

観測ロケット S-310-39 号機の打上げ時に撮影されたオーロラ画像と TMA (トリメチルアルミニウム) 発光。4 ページ参照。(提供：国立極地研究所)

宇宙科学最前線

# 無容器プロセッシング 過冷液体からの準安定相創製

栗林一彦

宇宙環境利用科学研究系 教授

## 準安定相とは

準安定相とは熱平衡状態では存在しない相のことであり、熱力学的には不安定ではあるが、何らかの条件が満たされれば暫定的に存在し得る相のことをいいます。準安定相の研究は、19世紀末に告げられた「過飽和液体から最初に生成される相は必ずしも熱力学的に安定な相ではなく、液体とエネルギーの近い相である」という、いわゆるオストワルトのご託宣に端を発します。このご託宣は Step rule と呼ばれ、その後さまざまな議論がなされましたが、筆者は「過飽和液体が凝固する際の核生成では融解のエントロピー  $\Delta S_f$  の小さな相が優先される」と翻訳しました。

図1は Step rule を考える上での熱力学的な関係の模式図で、液相と固相（安定相と準安定相）の温度-自由エネルギーを記してあります。液相が固相に変わるのは、液相の自由エネルギーが固相の自由エネルギーより大きくなるからで、両相のエネルギーが等しい点が融点になります。固相の自由エネルギーを準安定相と安定相で比べた場合、準安定相の自由エネルギー  $G_{ms}$  は安定相の自由エネルギー  $G_s$  よりも大きく、そのため、準安定相の融点 ( $T_{E,ms}$ ) は安定相の融点 ( $T_{E,s}$ ) より低くなります（下付き文字の  $s$  と  $ms$  はそれぞれ安定相、準安定相を意味します）。一方、図1において各曲線の傾き (Gibbs の自由エネルギーの温度係数) の絶対値は、圧力一定のもとでのエント

ロピーに対応します。図より、液相、安定相、準安定相のエントロピー  $S_L$ ,  $S_s$ ,  $S_{ms}$ の間には  $S_L > S_{ms} > S_s$  の関係があり、したがって融解に伴うエントロピー変化  $\Delta S_f$  については、 $\Delta S_{f,s} > \Delta S_{f,ms}$  の関係（液相が準安定相に変化する方がエントロピー変化は少ない）が成り立ちます。また、上述の液相、安定相、準安定相の相対的な関係から、準安定相は安定相よりも高エントロピーの相となることが分かります。

物質のエントロピーを決めるものとしては、まずその物質の密度、次にその物質を構成している原子や分子の配列の対称性が挙げられます。したがって、固体よりは液体、液体よりは気体の方が高エントロピー相であり、固体同士なら低密度相の方が高エントロピー相となると考えられます。すなわち準安定相は、安定相よりも低密度で高対称性の物質といえます。

### マイクログラビティ環境の利用

さて、話を宇宙環境、特にマイクログラビティ環境の利用に絞ると、結晶成長や凝固といった物質プロセッシング分野においてのこの

環境の意義は、「無対流」と「無容器」という二つのキーワードで表すことができます。無対流とは文字通り重力がなくなることによって密度差に起因した対流がなくなることであり、溶質原子の偏析といった欠陥のない結晶の育成など、多くの実験がこれまでも実施または計画されてきました。

それに対して後者の無容器では、実施はもとより計画すらもごく限られているというのが実情です。ここでいう無容器とは、液体を保持するのに必要な容器が、マイクログラビティ環境では不要になるということです。容器つまりルツボが要らなくなると、シリコンなどの半導体の結晶の育成では不可避であったルツボ壁からの不純物の混入は解消され、また化学的に活性な物質あるいは2000°Cを超えるような高融点物質の処理など、多くの利用が可能になります。

しかしながら、筆者が目しているのはこれではありません。通常の凝固では、ルツボ壁や鑄型面が凝固核の優先生成サイトになり、液体は例外なく（と言ってよいほど）融点で固化しますが、無容器ではこういった“異物”がなくなるため融点以下まで大きく過冷する点です。図1から明らかなように、液体から準安定相を晶出させるには、準安定相の融点以下まで過冷させることが求められます。これを実現できるのは、「無容器」においてほかにはありません。

### 無容器プロセスによる準安定酸化物の創製

図2は、希土類元素と遷移金属元素の酸化物  $\text{LnTrO}_3$  ( $\text{Ln}$ : 希土類元素,  $\text{Tr}$ : 遷移金属元素, ただしここでは  $\text{Tr}=\text{Fe}$ ) を無容器の状態 で 溶融凝固させた試料の表面電子顕微鏡写真です。 $\text{LnFeO}_3$  の安定相はペロブスカイト ( $\text{ABO}_3$ ) と呼ばれる緻密で頑丈な酸化物ですが、写真からも明らかなように、その表面形状は希土類元素の種類により異なります。すなわち、 $\text{LaFeO}_3$  ( $\text{La}$ : ランタン) は滑らかな球面形状を呈しているのに対して、 $\text{LuFeO}_3$  ( $\text{Lu}$ : ルテチウム) はごつごつした多面体形状を呈しています。この表面形状の違いは、実は希土類元素の違いではなく結晶構造の違いを反映しています。すなわち、 $\text{LaFeO}_3$  は (かなりはずんではいますが) 立方対称的なペロブスカイト構造を取っているのに対して、 $\text{LuFeO}_3$  は六角形のタイル (この場合、多少でこぼしていますが) を敷き詰めたような結晶

図1 液相、固相（安定相と準安定相）の自由エネルギーの温度依存性の模式図  
三相のエントロピー  $S_L$ ,  $S_s$ ,  $S_{ms}$  の間には  $S_L > S_{ms} > S_s$  の関係があり、したがって融解に伴うエントロピー変化  $\Delta S_f$  には、 $\Delta S_{f,s} > \Delta S_{f,ms}$  の関係が成り立つ。

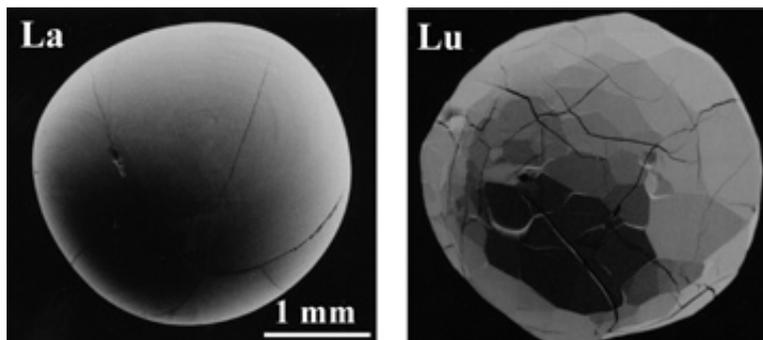
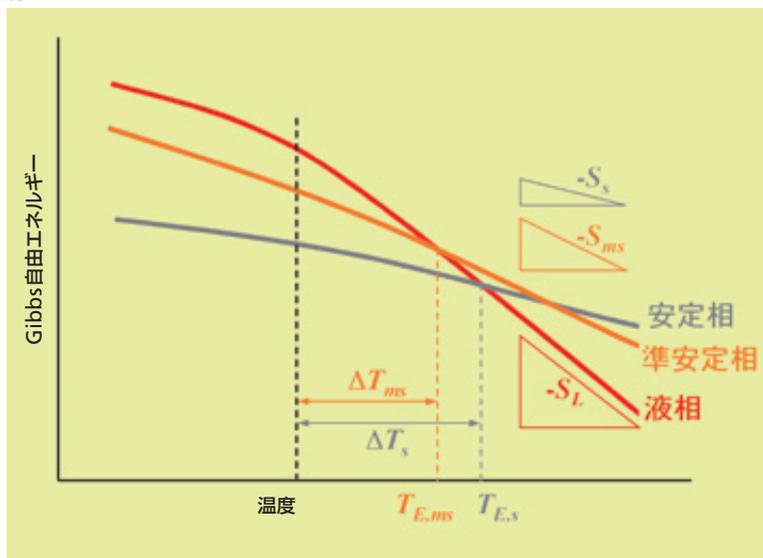


図2 無容器プロセスにより生成された  $\text{LnFeO}_3$  ( $\text{Ln} = \text{La}, \text{Lu}$ ) の表面形状  
 $\text{Ln}$  イオン半径の大きい  $\text{LaFeO}_3$  では滑らかな球面形状を取るが、小さい  $\text{LuFeO}_3$  ではごつごつした多面体状に変化する。

構造（六方晶）を取っています。この六方晶の結晶はペロブスカイトに比べて密度が10～20%小さいことから、ペロブスカイトよりも高エントロピー相であることが予想されます。すなわち、本来は安定なペロブスカイトになるところが、無容器プロセスによって図1に示した $T_{E,ms}$ 以下まで大きく過冷した結果、高エントロピー相である六方晶の結晶が、準安定相として生成したことを物語っています（図3）。実際、同じ無容器プロセスでも、 $T_{E,s}$ 近傍で無理やり凝固させると安定相のペロブスカイトが出現します。

ABO<sub>3</sub>ペロブスカイトは、Aイオン半径が小さくなるほど不安定になります。Lnイオンの場合、イオン半径はLaが最も大きくLuが最も小さくなります。すなわち、周期律表で右に行くほどペロブスカイト構造は不安定になります。それでもLnFeO<sub>3</sub>の場合はすべてのLnイオンについてペロブスカイトが安定相となりますが、Feの隣のMnになると、状況はかなり変わります。周期律表でLaからDy（ジスプロシウム）まではペロブスカイト構造を取りますが、イオン半径がさらに小さくなるHo（ホルミウム）からはLuFeO<sub>3</sub>の準安定相と同じ六方晶の結晶となります。この六方晶のLnMnO<sub>3</sub>は、（反）強磁性と同時に空間反転対称の破れによる強誘電性を兼ね備えており、新しい概念の記憶媒体として大きな期待を集めています。しかし問題は、磁性イオンの三角形配列によるスピン構造のフラストレーションのため、（反）強磁性⇔常磁性の遷移温度が～100Kと極めて低いことです。実用化には遷移温度の上昇が不可欠です。遷移温度を高めるにはフラストレーションの解消が一番ですが、それが無理なら磁気モーメントの大きい磁性イオンを使うことが次に挙げられます。その候補となるのはFe（つまりLnFeO<sub>3</sub>）ですが、これまでのところバルク試料では得られていませんでした。今回、無容器プロセスによって初めてこれが可能になったわけで、応用を含めて、今後の展開に期待と興味が寄せられています。

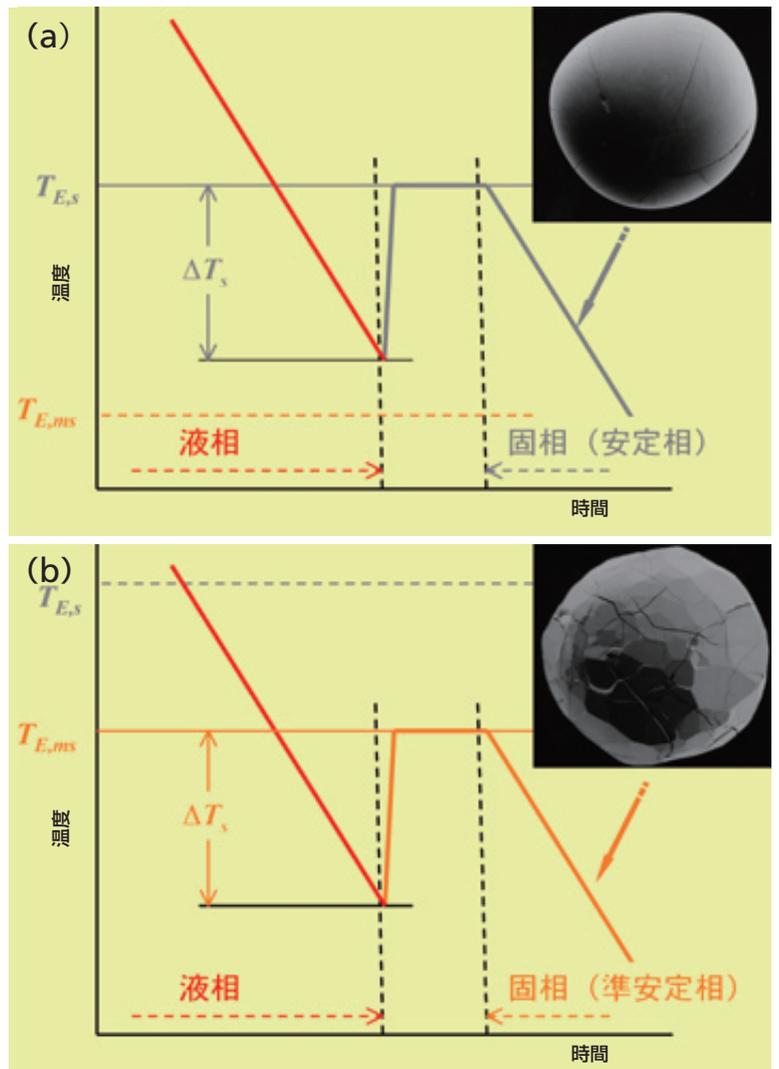


図3 無容器プロセスにより過冷凝固させた場合の温度—時間曲線と凝固相の関係  
 (a)  $T_{E,s} \sim T_{E,ms}$ まで過冷した場合はペロブスカイトが生成する。一方、  
 (b)  $T_{E,ms}$ 以下まで大きく過冷した場合は六方晶の準安定相が生成する。

このように、無容器プロセスは過冷液体からの凝固という非平衡プロセスを可能にすることによって新物質の創製に途を拓くものであり、本稿に示した酸化物だけでなく、半導体、機能性金属など、さまざまな物質が対象になります。ただし実際の成果となると、現状はセレンディピティ（serendipity）に負うところが大きく、体系化はもとよりその指導原理すら十分ではありません。理由の第一は、無容器という地上では実現が困難な実験環境にあります。国際宇宙ステーション（ISS）をはじめとするマイクロ重力環境の利用機会の拡大を願ってやみません。

（くりばやし・かずひこ）

## ロケット・衛星関係の作業スケジュール(2月・3月)

	2月	3月
能代	再使用ロケット実験機 ターボポンプ式エンジン第4次地上燃焼試験	

## 観測ロケットS-310-39号機打ち上がる

極域下部熱圏に特徴的なオーロラ現象にかかわる大気力学とエネルギー収支の理解を主目的とした観測ロケットS-310-39号機実験（通称DELTA-2キャンペーン）が2009年1月にノルウェーのアンドーヤロケット実験場を中心として行われました。主な観測項目は、ロケット搭載機器NTV（窒素振動温度測定器）による大気温度と密度、TMA（トリメチルアルミニウム）放出による大気風速分布、トロムソにあるEISCATレーダー観測から電子温度・密度とイオン温度・速度、ファブリペロー干渉計による周辺の大気風などで、いずれも下部熱圏の研究に本質的なものです。

実験班は3つのグループに分かれて1月5日から現地入りし作業を開始しましたが、最初の1週間は雪、強風、時に雨の悪条件が続ぎ、ロケットが打てるものかと大変不安に思ったものです。太陽の昇らない時季で日中も暗かったことが、余計に不安を駆り立てたのかもしれませんが。ノルウェーの画家ムンクの「叫び」が脳裏をかすめたのもこのころです。14日から打上げウインドウに入ったものの、強風や降雪のためランチャー出しができなかったり、期待するオーロラが出



観測ロケットS-310-39号機の打上げ  
(Photo: Kolbjorn Dahle, Andoya Rocket Range)



ロケットの打上げ成功を祈願してつくられた神棚と赤鳥居

現しなかったり、打上げキャンセルの報告を行う毎日が続きました。「内之浦だったらお参りに行くのだけど、ここにはないからなあ」という嘆きを耳にした実験班の坂井さん、餅原さんがそれぞれ作製したのが、写真の段ボール製神棚と竹串からつくった鳥居です。その効き目があったのか、ウインドウ12日目の1月25日夜半過ぎ（現地時間26日午前1時15分）に、S-310-39号機はオーロラが待つ夜空に向かって打ち上げられました（写真上）。当日は23時ごろからオーロラの活動度が上昇し条件を満たしていたのですが、打上げから約10分後にはオーロラのブレイクアップが始まり、全天にオーロラが広がるという幸運に恵まれました（残念ながらアンドーヤでは見えず）。表紙写真のトロムソで撮影された全天カメラ画像は、広がるオーロラとTMA発光（右側の白く見える発光雲）を見事に示しています。

本実験で得られた貴重な観測データについては今後詳細な解析が行われ、極域下部熱圏に関する我々の理解を深めるものと期待しています。実験にかかわった多くの関係者の皆さまに深くお礼を申し上げます。

（阿部琢美）

## 世界天文年オープニングイベント

今年がガリレオ・ガリレイが望遠鏡を宇宙に向けて近代天文学の扉を開いてから400年目となる節目の年で、国際連合、ユネスコ、国際天文学連合によって「世界天文年2009」として定められました。JAXA宇宙科学研究本部はスペース天文学と惑星探査の国内拠点ですから、これを機に天文学・惑星科学を盛り上げるべく、人的・財政的側面から世界天文年の国内外の各種企画に参加しています。

1月4日には、そのオープニングイベントが、群馬県立ぐんま天文台をはじめ全国40ヶ所で盛大に行われました。メイン会場となったぐんま天文台のイベントに、井上一本

部長の代理で私も参加してきました。幸い天候に恵まれ、イベントに先立って、ぐんま天文台のサブ望遠鏡である65cm望遠鏡を使った昼間の金星の観望会が行われ、青空をバックに半月状の金星を見ることができました。金星を望遠鏡で見たのは初めてでしたので、新年早々感激しました（天文学者なんてこんなものです）。

18時から約3時間かけて行われたオープニングイベントも、立ち見が出るほどの盛況でした。世界天文年についての説明と基調講演の後、世界天文年2009日本委員会の海部宣男委員長による世界天文年オープニング宣言、

引き続きガリレオの偉業と日本の天文教育普及に関する座談会が行われました。ここで紹介されたガリレオの業績は、ただ単に望遠鏡を上に向けて宇宙を見たということだけでなく、見えたものを観察して正確に記録し、結果を分析し、仮説を立て、さらなる観察によってそれを検証し、得られた結論を報告するという、近代科学のエッセンスをすべて行ったということでした。つまり彼は近代科学の開祖であり、それは権威に盲従しない批判的な思考法に支えられていました。また、『星界の報告』を、当時研究者が論文に用いていたラテン語ではなく、市民が一般的に用いていた



「君もガリレオ」望遠鏡による月の観察会の様子

イタリア語で書いたという面からは、学術の普及活動の開祖とも考えられます。彼が偉大な研究者であることは承知していたつもりではありましたが、普及活動にも重点を置いていたという点に大いなる先見性を見ました。

さて、このように世界天文年は出だしから大きな盛り上がりを見せていますが、これは一つの節目であり、きっかけにすぎません。普及教育活動を今後もよりいっそう強めて、いわゆる天文ファン以外の一般市民に向けても天文学の紹介を継続的に行っていきたいと思っています。

(阪本成一)

## 第9回「宇宙科学シンポジウム」

1月6日と7日、恒例の「宇宙科学シンポジウム」が相模原キャンパスで開催され、初日に318名、2日目に228名、延べ参加人数が546名と、新年を飾るにふさわしいとても盛況なシンポジウムとなりました。会場は常時満席で、2階ロビーに設営されたテレビモニター前も人だかりが絶えることはなく、また宇宙研外からも連日200名前後(企業からは49名)の方々にお越しいただき、宇宙科学への関心の高さを強く感じるものでした。

初日は、赤外線天文衛星「あかり」、月周回衛星「かぐや」、X線天文衛星「すざく」、小惑星探査機「はやぶさ」、太陽観測衛星「ひので」、小型高機能科学衛星「れいめい」など、各プロジェクトの現状と輝かしい成果の紹介から始まりました。

続く「進行中のミッション」のセッションでは、ASTRO-H、Ikaros、小型飛翔体実験、TOPS、SELENE-2、はやぶさ後継機、再使用ロケット、SPICAの各グループから、その挑戦的で魅力的なプロジェクトの現状報告がありました。

午後の「宇宙基本法のもとでの宇宙科学」という企画セッションでは、スペースアソシエイツ代表の北村幸雄氏から「宇宙基本法のもとでの宇宙科学への期待」、日本経団連産業第2本部長の続橋聡氏から「産業界が

らみた宇宙基本法と宇宙科学」、名古屋大学太陽地球環境研究所長の藤井良一先生から「基本法後の宇宙科学と大学共同利用」と題して、それぞれ宇宙研の中では聞くことのできない貴重なご意見を賜り、白熱した意見交換をしました。

2日目は、「国際宇宙ステーション曝露部ミッション」のセッションでSMILES、IMAP、EUSO、CALETなどの計画が、「プロジェクト提案中のミッション」のセッションでSCOPE、ERG、FFASTなどの計画が、それぞれ紹介されました。

「ポスターセッション」では、検討・進行中の科学ミッション、これまでの衛星・探査機・観測ロケット・大気球により得られた成果、宇宙科学を支えるテクノロジーの開発に関する発表が、2会場に分かれて行われ、熱心な意見交換が時間いっぱい繰り広げられていました。また、「ワーキンググループ報告」では、時間が大幅に延長されるほど活発な議論が続きました。

最後に、今回も大変ご協力を頂きました共同利用係、職員係、総括係の皆さまに、この場を借りて心から感謝致します。(第9回宇宙科学シンポジウム世話人一同：廣瀬、西山、篠原、清水、西川、船田、濱田、吉田、大宮司)



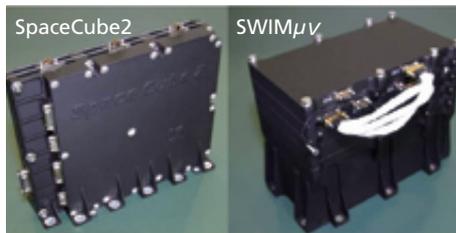
満席となった宇宙科学シンポジウム会場

## SDS-1 搭載 SpaceWire 実証モジュール (SWIM)

次世代の科学衛星を支える技術実証モジュール“SWIM”は、研究開発本部宇宙実証研究共同センターが進める小型実証衛星 (SDS) シリーズの1号機に搭載され、1月23日にH-II Aロケット15号機で「いぶぎ」(GOSAT) とともに無事打ち上げられました。

SWIM (Space Wire demonstration Module) は、スペースワイヤの本格利用に向け、5年ほど前から開発・実証に向けた準備が進められてきた“ミニ実験プラットフォーム”です。“スペースワイヤ”は、ネットワーク型分散モジュールシステムを意識した次世代衛星バス通信規格です。ESAが提唱し、現在ではESA/NASA/JAXA/ロシアほか、国際宇宙機関で議論・管理され、衛星での利用が始まっています。JAXAは、国際スペースワイヤ標準委員会の一員として初期の段階から活動に参加し、BepiColombo/MMO, ASTRO-H, 小型科学衛星などに順次採用するとともに、日本スペースワイヤユーザー会を組織して積極的な活動を行っています。

SWIMは、写真に示す通り二つのモジュールからなっています。一つは、インテリジェントシステム (CPU&ソフトウェア) を持った制御・通信



SWIM。左は JAXA-HIREC 開発の MIPS-CPU を搭載した制御 & データ処理モジュール SpaceCube2。右は宇宙実証試験モジュール SWIM $\mu$ V。SDS-1 では超小型重力波センサーが搭載されている。

BOX (SpaceCube2), もう一つは、宇宙空間で試験・実証をしたいモジュールを納めるBOX (SWIM $\mu$ V) です。試験モジュールは、電源とスペースワイヤのインターフェースのみを持ち、そのインターフェースさえ守ってれば、すぐにも宇宙でセンサーなどの試験を実施できるのです。SWIMの役割は大きく二つ。一つは、SpaceWireバスのハード・ソフトウェアに関する宇宙実証です。もう一つは、インターフェースを簡略・共通化し、宇宙機の経験がない人たちも参加できる宇宙実証用プラットフォームを提供することです。今回のSWIM $\mu$ Vには、超小型の重力波センサーが宇宙実証として組み込まれています。

SDS-1はクリティカル運用を終了し、搭載実証機器の初期試験に入りました。SWIMも出番待ちの状態です。2月第2週には、SWIMの初試験が実施される予定です。コンポーネント二つだけの小さな通信試験ですが、SpaceWireバスの技術実証と宇宙実証試験への敷居を下げるという大きな役割を持っています。電源投入後にクイックルック画面に表示される「SpaceWire Link Status: OK」への期待が高まります。

(高島 健)

## 宇宙学校・きょうと

今年も行ってきました、宇宙学校へ。昨今は子どもたちの「理科離れ」という言葉をよく耳にしますが、宇宙学校で出会うのは、そんな言葉とは裏腹に、宇宙への好奇心に満ちあふれた、賢そうな子どもたちばかり。3年前は福井、長崎、東京で、今年度は11月の久留米に続いて、1月18日の京都で、そんな輝いた目を持ったたくさん子どもたちに出会ってきました。学生時代を京都で過ごした私は、京都に戻るたびに懐かしい気持ちで胸がいっぱいになります。

講師は、阪本成一校長以下、工学系からは久保田孝先生 (授業題目: 宇宙で活躍するロボット) と森治先生 (宇宙ヨットで行く冒険), 理学系からは岩田隆浩先生 (「かぐや」が見た月の世界) と私 (ブラックホールと宇宙のひみつ) でした。普段は宇宙研にいても、ほかの分野の先生方、特に工学系の先生方の話を聞く機会はあまりないので、私にとっても宇宙ロボットや宇宙ヨットの話は大変興味深いものでした。

私の専門はブラックホールのX線観測。「ブラックホール」とい



子どもたちの質問に答える岩田先生と私。

う言葉の知名度は高いようですが、それが本当はどんなものなのか、ほとんどの子どもたちは残念ながら知らないようです。ブラックホールとは、その重さのわりに、極端に小さくて重力が強い星。どのくらい重力が強いかというと、そこから逃げ出すのに必要な速さが光の速さになるくらい。そして、それほど重力が強いブラックホールに円盤状に渦を巻いてモノが落ちていくと

き、摩擦熱で1000万度以上の高温が生じて、その円盤がX線で明るく輝いて見える、というようなことを私の授業では話してきました。その後、たくさん子どもたちに囲まれていろいろな質問をされました (サインをねだるほど偉い先生ではないですよ)。

ブラックホールはとってもとっても小さいので、現在の技術では直接その姿を見ることはできません。でも数十年後、今回の宇宙学校に参加した子どもたちが第一線の科学者になったとき、もしかしたらブラックホールを直接見ることができるかもしれないと思うと、未来の科学者たちが、ちょっぴりうらやましくなりました。今年度最後の宇宙学校、2月28日、東京でも頑張ります。(海老沢 研)

第7回

## きぼうの科学

# 初のライフサイエンス実験 宇宙放射線が生物に どのような影響を与えるのか

ISS科学プロジェクト室 主任研究員

大森克徳

国際宇宙ステーション (ISS) の日本実験棟「きぼう」でのライフサイエンス実験がいよいよ始まります。その第一弾として放射線生物研究プロジェクトの2テーマの実験が、2月3日から10日にかけて実施されます。奈良県立医科大学の大西武雄教授が代表研究者を務める「哺乳動物培養細胞における宇宙環境曝露後のp53調節遺伝子群の遺伝子発現」(略称Rad Gene)と、理化学研究所の谷田貝文夫特別嘱託が代表研究者を務める「ヒト培養細胞におけるTK変異体のLOHパターン変化の検出」(略称LOH)です。いずれも宇宙放射線の生物影響を調べる実験で、「きぼう」に設置されている細胞培養実験装置(CBEF)を使って同時実施されます。その実験サンプルは2008年11月14日にスペースシャトル・エンデバーでISSに打ち上げられ、現在は「きぼう」の冷凍庫(MELFI)で凍結保存され、実験の日を待っています。今回はこれらのテーマの概要について簡単に紹介します。

Rad Geneは、細胞の遺伝的安定性をつかさどるがん抑制遺伝子の一つであるp53とその調節遺伝子群にスポットを当てた研究です。放射線に被曝すると、細胞はp53の機能を発揮し始め、

突然変異や染色体異常、がん化を抑制することが知られています。これまでの大西教授の宇宙実験で、宇宙飛行したラットの皮膚や筋肉では、地上対照群よりも多くのp53タンパク質が蓄積されていたという結果が得られています。今回の実験で、p53が宇宙環境でも正常に機能することが分かれば、ヒトが宇宙に長期滞在して宇宙放射線に被曝しても遺伝的影響を受ける可能性が小さいことになり、逆にp53機能のうちうまく働かないも

のが特定できれば、長期宇宙滞在のためにどのような対策をすればよいか分かることになります。この研究により、月面や火星探査など長期間の有人宇宙活動における放射線対策の第一歩が踏み出せると、私たちは考えています。

LOHは、宇宙放射線による遺伝的影響を高感度に検出する実験です。このテーマでは、LOH (Loss of Heterozygosity : ヘテロ接合性の喪失) という現象を利用して、遺伝子の変異を高感度で検出する系を使います。生物は一般に、両親から1セットずつの染色体を受け継ぐため、細胞内に2セットの染色体を持っています。すなわち、同じ染色体が2本あることになり、ある一つの対立遺伝子に着目した場合、一方の染色体には正常型の遺伝子が、もう一方には変異型の遺伝子が存在するというように、2本の染色体で遺伝子の型が違ってくる場合があります。この状態をヘテロといいます。ここで、例えば放射線の影響で正常型の遺伝子が変異してしまうと、両方とも変異型になります。これをLOHといいます。今回の実験ではTK (チミジンキナーゼ) 遺伝子をヘテロに持った培養細胞を実験材料とし、TK遺伝子にLOHが起こった細胞のみ増殖する培養系を用いることで、宇宙放射線により遺伝的变化が起こる頻度を正確に求めようとしています。今回得られたデータは、長期宇宙滞在における遺伝的影響を評価するための重要な基礎データになると期待されています。

ところで、宇宙におけるライフサイエンス実験は地上の実験とは違い、さまざまな工夫が必要になります。例えば「宇宙環境の影響」を調べるといったとき、そのまま宇宙で培養実験を行うと、地上と違った現象が起こってもそれが宇宙放射線と微小重力のどちらの影響なのか分かりません。そこで、CBEFに遠心機を搭載して地上の1Gと同じ重力環境をつくり、微小重力環境と1G環境の両方で細胞培養を行い、結果を比較することで、地上と違った現象が宇宙放射線と微小重力のどちらの影響なのかを特定できるようにしています。

また、ISSへの輸送機会が限られているため、サンプルはおよそ3ヶ月間宇宙にとどまります。このような長期間、培養細胞を維持するのは非常に困難です。そこで、培養細胞を凍結状態で打ち上げ、実験直前に解凍し、培養が終わったら培養液に凍害保護剤を混合して凍結させ、地上に回収することにしました。ただし、微小重力環境で2つの液体を混合するのは困難が伴います。そのために宇宙実験用の特殊な培養バッグを開発しました。培養バッグを2つのパーテーションに分け、一方には細胞と培養液、もう一方には凍害保護剤を入れて培養します。培養後、片方のパーテーションに圧力を加えると仕切りが破れ、2液が混合される仕組みになっています。このようなたくさんの工夫が集積され、多くの人の努力により実験サンプルや実験道具が「きぼう」にすべてそろい、実験に供されるのを待っています。

どうぞ、この2テーマの成果にご期待ください。

(おおもり・かつり)

フライト実験サンプル  
調整風景



Rad Gene/LOH用細胞培養バッグ

Virginia Tech へ

日々

現在、総合研究大学院大学海外先進教育研究実践支援制度派遣者として私が赴任中の Virginia Polytechnic Institute and State University (通称 Virginia Tech) は、アパラチア山脈のふもとに位置する Blacksburg という小規模な町にある。山が近いこともあり、マイナス2桁の気温の日があるかと思えば上着の要らない陽気の日もあるといった、非常に天気が変わりやすい土地ではあるが、治安も非常に良くのどかで過ごしやすいところだ (と今のところは思っている)。

この町は、基本的には大学と町が一体となっていて、交通機関も飲食店もほとんどが大学のカレンダーに従って運営されている。私は、諸般の事情で12月からの滞在なのだが、来てすぐ秋学期が終わったために、唯一の公共交通機関であるバスの本数が激減し (路線によってはゼロ)、クリスマスや新年の時期にはファストフードまですべて閉店だったため、食料確保にひどく苦労したのは記憶に新しいところだ。という

より、いまだ大学の学食は再開されておらず、近くのファストフード店でのハンバーガーとサンドイッチのローテーションに終わりは見えない。こういった食べ物に関するほやきは書き始めると切りがないので横に置き、大学都市としての良さを述べる。

ここ Blacksburg は、人口約4万人のうち6割以上が大学関係者ということもあり、いろいろな国からの学生や研究者であふれている。そのためか、寮に戻ればエジプトからの研究者と社会科学の話に花が咲いたり、最近通い始めたコインランドリーでは隣にいたインドの留学生からどの乾燥機が一番長く動くかを教えてもらったりと、なかなか愉快に過ごしている。私は海外に行くと、現地の社会と自分の慣れ親しんだ社会の違いからか、自分が日本人であることを過剰に意識してしまうのだが、そんな変な感覚もここでは感じずにいられる。

さて、この Blacksburg の Virginia Tech におい

て、私は Daniel J. Inman 教授が Director を務める Center for Intelligent Material Systems and Structures (CIMSS) という研究室にお世話になっている。この研究室は、6名の教員と20名弱の博士課程の学生と修士課程の学生からなり、その名の通り知的構造材料を用いた構造の動力学と制御に関する研究を実施している。私はここで柔軟構造物の高精度な形状制御に関する研究に日々励んでいる。

来てまだ2週間しかたっていないのに Virginia Tech の何が語れるのかということもあるが、ある研究者の私見ということにして、以下は感じたままを書かせていただきたいと思う。

研究室に来て初めに感じたのは、上記の数字を見てもらっても分かる通りのドクターの学生の多さと、そのレベルの高さだ。この研究室に限らず、ポスドク、ドクターの学生がこちらの研究室には多く、研究室が抱えるプロジェクトの推進役は彼らが担っている。ゼミでの熱い議論はもとより、研究に対する意識レベルが違うように思われる。この博士課程の学生の多くは学費も含めてグラントから手当をもらっているのだから、学生といえどもプロである。プロであれば意識レベルが高いのが当然かというところ、そうでもなかったりするのだから、何かがそこにあるのだろう。ほかの学部などではどうなのかと知り合いに尋ねたところ、そのへんはかなり研究室 (特に Director の力量) によるとのことであった。ただ、こちらでは信賞必罰が徹底しており、業績によっては支援が打ち切られることもある一方で、飛躍的にジャンプできる可能性もある。この文化が、研究活動におけるフットワークを軽くし、周辺の研究者とのネットワーク形成にも有効に働いているように思われる。日本でも、最近同様のシステムを組み込もうとしているようであるが、形式ばかりに目が行きがちである。その根底にあるはずの理念が文化として根付き、システムとしてうまく動き始めるには、まだまだ時間がかかるのではないだろうか。

とまあ、思い付くままに簡単に書き殴ってしまったが、あと2ヶ月後にはこの感想がどう変わっているのか、自分のことながら楽しみである。残りの滞在を意義深いものにするためにも、渡米を許してくださった方々に感謝しつつ、充実した日々を送りたいと考えている。 (いしむら・こうせい)



研究室のある Durham Hall

宇宙科学共通基礎研究系 准教授

石村康生



# 15年後のビールの味

渡部潤一

国立天文台天文情報センター センター長

国立天文台で長いこと広報という仕事に従事している。国立天文台に広報普及室を立ち上げたのは1994年のことだったから、すでに15年だ。考えてみると、実に長い。そして、研究者としては恵まれない職種である。筆者は、もともと、このような仕事をしようとは思ってはいなかった。キャリアにはならないし、研究もしにくくなるからである。当時の台長から、広報をやるように言われ続けてきたのだが、ずっと断っていた。

だが、転機になったのは1993年ごろのことだった。国立天文台三鷹キャンパスの正門前に、高校生とおぼしき数人の男子生徒が立ち尽くしていた。天文クラブか、あるいは修学旅行の子どものようだった。見学に来たらしいが、ぴったりと閉ざされた正門と「関係者以外立入禁止」の立て札が、彼らの前に冷たくそびえていた。そして、最終的には守衛さんに追い返された。

この様子を妻が目撃していた。何とかしなくては、と思った。それで広報を引き受けるなど、ちょっと飛躍が過ぎるのではないかと、思う人もいだろうが、ちょうど台長の交代と組織改革と、社会教育用公開望遠鏡の予算化とが同時にやって来たという背景もあった。思えば、国立天文台は、天文学や宇宙に興味を持つ全国の子どものためにはあこがれの地。私も子どものころから一度は三鷹に行きたいと思いつけていた。こうして1994年4月1日、広報普及室長になった。

最初の日にしたこと。それは忘れもしない、宇宙科学研究所の訪問である。この種の広報活動では先輩であり、しかも当時ははるかに先を走っていた「対外協力室」へあいさつをするためであった。温厚な川泰宣先生は、対外協力室の組織や活動、そしてそれまでの経験から、さまざまなアドバイスをしてくださった。「いつか、一緒に何

か企画できればいいですね」というようなことを言うてくださったのを覚えている。そうですね、と相づちは打ったものの、国立天文台側の地力は、正直言ってそこまではなかった。何しろ、2人の常勤職員と数人のパート職員、その人件費を含めて数百万円の予算しかなかった。

その夜、大いなる兄貴分のどっしりとした“貫禄”を前に、頼りになるという親近感と、仁義を切っておいてよかったという安心感と、いつかはいい意味でのライバルになってみせるという決意とが入り交じった気持ちを胸に飲んだビールの味は、とても苦かった。

広報普及室長就任には、「貧乏くじを引かされた」と揶揄する人がいる一方で、支

援者も増えていった。台内には「昔、私も正門で追い返されたんだ」という人もいることが分かった。こうして三鷹キャンパスは、いまや誰がいつ来ても見学できるよう、常時公開コースが整備された。また、毎月2回、大型の50cm天体望遠鏡で星を見もらう定例観望会も始めた。うれしかったのは、大学院生たちが率先して応援を買って出てくれたことである（写真）。今では、ほとんど学生たちの自治組織のような形態で、観望会は運営されている。また、国立天文台も「宇宙の日」に主催者として参加するようになり、宇宙研対外協力室の方々と一緒に仕事をするようになった。

それやこれやで15年。そうこうしているうちに広報普及室は、縣秀彦氏の参入とその活躍によって、広報室と普及室とに別れ、暦計算室や図書室、出版なども同じ組織で運営することになった。21世紀に入ると、科学文化形成ユニットやアーカイブ室まで立ち上げるようになって、いまや総勢40人余り、総予算が1億を超える大組織になってしまったのである。

2008年初めに国際評価を受けることになった。ヨーロッパ、台湾、日本からそれぞれ委員をお願いしての評価である。結果的に大変良い評価を頂いたが、日本の評価委員は、当然ながらの川先生にお願いすることとなった。会議がすべて終わってから、的川先生に「もう完全にうちを超えたねえ」と言われた。

その夜、大いなる兄貴分からのお褒めの言葉による満足感と、やることはやったのかなという安堵感と、ずっと走り続けてきたなあという疲労感を胸に、飲んだビールの味はともうまかった。充実した時の流れが、焼酎やワインだけでなくビールの味も変えることを初めて知った。

(わたなべ・じゅんいち)



国立天文台の定例観望会の様子

# 「はやぶさ」生還せよ

宇宙情報・エネルギー工学研究系 准教授

吉川 真

## ——小惑星探査機「はやぶさ」の現状を教えてください。

吉川：現在「はやぶさ」は、2010年6月の地球帰還を目指して運用されています。地球に戻ってくると、小惑星イトカワの試料が入っていると期待されているカプセルを切り離し、大気圏に再突入させます。カプセルをオーストラリアの砂漠に正確に落下させるための軌道計算や、回収リハーサルの準備など、「はやぶさ」帰還に向けた作業がすでに本格的に始まっています。

大気圏再突入はもともと技術的なハードルが高いのですが、「はやぶさ」の場合、あちこちに不具合を抱えているので難易度はさらに高くなります。現在の「はやぶさ」は、軌道制御に使う化学エンジンがまったく使えない上に、姿勢制御のためのリアクションホイールも3個のうち2個が壊れています。1個のリアクションホイールとイオンエンジンだけで姿勢と軌道の制御をするのは、とても難しい。それでも私たちは、最善の方法を考え、準備を整えています。

## ——吉川 准教授は「はやぶさ」の理学研究者グループの代表者、プロジェクトサイエンティストであるとともに、軌道決定も担当されています。軌道決定とは？

吉川：軌道決定とは、探査機が今どこにいるかを定めることです。軌道にかかわる仕事は2つあります。地球から目的地までのルートや制御方法を考えるのが軌道設計グループです。私たち軌道決定グループは、探査機が予定の位置からどれだけずれているかを計算し、その結果を軌道設計グループに渡します。すると、軌道設計グループは、計画された軌道に戻す、あるいは最も良い軌道に変更するために、探査機をどう動かしたらいいかを計算します。設計や制御に比べると、軌道決定は地味です。しかも、探査機の位置が決まるのは当たり前だと思われていて、決まらないと怒られます(笑)。

## ——「はやぶさ」の軌道決定で苦労した点は？

吉川：「はやぶさ」はイオンエンジンを初めて往復探査に使った探査機です。イオンエンジンを使っている状態で軌道決定を行う予定でしたが、推力が想定以上に変動するため誤差が大きくなり、うまく軌道決定ができませんでした。この問題は、軌道決定をするときにはイオンエンジンを止めてもらうことでクリアしました。イオンエンジンを使用したままの軌道決定は、今後の課題です。

## ——次の小惑星探査計画は？

吉川：「はやぶさ」と似た機体を使いイトカワとは別のタイプの小惑



よしかわ・まこと。1962年、栃木県生まれ。理学博士。東京大学大学院理学系研究科天文学専攻修了。日本学術振興会特別研究員を経て、1991年から通信総合研究所。1998年、宇宙科学研究所。専門は天体力学。太陽系小天体の軌道解析、人工衛星や惑星探査機の軌道決定、スペースガードの研究などを行う。

星を探査する「はやぶさ2」と、ヨーロッパと共同でより遠方の小天体からのサンプルリターンを目指す「マルコポーロ」を検討しています。探査機が接近して探査を行った小天体は、まだ10個ほどしかありません。一度も探

査されていないタイプの小惑星もあります。もっとたくさん的小惑星を探査したいと思っています。

## ——専門は天体力学ですね。

吉川：天体力学を選んだのは、コンピュータで計算するのが好きだったから。太陽系の起源を知りたくて、太陽系小天体の軌道進化を研究していました。その延長で、地球の近くまで来る小天体を発見し、その地球衝突の可能性について調べるスペースガードにもかかわっています。「はやぶさ」の成果は、スペースガード研究にも役立っているんです。実際に衝突を心配すべき天体は、イトカワのような直径500mくらいの小惑星です。そういう小惑星を至近距離で探査したのは初めてです。「はやぶさ」によって明らかになったことを使い、衝突回避の方法を考えるなど研究が進んでいます。

## ——どういう子どもでしたか。

吉川：昆虫が好きで、宇宙に興味を持ったのは小学生くらいからです。望遠鏡を買ってもらってよく見ていました。しかし高校に進むと、山岳部に入って山に登ってばかりいました。おかげで、体力だけは自信があります。大学は理科系に入ったものの、最初から天文をやりたいと思っていたわけではなく、文化人類学に進もうかと考えたこともありました。

## ——では、仕事以外でも海外へよく行かれるのですか。

吉川：皆既日食を見に行きます。しかも、メジャーでない場所を選ぶんです。マダガスカルやパナマ、中国の新疆ウイグル自治区に行きました。現地の文化、生活に触れることができると楽しいですね。皆既日食の写真や映像はたくさんありますが、目で見た色や現場の雰囲気は再現できていません。あの感動だけはその場にはないと分らない。皆既になると、惑星も見えてきます。「ここは太陽系なんだ」と思える。皆既日食を一度見るとやみつきになるといいますが、本当ですよ。2009年7月、日本周辺で皆既日食が見られます。2010年はイースター島。ぜひ行きたいですね。

ISAS ニュース No.335 2009.2 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 世界天文年の世界企画「Cosmic Diary」(<http://www.cosmicdiary.org/>) にJAXA代表で参加している。プロガーになるとは夢にも思わなかった。天文学者としての生活などを書くのだが、英語ブログを書くのは結構大変です。(清水敏文)

\*本誌は再生紙(古紙100%)、大豆インキを使用しています。

R100 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