



▲ 2001年11月19日に観測されたしし座流星群（撮影：柏本文吾氏）

〈研究紹介〉

サンプルリターンに向けた地球化学的総合分析システムの確立を目指して

岡山大学固体地球研究センター 中村 栄三

1. はじめに

それは、1987年秋のことです。日本の地球・宇宙科学の将来についての会議が名古屋大学で開かれ、どういうわけか、助手になりたての私もそのメンバーに選ばれていました。そこで問題になったのが、将来日本が独自に地球外の天体からサンプルリターンを行ったときに、持ち帰った試料を日本の能力で分析することができるのだろうかということでした。宇宙研・水谷仁先生のこの問題提起に対して、私が言った次の言葉がここで御紹介します事の始まりとなりました。すなわち、「僕が三朝（鳥取県の温泉町）でやります」と。

隕石や地球を構成する岩石は様々な鉱物の集合体であり、現在それらにみられる組織や化学組成は、私たちが手にするまでに被った幾つかの事件、すなわち溶融をはじめ変成、変質、混合等によってもたらされた

ものです。そこで注意をすべき重要な問題は、これらの事件がその岩石における非常に長い歴史（それが隕石なら多くの場合約45億年の歴史）の中で起こっており、手のひらに乗るような岩石でも歴史に応じて幾つかの事件が重ね刷りされてしまっているということです。幸いにも、固体・液体・気体に対する元素の分配はおかれた環境によって元素ごとに異なるため、個々の事件による元素および同位体の再分配とその結果生じるそれらの分布は個々の事件の特徴を間接的に反映することになります。したがって、できるだけ多くの元素と同位体の分析をなるべく小さな構成単位で行うことができれば、個々の事件の起きた時代とそれぞれのプロセスを明らかにすることができ、鉱物や岩石の歴史と起源をより正確に理解できるようになります。

しかしながら、私が外国の研究機関から帰国して助

手に着任した当時の日本の状態は想像していた以上に惨憺たるものでした。着任先の岡山大学地球内部研究センター（当時）には表面電離型質量分析計（TIMS）が一台備わっていたものの、赤字暮らしの貧乏センターで千円の消耗品を買うにも熟慮しなければならない状況でした。こうした条件の中で、まず、実験環境を整えることから始めました。たとえば、普通の実験室を簡易クリーンルームに改良するために、薬品用の段ボール箱を使ってダクトを作ったり、イオン交換用のカラムとして、一本10円のポリエチレン製のピペットを改造したものを用いたりもしました。こんな状態が5年間ほど続きましたが、創意工夫によって何とか実用に耐えうる実験環境を作る事が出来ました。このような経験から、図1に示す総合的な地球化学的分析システムの構想が生まれたのでした。

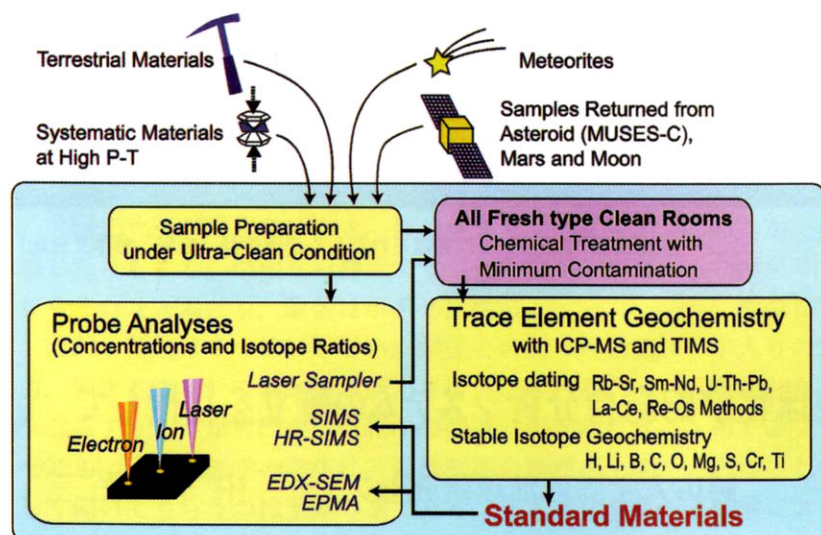


図1 地球化学的総合分析システムの概要図

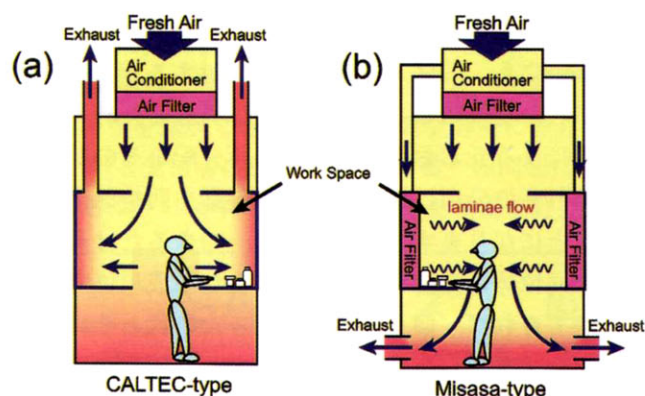


図2 二つの異なるAF型クリーンルームシステム

2. 地球化学的総合分析システムの概要

図1に示すように私たちの研究対象とする試料は、1) 地球表層に分布する岩石、2) 希少な隕石、3) 高温高压実験で得られる極微小の試料、4) 小惑星や火星からサンプルリターンされる試料等です。これらの試料は分析法に応じて、研磨処理と化学処理の二つの異なった処理がなされます。前者では、研磨処理により薄片を作成し、光学的な観察をはじめ、レーザーやイオン、電子等のビームによる組織および相分析、さらに微小領域での主要・微量元素と同位体の分析等が行われます。後者では、前者の過程で得られた鉱物学的・化学的情報を基に、特定の鉱物の分離や全岩分析用の粉末試料の作成が行われた後、クリーンルーム内で化学処理が施され、TIMSやICP-MS（誘導結合プラズマ型質量分析器）を用いて各種同位体による年代測定と主要・微量元素や同位体の分析が行われます。ビームを用いた分析は、多くの場合、既知の標準試料との

比較分析により行われ、標準試料と分析される試料との間の物理化学的性質が近いほどより信頼度の高い分析結果を得ることができます。上述のシステムでは、TIMSとICP-MS（誘導結合プラズマ型質量分析器）を用いて目的に応じた高精度の同位体及び微量元素分析用標準試料を独自に作成できるため、ビーム分析を行う上で大きな強みになっています。

3. Misasa-typeクリーンルーム

前述の化学処理は、実験環境から試料への汚染を抑えるためにクリーンルーム内で行われなければなりません。クリーンルームは一般に空気循環型とオールフレッシュ(AF)型の二つの方式がありま



図3 クリーンベンチでの作業風景
クリーンエバポレータが見える

す。前者は、空調機とフィルターユニットに加え、室内を陽圧に保つ装置があれば簡単に作ることができます。しかし、この方式は酸を用いた化学分析を行う用途には適していません。なぜなら酸を含んだ空気が循環し、空調機と空気清浄フィルターが酸で腐食してしまうからです。一方1960年代にカリフォルニア工科大学で開発されたAF型のCaltech-type (図2a) クリーンルームは世界的に普及しています。しかし、この方法では作業スペースでの空気清浄度はその室内における最高清浄度に達することはありません。私たちは、こうした問題を解決するために、新しくAF型のクリーンベンチ(Misasa-type, 図2b)を開発し、清浄度クラス10以下の作業スペースを得ることができました。Misasa-typeでは、空調機からでた空気がフィルターユニットを経て作業ベンチの前面から層流として流れます。したがって、人体や室内からの汚染はほとんどありません。また80~200℃で行われる試料の酸分解過程での蒸発乾固は、クリーンルーム内に設置された新設計のクリーンエバポレータを用いるために、室内

温度は乱されず、また室内が酸で汚染されることもありません(図3)。

4. 分析機器の構成

図4に装置類や実験室の配置を示しました。化学的処理後の試料への汚染を最小限にするため、二階のAF型と循環型からなる約400m²のクリーンルーム内にはInu, Saru, Kiji, Taroの4台のTIMSが設置されており、それぞれU-Th-Ra, Re-Os, Li-B-Pb, Rb-Sr-La-Ce-Sm-Nd同位体測定を行っています。さらに、同クリーンルーム内には四重極型ICP-MSとセクター型ICP-MSも導入されており、約50元素の定量分析を可能にしています(図5)。

一階には、主にビームを用いた分析装置、SEM-EDX(エネルギー分散型X線分析器つき走査型電子顕微鏡)、汎用SIMS(2次イオン質量分析器)および高質量分解能(HR)SIMSが配置され、微小領域における主要・微量元素の定量分析とLi-B-O-Pb同位体分析やU-Pb法によるジルコンの年代測定を行います。

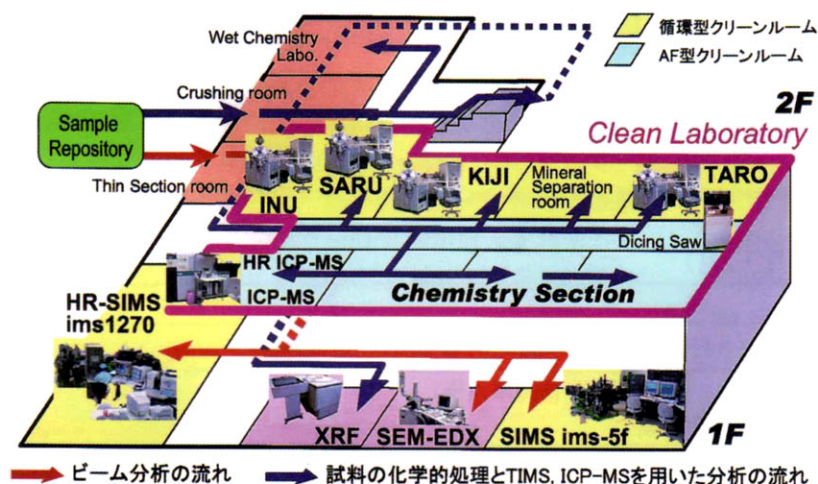


図4 実験室の配置と分析機器の構成

H																	He				
Li	Be															B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg															Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr				
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe				
Cs	Ba	L	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn				
Fr	Ra	A	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt													
		L	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu				
		A	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr				

図5 分析可能な元素リスト(2001年11月現在)
黄色の背景が定量分析
赤文字が同位体分析

5. 分析能力の現状

残念ながら私たちが三朝で作りに上げてきた分析技術とその能力を具体的に説明することは紙幅の都合上困難ですので、詳細は私たちのホームページ(<http://pmlgw.misasa.okayama-u.ac.jp/>)を閲覧いただければ幸いです。ここではその一例として「MUSES-C小惑星回収試料初期分析研究者選考」のために行われた分析コンクールの結果について簡単に紹介します。宇宙研から課題として送られてきた100mgの隕石粉末試料から、私たちはICP-MSを用いて55元素の定量分析と、イオン交換法による連続的な元素分離とTIMSによってLi, B, Rb-Sr, Sm-Nd, Re-Os, Pb同位体の精密分析を行うことができました。さらに、与えられた課題とは別に、私たちの分析能力を強調するため、隕石から取り出した1~7mgのコンドリュール一粒ごとの分析を行いました。まずコンドリュール一粒をダイシングソーにより三枚におろします(図6)。厚さ50μmの中央部をプレパラートに貼り付けて琢磨薄片とし、光学顕微鏡、SEM-EDXと汎用SIMSを用いて組

組織解析、相解析および構成鉱物の主要・微量元素分析（約30元素）を行いました。一方、残った上下の2片はそれぞれ化学的に処理され、ICP-MSにより約40元素の定量分析とTIMSによりRb-Sr、Sm-Nd同位体分析を行うことができました。このような微量の試料を用いた総合的な地球化学的分析は世界で初めての試みです。

また、近い将来の火星からサンプルリターンされる試料が火星起源のザガミ隕石と仮定すると、現時点での私たちの技術では、200mgの岩石片があれば、上述の分析に加え、鉱物分離を伴うRb-Sr、Sm-Nd鉱物アイソクロン年代測定も十分に行うことができます。1970年代の月の石の分析では、1～数gの試料が異なる分析ごとに用いられていましたので、当時これだけの情報を取り出すには100g以上の試料が必要であったと考えられます。また当時に比べ、2桁近く同位体分析の精度を向上させた点も私たちの大きな進歩といえるでしょう。

6. MUSES-Cによるサンプルリターン計画について

宇宙研で行われたMUSES-Cのサンプリング予備実験では、回収できるサンプル量は2g以下でしかも粉末状であると推定されています。したがって、従来のよう

に異なる分析ごとに試料を与え、限られた目的だけに試料が消費されることは許されません。同一試料に対して、私たちと鉱物学や有機化学等の研究者が協力して分析を行える体制を整え、さらに分析技術の向上を図ることができれば、2007年に回収されるMUSES-Cによる試料だけでなく、今後の惑星探査や地球・宇宙科学の発展に私たちは大きく貢献できるものと確信します。

「水谷先生、14年前の先生との約束事はほぼ実現できたと思いますが、如何でしょうか。更に努力を重ね、地球を含む太陽系の起源と進化の理解に深く貢献できるよう頑張ります。」（なかむら・えいぞう）

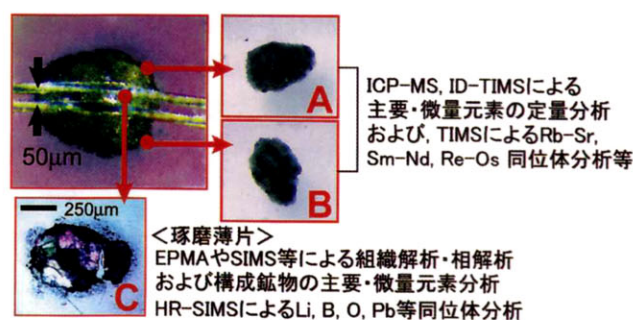


図6 コンドリュール一粒の分析

お知らせ



★ロケット・衛星関係の作業スケジュール（1月・2月）

	1 月	2 月
相模原	21 ← M-V-5 計器合せ (第2・第3段計器部, 頭胴部, 衛星) (IA 富岡事業所) 7 ← MUSES-C 総合試験 11 ← LUNAR-A 母船・ペネトレータ通信系試験 (下旬) ASTRO-F 観測装置・冷却装置性能試験	20
内之浦	S-310-30 フライトオペ 27	2 (1/31 DASH/H-II A 打上げ) DASH データ回収オペ (モーリタニア) 25 6 USERS-RBM 真空スピン燃焼試験 (IA 武豊事業所) 14 23

★人事異動（教官）

発令年月日	氏 名	異 動 事 項	現（旧）職等
		（ 転 出 ）	
13. 12. 1	村 上 敏 夫	金沢大学理学部教授	宇宙圏研究系助教授



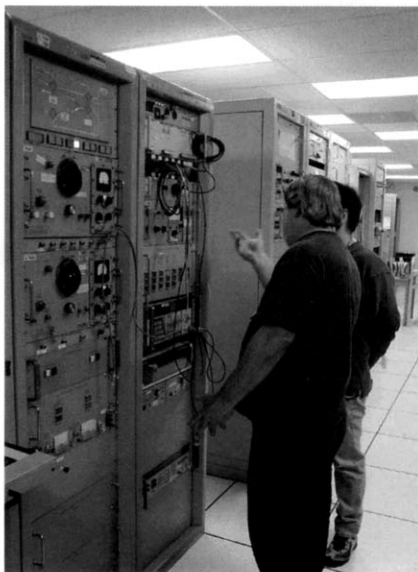
★MUSES-Cのコンパチ試験について

この試験は、第20号科学衛星MUSES-Cとそれを追跡運用する地上局が、所定のインタフェース項目において相互に適合していることを確認するためのもので、去る7月19日から27日まで臼田局64mアンテナで、10月17日から26日までアメリカJPL/DTF（開発試験棟）で、それぞれ実施されました。

コンパチ試験は、本来、地上局と実機の探査機を組み合わせて行うことが望ましいが、探査機を所定の地上局まで搬送することは困難で非現実的であるため、今回は探査機と同等の性能を有するシミュレータを製作し、それを用いて行なわれました。試験内容は、アップリンク受信機の捕捉性能とスレッシュホールドレベルの確認をはじめ、コマンド、レンジング及びテレメトリの性能について、それぞれコンパチ試験計画で決められた項目について確認されました。結果は、当初予想された性能は確認出来、所期の目的は達成されたものと考えます。

ただJPL/DTFの試験では、地上系の問題でテレメトリが復調出来ない問題が1点判明しましたが、この点については、11月8日と9日に開かれたNOWGの会議で、ミッション上必要な時期までには解決出来る見通しが確認されました。いずれにしましても、今回のコンパチ試験は、MUSES-Cのミッションにとって、重要で意義ある試験でしたが、特にアメリカでの試験は、先のテロ事件の影響で一時実施が危ぶまれましたが、関係者のギリギリまでのご努力で実現出来たものと思います。

（井上浩三郎）



★第二回宇宙科学シンポジウム開かれる

本年一月に開かれた昨年度の第1回宇宙科学シンポジウムに引き続き、本年度の宇宙科学シンポジウムが11月19（月）、20（火）の両日にわたって開かれました。部屋の中で、立っている人に加え、外からドア越しに聞いている人がいるなど、盛況ぶりは第1回目と大差はありません。一日目の午前中は現在理学委員会に提案されているBepiColombo計画の詳細な報告に費やされ、午後はいくつかのワーキンググループ報告、及びそれに関連した講演、そして衛星基盤技術に関する講演が続きました。17時頃からポスターセッションを開始し、19時からの懇親会開始まで活発な議論が続きました。

二日目は、午前～午後3時半まで特別セッション「太陽系の起源と第二の地球探査」を行い、その後将来計画の提案に関する講演がおこなわれました。

宇宙科学シンポジウムとして4人の世話人（工学：斎藤宏文、山川宏、理学：松原英雄、小山孝一郎）は昨年度のシンポジウムのアンケートの結果と、世話人自身の反省に加え理工学委員長・企画調整主幹の助言をいれて試行錯誤しながらもかなり趣向を凝らしたつもりではありましたが、参加者の皆様には色々と満足できないところがあったのではと思います。特に講演募集時に、シンポジウムの趣旨・ポスターの位置付けについて周知徹底しなかったために、プログラム編成上の問題を招いたことは深く反省しております。

今回のシンポジウムに関するアンケートはまだ整理されておりませんが、特に多かったコメントは、「会場が狭隘である」、「コーヒープレークがない」の二点です。また全体として講演自身に時間がとられ、結果的に質問時間が少なくなったことも大きな反省点の一つです。ポスター発表を重視するため、ポスターセッションの時間を2時間程度とりましたが、これは長すぎたようです。このために19時から始めざるを得なかった懇親会を待てずに帰った研究者が多数おられますので、これも来年は一考を要します。

ともあれ、第2回宇宙科学シンポジウムは多くの人々にささえられ、無事に終了することができました。世話人を代表して各位にお礼申し上げます。

(小山孝一郎)

★国際金星ワークショップ開かれる

10月15～17日の3日間にわたって宇宙科学研究所の2階大会議場で上記のワークショップがCOSPARコミッション“C”との共催で開かれました。折しもテロ騒ぎで特に米国からの出席が危ぶまれましたが、サブコミッション“C3”(惑星大気、およびエアロノミー)の議長、副議長を始めとして21名の国外の著名な金星大気研究者と日本人研究者を合わせて約80名の参加者がありました。

現在、世界で提案されている金星探査計画の先陣をきって、日本の計画が承認された直後ということもあって、連日、熱気溢れるワークショップとなりました。1日目は金星大気の未解決の問題についてのレビュー、2日目は日本を含む各国の探査計画の発表、3日目は日本の計画に対する意見交換、地上観測との協力を話し合い、最後に今後の世界の金星探査計画の進め方を議論し、金星探査研究グループとして長期的な視野に立った計画を策定すべきとの意見が出され、これに向けて一層の国際的なつながりを強めていくことが確認されました。

本国際ワークショップは21世紀初頭の世界の金星探査計画をプロモートし、かつ日本の探査計画への助言を聴くという意図のもとに計画されましたが、この目的は十分に果たされたと考えます。多くの外国人研究者が、「多くの事を学び、これまで出席したワークショップの中でもっともよくオーガナイズされた会議であった」との言葉を残し、帰国の途についたことを記して、ワークショップを支えて下さった方々へのお礼に替えたいと考えます。なお本ワークショップは文部科学省の国際シンポジウム開催費用および宇宙科学振興会委任経理金により開かれました。

(小山孝一郎)

★インド気球実験

天体からの赤外線を観測するための気球実験を、インド(タタ基礎研究所)と日本(宇宙研、名古屋大学、東京大学、通信総合研究所)との協力により、1998年度より進めています。気球放球はインド・ハイデラバードにあるタタ基礎研究所気球基地から行われます。2000年度には、2種類の観測実験を3回の気球飛行にわたって行う予定でしたが、地上風が強く1回の気球飛行が行えたのみであり不十分な結果となりました。今年度は、捲土重来を期して、これらの観測実験の両者

を充分に行うべく準備を進めてきました。

2つの実験の内の一つめは、日本が開発したファブリ・ペロー分光器を、タタ研究所が開発した口径1m気球望遠鏡に搭載し、大口径を活かした高分解能遠赤外線分光観測を行おうとするものです。観測器は、インド標準時間11月20日午後9時55分に打ち上げられました。打ち上げ約2時間後に高度32kmで気球は水平飛行に入り、Orion A, Orion B, W3領域等の星生成領域の観測を行いました。観測の後、気球基地の西約150kmの地点で観測器は回収されました。

もう一つの実験は、日本で開発した口径50cmの低背景放射望遠鏡に、ASTRO-F観測機器の実証モデルとなる二次元遠赤外線アレイ検出器を搭載し、効率の良い連続波観測を行おうとするもので、2回の気球飛行実験を予定していました。第1回目の放球は、インド標準時間11月16日午後10時15分に行われました。赤外線アレイ検出器は正常に作動し、カーリーナ領域の銀河面観測などを行いましたが、姿勢制御系の一部に不具合があり、観測は限られたものとなりました。観測後、気球基地の西約200kmの地点で観測器は回収されました。回収状態が良かったため、次の実験にむけて準備を進め、インド標準時間12月7日午後10時6分に2回目の放球を行いました。打ち上げ後順調に上昇した気球は、35.3kmで水平飛行に入りましたが、その高度での風速が予想よりも大きかったために、排気弁を開いて高度を31kmまで下げて観測を行いました。全ての観測装置は正常に動作し、大マゼラン星雲、エー



タ・カリーナ領域、オリオンB、M82、土星（較正天体）等、多くの観測データを取得することができました。観測終了後に気球基地の西方約160kmにて観測器は気球から切り離されました。

これまで支援していただいた多くの皆様に感謝いたします。（中川貴雄）

★「のぞみ」-Mars Expressテクニカルミーティング

10月18日に「のぞみ」-Mars Expressテクニカルミーティングが宇宙研2階大会議場で開かれました。既にISAS News No. 240(2001.3)でもお知らせしているように「のぞみ」のグループとヨーロッパのMars Expressのグループとで2つの衛星が同時期に火星に着くのであるから成果が最大になるように協力をしようという事で交流が始まっており、今回の会議はその一環を占めるものです。9月に起きた米国の同時多発テロの影響で一時は開催が危ぶまれたのですが、来れる人間だけでも集まって打ち合わせをした方が今後の協力を推し進めていく上で良いであろうとの判断で海外からの参加者10名程度を含む60名程が集まって打ち合わせを行いました。この会議は今年の1月に開かれたワークショップとは性格が若干異なり、火星に行っからの科学ではなくその名の示す如くお互いの間での協力関係を築いていく上での技術的な側面（具体的な人のやり取りやその為の財源をどうしていくか等）についてを議論するものです。この為、この1月以降の各機器間での具体的な協力についての報告を行い、現状での問題点について情報・意見の交換等を行いました。現在この協力関係は日本側は「のぞみ」の研究グループが対応をしていますが、Mars Expressの科学目的としては「のぞみ」との共同観測で進められるものだけではなく、固体惑星としての火星をターゲットにしたものも多いので現在「のぞみ」の研究グループに属していない日本の惑星科学者にも広く参加を呼びかけようと言うことになっています。この為、今回のScience Workshopは来年5月に開催される地球惑星科学関連学会合同大会において特別セッションを申請しその場で議論を行うこととなりました。（早川 基）

★ISAS-NASA NOWG会議開催

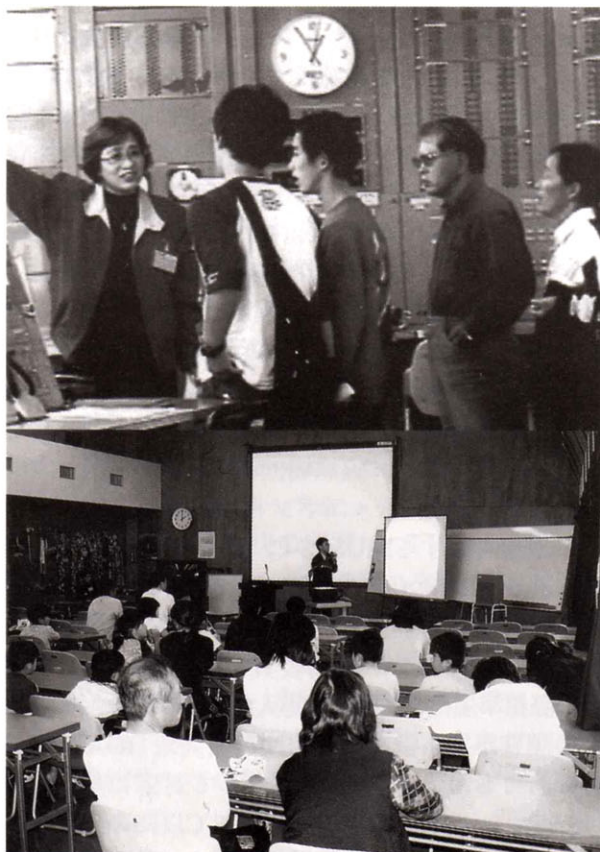
去る11月8、9日両日にわたり、宇宙研とNASA間のネットワーク運用作業班（NOWG）会議が相模原キャンパスで開催された。打上げ時を含め、軌道上にある人工衛星や宇宙探査機を運用する上では、管制センタから地上局を経由してテレメトリ受信、コマンド送信、レンジング（と軌道決定）や、これらデータの送配信などを行うための地上ネットワークが必要で重要である。本会議は、個々の衛星・探査機を対象にネットワー

ク運用の計画と調整を行う、主として実務的な会議であり、（年に2回開かれていた時期もあるが）ここ数年は秋期に宇宙研で開かれている。米国側は、NASA本部・宇宙飛行局・宇宙通信部、DSN(Deep Space Network)を抱えるジェット推進研究所・惑星間ネットワーク&情報システム部、およびNISN(NASA Integrated Services Network)を抱えるゴダード宇宙飛行センタ・ミッション支援プログラム部からの10人で、J.Costrell博士を団長として役割分担をよく考えた構成であった。宇宙研側（含NASDA,NRL,支援メカ）からは、関係者が1日当り、延べ約30人。議事は、窓口役のA.Chang博士と筆者の間で予め設定済みのアジェンダに従って進められ、地上ネットワークや運用関係組織の現状と計画の確認の後、各衛星・探査機毎に運用支援計画及び作業の調整が行われたが、今回の主要対象は、火星周回軌道投入に備えての「のぞみ」、テレメトリ・コマンドのDSN地上局リアルタイム運用を要するMUSES-C、SELENEであった。9個のアクションアイテムを確認して会議は予定通り終了した。国際協力宇宙プロジェクトを円滑に行うために、宇宙データシステム諮問委員会（CCSDS）が作成した国際標準規格を各機関で導入する際の問題やスケジュールの調整が宇宙機関間運用検討諮問班（IOAG）会議で行われており、宇宙研も参加して対応に努めてきた[ISASニュースNo.228]。MUSES-C以降の運用は、この新しいネットワーク方式によることになるが、現段階では外国局のユーザとしての機能しか装備できていない。サービスプロバイダとしての機能の整備が待たれるところである。（二宮敬虔）

★KSC一般公開

さる11月25日、内之浦の鹿児島宇宙空間観測所の一般公開を行いました。観測所の職員一同の自発的方針で行われたものです。ここは普段から一般に公開はされているのですが、今回は建物の中まで自由に入れるように公開し、本部から人工衛星模型や宇宙科学の成果・将来計画のパネルなども運んで、観測所の果たしている役割をよりよく理解していただくよう工夫しました。Mロケットの発射管制室や整備棟に興味が集めたのはもちろんですが、展示物では、「ひてん」の実物大模型、「はるか」「ミューゼスC」「ルナーA」「アストロF」「アストロEII」「ソーラーB」の仕組みなどが大きな関心と呼んだようでした。大隅地方の教育委員会などにポスターを送って各学校に配布を依頼するなどしましたが徹底せず、「もう少し積極的できめ細かな宣伝をしなければ人は集まらない」という教訓を得たと思います。この日の午前中には、内之浦で恒例の「銀河マラソン」が行われ、そこからの流れを

期待したのですが、思うようには参加してくれませんでした。このように全体として宣伝不足の感は否めませんでした。それでも638名の参加者を得て、職員



の熱心な説明に聞き入る姿が見られました。当日は、観測所の会議場でミニミニ宇宙学校と称して質問教室も行い、盛況でした。
(的川泰宣)



★第2回、第3回宇宙3機関統合準備会議

第2回標記会議は10月29日（月）文部科学省で開かれました。冒頭、第1回の論議を踏まえて、青山副大臣から

1. 予算、資源の制約は前提とせざるを得ず、事業を精選し、その活動を着実に支えるための最適な組織体制を構築する。
 2. 技術的な基盤の強化が重要であり、特にロケットについては当面H-IIAの信頼性確立に集中すべく、また衛星については国家的衛星ミッションに集中すべきである。
 3. 官民の役割を吟味し、可能な限り民間に任せる。
 4. 宇宙科学については、これまでの実績を踏まえ、今後研究活動の規模が縮小しないように、また自由な発想が生かせるような組織の設計を含めて、十分考慮する。
 5. 産業界、大学との円滑な連携協力を推進する。特に、産業界との共存が重要である。
- の5点がコメントされ、議論の方向としてこの原則が了承されました。つづいて新機関の役割について、井口宇宙開発委員長の基本案紹介、3機関長の意見表明ののち、技術安全保障の考え方、他省庁との関

係、航空研究の位置づけ等について、意見が交換されました。

第3回会議は11月21日（水）に開かれ、我が国の宇宙開発の目的として

1. 国及び国民の安全の確保。
2. 国民生活の豊かさと質の向上。
3. 知的資産の拡大。

基本方針として

1. 科学技術創造立国の立場から戦略的分野として宇宙開発利用を推進。
2. 世界トップクラスの技術力の獲得による先導的地位の確保と世界最先端の宇宙科学の推進による知的存在感のある国の実現。
3. 自律的な宇宙開発利用活動を展開するための技術力を独自に保持。
4. 国際協力の推進。

が挙げられました。また特に宇宙産業の発展と新機関の在り方について意見が交わされ、官需により最低限の事業化を成立させつつ（産業化）市場競争力の獲得を目指す（商業化）こととされました。

(松尾弘毅)

小惑星を見る近赤外線分光器

安部 正真

来年末に打ち上げ予定の小惑星探計画MUSES-Cの探査機には、科学観測機器のひとつとして近赤外線分光器（NIRS）が搭載されている。今回はこの分光器の紹介を中心に小惑星の可視近赤外線分光観測についての話をする。

小惑星は太陽の周りを回っている惑星よりずっと小さな天体で、主に火星と木星の軌道の間に多く分布している。その数は現在発見されているものだけで数万個もある。最近では、その存在範囲は地球軌道より内側から冥王星軌道以遠にまでひろがり、太陽系のさまざまな場所に小さな天体が存在していることがわかっている。

小惑星は惑星と違って小さなサイズのため、形成時の熱エネルギーやその後の放射壊変熱で天体内部が熱的に進化する程度が小さく、太陽系形成時の物質情報などを残していると考えられている。

小惑星についてはこれまで地上の観測によってのみその素性が議論され、主に地球から観測可能な可視近赤外域（ $0.3\text{--}2.5\mu\text{m}$ ）の波長域での分光観測によって、表面に存在する鉱物種などの推定を行ってきた。この波長域では小惑星の表面における太陽光の反射成分を観測することになるが、表面物質の違いが反射スペクトルの違いとなって観測されるのである。

これまでの観測によって、そのスペクトルのタイプがいくつかに分類され、そのタイプの存在度は太陽からの距離によって異なっていることが分かっている。これは小惑星が形成時からそれほど太陽からの距離を変化させていないことをうかがわせると同時に、これらのスペクトルタイプのそれぞれがどのような物質および鉱物で形成されているのかがわかると太陽系形成時の物質分布などを解き明かすことができるという可能性を示唆している。

一方、地球上では多くの隕石が発見され、物質科学的に詳細に研究され、また分類されている。しかし、隕石は小惑星と同じ物質からできていると考えられているものの、それぞれがどのタイプの小惑星に対応するのかについてはまだ決着がついていない。MUSES-C計画では、小惑星のひとつの1998SF36という小惑星に探査機を送り込み、その表面のかげら（サンプル）を採取して地球に持ち帰る計画である。1998SF36のスペクトルタイプはSタイプというグループに属することが分かっている。このSタイプの小惑星がどのような物質でできているのか、また対応する隕石はどのようなものなのかをあきらかにすることがこの計

画の主な科学目標である。

MUSES-Cに搭載される近赤外線分光器（NIRS）は小惑星表面上を空間的に分解して観測し、サンプルの採取地点が鉱物種的に小惑星表面上の代表的な点であるのか、また地上観測で得られているスペクトルと比較してどの程度違っているのかをしらべる目的を担っている。

観測波長域は、Sタイプなどの小惑星に多く見られる珪酸塩鉱物の鉱物種を区別するのに重要な $1\mu\text{m}$ と $2\mu\text{m}$ に存在する吸収バンドが観測できるように、 $0.85\mu\text{m}\sim 2.1\mu\text{m}$ 程度に設定してある。

MUSES-Cでは他の惑星探査ミッションと同様に搭載機器に対する軽量化要求が強く、NIRSもセンサ部のみで約 1.5kg である。NASAの小惑星探査ミッションのNEARに搭載された近赤外線分光器は観測波長域がNIRSよりも広いという違いや電源回路部やデータ処理部も一緒になっているなどの違いはあるが、それを差し引いても約3分の1の重量である。

惑星探査機に搭載する分光器は、固体惑星表面の観測の場合、天文観測のそれとはかなり目指す性能が異なっている。過去のこのシリーズの中にもさまざまな天文観測に用いる赤外線分光器および検出器の話が掲載されているが、みなそれぞれの観測波長での最高の感度や波長分解能を目指しているものが多い。それに対して、固体惑星表面観測の分光器の場合、よほど太陽から遠い場所にある天体に行かない限りは太陽反射光の観測であるので光量は比較的余裕がある。またローバーなどに搭載される場合は測定対象がすぐそばにあるので自分で光源を持っていけばさらに感度はいなくなる。また大気分子の吸収バンドや原子の輝線と違い、鉱物に特有な吸収バンドは幅の広いものが多いため、そのような観測を目的とするのであれば、波長分解能も比較的広くとることが可能である。

このような観点から設計される分光器は、検出器に常温または電子冷却程度で実現可能な低温で感度を持つInGaAsなどの半導体を用いることで検出器部を小さくすることができ、また光学系も小さくすることができるため、結果として小型軽量の分光器になっている。

将来の固体惑星ミッションではNIRSをさらに軽量化した近赤外線分光器を搭載することが可能になるだろう。マイクロマシンの技術などを応用して、マイクロローバーなどにも超小型化の近赤外線分光器を載せたいと考えている。
(あべ・まさなお)

ミネソタ紀行

石井 信 明

昨年11月より10ヶ月間、文部省（現文部科学省）の在外研究員として米国ミネソタ州立大学航空機械学科に滞在しました。

ミネソタに来たと米国に住む知人に話をすると「何でそんな所に」と言わんばかりに怪訝そうな表情をします。冬はアラスカのように寒く、夏は日本のように蒸し暑く、とても快適とは言えない気候です。それゆえにミネソタっ子は男も女も勤勉で、陽が昇る前まだ暗いうちから夜遅くまで昼休みもとらずに「よく働く」と言われています。アイスホッケーには熱狂的ですが、ベースボールにはちょっと冷めています。でも、イチローの人気は揺るぎないものでした。

米国中央北部に位置し、北はカナダと接し、お菓子が詰まった「クリスマスの長靴」のような形をしています。面積は約22万平方km、人口は約490万人。本州とほぼ同じ面積に、東京の半分の人しか住んでいないわけですから、とてもゆったりです。州都はセントポール市で、隣接するミネアポリス市とともに「双子の市」と呼ばれています。2市の人口は合わせて約67万人で、相模原市よりも少し多い程度です。ミネアポリスはノースウェスト航空がハブ空港として使っていますから乗換えて利用した人もいると思います。

「1万の湖を持つ美しい州」。それほど大小多数の湖が点在しています。州人口の約半数が釣り人だそうです。湖畔に裏庭がすぐ湖という家が多数建っています。モーターボートやジェットスキー、中には水上飛行機を係留している家もあり、日本では想像も出来ない生活を目の当たりにしました。

州北西部にアイタスカ湖という湖があります。標高450m。ほとんど人に知られていないこの湖が、あの有名なミシシッピ川の源流です。川幅は3m程度。メキシコ湾まで4,107kmの長い道のりの中で、向こう岸まで歩いて渡れる箇所はここだけだそうです。

州北東部には五大湖の1つスペリオル湖があります。かつては五大湖を経由して「ミネソタの鉄」が米国東部に大量に湖上輸送されました。鉄工業はミネソタの基幹産業の一つでしたが、鉄鉱石が採れなくなった最近では電子機器、コンピュータ、医療機器などのハイテク産業に力を入れています。

ミネソタに降った雨の流れは3つに分かれます。中部と南部の雨はミシシッピ川を経てメキシコ湾に、北東部の雨は五大湖を経て大西洋に、北西部の雨はカナダのレッドリバーを経て北極海に達します。平坦な

地面の隣り合った湖なのに、そこに降った雨水は1万kmも離れた大海に別れます。とても不思議な場所に違いないと信じて訪れた「分水嶺の3重点」は、旗の一本が立つでもなく、何の変哲もない空き地でした。

ミネソタは1858年に32番目の州として合衆国の仲間入りをしましたが、その10年ほど前から開拓民を勧誘しました。「広大な土地を」という新聞広告を見て、欧州、特に米国進出に遅れた北欧やドイツから多数の移民が入植しました。原住民が極寒の土地での栽培や狩猟の知恵を授けてくれたおかげで厳しい冬を越す事ができ、新しい都市が誕生しました。州旗にはインディアンとともに開墾する白人が描かれています。人種差別のない街をモットーにしているため、南北戦争の前後からアフリカ系米人が多数移住しています。最近でもソマリア、ベトナム、ラオス、メキシコなどから多数の難民が移民してきており、白人以外の人口が急激に増加しています。

中国南部やラオスの山岳部にモン（Hmong）という民族が住んでいて、山岳地形に詳しいためベトナム戦争時に米軍に加わりました。戦争終結と同時に政府から弾圧を受け多数が難民になったために米国が移民として保護してきました。小柄で手先が器用で日本人のルーツを思わせる顔立をしています。写真はモン族の代表的な刺繍（の一部）で、兵隊に追われ放浪の後、米軍に收容されるまでのストーリーが1枚の大きな布に描かれています。米国の大学で宇宙工学を勉強しながらアジアの歴史を再認識させられました。

（いしい・のぶあき）





「微小重力科学あれこれ」第5回

宇宙ステーションにおけるマランゴニ対流のカオス化とその制御実験

東京理科大学 河村 洋

最近、国際宇宙ステーションの建設が本格化し、米ロの3人の宇宙飛行士も、常時宇宙に滞在するようになりました。私たちの研究室は、日本実験モジュール JEM（通称「きぼう」）における流体物理実験を提案し、現在、“ベースライン化”された実験テーマとして、その準備を進めております。

宇宙における材料生成とその際の表面張力差に起因する対流の重要性については、本稿の読者諸氏には、改めて申し上げることはないと思いますが、話の導入として、ごく簡単に述べさせていただきます。溶融原材料に自由表面が存在し、かつ温度差が存在すると、温度差マランゴニ対流が発生します。さらにこのとき、温度差がある臨界値を超えると、流れは不規則に振動することが知られています。このような振動流は、形成される材料に好ましくない影響を及ぼすとともに、流体力学的にも非線形性を有する熱流体現象に関する重要な研究課題を含むものです。

当研究室ではそのための準備研究として、2本の円柱ロッドの間に溶けた材料を模擬した液柱を形成し、その両端に温度差をかけることにより発生する流れ場について、実験とコンピューターシミュレーションの両面から研究を行っています。温度差が非常に小さい場合は、液柱内の流れ場は、中心軸を対称軸とした周方向に均一な構造を持つ2次元定常流となりますが、ある温度差を超えると、3次元的な流れ場へ遷移します。図は、さらに温度差を上げていったときの、上端面から見た流れ場の様子（液柱の直径：5 mm）、温度振動の時間波形、そのフーリエスペクトル及び遅れ時間法によって再構成した3次元擬位相空間を示しています。これより、温度差の増加とともに、種類の異なる脈動流・回転流が現れ、最後にはカオス的な流れ場へと遷移していくことがわかります。しかし、このようなカオス化の過程は、まだほとんど解明されていないため、今後、この種のカオス化過程について、実験及び数値シミュレーションの両面からの研究を進め、宇宙ステーションの実験に備えようとしています。さらには実用的な観点から、このような振動現象を発生させないことが重要なので、この現象の制御も重要な課題として、研究を進めています。

最後に、宇宙ステーションに向けての実験を準備していく立場の研究者側として、日頃考えていることを述べさせていただきます。このテーマが選定されたのは1993年ですから、提案時からすでに約10年になり

ます。当時、筆者は微小重力に関してはむしろ素人で、一般の流体力学、とくに乱流の研究をしておりました。そのときには計画がこんなに遅れるとは予想していませんでしたが、それでも結果を得るのは何年か先になるのだから、そのときにも価値のある研究テーマを提案しなければならないと考えました。その際、最大の競争相手はコンピューターであると思いました。数値計算で出来てしまうことを宇宙に行って実験する必要はないと思ったからです。そのためには、線形的な現象でなく、非線形な複雑現象を研究対象とすべきと考え、「カオスとその制御」を主要なキーワードとしました。その後、宇宙ステーション計画は予想以上に遅れたのに対し、コンピューターは予想通りに進歩しました。この間、線形的な現象に対しては、すでにコンピューターは、地上実験の結果をかなりよく再現するようになりました。しかし、非線形な現象については、依然、実験を必要としています。宇宙ステーションでの実験はまだ数年先と予想されます。当研究室では、その時点でも意義のある実験を実施するため、地上実験と数値シミュレーションの双方から準備をすすめて行きたいと考えています。また、長年にわたって一つのテーマについて研究へのモチベーションとアクティビティを持続していくことは、容易なことではありません。これは、大学の一研究室のみで出来ることなく、関係各位のご協力とご支援が必要です。これについて、これまでのご協力を感謝するとともに、今後とものご支援をお願いする次第です。

(かわむら・ひろし)

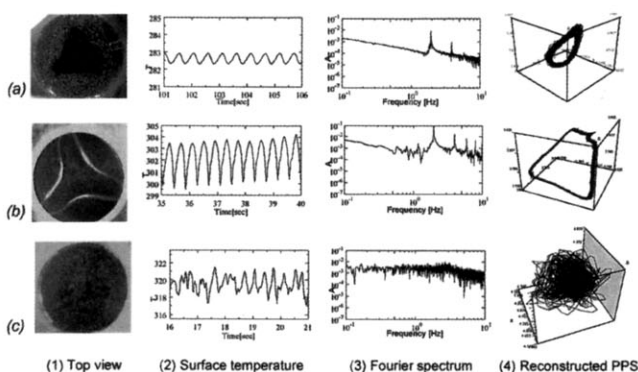


図 液柱内対流場の例（液柱アスペクト比： $A = H/D = 0.32$ 、モード数 $m = 3$ ）。マランゴニ数 Ma に関し (a) $Ma = 3.4 \times 10^4$ 、(b) 7.7×10^4 、(c) 9.6×10^4 の下での、(1) 対流場（上方より観察）、(2) 表面温度時系列、(3) 表面温度フーリエスペクトル、(4) 擬位相空間ダイアグラム



I can hear you, I can't hear you.

茂原正道

“I can hear you”, ブッシュ大統領のハンドマイクを通した声がまだ耳に残っている。連続テロ事件で破壊された世界貿易センタービルの現場を訪れて、救助活動をしている人たちを激励したときのTV放送である。「私(I)には、皆さんの気持ちがよく伝わってくる、アメリカ国民一致団結して、テロに立ち向かおう」という強烈な彼のメッセージである。

逆に “I can't hear you” といわれると、聞き慣れない日本人にとって強烈な反語に聞こえてくる。

東芝を卒業したあと8年ほどの大学生活の間に、並行して国際宇宙大学ISUの運営に参画し、いろいろな異文化を体験した。上はその委員会での発言である。ISUは国際的であるために、まず2カ国語以上を話すことを要求する。英語圏の人たちもトップクラスの人は流ちょうに複数の言葉を操るが、ときどき英語しか聞こえない人が混じる。言いたいことをいいたいだけいって “I can't hear you” では、「おまえのいうことは聞きたくない」とも聞こえる。

外国で英語が通じないとき、自分がダメでも女房が通じたりもする。単語なら発音よりアクセント、文章ならそのリズムだし、最後はボディになる。

ただし授業はそうはいかない。学生との間の対話能力、興味をつないで聞かせる能力まで要求される。エンジニアリングが専門の学生相手の授業は何とかこなせても、法律や医学の学生に、姿勢制御の原理を、楽しく聞いてもらうのは至難の業である。日本語なら言葉を選びながら、反応に合わせてリズムを作っていけるけれども、英語ではそこまでの細工はできない。

旧東ドイツのマイセン陶芸博物館を訪問したときのこと。説明がみなドイツ語で書かれていることに対して、アメリカからの女性団体客が「なぜ英語で書かないのか」と声高に非難をしていた。

結局聞ける、聞けないの問題は、相手の考え、その人となりを理解できるかどうかの受容度に依存し、発信者のIと受信者のIの双方の「共鳴」の問題になる。

東芝にいた30年のうち25年ほどを宇宙分野で仕事を

してきたから、多くの皆さんのお世話になった、また成功と同じくらいに失敗もした。ISASとのおつきあいは、小田稔先生がCORSAS衛星の姿勢制御を検討されていたときに、訪問して重力傾斜安定の話をしたのがはじまりである。名大の近藤一郎先生の赤外線検出器をロケットに搭載したのが最初の宇宙機器になった。大気圏を脱けたら閉じていた窓を開けて、上空のCO₂を観測する装置であったが、データは取得できたが正常ではなかった。原因は分からずじまいで、いまでも気になる。直接の担当ではなかったが、大林辰蔵、栗木恭一両先生のSEPACでは、筐体の中に残っていたナットが無重力下になって浮かび上がり、電源をショートさせ、オーロラ観測をふいにした。

NASDAの衛星でも失敗がある。ただし失敗しても双方に「共鳴」があり、楽しい時代であった。

これは92年に、ISUを北九州市で開催したときの話。VIPが集まり、大学のゲストハウスで会食があった。ホストが気を利かせて卓上に参加者の国旗を飾ってくれたが、あとでユニオンジャックの天地が逆であったとイギリス人に指摘され、しまったと青くなった。

次の日アメリカで準備したという「北九州市」の文字入りのTシャツを着て、外人スタッフ達が意気揚々と現れた。その背中をみてびっくり、なんと「北九州市」の文字が天地逆さまに印刷されている。くしゅんとなったスタッフ達に対して、「地球の反対、逆さの位置にあるNew Yorkでは、正常だったんだよね」といって慰めたら、大笑いで気を取り直してくれた。国旗の失敗もちょんになったと信じている。

(翔エンジニアリング しげはら・まさみち)



最近、希望の所に引っ越すことができた。以前は職場から徒歩12分、今はバスで35分程度。遠くはなったが、逆に職場の人が近くに多く住んでおり、休日も気がぬけない。お互い様だが、贅沢な悩みではある。

(山川)

ISASニュース

No.249 2001.12

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>)。