



宇宙科学
世界天文年
2009



北海道・大樹航空宇宙実験場で行われた平成21年度第一次気球実験
左：放球台上に設置されたB09-03実験観測器とヘリウムガスを注入中の大気球
右：B09-01実験で放球直後の大気球

宇宙科学最前線

月からその先へ

「かぐや」が明らかにした月周辺のプラズマ環境

齋藤義文

宇宙プラズマ研究系 准教授

「かぐや」は2007年9月に種子島宇宙センターより打ち上げられた月周回衛星で、2009年6月11日に月に落下するまでの1年半余りの間、月高度約100kmで観測を行いました。「かぐや」には14の観測装置が搭載されていましたが、ここで紹介するのはその中のプラズマ観測装置 (MAP-PACE: MAgnetic field and Plasma experiment-Plasma energy Angle and Composition Experiment) による観測成果です。

月は私たちの地球に最も近い天体で、1960年代にはすでに人類がその表面に降り立っています。しかしながら、月周辺のプラズマ環境については意外なほど分かっていませんでした。ここで「プラズマ環境」と呼んでいるのは、電子やイオンのように電荷を持った粒子の分布や電場・

磁場などの状態のことです。1960年代、1970年代にはプラズマの観測装置を搭載した人工衛星が月周辺で観測を行いましたが、当時の観測装置は今ほど性能が良くなかったため、十分な観測データは得られていませんでした。その後月を訪れた衛星は月表面のイメージングを主目的としており、月周辺のプラズマ環境についての新しいデータは取得されないままでした。1998年に米国が打ち上げた月周回衛星「ルナークロスベクタ」には電子の観測装置が搭載されており、月周辺の電子の分布については多くのことが明らかになったのですが、イオンについてはデータのない状態が「かぐや」の打上げまで続いていました。

太陽からは絶えず秒速500kmもの速さで太陽

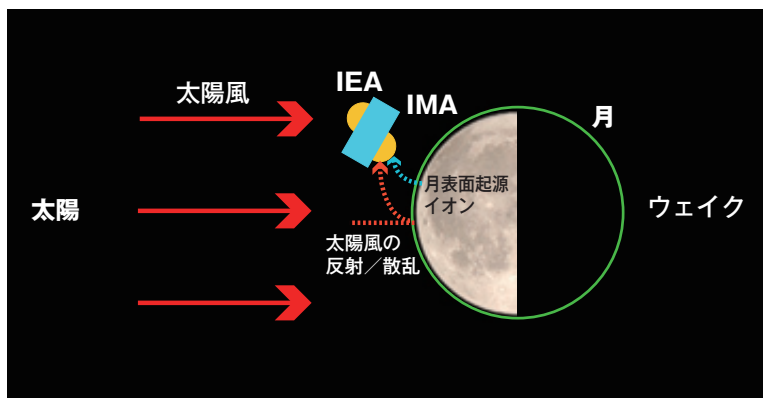


図1 プラズマ観測装置 (MAP-PACE) のイオンセンサーの観測視野
月の昼側で、イオンエネルギー分析器 (IEA) は太陽風を、イオンエネルギー質量分析器 (IMA) は月面から飛来するイオンを計測する。月面から飛来するイオンには、太陽風が月面で反射/散乱した成分や、月面起源のイオンなどが含まれる。

風と呼ばれるプラズマが流れ出しています。この太陽風の中身は電子やイオンなどの電荷を持った粒子で、密度は 1cm^3 当たり数個程度です。太陽風中のイオンは水素原子核が主な成分で、そのほかにヘリウム原子核や、酸素イオンなども含まれています。私たちの地球には固有の磁場があり、地球は大きな磁石であるといえます。電荷を持った粒子は、磁場があるとそのまわりをぐるぐると回る回転運動(ジャイロ運動と呼びます)をし、自由に運動することができません。その結果、太陽風中の電子やイオンは、地球の近くに自由に入り込むことができず、地球磁気圏と呼ばれる太陽風のプラズマと区別された領域が地球のまわりにできます。ところが、月には強い固有の磁場がなく、また地球のように濃い大気もないので、太陽風の電子やイオンは直接月の表面に衝突してしまいます。それが月周辺のプラズマ環境に大きな影響を与えていることが、「かぐや」の観測で初めて明らかになってきました。

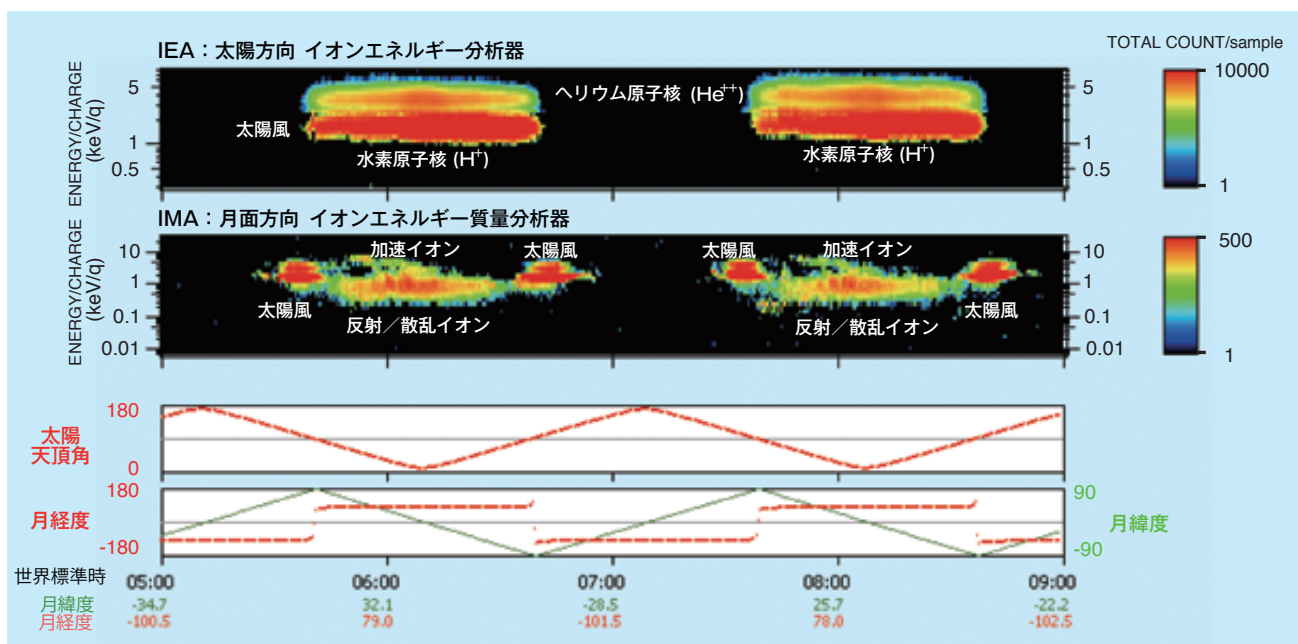
MAP-PACEは、 15keV 以下の電子のエネルギーと量を計測する2台の電子観測装置 (ESA: Electron Spectrum Analyzer)-S1, ESA-S2と、

$28\text{keV}/q$ 以下のイオンのエネルギーと量を計測するイオンエネルギー分析器 (IEA: Ion Energy Analyzer), IEAの機能に加えてイオンの質量も計測できるイオンエネルギー質量分析器 (IMA: Ion Mass Analyzer) の計4つのセンサーで構成されています。「かぐや」は、衛星の決まった一つの面を常に月面に向けた状態で月のまわりを飛行しますが、どの方向から飛来する電子、イオンでも計測できるように、ESA-S1とIMAは月面方向の半球面の観測視野を、ESA-S2とIEAは月面と反対方向の半球面の観測視野を持つように衛星に搭載してあります。IEAとIMAの観測視野を図1に示します。

図2は、MAP-PACEが観測したイオンのE-tダイアグラムと呼ばれるものです。横軸は時間、縦軸はイオンのエネルギーで、イオンの量が色で表されています。IEAのデータを見ると、約2時間ごとに強いイオン流が観測されていますが、これは「かぐや」が月のまわりを約2時間かけて1周することに対応しています。

図2のデータは、月が地球磁気圏の外の惑星間空間にあったときに観測されました。IEAで観測された強いイオンの流れは先に述べた太陽風です。図を見ると分かるように、この日、太陽風は 2keV 程度のエネルギーを持っていました。太陽風の主成分は水素原子核 (H^+) なので、その速さは秒速約 600km になります。また、図2にはMAP-PACEが初めて発見した、太陽風が月面で反射/散乱されたイオンが見られます。IEAが太陽風を観測しているとき、IMAのデータには太陽風よりは弱いですがイオンが観測されています。このイオンのエネルギーを見てみると、IEAで観測された太陽風のエネルギーよりも低いことが

図2 月を2回周回する間にイオンエネルギー分析器 (IEA) とイオンエネルギー質量分析器 (IMA) が観測したイオンのデータ
太陽風イオンの水素原子核 (H^+)、ヘリウム原子核 (He^{++}) が月の昼側で観測されている。一方、月からは、月面で反射/散乱された太陽風が観測されるほか、加速されたイオンも観測されている。



分かります。IMAは月面側の半球面の視野を持っているので、これらのイオンは月から飛んで来たものであることは明らかです。これと同じようなデータがほかの日にも観測されていますが、常に太陽風より少し低いエネルギーで観測されていることなどから、このイオンは太陽風が月面に衝突して反射／散乱されたものであると結論することができます。

これまで、月に衝突した太陽風イオンは月面に吸収されると考えられてきたので、観測できるほどの量のイオンが月面から戻ってくるということには非常に驚きました。どのくらいの量のイオンが月面で反射／散乱されるのかを調べたところ、入射する太陽風の約0.1～1%程度であることが分かりました。また、IMAは質量分析器なので、観測されたイオン種の情報も得ることができます。それによると、IMAの観測したイオンは水素原子核 (H^+) であることが分かりました。太陽風の中には、水素原子核の次に多いイオンとしてヘリウム原子核 (He^{++}) が含まれています。この日の太陽風中にもヘリウム原子核が含まれていましたが、月から飛来したイオンにはヘリウム原子核はまったく観測されていません。なぜもともと太陽風の中に含まれていたヘリウム原子核が月面で反射／散乱されたイオンに含まれていないか、まだはっきりと説明できませんが、イオンと物質が衝突する際のイオン化率の差がその原因であると推測しています。

月面で反射／散乱された太陽風は、月面の表面状態などの情報を持っていると考えられます。そのため、反射／散乱されたイオンと月面の反射／散乱地点との対応をつけることで、太陽風を用いた月面の遠隔探査ができるのではないかと期待しています。また、月面で反射／散乱されたイオンは、太陽風中の電場で太陽風速度の最大3倍まで加速されることが分かりました。これらの加速されたイオンのほとんどは月から逃げ出してしまうますが、驚いたことに加速されたイオンの一部は月の夜側に入り込み、夜側の月面にも到達できることが分かりました。このように、太陽風の電子やイオンは直接月の表面に衝突し、そのことが月周辺のプラズマ環境を大きく左右していることが、「かぐや」の観測で初めて明らかになりました。

先に、月には濃い大気が存在しないと述べました。しかしながら、月の周囲には非常に希薄ながらナトリウム、カリウムなどのアルカリ物質を成分として含む大気が存在していることが知られています。これは地上からの光学観測によって1980年代に発見されました。MAP-PACEの

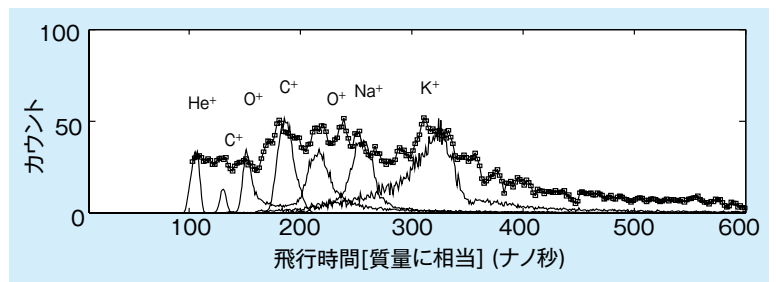


図3 月表面あるいは月周辺大気起源イオンの質量プロファイル。ナトリウム、カリウムなどのアルカリイオンに加えて、ヘリウムイオン、炭素イオン、酸素イオンなどが見つかった。

もう一つの大きな成果として、月表面あるいは月周辺の希薄な大気を起源とするイオンの質量分析を、月周回軌道で初めて行ったことが挙げられます。図3はこれらのイオンの質量分布ですが、ナトリウムやカリウムなどのアルカリイオンが検出されたほか、酸素イオン、炭素イオン、ヘリウムイオンなども存在することが初めて分かりました。月表面を起源とするイオンの中には、太陽風が月面に衝突することで月面物質をたたき出した成分が含まれている可能性もあります。これらのイオン種とそれらが生成された場所の関係を調べれば、月表面物質の遠隔探査ができるかもしれません。

これまでに紹介した結果は、月だけでなく、強い固有磁場や濃い大気のない天体周辺の環境に共通したものであることが推測できます。特に太陽風の月面反射／散乱や、太陽風による月面物質の放出の研究成果を応用すれば、将来、初めて訪れる天体のまわりで、太陽風を利用した天体表面の遠隔探査を行うことができるようになる可能性もあります。

私たちは近い将来、太陽系の中で最も太陽に近い惑星、水星にBepiColombo/MMO（水星磁気圏探査機）を送り込もうとしています。水星には地球と同様、固有磁場があり、磁気圏が惑星周辺に存在することが知られています。しかしながら地球に比べて磁場が弱いことから、太陽風の状態次第では、直接太陽風が水星表面に衝突する可能性のあることが分かっています。また水星には地球とは違って濃い大気がないため、表面の環境が月と似ていると考えられています。「かぐや」の観測によって得られた月周辺のプラズマ環境に関する知識は、将来の水星磁気圏探査において、水星周辺のプラズマ環境を理解するために大いに役立つと考えています。

「かぐや」のデータを実際に目にするまでは、月周辺のプラズマ環境がこれほど活動的で面白いものだとは思ってもみませんでした。月からその先へ——「かぐや」による月周辺プラズマの観測を第一歩に、私たちのプラズマ環境に関する研究は将来へと続きます。

(さいとう・よしふみ)

PLANET-C 総合試験がスタート

金星探査機PLANET-Cのフライトモデル総合試験が6月から相模原キャンパスで始まりました。このミッションでは、雲に覆われた厚い大気の3次元運動を、金星周回軌道からの多波長のリモートセンシングによって可視化して、高速大気循環「超回転」などの金星気象の特徴がどうやってつくられるのかを調べます。地球とほとんど同じ大きさを持ち、地球の姉妹惑星とも呼ばれる金星の姿から、地球型惑星の気候が形づくられる仕組みのヒントが得られると期待しています。

1998年に検討開始、2001年にミッション提案、2004年にJAXAプロジェクトに昇格、2008年に一次噛合せ試験と進んできたPLANET-C計画は、来年の夏の打上げに向けていよいよ最終段階に入りました。今、相模原キャンパスには、完成した衛星構体と搭載機器が続々と運び込まれています。もは



衛星構体が相模原キャンパス棟に運び込まれる。次に衛星がここを出ていくのは来年、種子島に向かうときである。
(写真撮影：大月祥子)

や立ち止まる余裕はない、という緊張感が現場には漂っています。準備が遅れ気味の搭載機器も一部ありますが、衛星全体のスケジュールに影響を与えないように急ピッチで作業が進められています。

総合試験では、衛星を組み立てた上で多岐にわたる試験を行います。機器の外観検査、機器間の電氣的・機械的インター

フェースの確認、重心・慣性能率測定、運用シミュレーション、打上げ時の振動衝撃への耐性の確認、真空中のさまざまな温度環境下での動作確認、太陽電池パドルを展開するワイヤカッターの点火試験、姿勢センサやスラストのアライメント測定、蓄電池の容量確認、ロケットからの分離機構の確認などが、主なものです。これらが終了すると衛星は種子島に運ばれ、H-II Aロケットのフェアリングに収められます。(今村 剛)

SPICA サイエンスワークショップ2009

2009年6月1～2日、東京大学本郷キャンパス小柴ホールにて、「SPICAサイエンスワークショップ2009」が開催されました。

SPICAは、現在、プリプロジェクトフェーズにある次期赤外線天文衛星計画です。口径3.5mという大望遠鏡を地球から反太陽方向に150万kmも離れたラグランジュ点(L2)に設置し、さらに望遠鏡全体を極低温(絶対温度5K)に冷却することで、赤外線観測(波長5～200マイクロメートル)にて圧倒的な高感度を得る、極めて野心的な計画で、日本と欧州の国際共同で検討が進められています。

SPICAの狙う科学的対象は主として三つ、「銀河の誕生と進化過程」「銀河星間空間における物質輪廻」そして「惑星系の形成」です。今回のワークショップは、「あかり」による最新の成果も参考にしつつ、キーとなるサイエンスを洗い出すことにより、衛星、望遠鏡、そして観測装置の仕様を、限られたリソースの中で最大限のサイエンス成果を達成できるものとするを目的に、開催されました。

ワークショップには全国からお

よそ100人の研究者が集結し、2日間にわたって大変活発な議論が行われました。初日の午前中に、SPICAタスクフォース長である東北大学の市川隆先生からの趣旨説明があり、続いてプリプロジェクトメンバーからSPICAミッションの概要と観測装置の検討状況の説明がありました。午後には、「星間物質輪廻」と「銀河進化」についての検討が行われました。2日目の午前中には「惑星系形成」に関する検討が行われ、その午後には議論のまとめと今後の計画の進め方が討論されました。各講演は、WEB集録にまとめられています(<http://www.ir.isas.jaxa.jp/SPICA/WS/200906/proc/>)。

今回のワークショップでは、SPICAタスクフォース、SPICAプロジェクトチーム、国内外の光学赤外線天文学関係者の皆さま、そして、東京大学関係者、宇宙科学研究本部の皆さまのご尽力を頂きました。この場を借りてお礼申し上げます。

(世話人一同：和田武彦 [ISAS/JAXA]、左近 樹 [東大天文]、大藪進喜 [ISAS/JAXA])



ワークショップの様子。活発な議論が展開された。

平成21年度第一次気球実験

平成21年度第一次気球実験が、5月18日から6月19日まで北海道大樹町の連携協力拠点大樹航空宇宙実験場において実施されました。昨年度、同実験場における大気球実験の運用を確立した成果を踏まえ、理学観測2実験と工学実証1実験を計画しました。

小型気球により高層風の観測を行った後、5月27日に無重力実験システムの動作試験(B09-01実験)を実施しました。午前6時04分に放球された気球は高度40.0kmまで上昇し、8時55分に無重力実験システムを切り離しました。落下中、無重力実験部を機体壁に衝突しないように浮かせるドラッグフリー制御が正常に行われ、約35秒間の無重力環境が実現されました。十勝沖合30kmに緩降下した実験システムは、北海道では初めてのヘリコプターつり下げにより回収されました。

引き続き6月3日に、気球搭載望遠鏡による金星大気観測(B09-03実験)を実施しました。午前4時09分に放球された気球は、実験場東方約120kmの太平洋上で高度32.6kmに達し、その後約3時間西方に水平飛翔しました。実験後切り離された観測器は、十勝沖合25kmで回収船により回収されました。今回の実験では金星大気の観測に

は至らなかったものの、成層圏に浮遊する望遠鏡の基本設計の妥当性が確かめられたので、今後、極域気球飛翔での長時間惑星観測の実現を目指していきます。

その後、ジェット気流が実験に適さない状況が続きましたが、6月18日に硬X線領域でのかに星雲の偏光観測(B09-02実験)を実施しました。午前3時58分に放球された気球は、実験場東方約250kmの太平洋上で高度38.5kmに達し、その後3時間弱、西北西に水平飛翔しました。白糖町沖合15kmにおいて切り離された観測器は、着水後回収船により回収されました。十分な観測データによる偏光度と偏光方向の測定には至らなかったものの、検出器が成層圏上空で正常に動作することが確認できました。

このように、いよいよ大樹航空宇宙実験場での大気球による宇宙科学実験が始まりました。ご協力いただいた皆さま方にお礼申し上げます。優れた科学成果を目指し、これから多くの大気球実験を実施していきたいと考えています。(吉田哲也)



B09-01実験での放球直前の大気球

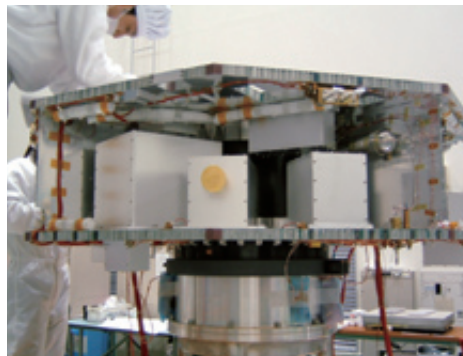
BepiColombo/MMO構造モデル試験

BepiColombo(ベピコロombo)は、2014年の打上げを目指している、日欧共同の水星探査ミッションです。BepiColomboは2つの探査機から構成され、JAXAが水星磁気圏探査機(MMO)を、欧州宇宙機関(ESA)が水星表面探査機(MPO)を担当します。現在JAXAでは、打上げ時の衝撃や振動、音響に対する強度を確認するために、MMOの構造モデルをつくって試験をしています。このように、構造モデルは機械的な性能を調べるためのものですが、実物サイズのMMOを目にする初めての機会ともなりました。

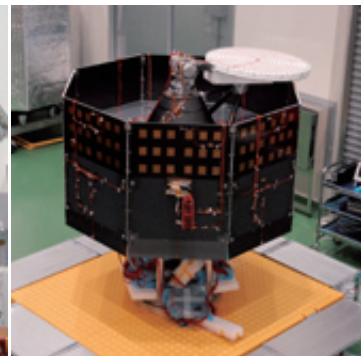
左の写真は、MMOの構造モデルを製作している途中のものです。衛星の本体部分はとても平べったく、デッキと呼ばれる2枚の八角形の板の間に搭載機器がぎっしりと詰まっていることが分かります。このような平べったい構造は、太陽に近く高温の環境にさらされる衛星から、効率よく熱を放出するよう

に設計した結果です。右の写真は、サイドパネルと高利得アンテナ(白い円盤)を取り付けて完成した構造モデルです。構造モデルの試験は、まず筑波宇宙センターでの音響試験に始まり、相模原キャンパスの飛翔体環境試験棟における振動試験へと続いています。この『ISASニュース』が発行されるころには、衝撃試験が済み、MMO構造モデル単体の一連の試験が終了している予定です。

(松岡彩子)



MMO構造モデル製作中



完成したMMO構造モデル

「かぐや」が月に還った日

月周回衛星「かぐや」は、2009年2月1日に高度をそれまでの100kmから50kmに降ろし、詳細観測を行いました。その後、4月16日に最も月に近い高度を10～30kmにまで降ろし、磁気異常・プラズマ環境など「かぐや」でのみ取得できるデータを中心に観測を行ってきました。そして、6月10日の夜から始まった「かぐや」のfinal



制御落下時の「かぐや」運用管制室の様子

operationには、クリティカルフェーズ以来となる、JAXA、観測機器チーム、企業が万全の体制を組んで取り組みました。6月11日の2時36分からエンジン（スラスタ）による減速で軌道を変更し、3時25分に月の表側の南南東のGILLクレータ付近（南緯65.5度、東経80.4度）に制御落下させました。決まった場所に制御落下させるためには、衛星がどこを飛んでいるかという軌道決定と、所定の場所に衛星を持っていくための制御ができることが必要でした。制御落下を「かぐや」で成功裏に実現できたことにより、JAXAでは将来の月着陸ミッションに向けた技術習得ができました。

2007年9月14日の打上げから約1年9ヶ月の「かぐや」の衛星運用を完了しましたが、「かぐや」の主目的である月の起源と進化に関する科学研究はこれからが本番です。「かぐや」が残してくれた世界最先端の観測データは、科学研究のみならず将来の月利用に向けても貴重な情報を提供してくれます。そして、ハイビジョンカメラの映像

は、まさに百聞は一見にしかずで、月をより身近なものにしてくれたと思います。「かぐや」のメンバーは、無事「かぐや」を月に還したことにより、41万人の皆さまのメッセージを月に届けられたという安堵感、喜びと同時に、これからは「かぐや」と対話する機会をなくしてしまったという喪失感の混じった、複雑な心境だと思います。そんな気持ちが、写真の「かぐや」落下確認のときの拍手には込められているような気がします。

「かぐや」のデータは11月くらいよいよインターネットで一般公開されます。「かぐや」のデータをぜひ楽しみにしててください。また、7月18日から8月23日まで、「秋葉原グリーンフェスティバル2009」との共催で、「月を知り、地球を知るイベント。『かぐや』と今後の月探査」を実施します。特に7月18、19日は、「かぐや」の成果に関する講演や展示をJAXA主催で開催します。詳細は<http://www.sayonara-kaguya.jp/>をご覧ください。

最後になりましたが、これまでの「かぐや」に対する皆さまの温かい励ましと適切なご指摘・ご助言が、我々の支えとなってきました。今後も、「かぐや」に限らず、JAXAの月探査へのご支援を賜りますようお願い致します。そして、最後に一言いわせてください。『「かぐや」ありがとう。そしてお疲れさま。いつか会いに行くね』と。

(祖父江真一)

一般公開のお知らせ 今年も2日間開催します！

日時：2009年7月24日(金)・25日(土) 10:00～16:30
会場：宇宙航空研究開発機構 相模原キャンパス

詳しくは、<http://www.isas.jaxa.jp/j/topics/event/index.shtml> をご覧ください。

ロケット・衛星関係の作業スケジュール(7月・8月)

	7月	8月
S-520-25号機	噴合せ試験(相模原)	フライトオペレーション(内之浦)
国際宇宙ステーション	MAXI射場作業(アメリカ・ケネディ宇宙センター) ▲スペースシャトルSTS-127打上げ	
PLANET-C		総合試験(相模原)
IKAROS		総合試験(相模原・筑波)
大気球		平成21年度第二次気球実験(大樹町)

第10回

きぼうの科学

「きぼう」完成！ 船外実験プラットフォーム 利用，開始！！

ISS科学プロジェクト室 主任研究員
高柳昌弘

国際宇宙ステーション (ISS) の日本実験棟「きぼう」の船内実験室などが、昨年、2度にわたって打ち上げられましたが、3度目にして最後の組み立てフライトが、本稿執筆時点で2009年7月11日に予定されています。このフライトで、船外実験プラットフォームおよび船外パレットが結合され、「きぼう」はいよいよ完成となります。

7月に打ち上げられる船外実験プラットフォームは、イラストにあるように、「きぼう」のポートサイド (ISS進行方向に向かって左側) に庭のように広がった施設で、宇宙空間に直接曝された環境を提供する施設です。1.85m×0.8m×1.0m、重量500kgを最大値とする標準ペイロードを10個搭載する能力を持っており、天体・地球観測、技術開発など、ISSの“屋外”で実施する種々のミッションが計画されています。

船外実験プラットフォームは搭載ペイロードに対し、結合点を通して、電力、通信および熱制御用流体の3つのサービスを行います。電力は最大3kW、通信は、MIL-1553Bによるバスライン (低速系)、

イーサネット (中速系) および光通信 (高速系) の3種が用意されています。流体循環による能動的熱制御は、ISS上のほかの船外実験施設にはない最も特徴的なもので、これにより、前述のサイズ・重量のペイロードとしては圧倒的に大きな電力消費・排熱が可能となっています。

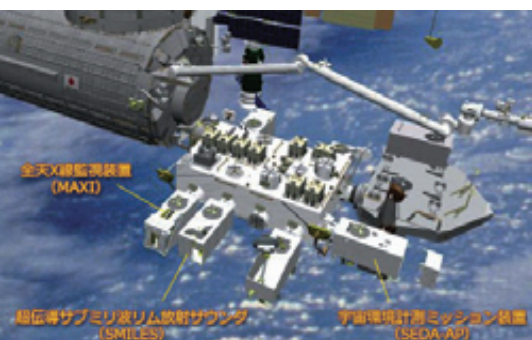
一方で、ISSは多目的の超大型施設であるため、制約となる事項もあります。船外実験プラットフォームは、ISSの外部施設として観測ミッションへの適応が期待されますが、専用の衛星とは異なり、特に軌道・姿勢・視野などには配慮を要します。船外実験プラットフォームからの観測視野は、ISSの要素自体によりかなり遮られます。特に太陽を指向して周回ごとにトラスを軸に回転する太陽電池アレイは、大きな遮蔽物であり、取り付け点・視線方向ごとに視野解析を行い、取り付け位置の最適化を図る必要があります。

ISSの軌道傾斜角は51.6度であり、極域の地球観測は不可能です。例えば、地球大気観測ミッションであるSMILES (超伝導サブミリ波リム放射サウンダ) では、視野を進行方向左側に傾けることにより、南半球側をあきらめ北半球側の高緯度の観測範囲を稼ぐ、という工夫をしています。また、ISSの軌道・姿勢の制御は、微小重力環境への擾乱を招くため、常時、精度よく行われるという運用はされません。そのため、姿勢・軌道変動は単独の観測衛星よりかなり悪いものとなっています。例えば、軌道高度は350~450kmの範囲で変動し、標準的な姿勢からのずれは、各軸±15~20度です。そのほか、変動レート、配信姿勢情報の精度なども含めてミッションを計画する必要があります。実際、天体・地球観測ミッションであるMAXI (全天X線監視装置) とSMILESでは、自前の姿勢決定装置を搭載しています。

ISS周辺は、構造物からのアウトガス、船内からのベント・リーク、ISS自身や往還機のスラスタからのブルームなど、数々の汚染源があります。特に、光学部品、冷却デバイスなど汚染が致命的なダメージにつながる構成品を含むミッションは、何らかの付加的対策を設けることも考慮する必要があります。

JAXAでは、上述のようなISSの制約を回避しつつ、船外実験プラットフォームの特徴を最大限に活かした数々の利用計画を進めています。日本の第1期利用の3ミッション、すなわち船外実験プラットフォームと同時に7月に打ち上げられるMAXI、SEDA-AP (宇宙環境計測ミッション装置) および9月打上げ予定のSMILESについては、来月号以降、本連載で、順次詳しく紹介されます。乞うご期待！また、それらに引き続き第2期利用として、超高層大気や高エネルギー宇宙線の観測、展開構造やロボティクスの技術実証の計画を進めています。

(たかやなぎ・まさひろ)



船外実験プラットフォームと日本の最初の3ミッション

スペースシャトルへの搭載作業中の船外実験プラットフォーム (右上) と船外パレット (手前)。船外パレットには、MAXI (右)、SEDA-AP (中央) が搭載されている。(写真提供: NASA)



紙袋から水星へ

私の方眼紙に水星探査機搭載用大気光カメラ MSASIの設計図面を引き始めたときからもうすぐ7年がたとうとしています。当時大学院生だった私は、やる気だけはあったものの、知識も経験もまったくない素人でした。出来上がった図面は今の自分が見たら笑ってしまうような程度のものでしたが、検討に検討を重ねた結果、日欧共同の水星探査ミッション BepiColombo/MMO（水星磁気圏探査機）に搭載されることになり、ロシア、イギリスと共同で開発を行うことになりました。現在は、さらにポルトガルが加わり、各国で設計会議・性能試験を行ってきています。

ロシアはカメラの視野を移動させるためのモータの開発を担当しています。ロシアとの共同作業においては驚かされることが多々ありました。ロシアのエンジニアが性能試験のために初めて試作機を携えて来日した際には、雨の中、機器を紙袋に入れて移動しているし、次のときにはスーパーのレジ袋でした。なぜこんな袋で運ぶのかと聞いてみたところ、「これくらいで壊れるようなら、水星に行く前に壊れるよ。これは大丈夫」という返事が返ってきました。その後、試作機が改良された際に入れ物が錠付きのジュラルミンケースに変わったのは予定通りだったのか、私が口うるさく言ったからなのかは分かりません。その後も、錠がケースの中にあるにもかかわらず移動中に勝手に施錠されてしまった、という

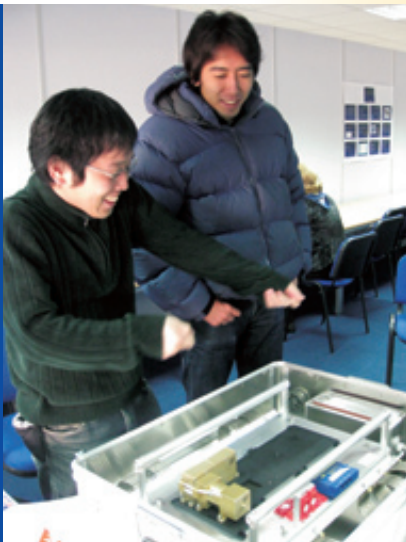
ハプニングもありました。幸いにも(?)錠がかなり簡素なものだったので針金を使って開けることができ、性能試験も無事終了しました。

モータ部製造メーカーはモスクワから南に350kmほどのオリョール州にあり、昨年3月に性能試験のため訪問しました。モスクワから電車で約6時間。3等客室の座席は日本の駅にあるベンチ以下で、なかなか大変でしたが、そんな中でも設計について議論しながら目的地向かいました。このときまで私が話をしたことのあるロシアチームのメンバーはみんな私よりずっと年上でし

たが、製造メーカーのメンバーはほぼ全員20代で、大学に通いながら仕事をしている方もいました。これで大丈夫なのか少し不安にもなりましたが、試作機の性能試験結果は良好です。ロシアの宇宙開発の黎明期を支えたエンジニアたちが、若手の育成をしながら、着実に開発を進めているという状況がうかがえました。

MSASIは、惑星探査機搭載機器としては初めてファブリペロー干渉計を用いて分光観測を行います。干渉計の製作は、地球周回衛星にファブリペロー干渉計を搭載した実績を持つイギリスのホブメア社が担当しています。ホブメア社が特殊なのか、イギリスによくある企業体質なのかどうかは分かりませんが、社員の方々の勤務形態は私の目には特殊に映りました。訪問中、私は毎日9時前にオフィスに到着していたのですが、その後しばらくと社員の方々が出社し始め、夕方5時にはきっちり全員帰宅します。また私が滞在している間、予備日として設定していた土曜日にも打ち合わせを行ったのですが、チームリーダーである社長以外は一人も参加しませんでした。これはロシア、ポルトガルでも同様でした。日本では作業時間が長引くことや土曜に作業を行うことも多く、その点は日本と欧州で大きく異なるようです。しかし、挙げられる成果にはあまり大差がない状況であり、これは我々が働き過ぎというよりも、相対的にのんびりゆっくり仕事をしているということなのかもしれません。欧州との文化・習慣の違いは興味深いところですが、言語だけでなくさまざまな点で異なる人々と、観測器の完成という共通目標を持ち開発を行うことは、やりがいのある仕事です。7月には試作機が完成する予定であり、非常に楽しみにしています。

最後に一つ提案をさせていただきます。MSASIは設計開始当初MICという名前でしたが、途中で変更しました。Mercury（水星）Sodium（ナトリウム）Atmosphere（大気）Spectral Imager（分光撮像器）の頭文字を取ったもので、「むさし」と発音します。「日本で最も有名なサムライの名前だ」と紹介すると、なかなか受けがよいです（サムライではなく剣豪と呼ぶべきかもしれませんが）。今のところ日本の衛星に搭載される機器の名前は、観測目的・機能の頭文字を取って命名されていますが、日本文化にちなんだ名前にするのはいかがでしょうか。これから機器設計を行う方々、ご検討ください。（かめだ・しんご）



日本が用意したコンテナに、ポルトガル製の基板（黒色）、ロシア製可動鏡（金色）が、2009年1月にイギリスで取り付けられた。左は当時東京大学の大学院生だった江沢君、右が筆者。この部屋は暖房がなく寒かったです……。

亀田真吾

BepiColomboプロジェクト 研究員



縄文杉と宇宙開発

樋口清司

4月の下旬、39年ぶりに屋久島を訪ね、花之江河から宮之浦岳に登り、山小屋に1泊後、縄文杉やウイルソン株を経由する大株歩道を下った。縄文杉には木道と観察用の舞台がつくられ、その根元まわりに立ち入ることはできなくなっていた。樹齢7000年ともいわれている屋久島世界自然遺産を代表する杉である。この杉を目指して年間10万人ほどが訪ねてくる。私たちが縄文杉を訪れたときは早朝で2人だけの静かな原生林の荘厳な雰囲気であったが、1時間ほど下ったウイルソン株では休憩のためにザックを下ろす場もないほどの観光客に出会って面喰らった。その場で会ったガイドによると、4月上旬は観光の端境期ですいている方だという。往復9～10時間の大変な山道をガイドに連れられて、老若男女がふうふう言いながら、まさに必死で、一目縄文杉を見ようと登ってくる。手軽な観光とは訳が違う。9時間のルートといったら山慣れた者でも躊躇する。ガイドと彼らの会話が断片的に聞こえてくる。最初の動機は物見遊山だったかもしれないが、旅行社やガイドからの事前の説明や警告を聞き、気軽にはなく、それなりの準備をし、各自体力や体調を考慮し、何とか縄文杉を見たいと自己責任の覚悟でやって来たようだ。

私は数十年にわたって山登りを趣味としてきたが、「風景の良い楽しい山登りのコースがあります。9時間かかるコースですが行きませんか」と言っ、参加してくれる人はまずいないと思う。それが縄文杉となると違うようだ。何が彼らを動かしているのか。数千年の時を経て深い原生林の中に生き続ける縄文杉に、何か魂を揺さぶられるものがあるからだろう。あるいは永遠なもの、悠久のとき、生命の不思議、そしてこの宇宙の神秘といったものへの憧憬があるからだろう。単なる遊興の観光と違うものを彼らの中に感じた。そして、それは僕らが宇宙開発の世界に入った動機と同じではないかと思った。縄文杉を目指す方々の心の中に、宇宙にあこがれ、夢を

見る我々と同じ思いがあるのだ。そして、こんなにくさんの方々がおられるのだと、ふと思ひ、大変うれしくなった。

今、世界の宇宙開発は、研究開発活動に使われる予算より、宇宙を利用する活動(GPS、気象、通信・放送などの社会インフラ整備や商業活動)に使われる予算の方が多い。日本も宇宙を安全で豊かな社会のためにもっと役立つ必要があると考えている。このことは、宇宙開発に携わってきた者として大変喜ばしい。私たちの取り組んできた活動の成果が、社会や日常生活になくはならないものになってきているのだから。むしろ



39年前、縄文杉に触れて見上げる(1970年9月16日)。



39年ぶりの縄文杉。観覧台から(2009年4月13日)。

日本は宇宙を利用することについて遅れている。したがって、役に立つ宇宙開発が重要視されるのは当然のことである。

それに異論はないが、宇宙開発の本質はやはり宇宙へのあこがれや夢に根差したフロンティアへの挑戦ではないか。この人類が人類たる所以の行為としての宇宙開発の意義を、今こそ再確認する必要があるのではないか。これを忘れたあるいは軽視した宇宙開発は、いびつなものになりはしないか。直接的には宇宙を利用する新たな知識と技術の枯渇を、そして人類の夢と活力の喪失を招かないか。社会に役立つ宇宙開発に覆い尽くされ、未知、未踏へのチャレンジからわいてくる感動や高揚感が宇宙を目指す者の中から打ち消されてしまうことはないのか。

宇宙にあこがれることと縄文杉を目指して急坂を登ってくる多くの皆さんの思いは、どこか通じるものがあるように思う。縄文杉を目指す方々は、宇宙開発の本質的な部分をきっと理解してくれるのではないか。そして、そのような方がこんなにくさんおられるのだ。そんなことを考え考え、下山した。

「宇宙、夢があっていいですねえ」という問い掛けに(この問いには宇宙は浮世離れた社会に直接役立つものとの揶揄を感じるのは自虐的でしょうか)、今では「いや、宇宙はこんなに役に立っていますよ」と答えることもできるが、むしろ堂々と胸を張って、「これこそ人類の最も高邁な行動の一つです」と答えるものである。

いつの日か、月や火星あるいは小惑星の中に、太陽系46億年を体現する何かを人類が発見し、縄文杉を目指す人々と同じような気持ちで、みんながそれを一目見ようと宇宙旅行をする日が来るのだろうか。その夜は、安房の宿にて、奥山の峰々、屋久杉の原生林そして縄文杉を目指す人々に思いを巡らし、トビウオと首折れサバの刺身を肴に屋久島の焼酎「三岳」を楽しんだ。

(ひぐち・きよし、JAXA OB 2009年3月退職)

系外惑星から地球の生い立ちを知りたい

宇宙科学技術センター ミッション機器系グループ 副グループ長

上野宗孝

—— 搭載機器の管理などミッション系の総括をされている金星探査機 PLANET-C の打上げまで1年となりました。PLANET-C は「金星気象衛星」とも呼ばれていますね。

上野：「気象」という名前が付いた惑星探査機は世界で初めてではないでしょうか。金星では、大気が自転速度の60倍もの猛スピードで運動しています。その現象は「超回転」と呼ばれ、なぜ起きるのか分かっていません。PLANET-C では波長が異なる4台のカメラを使い、気象学的手法を用いて、金星の大気を下から上まで詳しく観測します。地球の気象衛星より進んだことをやろうとしているのです。

金星は、地球の隣の惑星です。46億年前に誕生したとき、2つの惑星はよく似ていたと考えられています。しかし、現在の金星は温暖化が極端に進み、400℃を超える灼熱の惑星です。金星が現在の姿になることに超回転はどう関係しているのか、何が地球と金星の運命を分けたのか、それを知ることが目指しています。

—— 特に注目している観測は？

上野：本来の目的とは違う“おまけ”ですが、地球を出発して金星に到着する間、黄道光を観測します。黄道光とは、太陽系の中に漂っているちり、惑星間塵が太陽光を散乱させているものです。ちりは太陽を中心に円盤のように広がっていると考えられていますが、詳しい分布は分かっていません。黄道光の観測は、地上と地球を周回する衛星からのものに限られていたからです。初めて地球から離れた場所から観測することで、ちりの分布や起源が分かると期待しています。PLANET-C で行う最初の科学ミッションが、この黄道光の観測です。

黄道光を知ることが、系外惑星の発見につながります。系外惑星を直接見て探す場合、最初に観測されるのは惑星ではなく、明るい黄道光でしょう。太陽系におけるちりの分布や供給源が理解できていれば、系外の黄道光を見つけたとき、惑星の位置や大きさを予測できるようになります。

—— 小型科学衛星 SPRINT-A のミッションマネージャーも務めています。

上野：SPRINT-A は惑星望遠鏡で、地球周回軌道から火星、金星、木星を観測します。太陽風によって大気がどのようにはぎ取られ、それぞれの惑星が現在の姿になったのかを明らかにするこ



うえの・むねたか。1962年、大阪府生まれ。理学博士。京都大学大学院理学研究科博士課程修了。東京大学大学院総合文化研究科助手・助教を経て、2009年より現職。赤外線天文衛星「あかり」では太陽系天体と星形成関係の観測計画取りまとめ、金星探査機 PLANET-C ではミッション系の総括、小型科学衛星1号機 SPRINT-A/EXCEED ではミッションマネージャーを務める。

とを目指しています。惑星の近くまで行く探査機のように詳しい観測はできません。しかし、遠くから観測することで、太陽風が当たる側と、はぎ取られた大気が宇宙空間に流出

- していく側を同時に見ることができます。打上げ予定は2012年。
- PLANET-C との連携も計画しています

—— 専門は赤外線天文学ですね。

上野：はい。私が開発していた赤外線の検出器を搭載したいと声が掛かり、PLANET-C 計画に参加したのですが、気が付いたら中心メンバーの一人になっていました。SPRINT-A に至っては、赤外線「せ」の字も出てきません。惑星科学と天文学は分かれていましたが、1995年に系外惑星が見つかって以降、急速に融合が進んでいます。新しい分野に入ることは面白いですし、何でもやるというのは宇宙研らしいでしょう。

実は、大学では素粒子物理学を学びました。宇宙の根源を知りたいと思ったのです。でもそれが自分に合っているのか悩みと、卒業後は企業に就職しました。研究から離れてみて、自分がやりたいのは宇宙だと気付いたのです。

—— 宇宙に興味を持ち始めたのはいつごろですか？

上野：子どものころから自然が好きで、特に宇宙に興味がありました。天体望遠鏡をのぞくのではなく、宇宙の始まりについての本を読んだり、考えたりするのが好きでした。ぼんやりと、科学者になりたいと思っていましたね。小学生のころは、「どうして？なぜ？」と先生を質問攻めにして困らせていたようです。

—— PLANET-C や SPRINT-A の先は？

上野：主星のすぐ近くを回る木星サイズの系外惑星、「ホットジュピター」がたくさん見つかっています。きっと、その惑星の大気は激しくはぎ取られているでしょう。その様子を観測してみたいですね。次期赤外線天文衛星 SPICA でも、近距離に系外惑星があれば観測できる可能性があります。私は、この地球がどうして現在の姿になったのかを知りたいのです。金星や火星、系外惑星を観測することで、その答えが見えてくると信じています

ISAS ニュース No.340 2009.7 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

6月は「かぐや」が月に落下し約2年間の観測を終えた一方、飛翔体環境試験棟では来年打ち上げられる PLANET-C と IKAROS、2014年打上げ予定のBepiColombo/MMOの試験が行われていました。衛星の世代交代も進みます。(松岡彩子)

*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