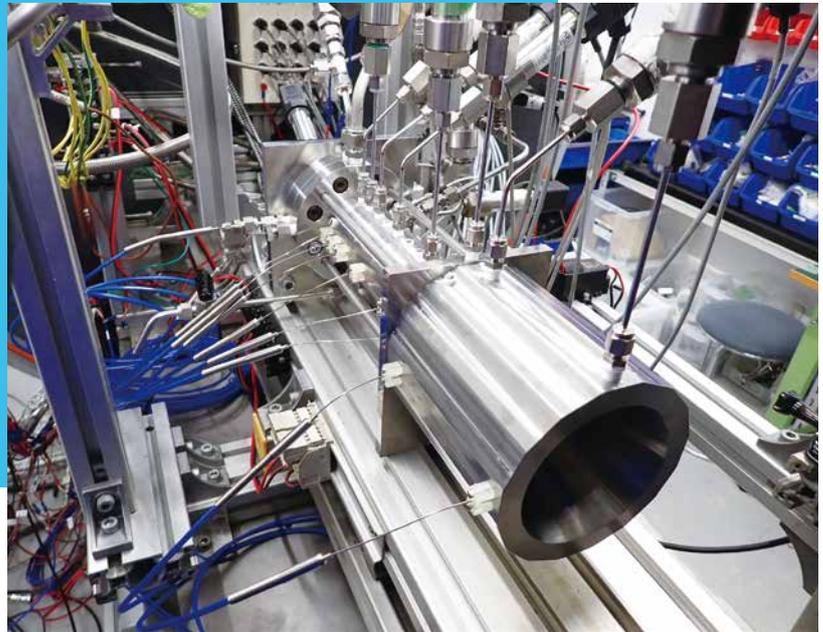
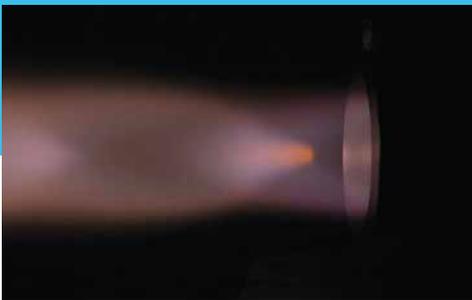


## 液体推進剤回転 デトネーションエンジン

観測ロケットS-520-31号機について、34号機では、液体推進剤を用いた回転デトネーションエンジン(RDE)の作動を実証し、キックステージおよび軌道間輸送用エンジン等への早期採用を目指す。写真は、名古屋大学内の低背圧推力評価試験装置に設置されたRDE供試体である。燃焼器中心軸に沿って上部には静圧センサー、側面には熱電対が取り付けられ、RDE出口には拡大ノズルが取り付けられている。左下の写真は、液体エタノールおよび亜酸化窒素でのRDE排気ブルーム。



The Forefront of Space Science

宇宙  
科学  
最前線

## 観測ロケットS-520-31による デトネーションエンジンシステム実証

名古屋大学大学院工学研究科 航空宇宙工学専攻 准教授 松岡 健(まつおか けん)

2021年7月27日早朝5時30分、デトネーションエンジンシステム(DES)を搭載した観測ロケットS-520-31号機が内之浦宇宙空間所(USC)から打ち上げられた(図1)。打上げから120秒後、高度約170kmにて回転デトネーションエンジン(RDE)の作動を示す高温燃焼ガスジェットのブルームが確認された(図2)。RDEに続いて、3回のパルスデトネーションエンジン(PDE)作動によってロケット機軸周りのスピンレートが減少した。世界で初めてデトネーションエンジンが宇宙空間で作動した瞬間であった。

### デトネーション波とは？

一般的に、デトネーション波は特定の条件が揃ったときに発生するため、普通の生活で接することは皆無である。そこで、まずデトネーション波に関して紹介する。一端が閉じ、一端が開放されている筒状燃焼器に爆発性混合気(混合気)が充填されていることを想像していただきたい。閉管端側に配置した自動車用スパークプラグ等で混合気を着火すると、デフラグレーション波<sup>\*1</sup>と呼ばれる伝播速度の遅い燃焼波が

球状に伝播し始める。この燃焼によって生成された高温の燃焼ガスは膨張しようと圧縮波を次々に生成し、開放端側に存在する混合気中に伝わる。この圧縮波は重なり合って強められ、最終的に衝撃波の断熱圧縮のみで混合気を着火させるまでに至る。これがデトネーション波の発生である。この「衝撃波による燃焼の開始」と「燃焼による衝撃波駆動」の相互作用によって、デトネーション波は前方に混合気がある限り一定速度で伝播し続ける。この伝播速度は約2000～3000 m/sであり、デフラグレーション波の伝播速度と比較して極めて速い。また、衝撃波断熱圧縮によってデトネーション波自身で瞬時に高圧燃焼ガス<sup>\*2</sup>を生成することが可能である。

### デトネーションエンジン研究

1950年代から、デトネーション波の推進エンジンへの応用が検討され始めた。高速燃焼による燃焼器の小型化、自己圧縮による供給系の簡素化、10%程度の比推力向上がその主な動機である。ここでは、2つのデトネーションエンジンについて紹介する。



図1：発射直後のS-520-31号機。

©JAXA

図3上に示すPDEは、筒状燃焼器内で混合気充填、着火、残留燃焼ガスの掃気を繰り返すことで間欠的な推力を取り出す、最も単純なデトネーションエンジンである。1990年代後半から2000年代にかけて多くの研究がなされ、2008年にアメリカ空軍研究所らがプロパン空気をういた有人有翼PDEの飛行試験に成功していた。この当時、デトネーション波のロケット推進エンジンへの応用を考えていた我々は、「デトネーションロケットエンジンは大きな推力が出せないのか？」という課題に直面していた。PDEには燃焼器内に適切なタイミングでガスを供給するバルブが必要であるが、推力を向上させるためには燃焼器を多気筒化し、作動周波数を向上させる必要があった。そこで、回転円盤を有する単一バルブによってバルブシステムの単純化と高周波数作動を実現し、デトネーションエンジンの推力重量比を向上させることを試みた。2013年、エチレン液体亜酸化窒素を用いた4気筒回転バルブ式PDEシステムの垂直打上げ試験を実施し、推力重量比2.5を達成した。この研究を起点に、PDEは、簡素な供給系で高精度な力積を生成できる、ロケットのラムライン制御や小型人工衛星の姿勢制御用のスラスターへ、後述するRDEがキックステージ用推進エンジンとして応用を目指すことになる。PDEの研究では、現在までに機械的なバルブを用いないバルブレスPDEによる2kHzでの超高周波数作動 (Matsuoka et al., C&F<sup>\*3</sup>, 2019)、燃焼ガス中に液滴を噴霧し残留燃焼ガスを掃気する「液滴パーズ法」を用いた35 Pa低圧力環境下での50 Hz作動 (Matsuoka et al., JPP<sup>\*3</sup>, 2018) を実現している。

RDEは、図3下に示す通り、環状流路を有する燃焼器内にマニホールドから混合気が連続的に供給され、デトネーシ

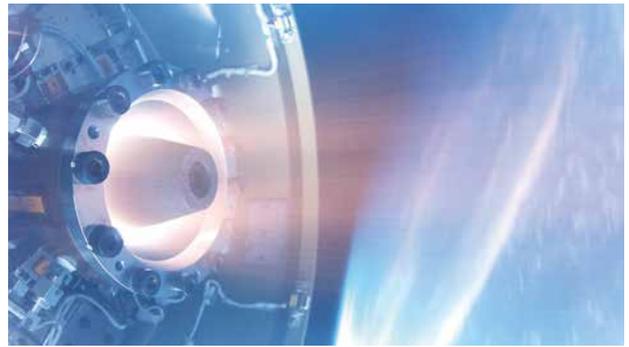


図2：作動中のRDEと背後の地球を捉えたデジタルカメラ写真(本データは観測ロケット実験データ回収モジュールRATSの洋上回収によって得られた)。  
©名古屋大学・JAXA

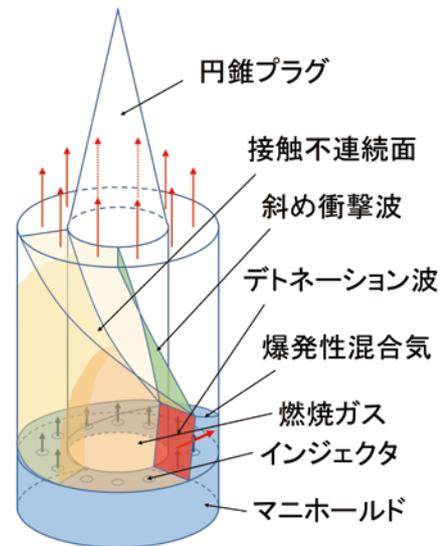
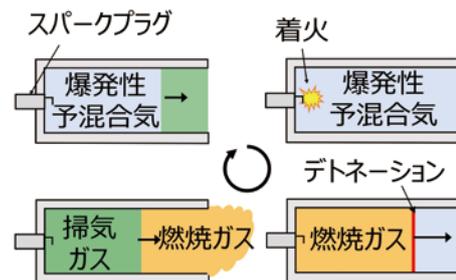


図3：パルスデトネーションエンジンのサイクル図(上)、回転デトネーションエンジン内部流れの瞬間イメージ図(下)。

ン波が周方向に連続的に回転伝播し、燃焼ガスが排出される。PDEとは対照的に、準定常推力を生成可能なデトネーションエンジンである。その概念自体はPDEと同時期に提案されていたが、計測技術・数値計算の発展とともに2010年代ごろから研究が活発化してきた。本研究グループでは、内容積30m<sup>3</sup>の真空チャンバーを導入し、推進性能、熱流束、伝播メカニズムの調査を継続している。代表的な成果として、燃焼器側面からの推進剤供給による4秒間作動 (Goto et al., JPP, 2022)、スロートレス拡張ノズルの提案 (Nakata et al., AIAA journal, 2022)、液体エタノールを用いた作動実証、反射往復デトネーションエンジン (Taguchi et al., C&F, 2022) がある。並行して、2014年の滑走試験 (Goto et al., JPP, 2021) など、長秒作動実験を室蘭工業大学白老エンジン実験場で実施してきた。

## 観測ロケットに向けた体制

2016年、デトネーションエンジン研究の大きな転換点を迎える。観測ロケットS-520-31号機プロジェクトの採択である(代表:笠原 次郎教授)。本プロジェクトの目的は、実飛行環境に耐えうるフライアブルなDESの実証と、地上燃焼試験とフライトデータから推進性能を評価することである。ここから、フライトまでの約5年間、我々は本プロジェクトに身をささげることになる。本プロジェクト採択当時、笠原 次郎教授、川崎 央助教、松岡の教員3名と当時修士学生の後藤 啓介君(RDE担当、現(株)GOTO)を中心とする学生数名であった。フライトまで残り2年となった2019年、松山 行一特任教授がプロジェクトメンバーに加わった。システムエンジニアリングを導入し、プロジェクト体制を一から再構築いただいた。加えて、我々が最も苦戦していたアビオニクス開発を先導いただいた。2020年には伊東山 登特任助教、渡部 広吾輝助教(現日本学術振興会・海外特別研究員)、学生の石原 一輝君(現D3)およびバヤコフバレンティン君(PDE担当、現(株)IHI)が本格的に参画し、フライトまでの人員体制が固まった。

2020年10月、DESプロトフライトモデルの地上燃焼試験を室蘭工業大学・白老エンジン実験場にて実施した。その後、JAXA相模原キャンパスにて2021年3月の計器合せ、同年5月の環境試験をクリアしてフライト試験に臨むことになった。図4は、フライトに向けてJAXA相模原キャンパスからの搬出直前のDESフライトモデル写真である。

## フライトオペレーション

名古屋大学メンバーは、打上げ予定日の約2週間前の2021年7月8日に内之浦宇宙空間観測所(USC)に入った。DESは搬入後の健全性確認のため、まず頭胴部調整室に搬入された。DESに実ガス充填圧力まで窒素を充填し、2日間をかけてガスリーク量が規定値以内であることを確認した。14日の頭胴部タイムテストを終えると、いよいよ実ガス充填の行程である。

14日中にDESは頭胴部調整室からKS組立室を経由して直ちに実ガス充填場所であるKSドームに移動された。充填1日前の搬入は、バルブシール部を環境温度になじませる配慮であった。15日中にメタン、酸素、窒素の充填を完了し、温度が安定した翌16日に微量を放出して質量調整する計画であった。しかしながら、台風による延期の可能性があったため、充填計画値+3%で実ガス充填行程を完了した。ガス充填量はタンク内圧力、温度、状態方程式から求めたが、機体のダイナミックバランスに影響するため、DES質量計測によるクロスチェックを実施した。質量計測にはフルスケール300kg/精度1gのはかりを使用し、両者は1%以内で一致した。

フライト当日27日は、早朝2時集合であった。暗闇の中、宿を出たとき風がない穏やかな日に、根拠のない自信が湧いてきたことを記憶している。3時17分にDES班として最後の作業である「バルブ開」を行い、退避した。

5時30分、轟音とともにDESを搭載したS-520-31号機が打ち上げられた。打上げ時刻から66秒後に頭胴部が固体ロケットモータから分離されると、DES搭載アナログカメラ画像を表示する管制室モニターにRDEと1Hzで回転する背景の地球が映し出され、その約60秒後にRDE出口からの燃焼ガスパルームが確認できた。その後のPDE作動も含め、洋上回収された観

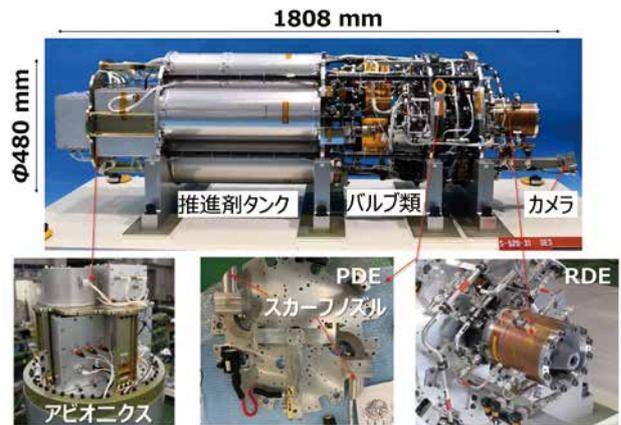


図4: デトネーションエンジンシステムのフライトモデル、向かって左がロケット進行方向。RDEには作動確認用アナログ・デジタルカメラが搭載された。PDEは機軸周りのトルクを発生させるための2つのスクープノズルが外筒側面に配置された。 ©名古屋大学・JAXA

測ロケット実験データ回収モジュールRATSの大容量USBデータおよびテレメトリデータから、計画通りのデトネーション作動と推進性能が確認された。具体的には、RDE作動において、推力518 N、比推力290 ± 18 s、RDEスワール流れによる微小トルク検出の成果が得られた(Goto et al, JSR<sup>\*3</sup>, Under review)。PDE作動では、5%以内のインパルス再現性と機軸周りのスピンドル変化を達成した(Buyakofu et al, JSR, Under review)。

後日談であるが、USCでの作業を開始して間もないとき、羽生 宏人グループ長に「さっき縁起物の玉虫を見たよ、きつとうまくいくよ」と声をかけていただいた。目の前の作業に精いっぱいだった自分にとって大変勇気づけられたことは鮮明に覚えている。

## 現在の状況と今後の展望

デトネーションエンジン研究は、すでに次のフェーズに入っている。S-520-34号機による液体推進剤を用いたDESの実証である。本プロジェクトに向けて、液体を含むデトネーション波の伝播メカニズム、長時間作動のための冷却方式、液体推進剤の充填方法、タンク内液面挙動、など様々な課題に取り組んでいる。

S-520-31号機では、DESが実際に宇宙空間で作動し計画通りの推力が発生することが実証された。その工学的意義は大きい、それと同時に、多くの携わってきた教員、学生の教育という側面が極めて大きいと感じた<sup>\*4</sup>。2022年5月現在、著者はカルフォルニア工科大学にてRDEにおける推力生成および損失メカニズムについての基礎研究を実施している。31号機の経験は、基礎研究の方向性を明確にし、大きな駆動力となっていることは間違いない。

\*1 気圧の水素空気混合気の層流火炎(デフラグレーション)速度は最大3m/s程度。

\*2 初期圧力に対して水素酸素で約7倍、エチレン酸素で約10倍の静止燃焼ガス。

\*3 C&F: Combustion and Flame, JPP: Journal of Propulsion and Power, JSR: Journal of Spacecraft and Rockets.

\*4 フライト試験における高圧ガス充填に関する具体的なLessons LearnedをJAXA/ISAS観測ロケット実験グループWEBサイト(<https://www.isas.jaxa.jp/home/kansoku/>)でも報告しているので参照されたい。

## 「はやぶさ2」の今後の展開

はやぶさ2プロジェクトはついに解散となりましたが、探査機の運用やサイエンスの研究などは今後も続きます。この記事では、「はやぶさ2」が今後どのようなことをやっていくのかについてご説明します。

### ● はやぶさ2プロジェクトの解散

2022年6月30日をもって、はやぶさ2プロジェクトは解散となりました。「はやぶさ2」がプロジェクトとなったのは、2011年5月でした。当時は、東日本大震災の直後で日本中が大変な状況の時でした。そのときから11年余りで、プロジェクトが完了したわけです。「はやぶさ2」の最初の提案は、初代の「はやぶさ」が2回目の着陸の後、燃料が漏れたり通信が途絶えたりして大変な状況になった直後の2006年ですから、そこから数えれば16年ということになります(日本で最初に小惑星サンプルリタンの議論がなされた1985年から数えると37年です)。

### ● はやぶさ2拡張ミッションに完全移行 —愛称は「はやぶさ2#」—

プロジェクト解散と言っても、探査機の運用は継続しています。「はやぶさ2拡張ミッション」という名称で、別の小惑星を目指しています。この7月からは完全に拡張ミッションに移行し、プロジェクトの体制も新しくなったのですが、探査機運用の中身はこれまでと変わりません。

ミッションの正式名称は長いので、愛称(ニックネーム)を付けることにしました。プロジェクト内でいろいろと議論をした結果、「はやぶさ2#(ハヤブサ・ツー・シャープ)」という名称にしました。#は音楽記号のシャープですが、パソコンや携帯電話のキーにある#記号(番号記号、パウンド、ハッシュ)を使ってもよいです。

シャープという名称は、Small Hazardous Asteroid Reconnaissance Probeの頭文字に由来します。拡張ミッションの目的の1つに、天体の地球衝突問題(プラネタリーディフェンス)に対応することが挙げられており、目的となっている小惑星は地球に衝突してくることを心配しなければならないような類の小さな小惑星です。それで、このSHARPという名称を採用することにしたのです。また、シャープ(sharp)という英語は“尖った”とか“鋭い”という意味がありますし、音楽的には“半音上げる”という意味です。ミッションがさらに挑戦的であることや、ランクアップしているということもこの名前に込めています。

「はやぶさ2#」のロゴマークも新たに作成しました(図1)。地球から再出発した探査機が、2つの小惑星(2001 CC21と1998 KY26)を探査しに行くようすをイメージしています。また、はやぶさ2拡張ミッションのプロジェクトでは、探査機の運用に加えて、「はやぶさ2とOSIRIS-RExのサンプルの共同科学分析の活動」、「OSIRIS-RExサンプルを受け入れるキュレーションの設備整備の活動」、「はやぶさ2の科学成果を広く国際的に発信する活動」という3つの活動を行います。4本の軌道はこれらの活動が相互に作用しながら進んでいく様子を示しています。背景には星形でシャープの文字を示していますが、4つの星形も探査機運用と3つの活動を示しています。

「はやぶさ2#」は、しばらくは太陽の周りを周回するクルージング運用が続きます。途中、イオンエンジンの運転をしたり、

黄道光の観測や系外惑星の観測を行う予定です。そして、2026年7月には、小惑星2001 CC21の近くを通過するフライバイ探査を行います。その後、2027年12月と2028年6月には地球に戻ってきて地球スイングバイ運用を行い、2031年7月に目的の小惑星1998 KY26に到着する予定です。まだまだ先は長いですが、これまでのところ順調な運用が続いています。

### ● サイエンス研究

探査機の運用だけでなく、サイエンスの研究も継続しています。サンプルの分析は、まずはJAXAの地球外物質研究グループによってキュレーションという作業がなされました。キュレーションは、サンプルについて大きさや質量などの基本的な物理量を測定してサンプルをカタログ化する作業です(図2)。サンプルがカタログ化されると、初期分析に回すことができるようになります。なお、「はやぶさ2」では、より進んだキュレーションとして第2次(フェーズ2)のキュレーションの作業をJAXA外の2つのチームが行っています。キュレーション作業の次に、初期分析が行われています。はやぶさ2プロジェクトの初期分析チームは6つのグループに分かれており、総勢300名ほどの研究者で構成されています。

以上のキュレーション及び初期分析の論文のいくつかがすでに発表されています。リュウグウのサンプルに水や有機物が含まれていることを確認したうえで、66種類の元素の検出や、サンプルが水による変成を受けていること、さらに20種類ほどのアミノ酸の発見がすでに報告されています。リュウグウのサンプルは、専門的にはCIコンドライトという種類の隕石に組成や同位体比が似ていることが分かりました。これは最も始原的な隕石と言われているものですので、我々は太陽系の初期の物質を地球物質による汚染無しに手に入れたということになります。今後、さらに詳しい分析結果が報告されます。太陽系の初期の状態がどこまで分かるのか楽しみです。



図2: 2回目のタッチダウンで採取した大型の粒子。キュレーション作業で付与されたサンプル名も示す。なお、写真右下の3つの金属片は、サンプル採取時に発生した探査機器限の人工物(アルミ片)である。シャーレの外径は6cmで、刻印されているグリッドの間隔は5mm。



図1: はやぶさ2拡張ミッション「はやぶさ2#」のロゴマーク。

## ● サンプル配布

リュウグウのサンプルの研究は、初期分析以降も続きます。今年の初めには全世界の研究者から研究テーマを募集し、その内容を審査しました。その結果、40件(9カ国)の研究に、今年6月末からサンプルの分配が始まっています。このようなサンプルの分配は、半年ごとに合計4回行う予定です。第2回の募集は、今年の秋に行われます。全世界の専門家が、リュウグウのサンプルからどのような事実を引き出してくれるのか、こちらも非常に楽しみです。

## ● アウトリーチ活動

はやぶさ2プロジェクトでは、多くの皆さんにミッションを知ってもらって小惑星探査を楽しんでもらうアウトリーチ活動にも力を入れてきました。今年の4月には、相模原市の皆さん(「JAXA宇宙科学研究所と夢を創る会」と「銀河連邦サガミハラ共和国」)に協力していただき、リュウグウサンプルのレプリカ配布を行いました。全国47都道府県の約200カ所にレプリカをお送りすることができ、「はやぶさの日(「はやぶさ」が地球に帰還した日を記念して設定)」の前日6月12日からの展示を呼びかけました。相模原市では、「はやぶさの日」にちなんで「はやぶさWEEK」というイベントが行われました。そのオープニングの式典で、サンプルレプリカについて紹介しました(図3)。

そして、新たな企画も行います。名づけて「星の王子さまに会いに行きませんか ミリオンキャンペーン2#」です。「はやぶさ」では、打上げ前に皆さんから名前を送っていただき、搭載したターゲットマーカに名前を刻んだシートを入れて小惑星イトカ



図3：相模原市の「はやぶさWEEK」のオープニングの式典(6月12日)で、リュウグウサンプルのレプリカ(10倍サイズ)を披露しながら説明をする筆者。

ワに届けました。「はやぶさ2」では、皆さんの名前とメッセージを、ターゲットマーカやカプセルに入れ、ターゲットマーカは小惑星リュウグウに置いてきましたし、カプセルはリュウグウを往復して地球に戻ってきました。今回は、皆さんからのメッセージを探査機に送って、探査機のメモリーに格納するというを行います。「はやぶさ2#」でも、探査機と一緒に宇宙の旅をお楽しみください。(吉川 真)

## SLS Artemis-1の打上げ前最終確認試験終了

本誌5月号でお知らせしましたように、超小型探査機 OMOTENASHI (OMOTと略記)と EQUULEUS (同EQU)は、NASA SLS Artemis-1 ロケットでの打上げに向けて準備中です。4月に実施したWet Dress Rehearsal (WDR)と呼ばれるSLSロケットの最終確認試験ではいくつか問題が発見されたため、それらの改修後に、6月20日に再WDRが行われました。写真は、射点にてWDR準備中のロケットです。ロケットは7月7日現在、VAB(整備棟)に戻って、打上げに向けた最終整備をしています。OMOT、EQUのバッテリーへの再充電も7月中旬に予定されています。その後再び射点に移動し、打上げとなります。

打上げ後、ロケットから分離された各超小型探査機は、最初にNASAのDeep Space Network (DSN)にて運用を行います。現在の予定では、7機の探査機が同時にDSNの3つの局を使って運用を行うため、5月号で紹介したMuti Spacecraft Per Antenna (MSPA)機能を使用します。この場合、各探査機とDSNとの間の通信が錯綜するので、6月6日(日本時間では7日の未明~午前)に7機の探査機担当が集合してリハーサルを行いました。OMOT、EQUとしても、貴重なリハーサルの機会であることから、最初

のDSN可視で運用を担当する予定のメンバーを集めて対応しました。DSNとのやりとりは、局の呼び出し方、自分の名乗り方、通信パラメータの用語など、独特の決まり文句があるため、その練習が主な目的でした。OMOTとEQUのDSN連絡担当者は、「はやぶさ2」での経験者をお願いしているため、やりとりに特に問題は無く終了しました。

本項執筆時点ではArtemis-1の打上げ日は発表されていませんが、準備も最終確認段階に入っています。今後ともご支援よろしくお願ひします。(橋本 樹明、船瀬 龍)



2022年6月14日、ケネディー宇宙センターにて。打上げリハーサルのため発射点に姿を現したSLS Artemis-1。OMOTENASHIとEQUULEUSは矢印の部分のアダプタ内部に搭載されている。

(NASA/Cory Huston)

# 銀河を 吹き渡る 風をみる

連載

第3回

## 科学成果の創出に向けて

連載第3弾となる今回は、XRISMが目指すサイエンスや、科学成果の創出に向けた私たちの取り組みについてご紹介します。XRISMは、X線を使って宇宙の構造形成や化学進化のプロセスを解明することを目的とするミッションです。捉えるX線の波長は0.1-4 nm。人間の目に見える光と比べて3~4桁短く、高いエネルギーを持ちます。光のエネルギーが高いということは、その放射源のエネルギーも高い、すなわち温度が高いことを意味します。具体的には、温度が約100万度を超えるプラズマ（電離気体）が、X線を放射します。したがって、XRISMの観測対象の多くが高温の天体です。

高温プラズマの観測は、宇宙の本質を知る上で不可欠です。なぜなら、宇宙に存在する陽子や原子核のほとんどが、X線帯域でしか観測できないプラズマ状態にあるからです。例えば宇宙最大の天体である銀河団には、差し渡し1千万光年ほどの範囲に、太陽質量の10兆倍を超える膨大な量のプラズマが存在します。これは、その銀河団に含まれる星や冷たいガスの総質量の5倍にも相当します。つまり銀河団は、X線で観測して初めて、その全体像を明らかにできるのです。

では、それほど大量の物質を高温にするためのエネルギー源は何でしょうか？それは、重力（万有引力）です。重力によって物質と物質が引き寄せ合うことは、高い場所から低い場所へと物が落ちることと本質的に同じです。この落下に

よって物質は運動エネルギーを獲得し、やがてそれが熱へと変換されるのです。したがって銀河団を構成する高温プラズマの観測は、宇宙最大の天体の成長過程を調べることに他なりません。これを行うのがXRISMです。XRISMは銀河団のX線観測を通して、宇宙の構造形成の仕組みを明らかにします。

この科学目標を実現する鍵となるのが、XRISMが搭載する観測装置です。その1つであるResolveは、X線マイクロカロリメーターと呼ばれる技術を使って、検出したX線の波長を正確に測ります。波長決定能力（エネルギー分解能）は、X線天文衛星「すざく」など、従来の装置の30倍。そのためResolveは、高温プラズマ中の重元素が放つ特性X線を、ひとつひとつの量子遷移に分離して検出できます（詳しくは、ISASニュース2019年9月号『「ひとみ」の科学成果』参照 [https://www.isas.jaxa.jp/outreach/isas\\_news/files/ISASnews462.pdf](https://www.isas.jaxa.jp/outreach/isas_news/files/ISASnews462.pdf)）。結果として、プラズマの温度や運動速度が、極めて正確にわかるのです。また、もう1つの搭載機器であるXtendは、Resolveと比べて160倍も広い視野を持ち、銀河団のように大きく広がった天体を隅々まで調べます。

XRISMは、打上げ後の約3ヶ月間に機器の立上げや性能確認を行った後、6ヶ月間の初期科学観測を行います。その期間の観測プランを検討・立案することが、私たちサイエンスチームの役割です。初期観測では、第一級の科学成果をあげることはもちろんのことながら、その後に続く公募観測期への指針を示す必要があります。そのため、銀河団だけでなく、ブラックホールや超新星残骸など様々な天体を観測し、XRISMができることを網羅的に実証しなければなりません。さらに今回は、NASAやESAの天文衛星とXRISMによる同時観測の計画も戦略的に検討しました。これらは決して簡単な作業ではありません。観測装置の特性や問題点をよく理解しながら、最適な観測計画をバランスよく決めなければならないからです。そのために、科学検討メンバーと開発メンバーが頻りに顔を合わせながら、真剣に検討を行ってきました。こうして選ばれた初期観測天体のリストは、現在ウェブに公開されています\*。

さて、先ほど「顔を合わせながら」と言いましたが、2020年以降はいわゆるコロナ禍により、対面での会議を開けなくなってしまいました。それまでは半年ごとにメンバー全員が一堂に会して議論を交わしてきましたが、コロナ禍に入ってからはずっとオンライン開催です。この状況は、やはり好ましくありません。会議での議論が終わると「はい、さようなら」となってしまうからです。対面で実施していたころは、休み時間に

雑談したり、夜は一緒に飲みに行ったりして、仲間との信頼関係を深めることができました。こうしたエクストラな時間は、大きな国際チームでは特に重要です。今年の冬に、おそらく打上げ前最後となるサイエンス会議を開催する予定です。3年ぶりとなる次こそは、メンバー一同が顔を合わせ、これまでの努力をお互いに労い合いながら、来るべき打上げに向けて一致団結を図りたいところです。

副プロジェクトサイエンティスト  
山口 弘悦（やまぐち ひろや）

### Before



サイエンスチームの会議  
左上/金沢 2018年10月、左下/愛媛大学 2019年10月、右/オンライン会議 2021年12月。

### After



正直、つらい。  
早く元の日常が  
戻りますように…。

\* <https://xrism.isas.jaxa.jp/research/proposer/approved/pv/index.html>

# 宇宙・夢・人

Space Human Dream

## 》 生命の起源の答えを 宇宙に見つける

### 地球は生命にあふれ過ぎている

—— 2020年、海洋研究開発機構 (JAMSTEC) から宇宙研に。

海洋の研究所から宇宙の研究所に移ったのはなぜですか。

私は、生命がどのように始まり進化してきたのかという「生命の起源」と、生命はどのような環境まで生きることができるのかという「生物の可能性」を知りたいと思っています。

これまで、陸上、深海、地下圏など、さまざまな場所を調べてきました。地球は生命にあふれていて、どこもかしこも生命があります。どのような環境にでも適応進化できるというのが、生命の非常に重要な特徴です。しかし、地球には生命が多過ぎ、また進化した生命を調べても生命の起源までなかなかたどり着けない。そういうジレンマを感じ始め、生命の起源について地球を調べるだけでは不十分だと考えるようになったのです。

では、どこならば生命の起源を探ることができるのか。それが宇宙なのです。隕石分析などの結果から、各種天体にはアミノ酸を含むいろいろな有機物が存在することが分かっています。もしかしたら、生命がいて、でもまだ現在の地球ほどには生命があふれていない天体があるかもしれません。そういう天体を調べることで、有機物から生命に至る過程はどうなっているのか、何が重要なのか、生命の起源について初めて理解できるのではないかと考えています。

### 「生命だ!」と分かるのか?

—— 生命探査の難しさは、どのような点ですか。

天体から持ち帰ったサンプルに生命が含まれていたとして、私たちがそれを見て「わっ! 生命だ!」と分かる姿で存在しているかどうかは非常に疑問です。生命とは何か、何をもって生命とするかを議論し、認識を共有しておく必要があります。

探査する天体を地球の生命で汚染しない技術、きれいにサンプルを持ち帰ってくる技術も必要です。生命が存在したとしても、サンプルに含まれる生命はわずかでしょう。地球の生命で汚染することなくサンプルからわずかな生命を探す技術、生命の情報を引き出す技術も準備しておかなければなりません。私は宇宙研で、そうした研究開発も行っています。

—— 地球以外の天体にも生命があると、お考えですか。

「はい」か「いいえ」か、答えは揺れますね。生物を知れば知るほど、ものすごく素晴らしい仕組みであり、だから簡単にはできないだろうと思うのです。しかし、地球で生命が誕生したことは間違いありません。だとしたら、初期の地球の環境に近く蛇紋岩化反応(かんらん岩と水が反応して蛇紋岩ができる反応)が起きている天体、具体的には火星や、海洋を持つ土星の衛星エンケラドスや木星の衛星エウロパが、生命が存在している可能性が最も高い場所だと、私は考えています。

学際科学研究系 准教授

## 鈴木 志野 (すずき しの)

東京都生まれ。東京大学大学院農学生命科学研究科博士課程修了。博士(農学)。マリンバイオテクノロジー研究所、東京大学生物生産工学センター、アメリカの「クレイグ・ヴェンター研究所」、海洋研究開発機構を経て、2020年から現職。専門は地球生命科学、環境微生物学、アストロバイオロジー。



生命がいるか、いないか。それも重要ですが、二択では大ざっぱ過ぎると思うのです。火星や海洋天体で、無機物から有機物へ、さらに複雑な有機物へと化学進化がどこまで起きているのか。そして、どこでそれらが機能的に連携し、化学システムを構成し、生命になったのか、ならなかったのか。そうした過程について、解像度を高くして細部まで知りたいですね。

### 音楽と科学と

—— 子どものころは、どのようなことに興味がありましたか。

科学にはまったく興味がなく、どちらかと言うと嫌いでした。好きだったのは、音楽です。幼稚園児のころ、ピアノを習いたいと親にお願いして、音楽教室に通い始めました。すると先生が、とても耳がよくて音楽のセンスがあるので専門的な教育を受けた方がいいと勧められて、作曲の勉強をしていました。大人になったら作曲家など音楽の仕事をするのだろうか、と思っていました。

—— なぜ科学の道へ?

音楽には正解がありません。私はこういう表現がいいと思って作曲するのですが、人によって評価が異なります。すっきりしない気持ちが成長するにつれて大きくなり、このまま音楽の道に進んでいいのか悩み始めました。

そんな悩みを抱えていた高校生のとき、生物の授業でメンデルの法則を学びました。複雑に見える生物が単純な法則に支配されているということ、とても美しいと思いました。科学には必ず正解があることにも惹かれ、もっと生物のことを知りたくなったのです。

—— 音楽を学んできたことは、研究にも生きていますか。

共通点は感じます。音楽では、作曲家がどういう気持ちでこの音を選んだのだろうと考えます。研究でも、微生物の気持ちになって考えます。そうすると、この微生物は、生きるにはこれが大変なのではないか、ここが強みなのではないかと、気がつくことができます。

曲の全体の雰囲気は、1音1音がつくり上げるものです。演奏するときも、1音1音をどう鳴らすかを考えます。生物を理解するときも、遺伝子やタンパク質1個1個がどういう働きをしているのか、解像度を上げて細かく考えます。そういう点でも、音楽と科学は似ています。私は最近、科学的な手法を音楽に取り入れたりもしています。

—— 今も音楽が身近にあるのですか。

娘2人がピアノを習っていて、一緒に弾いたり教えたりするのが、私にとって楽しい時間になっています。10歳になる上の子がコンクールに出たいというので、一緒に曲を分析して、ここはどうやって弾くのがいいか議論したりもしています。プロジェクトのような感じで、娘と楽しんでいます。音楽は、人生を楽しく、豊かにしてくれます。



国立大学法人 総合研究大学院大学  
学長

長谷川 真理子 (はせがわまりこ)

## 宇宙と生物の接点:アストロ バイオロジーに向けて

私は、ごく小さいころから生き物に興味があり、図鑑で種を同定したり、道端で採集した植物の標本を作ったりするのが好きだった。ところが、同時に、夜空を見上げて星を観察するのも好きで、広大な宇宙の成り立ちに思いを馳せてわくわくしていた。地球の生命の不思議に対する興味と星空に対する興味。今思えばそれはどちらも、美しいという感覚に導かれていたように思うのである。

中学校時代、星座早見盤というのを手に、毎晩、空を見て星座を同定していたのを思い出す。オリオン座を始めとする多くの星座を同定したし、子ども用の望遠鏡で惑星も観察した。月を観察し、その表面の絵を描いたこともあった。あの星座早見盤はどこへ行ってしまったのか、今は見つからない。そうだ、あれはアフリカに持っていったのだ。1979年から1982年にかけて、東アフリカのタンガニカ湖のほとりで暮らし、野生チンパンジーの研究をした。そのとき、あの星座早見盤を持っていて、赤道直下の夜空を見たのだった。電気もガスも水道もないところ。夜は、本当に巨大な川のような銀河と満天の星だった。

その星座早見盤をアフリカの小屋の中に置いてきて以来、ここ数十年、あまり夜空を見ていない。仕事は忙しいし、都会に住んでいるので、空を見上げててもそれほど多くの星座は見られないのが寂しい。

中学校のとき、天文に詳しい先輩と出会って、その人からいろいろな話を聞いた。そのとき、池谷・関慧星の写真ももらった(写真)。ところで、池谷・関慧星は、1965年9月に発見されたということだが、そうだとすると私は中学1年生である。そのときにリアルタイムでその先輩がこの写真を撮ったのか、そうではないのか、なぜ私がこの写真ももらったのか、今ではまったく定かではない。でも、この写真を持っていることは確かなのだ。

いつだったか、A.ウンゼルト著、小平桂一訳の「現代天文学」という書物を購入した。新宿の紀伊国屋書店で購入したことは覚えているのだが、これが1978年の書物だから、もう私が東京大学理学部生物学科人類学教室を卒業し、そこの大学院に入って何年か経ったときのことになる。それでも天文に関



池谷・関慧星の写真(撮影日:1965年11月3日)。

する興味は続いていたのだ。ヘルツシュプルング・ラッセル図などというものを知ったのも、この書物からだった。2005年になって、その小平桂一先生から、総研大に来ないかというお誘いを受けたときには、この書物との不思議な御縁を感じたものである。

今や、生物学と天文学には強力な接点がある。それが、アストロバイオロジーだ。アストロバイオロジーが探究する問題の1つは、この広い宇宙には、地球のほかにも生命を擁する惑星が存在するのだろうか、という疑問である。しかし、この問題自体には、生物学者としては、もちろん興味はあるもののあまり興奮しない。地球の生命についてすらも、わからないことが多すぎるほどあるのに、宇宙の他の惑星に、それも気の遠くなるほど離れた遠くの惑星の、いつとも知れない過去に、何らかの生命があったとしても、そんなことにはあまり興味を魅かれないというのが、生物学者の本音だろうか。天文学者側からすると、地球の生物学は、何と言ってもサンプル数が1の中で細かいことをやっているだけ、ということになるのだが。

もう1つ、アストロバイオロジーが取り組む大きな問題が、地球の生命の起源は宇宙にあるのか、ということである。こちらは、生命の進化という生物学の大きな疑問の中で、そのおおもとを探る問題なので、私には大いに興味があった。

これら2つの問題を軸に、亡くなられた海部宣男先生を中心に、総研大の研究会合のプロジェクトとして、2年間、アストロバイオロジーの研究会を主宰した。この経験は、私自身の研究には直接は結びつかないのだが、大いに興味をそそられ、たくさん学ぶことがあった。この研究会があったからというわけではないのだが、本学の基盤研究機関の一端を担う自然科学研究機構の中に、アストロバイオロジーの研究所\*ができたことは、大変な喜びである。

そして、「はやぶさ2」による、小惑星リュウグウからのサンプルリターンがあった。この偉業を成し遂げたJAXAと宇宙研には、心底からの敬意を表したい。そして、そのサンプルからアミノ酸がたくさん抽出されたというのだから、地球生命の宇宙起源説は、かなりの重みを持つようになったと言えるだろう。私は、今後の研究の発展に、今から興奮している。

\*自然科学研究機構アストロバイオロジーセンター <https://abc-nins.jp/>

### 編集後記

テレワークで通勤時間がなくなり、庭の手入れをする余裕ができました。春の花が咲き誇っている頃、夏の花を植え付け、夏には秋に向けた準備をします。木が健やかであるよう、古い枝を落とし、他の植物の成長を妨げないように枝を切ったりしています。

(生田 ちさと)



ISASニュース No.496 2022年7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 TEL: 042-759-8008

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