



宇宙科学
世界天文年
2009



再使用ロケット実験機 (RVT) の地上燃焼試験 (RVT-14)。
右は RVT の操作とエンジンの点検

宇宙科学最前線

宇宙機フレキシブル自律熱制御

長野方星

名古屋大学大学院 工学研究科
航空宇宙工学専攻 講師

人は暑いときには上着を脱いで窓を開けます。また、寒いときは窓を閉めて上着を着ます。そうして自分にとって快適な温度環境をつくっています。人工衛星や探査機などの宇宙機もまた、暑いときと寒いときがあります。強烈な太陽光を浴びるときは温度が上昇します。また日陰に入ると温度が急激に下がります。そのような過酷な熱環境の中で、宇宙機はどうやって快適な温度環境をつくっているのでしょうか？

今回は、そんな熱制御についての「これまで」と「これから」をお話しさせていただきます。

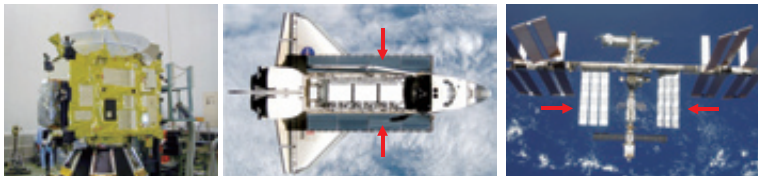
宇宙機熱制御の現状と 厳しくなる熱制御要求

宇宙機がさらされる熱環境は、外から入ってくる

熱エネルギーとして、太陽光熱入力、アルベド、惑星からの赤外ふく射があります。また、内部発熱として、搭載機器からの発熱があります。この外部熱入力と内部発熱の総和と宇宙機からの放熱とのエネルギーバランスで宇宙機の温度が決定されます。大気のない宇宙環境では、熱の移動が起こりにくいので、搭載機器からの熱をいかに効率よく移動させて宇宙空間に棄てるか、つまり「熱輸送」と「排熱」の技術がとて重要になってきます。

熱輸送には、シンプルなものでは高熱伝導材料による伝熱促進が、もっとたくさんの熱を輸送したいときはヒートパイプという熱輸送素子が、用いられます。一方、排熱は、ラジエータと呼ばれる放熱面から宇宙空間へと熱ふく射の形で行われます。探査機、スペースシャトル、国際宇宙ステーション、

図1 さまざまなラジエータ



小惑星探査機「はやぶさ」(銀色の部分はすべてラジエータ)

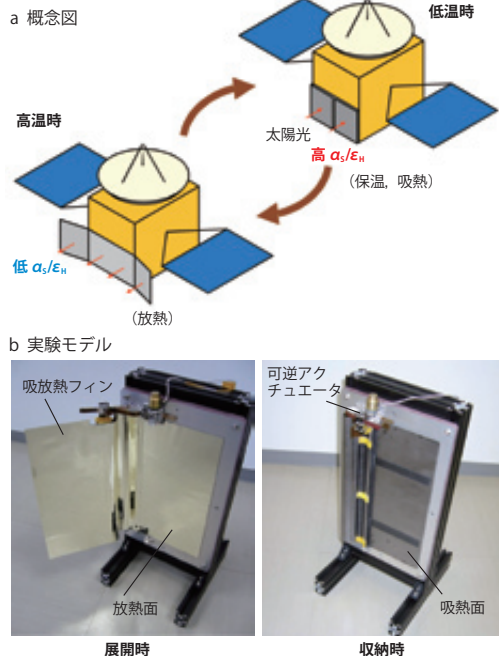
スペースシャトル©NASA

国際宇宙ステーション©NASA

どれを見ても、熱を宇宙空間に棄てるラジエータが取り付けられているのが分かります(図1)。ラジエータの大きさは、宇宙機が最も高温になる環境で適切な温度に収まるように決定されます。すると、逆に宇宙機が低温環境にある場合は、熱が逃げ過ぎて冷えてしまいます。そのときは、ヒーターによって内部の機器が保温されます。つまり、宇宙機の熱はラジエータにより常に排熱され、棄て過ぎた熱損失分はヒーターにより補うという方式が、一般に用いられています。確かにこの方法はシンプルですが、エネルギー効率的には有効な方法とはいえません。特に、今後の宇宙ミッションでは、この方法だけでは熱設計の成立が難しくなります。

例えば、内惑星探査機は、太陽光強度が地球より数倍高い星に向かいます。初めに地球を周回した後に高温の惑星に向かおうとすると、高温の惑星に熱設計を合わせているため、低温の地球近傍ではヒーターによる保温が不可欠になります。しかしミッションによっては、保温に必要なヒーター電力量が探査機で発電できる量の大半を占めてしまい、ミッションに十分な電力を割けない、という事態に陥ってしまいます。また月面着陸機の場合、昼間は約+120℃、夜間は-180℃という温度サイクルが約30日の周期でやって来ます。昼間に熱設計を合わせた場合、夜間の保温が非常に厳しくなります。約2週間に及ぶ夜間をどのように乗り切るかが重要な技術課題になります。

図2 自律型吸放熱デバイス



宇宙ミッションは時代とともに高度化しつつあります。熱制御要求も、このように大変厳しくなります。もはや、熱損失をヒーターで賄うという方法だけでは、熱設計が成立しなくなっています。では、いったいどのような技術が今後は必要になってくるのでしょうか？

新しい放熱制御の提案と開発

今後の熱制御要求の中で困難なものの一つは、大きな熱環境変化への対応です。熱制御技術は、この大きな熱環境変化に対応できる柔軟性(フレキシビリティ)が求められています。また、電気的な信号を外部から与えなくても、自分自身で検知して自分自身で対応できる、いわゆる自律制御性が求められています。そこでフレキシブルな自律熱制御技術として考案されたのが、自律型吸放熱デバイス(Reversible thermal panel: RTP)です。

提案している自律型吸放熱デバイスは、図2に示すように放熱面と吸熱面が表裏一体となっており、温度に応じて宇宙空間に曝露させる面が入れ替わることで機能を逆転させます。つまり、宇宙機が高温の場合、放射率が高く太陽光吸収率の低い放熱面を宇宙空間にさらし、放熱を促します。一方、低温では、放熱面を収納し、放射率が低く太陽光吸収率の高い吸熱面を宇宙空間にさらして放熱を抑制します。また、太陽が当たる場合は、吸熱面より太陽光エネルギーを吸収して内部に輸送し、宇宙機を暖めます。この機能を、電力を一切用いずに、自身の温度変化を感知して自律的にフィンの展開角度を調整することで実現します。このように、放熱フィンの展開による大排熱と、放熱面積の自律的な調整と、吸熱機能を1つのデバイスで実現することで、保温用ヒーター電力の大幅な削減、熱環境変化に伴う温度変動の抑制、ならびに熱ストレスの緩和が期待されます。

RTPは、「放熱、保温、吸熱」という従来両立し得なかった機能を電力を用いずに実現するため、2つの先進機能材料を採用しています。具体的には、熱輸送兼吸放熱フィンの材料に高熱伝導性グラファイトシート(Pyrolytic graphite sheet: PGS)を、可逆回転アクチュエータに単結晶形状記憶合金(Single crystal shape-memory alloy: SCSMA)を用いています。

PGSはポリイミドフィルムを単純熱処理することで得られ、軽量でフレキシブルでありながら、面内方向に高い熱伝導性を有しています(図3a)。PGSを宇宙用の熱制御材として使うためには、熱物性情報が広い温度の範囲で必要です。しかし、PGSは特殊な材料のため、既存の技術で面内方向と厚み方向の熱伝導率を測定する方法がありませんでし

た。そこで、周期加熱法という方法に新しい異方性同時測定理論を加えて、3軸方向の熱拡散率を測定することに成功しました。また、シート材の比熱測定も難しかったのですが、カロリーメータ法により放射率と比熱を同時に求める手法を提案、適用し、物性を明らかにすることができました。その結果、PGSの密度は純銅やアルミニウムのそれぞれ1/11、1/3であるのに対し、熱伝導率はそれぞれ1.2倍、2.1倍有しており、極めて軽量な伝熱素材であるということが明らかになりました。また、太陽光吸収率と放射率の比が $\alpha_s/\varepsilon_H=0.7/0.3$ であり、従来の材料にはあまり見られない、吸熱面としての特性を有していることが明らかになりました。さらに、宇宙環境の放射線にも強い材料であるということも確認しました。

次に、吸放熱フィンを動作させる可逆アクチュエータでは、動作温度設定の範囲が広いこと、動作ストロークが大きいこと、アクチュエータとしての十分な動作荷重を得ることが重要となります。また、電気的要素を使わず機器温度に対応して適切な展開収納動作を行うことが要求されます。そこで、先進機能材料であるSCSMAに着目し、コンストンばねと組み合わせることで、RTPの要求を満足できるアクチュエータを開発しました。図3 (b) に、製作した可逆展開アクチュエータを示します。SCSMAは従来のNi-Ti系の形状記憶合金に比べ、2倍以上の形状回復量を有していること、また、マルテンサイトとオーステナイト時の弾性係数の差が7倍以上であり、優れた動作ストロークを有しているのが特徴です。

このRTPデバイスを金星探査機PLANET-Cに搭載できないかという話があり、実際に搭載を目指して構造的にも検討を加えたモデルを製作し、実験評価を行いました。まず大気圧中で温度を変えながらフィンの展開、収納評価試験を行いました(図4a)。次に、宇宙環境を模擬して、熱真空試験を行いました。その結果、温度変化に伴う自律的な放熱変化が実証され(図4b)、従来よりも軽量で放熱性能に優れ、さらに保温機能、太陽光吸熱機能を有した、これまでにないデバイスが実現しました。さらに、耐打上げ環境性評価試験もを行い、ロケットの打上げ環境に耐えられることを確認しました。次に、PLANET-Cへの適用化研究として、トレードスタディを行いました(図4c)。あるミッション機器の熱制御を想定し、従来の放熱面とヒーター保温による熱制御方法と、RTPを用いた熱制御手法を比較しました。その結果、低温時に必要となるミッション機器のヒーター電力量を90%以上削減できることが明らかになりました。残念ながらスケジュールの関係から搭載には至りませんでした。PLANET-C

のように熱環境変化の大きいミッションは宇宙科学分野では今後ますます増えてきますので、ぜひ使っていただきたいと考えております。

おわりに

熱制御というのは目立たない地味な仕事ですが、ミッションを高次に実現させる上で極めて重要な役割を担っているといえます。特に、これからのミッションは高密度実装、高付加価値化と軽量化、省エネ化が同時に求められるため、極限まで設計を詰める必要があります。極限まで詰められた設計が最後に帰着するのは「熱の問題」です。また、国内外を問わず宇宙機のトラブルの多くは、直接的であれ間接的であれ「熱の問題」が密接にかかわっています。熱設計を今後どのように発展させていくか、次世代の熱設計を支える先進熱要素技術をどのように取り込んでいくか、これが次世代ミッションの成否のキーになるのではないのでしょうか。(ながの・ほうせい)

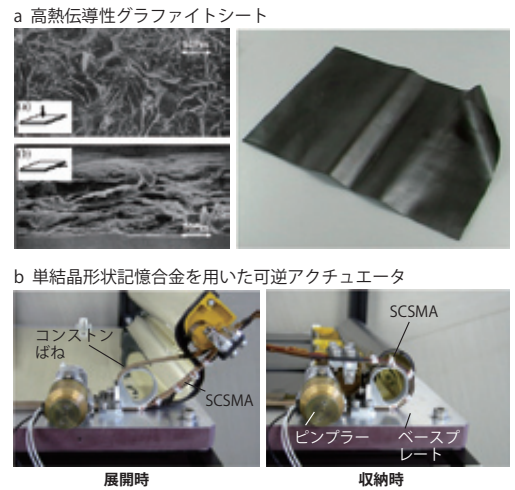
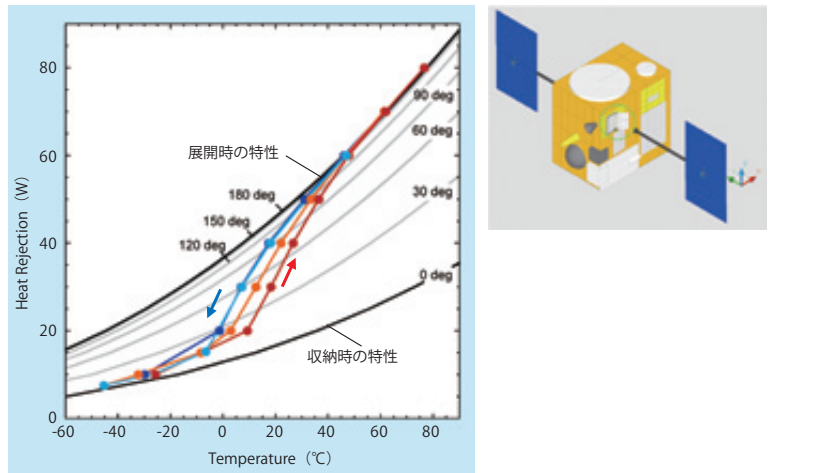
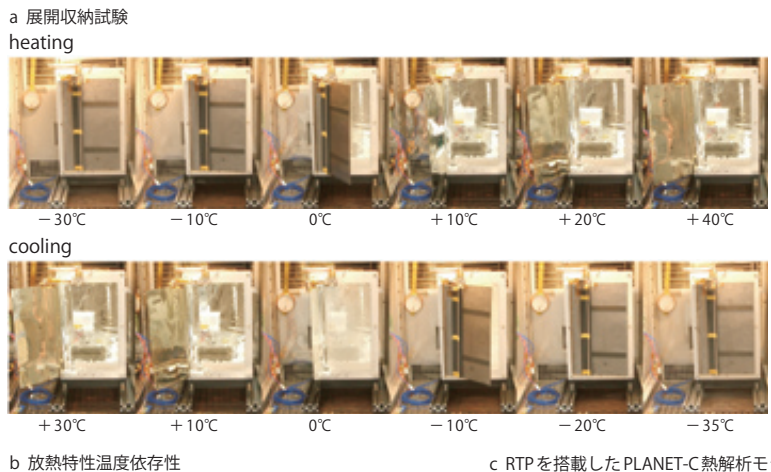


図3 自律型吸放熱デバイス実現のための先進機能材料

図4 自律型吸放熱デバイス搭載に向けた研究開発



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(RVT-14)

再使用可能な観測ロケットや、航空機のように繰り返し飛行が可能な将来の宇宙輸送システムを構築するための技術課題の抽出や経験の蓄積を目的とした研究として、ターボポンプ供給方式のエンジンを搭載した再使用ロケット実験機(RVT)のシステム地上燃焼試験を、3月に能代多目的実験場で行いました。また、それに先立ち、軽量



老若男女 RVT 実験班

化を目指して試作された複合材タンクの試験を2月に行いました。

3月とはいえ、まだ時折雪が混じる冷たい北西風が吹き付ける実験場で行われた計9回の燃焼試験により、ターボポンプ式エンジンのロケットでも1日1回フライトを行う繰り返し運用が十分できる見通しを得たほか、将来の大量宇宙輸送実現に向けた運用上の技術課題を抽出できました。また、世界最高速の応答速度と世界最大級の推力可変範囲を持つエンジンの完成に至り、RVTの離着陸飛行に必要な性能を有する推進システムが出来上がりました。これまで材料と構造の担当者をさんざん悩ませた複合材タンクも、今度こそは、と数々の実験から得られたデータと経験

を活かして試作され、液体水素を入れて加圧減圧を繰り返しても漏れない壊れない軽量型が出来上がりました。これでエンジンもタンクも出来上がり、いつでも飛ばす準備に取り掛かれるという状況です。

昨年度、再使用観測ロケットの技術実証プリプロジェクトが立ち上がったことで、プロジェクトへの本格的な移行を目指す

ため、RVTの実験としては今回で一段落ということで行われました。しかし現場では、実験班の誰もが次なる実験をイメージして、「繰り返し飛ばすなら、もうちょっとここを短時間で効率的にやりたいね」だの、「飛ばすときはこの項目の監視は必要？」だの、一段落などする気配はまったく感じられません。実験後に行われた反省会は大いに盛り上がり、実験班の全員がRVTへの、そしてその先にある将来のロケットへの熱い思いを語りました。将来宇宙輸送の研究を加速するためにも行われてきたRVTの実験です。このチーム、みんな止まっていられないようなので、すぐ次の実験に向けて取り掛かりますよ。(野中 聡)

第28回宇宙科学講演と映画の会

恒例の「宇宙科学講演と映画の会」が4月11日に新宿明治安田生命ホールで行われました。これは例年、科学技術週間に先立つ土曜日に開催されているもので、今回で28回を数えます。今年は7月22日の国内での皆既日食を控え、またいよいよ国際宇宙ステーションの日本実験棟「きぼう」が完成を迎えることもあって、メインテーマを太陽と国際宇宙ステーションに決めました。



満席となった会場

世界天文年などについて紹介した井上一 宇宙科学研究本部本部長のあいさつの後、まずは「激しく活動する『太陽』～その素顔にせまる『ひので』」と題した清水敏文准教授からの講演。太陽観測衛星「ひので」で得られた迫力ある動画や未発表の成果をさりげなく紹介しつつ、なかなか活動性が上がらない太陽と、皆既日食についての話題も提供されました。休み時間の後は、「『きぼう』がひらく新たな科学技術」。微小重力科学についての依田眞一教授の講演と、宇宙生命科学に関する石岡憲昭教授の講演が続きま

した。宇宙環境を利用した実験に關してまとまった話を聴く機会があまりなかったため、目新しい内容がいろいろ出てきて会場は大いに盛り上がりました。

もう一つのメインである映画上映では、『飛び出せ宇宙へ』ビデオシリーズの新作『私たちは星のかけら～星の一生と物質循環』のお披露目

がありました。赤外線天文衛星「あかり」とX線天文衛星「すざく」の成果を中心に据えて、私たちの体を構成する物質の多くが星の中での元素合成によって生まれてきたプロセスを紹介しています。

今年のお来場者数は384名。ここ数年、来場者数が伸び、340名収容の会場では収まらなくなっています。このような講演会のニーズが極めて高い証拠だと理解し、夏の一般公開の日程を7月24日(金)と25日(土)の2日間に延長し、余裕ができたスケジュールの中で、じっくりと講演を聴けるような機会も設けたいと思っています。どうぞご期待ください。(阪本成一)

若田宇宙飛行士ISS長期滞在へ

若田光一宇宙飛行士を乗せたスペースシャトルが、日本時間3月16日午前8時43分に、NASAケネディ宇宙センターからようやく打ち上げられました。水素燃料のバルブの不具合などで約1ヶ月遅れましたが、ディスカバリー号は見事にフロリダの空を突き抜けていきました。打上げはちょうどWBC（ワールド・ベースボール・クラシック）のキューバ戦と重なっていて、どちらもライブTVをヤキモキしながら見ていましたが、朗報が重なりました。

さて、シャトルにはDomeGeneの愛称で呼ばれる細胞培養実験の試料/供試体も搭載され、シャトルの中で打上げ対照実験が行われました。国際宇宙ステーション（ISS）とドッキング後、ISS内で実験を実施しました。この実験ではアフリカツメガエルの2種類の細胞を培養して、細胞がドーム状の形態を形成する様子を観察するとともに、関連する遺伝子について解析する予定です。ISSで培養する細胞は10日前後、複数の培養ユニット（写真）で培養した後、化学処理をしました。試料は次のシャトルで地上に持ち帰る予定です。DomeGeneでは「きぼう」内の細胞培養装置に培養ユニットを接

続し、装置外部のノートパソコンからユニット内部のポンプやヒーターなどをコントロールします。運転データは軌道上から地上へデータリンクされ、培養容器近傍の

温度や湿度などを地上に居ながらにして得ることができます。培養終了時には細胞を軌道上の顕微鏡で観察しました。化学処理のためには薬剤の漏洩を防ぐ三重封入のキットを開発しました。

4月からは「氷の結晶成長実験」に代わって「ファセット結晶実験」が、溶液結晶成長装置内で開始されました。また、若田宇宙飛行士の心電図計測や骨粗しょう症薬による骨量減少対策など、日本人宇宙飛行士のISS長期滞在を活かした取り組みが行われます。若田宇宙飛行士長期滞在のハイライトは、6月ごろ打上げ予定の次のスペースシャトルで運ばれる船外実験プラットフォームを取り付ける作業で、これにより日本のモジュール「きぼう」が完成します。

（石川毅彦，矢野幸子）



ふたを開いた状態の細胞実験ユニット(奥)と培養容器(手前)

MAXI 打上げ迫る

国際宇宙ステーション（ISS）の曝露部、「きぼう」日本実験棟（JEM）船外実験プラットフォームに取り付けられるMAXI（全天X線監視装置）は、1月にケネディ宇宙センターでのスペースシャトル搭載前の作業を終了し、待機中である。打上げは6月中旬の予定で、MAXI提案承認後12年を過ぎることになる。現在（3月）、MAXIチームはJEMプロジェクトチームなどに協力して、打上げからJEMに取り付けて運用する作業のシミュレーションを行っている。MAXIの運用は24時間体制であること、初期運用、定常運用、異常事態での緊急対応などすべての運用を想定して手順書と実際のコマンドを作成し、運用に携わる人材を訓練中である。一定の訓練を経た人は認定され、実際にコマンドを打つことができる。この訓練・認定の準備作業は昨年末から打上げまで続き、これまでのISASの衛星の場合に比べて大掛かりである。なお、実運用時のコマンドの変更手続きは大変に時間がかかるため、運用計画は早くから確定しておく必要がある。

MAXIは前例のない高感度で全天のX線放射天体をモニターし、世界の関係研究者に通報するため、彼らから大変な期待が寄せられている。MAXIのデータはすべてJAXAのOCS（Operation



JEM-ELM-ES（曝露部実験用補給部）にセットされたMAXI、SEDA、ICS。この状態で曝露部と一緒にエンデバーに搭載される。ケネディ宇宙センターにて。

Control System) に集結され、OCSにある各搭載機器のUOA（User Operation Area）でコマンドやQLなど必要最小限の作業がなされる。その後、データはMAXI解析室（TKSC内）でより詳しい解析をする。一方、MAXIの提案機関である理化学研究所には必要なすべてのデータが直ちに転送される。理研では国内外の関係研究者（多波長観測者など）に公開するデータの解析がなされる。JAXAでは

30台ほど、理研では15台ほどのコンピュータで作業する地上ソフトを開発中である。さらに、MAXIのデータの永久保存はISASのC-SODAとNASAのHEASAC（High Energy Astrophysics Science Archive Center）で行う検討も始めた。MAXIは活動中の「すざく」はもちろん、諸衛星と共同観測が期待されている。Swift衛星チームとはすでに1月に共同観測検討会議を行った。またFermi-GLASTとも共同研究の検討を開始し、一部プロポーザルを提出した。

最後に、筆者が最も心配していることの一つに、ISSの運用は大規模で複雑なため、打上げ後、MAXIがミッションをスムーズに達成できるかどうかがある。関係各位のご支援、ご協力を願っている。（松岡 勝）

「かぐや」プロジェクトチームが平成21年度科学技術分野の文部科学大臣表彰を受賞

月周回衛星「かぐや」の開発・運用を観測機器チーム、関係企業とプロジェクトチームが一体となって行い、ハイビジョンカメラや地形カメラなどによる地球および月面の観測データなどを公開するという広報・普及啓発活動を実施してきました。

その結果、平成21年度科学技術分野の文部科学大臣表彰 科学技術賞（理解増進部門）を受賞させていただきました。JAXAにおける科学技術賞の受賞は、平成19年度の「はやぶさ」科学技術賞（研究部門）に続き、2度目のことです。「かぐや」の美しく鮮明な映像・画像を教育現場・科学館などに提供することにより、国民の月への関心の増進や大学などにおける月の科学研究希望の学生の増加といった、月探査および科学技術の普及啓発・理解増進、およびハイビジョンによる地球映像を通じて地球環境を守る啓発活動に大きく寄与したことが、高く評価され



左から祖父江、高橋、滝澤、佐々木、加藤。

たものと考えています。この文部科学大臣表彰 科学技術賞の表彰式は、4月14日12時から、虎ノ門パストラル新館1階「鳳凰の間」で塩谷立 文部科学大臣出席のもと実施され、滝澤悦貞 前プロジェクトマネージャ、佐々木進 現プロジェクトマネージャ、加藤學サイエンスマネージャ、高橋道夫 前サ

ブプロジェクトマネージャおよび祖父江真一 主任開発員が参加しました。

「かぐや」は4月現在、50km以下の低高度で、磁場・プラズマ環境など「かぐや」でしかできない詳細な月の観測を続けています。6月10日ごろに月の表側の日陰に制御落下する予定です。また7月には、「かぐや」のラストイベントを東京で実施予定です。運用は残りわずかですが、最後まで素晴らしい観測データを取得すべく運用を続ける「かぐや」を、これからもよろしくお願いたします。（祖父江真一）

ASTRO-Hサイエンスミーティング開催

ASTRO-Hは、21世紀の世界のX線天文学を主導していくことを目指し、日米欧の国際協力で進められているプロジェクトです。昨年10月よりプロジェクトに移行し、2013年の仕上げを目指して基本設計を進めています。

2月25日から3日間にわたり、ASTRO-Hプロジェクトの最初のコラボレーション会議が開かれました。これに先立って、NASA、ESA、JAXAにおいて新たにサイエンスワーキンググループ（SWG）メンバーが公募され、多くの応募の中からそれぞれ8名、3名、2名が選ばれました。これらの方々は、X線天文学に限らず、原子物理学や素粒子物理学まで踏み込んだ広い範囲の宇宙物理学の理論家や実験家で、その専門知識や経験を活か



日米欧の関係者が顔をそろえた設計会議の様子

し、科学的な幅広い見地から、開発の段階で必要となるさまざまな判断に対して助言をすることになっています。会議では、世界中から集まったASTRO-Hチームのメンバーに新たなSWGメンバーを加えて活発な議論が展開され、ASTRO-Hが挑戦する宇宙の謎解きへの期待が盛り上がりました。3日目に行われた設計会

議では、同時通訳のサービスを入れ、海外の研究者や技術者と日本のメーカーの方々との活発な意見交換が行われました。

ASTRO-Hは、極めて密接な国際協力のもとで行われる大型科学ミッションです。これを確実に進めるためには、言葉や文化の壁を越えて、みんなが一体となり、力を合わせる事が大切です。（高橋忠幸）

ロケット・衛星関係の作業スケジュール(5月・6月)

	5月	6月
相模原		S-520-25号機 噛合せ試験
大樹町		平成21年度第1次大気球実験

平らに成長する結晶 Facet実験

宇宙環境利用科学研究系 准教授

稲富裕光

「ファセット的セル状結晶成長機構の研究」(研究代表者:稲富裕光),略称「Facet実験」が4月初旬から始まりました。Facet実験では溶液結晶化観察装置(SCOF)を使い,微小重力環境での有機結晶の形そして周囲の融液の濃度や温度の時間変化を2種類の顕微鏡を用いて計測します。

ここで,「ファセット」と「セル状」という用語について簡単に説明します。まず,ファセット(Facet)というのは「平らな面」という意味で,宝石のように平らな面で表面が覆われたまま結晶化が進むことをファセット結晶成長と呼びます。また,セル状とは細胞(Cell)のように小さく分かれた形状を指します。つまり,ファセット的セル状結晶成長とは,平らな面で囲まれ,かつ細胞の

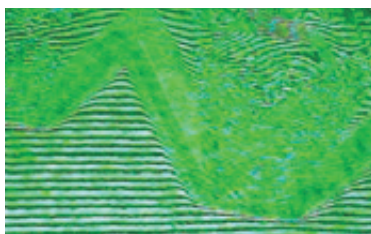


図1 振幅変調顕微鏡(左上)とマッハツェンダー型干渉顕微鏡(右上・右下)で同時観察したファセット結晶成長の例(地上実験)

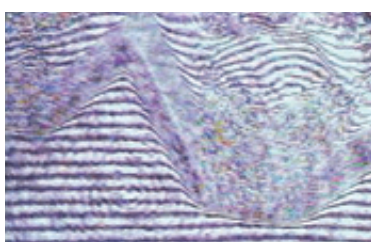
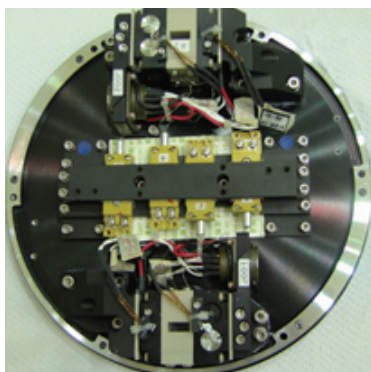


図2 供試体カートリッジ内部



ように小さく分かれて結晶が成長する状態のことです。この成長は,電子機器材料や光学部品に多く使われている半導体や酸化物材料の製造工程でも見られます。そして,それぞれのセルの形状が変化することで結晶中に欠陥が入ったり,セル同士の境界に不純物が優先的に集まったりすることで,得られる結晶の品質低下に大きな影響を与えます。しかし,ファセット的セル状結晶成長のメカニズムはいまだはっきりと分かっていません。そして,地上で結晶成長過程を調べるときには重力によって起こる浮力対流が成長環境を乱すので,浮力対流を極力抑えた環境,つまり微小重力環境での実験が必要になります。

本実験では試料として,半導体や酸化物の代わりにモデル物質であるザロール/ブタノールの混合物質を用います。この有機物質は,融液・結晶ともに光に対して透明で,融点が30~40℃程度,化学的に安定でかつファセット面が簡単に現れるので,宇宙実験用に向いています。「きぼう」での実験方法は以下の通りです。

まず,試料の入った石英ガラス製容器の両端に温度差を与えながら加熱し,部分的に溶融した後冷却することで結晶成長を開始します。結晶の形のわずかな変化は振幅変調顕微鏡でとらえます。また,物質の屈折率が濃度や温度そして光源の波長により変化する性質に注目し,2波長マッハツェンダー型干渉顕微鏡を用いて濃度分布と温度分布を同時に計測します(図1)。

Facet実験用に製作した小型実験装置(供試体)には上記の石英ガラス製容器,そして温度計測・制御機能が組み込まれており,この供試体2個が円盤状のカートリッジの中に収められました(図2)。昨年11月,供試体カートリッジを搭載したプログレス補給船がバイコノール宇宙基地から打ち上げられました。そして4月,若田光一宇宙飛行士による供試体カートリッジのSCOFへの取り付け作業の後,実験が開始されました。今後6月まで約3ヶ月にわたり,さまざまな温度,濃度を組み合わせた実験条件により,ファセット結晶成長過程を繰り返し観察します。

このFacet実験によってファセット結晶成長過程が定量的に明らかになれば,実際の材料製造工程への応用が期待できます。また,天然の鉱物がどのようにしてできるかについても理解が深まると考えられます。さらに,「きぼう」でのファセット的セル状結晶と氷結晶の成長実験,そして以前から精力的に行われてきた金属の一方凝固に関する宇宙実験で得られた知見をもとに,分子的に見て平坦な面から分子的に荒れた面にわたるさまざまな結晶の成長表面で起こっている現象を,総合的に理解することにもつながります。

(いなとみ・ゆうこう)

CIBER 打上げ顛末記
ホワイトサンズ・ミサイル実験場にて

CIBER (Cosmic Infrared Background Experiment) は、宇宙で最初の星々を赤外線宇宙背景放射として観測することを目指すロケット実験である。『ISASニュース』3月号で報告(松本敏雄)されたように、ロケットは2009年2月25日未明に打ち上げられた。本稿では、成功に至る小さな裏話を紹介したい。

我々は10年以上前から宇宙赤外線背景放射のロケット観測を進めてきたが、主力は信頼性の高い衛星観測へと移行していた。しかし、5年ほど前に、米国や韓国の研究者との間で目的を特化した新ロケット観測計画の機運が盛り上がり、CIBERはスタートした。これがNASAのプログラムとして認められるやいなや計画が進展し、(さまざまな苦労は忘れることにして)2007年には観測装置が完成した。

そして2008年7月、我々は実験場所を、拠点であるカリフォルニア州バサデナのカリフォルニア工科大学(Caltech)から、ロケット打上げのためにニューメキシコ州ホワイトサンズ・ミサイル実験場(WSMR)へと移していた。ラスクルーセスという町にコンドミニウムを借り、車で実験場へ通った。

ホワイトサンズは、名前の通り真っ白な砂からなる広大な地で、国定記念物である。初めて核実験が行われたことでも有名である。広大な砂漠はロケット実験に適しているが、食物のおいしい内之浦と比べると寂しい。とはいえ、その興味深い地理は、車で移動時間を忘れさせるに十分だった。

WSMRは米軍施設であり、ロケットは古いミサイルの転用として打ち上げられる。NASAの実験は優先度が低く、軍の実験の都合により打上げ延期もあるのだ。機器組み立て施設は外からの見栄えがしないが、中に入ってみると、こなれた実験機材にロケット発祥地の歴史的な技術蓄積を感じる。打上げスタッフは気さくで、沖縄の米軍基地にいたことを得意げに話す人もいた。先刻から準備作業が進んでいた姿勢制御系や通信系の機器が横たわる姿を見て、ロケット実験だと実感がわく。

我々は、さっそく装置の冷却試験に取り掛かっ

たのだが、いきなり停電に見舞われた。建物の中は真っ暗、真空ポンプは止まり、このままでは冷却した装置に霜が付く危険にさらされる。しばらくすると、大型の発電機を載せた車が建物に集まってきた。緊急時は任せろと言わんばかりに軍のマッチョな面々が活躍し、電力を確保、事なきを得た。その後も問題はあったが全般的には着実に予定をこなし、迷い込んだサソリやタランチュラと戯れる余裕もできた。あとは振動試験にパスすれば、打上げへと移行する最終段階に近づいていた。

おや、と思われた人は多いはずだ。宇宙研のロケットでは、打上げ基地まで来て振動試験を行うことなどない。ついでに言えば、朝会・夕会といった打ち合せがないことにも違和感を覚えた。記憶に残るのは基地入りと打上げの全員打ち合せぐらいで、担当者同士が立ち話で事を決めてゆくことがほとんどであった。そういう文化なのか、毎日の作業確認なしに打上げ準備が混乱なく進んでゆくの不思議であった。

話を戻そう。振動試験は事前の噛合せ試験でも行っており、恐れることなどないはずであったが、嫌な予感がした。筆者は、その期間にカナダでの会議で「あかり」の成果を発表することにもなっていた。つまり南奔北走して実験場に戻ったのだが、嫌な予感は大当たった。観測装置のシャッターが一つ、振動試験の後、動かなくなってしまったのだ。ほかはすべて正常に動作していただけに、強行打上げの思いが何度もわき上がった。しかし、すべてが正常でない限り打ち上げられないことは規定でもある。我々は打上げを目前にして泣く泣く撤退、2009年2月に延期となった。本当に泣いたのは、シャッターの製作に尽力した大学院生である。我々の形相を見たか、ロードランナー(鳥)が逃げのように走り去った。

思えば、夏の陣の撤退は正しい判断であった。博士論文を書いているはずだった津村君らは再びCaltechでの実験に追われたが、仕切り直しの冬の陣では失敗経験が物を言い、滞りなく打上げに至ったのだ。現在、データの解析により興味深い結果が出つつあるが、その紹介は別の機会に譲る。白い砂地に落下した装置の回収は無事行われ、今後もその再利用による実験を継続してゆく。まだ見ぬオリックス(鹿)と面会したいものだ。

最後に、協力いただいた関係者の皆さまに深く感謝いたします。(まつうら・しゅうじ)



我々の期待を乗せたCIBERは、冷気を切り裂き轟音とともに雲間に消えていった。

赤外・サブミリ波天文学研究系 助教

松浦周二



私と宇宙との かかわり

松本 紘

京都大学総長・名誉教授

洋の東西を問わず、人は太古の昔から星空を眺め、宇宙に強い関心を持ってきた。暗く深い夜空にさんざめく星々は、古代人に、「宇宙」を通して「人とは何たるや」という根源的な哲学問題を考えさせたに違いない。ギリシャ時代の哲人は、思索を深めこの根源問題を問い、人と宇宙（自然）とのかかわりを考え、哲学を拓いた。また観測や幾何学を基礎に、天文学を立ち上げた。私は戦後の星のまたたく町で育った。子ども心に星空に興味を抱いたが、やがて身の回りの自然に興味に移っていった。小学生になると毎日一つだけ野外の花や動物などを絵に描く「季節だより」が日課となったからである。図1は、小学校1年生のころの「季節だより」からいくつかを選んでみたものである。

中学生になって祖父が亡くなった。丸い棺桶を家族と一緒に運んだその日は1957年10月4日、ラジオからスポーツニク打上げ成功のニュースが流れ、爺ちゃんが人工衛星になったかなあ、と一瞬頭をよぎったことを覚えている。「宇宙」が一瞬身近に思えた。その後、宇宙に関心を持ったのは、1961年4月12日に宇宙飛行に成功したユーリ・アレクセーエビッチ・ガガーリン少佐が京都大学を訪れたときであった。大学の1回生か2回生のときだと思うが、人垣の後ろから飛び上がって一目見たガガーリンは、血色の良い小柄な軍人という印象であった。

結局、学部学生のころは誰もが寄せる宇宙への関心以上に、強い興味は持っていなかつ

た。しかし、大きな転機は偶然から訪れた。大学院試験が免除されることになり、学生生活をあと2年満喫しようという単純な思いで進学を決めた。進学希望先のある研究室を訪れたとき、その教授は留学で大学を空けたため学生の受け入れができないと仰せであった。途方に暮れ、たまたま隣室であった前田憲一教授の扉をたたいたことが、私の宇宙科学へのキャリアの振り出しとなった。前田先生は電離層研究や黎明期の日本の宇宙開発の中心学者であり、その盟友の大林辰蔵先生からは、研究室が異なるにもかかわらず毎週水曜日には教授室に私1人を呼び出していただき、特訓を受け、よく先斗町界隈に飲みにも連れて行っていただいた。そこで宇宙科学の面白さ、宇宙への熱い思い、人情の大切さ、視野の広さの必要性、国際人としての素養の基礎を教えていただいた。残念なことに大林先生は若くしてお亡くなりになった。日本の宇宙科学の発展にとって大きな損失であり、誠に慚愧に耐えない。大林先生の奥さまから、大林先生が使っておられた眼鏡を形見としていただいた。図2はその眼鏡をかけた大林先生と小生の写真である。

若いときは研究の関心の幅が狭く、分析的（要素還元的）思考に支配されていたように思える。しかし、大きい科学衛星プロジェクトに参加させてもらったり、宇宙太陽発電のような社会システムの一部となる研究にも従事するようになってから、次第に総合的（分野横断的）視野に立った考え方も学ぶ機会が増え

た。また、宇宙科学と宇宙技術の相互関係や我が国の宇宙戦略上の位置付けについても考えるようになってきている。

宇宙科学は宇宙開発にとって「必要とされる」科学という意味で、宇宙戦略上からも十分に考慮されなければならない。科学からの知見が宇宙開発技術の方向や宇宙戦略の政策決定上、重要な根拠を与えるからである。しかし、20世紀に入って急速に専門化、細分化、精密化の進んでしまった科学に従事する研究者は、専門的探求という落とし穴に陥ってしまい、大きい時代の流れ、人間社会や人類文明の存亡にかかわる人類の課題を見失いがちではないだろうか。資源やエネルギー源、領土に大きい制限を受ける我が国はますます高まる途上国の生活水準向上の要求の嵐の中、果たして生き残れるであろうか。しかしこの問題は、我が国だけの問題ではない。単純な計算でも、40年先には世界全体であらゆる生活物質（水・資源・エネルギー源・食料など）が現在の2.5倍以上必要となる。故・長友信人教授らが宇宙太陽発電所に関して長期的経済、生活水準、炭酸ガスなどの変動シミュレーションを行っている。その結論は上記の単純計算と矛盾なく、やはり人類が地球上で生存することによって非常に大きい困難は50～100年以内に訪れるとしている。そのときに向けて、今こそ、宇宙利用は国家戦略として必要とされると私は信じている。大きい宇宙技術の進歩は、宇宙空間が単なる意識、知識の対象ではなく、少なくともその一部（例えば太陽系）は人が実体験できる実世界としてとらえることができるようになった。地球という星が人に与える生存環境の限界が見え、人類生存を脅かす難問が数十年内に解かれる必要があることを、宇宙科学者も強く認識すべきではないだろうか。

（まつもと・ひろし）



図1 小学生時代の筆者が描いた「季節だより」



図2 大林辰蔵先生（左）と筆者

推進系 = ものづくり + 体育会？

推進系グループ 開発員

中塚潤一

—— 2010年夏に打上げ予定の金星探査機 PLANET-C の推進系を担当されているそうですね。

中塚：今回、PLANET-C のメインエンジンに世界で初めて搭載する予定のセラミック製燃焼器の開発などを行ってきました。

—— どのような利点があるのですか。

中塚：エンジンの燃焼ガスは約2000℃という高温になります。それを従来は金属製燃焼器の耐熱温度をぎりぎりまで下回るように工夫していました。セラミックスならば、金属よりも高い耐熱温度を達成できます。高い温度で燃料を燃やすことにより、将来、エンジンの燃費を向上できる可能性があります。また、従来の燃焼器の金属材料は海外製でした。それを買ってきて加工し、最後のコーティングも海外メーカーに依頼していました。肝心の技術がブラックボックスだったのです。その燃焼器を、日本のお家芸であるセラミックス技術で国産化したのです。国産化により、トラブルがあったときに情報をすべて出し合いながら原因を探ったり、改良していくことができる意義はとても大きいと思います。

—— もともと推進系がご専門なのですか。

中塚：いいえ、大学ではロボット工学を学びました。3年前に JAXA に入り宇宙研の推進系に配属されたときには、「推進系って、何？」という感じでした。しかも、そのとき太陽観測衛星「ひので」の総合試験で、推進系にトラブルが発生していました。

—— いまピンチだったのですか。

中塚：そうです。ただし、ピンチのときほど学ぶことが多いものです。トラブルがあるとシステムを一から見直すしかありません。推進系の開発の経緯を、開発した人たちから直接、聞くことができました。

セラミックスの知識もゼロでした。しかし宇宙研には材料や推進系の専門家がいて、その知識やアイデアを惜しげもなくすべて伝えてくれます。セラミックスの技術についても、自分なりに理解して考えることができるようになりました。うまくいわずに悩んでいて、「私はこう考えますがどうですか？」と聞くと、みんなと一緒に考えてくれます。こういうのが、本当の勉強なんだと実感しています。

—— 理科や宇宙に興味を持ったきっかけは？

中塚：父が化学系の出身で、私が小学生のころに家で簡単な実



なかつか・じゅんいち。1980年、大阪府生まれ。工学修士。2006年、慶應義塾大学大学院理工学研究科総合デザイン工学専攻修士課程修了。同年、宇宙科学研究本部技術開発部推進系技術開発グループ開発員。2008年より現職。宇宙科学技術センター基盤技術グループ併任。衛星推進系の研究開発を行うとともに、PLANET-C をはじめとする衛星プロジェクトに参加し、衛星の推進系の開発を担当。

験をしてくれたり、理科に関することで質問するとすぐに答えてくれました。それで“理系はカッコいい”というイメージを持ったのです。自動車の模型を組み立てて速さ

を競う大会に出たりして、ものづくりが好きになりました。ただし、中学生のときから私が最も熱中したのはテニスです。大学では体育会のテニス部に入り、練習に明け暮れる毎日でした。宇宙に関心を持つようになったのは、就職活動のときなんです。まだ面白そうなことがたくさんありそうな宇宙分野だと、面白いものづくりができそうだと思いました。そして、体育会とものづくりを組み合わせたとような職場が宇宙研にありました。私は本当に恵まれています。

—— 雰囲気似ているのですか。

中塚：私たちのテニス部では、人が頑張ったことや考えたアイデアを否定せずに評価しました。テニスは個人競技なので、個人を尊重しながらみんなで強くなろうとします。宇宙研でも、個人を尊重しながら、みんなでプロジェクトの成功を目指しています。宇宙研に入って1年目のクリスマスに、体育会のノリで、サンタの帽子をかぶったら、「もっと工夫しろ」と言われました。そこで翌年は全身をサンタの格好にしました。笑いを取ろうとしているのだから、笑ってやろうという雰囲気も似ていますね。ただしこんな場合、テニス部ではみんながサンタの格好をしますが、さすがに宇宙研ではまねをする人はいません。

—— 今後の目標は？

中塚：宇宙研の推進系グループに骨を埋めたいですね。難しい衛星プロジェクトでも「推進系は彼に頼めば大丈夫だ」と言ってもらえるように、早くなりたいと思います。私は今、次世代赤外線天文衛星 SPICA および次期磁気圏観測計画 SCOPE の検討にも参加させてもらっています。SCOPE は複数の衛星による編隊飛行で磁気圏の観測を行うもので、推進系の高精度な制御が要求されるプロジェクトです。まだ誰もやったことがないこと、まだ道筋が見えていないところを歩くのは、とても楽しいですね。

ISAS ニュース No.338 2009.5 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

いつでもどこでも足を運んで、記録を取ってくださっていた映像記録部門。また1人退職されたそうですね。きれいな写真で誌面をにぎわしてくれる「ISAS ニュース」の陰の功労者です。いままで何度もお世話になりました。これからは、各自、携帯写真で頑張りますかね。(前田良知)

*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