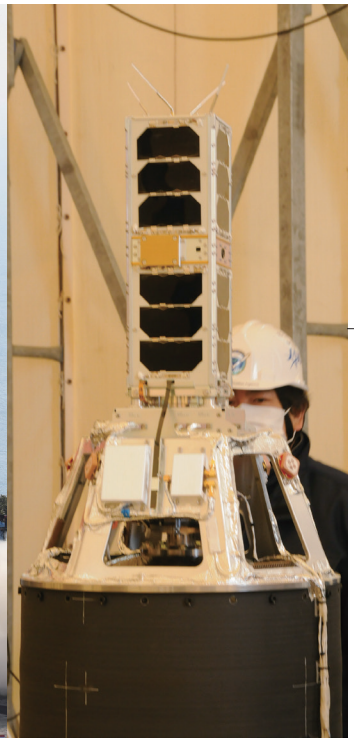
ISSN 0285-2861

ISASニュース

JAXA宇宙科学研究所

2018
3
No.444



**SS-520 5号機
打上げ成功**

１年掛けて苦労して作り上げた機体は一瞬にして空に向け一直線に飛んでいきました。その間、管制室内の空気は張りつめ、大変息苦しいものでした。「衛星電波受信しました」の一報に大きな拍手と歓声があがり、私たちはようやく大事な１歩を踏み出すことができました。一同で歓喜の瞬間を共有できたことは大きな財産です。写真の通りとても小さな衛星は、世界最小級ロケットで軌道投入され、今でも軌道上でしっかりと仕事を続けています。

宇宙科学最前線

ISS搭載カロリメータ型宇宙電子望遠鏡 CALETの初期観測成果

早稲田大学理工学術院総合研究所／物理学科 教授
鳥居 祥二（とりい しょうじ）

はじめに：CALET プロジェクト

CALorimetric Electron Telescope（CALET）は国際宇宙ステーション（ISS）日本実験棟「きぼう」（JEM）船外実験プラットフォーム（EF）のポート占有ミッションで、日本が主導するイタリア、米国との国際共同プロジェクトです。2015 年 8 月 19 日に「こうのとり」５号機で打ち上げられ、その後２年間の定常運用は極めて順調に実施され、現在は後期運用フェーズに入っています。

CALET による科学観測

CALET が目指す高エネルギー宇宙線の研究は、粒子の生成・消滅という素粒子物理学・原子核物理学と、粒子の加速・伝播という宇宙物理学の２つの視点から行われています。宇宙の構造や個々の天体現象の総合的な理解のためには、可視光、赤外線、X 線、γ 線などの電磁波の観測に加えて、宇宙線の観測を行い、天文学的な宇宙像と素粒子的な宇宙像の双方を解明することが不可欠です。

しかしながら、宇宙線のフラックスはエネルギーとともに急激に減少するため、エネルギーが高くなるほど観測装置は大規模かつ高精度という、相反する要求を満足させる必要があります。このような測定技術上の困難さにより高エネルギー宇宙線の研究は未開拓な領域であり、宇宙科学に残されたフロンティアの一つとなっています。特にテラ電子ボルト（TeV）以上の電子や陽子、原子核には新発見を含む飛躍的な成果が期待されています。CALET はこれらの観測に加えて、高エネルギーガンマ線や太陽活動の変化によって変調を受けた電子、及び重力波源を含む X 線・ガンマ線トランジェントの観測を同時に行います。このように、CALET は惑星間空間から銀河系外にいたる全宇宙の領域で、いわば「宇宙線天文台」として多様な高エネルギー宇宙像の系統的な解明を目指しています。

観測装置の特徴

CALET は、図 1（左）に示すように日本実験棟「きぼう」船外実験プラットフォームに設置されており、主検出器であるカロリメータとガンマ線バースト検出器（CGBM：CALET Gamma-ray Burst Monitor）によって構成されています（図 1 中央）。カロリメータは、名前が示す通

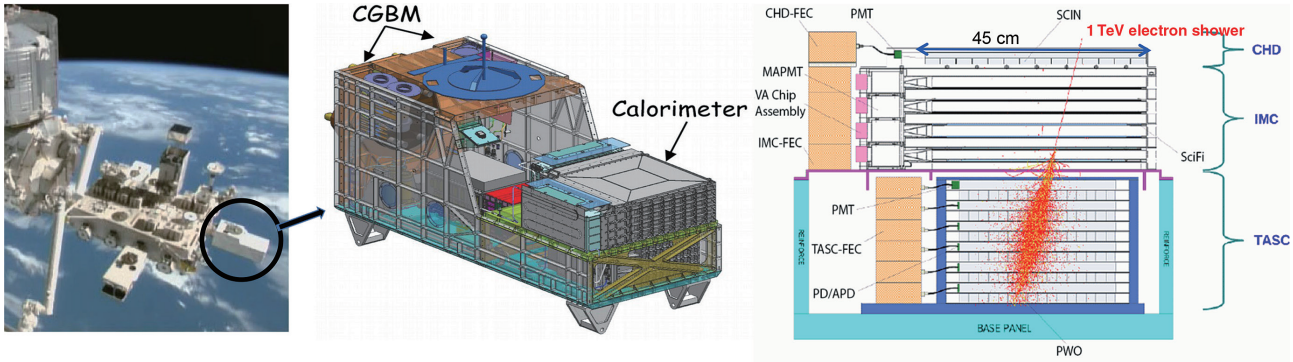


図１　JEM-EFに取り付けられたCALET(左)とCALET概念図(中央)と1TeVの電子シャワーのシミュレーションを記入したカロリメータの側面概略図(右)。

り電子観測に最適化されていて、垂直方向に 30 放射長（X_0）、及び 1.3 陽子相互作用長（λ_I）の厚さがあります。装置最上部に設置した電荷検出器（CHD）により入射粒子の電荷量を測定し、エネルギー測定や電子 / 陽子識別などは、イメージングカロリメータ（IMC）と全吸収カロリメータ（TASC）によって行われます。

図１（右）には、カロリメータの側面からみた概略図と 1 TeV 電子のシミュレーション例が示されています。このように、TeV 領域の電子シャワーがほぼ完全に装置内で検出可能であることから、従来の装置にはない卓越した電子／陽子選別性能（10^5）とエネルギー分解能（～２％）を実現しています。

観測運用と軌道上装置較正

CALET の軌道上運用のため、JAXA つくば宇宙センターと早稲田大学にそれぞれ地上局（JAXA-GSE）と CALET 運用局（Waseda CALET Operations Center; WCOC）が設置されています。観測データは、NASA のリレー衛星（TDRS）と地上局を経て JAXA 地上局にて受信され、同時に WCOC に転送されます。

軌道上で得られた観測データは、恒常的に経年変化等に対する較正を行うことにより、電子観測では 30 GeV 以上で２％のエネルギー分解能が達成されています（Astroparticle Physics, 2017）。入射粒子の電荷分解能は、素電荷を単位として陽子で 0.1、CNO（炭素・窒素・酸素）では 0.15 で、Fe（鉄）の領域まで 0.28 が達成されています。その他の観測性能も同様な装置較正により長期間の安定性が確認されています。

科学観測目的と初期成果
高エネルギー電子

カロリメータでは、１GeV-20 TeV のエネルギー領域で 電子＋陽電子（全電子）スペクトルを精密測定することにより、太陽系近傍にある加速源や暗黒物質の探索に挑戦するとともに、超新星残骸における衝撃波加速機構と銀河内拡散過程を記述する「標準モデル」を高精度に検証することも目指しています。

電子は銀河磁場によるシンクロトン放射と星間光子による逆コンプトン散乱により、エネルギーの２乗に比例してエネルギーを失うため、TeV 領域で観測される電子加速源は近傍（1 kpc 以内）かつ若い（10 万年以内）天体に限られます。そのような条件を満たす加速源の候補である超新星残骸は、Vela、Monogem、Cygnus Loop の３天体のみであり、これらの天体において TeV 領域まで加速された電子を初検出することが期待されています。

さらに、PAMELA や AMS-02 ※1 は、10 GeV 以上で陽電子の過剰を示すデータを報告しています。これは、未知の陽電子加速源の存在を強く示唆しています。その候補としては、パルサー説と暗黒物質説がありますが、いずれの場合も電子・陽電子対として、陽電子と同量の電子が生成されるため、全電子フラックスの過剰が CALET によって観測されることが期待されます。

CALET は、図２（左）に示すように、3 TeV に至る全電子エネルギースペクトルの直接観測に初めて成功しています（Physical Review Letters, 2017）。図２（右）は実際に観測された 3.05 TeV の電子の候補例です。今回の結果は測定原理の異なる AMS-02 と 1 TeV 以下で一致しており、双方の系統誤差が正しく評価されていることを示しています。また、これまでの限界を更新し、TeV 領域でのフラックスが急激に減衰を示す（カットオフ）構造や、数百 GeV から 1 TeV におけるスペクトルに単純なべき型形状からずれる微細構造の存在を示唆する結果が得られています。今後も観測を継続して統計量を 1 桁程度増やし、優れたエネルギー分解能を活かして TeV 領域での近傍加速源や暗黒物質に由来するスペクトル構造の有無を決定することが期待されます。

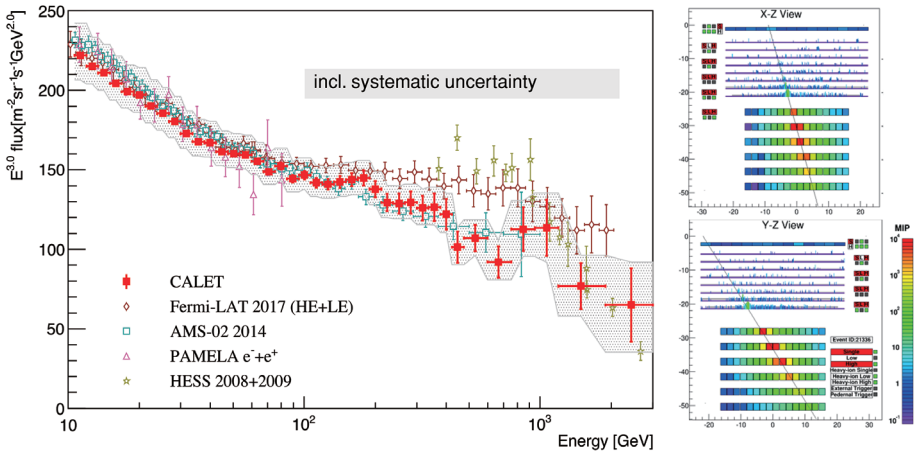


図２　約 1.7 年間の観測データの 55%を解析して得られた CALET の全電子エネルギースペクトル（PRL 119（2017）181101）の結果とこれまでの観測結果。右図は 3.05TeV の電子観測例を、X-Z（上）および Y-Z 面（下）で示す。色は各センサーで測定された粒子数を示す。

※１　PAMELA、AMS-02 はマグネットスペクトロメータを搭載した宇宙線検出器であり、電荷の正負を区別することが可能。

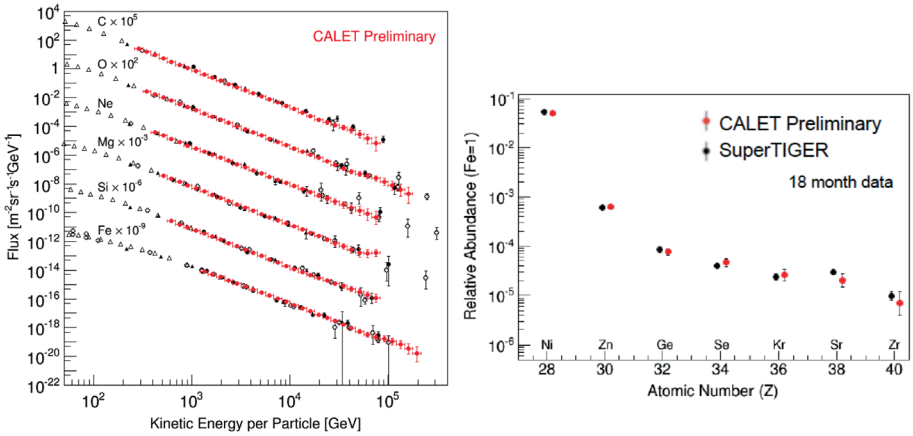


図３　主要な重原子核のエネルギースペクトル（左）と超重核（Z=28-40）の鉄核（Z=26）に対する割合（右）の初期的な観測結果。

陽子・原子核＋超重核

CALET では、６桁の範囲に及ぶエネルギー測定により、陽子・原子核について粒子あたり１PeV（＝ 10^3 TeV）までの測定が可能です。この領域では、“Knee” の原因と考えられている、超新星残骸における衝撃波加速の上限エネルギーが、原子核の電荷に比例して検出されることが期待されています。さらに、最近の PAMELA、AMS-02 および CREAM※2の観測から報告されている、陽子及びヘリウムのエネルギースペクトルが 200 GeV 以上で単純なべき型形状に対してハードになっている現象を、高精度に観測できる性能があります。

これまでの観測から、まだ初期的な結果ですが、図３（左）に示すように主要な原子核成分について、100 TeV 領域までスペクトルを得ることができることが確認されており、高精度なデータ解析が進行中です。今後の解析により、原子核成分を含むスペクトルの硬化や、伝播機構の理解に不可欠な二次核と一次核の比（ここではホウ素／炭素比）のエネルギー依存性について、新たな成果の発表を予定しています。さらに、超重核について存在比が Zr（Z＝40）まで観測されており、図３（右）※3に示すような初期的な結果が得られています。

高エネルギーガンマ線

CALET は 1 GeV から TeV 領域においてガンマ線の検出性能を有しています。明るいガンマ線源はもちろん、フレアを起こす天体の検出や、銀河内拡散成分の観測が TeV 領域まで可能です。ISS の軌道に伴う観測領域の制限により、銀河座標系における検出感度が全天に対して不均一ですが、銀河中心や反中心領域の観測が可能です。これまでに、Crab、Geminga、Vela パルサーをはじめ、変動天体である活動銀河核 CTA102 などの点源や、銀河内拡散成分が観測されています。これらのフラックスは、Fermi/LAT の結果と誤差内で一致しており、CALET の観測性能が正しく検証されています。

ガンマ線バースト（GRB）と重力波源天体探査

CGBM は、約 7 keV ～ 1 MeV の帯域を観測する硬 X 線モニター（HXM）２台と約 100 keV ～ 20 MeV の帯域を観測する軟ガンマ線モニター（SGM）から構成されています。CGBM のトリガーにより、カロリメータで 1 GeV 以上の GRB 成分の検出が可能で、７keV から TeV 領域までの超広帯域の観測を目指しています。

CGBM はこれまでに期待通りの頻度（約１例／週）で GRB を検出しています。そのうち、継続時間が２秒以下の短い GRB が約 20%、その他が長い GRB と判定されていて、この割合は他の観測とよく一致しています。

短い GRB は、中性子星同士あるいはブラックホールと中性子星との衝突合体により発生するという説が最も有力であり、重力波を伴う短い GRB 観測は、CGBM の当初からの目標の一つでした。

CGBM とカロリメータは、広視野と相俟って重力波対応天体の探索にユニークな役割を果たすことが可能で、すでに２番目の重力波イベント（GW151226）についてＸ・γ 線放射の上限値を報告しています（ApJL, 2016）。この重力波はブラックホール連星の合体とされており、電磁波放射を伴わないという CALET の結果と整合しています。最近の中性子星連星の合体と思われる GW170817 は、CGBM（及びカロリメータ）の視野外でしたが（ApJL, 2017）、今後の重力波対応天体探査に期待が持てます。

太陽活動に伴う電子

太陽活動の長短期変動に伴い、地球磁気圏の電子フラックスが変動します。新たな展開として、Relativistic Electron Precipitation（REP）と呼ばれる、バンアレン帯から大量に放出される MeV 電子とそのフラックスの特徴的な高速振動が ISS で初めて、CALET によって検出されました（GRL, 2016）。今後は、REP の連続観測により、宇宙天気予報の高精度化に必要な電磁イオンサイクロトロン波（EMIC）の解明も期待されています。

まとめと今後の展望

CALET は期待通りの性能を発揮して順調に観測が行われており、当初目的の TeV 領域電子の高精度観測が達成されています。加えて、原子核やガンマ線の観測においても、データ解析の進展により大きな成果が期待されます。重力波に付随した電磁波の観測など突発的現象に対する観測において、重要な貢献が期待できます。所期目的の達成には、いずれの観測においても長期間かつ安定的な観測運用が不可欠であり、少なくとも５年間の観測期間を確保したいと思っています。

● 共著
浅岡 陽一（早稲田大学理工学術院総合研究所 次席研究員）
森　正樹（立命館大学理工学部 教授）
吉田 篤正（青山学院大学理工学部 教授）

※２　NASA の南極周回気球に搭載されたカロリメータ型の検出器で、これまでに６回の観測を行い最も長い観測時間を達成している。
※３　図中 SuperTIGER とあるのは、超重核測定においてもっとも高性能な南極周回気球搭載装置。

「あらせ」最初の科学成果論文と定常観測の１年

脈動オーロラの起源を「あらせ」（ERG）が解明

極域の夜空を舞い乱れるオーロラには様々な形態がありますが、なかでも特徴的なひとつが、数秒から数十秒の周期で明滅を繰り返す「脈動オーロラ」です。このタイプのオーロラを引き起こす電子の起源として、「放射線帯に捕捉された電子が、ある種の電磁波動（コーラス波動）による散乱を受けて大気に降り込む」という説が提唱されてきましたが、肝心の「コーラス波動の出現に合わせて電子が散乱される様子」を捉えるには、過去の観測では角度分解能が不足しており、実証の決定打を欠いていました。その点、ERG 搭載の電子分析器 MEP-e（参照：ISAS ニュース 2017 年 12 月号「ERG プロジェクトリレートーク」）は、十分な角度分解能を持っており（そのように設計しました）、コーラス波動と散乱電子の間の驚くほど明瞭な相関を捉えることができました。さらには、電子散乱を観測している現場から磁力線を辿って電離圏まで行った先（＝散乱電子の降り込む先。フットプリントと呼びます。）で地上の全天カメラが脈動オーロラを視野に捉えていた、という ERG の神通力的な強運にも乗り、冒頭タイトルのニュースに至りました※1（図１）。論文執筆にあたっては、ERG プロジェクトに青春の一端を捧げた、あるいは高いプロ意識のもと粛々と確実に職務を全うされた JAXA・メーカ・大学の方々の顔が次々に浮かび、このプロジェクトの輪に加われたこと、そしてその成果の末端を担えることの喜びに、震える思いでした。

（笠原 慧）

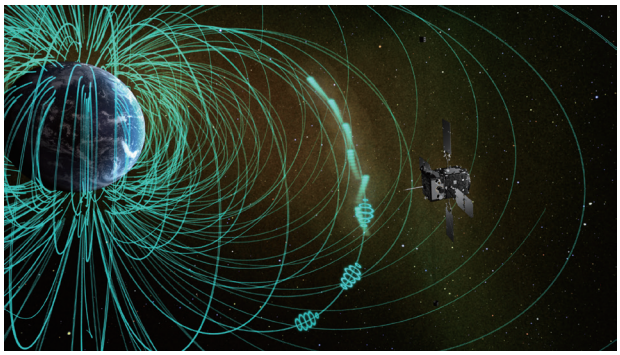


図１　ERGによる放射線帯領域の波動・粒子観測の概念図。
©ERG science team

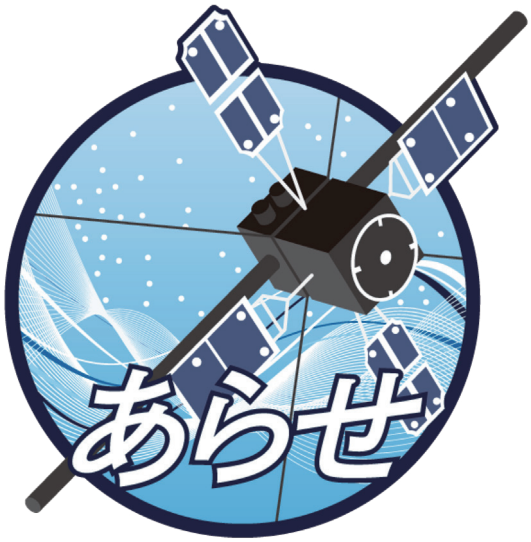
「あらせ」定常観測開始から１年

クリティカルフェーズ中の 2017 年３月初旬、「あらせの観測データを見る会」が開かれました。15 年以上前からずっと夢見ていた観測データが目の前に現れ、心から感動、興奮しました。６台の粒子観測器は、まだ未較正の状態にもかかわらず、低エネルギーから高エネルギーまで連続したとても美しいデータを取得し、すでに多くの現象をとらえていました。電磁場観測のデータもとても高いクオリティで、さっそくコーラスの音も披露されていました。PWE（プラズマ波動・電場観測器）チームの笠原 禎也さん、小嶋 浩嗣さんから「この衛星、EMC※2対策の成果で、ノイズが少なくてとてもきれいなデータです」と言われたことが、とても印象に残っています。プロジェクトメンバーが魂を込めて作り上げた「あらせ」が、そのパフォーマンスをいかんなく発揮しつつあることに感動しました。打上げを目の前に急逝された小野 高幸先生に、ぜひこのデータを見ていただきたかったと思いました。

３月 24 日からの定常観測移行後、ただちに連携地上観測キャンペーンが始まりました。PI チームの尽力によって、「あらせ」の全観測器が 24 時間連続観測に移行し、地上観測チームは、世界各地に赴いてカメラ等の機器の準備を進めました。衛星と地上観測の連携観測が成果をあげるためには、最適な場所で最適な観測を行う必要がありますが、そのための計画立案も、運用にかかわる多くの方たちが運用室に泊まり込みで準備しました。そして３月最終週、高速の太陽風の到来とともに宇宙嵐が発生し、北欧、北米上空でオーロラが乱舞し、その上空に「あらせ」のフットプリントが来て衛星と地上の同時観測が実現するという、多くの努力が実を結び、一念通天ともいうべき幸運な観測が実現しました。これまでのプロジェクト全員の努力と想い、また運用にかかわる方たちが寝食を忘れて機動的な運用を行った尽力が届いたものだと思っています。その成果の一部は、さっそく『Nature』に報告されました（上述の記事）。

2017 年９月の太陽フレアに伴う宇宙嵐の観測をはじめとして、これまで多くの現象の観測に成功し、海外との共同観測も精力的に行っています。これからもプロジェクト一丸となって成果をあげられるよう努力していきますので、引き続き、みなさまのご支援をよろしくお願いいたします。

（三好 由純）



打上げ１周年を記念して、2017年12月にお披露目した新しいロゴマーク（製作：グラフィックデザイナー相川（あいかわ） 洋慧（ひろえ）さん）。打上げ後に決まった愛称「あらせ」とともに、衛星の背景には波動と粒子の相互作用をイメージした模様が入っています。これまでのロゴと同様、今後、様々な場面で登場していきます。

※1　論文掲載 URL：https://www.nature.com/articles/nature25505
※2　EMC（電磁適合性）は、電子機器が発する電磁妨害が他の機器に影響を与えず、また他の機器から電磁妨害を受けても性能を維持する耐性のこと。ISAS ニュース 2017 年８月号　ERG プロジェクトリレートーク参照

超小型衛星打上げ実験の失敗、そして成功

2018年2月3日にSS-520 5号機を打ち上げ、搭載されていた東京大学が開発したTRICOM-1R（愛称：「たすき」）は、無事所定の軌道に投入されました。

この実験は、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）への研究開発提案および採択により、宇宙研が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としてスタートしたものです。残念なことに、昨年打ち上げた4号機は、ロケットの飛翔中に電気系統の不具合が発生したため、第2段ロケットの点火を断念して、実験を中断しました。

実験失敗というニュースが宇宙研に衝撃を伴って駆け抜けていきました。実験直後から宇宙研やJAXA内の有識者を巻き込む形で原因究明に取りかかりました。確認した事象は1秒間に満たない経過時間の中で発生しており、極めて少ないフライトデータを手掛かりに発生した事象の推定をしなければなりませんでした。当然、調査は難航しました。データから分かっていたのは、主にはテレメータ送信機への電源異常、第2段モータの歪センサ出力異常でした。テレメータ送信機は、ロケット機体周りの計測データを地上に伝送する役割を担っており、ここが機能しないと手も足も出ません。打上げ時の状況は地上から記録された光学映像でも確認できましたが、解像度には限界があり、事象発生の時刻帯の状況を正確に確認することができませんでした。私たちは、原因究明のために頻繁に用いられるFTA（故障の木解析）の作業を進めました。これと平行して、搭載機器の電気的系統図を分かりやすい形で書き換えて議論したり、データが断たれた時間帯前後の各機器が残したデータから状態の変化を分析したりと、故障に至る流れ（シナリオ）を見つけるまで、連日連夜の検討作業が続けられました。

2017年の1月末頃、一つの故障に関するシナリオが浮上してきました。当初は、テレメータ送信機の故障と第2段モータの歪センサ計測異常は独立事象と理解していました。発生時刻が微妙に異なっていることがその理由でした。ところが、機能配置図に書き示した電源のルートを改めてみると、同じ場所で双方の電源ラインが共存していることが判ったのです。電源ラインを含むハーネスの束が機体外部から内部に入り込む孔付近でハーネスの被覆が何等かの影響で損傷し、機体の金属鋼体と接触した結果、電源ショートに至った、という推定シナリオです。このシナリオを否定する要素がないか慎重に調べを進めましたが、見つかりませんでした。また、取得データを時系列に並べると全体の状況が説明しうることが分かりました。その後のより深い議論を経て、推定される故障のメカニズムがまとめられました。最終的には、いくつかの故障要因が抽出されましたので、これらの故障が単発で発生したか、またはいくつかの複合的な要因であった可能性が高いと結論づけました。ハーネスの保護の仕方や、ケーブルダクト部の設計見直しを行えば、こ

打上げ実験は、第2段モータへの点火コマンド送出ができるかどうかで軌道投入の可否がほぼ決まるものでした。4号機実験ではボタンが押せずに悔しい思いだった伊藤隆さんの思いが表情にまで出ているこの1枚がすべてを物語っています。

のような事象を回避できると将来に向けての技術提案をしました。このようにして、多くの方のご協力を得て、4号機実験については無事決着させることができました。

この小さなロケット開発では、これまでにない新たな取組みを進めてきました。これまで宇宙機器開発では接点がなかった民間事業者とも関わりを持って技術開発を進めました。例えば、新たなアビオニクス開発を通じてキヤノン電子㈱の皆様と接することになりました。JAXAとしては、宇宙開発利用の促進や、企業との関わりを拡げていく活動の一環としてそれを推進しています。しかし、現実はそう簡単ではなく、着手当初はお互いに苦労の連続でした。苦労したことの一つに挙げられるのが、専門用語の取扱いです。これまで経験のない世界と接すると、互いに最初は日本語が通じないのです。「それはどういう意味ですか」と、頻繁に会話が途切れ、議論を妨げることになってしまいます。逆に私たちからすれば、きちんと用語を理解していなければ説明ができないので、自身の理解度を改めて知る良い機会になったように思います。実は分かっているようで分かっていないことにも出くわすことがあり、あいまいな知識であることを自覚し、不勉強を反省する場面は多々ありました。このようなやり取りの積み重ねは、特に若手の方には勉強の機会になったようで、このプロジェクトに関わった方の多くは実務スキルだけでなく、分野横断的に幅広い知識を蓄えることができたのではないでしょうか。

また、この仕事を通じてキヤノン電子㈱の酒巻 久社長とお話しさせていただく機会を得ました。都度、宇宙分野に対する思いや、日本の宇宙分野発展の可能性など、熱意ほとばしるお話を伺う中で、「これは私の夢である」というお話に感銘を受けました。4号機実験失敗の際は、「次があるさ、またがんばろう」と大いに励まされました（普通、こんなことはあり得ないでしょうけれども）。幸運にも所内外や関係機関の皆様、宇宙理工学委員会の皆様から再挑戦のチャンスをいただきましたので私たちは全力で頑張ってきました。非常に短いスケジュールの中、数々の困難に直面して大いに苦しみましたけれども、関係者にとっ

ては４号機の悔しさがバネとなり一丸となって頑張って来られたのだと思います。このような熱意と努力が実り、打上げ成功という結果につながりました。

SS-520 ５号機の開発、技術審査、安全審査および打上げ実務に携わってくださったJAXA職員の皆様、機体開発のプロジェクト関係者の皆様そして関係機関の皆様にはこの場を借りて改めて厚く御礼申し上げます。そして、いつも明るく朗らかに接してくださったキヤノン電子㈱の酒巻久社長には改めて深く感謝申し上げます。本来ならば、SS-520 ５号機のお客様であるTRICOM-1Rの研究開発に携わった皆様、現場での衛星の扱いがとてもお客様ではなかったにもかかわらず、不満を口にすることなく一緒に頑張ってくださりありがとうございました。そして、世界初のS&F実験成功おめでとうございます。たすき先生（＝東京大学／中須賀 真一先生）、実験成功おめでとうございます！

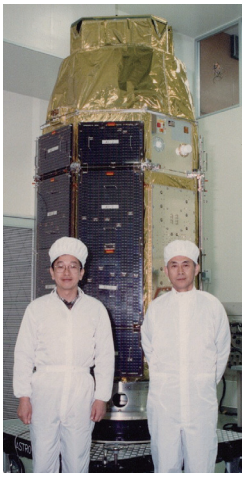
プロジェクトチーム関係者は、この成功がこの先の宇宙開発利用の世界を一層魅力的なものとなっていくことを心より願っています。（羽生 宏人）

田中 靖郎先生御逝去

2018年１月18日宇宙科学研究所名誉教授 田中 靖郎先生がお亡くなりになりました。享年86歳でいらっしゃいました。先生は、1994年に宇宙科学研究所の教授を定年退職され、すぐにドイツのマックスプランク研究所の客員教授となられて、ドイツご滞在は20数年にわたりました。昨年９月にドイツを引き払われて日本に戻って来られ、昨年暮れにお目にかかった時にはお元気でいらっしゃいました。１月に入って風邪をひかれ、10日過ぎから体調が悪化されたと伺っています。本当に残念でなりません。

田中先生は、1974年、名古屋大学から東京大学宇宙航空研究所（現JAXA宇宙科学研究所）に教授として赴任され、小田 稔先生の講座と並んでＸ線天文学の一講座（教授１、助教授１、助手２）を構えられました。そして、コルサ（1976年打上げ失敗）、「はくちょう」（Ｘ線天文衛星、1979年打上げ）、「ひのとり」（太陽Ｘ線観測衛星、1981年打上げ）、「てんま」（Ｘ線天文衛星、1983年打上げ）、「ぎんが」（Ｘ線天文衛星、1987年打上げ）、「あすか」（Ｘ線天文衛星、1993年打上げ）と、多くの科学衛星の開発に多大な貢献をされました。

先生は、科学の最前線を切り拓くために国際的な力を結集することに尽力され、「ぎんが」や「あすか」の大成功をもたらされました。特に「あすか」は、米国との国際協力により、エネルギーの高い（波長の短い）Ｘ線まで撮像できるＸ線観測装置を世界に先駆けて搭載し、国際Ｘ線天文台として数多くの観測的成果を生み出しました。研究の面でも、宇宙Ｘ線分光学の道を切り拓かれ、「ブラックホール天文学」とも言える研究分野を生み出す先駆的な研究をされました。


1993年２月、打上げ直前のAstro-D（あすか）と田中先生（右）。左は、筆者。

先生は、上に例をあげたような多くの御業績により、日本学士院恩賜賞・日本学士院賞をはじめとする国内外の数多くの賞を受賞されました。2010年には文化功労者の顕彰を受けられ、学士院会員になられました。このような偉大な御業績を残された先生を失ったことは、世界の科学界の損失と言えるでしょう。先生のご冥福を、心よりお祈り申し上げます。（井上 一）

お知らせ　同日開催

平成30年度宇宙学校・さがみはら

小学校高学年から中学生を対象としておりますが、どなたでもご参加いただけます。

●日　時／**2018年4月28日（土）**
10時30分～13時10分
（開場：10時00分）

●講　師／**津田 雄一**
（JAXAはやぶさ２プロジェクト プロジェクトマネージャ）
圦本 尚義
（JAXA地球外物質研究グループ長、北海道大学教授）

●定　員／1,000名　※先着順（事前申込み不要）

●参加費／無料

第37回宇宙科学講演と映画の会

●日　時／**2018年4月28日（土）**
14時30分～17時00分
（開場：14時00分）
※13時から入口付近で整理券を配布いたします。

●講　師／**國中 均**
（JAXA宇宙科学研究所 副所長、宇宙探査イノベーションハブ ハブ長）
羽生 宏人
（JAXA宇宙科学研究所 宇宙飛翔工学研究系 准教授）

●映　画／**短編映画**（約20分）：
ミニロケットSS-520 ５号機、再び宇宙へ【仮】

●定　員／1,000名　※先着順（事前申込み不要）

●参加費／無料

場所（共通）
● 相模女子大学グリーンホール　相模原市南区相模大野4-4-1　小田急線「相模大野駅」北口より徒歩４分（伊勢丹相模原店隣接）
※詳しくは、宇宙科学研究所イベント欄をご覧ください。http://www.isas.jaxa.jp/outreach/events/

宇宙科学プロジェクトの新しい立ち上げ方（その１）

ASTRO-H 衛星の喪失を受けた全 JAXA 共通のプロジェクト業務の改革を目的として「プロジェクトに関する業務改革推進委員会」が設置され、2017 年 4 月にプロジェクトに関する業務改革をまとめました（以下、業務改革 17）。その改革の主旨は、（1）企業と JAXA、それぞれが果たす役割と責任関係を明確にする、（2）そのために、プロジェクト実行段階（Phase B）に入る前に、明快で網羅的かつ一貫性があり検証可能な要求を設定し、実際に開発する企業が請け負うことができるレベルまで技術リスクを低減する、（3）その実現のために、Front-Heavy な進め方を導入する、という 3 点です。このようなやり方ではリスクの大きな、Challenging なプロジェクトができなくなるという声を聞くことがあります。これに対して、独法評価 JAXA 部会長高橋徳行氏が「Challenge と無理は異なる。周到な準備があって初めて challenge ができる」と言われたように、私はこの業務改革は「challenge のための周到な準備をする手段になる」と考えています。

＊＊＊＊

この業務改革の意味を理解するためには、歴史的・社会的背景を振り返る必要があるかもしれません。2000 年を過ぎた頃に企業の態度に変化を感じた方がおられたと思います。私はある企業の方から「今後は明確に契約に書かれていないことはできなくなります」と言われました。この頃は、重要な商法改正がなされ、企業コンプライアンス・コーポレートガバナンスといった言葉を頻繁に耳にするようになった時期です。明確な役割と責任のもとで企業が活動することは企業コンプライアンスから考えれば当然であり、それは契約の中で明確になっている必要があります。Challenging なプロジェクトで、やってみなければわからないことがあったとしても「役割と責任関係が明確な契約」の中で実施する必要が生じたわけです。これは簡単なことではなく、なんらかの手を打つ必要がありました。JAXA が 2004 年から整備を開始した宇宙機設計標準は、みどり II 衛星の運用異常を受けてという側面が強いですが、契約の技術要求の明確化にも役立つものです。「プライム契約」という考え方も、ある極端な方向の解決方法と言えるでしょう。宇宙科学プログラムは手を打って来たのでしょうか？

2012 年に小型科学衛星シリーズプロジェクトが中止になりました。これはシリーズ 2 号機（ERG）がコストキャップを著しく超える開発資金を必要とし、さらにその後のプロジェクト候補についてもコストキャップ以下でできる見込みがないことが明らかになり、小型科学衛星プロジェクトの総コスト設定が現実的ではないことが明確になったためでした。これを受けて「宇宙科学プログラム実行上の改善に関するタスクフォース」が設置されました（以下、タスクフォース 12）。その報告書（2012 年 12 月）はシリーズプロジェクト中止の主要原因として、（a）科学目的からミッション要求 / システム要求へのフローダウンとクリティカル技術成立性の見極めが不十分なままプロジェクト化され、最小の開発計画と期待値に基づくコスト見積りが行われている、（b）プロジェクト化後も、システム仕様や開発計画に不明確な部分が多く、プロジェクト実行段階で多くの見直しが入る、（c）JAXA- メーカ間での役割・責任分担が曖昧である一方で、「JAXA- メーカ一体開発」といったフレーズのみが強調されている、（d）フェーズ移行審査で、そのフェーズでの確認事項を網羅的に確認していない、といった問題点をあげています。また ASTRO-H 衛星においても、いくつかの同様な問題により、プロジェクト実行段階や準備段階でのコストやスケジュール計画の大幅な見直しが必要になったことを指摘しています。タスクフォース 12 は企業との意見交換も行い、6 つの提言をまとめました。2016 年の ASTRO-H 衛星喪失の時点で、ISAS はこの提言を受けた改善の取組みの途上で、対応が遅きに失したと言えます。加えて、タスクフォース 12 は「契約」の問題にまでは立ち入っておらず、この点は甘かったと言わざるをえないと思います。ASTRO-H 衛星喪失を受けて、宇宙研は新たにアクションプランを制定し、それが業務改革 17 に反映されることになりました。

＊＊＊＊

現在の業務改革 17 に戻りましょう。そこでは「機構プロジェクトのシステム開発は請負契約で行うことを原則とする」とあります。これには、2 つの意味があると考えています。JAXA の業務用語の話になってしまって申し訳ありませんが、これまでの宇宙科学プロジェクトのシステム開発は「請負契約」ではなく、「研究開発（製作）」という契約類型で行われてきました。契約文言上は両者の間には僅かな違いしかなく、研究開発（製作）の契約においても、その仕様書で企業の役割と責任を明確に定義することは可能です。しかし「研究開発」契約では、「研究開発」契約の名の下に契約書から引用される要求仕様が不明確、ということが起きていました。例えば、何をするか、という作業要求のみが書かれていて、実施した結果得られるものに対する性能要求や、実施にあたっての技術要求・品質要求が書かれていない。この結果、JAXA 担当者は前世紀的な意識で、契約に書かれていないことでも企業がやってくれていると期待しているのに、企業側は契約書に明確に書かれたこと以外はやれない、あるいは、やらない、ということが起きました。宇宙科学プロジェクトの全ての契約がこのようだったわけではありませんが、これが ASTRO-H 衛星の姿勢系開発と運用において発生し衛星喪失に至った問題の根本原因の一つであったことは間違いありません。従って、ASTRO-H 衛星の喪失を受けた業務改革 17 が、ここに焦点をあてたのは当然であると言えます。今回は背景説明で紙面が尽きました。次回、請負契約の 2 つ目の意味から始めて、新しいプロジェクトの立ち上げ方の話をしてゆきたいと思います。

（満田 和久）

ユーゴスラビアの科学誌に宇宙研紹介

宇宙飛翔工学研究系 教授
堀 恵一（ほり けいいち）

昨年11月、唐突にセルビアの旧友から電子メールが舞い込んだ。Vladica Bozicという人で、古くはベオグラード大学ジェット推進研究所で固体ロケットの研究者として活躍、その後セルビアのロケット関係の民間企業でsenior technical consultantを務め、現在はセルビア政府の環境問題の機関長に就任しているというなかなか面白いキャリアを持っている。一昨年、水道設備に関わる技術導入に関し、彼がセルビア代表として来日した際に、旧交を温めた（写真１）。

また来日する機会ができたのかと思い文面を追うと、どうやらセルビアの科学誌にISASとセルビアのロケット交流史に関する記事が掲載されるということらしい。雑誌名が“Planeta”。セルビア語はさっぱりだが、どうやら宇宙科学誌と思われる。記事のPDFが添付されていたので目を通してみると、タイトルが「Sa “kappom” ka vasioni」。糸川先生、カッパロケット、ペンシルロケットの写真が並び、どうやら相当に古い時代の記事であることだけは分かる。記事のオリジナル文書のファイルが同梱されており、正式タイトルが「JAPANSKO-JUGOSLOVENSKA SARADNJA U OBLASTI RAKETNE TEHNIKE 60-IH GODINA PROŠLOG VEKA」とある。繰り返すがセルビア語はさっぱりである。Vladicaにテキストの英訳を依頼した。

１週間強で早速英訳版が届いた。記事タイトルは「JAPANESE-YUGOSLAV COOPERATION IN THE AREA OF ROCKET TECHNOLOGY IN THE 60’s OF THE LAST CENTURY」とある。今度は分かる。60年代とあるから50年前の話である。この当時の宇宙研の話は的川 泰宣先生、周東 三和子さんが中心となってまとめられた「日本の宇宙開発の歴史（宇宙研物語※）」に詳しい。ただし、カッパロケットのデビューが1958年、その後21機が打ち上げられたという記述は確認できるが、ユーゴスラビアとの交流については一切見当たらない。

記事によると、日本・ユーゴスラビア間のロケット技術交流の端緒は1958年の糸川先生のユーゴスラビア訪問だったという。1959年にロケットおよび関連技術の導入が合意され、1960年にカッパ６型ロケット６機の導入契約が締結された。金額は170-million-Yen。わずか１億７千万円であるが、1960年当時の話である。消費者物価指数をベースとすると、当時と現在は５～６倍の違いがあるので、現在で言えば10億円といったところか。随分と安い感じがするが、当時の経済事情を鑑みると成立したのだろう。

※ http://www.isas.jaxa.jp/j/japan_s_history/index.shtml

写真１　左から Vladica Bozic 氏、一人おいて著者。

1962年にロケットは納入され、1964年に２機の打上げが成功裏に終了したらしい。ロケットは高度50kmに達し、アドリア海上空大気を観測したとある。詳細は分からないが、我々の先人のロケットが、あの美しいアドリア海の上空を見事に翔んだかと思うと感慨深い。写真２は、カッパ６型ロケットの前に立つドラスコビッチ教授（ユーゴスラビア側代表者）である。

実はこのところ、熱可塑性樹脂を使った新しい低価格固体推進薬の研究を実施しており、少しずつ成果が出ている。Vladicaも随分前に、私のそれとは違う熱可塑性樹脂の固体推進薬への応用について研究を実施していたため、以前より彼とは研究面での縁を感じていた。

１通の電子メールが思いもかけぬ歴史の１ページを見せてくれた。正直、旧ユーゴスラビア地域を訪れてみたい気持ちが芽生えている。

写真２　ドラスコビッチ教授とカッパロケット。

ISASニュース　No.444　2018年3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

先日開館した「宇宙科学探査交流棟」展示室を見学した。ドアから入るのに敷居が高い感じがするが、刷新された展示にはお宝などが満載で、そこから宇宙科学の歴史や技術にちょっとした感動を覚えた。（清水 敏文）

＊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