



▲三陸30周年記念式典（本文記事参照）（撮影：新倉克比古）

〈研究紹介〉

小惑星や月面の色の変化－宇宙風化作用－の解明

東京大学大学院理学系研究科 佐々木 晶

1. 小惑星の反射スペクトル

小惑星は、主に火星と木星の軌道の間にある小天体で、これまで10000個以上が発見されている。小惑星の多くは、成長できなかった原始惑星が衝突で破壊された破片であると考えられている。落下の観測された隕石の軌道を逆算すると、いずれも遠日点の小惑星帯に達するため、小惑星は隕石の供給源であると長い間考えられてきた。

1970年代になり、地上観測で小惑星の反射スペクトルが得られるようになった。0.3～2.5ミクロンという、近紫外線から近赤外線領域までの反射スペクトルは、基本的な岩石・鉱物の組成を良く反映する。小惑星の表面は、月面と同じく衝突で生成されたレゴリスと呼ばれる細かな粒子で覆われていると予想される。隕石は組成と組織から、普通コンドライト、炭素質コンドライト、エコンドライト、鉄隕石、石鉄隕石といった種類に分類されている。隕石を粉末状にした試料の反射スペクトルを小惑星のスペクトルと比較することで、

観測されている小惑星の組成を推定することができる。その結果、小惑星と隕石との間に対応関係がいくつか発見された。小惑星ベスタの反射スペクトルは、HED隕石という地球の玄武岩に近い組成を持つエコンドライトの反射スペクトルと近い。遠方の小惑星の多くは、暗く平坦な反射スペクトルを持ち、炭素質隕石に近い。

しかし、小惑星で最も多いS型と呼ばれる反射スペクトルに対応する隕石が無い。近いものは石鉄隕石という稀な種類である。一方で、隕石の大部分を占める普通コンドライトの反射スペクトルを説明するQ型という小惑星の数は、非常に少ない。そのため、普通コンドライト組成の天体の表面が、宇宙空間に晒されている間に光学的に変化して、現在のS型の反射スペクトルを持つようになると考えられた。S型の反射スペクトルは、普通コンドライトと比べると暗く、特に波長の短い紫外線や可視領域で低い。相対的に赤外域が明るくなるため、この変化は「赤化」と呼ばれる。さらに、カンラン石や輝石といった典型的な岩石構成鉱

物に特有の1ミクロンの吸収帯が弱い。

この反射スペクトル変化を引き起こす過程として考えられているのが「宇宙風化作用」である。英語では (Space Weathering) となり、超高層大気で用いられている宇宙天気 (Space Weather) という用語と紛らわしい。もともと、アポロ探査で得られた月面のソイルの反射スペクトルが、月の岩石の反射スペクトルと異なることを説明するために宇宙風化作用は提案された。大気の無い天体では、太陽からのイオン粒子 (太陽風という) や惑星間のミクロンサイズの塵が高速で表面に衝突する。特に秒速10キロ以上の塵の衝突では、微小領域の加熱・蒸発といった現象が起こる。今から25年前にHapkeは、太陽風粒子や宇宙塵の衝突により月のソイル粒子の表面に10ナノメートル程度の微小鉄粒子が形成されるため、反射率の変化が生じるという仮説を立てた。1993年KellerとMcKayは、月のソイル粒子を透過電子顕微鏡で観察して、実際に微小鉄粒子を発見した。なおMcKayは、火星隕石中に生命痕跡を発見した研究者と同一人物である。その結果、月表面では「宇宙風化作用」が働いていると信じられるようになった。図1は月面の偽カラー画像である。赤色の地域は1ミクロンの吸収帯が弱く反射スペクトル全体が赤化している部分である。青色の地域は赤化が弱い地域で、主に、新鮮な衝突クレーターとその放出物に対応する。時間が経過した古い表面ほど反射率の赤化は強い。

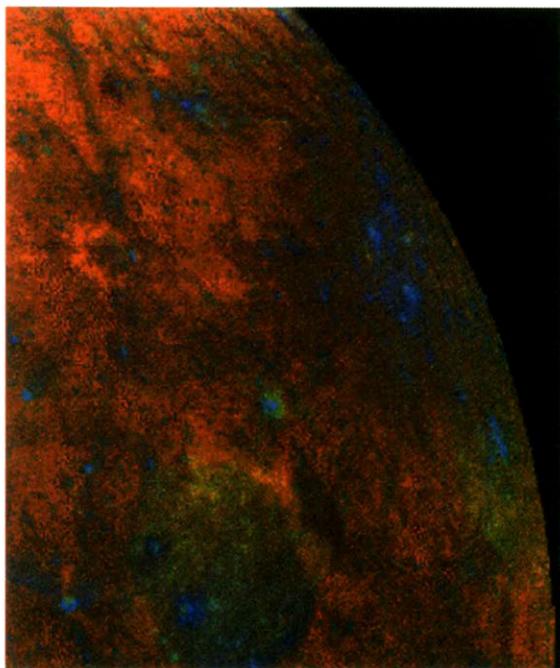


図1 月面の偽カラー画像。赤い地域は反射スペクトルの赤化が大きく、宇宙風化作用を受けた地域と考えられる。青い地域は、赤化が弱く1ミクロンの吸収があり、比較的新しい表面である。

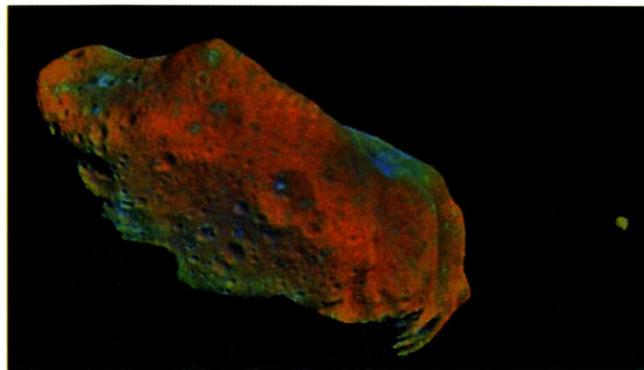


図2 小惑星イダとダクティルの偽カラー画像 (ガリレオ探査機のデータより)。色は図1とほぼ同じ。

図2はS型小惑星イダ (および衛星ダクティル) の偽カラー画像である。青色は1ミクロンの吸収帯がはっきりして普通コンドライトに近い反射スペクトルを持つ領域で、やはり新鮮なクレーターや衝突による放出物が占めていると思われる地域である。S型小惑星でも、もともとは普通コンドライトの反射スペクトルを持っていることが示唆される。またNEAR探査機が小惑星エロスを調査した結果、X線分光で測定された化学組成は普通コンドライトに近いことが明らかになった。

ところが、小惑星では「宇宙風化作用」に異を唱える研究者が少なからず存在する。普通コンドライトに対応する小惑星は「観測にかからないほど小さい」か「木星との共鳴軌道付近に多いため地球に供給されやすい」といった考えがある。実際に、隕石中には、月のソイルで発見されたような鉄微粒子は確認されていない。また月試料でさえ、微小鉄粒子とスペクトル変化との直接の関係は、これまで確認されていなかった。月のソイルに多く含まれるガラス質物質も反射スペクトルを暗くする効果があるため、ガラス化が「宇宙風化作用」の主な原因であるという考えから多くの研究者はなかなか抜け出せなかったのである。

2. 宇宙風化作用のシミュレーション実験

ここ数年、私たちはダスト計測器の較正実験のため、これまでイオン用のバンデグラフ加速器をダスト用に改良して、ダストの超高速加速の実験を東海村の東京大学原子力研究総合センター重照射施設で行ってきた。これまでに秒速10キロ以上のダスト加速には成功している。このダスト加速器を使えば宇宙風化作用を直接シミュレーションすることが可能ではないか。しかし、物質の表面を変化させるに必要な数十万個のダスト照射はまだまだ困難である。そのためダスト衝突による加熱をパルスレーザーにより模擬する実験を行っ

た。ミクロンサイズの微小ダストの衝突現象を再現するためには、パルスの幅を衝突の時間スケールに対応するナノ秒に押さえなければならない。1パルス当たりのエネルギーは1-30ミリジュールのナノ秒パルスレーザーで、ビーム径を1ミリ以下のサイズに絞れば単位面積に与えるエネルギーは、微小隕石衝突と同等になる。

小惑星や月表面は、レゴリスと呼ばれる衝突で生成された粉体で覆われている。そのため、一度粉碎して75ミクロン以下にした鉱物粒子をペレット状に固めたものを試料とした。レーザー光を均質に照射するために、窓付きの小型真空チェンバーを製作して、チェンバー全体をXYステージの上に載せた。レーザーのビームを振るのではなく、ターゲットを動かすことで均質な照射を実現した。パルスレーザーを照射したあとの惑星構成鉱物試料の反射スペクトルの変化を測定した。宇宙開発事業団筑波センターの分光測定装置を利用し、紫外領域の0.25ミクロンから赤外領域の2.5ミクロンまでの反射率を連続的に測定した。

図3にはレーザー照射によるカンラン石のスペクトル変化を示してある。左側は反射率の絶対値である。レーザー照射とともに、特に波長の短い領域での反射率の低下が目立つようになる。図4は、550ナノメートルの値で規格化した反射率で、2つの小惑星データも一緒に載せてある。アエテルニタスの反射スペクトルは、カンラン石にレーザーを照射したサンプルの反射スペクトルでよく説明できる。同様に輝石に照射した場合でも、一部の小惑星の反射スペクトルを説明できる。この模擬実験により、普通コンドライトからS型への反射スペクトルの変化は、ほぼ再現できる見通しがたった。さらに、カンラン石の方が輝石よりも変化し易いという結果から、宇宙風化作用には組成依存性があることを明らかにした。

3. 電子顕微鏡で鉄のナノ微粒子を発見！

照射後の試料を顕微鏡で観察すると、表面の鉱物粒子の周囲が褐色に変色している。また、解像度が1ミクロン程度の電子顕微鏡観察では、蒸発で形成されたような、小穴が表面に多く見られる。しかし、色の変化の原因が、蒸発に伴う変成なのか、再凝縮に伴う変成なのかはわからない。微小スケールで起きた現象を調べるため、レーザー照射を行ったカンラン石微粒子を透過型電子顕微鏡で観察した。照射試料から色の変化している粒子を取りだしてエポキシ樹脂に埋め込み、それをマイクロトームというカッターで厚さ0.1ミク

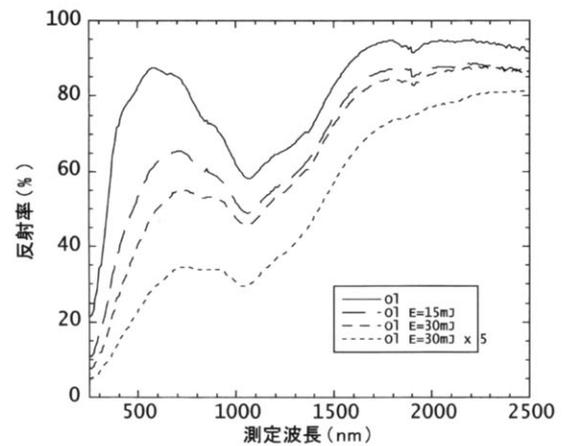


図3 パルスレーザー照射によるカンラン石試料の反射スペクトルの変化。測定波長は250~2500ナノメートル。未照射試料の反射スペクトルは実線。パルスレーザー照射（15ミリジュール1回、30ミリジュール1回、および30ミリジュール5回）照射後の反射スペクトルは点線。パルスレーザー照射により、反射スペクトルが大きく低下して、その効果が短い波長ほど大きいため、反射スペクトルが赤化している（傾きが大きくなる）ことがわかる。

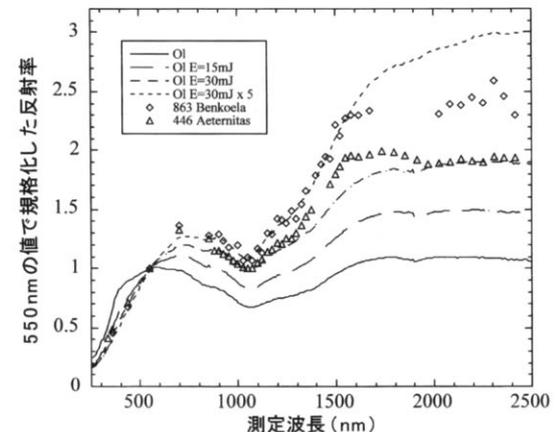


図4 図3の反射スペクトルを、天体観測で得られた小惑星のデータと比較するために550ナノメートルの値で規格化したもの。小惑星アエテルニタスの反射スペクトルと30ミリジュール1回照射後のカンラン石の反射スペクトルがよく一致している。

ロン（100ナノメートル）以下の非常に薄い膜に切断して観察を行った。この実験のために宇宙塵の電子顕微鏡観察で実績のある、神戸大学の中村圭子氏に研究グループに加わっていただいた。

カンラン石粒子の周囲には数百ナノメートルのアモルファス物質の外縁部が形成され、その中に多数の数十ナノメートルの微小粒子が存在する。Kellerにより月のソイルで観察されたものと非常に良く似ている（図5）。月のソイルでも、鉱物粒子の外縁部のアモルファス層の中に鉄微粒子は存在している。さらに電子ビームを絞りこみ、ナノ微粒子1つ1つの構造解析を行った。その結果、0.204ナノメートルの格子間隔が確認され、体心立方構造の鉄の結晶であることが確認された（図6）。私たちの実験ではレーザー照射を複数回（5-20）行っているため、アモルファス層が2重になっ

ている場合もある。さらに鉄微粒子に成長構造が見られるものもある。これより、レーザーにより蒸発した物質が凝縮するときに鉄のナノ微粒子を含んだアモルファス層を形成すると考えられる。

4. 宇宙風化作用の意義と応用

宇宙風化作用を説明する反射スペクトルの変化と、微小鉄粒子の生成を直接結びつけたという私たちの成果への反応は大きく、特に宇宙風化作用を支持してきた研究者は、決定的な証明であると位置づけてくれた。主要な結果は、本年3月のネイチャー誌に掲載された。これまで実験惑星科学の分野では、隕石中に未知の物質を発見したという論文は多いが、模擬実験の結果が掲載されたのは珍しい。それだけ私たちの研究成果を高く評価してくれたものと考えている。

私たちはカンラン石結晶を磨いたものにレーザー照射を行った試料も分析した。この場合は、照射時に蒸発の起きていることは確認されているが、肉眼での色の変化は認められていない。透過型電子顕微鏡での観察でも変化は確認できなかった。粉末/ペレット試料ではレーザー照射に伴う蒸発のときに、凝縮できるターゲット（すなわち他の粒子表面）がすぐそばにあるため、その表面に鉄微粒子を含んだアモルファス層を形成したと考えられる。これを小惑星に当てはめると、表層のレゴリス層の存在が宇宙風化作用にとっては重要であると予想される。サイズが小さくレゴリス層がない小惑星では、ダストの高速衝突で蒸発した物質は凝縮できずに逃げてしまうため宇宙風化作用は弱い可能性がある。宇宙科学研究所のMUSES-Cのターゲット天体1998SF36は数百メートルと小さいため、衝突エジェクタが散逸してレゴリス層が存在しない可能性もある。そのため小惑星分光カメラAMICAや赤外分光器NIRSによる観測で、赤化や1ミクロンの吸収帯の程度を調べることは重要である。

惑星表面物質の組成を調べるためには、リモートセンシングにより紫外領域から赤外領域までの反射スペクトルの取得が重要である。しかし、表面の反射スペクトル（色）がわかったとしても、宇宙風化作用の効果を正しく除去しなければ、表面の組成を得ることはできない。日本の月探査、火星探査、水星探査で得られる分光データの解釈にも、宇宙風化作用の見積もりが不可欠である。今後は、反射スペクトルがどのように変化するか、様々な鉱物種を使って、また同じ鉱物でも鉄の存在度の異なる試料を使って、調査したい。また、実際の多種多様の隕石試料を使った模擬実験も

計画している。これにより、宇宙風化作用の効果を取り除く方法を確立したい。

また、天体表面の組成が同じであるときは、宇宙風化作用の度合は表面が宇宙空間に晒されていた年代を表すことになる。これまで、天体表面の年代を知る手段は、（サンプルリターン以外は）探査機観測ではじめてわかるクレーター密度が唯一のものであった。宇宙風化作用の度合は、望遠鏡による地上観測でも天体全体の平均値として推定することができる。今後は、小惑星などの相対年代の統計的な議論が可能になり、小惑星の起源の解明にも役にたつであろう。

私たちのグループでは、表面の反射スペクトルデータを混乱させるもう一つの要因、ダストによるコーティングについても研究をはじめている。火星では砂嵐などでダストが巻き上げられるため、表面の大部分は細かなダストに覆われている。そのため、リモートセンシングでも、着陸した直接観察でも、単に撮像しただけでは表面や岩石の正確な組成情報を得ることができない。ダスト層が厚いときは、隠された岩石の組成を調べることは不可能だが、光学的に薄いときは可能と考えている。（ささき・しょう）

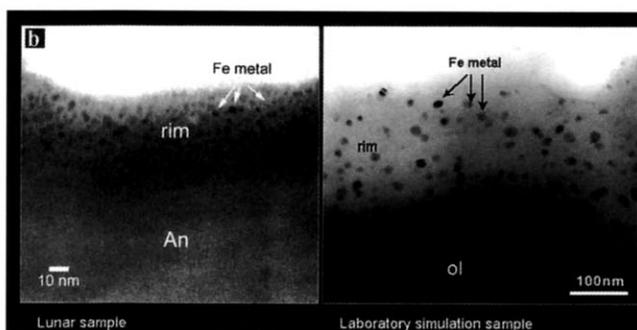


図5 レーザー照射を行ったカンラン石粒子の表面に生成した金属鉄微粒子（右）と、月面のソイルに見られる金属鉄微粒子（左）の比較。一つ一つの微粒子のサイズや形、存在形態は良く似ている。

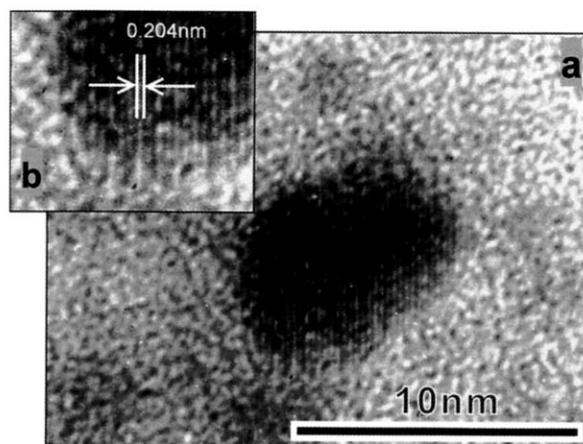


図6 鉄の微粒子の高解像度の透過電子顕微鏡写真。結晶構造を反映した格子の面間隔が現れている。

お知らせ



★ロケット・衛星関係の作業スケジュール（6月・7月）

	6月	7月
相模原	MUSES-C 噛合せ試験 (~7月初旬)	
		MUSES-C 単体環境試験/カプセル機器別単体環境試験 (~8月)
		SOLAR-B PM噛合せ試験 (~8月)
	INDEX PM電気試験/姿勢系試験	
能代	再使用ロケット離着陸実験(RVT-6) 8 22	
	模擬ジェットエンジン燃焼制御試験 12	M-25 TVC-1 地上燃焼試験 29 17
三陸	第1次大気球実験 6	
	ペネトレータ貫入試験 サンディア:アメリカ 9	

★宇宙科学研究所一般公開

日 時：平成13年8月25日（土）午前10時～午後4時30分
 場 所：宇宙科学研究所相模原キャンパス 神奈川県相模原市由野台3-1-1
 公 開：ロケット・衛星模型展示，各研究プロジェクトの紹介
 ミニミニ宇宙学校，映画上映，水ロケット作成・実演，他
 問合せ先：宇宙科学研究所庶務課企画・広報係
 TEL：042-759-8008（ダイヤルイン）

★シンポジウム

アストロダイナミクスシンポジウム
 開催日：7月18日（水）～19日（木）
 場 所：宇宙科学研究所本館2階会議場・1階入札室
 問合せ先：宇宙科学研究所研究協力課共同利用係担当 TEL：042-759-8019（ダイヤルイン）



★NAL735地上燃焼試験について

航空宇宙技術研究所（NAL）は超音速輸送機プロジェクトを推進しており，平成13年度末にはオーストラリア・ウーメラにて無推力小型実験機を用いたロケット実験を計画している。その際に使用されるロケットは開発期間および価格の両面から，既存のロケットから選択することになり宇宙研のSB-735に白羽の矢が立てられた。しかし，推力パターン，推進薬，ノズルなどに変更点があるために燃焼試験の実施が不可欠となり，今回宇宙研の能代ロケット実験場で行われる運びとなった。本実験はNALと宇宙研の共同研究と位置付けられ，両機関の職員が協力してオペレーションを行った。共同でロケット燃焼試験を行うのは昭和52年にNALの角田

宇宙推進技術研究センターで行われたKM-B以来24年振りのことだったが，宇宙研の実験班員の中でその時の実験を経験した人間が2人しかおらず，ここ数年で大量の技官の方が退官されたことを思い起こさせられた。

燃焼試験は諸般の事情により，2月23日～3月8日という厳しい寒さの中で行われたが，幸い屋外作業が少ないということもあり準備作業は「日程的には」順調に進んだ。燃焼は3月7日に行われ，成功裏に終了し，多くの貴重なデータを取得することができた。

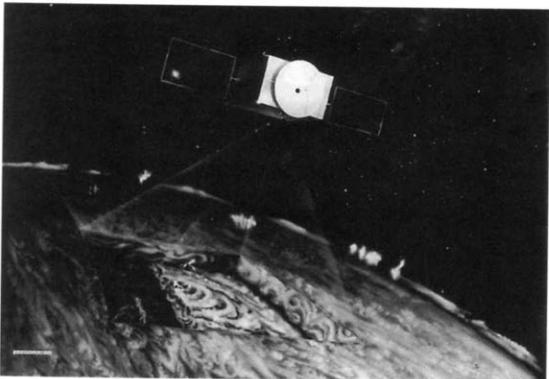
この共同研究計画は，次の無推力試験機飛翔実験終了まで継続する。今回の成功は，今後のNALの超音速機の開発のみならず両機関連携プロジェクトの萌芽にも好影響を与えるものであると確信する。

（堀 恵一）

★金星探査計画，理学委員会で承認される

470℃，100気圧の高温，高圧。高速で回転する（超回転）大気。厚い硫酸の雲。地球とほとんど同じ大きさ，質量を持ちながらその環境は地球と大きく異なる金星。神秘のベールを纏って美しく輝くヴィーナス。5月10日に開かれた理学委員会で金星探査計画は宇宙科学研究所の計画として承認されました。本探査計画の主目的は金星大気超回転の謎に迫ることであり，このために雲の動きを数種類のカメラで写真撮影します。いわゆる気象衛星‘ひまわり’の金星版です。この他に探査機から送信する電波を使って，灼熱の炭酸ガス大気的气温も測ります。副産物として活火山および雷の有無を確認できるでしょう。カメラ以外の観測器も搭載して，大気が金星から逃げてゆく様子も詳しく調べたいと思います。重量約650kg（うち燃料約320kg）の探査機は2007年2月に打上げられた後，2008年6月に地球をスウィングバイして金星に向かいます。2009年9月の金星到着後は，お茶の間に地球のひまわりの画像と共に金星の雲動画をお届けできると思います。現在，世界中で7つ以上の探査計画が議論されておりますが，これらが実現すると，日本の探査機とお互いに補い合いながら研究をすることになっています。日本の優れた大気力学理論も武器にして私達がこの分野でリーダーシップをとれると期待しています。

さて今後の予定ですが，まず来年度からこの計画をフルにスタートできるように，政府へ予算をお願いしなければなりませんし，金星探査計画を軸にして，宇宙科学への国民の協力と理解を得るための広報活動も積極的に行う必要を感じています。本年10月には国内外の金星研究者を集めて宇宙科学研究所で，文部科学省の国際シンポジウム開催費用による国際金星ワークショップを開くことになっています。（小山孝一郎）



分厚い金星大気を赤外線ですべて的に透視する探査機の想像図。この絵では，明け方の上空から渦巻く雲や雷や地表面を観察しています。雲は毎秒100メートルという暴風に押し流されています。雲海の彼方の白い噴水のようなものは雷雲と電離層をつなぐ放電現象です。金星の縁で水平にたなびいているのはオーロラや大気光（大気が化学反応で発光する現象）です。

★KM-V2-1真空燃焼試験

平成13年5月21日，MUSES-CのキックモータKM-V2とほぼ同一仕様のフルサイズ試作1号機KM-V2-1の真空燃焼試験が，能代ロケット実験場において実施された。開口比30の位置でノズルを切断されたKM-V2-1は，145hPaに減圧された真空槽内に設置され，水冷式大気開放型拡散筒から燃焼噴流を噴射しながら予定通り約90秒間燃焼した。点火時刻は10時30分で天候・風向共に申し分なく，着火・燃焼は正常で，計測・光学ともに良好なデータ・記録が取得された。詳細評価は今後の分析結果によるが，新たに採用された3D-C/C製のノズルスロートインサートの焼失度合いは期待通り小さく，高い熱構造安定性を窺わせるものだった。投棄型後方着火点火器の着火特性も予想どおりだった。写真は点火直後の光景で，写っている前方への飛散物は投棄型点火器によるものである。燃焼終了後，防火・安全性を高めた新作業着を着用して消火作業にあたるノズル消火班の姿が印象的だった。

（嶋田 徹）



★三陸30周年記念式典

5月17日に三陸大気球観測所の開設30周年を記念する式典が行われました。三陸大気球観測所は，わが国における大気球観測のための恒久的な基地として，1970年度に建設され，1971年に開所しました。1971年から昨年2000年までの30年間に340機をこえる大気球を放球してきています。式典は雲一つない晴天のもと，新緑に囲まれた観測所で行われ，地元関係の招待者を中心に，およそ40名の方々が出席されました。第一次大気球観測実験の実験班員約20名も式典に参列しました。松尾所長から，大気球観測事業への長年の協力を謝する挨拶があり，次いで，佐々木菊夫三陸町長から，30年の成果を祝し，今後への期待をこめた祝辞を頂きました。研究所からは三陸町，ならびに大気球観測事業に協力を頂いた企業各社へ，感謝状を贈呈しました。

さらに式典では，西村 純先生に記念の講演をして

頂きました。三陸大気球観測所が出来までの経緯に始まり、1954年の鳥取県米子市でのポリエチレン気球の放球まで遡るわが国の大気球の歴史、そして三陸での大気球観測の成果など、歴史的な写真を数多く示されながらのお話は、列席の方々に深い感銘を与えるものでした。
(廣澤春任)

★連携・協力の推進に関する「運営本部」について

去る4月6日、宇宙科学研究所、航空宇宙技術研究所、宇宙開発事業団は、宇宙科学技術活動の研究活動を、効率的かつ確実に実施することを目指した連携・協力の円滑な推進を図ることを目的とした協定を締結し、その実務を遂行させるために「運営本部」を共同で設置した。あろう事か私が本部長の重責を仰せつかり、永安正彦航空宇宙技術研究所理事と吉川一雄宇宙開発事業団理事が副本部長に就任された。また、4月25日には運営本部事務局が宇宙科学研究所相模原キャンパスに開設された。

運営本部の行う最重要事業は「融合プロジェクト」と呼ばれる共同研究であり、本年度は「信頼性向上共同プロジェクト」と「エンジン中核研究開発プロジェ

クト」の2プロジェクトを実施することとしている。レベルの高い共同研究が効率的に実施されるよう、各融合プロジェクトには当該分野に関する高い学識又は深い経験を有する方々からなる「プロジェクト推進会議」を置き、これを主宰する「マネージャ」が中心となり研究実施計画の立案、研究チームの編成を含めて共同研究を統括することとしている。信頼性向上共同プロジェクトには宇宙科学研究所上杉邦憲研究主幹、エンジン中核研究開発プロジェクトには航空宇宙技術研究所の冠昭夫角田宇宙推進技術研究所長がそれぞれマネージャとして選任された。更に、現時点では「3機関連携情報インフラの整備」、「人的交流に関する制度整備」、「衛星追跡地上ネットワークの連携」の実務を行うワーキンググループと、「将来輸送系システム」に関する融合プロジェクトの検討を行うワーキンググループが設置されている。

新しい試みであるので、戸惑いや手探りも少なくないが、4月25日の第2回運営本部会議で本年度の実行計画が策定され、3機関のみならず、全国の大学、研究所、関係メーカの第一線の研究者、技術者を中心とした共同研究等がスタートしている。(小野田淳次郎)

前所長・西田篤弘先生に学士院賞

1. 第41回東レ科学技術賞「磁気圏の構造とダイナミックスの研究」
2. ヨーロッパ地球物理学学会「Hannes Alfvén Medal」
3. 学士院賞「地球磁気圏の構造とプラズマ対流に関する研究」

前所長の西田篤弘名誉教授(現、日本学術振興会監事)は表記の賞を立て続けにご受賞されました。更に(旧聞になりましたが)昨年春のアメリカ地球物理学学会にも招待され、"The Earth's Magnetotail: Its Formation, Internal Dynamics, and Kinetic Properties"と題する記念講演(Van Allen Lecture)をなさいました。この講演の由来のVan Allenは有名な放射線帯の発見者で、現在もアイオワ大学にいます。また、ヨーロッパ地球物理学学会賞に付けられたHannes Alfvénは電磁流体力学/プラズマ物理学の基礎を築いてノーベル物理学賞を受賞した学者で、1997年に設けられた賞です。西田先生が5人目の受賞者になり、日本人としてはもちろん初めてです。東レ科学技術賞はこれまで本研究所の先達の先生方、(故)小田稔先生、(故)大林辰蔵先生、高柳和夫先生、田中靖郎先生も受賞されておられる大変名誉ある賞です。さて殿軍に控えた学士院賞は、いわずと知れた大変名誉ある賞で、1911年(明治44年)から毎年、学術上特にすぐれた研究業績に対し贈られているものです。1990年(平成2年)からは天皇・皇后両陛下の行幸啓を仰いで挙行されてい

ます。今年度は6月11日に行われました。学士院賞も本研究所関係ではこれまで小田先生と田中先生が受賞されています。いずれも、先生ご自身の長年にわたる磁気圏物理学における研究成果と指導性、特に、先生が強力なリーダーシップを発揮されて実現した日米共同プロジェクトの「GEOTAIL」衛星による成果が国際的にも高く評価され、日本が宇宙空間プラズマ物理学の分野で高い水準にあることが認められたものです。この分野の衛星プロジェクトを推進してきた本研究所にとっても大変よろこばしい事です。(向井利典)



5月14日から17日にかけてフランスの海外県の一つレユニオン島で無線送電(Wireless Power Transportation)に関する国際会議である第4回WPT' 01が開催されました。フランス、ドイツ、カナダ、米国、日本、ロシアから約40名が参加し、一般講演に加え、実際に無線送電が検討されている現地訪問、第一回レクテナコンテスト、ラウンドテーブルなどプラクティカルな内容でした。

まず、レユニオンの紹介をしたいと思います。レユニオン島はマダガスカル島の東約800km、モーリシャスの南西約200kmのインド洋に位置する火山島です。海岸部は熱帯気候に属し、標高3000m程度の山岳部やいまでも活動し十年毎くらいに噴火している火山がある風光明媚なところですが、主産物であるさとうきび畑が点在し、バナナも特産品の一つです。人口は70万人弱、観光に力を入れているようですが日本からは年に数えるほどのこととされています。環インド洋文化圏というのかインド、マレー系らしい方が多く、また、各地の民芸品が売られています。ホテルの外ではコミュニケーションは難しく食事をするにも一仕事でしたが、cuuryが代表的な料理の一つでした。

レユニオン島では1994年からCNES及びレユニオン大学等を中心とした地上での無線電力送電計画があります。候補となっている場所はGrand-Bassinの谷あいの小さな村です(写真参照)。現在は20名ほどの住民が昔ながらの生活を送っており、無線送電は景観を損なわずにゲストハウスやレストランなど観光客用に最低限の電力を供給する有力な方法として検討されています。村の近くに受電アンテナであるレクテナを目立たないように設置し、写真手前の斜面の中腹から700mほど隔てて約10kWの電力を送電する計画です。村の中央の少し大きな建物は80年代までは学校として使用されていましたが、今はデモモデルが置かれWPTの展示場と成っています。現在、世界で唯一の実用的な無線送電計画であり、今回WPT'01が開催された理由の一つでもあります。

一般講演では、太陽発電衛星(SPS)に関する話題を中心に、マイクロ波やレーザーを用いたエネルギー送電に関する要素技術、SPS研究の最近の動向やSPS実現のためのロードマップ及び試験衛星計画、無線送電の地上及び宇宙利用等に関して講演及び議論が行われました。米国の研究開発シナリオについては、NASAのMankins氏が無線送電の宇宙利用に関して、組織や



短期、中期、長期シナリオなどを報告されました。米国の構想は商業的なSPSの実現だけではなく月探査や開発及び火星を始めとした惑星探査計画への応用をも含む壮大なものでしたが、短期計画に関してはこの10年以内の間で100kWクラスの試験衛星の実現が目標とされています。我が国のSPS研究開発の現状に関しては、90年代の宇宙研を中心とした研究グループの活動や最近の経済産業省(METI)やNASDAの取り組みについて高野先生が明快に報告されました。現在、NASDA、METIともにこの数年の期間で数100kWクラスの試験衛星を目指しているようであり、短期シナリオに関しては米国と同等の歩調を期待できます。SPSに関しては従来どちらかといえば概念検討と研究室レベルの小規模な実験が主であり、エネルギー送電に関する宇宙実験については我が国の83年のMINIXや93年のISY-METS二つのロケット実験のみでしたが、最近の試験衛星に関する内外の動向は大変楽しい状況です。

また、ラウンドテーブルでは周波数の割り当てや環境や安全性に関する問題、国際協力による発電衛星の運用組織や形態など技術面以外の観点から無線送電を実現していくために取り組むべき課題が議論されました。

第一回レクテナコンテストでは、通総研の藤野さんが優勝し、日本のこの分野における先進性が十分示されました。

下記アドレスのホームページでGrand-Bassinプロジェクトや今回の会議の様子が紹介されています。興味のある方はご覧ください。http://www.grandbassin.net/

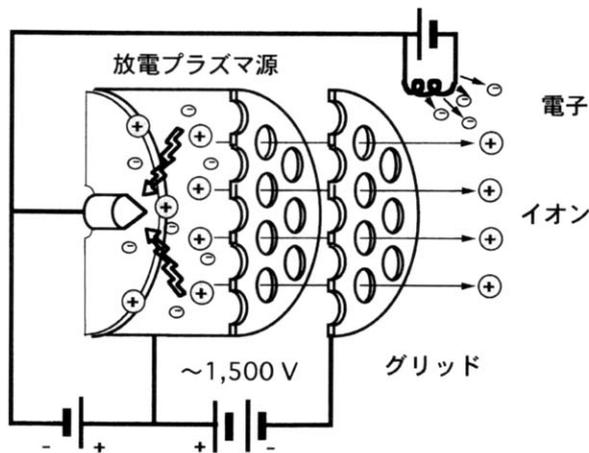
(たなか・こうじ)



電気推進ロケット

都木 恭一郎

電気推進の概念は、古くは1900年代初頭にまで遡り荷電粒子を電氣的に加速してロケット推進にしようというものであった。最初に具体的なイメージを描いたのは放電管の中で高速イオンが加速され飛散するのを観察した米国の液体ロケットの父ゴダードであろう。1906~1912年当時の彼のノートが発見されている。幸山の百匹目の猿ではないが同時期にドイツのオーベルトが電気推進の教室実験を行っておりそれは彼の有名な宇宙航行の教科書にも記されている。1890年代のロシアのツィオルコフスキーに電気推進のアイデアが無かったとも思えないが記録が残っていない。



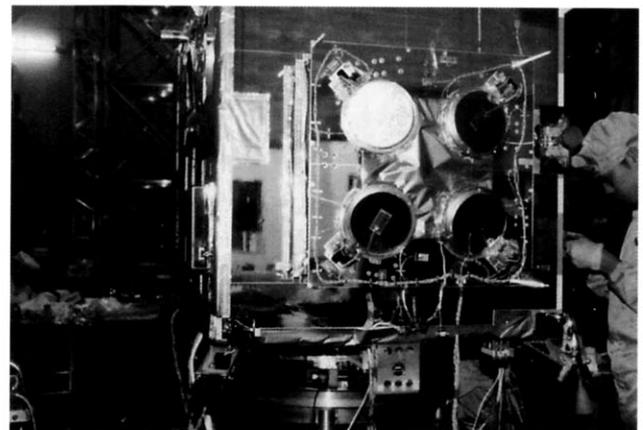
荷電粒子の静電加速（イオンエンジン）のアイデア

電気推進の概念は電力を推進剤に与えることで反動推進としての反力を得ようという一種の外燃機関であり化学推進ロケットのように比推力が推進剤で決まるという制約が無い。従って遥かに長時間の噴射ができる。しかし推進剤は厳に必要であり、電気さえあればいくらでも推力が出るなどという奇怪な空想をすべきではない。また、電力を推進パワーに変換するため、発生する推力もまた得られる電力に見合ったものである。化学推進のように地上から打上げるロケットが発生する何百トンという強大な力を出すものでないことは言を待たない。打上げロケットの発生出力を電力に換算すると何ギガワットと言うような発電所顔負けの値である。しかし現状では宇宙で得られる電力はキロワット程度であるから発生推力も数十mN程度と微小である。そのため電気推進は打上げを始めとする重力損失の大きな局面では使用されず、またプラズマを介

したエネルギー変換機構の故に大気中でというより真空の宇宙空間で使用しようとするのが自然である。

電気推進のアイデア発祥から百年近い歳月が流れた1995年、宇宙研の電気推進システムがSFU衛星に搭載され宇宙での推進機能立証試験に成功した。これはMPDアークジェットと言う電磁加速型の電気推進であったが地上で行った耐久試験も含め、開発者はこの成功によって大いに自信をつけさせて頂いた。この頃から電熱加速型や静電加速型の電気推進の実用静止衛星への搭載が世界規模でクローズアップされるようになって来たが実用衛星ばかりでなく科学探査の分野でもいよいよ本格的に電気推進を利用しようという先駆けが米国のDS-1、そして宇宙研が2002年の打上げを目指すMUSES-C小惑星探査ミッションである。ここではイオンエンジン（IES）と言う静電加速型の電気推進を用いる。マイクロ波放電とカーボングリッド採用によって長寿命化が図られており既に耐久試験18,000時間を無事に終了した。発生推力は1台当たりグリッド有効径10cmの最大約8mN（同時運転は3台で約1kW）で比推力が3,000秒と化学推進の一桁上を行くため推進剤が大幅に節約され、地球軌道から小惑星までの往復約4年間の主推進を担う。推進剤となるXeは最大73kgを積み込み、電気推進システムのドライ重量目標は約62kgである。ともあれ、現在はこの電気推進のフライト品の試験が粛々と行われている真っ最中である。皆さんがこのミッションの成功を固唾を呑んで見守って下さることを祈りたい。

（とき・きょういちろう）



MUSES-CのPM熱真空試験モデルとIES（正面）
（清水幸夫氏撮影）



水ロケットと五月祭から未来へ

久保田 弘敏

4月の末、大阪府立大学高橋克忠教授のお世話で、子供向け理科実験教室「水ロケット体験学習」を関西文化学術研究都市で開きました。当地にはKVC（けいはんなベテランズサークル、6月から「けいはんな文化学術協会」として法人化）という団体があり、高橋教授はその事務局長をつとめておられます。KVCには、元大学教授や企業の技術部長を退職された方等が参加されていて、地元の科学技術振興に貢献しています。私自身は、岩手県遠野市での「コスモキャンパス」で子供達と一緒に水ロケット打ち上げをしたことはありますが、心許ないので、私どもの大学の学園祭「五月祭」で水ロケット打ち上げを企画していた学生のリハーサルを早めにやってもらって、自信をつけました。当日までに、KVCや府立大の学生の方達が準備してくれていて、当日は小雨でしたが、国際高等研究所のご好意で、そのきれいな中庭で打ち上げをすることができました。KVCでは圧力計付きの空気ポンプを用意してくれていましたので、空気圧と水の量を変えるとどういう飛び方をするかを考えるという教育的効果を発揮することもできました。子供達の生き生きとした嬉しそうな顔がとても印象的でした。この中から、将来の宇宙活動を担う若手が育ってくれば、という実感がありました。息子が小学生のときにPTA会長を3年間勤めたことがあります。そのときに子供達と遊んだ記憶が蘇って来ました。ただ、聞くところによると、水ロケットは小学校の学習指導要領から外れたということで、非常に残念な気がします。

私達の大学では、5月下旬に上記の「五月祭」が開催されます。これに参加する企画は、専門課程に進学してきたばかりの3年生が主体的に行い、教官はいろいろな形でサポートしています。今年の3年生は特に熱心で、自分たちが調べたものだけでなく、各研究室での研究成果等の展示もしたいと申し入れて来ました。私はすぐに賛成して、風洞試験模型や結果の図表、説明文等を渡すと、彼らは徹夜でそれをパネルにしました。当方の説明を聞いただけでポスター発表ができて

しまう学生の能力も大したものです。

さて、このような若い世代の意欲に比べて、私たちおとなはどういう努力をしているのでしょうか。昨年12月に宇宙開発委員会で「我が国の宇宙開発の中長期戦略」が策定されました。私もそこに参加しましたが、それが、省庁再編に伴って設置する「総合科学技術会議」でどう生かされるか、が議論の大きなポイントの一つでした。同会議は日本の科学技術政策の立案と総合調整を行う場として、重要な役割をもっています。ただ、宇宙開発の戦略がそこでどのように取り上げられるかがよく見えません。首相が「宇宙開発を推進する」と言うような環境なら良いのですが。大切なことは口だけでなく、技術力を高めて社会への説得性を持つことでしょう。そして、「総合科学技術会議」等へ私たちの意見をインプットしてゆくことでしょう。

私は宇宙インフラストラクチャのキーである将来型宇宙輸送システムの実現を強く希っている者の一人ですが、その研究開発に対しては、ISAS, NAL, NASDAの3機関を中核にして、企業、大学を含めた全日本的な体制が必要であることを痛感しています。特に、大学の果たす役割が大きいことは誰もが認めていることです。そこで、全国の大学を6つのブロックに分けて、ブロックごとの具体的な研究開発体制を作り上げることにしました。この中で、研究開発を加速し、飛行実証を通して実機を作り上げる実力をつけなければなりません。「けいはんな」で会った子供達や、若い学生達に期待して、可能な限りの努力によって、私たちの希望を未来の宇宙活動につなげたいと思います。

(東京大学大学院工学系研究科 くぼた・ひろとし)



梅雨の季節がやってきました。食べ物やカビに注意しなければなりません。折しも、エアコンのフィルタの交換が行われています。ドライにすると部屋が快適になります。発明者に感謝しつつ編集完了です。(久保田)

ISASニュース

No.243 2001.6

ISSN 0285-2861

発行：宇宙科学研究所(文部科学省) ☎229-8510 神奈川県相模原市由野台3-1-1 TEL 042-759-8009
The Institute of Space and Astronautical Science

◆本ニュースに関するお問い合わせは、上記の電話(庶務課法規・出版係)までお願いいたします。(無断転載不可)
*なお、本ニュースは、インターネットでもご覧になれます (<http://www.isas.ac.jp>)。