

脈動オーロラに向かって 飛翔する観測ロケットLAMP

相対論的高エネルギー電子が宇宙から地球に向かって短時間で集中的に、そして繰り返し降り込む現象（マイクロバースト現象）と点滅するオーロラ（脈動オーロラ）の関係と成因の解明を目的とし、日本の観測機器も搭載した観測ロケットLAMP (Loss through Auroral Microburst Pulsation) が、2022年3月5日午前2時27分30秒（アラスカ標準時）に米国アラスカ州ポーカーフラットから打ち上げられました。

(Justine Hartney氏提供、p.4参照)



The Forefront of Space Science

宇宙科学最前線

重力波観測のこれまで、これから

宇宙物理学研究系 准教授 和泉 究(いずみ きわむ)

世の中全て波だらけ

われわれの住む宇宙では、日常生活では気に留めないような物理法則が主役となることが多々あります。こういった宇宙を支配する物理法則を考察し、また、ときには新しく考案し、それを観測的に検証していくのは宇宙物理学を考究する面白さの1つです。今日、これらの研究活動を支える現代物理学の柱として、量子力学と相対性理論がよく引き合いに出されます。

その現代物理学の双璧の1つである相対性理論によると、われわれが住む時空（時間と空間）は、天体などの質量により歪（ひず）みます。そして、その歪みの源である天体が加速度運動することで、時空の歪みが波動として遠方へ伝搬することが知られています。これが重力波です。「世の中全て波だらけ」という一節は量子力学を歌った「シュレディンガー音頭」からの出典ですが、量子力学に限らず、相対性理論もある程度「波だらけ」であるのは興味深い一致です。

重力波の史上初の直接観測は、2015年に米国の地上重力波検出器計画LIGOにより達成されました。私はこの時ちよ

うどLIGOハンフォード観測所にてポスドクをしていたので、今でも当時の興奮を思い出します。この観測イベントはGW150914と名付けられ、13億光年程度離れたブラックホール連星の衝突合体から輻射された重力波であることが明らかにされました。本観測を境に、新しい天文・宇宙物理分野「重力波天文学」が始動しました。以来、重力波天文学は勃興分野として、天文分野のみならず、広く素粒子分野などからも注目されています。

拙著ですが、ISASニュース2017年12月号にて重力波観測に関する短い記事を寄稿しました。すでに4年以上が経ちましたので、本稿ではまずは重力波天文学の意義をおさらいし、現状の更新をします。それを受けて、現在私が携わっている衛星を利用した重力波観測計画LISAやそのほか宇宙からの重力波観測の構想について最前線を報告します。

重力波天文学のおさらい

重力波が活躍する観測対象は、電磁波で暗い相対論的な天体・現象です。前述のように、ブラックホールをはじめとするコンパクト連星系（中性子星、白色矮星も含む）の衝突合

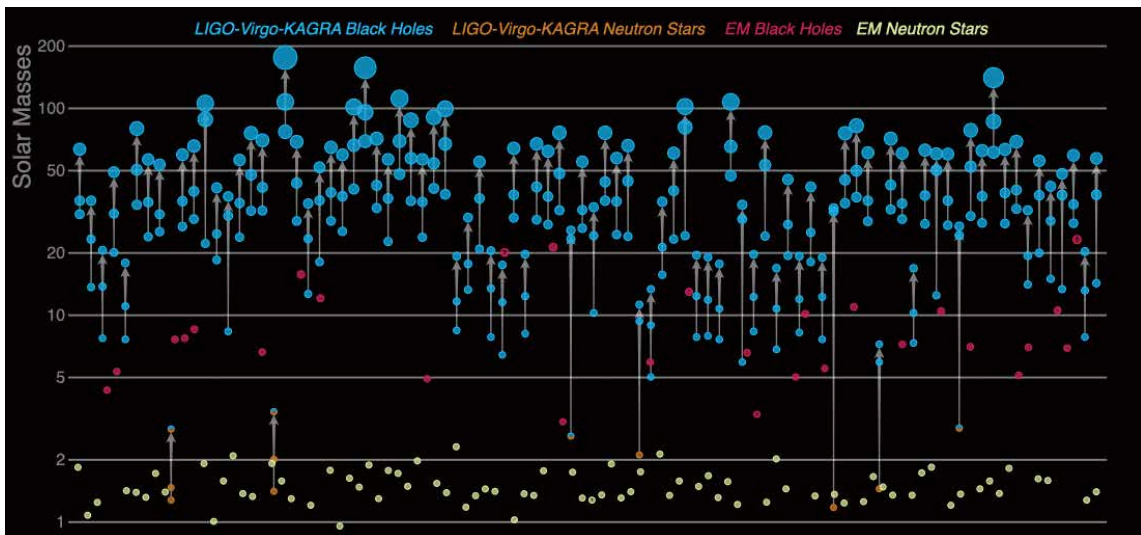


図1：地上検出器で観測された連星合体重力波イベント。青丸は重力波観測により確認されたブラックホール。オレンジの丸は同観測により確認された中性子星。赤丸と黄丸はそれぞれ電磁波観測で知られているブラックホールと中性子星。矢印は衝突合体を表し、丸の大きさは天体質量を表す。重力波観測イベントは観測された順に左から並ぶ。電磁波観測天体はランダム順序。(credit: LIGO-Virgo-KAGRA/A. Geller/Northwestern)

体が代表的な重力波源です。重力波の光度(単位時間あたりに放射されるエネルギー)は、大雑把には系の典型サイズの2乗に反比例し、典型質量の2乗に比例するので、基本的には高密度な天体や天文現象が観測ターゲットとなります。加えて、電磁波観測との違いとして、重力波は透過力が高いという点があります。したがって、高密度天体内部の質量・震動情報や、宇宙の晴れ上がり以前の情報などにも直接アクセスできると期待されています。以上より、重力波観測はこれまでの天文観測とは質の異なる天文・宇宙物理情報を獲得する手段という整理になります。

さて、重力波の観測装置とその近況へと話題を移します。観測方法は現在、レーザー干渉計が主流です。レーザー干渉計は、重力波の到来によって引き起こされる時空の歪みを、光路長のわずかな伸縮として精密に計測します。実際に重力波天文学を牽引する地上の観測装置はいずれもレーザー干渉計です。現在、稼働可能な地上重力波レーザー干渉計は、2つのLIGO観測所(基線長4km)、欧州のVirgo(3km)、そして日本のKAGRA(3km)の合計4台です。これら地上レーザー干渉計は、国際観測網として第3期同時観測(O3)を2020年春季まで実施しました。レーザー干渉計は概ね全方位から到来する重力波に感度を持つため、1台では波源の到来方向を特定することが困難です。したがって、このように複数台を同時観測させることで、重力波の到来方向を決定しています。次期観測期となるO4は、2022年12月中旬スタートが予定されており、現在、それぞれのレーザー干渉計は感度向上のためのアップグレードを実施しています。

これら地上レーザー干渉計によってこれまでに観測された連星合体のイベント数は、実に90例に達しています(図1)。地上のレーザー干渉計は100Hz付近で振動する重力波に対して感度が高く、総質量にして太陽質量の数倍-100倍を持ったコンパクト連星系の衝突合体を探索していることに相当します。

LISA:宇宙からの重力波観測

もちろん、地上レーザー干渉計も万能ではありません。地上検出器は、地面振動由来の雑音の存在により、低い周波

数、特に10Hz以下で高感度を達成するのが困難です。これを受けて、低い周波数帯を観測するために、地面振動のない宇宙空間にレーザー干渉計を構築するという発想に行き着きます。これは電磁波をとらえる望遠鏡における「大気の窓」とそれを回避するための宇宙望遠鏡の役割に近い考え方です。

LISAはESAのCosmic Visionプログラムの第3大型計画(L3)として2017年に提案が採択された宇宙重力波観測計画です。2035年の打上げを目指して、現在開発が進められています。LISAは1mHz付近の低い周波数で振動する重力波を観測するレーザー干渉計です。この周波数帯では、より重たい連星系が観測できます。実際にLISAでは太陽質量の 10^6 倍ある超大質量ブラックホール連星を赤方偏移で $z=10$ よりも遠くまで探索できる感度設計となっています。

超大質量ブラックホールは、天の川銀河をはじめとする銀河の中心に普遍的に存在しており、宇宙の大規模構造や銀河進化を語る上でなくてはならない存在です。しかしながら、その質量獲得史については未だ謎が多いです。LISAは、ブラックホール連星合体の観測を通じて、その質量獲得史を目撃してくると期待されています。ほかにも多様な観測対象が提案されていますが、本稿では割愛します。

LISAでは、Arianeロケットにより衛星3機を同時に打ち上げ、地球の公転に対して20度ほど遅れた太陽周回軌道に投入します。3機の衛星はさらに、cartwheel軌道(レコード盤軌道とも呼ぶ)に配置されます。本軌道では3機の衛星が互いを回転しあい、1辺250万kmの正三角形をほぼ維持しつつ、1年で1回転します(図2)。

LISAは、波長1064nmのレーザー光束を衛星間で交換しあい、重力波が到来することで引き起こされるレーザー光束の光路長変動(位相変動と等価)をモニターすることで重力波観測をします。その感度は重力波振幅にして $10^{-20}/\text{Hz}^{1/2}$ で、光路長変動に換算すると10ピコメートルオーダーの変動をモニターすることに相当します。

LISAフォトレシーバの開発研究

LISAの設計感度を達成するためには、干渉計出力であるレーザー光量を低雑音で読み出す必要があります。レー

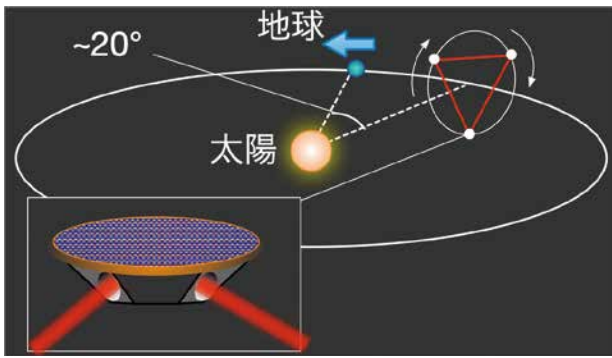


図2：LISAの軌道と衛星のイメージ図。

レーザー光を受光し、低雑音で電圧信号へと増幅する装置はフォトレーバと呼ばれ、重力波レーザー干渉計の心臓部を構成します。

私が主査を務める宇宙理学委員会LISAワーキンググループは、LISA開発母体であるLISAコンソーシアムの一部として、本フォトレーバの開発検討を2019年度より実験的に実施してきました。要求される性能・特性のうち主要なものは、(1) 応答帯域5-25 MHz、(2) 受光素子 (InGaAs素子) 口径1 mm以上、(3) 入力換算電流雑音 $2 \text{ pA/Hz}^{1/2}$ 以下、となります。このうち、大きな受光素子口径と低雑音性の2つは背反します。すなわち、大口径化はInGaAs素子に付随する接合容量を増大し、回路の入力電圧雑音の影響を増加させてしまうため、われわれの場合10 MHz以上で雑音性能を劣化させます。

浜松ホトニクス社協力のもと、2回の試作を通じて、口径1.5 mmでかつ接合容量10 pF/segを下回るInGaAsフォトダイオードアレイを獲得できました。そのアレイ素子を、インハウス開発の読み出し回路BBMに接続し(図3)、上記の要求を満たすことを2021年ついに確認できました！すなわち、搭載に向けて最低限必要な技術レベルが実証できたという構図です。

これら日本ワーキンググループが検討してきた概念は、2021年夏季よりESAの国際調整の指針上、第二候補扱いとなっていますが、2022年夏・秋季までを目処に第一候補である欧州チームの提案と技術レベルを比較の上、搭載品供給国の最終化が実施される予定です。もしも、日本グループの概念が採用された場合は、JAXA戦略的海外共同計画として、搭載品供給を提案する心づもりです。結果はまたの機会に報告させていただきます。

「世の中全て波だらけ」の極限を観測する

今さらですが、私の科学目標を述べます。それは初期宇宙に発生したとされる重力波輻射、すなわち原始重力波背景輻射を直接観測することです。

標準的な宇宙創生論では、宇宙が誕生して間もない瞬間、重力波成分を含む場 (field) は量子力学的な真空揺らぎ状態にあったと考えられています。これは、冒頭で述べた「世の中全て波だらけ」の極限状態、つまり、全てが波動関数によって支配される「確定していない」宇宙の状態に相当します。

その後、急激な空間膨張インフレーションにより、

重力波成分は古典化され、「確定された」背景成分として今日の宇宙空間を満たしていると予想されています。こういった原始背景重力波を観測することは、晴れ上がり以前の初期宇宙を見ることに相当します。こういった観測は、現代物理の双壁である量子力学と相対性理論を矛盾無く包含する理論を構築していく上で、重要なヒントを与えてくれるものと期待されています。

突破口は編隊飛行技術

夢を語りましたが、技術的な実現性はのでしょうか。原始重力波を直接観測するためには、LISA同様、軌道上に重力波レーザー干渉計を構築し、天体由来の前景重力波が比較的少ない0.1 Hz付近の周波数帯をより高感度 ($10^{-24} / \text{Hz}^{1/2}$ レベル!) で新しく探査することが求められます。国内ではB-DECIGOと呼ばれる宇宙重力波レーザー干渉計コンセプトの検討が進められており、まさに本周波数帯の観測を狙うものです。そのキー技術の1つは、100 km間隔で飛翔する複数人工衛星の相対位置をレーザー波長 (典型的には一声1 ミクロン) よりも十分に良い精度で制御する編隊飛行 (フォーメーションフライト) 技術です。

このような中、宇宙工学委員会フォーメーションフライトWGを母体として、SILVIAが公募型小型衛星として2020年2月にコンセプト提案されました。SILVIAは工学技術実証衛星として、将来の宇宙重力波レーザー干渉計や、複数開口合成による先鋭的な電磁波天文観測に必要な編隊飛行技術を、軌道上実証する野心的な構想です。現在SILVIAはPre-Phase A1 b期にあり、私も主体的に技術検討に関わっているところです。

以上より、SILVIAを進めていくことが、今後、我が国が宇宙重力波レーザー干渉計構想を主導していく上での突破口になりうるが見てとれます。

終わりに

以上、駆け足でしたが、重力波観測のこれまでとこれからをお伝えしました。宇宙研における新たな重力波研究取り組みの歴史はまだ浅いですが、よりエキサイティングな報告をできるよう精進していきます。

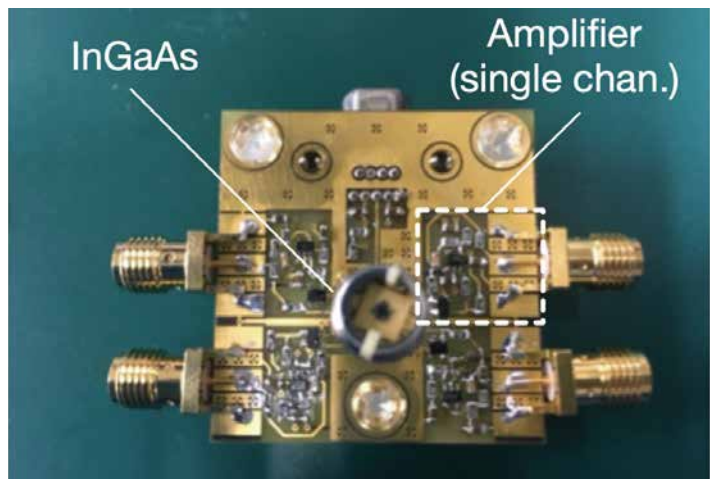


図3：LISAフォトレーバBBM。中心にTO5パッケージに入ったInGaAsフォトダイオードアレイが搭載。4セグメントそれぞれに低雑音増幅回路が装備されている。回路寸法は40 mm × 40 mm。

LAMP 打上げ運用

私たちは「れいめい」、「あらせ」の観測などを基に、点滅するオーロラ（脈動オーロラ）の成因と、超高エネルギー電子が宇宙から地球に降り込む現象（マイクロバースト）を統一的に説明する理論を提案しています。この理論を観測実証するため、NASA主導で観測ロケット実験Loss through Auroral Microburst Pulsation (LAMP)を行いました。日本はLAMPに高エネルギー電子観測器(HEP)、オーロラカメラ(AIC)2台、そして磁力計(MIM)の4機器を提供・運用したほか、地上オーロラ光学観測機器の設置・運用を行い、打上げタイミングの判断に使いました。

2月から米国アラスカ州・ポーカーフラットで打上げ運用が始まりました。観測機器を搭載する頭胴部は、動作確認試験を経て射点に移動し、モーター部と結合、保温処置、打上げリハーサルと進みます。そして地上観測点の準備が終わり、「あらせ」も磁気圏の朝側にいる2月24日、新月をはさんで2週間の打上げ期間に入りました。

LAMPの観測時には、ロケット飛翔軌道の下に脈動オーロラが現れないといけません。そのため打上げタイミングの決断には、最高高度到達点直下付近でのオーロラ地上観測が必要です。ところがこの地上観測点(ベネタイ)はとても小さな集落です。インターネットも不安定で、射場との連絡はイリジウム衛星携帯電話などに限られます。最終的に打上げを判断する射場では、ベネタイの観測データをリアルタイムで見られません。

ベネタイにはオーロラの専門家(電通大・細川先生)が張りつき、オーロラの高速撮像データを見てチャットで状況連絡してもらいました。

3月5日夜半過ぎ、射点上空に活動的な

カーテン状オーロラが現れました。脈動オーロラはこのオーロラが出た後に現れることが多く、期待が高まります。そして午前2時過ぎ、ベネタイ上空に高速変動する脈動オーロラが出現との連絡があり、打上げ決行となりました。ロケット飛翔中、ベネタイでも射点でも全天で高速変動する脈動オーロラが確認され、まさにオーロラに命中でした。

AICはシステム機器搭載部の下部に下向きに搭載されており、モーター部が分離されるとロケット下部に広がるオーロラ発光領域を撮像できます。AICは脈動オーロラの高速変動を何度も捉え、HEPもマイクロバースト現象を検出、MIMも磁場変動を観測し、すばらしい観測となりました。

LAMP実験にはNHKの取材が入りました。今後コズミックフロントで放送予定とのことです。(浅村 和史)



ポーカーフラットにあるサイエンスオペレーションセンター前で。打上げ数時間前。

第53回月惑星科学会議(LPSC)

今年3月、米国テキサス州ヒューストンで第53回の月惑星科学会議(Lunar and Planetary Science Conference; 略称LPSC)に現地参加してきました。新型コロナウイルス感染症パンデミックによって、2020年は中止、2021年はオンライン開催となったLPSCも、今年は久しぶりに現地での講演を含むハイブリッド形式での開催となりました。例年1,500~2,000人程度が参加するLPSCですが、今年の現地参加者は500人程度だったそうで、いつものような賑やかさはありませんでしたが、会場のあちらこちらで参加者同士が再会を喜ぶ姿が見られました。



リュウグウサンプル特別セッション座長席での筆者とNASA Mike Zolensky博士(廣井 孝弘博士が撮影してくださりました)。

テキサス州では現在、マスク着用が義務付けられていないようですが、学会会場ではマスク着用が義務付けられるなど、慎重な感染症対策が取られていました。また、参加者ごとに「握手OKです」、「肘タッチにしてください」、「距離を取ってください」というシールを名札に貼るなどの対応もされていました。

初日の午前には「はやぶさ2」が持ち帰った小惑星リュウグウサンプルの分析成果が報告されたスペシャルセッション「Analysis of Pristine Returned Samples from Small Bodies: Ryugu, Bennu, and More」が開催されました。「はやぶさ2」初期分析チームからはポスターを含め、60件を超える発表をおこないました。現地会場での講演とオンラインでのリモート講演で構成されたリュウグウセッションでは、質疑(これも会場からとZoomのチャットから)も盛況で、小惑星リュウグウが何者であるかを世界中で共有することができました。筆者は座長として参加し、初日最初のハイブリッドセッションだったため、予期せぬトラブルが起こらないかヒヤヒヤしながらではありましたが、多くの参加者がリュウグウサンプルの成果を喜んでいるのを見て、サンプルが無事に持ち帰られて本当によかったと思うと同時に、太陽系科学がまた一歩進んだことを実感しました。スペシャルセッションは翌日午前にも通常セッションの枠を利用して続き、リュウグウサンプルの分析に関して、多くの成果発表がおこなわれ、盛り上がりしました。時差のある日本から、深夜に講演して下さった多くの皆さん、おつかれさまでした。ありがとうございました。(橘 省吾)

はやぶさ2プロジェクト終了の最終手続きへ

「はやぶさ2」が地球に小惑星リュウグウのサンプルを届けてから、早くも1年以上が過ぎました。探査機の方は、“拡張ミッション”と称して新たな目標に向けた運用を行っているところですが、はやぶさ2プロジェクトとしては、2021年度いっぱいを目処として終了することになっています。そのプロジェクト終了のための手続きが進められています。

プロジェクトを立ち上げるときには、何回もいろいろなレベルの審査を受け、その審査をすべてクリアしなければいけないわけですが、終了するときにも「終了審査」というものを受けます。「はやぶさ2」の場合には、拡張ミッションに引き継ぐこともあり、通常の手続きに加えていくつかの追加の審査を受けました。

まず、去年(2021年)の10月には、拡張ミッションへの「プロジェクト移行審査」というものと「定常運用終了審査その1」というものを受けました。探査機の運用は継続して行われていたわけですが、まずは拡張ミッションに正式に移行してよいと認めもらうための審査を受けたわけです。探査機の状況が拡張ミッションを行える状態であることや、これまでの探査機運用で識別されたリスクや発生した諸事項に対して適切な処理がされており、教訓や知見がきちんと整理されているかが確認されました。

そして、今年の2月から3月にかけて、「定常運用終了審査そ

の2」を受けました。「その2」の審査では、プロジェクトが当初目指していた成果をきちんと挙げることができたのかということに重点が置かれました。事前にサクセスクリテリアという成功基準が決め

られていましたが、すべて達成されたことが確認され、特にサイエンス(科学)の成果については、審査会で詳しい議論がなされました。また、技術や科学以外の社会的な貢献や人材育成のような貢献についても審査が行われました。

以上の審査会を通して特に大きな問題点は指摘されませんでしたので、さらにもう1つの審査を経ることで、はやぶさ2プロジェクトは無事終了となります。プロジェクトチームが発足したのが2011年5月ですから約11年間、あるいは「はやぶさ2」の検討が始まったのが2006年からですからそこから数えれば16年間のプロジェクトが終了になるわけです。ですが、探査機としては、まだまだ運用が続きます。これからも「はやぶさ2」は新たな挑戦をし続けていきます。(吉川 真)



「定常運用終了審査その2」のときの会議室の様子。審査会は対面およびオンラインのハイブリッドで行われたため、会議室は閑散としていたが、オンライン上では多数の参加があった。会場に集まった多くは、はやぶさ2プロジェクトのメンバーである。

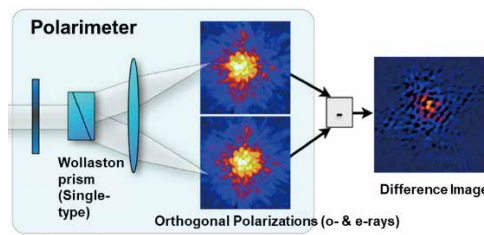
Nancy Grace Roman宇宙望遠鏡

NASAが2026年の打上げを目指すNancy Grace Roman宇宙望遠鏡(以下、Roman望遠鏡)は、宇宙の加速膨張、そして太陽系外惑星研究という人類視点でも重要な課題に挑む宇宙望遠鏡計画です。宇宙研および日本の研究チームはRoman望遠鏡計画に、(1) コロナグラフ装置の偏光機能およびマスク基板という光学素子の提供、(2) JAXA地上局によるデータ受信協力、(3) すばる望遠鏡(国立天文台)とPRIME望遠鏡(大阪大学)を用いたRomanとの協調観測の実現、という課題を掲げて参加しています。

コロナグラフ装置は10億分の1という高コントラストで系外惑星の直接観測の実証に挑みますが、偏光観測については、高精度の偏光機能のアイデアを日本が提案し、実際に偏光光学素子を製作して提供するものです。恒星と惑星の偏光の違いを利用して惑星をより検出しやすくすることや、デブリ円盤や原始惑星系円盤の構造を、より詳細に観測すること可能にします。

2021年10月には、実際のフライト用の偏光光学素子を製作しNASAに送付しました。現在、コロナグラフ装置の一部として組み込まれて様々な試験に供されているところです。

地上局の協力も、単に通信時間を融通し合うということではなく、



(Ferrin et al. 2015, ApJ)

Wollastonプリズムを用いて直交する偏光像を取得し、差し引きにより高コントラストの観測を実現する。

Roman望遠鏡の科学データを最大限利用し観測精度を高めるために必要な協力です。Roman望遠鏡で求められるデータ送信は150Mbpsから最大500Mbpsまでと、これまでの太陽-地球L2軌道の科学衛星とは桁違いに大きく、そのため「K帯」(周波数26GHz付近)を用います。JAXAが建設し2021年に運用を開始している美笹深宇宙用地上局では、54mアンテナを使って深宇宙探査で用いられるKa32GHz帯の受信が可能です。K帯については、アンテナは十分な性能を持っているものの、データ受信機能はありませんでした。そこで、JAXA追跡ネットワーク技術センターとの協力で、美笹局にK帯の受信システムを整備し、これによってRomanのデータの受信を行います。2022年4月には、美笹局K帯受信システムのシステム要求・定義審査、そして、ISAS Roman計画全体の(部門内)プロジェクトへの移行審査が予定されています。(山田 亨)



JAXA美笹深宇宙探査用地上局54mアンテナ。

2021年度特別公開をオンラインで実施

「年度内、桜の頃に、オンライン」という藤本 正樹 広報・普及主幹からの一命を皮切りに2021年度特別公開の準備は始動しました。主な形式はYouTubeライブ+Zoomウェビナーと前年度の実績を活かしつつ、配信拠点となる広報スタジオの整備や、一部現地イベントとして宇宙学校さがみはらとの同時開催、生協の臨時営業、そして相模原市との協力によるフードトラックの導入など新たな試みも盛り込みました。また有志を募って編成した実行委員メンバーも教育職・一般職・大学院生と前年度以上に幅が広がりました。オンラインでありながらできるだけ宇宙研の研究者、職員、学生の生の声と温度、そして楽しさが伝わることを目指し、スタッフ手作りでのイベント準備を進めました。

前回よりも早い始動だったにも関わらず準備はギリギリになりましたが、当日は想定内の配信トラブル程度で済み、無事に駆け抜けることができました。YouTube再生回数は開催から2週間



特別公開オンライン配信をやり遂げた実行委員メンバーの安堵の表情。

で合計1万2千回と前年度と同程度で、コメントやアンケートでも大変なご好評非常に高い評価を数多くを頂きました。一方で、コロナ禍でオンラインイベントが飽和しつつあるためか、残念ながらライブでの参加者数は減少傾向でした。今後のオンラインイベントでライブ参加への意欲・満足感を高める方策として、ロケット打上げや衛星クリティカル運用のタイミングと合わせた開催や、アバターやVRを駆使した双方向対話に特化したプラットフォームの活用などの検討が必要と感じました。アンケートでは遠方居住者を中心にオンライン開催を歓迎する声と、現地開催の復活を待ち望む声が多岐にわたりました。両者の良さをそれぞれ活かした情報発信・対話の場を持てるように引き続き関係者で検討していきます。

イベント自身の成功もさることながら、その準備・実行で得られた実行委員メンバー同士のつながりも大きな成果と言えます。メンバーにはこの2年以内に宇宙研へ来たという若手も多く、コロナ禍で雑談機会が失われている中で、まさに「大人の文化祭」の準備は宇宙研横断でつながりを生む絶好の機会でした。このチーム作りの形は将来ミッションの創出にも通じるものであり、今後も特別公開にとどまらず様々な活動を継続していく予定です。最後に、ご参加・ご視聴頂いた皆様に御礼申し上げますとともに、番組出展者、広報関係者、そして実行委員には心より感謝致します。(村上 豪)

第14回宇宙科学奨励賞 鳥海 森氏と松岡 健氏に授与

公益財団法人宇宙科学振興会では、毎年、宇宙科学分野で優れた研究業績を挙げ、宇宙科学の発展に寄与した若手研究者に宇宙科学奨励賞を授与しています。創設以来14回目となる今年度は、JAXA宇宙科学研究所 国際トップヤングフェロー 鳥海 森氏(理学分野)と名古屋大学大学院 工学研究科 航空宇宙工学専攻 准教授 松岡 健氏(工学分野)に宇宙科学奨励賞が授与されました。

鳥海氏への授賞の対象となった研究業績は「衛星観測データを駆使した太陽の磁気活動現象の解明」です。鳥海氏は太陽活動現象の原因となる活動領域磁場形成について観測・理論シミュレーション両面から挑み、それを有機的につなげることで余人に代えがたい実績をあげてこられました。さらには、研究の幅を恒星表面の磁気活動現象に広げ、恒星黒点の磁氣的・熱的構造を観測的に探る方法を提案しておられます。我が国の次期太陽観測衛星として検討が進んでいるSolar-C計画においても、米欧のパートナーとやりとりしながら活躍されています。

松岡氏への授賞の対象となった研究業績は「革新的ドネーション制御手法の提案とドネーションロケットエンジンのシステム実証」です。松岡氏はドネーション波生成手法について多数の革新的アイデアを提案し、それらの有効性を実証研究にて示し、ドネーションロケットエンジンの性能向上に大きく貢献してこられました。また、2021年7月に観測ロケットS-520-31号機を用いて行われた宇宙環境下での実証実験においても、



前列左が理学部門受賞者の鳥海 森氏、右が工学部門受賞者の松岡 健氏(写真提供:文教ニュース)。

搭載したパルスドネーションエンジンと回転ドネーションエンジンを含む核部の責任者として、同実験を牽引されました。

当振興会は今回受賞された鳥海氏と松岡氏に心からお祝い申し上げますと共に、今後の宇宙科学の発展に大いに貢献されることを期待しております。表彰式は、3月8日にご来賓、関係者列席のもと、都内のホテルにて開催しました。式中に受賞者による受賞記念講演も行われ、その様子はオンラインでも配信しました。なお、本授賞の対象となった両氏の研究内容は、それぞれISASニュース6月号および7月号の「宇宙科学最前線」で紹介いただく予定です。(佐々木 進)

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 3 回

専門・基盤技術グループ(後半)

推進系グループ(輸送系分野)(技術リーダー:徳留 真一郎准教授)は、宇宙科学・探査を支える宇宙輸送機の推進系の研究・開発を担っています。その活動には、探査の自在性と頻度を向上させるキックステージの固体推進系、将来の競争力ある宇宙往還機を実現するためのロケットとジェットエンジンを有機的に組み合わせた複合サイクル推進系の実証研究が含まれます。またイプシロンロケットの低環境負荷を実現する将来計画や設計評価にも貢献を続けており、近年は宇宙往還機の高頻度再使用の実現に向けたRV-Xの実証研究にも貢献しています。以上の活動は、ISASにおける宇宙輸送系の中長期目標である「多様な宇宙科学の世界をカバーする軌道間輸送ネットワークを構築する」ことを達成する戦略的な取組みの一環となっています。

推進系グループ(衛星・探査機分野)(技術リーダー:澤井 秀次郎教授)は、推進系の専門技術をもって、プロジェクトやワーキンググループ活動に参加しています。衛星の軌道制御や姿勢制御に用いる衛星推進系(化学推進及び電気推進)の検討の初期段階から機器開発、射場作業、地上運用、軌道運用まで、全てのフェーズに関与、貢献しています。宇宙科学研究所の衛星・探査機の化学推進・電気推進の研究開発に加え、ETS-9のホールスラスターの開発支援や低毒性推進系の研究開発など、他部門と強く連携して活動しています。

熱・流体グループの空力分野(技術リーダー:山田 和彦准教授)は宇宙科学の基盤となる分野です。空力分野では、ロケット、大気圏突入機、惑星航空機など、大気圏内を飛行する飛行体の設計・検証のために、飛行体の周りの流れを理解するための研究を行っています。低速から超高速領域までの様々な速度域の各種風洞試験設備、スーパーコンピューターを利用した流体シミュレーション、大気圏突入時の空力加熱に対する熱防御システム評価装置、大気球や観測ロケットを使った飛行試験など、様々な設備や蓄積された知見・経験を活かし、新しい飛行体を生み出していくことで、宇宙科学の発展に貢献しています。

熱・流体グループの熱分野(技術リーダー:小川 博之教授)は、熱の分野の専門技術をもってプロジェクト等の活動に主体的に貢献しています。またそれらの活動を通じて専門知識や専門技

術の向上を図り、同時に、将来の科学ミッションに必要とされる熱に係わる専門技術の研究開発を進めています。ISASの各ミッションの熱制御サブシステムの開発研究に参加している他、先進的な熱制御技術を研究開発しミッションに応用しています。最近では極低温熱制御技術の研究開発に力を入れています。

構造・機構グループ(技術リーダー:峯杉 賢治教授)では、科学衛星・探査機及びロケットの機体全体から搭載機器までの構造・機構を担っています。ミッション要求を実現するためには、構造・機構に関する要求仕様の明確化から始まり、構造・機構様式の選定、荷重条件や機械環境条件の設定、強度・機能試験等々を行う必要があります。更に、近年は、軌道上での温度変動や微小擾乱に対して高精度で形状や指向方向を維持できることや、水星近傍の高温環境や液体ヘリウムによる極低温環境においても所定の機能を有すること、粉塵が舞い上がってもサンプル搬送ができることなど、ミッションの高度化に伴い、構造・機構に対する要求も厳しくなっています。本グループは専門的な知識と技術を礎として、一般的な技術課題の解決から挑戦的な構造・機構の実現までを熱や材料等のグループと協働して取り組み、プロジェクトを支えています。

材料グループ(技術リーダー:後藤 健准教授)では、探査機・衛星の構造重量の一層の軽減が求められており、複合材料やセラミックス、といった高強度軽量材料や形状記憶合金といった機能材料の宇宙機への適用に向けた研究開発を進めています。また、探査機や衛星の開発時に生じる様々な不具合事象に対応し、解決に導いています。最近ではサンドイッチパネルの接着工程不良、CFRP構造体の遅れ破壊、セラミックス鏡の表面精度不良、太陽電池パドルの熱サイクル試験の温度範囲逸脱、固体ロケットモータの長期保管後の使用時の課題などに対応しています。グループのメンバーはそれぞれ金属、セラミックス、複合材料、高分子材料と幅広い分野の専門知識を有しています。

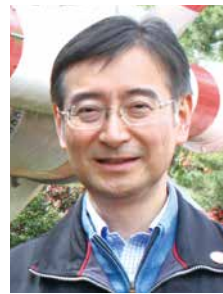
小川 博之(おがわひろゆき)

基盤技術領域では、相模原キャンパス北西に位置する構造機能試験棟・飛翔体環境試験棟での試験技術・設備開発/運用や清浄度技術開発を活かした試験棟開発・運用・改修、各プロジェクトへの試験・計測技術支援で宇宙科学ミッションを支えている技術組織です。

旧基盤技術グループでは、研究系教育職と一般職技術職員で構成された系統別での試験設備の裁量運用で、かつての宇宙研プロジェクトでは機能しやすい運用システムでした。しかし、近年の多様化したプロジェクトや技術のフロントローディング推進の中で、宇宙科学ミッションを支える技術組織として機能させる為には従前の運用システムの改革が必要と判断し、宇宙機組立試験設備運用システム改革を実施しました(試験棟の総合的な一元化管理運用:専門・基盤技術グループ 伊藤 文成・荒川 聡、科学推進部 立川 誉治、青柳 孝*で活動、2021年10月理事長賞受賞)。また、メンバーは観測ロケット・再使用ロケット(RV-X)・衛星開発などの実験技術支援(内之浦・能代・相模原・あきる野等)でJAXAプロジェクトを横断的に支えています。

今後も基盤技術領域では、第一・第二技術領域や研究開発部門と連携して、開かれた宇宙機組立試験設備・試験棟を継続発展させ、JAXA横断的な研究開発体制の構築と低コスト化に貢献して行く計画です。

伊藤 文成(いとうふみなり)



》ロケットを普通の乗り物に

イーロン・マスクに「やられた」と「頑張れ」

— どのようなことに取り組んでいるのですか。

これまではロケット一筋で、M-V型やイプシロン試験機の開発、運用に携わってきました。並行してこの15年ほどは、宇宙ロケットの将来計画を立て、それを実現する道筋を検討し実行に移す作業に取り組んでいます。

— 将来のロケットとは？

旧来のロケットは使い捨てなので、打上げにかかる費用が非常に高額でした。最近アメリカのスペースX社が、部分的に再使用できるロケットを開発して実用化しています。一方、永年活動している宇宙研の研究チームでは、機体全ての再使用化を目指した研究を進めています。ただし機体の再使用だけでは効果が小さいので、完全再使用の機体を大量につくり頻繁に打ち上げることで費用を大幅に削減することを目指します。それによって、ロケットはたくさんの人や物を運ぶ航空機やトラックのような普通の乗り物になる——そういう世界をつくらうとしています。

私は学生時代、スペースプレーンと呼ばれる有翼式の再使用ロケットへの搭載を想定したエンジンの研究をしていました。そのときから今まで「再使用ロケットを実現したい」という志を忘れたことはなく、チャンスを待っていました。

— スペースX社の開発をどのような思いで見えていましたか。

再使用ロケットの開発は難しく、膨大な開発費用をかけて実現できたとしても需要はあるのかと言う人もいます。そうした中、イーロン・マスクがスペースX社を設立し、巨額の資金を投じて部分再使用のロケットをつくり実用化してしまっただけで、「やられた!」と思ったのと同時に「頑張れ!」とも思いました。再使用ロケットが脚光を浴び、時代がそれを必要としていることも示されたと感じるので、彼には感謝しています。

日本が目指す水素社会との連携

— 宇宙研で研究している再使用ロケットの特徴は？

液体水素を燃料とする点、そして世界をリードする推進系技術として、ロケットエンジンとジェットエンジンを有機的に組み合わせ合わせた複合サイクルエンジン、エアターボロケット(ATR)を搭載する点です。ロケットエンジンは燃料を燃やらず酸化剤にロケットに積む液体酸素を使い、ジェットエンジンは大気中の酸素を使います。そのため大気を使える高度でジェットエンジンをいれれば、液体酸素の積載量を減らせて機体を軽量コンパクト化できます。

またジェットエンジンは、ロケットエンジンに比べて静かです。ロケットエンジンだけのスペースX社の再使用ロケットなどに対しては、輸送効率だけでなく乗り心地でも差を付けられるでしょう。

— 燃料に液体水素を使うのは、なぜですか。

液体水素は、実用的な燃料としては最も低燃費で高性能ですが、温度がマイナス250℃程度と低いため取り扱いが難しく、また燃料としてあまり普及していないので高価です。しかし日本は今、国を挙げて地球環境問題への対応策の1つとして水素燃料の普及を目指す研究や開発を進めています。社会全体で水素燃料が使われるようになれば、取り扱いの技術は進歩し、生産量は桁違いに増え、価格も下がるはず。イーロン・マスクは水素燃料の将来性を否定するような発言をしてきているので、日本だからこそ団結して実現できる再使用ロケットだと考えています。

— どのような用途を想定しているのですか。

宇宙研の研究チームでは、世界をリードできるロケット技術を次世代の新しい観測ロケット、「新観測ロケット」として実用デビューさせようと検討を進めています。現在の日本の観測ロケットは機体が海に落下してしまうので搭載した高価な観測機器を1回しか使えませんが、新観測ロケットではそれを何回も使えてデータも全て取得できます。さらにジェットエンジンの利用によって、観測機器に求められる振動試験などの基準も緩和できて利用者側の開発負担を大きく減らせるはず。それならばこんなことにもあんなことにも使えと、皆さんのイマジネーションが働いて、利用が大きく広がることを期待しています。そしてその先2030年代のうちに、日本が目指す人や物を大量に輸送できる完全再使用型ロケットの実現に大きく貢献するというのが、現在の目標です。

ロケットの美学が変わる

— ロケットの魅力は？

ロケットが轟音を立てながら宇宙に向かって飛んでいく姿を見ると、衝撃が伝わってきて、体はもちろん、魂まで揺さぶられます。それを一度味わうと、やみつきになってしまいます。

発射台から打ち上げられたら二度と戻ってこない。そのはかなさがロケットの美学でした。再使用ロケットは戻ってきます。正直、おかしな感覚です。ロケットは、今まで特別な乗り物でしたが、頻繁に打ち上げられ、しかも戻ってくるようになると、もう特別な乗り物ではなく航空機と同じ普通の乗り物です。ロケットの美学も変わっていくことでしょう。

編集後記

2022年度がスタート。コロナ禍の混乱から早くも2年が経った。リモートをうまく活用することを活動に取り入れてきたが、オンサイトでの国際会議や活動も始まりつつある。様々な困難を工夫で克服してさらなる発展を目指したい。
(清水 敏文)

