



2011年7月29日・30日に行われた相模原キャンパス特別公開の様子

宇宙科学最前線

超小型衛星の挑戦 宇宙科学の大変革を目指して

松永三郎

宇宙構造・材料工学研究系 教授

超小型衛星とは

超小型衛星とは、主に全質量100kg未満、特にここでは50kg以下の人工衛星を想定している。その超小型衛星の研究開発が、全世界において驚異的な勢いで活発に進められている。日本でも、ここ数十年の間に、東京大学と東京工業大学の各研究室において、数百gのカンサットから出発して1kg級キューブサットの世界初軌道上実証に成功した。その後、それらの活動は大きなうねりとなった。多くの大学や高等専門学校の新進気鋭の若者たちが超小型衛星の世界に参入するに至った今、宇宙工学において新しい分野が開拓されている。

衛星ミッションの企画、解析、設計、製作、

試験、打上げ作業、運用、文書作成、管理、各種国際調整・契約を実施し、宇宙環境において実際に稼働する宇宙システムを研究開発する。その活動は教育だけにとどまるものでなく、超小型衛星を用いた最先端技術や理学ミッションの早期実証へと大きく育ってきている。見方を変えれば、サイズが小さくなったおかげでミッションの柔軟性や多様性が増し、教育として使用できるようになったともいえる。一方で、小型故の技術的に大変厳しい制約があるが、だからこそ、宇宙という現場で新しい研究課題を実践的に発見・追究して解決する鍛錬の場が開かれているのである。

すなわち、従来の宇宙開発では、宇宙科学研究といえども宇宙での実証機会を得るには巨額

図1 CUTE-I
世界初のキューブサット

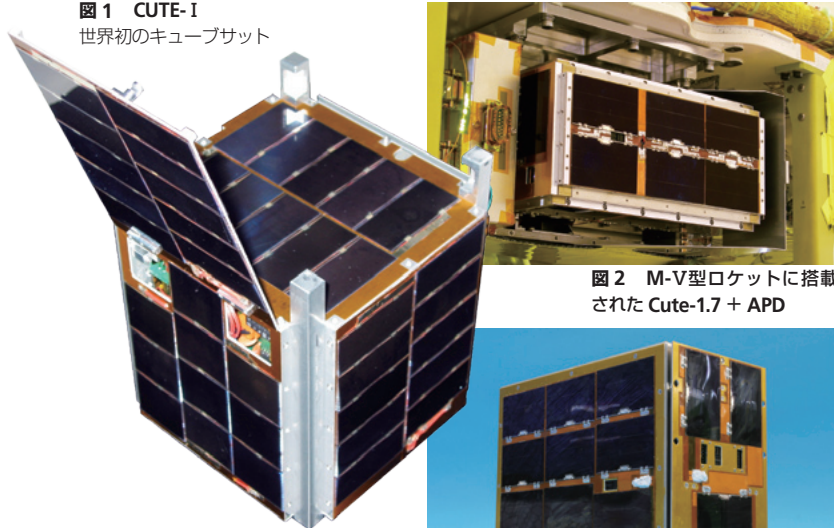


図2 M-V型ロケットに搭載されたCute-1.7 + APD

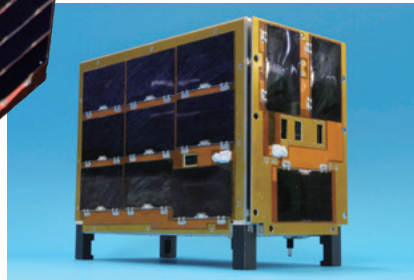


図3 Cute-1.7 + APD II

の予算を必要とするが、サイズを特化することで、研究室規模においても宇宙開発に貢献できることに大きな意義がある。しかも、日本がその中心国として重要な役割を果たしている。それらの活動が内外から認識され、ここ数年間、超小型衛星の研究開発に重点的に予算が投入されている。オールジャパン体制を築き画期的成果へと結実させることで、世界をリードし、社会に貢献することが期待されている。

これまでの超小型衛星

さて、上記の具体例を示すために、東工大理工学研究科機械宇宙システム専攻の松永研究室を中心として行われてきた超小型衛星に関連する活動を列挙し、いくつか簡単に紹介する。

- ① CUTE-I：世界最小の1kg衛星の開発。
2003年6月30日、ロシアのロコットロケットにて打上げ。8年を超えて、運用中。
- ② Cute-1.7 + APD：理工共同開発。2006年2月22日、M-V型ロケット8号機で打上げ、運用成功。2009年10月、大気圏再突入。
- ③ 3kg級Cute-1.7 + APD II：理工共同開発。
2008年4月28日、インドのPSLVロケットで打上げ。3年を超えて、運用中。
- ④ 超小型衛星用地上管制局システムの研究開発
- ⑤ 超小型衛星用分離機構の研究開発：4回の軌道上実証。上記の3回、およびTSD (Titech Satellite Deployer) として2005年7月10日、M-V型ロケット6号機にて打上げ実証。
- ⑥ 小型ソーラー電力セイル実証機IKAROS用小型分離カメラ：分離機構の設計協力、組み立て試験、分離解析、システム統合。2010年

6月に軌道上にて膜面を含むIKAROSの全体撮影に成功。

- ⑦ 50kg級先端技術実証・偏光X線観測衛星TSUBAME：現在、研究開発中。2012年12月打上げ予定。

図1は、世界最小1kg、1辺10cm角のキューブサットCUTE-Iである。当時の超小型衛星と位置付けられていた50kg、1辺50cm角のマイクロ衛星と比較して、質量で50分の1、体積で125分の1と、2桁レベルでの削減を要する画期的な衛星である。超小型衛星は、ミッションを絞り込んで質量をより小さくする一方で、宇宙で稼働すべき宇宙システムとしての特徴を持つ必要もある。衛星にとって本当に必要な技術は何か、という本質を追究したのがキューブサットといえる。この成功で、今まで宇宙関連に興味を持ちながら手をこまねいていた人に、衛星を自ら開発し、ロケットで打ち上げて運用する道筋を示した。CUTE-Iは、8年を超えた現在でも運用継続中である。

図2の超小型衛星Cute-1.7 + APDは、松永研2機目の軌道周回衛星であり、理学系研究室（東工大・河合研）との共同開発で、バス系を松永研、センサ系（APD [アバランシェ・フォトダイオード] センサ）を河合研が担当した。2006年2月、M-V型ロケット8号機サブペイロードとして打上げ、初期運用に成功した。しかし、放射線障害による不具合が発生し、1ヶ月弱の運用で終了した。2009年10月に小笠原沖にて大気圏に再突入・消滅した。

図3のCute-1.7 + APD IIは、前号機の設計を大きく見直し、信頼性を向上させた松永研3機目の超小型衛星であり、2008年4月、インドのPSLVロケットによって打上げられた。運用は3年を超えて行われ、多くのミッションを成功させた。特に、超小型CCDカメラによる地球の撮影画像（図4）は、国際アマチュア無線連盟（AMSAT）のウェブサイトにも掲載された。さらに、高感度APDセンサによる全天における低エネルギー粒子計測は世界初であり、報告論文は、地球物理学分野の最高峰雑誌に掲載され、季刊誌にてeditor's choiceに選ばれた。

50kg級衛星TSUBAMEを開発中

現在、宇宙研の松永研では、東工大の河合研、東京理科大学の木村研と共同で、図5に示すような50kg級の地球・天体観測衛星TSUBAMEを研究開発中である。宇宙開闢の謎に関わる突発的なガンマ線バースト現象の観測（ガンマ線検出器・X線偏光検出器：河合研）、および可視



図4 Cute-1.7+APDⅡが撮影した日本上空写真
関東平野が見える

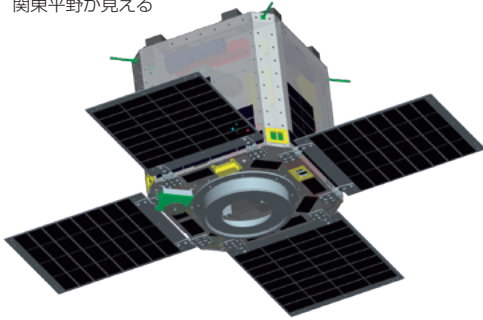


図5 50kg級衛星TSUBAME

光カメラを用いた地球観測（小型光学カメラ：木村研）を実施するために、コントロールモーメントジャイロ（CMG）を用いた高速度姿勢変更と高精度指向制御の両立を図る超小型衛星の開発を目指している。特に、CMGシステムを世界最小級・省電力、しかも高出力トルクを発生できる超小型姿勢制御用アクチュエータとして実現するために、多摩川精機株と共同開発中である。また、電力は100W級と、その質量・大きさと比較して高出力のため、高度なバス技術を要求されており、大変挑戦的な衛星である。現在、フライトモデルを開発中であり、2012年12月ごろに打上げを予定している。図6は環境試験の様子である。

超小型衛星の大きな可能性

超小型衛星を研究開発する意義は、主に次の点が挙げられる。

- ① 挑戦的宇宙システム工学の実践的教育・人材育成
- ② 部品・機器レベルの先端技術の早期宇宙実証。TRL（技術成熟度）を飛躍的に上げることができる有効な戦法
- ③ 超小型衛星（群）による科学ミッションや実利用ミッションの実施
- ④ 新しい宇宙工学や高付加価値ビジネス分野の発掘・開拓

これらの根拠は、超小型衛星が失敗できる程度の規模であることがポイントである。もちろん、わざと失敗してもよいという意味ではない。人工

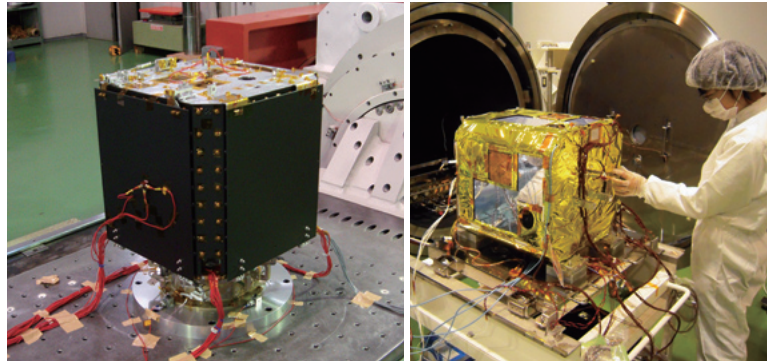


図6 TSUBAMEの環境試験の様子 振動試験中（左）と熱真空試験直前（右）

衛星は、一発勝負の打上げを経て、じかに手を入れることができない状態で運用しなければならないので、絶対に成功するよう最大限の真剣な努力をする。しかし、それでも漏れ出てきた不具合により失敗に至ったとしても許容できる予算内で実行することが可能、という意味である。

すなわち、大型衛星の失敗のように、大きな痛手を受けて分野全体が停止させられる社会風潮から一線を画することができるし、またそのように理解してもらう必要がある。なぜなら、周知のように、失敗からこそ本当の意味での知見が得られるからである。従来の大型宇宙開発では失敗への許容が非常に狭いことを、あえて説明する必要はあるまい。

実は、研究室レベルでのアップサイズ設計思想に基づいた開発で運用に成功した超小型衛星の例は、日本では数kgまでである。50kg級では、国の機関や宇宙メーカーの中型・大型衛星のノウハウを利用したダウンサイズ設計思想の衛星がいくつか成功してきている。今年以降、東大の35kg級衛星、我々の50kg級衛星などが、アップサイズ設計思想に基づいた開発の成功を目指し、挑戦する。

大きさが同じでも、ミッション次第で難易度はまったく変わる。それは、飛行機でいえばプロペラ機かジェット機かと問われているのと同じようなもので、研究室レベルから発するアップサイズ設計思想でどこまでいけるか、ダウンサイズ設計思想でないといけいないのか、その境界はいつどこか、どう進化していくのか、という大きな課題がある。

超小型衛星を用いることで、真の意味での宇宙システム工学の深化・体系化が可能になり、宇宙工学における実践的な問題発見・解決および得られた知見の汎用化を促すことが期待できる。日本でも1年に5機以上の超小型衛星が定期的に打ち上げられる日は近い。そのときには、宇宙科学に大変革がもたらされるであろう。

（まつなが・さぶろう）

参考文献：
「キューブサット あなたも飛ばせる人工衛星」日経サイエンス、2011年9月号

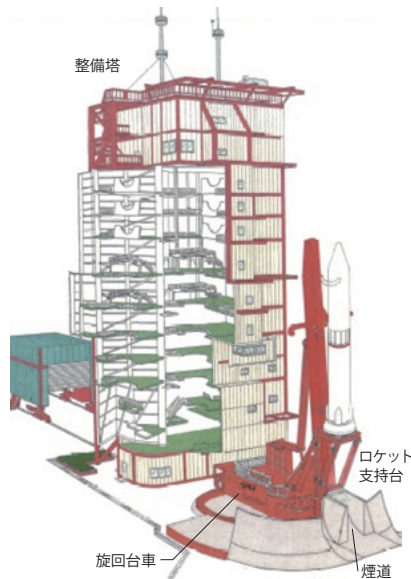
大学宇宙工学コンソーシアム UNISEC
<http://www.unisec.jp/>

UNISEC Space Takumi Journal
<http://space-takumi.unisec.jp/>

内之浦の射場開発，本格スタート

改修メーカーもようやく決まり，この夏，内之浦の射場開発が本格的に始まろうとしています。次期固体ロケット・イプシロンの目的は，ロケットを簡単に打つ仕組みをつくって，みんなの宇宙への敷居を下げようということにあります。その心は，「運用をシンプルに，設備をコンパクトに」というわけです。このような革新コンセプトは射場の開発に大きな影響を与えていて，その代表選手がモバイル管制です。

一方，M-V型ロケットのランチャー・整備塔方式の打上げ方はすでに世界一コンパクトなのですが，いくつかの観点から改修を加える計画です。一つは，音響振動（ロケットの燃焼ガスから発生する音が地面で跳ね返って衛星を揺さぶる現象）の緩和です。そこで，シュラウドリング（リング状のロケット支持台）の位置を高くして，かつリングの下に煙道（燃焼ガスを地面に沿って逃がしてやる滑り台）をつくろうと思っています（図参照）。6月号の「ISAS事情」でもご紹介した通り，この作戦の効果を確認するために能代ロケット実験場で燃



整備塔とランチャーの改修構想

焼試験を進めているところです。

そして，固体ロケットの伝統工芸ともいべき斜め打ちの卒業が，もう一つのポイントです。斜め打ちには飛行安全面で大きなメリットがあります。特に尾翼付きのロケットの場合には，必ず海の方に飛んでいくるので，とても安心です。先人の先生方の知恵の深さには今もって驚くばかりです。しかし，イプシロンのように尾翼がない場合，どのみち制御系が狂うとねずみ花火のようにいかようにも飛んでいってしまいますから，かつてほどメリットは絶対ではありません。打上げの手間という観点から見ると，ロケットは真っすぐ立てて組み立てるので，そのまま打ってしまった方がはる

かに簡単というわけです。

改修構想をよく見ると，イプシロンはM-Vまでに積み上げてきた大切なエッセンスをしっかり受け継ぎ，伸ばそうとしていることが分かります。M整備塔の大扉を開けて姿を現したイプシロンがランチャーから飛び立つ。何とも素晴らしい光景だと思いませんか？

（森田泰弘）

宇宙と音楽の夕べ vol.1 「月」

7月10日，桜美林大学総合文化学群音楽コースとのコラボレーション企画として，「宇宙と音楽の夕べ vol.1 『月』～癒しのシンフォニー」を桜美林大学のプラネット淵野辺キャンパスで開催



「かくや」の映像をバックにあいさつをする出演者

しました。音楽と宇宙科学の共通テーマとして月を選んだのは，音楽サイドにも素材が豊富なので内容を考えやすく，この企画の第1回目としてふさわしいと考えたからです。音楽を単なるBGMにせず，宇宙と音楽の両方が主役となる構成にするためにも，身近な「月」は音楽

と科学にとって最適なテーマでした。当日の流れは次のようにしました。まず月をテーマにした演奏が30分。この時間は，桜美林大学の横山正子教授によるプロデュースです。マザーグースの詩の朗読を交えて，フォーレ『月の光』やシューベルト『月に寄す』などの演奏がありました。プラネット淵野辺キャンパスのエントランスホールは，音がよく響くガラス張りの空間です。外からも見えるスクリーンに映した月の映像を背景に，素晴らしい演

奏を楽しんでいただきました。次の30分は、月・惑星探査プログラムグループの中澤暁さんが『『かぐや』が見た月の世界』と題して、主に月周回衛星「かぐや」の紹介をしました。演奏会の雰囲気の中での科学講演は大変だったと思いますが、きちんと月と音楽の接点にも触れていただきました。最後の15分は、「かぐや」のハイビジョン映像を背景にピアノの生演奏を行い、宇宙科学の成果と音楽の両方を堪能していただく時間としました。「地球の入り」の映像では、地球が沈み切ったところでイタリア協奏曲・第2楽章（バッハ作曲）が終わるという完璧なパフォーマンスがありました。ここでピアノを担当されたのは、桜美林大学専任講師の小早川朗子さんです。桜美林の先生方の演奏は前日のリハーサルで録音しましたので、これからも「かぐや」映像と一緒に聴きいただく機会があると思います。

イベントの最後に、抽選で10名の方に「かぐや」映像のDVDをプレゼントしたのですが、これが大変好評で、「ぜひ購入したい」との声も聞かれました。また今回、東日本大震災チャリティーイベントとして開催したので、会場で募金の呼び掛けをしました。約200名の参加者から合計4万7015円の募金を頂き、大変感謝しています。皆さんからお預かりした募金は、相模原市渉外課を通じて友好都市の大船渡市へと寄付させていただきます。募金額の多さにも驚かされましたが、一番心に残ったのは会場からの盛大な拍手と、会場全体で素晴らしい時間を共有したという実感でした。

イベント終了後には、星空公団の方々のご協力で、生の月の観望会を開きました。天気にも恵まれ、月のほか、土星、はくちょう座の赤と青の二重星アルビレオなどを鑑賞することができました。（高木俊暢）

小惑星探査機「はやぶさ」帰還カプセル特別展示inのしろ

「小惑星探査機『はやぶさ』帰還カプセル特別展示inのしろ」が7月1日から4日にかけて秋田県能代市で行われました。能代市は「はやぶさ」を打ち上げたM-V型ロケットの地上燃焼試験を行った能代ロケット実験場のお膝元。「はやぶさ」カプセルにとっては里帰りという意味付けも持っています。

主催者の能代市の計らいで、カプセル展示にとどまらず、2日と3日には市内の4会場にまたがる大規模な宇宙イベントを実施することとなりました。メイン会場の能代市総合体育館では「はやぶさ」カプセル展示と講演会を行い、隣接する能代市子ども館では宇宙科学関連の模型展示とプラネタリウム上映、能代エナジウムパークでは「地球から宇宙へ」と題した天体写真のパネル展、そして能代ロケット実験場では施設公開と宇宙服の試着を行いました。駐車場の収容可能台数に制限があるため、シャトルバスで臨時駐車場と各会場をつなぎ、利用者の便宜を図りました。このような大規模なイベントは、カプセル展示の中でもおそらく全国初の試みといえるでしょう。

カプセル展示自体は7月2日には3001名、7月3日には3619名の一般来場者にご覧いただき、これに加えて7月1日には4242名、4日にも1328名の地元の小・中学生が見学しました。私を含め大勢の職員が帰還カプセルや「はやぶさ」についての解説をその場で行い、理解しやすく印象に残ったと好評をいただきました。



カプセルの勇姿に目を見張る中学生たち。左は解説中の筆者。

4月から宇宙科学研究所の施設に復帰した能代ロケット実験場にも、2日に785名、3日に789名の方にお越しいただき、2日目の最後にはイプシロンロケットの音響測定のための地上燃焼試験もご覧いただけただようです。

来年には能代ロケット実験場が50周年を迎えます。これについても関連イベントを実施すべく、準備に取り掛かろうとしているところです。（阪本成一）

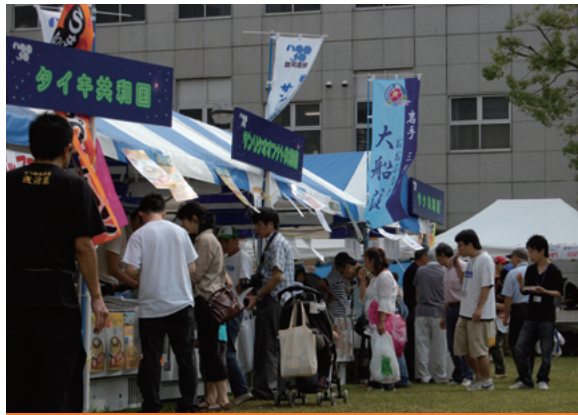
JAXA 相模原キャンパス特別公開

「はやぶさ」の地球帰還に沸いた昨年の特別公開からはや1年、特別公開の季節がまたやって来ました。昨年は2日間で約3万4000名もの来場者をお迎えし、キャンパス内もカプセル展示会場となった相模原市立博物館も大混雑で、私自身も待ち行列の制御に奔走した記憶だけが残っています。

今年も宇宙ブームは衰えていないように見え、主催者側としては節電要請を受け入れつつも2日で2万名程度の来場者に対応しなければならない事態を見込んでいました。あいにく両日も朝から雷雨があるなど天候が危ぶまれたこともあって、来場者数は初日の7月29日(金)が6024名、30日(土)が7029名で、2日間の来場者は合計1万3053名となりました。この数は正門・西門・北門でのパンフレットの配布総数そのものですから、家族の人数分取らない方や2日間来場された方などを考慮すると、実際にはもう少し多い来場者があったのかもしれませんが。以前のような1日みの開催でこれだけの数を受け入れるのは至難の業。今回は2日開催で来場者を分散させるという狙いの効果が多少は現れたようです。お迎えする側も動線のつくり方などにだんだん慣れてきて、以前と比べて混雑感もだいぶ軽減できたようで、来場者の満足度はかなり高かったようです。

今回は新しい試みもいくつか行うことができました。その一つが中庭に出店した「銀河連邦物産展」で、銀河連邦を構成する6市町が食品を中心とする特産品の即売を行いました。例年食堂が混雑して食事や休憩を取るのに一苦労するのですが、今回は中庭に昼食会場を分散させることでゆとりを出すことができました。津波で被災した大船渡市の復興に向けて、わずかながらお手伝いをできたこともうれしいことです。

さらには、昨年は工事中で使用できなかった東京国立近代美術館フィルムセンター相模原分館との協力関係をさら



銀河連邦物産展の様子。銀河連邦は、宇宙研の施設があることが縁で交流を始めた6市町で構成される。

に深めました。2009年から始めた大人向けの「宇宙科学セミナー」は今年も、藤村彰夫（「はやぶさ」サンプルキュレーションチーフ）、森田泰弘（イプシロンロケット開発リーダー）、川口淳一郎（「はやぶさ」プロジェクトマネージャ）、中村正人（「あかつき」プロジェクトマネージャ）という豪華講師陣。より多くの方にお聴きいただけるよう、午後

の第2部の整理券を午前の第1部の講演時間に配布するなど、腐心したつもりです。また、今回は1時間のセミナーだけでなく、引き続いて短編映画の上映も行うことができました。上映された『黒い太陽』（1936年製作）は、戦前に北海道で観測された皆既日食を記録したドキュメンタリーで、当時の観測隊の様子や太陽に対する理解について知る貴重な機会となりました。現在は2006年打上げの太陽観測衛星「ひので」が地球周回軌道上から可視光やX線で太陽黒点やコロナの活動を24時間365日モニターしているわけですから、70年間の科学・技術の進歩には驚かされます。

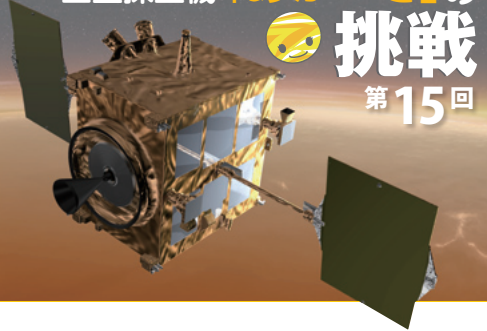
相模原市立博物館では従来から行ってきたプラネタリウム上映や「ミニミニ宇宙学校」に加え、特別展示室での特別展「宇宙とつながる私たち～探査機に託したメッセージ」や「池下章裕 リアル・スペース・アート展2011」（ともに8月17日(水)まで開催）の同時開催を図ることで、いわゆる研究紹介とは違う切り口で紹介することもできました。来年度以降も規模こそ縮小するにせよ、宇宙関連の特別展を特別公開に合わせて実施できないかと相談しているところです。

相模原キャンパスでは展示室を中心とした常時公開も拡充中で、少しずつ展示内容が変わっていることにお気付きになると思います。土日祝日には学生アルバイトが解説してくれています。進化し続ける特別公開・常時公開にご期待ください。（阪本成一）

ロケット・衛星関係の作業スケジュール(8月・9月)

	8月	9月
S-520-26号機	啗合せ試験(相模原)	フライトオペレーション(内之浦)
BepiColombo MMO	一次啗合せ試験(相模原)	

金星探査機「あかつき」の 挑戦 第15回



電波による金星観測

宇宙科学共通基礎研究系 准教授
今村 剛

太陽コロナ観測？

今年6月、地球から見て太陽の向こう側を通過する金星探査機「あかつき」から地球に向けて電波を送信し、太陽から吹き出す高温のガス「太陽風」の根元に当たる「太陽コロナ」を調べました。電波は、太陽のすぐそばを通るときにコロナによって乱されます。その電波を地上で受信することで、コロナの密度のゆらぎや流速などが分かるのです。このような観測を電波掩蔽えんぱいといいます。太陽の電波掩蔽は探査機がちょうど太陽の反対側を通るときしかできないので、宇宙科学の歴史の中でも貴重な機会です。太陽観測衛星「ひので」との同時観測も行い、目下データ解析中です。しかし、「あかつき」の電波掩蔽は本来、金星をターゲットとしたものであることを、忘れてはいけません。

曲がる電波

電波掩蔽は、「あかつき」の隠れた主役ともいえるべき観測法です。「あかつき」の華は5台のカメラですが、これらの画像データを分析する上で電波掩蔽による気温情報を欠かすことはできません。電波掩蔽では、普段は探査機と地上局の間の通信に用いる電波を観測に利用します。地上局から見て探査機が金星の背後に隠れるときと背後から出てくるとき、探査機から送信される電波は金星大気をかすめるように通過して地上局に届きます(図1)。このとき電波が金星大気中で屈折する結果として、受信周波数が変化します。この周波数変化を分析すると屈折率の高度分布が求まり、そこから気温の高度分布が分かるのです。受信電波強度の変化からは、金星を覆い尽くす硫酸の雲の下にある硫酸蒸気の分布も分かります。

金星大気中の電波の屈折は数十度にも達します。そのため観測時には、「あかつき」は高利得アンテナを真っすぐ地球方向に向けるのではなく、屈折角の分だけ向きを変える必要があります。地球から見て「あかつき」が金星の向こうに隠れているときも、電波は屈折して地球で受信され続けるはずで、金星大気を通過した電波は長野県にある臼田宇宙空間観測所で受信されます(図2)。観測装置そのものは地上にあるので、惑星探査というよりも天体観測の趣があります。

超高安定発振器

電波掩蔽は惑星探査の黎明期からたびたび実施されてきましたが、今回は気象現象に伴う1°C以下の気温のゆらぎを捉える必要があり、容易に達成できない精度が求められます。わずかな周波数変化を検出

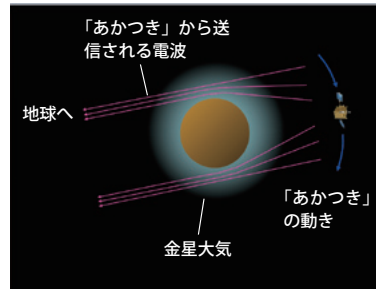


図1 「あかつき」による金星大気
の電波掩蔽観測のイメージ



図2 太陽コロナ観測中の臼田宇宙空間
観測所のパラボラアンテナ

するために、基準周波数に対する周波数ゆらぎの割合が1億分の1のさらに1万分の1以下という高い安定度の信号を送信する必要があります。そこで、「あかつき」には超高安定発振器(USO: Ultra-stable oscillator)を搭載し、送信機の基準信号源を通常の発振器からこちらに切り替えて観測を行います。USOの中心部には周囲から断熱された水晶振動子があり、その温度を高い精度で安定化することによって周波数を安定化させます。「あかつき」は欧州のミッションで実績のあるドイツのメーカーが開発したUSOを搭載しています。ちなみに前述の太陽コロナ観測でもUSOを使いました。

打上げ、そして

2010年5月に「あかつき」が打ち上げられて1週間後、祈る気持ちでUSOをオンにして、まずは正常に立ち上がることにほっとしました。続いてUSOを基準信号とする電波を臼田宇宙空間観測所で受信して周波数安定度を評価し、きちんと性能が出ていることを確認。さらに、すでに金星周回軌道にある欧州の探査機Venus Expressの電波を臼田宇宙空間観測所で3回にわたって受信して、我々の記録装置とデータ解析ソフトウェアの動作を検証しました。こうして準備万端、あとは金星到着を待つだけと思っていたら、金星の横を素通りしてしまいました。

2015年に予定される次の金星会合まで観測はお預けかと思いましたが、「あかつき」の軌道を調べたところ、太陽コロナ観測の絶好の機会が2011年6月にあることが分かりました。そうとなれば、せっかくのUSOを活躍させない手はありません。この後の長い巡航期間中にも機会を見つけては科学観測を行い、金星到着の前に小手調べとしましょう。

(いまむら・たけし)

国際宇宙微生物学ワークショップの旅

古き街クレルモン・フェランと

古さと新しさが混在するというより、古さがそつと新しさを抱きかかえるように美しくたたずむ街。ヨーロッパの古くからある街を訪れるたび、同じ思いにさせられる。クレルモン・フェランもそんな街の一つである。クレルモン・フェランは火山に囲まれ、その中で最も高いピュイ・ド・ドーム山（標高1464m）は街からたった13kmしか離れていない所にある。この街を訪れたのは、宇宙微生物学の第7回国際ワークショップに出席するためである。

フランスの中でも最も古くからある街の一つクレルモン・フェラン。現在のクレルモン・フェランは、クレルモン市とモンフェラン市の合併によって

できた街である。クレルモンは、かつてローマ教皇が教会会議を開き、エルサレムへの巡礼保護の名目のもと聖地遠征軍（第1回十字軍）の結成を呼び掛けた場所である。13世紀には、旧市街のシンボルともいべき大聖堂ノートル・ダム・ド・ラサンブシオンが建設されている。また、クレルモン旧市街のバシリカ聖堂であるノートル・ダム・デュ・ポール寺院は、ユネスコの世界遺産「フランスのサンティアゴ・デ・コンポステーラの巡礼路」の一部である。さらに近郊にはシャレード・サーキットがあり、F1フランスグランプリが開催された。そう、ここはタイヤで有名なミシュランの創業の地であり、本社がある街でもある。一方のモンフェランは、12世紀にオーヴェルニュ伯爵によって、クレルモンと隣接する土地に新たな都市として建設された。近世に入ってクレルモンとモンフェランの統合が進められたが、完全な統合がなされたのは、実は20世紀に入ってからののである。

クレルモン・フェランの南に位置するオビエールにあるブレーズ・パスカル大学のCézeauxキャンパスは、サイエンスやエンジニアリングスクールがあり、コンピュータネットワークと通信、生物学、マネジメントなど多数の研究室や、企業と提携した研究施設もある。ブレーズ・パスカル大学の中でも中核をなすキャンパスの一つである。広大な敷地内を

ダウンタウンに直結するトラム電車が走っている。そのキャンパス内にあるPolytechという建物が今回の会場だ。

宇宙微生物学ワークショップは、国際宇宙生命科学ワーキンググループ（ISLSWG、JAXA、NASA、ESA、CSA、DLR、ASI、CNES、NSAUの宇宙機関からなるワーキンググループ）のもとJAXAが提案し発足したもので、2002年の第1回、2007年の第5回をJAXAが主催している。地球から持ち込まれる微生物による宇宙滞在施設や惑星の汚染防止、搭乗員の健康や宇宙施設の衛生状態の長期間維持、船内や搭乗員自身の微生物叢の経時的変化、宇宙環境での微生物の生態や性質の変化などをモニタリングし解析する。地球外生命探査の対象としての微生物というよりライフサポートに主眼を置いたワークショップである。今回はESA主催で、宇宙環境における微生物研究について研究者間でさまざまな側面から活発な議論が行われた。

「人間は考える葦である」という随想録『パンセ』の一節が有名であるブレーズ・パスカル（Blaise Pascal）は、フランスが生んだ17世紀の天才で、クレルモンの出身だ。その才能は哲学、宗教、数学、科学など多分野に及んだ。特に我々になじみ深いのは、「パスカルの定理」や「パスカルの原理」などであろうか。菌車式の計算機をつくったことでも知られる。ブレーズ・パスカル大学は、彼の名にちなんで1987年に名付けられた。

クレルモンの旧市街は火山の噴火でできた円錐状の丘の上に築かれ、建物には溶岩石を使用したため、大聖堂ノートル・ダム・ド・ラサンブシオンや街並みが黒っぽく見える。これが「黒い街」といわれるゆえんである。夕飯に立ち寄った黒い大聖堂の傍らにある小さなレストランの軒先のテーブルに着き、安くてうまいワインに舌鼓を打ちながら（ちょうど日本で腸管出血性大腸菌O111に汚染されたユッケによる食中毒事件が起きた後だっただけに）「微生物の研究会に来て食当たりしちゃあ、笑い話にもなりゃしない」と我慢して、隣のテーブルの客がおいしそうに食べている牛生肉のターターステーキを横目で見ながら普通の牛肉ステーキを「レア」で食べたのが、今となっては何やら情けなく滑稽な思い出である。そして、2013年の第8回ワークショップは再び日本という声を背に、この街を後にした。

（いしおか・のりあき）



クレルモン旧市街グラス通りから眺めた大聖堂ノートル・ダム・ド・ラサンブシオンの二つの塔

石岡憲昭

宇宙環境利用科学研究系教授



事故原発放射能汚染対策に 宇宙農業から貢献

植物に放射性セシウムを取り込ませる

原子力発電所の事故で放出された放射性セシウムにより、福島の大気は汚染されました。宇宙農業研究の成果を活用し、植物の力によって汚染から回復できないか調べています。セシウムは植物の肥料の一つであるカリウムと性質が似ているので、植物はセシウムを取り込みやすいのです。いろいろな植物の中でもヒマワリのセシウム取り込み能力が優れていることが、チェルノブイリ原発事故の後に行われた実験の論文に述べられています。ただし、論文の水耕栽培で示された能力が福島の土で発揮できるかどうかは、実際に試してみないと分かりません。

土壤に含まれるセシウム

宇宙農業のテーマの一つは、ナトリウムとカリウムの循環です。およそ10億～8億年前から海水がマントルに引き込まれ、陸地が大きく広がりました。大気中の二酸化炭素を溶かし弱酸性となった雨が陸に降り、岩からナトリウム、カリウム、そのほかのイオンが溶かし出されました。土の中に含まれる風化した粘土鉱物は、カリウムを選択的に吸着します。ナトリウムが海に注ぎ込み、さらに海の底にある粘土鉱物がカリウムを吸着して、海は塩辛くなりました。沿岸部に鉄などのミネラルやリンといった栄養塩が多く供給され、生命活動が盛んになりました。そうして余裕のできた細胞は多細胞化し、酸素がたくさんつくられ、生物は格段に繁栄しました。これが陸上へと生物の進出を導き、賢い(?)ヒトへの進化の道筋を拓いたといえます。

セシウムはカリウムによく似ているので、粘土鉱物はセシウムも強く吸着します。さらに層状の雲母鉱物は、水和しないセシウムをちょうど同じ大きさの隙間を持つ層間構造の中に引き込み、いったん取り込むとなかなか出さないようです。土の中には多様な生物が生息し、植物と共生したりもしていま

山下雅道

宇宙科学研究所 名誉教授
宇宙農業サロン

す。植物の根だけではアクセスできない土壌の広い範囲に菌糸を伸ばす菌類(キノコ)や、私たちがその働きをのぞき見ることができるようになったばかりの土壌中の微生物が、ヒマワリによるセシウムの取り込みを助けるかもしれません。

福島でヒマワリ栽培の実験

福島の事故原発から20km圏外ではあっても放射能汚染のために避難地域となっている北西方向に伸びる帯状の地域、伊達郡川俣町、双葉郡葛尾村と浪江町の何ヶ所かの田や畑でヒマワリ栽培の実験をしています。6月初旬から中旬にヒマワリの種をまき、どれほどのセシウムがヒマワリに取り込まれるか、放射性セシウムを取り込んだヒマワリの植物体からどれくらいの強度の放射線が出てくるか、ヒマワリ栽培のメリットとリスクを調べています。

ヒマワリ収穫後に土壌の放射性セシウムがどれほど変化したかを見れば、土壌の浄化に何年かかるかを推しはかれます。ただし、ヒマワリはすぐにでも土壌を浄化できるスーパースターとはいえないようです。しばらく



食用の作物が栽培できないなら、ヒマワリなどの作物を原料として高度な化学製品をつくるような産業を興し、これまでの原子力発電に代わる代替の経済を築いていくグリーン・ニュー・ディールといった運動を福島の地で展開できないものかと頭を巡らせています。

見えない放射線のリスクに正しく対応する

「ひまわり作戦」を進めるには主に次の二つの課題があり、対応策を研究しています。一つ目は、ヒマワリを植えたり収穫したりする際の作業員の放射線被曝です。放射線被曝量を低く抑えるために農業機械を工夫したり、作業員がどれほど被曝したかを測定し被曝リスクを適切に管理できるように実時間アラーム・積算機能付きの簡易な個人線量計を開発しています。二つ目は、植物の体にたくさんの放射性物質が取り込まれたときに、安全に処理・処分することです。焼却式の設備で処理するときに放射線を漏らさないためには、低温燃焼・除煙の手だてが必要です。「ひまわり作戦」では、生物的に「燃焼」する高温好気堆肥菌システムを研究しています。

何よりも、福島のみならず全国の皆さんが、見えない放射線のリスクを正しく認識し、しかし科学的な根拠なく過度に神経質にならないで行動することが大切です。低線量率での放射線被曝を評価・理解するには宇宙放射線生物学・医学の成果も有効であり、それを皆さんに伝える努力をしています。

(やました・まさみち)

※「ひまわり作戦」の詳細は宇宙農業サロンのホームページ (http://surc.isas.ac.jp/space_agriculture/) をご覧ください。

土ぼこりが舞い上がらなければ、放射線は土の表層の放射性セシウムから出るガンマ線に限られる。防護服なしでも問題のない環境にある福島の調査地で、ヒマワリの生育状況を確認している様子。

コミュニケーション力で宇宙科学を推進

科学推進部 計画マネージャ
宇宙科学プログラム・オフィス 併任

内木 悟

— 科学推進部では、どのような仕事をされているのですか。

内木：私のポジションは、宇宙研の経営企画部のようなところ。宇宙研の事業計画を立て、実行するための予算を組み、配分します。しかし、宇宙研の予算の大部分は国から受ける運営費交付金などが占めていますから、文部科学省や財務省などにプロジェクトや研究について説明し、その意義を認めてもらうことが必要です。プロジェクトの進捗状況を把握し、問題があれば解決のお手伝いをするのも、私たちの仕事です。科学推進部は、宇宙研の事業のプラン(計画)、ドウ(実行)、チェック(評価)、アクション(改善)のすべてに関わっています。

— 予算の交渉には秘訣があるのですか。

内木：数あるプロジェクトの中で宇宙研のプロジェクトの意義を認めてもらい予算を獲得することは、とても大変です。研究者や技術者からの情報を単に伝えるだけでは不十分で、自分が興味を持ち、ぜひこのプロジェクトを実現したいという強い思いがなければ、人を説得することはできません。そして、一般の人や政治家など、さまざまな立場の人の意見も踏まえることが必要です。日頃から視野を広くし、情報収集を心掛けています。交渉の秘訣というものはありませんが、大切なのはコミュニケーション力ですかね。

— 交渉が難航し、挫折したことはありませんか。

内木：難しい交渉はたくさんあったと思いますが、忘れちゃいました。どんな場面も、「苦しかった。けれども、こうして乗り越えた」と納得せずく終わるので、いわゆる挫折の経験はないのかもしれない。

— 子どものころや学生時代のことを聞かせてください。

内木：小中学時代は野球少年でした。読書も好きで、理屈・理想に走る傾向もありましたね。高校は遠かったので部活はできませんでしたが、その分、文化祭や体育大会などイベントでは燃えました。合唱祭をきっかけに男声合唱にはまり、大学生活を合唱に費やすことに。大学の男声合唱団では指揮者を目指すも選挙に敗れ、委員長として合宿や演奏会などのマネジメントをしていました。男ばかり80人の集団をまとめるのは大変でしたが、そこでも大切なのはコミュニケーション力でしたね。

— 男声合唱の魅力は？

内木：男声合唱は低くて狭い音域の中でハーモニーをつくるので、強い共鳴が起きます。観客側も共鳴を感じますが、歌う側にいると体も



ないき・さとる。1967年、栃木県生まれ。東北大学法学部卒業。1991年、宇宙開発事業団(NASDA)入社。種子島宇宙センター技術課、調査国際部国際課、総務部、経理課、人事部能力開発課、システムズエンジニアリング推進室などを経て、2010年より現職。

心も震えるほどです。歌いながら泣いてしまうときもあります。悲しいわけでも、うれしいわけでもなく、自然と涙があふれてくるのです。そういう経験を一度してしまうと、もう一度味わいたいと、のめり込んでいきました。

— 法学部のご出身です。なぜNASDAに就職したのですか。

内木：事務系の枠にとらわれない、人生を懸けられる目標を持った仕事をしたいと思っていました。子どものころから宇宙が好きだった私にとって、NASDAは格好の職場だと思えたのです。しかし、最初の配属の内示を見て驚きました。種子島宇宙センター技術課……。事務系の枠にとらわれない仕事がしたいと言ったが、何かの間違いだらうと。しかし、初めにロケット射場の運営や打上げに携わることができたのは幸運でした。あのときに学んだことや人脈は、今の仕事に生きています。

— その後、数年ごとにさまざまな部署に配属されています。

内木：専門性はいまひとつですが、どの部署でも貴重な経験を、多くのことを学んできました。そうした経験が、今の私を支えています。人事部能力開発課にいた4年間は新人研修を担当しました。だから、その間に採用された人は全員私を知ってくれます。皆さんいろいろな部署で活躍していますから、聞きたいことがあると彼らに声を掛けます。貴重な人脈ですね。

— JAXAにはどのような人に来てほしいですか。

内木：私が就職したころ、NASDAは文系の人にはほとんど知られていませんでした。それが今や、就職したい企業に名前が挙がるほどです。そのため、数ある企業の一つとしてJAXAを選ぶ人が増えているように感じます。やはり、宇宙に対して強い思いを持っている人に来てほしいですね。仕事への取り組み方も違ってくるでしょう。また、事務系であれば、事務の殻に閉じ込められずに技術者や研究者との橋渡しができる意欲を持った人に来ていただき、活躍してほしいですね。

— 今後やりたいことは？

内木：一度JAXAを出て、企業の経営企画部門などで働いてみたいですね。外の世界を知り、外からJAXAを見ることで、JAXAの良い面や悪い面が見え、新しい発見もあるでしょう。

ISAS ニュース No.365 2011.8 ISSN 0285-2861

発行/独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所

〒252-5210 神奈川県相模原市中央区由野台 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 相模原キャンパス特別公開、能代での宇宙イベント、宇宙と音楽の夕べ、とイベント盛りだくさんの月でした。ご来場ありがとうございました。一般の方々とのつながりを持つことの重要性を実感しました。(小川博之)

*本誌は再生紙(古紙100%)、植物油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

