



井上一 前本部長（向かって右）から小野田淳次郎 新本部長へバトンタッチ

新任のごあいさつ

小野田淳次郎
宇宙科学研究本部 本部長

このたび、井上一 本部長の後を継いで、本部長に就任することになりました。日本としての宇宙開発利用の枠組みが大きく見直されようとするこの大切な時期に、大任を仰せ付かり、身の引き締まる思いです。

宇宙科学研究所は、宇宙科学（理学および工学）にかかわる大学共同利用機関として、全国の研究者とともに世界に誇れる輝かしい成果を挙げてきました。JAXA への統合後も、法的には大学共同利用機関から外れたものの、関係者のさまざまな工夫と大変な努力により、宇宙科学研究本部として実質的には大学共同利用の機能を維持し、「はやぶさ」「すざく」「あかり」「ひので」「かぐや」などにより、世界的な成果を創出し続けてきました。

しかし、これからも世界的な成果を創出し続けることは容易ではなく、優れた研究者が集まる魅力的な研究所となるべく、たゆまぬ努力と新たな施策が必要です。統合後6年を経て、JAXA 内で宇宙科学を推進するによりふさわしい仕組みを模索する議論がようやく始まっています。ま

た、統合に加えて大学の法人化などに伴う環境変化の中で、宇宙科学における大学共同利用の機能の強化に向けた新たな試みを模索しています。

昨年の宇宙基本法の施行を受け、我が国の宇宙開発利用全体の枠組みの大きな改革が行われようとしています。政治が宇宙に強い関心を持つに至ったのは喜ばしいことであり、策定された宇宙基本計画にも宇宙科学の重要性が反映されていますが、具体的な体制はこれからの議論とされています。日本の宇宙科学がこれからも高い水準の学術成果を創出し続けるためには、研究者コミュニティの自律性、研究者の総意に基づくミッション選定、研究者自らによるミッションの実施、多様性や挑戦を許す文化、公開の原則、大学と同様な自由な雰囲気などが、新体制においても確保されなければなりません。大局的議論のはざまに落ちて宇宙科学を効果的に推進するに必須の仕組みや文化が壊れてしまうことのないよう、関係各位と全職員のご理解とご協力を強くお願いします。（おのだ・じゅんじろう）

静電浮遊法を用いた 超高温液体の研究

岡田純平

宇宙環境利用科学研究系 助教

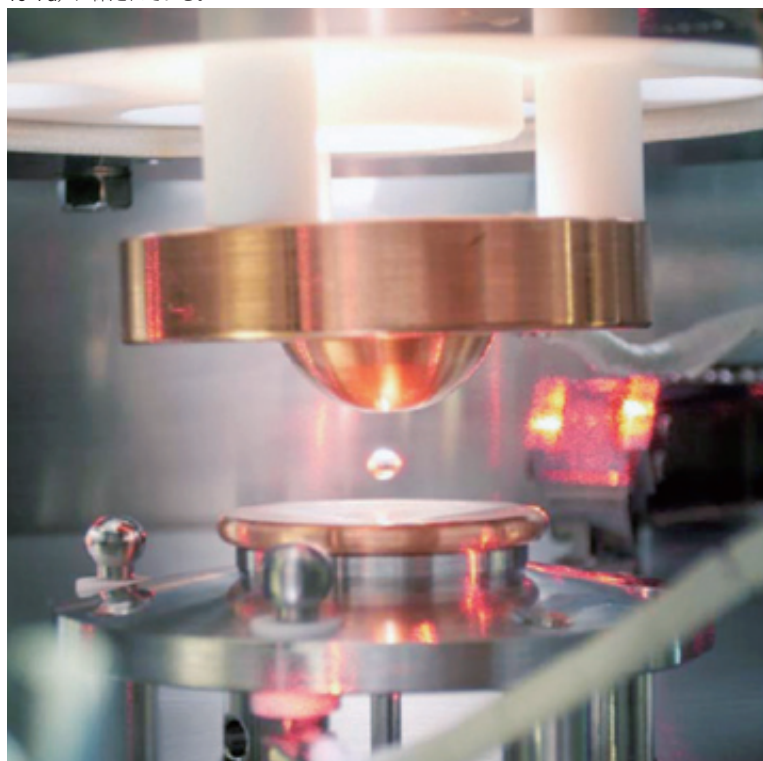
はじめに

私たちが日常で飲み物を持ち歩くと、液体を容器に入れて運びます。容器からこぼれると、液体は周囲に広がってしまいます。液体の温度が100℃、500℃と上がっていても、液体を入れるための容器は必要です。しかし、液体の温度が1000℃を超えると、容器の選択が難しくなります。容器として使っている材料の融点が低いと溶けてしまいますし、液体と容器が化学反応を起こす場合もあります。2000℃を超えると、容器として使える材料がなくなります。

液体の性質を調べる場合、液体を1ヶ所に保持できないと精密な測定ができません。そのため、融点が高く容器を使うことができない液体の性質については、分かっていないことが数多く残されています。工業的に重要な材料でも、シリコン(1412℃)、鉄(1535℃)など高融点の液体については、基本的な性質について案外分かっていません。

私たちは、こうした1000℃、2000℃という超高温の液体について研究しています。材料の最も基本的な情報となる原子構造、電子構造、密度、あるいは工業的に重要となる粘性、表面張力などの熱物性を測定し、材料開発に結び付けることを目標にしています。

図1 静電浮遊溶解装置の内部
上下の銅電極の間(電極間距離8mm)に直径2mmの金属球が浮遊している。電極間の電圧は約15kV。放電を防ぐために、チャンバー内は真空雰囲気(〜10⁻⁵Pa)に保たれている。



静電浮遊法

液体を保持するために容器が使えない場合、液体を浮遊させれば液体と容器の問題を避けることができます。しかし、単に浮かせてただだと、液体が動き回ってしまいます。こうなると、正確な測定が行えません。浮かせた上で動かないようにすること、これは実験にとって重要ですが、容易ではありません。

JAXAは、国際宇宙ステーション(ISS)で浮遊溶解実験を行うために、静電浮遊法の研究開発を進めてきました(ISASニュース2005年6月号「無容器浮遊と過冷却の科学」参照)。静電浮遊法は、帯電させた試料とその周囲に配置した電極との間に働くクーロン力(プラスとマイナスの間に引力が働き、プラス同士またはマイナス同士では斥力が働く)を利用する浮遊方式です(図1)。この方法は、NASAジェット推進研究所(JPL)で基礎技術が確立されましたが、帯電すればあらゆる試料を浮遊できるなど優れた特徴を持ちます。浮遊した試料に加熱用レーザーを照射し、試料を溶かします。私たちはこれまでに、タングステン(融点3410℃)やレニウム(融点3180℃)などの超高温融体の溶解に世界で初めて成功しています。

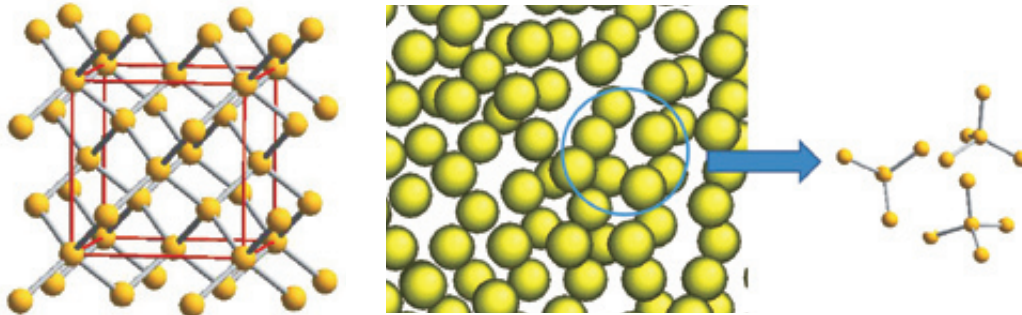
静電浮遊溶解装置は、ISSで実験することを目標に開発してきました。そのため、ロケットを使って装置を運び上げ、実験スペースの限られたISSで実験できるよう、コンパクトかつ運搬が容易な仕様になっています。ですから、ISSはもちろん、普段使っている実験室を離れさまざまな場所へ装置を設置し、実験を行うことができます。そこで、私たちは静電浮遊溶解装置をISS以外の場所へ設置し、超高温液体の原子構造や電子構造を調べることができないかと検討を進めました。

SPring-8を使った実験

原子構造や電子構造について調べるためには、X線を用いると好都合です。X線は電磁波ですから、電子と相互作用します。また、電子の大部分は原子核の周囲に集まっています。物質にX線を入射し、散乱してきたX線のエネルギーや散乱方向を詳細に解析すれば、原子構造(原子核の位置)や電子構造の詳細を知ることができます。

高温液体の原子構造、電子構造を調べるために、兵庫県西播磨にある大型放射光施設(SPring-8)

図2 シリコンの原子構造



a 固体シリコンの原子構造
(ダイヤモンド構造)

b 液体シリコンの予想される原子構造
ランダムに原子が配列しているが、局所的には、固体の原子構造によく似た構造を持つと考えられる。

へ静電浮遊溶解装置を設置し実験を行いました。SPring-8は世界で最も強力なX線の利用が可能な実験施設です。SPring-8を使うために世界中から研究者が集まってきます。これまでに、SPring-8を用いてさまざまな超高温液体について実験を行ってきましたが、ここでは液体シリコンの実験について紹介します。

シリコンはコンピュータのCPUや太陽電池に用いられる、社会を支える電子機器に欠かせない重要な材料です。とりわけ融液からのシリコン単結晶成長技術は、半導体シリコン産業の基盤を形成する重要な要素の一つです。液体シリコンの流動状態や凝固過程を解明できれば、単結晶成長過程の制御性向上に新たな道が開かれ、単結晶シリコンの大口径化など、技術的に大きな波及効果が期待できます。そのためには、液体シリコンの基本的な特性を正確に把握することが重要になります。

シリコンは、固体では半導体で電気をほとんど流しませんが、溶けると電気伝導度（電気の流れやすさ）が大きく増え、自由電子近似が成り立つ典型的な金属である液体アルミニウムと同程度まで増加します。そのため、共有結合を持ち典型的な半導体である結晶シリコンは、融解すると一転してアルミニウムのような単純な金属（等方的な構造を持ち価電子が自由電子として振る舞う）になる、そのように長い間考えられてきました。

このことをもとにシリコンの結晶成長を考えてみると、ナトリウムのような金属融体から金属結晶への結晶成長、あるいは塩化ナトリウムのような熔融塩からイオン結晶への結晶成長とは状況が大きく異なっていることが分かります。ナトリウムや塩化ナトリウムでは、液相と固相とでイオン配列と電子的性質の違いはほとんどありませんが、シリコンでは、それらがいわば対極にあるといえるほど違います。均質な構造を持つ液体金属シリコンから、どのようにして典型的な共有結合を示すダイヤモンド構造を持つ結晶が成長してくるのでしょうか。原子（電子）レベルでこの問題に答えることは、学術的にも実用的にも重要です。

最近、液体シリコンについて第一原理計算法*による理論的な研究が行われ、価電子状態についての

詳しい情報が得られました。それによると、これまでの自由電子的描像に反して、液体シリコン中にはフェムト秒（ 10^{-15} 秒）で生成消滅を繰り返す共有結合が存在し、しかもそれが非常に多くの割合で存在する可能性が報告されました。液体中の原子は、固体と比べ激しく運動していて、互いに近づいたり離れたりをしています。そして、原子間の距離が約 2.5\AA 以下になると共有結合が生成し、原子の運動に伴って原子間距離が約 2.5\AA より長くなると、結合が切れることが明らかになりました。この臨界距離 2.5\AA は結晶シリコンの結合の長さ 2.35\AA より少し長く、つまり、固体シリコンでは、すべてのシリコン原子が4本のボンドを出して手をつないでいますが、液体では、原子の運動による原子間距離の変化に応じて、時間とともにボンドができたり切れたりしていることが報告されました。

このことが液体シリコン中で実際に起きているとすると、固液界面での結晶成長についての描像が大きく変わり、より明確で自然なものになります。しかし、これまでの多くの試みにもかかわらず、共有結合の存在を直接観測することに成功した例はありません。シリコンの融点は非常に高く（ 1412°C ）、化学反応性が高い液体シリコンをいかに安定に保持するか、また、高温試料の電子状態を直接観測するにはどのような測定法を用いるのが適切かといった克服すべき多くの課題があり、これらのことが実験的研究の障害になっていました。私たちは静電浮遊法と放射光を組み合わせることで、これらの障害を克服することができました。

静電浮遊法を用いて真空中に浮かせたクリーンな液体シリコンに対して、SPring-8の放射光X線（ 116keV ）を用いたコンプトン散乱測定を行い、初めて電子運動量密度分布を決定することができました。得られた電子運動量密度分布を詳細に解析した結果、融点直上の液体シリコンの電子運動量密度分布は、単純な原子構造を仮定した分布とは大きく異なり、結晶シリコンの分布に限りなく近いという興味深い結果が得られました。液体シリコンは、通常の単純液体のように原子が完全にランダムに配列しているのではなく、結晶シリコンと非常によく似た局所構造を持っている可能性が高いといえます（図2）。

*第一原理計算：「最も基本的な原理に基づく計算」を意味する。物質科学の場合、電子間、原子核間および電子-原子核間のクーロン相互作用から出発し、量子力学の基本法則に基づく電子状態理論を使って電子分布を決め、物質のさまざまな性質を計算から求めることが可能になっている。実験では分からないミクロな情報を補うことで実験結果の理解に役立ち、また最近では、まだ合成されていない新物質の予想や、実験困難な極限条件下の物質科学研究のために役立っている。最近の計算機の進歩とそれに見合った方法論の発展によって、第一原理計算は以前よりも手軽で信頼性の高い実用的な手法となり、応用範囲が着実に広がっている。

おわりに

静電浮遊溶解法は、ISSという大きな目標があったからこそ完成することができた実験技術です。SPRING-8の実験としてSPRING-8で実験を行った結果、液体シリコンの電子構造について長年議論されていた問題について答えを得ることができました。今回紹介することはできませんでしたが、液体ボロン（融点2180℃）など、ほかの超高温液体についても面白い結果が得られています。静電浮遊溶解装置は、これまで実験が不可能だった超高温液体の研究を可能にする非常に有用な実験手段です。

静電浮遊溶解装置は、ISSでの実験を目標に開発が進められてきた装置ですが、地上での研究が進んだことで、地上でできることと宇宙でしかできないことの区別が明確になりました。シリコンのような単一成分系の液体については、熱対流の影響も多少ありますが、地球上でもかなり正確に測定を行うことができます。また、ISSの中にSPRING-8のような大きな実験施設はありませんから、宇宙実験の相補的なもの

のとして地上実験は重要です。

しかし、酸化物、フッ化物、窒化物などの、耐熱材料、機能性材料あるいは省エネルギー関連として最近注目されている材料は、真空雰囲気が必要とする地上の静電浮遊実験装置では、加熱するとガスが抜けてしまい、溶かすことができません。溶かすためには、ガス雰囲気での実験が可能なISSでの実験が不可欠です。したがって、静電浮遊溶解装置をISSへ設置し、ガス雰囲気を使った溶解実験をぜひ実施したいと考えています。これまで実験すら行うことができませんでしたから、私たちの想像を超える面白い現象が発見されるのではないのでしょうか。さらに、日本には、SPRING-8のほかにも世界最高の実験施設が数多く存在します。これらを存分に使いながら、材料開発のブレークスルーを目指して、研究を進めていこうと考えています。

本研究は、宇宙航空研究開発機構、東京大学、高輝度光科学研究センターの皆さまにご参加いただき、実験を行うことができました。心より感謝申し上げます。
(おかだ・じゅんぺい)

ISAS 事情

PLANET-C 総合試験実施中

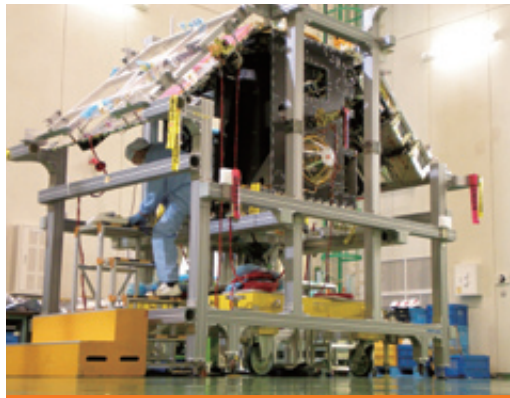
6月から始まった金星探査機PLANET-Cのフライトモデル総合試験も、5ヶ月目に入りました。2001年のミッション提案から8年の時を経て、今まさに探査機が組み上げられています。超高速で回転する金星大気への謎に迫るための5つのカメラを搭載して、いよいよ来年、地球を飛び立ち、金星へと向かいます。総合試験は探査機開発の最終段階に当たり、この試験が終わり次第、PLANET-Cは射場である種子島に運ばれます。つまり、この総合試験ですべての問題を発見・解決しなければなりません。試験開始から探査機の搬出まで9ヶ月以上にわたる長丁場ですが、一つ一つの試験にかけられる時間は限られており、後戻りのできない緊張感の中で、作業が進められています。

総合試験では、単独で開発・試験・調整されてきた各機器を

相模原キャンパスに集め、探査機を組み立てながらさまざまな試験を実施しています。まずは各機器が搬入され、外観の検査と探査機本体を構成するパネルへの取り付けが行われました。そして、機器の動作や機器間の電氣的・機械的インターフェースなどを確認しました。9月の第2週には、さまざまな機器が取り付けられた上部パネルと、燃料タンクや衛星のエンジン部分

部分が取り付けられた下部パネルが組み付けられ（写真）、ついに探査機の全貌が見えてきました。ここからの試験は探査機全体を対象としたものになり、この10月には、打上げ時の振動衝撃への耐性を確認する試験が行われています。

これらの探査機本体の試験と並行して、射場の準備、探査機とのやりとりを行う地上局の試験、運用体制やデータの



PLANET-C組み立て風景。下部パネルと上部パネルの組み付けが行われた。機器や配線の干渉がないよう慎重に確認してから側面のパネルを閉じた。来年、この機体が金星へと向かう。

処理体制の検討なども着々と進んでいます。相模原キャンパスの一般公開では総合試験中の実機を公開し、私たちプロジェクトメンバーだけでなく、見学にいらした皆さんにも打上げが刻一刻と近づいていることを感じていただけま

した。しかしながら、来年に迫る打上げに向けてやるべきことは、まだまだたくさんあります。金星でのデータが地球に届く日を楽しみに、これからもプロジェクトメンバー丸となって頑張ります。(大月祥子)

「宇宙学校・くしろ」開催

ややもすると一方通行になりがちな通常の講演会とは違い、参加者と講師の双方向のやりとりを中心としたスタイルで好評をいただいている「宇宙学校」ですが、年2回の地方開催では全国をくまなく回るには不十分です。実際、地方にお住まいの方々からは、地域のバランスを取りながらできるだけ多くの場所で開催してほしいというリクエストをよくお受けします。そこで今年からの試みとして、基本的なスタイルはそのままに、共催団体を公募することにより、潜在的な協力先を発掘しつつ年間の開催場所を増やすことにしました。寄せられた応募の中から、受け入れ態勢、会場の規模、開催地のバランス、地域連携拠点の形成の可能性などを総合的に考慮して、今年度については東京以外に4ヶ所の採択を決めました。規模も従来型の1日コースだけでなく半日コースなど自由度を持たせ、内容も年間を通じた画一的なプログラムや講師陣ではなく、先方の希望を取り入れてオーダーメイドでつくり上げるようにしています。



宇宙に夢中な子どもたち

記念すべき第1回は9月19日に、釧路市こども遊学館で開かれました。キャッチコピーはお国なまりで「宇宙に夢中だべさ!」。先方からのリクエストに応じて半日コースとし、午後は工作教室に充てました。内容も先方の企画展に合わせました。1時限目は「宇宙飛行士と国際宇宙ステーション」と題して私が国際

宇宙ステーションを使った学術研究の紹介をし、2時限目は「宇宙からみる太陽」と題して太陽観測衛星「ひので」の成果を中心に坂尾太郎さんにお話しいただきました。参加者数は会場定員いっぱいの53名。大人も半分程度含まれていましたが、子どもたちからの質問が絶えることはありませんでした。

今後、東京都目黒区(11月3日)、富山県黒部市(11月22日)、岩手県大船渡市(1月9日)、徳島県板野郡(1月23日)と行脚が続きます。なお、来年度も今回同様に共催団体を公募する可能性があります。ぜひわが町にも宇宙学校を、という方は今のうちから準備をお進めください。(阪本成一)

HTV 技術実証機, ついに国際宇宙ステーションに到着!

2009年9月11日未明にH-II Bロケット試験機で打ち上げられたHTV技術実証機(HTV-1)は、9月18日早朝、国際宇宙ステーション(ISS)のロボットアームで、ISSの米国モジュールであるハーモニーに取り付けられました。その後ISS側からHTV-1への電力および通信ラインの接続作業やハッチ開作業などが実施され、9月19日早朝、ついにISSクルーがHTV-1と圧部内に入りました。

HTVには、与圧部と非与圧部からなる荷物搭載区画があります。今回のHTV-1は技術実証機なので、荷物は積



国際宇宙ステーションに接近するHTV技術実証機

み込まずおもりだけを搭載していると思われがちですが、実は与圧部にも非与圧部にも大切な荷物を満載した重要な補給ミッションです。私はこの荷物のうち、JAXAの実験機器のインテグレーションを担当しています。HTV-1の積み荷を簡単に紹介すると、非与圧部にはNASAとJAXAの曝露実験装置が一つづ

つ搭載されました。JAXAの装置は超伝導サブミリ波リム放射サウンド(SMILES)で、500kg弱の質量があります。与圧部には食料や日用品、ISSのメンテナンス機器や実験装置など、NASA、ESA、JAXAの荷物が大量に積み込ま

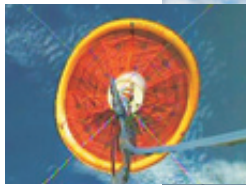
れました。JAXAの実験機器では、植物の種子やハイビジョンカメラのテープなどの軽量品から、細胞培養実験用の小型の供試体、流体物理実験用の中型の供試体まで合計300品目、170kgを超える物品をISSに運びました。できる限り多くの物品を、それぞれの要求通りに搭載するために、何度も何度もNASA、ESA、JAXA間で積み荷のレイアウトの検討・調整を行いました。

現在、SMILESはすでに「きぼう」船外実験プラットフォームに移設され、機能の初期検証作業を進めています。また、与圧部の荷物は、毎日クルーによってISSの各モジュールに移送されています。HTV-1が今回届けてくれた大切な機器を、そしてこれからも毎年HTVが届けてくれる機器を使って、たくさんの実験・利用の成果を出せるよう尽力したいと思います。(若月孝夫)

平成21年度第二次気球実験

平成21年度第二次気球実験を、8月17日から北海道大樹町の連携協力拠点大樹航空宇宙実験場で実施しました。

まず8月25日に、新しい大気突入システム開発の一環として、小型柔構造インフレーターブル飛翔体の展開および飛行試験(B09-04)を実施しました(写真)。6時07分に放球した満膨張体積5000m³の気球は、高度24.7kmで水平浮遊。インフレーターブル飛翔体の浮き輪型エアロシェルを膨張、膜面を展開させ、飛翔体を切り離して約30分間の自由飛行試験を実施し、エアロシェルの展開や降下時の画像や飛翔データを得ました。



B09-04実験での気球放球と上空で展開したエアロシェル(左)

8月27日には、高エネルギー電子・ガンマ線の観測による宇宙線の起源や伝播機構の解明を目的としたB09-08実験を実施しました。6時21分に放球した満膨張体積10万m³の気球は、高度33.9kmに到達。2時間半の水平飛翔の間に約1万3000事象の高エネルギー電子線のデータを取得し、気球上昇中も含めさまざまな高度での大気ガンマ線のデータも予定通り得られました。

9月11日には、100日間以上の超長時間飛翔を可能とす

る次世代気球開発の一環として、圧力气球小型モデルの飛翔性能試験(B09-07)を実施しました。6時19分に放球した満膨張体積6万m³の圧力气球は、高度32.6kmに到達。気球の一部のフィルムが折り重なり完全には展開しませんでした。成層圏で気球内部の圧力が外部大気圧より高い状態で水平飛翔させられたことは、圧力气球の実用化に向けての大きな成果でした。

このほかに成層圏大気クライオサンプリング(B09-05)とソーラー電力セイルの展開総合実験(B09-06)を予定していましたが、天候不順により飛翔機会を得られないまま高層風が実験に適さない状態になったた

め、実施を来年度以降に見送り、9月12日に第二次気球実験を終了しました。なお、B09-08実験において、試験的に気球尾部に装着した無線装置の装着方法が影響して観測器切り離し後の気球が正常に破断せず、北海道広尾町の山中に着地しました。実験再開に当たり、気球引き裂き機構のものには問題はないことを再確認しました。関係各方面の方々にご迷惑をお掛けしたことをお詫びするとともに、今年度の実験実施へのご協力に深く感謝致します。

(吉田哲也)

ロケット・衛星関係の作業スケジュール(10月・11月)

	10月		11月	
PLANET-C			総合試験(相模原)	
IKAROS			総合試験(相模原・筑波)	

第13回 きぼうの科学

宇宙初の植物実験を目指す

宇宙環境利用センター 開発員
矢野幸子

植物は、根を地下に伸ばして水分と栄養分を吸収し、茎を地上に伸ばして葉で光合成を行っています。動物でいうところの骨や筋肉の役割を持つ、茎の細胞壁を丈夫にすることによって、自分の重みで茎が倒れないようにしています。また植物は、日照の変化や風などさまざまな環境に取り囲まれている中で、上へ成長するための情報として、地上では変化のない重力を選びました。つまり、成長の方向を決めるために重力を利用しています。では、重力のない宇宙で植物はどう成長するのでしょうか。

この問題に答えるために、細胞培養実験に続き、国際宇宙ステーション (ISS) の日本実験棟「きぼう」で植物の生育実験「微小重力環境における高等植物の生活環」(代表研究者：富山大学 神阪盛一郎客員教授) を実施します。この実験では、細胞培養装置 (CBEF: Cell Biology Experiment Facility) と植物実験ユニット (PEU: Plant Experiment Unit) を用いて、植物の生活環、すなわち発芽・葉や茎の生長・受精・胚発生・種子

形成に対する重力の影響を、形態変化とその背景にある遺伝子の働きの変化に注目して調べます。この実験は Space Seed という愛称で呼ばれています。

CBEFは、2008年3月に土井隆雄宇宙飛行士の乗ったスペースシャトルでISSに運ばれた共通実験装置です。微小重力実験区と人工重力区を備え、庫内の温度・湿度を一定に保つことのできるインキュベータ (恒温恒湿槽) です。微小重力条件下での対照実験

ができるターンテーブルを持つことが特徴です。

PEU (図1) は、本実験のための実験試料 (乾燥種子)、生育用照明、給水システム、換気システム、観察システムを備えており、CBEFに接続して使います。2009年8月打上げのスペースシャトルでISSに届けられました。その後約2ヶ月にわたり、植物の生長を観察する実験を行います。PEU内部機器の制御は、付属の実験用ラップトップ (ELT: Experiment Laptop Terminal) によって行います。照明は連続光を照射し、給水は植物の生長により蒸散量が変わるためフィードバック運転になっています。容器内の湿度が上がると受粉や結実に影響するため、換気ポンプで容器内の換気を行います。容器近傍温度を微調整するためにヒータも付いています。このように植物の生育に必要な環境条件を整えるための内部機器は運転プログラムにより制御されており、運転ファイルにはポンプの運転タイミング、ヒータのON/OFF条件などが記載されています。クルーが実験開始操作をした後は自律運転となり、容器内の温湿度データ、給水/換気ポンプ・ヒータのステータスなどのログを収集します。実験中は1日2回ログファイルを地上にダウンリンクして、実験状況を確認します。生長のフェーズに応じて適切な条件を記載した運転ファイルを地上から送り、書き換えます。植物の生長の様子は内部カメラで撮影し、その画像は1日1回、共通実験装置の画像取得処理装置を経由して地上にダウンリンクします。

このように宇宙での植物の画像を地上に送って毎日観察するだけでなく、宇宙で採れた種子を地球に持ち帰り発芽させて生育状態を観察し、地上と宇宙の違い、普通の生育との違いなどを調べます。

もう一つ、植物の細胞壁に関する実験もします。重力のない環境で細胞壁構築にかかわる遺伝子の働きがライフサイクルの各段階でどのように変化するかを、宇宙で育てた植物を化学固定して冷蔵または冷凍状態で地球に持ち帰って調べます。

この実験に使うシロイヌナズナは、種子が発芽し次の世代の種子が採れるまでに約60日間と、ライフサイクルが植物の中では短いことが特徴です。また、高等植物の中で最も早く全ゲノムが解読され、ライフサイクルに対する重力の影響を遺伝子レベルで解析することが可能になりました。それでも、このような実験は、2週間程度の飛行期間しかないスペースシャトルでは行うことができませんでした。また、微小重力区と人工重力区 (1g) で同時に植物を育成して種子を採る対照実験は、成功すれば世界初となります。長期滞在が可能なISSならではの実験です。この実験によって、将来宇宙で植物生産を行うために必要な基礎情報が得られることを期待しています。(やの・さちこ)

図1 植物実験ユニット (PEU)
約21×13×8cmに多機能を詰め込んでいる。細胞培養装置から供給される電力を有効に使うため、赤と青のLEDで植物を生育する。

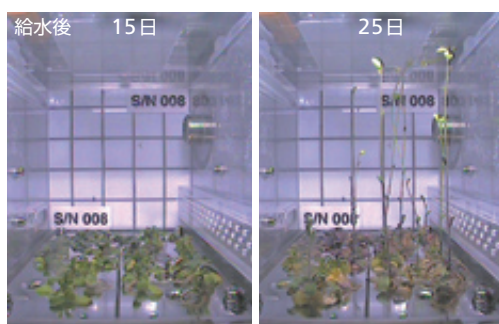
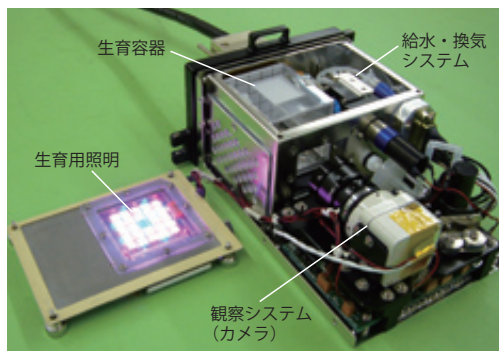


図2 植物実験ユニット内部で生育させた植物の様子 (地上実験)

走る、飛ぶ、
航^{わた}る、飛^ぶぶ

2009年7月、私は文字通り西に東に飛び回ることになった。7月7日から17日までイタリアのローマに、18日に一度日本に帰国し、翌19日に日本を再度たちアメリカ・カリフォルニアのスタンフォードへ。帰宅したのは相模原キャンパス一般公開の喧噪も過ぎ去った26日であった。ヨーロッパ、アメリカと回るのだから、途中で日本を経由しない方が移動時間は短い。しかし、航空券はなぜだか、そちらの方が高価である。さらに、一時帰国日の夕方に友人の結婚披露会（横浜で船上パーティー）があるとの連絡を受けた。そういうわけで、飛行機、船、飛行機と乗り継ぎ奔走することにした。

私は、何億光年にもわたる宇宙の大規模構造に沿って存在するといわれている中高温（数百万度）のガスの観測を目指した研究を行っている。将来の人工衛星で3次元の地図を描きたい。そこで、数値シミュレーションに基づいた研究を行っているローマ第三大学の共同研究者たちのもとに10日間滞在し、期待される地図の質や得られる物理量について議論を重ねた。朝9時前から夜8時まで研究に没頭するという濃密な時間を過ごせたのは幸いである。彼らも付きっきりで議論してくれた。非常に良い時間を過ごすことができた。

ヨーロッパの人は土日は当然家族と過ごすため、研究はお休み。その間、私はローマやバチカンの各所を巡った。フォロ・ロマーノやコロッセオ、古アッピア街道などを巡り、2000年の時に思いをはせる。天文学者は何十億年前という遠い昔までさかのぼって研究を行うが、あまりに遠く実感がわからない。対して、2000年前というのは、なんとなくイメージできる気がする。当時の日本との比較からも、ローマのスケールの壮大さに驚く。共同研究者によると、コロッセオは5年間で建造されたそうである（注：その後調べたところ8年間という情報もあり）。当時、あのサイズの建造物をその年月で完

成させたというのは驚きだ。参考までに、我々の考えている衛星ミッションが実現するのは約10年後だと予想される。さらに科学的な成果が出そろうには数年の観測が要るだろう。比較すると、ちょっぴり寂しくなる。

そんなローマでイタリアらしさを一番感じたのは最終日である。空港へ向かう電車のダイヤが乱れ、大変なことになった。そもそも市街から空港へ行く大事な電車が30分に1本しかない。これに不満はないが、その日は1本間引かれてしまった。アナウンスはイタリア語なので理由は分からず、案内板に表示される次発の時刻が突然30分変化したことでそれを認識。さらにその次の電車も遅れに遅れ、結局空港に着いたのは当初の予定の1時間半後であった。慌ててチェックインカウンターに向かうも、すでに閉じられている。隣のカウンターに問い合わせると、「次の便のチケットを向こうのカウンターで買え」とのこと。「次の便ではなく、この便に乗りりたいんだ!!（できないと船上パーティーに乗り遅れる!!）」と叫ぶように懇願すると、「預ける荷物がなければ、取りあえず搭乗口まで行ってみる」と。「You can try」という無責任な言葉を背後に聞きつつ、搭乗口に向かって走ることに。手荷物検査、出国審査では列に並ぶ人の厚意により前に入れてもらい、航空券を見せろという警備員には「まだない」と伝え（それでも通してくれるのがイタリア流?）、どうにか搭乗口に着いたのは離陸10分前であった。無事チェックインをし、日本への帰路に就くことができたものの、汗だくでくたくたである。エコノミークラスの12時間よりよっぽど疲れる30分であった。

その晩、船上で友人夫妻を祝福し、翌日からはスタンフォードで行われた国際会議に参加。上述した衛星用の検出器開発について発表し、議論を行った。アメリカらしい豪快な食事や、自家用車なしでは移動が困難な広大な土地を楽しみ、さらに1週間後、ようやく宇宙研に帰ってきた。それから2ヶ月、ちょうど今日（9月14日）、ローマでの研究成果を山口大学での学会で発表したところである。衛星実現、そして観測までの道のりは長い、わくわくする結果を夢見て、研究・開発を続けたい。

（たけい・よう）



スタンフォード大学の風景

竹井洋
高エネルギー天文学研究系助教



私の研究と京1000年の超新星街道

この3月で定年退職しました。若手として宇宙研で働かせていただき、シニアとして京都大学にお世話になった35年の研究者生活の節目に当たって、最も印象に残った仕事は「超新星残骸における宇宙線加速の実証研究」です。その研究の詳細を述べていると、せっかくの「いも焼酎」もますぐなくなってしまいそうなので、裏話と道草話にします。

研究の始まりは超新星残骸SN1006の「あすか」衛星による観測で、多くの新聞社から取材を受けました。A社は「明月記の超新星の残骸」という記事を出しました。私は「定家の超新星」は有名な「かに星雲」のみと思っていましたから、A社に問いただしたところ「ちゃんと記録にありますよ」ということで、自身の浅学を恥じたものです。そこで「せっかく京都に赴任したのだから」と、京都千余年の天文学の史跡をたどってみようと思いました。

藤原定家(1162~1241)の日記『明月記』の「客星古現例」の中に超新星の記録が3件あります。1006年、1054年と1181年の超新星です。実際に観測したのは定家ではなく、陰陽頭あるいは天文博士の役職にいた安倍晴明の息子と子孫だったようです。

安倍屋敷は旧土御門通りにありました。現在の今出川通り堀川付近です。現在は晴明神社があります。応仁の乱以降は安倍家は土御門と名乗って、現在の京都駅付近の梅小路に屋敷を構えました。

『明月記』の「一条院寛弘三年四月二日」は、西暦1006年5月1日のおおかみ座の超新星の記録です。この超新星の生誕1000年記念写真を2006年に「すざく」衛星で撮りました。解析の結果、史上最も明るかったこと、宇宙線加速現場であることがはっきりしました。宇宙線は湯川秀樹の中間子理論を実証した粒子ですね。

小山勝二

京都大学 名誉教授

「後冷泉院天喜二年四月中旬」は、1054年のかに星雲の記録です。超新星が中性子星をつくることを実証したこと、その物理過程解明など、天文学上で最も重要な天体の一つです。

「高倉院治承五年六月二五日」の超新星はSN1181です。これも中性子星を残しましたが、その冷却速度があまりにも速いことが分かりました。効率的な冷却に、第二、第三世代のニュートリノがつくられたという説が持ち上がりました。小林・益川の理論と関係しますね。

江戸時代になり、町人文化が栄えてくると、古い京都の土御門の暦は不正確で、澁川春海の暦の方が正しいというクレームが起こりました。どちらが正しいか、水戸光圀の仲介で京都梅小路で天体観測がなされ、江戸方が勝利します。そこで「貞



梅林寺の大表土台の台石。側面に土御門泰邦の銘が刻まれている。

享暦」が公認されました。

土御門側も必死でした。次の「宝暦」の策定には天文方の役人に加え陰陽頭の土御門泰邦がかかりました。土御門泰邦は梅小路の自宅に大表土台(日時計)と渾天儀台(天体観測機器)をつくりました。これら台石はそれぞれ梅林寺と円光寺の庭に現存しています。

このころ江戸方により西三条天文台がつくられました(後に江戸浅草に移転)。西三条天文台の正確な場所は不明です。あの辺りは平坦な土地ですから、天文台向きではありません。だから「御土居」の上が候補地になりますね。

中世のヨーロッパと違い、日本には城壁で囲まれた町はないですね。ところが京都はあったのです。豊臣秀吉が京都を囲む20km以上の長い土塁と堀(御土居)をつくったのです。現在までにはほとんど壊されましたが、西三条付近にはわずかに残っています。伊能忠敬は日本地図をつくるのに、基線を決める必要がありました。そこで日本初の本初子午線の基点を西三条天文台にしました。

土御門家の古天文の史料は京都府資料館と大將軍八神社に保存されています。この神社には澁川春海による国産最古の天球儀の一つがあります。

晴明神社、定家の子孫の冷泉家と定家の墓、京大と宇宙線研究室は今出川通りで一本に結ばれます。私は、これを「京1000年の天文学街道」と名付けることを遊び心で提案しました。ひょんなことから、京都府の観光マンガマップに載りました。

悪乗りして、この街道を大將軍八神社まで今出川通りに沿って延ばし、さらに南に御前通りを下がって、西三条天文台、御土居遺跡を經由して土御門の天文台の梅林寺と円光寺までを結ぶ街道を「京1000年の超新星街道」と呼ぶことを画策しています。(こやま・かつじ)

趣味は衛星設計

小型科学衛星プロジェクトチーム 開発員

中谷幸司

—— 子どものころから宇宙に興味を持っていたのですか。

中谷：はい。でも、興味の対象は星ではなくロケットでした。機械が好きで、家電製品を分解しては組み立てていました。元に戻せないことも多かったのですが……。大学でロケットについて学びたかったものの東京工業大学にはロケット関連の研究室がなく、松永研究室へ。そこで人工衛星をやり始めたら、とても面白い。ロケットのことはすっかり忘れ、「趣味は衛星設計」と言い切るほどに熱中しました。そのきっかけが、カンサットです。

—— カンサットとは？

中谷：350mlのジュースの缶に、通信機器やバッテリー、コンピュータなど衛星に必要な要素をすべて入れて打ち上げます。1998年、日本とアメリカの学生が参加する大学宇宙システムシンポジウム(USSS)で提案されました。日本では衛星設計コンテストがありますが、設計のみで実際にはつくりません。カンサットはおもちゃのように小さく、打上げ高度は4kmで宇宙までは行きませんが、実際にもをつくります。その違いは大きいです。

—— 1999年の第1回打上げから参加され、結果は？

中谷：何度も試験をして、万全の状態を迎えたはずでした。ところが、打上げの朝、突然動かなくなり失敗。とても悔しかった。翌年は気合を入れ直し、プロジェクトマネージャーとして5機つくり、すべて成功させることができました。そのときのうれしさは言葉にできません。

USSSでは、次は宇宙を飛行する本当の人工衛星をつくらう、ということになりました。一辺10cmの立方体で重さ約1kgのキューブサットです。学生が盛り上がる一方、衛星開発の難しさを知っている先生方からは「無謀だ」と言われました。実際、カンサットを成功させたという自信などがすぐに打ち砕かれ、衛星をつくり打ち上げることの難しさを何度も痛感することに。それでも、がむしゃらに頑張りました。何も知らなかったからこそできたのでしょう。悪戦苦闘の末、2003年6月30日に打ち上げられた東工大のキューブサットはCUTE-Iと名付けられ、今も現役です。

キューブサットを同時に打ち上げた東京大学の中須賀研究室とは定期的に合同会議を開き、情報交換をしていました。後れを取っていると、次の会議までに逆転しようと頑張る。協力しつつ競争でき



なかや・こうじ。1975年、富山県生まれ。博士(工学)。東京工業大学大学院理工学研究科機械宇宙システム専攻博士課程修了。2005年、宇宙科学研究本部宇宙航行システム研究系(日本学術振興会特別研究員ポスドク)。2007年、JAXA入社。研究開発本部宇宙実証研究共同センターを経て、2009年より現職。

たことも、よかったです。私は、キューブサットを経験して、宇宙の仕事に就きたいと強く思うようになりました。

—— 宇宙研でのポスドクを経て、経験者採用でJAXAへ。

中谷：いわゆる中途採用で、分野ごとに募集があります。「小型衛星」とあったので、迷わず応募しました。現在は、小型科学衛星プロジェクトチームに所属し、衛星の基本的な機能を担うバス部を開発しています。そのバス部は、小型科学衛星シリーズで共通して使用します。

—— 衛星の開発で大切なことは？

中谷：ほかの人の話をよく聞くことではないでしょうか。衛星の開発は1人ではできません。構造や通信など、それぞれの専門知識を持っている人とコミュニケーションを取ることが不可欠です。

—— 今後どのような仕事をしていきたいですか。

中谷：これまでに、2003年打上げのキューブサット、2006年のソーラー電力セイルの機能試験を目的としたSSSAT、2009年の東大阪宇宙開発協同組合の「まいど1号」の技術支援、小型実証衛星SDS-2の設計に参加してきました。衛星は1kg、7kg、50kg、100kgとだんだん大きくなり、今開発している小型科学衛星シリーズは300~400kgです。この先、大型に進むのか、小型を極めるのか。私自身がどちらを選択するかはまだ考え中ですが、宇宙科学研究を進めるためには、数kgから数十kg級の小型衛星をもっと打ち上げるべきだと思っています。開発期間が2~3年と短く、大型衛星の相乗りとして打ち上げることができる小型衛星は、最先端の挑戦的なミッションに最適です。私がぜひ開発したいのは、地球に再突入して実験試料を回収できる小型衛星。目的の天体に着いたら親機から離れて独自の観測をする小型衛星もつくりたいですね。

—— 開発に参加した衛星が3年おきに打ち上がっています。

中谷：小型科学衛星シリーズの1号機SPRINT-Aの打上げ予定は2012年。ぜひ成功させて、3年おきの打上げ記録を更新したいです。しかも、これまでの打上げロケットは、ロシアのロケット、M-V、H-II Aと毎回違います。小型科学衛星の打上げは次期固体ロケットの予定なので、ますます楽しみです。

ISAS ニュース No.343 2009.10 ISSN 0285-2861

発行/独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部
〒229-8510 神奈川県相模原市由野台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/株式会社デザインコンピビア 制作協力/有限会社フォトンクリエイト

編集後記

いろいろなことに挑戦して慌ただしく過ごした夏が終わり、秋がやって来ました。これからの季節は団体見学が増えるところ。夏とはまた一味違う展示室をお見せしたいものです。(阪本成一)

*本誌は再生紙(古紙100%)、大豆インキを使用しています。

100
古紙配合率100%再生紙を使用しています

PRINTED WITH
SOYINK
Trademark of American Soybean Association