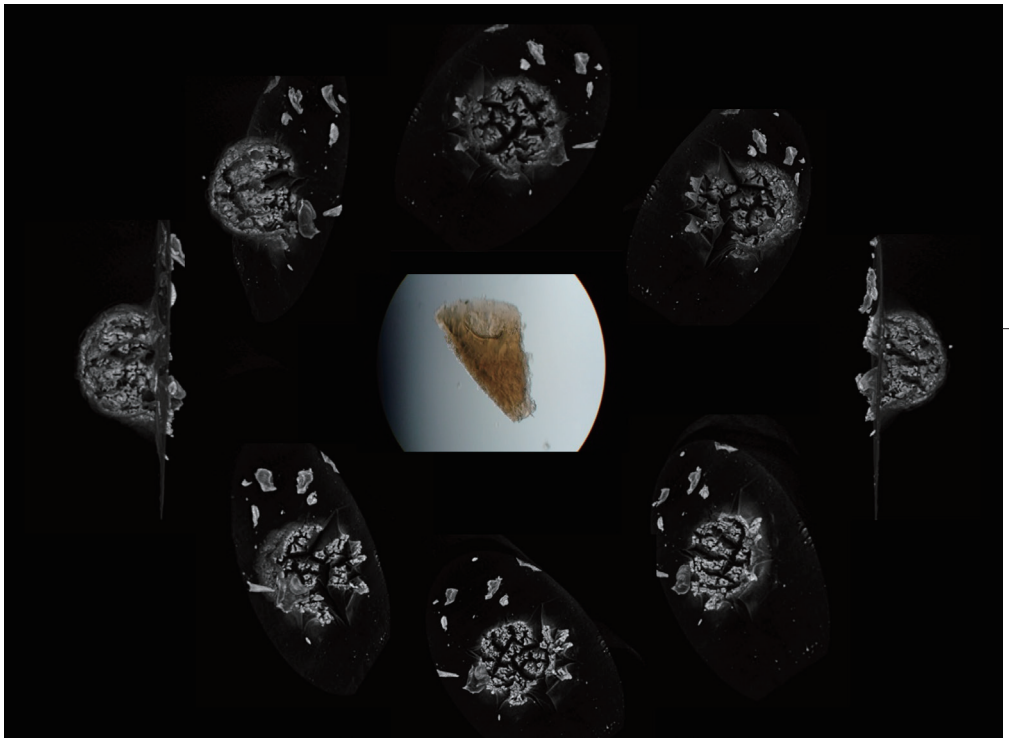
ISSN 0285-2861

ISASニュース

JAXA宇宙科学研究所

2017
12
No.441



「たんぽぽ」実験で地球低軌道から回収された宇宙塵衝突痕

国際宇宙ステーション「きぼう」曝露部の反地球面に搭載された極低密度捕集材「エアロゲル」へ、固体微粒子が超高速衝突してできた直径１mm未満の微小クレーター（図：中央）です。ISAS での初期分析後に摘出され、SPring-8 放射光施設にてＸ線 CT による三次元構造解析（図：周囲）が行われました。軌道力学上の制約と地上での衝突実験の知見から、衝突速度が速く、強度が脆い宇宙塵の破裂によって形成されたと推定されています。現在、全国の研究者が連携した詳細分析により、捕集物の起源を同定しつつある「たんぽぽ」初年度試料の一例です。（©：「たんぽぽ」プロジェクト）

宇宙科学最前線

「たんぽぽ」地球帰還試料から探る化学進化とパンスペルミア仮説

学際科学研究系 助教
矢野 創（やの はじめ）

はじめに：アストロバイオロジーの今日的意義

宇宙物理学（アストロフィジクス）や宇宙化学（コスモケミストリー）では、私たちが住むユニバースのどこでも同じ物理現象が起き、環境条件を整えれば同じ化学反応が起きるという前提に立って世界を理解します。一方の生物学は現在まで、地球生命というたった一つの対象について検証されてきた学問です。この生物学（バイオロジー）を宇宙（アストロ）のどこでも通用する知識体系に飛躍させて「宇宙における生命の普遍性や、地球生命の特殊性を理解する」ための学際的な探求こそが、「アストロバイオロジー」の今日的な意義だと言えます。

日本の宇宙科学でも、赤外線天文衛星や小惑星探査機など、アストロバイオロジー研究に間接的に貢献するプロジェクトは 2000 年代から実施されてきました。しかし、上記の課題解明を主目的に据えた計画は、国際宇宙ステーション（ISS）「きぼう」日本実験棟の船外実験プラットフォーム（以後、「曝露部」）にて 2015 年から最長 4 年間の予定で運用中の「有機物・微生物の宇宙曝露と宇宙塵・微生物の捕集」実験、通称「たんぽぽ」計画が日本初となります。本稿では、初年度試料が地球に帰還して 1 年経った現在までの運用実績と得られた科学成果、2020 年まで続くプロジェクトの今後と、「たんぽぽ」後継時代の展望を紹介します。

「たんぽぽ」計画の２つの科学目標と６つのサブテーマ

「たんぽぽ」の科学目標は、「生命の原材料となる有機物の宇宙塵による地球への輸送」と「地球生命が惑星間を移動する可能性」の両方を検証することです。そのために全国 26 カ所の大学・研究機関の研究者がチームを組んで、以下の６つのサブテーマを探求しています。

地球表面に到達した隕石や宇宙塵の一部には、生命の前駆物質であるアミノ酸など多彩な有機物や、海水の源としての含水鉱物や岩塩が含まれることが判明しています。生命の誕生以前から現在も年間２～６万トンほど地球に降り注いでいる宇宙塵こそ、前駆物質から化学的に生命が誕生するとした「化学進化仮説」の鍵です。「たんぽぽ」ではその検証のために、（１）分子雲の観測、

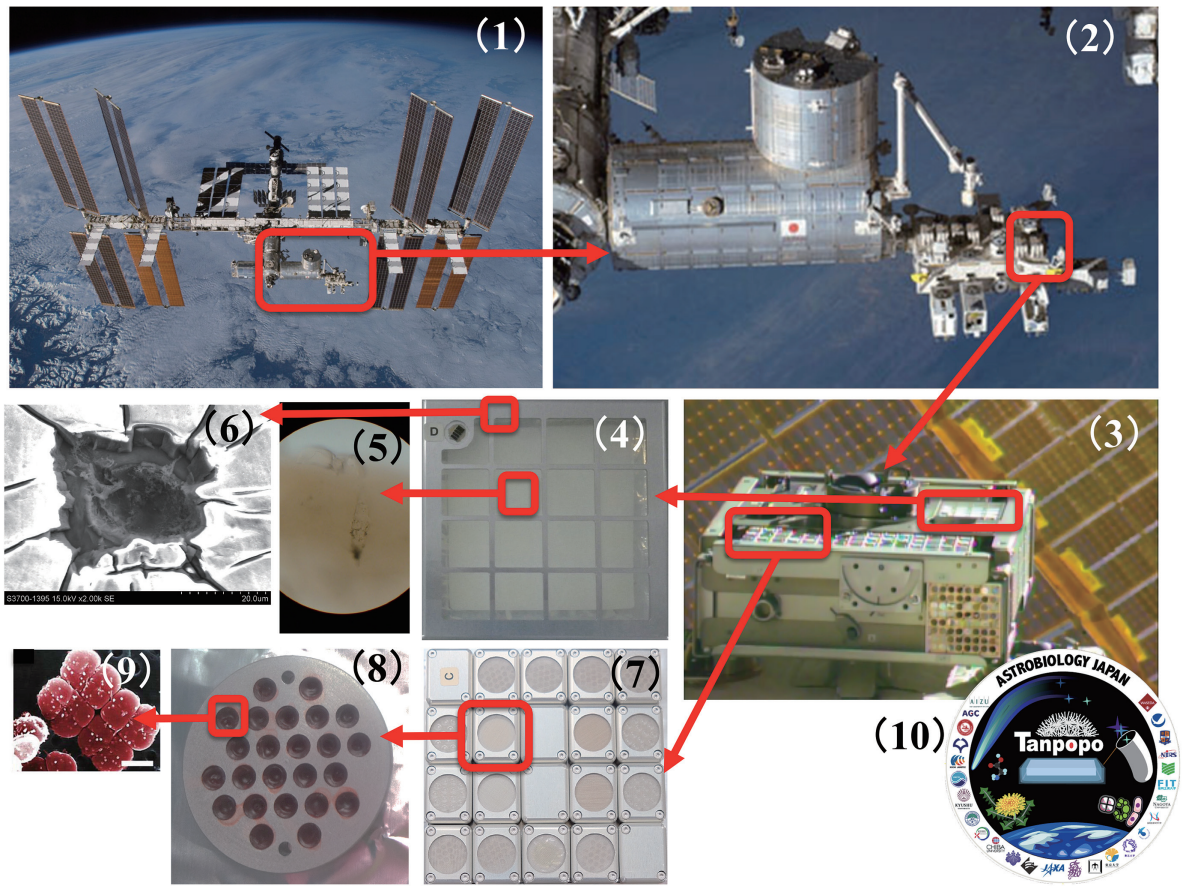


図　ISS（1）、「きぼう」曝露部（2）、ExHAM（3）、「たんぽぽ」捕集パネル（4）のエアロゲル中の捕集微粒子（5）とアルミニウム蓋上の微小衝突クレーター（6）、曝露パネル（7）内の試料収納部（8）に収められた放射線耐性細菌（デイノコッカス・ラディオジュランス）（9）。右下は「たんぽぽ」ミッションパッチ（10）。（©：JAXA、NASA、「たんぽぽ」プロジェクト、山岸 明彦）

隕石・宇宙塵分析、彗星探査から確認された有機物の宇宙での変成実験と、（2）有機物を含んだ宇宙塵を非破壊捕集する実験を行っています。

生命の起源に関しては、宇宙空間を生命が移動するという「パンスペルミア仮説」が1世紀以上前から提唱されています。地球の南極や砂漠で月隕石や火星隕石が採取されるのと同様に、火山爆発や小天体衝突等によって地球表層の土壌と共に重力圏を脱した地球生命が、「たんぽぽの綿毛」のように月や火星に到達する可能性はあります。「たんぽぽ」ではこの仮説を検証するために、（3）地球低軌道上での地球起源微生物の採集と、（4）極限環境微生物の宇宙での生存実験に挑んでいます。

秒速8 kmもの超高速で地球低軌道をめぐる人工衛星には、小惑星や彗星を主な起源とする宇宙塵と、人工のゴミ・スペースデブリの両方が衝突します。衝突物をできるだけ壊したり熱したりせずに捕集する手段として、多孔質の「シリカエアロゲル」に代表される低密度捕集材が開発されました。この捕集材は、1992-3年の欧州のユーレカ衛星（密度0.06 g/ cm^3）を皮切りに、1999-2006年に彗星塵サンプルリターンを果たした米国のスターダスト探査機（同0.03 g/ cm^3）、そして今回の「たんぽぽ」実験（同0.01 g/ cm^3）へと、より低密度に進化しています。「たんぽぽ」では、（5）将来の深宇宙探査への応用も視野に入れた国産エアロゲルの宇宙実証と、（6）地球近傍の宇宙塵とスペースデブリのフラックス（時間当たりの存在量）の直接計測を行っています。

「きぼう」曝露部での軌道上運用

ISSは地球重力指向の三軸姿勢制御衛星で、高度約400-500 kmの低軌道を周回しており、「きぼう」曝露部は北側の進行方向に位置しています。「きぼう」曝露部への「たんぽぽ」搭載を機に開発された「簡易宇宙曝露装置（ExHAM）」は、「一皿」が100 × 100 × 20 mmの実験用パネルを、1回に合計「20皿」載せられる「お膳」に相当します。地上から操作されるロボットアームによって、「きぼう」与圧部のエアロック経由で曝露部の手すりに固定され、一定期間後に回収されます。「たんぽぽ」の実験用パネルはExHAM上で、常に地球と反対側を向いているためにスペースデブリがほぼ衝突できない「宇宙面」に捕集パネル4皿と曝露パネル3皿、宇宙塵とスペースデブリの両方が衝突できる進行方向面（東面）と与圧部と反対側の面（北面）に捕集パネルが4皿ずつ設置されています（図）。

4年分の「たんぽぽ」実験装置一式は、2015年4月にスペースX社のファルコン9ロケットで打ち上げられ、「きぼう」与圧部内に運び込まれました。初年度試料（2016A）は同年5月から宇宙曝露が始まり、翌年6月に与圧部へ再度回収し、地球帰還カプセルに搭載されて8月に太平洋へ着水しました（表）。

初年度試料の初期成果：捕集実験

ISASに設置された「無人無塵室」へ試料を搬入し、初期分析を開始したのは2016年9月でした。捕集パネル内部のエアロゲル上の衝突痕の探索から三次元計測、掘

	ExHAM1 号機 初年度試料 (2016A)	ExHAM2 号機 初年度試料 (2016B)	ExHAM1 号機 2年度試料 (2017A)	ExHAM1 号機 3年度試料 (2018A)	ExHAM1 号機 4年度試料 (2019A)
打上げ	2015.04.15	2015.04.15	2015.04.15	2015.04.15	2015.04.15
曝露開始	2015.05.26	2015.11.11	2016.06.29	2017.07.28	2018. 夏予定
曝露終了	2016.06.14	2017.03.10	2017.07.19	2018. 夏予定	2019. 夏予定
地球帰還	2016.08.27	2017.03.19	2017.09.17	2018. 秋予定	2019. 秋予定
捕集試料初期分析開始	2016.09.26	2017.04.07	2017.10.24	2018. 秋予定	2019. 秋予定
曝露試料分析開始	2016.10.03	N/A	2017.10.12	2018. 秋予定	N/A
捕集試料初期分析終了	2017.03.02	2017.07.26	2018. 春予定	2019. 春予定	2020. 春予定
捕集試料詳細分析開始	2017.01.30	2017.07.27	2018.01 予定	2019. 春予定	2020. 春予定

表 「たんぽぽ」全試料の打上げから詳細分析までのスケジュール

削までの工程を迅速に実行できる自作の「CLOXS」システムを駆使した結果、翌年7月までの10カ月間の初期分析で、11枚のエアロゲル上に0.1 mm以上の超高速衝突痕を約120個同定できました。衝突方向と微粒子フラックスの比較からは、0.01-0.1 mmの範囲で宇宙塵の寄与が大きく、四半世紀前のLDEF衛星の実測結果と整合的でした。また捕集パネル外部のアルミニウム蓋に見つかった微小クレーターの元素組成に基づく予備判定では、微粒子の起源の比率は「宇宙塵：スペースデブリ：起源不明＝5：2：1」ほどであり、既存の分布モデルとも整合的でした。こうした地球低軌道の微粒子環境の直接計測は、日本ではSFU衛星以来20年ぶりです。

現在進行中の詳細分析では、有機化合物を含んだ宇宙塵や、微生物を含む地球起源エアロゾル粒子を探索中です（表紙図）。地球生命のパンスペルミア仮説に挑んだ先行研究の最高記録としては、観測ロケットによる地上高度48-77kmでの微生物採集があります。「たんぽぽ」はその検証範囲を、約10倍の高度まで拡げました。開発段階の地上実験では、高度約10㎞で発見された放射線耐性細菌（デイノコッカス・ラディオジュランス）が混ぜられた粘土鉱物の微粒子をエアロゲルに超高速で衝突させたところ、微生物のDNAが破壊されずに残っていました。

初年度試料の初期成果：曝露実験

地球生命圏が低軌道の高度まで達していたとしても、火星へ届いた「地球隕石」に付着していた地球生命は、火星環境で再び増殖できるでしょうか？「たんぽぽ」の曝露実験では、初年度試料が経験した最高～最低温度は26.4 ± 5℃～マイナス35.3 ± 5℃であり、微生物が死滅する温度域に達しないことを確認しました。同時に紫外線と放射線の総照射量も計測しました。これらの環境情報を付して、放射線耐性細菌の塊の厚さを変えた複数の曝露試料、ISS船内に保管された対照試料、地上に保管された試料がそれぞれ再び培養できるかを試しました。

その結果、厚み0.1 mmの塊は地上とISS船内で生存していましたが、船外では全滅でした。一方、厚み0.5 mmの塊は地上、船内、船外の全てで生存していました。それより厚い試料も同様で、生存率はほぼ一定でした。これらの違いの原因は現在確認中です。作業仮説としては、船外の厚み0.1 mmの塊は主に紫外線によるDNAの深刻な損傷によって死滅しますが、厚み0.5 mm以上の塊では最外殻の死骸に守られて内側の細菌の損傷は軽くなり、DNA二本鎖の断裂が起きても修復系遺伝子によってDNAが復元されると考えられます。今後は曝露期間2～3年の試料で生存率の経時変化を計測し、微生物の塊がどれほど長い間宇宙を移動できるかを評価する予定です。

曝露パネルには有機物試料も搭載しており、例えば彗星探査でも検出されたグリシンは、1年間の宇宙曝露後も全体の60%が安定して存在できることを見出しました。長期間の惑星間移動の末に地球へ到達できる生命前駆物質は低分子か複雑高分子かという問いにも、新しい手掛かりが得られつつあります。

おわりに：「たんぽぽ」後継時代の展望

本稿の執筆時点では、初年度試料は詳細分析の最中ですが、ミッション成功基準のミニマムサクセスは初期成果で達成できました。2年度試料は捕集・曝露ともに初期分析が進められており、宇宙塵のフラックスや微生物の生存率の経年変化を導出できれば、フルサクセスを達成します。3年度試料は同年7月から宇宙に曝露中であり、最後の4年度試料の詳細分析の実施は2020年になる予定です。

「たんぽぽ」は日本のアストロバイオロジー研究コミュニティが策定した「宇宙科学・探査ロードマップ」における「はじめの一歩」であり、独自の宇宙実験の提案から選抜・機器開発・検証試験・打上げ・軌道上運用・地球帰還・初期分析・科学成果の創出までの全工程を初めて経験する機会となりました。その結果、学際領域の研究者や次世代を担う若手が、宇宙科学分野に新規参入してきました。

同時に「たんぽぽ」が解きつつある課題以上に、新たな疑問も多数生まれつつあります。そこで後継時代の宇宙実験・探査の構想が、若い世代を中心に検討されています。一例は、「たんぽぽ」エアロゲルの発展型による、土星衛星エンケラドスなどの内部海から放出されるプリューム粒子の採取・軌道上分析です。すでに一部の微生物やペプチドは、「たんぽぽ」エアロゲルへ超高速衝突した後にも検出できることが地上実験で実証されています。

謝辞

「たんぽぽ」計画は、2007年に東京薬科大学の山岸 明彦教授を代表として、JAXA宇宙環境利用センター（当時）の曝露部第2期利用公募に応じて選抜されました、初期分析はISAS大学共同利用システム共同研究として実施中です。自然科学研究機構アストロバイオロジーセンター・サテライト研究のご支援も頂いています。本稿でご紹介した運用実績・初期分析成果の一部は、筆者以外に「たんぽぽ」メンバーである山岸 明彦、橋本 博文、小林 憲正、河口 優子各氏の学術発表より引用させて頂きました。表紙のX線CT画像はSPring-8放射光施設にて取得し、三次元構築には京都大学の土山 明教授と松野 淳也氏、中村 隆太氏のご支援を頂きました。関係者各位に感謝致します。

BepiColomboサイエンスチーム会議をイタリア・マテーラで開催

ESAとの共同で水星探査を行うBepiColombo計画は、予定されている打上げウィンドウまでいよいよ1年を切り開発も大詰めを迎えています。そんな興奮と緊張感が漂う中、2017年10月23～27日に南イタリアの世界遺産都市マテーラで第16回BepiColomboサイエンスチーム会議が行われました。毎回持ち回りで各国のチームが主催してきた本会議ですが、ここ数年は開催を年2回に増やし、観測運用に向けた準備を整えてきました。今回はイタリアチームの主催で、彼らが選んだマテーラは石灰質の岩肌に作られた洞窟住居で有名な場所です。日本からはローマかミラノを経由してバーリへ飛行機で入り、そこからさらにバスで1時間半。移動が2日にまたがる長旅でしたが、その分会議に臨む意気込みも高まりました（筆者だけ？）。

会議は最初の2日間にワーキンググループごとの小会合、その後2日間はチーム全体でのサイエンス会議、そして最終日の午前に日欧のMMO関係者のみで小会合を開いて解散となりました。筆者や多くのMMO関係者が参加した最初の水星環境WG会合では多くの議題が盛り込まれ、特に日欧両探査機による共同観測計画についてワークショップ形式で活発に議論がなされました。筆者はこの5日間で6つのプレゼンを抱えていたため気の休まる暇はなかなかありませんでしたが、それでも気の良い仲間たちとのコーヒータイムや南イタリアの絶品料理、世界遺産の絶景に癒されたことは言うまでもありません。また洞窟住居式のレストランで行われたチーム全体でのディナーでは、イタリア人PI主導によりおよそ2年かけて進められてきた極秘プロジェクト、Bepiソングの披露がサプライズ演出で行われました。このプロジェクトでは彼が作詞・作曲したBepiColomboテーマ曲のサビが各国言語に翻訳されており、筆者は日本語化を担当していました。国ごとに練習する時間も設けられ、最後は全員による大合唱という大盛り上がりのディナーとなりました。動画もあるのでご興味ある方は筆者までご連絡ください。

BepiColomboサイエンスチーム会議参加者らとの記念撮影（筆者の顔はほとんど見えない）。

若手の参加者も増えつつあり今後の展開が期待されるサイエンスチーム会議、次回はドイツ・ブラウンシュバイクで2018年3月に開催されます。いよいよ打上げが迫るBepiColomboへのご声援をお願いします！

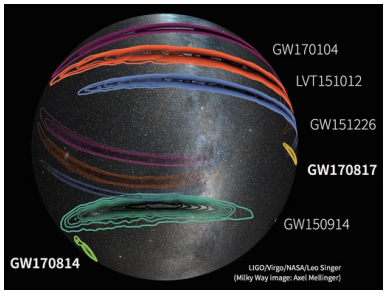
（村上 豪）

いま重力波が熱い！

2017年のノーベル物理学賞は、重力波観測プロジェクトLIGO（Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory）を率いたR.Weiss氏、B.C.Barish氏、K.S.Thorne氏の3名に授与されることが発表された。2016年に重力波の初観測を発表してから1年少々という異例の速さでの受賞である。僭越ながら、この8月までLIGOの装置開発におよそ8年間携わってきた私がこの場を借りて簡単にその興奮を説明したい。

重力波とは時空の歪みがさざ波のように伝搬する現象である。1916年にAlbert Einsteinが自身の一般相対性理論から重力波を予言したが、そのとてつもなく小さな振幅に本人がその検出の可能性を絶望視したとも言われている。その理論予言からほぼ100年の時を経て、2015年に遂に直接観測されたのである。検出された重力波はLIGOレーザー干渉計の鏡間距離をごく僅かに変位させた。その大きさは実に3×10^{-18}メートル、つまり陽子半径の数100分の1程度の大きさであった。これは驚愕の測定精度である。

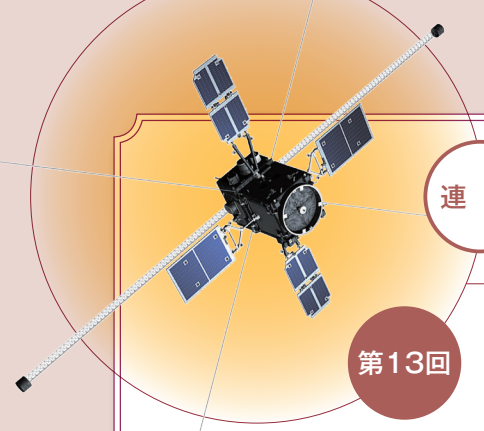
その後重力波は複数回検出され、さまざまな目覚ましい宇宙物理学的情報を与えている。まさに現在「重力波天文学」が始動しているのである。重力波では重たい天体が激しく加速度運動する様子が観測しやすく、通常の電磁波観測（可視光、電波、X線など）では難しいブラックホールなどのコンパクト星のダイナミックな様子を観測するのに適している。したがって人類は重力波という新たな宇宙を観測する手段、いわば「耳」を手に入れたのである。耳と形容しているのは、LIGOなど地上検出器で捉えられる信号の周波数がちょうど人間の可聴域にあたるためである。



これまでLIGOが観測した重力波イベントの天球上での推定位置。GW170814およびGW170817はVIRGO検出器との複数台同時観測のため、位置推定精度が他のイベントよりも向上している。

地上検出器は、乱暴に言えば、重力波に対して全方位に感度を持っているため、1台だけでは到来方向がわからない。これは天文学を行うにあたって致命的である。しかし、複数台の検出器を地球上に配置すれば、各検出器間の信号検出の時刻差を用いてその到来方向が推測可能となる。さらに検出器は多ければ多いほど位置の推定精度は向上する。したがって複数台を配置することが重要となる。現在、わが国でもKAGRAと呼ばれる3kmの検出器を急ピッチで建設・整備中であり、近い将来国際検出器ネットワークの一員として、重力波天文学の一翼を担う予定である。今後の重力波研究の動向から目が離せない。

（和泉 究）



連　載

捕らえろ粒子。感じろ電磁波。宇宙嵐に挑むERG

ERGプロジェクト　リレートーク

第13回

MEPの闇と影

●MEP-e担当　笠原 慧

先月号で三谷さんから、「短期間での2機器の開発における工夫」についてご質問いただきました。何か工夫して効率よい作業をしたという記憶がないのですが、強いて言えば、睡眠時間捻出のためにシャワーを断念した（こともある）、とかでしょうか。また、睡眠で得られる休息効果は時間で決まるのでなく、質（眠りの深さ）の時間積分で決まることに気づき、質を高める努力は継続的にしていました。

貧弱な開発体制（新規２機器を１人で担当）にマネジメント的観点から不安を覚える私に対し「いいからとにかくやれ」という空気のもとで始まったMEPの開発でしたが、ERGのスケジュールは各機器の環境・性能試験のパラレル進行を余儀なくするものであったため、EM（エンジニアリングモデル）の試験フェイズに入るとやはり体制のほころびが顕在化していき、１人の人間の努力では原理的・物理的に立ち行かなくなっていきました。

特に、初めて体験する環境試験では躓きも多く、暗闇の中を一つ一つ罠に嵌りながら歩いているかのようでした。次第に暗黒面に飲み込まれ、憎悪が原動力の日々となりました（何への憎悪か？ ERGへの、でしょうか）。一方で、逆境を乗り越える大団円型シナリオが図らずも目の前に設定されたこと、それを一貫してサポートいただいた事については、当時からERGプロジェクトに深く感謝していました。

EM試験の破綻がピークを迎えたころ、暗黒面から脱却するための希望の光として、他ミッションを完遂したばかりの横田さんにMEPチームに入っていただきました。２人で２機器（MEP-eとMEP-i）を仕上げる横田さんとの作業の日々は、私の生活に笑いを取り戻してくれました。その横田さんと、打上げ当日の最後まで一緒に作業できたのは、望外の喜びでした。

MEPの全ての闇を払拭して迎えた内之浦での打上げ準備の日々は、眩いほどでした。これまでプロジェクト関係者とその家族の生活をさんざん蝕んできた一つの探査機が地上を去ろうとしているのにも拘わらず、何故かしら切ない想いが疼く胸中の矛盾にはいささかの戸惑いを覚えましたが、それを今は次への原動力にしています。

写真：MEP-e/i試験の合間の議論。撮影・提供：名古屋大・平原 聖文教授

「あらせ」の思い出

●MEP-i担当　横田 勝一郎

他の観測器PIの方々とは異なり、私はエンジニアリングモデル（EM）開発半ばからERGに参加しました。当時はMMS（NASAの磁気圏観測ミッション）のためにイオン分析器フライトモデル（FM）16台を納入し終えたばかりで、数年ぶりに実験室から離れて通常業務に携わっていました。春先に突然、人手不足解消のためMEP担当の話が現実味を帯び出し、これまでの搭載機器開発に偏った日々を思うとためらいの気持ちもありました。身体は拒否していました。それでも再び実験室に戻ることを決めたのは、機器開発への愛憎入り交じった思いや、MEPがこれまで経験のない検出器を使った観測器であること（この点では非常に多くの新鮮な経験を得ることが出来て、最も大きな動機となりました）、前途有望な若者が深い疲労から来る人間不信の淵にいたことが理由でしょうか。

既にEMが半分ほど仕上がった状態であったため、大きな問題への遭遇も無く小さな問題への対処で用が足りました。試験のため名古屋大学出張を重ねたことは良い思い出となっています。一方でスケジュールの縛りには苦しみました。ご協力頂いた関連メーカの方々、FM納入期日に猶予を捻出してくださった関係者の方々には頭の下がる思いです。

搭載機器開発には避けられないこととして、時間と労力の大半を取られてしまうことがあります。突如としてMEPのFM開発終了まで他の案件に気が回らない状態に陥りました。MEP-i自体は何とかFM納入まで漕ぎ着けましたが、それ以外の業務では破綻していたに等しく、周囲の方々にいくばくかご迷惑をお掛けしたことと思います。ERGの打上げに射場で立ち会った際は、ようやく実験室を離れて溜まった仕事を片付けられるという思いに溢れ、その日の夜空のように心が澄み渡りました。

「あらせ」は現在順調に観測を続けており、幾つかの磁気嵐の観測にも成功しています。「あらせ」本体や他機器と同様に担当機器も無事に動作しています。何よりも今は、「あらせ」に参加することが出来た幸運を喜びたいと思います。

（笠原から横田 勝一郎さんへ）

ERG以前に数々のミッションに関わってきた横田さんですが、今回のMEPの開発で、新鮮だったところはありますか？

（横田から浅村 和史さんへ）

衛星システムに観測器にあらゆる場面で八面六臂のご活躍をされていた浅村さん、ご自身の関わったことで最大の難所を教えてください。

《次号に続く》

下戸の独り言

JAXA 名誉教授
東京理科大学工学部情報工学科教授
藤井 孝藏（ふじい こうぞう）

そもそも、下戸の私に「いも焼酎」は無理な話だが、「ノンアル気分？」で書かせていただく。宇宙研を離れて早２年半、やっと今の生活にも慣れてきた。しかし、勤め先がとにかく遠い。家は宇宙研にも近い東京の南西の端、通勤先は東京の北東の端にある。東京縦断の通勤は片道２時間を越えるため、荷物を作って毎週「東京出張」している。しかも利用する２つの地下鉄は遅延が激しい路線で、遅延のアナウンスを聞かない日はない。長い宇宙研生活で教えられたことの１つは「課題はそのままにするな」である。首都圏電車の遅延問題解決に自ら挑戦することにし、小さな「老後の楽しみプロジェクト」を立ち上げた。電車の遅延解決がいつできるか、私の第２の定年との競争になりそうだが、みなさんのお役に立てる日を期待いただきたい。

さて、長い宇宙研生活で思い出話は多数あるが、「はやぶさ」の帰還騒ぎは本当に国を挙げてのイベントだった。カプセル公開への長蛇の列や３つの映画製作など日本中が「はやぶさ」騒ぎに沸いた。余談だが、秋葉先生が真夏の太陽の下で一般の方に紛れて列に並ばれていたのには驚いた。しかし、元所長の謙虚さはさすが宇宙研である。それから10年弱、大学の授業で新入生に「はやぶさ」で何を思い浮かべるかを質問した。なんと、探査機をイメージしてくれた学生は70名のうち２名だけだった。時の流れはすごいもので、いろんなことがどんどん消えさっていく。

「はやぶさ」が帰還した2010年頃、ある学会からコラム執筆を依頼され、「探査機「はやぶさ」の帰還に思う自律と信頼」と言う記事を書いたことがある。その一部を引用（一部改変）したい。

最近は研究活動をはじめ日常の仕事が窮屈で、何をやるにも閉塞感を感じます。目標設定、評価、情報管理（セキュリティ）、リスク対応、グリーン購入、監査などなど、昔がよかったとだけ言うつもりはありませんが、何をやるにも面倒な手続きを要求されます。企業の方からも異口同音に同じ話を聞きます。これらをまとめて「内部統制」という言葉が幅を効かせています。誰がInternal Controlのこの和訳の名付け親かは知りませんが、窮屈で気分を害するイメージをいだくのは私だけでしょうか。この言葉には、そこで働く人間や人間的な要素よりも組織体や制度を重視した響きがあります。組織においては資産や事業が大切ですが、人材の大切さは言うまでもありません。設計最適化的な言い方をすれば、働く意欲、使命感といった「設計変数」は成果という「目的関数」にとても強い相関があることは間違いがありません。

最近の写真から：デルフト工科大学での博士論文審査。右から二人目が筆者。

では、人間重視に戻すキーワードは何でしょうか。それは「自律」ではないでしょうか。目標設定や評価は管理というより、広い視野の中で自分の責務や目標を自ら考える機会を提供することに意義があります。自律の意識があれば、わざわざ言うまでもないことです。残念ながら、どこの組織も、職員の自律を信じず、滅多にないリスクにまで完璧に対処し、細かい手続きや規則を作ります。結果、「自律」している人たちに余分な負担をかけ、業務や研究の効率化を妨げています。それだけでは済まないのはわかりますが、管理側から完璧な「統制」（すべてについて地上からの運用）を目指すのではなく、職員（探査機）を信頼し、その自律に任せた上で、課題に対応するという危機管理（地上からの運用）はどうでしょう。組織が職員を信頼し、職員は自律によって与えられた自由度を活かして気持ちよく、かつ効率的に研究や業務を行う姿の実現を「はやぶさ」の自律から学びたいと思います。

（日本機械学会 JSME談話室「き・か・い」No. 87より抜粋）

生きることがどんどん窮屈になってきた時期で、当時の疲労感がにじみ出ている。大学や研究機関のみならず企業も同様で、この記事を見られた複数の企業の方から大きな賛同と講演依頼を受けた。今、世界中がさらに厳しい状況に陥っているようにも思える。雑巾は絞り過ぎると切れてしまって使い物にならない。マラソン選手も極限まで身体を絞る結果、壊れやすい身体になって、短い競技生活にピリオドを打つ方も少なくない。何においても十分なリスク評価は必要だが、確実なこと以外を放棄したら研究者にとって面白いことは何も残らない。外に出て責任のない気楽な身分だから言えることと言われそうだが、宇宙科学研究所がいつまでも魅力的な研究所であることを切に願っている。かつて『Nature』のコラムで紹介された「立派な研究所のための処方箋」のように。

JAXA Explore to Realize ISASニュース No.441 2017年12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

宇宙の2/3はダークエネルギー、1/4がダークマター、見えるのはほんの一部です。色々な見方を編み出して、観える世界を少しづつ広げながら、観えないものを診ようとしています。それが面白くもあり、大変でもあります。（齋藤 芳隆）

＊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