



M-Vロケット7号機第1段ロケットのノズル結合作業（撮影：前山勝則）

宇宙科学最前線

ディープインパクト探査が 明らかにする彗星と太陽系の謎

杉田精司

東京大学大学院 新領域創成科学研究科
複雑理工学専攻 助教授

2005年7月4日に、アメリカ航空宇宙局（NASA）のディープインパクト探査機の子機はテンペル第1彗星に命中し、これまでまったくの謎だった彗星内部物質の人工掘削に成功しました。掘削された内部物質は、探査機本体の測器および地上の多数の望遠鏡によって詳細な観測がなされ、さまざまなデータが取得されました。この地上観測キャンペーンには、我々も国立天文台のすばる望遠鏡を使って参加しました。取得データの解析はまだ続いており、学会のたびに新事実や新解釈が提出されつつあります。

ここでは、現在までに得られたディープインパクト探査機の科学的成果について、我々自身の観測結果を含めて簡単にまとめてみることにします。

彗星の謎

探査結果の説明をする前に、簡単に彗星研究の重要性についてご説明します。彗星はよく知られているとおり、太陽に近づくとその輻射熱で激しい蒸発を起こし、巨大なコマと尾を形成します。その尾の分光分析から、彗星には大量の有機物や水分、二酸化炭素などさまざまな揮発性成分が含まれていることが分かっています。これらの物質は、地球型惑星の固体部分には大量には含まれていませんが、大気や海洋の主成分であり、我々生物を構成する材料物質でもあります。また、地球型惑星にはその進化の歴史を通じて多数の彗星衝突があったことが分かっている、大気・海洋・生命の起源と進化に大きな影響を与えたと考えられています。

その一方で、彗星の内部は形成直後から現在に至るまで極低温環境におかれているため、構成物質の熱変成度も非常に低く、45億年前の形成直後の太陽系の記録をそのまま現在まで冷凍保存していると考えられています。ですから、彗星内部を調べることは、太陽系の形成プロセスを理解することにもつながります。こうした重要性から、探査機母船の測器群はもちろん、地球周回の宇宙望遠鏡および地上の多くの大望遠鏡がテンペル第1彗星に向けられ、詳細な観測が行われたのです。

地上望遠鏡による観測と結果

探査対象の彗星を最も高い空間分解能で観測できるのは、もちろん探査機の母船です。実際に、探査機のカメラは、テンペル第1彗星がこれまで観測された彗星核とまったく異なる表情を持っていることを明らかにしてくれました(図1)。しかし、探査機は彗星との相対速度およそ10km/sで離れていきますから、1時間もたつと探査機から見た彗星の視直径は $1/100^\circ$ 以下と急速に小さくなり、探査機カメラには近接撮影の利点がなくなってしまいます。そうなると、さまざまな測光装置を使って長時間にわたる広波長域観測ができる分だけ、地上望遠鏡や地球周回軌道上の宇宙望遠鏡が有利になってきます。ですから、地上望遠鏡では、探査機が観測していない波長帯を数時

間から数週間の長い時間スケールで観測することに大きな意義がありました。

地上観測には大小さまざま73台もの望遠鏡が参加しているので、それらの結果を網羅的に紹介することはできません。ここでは、大口径の望遠鏡が衝突直後の最良のタイミングで観測できた、ハワイ島マウナケア山頂の三大望遠鏡の結果を中心に解説します。まず、36枚の分割鏡を使った有効径10mのケック望遠鏡は、近赤外におけるガス分子の蛍光線観測を行い、衝突によって気化する氷成分の組成および温度計測を狙いました。一方、有効径8mの1枚鏡を持つすばる望遠鏡とジェミニ望遠鏡は、探査機の測器が観測できない中間赤外光の観測を行い、衝突に際して気化しない岩石成分および不揮発性炭素成分(以下では、両者を総称してダストと呼ぶ)の組成、結晶化率、粒子径分布を求めること、またダストの総量や空間分布からクレーター形成機構を理解することを狙うことにしました。ジェミニ望遠鏡のグループと我々すばる望遠鏡のグループは、独立にほぼ同じテーマを狙った観測計画を立てたため、調整を行って分担観測をすることにしました。同じ口径でも空間分解能により優れるすばる望遠鏡が主に撮像観測を担当し、ジェミニ望遠鏡は主に分光観測を担当することとしました。

衝突現象の観測は、いくつかの重要な発見をもたらしてくれました。まず、衝突直前までまったく見えていなかった $10\mu\text{m}$ 付近のシリケート発光体が、衝突が起こるやいなや強く光りだしました(図2)。これは、彗星の内部から微細な(直径 $1\mu\text{m}$ からサブミクロン)シリケート粒子が大量に掘削されたことを示しています。この $10\mu\text{m}$ 帯の発光量の絶対値観測および時間変化観測から、およそ 10^6kg のダスト成分が宇宙空間に放出されたこと、ダストの放出は基本的に衝突の瞬間だけであって、長時間にわたる継続的なダスト放出が衝突によって誘起されることはなかったことなどが分かりました。ここで求めたダストの総放出量は、事前の検討値の中ではかなり大きい値に対応していて、彗星の表面物質の強度は非常に小さいことを示していました。また、 10^6kg という数値から、クレーターの直径が約100m程度であろうと推定されました。従って、今回の衝突で放出された種々の放出物は、彗星の表面下の数m~10m程度の深さから掘削されたことになります。

一方、 $10\mu\text{m}$ 帯の分光分析からは、彗星内部のシリケート粒子が非常に高い結晶化率を持っていること、粒子数が直径の約 ~ 3.5 乗に比例して減る、べき乗分布を持っていることなどが分かりました。いずれもテンペル第1彗星が属する短周期彗星の従来の観測結果とは大きく異なっており、逆に長周期彗星の観測結果と酷似していました。論文発表の段階にな

図1 衝突直前のテンペル第1彗星の姿。図中の×印は、探査機の衝突地点を表す。(写真提供：NASA)

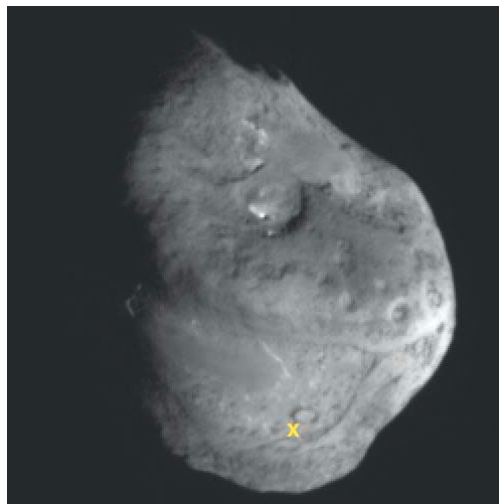
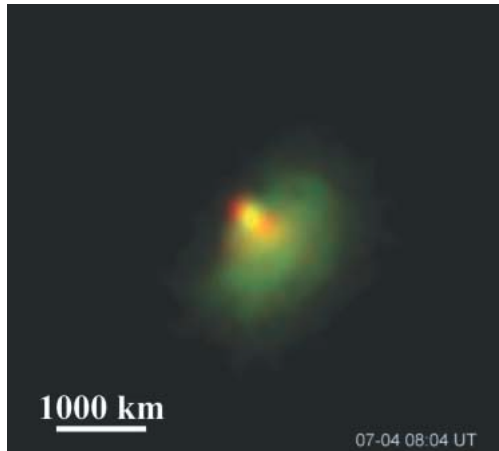


図2 すばる望遠鏡がとらえた探査機衝突およそ3時間後のテンペル第1彗星のまわりに形成した放出物のブリュームの姿。緑色成分はシリケート粒子を、赤色成分は炭素粒子を表している。ブリュームの外側ほど緑色で内側ほど黄色味がかっているのは、ブリュームの外側ほどシリケート粒子に富み、内側には炭素粒子もかなり含まれていることの現れである。



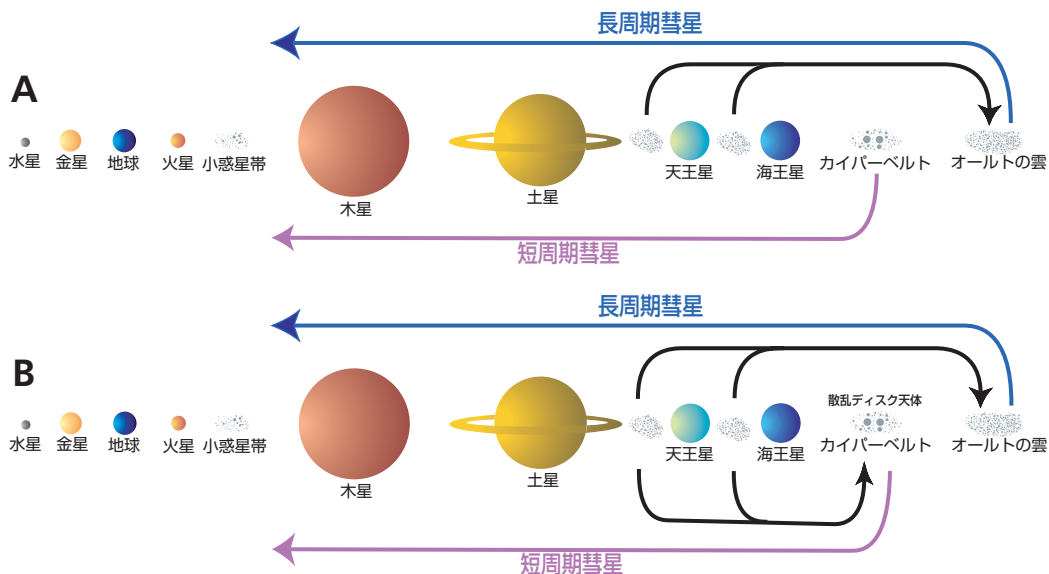


図3 長周期彗星と短周期彗星の起源・進化の概念図の歴史的変遷。(A) 従来の説では、短周期彗星は太陽系の外縁部で形成したと考えられていたが、(B) 最近の理論研究とディープインパクト探査により、短周期彗星は太陽系のもっと内側で形成したらしいことが分かってきた。

してみると、ジェミニ望遠鏡のグループも独立に同じ結論に達していました。この結果は、すばる望遠鏡とジェミニ望遠鏡で同時に独立に得られたわけですから、非常に確度の高い結果だといえます。一方のケック望遠鏡からも、これまで長周期彗星でしか見つからなかった有機分子種が、衝突直後に観測されるという報告がもたらされました。これも、短周期彗星であるテンペル第1彗星の内部物質と一般的な長周期彗星の構成物質が非常に似通っているという我々の観測結果を支持しています。

観測結果の意義

短周期彗星であるテンペル第1彗星の内部物質と長周期彗星の構成物質が酷似しているという新事実は、彗星起源の研究に非常に大きな手掛かりを与えてくれます。つまり、オ尔特雲天体とカイパーベルト天体が基本的には同じ物質でできている可能性が示されたのです。この可能性は、最近の太陽系形成理論の発展に照らし合わせてみると、非常に重要な意味を持っていることが分かります。

1990年代までは、オ尔特雲は現在の居場所よりずっと太陽に近い天王星から海王星の付近で形成して、天王星や海王星の重力散乱の影響で現在の数千～数万天文単位の距離まで放り出された結果できたものであり、もう一方のカイパーベルト天体は天王星・海王星の軌道よりずっと外側で形成し、これら巨大惑星の形成と関係なく45億年前から現在までほとんど軌道を変えずに静かに暮らしてきた小天体であると考えられてきました(図3A)。

しかし、最近数年の間に、外側太陽系の惑星形成に関する理論計算が大きく進展し、新しいモデルが提唱されてきました。その説では、カイパーベルト天体には、従来考えられてきたような太陽系の辺境で形成して以来現在までほとんど何の軌道変化も経ずに安定な円軌道を回っているもの(メインベルト天体)だけではなく、オ尔特雲天体と同じように太陽系のもっと内側で形成したものの、天王星・海王星など巨大惑

星の重力散乱の影響でカイパーベルト領域に放り込まれたもの(散乱ディスク天体)が多数存在することを予言しています。そして、短周期彗星として地球付近までやってくる天体のほとんどはこの散乱ディスク天体であり、物質的にはオ尔特雲天体と同一のものが短周期彗星の正体であると予想しています(図3B)。

紙面の関係でここでは詳細に書けませんが、この新理論が正しいとすると、土星、天王星、海王星は、45億年の歴史の中で一度だけ急激に軌道位置を大幅に変えて、形成した場所よりずっと太陽系の外側に移動したことになります。また、その巨大惑星の急激な位置変化は、小惑星の軌道も大きく不安定化させ、地球など内側太陽系の惑星に大規模な隕石シャワーを浴びせかけることになります。これは、従来の惑星系形成の理論が示すような静的な太陽系の描像を覆し、非常に動的な描像を提示しています。

ですが、この新しい惑星系形成理論を強く支持するような物的証拠は見つかっていませんでした。その点、今回のディープインパクト探査の地上観測によって得られた新事実は、旧理論では説明ができない一方、新理論の予想と非常によく合致しています。つまり、今回の観測結果は、惑星形成の新理論を強く支持しているのです。

ただし、今回の観測は、一つの彗星についてのものでしかありません。惑星系全体の描像に結論を下すためには、まだほかの短周期彗星についての観測が必要です。また、内側太陽系に落ちてくることのないとされる、カイパーベルトのメインベルト天体についての観測も必要です。幸い、前者についてはESAのロゼッタ探査機が、後者についてはNASAのニューホライズン探査機がすでに打ち上げられています。これらの探査機が観測データを送ってくる数年後には、我々の住む太陽系の起源についての私たちの理解は大きく進むことになるかと期待されます。

なお、今回の結果の詳しい報告は、2005年10月14日発行の『Science』誌に掲載されています。

(すぎた・せいじ)

アメリカ天文学会にて「すざく」特別セッション開催 高校生チームも発表

カナダのカルガリーで行われたアメリカ天文学会第208回会合において、6月5日、「すざく」衛星の特別セッションが開催された。日本からも4人の研究者が駆けつけ、「すざく」衛星の最新の観測成果が日米の研究者10人により発表された。炭素の輝線観測による惑星状星雲や近傍の超新星残骸中の炭素存在量の測定、銀河団外縁部の低表面輝度X線放射の温度測定による銀河団内の暗黒物質分布の推定など、これまでは難しかった研究が「すざく」の高エネルギー分解能と低バックグラウンドにより実現しつつあること、軟X線から硬X線に至る広帯域スペクトルにより、ブラックホールX線連星のブラックホール近傍の高温プラズマの幾何学や、超新星残骸中の粒子加速（＝非熱的なエネルギー）が見え始めてきていることが報告された。また、プロジェクトのステータスとして、公募観測のデータが解析ソフトウェア・観測装置校正データとともに配布され始めたこともアナウンスされた。さらに、聴衆から

日本の次期X線天文衛星によるX線マイクロカロリメータを用いた超高分解能X線分光観測への期待が多く寄せられたことを付記したい。

これらの研究発表に加えて、セッションの最後に米国のLick-Wilmerding高校のCyrus Stollerが、彼のチームを代表して「すざく」衛星のデータの解析結果を発表した。このチームはNASAの教育プログラムの一つとして開催された「すざく高校生コンテスト」で、約20チームの中から選ばれた、8名から成る高校生チームである。データ解析に必要なUNIX環境の使えるコンピュータが高校に1台しかなく、UNIXを学ぶことから始めたということであるが、超新星残骸SN1006のX線カラー画像を完成させた（図1）。ハキハキとした発表と質疑応答は米国人のプロの研究者と遜色なく、米国人気質とプレゼン術を鍛えられている成果であろうか。8人はそれぞれ理科系の大学に進むとのこと、将来が楽しみである。（満田和久）

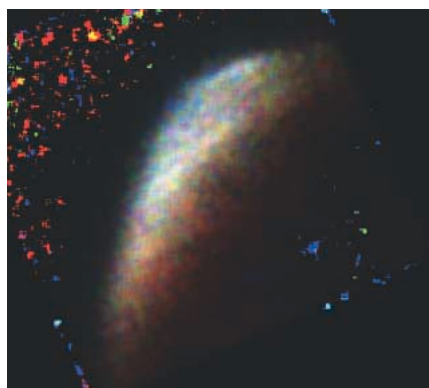


図1 高校生チームが完成させた「すざく」衛星による超新星残骸SN1006の北東リムのカラー画像。色はX線のエネルギースペクトルの違いを反映する。X線強度の低い部分で雑音の影響が取り除かれていないのはご愛嬌であるが、リムの外側でエネルギーの高い（波長の短い）X線が強いことがよく分かる。



図2 「すざく」チームのN. W. White博士（右端）から修了証を受け取った高校生チーム。左端は指導した高校の先生。その右は筆者。

ペネトレータ完成に向けての飛躍！ サンディア実験

昨年の11月の実験でペネトレータの完成に向けた試験が始動し、成功を収めたことを報告しては半年余り、いよいよ大きな飛躍に向けた試験を迎えることになりました。これまでの不具合改修の成果の大半と昨年の試験成果を反映させ、機能的には完全動作する機体の貫入試験を米国ニューメキシコ州、サンディア国立研究所にて実施しました。今回の実験には我々チームメンバーのほかに、井上本部長、岩崎研究推進室長、そして惑星

協会 (Planetary Society) 会長のLouis Friedman博士も参加していただきました。

試験準備が少し遅れたために、予定より約1日遅れて2006年6月1日11時28分に貫入試験が実施されました。試験後、ペネトレータが埋まっている砂の上にアンテナをセットし、通信できる時間帯が来るまで待機します。

同日の14時30分から数十分間のウインドウが、想定される最も早い通信機会です。全員が見守る中、ペネ

トレータから反応があるかどうかを待ちます。今回のタイミングではどうやら通信はとれそうにないと思い始めた14時50分ごろ、スペクトルアナライザーにペネトレータからの送信信号を示す波形を検知！このシグナルを見たとき、思わず私は「きたきたきた！」と絶叫していました。これまで待ちに待った、貫入後の機体で通信をとることに成功したのです。それ以降の現地でのチェック



貫入後、供試体を実験室に持ち帰って動作チェック中。

でも問題は検出されず、これまでに積み重ねた対衝撃技術の妥当性もおおむね確認できました。今回の試験ではリセットセンサが駆動しなかったため、100点満点とはいえない成果であり、今後の調査で対処すべき課題も残しました。しかし、大筋では成功したといえ、来年に予定されている最終段階の試験に向けて確かな手応えを得ることができました。（田中 智）



今回参加メンバーの集合写真。昼食後のレストラン前にて。

M-V ロケット7号機 第1組立オペレーション

梅雨の真っ最中です。「いつ作業を止めるか」で保安主任が悩む時期です。常に天気予報、雷注意報に注意を払わねばなりません。台風も来ます。怖い先生も来ます。

内之浦宇宙空間観測所にて6月22日から始まったM-Vロケット7号機の第1組立オペレーションは2週間が経過、折り返し点を通過しました。従来、第1組立オペレーションは、各段ロケットの推力方向制御装置のチェックを行って、1段、2段のノズルを結合して終わりですが、このオペはさらに1段、2段を整備塔に運んで結合するところまで進めることになりました。それに伴い、期間も1ヶ月に。

さて、冒頭で述べた雷ですが、6月26日に所内で広範にわたって落ちました。いろいろな機器に影響が出ましたが、幸いこのオペに支障をきたすようなことはなく、すでにほとんどが修復しています。



今は避雷針に黄色い球形の装置が付けられていて、雷が落ちると、その中に仕込まれている火薬が発火、球が割れて赤い布が「ペロン」と垂れる仕組みになっています。作業が行われているM台地では、整備塔を含め、3ヶ所に雷が落ちました。落ちた当日は赤いペロン

が三つ見えていましたが、迅速に交換されて、今では元通り黄色い球が見えています。もう見たくありません、ペロン。

作業は順調です。さすがに、短期間で2機打ち上げた直後だけあって、毎日きびきびと進められています。残業も少なく、実験班員の疲れが蓄積されないのは幸いです。長丁場なので。世の中には、「慣れてくると信頼性が落ちる」などと言う口の悪い人がいますが、M-Vに限っていえば、そんなせりふは通用しません。何としても打上げを成功させるという意識を常に高く持

って、集中力を途切れさせることなく作業を続けていますので。どうぞ、皆さんご安心ください。

写真は、先日行われた全員打ち合わせの様です。

右側の壁に、歴代のロケットの成功を祝う寄せ書きが掛けられています。ここに新たな歴史が刻まれることを願ってやみません。
(堀 恵一)

宇宙研で学ぼう（総研大）

総合研究大学院大学（総研大）宇宙科学専攻では、平成18年10月入学者および平成19年4月入学者の募集を行っています。学生募集要項の詳細が決まりましたので、お知らせします。詳細は下記ホームページをご参照ください。

<http://www.isas.jaxa.jp/sokendai/>

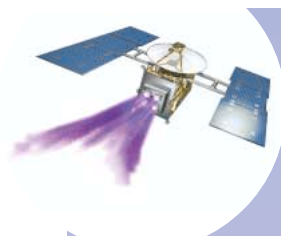
連絡先：042-759-8012

総研大宇宙科学専攻の説明会開催

7月29日（土）宇宙研一般公開の日に、入学希望者を対象に総研大宇宙科学専攻の紹介を行います。総研大の概要説明のほか、卒業生および現役生との懇談も行う予定です。ふるってご参加ください。詳細は上記ホームページをご参照ください。

日時：7月29日（土）午後1時から2時

場所：総研大相模原キャンパス（JAXA宇宙科学研究本部内）本館8F会議室



はやぶさ近況

タッチダウンで活躍したLRF

今回は、「はやぶさ」のタッチダウンで活躍したLRF（近距離レーザ測距計）について紹介します。LRFは、「Laser Range Finder」の略で「エルアールエフ」と呼ばれ、レーザを発射して距離を測定する装置です。

航法用LRF-S1



タッチダウン検出用LRF-S2

「はやぶさ」は、2種類のLRF（LRF-S1とLRF-S2）を搭載しています。LRF-S1は、タッチダウン降下中における小惑星表面との相対航法に用います。「はやぶさ」が小惑星表面に接触してサンプルを採取するためには、高度を下げながら小惑星表面に対して正対する必要があります。そこで、LRF-S1から角度のついた四つのレーザビームを小惑星表面に照射し、距離を測定します。4方向の距離から、小惑星表面に対する探査機のおおよその姿勢と高度を同時に検出することができます。一方、LRF-S2はタッチダウンの検出に用います。LRF-S2から一つのレーザをサンプルホーンに照射し、ホーンの先端までの距離と明るさを測定します。サンプルホーンが小惑

星表面に接触すると、ホーンが変形し、先端までの距離や明るさが変化します。その変化を検出して、「はやぶさ」は小惑星にタッチダウンしたことを知ることができます。

LRFの開発は大変苦労しました。地上では距離センサとしてよく用いられているLRFですが、宇宙で使うには、いくつかの課題がありました。LRF-S1は100mから7mまで測距範囲をカバーする必要があり、要求性能も距離100mに対し精度3m、距離10mに対し精度0.1mとかなり厳しい条件でした。また、小惑星表面がどのような物質でできているかは分からないため、反射特性も幅広い範囲に適応する必要がありました。厳しい重量制限のもと、これらの要求を満たすLRFの開発は、幾度も暗礁に乗り上げましたが、NEC東芝スペースシステムの技術者の方々、ISASのレーザの研究者、電子回路技術にたけた高エネルギー物理学（X線天文学）の研究者の協力を得て、一つ一つ課題を克服し、LRFを開発することができました。2005年11月26日のタッチダウンでは、LRFは正常に機能し、「はやぶさ」を小惑星表面に正対させ、タッチダウンを検出することができました。最後に、ご協力・ご支援いただいた方々に感謝致します。
(久保田 孝)

美酒

中部博雄

昔、駒場にツタの覆いかぶさった古いプレハブ小屋があった。そこには卓球台が3台、昼休みは勝負にこだわった練習に明け暮れていた。

昭和51年の夏のある日、背の高い新人が現れた。彼は3号館の平野研ににいるという。卓球のフォームは安定していた。「ウム、できるな!」、ここから付き合いが始まった。

相原賢二君は、まじめで余計なことは言わない、よく気が付き、お酒をこよなく愛し、ドライブが好きだった。

昭和53年9月のM-3Hロケット3号機からタイマ班として実験に参加して以来、一緒に仕事をやるようになった。

駒場で遅くまで酒を飲んだ後は、最終電車に乗って、彼の実家(駒込)よりはるかに遠い本八幡の我がアパートまで一緒に帰ることがあった。そのときは必ず飲み直しとなり、二日酔いになる辛さを忘れて朝方まで議論した。

昭和58年ごろ、一人黙々と点火玉の発火特性試験をしながら、新たに担当するスペースチャンバーと格闘していた。

平成3年の宇宙研一般公開では、スペースチャンバーで人工オーロラに挑戦した。かなり苦戦したが、その反響は大きく長い行列ができた。

そのころ、能代では、M-Vロケットの開発実験が始まった。相原君は温度班として夢中でセンサを貼り計測し報告書を作成、休む暇なく次の実験に参加した。多忙であったが、苦にはならなかった。そこには夢があった。夜はネオン街で飲むより、相原君の部屋で飲む反省会が疲れを癒してくれた。

内之浦では、タイマ班／点火管制班として観測ロケットやM型ロケットの打上げ成功で美酒に酔い、パイパー実験では点火管制装置のダミースイッチを入れ忘れてモータは点火せず、PI部が作動するというミスオペによる実験失敗で、共に悔し涙を流した苦い酒、今となっては懐かしい。

平成14年、スペースチャンバー担当を卒業し、居室を高野研に移してタイマ班チーフとして頑張っていた。

平成16年5月、足の付け根にしこりができ、虎の門病院で診断してもらったところ、1000万人に1人という特殊な



相原賢二氏

慢性白血病であるという。それから1年10ヶ月間の通院と入院による治療が始まった。

相原君は病室から、老朽化による不具合を心配し、ノルウェー実験やM-Vロケット8号機打上げ成功に安堵した1年だった。

臍帯血移植は成功し、予定通り高熱が出てきたが、病気は完治することに何の疑問も持っていなかった。

退院したら30年物ウイスキーを飲もうと、相原君と決めていた。そして、M-Vロケット7号機の打上げオペレーションに参加できると信じていた。

ところが、相模原におけるM-Vロケット7号機の噛合せ試験(タイマテスト)中の4月18日16時13分、相原君は病院で突然亡くなってしまった。まだ52歳だった。

本人の無念さは計り知れないものがある。今でもつい「相原君!」と呼んでしまい、我に返る。

「相原君、公私ともにお世話になりました。多くの実験に参加し、実績を挙げてきました。素晴らしい思い出とともに、言い尽くせないほど感謝の気持ちでいっぱいです。本当にありがとう……」

相原君のためにも、M-Vロケット7号機は何としても成功させなければならない。そして相原君の墓前で美酒を酌み交わしたい。(なかべ・ひろお)

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
相模原	SOLAR-B FM総合試験	
筑波	SELENE システムPFM試験	
内之浦	M-V-7号機 第1組立オペレーション	M-V-7号機 第2組立オペレーション
	SOLAR-B 射場作業	

(FM : Flight Model PFM : Proto-Flight Model)

浩三郎の 科学衛星秘話



「はるか」



井上浩三郎

有効口径8mアンテナの開発

世界で初めて軌道上で展開に成功した8mアンテナの開発は、大変難しい局面を何度も乗り越えねばなりません。このアンテナ開発は、プロジェクトマネージャーの廣澤春任先生のもと、高野忠、名取道弘両先生が担当されました。実際の設計・製作は三菱電機(株)と日本飛行機(株)で、三菱電機の責任者の三好一雄さんは、大変苦労した点を次のように語っておられます。

「このアンテナは三浦公亮先生の考案されたケーブルテンショントラス構造というものを使用しています。形状近似誤差を小さくするため、1辺20cmほどの三角形のケーブルで金属メッシュの反射面を支持しており、ケーブル総数は約6000本になります。これらがすべて理想的な長さででき、伸び縮みがなければ、各接点は理論通りの鏡面を形成します。しかし、現実には製造誤差があり、張力の変化、温度変化などによる伸び縮みで、理想鏡面からのずれが生じます。そのため、背面側のケーブル(これもテンショントラス構造)と接続しているタイケーブルの長さを調節することにより、鏡面精度を追い込む構造となっています。(中略)テンショントラス系は剛性の高い太いケーブルを高精度の治具を用いてできるだけ正確に作り、強固で精度の高い構造を作ります。この間を細分化するケーブルネット系は剛性の低いもので、タイケーブルによる調整が容易にできるようにし、張力も低く抑えてマストにかかる力を低減しました。このような複合構造とすることにより、何とかケーブル系で鏡面を形成する解を見いだしました。このアンテナの最大の難関はケーブル絡み防止でした。見るからに絡みそうな多数のケーブルを持つアンテナをどうやって無事展開させるか、いろいろアイデアは出たものの結

スペースV L B I 衛星「はるか」その3

局は試験をやりながら試行錯誤で作りました。そして、(1)跳ね上げ式保持プレート、(2)背面メッシュ、(3)順次展開方式を採用しました」

また、高野先生は、次のようにも語っておられます。「ちょうど設計時期に、NASAから木星探査機Galileoが打ち上げられましたが、その展開アンテナは簡単な機構にもかかわらず、展開できませんでした」。その原因は骨組みにケーブルが絡まったため、その教訓から、「伸展マストに、収縮機構を入れました。開発の初期に、展開モデルを作り、展開試験をしたところ、ケーブルが引っ掛かるため10回やっても一度も成功しませんでした。この収縮機構の対策のおかげで、ほぼ100%開くようになりました。その段階で公開して見ていただいたわけですが、大部分の人の反応は、『これは、開かないのではないかな?』でした。そのくらい難しいことだったのです」

緊張の中、大型アンテナの展開成功

「はるか」の展開型のパラボラアンテナは、鏡面は金属メッシュとケーブルからできており、6本の伸展マストで鏡面を伸展します。主反射鏡の有効開口径は8m、構造物としての最大径は10mです。

打上げから12日後の1997年2月24日、関係者は内之浦に集合し、万全の準備で展開実験に臨みました。まず副反射鏡の伸展が順調に行われ、次いで2月27日、主鏡面の展開実験を開始。この日、大部分の展開に成功して、難関を越えました。翌28日の残作業で無事展開が完了しました。

展開実験の陣頭指揮をされた名取先生は、アンテナ展開の状況を次のように記述しておられます。「姿勢に乱れが生じたとしても基本的には展開を優先することを前提に、慎重な展開手順が事前に検討されました。ノミナルケース以外のさまざまな状況への対応が、不測の事態への対応も含めて、フローチャートの形で図表化され、手順書に反映されました。(中略)オフノミナルの場合については、想定し得るケースについて多数の詳細な検討を行い、手順が確立されました」

このように万全を期して臨んだ展開実験は、緊張の連続でしたが、成功裏に終了しました。この展開で、最大の難関を越えたとき、その様子を見守っておられた名取先生が涙ぐんでおられたのが強く印象に残っています。長い間の努力と苦労に関係者と重ねてこられた末の成功だけに、その思いがこみあげてこられたことと推察致します。(いのうえ・こうざろう)



地上での最終アンテナ展開試験風景(各部分の動きを注意深く目視しながら行われました)

宇宙で最も身近な星

私たちの「太陽」

宇宙科学共通基礎研究系 助教授 清水敏文

「宇宙の○人」連載のトリは太陽です。私たちに最も近い恒星、私たち地球人や地球上生命をはぐくんできた母なる星です。太陽は、宇宙に存在する星々の中でもごくありふれた主系列星です。いわば、宇宙の「凡人」と言ってよいでしょう。しかし、地球に住む私たちにとって、学問対象としても実生活においても、さまざまな視点から非常に重要な恒星です。

天文学では、基準として太陽のパラメータ(重さなど)が用いられます。至近距離にある太陽は、表面の様子を詳しく知ることができる唯一の恒星です。いろいろな手法を用いて表面大気の姿を調べることによって、大気の構造やダイナミクスを物理的に理解し、またそこで働くプラズマ―磁場を鍵とした物理過程の詳細について知識を得ることができます。あまり知られていませんが、太陽は時とともに変化しています。太陽からのエネルギーの変動は、磁気嵐や衛星通信障害から長期的な気候変動に至るまで幅広い影響を及ぼしていると考えられ、太陽と地球のシステムを総合的に確実に理解することが急がれています。

近代的な太陽観測は、17世紀初頭のガリレオ・ガリレイによる手製の望遠鏡を用いた太陽表面の観察から始まります。太陽表面には黒いシミ(黒点のこと、図1)があり、シミが時間とともに移動していく(太陽の自転)といった基礎的なことが観測的に認知されました。それから約400年たった今日では、人工衛星を用いた観測研究が重要となっています。地球大気に邪魔されて見えない波長の光を見たり、大気の揺らぎに邪魔されずに細かな構造を見たりするためです。宇宙からの観測は、特に太陽表面の外側に存在する「コロナ」

観測に威力を発揮します。コロナ大気の温度は100万度を超え、ガスは電離気体であるプラズマの状態です。コロナではフレア(太陽面爆発)と呼ばれる短時間に爆発的にエネルギーを開放する現象が発生します。高温のコロナが放射する電磁波の大部分は、数百オングストローム以下の紫外線と、さらに波長の短い軟X線領域にある無数の輝線です。これらの電磁波は大気の吸収により地上からの観測が困難であるため、大気圏外からの観測が大変有効なのです。

1960年代に軟X線結像観測法が観測ロケットで実証されると、1973年には有人衛星天文台スカイラブ(米国)に軟X線や紫外線で太陽画像を取得するための望遠鏡が数台搭載され、コロナ画像が多数撮影されました。コロナループやコロナホールといったコロナ構造を知り、太陽表面から延びたコロナ磁場の一部が熱化されたプラズマで満たされていること(コロナ加熱)を知りました。1980年代には、フレアの発生原因の解明に多くの研究者の力が注がれます。「ひのとり」衛星や米国「SMM」衛星による硬X線観測です。フレアが発生すると、高いエネルギーまで加速された荷電粒子が発生し、またコロナ内に数千万度に熱化されたプラズマが非常に短い時間で生成されます。コロナ磁場に蓄えられた磁気エネルギーが効率よく熱や運動エネルギーに変換される物理についての研究の始まりです。

そして、科学衛星「ようこう」が1991年に打ち上げられ、フレアの研究に加え、スカイラブ以降観測されていなかったコロナ撮像観測(図2)が復活しました。打上げから10年以上にわたりコロナのダイナミックな様相について観測を続け、コロナでのプラズマ素過程の理解に大きな進展をもたらしました。「ようこう」による軟X線コロナ撮像観測は新しい学問的切り口を与え、諸外国で太陽を観測する人工衛星がいくつも誕生しました。欧米による「SOHO」衛星(1995年打上げ)、「TRACE」(1998年打上げ)、「RHESSI」(2002年打上げ)などです。米国の気象衛星「ゴーズ」には軟X線コロナを常時モニターするために軟X線望遠鏡が搭載され、常に太陽コロナ活動が監視されています。そして、打上げ迫る「SOLAR-B」衛星は、太陽コロナで起こるさまざまな爆発現象や加熱現象を太陽表面磁場情報とともに観測し、宇宙プラズマの素過程やコロナ加熱などの解明に期待がかけられています。(しみず・としふみ)

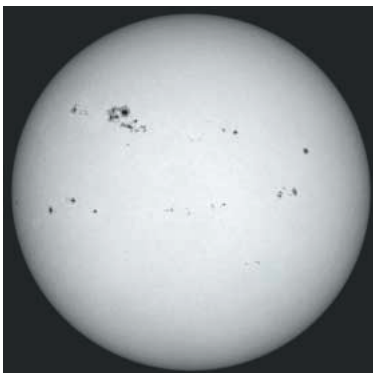


図1 可視光で見た太陽表面。黒点が黒いシミとして観測される。黒点は磁力線が集中している磁場領域である。

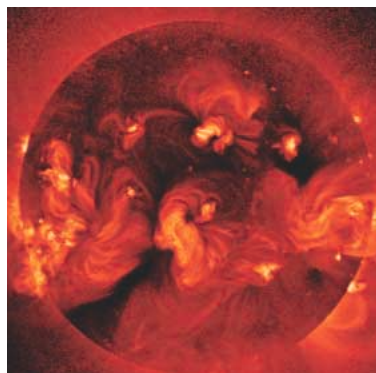


図2 軟X線で見た太陽。約60000度の温度をもつ太陽表面が黒い物体として見え、その周辺にコロナと呼ばれる100万度以上の高温プラズマが存在する。「ようこう」の軟X線望遠鏡による撮像。

怪物くん

オペラ座の

半日の会合を済ませた4月初旬日曜の午後は天気も良く、楽しい気持ちで迎えた。ウィーンは私が好きな都市の一つだ。魅力が多い上にサイズが適当、路面電車は安くて便利、ふらふらと楽しく巡ることができる。私は、音大音楽科卒の家族に影響されて、詳しいというには程遠いが、オペラに興味をもつことになった。歌劇場に赴くのが好きで、日本と比べて気楽にチケットを買えるヨーロッパでは、生で聴くチャンスがうかがっている。そして、この街にはフォルクスオペラという気楽な歌劇場がある。

私は中心部外れの歌劇場に行き、滞在中に「メリー・ウィドウ」、ウィーンでこそ見るべきオペレッタの上演があることを知り、機嫌が良かった（事前にインターネットで調べるのは、運試しの楽しみを失うだけだと思う）。そして、

本を読んで、戻ってチケットを買い、開演の7時までぶらぶら、という計画が頭に浮ぶ。

立ち見は15年ぶりだ。大学院時代、ミュンヘンで武者修行中に誘われて「フィガロ」に行った。オペラの上演時間は3時間超である。あのころは平気だったが、体力は落ちた。でも、4時から7時までホテルで休めばいいだろう、などと考えていた。

4時前に戻ると先頭から10人目ぐらい、楽勝だ。そして、4時。チケットを買ってホテルへと思ったら、なんと、少しだけ中に入り、そこで待たされることに。周囲はいすを組み立てたり床に座って楽譜を見たり、長期戦の様相である。中国人夫妻が戸惑いながら、私の後ろの少年(!?)に聞いている。彼は、5時半まで売り場は開かない、ときっぱり言った。夫妻はすぐに出て行った。さて、どうしよう？

あらためて周囲を見てみる。年配のマニア、音大生、日本人の若者、高校生のダブルデート、そして、後ろにいる少年。どういうやつだ？すると彼が話し掛けてきた。キリアン、14歳。4年前に伯母さんに誘われてからハマリ、以来、週5回の立ち見。歩いて5分のところに住み、12時まで学校、4時前にオペラ座に来て並ぶ生活。場所は天井桟敷が最高、場所をとるには……、などなど、アドバイスを受ける。ウィーンにはこういう「怪物くん」を生み出す懐の深さがあることを思い知らされながら、会話を続けた。

5時半にチケット（2ユーロ）購入、キリアンと一緒に階段を走って上る。そのまま場所確保、と思いきや、途中で止められる。列の先頭だ。6時すぎに最上階へと入場、キリアンの隣、立ち見席最前列中央を確保する。天井桟敷からのものすごい見晴らしである。

開演後のことは書くまでもないだろう。また、翌日の「メリー・ウィドウ」は難しいこと抜きにニコニコと楽しめ、カーテンコールでは自然と手拍子になった。これまた、ウィーンの、そして、欧州の懐の深さだろう。

今、ESA木星探査計画会議へと向かう機中にいる。惑星探査は、さまざまな場面で研究者の度量を問う。欧州勢との共同作業で自然と身に付けることが多いだろうと確信している。

（ふじもと・まさき）



午後4時の時点。売り場が開くまであと1時間半、入場まで2時間、開演まで3時間。

敷居の高い国立オペラ座に戻ると、今晚「アイーダ」、とポスターがある。演目は文句なしだがチケットはなかりとポスターを見ていたら、案の定、モーツァルトの衣装を着た宮殿コンサートのチケット売りが、売り切れだと言う。高額だったらどうしようという悩みがなくなったなと思いながら劇場の反対側へと回ると、4～5人が携帯用のいすや本を持って並んでいる。ピンときて聞いてみると、やはり立ち見席のための行列、4時に開くとのこと。2時間カフェで

宇宙プラズマ研究系教授
藤本正樹



パスツールの故郷 ジュラ地方の名物ワイン

水谷 仁

宇宙科学研究本部 名誉教授

『ISASニュース』編集委員会メンバーは私が下戸であることを知っているはずなので、まさか、この欄の執筆を依頼してくるとは思ってもみませんでした。下戸でもお酒の話は書けるだろうということになったのでしょうか。

さて、ISASを卒業してから、はや1年余りたちました。その間の7ヶ月間、パリ地球・惑星物理学研究所の客員教授としてパリに滞在していましたので、そのときの話でこの欄を埋めさせていただきますことにしましょう。

ご存知のように、フランスはワインの国です。研究所の食堂におけるランチでも、ワインを飲む人はたくさんいます。夕食で町のレストランに行けば、最初に出てくるのはワインのメニューです。こういう場合のワインにはピンからキリまでありますが、一般庶民はミネラルウォーターより少し高い程度のワインで我慢します。飲めない私もディナーを注文するときには、仕方がないので1杯、あるいは1本のワインを注文することになります。

ちょっと立派なレストランでは、最初の一一口を飲ませてから、「これで良いか」と聞かれます。そもそも私にはワインの良し悪しは分かりませんから、常に「これで良い」と答えることになります。しかし本当にワインの味が分かる人は、そこで「これは駄目」と言うこともあります。私が見た範囲で最高に勇気ある「駄目」を出した人は、次から次と「駄目」を言い、4回目に持ってきたワイン



白と赤と黄のワイン。真ん中の小瓶がヴァン・ジョーネと呼ばれる黄ワイン。

でやっと「良し」と言いました。3本の新しいワインが一口飲まれただけで捨てられてしまうのかと心配になりますが、多分これらは厨房で料理人に歓迎されるのでしょう。

ワインに白、赤、ロゼの3種類あるのは、皆さんご存知の通りですが、実はフランスには黄色ワインもあるのです。

恐竜の時代として有名なジュラ紀のジュラは、フランスとスイスの国境をなすジュラ山地の地層に由来するものですが、このジュラ地方の代表的なワインが黄色ワイン、「ヴァン・ジョーネ (Vin Jaune)」といわれるものです。ジュラ・ワインの集積地として有名なアルボアという小さな町の周辺でつくられています。ワイン通ならこのアルボアという地名を知っているでしょうが、私はルイ・パスツールの伝記を読んで、この町の名前を知りました。今でもパスツールの育った家が、この町に残っています。

さてヴァン・ジョーネは、この地方独特のサヴィニアン種という葡萄から特殊な醸造法でつくられます。樽貯蔵時に蒸発によって目減りした分を補充せず、最低6年間熟成させてつくるのだそう、こうなるとワインではなくて、ウイスキーのような感じですね。瓶もウイスキーを入れるような、620mlの小太りのものになっています。

「味はどう」と聞かれても、私には標準的な答えはできません。普通の白ワイン、赤ワインとはかなり違う、結構きついワインです。インターネットショップを見ると、日本でも620ml瓶が5000円程度で買えるようです。皆さん、一度試してみたらいかがでしょう。味がどうだったか、一言私までご連絡いただければ、それをもってヴァン・ジョーネの味としたいと思います。

(みずたに・ひとし)

月や惑星の中身が知りたい

固体惑星科学研究所 助教授

田中 智

——LUNAR-A計画にずっと携わってきたそうですね。

田中：1989年の能代での第4回試験から参加しています。以来十数年間、LUNAR-A計画の遂行に全力投球してきました。LUNAR-A計画は、衛星からペネトレータという槍型の装置を月の表側と裏側にそれぞれ1機ずつ打ち込み、地震波や熱流量を観測して月の内部構造を探る計画です。

——月の内部構造を調べることの意義は？

田中：アポロ計画などによる月探査で、「ジャイアントインパクト説」と「マグマオーシャン説」という月や惑星の起源と進化に関する重要なコンセプトが生まれました。原始地球に火星サイズの天体がぶつかって、その破片が集まって月ができたというジャイアントインパクト説の登場により、例えば、天王星の自転軸が大きく傾いているのもジャイアントインパクトがあったからだという説が生まれました。また、かつて月にマグマの海があったというマグマオーシャン説が出てきたことで、原始の地球や金星にもマグマオーシャンができたはずだと考えられるようになりました。このように新しいコンセプトが生まれることで、科学は一気にステップアップします。ただし、いずれの説もまだ証拠が少な過ぎて“お話”に毛の生えた程度といってよいでしょう。これらの仮説を検証するための突破口の一つとなるのが、ペネトレータによる月の内部構造探査だと考えています。

——LUNAR-A開発でのご苦労は？

田中：たくさんあり過ぎますね（苦笑）。ペネトレータは時速1000km、ジェット機並みのスピードで月面の砂の中に潜り込みます。その衝撃に耐えて装置がきちんと動くかどうかを確かめるために、ここ5～6年間はペネトレータを砂に打ち込む試験をアメリカで行ってきました。1回の試験で何機も実験することはできませんから、一発勝負です。1999年にはこれが成功したらLUNAR-Aを打ち上げることにしようという試験に挑んだのですが、一部の装置が衝撃に耐えられずに動作しませんでした。その原因を突き止めて改良を行い、2003年に再度試験を行いました。装置はすべて衝撃には耐えたのですが、一部動作に不良個所があったことと別の理由もあって、打上げが見送られることになりました。私は2回とも試験に立ち会いましたから、現場を目にして非常に悔しい思いをしました。

今年6月1日、三度目の正直で、ようやく良い結果が得られました。



たなか・さとし。1964年、京都府生まれ。名古屋大学理学研究系修士課程、東京大学理学研究系博士課程（中退）を経て、1993年、宇宙科学研究所惑星研究系助手。2001年より現職。専門は高圧力物性、地球・惑星内部構造。

一生忘れないでしょうね。もちろん、うれしかったのですが、同時に今までの悔しい思いが一気によみがえってきました。本当にたくさんの方々に、長年にわたりお世話になってきました。

——なぜ、あきらめずにやり続けてこれたのですか。

田中：信念があったからです。このペネトレータという手法が、これからの月・惑星探査において重要な柱の一つになるはずだという。月や惑星の中身はほとんど分かっていません。ペネトレータにより内部構造を探ることで、月・惑星科学にブレークスルーをもたらす新たなコンセプトがきっと生まれるはずだ。

——科学に興味を持ったきっかけは？

田中：実家が薬局をやっている影響が大きいと思います。ですから最初は化学に興味を持ち、小学校の科学部にも入りました。塩酸と水酸化ナトリウムという劇薬を混ぜると、塩という食べられるものができる実験が、すごい驚きでした。学校にあった薬品をとにかく混ぜて何ができるか調べる実験に熱中したものです。実は、爆発事故をやらかしたこともあって、今なら危なかしくてとても許してくれないでしょうけど、そのスリリングな緊張感もたまらなくて、楽しくてしょうがなかったのです。

——趣味はピアノ演奏だそうですね。

田中：幼稚園のころから続けていて、今は子供たちと一緒に演奏を楽しんだりしています。芸術と科学は共通点が多いですね。どちらも日々の地道な努力が必要で、曲を練習し続けていると突然うまく弾けるようになるのと同じように、自分の仕事の面でも、なぜだか分からないことを考え続けていると急に謎が解けるときがある。それは至福の瞬間です。日本は平和でとても幸せな国ですから、そういう至福の瞬間を味わおうと思えば、チャンスはたくさんあると思います。教育者としては、学生たちにそういう瞬間を少しでも多く味わってもらえるようにしたいですね。一度それを味わうと、いくら苦労してでもやめられなくなる。科学者としては、私にはまだ貢献したといえるミッションがないことがとても残念です。このままでは納得できない。サイエンスに自分なりに納得できる貢献がしたいんです。

ISASニュース No.304 2006.7 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。

デザイン／株式会社デザインコンビニア 制作協力／有限会社フォトンクリエイト

編集後記

去年の今ごろ、ほぼ毎日、打上げ直後の「すざく」衛星の立ち上げオペレーションをしていた。「上げたて」ほかほかのよちよち歩きの衛星を、「宇宙天文台」にする作業には、一つのミスも許されないことも多く、緊張の連続であった。10年前から続く成功と失敗を乗り越え、今、毎日、宇宙からのX線のデータがおりてくる。…祝、「すざく」一周年。
(中澤知洋)

*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