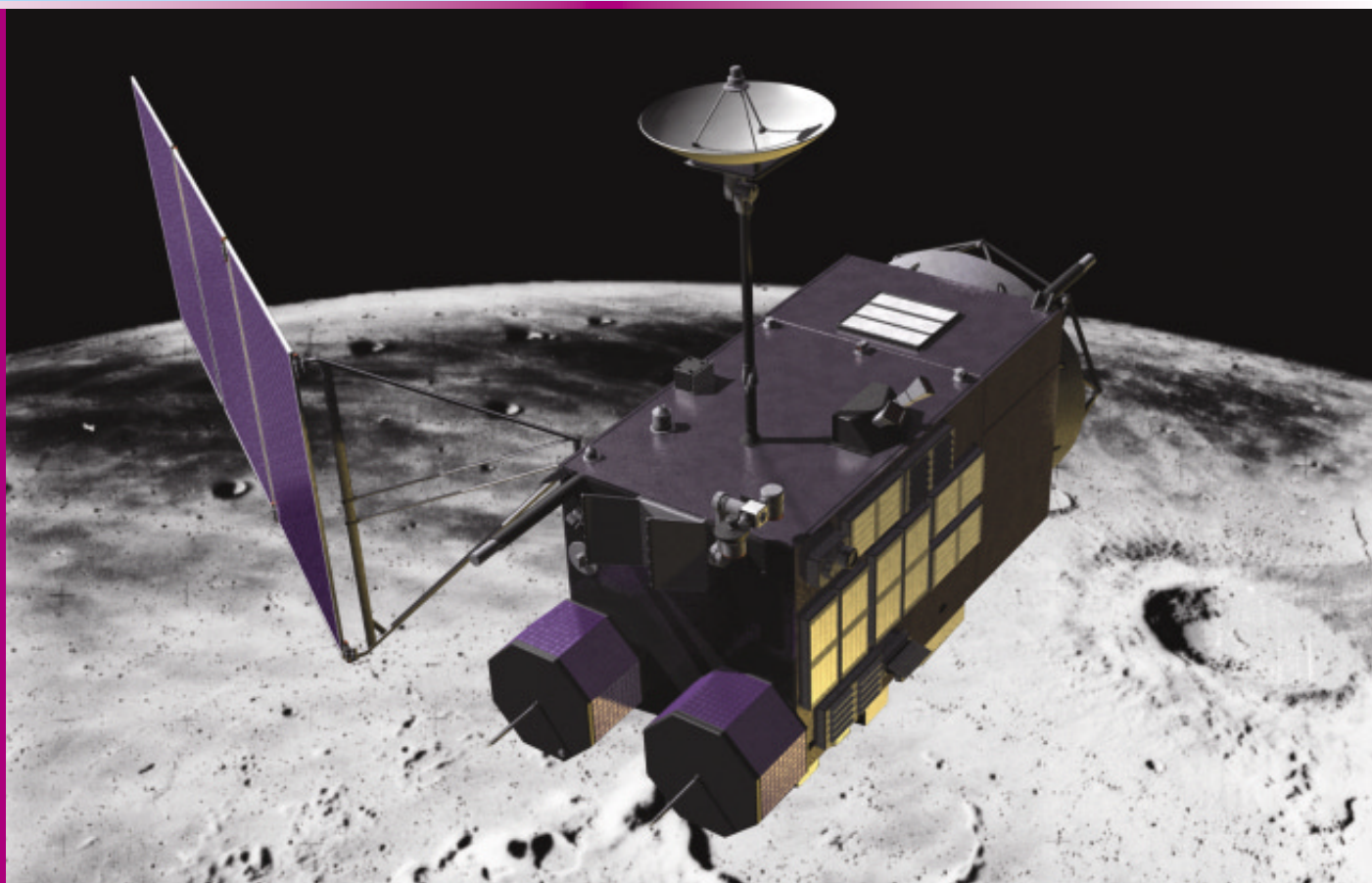




SELENE飛行図 ©筑波大学, JAXA
月面写真はNASA提供

宇宙科学最前線

再び月を目指しませんか？

春山純一

固体惑星科学研究系助手

はじめに

自分が小さいころ、21世紀になったら、人は望めば、誰もがいつでも月へ行くことができる時代になっていると思っていた。月には恒久的な基地が作られ、月から宇宙の大海原を見つ、人々はより深遠な宇宙の謎にチャレンジしていこうとしている、そんな時代になっていると思っていた。しかし、2004年の今、惑星はおろか、月にさえ人は再び訪れることができないでいる。

こんな状況ではあるが、日本は着実に、再び月を目指している。それは、LUNAR-A (ISASニュース2002年8月号、田中氏の^{ルナーク}記事参照)であり、そして、筆者も参画しているSELENE (SElenological and ENgineering Explorer; 月学と工学の探査機)である(表紙)。SELENEの目的は、月の起源と進化を

解明するための科学データと、月から地球を含む宇宙の科学データを収集すること、そして、将来における月利用の可能性を探るためのデータを収集することである。SELENEは、H-IIAロケットにより打ち上げられる、アポロ以来となる本格的な2トクラスの月極周回探査機である。15のミッション機器が搭載され、1年かけて、これまでに得られているデータをはるかにしのぐ良質のデータを月の全球について収集する。SELENEは今、2006年の打上げを目指して最後の追い込みに入っている。本稿では、月の探査で期待されることを、SELENEのデータでどうアプローチできるかを踏まえて述べてみたい。

月——固体惑星の謎を解く鍵——

月は地球に最も近い天体である。しかしながら、地球には大気があり、海洋があり、そして生命に満



図1 SELENEに搭載される地形カメラとマルチバンドイメージャ。高解像度撮像で月の地形、地質のデータを収集する。

ば月の内部進化の最終過程を知り、固体惑星の進化を知る手掛かりを得よう。月は、およそ30億年前に内部活動をほぼ終えたが、その後も多少は噴火活動があったようだ。しかし、30億年前から現在に至る「若い」地域は、月進化の最終段階の噴出であるため、噴出量は少なく、従って領域も狭い。狭い領域では、クレータの個数密度によりその地域の形成年代を推定する手法が使えない。そこで使うのが、クレータがどの程度崩壊しているかを調べることで年代を推定する方法である。月面に形成されたクレータは、微小な隕石により徐々に崩壊していく。このことを基礎に直径数百mのクレータの崩壊度を調べると、30億年前から現在までのいつごろできたかが推定でき、またその地域の形成年代も推定できる。

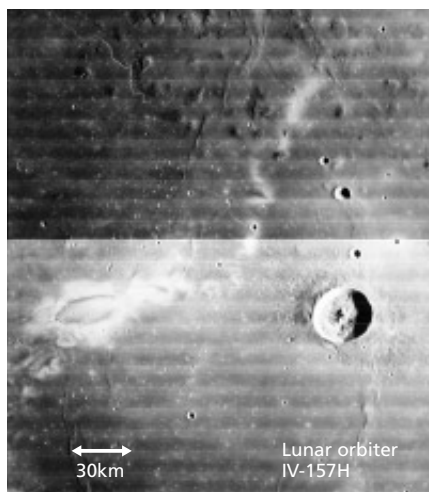


図2 ライナーガンマ。月に見られる奇妙な渦巻き模様。

これまでに得られている月表面の画像の解像度は、赤道域東半分の20%程度が10m以下であるものの、ほとんどはせいぜい数百mである。SELENEには、水平分解能10mの高解像度ステレオ視用カメラ「地形カメラ」が搭載される(図1)。地形カメラによって「若い」地域が探し出されよう。それらの地域について、SELENEに搭載されるマルチバンドイメージャ(可視域5バンド[水平分解能20m]、近

赤外領域4バンド[水平分解能60m]のカメラ、図1)やスペクトルプロファイラ(数nmの波長分解能を持つ連続分光器)などにより、どんな物質がどのように存在しているかを調べることで、月の内部活動の終焉期における物質分化の様子が解明されるだろう。これらの研究結果は、ひいては地球を含む固体惑星の熱史の解明に寄与しよう。

月——太陽系の化石の宝庫——

地球には大気があり海洋があり、そしてプレートの動きにより、表層はすでに過去のものとは大きく異なっている。一方、月に残された地形は地

ちあふれている。一方、月はすでに内部の活動を終え、クレータに覆われた「死んだ」星である。なぜ、このような違いが生じているのか。地球を知るという意味でも、月の起源と進化を探ることは必須である。

SELENEでは、例え

球一月系が過去に受けた隕石重爆撃の履歴そのものである。従って、太陽系がその昔どのような状況であったかということを知る上で、月は重要な情報を持っている。月は太陽系の化石の宝庫といえよう。このことも月の探査が重要である理由の一つだ。

先に述べたように、月の直径数百mのクレータは、崩壊度を調べることで、30億年前から現在までのいつ小天体が降ってきたかを推定できる。太陽系のそばを他の恒星が通り過ぎることで、太陽系外縁部にとどまっていた彗星の軌道が乱され太陽系内惑星領域に落ち込み、地球にも彗星が大量に降ってくるという仮説がある。その周期は数千万年といわれるが、それが確かめられるかもしれない。

ところで、月には彗星は落下したのであろうか？ 実は月には彗星が落下した(かすめた)のではないかと、思われる地形がある。例えば、ライナーガンマといわれる地形がそれで、直径30kmほどの楕円状に明るい反射率を持つ部分があり、それを挟むようにやはり明るい反射率の部分が100km程度北東から南西に渦巻き状に伸びている(図2)。こうした奇妙な渦巻き地形は、ライナーガンマ以外にもある。また、その多くは磁気異常がある。

「こうした渦巻き地形は、彗星のまき散らした細かい塵が、月面を深さ1m程度かすめとって、ほかの所に堆積させてできたものではないか」という彗星衝突説がある。一方、「磁気異常によって、表面にミニ磁気圏が生じ、太陽からの水素イオンが月面へ衝突しないように曲げられ、その結果、水素イオンの衝突によって起こると考えられている宇宙風化作用が起こらず、明るい反射率が保たれているのではないか」という太陽風非衝突説といったものもある。月面上の奇妙な渦巻きの成因が、彗星衝突か太陽風非衝突なのかも、SELENEで決着がつくかもしれない。例えば、二つの説の差は、この地域の直径数十～100m程度の小さなクレータの個数や、その内部の宇宙風化度の差になって現れよう。これまでのところ、それを確かめる高解像度データはないが、SELENEに搭載される高解像度の地形カメラ、マルチバンドイメージャ、スペクトルプロファイラなどのデータにより、その詳細を調べることができる。

月の極——氷はあるのか——

以下のような説が以前から出されていた。「多量の水を含む彗星が月に衝突する際、水は微量だが月に残る。これらの水分子は、月表面で熱せられ、温度に見合った速度分布を持って月の表面を飛び跳ねるようにして移動する。その多くはやがて宇宙空間へと飛び去るが、月の極にたどり着くものもある。月の極には、一年中日が当たらない個所(永久

陰)がある。永久陰は極低温であり、そこに入り込んだ水分子は移動距離がほとんどなくなり、たまってはいるはずだ」

1994年に打ち上げられた米国のクレメンタイン衛星は、月の永久陰の候補を見出した。また1998年、やはり米国が打ち上げたルナースペクター衛星の中性子観測は、月の極に水素の濃集を見つけた。この水素濃集は、水の存在する証拠ではないかと考えられた。しかし、水分子が簡単に飛び跳ねていけるか、仮に飛び跳ねていけるとしても、飛び跳ねているうちに太陽紫外線により壊されてしまう確率が高く、実際、極にたどり着けるのか、はなはだ疑問である。一方、「極に見つかったのは水素そのもので、それは地球の磁気圏内の水素イオンが月の極に打ち込まれ、たまっているもの」とする説もある。

永久陰といっても、クレータ壁の反射光で若干であるが明るいと考えられている。最近、中村氏(JAXA)・松永氏(国立環境研究所)らは、反射光で照らされた永久陰に氷があれば、SELENE搭載のスペクトルプロファイラで検知できる可能性を示唆している。またSELENEでは、ガンマ線分光計でより精度よく水素の濃集が把握されるほか、粒子計測器や磁場計測器で水素イオンの量・運動方向が把握される。極域にどれだけの水素イオンがもたらされるのか、観測期間を通じて詳細に調べられる。これらの結果によって、極への水素イオンの打ち込みが、永久陰における水素量にかなうのかが分かるはずである。

水素にしる水にしる、将来の月での活動に非常に重要になることはいうまでもない。また、月の極に彗星起源の水があるとすると、水素、酸素以外に彗星によって炭素や窒素も供給されよう。供給された炭素や窒素は、水の氷と共存しているが、そこには紫外線や宇宙線が降り注いでいる。紫外線や宇宙線により、氷の中で有機物の生成消滅が繰り返されているかもしれない。月の極における水の存在の有無を調べることは重要であり、SELENEの成果が期待される。

月の天然基地、溶岩チューブ

将来、月は探査の対象から、人類の活動の拠点へと変貌するであろう。問題は、月面という過酷な環境で人類が恒久的に活動をしていけるか、ということである。しかし、どうやら月には素晴らしい天然の基地候補が用意されているようである。それは、溶岩チューブと呼ばれる横穴である。溶岩チューブは、火山から噴出した溶岩が、穴を作って流れていくことによりできるもので、日本でも例えば富士山麓の青木ヶ原などに多数存在する。月面には、クレータが連なって存在している所がある(図3)。これは、

この下にチューブが形成されているため、小さめの隕石でもチューブの天井が崩落する形でこのようなクレータ群が形成された、と考えれば説明がつく。月の溶岩チューブ内は、隕石や宇宙線から機器や人が守られるであろう。月の溶岩チューブには数百度も変動する昼夜の月表面の熱変動は到達せず、筆者や宮本氏(東大)らの検討結果では、チューブ内部は摂氏0度付近で安定していると考えられる。また、チューブの底は、あまり苦なく歩けるくらい滑らかである。しかも月のチューブは、大きいもので横幅数百m、高さ数十mにも及ぶと考えられている。これだけの安全で巨大な空間が、月には天然に用意されているのである。チューブの高さが数十mにも及ぶのであれば、SELENE搭載地形カメラで、その入り口が発見できる可能性がある。

図3に見られるような点状のクレータのつながりは、火星にもある(図4)。火星は、地下に水を有するといわれる。水がもし地下表層に存在するとすれば、こうしたチューブの中を流れるはずだ。チューブの中を流れては干上がることを繰り返している可能性がある。となると、こうしたチューブは、水が適度に供給され、かつ定常な温度を持つ放射線から守られた環境として、生命が誕生し得る適当な場所だったかもしれない。月は、大気も海洋や森林などもなく、溶岩チューブの広がりや形状を大局的に把握するのに非常によい。月において溶岩チューブを調べることで、固体惑星のチューブ形成による溶岩台地形成の研究、将来の火星のチューブ探査、そしてチューブ内の生命探査につながることになる。

最後に

本稿は誌面の関係もあって、かなり偏った月の探査に期待されることの紹介となった。SELENEでは、ここに述べきれなかったさまざまなデータが取得され、研究される。これらは、21世紀の月惑星科学の重要な基礎データとなるであろう。そして、SELENEデータは、月に再び人が訪れるための基礎データにもなる。

皆さん、再び月を目指しませんか。
(はるやま・じゅんいち)

(本稿は、春山純一、Viva Origino, Vol. 30, No. 3, p138-143, 2002に掲載した論文から、生命の起原および進化学会の許可を得て、抜粋加筆修正したものです。)

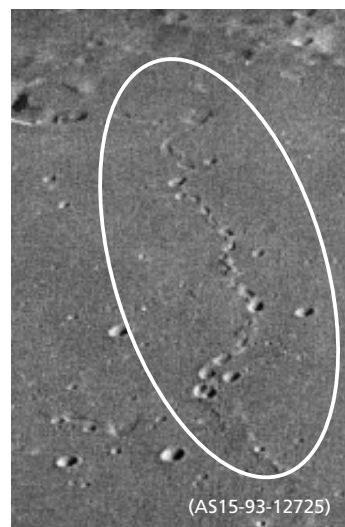


図3 月の溶岩チューブの候補。点状に連なっているクレータは、溶岩チューブ(横穴)が地下に存在しているためかもしれない。

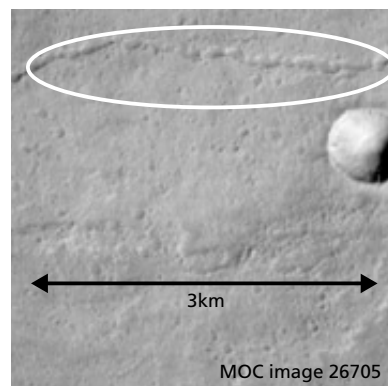


図4 火星の溶岩チューブの候補。火星にも溶岩チューブが存在する可能性がある。

「はやぶさ」地球スウィングバイ続報

工学実験探査機「はやぶさ」の地球スウィングバイについては、すでに6月号で報告がありましたので、今回は発表文には登場しない、運用サイドの話を書かせていただきます。

「はやぶさ」が、約1年間のイオンエンジンによる加速によって地球スウィングバイを行ったことは世界初の快挙ですが、4月、5月の軌道微調整には、推力の大きな従来型の化学推進系を使用しました。この制御量はわずかに27cm/sであり、十分にイオンエンジンで補正できる量だったので、「イオンエンジンだけで地球スウィングバイに必要な精密軌道制御をしよう」という野望もありました。実施すれば、当分は破られることのない世界記録となるどころでしたが、記録よりもミッションの確実性を優先して、瞬発力のある化学推進系を使用しました。

軌道微調整が終わってしまうと、探査機は軌道力学に従って飛ぶだけなので、スウィングバイ自体に特別な運用は必要ありません。しかし今回の地球スウィングバイは、二つの意味で大きなイベントでした。

第一に、月と地球は、小惑星到着までに接近する最初で最後の天体であり、搭載観測機器の較正をする絶好の機会です。また「はやぶさ」の工学実験項目の一つでもある、カメラ画像を使った自律航法機能の試験をするためにも、この機会を逃すことはできませんでした。これらの試験観測は、担当者としてはひっそりとやりたかったのですが、「はやぶさ」にはカメラが搭載されている、月と地球の写真を撮るらしい、ということが知られてしまったので、“航法カメラ”は“広報カメラ”と化しました。しかし、探査機もカメラも広報画像取得を目的として設計されていたわけではないので、いろいろな運用制約がありました。

スウィングバイといえばお決まりの「月と地球の同時撮像」ですが、今回は軌道位置の関係で、同時に視野に入れるためには最接近2日前に広角カメラで撮る必要がありました。そうするとほとんど点像にしか写らず、また広角カメラはモノクロであることなどから見栄えが悪く、結局、公開せずにお蔵入りしてしまいました。

望遠カメラは科学観測兼用のため、8バンドの切替式フィルターによりカラー画像を取得することができます。しかし地球最接近の5月19日には、フィルターを回転させる十数秒の間に地球方向は変わってしまいます。従って、手作業でずらしながら3色を重ね合わ

せる必要があります、サイエンスチームメンバーの地球画像処理の専門家に運用室に待機してもらい、広報用画像の即時処理に対応しました。

今回の画像公開は、処理ができ次第、ホームページに逐次掲載するという関係各位にご同意いただき、本社広報部の寺菌さん（ISAS固体惑星科学出身）にも運用室に待機いただいて、画像処理が終了次第アップロードするという体制をとりました。新しい広報の形としての試験ケースになったと思います。

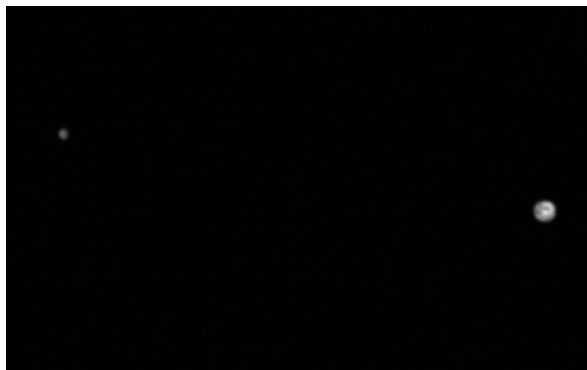
地球最接近の約20分前（日本時間15時00分）に臼田局の可視時間が終了すると、「はやぶさ」は非可視中に、もう一つのイベントである約30分間の日陰に突入します。「はやぶさ」搭載のリチウムイオン電池は、充電量が多いと劣化が大きいので、普段は必要最小限の充電量で運用していますが、日陰運用に備えて満充電にしました。また、太陽電池発生電力が0になっても探査機の異常時シーケンスが働かないように、自律判断機能を無効にしたりするなどの設定が必要でした。十分な検討はしていたものの、20日未明の運用開始時刻に無事に見えてくるまでは大変不安でした。

運用担当者にとっては非常にハードな1週間でしたが、いろいろな面で、約1年後の小惑星到着時に対する練習になったと思っています。

（橋本樹明）



「はやぶさ」運用室の作業風景（ビデオ映像よりキャプチャ）



蔵出し「月（左）と地球（右）」画像（5月17日撮影。画像強調あり）

フォボス・サンプルリターン計画

ロシアの宇宙陣が久しぶりの挑戦を開始している。一つは「フォボス・ソイル」、もう一つは「クリッパー」である。前者は言わずと知れた火星の衛星フォボスからのサンプルリターン・ミッション、後者は3人乗りの有人宇宙船「ソユーズ」を6人乗りにするための新たな開発計画である。今回は「フォボス・ソイル」を紹介する。

ロシアの宇宙科学ミッションは何年ぶりであろうか。彼の地では今世紀初の惑星探査計画であり、ご同慶の至りである。目的は、(1)火星とその衛星フォボスのin situ(その場)およびリモセン観測、(2)フォボスのレゴリス(表面を覆っている物質)のサンプルリターンである。

2009年9月にソユーズ2ロケットで打ち上げられ、300日前後の飛行を経て火星に到着する。1年間にわたる観測・サンプル収集作業の後、2011年8月にフォボスを出発、再び300日前後の飛行の後、2012年6月に地球に帰還する。

1000日を超える長旅である。

探査機製作の主契約社はラーヴォチキン社のババーキン研究所で、現在確定している科学機器は50kgであり、さらに120kgが搭載可能で、現在募集中。火星表面の小型ステーション、火星大気バルーン、埋め込み式ペネトレーター、もう一つの衛星デイモスへのプローブなど30種を超える提案がなされており、学術的・技術的観点から評価を行っている。とりあえず確定している機器には、テレビカメラ、ガンマ線分析器、中性子分析器、質量分析器、地震計、長波レーダー、ダストカウンター、プラズマ分析器、磁力計などが含まれている。

ちなみにsoilはロシア語ではgrunt(грунт)なので、このミッションのロシアでの呼び名は「フォボス・グルント」である。

(的川泰宣)

図1 「フォボス・ソイル」 ミッション・プロフィール

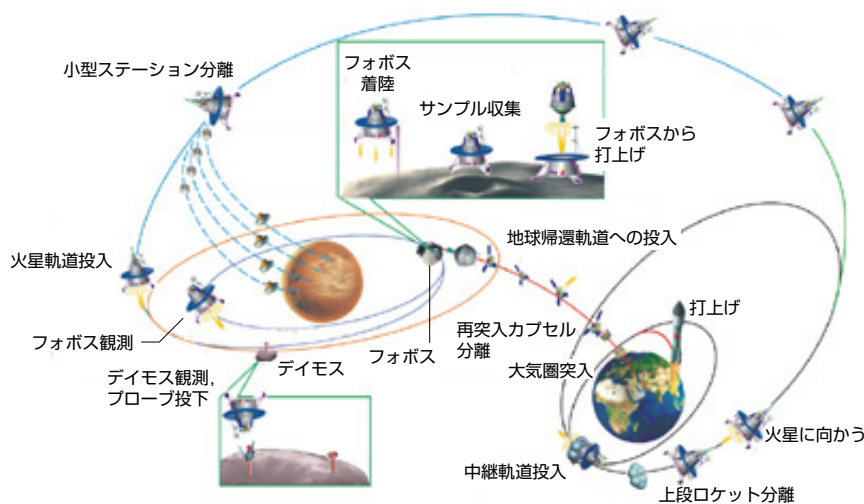


図2 「フォボス・ソイル」 探査機の概要

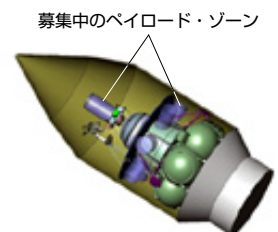
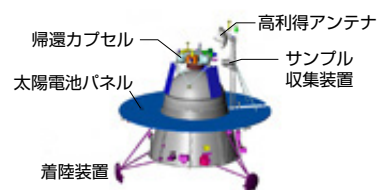


図3 「フォボス・ソイル」 フォボス表面へのランダー

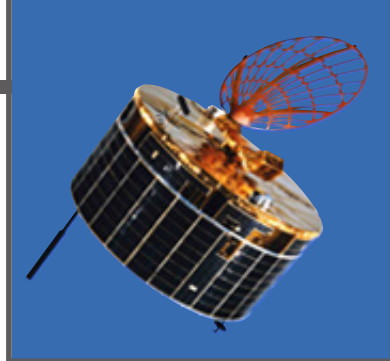


ロケット・衛星関係の作業スケジュール (7月・8月)

	7月		8月	
	頭	ASTRO-EII FM総合試験	末	
相模原	頭	SOLAR-B FM一次啮合せ	末	
	頭	INDEX FM総合試験	末	
	S-310-34号機フライトオペレーション		頭	中旬
	上旬	M-V-6号機 再啮合せ試験	上旬	
三 陸			平成16年度第2次大気球実験	下旬 末

(FM : Flight Model)

浩三郎の 科学衛星秘話



「さきがけ」



井上浩三郎

4つの開発課題

ハレー彗星を探索するPLANET計画は、(1) M-3SII型ロケット、(2)惑星間を航行する探査機、(3)大型アンテナを持つ深宇宙局、(4)惑星間飛行用のソフトウェア——この4つの開発を限られた条件のもと短期間で同時に実現しなければならない厳しいものがありました。新聞記者の人たちからも、「こんなにたくさんの新規開発課題を抱えてうまくいくはずがない」とまで言われましたが、終わってみると、数々の難関はあったものの、それらをすべて見事に突破した素晴らしいプロジェクトとなりました。

深宇宙局の建設と運用システムの開発

「ハレー彗星探索計画で超遠距離通信を可能にするためには大型アンテナが必要である」と、1978～79年に関係者で議論され、宇宙研、三菱電機および日本電気の研究者、技術者より成る調査団を組織して1980年3月に世界各地の大型アンテナの実地調査を行い、引き続き国内での設置場所の検討が始まりました。

その条件は、(1)極めて微弱な電波を受信するために、山に囲まれて都市雑音から遮蔽されていること、(2)航空路や公共通信回線から隔離されていること、(3)データ伝送の面から東京に近い所、そして地元の協力が得られる所などでした。候補地が10カ所に絞り込まれた後、長野県臼田町の現在の位置に決定しました。そして道路工事、土地造成、アンテナ資材の搬入、組立、調整と息つく間もない作業が続き、1件の事故もなく大型アンテナは完成しました。

このアンテナ建設と同時に開発・製造された深宇宙用送受信機などの地上ハードウェア装置と運用システムも、その性能確認のため昼夜試験が続けられ完成しました。1984年10月31日、このアンテナのもと寒風の中で行われた臼田宇宙空間観測所の開所式が思い出されます。「さきがけ」の打上げは、あと2カ月に迫っていました。

惑星間軌道決定プログラムの開発

惑星間飛行に不可欠な軌道決定プログラムは、JPLでマリナー探査機の軌道決定に携わった西村敏充先生の指導のもと、富士通の協力を得て5年間かけて開発されました。少人数で

の大規模ソフトウェアの開発は大変な苦勞だったと推察されます。駒場の研究所近くで先生とご一緒したとき、「アメリカではこの規模のソフト開発には20人以上のスタッフがいましたよ」とおっしゃっていました。

大変だった相模原試験棟での総合試験

「さきがけ」の総合試験は、改組に伴い相模原の新しいキャンパス内に建設された新環境試験棟で行われました。できたてのクリーンルームは温度、湿度、クリーン度が不安定で大変苦勞したことが記憶に残っています。また当時は交通が不便で、試験のために当番で駒場から相模原キャンパスへ通う日々は大変でした。

「さきがけ」の成果

平尾先生の報告によりますと、「『さきがけ』は予定通り最接近距離700万kmでハレー彗星を通過した後、打上げより約3年たって地球から見てちょうど太陽の反対側を通過しました。このハレー彗星が太陽風に及ぼす影響や太陽風そのものに関する研究、さらにいわゆるSolar Occultation(太陽掩蔽)時の電波の特性から太陽近辺の太陽プラズマの特性を調べるなど、多大の成果を収めています。また工学的には深宇宙探査に関する数多くの基礎的実験を成功裏に行いました」とあります。

初めての人工惑星となり、試験探査機としてハレー彗星に接近し、地球から3億km近く離れた超遠距離から観測データを送り続けたことは、大きな自信になりました。

(いのうえ・こうざぶろう)

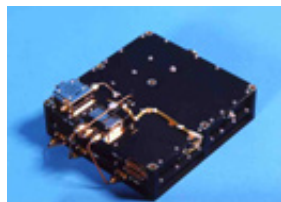


図1 超遠距離用に新設計された5バンド送信機



図2 「さきがけ」の超遠距離通信を行った臼田64mアンテナ

ハレー試験探査機「さきがけ」その2

ベピ・コロomboに衝撃波がやってくる

最近の宇宙研の科学衛星計画では「粒子加速」という言葉をよく耳にするようになってきましたが、実際、X線天文、電波天文、太陽物理、太陽系プラズマなどの衛星計画書では、「粒子加速の現場を押さえ、さまざまな宇宙階層でのダイナミックな構造や進化を探る」というようなフレーズが目に入ります。今回は、この粒子加速を担うメカニズムの中で一番大切であると考えられている「衝撃波」についてのお話です。

粒子は衝撃波で加速される

宇宙で起きる衝撃波も、地上で音速を超えて運動する物体(障害物)の周りにできる衝撃波も同じで、冷たいガスが衝撃波を横切ると粒子がランダムな運動になり、ガスは高温になります。しかし両者で異なるのは、非常に希薄なガスから成る天体衝撃波では、粒子同士が衝突することは非常にまれであり、粒子がランダムな運動になり熱エネルギーを得るのは、「プラズマ波動」を介して行われる点です。そして、粒子間の衝突が少ないことが幸いして、一部の粒子は非常に高温まで加速され、「非熱的」プラズマを作ります。非熱的プラズマは、粒子数は少ないのですがエネルギーが非常に高いため、もし熱的プラズマの持つエネルギーと同程度になると、高エネルギー粒子はさまざまな領域でのダイナミクスに重要な役割を担います。

それでは、どのようなときに非熱的プラズマが効率よく生成されるのでしょうか。衝撃波を特徴付けるパラメーターのうち最も大切なのは、「音速」に対するガス速度の比として定義される「マッハ数」ですが、大ざっぱにはマッハ数が大きな衝撃波ほどプラズマ加熱は顕著になってきます。しかし、熱的プラズマに対してどの程度、非熱的プラズマが生

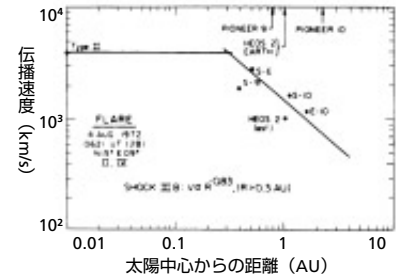


図2 1972年に観測された惑星間衝撃波。伝播速度を縦軸に、太陽中心からの距離を横軸にプロットしたもの (Smart & Shea, 1985)

成されるかは、残念ながらまだ解けていない問題です。非熱的プラズマの生成は、複雑なプラズマ波動の励起に左右されているため極度に非線形の問題であり、また電子とプロトンとでは加速効率が異なる方が一般的であり、厄介な問題です。

問題解決には、プラズマ粒子観測と波動観測ができる太陽系内の衝撃波から手掛かりを得るのが得策だと思いますが、これまでの観測からでは、どのような条件が整えば高エネルギー粒子が作られるのか、いまだ分かっていません。太陽系内の衝撃波は、効率よく非熱的粒子を作っている天体衝撃波と比べるとマッハ数が小さいためか、我々の理解はいまだ何か欠けているように思います。

高速の惑星間衝撃波(IPS)をとらえる

さて、この問題解決に向けて、ベピコロombo計画の水星軌道での衝撃波観測はとても大切です。太陽面での爆発現象(太陽フレア)に伴ってコロナから多量のガスが噴出し、その先端では衝撃波が作られます(図1)。惑星間空間を外へと向かって伝播する衝撃波速度は、地球軌道(1AU)で1000km/sを超えることもあります。マッハ数にして10~20程度です。しかし、この惑星間衝撃波(IPS; Interplanetary Shock)は、外に伝播するに従って減速しているのも、もっと太陽に近づいて観測することができれば、さらに高速の衝撃波が観測できることになります。例えば、図2は1972年に観測されたIPSで、伝播速度を縦軸に、太陽中心からの距離を横軸にプロットしたものです。水星軌道のやや内側の0.3AU以内では、4000km/sにも達しています。これは超新星爆発に伴う衝撃波速度と同程度です。ただし、惑星間空間では、太陽に近づくと惑星間磁場も強くなっていくので、マッハ数は大きくても40程度に抑えられますが、このようなIPSを観測することができれば、新たな粒子加速の知見が得られるものと思われます。

水星軌道でのIPSの観測は、これまで地球周りで観測されてきた衝撃波と天体衝撃波の間をつなぐ、大切なパラメーター領域での観測となるでしょう。(はしの・まさひろ)

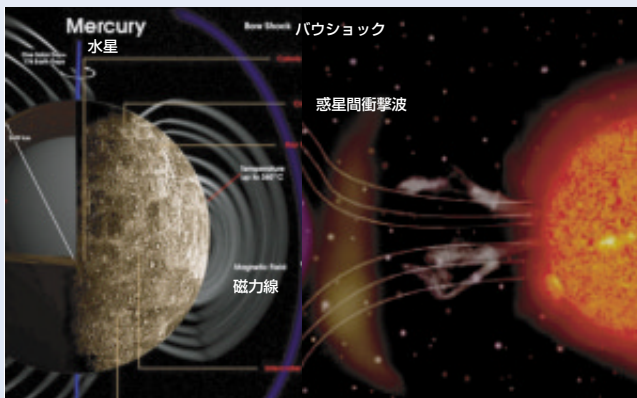


図1 水星の磁気圏と惑星間衝撃波の模式図 ©ESA and NASA



搭載準備の整った虫たちをロシアに運ぶ前の記念撮影。向かって左から3人目が筆者。

C. elegans って何だ?

C. elegans (Caenorhabditis elegans) は線虫の一種で、長さ約1mm、約1000個の細胞から構成され、筋肉系、神経系、生殖系、消化系の器官を持つ。寿命は2~3週間で、生活環はおおよそ5日である。約2万個の遺伝子が9700万個のゲノムに含まれている(ヒトは30億のゲノムに約3万の遺伝子)。姿、形はヒトと似てはいないが、ゲノムという共通言語を持つ非常に近いもの。

この虫をモデル生物としてロシアのソユーズによる国際宇宙ステーション(ISS)のタクシーフライトを利用した日仏共同C. elegans国際協力宇宙実験が、CNES(フランス国立宇宙研究センター)を中心にJAXA、CSA(カナダ宇宙庁)およびNASAの参加と、ESA(欧州宇宙機関)、SORN(オランダ宇宙研究機関)の支援体制のもと実施された。日本からは私が代表研究者として、ISS科学プロジェクト室のフライトプロジェクトと宇宙基幹システム本部宇宙環境利用センターの支援体制で参加した。その関係でフランス、トゥールーズに出張した。

トゥールーズへ

生物試料を輸送する場合、安全性、規制対象、生物兵器でないことの証明やらX線検査回避等々の問題を事前にクリアしておかなければ、機内に持ち込むことも、持ち出すこともできなくなる。リハーサルでは事前の連絡、調整不足でC. elegansの機内持ち込みが許可されず、フランス国内での空輸ができなかった。それ以来、フランス国内は鉄道で移動することに。

本番打上げ準備でC. elegansとともにパリのシャルル・ド・ゴール空港に到着後、オーステルリッツ駅に向かい、夜行寝台列車で一路トゥールーズへ。沿道の明かりもまばらな夜の帳に包まれながら、1等コンパートメントの寝台で足元に虫を置いて、寝付けないまま早朝のトゥールーズに到着。ポール・サバティエ大学の研究室での数日間の準備作業を終え、ロシア・バイコヌールに向かう宇宙飛行士ならぬ宇宙飛行虫たちを見送って、慌ただしく帰国。日本で時間通りに打ち上がったことを知る。

ポール・サバティエ大学とトゥールーズの街

ポール・サバティエ大学の名は、微細な金属粒子を用いる有機化合物の水素化法の開発で1912年ノーベル化学賞を受賞したポール・サバティエ博士にちな

んだもの。医学部にCNESと連携した生物医学宇宙実験を支援する研究室グループ(GSBMS)がある。

トゥールーズはガロンヌ川沿いの街。ガロンヌ川と地中海を結ぶ世界遺産ミディ運河の出発地点だ。旧市街が残る、建物の美しい街。一方、郊外は宇宙航空産業の一大拠点であり、ポール・サバティエ大学を中心に10万人を超える学生が学ぶ学園都市であり、博物館、美術館、オペラハウスやコンサート会場もある文化都市、サッカーフランスワールドカップの開催地でもあった。トゥールーズを訪れたら一度は食べなければいけないカスレという名物郷土料理。白インゲン豆をソーセージやベーコン、鴨肉と一緒に、カソールという土鍋で煮込んだ料理だ。

再びトゥールーズへ

10日間の宇宙飛行を終え無事に帰還した虫を回収し、日本に持ち帰るべく再びトゥールーズへ。今回も鉄道旅。昼間にパリのモンパルナス駅をTGV(テジュヴェと発音)で出発。すぐに都会的風景は一変し、田園風景の中に。車窓には荘園時代の名残のような大きな邸宅の周りに畑が広がり、その境に教会を中心とした村がある。どんなに小さな集落にも、最低一つは先のとがった屋根の教会が見える。緑が濃くなったり薄くなったり、静かに水が流れる川に沿ってTGVは快適に走る。いくつかの駅に停車し、やがて葡萄畑が見え隠れし始め、有名なワインの産地、ボルドーに停車した。トゥールーズ同様にガロンヌ川沿いに開けたこの町を横目に……我慢できず、車内の売店でボルドーワインの小瓶を仕入れて大地の恵みとミッション成功に乾杯。モンパルナス駅を出発して約7時間後、TGVは「薔薇色の町」トゥールーズのマビオ駅に到着、私は再びこの街に降り立った。

遠心機付きの恒温槽キュービックに搭載された培養バッグ内の虫たちは、無事宇宙飛行を終え、ロシアから研究室に運ばれて来た。グランドコントロールの培養状態を顕微鏡で観察確認し、フライト試料同様に凍結や化学固定処理後、輸送の準備作業を行った。

新たな旅の始まり

美しくなぜか郷愁漂わせるこの街に後ろ髪引かれながらも、回収した虫たちと一緒に、マビオ駅からパリへ。パリ空港では全日空の協力とパリ空港警察の手厚い護衛付き(?)先導により(他のお客さんには連行されている犯罪者のように映った?)、何のトラブルもなく機内に。無事帰国後、虫を各協力研究者にも分配し、すでに一部解析が始まっている。

宇宙の旅から、今新たに「心躍る科学的探求の旅」が始まっている。

(いしおか・のりあき)



日本初の人工衛星「おおすみ」打上げ成功から34年、私が管制班の職務に就いて35年である。その間の実験班員の人間模様について少し書いてみたい。

私は、生まれも育ちも内之浦である。実験場開設当初より管制班の仕事は通信KE (Kagoshima Equipment) 班が兼務しており、当時は2代目の鈴木氏が手慣れた口調でスケジュールを進めていた。その鈴木氏が家庭の都合で所を退職されることになり管制班の後継者問題が浮上し、誰を後継者にするか、当時の上層部はずいぶんと悩まれたことと思う。結局、生粋の内之浦町民である技官に任されたのである。入所して間もない、実験班全体の作業も十分に把握していない、あるのはファイトと鹿児島なまりだけ。さあ大変。なまりを少しでも直すためテープレコーダーに録音して確認するが、そんなに簡単に直るわけがない。なまりのあるアナウンスも内之浦の射場の特色として受け入れてもらおう。開き直りである。これでずいぶんと気が楽になり、スケジュール進行がスムーズになったような気がする。

鹿児島なまりのアナウンス

観測ロケット実験において、KSC (Kagoshima Space Center; 現在の内之浦宇宙空間観測所) 主体ロケットというものがある。この実験は、相模原での組み立て試験、搭載機器の動作チェック等々、一連の作業を、内之浦の職員が中心になって動き、打上げまで進めるものである。以下はKSC主体観測ロケット実験でのひとコマである。

「動作チェックに入ります。外部電源ONです。CI (Control Instruments), PI (Payload Instruments), ONします」。指令電話と放送でアナウンスする。すると指令電話からテレメーター班のH.M.の声で「下村さん、いっとつ、まっおいやいな、受信機が、ちっと、おかしがな」「よう、あと、どいぐらい、かかいごっあいき」「下村さん、なおったど」「よかったい、ほんなあONすっでね」。横で実験主任のH.K.教授が「下

ロケット実験 発射管制 今昔

下村和隆

宇宙基幹システム本部
統合追跡ネットワーク技術部
内之浦宇宙空間観測所

村、日本語を話せ」。指令電話の相手が内之浦の同僚であると、つい鹿児島弁が出てしまう。気を取り直して「CI,PI,ONです」。レーダー班のT.N.から「トラポン異常なし」。H.M.からは「テレメーター、PI異常なし」。

ここまで作業が進んでくると、後はコネクタ離脱、ケーブル巻き上げである。ランチャー担当はこれまた生粋の内之浦人I.M.である。「ゆあっがあがらんで、ちっとXを、のばせっくれんや」「どいぐらい、かかいごっあいや」「あ、もよかんべ、なっとお」「ほんなあ、こんまま、いっでな」。やはり、横でH.K.教授が、げげんそうな顔で笑っている。「先生、異常ないですから、このまま進めます」「コネクタ離脱巻き上げ良好です。発射準備完了です。コント

ローラー、スタートします。3-2-1-0」「発射OK」。カウントのアナウンスを続行しながらH.M.に「どげんけ」と聞くと、H.M.が即座に「ねっかい、よかごっあつど」。これで100点満点の成功である。

休日の磯釣りです

さあ明日は休日、実験班員の悩むところである。レンタカーもない田舎の町で芋焼酎でも飲むか、内之浦を散策か、町の若者とソフトボールでもするか。M.Y.助手(当時の肩書きである、現在JAXAの上層部で活躍中)は、我々のグループと実験場の下の磯で魚釣りをして休日を過ごすこととなった。

8月の暑い盛りの釣りである。空は雲一つない日本晴れ、のどの渇きが早い。「アアこんな天気の日^いに魚釣りなんて」と思いつつ、持参した飲料水はすべて飲み干してしまった。その年メーカー入社のKに、体育会系の乗りで「50mぐらいの所に水が出ているからくんでこい」「はい、分かりました」。5~6人がのどの渇きを癒すのである。水はすぐなくなり、なくなるたびにKが呼ばれる。それも3回までが限度だったらしく、4回目ともなると顔を真っ赤にして怒り「これが最後ですよ」と言いつつ、にんまりと笑顔を浮かべ皆と少し距離を置いて釣りを始めた。

のどの渇きはどうしてもなく、一気に飲み込んで、つい容器の中をのぞき込んでしまった。ボウフラが泳いでいる。「あの野郎」と思いつつ「M.Y.さん、水が来ましたよ」。M.Y.さんは、恵まれた体格と人一倍の汗かきである。あれよあれよという間に容器の水を飲み干してしまった。めでたく、こき使われた一人を除いて、全員ボウフラ水を飲まされたのである。新人でも限度を超えてこき使ってはいけないという教訓を得たのであった。

M-V型になって、発射管制の仕事は薩摩隼人の血を引くM君に引き継がれ、ロケットの大型化、職場環境の変化でより緻密に管制作業を行っている。

がんばれ、薩摩隼人。

(しもむら・かずたか)



内之浦宇宙空間観測所のコントロールセンターにて

ASTRO-E IIに期待してください！

高エネルギー天文学研究系助手

藤本龍一

——X線天文衛星の開発・観測をされているそうですね。

藤本：初めて開発に携わったのが1993年打上げの「あすか」です。この仕事は面白い。ワクワクしながらやっています。だからこそ、1999年のASTRO-Eの打上げ失敗は、非常にショックでした。私たちの仕事は、衛星を作って終わりではありません。衛星を作って、ロケットで打上げて、それを使って観測する。そこから本当の始まりなんです。たくさんの方が何年もかけて準備してきたのに、“始まり”にたどり着けなかったわけですから。

幸い、多くの方にご協力いただいてASTRO-EIIとして復活し、2005年初めの打上げを目指して準備を進めているところです。

——ASTRO-E IIはどのような衛星でしょうか。

藤本：ASTRO-EIIには望遠鏡と検出器が3種類搭載されます。X線は、1000万度から1億度の非常に高温の天体から出ます。宇宙は冷たいというイメージを持っているかもしれませんが、超高温の天体もあるのです。X線を観測することで、激しい宇宙の姿が見えてきます。

私は、XRS(X-Ray Spectrometer)というX線分光検出器の開発を担当しています。「分光」といって、X線を波長ごとに分けて観測することで、天体の温度や密度、運動など、物理的な状態を詳しく知ることができます。分光の精度は、「あすか」に搭載されたX線検出器の10倍になる予定でしたが、この5年間の技術進歩によって、さらに2倍も向上させることができました。もちろん世界最高精度です。

「あすか」などの観測によって、たくさんの銀河が集まった銀河団は高温のガスに包まれており、銀河団同士は衝突・合体を繰り返しながら進化してきたらしいことが分かってきました。XRSによる高精度の分光観測によって、高温ガスの運動が詳しく分かりますから、二つの銀河団が衝突しつつある姿も見えてくるでしょう。

——X線天文学は日本のお家芸ともいわれ、特に分光は強いですね。

藤本：はい。日本は、1983年に打ち上げられた「てんま」の時代から分光に重点を置いてきました。今回のXRSは精度だけでなく、従来の検出器とはまったく違う原理を使っている点でも注目されています。従来の検出器は、宇宙からのX線を物体に吸収させたときに発生する電子の数(電荷量)を測っていました。XRSでは、温度の上昇を測るのです。3mm角の小さな検出器を絶対温度0.06度という極低温にしておきます。そこにX線が飛び込んでくると、わずかに温度が上がる。X線の波



ふじもと・りゅういち。1969年、大阪府生まれ。1991年、東京大学理学部物理学科卒業。1995年、東京大学大学院理学系研究科物理学専攻修士課程中退。1995年、宇宙科学研究所助手。1996年、理学博士。X線天文衛星ASTRO-EIIに搭載されるX線分光検出器XRSの開発、次期X線天文衛星への搭載を目指したX線分光検出器の開発、X線天文学の観測的研究を行う。

長によって持っているエネルギーが違い、温度の上がり方が変わります。温度を正確に測ることで、波長を測定できるのです。熱量を測ること、また素子がとても小さいことから「マイクロカロリーメータ」といいます。

XRSの開発は日米共同で行い、検出器はアメリカが担当しています。ASTRO-Eの開発が始まった当時、マイクロカロリーメータを作るのはNASAだけでしたから。日本は検出器を極低温に冷却するための冷凍機の開発を担当しています。

ASTRO-EIIの次に計画されているX線天文衛星NeXTには、ぜひ自前で作った検出器を載せたいですね。すでに新しいタイプの検出器の開発を進めています。

——どのような検出器になるのでしょうか。

藤本：XRSの精度はもう極限に近いところまでできていますから、私たちが狙っているのは大きさです。3mm角というのは、必ずしも十分ではない。点に見えるような天体には威力を発揮しますが、薄く大きく広がった天体の観測は苦手です。NeXTでは、精度を何とか2倍に上げ、検出器の面積を1桁大きくしたいですね。

最近、銀河団で大規模な粒子加速が起きていることを示す観測結果が得られてきています。NeXTであれば、まさに粒子が加速されていく様子をとらえることができると思います。NeXTを2010年ごろに実現して、新たな宇宙像を切り開いていければと考えています。

——研究以外ではどのようなことに興味をお持ちですか。

藤本：それが問題なんです(笑)。実は、衛星の製作や研究がとても面白いこともあって、ほかのことをしている時間はほとんどありません。歴史小説を読むくらいですね。天文学は、宇宙がはじまってから現在に至るまでの宇宙の歴史を解き明かそうとしている。「歩みを知りたい」ということでは、歴史小説も天文学も同じで面白いですよ。ただ、今はやはりASTRO-EIIですね。

XRSで観測した分光のデータは、ハッブル宇宙望遠鏡のきれいな画像と比べて一般の人には分かりにくいのがつらいところですが、でも、とにかくすごい成果が絶対に出る。今まで誰も見ていない宇宙の姿が見えてきます。皆さんも、ぜひ楽しみにしてみてください。

ISASニュース No.280 2004.7 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

本ニュースに関するお問い合わせは、下記のメールアドレスまでお願いいたします。
E-Mail: newsedit@adm.isas.jaxa.jp

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。

*本誌は再生紙(古紙100%)を使用しています。

編集後記

編集作業(実質は内容チェック)を行うたびに、文章は人柄を表すものだと思つづくと思います。著者と面識がある場合は「やはりこう考えているんだ」となるし、編集作業の後で初めてお会いした場合は、「やはりこういう方だったんだ」と納得することもあります。ということは、この編集後記を読んで私を判断している人もいるのかもしれないですね。(山川 宏)

デザイン／株式会社デザインコンビピア 制作協力／有限会社フotonクリエイト