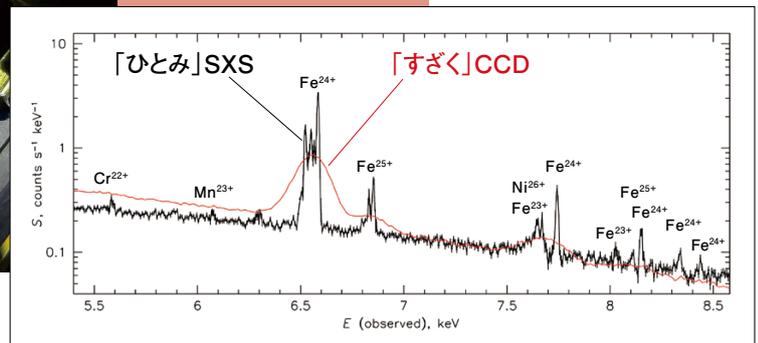


「ひとみ」のSXS検出器と銀河団の高分解能スペクトル

左図は「ひとみ」に搭載されたマイクロカロリメータ(SXS)検出器。6×6ピクセルからなり、全体の大きさは5mm四角である。X線光子を吸収し、素子の温度変化が引き起こす抵抗の変化を信号として読み出すことで、半値全幅で5eVをしのぐエネルギー分解能を実現した。

下図の黒い線はSXSによるペルセウス座銀河団のエネルギースペクトル。比較のために「すざく」のCCD検出器(XIS)が同じ領域から得たスペクトルを赤い線で示す。



The Forefront of Space Science

宇宙 科学 最前線

「ひとみ」の科学成果

首都大学東京 理学研究科 特任教授 大橋 隆哉(おおはしたかや)

はじめに

「ひとみ」(ASTRO-H)は日本の6番目のX線天文衛星で、2016年2月17日にH-IIA20号機により打ち上げられたが、その約1ヶ月後、本格観測へ向けて準備を整えつつあった時に姿勢異常のために短い観測寿命を終えてしまった。X線分光に絞られるが「ひとみ」のサイエンスを引き継ぐ計画XRISMが、関係者の多大な努力の元に進められていることもあり、ここでは「ひとみ」が明らかにしたサイエンスの成果を紹介したい。

「ひとみ」という衛星計画の目玉はマイクロカロリメータ

(SXS:表紙の写真を参照)という50mKの極低温で動作するX線分光検出器であったが、衛星全体としてはX線分光が硬X線、軟ガンマ線の高感度の観測とタイアップすることで、宇宙で展開するダイナミックな現象を、エネルギーという軸を活用して解明しようとしたことが大きな特徴であった。「ひとみ」は大規模な国際協力により作られたが、日本が培ってきた独自の技術(冷却系、硬X線望遠鏡、硬X線・軟ガンマ線検出器など)が多く投入されていて、それを短期間とはいえ軌道上で実証したことは大きな成果である。また、米国、ヨーロッパ、カナダが参加した大きな国際ミッションとなった背景には、それだけ新しいサイエンスへの世界の期待が大きかったことがある。サイエンス結果の論文は“Hitomi collaboration”を著者とするものがNature, ApJ Letters, PASJを合わせて14編出版されているが(その一覧を最後につける)、本稿ではそれら全てを網羅するのではなく、ペルセウス座銀河団の結果を中心に話題を絞らせていただきたい。

最も多くの結果を出すことになった観測対象は図1に示すペルセウス座銀河団である。X線では全天で最も明るく、広がり直径3度(3.9Mpc \approx 1260万光年)ほどである。打上げ後ただちに観測可能な場所にあったことから、機器の立ち上げもままならない状態でこの銀河団を観測した。SXSの視野が3分角でもあり、観測されたのは中心から100kpc以内の明

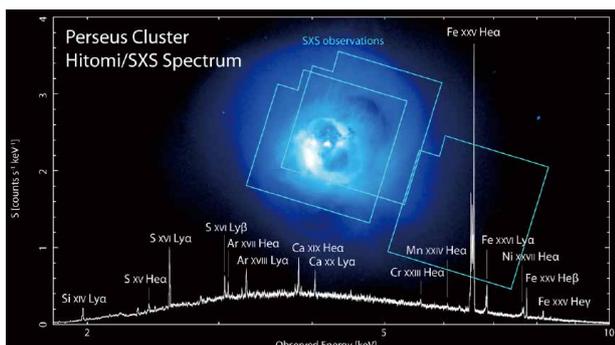


図1 ペルセウス座銀河団中心部のChandra衛星による画像に「ひとみ」SXSの視野を重ねたものと、SXSが観測したエネルギースペクトル。

る領域である。SXSの冷凍機の運転開始直後でもあり、初日に得られたデータはまだ温度が下がっていく途中であったが、詳しいキャリブレーションのおかげで約5eVというエネルギー分解能を出すことができ、約5千万度という高温プラズマから世界ではじめて高分解能の鉄の輝線スペクトルを得ることができた。

He-likeイオンの輝線と輝線幅

図2に示すのはSXSが観測したHe-likeの鉄イオン^[1]の輝線である。表紙の図に比較を示すように、「すざく」のCCDに比べてエネルギー分解能が30倍ほど高いため、これまで1本しか見えなかった輝線群が4本ほどに分解された。輝線は、主量子数 $n=2$ のL殻から $n=1$ の基底状態への遷移に対応するが、L殻のエネルギー準位は軌道角運動量(s または p)と2電子の合成スピンの0か1かの組み合わせにより、1光子を放射して脱励起できる準位が4種類に分けられる。さらに、これらの準位からの遷移は光子が持ち去る角運動量を含めた選択則により、許容遷移(w)、禁制遷移(z)、異重項間遷移(x, y)^[2]などに分類されていて、これらの輝線の幅、エネルギー、相対強度などが、プラズマについての新しい情報を我々にもたらすのである。

我々がまず注目したのは輝線の幅である。銀河団プラズマからの輝線は大きく3つの要素によって幅をもたずである。①SXS検出器のエネルギー分解能(半値全幅4.9eV)、②5千万度という温度で鉄イオンが熱運動することによる幅(FWHM 5eV)、③プラズマの運動(特に乱流)が作る幅など

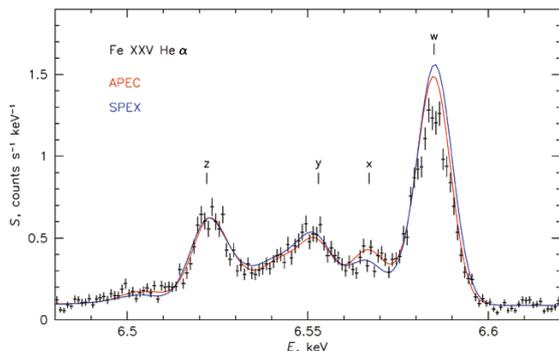


図2 ペルセウス座銀河団の鉄のHe-likeイオンの輝線。共鳴線 w が熱放射のモデル(赤と青の実線)より弱く観測されている。

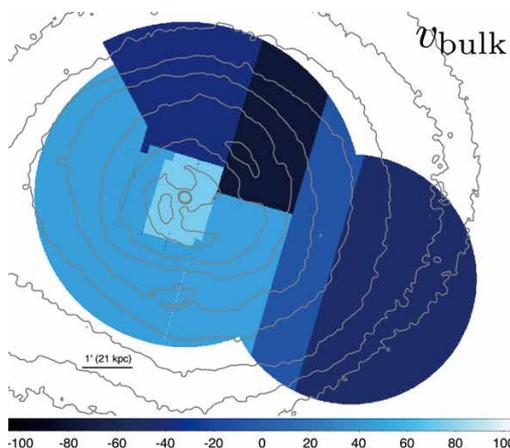


図3 ペルセウス座銀河団中心から約100kpc内の銀河団ガスの視線方向のガスの運動速度(km s^{-1})を、Chandra衛星による輝度分布の等高線に重ねてある。

であり、観測される輝線幅はこれらの2乗和の平方根となる。特に銀河団プラズマの乱流が一体どれほどあるのかが、はじめて明らかにされることに大きな関心と期待が寄せられていた。結果として、プラズマの乱流速度(視線速度をガウス分布とした 1σ の幅)は、銀河団中心から20kpc以内(電波銀河NGC 1275とそれを囲むX線空洞が存在)の場所で $187 \pm 13 \text{ km s}^{-1}$ 、さらに30kpc(10万光年)ほど外の領域が $164 \pm 10 \text{ km s}^{-1}$ となった(望遠鏡の特性を考慮すると数値はわずかに変わる)。中心銀河NGC 1275はジェットを放出していて、その圧力が高温プラズマを押しよけるためにX線の空洞が形成されている。ということはここではプラズマの熱的な圧力に対抗するだけの動圧が持ち込まれていると考えねばならない。これに加えて、中心部のプラズマの冷却時間(プラズマの熱エネルギーを放射によって失う時間。プラズマ密度に反比例する)が 10^9 年のオーダーで、宇宙年齢よりはるかに短いため、エネルギーの注入がないとプラズマを5千万度に保持できないという問題がある。電波銀河が出すジェットのエネルギーが周りに拡散し、熱的な圧力に対抗しているとするなら、 $1,000 \text{ km s}^{-1}$ 以上もの大きな乱流がおこっているとの予想もあったが、実際の乱流の大きさはそれよりはるかに小さく、その圧力はガス圧の4%にすぎなかった。銀河団中心部のプラズマが意外に静かであり、ジェットから注入されるエネルギーをどのようにプラズマへ伝えるのか、あるいは他のエネルギー源が関与しているのか、興味深く大事な問題を提起する結果である。

輝線エネルギー

銀河団の高温プラズマは大局的に動いているのか(例えば回転)、静止しているのかも大事な問題である。これを知るには銀河団内の場所ごとに輝線エネルギーの中心値、すなわち絶対エネルギーを正確に決める必要がある。このためのキャリブレーションは大変な作業であったが、結果的に中心エネルギーの決定精度は1eV以下となった。これをもとに高温プラズマの運動を調べたところ、図3に示すように、銀河団中心のジェットを含む領域が約 80 km s^{-1} で遠ざかり、北西に30kpcほど離れた領域が約 80 km s^{-1} の速さで近づいていることがわかった。この北西領域は、輝度分布を詳しく調べるとX線の空洞が浮き上がって円弧状に広がったやや暗い構造が見えている。プラズマがまだ浮上し続けていてその方向が我々に近づく向きなのかもしれない。ただ、この2領域以外ではプラズマの集団としての運動は 50 km s^{-1} 以下で、この点からもペルセウス座銀河団中心部は比較的静かであることがわかった。このことが比較的緩和したように見える銀河団に共通することなのか、他の銀河団では違う様相を見せるのか、この点からもXRISMの観測が待たれる。

共鳴散乱

鉄のHe-likeイオンの輝線群を分解することで何がわかったのかを述べる。最も高いエネルギー(6585eV、赤方偏移を戻すと6700.4eV)に対応するのは許容遷移(共鳴線を放出)であるが、ここで出る光子は銀河団中心では散乱(正しくは鉄イオンによる吸収と再放出)に対する光学的厚さが2ほどになると考えられる。この場合、共鳴線だけが何度も散乱され空間的に広がって出てくるため、銀河団中心の狭い領域を観測す

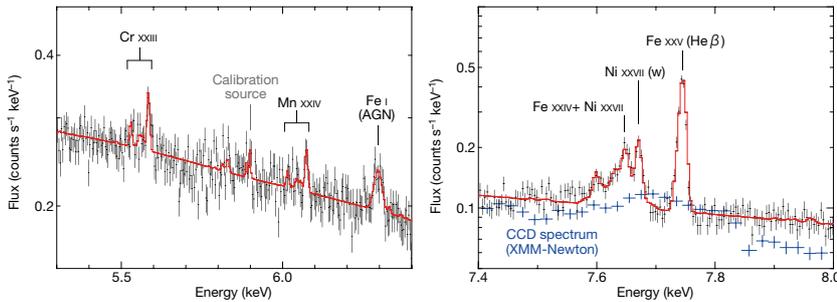


図4 「ひとみ」SXSが観測したクロム、マンガン、ニッケルの輝線。

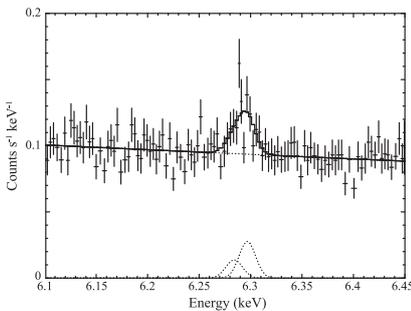


図5 ペルセウス座銀河団の中心銀河 NGC1275 からの蛍光鉄輝線。エネルギーの高い方から順に $K\alpha 1$, $K\alpha 2$ の2本の輝線が合わせてある。

ると共鳴線が弱くなることが期待される。一方、乱流が強い場合はドップラー効果のために共鳴散乱が生じにくくなるので、共鳴線強度は乱流の強さを判定することにもつながる。図2のSXSのエネルギースペクトルでは共鳴散乱が有意に観測されていて、熱的放射の予想より共鳴線が30%ほど弱いことがわかった。この情報は、先の 200 km s^{-1} 以下という乱流の速さと矛盾がなく、鉄イオンの密度を視線方向の奥行きで積分した値を教える。鉄輝線の強度という密度の2乗に比例する観測量と組み合わせることで、銀河団プラズマの密度と奥行きを制限する独立な情報が与えられることになり、銀河団の構造を調べる上で貴重な結果と言える。

弱い輝線の検出

鉄族元素(クロム、マンガン、ニッケル)の存在量は、輝線が弱い(クロム、マンガン：等価幅が数eV)、あるいは20eVほど離れた鉄の輝線との分離が困難(ニッケル)といった理由で、これまで精度の良い測定が行われていなかった。「ひとみ」以前には、XMM-Newton衛星の観測から、これらの元素がいずれも太陽組成の1.5–2倍高いという結果が報告されていた。こうした鉄族元素は、主にIa型超新星、すなわち白色矮星が関与する爆発によって作られたと考えられているが、その過程にはいくつかの説があり決着がついていない。鉄族元素の存在量はその過程を判定する情報である。図4に示すように、「ひとみ」SXSは存在量を高い信頼度で決定し、3つの元素全てが太陽組成から30%以内の範囲であることを示した。ペルセウス座銀河団の中心部と我が銀河系とが実は似た環境にあることを示す新しく興味深い結果である。

SXSの高分解能スペクトルは高温プラズマだけでなく電波銀河NGC1275についても新たな情報をもたらした。SXSによるエネルギースペクトルを詳しく調べると、図5に示すように6.4 keVすなわち中性に近い鉄の蛍光輝線が確認された。この輝線は約20 eVの等価幅があり、電波銀河の中心の巨大ブラックホールが放射する硬X線が周辺の物質にあたることで出ると考えられ、ブラックホールを取り巻く物質の立体角や距離を制限することができる。活動銀河核の巨大ブラック

ホールは、ブラックホールシャドウの観測で脚光を浴びているが、ガスがどのように供給され、銀河の進化にどう影響するのは周りの物質からの反射を見なければならない。SXSの結果から、蛍光輝線を出す物質の速度幅は $500\text{--}1,600 \text{ km s}^{-1}$ の範囲(90%信頼度)と決められた。この制限と両立するのは、ダストトーラスか核周円盤(circumnuclear disk)であり、より内側の広輝線領域^[3]や、より外側の分子雲ではないと結論された。これは、トーラスの構造が平べったい可能性を示唆しており、活動銀河核の構造について新しい描像を提示する結果である。

さいごに

以上、筆者の独断により、「ひとみ」のもたらした成果のいくつかを駆け足で紹介した。高いエネルギー分解能や広いエネルギー範囲のX線観測が、他の方法では見ることのできない宇宙のダイナミカルな進化を教えることを理解していただければ幸いである。「ひとみ」計画の準備から科学成果のとりまとめまでは、多くの若手研究者のリードによって行われた。XRISMはX線分光サイエンスを本格的に花開かせるミッションになると期待しているが、約6年という遅れのため、必ずしも「ひとみ」を率いた若手の全員がXRISM計画に参加できなくなっている。「ひとみ」のプロジェクトサイエンティストとして申し訳ない思いであるが、「ひとみ」とその成果を生み出したみなさんの足跡は永遠に残される。「ひとみ」に力を注いだ、そしてXRISMに力を注いでいる全ての皆様に感謝を申し上げます。

Hitomi collaboration による論文一覧

The quiescent intracluster medium in the core of the Perseus cluster: 2016, Nature 535, 117.
 Hitomi Constraints on the 3.5 keV Line in the Perseus Galaxy Cluster: 2017, ApJ Letter 837, L15.
 Solar abundance ratios of the iron-peak elements in the Perseus cluster: 2017, Nature 551, 478.
 Atmospheric gas dynamics in the Perseus cluster observed with Hitomi: 2018, PASJ 70, 9.
 Measurements of resonant scattering in the Perseus Cluster core with Hitomi SXS: 2018, PASJ 70, 10.
 Temperature structure in the Perseus cluster core observed with Hitomi: 2018, PASJ 70, 11.
 Atomic data and spectral modeling constraints from high-resolution X-ray observations of the Perseus cluster with Hitomi: 2018, PASJ 70, 12.
 Hitomi observation of radio galaxy NGC 1275: The first X-ray microcalorimeter spectroscopy of Fe-K α line emission from an active galactic nucleus: 2018, PASJ 70, 13.
 Search for thermal X-ray features from the Crab nebula with the Hitomi soft X-ray spectrometer: 2018, PASJ 70, 14.
 Hitomi X-ray studies of giant radio pulses from the Crab pulsar: 2018, PASJ 70, 15.
 Hitomi observations of the LMC SNR N 132 D: Highly redshifted X-ray emission from iron ejecta: 2018, PASJ 70, 16.
 Glimpse of the highly obscured HMXB IGR J16318-4848 with Hitomi: 2018, PASJ 70, 17.
 Hitomi X-ray observation of the pulsar wind nebula G21.5-0.9: 2018, PASJ 70, 38.
 Detection of polarized gamma-ray emission from the Crab nebula with the Hitomi Soft Gamma-ray Detector: 2018, PASJ 70, 11

脚注

[1] 鉄原子は中性では26個の電子を持っているが、温度が100万度を超えると熱運動が活発になり衝突電離されていく。鉄の電子が2個だけ残ったHe-likeイオンは、電子配置が安定なため1千度から1億度の広い温度範囲で存在比が高い。
 [2] He-likeイオンの基底状態($n=1, {}^1S_0$)への $n=2$ からの遷移で、 1P_1 からが許容遷移、 ${}^3P_2, {}^3P_1$ からが異重項間遷移(tripletからsingletへ)、 3S_1 からが禁制遷移で、放射される光子のエネルギーはこの順に低くなる。
 [3] 活動銀河の中心核に近く、可視光や赤外線の数 10^4 km s^{-1} の運動に相当する輝線幅を示す領域で、より外にひろがる狭輝線領域(数 100 km s^{-1} の輝線幅)と区別される。

緊張の7分間、「みお」伸展物ラッチ解除運用

ISAS事情欄の常連となっている「みお」チェックアウト報告ですが、今回は8月6日-7日に実施したラッチ解除運用についてお伝えします。

「みお」は宇宙空間の電場・電波計測用のワイヤアンテナ4本(各15m)と磁場計測用マスト2本(各5m)を搭載しています。打上げ時はそれぞれ収納されており、水星軌道上でMPOから分離したあとに順次伸展します。このような機械的に稼働する部分は、多くの場合、打上げ時の振動や衝撃で誤動作しないように何かしらの方法で固定しておき、探査機がロケットから分離されたあと、早い段階で固定を外す、という運用をします。「みお」観測装置では、マスト2本とワイヤアンテナ1組2本がそれぞれラッチ(留め金)で固定されています。これらは昨年11月の初期チェックアウト期間中に外す計画でしたが、温度条件が整わないなどの諸事情で延期していました。

この間、関係者で様々な検討を重ねました。延期による直接



ラッチ解除成功を記念して欧州宇宙運用センター(ESOC)で撮影した集合写真。後方の大型ディスプレイには、相模原の運用室で立ち会ったメンバーが映っている(筆者は前列中央)。

のリスクはないはずですが、今回正常にラッチ解除できなければ観測に大きな影響を及ぼす可能性があります。故障ケースを洗い直し、許容できるものとできないものを再度識別し、手順を見直しました。解除動作に伴う電気的な特性の変化を観測できるように、プラズマ波動観測器と磁場観測器のデータも同時に取得することにしました。

8月6日、まずはマストから1本ずつラッチ解除を行いました。事前のテレメトリ確認はOK、実行条件は整っています。解除のコマンドシーケンスを送信してから結果がテレメトリで確認できるまで7~8分(電波伝搬時間、テレメトリの収集レート、地上システム内にデータが溜まるまでの時間等の合計)かかります。緊張の7分間が経過したころ、テレメトリステータスがラッチ開放を示す値に変化し、安堵の音が上がりました。もう1本のマストも正常に解除でき、完了後のテレメトリもOKでした。翌日7日は、ワイヤアンテナ2本のラッチ解除です。こちらは、解除に至る条件がマストよりも厳しいことが事前解析でわかっており、祈るような気持ちでコマンドを送信しました。7分を過ぎると焦りの空気が漂いましたが、直後、ステータスが【OPEN】に変化! 歓声が上がりました。関係者一同、8ヶ月の苦労や心配が吹き飛んだ瞬間でした。この日の祝杯のビールが最高に美味しかったのは、言うまでもありません。

伸展物にとってラッチ解除は成功への第一歩です。本番は6年半後、水星についてからの伸展運用が待ち構えています。

(関 妙子)

「はやぶさ2」地球帰還に向けて、旅支度を始めました

去年(2018年)の6月にリュウグウに到着してから、もう1年と3ヶ月になります。振り返ってみると、本当にいろいろなことがあって、リュウグウ到着が遙か過去のこのようにも思えます。今年末のリュウグウ出発まで、もうクリティカルな運用はありません。リュウグウの観測を続けながら、残っているMINERVA-II2の分離について検討を進めています。そして、地球帰還への準備も始まりました。

地球帰還の準備として最も重要なことは、いわゆる“カプセルのふた閉め”です。リュウグウのサンプルが入っている容器(サンプルキャッチャー)を再突入カプセルの中の容器(サンプルコンテナ)に搬送し、ラッチシール機構によってコンテナを密閉します。「はやぶさ2」ではメタルシールというものをを用いて、コンテナ内の気体も漏れ出さなくなっています。このカプセルのふた閉めの運用は、8月26日に行われました。運用は5つの手順に分かれており、1つ1つコマンドを送っては状況を確認しながら進められました。途中で何か引っかかって動かなくなると大変ですが、そのようなこともなく無事にカプセルは閉じられました。

一方で、地球に戻ったカプセルを回収するための準備も本格化してきました。オーストラリア政府などの関係機関との議論も進み、カプセルが着地する場所はオーストラリアのウーメラ管

理区域となりました。これは、「はやぶさ」のカプセルが戻ってきた場所と同じです。今後、カプセルの着陸許可であるAROLSO (Authorisation of Return of Overseas Launched Space Object)の申請をオーストラリア政府に行い、最終的に認められた後、具体的な回収作業の準備に入っていくことになります。また、カプセルが大気圏に突入すると流星のようになりますので、その科学的な観測も今後詰めていくことになります。

「はやぶさ2」がリュウグウから出発する時期ももう間近に迫ってきました。そして、再突入カプセルの地球帰還は、2020年の11月ないし12月の予定です。

(吉川 真)



“カプセルのふた閉め”が成功したときの集合写真。管制室にて2019年8月26日に撮影。



再突入カプセルが帰還するオーストラリア・ウーメラ管理区域の様子。2018年12月撮影。「はやぶさ2」が帰還する時期と同じ季節の写真である。

平成31年度第一次気球実験

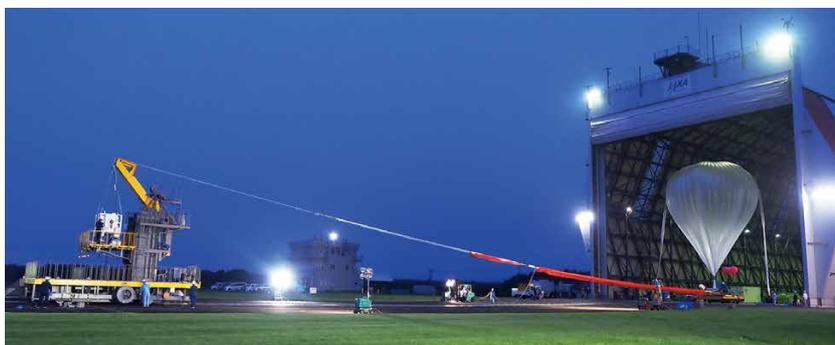
ここ数年、気球飛行に適さない高層風のため気球飛行機会を容易に見いだせないことから、今年度も5月末から9月上旬までの1シーズンで大気球実験を実施することとしました。さらに今年は、100%海外からの輸入に頼っているヘリウムの日本国内供給が工業用、医療用を含めて極めて不足する事態となり、気球飛行に不可欠な浮力ガスを十分に確保することが困難となりました。

今年度の気球実験として当初大気球による6実験とゴム気球による1実験を計画したところですが、実験開始1ヶ月前になっても大気球1~2実験分のヘリウムガスしか確保できず、大気球実験については最優先の2実験のみの準備を続けることとし、またゴム気球による1実験についてはヘリウムガスの代わりに水素ガスを用いることとしました。気球実験での水素ガス利用は1970年代前半以来となりますので、当時の経験者にヒアリン

グをし、またJAXA内の水素利用のエキスパートに協力を求めるなどして入念に準備を進め、必要な機材の調達を行いました。

今期の大気球実験では実験グループの準備スケジュールに遅れが生じ、ようやく7月6日にB19-02「成層圏における微生物捕獲実験」を実施し、所期の成層圏微生物採取シーケンスを実行、着水後に試料採集部に海水が侵入し微生物の確認に至らなかった2年前のリベンジを果たしました。さらに7月下旬にBS19-02「極薄ペロブスカイト太陽電池の気球飛行」の準備が整い8月1日早朝に水素ガスを充てんしたゴム気球を用いて放球、成層圏での次世代薄膜太陽電池の性能試験を実現できました。一方、大気球1実験分しかヘリウムガスを確保できなかったため、B19-04「マルチクロックトレーサーによる大気年代の高精度化」の実験実施は今期見送ることとなりました。

日本国内でのヘリウム不足は来年以降も継続する見通しであり、大気球実験グループでは大気球にも水素ガスを利用することを検討しています。その実現にはいくつかのハードルを越える必要がありますが、気球飛行を困難にしている蛇行するジェット気流への対応もあわせて、できる限り早期に国内での飛行機会数を確保できるよう努力していきたいと考えています。(吉田 哲也)



JAXA格納庫内でガス充てん後
屋外に移動する大気球B19-02号機。

気球実験とペロブスカイト太陽電池は偉大な先生

BS19-02「極薄ペロブスカイト太陽電池の気球飛行」は8月1日午前6時に大樹航空中実験場から放球され、高度30kmまで上昇し、無事実験を終えました。メーカーやJAXA内の多くの方のご支援をいただいたことで実験を完遂できました。深く感謝申し上げます。

ペロブスカイト太陽電池は桐蔭横浜大学の宮坂教授が提案した、日本発の比較的新しい太陽電池で、塗布製造による簡易・低コスト化、軽量化、高効率化を実現可能、などの特徴から注目されています。本実験は低温成膜や薄膜化が可能という特色に着目し、フレキシブル性が高い20 μ m厚フィルムへの太陽電池成膜を目指しています。気球の膜上発電、ウエアラブル発電、インフレーター構造物上発電などの応用に期待が膨らみます。この構想を実現するため、「特性評価用テストベンチを開発し、年々発展するペロブスカイト太陽電池の高頻度気球実証試験に繋げることを」を目的に始まった実験でしたが、放球までの



手に持っているのがペイロード部分。太陽電池は両脇にせり出した仰角のついた金属板表面に片面2枚ずつ設置されている。

道のりは困難でした。

「システム」の設計から作製、全てが初めての経験でしたが、多くのことを学びました。特に重要だと感じた3つを紹介します。「1. 初動を素早く」設計しただけでは動くシステムは簡単に作れません。まずは、使い慣れていないものを触ってみることから始め、設計図の端から順番に製作を進め、しつこく動作確認をするのが大事です。早めに最終形態に近い状態で試験することも重要です。設計だけで満足しているとボコボコになります(体力的に)。「2. 事実は明確に」日本語がヘタで苦労することが多くありました。他人が見ても理解できるようにメモを取ることで情報を整理して話さないとボコボコになります(精神的に)。「3. 早め早めの対応」関わる人が多いほど自分の作業遅れで迷惑がかかる人が増えます。余裕を持ったスケジュールで進めるのが大事です。今回はスケジュール遅延が多発しました。気球グループの皆様にはご迷惑をおかけして申し訳ございません。懐の深いご対応ありがとうございました。これ以上スケジュールを踏み倒すとボコボコになっていたと思います(両方の意味で)。

実験を通して様々な方にご協力いただき、多くのことを学ばせていただきました。今後は実験データを元に太陽電池の改良を進め気球実験を実施するサイクルを回すことで、革新的な発電を現実にするため邁進したいと思います。(金谷 周朔)

令和元年6月28日 CAESAR落選

「皆さんは令和元日であった2019年5月1日、如何お過ごしでしたか?」との問いかけから始めた前回報告でしたが、それから2ヶ月も経っていない6月28日の午前5時、NASAは次世代太陽系ミッションの最終選考結果として、彗星サンプルリターン計画「CAESAR(シーザー)*」ではなく、土星衛星タイタンを調査する「DRAGONFLY(ドラゴンフライ)」の採択を発表しました。シーザーにとって、『賽は投げられなかった』のです。



「誰がブルーアスだったの?」と聞いてくる人もいました。古代ローマの英雄シーザーにまつわる有名な台詞『ブルーアス、お前もか?』になぞらえての質問ですが、今回は特に裏切り者がいるわけではありません。ミッションの選定は、複数の指標に基づく評価結果を踏まえて最終決定に至るわけですが、その過程にはなかなか判断が難しい要素が含まれていると考えられます。それは「和食と

洋食のどちらが優れているのか」を決めるのが困難なのと同様に。

彗星の物質を低温のまま地球に持ち帰ってくるという野心的なCAESAR計画において、「はやぶさ」のヘリテージを活かしてSRC(サンプルリターンカプセル)というミッション成立の必須技術を担う予定であったJAXAのCAESAR/SRCチームメンバーとしては残念至極な結果となりました。しかし、立ち止まっている訳にはいきません。「はやぶさ」/SRCのヘリテージは、CAESAR以外にもMMX(火星衛星探査計画)に利用されますし、立ち上げに向けて検討中の複数の他計画でも必要とされています。CAESAR/SRCでクリティカル技術に識別して検討を進めてきた、「はやぶさ」/SRCよりサイズアップする前面ヒートシールドやパラシュートシステム等の検討結果はMMX/SRCにも活かされます。また、概ね5年ごとにNASAが募集している次世代太陽系ミッションの、次の機会にCAESARが再チャレンジするという選択肢もありえます。

SRC関係者は、それらを見据えて各種検討や調整を進めると共に、CAESARの活動をふりかえり締めくくる作業も実施しております。締めくくりを終えましたら、令和元日に発足したJAXAのCAESAR/SRCプリプロジェクトチームは、いったん終了となります。今回は選定されず残念でしたが、『概して人は、見えることよりも見えないことに多く悩むものだ』というシーザーの言葉も踏まえ、自分たちの手が及ぶ範囲の作業を着々と進めていきたいと考えています。(今村 裕志)

* Comet Astrobiology Exploration Sample Return

LiteBIRD キックオフミーティング開催報告

「宇宙はどのように始まったのか?」—この科学の究極の問いに真正面から立ち向かおうとするのが、日本を中心に世界各国を巻き込んで進める LiteBIRD(ライトバード)衛星計画である。このような前人未至の高峰に挑むには、(1)適切な目標設定、(2)現実的な方法論、(3)ホスト機関の決意、の全てが必要である。2019年7月1日から2日間にわたって開催された「LiteBIRDキックオフミーティング」は、(1)-(3)が初めて整う中で開かれた。

(1)から(3)を具体的に書くと、次のようになる。(1)真空の量子ゆらぎから誕生した初期宇宙が、インフレーションによって指数関数的に加速膨張し、その際に発生した原始重力波が宇宙マイクロ波背景放射に残す、渦状の偏光パターンの検出を目標にする。(2)極低温で動作する超伝導転移端ボロメータを数千個並べて統計誤差を下げ、また熱環境の安定した太陽と地球の第二ラグランジュ点(L2)で、スピンの歳差運動を組み合わせた掃天観測を15の周波数帯域で行うことで系統誤差を下げる。(3)2018年度いっぱいまでミッション探求フェイズ活動を完了し、2019年度始めに戦略的中型計画の2号機に選定された(ISASニュース No.459 参照)。

キックオフミーティングでは、まず、インフレーション理論の創始者の一人である佐藤勝彦先生に、宇宙の始まりと「宇宙の始まりの研究」の始まりについて講演していただいた。その後、カブリ数物連携宇宙研究機構の村山、大栗新旧機構長の講演で、素粒子物理学からの熱い応援があった。そして、前代の宇宙マ

イクロ波背景放射衛星 Planck を成功に導いた欧州各国の指導的研究者の講演、それを受けて LiteBIRD などの将来計画の講演が続いた。わずか2日間ではあったが、Planck から LiteBIRD へと宇宙の始まりを探るバトンが託される、象徴的な意味合いが強く出た会議であった。ひと昔前にはマイクロ波背景放射の研究者すらいなかった宇宙研で、当該分野の画期となる会議が成功裡に開催された意義は大きい。

まだ我々は登山口に立ったばかりである。これから長く険しい道が続く。引き続き関係各位のご支援、ご協力を賜りたい。

(辻本 匡弘)



研究会集合写真

連載

「みお」つくし

第5回

世代も国境も越え水星へ挑むベピコロンの物語

水星 / 「惑わない星」より

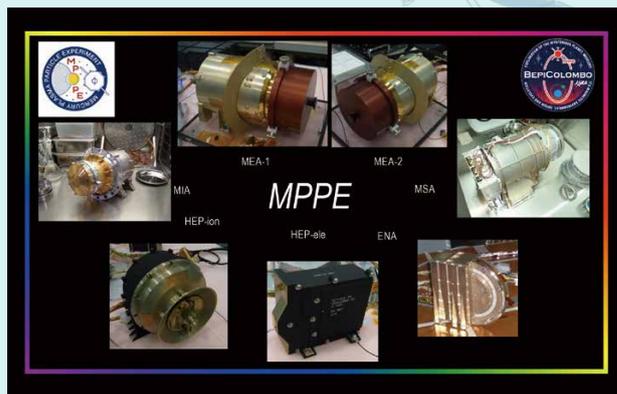


「みお」搭載プラズマ粒子観測装置MPPE

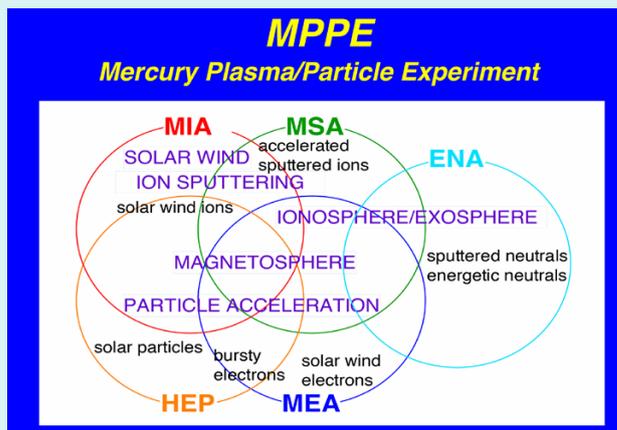
「みお」には水星磁気圏の観測を行う複数の観測装置が搭載されているが、MPPE (Mercury Plasma Particle Experiment)は、電子、イオン、高速中性粒子の計測を行う観測装置である。MPPEは計7台のアナライザーから成る観測装置で、日本、欧州、米国、台湾、中国、ロシアなど世界中から100名を超える研究者が集まって開発を行った。7台のフライトアナライザーを写真に示し、各アナライザーの名称と観測対象を表に示す。MIAとHEP-ion, HEP-eleの3つのアナライザーは日本国内で開発したが、MEA-1とMEA-2はフランスのグループが開発を担当し、MSAとENAは複数の国が力を合わせて開発を行った。MSAはアナライザー部分、高圧電源とCPU、イオンの検出器と衛星とのインターフェース部をそれぞれフランス、ドイツ、日本のグループが設計・製造して日本で組み上げた。一方ENAはスウェーデンとスイス、日本のグループがアナライザー部分・高圧電源、検出器を含む信号検出部と衛星とのインターフェース部をそれぞれ開発して作り上げた。MPPEアナライザーの設計を始めた当初は、日本と欧州のメンバーが集まって会合を開く度に新しいアイデアが提案され、なかなか装置の設計が固まらないという悩みはあったものの、日本と欧州のそれぞれの得意技と特徴を活かして観測装置と一緒に作って作り上げることは大変楽しいものであり、また技術的にも多くの進歩があった。

MPPEの主な観測目的としては、1) 太陽からの距離が0.3AU-0.47AUと近い水星において地球付近とは異なるパラメータを持つ太陽風の観測を行うこと、2) 地球と同様に固有の磁場があり磁気圏もあるものの、地球より磁場の強度が弱くてサイズも小さく、地球より時間的な変動が激しい水星磁気圏の構造とその変動のメカニズムを明らかにすること、3) 太陽風と水星表面との相互作用が水星周辺の希薄な大気・電離大気をどのようにして作り出し、それらがどのようにして水星磁気圏の構造や変動に影響を及ぼすのかを明らかにすること、などをあげることができる。図は、MPPEの観測目的を示しており、6種類7台のアナライザーで同時に観測を行うことで、未解決の問題が山積している水星磁気圏の完全な理解を目指す。

打上げ後の2018年11月にMPPEアナライザーの低圧部の初期チェックを完了し、2019年6月中旬から7月上旬、8月下旬に高圧部の初期チェックを実施して、現在MPPEのほとんどのアナライザーは観測を開始できる状態にある。ただ、水星到着までの間は、「みお」の周りのサーマルシールドがMPPEの視野の大部分を遮っているため、本格的な観測の開始は水星到着を待たなくてはならない。MPPEの開発を始めてからもう15年経ったが、MPPEの設立当時のメンバーのうち何名かはす



MPPEの7台のフライトアナライザー



MPPEの観測目的

略称	名称	観測対象
MEA-1	Mercury Electron Analyzer 1, 2	3eV-26keVの範囲の低エネルギー電子のエネルギースペクトル
MEA-2	Mercury Electron Analyzer 1, 2	3eV-26keVの範囲の低エネルギー電子のエネルギースペクトル
MIA	Mercury Ion Analyzer	15eV/qから29keV/qの低エネルギーイオンのエネルギースペクトル
MSA	Mass Spectrum Analyzer	1eV/qから38keV/qの低エネルギーイオンの質量別エネルギースペクトル
HEP-ion	High Energy Particle instrument for ion	30keV - 1.5MeVの範囲の高エネルギーイオンの質量別エネルギースペクトル
HEP-ele	High Energy Particle instrument for electron	30keV - 700keVの範囲の高エネルギー電子のエネルギースペクトル
ENA	Energetic Neutrals Analyzer	10eV - 3.3keVの範囲の高速中性粒子の質量別エネルギースペクトル

MPPEの7台のアナライザーの名称と観測対象

で引退し、若い世代にその役割が受け継がれている。まだ水星への到着まで6年以上かかるため、若い優秀な研究者をメンバーに加えつつ、水星磁気圏における観測の準備を進めているところである。

MPPE 主任研究者 齋藤 義文 (さいとう よしふみ)

有機宇宙化学で地球外生命に挑む

1冊の本との出会いから始まった

——今年、特任助教として着任されました。専門は？

専門は有機宇宙化学で、宇宙に存在する有機物についての研究をしています。有機物とは炭素を基本として、水素や酸素、窒素などを含む物質のことで、生命の材料でもあります。宇宙における有機物の存在やその進化過程を調べることで生命の起源の解明や地球外生命の発見にもつながると期待され、近年、注目が高まっている分野です。

——なぜ有機宇宙化学を？

始まりは、小学生時代までさかのぼります。よく図書館に行っていたのですが、その日は閉館時間が迫っていたため借りる本を急いで選んでいました。そして、たまたま手に取ったのが、地球外生命の本だったのです。とても面白く、本当に地球以外に生命はいるのか、いるとしたらどんな形をした生命なのかと、興味が膨らんでいきました。

高校生になるとアストロバイオロジーという宇宙における生命を研究する新しい分野があることを知り、どの大学の何学部に進学すればそれを学べるのか、一生懸命調べました。ようやく、名古屋大学の三村耕一先生が隕石の衝突実験を行い、初期地球に持ち込まれた有機物や衝突による有機物の化学進化について研究されていることがわかり、名古屋大学理学部地球惑星科学科に進学し、三村先生の研究室に入ったのです。

大学院では、彗星を模擬したアミノ酸を含む試料の衝突実験を行いました。アミノ酸は、生物の体を形作る基本的な有機物です。衝突によってアミノ酸の多くは分解されますが、重合反応を起こしてペプチドになるものがあることを発見しました。

——宇宙研にきた理由は？

生命の起源や地球外生命の可能性を探ることは宇宙探査の大きなテーマの一つであり、今後その重要度は増していくでしょう。しかし今の宇宙研には、そうした探査に不可欠な有機化学の人材と技術が圧倒的に不足しています。宇宙研は有機化学の分析センターを持つべきであり、その最初の一人になりたいと思ったのです。

太陽系天体のアミノ酸は右手型？左手型？

——現在は、どのような研究をしているのですか。

宇宙研は、火星の2つの衛星フォボスとダイモスを観測し、そのうちフォボスから試料を採取して地球に持ち帰る火星衛星探査計画(MMX)という国際ミッションを計画しています。私は、

太陽系科学研究系 特任助教

菅原 春菜 (すがはら はるな)

福島県生まれ。名古屋大学理学部地球惑星科学科卒業。2014年、同大学大学院環境学研究所地球環境科学専攻博士課程修了。博士(理学)。海洋研究開発機構生物地球化学研究分野ポストドクトラル研究員、日本学術振興会海外特別研究員(フランス・ニースソフィアアンティポリス大学)などを経て、2019年より現職。



MMXが持ち帰った試料を有機化学分析するための技術開発や地球上での汚染のコントロールを担当しています。

ぜひ実現したいのが、光学分割分析です。アミノ酸には、左手と右手の関係のように、互いに鏡に映したような立体構造を持つ光学異性体が存在し、L体(左手型)とD体(右手型)と呼んで区別しています。地球の生物を構成しているアミノ酸は、ほとんどがL体です。小惑星や火星衛星、さらには火星やその先の木星圏、土星圏など様々な太陽系天体のアミノ酸についてL体とD体の割合がわかれば、地球生命の起源を知る手掛かりになります。しかし、L体とD体を区別する光学分割分析は非常に難しいのです。

私は、2017年から2年間フランスに滞在し、光学分割分析の第一人者の元で研究をしていました。そこで学んだ技術に自分のアイデアを加えることで、試料が微量でも高精度な光学分割分析を実現する新しい手法の開発に取り組んでいます。MMXは、2024年打上げ、2029年地球帰還の予定です。分析化学者にとって、未知の試料の分析ほど楽しいことはありません。

地球外試料の分析技術開発以外では、探査機に搭載しその場でアミノ酸などの有機物を分析できる装置の開発も行っています。探査する天体が地球から遠くなると行くまでにも時間がかかるため、サンプルリターンが難しくなり、その場分析が重要になってきます。これまで様々な分析装置が探査機に搭載されていますが、アミノ酸のような揮発しにくい有機物の分析は容易ではありません。実験機1台分ほどもある装置を探査機に搭載できるよう手のひらサイズまで小さくするのは、簡単ではありません。しかし宇宙研には、探査機の搭載機器開発の経験が豊富な人がたくさんいます。そうした人たちと議論を重ねることで、きっと実現できるでしょう。

——趣味は？

旅行や登山です。未知の場所に行くのが好きなのですが、人工物には興味がなく、自然を満喫できること限定です。自然の中に行くと虫や花を見ていると、なぜこの形をしているのか、どうやって進化してきたのか、地球以外に生命がいたらどういふ形をしているのか、と考えてしまいます。小学生のときと変わっていないですね。

地球外生命の本に出会ってから、何の迷いもなく進んできました。ただし、私が今やっているのは、アストロバイオロジーではなくアストロケミストリーです。有機物と生命の間には、まだギャップがあります。将来的には、その間を繋ぎたいと思っています。そのためにも、宇宙物質を対象とする有機化学分析の技術をもっと極めていきます。

編集後記

7月はAppolo 11号の月着陸50周年でした。50年前の筆者は1歳。アームストロング船長の声をライブで聴いた記憶はありませんが、幼稚園の頃に子供向けの図鑑に載っていたAppolo計画の記事に夢中になりました。8月はVoyager 2号の海王星フライバイ30周年。30年前は大学生でしたが感動したなあ。(小川 博之)



ISASニュース No.462 2019年9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 生田 ちさと
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