



RVT (再使用ロケット実験機) 第3次離着陸実験の様子。  
「ISAS事情 RVT 3回にわたって飛翔」参照。

宇宙科学最前線

# 磁気圏ダイナミクスの新しい見方

藤本正樹

東京工業大学大学院理工学研究科助教授

## 磁気圏という宇宙空間

宇宙空間といえば、「そこは真空である」というのが、まず頭に浮かぶイメージではないでしょうか。実際、地表からどんどん高度を上げていくと、空気はどんどん薄くなっていきます。そして、地上100km付近では、地上でわれわれが普段接している空気とは異なる状態にあるガス——ガスを構成する原子・分子がイオンと電子に分かれた電離ガス(プラズマ)——が出現し始めます。この電離ガスは、地球大気が太陽光を受けて電離したもので、さらに高度を上げると密度は下がり続け、地上300kmより上では、もともとは太陽から吹き出した超希薄な電離ガスが次第に卓越するようになります。

ここから先に進むのに、太陽を出発点とした

視点に移りましょう。太陽大気は100万度もの高温のため電離した状態にあり、また、その高温のために太陽重力で束縛されずに太陽から外に向かってどんどん吹き出しています(太陽風)。地球は、この太陽風で満たされている太陽系空間に浮かんでいるわけですが、地球の場合は固有磁場を持っているため、プラズマの流れである太陽風はこの磁場に衝突し、磁気圏という空間を作り出します。地上300kmより上に広がる宇宙空間は、このようにして形成されるプラズマの世界です。そこでのガス密度は、1cm<sup>3</sup>あたりにガス粒子(イオン、電子)がせいぜい10個存在する程度です。地表面の空気より18桁も密度が低いので、「真空だ」という第一印象は必ずしも間違っていないと思われます。ですが、希薄でも実はプラズマが存在する

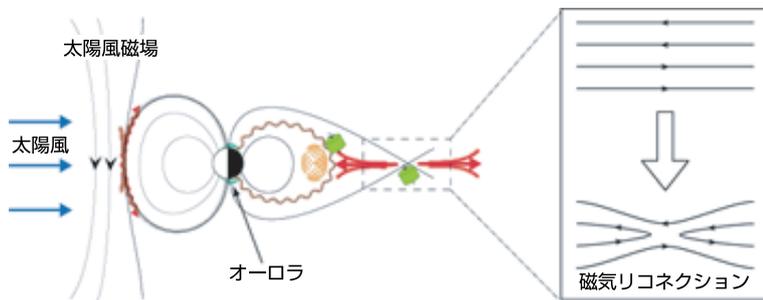


図1 磁気圏

ことから、そこでは例えば、極域の夜空を彩るオーロラの乱舞といったものに反映されるようなダイナミックな現象が展開しています。さらに、希薄であるからこそ、「無衝突過程」という地上での常識が通用しない物理過程がダイナミクスを支配している、という興味深い世界です。

宇宙のほとんどは希薄なプラズマで満たされています。その意味で、磁気圏は典型的な宇宙空間の一つであるといえるでしょう。その一方、磁気圏は地球周辺の宇宙空間であるが故に、科学衛星による「その場」での観測が可能な唯一の宇宙空間でもあります。宇宙空間プラズマを支配する仕組みが地上での常識と異なることから、「その場」観測による宇宙プラズマ理論の詳細な実証は必須であり、そのような普遍的価値を持つ研究の機会を磁気圏は与えている、と言ってもいいでしょう。また、今後人類がますます宇宙進出するであろうことを考えれば、磁気圏は人類が活動する空間でもあるわけで、その際に悪影響を与え得る磁気圏プラズマの活動的現象は、天気予報をするかのように事前に予測(宇宙天気予報)されている必要があるでしょう。これらは、科学衛星観測による実証を伴いながら、磁気圏・宇宙プラズマ物理の理解を進展させていくことの意義の大きさを示しています。

## 電磁流体力学(MHD)からスケール間結合へ

われわれは、基本的には宇宙空間における大規模でダイナミックな現象に興味があります。現象の空間スケールが大きいのであれば、電磁流体力学(MHD)は十分に正しく現象を再現する、というのが従来までの常識でした。MHDとは、通常の流体力学の運動方程式に磁場によってプラズマガスに加えられる力を加味し、さらに磁力線がプラズマガスとともに動いて変形する(「凍結の原理」という磁場の時間発展を規定する式を加えたものです。この近似体系は、「凍結の原理」によって磁力線の変化がイメージしやすい、大変便利なものです。分かりや

すさという点ではかなり完成度が高く、「これで全部OKです」と言えたらどんなに楽だろうかと思えます。「でも実は……」というのがこの記事の趣旨です。

さて、MHDに従えば、以下のような磁気圏の描像が得られます(図1)。太陽風が地球の双極子磁場と衝突するので、昼側では双極子状の磁力線が少しつぶれた形状となっています。一方、夜側では太陽風との相互作用の結果、磁力線が引き伸ばされた形状となっています。引き伸ばされた磁力線とは、反対向きの磁力線が電流層を挟んで向き合っている状態でもあります。この磁気圏尾部電流層は、しばしば薄くなるのですが、そのとき内部で爆発現象が起きます。それが、磁気圏活動の主要な源です。

上では「相互作用」や「爆発現象」と、ややあいまいな表現をしました。ここでは詳細には立ち入らず、これらにおいて「磁気リコネクション」が重要な役割を果たしていることだけを指摘しておきます。磁気リコネクションとは、互いに向き合った反対向きの磁力線がつなぎ替わるとい現象で、磁力線のトポロジーを変えるという意味、そして磁場という形で蓄えられていたエネルギーをプラズマの熱・運動エネルギーに解放するという意味で、宇宙プラズマにおいて最も重要な現象の一つです(図1)。そして、この磁気リコネクションに代表される宇宙プラズマにおけるダイナミックな現象は、たとえそれが全体としては大規模なものであっても、実はMHDだけでは不十分にしか再現できない、という問題点があるのです。

MHDという近似体系の範囲内で磁気リコネクションを取り扱おうとすると、非理想的な電気抵抗というものを導入する必要があります。電気抵抗は地上においては当たり前の概念ですので、そこに何の問題があるのかと思われるかもしれませんが、宇宙プラズマにおいては、地上では当たり前である電気抵抗の起源となる粒子同士の衝突がありません(無衝突プラズマ)。つまり、電気抵抗と同様な効果が地上とは異なる過程で発生して、それが磁気リコネクションを引き起こすのです。その過程においては、MHDでは無視してしまっているイオンスケール、さらには電子スケールといった微細スケールのダイナミクスが、重要な関与をしているのです。つまり、磁気リコネクションを真に理解しようとすれば、地上の常識を外挿して電気抵抗を想定するのではなく、MHDスケールからイオン・電子スケールまでスケールの異なるダイナミクスの関係の中で、結果として電気抵

抗と同様な効果が現れる仕組みを把握する必要があります。この視座の転換の有効性は、あらゆる大規模でダイナミックな宇宙プラズマ現象において主張することができ、この考え方を「スケール間結合」と呼びます。そして、これを定式化するという事は、時空スケールが何桁も異なるモジュールを連動させて考えるという、大変チャレンジングなものです。しかし以下に述べるように、今後、新規開発していく次世代観測機器による実証と、発展を続ける大規模プラズマ粒子シミュレーションの成果を有機的に組み合わせることで、可能になることだと考えます。

## ■ これまで、そしてこれからの 磁気圏プラズマ「その場」観測

科学衛星による磁気圏プラズマ「その場」観測とは、科学衛星のいる場所一点での、プラズマ粒子、電磁場、そしてプラズマ波動を計測するという事です。1990年代以前はMHDという問題意識が支配的だったので、イオン粒子データは流体的に加工（密度、流速、温度といった流体力学的パラメータとして解析）、電子は参考程度、という研究がほとんどでした。1992年に打ち上げられた日米共同衛星GEOTAILが端緒となり、1990年代から現在に至る衛星データ解析では、イオンと電子は別の流体であること、さらにはその粒子的性質まで踏み込むこと、という問題意識が主流となっています。その結果、例えば磁気圏尾部リコネクションに関して言えば、磁気リコネクション領域周辺での電流構造、イオン・電子粒子加速の様相などが見えてきました。つまり、磁気リコネクションという、全体としてはMHDスケールのダイナミクスに埋め込まれていて、かつ全体として時間発展するのに重要な役割を果たしている、イオンスケールダイナミクスの把握が進んだということです。この成功の要因は、従来に比べて感度の高い粒子計測器を搭載したこと、かつ、粒子の速度空間における様相（分布関数）を綿密に調べるといった徹底的な研究を行ったこと、また、プラズマ粒子的効果を含んだ大規模シミュレーション結果を参照しながらデータ解析を進めたこと、であったと考えます。

水星を探索する日欧共同BepiColombo計画の一翼を成すMMO探査機は、水星磁気圏を探索します。そこに搭載されるプラズマ計測器は、従来の惑星探査機用のものに比べれば「とんでもない」と表現してもいいほどの時間分解能を持っています。これは従来のように、水星磁気

圏のおおまかな様子を知るということに探索の目標を置いておらず、地球とパラメータが異なる水星磁気圏において宇宙プラズマ物理における最先端の問題意識に堪えるデータを提供し、宇宙プラズマ理解の構築に実証的に寄与することが目標とされているからです。実際、水星公転軌道においては太陽面爆発に伴う惑星間衝撃波が地球軌道に比べてはるかに強い状態で観測できること、水星磁気圏のサイズが全体として小さいことによって境界層乱流効果が増幅される可能性、尾部電流層が常に薄い状況にある場合の磁気リコネクションに関する問題など、パラメータの相違に起因する現象のバリエーションが予想できます。ある程度の予想がある一方で、やはり思いもよらない仕組みを見せてきた宇宙プラズマの世界のことですから、楽しい驚きを味わいながら実証を伴った知見の発展をさせていくことになるでしょう。

科学衛星による宇宙プラズマ「その場」観測は、太平洋に浮かぶボートで気象観測することに例えられるでしょう。観測船からのデータはその地点での詳細な情報を与えますが、その一隻のデータだけで気圧配置を決定することが難しいように、単一衛星観測ではプラズマ中の空間構造は推測するしかありません。それでも、数値計算とタイアップしたりしてかなりの成果を上げてきました。しかし、「スケール間結合」という問題意識、つまり全体の中で鍵となる小さな領域を詳細に調べながら、その鍵領域が時間発展する全体の中にどのように埋め込まれているのかを同時に把握したいという意識が本格化するにつれて、<sup>かつか そうよう</sup>隔靴搔痒の感が出てきました。

全体を把握するという方向の努力は、ISTP計画でもなされました。これは、さまざまな磁気圏領域を探索する各国の科学衛星をコーディネートし、さまざまな領域を同時観測するイベントを増やし、領域をまたいで展開する磁気圏ダイナミクスを把握しようとするものです（図2）。GEOTAILもこのメンバーであり、磁気圏昼側境界での磁気リコネクションの大規模な様相を欧米の衛星と同時観測して明らかにする、といった大きな活躍をしてきました。ISTPではせいぜい数機の同時観測しかありませんでしたが、それでも同時多点観測の有効性は高く評価されるに至りました。

鍵となる領域の空間構造をしっかり把握したいという要求は、コンパクトな編隊を組み、その中に鍵領域を挟み込むという方法で満たすことができます。これを世界で初めて実行したのが欧州のCluster-IIです。4つの衛星で編隊観

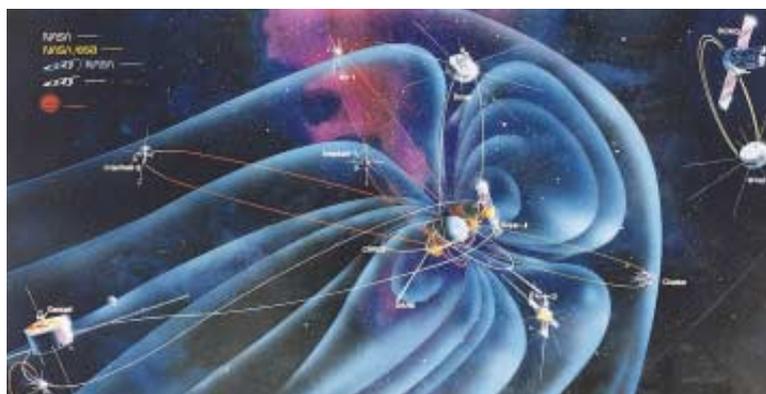


図2 ISTP計画

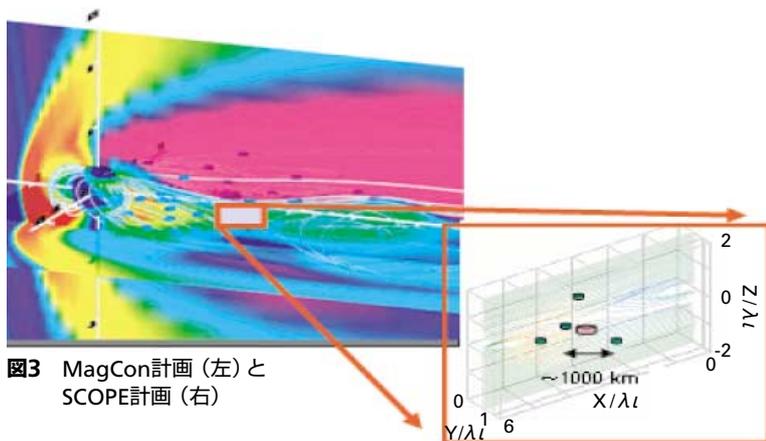


図3 MagCon計画 (左) と SCOPE計画 (右)

測を行い、磁気圏各領域における最適衛星間距離、複数衛星データ相互参照テクニックといったノウハウの獲得と同時に、科学的成果も出始めたところです。また、2006年には米国のTHEMIS衛星が打ち上げられ、5機編隊で磁気圏尾部にある爆発的オーロラの巣に迫ります。

ここまで述べた現在進行中の計画では、実はプラズマ観測の時間分解能の制約から、せいぜいイオンスケールのダイナミクスまでしか迫りません。その一方で、電子スケールにおいても大規模ダイナミクスに反応して興味深い現象が展開していることが、プラズマ波動の観測からは知られています。代表的なものは、強い電流に伴って発生する静電孤立波構造です。大規模でダイナミックな現象の発展によって局所的に強い電流が駆動され、それによって電子ダイナミクスとの結合が起き、そのことがさらに大規模ダイナミクスにフィードバックするという、まさに何桁にもわたって「スケール間結合」が発動していることを支持するものです。ただし、その真の実証には、プラズマ観測も電子スケールを分解するだけの時間分解能を持つ必要があります。

## そして、次世代の観測へ

これらを踏まえて、次世代の観測計画とはど

のようなものであるべきでしょうか。まず、鍵となる領域をきちんと観測しながら、同時に全体を把握する必要があります。また、鍵領域の観測では電子スケールまで迫る必要があります。これらの要請を満たすものとしてわれわれが考えているのが、NASAのMagCon計画と同時にSCOPE計画を実行する、ということです(図3)。

MagCon計画とは、磁気圏内に数十個の小型衛星をまき散らし、それぞれは簡単な観測しか行わないが、それでも全体のMHDの様相は把握しようというものです。ISTPにおいて試みられたことが、より組織的に行われます。衛星間距離を地球半径の2~3倍にとり、地心距離10地球半径から30地球半径までの磁気圏を稠密に覆うので、磁気圏物理で焦点と領域全体で何が起きているかを把握するという意味では、よく考えられた計画です。

しかし、「スケール間結合」という問題意識のつとれば、物事を引き起こす鍵となる領域、例えば磁気リコネクション領域で電子スケールまで分解して、何が起きるかだけでなくそれを起こす仕組みは何かという問題も同時に観測して、実証的に理解したいわけです。そこでSCOPEではMagConが全体を把握する中、5衛星編隊でイオンスケール程度の空間構造を把握しながら、その中心では高時間分解能プラズマ粒子計測とプラズマ波動観測を行い、電子スケールダイナミクスまで把握する計画です。

MagCon計画とSCOPE計画の共同観測は約10年先と考えています。それまでに開発すべきことは多々あります。日本で初めての編隊飛行だということに伴う事柄は言うまでもありませんが、これまで立ちふさがっていた困難も突破して「鍵領域の完全観測」を目指すので、観測機器の設計や基礎開発だけでなく、それを理想的な状態で搭載するための衛星構造に関する議論も始めています。10年はずいぶん先のようにも思えますが、現在進行形のプロジェクトのデータ解析や大規模数値シミュレーションといった、一見プロジェクトに無関係なことでも、「スケール間結合」という視点を意識して進めることで次世代計画を充実させていくことになる、つまり、誰もが結果的にSCOPE計画と関連を持たずにはいられない10年だと考えます。ものすごい高時間分解能(10msec)で観測して初めて真の理解が可能となる、というのはずいぶん回り道のように思われるかもしれませんが、宇宙プラズマという常識の通用しない世界を相手にしている以上、「急がば回れ」こそが正しい戦略でしょう。

(ふじもと・まさき)

## 中国の技術者がISAS来訪

さる10月17日(金)と20日(月)の2日間、中国空間技術研究院の7人の宇宙技術者が相模原キャンパスを訪れた。両国の月・惑星探査計画がそれぞれ紹介され、活発な質疑応答が行われた。日本側からは、「のぞみ」「はやぶさ」をはじめとする現在進行中および検討中の太陽系探査の諸計画が、中国側からは現在進められている月探査計画が語られた。

中国では、さる10月15日の有人宇宙飛行の成功に続いて、初の月オービターのミッションが進行中である。探査機は「東方紅3」衛星のバス(通信や電源などの基本機能)を利用し、重量2350kg(うち科学ミッション機器は130kg)である。目下のところ設計段階にあり、2005年12月から2007年3月までの間に、長征3ロケットによって西昌発射場から打ち上げられる予定である。(的川泰宣)



中国空間技術研究院の7人の宇宙技術者と鶴田浩一郎 宇宙科学研究本部長(前列中央)、的川泰宣 対外協力室長(後列左端)。

## RVT 3回にわたって飛翔

久々の明るいニュースが北国の空に舞った。さる10月14日から能代多目的実験場で行われたRVT(再使用ロケット実験機)の第3次離着陸実験は、10月31日に無事終了した。稲谷芳文教授を中心とする実験班は、予定通り3回にわたって離着陸飛行を実施し、最高42mまでの離陸上昇と着陸を行った。この実験により、従来の使いきりロケットと異なる再使用型ロケットの短い間隔での繰り返し飛行や、機体の軽量化、エンジンの耐久性などについて、多くの知見を獲得した。

今後は、着実に高度を伸ばす実験を積み重ねながら、100kmを超える飛翔能力を獲得し、いずれ何度も繰り返して使用できる観測ロケットの代替機にすることが、実験グループの夢である。この方式の飛翔体は、アメリカで「デルタ・クリッパー」という機体が開発されたことがあったが挫折した。健闘が望まれる。(的川泰宣)

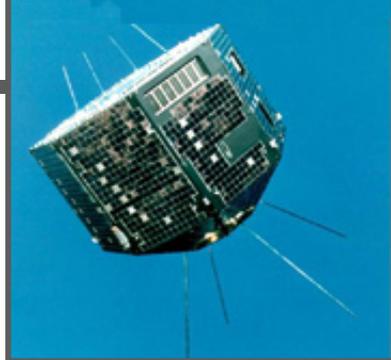


実験準備中のRVT(再使用ロケット実験機)

## ロケット・衛星関係の作業スケジュール(11月・12月)

	11月	12月
相模原	M-V-2 簡易モーションテーブル試験 17	LUNAR-A 総合試験 中旬
	S-310-33 啖合せ試験 11 - 26	

# 浩三郎の 科学衛星秘話



井上浩三郎

〔はくちょう〕

日本初のX線天文衛星CORSAを搭載して1976年2月4日に打ち上げられたM-3Cロケット3号機は、姿勢基準装置の誤動作のため、衛星を軌道に乗せることができませんでした。これは、打上げ直前のコネクタ引き抜きの際の電磁的パルスによって、第2段と第3段を姿勢制御するためのピッチ角の基準値が入れ替わったためです。TVC制御による軌道が低すぎ、衛星の実現が不能となったので、地上から指令電波を送って上段の点火を停止したのです。

## 驚異の復活

しかしながら、失敗直後からあがった「もう一度」という声とともに、また各方面からの励ましと協力により衛星計画は驚異的な早さで復活し、1979年2月21日、M-3Cロケット4号機によって、その間のX線天文学の進歩に合わせて観測内容や衛星の設計に一部変更を加えられたCORSA-bとして軌道に送られました。

この成功には、一言では表現できない関係者の苦労がありました。小田稔先生の報告には「各大学の研究者たち、大学院を含めると30人を超える“はくちょうチーム”は、メーカーの技術者の集団にも支えられて、夜と昼もなく内之浦で、駒場で働いた」とあります。関係者全



打上げ成功直後、笑みがこぼれるチーフ会議。



打上げ成功後の美酒。小田先生(左)と曾野綾子さん。

員の執念を背負って、野村民也先生の表現によれば「自分から軌道に飛び込んで」いきました。出来上がった軌道は、近地点高度545km、遠地点高度576km、軌道傾斜角29.9度でした。小田先生の強い要望があって、白鳥座のX線星にちなみ「はくちょう」と命名されました。

## 曾野綾子さんのこと

隠れたエピソードを紹介しましょう。この打上げには、小田先生の友人である作家の曾野綾子さんが、特別に準実験班員として参加されていました。実験期間中毎日、鹿児島鹿屋から実験場に来られて、われわれ衛星班と行動を共にされ、打上げ前の準備作業を熱心にご覧になっていました。打上げに成功したとき、近くにおられた曾野綾子さんに「“はくちょう”という名前になりましたよ」と伝えたら、「え、それは何時ごろ、どこで決まったのですか?」と目を輝かせて、すっかり“作家 曾野綾子”の顔になって喜んでいらっしゃいました。

3年前のCORSAの折は、失意の実験班に声もかけられず、そと実験場を後にされたと聞いております。その後、衛星打上げの際には、実験班のために“おしるこ”を差し入れてくださったり、打上げの成功を祈っていただきました。差し入れの話を聞かれたご主人の三浦朱門さんが、「東大のロケットは“おしるこ”を燃料にしているのですか?」とジョークを飛ばされたのは有名な話です。

## 打上げ直前のデータレコーダの異常現象

2月18日(当初の打上げ予定日)の電波テストの第1回目の動作チェックにおいて、衛星搭載のデータレコーダに再生コマンドを指令したとき、正規のデータが再生されず、クロック信号だけ再生されるという異常が発生しました。

モードチェック後、再び再生コマンドを与えたところ、今度は正常にデータが再生され異常は回復しました。メーカーであるOdetics社とも連絡をとりながら緊急の検討とチェックを繰り返した結果、問題ないとの結論に達し、打上げに臨みました。天気などの理由で打上げが延期されたため、入念なチェックができたのも幸いでした。

このとき、小田先生は「データレコーダがなくても世界のアンテナを駆使してデータを取得する」とびっくりするようなことを言われました。打上げにかかる意気込みを、ひしひしと感じたことが思い出されます。(いのうえ・こうぞぶろう)

日本初のX線天文衛星「はくちょう」その1

東京工業大学大学院理工学研究科助手

松島政貴

# 水星磁場の源

## 地球磁場は核で生まれる

地球では磁石のN極が北を指すことにより方位を知ることができるが、他の惑星でも同様に磁石を使えるわけではない。地球と同じように大規模な固有磁場を持つ惑星や衛星もあれば、火星のように少なくとも現在はそのような磁場を持たない惑星もあるからである。この差異は、惑星進化の帰結である惑星内部の状態に起因している。

地球磁場を生成している場所は、日本では今年6月に公開された映画の題名そのもの「コア(核)」である。内核(固体)と外核(液体)で形成される核の主成分は金属鉄であり、電気伝導性が非常に高い。磁場中を導体が動くとき起電力が生じ、電流が流れる。すると電流に伴う磁場が生じる。このように流体核の流れに伴う発電作用(ダイナモ作用)によって元の磁場が生成されれば、磁場が維持される。前述の映画で

は「コア停止」によって1年で磁場がなくなると設定されていたが、地球磁場の自由減衰時間は1万5000年程度であり、流体核の流れが止まってもすぐに磁場がなくなるわけではない。しかしながら、何億年もの間、磁場が維持されるためには、惑星内部でダイナモ作用が働いていなければならない。

## いかに水星の核に近づくか

水星は弱いながらも固有磁場を持つことがマリナー10のフライバイで発見されたことは、9月号で紹介された。水星の半径は2440kmと小さいために、進化過程において核が冷却・固化してしまっていると考えられていた。それにもかかわらず、水星が固有磁場を持つならば、何らかの磁場の源があるはずである。過去のダイナモ作用によって生じた磁場が、残留磁気として存在しているのか? とすれば、観測された磁場を説明するために必要な磁化強度および地殻の厚さは、非常に大きくなければならない。今もダイナモ作用が働いているのか? それならば、水星内部に流体核が存在することを意味する。水星磁場の源を明らかにするためには、精密な測定によって水星磁場の空間分布および時間変化を知ることが非常に重要であり、必要不可欠である。

地球上では地球磁場の双極子成分が卓越している。しかし、核表面での磁場分布は複雑である(図1)。磁場が強い領域は南北の極ではなく、自転軸から見て内核半径のすぐ外側に位置し、そして赤道面に対して対称に近い。ダイナモの数値シミュレーションの結果によれば、地球の自転と固体内核の大きさに影響される対流セルの位置と磁場の強い領域とは相関がある(図2)。つまり、核内の状態が磁場分布に現れ、磁場分布は流体核内のダイナミクスを反映する。

磁場分布を詳細に知るためには核に近付いたほうがよい。前述の映画では核まで行くことができる乗り物が登場したが、現実には不可能である。ただ、水星は相対的に核が大きいので、周回衛星による観測でも相対的に核に近い軌道での観測が可能である。高精度の磁場観測を実施するためには注意すべきことがある。衛星に搭載されるさまざまな部品・機器を源とする磁場が観測に悪影響を及ぼしては何にもならない。道のは平坦ではないかもしれないが、未知なる水星の探査をすることにより、水星磁場の源を求め、水星の内部構造および進化過程を議論することができるようになるであろう。

(まつしま・まさき)

図1 核表面での地球磁場動径成分の分布

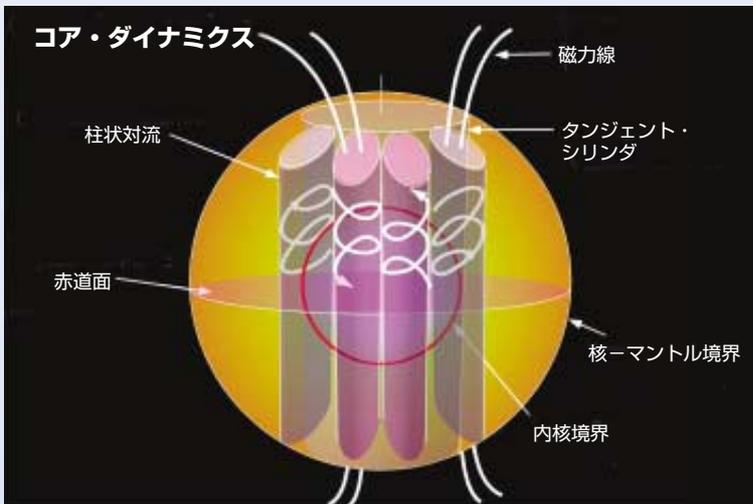
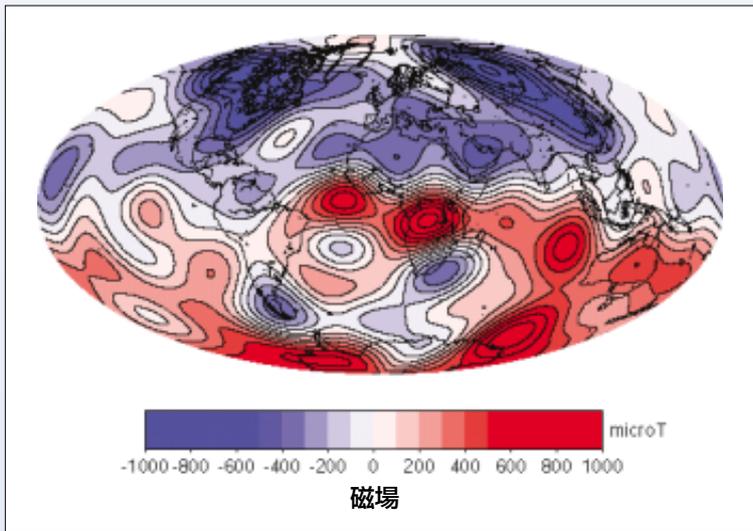


図2 対流セルと磁場分布の位置関係

## ブレーメン大会に参加して

### 国際宇宙会議 (IAC)

#### 自由ハンザ都市ブレーメンへ

北ドイツのブレーメンで9月29日から10月3日まで開催された第54回国際宇宙会議 (IAC) に参加した。今回の出張目的は、主に宇宙科学研究本部が実施もしくは計画している科学探査プロジェクトの展示説明を行うこと、および国内3宇宙機関統合によるJAXA移行に参加各国各機関へ展示を通じて告知することであった。IACは本会議のほかに、国連と国際宇宙連盟 (IAF) のワークショップ、国際宇宙航行アカデミー (IAA) やIAFの個別会議、国際宇宙法研究所の会議、模擬宇宙法廷、ESA教育局の学生プログラムなど、さまざまな国際会議を複合する形で運営されていた。IACの最終プログラムを見ると本会議にもたくさんの魅力的な講演があったが、それらに関しては他の参加者のご報告に期待し、ここでは展示について報告する。

さて、ブレーメンはサハリン北部と同じ北緯53度の高緯度にあり、今夏地球との大接近で注目された火星が日本で見るよりもかなり低く輝いて見えたのが印象的だった。また、グリム童話の「ブレーメンの音楽隊」でも有名な都市である。ブレーメンは中世から芸術と貿易でにぎわう豊かな港町であったし、今でも「自由ハンザ都市ブレーメン」を標榜し、世界有数のビール工場と航空宇宙産業の拠点の一つとしても知られている。

#### 活発な教育活動

ブレーメン中央駅の東側一等地を緑地公園とコンベンションセンターが占有していて、今回のIACはそのコンベンションセンターで開催された。全7ホール of 巨大施設のうち、展示会場は1万300m<sup>2</sup> (50×200m) の第5ホールを使用し、大小45の展示ブース、プレスセンターや軽食堂、ポスターセッション会場などが設営された。今回日本からは旧宇宙3機関と通信総合研究所 (CRL) および次々回IAC開催予定の福岡市が225m<sup>2</sup> の日本ブースを共同で運営した。

初日の情報では、今大会の参加国数は30カ国、正規参加登録者数は2500人以上とのことであった。また聞くところによれば、今大会の全経費は日本円換算でおよそ4億7000万円とのこと、その金額の大きさには驚かされた。

開会式には開催地ドイツ連邦共和国のブルマン教育相も参加されており、教育にかけるブレーメン大会の意気込みものぞかせた。教育活動の視点から今大会を見れば、ESA、IAFおよびJAXAの支援を受け、

国際宇宙大学など世界各国から参加した530名以上の学生が、展示会場の一角を活動の中心として宇宙に関する新しく柔軟なアイデアを競い合っていた。また、地元ブレーメンの周辺約100km半径の地域にある40の学校からの見学研修会が行われていた。見学した地元学生の年齢は15歳から19歳までで、20数名の学生グループを展示事務局専属の5人の案内者が引率していた。展示事務局の話では総計800人以上の地元学生がこの見学プログラムに参加したそうで、彼ら若い学生には将来の航空宇宙産業の担い手または支援者になることを期待しているとのことであった。

展示会場は、4日目を除く全開催日にブレーメン市民へ広く開放された。最終日の10月3日はドイツ統一記念日という休日でもあり、終日一般公開された。その日の入場者数は、会場施設管理者の話では (実は誰も入場者を数えておらず実際の数字は不明であるが) およそ3000人とのことであった。

#### ハロー-JAXA!

今大会のISASの展示は、小惑星探査、金星探査、月探査、火星探査およびM-Vロケットのモデル展示を中心に、地球近傍観測、水星探査、「ようこう」「あけほの」「のぞみ」「はるか」などの計画・観測成果をパネルなどの造作物や印刷配布物にして、統合ブースにふさわしい調和した展示構成になった。他本部・機関からもH-II Aロケット、ETS-Ⅷ、「こだま」「みどりII」「きぼう」、成層圏プラットフォーム、準天頂衛星、ウエアラブルアンテナなど、数多くの魅力的な展示品が用意された。

10月1日には新生JAXAの統合記念行事が展示会場を中心に行われた。ボン駐在員事務所のリットヴェーガーさんの機転で、各国の展示会場スタッフ、ブレーメン市長シャーフさん、ウクライナ共和国の宇宙飛行士をはじめ多くのグループから「ハロー-JAXA!」と呼びかけてもらうビデオレター・キャンペーンを行い、それが功を奏してか、夜の町中でレストラン探しをしていた我々を見つけた参加者から「ハロー-JAXA!」と声をかけられるなど、新組織名が浸透しつつあることを実感した。

日本ブースには活発な取材もあり、個人的にもドイツ最大のラジオ局WDRやフィンランドの科学雑誌など4件の直接取材を受けた。学会開催期間中は、地元欧州のアリアン5による通信衛星2機と月探査機SMART-1のトリプルロケットの成功や、中国の有人ロケット打上げ直前でもあったことから、大変活力のある学会・展示となった。新生JAXAは誕生したばかりだが、世界の趨勢を見極めつつ将来の科学技術の発展や真理の探求に寄与できるよう、より一層の努力が必要と自らを引き締め直す機会にもなった。

(しみず・ゆきお)



展示会場の日本ブース

清水幸夫

技術開発部機器開発グループ



## 技術者として興味津々

私は6月から、3機関統合に向けたM-Vロケット関係の調整のため、相模原キャンパスに在勤しています。

飲める“芋焼酎”のことなら、すらすらと書けるのですが……。それは別の機会にということで、今、ISASにいる身として感じていることを書いてみます。

私はNASDAに入社してから、これまで主な勤務場所として、筑波、種子島、名古屋を経験してきました。筑波では衛星・ロケット用の部品開発、種子島以降はロケットの打上げ、開発・製造関連の業務が中心でした。

ISASには、10年ほど前だったでしょうか、筑波在籍のころ1度だけ訪れたことがあり、6月に転勤してきたときに、「あ、本館入り口の展示室はなんとなく覚えている」と思いました。都合の悪いことはすぐ忘れるように心がけている(?)ので、ちゃんと記憶に残っているところを考えると、何か楽しい仕事で来たのではなかったかなと回想しています。

いよいよ10月1日に3機関が統合され、宇宙航空研究開発機構(JAXA)が誕生しました。今、大いに楽しみにしているのは、これまでNAL、ISAS、NASDAのそれぞれが別に行ってきた研究、ものづくりに近づけるということです。それは、3機関統合による合理化・効率化にも結び付くことと思っていますが、これまでのNASDAの業務範囲では担当できなかったNAL、ISASで行われていることについても直接、接触できるようになるので、技術系を担当するものとしては興味津々です。

## M-Vロケット打上げに参加して

5月には、M-Vロケット5号機の打上げ作業にも参加しました。私は固体ロケットとしてはTR-1A、J-I などを見てき

# 3機関統合、新しい刺激

加藤洋一

JAXA宇宙基幹システム本部  
M-Vプロジェクトチーム  
(旧NASDA宇宙輸送推進部所属)

ましたが、M-Vロケットは打上げにランチャーを使用する大きな機体ということで、構造、仕組み、オペレーションなど、いろいろな点が異なっています。鹿児島県内之浦の射場にも初めて行ったのですが、まず感じたことは……ロケットも設備も人も、手作り感(別の言い方では“凝っている”ということでしょうか)がにじみ出ているということです。

私がNASDAに入ったころは、自分たちで実験・試験をしたり、装置を動かしたり、ロケット・衛星の追跡をしたりしていましたので、そのころのことを思い出します。以前は今のISASと同様に、自ら作業をしていた人も多く、それが当たり前であったように思います。種子島宇宙センターが出来たてのころは、出勤したら、まずみんなで射点周辺の砂かきから、という思い出話も聞いたことがあります。統合前のNASDAは——個人的な印象で、かつ、もちろん全部ではないと思っていますが——マネージメント的な仕事を中心であるように思います。それが悪いというわけではなく、良き方向を目指した結果、そ

うなってきたのですが、結果としてメーカーさんに頼るところが多くなり、ものを見る目、見抜く目に、弱いところも出てきたのでは?と、そんな気がしてしまいます。

H-IIAロケットの打上げも6号機を数えますが、残念ながら、未だに打上げ直前に不具合が確認され、スケジュールが変更されるような状況です。機体およびコンポーネントの製造中、いろいろな観点からものを見て、落ち度はないか、何か不具合につながる背後要因はないか、H-IIロケット8号機の失敗以降、それこそ血眼でものを見てきたと思っています。それでも不具合が最後まで残ってしまっている。やっぱり、未だ、未だ、未だ、未だ……。見たつもりではなくて、確信を持てるまで!と痛感、反省してしまいます。

## ISASとNASDAの潤滑剤として

私は引き続き、10月以降も相模原キャンパスでM-V関係の仕事をしています。NASDAに足りないことで、ISASにはあるものを吸収したいと思っています。また、NASDAの役立つと思われることをISASに伝えたり。一種の潤滑剤として機能できればとも思います。

JAXAでは、M-Vロケットも基幹システム本部の1プロジェクトに位置付けられ、H-IIAや小型ロケットなどの他のプロジェクトと横並びの体制となります。この5カ月間、ISASでM-Vの作業の流れを見てきましたが、日本の中の同じ宇宙ということで、NASDAとの共通点も多いことが分かりました。メーカーさんが同じであったり、使用されるコンポーネントにも同様な設計思想のものがあったり。これからは、他プロジェクトで起きた不具合の横通しがスムーズに行われ、より信頼性の高いロケットが作れるのでは、と期待もしています。

JAXA誕生がこれまでの3機関に互いの新しい刺激となって、さらなる日本の宇宙航空分野の発展、技術向上、確実化につながればと思っています。——ちょっと、大きなことを書いてしまいました。

余談ですが、いつのまにか中国では有人を手掛けています。——くやしいじゃありませんか! (かとう・よういち)

H-IIAロケット(左)とM-Vロケットの模型



# ロケットと花火を見上げる化学屋さん

宇宙輸送工学研究系助手  
羽生 宏 人

——ご専門は化学ですね。

羽生：ロケットの研究・開発の分野では、化学系の研究者は少数です。しかしISASは、“化学の目”で見る人も不可欠だという考えを持っているのです。私は堀恵一助教授とともに、化学者の視点からロケットの推進剤の研究・開発を行っています。

これからの推進剤のキーワードは高性能、低公害です。ロケットの打上げの写真や映像をご覧になると分かりますが、煙がモクモクとたくさん出ます。実は、あの煙には塩酸が含まれていて、環境に良くないのです。できるだけ塩酸を含まない推進剤を開発することが、目下の課題です。しかも、性能は今よりも良くしなければなりません。これが結構高いハードルなんですよ。

推進剤の開発過程では、さまざまな物質について、組み合わせや調合割合を検討します。コンピュータ上で良い答えが出て、実際に燃焼試験をしてみると予想外の結果になることも多いのです。でも、それがまた面白いところです。常識的に考えれば使わない物質を入れたら意外と良かった、ということはいっぱいあります。常識にとらわれていては、新しいものは作れませんね。燃焼試験は、東京都あきる野市にある「あきる野実験施設」で行います。手を真っ黒にして、汗だくになってやっています。

——5月に打ち上げられた小惑星探査機「はやぶさ」は、ミッションの立ち上げ当初から参加されたそうですね。打上げはいかがでしたか。

羽生：私が大学院生としてISASに来たころ、ちょうどM-Vロケット1号機の打上げがありました。そのときは単なる傍観者でしたが、ロケットを身近に感じられた初めての出来事でした。

今回の「はやぶさ」は、ロケットが1段ずつ組み上がっていくのを実際に見ていましたから、まったく感じ方が違いましたね。打上げ前日にはロケットの機体の前で「ちゃんと異常なく燃えてくれ」と本気で祈りましたよ。打上げの時には、煙の出方を祈るような気持ちで見つめていました。言葉で言い表せないほどの強い振動を全身で感じながら、M-Vロケットの大きな機体が上がっていくのを見て、究極の仕事をしているんだなど実感しました。

——M-Vロケットは世界トップレベルの固体燃料ロケットとされていますね。



はぶ・ひろと。1969年、東京都生まれ。工学博士。東京大学大学院工学系研究科化学システム工学専攻博士課程修了。専門は推進燃料工学。2002年、宇宙科学研究所入所。宇宙ロケット用固体推進剤や探査機に搭載する燃料電池などの研究・開発を行っている。

羽生：「はやぶさ」の打上げも、とても高度な制御技術が必要でしたが、軌道に載せることに無事成功しました。M-Vロケットの性能や制御技術は間違いなく世界トップレベルです。匠の技とでも言うのでしょうか、日本の技術がびっしり詰まっています。ロケット推進

剤は火薬としてみると花火に通じるものがあります。花火も日本が世界に誇る技術ですよ。

私は化学屋さんなので、花火を見るとあの色が何の元素でできているのかを、つい考えてしまうんです。単にきれいだなという見方はしない、というかできないですね。花火が上がると、思わず化学元素名をつぶやいてしまう。夢がないってよく言われます(笑)。

——化学の魅力はなんですか。

羽生：中学時代の先生が「化学は何でもできる」と言っていたのですが、その通りだと思います。同じ元素でも、化学反応によって形を変えることができるのです。しかも、化学反応によって出てくるエネルギーを電力として使ったり、ロケットの推進エネルギーとして使ったりできます。

——20年後、ご自分が何をしていると思いますか。

羽生：変わっていないでしょうね。現場に出て、手を真っ黒にしながら、新しい推進剤を追求していることでしょう。

自分の研究・開発を進めながら、人を育てたいと思っています。最近、火薬を扱うメーカーの若い人たちと、次世代の推進剤はどうあるべきかを自由に議論する場を作りました。

ロケットの推進剤の研究・開発に熱意を持っている学生も大勢います。でも、実際にやれる場が少なすぎるので、雲の上のことだと思って諦めてしまう人も多い。ISASでは、教育を兼ねた燃焼試験をやっています。実際に計測させたりすると、目の色が変わりますよ。

一般向けの講演など、裾野を広げる活動はずっとやっていきたいですね。若い人たちのユニークな発想から新しい技術が生まれてくれればいいと思っています。

ISASニュース No.272 2003.11 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

JAXAとなって早1カ月。これまでと違う手続きの煩雑さや、組織全体が見えない戸惑いの中で、慌ただしく毎日が過ぎていきます。そんな中ですが、宇宙科学の立場で分かりやすい情報の発信を心掛けたと思っています。新しいISASニュースへご意見をお寄せ下さい。

(システム運用部 周東三和子)

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