



宇宙科学研究所

2002.5 No.254



▲ MUSES-Cのターゲット・マーカー(左), 100万人の名前が刻まれるフィルム(右)【本文記事参照】

〈研究紹介〉

“Earth as a Radio Star” ～GEOTAIL衛星が見た地球の電波活動～

宇宙科学研究所 笠羽 康正

地球は「電波天体」です。

宇宙の電波源は、大まかに熱エネルギー起源の「熱的電波」と、高エネルギー粒子エネルギーが起源の「非熱的電波」に分かれます。銀河ジェット・超新星残骸・パルサーなどは後者です。地球電波もこの仲間で、磁気圏活動による高エネルギー電子が源です。

宇宙から地球を見ると、数MHz以下で様々な電波が放射されていますが、これらは電離層で遮蔽されて地表には届かないため、1970年代以降に人工衛星で発見されてきました。磁気圏活動は、「惑星に阻まれた太陽風の運動エネルギーが磁場の形で蓄積し、それが爆発的に解放」される現象です。地球の電波放射エネルギーは、元の遮られた太陽風エネルギーの約20万分の1、数百万kW程度です。“大型発電所数個分”と言えば小さそうですが、NHKラジオ第一（東京：594kHz）の1万倍以上の出力です。

地球の主な電波は、オーロラキロメートル波（AKR

波）、非熱的連続波（Continuum波）、電子プラズマ2倍高調波（ $2f_p$ 電波）の3つです（図1・表1）。この観測には二つの意義があります。

- 1) 電波放射機構の実験室：電波源の中を直接観測することができる地球は「宇宙の実験室」という側面を持っています。
- 2) 磁気圏の遠隔観測手段：磁気圏研究は「その場観測」が主要手段ですが、リモートセンシング可能な電波は、全体の活動度を実時間で見る貴重な手段の一つです。

本稿では、GEOTAIL衛星が見た「活動天体・地球」の電波活動をご紹介します。

1. オーロラキロメートル波（Auroral Kilometric Radiation : AKR波）

最も明るいこの電波は、数十～600kHzでパースト的に変動します（図2左）。オーロラと強い関係があり、

また波長数kmのためこの名称がつけました。オーロラを南北極で光らせるのは磁気圏活動に伴って加速された電子です。この電子が磁力線沿いに降り

りてくる途中でAKR波を励起します(図2右)。励起機構として有力なのは「サイクロトロンメーザー」です。これは電子が磁力線を旋回する「サイクロトロン運動」と電磁場が結合するもので、この周期=「電子サイクロトロン周波数」近傍の電波を発します。このため、周波数は磁場強度に比例します。

AKR波の励起条件は二つあります。一つは「電子サイクロトロン周波数が電子プラズマ周波数〔 $\sqrt{\text{密度}}$ に比例〕より十分大」です。極域は磁場が強く(前者:数百kHz)密度は低い(後者:数十kHz)ため、この条件を満たします。この領域に「高エネルギー電子の供給」があると電波が励起されます。このため、AKR波はオーロラ電子の量・強度を示すという性格を持ちます。愛媛大・村田さんが提案した「AKR INDEX」はこの点に着目したもので、AKR波の強度を磁気圏活動の指標として使います。

AKR波には、高周波成分での「南北非対称=季節変動」が発見されています。従来、オーロラ活動は磁力線でつながる両半球で同規模とされてきました。ところが、GEOTAIL(私)とAKEBONO(東北大・熊本さん)によって、AKR波の南北非対称、具体的には「冬半球側が夏半球側より明らかに強い」ことがわかったのです。これは周波数約400kHz以上で見られ、それ以下では顕著ではありません。磁場は低高度ほど強いので、「高度4000~5000km以下のみ高エネルギー電子降下量に季節変動がある」こととなります。

オーロラは極域上空での電子加速が直接の起源ですが、この機構はまだ解明されていません。「季節変動」は、電子加速領域に極域電離層の温度変動が影響することを示唆するのでしょうか。またその高度の制限は何を意味するのでしょうか。この問題は、AKEBONO衛星グループなどによる「電波源領域」の直接観測に

表1: 主な地球電波源の位置・周波数・出力

	電 波 源	観測される周波数	出 力
AKR波	オーロラ発光領域につながる磁力線上	数十~600kHz	数百万kW
Continuum波	プラズマ圏界面・赤道	数~500kHz	数千kW
$2f_p$ 波	前面衝撃波に“接する”磁力線上	数十kHz	数十kW

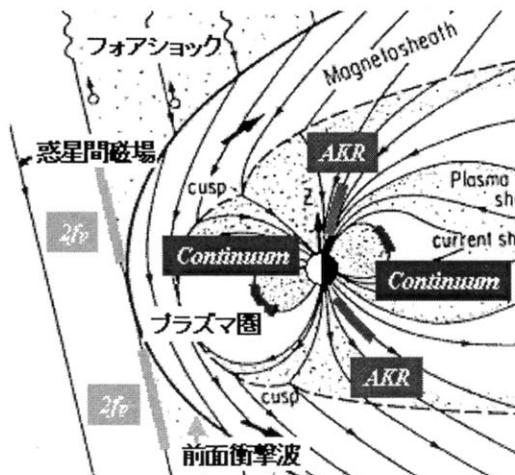


図1: 地球が持つ主な3つの電波源

よって解明が進められています。

2. 非熱的連続波 (Continuum波)

次に明るいこの電波は、数~500kHzで観測されます。一般に強度変動が小さく数時間継続することから名づけられました。

電波源は、プラズマ圏と磁気圏との境、「プラズマ圏界面」です(図3左)。Continuum波の励起機構は「線形変換」として知られます。プラズマ圏界面のように「密度勾配が大きく、かつ“壁”と平行に磁力線が走る」場所で有効な機構で、ここにエネルギーが投入されると、電子プラズマ周波数近傍の波が電磁場と結合し、低密度側(=磁気圏側)へ電波が放射されます。この機構では、電子サイクロトロン周波数の高調波で共鳴が起きる結果、電波源の磁場強度に比例した幅を持つ「縞模様」スペクトルが見られます(図4左)。磁場強度の異なる領域で生成された電波が混合して「のっぺらした」電波になることもあります(図2左)。

磁気圏尾部でのエネルギー解放の際に伴って、尾部

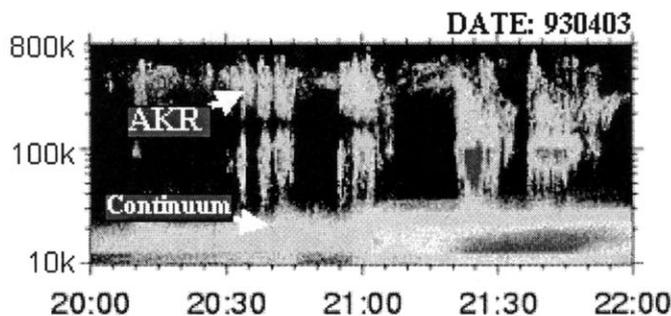
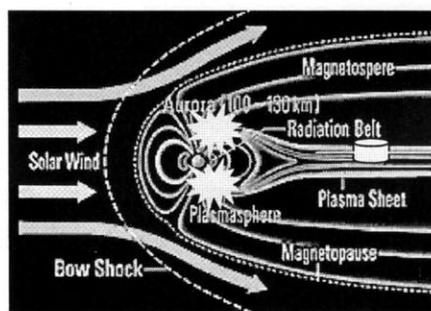


図2: AKR波:(左)スペクトル[横軸は時間、縦軸は周波数]。(右)電波源。



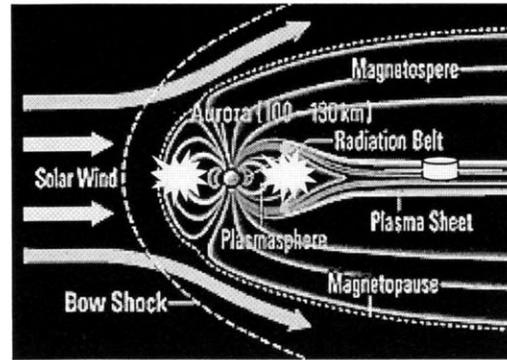
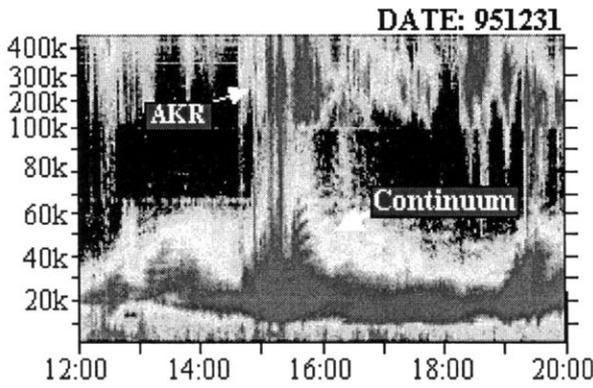


図3：Continuum波：(左)スペクトル。(右)電波源。

で高エネルギー粒子の加速が起きますが、この電子がプラズマ圏界面に到達してプラズマ波動を励起、これが上記の機構で電磁波に変換されます。この電子は北極から見て半時計回りにゆっくりドリフト運動しますので電波活動は長時間に及び、朝～昼側プラズマ圏界面で数時間持続することになります。

注入直後にはもっと激しい現象が起きないのか？ GEOTAIL衛星のデータでは、「箭を右斜め上に掲げた」謎のスペクトルが大量に見つかりました(図3右)。調べるうち、この電波源が真夜中から朝方へ一定速度で移動することがはっきりし、「Continuum波の初期の形で、高エネルギー電子がプラズマ圏界面に到着して最初に励起する電波」であるという解釈に至りました。その後古い論文でこれに触れたものを見つけ、「再発見」になりましたが。

この「バースト」Continuum波では、「縞の幅」すなわち「電波源の磁場強度」が1時間程度で大きくなります。これは「電波源が地球に近づいて磁場強度が上昇」、つまりプラズマ圏界面の急激な縮小を意味します。磁気圏活動に伴ってプラズマ圏の外側が大きく剥ぎ取られ太陽風中へ押し流される点には数々の研究がありますが、この模様を電波から準実時間で観測できることとなります。最近、IMAGE衛星の高速中性粒子・サウンダ観測によって詳細な観測が行われつつあります。

3. 電子プラズマ2倍高調波 ($2f_p$ 電波)

「 $2f_p$ 電波」は、地球前面衝撃波(Bow Shock)の上流で観測されます。狭帯域電波で、電子プラズマ周波数(f_p)の二倍で輝くことからこの名があります(図

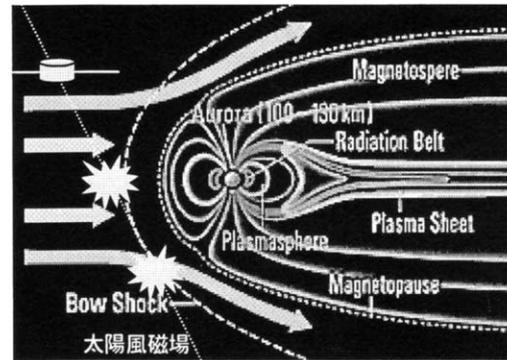
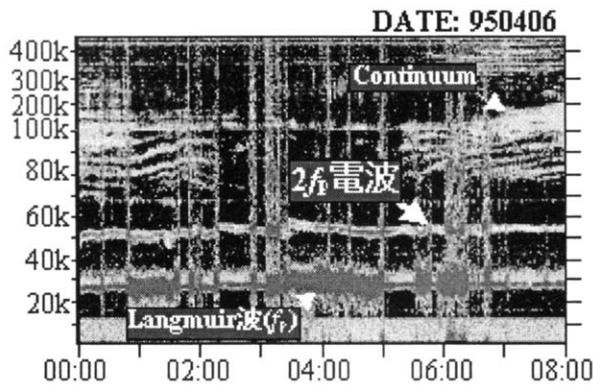


図4： $2f_p$ 電波：(左)スペクトル。(右)電波源。

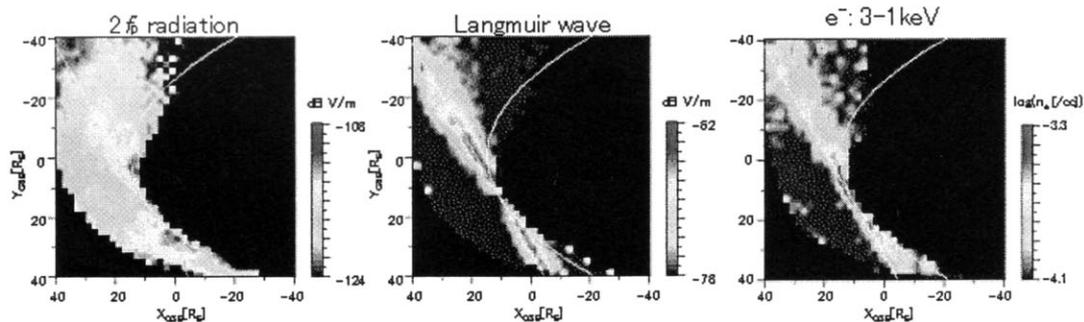


図5： $2f_p$ 電波、電子プラズマ波(f_p)、高エネルギー電子の空間分布。[白円弧：全面衝撃波、白直線：電子フォアショック]

表2：水星・地球・木星電波（水星は予測）

	地球	木星	水星	（予測とその根拠）
シンクロトロン波	×	◎	×?	地球と同じ理由で、まずない。
AKR波	○	◎	△?	水星領域は、第一の条件(磁場強度と電子密度の関係)を満たす可能性が高く、高エネルギー電子が供給されれば電波励起は起き得る。
Continuum波	○	◎	×?	濃い大気がない水星にはプラズマ圏界面=「壁」がない。
$2f_p$ 波	○	?	△?	前面衝撃波に伴う電子加速はある。ただし、地球と比べ小さな衝撃波、電子加速効率が異なればスケール則は非成立?

4左：約50kHz)。

この電波源は、衝撃波に接する惑星間磁場に沿って延びる“電子フォアショック”です(図4右：点線)。ここでは衝撃波で加速された電子が磁力線に沿って太陽風中へ流出し、強い電子プラズマ波(ラングミュア波：図4左、約25kHz)を励起します。 $2f_p$ 電波はこの強い電子プラズマ周波数(f_p)の波がエネルギー源とされます。しかし、電波源および励起機構には直接的な証明がありませんでした。この励起機構は「太陽電波バースト」(太陽フレアに伴う高エネルギー電子が励起)と同じと考えられており、衛星で直接観測できるフォアショック領域は、太陽(含む恒星)フレアに伴う電波活動の「実験室」といえます。

従来、 $2f_p$ 電波源の構造は到来方向・強度・周波数を用いた間接手法で同定されてきましたが、我々は統計的手法による直接同定を試みました。一例として、 $2f_p$ 電波、電子プラズマ波(f_p)、高エネルギー電子の統計的空間分布を示します(図5)。 $2f_p$ 電波の分布は高エネルギー電子・電子プラズマ波の強い領域と見事に重なり、電波源と電子フォアショックとの関係およびそのスケールを直接示しました。

また、 $2f_p$ 電波の強度が電子プラズマ波と高次の相関を持つことがわかりました。 $2f_p$ 電波放射の励起機構としては三つの機構が主に提案されてきましたが、このうち「電子プラズマ波の波動-波動結合」を支持することになります。この点は電磁粒子コードによる数値実験によって確認を試み、基本的に矛盾がないことを確かめています。

まだ謎が残されています。 $2f_p$ 電波源は、衝撃波近傍で弱く「二つ目玉的」です(図5左)。衝撃波近くは加速電子で最も明るく輝くと思われていたのですが。

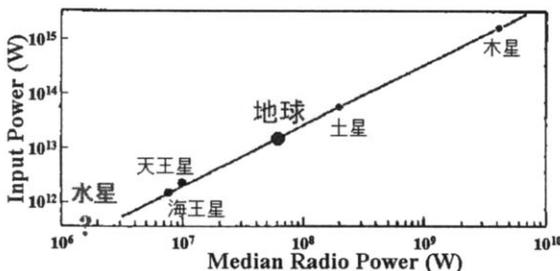


図6：惑星電波強度(横軸)と磁気圏がせき止める太陽風エネルギー(縦軸)の関係。[Desch and Kaiser, 1984を元に改変]

また、太陽電波バーストの問題「なぜ高エネルギー電子は地球軌道近傍まで電波放射を継続できるのか」も未解決です。両者は関連する可能性があり、統計的“なだれ”効果を含めた「Stochastic Growth」機構などの検証の場として、フォアショック領域の観測が使われつつあります。

4. 終わりに ~ 他の惑星では?

他の惑星はどうでしょう。惑星電波の規模は、惑星磁気圏が取り込む太陽風エネルギーにほぼ比例することが知られています(図6)。電波の「出力変換率」は約20万分の1程度でほぼ一定です。この関係則は、異なる規模・環境の惑星磁気圏の基本プロセスには共通したものがあることを示し、重要です。(地球は木星・土星に次ぎ3番目に明るい。)

最も明るい木星は、地球の100倍以上の磁気圏活動を示します。「AKR波」「Continuum波」(何故か $2f_p$ 電波の検出がない)相当の電波が確認されており、これに加え、パルサーなどで見られる「シンクロトロン放射」もあります。(より小型で相対論的電子を閉じ込められない地球磁気圏にはない。)

磁場を持つ惑星として最も小さい「水星」はどうでしょう。水星磁気圏の活動規模は、地球の1/100程度と見込まれています。もし電波の生成条件が整えば「探査機で十分受信可能」ということを意味しますが、果たしてどうでしょうか。表2はあくまでも予測です。図6の他惑星と異なり、「プラズマの供給源であるとともに磁気圏と電氣的に結合した電離層」が水星にはありません。この惑星では、「共通の物理に基づくスケール性」(図6)が成立する保証はないのです。現在、日欧で計画中の「BepiColombo計画」では、日本が「Mercury Magnetospheric Orbiter」を担当します。この探査機は、水星の磁場・磁気圏・外圏大気の観測を主目的とするもので、上記のような論点を含む水星の未解明・未発見の問題に答えを与えることとなります。

水星プロジェクト、検討が始まった次期地球磁気圏探査、将来の木星探査によって、活動天体としての惑星の理解が進むことを期待し、この稿を終わります。

(かさば・やすまさ)

お知らせ



★ロケット・衛星関係の作業スケジュール（5月・6月）

	5 月	6 月
相模原	M-V-5 B-2 仮組立 15 (IA 富岡) → 27	M-V-5 嚙合せ試験 ← 14 (7月18日まで)
	M-V-5 モーションテーブル試験 → 17	MUSES-C 総合試験
	ASTRO-F FM 一次嚙合せ試験 (10月まで)	
	SOLAR-B MTM試験 (7月下旬まで)	
能代	← 17	S-310-31・32 嚙合せ試験 (7月下旬まで) → 13
	← 20	
三陸	← 7	→ 14
	← 13	→ 16

★人事異動（教官）

発令年月日	氏 名	異 動 事 項	現（旧）職等
		(採 用)	
14. 5. 1	こ ばやし ひろ あき 小 林 弘 明	宇宙推進研究系助手	
		(昇 任)	
14. 5. 1	篠 原 育	宇宙科学企画情報解析センター助教授	宇宙科学企画情報解析センター助手
		(客員部門)	
14. 5. 1	安 藤 慎 治	衛星応用工学研究系助教授	東京工業大学大学院理工学研究科助教授



★気球の論文、日本航空宇宙学会の論文賞を受賞

さる4月8日に開催された日本航空宇宙学会の第33期通常総会において、システム研究系気球工学部門の井筒直樹助手を筆頭著者とするスーパープレッシャー気球に関する論文、「高い耐圧性を有する気球の設計原理と飛翔テスト」（論文集、第49巻564号、所収）が第11回論文賞を受賞しました。ここ1年間に学会誌および和文・欧文の論文集に発表されたおおよそ100編を上回る論文の中から選ばれたもので、大変名誉なことと考えます。

総会では、高山学会長より表彰状と記念メダルが授与された後、受賞者の記念講演会が行われ、受賞研究

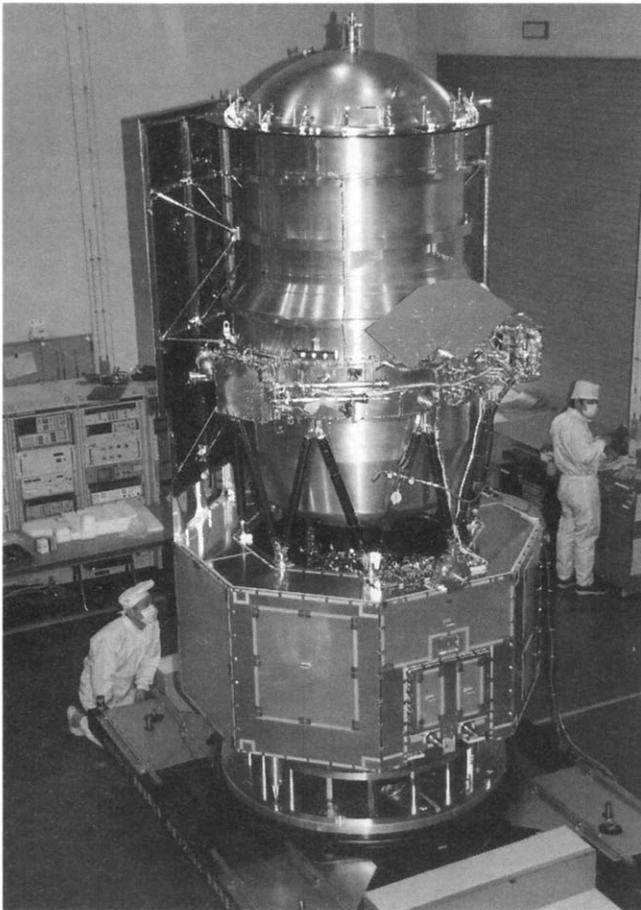
の意義が紹介されました。研究の内容は、これまでの気球設計概念の問題点を基本原理に立ち返って再検討し、一般原理の確立を図ったものです。またその原理に依拠することで、永年の課題であった高い耐圧性が要求される大型のスーパープレッシャー気球が実現可能となり、応用面でも高い成果を上げました。そうした成果は、気球研究者の集まりではすでに世界的に認められておりました。とはいえ、どちらかと言えばマイナーな存在になりがちな気球を対象とした研究が、広く航空・宇宙工学分野全体を扱う学会の中で論文賞と言う形で認められたことは、やはり大変嬉しいことです。
(矢島信之)

★ASTRO-F一次噛み合わせ試験

赤外線天文衛星ASTRO-Fの、フライトモデル一次噛み合わせ試験が、4月1日に開始されました。ASTRO-Fは、天体からの赤外線を観測して、銀河の形成や進化、星・惑星系の形成過程を探る衛星です。天体からの微弱な赤外線を検出するため、液体ヘリウムにより-270℃付近まで冷却された、特殊な望遠鏡を搭載しています。

写真は試験開始から2週間、組み立てがほぼ終了したASTRO-Fの姿です。下側の八角形の部分が衛星本体、上の円筒部分が望遠鏡が入った冷却容器です。現在、各機器の動作を確認する電気試験が行なわれています。今のところ深刻な問題点は見つかっていませんが、隠れた問題点を見過ぎない様、慎重に進めたいと思っています。

ASTRO-F衛星は、平成16年初めに打上げの予定です。(村上 浩)



★第21回 講演と映画の会

さる4月13日(土)新宿西口の安田生命ホールで、恒例の講演と映画の会が開催されました。松尾所長の挨拶に始まり、矢島信之、小山孝一郎両教授による講演が行われ、質疑応答の後、ビデオ「母なる太陽」が

上映されました。

矢島教授の講演は、「惑星の空に気球を浮かべよう」と題して、最新のスーパープレッシャー気球技術の紹介と金星の空に浮かべる水蒸気による気球の話を中心に巧みな解説で聴衆を惹きつけました。また、小山教授の講演は「ヴィーナスの素顔にせまる—金星探査—」と題して宇宙研の金星探査計画PLANET-Cが解明をめざす金星大気の科学、中でもスーパーローテーションの謎を中心に、300人の参加者に居眠りを許さない迫力で迫りました。(マイクが小山教授の大音響で壊れなかったのは幸運でした。)質疑は極めて活発で、当初予定の2倍、1時間ほどを費やしてもまだ尽きませんでした。

気球のビデオの中で地上実験とフライトで、気球のバーストデータが異なることに気付いた聴衆からの鋭い質問には、矢島教授も舌を巻いておられました。

なお、所長裁量(?)でブラックホール関連の質問対応に急遽呼び出された井上一教授は、予想どおり大繁盛で、暗黒物質やニュートリノ星に至るまで、質問の半分を占める今回の講演にまったく無関係な話題を明解に説明していたのが印象的でした。

(中谷一郎)



★M-25TVCシステム試験

M-25TVC（第2段推力偏向装置）は、M-Vロケット改良計画の一環として導入された姿勢制御装置で、これまでの液体噴射方式（LITVC）を可動ノズル方式（MNTVC）に発展的に変更したものです。液体噴射方式とは異なりこの方式では、噴射する液体の漏れ（リーク）や使いすぎによる燃料切れ（噴射体の枯渇）の心配がありません。その代わりに、重いノズルを動かすのですから、一般に応答が遅くなってしまうのが難点です。このために、馬力はもちろんのこと、応答の速いアクチュエータが必要です。2段ロケット用には軽量性も求められます。M-V開発時には、このようなアクチュエータは考えられなかったのですが、技術の進歩によりそれも可能になり、こうして、M-VロケットのTVC装置は全段にわたって可動ノズル方式となりました。各段のアクチュエータはノズルの大きさや外乱の特性によりその種類を使い分けています。1段目は最大出力40トンと言う超大型の油圧アクチュエータ、3段目は1トン級の小型の電動モータ、そしてこの新しい2段目の可動ノズルには、最大で約10トンを生み出す高出力電動モータが用いられます。

さて、4/4～18日の期間にM-25TVCシステム試験がIHIエアロスペース川越研究開発センターにおいて実施されました。その目的は、システムの総合的な機能と性能の確認です。連日夜遅くまで続く厳しいスケジュールでしたが、結果はすべて良好で、M-V-5号機の打ち上げに向け準備はとて順調と言えるでしょう。（森田泰弘）

★BepiColombo Meeting, ESTECにて開催される

2002年4月15日および16日に、オランダにあるESAのESTEC（European Space Research and Technology Centre）にて、ヨーロッパのメーカー2社によるBepiColomboの競合的システム検討の2回目の中間報告会（第1回は2001年12月）が開催された。宇宙研からは早川、笠羽、小川、山川の4人が参加し、日本が担当をすることが期待されているMMO（Mercury Magnetospheric Orbiter）とのインターフェースの観点から議論を行った。4月17日の宇宙環境に関する打ち合わせの後、4月18日には、SAG（Science Advisory Group）Meetingが開催され、ヨーロッパ各国および日本（水谷、向井）の科学者が集まり、BepiColombo全体のサイエンスの成果を最大化すべく白熱した議論が行われた。システム全体の検討精度が上がり、観測機器開発に関してもより具体的な段階に入ってきてい

ることを痛感した一連の会議であった。（山川 宏）



★飛翔体環境試験棟に新クリーンルーム完成

13年度補正予算により、飛翔体環境試験棟に新たにクリーンルームが誕生しました。これは、噛み合わせ試験等で使用していたロケット組立室を改修し、衛星の試験が出来るようにクリーンルーム化したものです。クリーン度は既存のクリーンルームと同じくクラス100,000ですが、省力化を計り、照度も明るくし、圧力調整を自動制御化しています。さらに、備え付けのクレーンの性能アップも計られています。このクリーンルーム工事は、予算執行上、短期間で行わねばなりませんでしたが、施設課をはじめ、関係者の大変なご尽力とご協力によってほぼ予定通りに完成したものです。特に、衛星試験スケジュールとの調整を計りながら、それらに支障を与えないように慎重に進められました。大変きつい工程でしたが、3月26日に竣工検査が無事終了し、4月から使用可能になりました。早速このクリーンルームでは、4月15日よりSOLAR-Bの望遠鏡用ブースの組み立てが始まり、現在望遠鏡の試験が行われております。この新クリーンルームの誕生によって、本研究所が計画している衛星ミッションの各種飛翔前試験が、円滑に進むことと確信しております。

（井上浩三郎）



新クリーンルーム全景

★「星の王子さまに会いに行きませんか」 ミリオンキャンペーン

宇宙科学研究所では、今年11 - 12月に「ミューゼスC」という探査機を打ち上げます。小惑星の探査をめざす「ミューゼスC」は、重さ約500kgの探査機で、打ち上げロケットは「M-V」(ミュー・ファイヴ)、発射場は鹿児島県内之浦町の「鹿児島宇宙空間観測所」です。

その打ち上げを控え、宇宙科学研究所は日本惑星協会と共同で、「星の王子さまに会いに行きませんか」 ミリオンキャンペーンを発表しました。これは全世界の人々の名前を募り、「ミューゼスC」が小惑星に接近する際に目印として予め投下される「ターゲット・マーカー」に載せようという企画です。「ミリオン」というのは百万円が当たるというのではなく、百万人を目標にしているということです。

皆様のご応募をお待ちしています。なお「ミューゼスC」計画の概要については、宇宙科学研究所のホームページ (<http://www.isas.ac.jp>) をご覧ください。

記

募集期間：2002年5月10日～7月6日（必着）

応募方法：インターネット（携帯電話も含む）または往復ハガキ

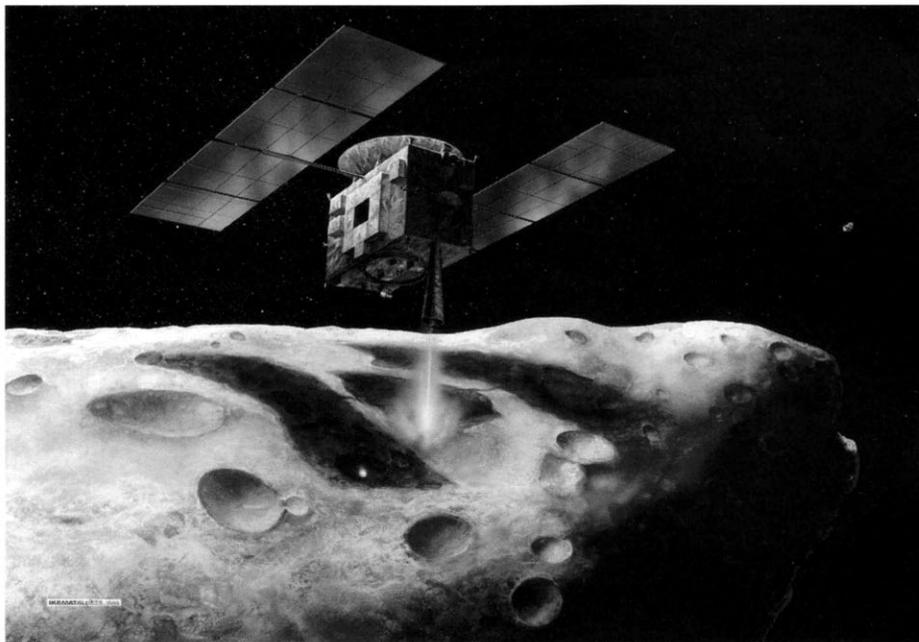
【インターネットの場合】 <http://www.planetary.or.jp/muses-c/>

- ・上記のアドレスにアクセスすれば、各端末（PC, i-mode, J-Sky, EZweb）の専用ページにアクセスできます。
- ・所定の手続きで登録が終了したら、登録終了画面が表示され、別途、認証番号入りの登録完了メールが届きます。

【往復ハガキの場合】

- ・往復ハガキに、氏名・ふりがな・年齢・性別・住所を記載
- ・返信用に、あなたの郵便番号・住所・氏名を記入
- ・宛先：〒101-0054 東京都千代田区神田錦町 1-8-11 日本惑星協会
「星の王子さまに会いに行きませんか」ミリオンキャンペーン係
- ・連名応募の時は、返信用ハガキの住所・氏名は代表者のみ
- ・後日、返信用ハガキに認証番号を記載して郵送
- ・なお往復ハガキで応募された場合は、自筆の名前そのままではなく、インターネット応募と同様の処理をさせていただきます。

問い合わせ先：0570-002299（平日 9:00～17:00）



宇宙を 第31回 探る

ペネトレータによる熱流量観測センサーの開発

田中 智

地球を含め惑星や衛星が生成しておよそ45億年が経過していますが、内部からは絶えず多量の熱が湧き上がっています。地球の場合を例にとると実に30億キロワットもの熱量が地表に流れ出しています。この多量の熱（地殻熱流量と呼んでいます）はこれまでの惑星や衛星の進化の結果もたらされたものですから、異なった熱流量値をもつ惑星は別の進化の道筋をたどってきたといえるでしょう。つまり熱流量が正確に測定できると惑星を構成する物質や進化に関し大きな制約を与えることができます。私たちの研究室で開発している熱流量センサーは、月やその他の惑星や衛星の熱流量を直接観測することを目指しているものです。

熱流量は、熱伝導率（熱の伝わりやすさ）と温度勾配を計測することによって得られるものです。これまで私たちの研究室をはじめ工学の諸研究室および所外関連大学などとの共同研究でペネトレータという観測プローブを開発してきました。これは周回衛星から惑星（衛星）に槍型の観測プローブを投下し表面の砂に

貫入させて観測を実施するものです。このペネトレータは直径約15cm、長さ約80cm、重量は約13kgあります。現在LUNAR-A計画が2003年度の打ち上げを目指して準備を進められているところです。この観測プローブで熱流量を計測するのですが、実はこのペネトレータすべてが「熱流量センサー」なのです。

月レゴリスの熱伝導率は、ペネトレータを構成する熱伝導率に比べ10倍からものによ

ては数百倍もの熱伝導率があります。熱伝導率の小さいものの中に、このように熱伝導率の大きな物質が置かれると熱の流れが大きく変化し、高精度で温度を計測してもそれは月レゴリス本来の温度勾配を測定していないこととなります。ペネトレータがレゴリス中に存在するときの等温度線推定図を図1に示しました。この数値シミュレーション実験結果の場合、月レゴリスの温度勾配が1mで1度のときペネトレータ表面ではわずか0.1度の温度差しか観測されません。従って、ペネトレータの熱物性を調べるのが最も重要な試験の一つとなります。電子回路や電池、そして他のセンサーなどが搭載されているペネトレータの熱物性を精密に測定するのはかなり大掛かりな試験となります。各部品ごとの要素試験も実施しますがフライト品の熱物性を精度よく実測することが必要不可欠です。現在大型スペースチェンバー施設を用いて測定しております（図2）。これはペネトレータを真空環境下中にセットし、周囲温度を適切に変化させたときのペネトレータの温度応答を精密に調べることによって各部の熱物性を調べるというものです。温度の変化のさせかたやペネトレータに装着するテープ材の改良、ときにはペネトレータの一部にヒーターを取り付けて温度応答を調べるなど試験の機会があるごとにいかに精度よく熱物性を計測するかを考えて工夫を続けています。

（たなか・さとし）

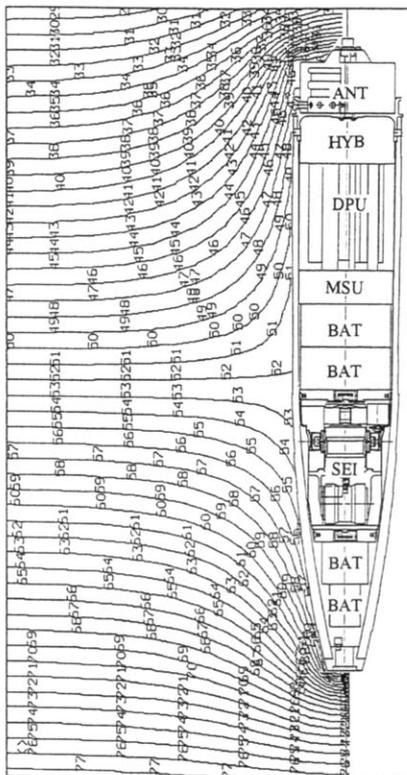


図1：レゴリス中にペネトレータが垂直に貫入したときの温度分布数値シミュレーション結果。等温度線間隔は0.02度

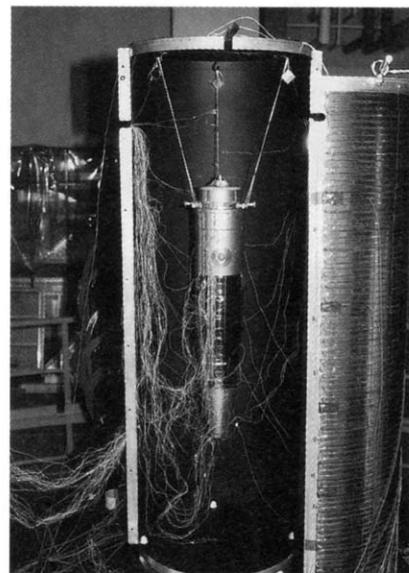


図2：ペネトレータ熱物性測定試験概観

シャンゼリゼからちょっと入った辺りで、来る10月にヒューストンで開催される国際宇宙航行連盟総会(IAC)のプログラムづくりの会議が開かれました。これは文字通り世界最大の宇宙工学の学会です。今年と同じく世界最大の宇宙物理学のイベントである宇宙空間研究委員会総会(COSPAR)との共同開催で“World Space Congress”というかたちで行なわれるので、賑わいが今から見えるようです。各セッションとも論文応募数が非常に多いように見受けられました。

半日ほど中途半端な時間があったので、これまであまり足を向けていなかったフォーラムの付近をうろつきました。ポンピドー・センターのシャガールは圧巻でした。前から一度行ってみたいと思っていた巨大な本屋さん“fnac”は見事なデザインで、地下に入っても陽射しが明るい独特の設計。感心しました。おまけにあちこちに座り込んで本を読んでいる若者たち。文字通り「立ち読み」ではないのですが、日本なら間違いないと追いつかれるでしょう。

fnacには、もちろん“history”とか“science”などのコーナーがあって、それぞれフランス語で書いてあるのですが、その多くはフランス語をやったことのない私でも何となく連想で分かります。

ちらと見上げた視線の先に“Mangas”という文字を見つけました。(これは私の語彙にはないな)と思って周囲を見回すと、これが「漫画」だったのです。(なるほど日本は世界を代表するマンガ国なんだ)と、喜ぶべきか悲しむべきか態度を保留していると、松本零士さんの『銀河鉄道999』を「座り読み」している青年が目にとまりました。

これくらいの男の子なら英語は大丈夫だろうと、「面白い？」と声をかけると、目を上げると即座に「最高！」と返ってきました。「パリでは日本のマンガが流行っているんだね」とたたみかけると、「うん、とくに《レ・ヴァイヤージュ・ドゥ・シーロ》なんか、今はすごく売れてるよ」とのこと。「それ日本のマンガ？」と訊ねると「エッ、知らないの？」と怪訝な面持ち。日本ではマンガについての無知を恥じたことの

ない私が、妙に窮屈な感情にとらわれてその場を離れました。

コーナーの裏側に回ったら、そこは『千と千尋の神隠し』が山のように積まれていました。これくらいは私でも表紙の絵で分かります。そしてその表紙に『Les Voyage de Chihiro』と。さっきの子に「アンタの発音が悪いんだよ」と言いに行こうかと思いましたが、やめにしました。

1年ぶりのパリはすべてユーロに切り替わっていました。もちろん反対も多くあったようですが、伝統のあるフランやマルクからサヨナラを告げてまで通貨を統一する意志はすごいと思いました。一緒に食事をしたフランス人の友人に感想を聞くと「どうってことないよ」という答えが返ってきました。フランス人って、こういう「さりげない」というか「そっけない」言い方をするので本音の部分はいまひとつ分かりません。しかしともかくヨーロッパは100年か200年に1回の大変革をなしとげつつあるのだと思います。

通貨の問題になると生き生きと語るフランスやイタリアの友人たちを見ると、日本の新聞を連日のように飾る汚職と詐欺と嘘つきのニュースが、時代に大きく逆行しているように見えて、日本の惨めさが浮き彫りになります。政治家や官僚という人種は、どこの国でもリーダーに違いありません。アメリカのリーダーが単独行動主義の道を断固として歩み始め、ヨーロッパのリーダーが団結して現代のフランク王国をめざす歴史の実験に挑んでいる時、日本のリーダーは何をしているのですか。

日本人が何世紀もかけて作り上げてきた高いモラルが、国のリーダーを自称している人々から大きな音をたてて崩れていきます。これでは、子どもたちのモラルが育たないのも当たり前です。大人たちは、月並みな言葉ですが「立派な人生」を送らなければなりません。彼我の国情の差を何とか私たちの発奮の動機にしなければならぬと感じながら、日本に帰ってきました。(まとがわ・やすのり)



「微小重力科学あれこれ」第9回

実験宇宙惑星科学への微小重力利用

東北大学大学院理学研究科 地球物質科学科 塚本勝男

同じ宇宙という言葉を使っている、宇宙科学や惑星科学と微小重力科学とのつながりは非常に薄い。もともと前者は、宇宙空間での観測を主体とした研究、あるいは惑星内部や惑星間物質の研究であるのに対して、後者は微小重力を道具とした多種多様な研究を示すことが多い。歴史的に見ても全く異なる経歴をもつ研究と言えよう。ところが、最近両者の間に少しは橋渡しが出来るといった状況が生まれつつある。

これまで天文学的な手法や観測が主であった宇宙科学、あるいは、地球にもたらされる隕石や宇宙塵の研究が主流だった惑星科学でも、観測手段や分析方法の発達にともなって、宇宙空間に存在する物質が具体的に明らかになってきている。一方、これらの物質の再現実験も長い歴史をもっている。例えば、コンドリュールといわれる隕石中に多数含まれている直径2、3ミリのオリビンの球状結晶。この特有な組織（図1）を実験的に再現しようという試みは、20年余り前からNASAなどの資金援助で開始されていた。それにも関わらず、その結晶組織の完全な再現はつい最近になるまで行えなかった。

いくつかの理由を挙げる事が出来るが、微小重力科学とのつながりが皆無であったことにも起因する。つまり、宇宙空間での物質形成は、本来、微小重力実験の特徴である、無容器、無対流、無沈降の場での現象であるにもかかわらず、再現実験は重力環境で行われ続けてきた。そのため重力下での結晶化に特徴的な、容器壁の影響や不均質核形成に妨げられて、大きな過冷却をつけた融液からの結晶化実験ができなかった。

これに対して、我々は宇宙研の浮遊実験装置やNASDAの航空機を利用した浮遊・微小重力実験を行ってきた。その結果、これまで不可能であったコンドリュール組織の完全な再現が可能となったのである。速度論的にもコンドリュール形成が星雲の冷却速度に比例するようなゆっくりした現象でなく、融点から数百度さ

がった高過冷却融液からの急速な結晶化の結果であることを明らかにしている。

この惑星間物質を微小重力空間で積極的に再現しようという研究は、幸い日本がアメリカをリードしている。しかし、ドイツでは宇宙塵の微小重力での合成実験が始まっている。アメリカでも、浮遊装置を利用した隕石物質の合成実験が始まっている。このことは、宇宙惑星科学と微小重力科学とのつながりが今後益々深くなることを物語っていよう。

(つかもと・かつお)

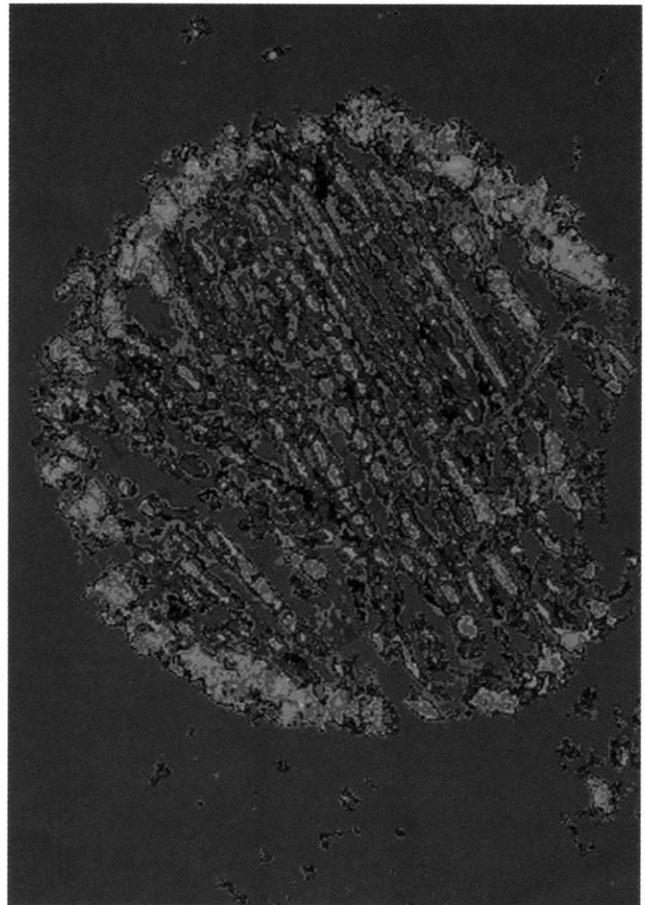


図1：隕石中に含まれるコンドリュールの偏光顕微鏡写真。直径約2mmのオリビンの球状結晶。外周のリム部もバー状組織も結晶学的な方位が全て同じ。この組織の再現は、微小重力実験で初めて可能となった。



アサバスカのオーロラ顛末記

鶴田 浩一郎

エドモントン（カナダ，アルバータ州）から2号線を120km程北上するとアサバスカに到着する。ロッキーを水源とするアサバスカ川の南岸に展開する人口1500程度の小さな町である。町外れには広い敷地と立派なオフィスを持ったアサバスカ大学がある。小さな町は大学生であふれ、と書きたいところだがこの大学の学生は居ない。既に30年の歴史を持つ通信教育だけの大学である。

昨年の暮れに寄宿先のカルガリーから車をかってこの町を何度かおとずれた。地磁気緯度62度のこの町は脈動（パルセーティング）型オーロラの出現頻度が高い。はじめてこのオーロラと私が出会ったのは20年程前である。日本とカナダ共同の脈動型オーロラキャンペーンに参加して不思議なオーロラだと思った。しかし、「あけぼの」衛星を始めようとしていた頃で忙しさにかまけ短い論文一つ書いてそれっきりになっていた。定年退職を機にもう少しこのオーロラに深入りしてみようかというのが今回のアサバスカ訪問の動機である。

昔は大きなアンテナとイメージインテンシファイアを備えた撮像装置を介しての出会いであった。装備だけで優に100kgはあったであろう。今回はいたって軽装である。少し高級な市販のビデオカメラ、直径1メートルのループアンテナ、いつも使っているノートPCが用意した装備の全てであり全部あわせても5kgにもならない。車の助手席に放り込んで手軽に何処へでも移動できる。20年の間の技術の進歩にいまさらながら感心させられる。

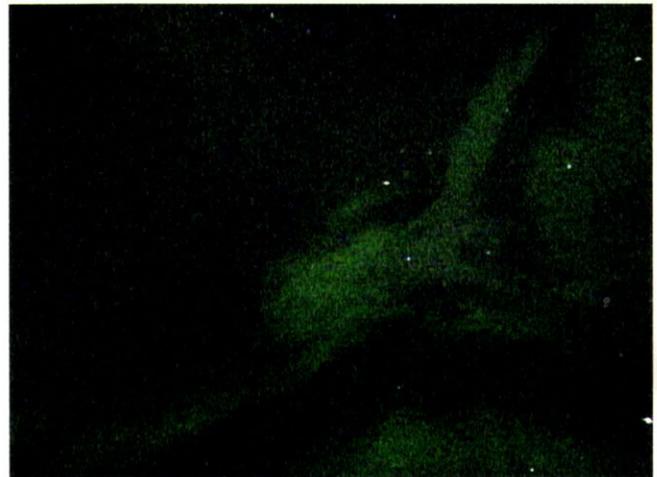
夜の観測だから危険があってはいけないということでアサバスカ大学のサイエンス担当教授Mさんの協力を得て大学の演習畑で観測を行うことになった。地域環境保全の活動家でもある技官のJ女史の話では狼の1家族が住んでいるだけで何も危険はありませんよということだった。ともあれ、Mさんと一緒にオーロラの

ためし撮りをしようということで最初に撮ったビデオの一コマが添付した闇夜の鳥のような写真である。空の100km×140km程度を切り取った形になっている。モヤモヤと明るい部分がオーロラである。20秒から30秒の間隔で明るくなったり暗くなったりするので脈動型と呼ばれる。実はこの形が何で作られているか未だ確たる理論は無い。20年経ってもまだ謎多き存在である。

最初の夜がうまくいったのでその後もうまくいくだろうと思ったが相手はやはり手強かった。町の人話では「いつもの年は天気が良い」そうであるにもかかわらず11月と12月の新月をはさんで通算20日程の間、空が晴れたのは4夜だけであった。このうち何とかお目当てのオーロラが出たのは2夜のみであるから何とも具合がよろしくない。普段の行いが良くなかったようである。

せっかくのオーロラとの再会がこんな形で終わったため、是非とももう一度挑戦をしたいと考えている。本物のオーロラをCDにして皆さんに見てもらえる日が来ることを楽しみに機材の整備をしているこの頃である。

（つるだ・こういちろう）



ISASニュース

No.254 2002.5

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 042-759-8008

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（庶務課企画・広報係）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>）。