



## 宇宙科学最前線

金星気象衛星 PLANET-C 一次組み立て中のクリーンルーム。左側の黒い箱は衛星の支持構造、右側のびょうぶのようなものは壁面パネル。多くの搭載機器は壁面パネルの内側に取り付けられ、このパネルは支持構造に覆いかぶさるようにして固定される。

# 宇宙天気科学

小原隆博

研究開発本部・宇宙科学研究本部  
宇宙環境グループ グループ長

### 太陽の嵐

一瞬にして数十を超える人工衛星が、太陽の発する放射線によって機能停止あるいは機能喪失に遭いました。2003年10月に発生した史上最大規模の太陽フレアの影響です。その後の復旧措置で、多くの衛星は正常に戻りましたが、米国の気象衛星の観測機器をはじめ、いくつかの計測装置や実験機器は壊れました。

太陽フレアに伴って発生する太陽放射線(太陽宇宙線)の影響は、1990年代の中ごろから、人工衛星に現れ始めています。極度に集積され高性能になった宇宙部品が、太陽放射線の影響で壊れました。永久故障した人工衛星も多くあります。

太陽フレアは、発達した黒点群を中心に、太陽表

面の彩層からコロナ領域にかけて発生する、大規模なエネルギー解放現象(爆発現象)です。光や電波で太陽フレアの発生はいち早く察知できますが、その後わずかな時間を経て、太陽放射線が地球近傍の人工衛星に押し寄せてきます。

太陽物理の研究成果を応用して、いつ、どこで、どの程度、太陽が危険な状態になるかを知ることは、安全な宇宙開発を行う上で必須です。太陽放射線は、宇宙飛行士たちにも影響を及ぼすことが懸念されています。放射線被曝に遭わないようにすることが重要です。

太陽からのX線は、地球の電離層にも悪い影響を与えます。具体的には、高度80km付近の大気を電離させて、D層と呼ばれる新しい電離層をつくります。これは太陽の光が当たる日中(昼間側)に限られてい

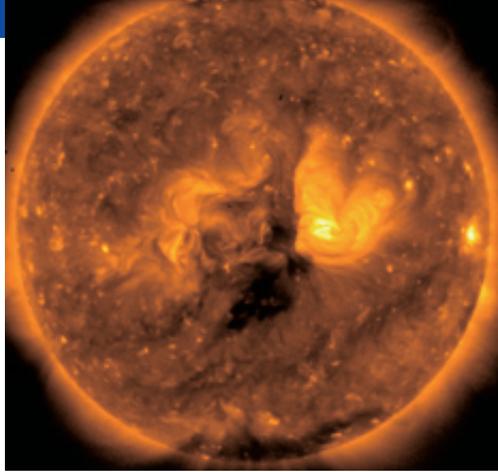


図1 「ひので」衛星が観測した太陽コロナ

使っているのとはほぼ同じ量のエネルギーを、磁気圏は太陽風から、いつももらっています。

地球の気象現象に目をやると、そこでは時々、低気圧や台風が発生します。それは赤道域にたまったエネルギーを冷たい極域に移す仕組みです。磁気圏でも同じように、蓄え過ぎたエネルギーを時々解放しています。その現れの一つが、オーロラ嵐です。そして、磁気嵐と呼ばれる地球の磁場が大きく減少する嵐も、時々起こります。

オーロラは、宇宙から地球の極域を目指して、ものすごい速度で突入してくる電子が、地球大気と激しく衝突して起こる、大気の発光現象です。オーロラの光は、地上100km付近を中心に輝きます。オーロラの光が輝くためには電子が加速されていることが必要ですが、人工衛星の観測によって、オーロラ上空に電子を加速する電圧があること、地球規模で発電が行われていることが分かりました。大きなオーロラの発生時には、その上空を飛翔している人工衛星がオーロラ粒子の直撃を受けて、異常状態になりました。

また、オーロラになれなかったプラズマは、今度は電磁波動や磁場の振動のエネルギーをもらい、非常に高いエネルギーを持つ粒子（放射線帯粒子）になり、人工衛星の部品や表面に、甚大な被害を与えています。また、オーロラ電子は強いX線を放射します。宇宙飛行士も注意しなければならない状況が発生します。

地球の天気になぞらえて、変動する宇宙環境を「宇宙天気」と呼んでいます。宇宙天気とは、人工衛星や宇宙飛行士、通信などに障害を及ぼす宇宙環境の変動です。そして、太陽や地球の嵐の発生を事前に予測しようとする「宇宙天気予報」への取り組みも、世界中で進んでいます。

## 宇宙の嵐を科学する

世界には、宇宙天気予報を実現しようと努力している組織があります。国際宇宙環境情報サービス (ISES) がそれで、本部は米国コロラド州ボルダーにあります。今から10年以上前になりますが、私は、それまで所属していた宇宙科学研究所から郵政省通信総合研究所に宇宙環境研究室長として異動して、日本の宇宙天気予報の確立の仕事を始めました。通信総合研究所は、電波研究所以来の電離層研究に加えて、太陽活動の本格的な研究を始めていました。そこに、地球磁気圏における宇宙天気予報を付加する目的がありました。

地球の周辺には、バンアレン帯として知られた放射線の帯が存在しています（『ISASニュース』2006年5月号「ジオスペース最高エネルギー粒子誕生の謎を追う」参照）。放射線帯の最も地球から遠い領域は、静止軌道高度に達しています。太陽フレアは、光、電

ますが、その領域を通過する電波（特に短波）を強く吸収してしまいます。人工衛星からの電波が地上にうまく届かないような状況も、時には発生します。

## 宇宙の天気

宇宙は、何もない真空の世界と思われがちですが、決してそうではありません。例えば地球の超高層大気です。地上500kmといえば、国際宇宙ステーションが飛ぶ高さの少し上ですが、ここには $10^{-8}$ パスカルの大気があります。地上1000kmに行くとき $10^{-9}$ パスカルになりますが、それ以上の高さでは、今度は電離気体であるプラズマが主役になります。

地球周辺の宇宙空間は、プラズマと地球の磁場が共存する空間です。いろいろな構造が形成されていて、非常に激しくエネルギーをやりとりしています。地球の夜側にエネルギーのたまる場所ができています。また、静止軌道より少し地球に近い領域にも、地球をぐるりと取り巻く形で、エネルギーのたまる場所ができています。

太陽に目を転じると、日食時にきれいに見えるコロナのガスの一部は、太陽の重力を振り切って、太陽系空間に飛び出していきます。これは太陽から吹き出す風という意味で、太陽風と呼んでいます。太陽風は、平均で3日かかって地球に到達します。地球周辺の空間は、地球磁場とプラズマで囲まれていて、磁気圏と呼ばれていますが、太陽風は磁気圏の磁場やプラズマと相互作用して、エネルギーや運動量を磁気圏に絶えず注入しています。日本など世界の大きな国が毎日

図2 放射線が飛び交う宇宙空間

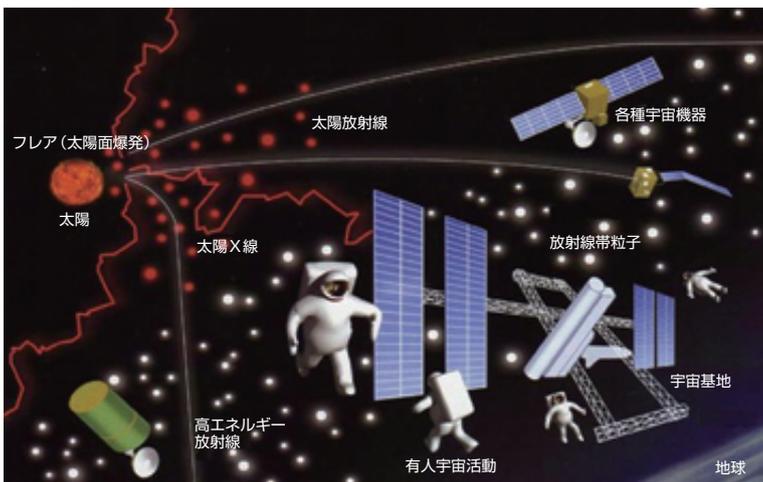


図3 磁気圏観測衛星「あけぼの」が宇宙から観測したオーロラ像

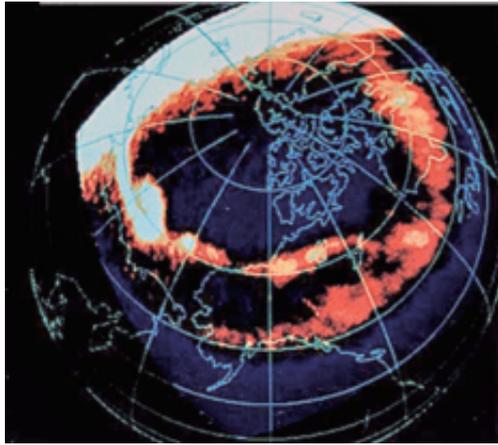
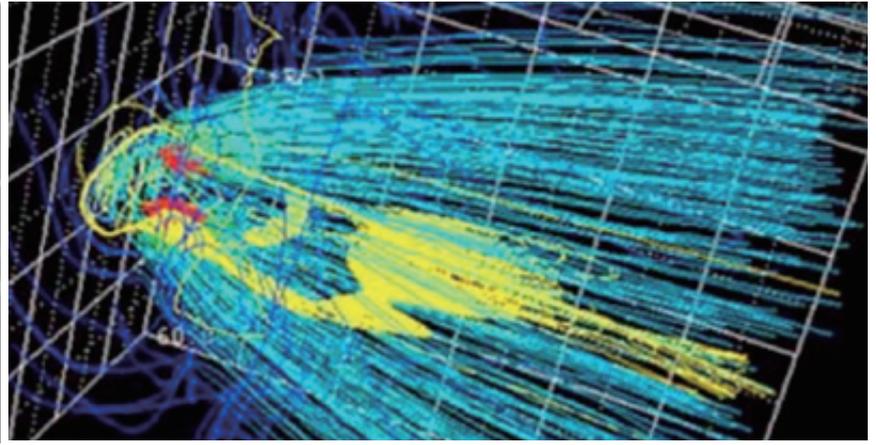


図4 シミュレーションによって可視化された地球磁気圏



波、放射線のほかに、太陽のコロナのガスを放出します。このガスの塊は非常に大きく重いもので、飛び出す速度も秒速2000kmに達することもあり、とても大きなエネルギーを運んでいきます。地球に向かったコロナのガスは2日程度で地球磁気圏に衝突し、磁気嵐と呼ばれる地球の嵐が発生しますが、この磁気嵐の回復過程でバンアレン帯は非常に活性化することが分かりました。それには太陽風の変動、特に太陽風磁場の赤道面に対する成分の向きが重要で、これが下向き(南向き)になった状態が続くと、バンアレン帯の放射線粒子(特に電子)が増大することが分かりました。

通信総合研究所が情報通信研究機構に名称を変えた2001年から、同機構の仲間とともに、太陽風を入力とした地球磁気圏のリアルタイムシミュレーションを始めました。磁気圏の宇宙天気予報です。これを進めていく過程で、オーロラの発生は磁気圏のトポロジーの変化によっていること、すなわち磁場のエネルギーの解放がプラズマの圧力や運動を発達させてオーロラ嵐や磁気嵐を直接に引き起こすことが分かりました。地球嵐の発生の理解が進んだ現在、太陽の表面の観測データから太陽風の構造をモデリングする段階に達しています。また研究グループのメンバーは日本中に広がり、九州大学、気象大学校、そして核融合科学研究所で、宇宙環境シミュレーションを進めています。

また、文部科学省学術創成研究「宇宙天気予報の基礎研究」(代表:京都大学 柴田一成教授)にも参加して、宇宙環境モデリング研究を継続しています。

最も重要で、しかしながら大変難しいのが、太陽フレアの発生予測です。太陽観測衛星「ようこう」と「ひので」によって、太陽フレアの発生の仕組みが、だんだん分かってきています。黒点上空にある磁力線が大きくねじれてエネルギーをため込んでいく様子、そして、あるときに形の変化を伴って磁場に蓄えられたエネルギーが解放される様子が、X線の波長を持った望遠鏡で観測されました。磁力線のトポロジー変化が起こることは、よく考えると、地球磁気圏でオーロ

ラが発生する状況ととても似ています。それもそのはず、太陽コロナも地球磁気圏も、プラズマと磁場から構成される世界です。宇宙プラズマ物理学が、太陽と地球の嵐を解明してくれると思いながら、研究を進めています。

### 防ぎたい宇宙環境による被害 ——結びに代えて——

私たちJAXAの宇宙環境グループでは、宇宙環境を人工衛星などを用いて直接観測することによって、地球嵐によって増加するバンアレン帯電子や、太陽フレアによって発生する太陽放射線の地球への侵入機構などについて、監視と研究を行っています。宇宙の放射線の影響は、人工衛星の部品に現れます。宇宙環境グループでは、耐放射線宇宙部品の開発において、衛星周辺の放射線環境を定量的に見積もる作業を行いました。また、いくつかの衛星事故(サテライトアノマリー)発生時における宇宙環境の状態の分析を行い、原因究明に参加しています。衛星が非常に強く帯電する状況、大気膨張によって姿勢が大きく乱される状況も、宇宙環境の変動によって発生します。

このような経験を通じて、私たちの中には、環境変動に強い衛星をつくりたいという想いがわいてきました。目下、JAXAの衛星設計基準改定プロジェクトに参加して、宇宙環境ワーキンググループを主宰しています。衛星設計基準の改訂作業は、緊急かつ重要な事項として全技術分野で進められていて、多くのワーキンググループがあります。帯電や部品のワーキンググループにも参加しながら、そこでは宇宙工学の専門家との共同作業を行っています。

過酷な宇宙から衛星や宇宙飛行士の安全を守ることが、宇宙環境研究の使命です。本稿では、太陽の嵐や地球の嵐について、どこまで予測が可能かという視点で大半の字数を費やしましたが、科学研究の出口には、強い衛星をつくりたいとする技術研究課題が大きくそびえていました。JAXAの宇宙環境研究は、理学と工学が車の両輪となって、今、進んでいます。

(おばら・たかひろ)

## 「宇宙学校・ふくおか」開催

2008年11月29日(土)、「宇宙学校・ふくおか」が福岡県久留米市の福岡県青少年科学館で開催されました。当日は早朝に雨が降っていましたが、始まる前には雨も上がって快晴となり、総勢172名もの子どもたちや父母の皆さまに参加いただきました。

午前中に行われた1時限目では、久保田孝先生が「宇宙で活躍するロボット」、森治先生が「宇宙ヨットで行く冒険」について、午後から

の2時限目では、岡田達明先生が「『かぐや』が見た月の世界」、海老沢研先生が「ブラックホールと宇宙のひみつ」について、映像などの資料を交えて小学生でも理解できる大変分かりやすい説明を行いました。3時限目では、「宇宙に飛び出そう！そして地球を見つめ直そう」というテーマで宇宙学校校長でもあった阪本成一先生による講演が行われました。

各時限の説明または講演の後に行われた質疑応答では、「月は何でできているのですか?」「ブラックホールは何個あるのでしょうか?」「流れ星は、どこから来て、どこへ行くのですか?」など、子どもたちからのたくさんの質問に対して、先生たちが



ボールを使った重力の説明に真剣なまなざしで聞き入る子どもたち

熱心に答えていました。中には「引力はどうしてできるのですか?」や「宇宙にUFOは飛んでいないのですか?」といった、とても答えにくい質問もありました。さらに、休憩時間にも多くの子どもたちが先生のところへ行き、いろいろな質問をしていました。

また、閉校式後に、希望者はプラネタリウムを観覧しました。宇宙や星に対する思いをさらに強いものとしたのではないのでしょうか。朝から

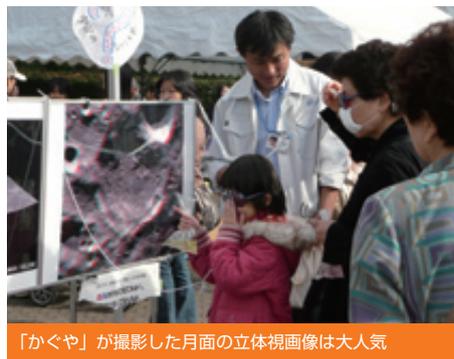
6時間(昼食などの休憩時間を含め)を超える授業でしたが、子どもたちが真剣に授業を聴き、積極的に質問をする姿が、とても印象に残りました。

宇宙学校は以上のように、主に小学4年生から中学生の子どもたちを対象に、宇宙科学に対する理解を深めてもらうことを目的として、親しみやすい授業形式で開催し、内容も質疑応答に重点を置き、研究者と直接対話することで一方通行でない交流を図るものです。毎年、各地の科学館などで開催しており、内容も親子で楽しめるものとなっていますので、機会がありましたらぜひ参加してみてください。(添野 仁)

## 造形「さがみ風っ子展」に宇宙コーナー誕生

宇宙科学研究本部のある相模原市には、「さがみ風っ子展」という、日本一の規模を誇る造形作品の野外展示会があります。70万人都市である相模原市の市内すべての公立小・中学校109校、養護学校、公立幼稚園が図工・美術の作品を出品するといえ、その規模もある程度察しがつくと思います。今年が30回目で、地元で生まれ育った宇宙研の同僚も子どものころに出品したとのことですから、世代を超えて続いている行事といえます。

メイン会場の淵野辺公園では、相模原市立小中学校PTA連絡協議会(市P連)が「ふれあいコーナー」を設置しています。今回は市P連からお声掛けいただき、スライムづくりなどが行われている一角に、相模原市内に本部を置く日本宇宙少年団(YAC)や子ども・宇宙・未来の会(KU-MA)と合同で「宇宙コー



「かぐや」が撮影した月面の立体視画像は大人気

ナー」を構えることになりました。会場は屋外で、電源もありませんので、やれることには限りがあります。そこで、テント一張りをお借りして、ペーパークラフトやミウラ折り、ぬり絵などに加え、太陽黒点の観測や、赤青メガネを使った月面の立体視、人工衛星からの電波の受信デモ、宇宙相談室などを、11月1日と2日に行いました。開催初日には、木枯らしでペーパークラフトが飛ばされたり、太陽の観察中に曇ってきたりと、屋外イベントならではの苦勞もありましたが、2日間とも多くの家族連れの方々にお越しいただきました。

「さがみ風っ子展」は、今準備中の相模原市との「文化等協力協定」の中で、JAXAの貢献が期待されている行事の一つです。今回は協定の締結を待たずに非公式に参加したわけですが、形式はどうであれ、このようなイベントは、必ずしも宇宙

に興味を持っているわけではない人たちにも宇宙の魅力を伝える良い機会だと思います。今回の経験をもとに、より良い形で

の参加を目指します。次第に外に広がる私たちの活動に、今後どうぞご期待ください。  
(阪本成一)

## 観測ロケットS-310-39号機噛合せを実施

下部熱圏と呼ばれる高度90~150kmの領域では、オーロラ現象を引き起こすような高高度からのエネルギー注入（主に降下電子）に伴って大気が激しく複雑な運動をすることが、最近の研究により分かってきました。2009年1月にノルウェーのアンダーヤロケット実験場で打上げ予定の観測ロケットS-310-39号機の実験では、飛翔するロケット位置での大気の温度と風を観測するとともに、地上のEISCATレーダー、ファブリペロー干渉計を用いて、電離したプラズマの温度や密度と、より広範囲の大気の風を観測し、この領域の大気力学と熱エネルギー収支の解明を目指した下部熱圏総合観測を行います。これはDELTA-2 (Dynamics and Energetics of the Lower Thermosphere in Aurora) キャンペーンと名付けられました。同様なキャンペーン (DELTA-1) は2004年12月に行われており、今回は理解をさらに深めるための第2弾という位置付けです。

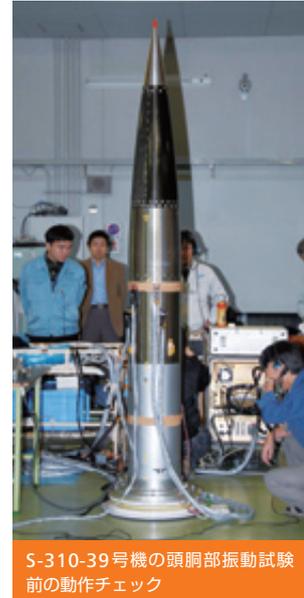
この観測ロケットの噛合せが11月5日から19日まで相模原キャンパスにて行われました。搭載される科学観測機器は3つと、最近では少ない方ですが、NTV (窒素振動温度測定器) とTMA (トリメチルアルミニウム放出器) は世界でもユニークなものです。トリメチルアルミニウムはロケット飛翔中に放出され大気中の酸素と反応して発光しますが、大気の流れで流されるために、その位置の時間的変化から風の情報が得られるという

仕掛けです。

実験目的達成のために、この観測ロケットは北極ノルウェーのいわゆるオーロラ帯で打ち上げられます。今回の編成班は若手を中心に構成されています。噛合せ期間中にはノルウェーでのロケット打上げ経験者との引き継ぎが行われ、世代交代を感じさせる一幕もありました。約2週間の噛合せ期間には、中高生からJAXA関係者までさまざまなグループの見学があり、観測ロケットプロジェクト

の存在と意義を強くアピールする機会でもありました。

ノルウェーへ向けた機材発送も終わり、あとは正月明けに編成班が出陣し、1月6日から極北の地でフライトオペレーションを開始することになります。TMAというちょっと危険なおいと感じられる搭載機器もありますが、実験成功という最終目的に向けて班員一同、力を尽くしてまいります。  
(阿部琢美)



S-310-39号機の頭胸部振動試験前の動作チェック

## 「かぐや」の定常運用終了および後期運用について

2007年9月14日の打上げから1年1ヶ月がたち、月周回衛星「かぐや」の定常運用は2008年10月31日をもって終了しました。定常運用の期間においては、リアクションホイールの1台の停止、一部の観測機器で十分な観測ができないという事象が発生したものの、おおむね順調に運用を実施し、無事成功裏に定常運用終了の日を迎えることができました。これも、JAXAのプロジェクト、科学者、衛星・地上システムの開発・運用関係者などが一体となったteam SELENE (かぐや) による、機関を超えた努力が結実したものと考えております。

これまで得られた「かぐや」の観測機器データを用いた科学研究が進められています。その中で、「かぐや」地形カメラによるシャックルトンクレータの底の表面に氷がないこと、裏側の海において従



ハイビジョンカメラによる満地球の出 (2008年9月30日撮影)

来考えられていたよりも形成年代が若い場所があることを示す論文が、科学誌『Science』に掲載されました。これ以外にも、各観測

機器の成果の専門論文誌への順次投稿・掲載が始まっています。

また、10ヶ月の定常運用中には、観測データの広報用画像・映像としての公開、成果DVDや広報グッズなどの科学館・プラネタリウム・学校への提供・上映、かぐや打上げ1周年記念イベントなどを科学館とタイアップで実施、および、かぐや応援キャンペーン参加企業・団体との連携活動の実施といった広報普及・啓発活動に努めてきました。その結果、「かぐや」の映像は、国民の皆さまの半分以上にテレビなどを通じてご覧いただき、「かぐや」を広く認知していただけることになりました。

幸い「かぐや」は、定常運用終了時点で燃料が十分に残っており、後期運用として、2009年の夏までを目標にして運用を継続していきます。その間、2009年3月ごろからは軌道高度を下げ、低高度運用として、「かぐや」の特徴を活かしたさらなる月の詳細観測を実施していく予定です。

今後も引き続き、観測運用、解析研究を続けるとともに、「かぐや」関係者による広報・普及活動やホームページを通じた最新情報の提供などを行っていく予定です。「かぐや」への応援をこれからもお願い致します。  
(祖父江真一)

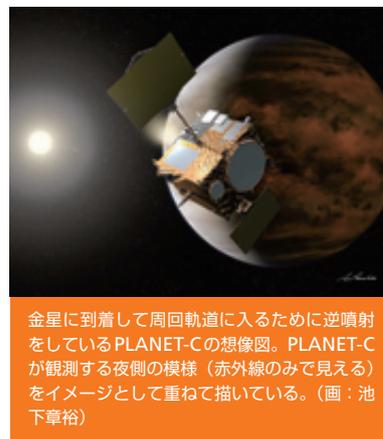
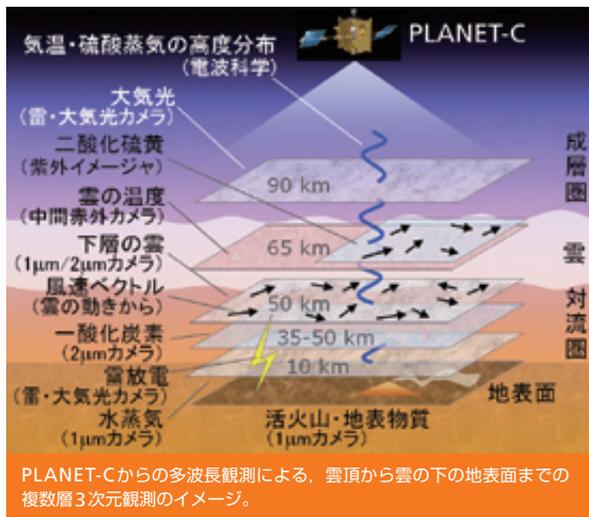
## PLANET-Cの一次噛合せ試験を実施

金星気象衛星PLANET-C (Venus Climate Orbiter: VCO) は、2010年夏期に打ち上げられ、2010年末から2年間、金星周回軌道からの観測を行う予定です。現在、衛星バスおよび搭載機器のフライトモデルが完成し、それらの組み立ての第1段階として一次噛合せ試験(一噛)が、相模原キャンパスの飛翔体環境試験棟内のクリーンルームで11月初めから12月末まで2ヶ月間にわたって実施されています。一噛では、多数の研究グループ・メーカーが製作した各機器が機械的あるいは電氣的にインタフェース設計通りに完成しているか、細かく確認作業を行います。取り付けを行い、機械寸法の誤りはないか、配線の誤りはないか、機器は衛星システムとして誤りなく動作するかなどを、表紙写真のように仮組み状態で試験していきます。

一噛終了後は、各機器を取り外し、真空中での動作確認(熱真空試験)、振動試験などの環境試験を各機器レベルで終了させ、衛星の本組み立てを行い、その後金星全体の電気試験・環境試験を行います。

2010年夏期の打上げまでのスケジュール的な余裕はありませんが、幸い現時点では各機器および衛星システムの開発に大きな問題は認識されていません。しかしながら、金星探査においては、打上げ日のわずか1週間程度の遅れが理想的なホーマン軌道からの逸脱を引き起こし、金星到達までの所要時間が半年から約2年へ延びてしまいます。そのため、プロジェクト開発関係者は全員、緊張しながら全力で衛星・搭載機器・ロケットインタフェース・地上系などの開発あるいは準備に取り組んでいるところです。

プロジェクト詳細については<http://www.stp.isas.jaxa.jp/venus/> をご参照ください。  
(鈴木 睦)



金星に到着して周回軌道に入るために逆噴射をしているPLANET-Cの想像図。PLANET-Cが観測する夜側の模様(赤外線のみで見える)をイメージとして重ねて描いている。(画:池下章裕)

## ロケット・衛星関係の作業スケジュール(12月・1月)

	12月	1月
相模原		PLANET-C 第1次噛合せ試験
能代	再使用ロケット実験機 ターボポンプ式エンジン第3次地上燃焼試験 (RVT-13) KM-V1-4 大気燃焼試験	
ブラジル	日本ブラジル共同気球実験	
ノルウェー	S-310-39号機 フライトオペレーション	

第5回  
きぼうの科学

# 結晶の形の不思議を探る

ISS科学プロジェクト室 主任研究員

吉崎 泉

マランゴニ対流実験に続き、「きぼう」では氷の結晶成長実験「氷結晶成長におけるパターン形成」(代表研究者：北海道大学 古川義純教授)が12月2日から始まりました。この実験では、「溶液結晶化観察装置 (SCOF: Solution Crystallization Observation Facility)」と「氷結晶成長実験用供試体 (Ice Crystal Cell)」を用いて、氷結晶の形態観察、結晶周囲の温度拡散場計測を行います。SCOFは2008年3月に土井隆雄宇宙飛行士の乗

図1 氷結晶成長実験用供試体 (Ice Crystal Cell) 内部  
約25cm×30cm×21cmのサイズに多機能を詰め込んでいる。

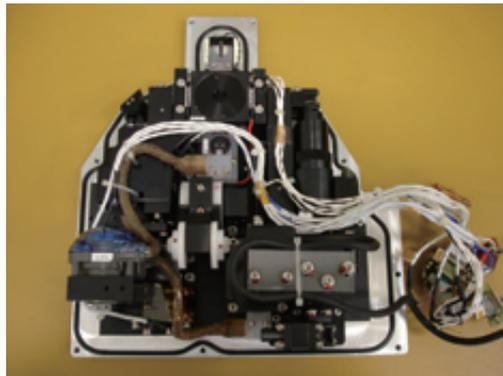


図2 氷結晶成長実験用供試体セル部模式図  
2方向から観察することで、結晶の立体的な形、3次元温度分布が分かる。

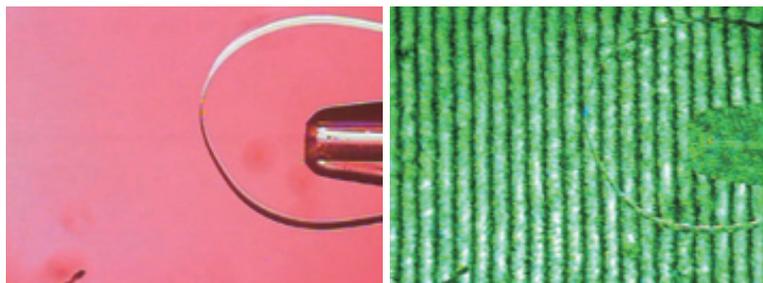
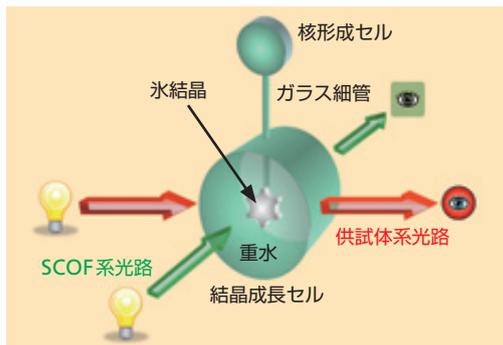


図3 ガラス管の先端から成長している円盤状氷結晶  
左：振幅変調顕微鏡写真。右：マッハツェンダー型干渉顕微鏡写真。  
結晶周囲の温度が変化すると、その部分のしみが曲がる。画像からしみの曲がり具合を調べ、計算によって結晶周囲の温度を調べることができる。

たスペースシャトルで国際宇宙ステーションに運ばれた共通実験装置です。結晶成長の様子を詳しく調べるための観察機能を備えた結晶成長装置であり、氷の実験以外でも用います。Ice Crystal Cellには、本実験のための実験試料、温度制御機能、干渉計などが入っており、SCOFに接続して使います(図1)。2008年11月に打ち上げられたスペースシャトル「エンデバー号」で宇宙ステーションに届けられたばかりです。今後数ヶ月にわたり、さまざまな温度における氷の結晶成長を繰り返し観察することになっています。

では、なぜ宇宙で氷の結晶成長実験を行うのでしょうか？ 結晶の成長に伴うパターン形成(形の変化)は、これまで、サクシノニトリルなどのモデル物質を用いて詳しく調べられてきました。Mullins-Sekerka不安定と呼ばれる理論により、樹枝状に成長するサクシノニトリル結晶のパターン形成についてよく説明することができます。しかし、氷結晶のパターン形成については、この理論では必ずしもよく説明できないことがわかりました。サクシノニトリル結晶は異方性が極めて小さいのに対し、氷の結晶には大きな異方性があるからです。氷結晶は、成長初期には円盤状であり、やがて円盤の縁で凹凸が生じ、最終的には雪結晶と同様な6回対称の薄い樹枝状結晶になります。円盤状結晶は分子的に平坦な面である円盤の面と、分子的に荒れた面である円盤の縁の面(外周部)との組み合わせからなっており、それぞれ層成長とラフニング成長という代表的な2種類の結晶成長様式で成長するため、円盤状結晶が不安定化して樹枝状に変化していく過程を説明するためには、この異方性を考慮した新しいモデルが必要です。今回の実験目的は、モデルの検証を行うために、対流などの擾乱を完全に排除できる長時間微小重力環境において、結晶成長その場観察実験を繰り返し行うことにあります。

実験方法を簡単に説明しましょう(図2)。Ice Crystal Cell内の核形成セルを冷やすと氷ができます。その氷はガラス細管を通して結晶成長セルへ導かれます。温度制御された結晶成長セルの中で氷が成長する様子、特に円盤状の結晶が不安定な状態になるときの様子を、SCOFとIce Crystal Cellの両方の観察系を用いて詳細に観察し、その厚みや直径、成長速度を計測します。また、結晶周囲の局所的な温度を、マッハツェンダー型干渉計を用いて詳細に調べます(図3)。

氷は惑星空間から地球圏に至るまで最も普遍的に存在する結晶です。その氷が成長するとき、形がなぜ変化していくのかさえ、私たちはまだはっきりとは知らないのです。この実験は基礎的ではありますが、その成果は、結晶成長学や物理学の範囲に限定されず、広く惑星科学、地球科学、環境科学などにも密接に関係しているといえます。

(よしざき・いずみ)

一石三鳥の旅

10月12日から24日までの約2週間、ドイツのベルリンにあるドイツ標準化機構に出張した。この出張には、互に関連したいくつかの目的があるのだが、第1の目的は、ドイツ標準化機構の会議室を借りて開催された宇宙データシステム諮問委員会 (Consultative Committee for Space Data Systems : CCSDS) の会合に参加することである。

CCSDSは、宇宙データシステムに関する標準規格を制定するための国際的な組織であり、NASA, ESA, JAXAなど世界の主要宇宙機関が参加している。CCSDSで標準規格を制定する目的は、各機関の保有する設備を相互に利用し合えるようにすることである。例えば、JAXAの「はやぶさ」が小惑星イトカワに着陸したときの運用

は、JAXAの臼田局のほかにアメリカ合衆国やスペインに設置されているNASAの地上局設備も使用して行われたが、これもCCSDSが制定した標準規格をJAXAとNASAの双方で採用しているために容易に実現できたのである。

私は、今までにCCSDSにおいてさまざまなことを担当させていただいてきたのだが、現在はアーキテクチャ関連の作業部会長を務めている。また、

アーキテクチャ関連の標準規格の執筆も行っている。国際的な組織の責任者を務めるということは、私にとっては非常に刺激的な経験である。私が部会長を務めている作業部会の部会員は、アメリカ人とヨーロッパ人とが半々ずつであるが、実力も経験も豊富な方々が参加してくださっていて、これらの人々から学べることは多い。特に、組織のつくり方やプロジェクト管理などについては、欧米の方法は大いに参考になる。

この出張の第2の目的は、私のモデル化に関する研究について欧米の宇宙機関の関係者と協議をすることである。モデル化という用語は、いろいろな分野でいろいろな意味で使われているが、私が研究しているモデル化は、システムを記述するための枠組みをつくることである。私がアーキテクチャ関連の標準規格を執筆していることを第

1の目的のところを書いたが、この標準規格では私のモデル化に関する研究成果をふんだんに利用している。そして、この標準規格に対する欧米宇宙機関の意見を聞くとともに、それに基づいて私のモデル化の研究そのものに関する議論も行い、私の研究にフィードバックをかけることができるのである。この会合に参加することによって、私の研究そのものを進展させることと、私の研究成果を世の中に還元することの二つを同時に行っているのである。すなわち、この旅行は一石二鳥なのである。

さらに、もう一つの目的もある。それは異文化理解である。欧米の専門家と一緒に仕事を行うことによって、欧米の文化を理解することができるし、それと同時に、日本の文化を相対化して見ることもできるようになるのである。日本の文化に限らず文化を相対的にとらえることは、国際プロジェクトにかかわる場合には非常に重要である。ただし、これは、何でも外国の文化に合わせるということではない。国際プロジェクトを円滑に行うためには、我々が外国の文化を理解し、かつ外国の人に日本の文化を理解してもらうことが必要であり、そのためにもそれぞれの文化を相対化する視点が必要となるのだ。

異文化理解は、私にとっては、必要であるだけでなく面白い問題でもあるので、異文化理解の促進のために文化を相対化する研究も行いたいと思っている。例えば、私がCCSDSの会議に参加するようになった20年前は、相手が偉い人(例えば自分の上司とか役職に就いている人とか)であっても、欧米人は気兼ねなく“I disagree with you.”と言うのに驚いたものだ。しかし、会議あるいは組織においては、それぞれの参加者にはそれぞれの役割が割り当てられていて、自分の役割を果たすという点においては各人は対等であるから、欧米の文化では相手が誰であろうと disagree してよいのである。こう考えると、日本の文化は、個人の役割をはっきりさせない点が欧米と違っていても分かるようになってくる。文化を相対化して考えるとは、こういうことなのである。文化を相対化するための枠組みの設定もモデル化の研究と並行して行いたいと思っているところである。

海外出張は、異文化理解の機会をも与えてくれるため、私にとっては一石三鳥なのである。

(やまだ・たかひろ)



ベルリン名物のアイスバイン(豚足)。どこに行っても現地の人が日常的に食しているものを食せば、異文化理解の役に立つ(はず)。

宇宙情報・エネルギー工学研究系教授

山田隆弘



# ガリレオから400年, ダーウィンから150年

来年はいよいよ、「世界天文年2009」である。ガリレオ・ガリレイが初めて望遠鏡というもので宇宙を観測してから400年。世界でも国内でも、さまざまなイベントが行われる。国際天文学連合 (IAU) が2003年に提案し、ユネスコ総会・国連総会でも決議されて、130ヶ国以上が参加する世界的行事になった。日本も、両決議の共同提案国である。2009年1月15日にフランス・パリのユネスコ本部で開会が宣言されるが、日本ではそれに先立つ1月4日、県立ぐんま天文台をメイン会場に、全国の公開天文台や科学館で一斉オープニングイベントを行う。津々浦々の草の根イベントで、自然に目を向け、科学に親しむ心を育てる1年にしたいと願っている。

ガリレオが満足すべき性能の望遠鏡を手に宇宙の観測に取り組み始めたのは、1609年の11月のことらしい。翌年3月には、もう小冊子を出版して大評判になった。水晶の球のほの月に山や谷がある! 金星が月のように満ち欠けする! 木星を4つの月が回っている! 空には肉眼で見えない無数の小さな星がある! といった大発見を、この短期間にやってのけた。ガリレオの驚き・興奮・得意や思うべし。だがそれは、偉大な物理学者ガリレオだからこそできた大発見だったと思うのである。邦訳『星界の報告』(岩波文庫)は絶版になっていたが、世界天文年を機に復刻されたのはうれしい。素晴らしい月のスケッチ、発見の興奮など、400年前のガリレオの気分を味わえる。古代以来の謎だった天の川(天のナイル、天のユーフラテス、天河・漢河だった)について、ガリレオは高らかに宣言した。「私たちは、果てしない論争から解放された。天の川は重なり合って分布した無数の星の集合にほかならない」と。

それから400年。望遠鏡の発達とともに人類の宇宙は莫大に広がったけれど、ガリレオのあの驚き・興奮は、現代の科学にも受け継がれていると思う。宇宙膨張はもちろん

## 海部宣男

放送大学 教授  
日本学術会議 会員  
世界天文年 2009 日本委員会 委員長

ん、ダークマターやダークエネルギーの発見は、私たちに自然の思いもよらない奥深さを感じさせずにおかない。夜空に光る無数の星を無数の惑星が回っているという1995年以来的発見は、膨張宇宙の中で生まれた生命と人類について、新たな思想的展開をもたらすだろう。ガリレオの時代と変わらない驚きと興奮の時代に、現代の私たちが生きているのである。子どもばかりでなく、歌を忘れたカナリアである大人にも、月や星をガリレオと同じような小望遠鏡(「君もガリレオ」望遠鏡)でのぞいて感動を味わい、驚きと不思議の感覚を思い出してほしいと思う。

ところで2009年は、『種の起源』刊行から150年、チャールズ・ダーウィンの誕生から200年でもある。天文学でのガリレオの望遠鏡に相当する大転回を生物の研究にもたらしたのは、やや遅れての顕微鏡の発明(レーベンフックとロバート・フック)である。まったく見えなかった無数の微生物や、細胞など生物の基本構造が見えるようになった。そしてニュートンの万有引力の法則に相当するのが、ダーウィンの進化論だろう。生物学の分野でも「世界年」を、という動きがあったらしいが、国際天文学連合が先を制してしまった。

ではあっても、素晴らしい機会ではないかと、私は思う。折しも天文学では、宇宙の生命への関心が急速に立ち上がりつつある。続々と発見される太陽系外惑星と、目覚ましく進む太陽系の惑星・衛星の無人探査が、

直接の推進力だ。しかし、その背後には、地球上の生命の起源論の着実な進展と、暗黒星雲における多量の氷や有機分子の形成から惑星形成に至る星間物質進化の理解がある。こうして獲得された新しい展望の先に、「宇宙における生命の発生と進化」が見えてきそうである。野辺山で星間分子の電波分光観測を始めたころに私が思い描いていた「宇宙の生命」への遠くおぼろげな道のりが、今や姿を現してきているように感じるのである。

もちろん、「宇宙における生命」の科学的実証や具体的研究にはまだ時間がかかるだろう。そうした不確実で長期的な視点の研究は、残念だが日本では非常に育ちにくい。しかしその中でも、こうした関心を着実に育てようという人々が増えてきた。せつかくの世界天文年である。この機会にと、生物学と天文学・惑星科学の枠を超え、協同で「宇宙における生命」研究計画をスタートさせようと準備している。研究機関や大学で、理論、観測、実験のベースをつくっていけないか。いも焼酎ならぬ愛飲の銘酒「天狗舞」を飲みながら、そう夢見ている。

世界天文年2009日本委員会ホームページ  
<http://www.astronomy2009.jp/>

(かいふ・のりお)



世界天文年 2009  
日本委員会のロゴ

# 宇宙へ毎日飛ばしたい

宇宙航行システム研究系 助教

野中 聡

## —— 能代多目的実験場への長期出張直前と のことですが、今回の目的は？

野中：再使用ロケット実験機 (RVT) の地上燃焼試験で、今回はターボポンプ式のエンジンを機体に組み込んで燃焼させます。これまでに飛行したRVTは、燃料をガスの圧力で押し出してエンジンに送っていました。より本格的な推進システムとして大型の液体ロケットでも使われているターボポンプ式エンジンを繰り返し運用してみ、再使用できるロケットの実現に向けてどのような課題があるのかを知ることが目的です。私はエンジン班の一員として、現場で作業をしています。どうすれば効率よく安全にロケットの運用をできるのだろうか。RVTの実験は、そういうことを実際に現場で勉強することができる貴重な場でもあります。

## —— RVTは1999年と2001年、2003年に飛行実験を行っています。

野中：私にとっての初めての飛行実験は2001年でした。実験が始まると、私たちは小さな異常も見逃さないように、担当する機器のモニターを見つめます。RVTが飛び姿を直接見ることはできないのですが、聞こえてくる音やモニターの数値から、「今、飛んでいるんだ」と感じることができます。無事に着陸したときは、とても感動しました。

2003年の飛行実験では、合計3回の飛行に成功しました。実験期間中には、どのような飛ばし方をするか、みんなで徹底的に議論しながら進めます。私の担当でもある空力に関して飛ばせるとも飛ばせないとも断言することができなかった課題があり、風洞実験の段階でもっと明らかにできていれば、と悔しい思いをしたこともありました。

前回の飛行実験から5年。またRVTを飛ばしたいですね。

## —— どのような再使用ロケットを目指しているのですか。

野中：まずは、高度100km以上まで飛んで帰ってくる再使用観測ロケットです。現在の観測ロケットは使い捨てなので、打上げのたびに新しいロケットをつくらなければなりません。海に落下した装置を回収するのも大変です。私たちが考えている再使用ロケットなら、ヘリコプターのように空中でホバリングして観測・試料採取したり、機体が打ち上げた場所に帰ってくるので装置の回収も簡単にできます。「こんなロケットがあるよ」と実際に飛ばしてみせたら、さまざまな実験のアイデアが出てくると期待しています。

再使用ロケットは、効率よく安全に飛ばすことが重要です。目標は24時間に1回打ち上げること。イメージとしては航空機ですね。そんなロケットがつくれれば、将来は宇宙に大きな構造物を建設したり、宇宙観光旅行が可能になったりと、いろいろな世界が広がる



のなか・さとし。1971年、東京都生まれ。工学博士。2000年、東北大学大学院工学研究科航空宇宙工学専攻博士課程修了。同年、宇宙科学研究所システム研究系助手。2007年より現職。現在は再使用ロケット実験機、再使用観測ロケット、次期固体ロケット、観測ロケットなどの研究開発や運用に携わっている。

ことでしょう。

## —— 最初にRVTを見たときの印象は？

野中：おもちゃみたい。これがほんとに飛ぶの？でも、大型ロケットと同じシステムがすべて、コンパクトに詰まっている。面白そうだなと思

ました。それに、実験に参加しているみんながとても楽しそうなのです。能代の実験には40人くらいが参加し、約1ヶ月間、朝から晩まで一つの目標に向かってみんなで頑張っています。一人ひとりがプロ。自分が何をすべきかを自覚していますから、細かい指示がなくても、みんな一斉に動きだす。それは見事です。

## —— 子どものころから宇宙に興味があったのですか。

野中：中学生のときにハレー彗星の回帰があり、ねだって望遠鏡を買ってもらいました。毎日のように望遠鏡をのぞき、写真も撮りました。それが宇宙へとつながる最初の出来事です。

## —— 大学の専攻は理学系ではなく、航空宇宙工学ですね。

野中：初めは自然や天体への興味が強かったのですが、次第に飛行機やロケットなど飛ぶものに興味を持つようになり、それを自分で触ってみたい、つくってみたいと思ったのです。旅客機の整備士の道に進むことも考えました。大学院では極超音速流れの研究をしていました。音速の10倍を超える速度で空気中に模型を打ち込んで写真を撮り、模型のまわりにできる衝撃波を可視化するというものです。

## —— 趣味は？

野中：中学から大学院までずっと陸上をやっていましたが、最近は走っていないですね。今の趣味は、水中で小さい生き物の写真を撮ることです。5年ほど前から出張のない週末は海に通っています。周囲からあきれられるほどです。

## —— 能代の冬は寒いそうですね。

野中：はい、それはもう。実験場は海岸にあるので、日本海からの冷たい風雪が直接吹き付けます。私は、能代や角田、内之浦などへ、毎年100日ほど出張に出ています。普通、長期の出張では宿の美味しい食事のおかげで太って帰ってくるのですが、冬の能代だけは別。今回もきっとやせますね。でも、老若男女、JAXA、メーカー問わず、RVTチームとして現場で声を掛け合いながらみんなで仕事をするのは、寒さを忘れるほどとても楽しいです。

ISAS ニュース No.333 2008.12 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

今年は、「ひので」「すざく」の特集号、「かぐや」の月の映像、「はやぶさ」を待つクリーンチャンバ、PLANET-Cの現況などが表紙をにぎわせ、まさに「宇宙科学ここにあり」です。一方、宇宙基本法実行案が作成されつつあります。来年は宇宙科学の行方を定める大切な年になりますね。  
(周東三和子)

\*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