



放球用クレーン車にセットされたエマルジョンガンマ線望遠鏡とヘリウムガスが充填された大気球。
2015年5月12日、オーストラリアのアリススプリングス気球放球基地。

宇宙科学最前線

液体ホウ素は半導体だった

宇宙実験技術を活用した物性測定

学際科学研究系 助教

岡田純平

学際科学研究系 教授

石川毅彦

ホウ素について

ホウ素 (B) は周期律表の5番目に位置する元素です。ホウ素は、軽くて硬く、融点が高いという特徴を持ち、宇宙関係ではロケットに用いる耐熱材料として研究が進められています。ホウ素は採掘が容易なことから、古くから人類に用いられてきました。ガラス製品の母材となる酸化ホウ素 (B_2O_3)、研磨剤として広く用いられている窒化ホウ素 (BN) や炭化ホウ素 (B_4C) などのホウ化物は、工業的にも重要な材料として広く用いられています。ホウ素は、現在分かっているだけで6種類もの同素体 (同じ元素から構成されるが、原子の配列や結合の仕方が違い、性質の異なる単体) を持ちます。この数は元素

の中で硫黄 (S) に次いで2番目に多く、今後も高温高圧などの極限環境下において新たな同素体が発見される可能性があり、物質探索が行われています。

周期律表において、元素は大きく分けると金属と非金属 (半導体、絶縁体) に分類されます (図1)。『理化学辞典』では金属について、「金属光沢を持ち、電気と熱をよく導き、固体状態では展性、延性に富む物質」と記述されています。これをミクロな立場から言い換えると、「金属とは価電子が物質中を自由に動き回っている物質である」と述べることができます。物質の性質は価電子の挙動によって決まります。電子は、電気だけでなく熱も運びます。電子が集団で相関を持つと磁性が発現することもあります。

図1 元素の周期律表

族	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	H																	He
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	*1	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	*2	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	?	Fl	?	Lv	?	?

*1 ランタノイド	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
*2 アクチノイド	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

- 金属的性質を持つ元素
- 非金属（絶縁体）的性質を持つ元素
- 非金属（半導体）的性質を持つ元素

物質中で価電子がどの程度動き回ることができるかを知ることは、物質の性質を推定する際の重要な判断基準となるため、ほとんどの周期律表では元素が金属か非金属かを一目で判別できるように色分けされています。こうした分類は液体についても重要であり、安定に存在する元素のほとんどは、液体状態についても調べられています。

ホウ素やケイ素（シリコン，Si）などは、金属と非金属の境界に位置します。こうした元素は、固体と液体で性質が大きく異なることが知られています。ケイ素、炭素（C）、ゲルマニウム（Ge）などは、固体では典型的な半導体ですが、溶けると金属になります。同様に、半導体であるホウ素も溶けると金属になると考えられてきました。しかし、ホウ素の融点は2077℃と非常に高い上に、ホウ素が溶けた液体（ホウ素融体）の反応性が高いことが実験を妨げ、実際にホウ素が溶けると金属になるのかどうかは物質科学における重要な未解決問題の一つでした。

静電浮遊法

地上で液体を扱うには、液体を保持するため

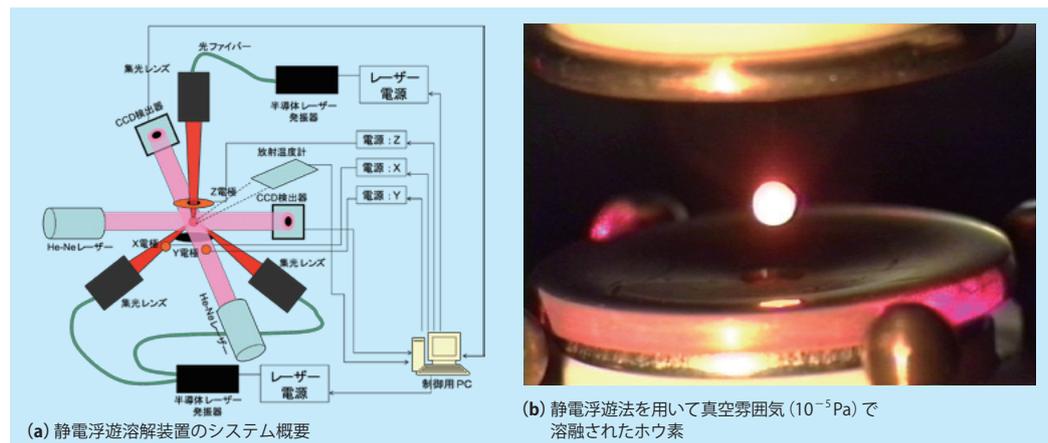
の容器が必要です。容器を用いて液体を保持する場合、容器と液体の反応や容器壁からの不純物混入が問題となります。最近実用化された無容器プロセス（浮遊法）は、容器の問題が生じない画期的な方法として注目されています。

我々が開発してきた静電浮遊法（Electrostatic Levitation Technique）は、クーロン力を用いて試料を浮遊させます。図2（a）に示すように、帯電した試料に静電場をかけて重力と釣り合わせることで、試料を2枚の電極間の任意の位置に浮遊させます。浮遊させた試料をレーザー加熱することにより溶解します。標準的な電極間距離は約10mm、試料サイズは約2mmです。電極間には10～20kVの電圧を印加するので、放電を防ぐためチャンバー内は真空雰囲気（ 10^{-5} Pa）に保たれています。2台のCCD位置検出器を用いて試料の3次元的位置を測定します。測定した位置情報を用いてPID制御（フィードバック制御方法の一種）で電極間の電圧を調整し、試料位置を±10μm以内の精度で安定化させることが可能です。試料の温度は放射温度計を用いて測定します。静電浮遊法では、試料が帯電すれば金属・絶縁体を問わず浮遊させることができます。レーザーの出力を上げれば、タングステン（W，融点：3422℃）を溶かすことも可能です。図2（b）に示すように、ホウ素についても宙に保持して熔融することができます。

X線コンプトン散乱実験

静電浮遊法を用いることによりホウ素融体を保持することが可能になりましたが、次に問題になったのが、溶けたホウ素が金属かどうかをどのようにして調べるかということです。一般に、物質が金属かどうかを調べるためには、物質が電気をどの程度流すかを調べます（電気伝導測定）。そのためには、物質に2本以上の電極

図2 静電浮遊法



(a) 静電浮遊溶解装置のシステム概要

(b) 静電浮遊法を用いて真空雰囲気（ 10^{-5} Pa）で溶融されたホウ素

を取り付け、電極間の電圧と電流の関係を調べます。固体の場合、電極を取り付けて測定することは容易です。液体であっても、融点が高くなく反応性に乏しい場合は、電極を液体に差し込んで測定することができます。ところが、ホウ素融体と反応しない物質がこれまでのところ見つかっておらず、それに差し込む電極が存在しないために、ホウ素融体の電気伝導を測定することができません。

そこで、X線を用いてホウ素融体中の電子の挙動を調べることにしました。電磁波であるX線は、電子と強く相互作用します。物質にX線を照射し、散乱されたX線の詳細を調べることにより、物質中の電子の挙動を知ることができます。実際の測定には非常に強いX線が必要であるため、大型放射光施設 SPring-8 を用いて、コンプトン散乱測定と呼ばれる実験手法を用いました。図3に実験の様子を示します。静電浮遊溶解装置一式を筑波宇宙センターから兵庫県佐用町の SPring-8 へ輸送し、実験ビームライン内で装置を組み立てて実験を行いました。

スーパーコンピュータを用いて実験結果を解析した結果、ホウ素融体中の価電子の挙動を可視化することができました。図4は価電子が動き回る範囲を示したものです。図の横軸は、右に行くほど電子の稼働範囲が広いことを示します。ホウ素との比較のためにケイ素の結果を示します。固体のケイ素はダイヤモンド構造を持つ典型的な半導体です。価電子は原子間の共有結合にすべて拘束されているため、図4に示されるように、電子の動き回る範囲（遍歴範囲）は限定されます。ケイ素は溶けると一転して完全な金属になり、融体中を電子が自由に動き回るようになりますが、図からもケイ素融体中の電子の遍歴範囲が大きく広がっている様子が分かります。

ホウ素も固体状態では半導体であり、価電子は原子間に拘束されていますが、結晶構造が複雑なために結合の長い共有結合が存在します。それ故にケイ素と比べると、価電子の遍歴範囲が広がっています。融解に伴い遍歴範囲の分布は右へシフトしますが、固体と融体の分布の大部分はオーバーラップしています。ケイ素の場合とは明瞭に異なり、ホウ素の場合、融体中の価電子の遍歴範囲は固体と似ています。このことは、ホウ素は溶けても固体と同じく半導体的な性質を保持しており、金属にならないことを示します。これまではホウ素は溶けると金属になると考えられていましたが、実際には半導体であることが明らかになりました。

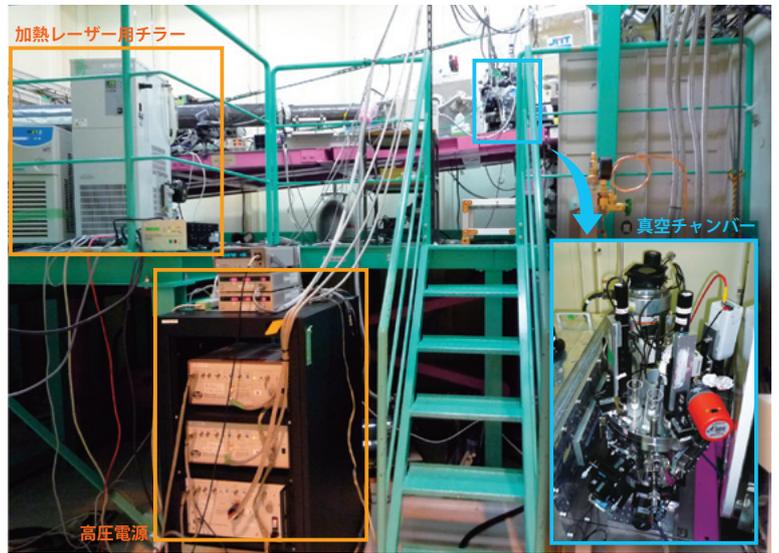


図3 大型放射光施設SPring-8の高エネルギー非弾性散乱ビームライン (BL08W) に設置した静電浮遊溶解装置

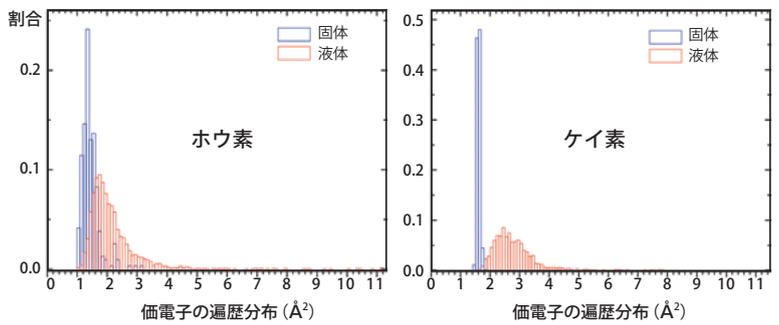


図4 実験結果の解析により求められた価電子が動き回る範囲（遍歴範囲）

宇宙実験に向けて

地上では、重力に抗して試料を浮遊させる際に、高電場が必要となるため、高真空雰囲気を用いて放電を防ぐ必要があります。ところが、真空雰囲気で液体を高温に熱すると、蒸発、解離が避けられません。蒸発や解離しやすい材料、例えば、酸化物は真空雰囲気で加熱すると酸素が抜けてしまい、溶かし切ることができません。それ故、融点の高い酸化物など、熔融状態の性質が未解明の物質が多く存在します。一方、微小重力環境では、そもそも試料が浮遊しているので、数百V程度の低い電圧で試料の位置を制御することができます。この場合、ガス雰囲気でも放電しません。ガス雰囲気を利用できるメリットは大きく、真空雰囲気では溶かせない材料を溶かすことが可能になります。

今年8月に宇宙ステーション補給機「このとり」5号機で、静電浮遊溶解装置が国際宇宙ステーション (ISS) へ打ち上げられます。ISSではガス雰囲気を用いた実験が予定されており、地上の真空雰囲気では溶融が難しい材料の性質を調べる実験が始まります。貴重な実験機会を存分に活用し、材料に対する新たな知見が得られるように努力したいと考えています。

(おかだ・じゅんぺい/いしかわ・たけひこ)

オーストラリア気球実験

エマルジョンガンマ線望遠鏡を用いた宇宙ガンマ線観測

4月上旬から5月下旬にかけて、オーストラリアにて気球実験を実施しました。この実験はオーストラリア連邦科学産業研究機構（CSIRO）との合意のもと、ニューサウスウェールズ大学が管理するアリススプリングス気球放球基地を拠点として行いました。

およそ1ヶ月かけて気球追尾用の地上通信装置の構築、気球放球装置の組み立て、気球搭載機器の動作確認などを行い、5月12日にエマルジョンガンマ線望遠鏡を用いた宇宙ガンマ線観測実験（GRAINE）を実施しました（表紙）。GRAINEは神戸大学、名古屋大学などが参加している実験で、数十MeV～100GeVのエネルギー領域のガンマ線の到来方向を高解像度で観測し、ガンマ線天体の空間構造ならびにガンマ線放射機構の解明を目指しています。GRAINEでは、特殊な写真フィルムである原子核乾板（エマルジョンフィルム）を用いることにより、現時点で最も進んだ観測がなされているフェルミガンマ線宇宙望遠鏡（天文衛星）よりもさらに上をいく高解像度観測を

気球実験で実現しようとしています。今回の観測では、エマルジョンガンマ線望遠鏡の性能評価の最終段階としてVela（ほ座）パルサーからのガンマ線を観測し、システム全体としての角度分解能の評価を行うことを目的としています。

気球は5月12日午前6時3分（日本時間）にアリススプリングスから放球され、およそ14時間の飛翔の後、午後8時25分（日本時間）にクイーンズランド州ロングリーチの北方約130kmに着地しました。翌日には観測機器の回収も無事に完了し、回収されたエマルジョンフィルムはシドニー大学に送られて現像処理が行われました。今後は名古屋大学の高速スキャン装置を用いてエマルジョンフィルムに記録されている情報の読み出しが行われ、データの解析が進められる予定です。

今回の実験はオーストラリア気球実験の第一弾ということもあり、国内での準備段階から多くの方々にご支援を頂きました。この場を借りてお礼申し上げます。（濱田 要）

水星磁気圏探査機（MMO）、ESAへ引き渡し完了

本誌5月号で、水星探査計画BepiColomboにおいて日本側が製作した水星磁気圏探査機（MMO）を宇宙研から送り出す際の様子をお伝えしました。今月号では、その後の様子を日記風にレポートします。

●4月14日，雨：MMOおよび試験装置類を積載した貨物機が、天候不良のため定刻をやや遅れて

22時12分に成田空港を離陸。●4月15日，快晴：貨物機は現地時間02時31分に約1時間遅れでオランダのアムステルダム国際空港に着陸。諸手続きのためいったん保税倉庫で待機。●4月16日，晴れ：衛星コンテナを搭載したエアサスペンショントレーラーが09時ちょうどにESTEC（欧州宇宙研究技術センター）に到着。開梱室でコンテナを清掃した後、クリーンルームに搬入。●4月17日，晴れ：MMO試験で使用する大量の試験装置および計算機類を輸送用木箱から取り出し、セッティング、ケーブル接続、動作確認を開始。●4月20日，快晴：いよいよクリーンルーム内で衛星コンテナを開梱。MMOがオランダの地



国王誕生日、MMO電気試験を終えて。

にその輝く雄姿を現した。詳細外観検査を実施。●4月27日，晴れ：今日は祝日（King's Day, オランダ国王誕生日）でESTECも通常業務はお休み。オランダ国王の名前Willem-Alexander Claus George Ferdinand van "Oranje"-Nassauにちなみ、国中がオレンジ色に染まり祝賀ムード。しかし我々日本チームは計画通りMMO輸送後電

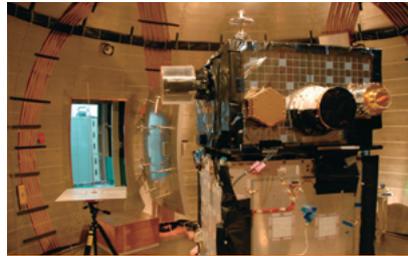
気試験を実施。手順書に従い作業を進め、緊張の面持ちで外部電源を投入。MMOの搭載計算機が正常に立ち上がり管制画面にテレメトリデータが表示された瞬間、歓声が上がった。すべての手順を終えた後、チェックアウト室でオレンジ色の風船を膨らませオランダ王室の繁栄とMMOの成功を祈念した。この時期は21時過ぎまで明るく、残業している感じがしない。●6月1日，曇り：計画された輸送後作業をすべて完了し、MMOのESA（欧州宇宙機関）への引き渡しを行った。

これからは、ESAと協力しつつ欧州モジュールとのインテグレーション試験を進めていきます。（前島弘則）

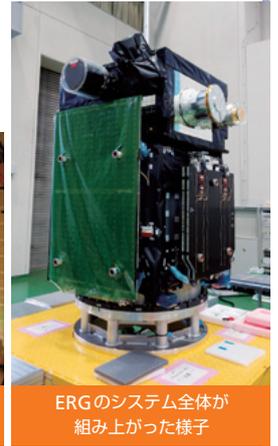
ジオスペース探査衛星 ERG, 一次噛合せ試験

ジオスペース探査衛星 ERG は、4月から実施していた一次噛合せ試験が6月18日に無事終了しました。一次噛合せ試験は、機械的インターフェースおよび電気的インターフェースの整合性確認、電磁適合性確認が主な目的です。ERGは、磁気圏観測衛星「あけぼの」、磁気圏尾部観測衛星GEOTAIL、火星探査機「のぞみ」、月周回衛星「かぐや」、水星磁気圏探査機(MMO)など、これまでの宇宙プラズマを計測する衛星・探査機と同様、宇宙空間の微弱な電磁場変動、プラズマ変動を計測するために、衛星システム全体に対して非常に厳しい電磁氣的にクリーンな環境条件を要求しています(例えば、地上で観測する地磁気の約1万分の1の精度で磁場を観測しなければならない)。この条件を満たすことがミッション達成に極めて重要なポイントですが、一次噛合せ試験の結果、条件が無事に達成できていることが確認できました。

一次噛合せ試験は、来年度の打上げを目指し、2ヶ月弱という非常に短い期間で実施しました。衛星システム全体を初めて結合して試験するという点で、いくつかの課題



磁気シールドルーム内で電磁適合性試験を実施中のERG



ERGのシステム全体が組み上がった様子

が見つかりましたが、土・日曜日を返上して関係者一丸となって作業に臨み、ほぼ予定通りに試験を終了することができました。関係の方々の多大なご尽力、ご家族の方々の深いご理解があったのと、この場を借りて感謝の気持ちをお伝えさせていただきます。

今後は今秋からの開始を予定しているフライトモデル(FM)総合試験に向けて、一次噛合せ試験の課題を解決し、準備を着実に進めてまいります。引き続きERGプロジェクトにご協力・ご支援をお願い致します。(篠原 育)

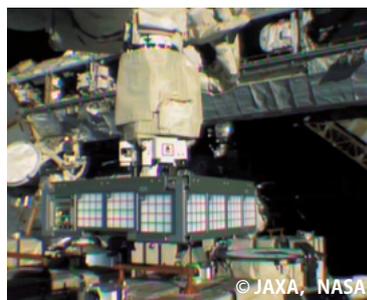
「きぼう」曝露部で「たんぽぽ計画」初年度曝露実験開始

日本初のアストロバイオロジー宇宙実験「たんぽぽ計画」が始まりました。

本計画は、綿毛が風に乗って新天地へ種をまいていく花をイメージして名付けられました。地球生命の材料となる有機物を含む宇宙塵の地球への到達と、地球生命の惑星間移動の可能性の両方を、地球周回の低軌道で検証することを目的としています。固体微粒子の捕集実験と極限環境微生物や模擬有機物の曝露実験を組み合わせ、全国26の大学・研究機関が回収試料を分析して、6つのサブテーマを探求します。

捕集実験では、独自開発した0.01g/cm³という極低密度のシリカエアロゲル※を用いて、有機物含有宇宙塵、低軌道まで到達するかもしれない大気粉塵、微小スペースデブリの非破壊捕集に挑みます。エアロゲルは3年間毎年交換し、地球へ回収されます。曝露実験では、宇宙線や紫外線に耐性を示すデインコッカス属細菌などの微生物を1~3年間宇宙空間に曝露し、年単位で各種の生存率を定量評価します。

曝露実験では、宇宙線や紫外線に耐性を示すデインコッカス属細菌などの微生物を1~3年間宇宙空間に曝露し、年単位で各種の生存率を定量評価します。



「たんぽぽ計画」の捕集パネルが搭載されたExHAM 1号機を「きぼう」曝露部に設置

3年分の実験装置一式は、米国スペースX社の無人補給船ドラゴン6号機に搭載され、4月15日にファルコン9ロケットで打ち上げられました。補給船は4月17日に国際宇宙ステーション(ISS)へドッキングし、5月14日には与圧部内で初年度分の実験装置が簡易曝露実験装置(ExHAM)1号機に取り付けられ、5月26日にエアロック経由で「きぼう」日本実験棟の曝露部へ設置されました。

6月からはバイメタル温度計の運用を開始しています。また来年の第1回地球帰還に備え、初期分析装置の製作も宇宙研の宇宙生命・物質科学実験室にて進めています。

「たんぽぽ計画」は2007年に、JAXA宇宙環境利用センター(当時)の曝露部第2期利用公募で選抜されました。その後、宇宙研の宇宙環境利用科学委員会ワーキンググループとして検討を深め、現在はJAXA有人宇宙技術部門と東京薬科大学(代表:山岸明彦教授)の共同研究、宇宙研の大学共同利用システムとして推進中です。(矢野 創)

※エアロゲル:超臨界乾燥で溶媒を気体に置き換えた多孔質、低密度の固体。

X線天文衛星「すざく」、10周年です

X線天文衛星「すざく」は、この7月に10歳を迎えます。衛星の開発、運用はとても多くの人の努力の積み重ねで実現されています。日夜問わず取り続けられる衛星のデータは、鹿児島県肝付町の内之浦宇宙空間観測所で受け取ります。受信のチャンスは1日5回程度現れるのですが、時間帯は衛星軌道で決まるので、夜中の運用が続くこともあります。このデータは相模原の宇宙研に蓄積され、インターネットを介して世界中の研究者のもとに届きます。こうして日本中、世界中に散らばる人の力を合わせて宇宙の謎を解くという、幸せな10年を「すざく」と一緒に過ごしています。

どの衛星も例外がないと思いますが、「すざく」も打上げからたびたび困難に直面してきました。最近ではバッテリーなどの電力まわりの経年劣化が大きな運用の課題でした。AとBの2系統のバッテリーが搭載されているのですが、2014年1月にはB系が、2015年1月にはA系が充電できなくなる事象が起きました。そのたびにもう運用終了か

と思いましたが、何とか乗り越え観測復帰を果たしています。また、X線CCDカメラ(XIS)と硬X線検出器(HXD)という二つの観測機器の活躍は特筆すべきです。軌道上の過酷な環境による多少の劣化はありますが、科学的成果を出すに十分な性能を維持しています。Nature論文も2年連続で出版されています。

と、ほぼ原稿を書き終えたところで、6月1日に「すざく」との通信が間欠的にしか確立できない状態になってしまいました。衛星の電源が失われて姿勢制御ができず、およそ3分に1回の周期で無制御にスピンしている状態だと推定されています。そういえば、「すざく」が軌道投入された7月10日はウルトラマンの日でもあります。ウルトラマンは3分たつとシュワッチと飛び立って視界から消えますが、宇宙のどこかでリフレッシュして、次週には何もなかったかのように戻って来てくれます。「すざく」もウルトラマンみたいに元気になって戻ってこられるよう、運用チーム一丸となって対策を検討中です。(前田良知)

第34回宇宙線国際会議 O'Ceallaigh Medal, 西村純先生に授与

1947年以来、第34回を迎える宇宙線国際会議(ICRC)において、元宇宙研所長の西村純先生がO'Ceallaigh Medalを授与されることが決まりました。ICRCは、国際純粋・応用物理学連合(IUPAP)のコミッションC4によって主催されている国際会議の一つです。本メダルは1999年以來、“outstanding

contributions to cosmic ray physics”に該当する研究者に贈られ、これまでの8名の受賞者の中にはノーベル賞を受賞しているV. L. Ginzburgなどの名も見られます。

西村先生の受賞理由として挙げられる宇宙線関連分野の業績は数多くありますが、その中でも①3次元電子シャワー理論(N-K関数)、②中間子多重発生における二次粒子横運動量の一定則、③エマルジョンチェンバーによる中間子多重発生の気球実験、④高エネルギー一次宇宙線の気



左：ゴム気球水平浮遊用特殊排気弁のテスト実験での西村純先生。
1968年7月、福島県原町。
右：シンチファイバーを用いた電子観測器(BETS、CALETの前身)
気球実験の様子。1998年5月、岩手県・三陸大気球観測所。

球観測、そのほか宇宙科学関連の観測・研究が、歴史的な意義を持つものです。特筆すべき点は、これらの実験に必要な大気球観測を日本において立ち上げ、南極周回気球を含む先駆的な気球観測システムを提案・開発し、数多くの気球実験を達成されたことにあります。

西村先生のライフワークともいえるべき高エネルギー

一次電子の研究は、筆者らが先生のご指導で開始した気球実験から、国際宇宙ステーションの「きぼう」日本実験棟に搭載するCalorimetric Electron Telescope(CALET)に大きく飛躍する時機にあります。西村先生はすでに米寿を迎えられているとはいえ、なお活発に研究活動を行っておられ、今回の受賞は日本の宇宙線研究者にとっても大きな励みとなるに違いありません。

(早稲田大学理工学研究所 教授 鳥居祥二)



第3回

衛星や探査機の電気試験・運用のための装置

松崎 恵一

学際科学研究系 准教授
科学衛星運用データ 利用ユニット

映画に登場する「管制センター」のモニタを想像してください。今回は、科学衛星や探査機（以下、衛星）を人が扱うための装置、管制装置と Quick Look 装置 (QL 装置) についてのお話です。

衛星を地上で支える指揮者は、管制装置を用いて衛星に指令（コマンド）を送信し、QL 装置に表示された文字やグラフを通じて衛星から受信したデータ（テレメトリ）から衛星の状態を確認します。衛星が日々実行する任務は地上で計画され、「コマンド」として管制装置から衛星に送信されます。コマンドは、直ちに実行されるよう一つ一つ送信されるか、あるいは指定した時刻に実行されるようまとめて送信されるかのいずれかです。また、衛星の状態は、常時衛星上でデータレコーダに記録され、地上と通信が可能な時間帯に「テレメトリ」として再生、地上に送信されます。地上では、テレメトリが届き次第、QL 装置やそのほかの装置を用いて、衛星が健全か否か、データが正常に取得できているか否かがチェックされます。異常が見つかった場合、どこが異常なのか、なぜ発生したのか、原因究明のための調査が行われます。このように、衛星に指示を出し状態を確認する作業を、衛星運用と呼びます。特に、衛星が地上と通信している間の運用を、リアルタイム運用と呼びます。

衛星のリアルタイム運用は、通常、2～3人が一組となり、1台の管制装置と2台のQL装置を用いて行われます。緊急時や特に重要な運用を行う際には、より多くの人々が集まり、多くのQL装置が用いられることもあります。これらの装置は、効率よく利用できるように、一つの装置で複数の衛星に対応できるつくりとなっています。衛星ごとのパラメータがデータベース化され、ソフトウェアはこのデータベースを読み込んで動作します。このデータベースは、衛星情報ベース (Spacecraft Information Base : SIB) と呼ばれ、衛星のテレメトリ・コマンドの設計を記述するものです。近年導入した管制装置とQL装置は、パソコンなど汎用の計算機で動作するソフトウェアとして整備されています。このソフトウェアは



図 管制装置にて探査機の状態を確認しているリアルタイム運用中の「はやぶさ2」プロジェクトメンバー。イオンエンジン連続運転中の様子。

それぞれ、コマンド発行・状態監視ソフトウェア、テレメトリ監視ソフトウェアなどと呼ばれ、汎用衛星運用試験ソフトウェア (Generic Spacecraft Test and Operation Software : GSTOS) というソフトウェア群に含まれています。

衛星の管制装置・QL装置は、衛星が地上にあり、電気的な機能試験をしている段階から使用され、衛星の検証と並行してそれ自身も検証されていきます。管制装置・QL装置を構成するソフトウェアは複数の衛星での検証を経ており、問題が発見されることはまれです。他方、SIBは衛星ごとにつくられるため、その検証がポイントとなります。つくりたてのSIBにはある程度の割合で誤りが含まれます。近年の衛星では、コマンドの数は数千、テレメトリの数は数万に達し、全体では相当数の誤りを正さなければなりません。従来衛星では、管制装置・QL装置が利用可能となるのは衛星が組み上がった段階だったため、SIBもこの段階で検証されていました。衛星が組み上がった段階での試験は衛星自身の検証が主目的であり、一度に10人ほどが作業を行う大掛かりなものです。予期せぬ事象が起きたときに、これは衛星自体の異常なのだろうか？ SIBの記述ミスなのだろうか？ と、皆で首をかしげることとなります。

我々は、この状況を改善するために二つのアプローチを取っています。一つ目は、少人数で実施されるサブシステムやコンポーネントと呼ばれる構成での試験から管制装置・QL装置を適用し、SIBの検証を衛星組み上げの前に済ませてしまう方法です。この方法は、過去最大規模の科学衛星である次期X線天文衛星ASTRO-Hに適用され、効果を挙げています。二つ目は、SIBに基づき搭載ソフトウェアの一部を生成することで、搭載装置とSIBの食い違いを根本からなくす方法です。この方法は、惑星分光観測衛星「ひさき」以降、衛星のいくつかの搭載機器に適用され、実績を挙げています。

(まつざき・けいいち)

