を狙う絶好機となります(Asteroid Flyby Cyler Trajectory: 詳しくは尾崎直哉氏の記事*を参照)。

筆者・兵頭(理学)と尾崎(工学)は協力して、外惑星探査計画にこのようなフライバイ探査手法の実証を盛り込むことを画策しています。例えば、地球(打上げ)→地球→金星→地球→地球→土星というような軌道設計を考えた場合、小惑星フライバイを入れ込む余地は、地球(打上げ)→小惑星#1→地球→金星→地球→小惑星#2→地球→小惑星#3→土星、となるようなものです。実現した場合、土星圏到達の前に、数年に一度の頻度で新たな小惑星をフライバイ観測できます(小惑星マルチフライバイ探査)。ここでポイントは、土星圏を目指した軌道に最適化された上での小惑星マルチフライバイなので、マルチフライバイの有無によって、土星圏到達までにかかる時間が伸びることはありません。

さらに、N機の(小型)探査機でコンステレーションを構成できた場合(例えばN=10-20など)、即応型探査を実現するための新たな探査手段になります。より詳しいことは、別の機会に兵頭・尾崎から説明させていただきます。

6. さいごに

日本は独自に外惑星に到達したことがありません。予算は専門的かつ明確な理学・工学意義に与えられます。しかし理由はなくとも、瞬間的に美しい、不思議、面白いと社会一般に感じてもらえるものを同時に探す努力は、社会の一部(予算など)をいただいて活動する我々の責任として、大事だと個人的に思っております。

土星とそのリングの姿は、ガリレオ・ガリレイによる約400年前のその発見から、我々を魅了し続けてきました。もし土星圏探査を日本初の外惑星探査として目指し、土星リングの美しい姿を撮ることに成功すれば、それは日本初の外惑星探査の成功を象徴するものとなり、忘れられない写真になるでしょう(できれば探査機も映るような自撮りを狙いたい!)。かつてないリングの高解像度画像は、美しく、社会的インパクトは間違いない、と期待しています。

*<https://www.isas.jaxa.jp/home/research-portal/gateway/2022/0721/>

第23回宇宙科学シンポジウム開催

2023年も新年の最初の行事として宇宙科学シンポジウムを1月5日(木)と6日(金)に開催しました。

コロナ禍はまだ続いていますが、直接会うことの大切さも認識される中、苦肉の策として登壇者の方々にだけ、会場に来ていただいた上でリモート中継で聴衆のみなさんと繋ぐ、というハイブリッド方式での開催をいたしました。40件の口頭講演と173件のポスター講演があり、初日には40名の方、二日目には23名の方が会場で参加され、リモートでは150名程度の方がZoomで参加し、さらにYouTubeでも多くの方が視聴されました。



2日目の会場の様子。

今回の企画セッション(1)では、「はやぶさ試料から見えてきた世界」として「はやぶさ2」の初期分析結果の講演があり、さらに特別セッション(1)として、「月、そして火星へ」として月と火星の探査についてまとまった議論がなされました。これらを通じて、今後の探査に対する期待が醸成されました。

二日目の特別セッション(2)ではプロジェクトフェーズが進んだSOLAR-CとLiteBIRDの講演と、打上げ直後のEQUULEUSおよびOMOTENASHIIについての講演がありました。一般セッションでの講演も含め、現在の活発な活動状況の報告がなされました。

将来ミッションの立ち上げについて、従来の方で進めることが困難な状況になっており、宇宙科学研究所としても、コミュニティをまきこんで、様々な議論を積み重ねています。そこで、企画セッション(2)で「新しいプロジェクト選定の取り組み」と題して、次期戦略的中型計画の検討および今後の新しいフレームワークの検討状況について、3つのGDIから検討状況についての報告をうけ、活発な議論が行われました。宇宙科学をとりまく状況は厳しいものがありますが、次の世代にむけた取り組みの現状を共有できたものと感じております。

最後になりましたが、シンポジウムの講演者・参加者の皆様、宇宙理工学委員会と宇宙研執行部、そしてシンポジウムの円滑な運営にご尽力いただいた科学推進部の方々に世話人一同より御礼申し上げます。
(片坐 宏一)

宇宙物理GDIの活動と宇宙科学研究所らしいミッションの創出に向けて

宇宙物理GDIは第77回宇宙理学委員会(2022年5月10日)により承認・設置され、8名のメンバーにより構成されます(GDIの設置については、ISASニュース2023年1月号*『太陽系科学GDIのミッション創出活動』を参考)。活動に先立ち、GDIの検討範囲・スコープというself-definitionに関わる議論に時間を費やし、宇宙科学ミッションを取り巻く課題について議論が行われました。これらの背景には多くの要因が存在し、大学や研究者の評価基準の考え方の変化も大きな影響を及ぼしており、コミュニティーにとって複合的な問題です。また、近年のミッション提案とその選定プロセスにおいては、個々のミッションの最適化に重きを置きすぎた傾向もあります。各ミッションは宇宙科学プログラムの一要素であり、部分の最適化を突き詰めすぎることがプログラム全体の最適化を阻害する状況に繋がっていないかについても議論が行われ、広い視野に立脚することの重要性が再認識されました。かつて宇宙理学・宇宙工学の幅広い分野の研究者を坩堝に入れて熱く議論すると言う場が、望む望まないに関わらず行われていた時代がありました。この場ではボトムアップの活動を踏まえた研究者が、様々な視点から議論を行うことが自然発生的に行われており、まさにシナジーが生まれていたのです。海外宇宙機関のプログラムと比較すると宇宙研のミッションは相対的に小さく見える部分もあるとは言え、決して小さな母体で実現できるプロジェクトではありません。その創出には、多くの観知を投入

すべきであり、将来の発展に向けた適切なレベルの段階的な挑戦を含むものであるべきです。さらに多くの分野の研究者を巻き込むことにより、限られた頻度においても、より多くの研究者が経験を積む場にすべきです。宇宙科学プログラム全体にとって中・長期的な視点に立った最適化を目指す必要があります。

宇宙物理GDIは2024年に向けたミッションコンセプトの創出を目的として、『銀河進化・惑星系形成観測ミッションWG』『広帯域X線撮像分光ミッションWG』の2つの時限WGを12月に設置しました。短期的なミッション創出に関わる活動はGDIも参加する形で時限WGとしての活動に移行させ、中・長期的な視点に立った議論に活動の重心を移しつつあります。現在議論を進めるミッションは2030年から2040年に繋がるものです。このことを踏まえ、2050年における重要なサイエンステーマの将来像を議論し、到達までのシナリオの検討を始めました。国際的に準備されつつあるミッションも視野に入れ、どのようなアプローチをすべきかについて、将来をバックキャストして考える活動です。それらに必要な要素技術にブレークダウンし、将来を見据えた準備を早期に始めることに繋がたいと考えています。これらの活動には、多くの研究者を巻き込む議論も重要であり、これまでも光学赤外線天文連絡会(光赤天連)、高エネルギー宇宙物理連絡会(高宇連)とは連携した活動を行ってきていますが、今後もこれまでに以上に議論を共有していきたいと思っております。(上野 孝宗)

*https://www.isas.jaxa.jp/outreach/isas_news/files/ISASnews502.pdf

木星氷衛星探査計画 JUICE 打上げに向けた日本チームの現状について

前回ISASニュースの宇宙科学最前線でJUICEの紹介をさせて頂いたのが2021年6月号*でしたのでそれから1年半ほど経ちました。2021年6月号の際には、JUICEは2022年8月から9月の打上げウィンドウにアリアン5で打ち上げられると紹介したのですが、その後COVID-19の影響などもあり、更に打上げが遅れて、2023年4月の打上げウィンドウで打ち上げられることになりました。アリアン5で打ち上げられることに変更はありませんが、欧州ではアリアン6の開発が進んでおり、JUICEはアリアン5で打ち上げられる最後から2番目の衛星になりそうです。打上げは半年ほど遅れましたが、打上げ以降のスケジュールには変更はなく、2024年8月から2029年1月の間に地球・月一金星一地球一地球の順に4回のスイングバイを経て木星へと向かい、2031年7月に木星周回軌道に投入、2034年12月にガニメデの周回軌道に投入されて、2035年9月にJUICEはガニメデに衝突してミッションは終了となる予定です。

JUICEには11の観測機器が搭載されますが、日本は、宇宙研からそのうち3つの機器、RPWI(プラズマ波動及び電波観測装置)、GALA(レーザー高度計)、PEP/JNA(粒子環境パッケージ/非熱的中性粒子分析器)に、また情報通信研究機構(NICT)から1つの機器SWI(サブミリ波観測装置)に観測装置ハードウェアの一部を提供して参加しています。また、2つの機器、JANUS(カメラ)、J-MAG(磁

力計)には宇宙研からサイエンスメンバーとして参加しています。日本から提供するハードウェアについては、本年度の8月までにフライト品、フライトスペア品を含む全てのハードウェアの欧州への納品が終わりました。

欧州へのハードウェアの納品後は欧州で打上げに向けての作業が行われました。GALAのフライト品を欧州の担当する部分と組み合わせたと、ノイズが発生するという問題が見つかりましたが、それについては、日本チームが電子メールやオンライン会議で支援しつつ欧州側で対処することで無事解決することができました。これ以外には、日本が提供したハードウェアについては特に問題もなく順調に打上げに向けた準備が進みました。JUICEは4月4日から29日の打上げウィンドウの間に南米フランス領ギアナのクールーにあるESAの射場から打ち上げられる予定です。JUICE所内プロジェクトが始まってから約10年が経ちましたが、JUICEミッションが終了して、プロジェクトを終了するまでまだあと15年ほど続く予定です。JUICEは4半世紀にわたる長期のプロジェクトであると言えます。ハードウェアの開発は打上げ後の機器チェックをもって完了しますが、これからは木星系における観測に向けてサイエンス活動を活発化させていく予定です。JUICEの今後の活躍にご期待ください。(JUICE所内プロジェクトチーム長 齋藤 義文)

*https://www.isas.jaxa.jp/outreach/isas_news/files/ISA5news483.pdf

JAXA-SMASH Programによる超小型天文衛星開発がスタート!

本年度より公募が開始された、産学官による輸送・超小型衛星ミッション拡充プログラムJAXA-SMASH (JAXA-Small Satellite Rush) Program*において、九州工業大学が提案したミッション「高精度姿勢制御6U衛星による宇宙可視光背景放射観測で探る天体形成史」が衛星開発フェーズとして選定されました。

宇宙背景放射は、宇宙初期から現在までに放出されたあらゆる放射の足し合わせであり、天体形成史を解明するために重要な観測量です。これまでの観測ロケット等による観測の結果、近赤外線の宇宙背景放射は既知の銀河の足し合わせより数倍も明るく、未知の天体の存在が示唆されました。その天体の候補として、宇宙初期のブラックホールや、近傍宇宙の銀河ハローの星々などが理論的に考察されています。これらの天体の放射スペクトルは可視光の波長で大きく異なることが予想されています。そこで本ミッションでは、可視光で宇宙背景放射を多色観測することによって、超過成分の起源天体が宇宙初期と近傍宇宙のいずれに存在するかを、解明することに挑戦します。

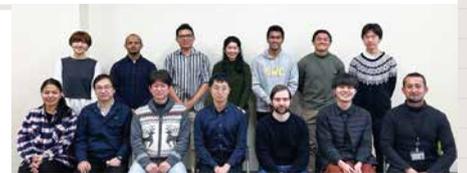
宇宙背景放射は等方的な放射であるため、小型であっても広視野の望遠鏡であれば、大型の望遠鏡を上回る高感度での観測が可能です。本ミッションで開発する衛星VERTECS (Visible Extragalactic background RadiaTion Exploration by CubeSat) は、宇宙背景放射観測用望遠鏡を搭載する6U (10cm×20cm×30cm) サイズの超小型衛星です。VERTECSは今から2年後を目処に、JAXAが選定する打上げ輸送サービスによって打ち上げ

られる計画です。

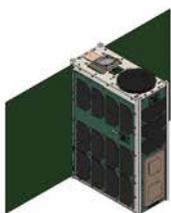
VERTECSでは、九州工業大学で開発実績のある超小型衛星バスをもとに、ISASにおける「技術のフロントローディング」によって新たに開発された高精度姿勢制御ユニットを組み合わせることで、天文観測に要求される高い姿勢安定性の衛星バスを新たに開発します。さらに高精度姿勢制御バスの共通化にも取り組み、将来的に広く超小型衛星ミッションへの応用を目指します。九州工業大学は、衛星開発全体をとりまとめ、ISASは、ミッション機器開発、地上系の整備などを担当します。本衛星は、九州工業大学とISASに加え、東京都市大学、関西学院大学、自然科学研究機構アストロバイオロジーセンター、東京大学、東京工業大学、金沢大学、福井大学、セーレン株式会社、株式会社コシナが、共同で開発を進めています。

天文衛星は、ミッションの高度化、長期化により、研究者のアイデアをすぐに実現することが困難になっています。本ミッションでは、2年という短期間で衛星を開発し、科学観測を実施することで、迅速に世界一級の科学成果創出を目指します。本ミッションには若手研究者や学生が多数参画しており、理工学双方に知見を有し、将来の宇宙科学を担う人材の育成にも貢献します。VERTECSをきっかけに、「超小型衛星を利用した天文学」という新たな宇宙科学の領域を切り拓いていきたいと思

(九州工業大学 佐野 圭)



九州工業大学、関西学院大学、自然科学研究機構アストロバイオロジーセンターの参加メンバー。



6U天文衛星 VERTECSの概形。

*<https://aerospacebiz.jaxa.jp/jaxa-smash/>

銀河を 吹き渡る 風をみる

連載

第9回

「来たれXRISMの観測希望者！」 ～ユーザーサポートの役割～

XRISMは、かつてない精密な分光能力という、画期的な性能で宇宙X線を観測するミッションです。その性能を発揮しサイエンス成果を最大化するためにも、世界中の先端研究者から最高の観測提案を集めて、最も良い観測提案を選び、そのサイエンスを獲得するために最も良い天体を最も良い方法で観測することが重要です。このため、打上げ直後から観測提案を公募し、その中から厳選された観測が、打上げの約10ヶ月後から始まります。観測データは1年間提案者に独占的にアクセス権がありますが、それ以後は世界に公開され、誰でも解析できるようになります。こうすることで、余すところなくデータから科学的価値を引き出すことができるのです。X線天文衛星ではこのように「みんなが提案できること、使えること」が重要です。

ユーザーサポートチームの役割

科学運用チームの中に組織されているユーザーサポートチームは、名古屋大学、芝浦工業大学、埼玉大学、宇宙科学研究所、そして日本福祉大学のメンバーで構成され、こうした観測希望者と公開データの解析者、すなわちXRISMユーザーの研究をサポートするもので、主に3つのタスクがあります。

1つめは、観測希望者にXRISMの特徴や、搭載観測装置の性能の高さとその限界を正しく伝えることです。衛星の基本性能をまとめた「クイックレファレンス」がすでに公開*されており、さらに観測を1年に一度公募するときに、Proposers' Observatory Guide と呼ばれる詳細なドキュメントを提示し、提案者がXRISMを正しく理解し、提案前に観測精度が十分かをシミュレーションで検証して、最適な観測提案をできるようにします。これには、各検出器や衛星運用上の特徴、明るい天体を観測するときを考慮すべきことなど、多くの注意事項があります。観測はしたけど「目的を果たせないデータ」になってしまうよう、正確でわかりやすく、かつ詳細なしかりとした情報提供が欠かせません。

2つめは、XRISMのデータ解析の仕方を伝えることです。こちらも解析ソフトウェアの正しい使い方を日米のXRISMチームから世界に提供しますが、データを解析する上でよくある落とし穴の共有、データ解析の精度を一段と向上させるための



XRISM ユーザーサポートページのトップ。



ユーザーからの質問を受け付けるためのHelp Desk ページ（開発中）。

新しい工夫の共有などが重要です。これらの一部はサイエンス論文の中に記述されるためこれを明示・共有したり、XRISMのウェブページで公開したりします。XRISMに詳しくないユーザーが公開データを解析するときには、この情報が一番大事と言えます。また観測提案執筆とデータ解析のための、ヘルプデスク機能も提供します。

3つめは世界の科学者や宇宙物理に興味のある皆さんに、XRISMの成果を提示することです。一般の方への情報提供は記者会見や一般向けのウェブページでもされますが、科学に興味がある方々への成果の提示としては、何よりも論文と学会発表であり、そのリストをまとめることが重要です。XRISMの観測が重要な役割を果たした先端科学成果を取りまとめることで、新しい発見を共有し、さらに次の観測公募の時に、より優れた観測提案をするアイデアの元となります。

結びに

今この記事を読んでいるみなさんも、マニュアルを読んで理解すれば、公開データと解析ソフトをダウンロードしてXRISMデータを解析できます。宇宙物理を勉強すれば学会発表だってできるでしょう。さらに知見を深めて、XRISMの観測提案を通し、自分の提案した観測を実現して自分が最初に発見するサイエンスを得られるかもしれません。来たれXRISMの観測希望者！

XRISM 科学運用チーム／名古屋大学
中澤 知洋（なかざわ かずひろ）

*https://xrism.isas.jaxa.jp/research/analysis/manuals/xrqr_v2.1.pdf

扉の集団

— 科学衛星・探査機のことなら
おまかせください —

第 11 回

宇宙への扉を拓く野武士軍団： 大気球実験グループ

宇宙科学研究所は、人工衛星・探査機プロジェクトに加えて、小型飛翔体プログラムを推進しています。小型飛翔体は、トライアンドエラーで将来の宇宙科学を切り拓く先駆者として、研究推進のみならず、それを通じた人材育成の役割も担っています。大気球実験グループは、観測ロケットと並ぶ小型飛翔体の柱である大気球（宇宙科学用の気球）の飛翔運用、ユーザーのサポート、関連研究開発を担っています。

大気球実験グループは1965年に東京大学宇宙航空研究所に設置された気球工学部門を源流とします。大気球実験は、1966年の茨城県大洋村に始まり、福島県原町市、岩手県三陸町、そして2008年からは北海道大樹町を拠点として進められてきました。この間に約650機の実験が実施され、多くの学術成果が挙げられています。

大気球実験は人工衛星や観測ロケットと比べて飛翔条件が緩く、短い準備期間と少ないコストで実現できます。高頻度の飛翔機会を得られ、着想から短期間で実験実施に至ることができるため、最先端の宇宙科学研究にタイムリーに挑戦できるフロンティアとなっています。これまでも宇宙の観測、高層大気の観測、新技術の実証などが実施され、最先端の科学成果が得られています。獲得した成果や技術がより大規模な実験や人工衛星・探査機に発展した例も多いです。また、技術的ハードルが低く、実験の計画から成果創出に至るミッションサイクル全体を短期間で体験できることから、学生や若手研究者をはじめ飛翔体実験を行ったことがない研究者でも宇宙科学に取り組める入口として、あるいは、将来の宇宙科学を切り拓く新しい技術の実証の場として、学術コミュニティに活用されています。

このように、大気球実験は宇宙科学プログラムにおける「宇宙への扉」の役割を担っています。

大気球実験は、毎年実施される全国の研究者への公募をもとに大気球専門委員会で観測実行計画を審議決定し、その計画を大気球実験グループが中心になって実行する、という体制が進められています。また、大気球実験グループは、実行部隊としての役割に留まらず、全国の研究者が優れた科学成



さながら町工場のような大気球実験グループの実験室では、複数の研究チームが同居して実験の準備を進めています。装置の製作からデータ解析まで、研究者や学生が文字通り自らの手で実践できるのも大気球実験の特色の1つです。

果を創出できるように、着想段階から研究者と共同研究・意見交換・指導助言なども行い、日本の大気球実験ひいては宇宙科学研究を先導する役割も有しています。

大気球実験グループは10名程度の職員で構成されています。事業実施部門としては小規模で、毎年全国の研究者から提案される（または提案される見込みである）多数の実験計画に適切に関与するには決して十分ではありません。しかし、メンバー一人一人が豊富なミッション経験を持つ一騎当千のツワモノであり、とりわけ実験現場の対応能力やプロジェクトマネジメントの実践力に長けた精鋭集団（でありたい）と思っています。また、少数であるがゆえ、高い柔軟性とチームワークで効率性を高め、創出される科学成果を最大化するよう努めています。

日本の大気球実験は、狭い国土や限られた予算・マンパワーなど、諸外国と比べると不利な環境のなか、日本独自のアイデアと技術開発を重ねることで、世界と伍してきました。狭い実験場から安全に気球を放球（打上げ）できる多様な放球方法、世界最高到達高度も記録した超薄膜高高度気球、狭い空域内でも長い飛翔時間を実現する飛翔運用方法、実験装置を海上に着水させ確実に回収する技術など、具体例は枚挙にいとまがありません。近年は地球温暖化による気候変動で飛翔機会が減るなど、新たな課題にも直面していますが、大気球実験の土壌であるチャレンジ精神を大切に、また、大気球実験グループの枠にとらわれず広範な英知を結集することで、突破したいと思っています。

宇宙科学が高度化するなか、宇宙科学の将来を担う萌芽的研究や人材育成の場としての大気球実験の役割は色あせておらず、むしろ「宇宙への扉」としての存在意義は一層高まっています。扉の向こうを覗いてみたい方は、お気軽にお声掛けください。

大気球実験グループ長：福家 英之（ふけ ひでゆき）



元 JAXA 副理事長

樋口 清司 (ひぐちきよし)

宇宙大航海時代と 宇宙の果て

いつどんな状況だったか思い出せないが、ダジャレが得意な某教授から、講演会などで「宇宙の果てはどうなっている」と質問されたらどう応えるかと問われた。「わからないと言えないです」と真面目に言うと「はてなで応えるんだよ」と言われていやに納得したことを思い出す。

彼は著作の中で次のような解説をしている。2次元の世界しか認識できない動物は、地球表面は平らだと思っているから、もしその2匹が地球の赤道を西と東に分かれてまっすぐ進めば二度と会えないと思うだろう。でも3次元の視野のあるものはこの2匹がいずれ赤道上のどこかで出会うことを知っている。つまり、われわれが4次元世界を認識しイメージできれば3次元宇宙の構造(宇宙の果て)がわかるということか。

大航海時代の議論をしていてふと思いついた。全くの思い付きで論理的に詰めたわけでもなければ科学的な根拠を示せるわけでもない。落語の与太郎話のたくいと思ってお読みいただきたい。

人類は1次元(グレートジャーニー)から2次元(大航海時代)を経て3次元(宇宙大航海時代)の世界に乗り出そうとしているのではないか。アフリカで誕生した人類が、地球表面上を拡がって行った。それは線(1次元)として拡がったのではなかったか。そして中世の大航海時代は地球表面を2次元的に拡がり往来した。天動説が生まれ、人類は平面の大地(2次元)に生きていて認識していた。中世のヨーロッパから西に航行しインドに向かったコロンブスは地球が球形であることを確信して航海したが乗組員の多くはいずれ断崖絶壁に到達し真っ逆さまに落下すると恐れていたという話もある。感覚的には2次元の世界に生きていたということだろう。地球が丸いことを知識として理解していた人類は、アポロ宇宙船からの地球の写真に感動した。地球が丸いことを視覚的にとらえた最初の写真は20世紀のもっともインパクトのある写真として人類に大きな影響を与えた。我々は3次元の世界に生きていと言っても地球表面上にべりついて概ね平面に生きている感覚ではないか。大気層は地球の大きさと比べればオブラートの薄さである。宇宙は遠いとほとんどの人は感じている。宇宙までは100kmくらいであり、東京駅から熱海駅くらいの距離である。富士山の山



①月周回中の「かくや」が撮影した地球。
②地球を離れ月に向かう「かくや」がふりかえって撮影した地球の姿。
③1968年12月24日、アポロ8号は初めて人類を乗せて月の周回軌道に入った。その夜、3人の宇宙飛行士は地球へ向けてテレビ中継を行い、宇宙船から撮影した地球と月の写真を公開した。©NASA

頂の高さは3,776mでそこにたどり着くには大変な労力がある。でも水平距離の3,776mなら40分くらいで歩ける。現代人には2次元の広がりとは3次元の上下の感覚とに大きな差異があるように思う。現代人は、3次元世界を思い描くことができるが日常的には地球表面上(2次元空間)を動き回る生命体に過ぎないのではないか。

しかし宇宙空間で生活することになれば真に3次元空間で活動する生命体になるのではないか。宇宙飛行士は3次元空間で生活して新しい感覚(例えば上下を定義できない、上下と左右に感覚の差はない)を体験するようだ。また地球が暗黒の宇宙に浮かぶ球体であることを目で見て実感し新たな認識を得るようだ。宇宙に住むことにより、3次元的生物に進化するのではないか。そしてその先に4次元世界を感覚的に認識し、宇宙の3次元構造を描くことができるようになるかもしれない。聞きかじりだが、カントは人間の認識は日常的に感じる五感によってつくられていると言っている。

別の可能性として宇宙大航海時代に獲得する知識や技術で直接宇宙の構造を観測し、捉えるかもしれない。また光速に近い速度で飛行できれば4次元世界を実感できるかもしれない。

宇宙大航海時代を生き、日常的に宇宙空間(3次元空間)で生活する人類は、概ね2次元空間で生きている現代人が3次元を認識するように何らかの形で4次元空間を実感し認識することができるようになるかもしれない。そして3次元宇宙を旅する2匹の動物がいずれ会えるか永遠の別れになるのかを知ることができるかもしれない。

宇宙の果てがわかるとその先はどうなのだろう。今夜もいも焼酎のお湯割り、快い酔いととりとめもない空想や妄想を運んでくる。

編集後記

先月号から3つのGDI活動の現況報告されている。それぞれの検討の進め方には違いがあるが、新たな方法で戦略的中型ミッションのコンセプト創出や将来戦略が練られつつある。この新しいボトムアップによるミッション立ち上げで、宇宙科学研究コミュニティが結束、力を発揮したいものです。(清水 敏文)



ISASニュース No.503 2023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/宇宙科学広報・普及主幹 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/>