

XRISM搭載観測機器Xtendの センサ部SXI-Sの音響試験

筑波宇宙センター / 1600m³ 音響試験設備において行われた、SXI-Sの音響試験の様子。写真中央の銀色の物体がSXI-Sです。

床面付近では音の反射により音圧が上昇してしまうため、SXI-Sを1.5m吊り上げて試験します。写真には他にも、SXI-Sが大きく揺れることを防ぐための白いロープ、SXI-Sの振動を計測するための加速度センサ（奥から手前にジグザグに延びる赤いケーブルの先端）、音を制御・計測するためのマイクروفフォンなどが写っています（5P参照）。



The Forefront of Space Science

宇宙
科学
最前線

ガンマ線バーストを用いた 初期宇宙・極限時空探査計画HiZ-GUNDAM

金沢大学 理工研究域教授 米徳 大輔(よねとく だいすけ)

イントロ

私が勤務する金沢大学は医王山の麓、標高100mほどのところにあり、春には太陽が透ける新緑の並木道を爽やかな気持ちで通勤できる。金沢駅から5kmほど離れると日本海が広がり、いとも簡単に新鮮な海の幸を味わえる(安い!)。12月末までは地元ならではの香箱蟹(ズワイガニの雌)にもありつける(旨い!)。能登半島へ続く「のと里山海道」を進むと、世界で3つしか無いという波打ち際を自動車で行ける「千里浜なぎさドライブウェイ」があり、さらに進むと松本清張の『ゼロの焦点』の舞台として有名な「ヤセの断崖」もある(凄い!)。そんな環境での私の日常は、50cm/50kg級の金沢大学衛星「こよう」の開発や、本題のHiZ-GUNDAM衛星搭載機器の開発に従事することで、資料作成やテレビ会議でパソコンの前だけで過ごすことも多い(辛い!)。

さて、私達の住む世界には何故こんなにも豊かな自然が広がり、便利で楽しく時には辛い生活ができるのか? それには多種多様な元素が存在することが関係していると言えるだろう。けれども、それらの「元素の起源は?」というと、全貌が

明らかになっていない。それは宇宙がどのように誕生し、そして、どのような進化を遂げてきたのかを知ることであり、我々の起源を知るための根源的な欲求と言える。本稿のテーマであるHiZ-GUNDAMは、このような問いへ向けた2つの宇宙科学を推進することを目標に計画されている。1つ目は、ガンマ線バーストという宇宙で一番明るい爆発を観測して、宇宙誕生から数億年しか経過していない初期宇宙の環境を解明すること。2つ目は、重力波を発生する天体現象からの短時間ガンマ線バーストを観測することで、ブラックホールが誕生する瞬間の物理現象を探求することである。本稿では、冒頭に記した「元素の起源」にも迫るHiZ-GUNDAM計画を紹介しようと思う。

宇宙最大の爆発 ガンマ線バースト

ガンマ線バースト(以下、GRBと略す)は、数10ミリ秒から数100秒の短時間に、激しい時間変動を伴いながらX線やガンマ線を放射する天体現象である。1度の爆発で解放されるエネルギーは10⁵⁴エルグ(1エルグ=10⁻⁷ジュール)に達する場合も観測されており、太陽が100億年の寿命を通じて放出する

全エネルギーの1,000倍相当を一瞬で放出してしまう、まさに「宇宙最大の爆発現象」である。突発的なX線・ガンマ線放射の後には、X線から電波にわたる広い波長で減光しながら輝く「残光」が続く。爆発直後の残光は非常に明るいため、遠くの宇宙で発生しても簡単に観測できるのだが、1日後には暗くなってしまうため、迅速に観測しなくてはならない。これまでの観測では、GRBの平均的な赤方偏移は $z \sim 2$ (距離にして約100億光年)程度であり、最遠方記録は $z=8.26$ (131億光年)である。

GRBの物理現象そのものを理解することも重要であるが、GRBを明るい光源として利用することで初期宇宙探査や重力波源を調べるような、応用的な研究に焦点が移り変わりつつある。HiZ-GUNDAMは世界に先駆けてこれらGRBを使った新しい科学を推進する計画である。

GRBで初期宇宙を探査しよう

宇宙が誕生した直後、特に宇宙誕生から38万年後(宇宙マイクロ波背景放射の時代)は、中性の水素とヘリウムばかりで構成された、天体が存在しない光のない世界「暗黒時代」であったと考えられている。その後、重力によってガスが集まり宇宙で最初の星(第一世代星、宇宙の一番星)が誕生すると、宇宙の様子は様変わりしていく。星の内部では、核融合によって新たな元素(鉄原子まで)が作られる。星の寿命が来ると、それらは超新星爆発やGRBなどの爆発で宇宙空間に撒き散らされ、多様な元素が存在する環境が作られていく。そして第一世代星からの強烈な紫外線放射によって、宇宙空間のガスは再び電離されたと考えられている。このようなシナリオは理論的な研究から提唱されたものであるが、暗黒時代以降については観測的には全く明らかになっていない。宇宙誕生直後の歴史を理解するためには、遠くの宇宙(すなわち過去の宇宙)を精密に観測することが直接的な方法である。そのために宇宙そのものが誕生する起源の解明を目指すミッション(LiteBIRD*)がある一方、HiZ-GUNDAMはその後の初代天体の形成や宇宙進化の様子に迫れることに特色がある。

現在のGRBの観測は、①人工衛星でGRBを発見、②口径30cm～1mの小型望遠鏡で残光を発見、③口径4m級の中型望遠鏡で赤方偏移を同定、④8m級の大型望遠鏡で分光観測、のような段階を踏む事が多い。大型望遠鏡の観測時間は貴重なので、真に興味深いGRBであると確認を得てから観測する必要がある。そのため、大型望遠鏡の登場までには1日程度の時間を要してしまい、その頃には残念ながらGRBの残光は暗くなってしまう。

そのような中でも、日本の「すばる望遠鏡」を用いた観測で将来の展望が見えている。図1は、2005年9月4日に発生したGRB 050904の残光を、発生から3.4日後にすばる望遠鏡で分光観測したものである。詳細は図1の注釈に示すが、水素のライマン α ($Ly\alpha$) 吸収線の波長に向けてなだらかな減衰が観測され、波長の短い可視光は完全に消失している。この $Ly\alpha$ 減衰の形状を詳細に解析したところ、赤方偏移 $z=6.295$ の頃(宇宙誕生から10億年程度)には銀河間物質の大部分は電離しており、中性水素はほとんど存在しない(1シグマ上限値として17%以下)ことが示された。また、スペクトルには、硫黄、ケイ素、酸素、炭素の吸収線が検出されているため、GRBの発生環境には既にこれらの元素が大量に存在していたことが

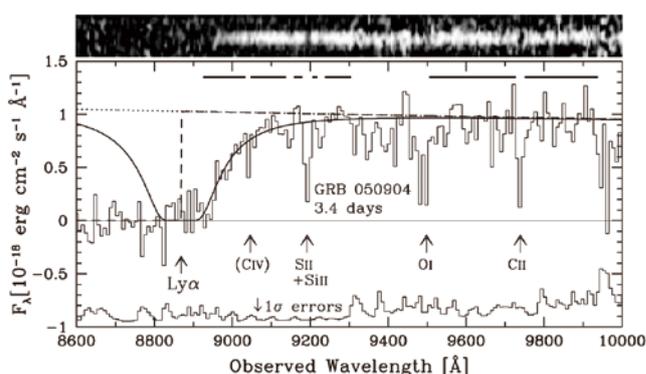


図1：すばる望遠鏡に搭載されたFOCAS検出器で取得したGRB 050904発生から3.4日後の分光スペクトル(Totani et al., PASJ, Vol. 58, 25, 485, 2006)。GRBと観測者までの銀河間空間に存在する僅かな中性水素によってGRBの残光スペクトルは吸収を受け、 $Ly\alpha$ と示されている波長よりも短波長側は完全に吸収される。実線はスペクトルを記述する最適なモデル関数で、 $Ly\alpha$ 吸収線の波長に向けてなだらかに落ちている。この形状を減衰翼と呼び、その広がり形状から宇宙の中性水素の割合を測定できる。SiII, SiIII, OI, CIIと示されている部分はGRB発生源における硫黄、ケイ素、酸素、炭素元素による吸収線であり、ここから赤方偏移が $z=6.295$ と測定された。吸収線の深さから、太陽と比較した元素組成比を測定することが可能となる。

わかる。その後、2013年のGRB 130606A ($z=5.91$)の観測からは、ごく僅かに中性水素が存在していたという兆候も示されている。

最初にGRBの残光が発見されてから既に25年が経過しているが、好条件での観測機会は限られ、良質な分光スペクトルが観測された例はこれら2例のみである。「もし、人工衛星でGRBを発見し、同時に価値ある遠方のGRBであるという確証も得られるならば、残光のまだ明るいうちから大型望遠鏡を使った観測頻度も増やせるのに…」という極めて単純な思いつきがHiZ-GUNDAMのコンセプトを生む発想となった。そして、さらに遠方宇宙を観測するためには、高感度な近赤外線観測も要求される。

いま、重力波天文学が熱い

2015年9月15日に、米国の重力波干渉計LIGOにより史上初の重力波の直接検出が実現した。2017年8月17日には、LIGOと欧州のVIRGOによって中性子星連星が衝突・合体した際の重力波GW 170817が検出され、その1.7秒後にはNASAのフェルミ衛星によって短時間GRBのようなガンマ線放射GRB 170817Aが検出された。フェルミ衛星では発生場所をリアルタイムでは特定できなかったため、数多くの地上望遠鏡がそれぞれ誤差領域に存在する銀河を観測し、可視光の突発天体を探した。重力波検出から約11時間後に、可視光と近赤外線と輝くキロノヴァと呼ばれる突発天体が発見され、約1ヶ月にわたって追観測が行われた(図2参照)。

このキロノヴァとは何か?シナリオは次の通りである。中性子星連星の合体では、中性子を多く含む物質が撒き散らされる。中性子は電気的な反発力が働かないため、衝突することによって大きな原子核を作り出す(r過程元素合成と呼ばれる)。レアアース元素を含むランタノイド属にも達する質量数の非常に大きな原子核となるが、中性子過剰な放射性同位元素であるため、核分裂とベータ崩壊により数秒程度で崩壊する。このときの崩壊エネルギーで温められた物質が長期間にわたって輝き、キロノヴァとして観測されるというものである。特にランタノイド属を多く含むキロノヴァは近赤外線と明るく輝く。

*ISASニュース2016年9月号(No.426)参照 https://www.isas.jaxa.jp/outreach/isas_news/files/ISASnews426.pdf

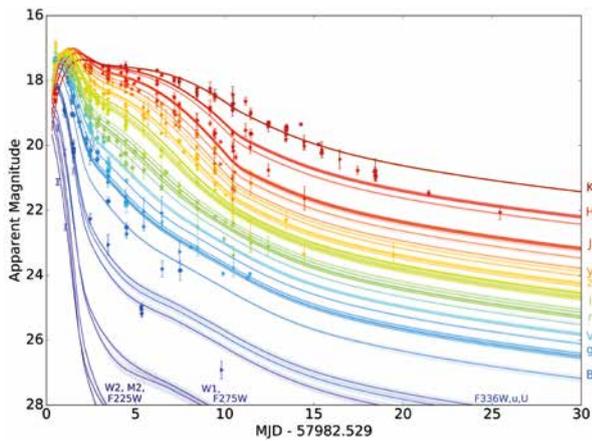


図2：2017年8月17日に検出されたGW 170817/GRB 170817Aのキロノヴァ現象の明るさの変化。数多くの望遠鏡による観測データをまとめたもの (Villar et al. ApJL, Vol. 851, Issue 1, L21, 2017)。重力波検出の11時間後から1ヶ月程度にわたって追観測が行われた。色は観測波長を表し、紫色から赤色にかけて長波長となる (図中の枠外に天文学で使われる測光フィルタ名が示されている)。reproduced by permission of the AAS.

この連携した観測の成功を受けて、重力波と電磁波観測を組み合わせた「重力波天文学」という新しい学問領域が誕生した。重力波のような新たな情報の担い手(メッセンジャー)を含め、様々な情報を統合して宇宙を理解する「マルチメッセンジャー天文学」とも称される。しかしながら、これまでに重力波と同期した電磁波放射が観測されたのは、この1例のみである。「重力波と同期した短時間GRBを発見し、即座に可視光・近赤外線観測できれば、中性子連星が合体してブラックホールが誕生するときの物理現象を理解できるのに…」という思いがまたHiZ-GUNDAMのコンセプトに繋がった。

機動的なHiZ-GUNDAM

本稿に示した初期宇宙探査や重力波天文学を進展させるためには、広い天域を高感度のX線モニターで監視し、発見したGRBに対して網羅的に可視光・近赤外線観測を行う必要があることをご理解いただけたと思う。これまでの天文衛星は1つの波長域に特化していたが、HiZ-GUNDAMはX線天文学と可視光・近赤外線天文学がタッグを組んで実施する計画となる。

図3に搭載機器の概念図を示す。広視野X線モニターは、ロブスターアイ光学系(LEO)と呼ばれるX線集光鏡でGRBからのX線を集光し、その焦点面にX線撮像検出器を配置して観測する。LEOは厚さが1~2mmのガラス板に数10 μ mの大きさの多数の四角い穴が空いていて、内壁とほぼ平行に入射したX線は全反射するという特性を活かすことで、X線反射鏡として用いる。内壁で1回反射したX線は1次元に結像し、直交する2つの内壁で反射すると1次元に結像するもので、合わせて十字型の結像となる。LEOを球殻状に配列することで広い視野を確保し、どの方向に対しても均一な観測感度を達成できるようになる。

近赤外線望遠鏡は口径30cmの軸外し光学系を採用し、0.5~2.5 μ mを4つの波長帯に区切り、同時に撮像できる観測装置である。4つの波

長帯でGRB残光の明るさを測定する事で、図1に示すようなLy α 吸収端がどこにあるのかを判別できるようになる。口径30cmとは言い、近赤外線帯(波長1~2.5 μ m)では、地上の4m級の中型望遠鏡に匹敵するような観測感度を達成できる。地上からの観測では、上層大気に含まれるOH基からの強い放射(OH夜光)が近赤外線観測の妨げになるが、人工衛星ではその影響を受けないためである。

広視野X線モニターでGRBを検出すると、5分以内にHiZ-GUNDAM衛星は機動的に姿勢を変更して近赤外線望遠鏡で観測を開始する。そのデータからLy α 吸収の存在を確認して高赤方偏移GRBであるかを判別することで、いち早く大型望遠鏡での観測に必要な情報が得られる。つまり、地上にある小型・中型望遠鏡がこれまで担っていた役目を一手に引き受け、大型望遠鏡の観測開始時間を一気に短縮するわけである。

HiZ-GUNDAM衛星が実現すると、赤方偏移 $z > 6$ (130億光年より遠く)のGRBの検出頻度がこれまでの20~30倍に増加することは間違い無く、赤方偏移 $z = 12$ あたりの宇宙の一番星が作り出すGRBを本当に検出できるかもしれない。初期宇宙でのGRBの発生頻度(重たい星の誕生頻度と関係する)を定量化し、明るい残光を使って宇宙再電離や金属元素量の歴史の変遷を理解できるだろう。また、短時間GRBとキロノヴァ現象を観測することで、ブラックホール時空が誕生するときには作られる相対論的ジェット(性質や、ランタノイド属におよぶ重元素の絶対生成量を測定できるだろう。我々の宇宙に多様性をもたらす元素。GRBを用いた初期宇宙・極限時空の観測から、周期表に載っている大部分の元素の起源を解き明かし、私達の世界が美しい理由や、便利な道具に使われるレアメタルの起源を探りたい。

HiZ-GUNDAM計画は、2021年12月にプリプロジェクト候補チームが発足したばかりのため、本稿ではこれまでの観測例とミッション意義を紹介することしかできないのが残念である。HiZ-GUNDAMが実現する2030年頃のISASニュースでは、科学成果をふんだんに盛り込んで、皆様に宇宙の歴史やブラックホール誕生の様子をお伝えできるよう、チーム一丸となって頑張っていきたい。

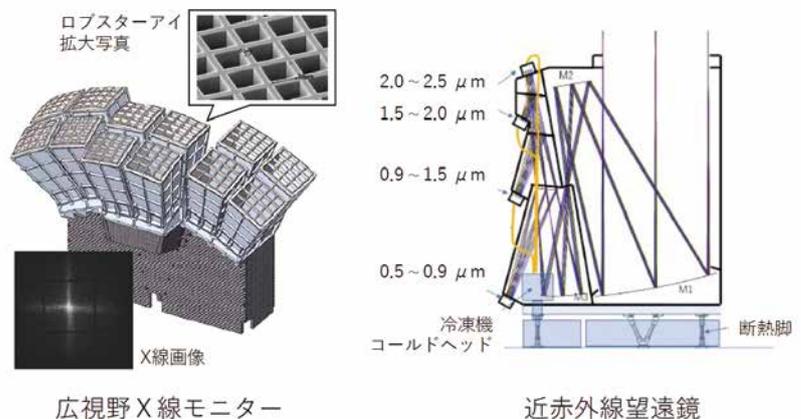


図3：HiZ-GUNDAM衛星に搭載するミッション機器の概念図(左：広視野X線モニター、右：近赤外線望遠鏡)。広視野X線モニターは、0.5~4keV程度のX線で1ステラジアン(全天の1/12)程度の広域をモニターする。100秒ほど継続するGRBに対しては、これまでのGRB検出器と比べて30倍ほど高い感度で観測できる。近赤外線望遠鏡は0.5~2.5 μ mを4つの波長帯に区切り、10分間の観測で、最も長い波長帯で20.7AB等級、最も短い波長帯で21.4AB等級を達成する見込みである。

第22回宇宙科学シンポジウム開催

年明けの1月6日(木)・7日(金)の2日間にわたり、今年も宇宙科学シンポジウムを開催しました。このシンポジウムは、日本の宇宙科学関係者が一堂に会して講演と議論を行う、年に一度の機会です。例年と同様、宇宙科学の全般的な動向や課題を議論する企画セッション、さまざまな宇宙科学プログラムの最新トピックスを紹介する特別セッション、および講演申し込みの中から選定した一般セッション、の3種類のセッションで口頭講演を構成しました。また、これに加えてポスターセッションも設けました。

初日の企画セッションのタイトルは「多様性を増す宇宙科学の推進」でした。宇宙科学は多くの分野と関連し、多様性を増しつつあります。一方で近年、ミッション立ち上げに際して各種の問題が顕在化しており、宇宙科学は課題に直面しています。課題を乗り越え今後の宇宙科学をいかに推進していくか？宇宙理工学委員会で進められてきたその検討や、赤外線天文衛星SPICAの検討中断という問題を受けた今後の宇宙科学の進め方、さらには宇宙科学が成立するために不可欠な宇宙輸送系の将来展望について講演いただきました。2日目の企画セッションは「宇宙物理学と太陽系科学・探査の新時代」と銘打ち、打上げが来年度に迫るX線天文衛星XRISMと月着陸実証機SLIMを起点とした宇宙科学の発展の展望と、近年、宇宙科学との繋がりで話題になりつつある「国際宇宙探査」について講演いただきました。続くパネルディスカッションでは、初日の議論もふま

え、描く新時代をどのように実現していくのか、議論が交わされました。

企画セッションは初日から2日目と、タイムリーな話題が有機的に繋がったのではないかと思います。議論された課題は、すぐに解決するような都合のいいものではないかも知れません。しかし、どんな課題に対してどう進もうとしているのか、現在進行形の姿を参加者に見せることができたことは意義があったと思います。

コロナ禍のため、昨年に続き今年もリモート開催となりました。口頭講演ではZoom会議システムとYouTubeのライブ配信を利用しました。Zoom会議では参加者にチャット機能を使ってもらい、質疑応答の時間以外にも意見交換が活発に行われていたのが印象的でした。シンポジウムの視聴者は常時200名、最大で350名程度を数えました。YouTubeの視聴者が半分近くを占め、Zoom会議に事前登録するほどではないけれど気軽に宇宙科学の現状に触れてみたいという視聴者層の存在を感じました。

来年の開催形態がどうなるのかまだ決まっていますが、コロナ禍の一刻も早い終息を期待しつつ、来年のこのシンポジウムが今年以上に活発な議論の場となることを願っています。最後に、今年の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および宇宙研各研究系主幹の皆様、そしてシンポジウムの円滑な運営にご尽力いただいた宇宙研科学推進部の皆様に、世話人一同、御礼申し上げます。(坂尾 太郎)

エアターボロケットの燃焼試験を実施中です

2021年12月20日から12月28日にかけて、能代ロケット実験場においてエアターボロケット「ATRIUMエンジン」の総合燃焼試験を行いました。2020年度は、ATRIUMエンジンを構成する酸素・水素ガスジェネレータ(GG)の要素燃焼試験を実施し、ISAS事情で紹介させていただきました。今回の総合燃焼試験ではエンジンシステムとしての機能・性能を確認することを目的としています。ATRIUMエンジンの最大の特徴である空気吸込み用のファン・タービンを、GGで生成する高温高圧燃焼ガスで駆動し、10kNの推力が発生することを確認します。ATRIUMエンジ

ンのファン・タービンを含むターボ機械は、岩手大学理工学部高度試作加工センターとISAS先端工作技術グループ、エイ・エス・アイ総研の3者共同で試作研究を実施し、2021年に完成させることができました。特に、岩手大学内で製作したチタン合金製の軸流ファンは、約12kg/sの空気を吸い込み、圧力比1.8で圧縮して2次燃焼器に供給する非常に重要なエンジン部品です。総合燃焼試験に向けた事前準備として、2021年8月に高圧ヘリウムガスでタービンを駆動する冷走試験を実施し、空気吸い込みや回転系の機能を確認しました。続いて2021年10月にGGに液体水素・液体酸素を供給し、長秒時の安定燃焼と流量調整範囲を確認する試験を実施しました。その後、ターボ機械とGG、2次燃焼器を結合し、推進薬供給系と組み合わせてエンジンシステムを構築、12月の総合燃焼試験を迎えました。今回の試験でも、室蘭工業大学や、名古屋大学、静岡大学などワーキンググループを構成する多数の大学研究室から実験班として参加いただいています。残念ながら12月中は降雪が非常に多かったことから、点火器試験まで実施したところで一時休止しました。総合燃焼試験の再開は2022年3月を予定しています。来年度以降は、ATRIUMエンジンを搭載する離着陸実験機の研究開発を本格化させる構想となっております。今後の展開にご期待ください。

(小林 弘明)



ATRIUMエンジン総合燃焼試験の様子。2021年12月28日撮影。

X線分光撮像衛星(XRISM)、衛星システム試験に向けて奮闘中

XRISMは、銀河を吹き渡る風「高温プラズマ」のX線精密分光撮像を行う科学衛星です。宇宙科学のフロンティアを拓くあらたな国際X線観測計画としてNASAやESAをはじめとした関係機関と密接に協力しながら、2022年度内の衛星打上げを目指して開発と運用準備を進めています。

宇宙における物質やエネルギーの流転を調べ、天体の進化を解明するという研究に取り組むため、XRISMには分光と撮像、2つのミッション機器が搭載されます。超高分解能分光観測を行う軟X線分光装置(Resolve)と広視野のCCD撮像観測を行う軟X線撮像装置(Xtend)です。

Resolveは、現在、筑波宇宙センター総合環境試験棟SITEで振動試験を始めとする機械環境試験や機能性能試験を行っています。米欧と開発を協同して進めている機器ということもあり、COVID-19による渡航制限などの影響は受けていますが、様々な工夫でこの事態を乗り切るべく奮闘中です。例えば、NASAの科学者・エンジニアが来日して行う予定だった試験は、NASAのリモートサポートの下にJAXA主導で実施するやり方に切り替えたりしました。この先も計画通り衛星システム試験を行えるよう、日米欧の知見を集めて開発を進めているところです。

Xtendのセンサー部SXI-Sについても、昨年12月に振動試験と音響試験が完了しました。振動試験は、試験チームのスタッフがSXI-Sの無事を祈りながら固唾を呑んで見守る中、無事に終わりました。続く音響試験(表紙写真参照)では、「不用意に設置した薄膜など吹き飛ばすほどの音響」にも、試験の前後でCCD画像の品質に変化もなく良好な結果となりました。

打上げ後の衛星運用を支える地上システムも、衛星管制やデータ処理を行う各装置を機能別試験や衛星シミュレータの準備を進め、装置間の接続試験も順次実施しています。その他、衛星システム試験の試験シナリオを調整すると共に、運用文書の作成とレビューなども行っています。今後、衛星と地上システムの各装置についても接続試験を実施し、ミッション機器のデータを最初から最後まで正しく処理できるかなど確認を行なっていきます。打上げ直後に行うPerformance Verification Phaseで観測する天体のカテゴリーごとにチームを編成し活動しているほか、その先の公募観測に向けた準備にも着手しました。

XRISM開発状況は公式ツイッター(@XRISM_jp)で随時、報告しています。また、XRISMが取り組む科学課題やプロジェクトメンバーの紹介を公式noteで行っています。フォローと応援をよろしくお願いします。(前島 弘則)



NASAのリモートサポートの下JAXA主導で実施したResolve機能性能試験の一幕。



公式ウェブサイトで。

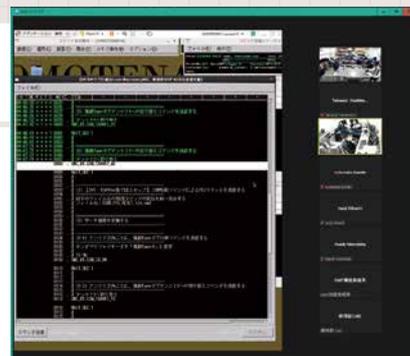


公式Twitterで。

OMOTENASHI/EQUULEUSの運用訓練

超小型探査機OMOTENASHIとEQUULEUSは、NASAの新型ロケットSLSで今年の4月(原稿執筆時点)に打上げ予定です。本紙連載記事(ISASニュース2022年1月号*)でも紹介したように、両探査機は現在、シミュレータを使った運用訓練を実施しています。両探査機の運用は研究センター棟のSLS運用室*2で行うのですが、部屋は広くないので、感染症対策のためにも最低限の人員にしぼる必要があります。そこでプロジェクトメンバーは研究管理棟のOMOTENASHIプロジェクト室*2、EQUULEUSプロジェクト室*2にそれぞれ詰めることとして、運用LANを両室まで引いてデータの監視、評価を行うこととしました。しかし部屋が離れていると意志の疎通がとりにくなります。

そこでOMOTENASHIでは、運用室とプロジェクト室双方にカメラとマイクを設置して、ビデオカンファレンスツールを使って両室をつなぎ、あたかも同じ部屋にいるような臨場感をもたせています。さらに画面共有機能を使って、運用室のコマンド送信端末の画面、プロジェクト室のデータ解析用端末の画面なども、お互いの部屋で参照できるようにしました。図は、運用訓練中のビデオ画面のスクリーンショットです。各自の端末にビデオカンファレンスツールの画面も表示することにより、3密を回避しつつ密なコミュニケーションを実現しています。EQUULEUSは現在、東京大学にあるシミュレータを使った運用



運用訓練中のビデオ画面*3

訓練を行っています。今後は相模原キャンパスでの訓練も行っていきます。その際には、OMOTENASHIと同様なビデオカンファレンスツールを導入する予定です。

もう1つの試みとして、両探査機はインハウスで開発・運用を行う特性を使って、運用に参加するメンバーをJAXA内で公募しました。対象は、事務系の職員など衛星や探査機の運用経験が無い人に限定しました。探査機の運用を体験することにより、今後の自身のJAXA業務に役立ててもらおう意図です。全くの未経験者に一から指導して打上げまでに間に合うのか不安もありましたが、皆さん、短期間の訓練でプロジェクトメンバーよりも運用業務をこなせるようになっていきます。

これからも訓練を続け、軌道上運用でベストのパフォーマンスを発揮できるように鍛錬していきます。応援よろしくお願います。(橋本 樹明、船瀬 龍)

*1: https://www.isas.jaxa.jp/outreach/isas_news/files/ISASnews490.pdf *2: 部屋の名称は通称で公式名ではありません。 *3: 画像は一部修正しています。

HOW
TO
START

新しい 衛星ミッションの 立ち上げ方

2020年度のミッションカテゴリー見直しに引き続き、理工学合同委員会は、よりよいミッションの立ち上げ方を問う理工学合同委員会タスクフォースを設置し、その中で戦略的中型衛星と公募型小型衛星に関する分科会を設けて検討を行った。以下にその概要について、分科会を主導した会長に解説いただいた。

戦略的中型ミッション

現在、戦略的中型は、H-IIA/H3ロケットを用いて世界第一級の成果創出を目指す日本の宇宙科学にとって最大級のミッションカテゴリーである。そのため期待される科学成果のみならず、宇宙科学全体を牽引することも含め役割は大きく、これまでのようによいミッションをボトムアップのみに頼って生むのは難しい、という議論が2020年度のミッションカテゴリー見直しの際に行われた。

分科会では、戦略的中型の名に冠する戦略とはISASのものでなく、ミッション提案者のものでなく、総体としてのコミュニティの意思であるべきという観点から、理学・工学委員会、ISAS研究系、その他コミュニティメンバーからなるGDI (Groupe de Discussion Intensive) という検討母体を、宇宙工学、太陽系科学、宇宙物理学の3分野に置くこととした。それぞれのGDIの中で、分野の目標や将来の方向性を議論し、その中から戦略的中型に相応しいミッションコンセプト提案を行なうことをお願いする。

この議論の中では、戦略的中型以外の公募型小型や海外共同、小規模計画など各種ミッションを実現する選択肢の役割に応じた棲み分けも考えられるであろう。各GDIの議論を公開、共有することで、分野横断的提案が創成される可能性もあろう。分野ごとの特性を加味したGDIの具体化は2022年春までに行なう予定である。また立案されたミッションの着実な実現のためには、リソースを投入した集中的な立ち上げ作業による具体化が必要である。そのためミッションから直接的な成果を得る研究者だけでなく、各種専門家に加え、過去のミッション立ち上げ経験者、あるいは今後ミッション立ち上げを行なうための訓練の場としての若手の参加など、様々なメンバーにより幅広い検討を迅速に進めたい。

ミッションの大型化とともに、マネジメントの重要性が増すなど宇宙科学研究者に求められる能力も多岐にわたるようになり、コミュニティ全体でのサポートがより必要になっている。魅力的で挑戦的な戦略的中型ミッションの実行によって、日本の宇宙科学がより強くなることを期待している。
(山崎 典子)

公募型小型ミッション

公募型小型は、180億円程度の総コスト上限のもと、宇宙科学の研究コミュニティからボトムアップで提案されるミッションコンセプトを起点に開発し、イプシロンロケットで打ち上げる科学衛星ミッションである。これにより地球周回軌道からのサイエンスを適正規模のミッションとしてタイムリーに実現する一方で、衛星探査機の小型化・高度化技術などの工学課題の突破から惑星探査への展開も図り、その高頻度な成果創出を目指してきた。提案は、理工学合同委員会での科学的審査により選定され、ISASが大学研究者らの協力を得て、提案を衛星プロジェクトにする立ち上げが図られる。これまでも、独創的で優れたコンセプトが提案選定されてきたが、従来のやり方では実施に至るまでの長期化、コストの高騰、チームの組織化といったことの課題が顕在化している。これらの課題を改善して小型衛星の魅力を実に引き出すために、ミッションの立ち上げ方を新しくどのように変えていくべきかを検討した。

公募型小型衛星の特長を考えると、ミッション実現に対する機動力・対応力が高いイプシロンロケットの特性を利用して、提案コンセプトには多様な可能性が秘められている。研究コミュニティとしてもサイエンスの将来的な展開を見据えて、より“戦略的”な提案を考える傾向が強くなっている。この状況において、公募において“多様化”の間口を更に推し広げることによりよいコンセプトの発掘選定を行い、ミッションの立ち上げに繋げていくことは重要である。そのために、長期的公募計画を早期に研究コミュニティに示すようにし、あわせてISASとコミュニティが双方でミッション立ち上げ以降の課題の改善を図ることに取り組むことが重要と考えた。具体方策として、公募機会ごとに明示的にコストシーリングを設定した公募とすること、速やかにミッション実現を図れるパス (Fast Track) による公募を可能とすることを提言した。これらは、提案時から経済的なミッションを考える強い動機付けをコミュニティに与え、提案検討の仕方によっては打上げまでの期間短縮化も可能になるというメッセージである。これら以外にもISASおよびコミュニティにお願いする大小様々なアクションプランが顕在化した課題を改善し、公募型小型衛星の真の魅力を引き出す一助になることに期待している。
(清水 敏文)

匠の集団

— 科学衛星・探査機のことなら
おまかせください —

第 1 回

宇宙科学ミッションを支える技術と人々

宇宙科学ミッションは多くの人達の多様な貢献で成り立っていますが、その中でも共通技術という領域で活躍している集団があります。共通技術とはどのプロジェクトにも必要とされるミッション横断的な技術を指します。汎用性の高い技術から応用に特化した技術まで幅広い領域にわたり、プロジェクトを支える縁の下の力持ち、あるいは新たなミッションを生み出す原動力になっています。宇宙科学を推進する技術集団として研究基盤・技術という名の下に現在11の技術組織(1ユニット、10グループ/以下、グループをGと表記する)が配置され、ISASの研究系はもとより、JAXA研究開発部門の技術ユニットとも連携して宇宙科学ミッションを推進しています。

地球外物質研究G(キュレーション)・月惑星探査データ解析G(JLPEDA)・先端工作技術Gは2010年代半ばに作られたグループで、宇宙科学の可能性をさらに広げていこうというISASの攻めの姿勢を表しています。「はやぶさ2」の試料を分析している地球外物質研究Gは来るべき本格的惑星探査時代の中心的存在です。月惑星探査データ解析Gはビッグデータなど最新の技術を駆使した天体の地形データ解析などでミッションを先導しています。最も現場に近いところで宇宙科学を支えているのが先端工作技術Gで、単にモノを作るだけでなく設計開発に深く関わった活動でプロジェクトの卵を温める役割を果たしています。例えば、再使用実験機RV-Xでは飛行試験用のフライトモデルを作っています(写真)。

一方、科学衛星運用・データ利用ユニット(C-SODA)は歴史が長く、科学衛星・探査機の運用とデータアーカイブ事業を担う縁の下の力持ちと言えます。また、深宇宙追跡技術Gは深宇宙探査に不可欠の遠距離通信と軌道決定技術の高度化を図っており、今後の発展的活動に期待がかかっています。

この他、大学共同利用実験調整G・能代ロケット実験場G・あきる野実験施設G・基盤技術Gは、宇宙研の試験設備に関わる技術開発とユーザー支援を通してミッション機器やプロジェクト開発に貢献しています。さらに、大気球実験G・観測ロケット実験Gは人材育成プラットフォームとして今後ますますその重要性が増していくでしょう。



写真：飛翔工学研究系と共同開発したRV-X用QD(飛行試験用液体水素供給離脱継手) @地上燃焼試験(2021年9月)(搭載状態)。

これら宇宙科学固有の応用技術領域とは別に、汎用性と時間的連続性の高い専門技術(軌道・誘導制御・ロボティクス・通信・電源・デバイスや推進・構造材料・熱・空力など)については、これまで教育職と技術系一般職がバーチャルな体制を組んで技術開発とプロジェクト支援を担ってきました。バーチャル体制とは高度の専門家(いわゆる匠)達が誰に気兼ねすることなく自分達の裁量で自由に活動できることを意味し、この大らかさこそがISASの真骨頂とも言えます。しかし、技術のフロントローディングを推進する盤石の受け皿を整えたいという強い動機もあり、試験技術の開発・運用を行ってきた基盤技術Gに、これらバーチャル体制で担ってきた専門技術も集約し、昨年4月に「専門・基盤技術」というグループとして組織化しました。匠の力をチームとして編成し総合力を高めるということです。

高度な技術開発と並んでISASの重要な役割として人材育成があります。新人研修やOJT(職場教育)はもちろんですが、期待の中心は将来のJAXAを担う研究者・技術者の養成(高等教育)にあります。挑戦的ミッションとインハウスの研究開発環境という土俵があり、しかも教育職という教育の専門家がいるISASの特性はJAXA内外にとって魅力的です。しかし、これまでの人材育成はいわゆる個人商店の丁稚奉公方式でした。これもISASの良いところですが、親方と弟子の相性で育成の効果はまちまちとなります。そこでこれからは人材育成を上述した専門技術領域ごとのチームとして組織的に行い、育成プロセスの効率と透明性を高めようと考えています。なんだか属人的な部分が排除されるようで少し寂しいですが、そんなことは決してありません。技術は人で伝えるという精神を忘れなければ大丈夫です。

かつてM-Vロケット初号機の打上げ前に、実験主任だった小野田 淳次郎先生*1に言われました。「川口(淳一郎)君*2が倒れても打てるようにしてくれ」。なるほど、と思いました。スーパーマンが倒れたら一巻の終わりというわけにはいかない。そこで石井 信明先生*3や当時助手だった山川 宏先生*4と対策を練ったのですが、それは大変良い勉強になりました。それ以来、「例え自分達がいなくても困らないように」がM-Vの中核にいる人達の合言葉となりました。もちろん、それは技術が最高レベルに達しているからこそできる芸当です。そもそも技術は人そのものであり、特別な熱意が特別な技術を磨き、それが不可能を可能とし、それがまた人から人に伝わっていく。それこそが宇宙研が今日に至った原動力でもあります。不可能を可能とする人の力を匠と呼ぶなら、匠をチーム化して総合力を高めようというのが共通技術の考え方なのです。 森田 泰弘(もりた やすひろ)

*1: JAXA名誉教授、元ISAS所長 *2: JAXA名誉教授、元「はやぶさ」プロジェクトマネージャ *3: ISAS教授、能代ロケット実験場所長 *4: 現JAXA理事長

》 Failure is not an option ——失敗という選択肢はない

新しいプロジェクト体制で再び挑む

——XRISMのプロジェクトマネージャを務めていらっしゃいます。
XRISMとは、どういうプロジェクトですか。

X線分光撮像衛星の略称で、「クリズム」と読みます。XRISMIは、2016年に打ち上げられた後に不具合・破損が起きて短期間で運用を断念した、X線天文衛星ASTRO-H「ひとみ」の代替機です。

JAXAでは、ASTRO-Hの事故がなぜ起きたのか、技術的な要因はもちろん、背後にある組織的な要因についても徹底した調査を行いました。そして、同じ過ちを二度と起こさないために、XRISMではさまざまな対策を取っています。再発防止策の1つとして、プロジェクトの体制も変更しました。

これまでの科学衛星プロジェクトでは、科学者が総責任者に当たるプロジェクトマネージャ(PM)を務めていました。科学者であれば、大きな成果を上げたいと思うのは当然。ですがそのために、プロジェクト管理と科学研究推進のバランスを保つのが難しい場合があります。XRISMでは、PMと科学成果の創出に責任を持つプリンシパルインベスティゲータ(PI)を分け、さらに技術開発に責任を持つプロジェクトエンジニア(PE)を新たに置いています。PIとPEは対等な位置付けで、PMがプロジェクト全体の責任を担います。

——新しい体制は、うまく機能していますか。

はい。PIとPEの間で激しい議論が起きることもありますが、私は「対立は恐れないでほしい」と言っています。科学者は、「こういう性能の機器が欲しい」と言います。一方、技術者は、現在の技術やスケジュールや予算から「ここまでの性能しか出せない」と言います。立場が違うのですから、対立して当然です。存分に議論して、プロジェクトにとって最適解を導くことが大切です。結論が出ないときは、PMである私が判断します。

システムズエンジニアリングの核は、要求と検証

——どのような経緯でXRISMのPMになられたのでしょうか。

私は、大学では通信を学びました。子どものころは天文少年だったこともあり、通信と天文の両方に関わる仕事がしたいと、NASDAに入りました。宇宙3機関の統合前、NASDAと宇宙研の共同プロジェクトとして始まった月周回衛星「かぐや」の開発に携わったことが縁で宇宙研に移り、サブマネージャとして国際水星探査計画ベピコロンのプロジェクト管理を担当することになりました。

その後、宇宙科学プログラム室の室長をしているときに、ASTRO-Hの事故が起きたのです。科学プロジェクトの支援を行う部

XRISMプロジェクト プロジェクトマネージャ

前島 弘則 (まえじま ひろのり)

1967年、神奈川県生まれ。東北大学大学院電気及通信工学専攻修士課程修了。1991年、NASDA入社。地球観測衛星「みどりII」、月周回衛星「かぐや」の開発・運用に携わった後、国際水星探査計画ベピコロンのサブマネージャ、宇宙科学プログラム室長を務める。宇宙科学プログラム室長を経て、2018年より現職。慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科博士課程修了。博士(システムズエンジニアリング学)。



署であったことから、事故の教訓の取りまとめを担当しました。また私は、JAXAの研修制度を利用して慶應義塾大学の大学院でシステムズエンジニアリング学の博士号を取得しています。XRISMではシステムズエンジニアリングの強化が必要とされていたこともあり、PMを任されることになりました。これも縁かなと思っています。

サーバントリーダーとして

——目指すPM像はありますか。

最近よくビジネス書を読むのですが、その中にリーダーのタイプを分類したものがありません。自分に合っていると思ったのは、サーバントリーダーです。日本語では支援型リーダー、メンバーへの奉仕や支援を通じてメンバーが主体的に行動する状況をつくり出すタイプという解説が付いていました。私は、歴代のPMのようにリーダーシップがあるわけでも、切れ者でもありません。方向性だけ打ち出して、あとはチームの皆さんが楽しく仕事ができる環境を整えることを心掛けています。

——XRISMプロジェクトには、国内外40を超える大学や研究機関から100人以上の科学者や技術者が参加しています。

大きなチームですから、みんなの意識を統一することが、とても大切です。そのために、標語を掲げています。設計をしていたときの標語は、「Better is the enemy of good enough」(よりよいものを求めることは必要十分の敵)。ここを変えればもっと性能が上がるのに、と欲張ってしまうと、確実なものづくりができません。「betterは禁止です。good enoughで行きましょう」と言い続けました。

ものづくりの段階にある現在の標語は、「Failure is not an option」(失敗という選択肢はない)。これは、「アポロ13号」が月への飛行中、事故に遭遇したときに、フライトディレクターのジーン・クランツが言った言葉です。XRISMIは代替機なので、成功することが大前提、絶対に成功させなければなりません。

——プレッシャーも大きい中、どのように気分転換をされていますか。

1つは、ベランダ菜園です。今は、カブとダイコンとアスパラが育っています。いつも収穫が楽しみです。もう1つは、ロードレース。ただし、走るだけでなく、プラスアルファの楽しみがあるレース限定です。千葉の富里町で開催されるスイカロードレースに、3回ほど参加しています。富里町はスイカの名産地として知られていて、給水所ならぬ「給スイカ所」があるのです。ベランダ菜園にしてもロードレースにしても、実利のあるものが好きなのかもしれませんね。

編集後記

宇宙科学の技術集団「匠」たちの活動を紹介する新連載が始まりました。コロナ禍で絆や繋がりの大切さが再確認されています。プロジェクトもまた絆や繋がりがなしに始まりません。連載で紹介していく匠たちの物語を通して、それらを感じていただきたいと思います。企画です。 戸田 知朗 (とだともあき)



ISASニュース No.491 2022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 アズディップ

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