



宇宙探査実験棟と
M-Vロケット実機模型

「宇宙探査実験棟」の運用が始まりました。今年2月末の建屋工事完了後からこれまでの間、建屋内の実験設備などの整備をすすめていましたが、5月より探査ロボット等の実験を開始しています。(P.5 参照)

宇宙科学最前線

X線で観る宇宙最大の衝撃波構造

オランダ宇宙研究所

赤松 弘規 (あかまつ ひろき)

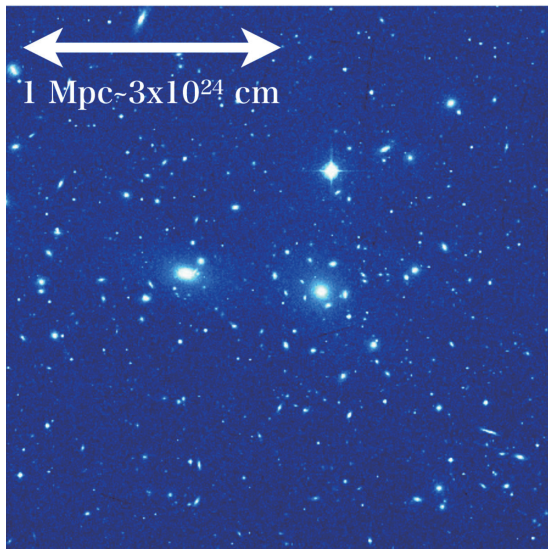
宇宙最大の重力的に閉じた天体：銀河団

現在までに構築されてきた宇宙構造形成の理解に基づく、現在の構造は宇宙初期に存在する密度揺らぎが成長し、その重力により、周囲の物質をさらに引き寄せ、より大きな構造へと成長してゆくと考えられている。銀河団とは、その名の通り銀河が100～1,000個集まって形成されている天体である。1つの銀河団の差し渡しの大きさは百万パーセク(Mpc)にもなる(1パーセク: 1 pcは3.26光年)。ビリアル定理に基づき、銀河の運動エネルギーから銀河団の質量を推定することにより、銀河団は太陽質量の 10^{13} から 10^{15} 倍もの質量を持つ宇宙で最大の天体であることが明らかになった。銀河団の深い重力ポテンシャルに捕らわれた物質は、数千万度まで加熱された銀河団プラズマとして存在する。このような高温プラズマはX線を強く放射するため、銀河団の研究においてはX線による観測が有効である。図1に、可視光とX線で観たかみのけ座銀河団のイメージを例として載せる。X線イメージから、広がったプラズマの存在が見て取れる。

宇宙で最も劇的な天文現象：銀河団衝突

銀河団同士の衝突は、ビッグバン以降宇宙で最も劇的な天文現象である。衝突現象に伴う重力エネルギーが衝撃波(P.5 今月のキーワード参照)、乱流を通じて、銀河団プラズマの加熱(熱的エネルギー)、粒子加速(非熱的エネルギー)へと分配される。実際に、X線観測から衝撃波加熱によって形成されたと考えられる超高温領域の存在、また、粒子加速については電波帯域のセンチ波、メートル波の観測により、数十GeVにまで加速された電子によるMpcスケールに広がったシンクロトロン放射から確認されている。図2左に、“弾丸銀河団”として有名な衝突銀河団である1E 0657 マイナス 56 銀河団のイメージを示す。母銀河団を貫くように、“弾丸”が走り、その前方に衝撃波が立っていることが確認されている。しかしながら、そのような莫大なエネルギーがどのようにして、どの程度、熱的、非熱的なエネルギー形態に振り分けられるのか分かっていない、というのが現状である。

可視光：100 ～ 1,000 個の銀河



X線：数千万度の高温プラズマ

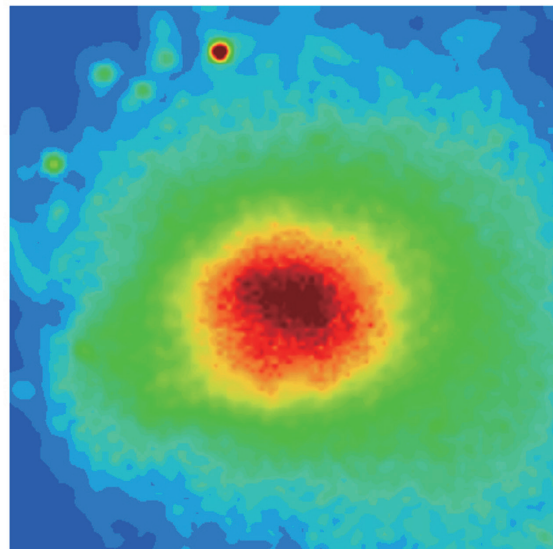


図1 可視光（左）とX線で観たかみのけ座銀河団。

http://www.dailygalaxy.com/my_weblog/2010/05/the-coma-cluster.html より

衝突銀河団に伴う電波放射領域：電波レリックス

銀河団の外縁部には円弧状の電波放射領域が存在し、これを電波レリックスと呼ぶ。これまでに、その位置や形状から、銀河団衝突や構造形成に伴い発生した衝撃波によって加速された電子によるシンクロトロン放射で形成されたと考えられてきた。しかしながら、電波レリックスの位置する銀河団外縁部では、プラズマの密度が中心部に比べ、1,000 分の 1 以下まで低下する。そのため、銀河系由来の軟 X 線放射、観測装置のノイズが問題となる。従来の X 線衛星では、検出器のノイズの再現性の問題から銀河団中心部での観測に留まり、外縁部、特に電波レリックス周辺において銀河団プラズマがどのような状態で存在しているか、ということは明らかにされていなかった。このような背景から、電波レリックスの起源（衝撃波との関係性、または他の加速機構の存在）は銀河団成長、エネルギー収支を理解する上で重要な項目であるにもか

かわらず、長い間観測的な確認がなされなかった。

「すざく」で挑む電波レリックスの正体

このような背景の中、我々は日本の X 線天文衛星「すざく」の優れた性能に着目し、銀河団外縁部に存在する電波レリックス領域の銀河団プラズマの物理状態を明らかにすることで、その起源解明を目指した。「すざく」は高い感度、低く安定した検出器のノイズ特性を誇り、他の X 線天文衛星では困難な銀河団外縁部を観測する上で最適な衛星である。これまでに銀河団外縁部のみならず、太陽系内、銀河、中性子星、ブラックホール、超新星残骸と広範な領域で多くの成果を挙げてきた。「すざく」の詳細、またその成果に関しては、他の方々の記事（P.3 欄外脚注）をご参照願いたい。

ここでは、「すざく」の電波レリックス観測の一例として、“Sausage” レリックスの結果を紹介する。

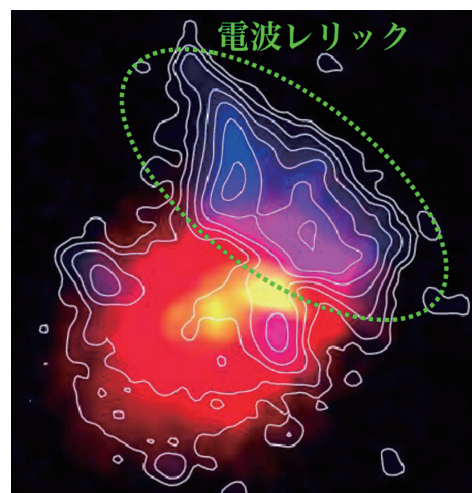
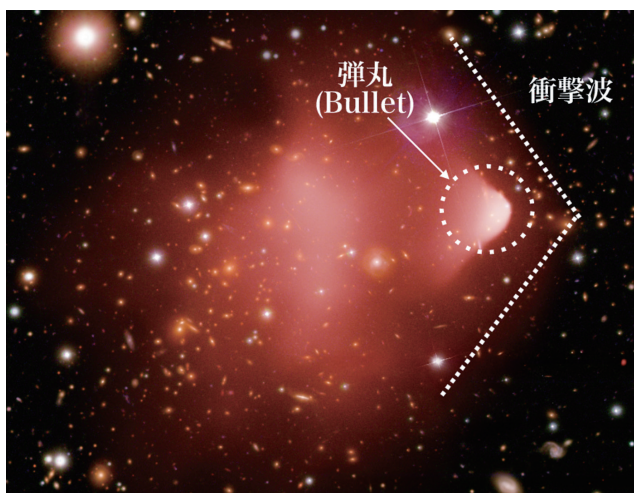


図2 左：りゅうこつ座に位置する弾丸銀河団(the Bullet cluster)として有名な 1E 0657-56 銀河団。白丸点線で示した領域が“弾丸 (Bullet)”。その前方に衝撃波の存在が確認されている。

右：衝突銀河団 Abell2256。赤、黄色が X 線放射を示し、青色 + 白等高線が電波放射を示す。銀河団外縁部（右上）に緑点線で囲われている電波放射領域を電波レリックスと呼ぶ。

<http://chandra.harvard.edu/photo/2008/bullet/> および

Clarke, T.E. & Ensslin, T.A., 2006, AJ, 231, 2900 を元に改変

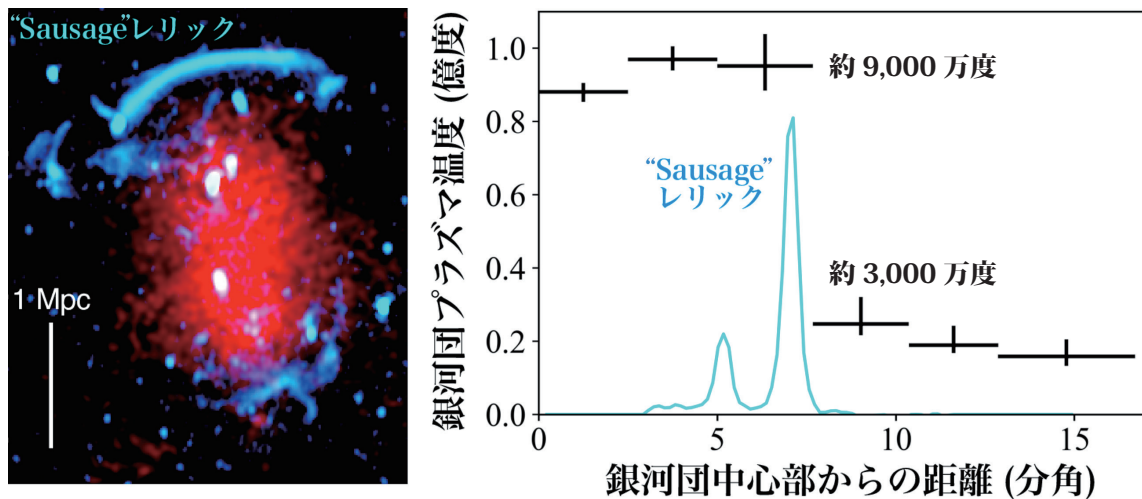


図3 左: “Sausage” レリックを有する CIZA J2218.0568 銀河団。赤が「すざく」によるX線、青が電波放射を示している。右: 「すざく」によって得られた銀河団温度分布。青が電波放射を表している。“Sausage” レリックを挟んでプラズマ温度が、急激に落ち込んでいることが見て取れる。

「すざく」による約5日間に渡る深い“Sausage”レリック領域の観測、銀河系由来の軟X線放射を精度よく制限するためのオフセット観測を駆使し、注意深く銀河団プラズマの特性を評価した。その結果、レリック領域を挟んで銀河団プラズマ温度分布に有意な不連続が存在することを確認した。これは、レリック領域に衝撃波が存在していることを示している。観測された温度低下は、9,000 万度から 3,000 万度に及び、マッハ数2～4 程度の衝撃波が Mpc スケールに渡って存在することを示した。これは、確認された銀河団中の衝撃波の中でも一、二を争う強度である。このような衝撃波の存在を、我々は他の電波レリックでも確認した。これらの結果は、先に述べた「電波レリックが、銀河団衝突により発生した衝撃波で加速された電子によって形成された」、というシナリオを観測的に実証したものである。

電波レリックに纏わる研究テーマを発展させるために、オランダの電波天文学者グループとともに「すざく」Key project 観測に応募し（審査のため、大雪で交通が麻痺している中、相模大野駅から宇宙研まで3時間掛けて踏破したかいもあって）、無事に採択された。

「すざく」Key project によって得られた観測データ、これまでに観測された電波レリックのデータを解析することで、電波レリックと衝撃波の対応関係を強固にしただけでなく、

- (1) X線観測と電波観測から求めた衝撃波の特性（マッハ数）が一致しない
- (2) 衝撃波統計加速理論に基づく確認された低マッハ数（ < 4 ）の衝撃波では、観測された電波放射強度を説明できない

という新たな問題点を浮き上がらせた。これは、これまで考えられてきた銀河団プラズマの加熱、加速機構が十分でないことを意味し、我々が見落としている物理過

程が存在することを示唆している。現在、「すざく」による結果を皮切りとして、上記の問題点を解決するために多くの理論的予測がなされている。その中には、従来よりも効率の良い加速機構の存在、すでにある程度エネルギーが注入されたプラズマの存在、といったものが挙げられており、観測的な裏付けが急務である。

以上のように、「すざく」による電波レリックの観測は、長年の謎であったレリックと衝撃波の対応関係を明らかにしたとともに、電波とX線のマッハ数の不一致といった単純な衝撃波加熱では説明できない新たな問題点を暴露出した。これらの問題点は、現在オランダで観測が進む低周波電波天文台 LOFAR、2020 年代初頭に稼働が予定されている次世代電波天文台 Square Kilometer Array、X-ray Astronomy Recovery Mission、そして現在筆者が開発に携わっている欧州の Athena 衛星によって明らかにできると考えている。問題解決の暁には、宇宙で最も劇的な天文現象である銀河団衝突に関して、より深い知見、描像が得られると期待している。

謝辞

本記事執筆の機会をいただいたのは、筆者が2017年3月18日に第11回日本物理学会若手奨励賞を授与されたことに関連します。筆者の学生時代から温かくご指導くださった石崎 欣尚准教授、大橋 隆哉教授、河原 創助教をはじめ共同研究者の皆様からのご支援、叱咤激励に深く感謝します。受賞理由となった研究は、「すざく」の素晴らしい性能なくしては成し得なかったものです。「すざく」衛星に関わられた関係者の皆様に心より感謝致します。

また、本研究において、オランダの電波天文学者とのコラボレーションが欠かせませんでした。日本学術振興会海外特別研究員制度のご支援に御礼申し上げます。

●以下の URL は、過去の ISAS ニュース「宇宙科学最前線」に掲載された関連記事です。併せてご覧ください。

- [1] <http://www.isas.jaxa.jp/j/forefront/2007/ishida/index.shtml>
- [2] <http://www.isas.jaxa.jp/j/forefront/2007/fujimoto/index.shtml>
- [3] <http://www.isas.jaxa.jp/j/forefront/2008/banba/index.shtml>
- [4] <http://www.isas.jaxa.jp/j/forefront/2009/oota/index.shtml>

- [5] <http://www.isas.jaxa.jp/j/forefront/2012/tamura/index.shtml>
- [6] <http://www.isas.jaxa.jp/j/forefront/2012/katsuda/index.shtml>
- [7] <http://www.isas.jaxa.jp/j/forefront/2014/hayashi/index.shtml>
- [8] <http://www.isas.jaxa.jp/j/forefront/2014/katsuda/index.shtml>

SS-520-4 号機 総括

平成 27 年度に経済産業省委託事業（民生品を活用した宇宙機器の軌道上実証）に研究開発提案が採択されたことを契機に、宇宙科学研究所は宇宙機器開発に関心のある民間事業者の方々と協力して、民生部品を多用した宇宙機器の軌道上実証プロジェクトをスタートさせました。これが「SS-520-4 号機計画」の始まりです。

現在の宇宙用の製品は、高信頼性・高品質ですが、用途が限られた少量生産品であるがゆえに、量産品とは単価が大きく異なります。そのため、専用品を組み合わせる宇宙システムは、とても高価なものになってしまっています。そこで宇宙機器の低コスト化のために民生部品の適用に着目しました。民生部品とは、いわゆる量産されている一般工業用の部品のことを指しており、宇宙機器向けの専用品ではないものと定義しています。我が国の経済を支える多くの企業は、品質に優れた製品を生み出し、また高い価格競争力を持っています。この安くて良質の部品・製品を宇宙用に上手に適用して本格的な低コスト化にチャレンジしよう、というのがこの研究開発の動機です。高品質で低価格のモノ作りに精通した企業の方々からお知恵を拝借し、新たな考え方にに基づく宇宙機器の設計、製造を行い、軌道上実証により上記の考え方を検証することがこのプロジェクトの目的です。また、このような活動を短期間に実行することも大切です。と言いますのも、最新技術の進歩は速いですから、最新です、と言った瞬間に古いものになっているからです。この研究開発はスピード感も大事なのです。

このプロジェクトの正式名称は「SS-520-4 号機開発プロジェクト」ではなく「超小型衛星打上げ機開発プロジェクト」です。従前より実施している観測ロケット実験ではなく、衛星打上げ実験を行う宇宙研の所内プロジェクトとして設置されました。搭載される衛星は、東京大学が開発の主体となっています。衛星は、約 10cm 角で長さ約 30cm の直方体であり、質量は 3.2kg です。いわゆる、キューブサットと呼ばれる超小型衛星で、名称は「TRICOM-1（トリコム・ワン）」です。この衛星には携帯電話などに採用されている小型のカメラモジュールや、通信用の部品を搭載しており、ロケットと同様に民生部品を多用して設計に取り組みしました。

宇宙研のプロジェクトチームメンバーは、日ごろ観測ロケットの運用に携わる職員を中心に編成されています。そして、観測ロケットでは通常は搭載されていない姿勢制御系機器の開発にも取り組むため、当該分野の専門職員も加わりました。平成 27 年度は基本的な設計検討を中心に進め、平成 28 年度には詳細設計の審査会を経て機器の製造に入りました。

12 月 20 日にイプシロン 2 号機の打上げが予定通り行われた直後に、我々プロジェクトチームメンバーが内之浦宇宙空間観測所に入り、フライトオペレーションが開始されました。前半は 12 月 30 日まで作業が行われました。正月休み明け早々に再び現地に戻り、最終機体

組立ておよび点検を終え、平成 29 年 1 月 11 日（打上げ期間の初日）を迎えました。当日の天候は晴天でしたが、夜明け前から風が強く、発射条件が整わなかったため、打上げを断念しました。その後、天候予測や対外調整等を踏まえて打上げ日の再設定が行われました。2 度目の機会は 1 月 15 日に設定されました。タイムスケジュールは午前 5 時に開始され、午前 8 時 33 分に SS-520-4 号機を発射しました。しかし、その約 20 秒後にロケットからの通信が途切れ、機体の姿勢状態がわからない状態に陥りました。その後も一向に状況が改善しなかったため、第 2 段ロケットへの点火信号の送出を断念しました。結果的に私たちは超小型衛星「TRICOM-1」の軌道投入に失敗しました。

宇宙研は、実験直後から速やかに原因究明チームを発足し、調査に乗り出しました。初期の調査において、通信異常は、搭載機器への電源供給が断たれた結果であることが分かりました。この結果に基づき FTA（故障の木解析）による発生要因分析を行いました。当初は原因をなかなか絞り込むことができず苦戦しました。搭載機器単体の調査、再現実験、回路図の調査、組立施工状況といった様々な角度から細部に渡って調べました。得た情報の中から、同時刻帯に発生した第 2 段ロケットのモータケースの歪計測データ異常が、今回の発生事象の推定原因を特定する上での大きなヒントになりました。この歪センサのデータ異常と、電源系統の異常が関係する部位の存在が明らかとなり、結果として発生事象を説明付けることができました。*

実験の失敗原因に関する調査結果報告を速やかに行うことができたのは、所内はじめ機構内外の多くの関係者のご協力が得られたことによります。そして、その結果として平成 29 年度に改めて「SS-520-5 号機実験」として 4 号機の再チャレンジを認めていただきました。原因究明の際には多くの時間を割いてご支援、ご協力をい

ただいた皆様に対し深く感謝するとともに、次こそは何としても成果を挙げて恩返しをしたいとの強い思いがあります。実務では JAXA の他部門から多くの支援を得て、5 号機プロジェクトのチーム全員が一丸となって開発を進め、次の打上げに臨みます。

（羽生 宏人）



SS-520-4 号機打上げの様子。

※ http://www.jaxa.jp/press/2017/02/20170214_ss-520-4_j.html

「宇宙探査実験棟」運用開始



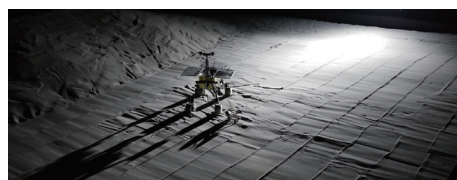
「宇宙探査フィールド」のパノラマ写真。中央部には、砂面から高さ1.5mの山地形がある。

宇宙探査実験棟は、宇宙探査にかかわる技術研究開発と、地上産業のオープンイノベーションを推進するため、人員と実験設備を集約した拠点となることを目指しています。最大の特徴は、月惑星の表面を模した、総量425トンの細かい砂を用いた400㎡の大型屋内実験場である「宇宙探査フィールド」(図写真)です。複数の探査ロボットをフィールド上に同時に配置し、協調探査や連携作業など将来の宇宙探査技術等の実験等を行うことができる世界最大級の設備となります。

「宇宙探査フィールド」は、部屋全体を暗室とすることができ、さまざまな角度からの人工太陽照明灯による照明環境模擬も可能です。また、利用している砂(天然乾燥珪砂)は、均一な性質で実験評価に適しており、湿度温度管理による結露対策で品質を維持します。室内が見渡せるコントロールルーム(二部屋)や、天井クレーン・

キャットウォーク等の補助的設備を整備し、運用性や利便性に配慮しています。実験棟には、宇宙探査イノベーションハブ、ISAS、施設部、関連業者等の関係者の創意工夫が盛り込まれた、充実した研究開発環境が整っています。

5月よりオープンイノベーション事業で採択された研究課題(参照:宇宙探査イノベーションハブ ホームページ*)の探査ロボット等の実験を始めています。今後、ご来場の皆様に2階の見学用通路より、広大な宇宙探査フィールドとロボット等をご覧いただく機会をもうけます。さらに将来には、大学や研究機関に広く解放し、日本の月・火星探査ミッション研究の中心的拠点として活用することや、国際連携を視野に入れています。宇宙探査実験棟から、新しい技術革新や魅力的なミッションが創出されることを願っています。(片山 保宏)



人工太陽照明灯により、低い太陽仰角の照明環境を模擬した宇宙探査フィールド。探査ロボットの影が長く伸びる。

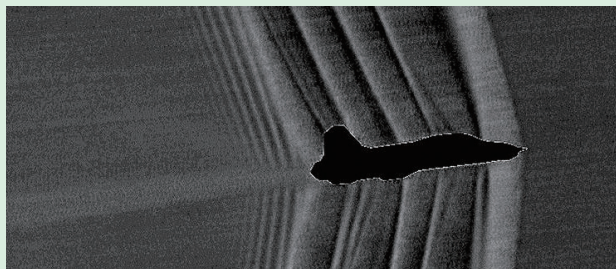
※ <http://www.ihub-tansa.jaxa.jp/>

Keyword

今月のキーワード

衝撃波

衝撃波とは、物体の速度が音速を超えるとときに発生する圧力の不連続面のことで、運動エネルギーを熱エネルギーなどへと変換する。衝撃波が超音速飛行機の前面に形成されている例(いわゆるマッハコーン)を下図に示す。



© NASA

宇宙空間で発生する衝撃波は、太陽系内、超新星残骸、銀河、はては銀河団といった宇宙最大の天体において確認されている。そのマッハ数は、2~10,000と多岐に渡っている。ここでマッハ数とは、衝撃波面に対して上流の流速が音速の何倍であるかを示した数値であり、しばしば、衝撃波の強度を示すことに使用される。流速が音速を超える(マッハ数が1を超える)と衝撃波が形成される。

理想気体(多くの宇宙プラズマが当てはまる状態)を考える上で、衝撃波の上流と下流の温度の関係式は、以下のRankine-Hugoniot方程式で記述される。

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{5M^4 + 14M^2 - 3}{16M^2}$$

T_1 、 T_2 は上流および下流の温度、 M がマッハ数である。宇宙空間の密度の小さいプラズマ中で起きる衝撃波に関しては、粒子間の衝突を介せずに電磁場と荷電粒子の相互作用が主な役割を果たすため、無衝突衝撃波と呼ばれる。無衝突衝撃波における加熱機構、粒子加速機構の理解は未だ宇宙プラズマ物理に残されている大きな謎の一つで、様々なスケールにおいて活発に研究が行われている。太陽系内の衝撃波に関しては、東京大学星野教授の記事^{*1}、国際ナショナルトップヤングフェローAdam Masters 博士による成果^{*2}、超新星残骸に関わる衝撃波に関しては、立教大学内山教授の記事^{*3}を参照願いたい。(赤松 弘規)

*1 http://www.isas.jaxa.jp/j/column/inner_planet/10.shtml

*2 <http://sprg.isas.jaxa.jp/researchTeam/spacePlasma/results/AdamNatPhys1302-2.pdf>

*3 <http://www.isas.jaxa.jp/j/forefront/2007/uchiyama/index.shtml>

「ASTRO-H プロジェクト」終了について

2016年10月から2017年3月にかけて「ASTRO-Hプロジェクト」の終了審査を実施し、3月末をもってプロジェクトは解散となりました。終了審査は、プロジェクト立案段階から運用停止までの活動を振り返り、教訓・知見・成果を確認するとともに、今後の科学プロジェクトを確実に実施するための課題・措置事項を明確にすることを目的とし、実施部門であるISASでの審査と経営的な視点からのJAXA経営審査の2段階で行われました。

ISAS 終了審査では、「ASTRO-H 異常事象調査報告書」の内容に加え、下記の事項を確認しました。

- ・今後のプロジェクトへ反映すべき特記事項
- ・機構横断的に継承すべき教訓・知見
- ・X線天文衛星代替機への申し送り事項

科学成果については一部得られてはいるものの、衛星運用を初期段階で断念したことを踏まえ、所期のプロジェクト目標は達成できなかったと評価されました。一方、各観測機器において軌道上で得られたデータより、達成に必要な性能が得られていることが確認できました。

特に軟X線分光検出器 SXS が、NASA との国をまたいだ共同開発においてしっかりと連携した結果、軌道上で性能を実現したことが技術成果として特筆されています。

経営審査では、JAXA が ASTRO-H 運用異常で得た教訓を今後に活かし、先進化・多様化が進む宇宙科学・探査ミッションに対して挑戦し続けることのできる組織となるために、以下の課題（要処置事項）が挙げられました。

- (1) ISAS の強みを活かした確実なミッション達成と成果の最大化
- (2) プロジェクト立上げ時の審査・評価の強化
- (3) プロジェクト移行後のマネジメント強化
- (4) 大学等外部機関との関係拡大・強化
- (5) プロジェクトに従事する教育職のキャリア構築・人材育成

今後、これら要処置事項の措置、得られた教訓の継承・対処を進めるとともに、別途定める新たなプロジェクトマネジメント規程・実施要領の順守を確実にする取り組みがJAXA全体で推進されます。

Ｘ線天文衛星代替機については、2016年10月にプリプロジェクト準備チームが発足し、プロジェクト化に向けて申し送り事項および上記の対策を行い、代替機プロジェクトを確実に実施するための準備活動を進めています。
(久保田 孝)

JAXA 相模原キャンパス 特別公開 2017

通常の見学では見ることができない施設の公開や、最新の研究内容をわかりやすく紹介します。衛星やロケットの模型展示、工作・実験など子どもから大人まで楽しめるイベントが盛りだくさんです。

日 時	2017 年 8 月 25 日 (金)・26 日 (土) 10 時 00 分～16 時 30 分 (両日共)
会 場	JAXA 相模原キャンパス／相模原市立博物館／東京国立近代美術館フィルムセンター 相模原分館／相模原市立共和小学校
交通アクセス	● JR 淵野辺駅南口より直通の無料送迎バスが運行されます。(特別公開当日限定) ● 当日はたいへんな混雑が予想されます。できるだけ公共交通機関をご利用ください。
問 い 合 わ せ	JAXA 宇宙科学研究所 広報 〒252-5210 神奈川県相模原市中央区由野台 3-1-1 TEL：042-759-8008

アクセス



JR横浜線「淵野辺駅」南口下車徒歩20分

※徒歩でご来場の際は、地図上の……線のルートを使うと便利です。

「スピンは悩みの種」

●構造系担当 竹内 伸介

「ヤバいと思っていたものの中にはありましたか？」ですが、衛星喪失につながりかねない危惧があったのは衛星分離から太陽電池パドル展開までのニューテーションダンパー（ND）周りでしょうか。とは言っても心配していたのはERG側の計算ではなく、イプシロン側の初期値の方です。ERGは1Hz弱の高速スピンのイプシロンロケットから分離されますが、地上の試験では重力補償などの関係からスピン形態での分離擾乱を精密に測るのが難しく、過去の知見（今までスピン分離で大きく擾乱が増えたことはない）に頼らざるを得ない部分があります。過去の衛星では小さいD-subのコネクタが多数分離機構近傍に配置されていることが多かったのですが、イプシロンになってからは比較的大きなDBASのコネクタが2個半径方向にかなり離れた位置にありますので、これが変な干渉を起こして分離時に大きく姿勢が乱れないか、というのが一番の心配事項でした。結果的には無事初期運用に入れたので、杞憂で良かったというところでしょうか。

構造担当の仕事は、設計評定になるのが主に打上げ時の荷重であり、また衛星の大枠の入れ物を作る・その中に入る各搭載機器の設計条件を決めるという関係上、他の担当の方と時間軸がずれていることが多いです。ERGの構造としての試験（MTM）が始まったのは2013年の夏で、前の「ひさき（当時はSPRINT-A）」の打上げと並行していました。MTMが終わって構造設計を確定し、各搭載機器の機械環境条件を調整・設定すれば、通常は構造担当としての仕事のかなりの部分は完了で、後は問題発生時の対応が主な仕事になります。ERGではその後も伸展物関連やスピン衛星特有の運動関連等々で要検討事項が発生し、色々勉強させてもらいました。特に先述のND関連の話は、最初からもっと扁平な形状に衛星を作れば全く問題は起きない事は分かっていましたが、コスト等の関係で実現できず、様々な検討が必要になりました。結果的には問題をクリアでき、その過程で色々な計算手法など次のSLIM等に生かせる技術が蓄積できたので、良かったと思います。「ひさき」では打上げ後第一可視で太陽電池パドルが展開して電力が発生していれば構造担当の仕事はほぼお役御免だったのですが、ERGでは伸展物がありクリティカルフェーズの運用まで参加させていただき、これも良い経験になりました。定常運用に入ってしまうと構造は完全に用無しで寂しい限りですが、ERGで得た経験を基に、次の衛星・探査機・ロケットの構造担当の仕事を進めていきたいと思っています。

（竹内から丸 祐介さんへ）

SPRINT-A と ERG のバスの違いは、スピン衛星ということに加えて、推進系の有無という側面もあります。ERG から追加になった推進系の具合はいかがだったでしょうか。

「初めての衛星開発プロジェクト（ERGで良かった）」

●推進系担当 丸 祐介

私は、スペースプレーン用の空気吸込式エンジンの開発研究を行っていた研究室の出身で、私の専門は推進系だと思っています。しかし、「推進系を研究対象としている」ことと、「衛星の推進系サブシステムを担当する」こととの間には大きなギャップがあり、私のERG推進系開発は、右も左もわからない中を、たくさんの人に助けてもらい勉強しながら進めてきました。なので、竹内さんからのお題のような、大局的な視点の感想を持ち得る余裕はなかったのが正直なところですよ。

感じたギャップは、端的に言えば、モノを開発して運用するまでを一通り行うには、幅広い知識が必要である、ということです。当たり前ですが、全ての目的は、衛星の正常動作です。動かすところまでやるためには、例えば、単に流体的に推力が計算できたりするだけでは不十分で、構造や熱といった機械的な部分はもちろん、バルブの動作などに関連して電気的な見識も必要となります。さらに、品質保証や機能検証の考え方も重要です。この見識の広さの観点で力不足を感じることも多々ありました。ただ、これらを全て一人でカバーする必要はありません。私が不甲斐ないからかもしれないかもしれませんが、ERG推進系は、本当にたくさんの人が親身に携わってくれました。メーカー／JAXA、システム／他サブ（特に構造、熱）／推進系、プロジェクト内外、にかかわらず、それぞれの立場で、またときには立場を超えて、作業、支援、指示、助言を頂きました。ERG推進系の成功は、このように多くの人に関わってもらえた結果だと思っています。

私の中でのクライマックスは、第一可視で打上げ後最初にテレメータが降りてきたときです。打上げ前にはオフノミナルなテレメを想像して、判断や対処を悶々と考えていましたが、目に入ってきたデータは正常動作が確実に判断できるものでした。思えばもう5カ月も前のことなのですが、そのときの興奮は昨日のことのように思えます。

ERG推進系は、クリティカルフェーズの最後に遮断弁を閉じて出番を一区切りしています。私自身は行くことはほとんどなくなってしまいましたが、運用室では今日も素晴らしい科学データが次々と生み出されていることと確信しています。



推進系射場作業のメインイベント、推進充填は準備も慎重に行いました。スクープスツールの機能確認は、プロジェクトの安全担当、仁田さんに体を張っていただきました。

（丸から宮澤 優さんへ）

宮澤さんは打上げ直前に、万全の電源系を残して産休に入られ、打上げ直後に無事ご出産なさいました。その間、ERG打上げはどのように迎えられたのですか？

《次号に続く》



プロジェクトは「人」

JAXA 名誉教授

向井 利典 (むかい としふみ)

ジオテイル衛星が間もなく四半世紀を迎える。この衛星は1980年代半ば、宇宙科学研究所と米航空宇宙局(NASA)の国際協力プロジェクトとして発足し、1992年7月24日、米国フロリダからデルタIIロケットで打ち上げられた。ジオテイルは1990年代の磁気圏物理学の世界で最大の成果を出したミッションと評価されたが、今もほとんどの観測装置が元気に意義ある観測を続けている。2年ほど前、この衛星開発や運用に貢献していただいた方々に往時の思い出を綴っていただいた文集『GEOTAIL 衛星計画を振り返る』*が出版された。

プロジェクトの成功には色々な要因があるが、この文集から、プロジェクトはまさに「人」ということが感じられるであろう。強力なリーダーシップの下、仕事に応じた適材を如何にして集めるか、その人たちが能力を発揮できるような組織作り、マネジメントが重要である。人は信頼されることによって能力を発揮し、その結果、成長する。Managementとはmanをage(成長)させることと思う。さらに、科学衛星の場合、その観測結果を使った研究から多くの若手科学者が育つ。「ジオテイル」や「あけぼの」で育った宇宙プラズマ物理学分野の研究者がその後の「のぞみ」や「かぐや」で活躍し、さらに「れいめい」、「あらせ」に引き継がれている。しかし、そのような理学の研究者だけでは衛星開発は難しい。衛星開発に必要な専門分野は通信、電源、軌道・姿勢制御、電子部品、材料、熱工学、構造力学といった様々な工学であり、プロジェクトのバックボーンを担うのはSystems Engineering(SE)である。糸川英夫先生は「SEは焼き鳥の串である」とその本質を喝破したが、最も重要なことは“Think about the end before beginning.”(レオナルド・ダ・ヴィンチの言葉)である。特に、打ち上げてからでは修理の利かない衛星の場合、打ち上げ時や軌道上での様々な不具合モードを想定し、できる限りの対策を講じる必要がある。理屈の上では誰でもそのようなことを考えられそうだが、実際には、何をどのように考え、どのような方策を立てるかは経験によって大差がある。昔の科学衛星では1つの宇宙科学分野の衛星プロジェクトが数年毎に立ち上げられ、若い時からプロジェクトのライフサイクルを経験していく機会に恵まれたが、最近ではそのような人が少なくなってしまった。

私はとっくの昔に現役を引退した身であるが、ERG(「あ

* http://sprg.isas.jaxa.jp/researchTeam/spacePlasma/mission/GEOTAIL/geotail_team_gathering.html

らせ)の衛星計画が始まった頃はJAXAのCEオフィスに所属し、独立的な立場でプロジェクトの審査に関わった。当時、まだ第一号小型科学衛星「ひさき」の打ち上げ前で、衛星のシステム担当の工学研究者はそちらにかかりっきりになっていて、この衛星チームの主力は理学の宇宙プラズマ研究系の研究者だけであつたと記憶している。その中に「のぞみ」や「れいめい」の観測装置担当の経験者はいたが、私から見るとかなり危うそうな構成だった。多分、宇宙研の中枢部も同様に考えたのか、プロジェクト開始後、徐々に一般職の人材を補強し、その後、教育職メンバーも追加され、マネジメント体制が強化されていった。しかし、そのほとんどが若手で衛星開発プロジェクトの中心メンバーを経験した人はいなかった。一方、昔の科学衛星と大きく違うのは、プログラムオフィスや独立評価チームの存在と審査会である。昔の科学衛星に比べると、審査会のために膨大な資料作成があり、プロジェクトチームにとってはうるさい外野のように思われるかもしれないが、プロジェクト遂行で抜け落ちの無いようにするための支援体制である。本来、審査会資料の大半は日常的に作成したものを整理・アーカイブするだけになるのが理想であるが、実際にはそういうわけにいかず、それらへの対応を通じて経験の浅いプロジェクトメンバーが何をどのように考え、対処すべきかを会得する機会になっているのが実情である。ERG衛星のプロジェクトも同様な状況であつたと思うが、当初はほとんど手探りに近い状態だった若手も自分で考えながら仕事を進めていき、大きく成長したように思う。特に、「ひとみ」の事故を受けて衛星開発に経験豊富なシニアチームによる総点検が行われ、プロジェクト



ジオテイル打上げ数時間前の記念写真(右が筆者)。

メンバーは大変であつたと思うが、結果的には大きな自信を得たにちがいない。彼らはその経験を糧に今後さらに成長していくものと確信している。

ERG衛星は昨年12月20日、イプシロン2号機によって成功裡に打ち上げられ、「あらせ」と命名された。その後の運用も非常に順調のようで、これから続々と新しい成果が出てくるものと期待している。



ISASニュース No.435 2017年6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

〒252-5210 神奈川県相模原市中央区由野台 3-1-1 TEL: 042-759-8008
本ニュースは、インターネット(<http://www.isas.jaxa.jp/>)でもご覧になれます。
デザイン制作協力/株式会社アドマス

編集後記

欧州宇宙技術研究センターでBepiColomboの機械環境試験がはじまりました。初めて打上げ時と同じ姿が現れました。さすがに感動です。来月以降のレポートをお楽しみに。

(小川 博之)

*本誌は再生紙(古70%)、
植物油インキを使用しています。

R70
古紙/パルプ配合率70%再生紙を使用

VEGETABLE OIL INK