



宇宙科学研究所

2002.3 No.252



▲ S-310-30 打上げ(本文記事参照) (撮影：前山勝則)

〈研究紹介〉

太陽系外惑星検出ミッション

国立天文台 田村元秀

1. はじめに

系外惑星，すなわち，我々の太陽以外の恒星を周回する惑星の存在は，1995年の発見を契機としたその後の観測により揺るぎ無い事実となった。現在までに約80個にもおよぶ木星型巨大惑星が発見されている。この成功に勢いを得て，現在，スペース・地上において数多くの系外惑星検出計画が進行し，提案されている。ただし，その観測手法の多くが間接法と呼ばれるもので，直接に惑星そのものの画像を得たり，スペクトルを調べたりするものではない。言うまでも無く，次のマイルストーンは惑星そのものを直接的に観測することであろう。木星のような巨大惑星の直接検出については，本格的に稼動し始めた8～10m地上望遠鏡にとって最も重要な観測的課題とされている。しかし，地球のような，木星よりさらに軽く小さな惑星（ちなみに，木星は太陽の約1000分の1，地球は木星の約300の1の重さである）を検出するのは，直接法は言うまでも無

く間接法によってさえも難しい。系外惑星探査計画について，この最も困難だが重要なステップである「地球型系外惑星の直接検出」に真正面から挑戦する計画がNASAのTPF（Terrestrial Planet Finder）である。TPFは，我々の近くにある約150個の太陽に似た恒星（F，G，K型星）のまわりにおいて，生命を育むことが可能な領域に位置する地球に似た惑星からの光を直接に検出する。さらに，惑星の軌道や物理的性質（特に，惑星大気）を調べ，生命の兆候となる証拠を集めることを主目的とする計画である。現在，この目的を達成するための最適なアーキテクチャーのレビューがほぼ終了した段階にある。最も有力なアイデアは，中間赤外線におけるスペース干渉計と可視光・近赤外線におけるスペースコロナグラフと考えられている。

この記事では，系外惑星検出の方法を簡単に説明し，今後の赤外線ミッション（ASTRO-F，SPICA）との関連とTPF自体の解説を行うとともに，TPFへの日本の

参加・寄与や独自ミッションの検討の場とすることを目的として準備されたJapanese-TPF (JTPF) Working Groupについて紹介する。

2. 代表的な惑星検出法

惑星の公転運動によって恒星自体も影響を受け、その位置や速度はふらつく。アストロメトリ法とは、このような惑星の周回運動による恒星の位置のふらつきを精密測定することによって惑星の存在を示す方法である。しかし、何十年にもわたる測定から示唆された系外惑星[1]は、そのほとんどが別の観測者による追試で否定されてきた。その理由は、系外惑星検出に必要な位置測定精度が大気の揺らぎに比べるとはるかに小さいためである。言い換えれば、現在の技術で観測可能な位置のふらつきを決定するためには非常に長い年月を必要とし、追観測が難しい。観測精度の問題は大気揺らぎの無いスペースにおける観測で大幅に改善されると期待される。スペースアストロメトリにより地球型系外惑星の検出を目指すものとしては、2010年頃の打上げを目指すNASAのSIM計画がある。

他方、惑星の公転運動による恒星の速度のふらつきを測定するのがドップラー法（動径速度法）である。これは、1995年にスイスのメイヤーとケローズがペガサス座51番星においてスペクトル線のドップラーシフトの周期的変化を発見[2]して以来、最も成功している手法である。当初はこのドップラーシフトが惑星に拠るとする解釈に異論もあった。しかし、ドップラー法で検出された惑星HD209458について、惑星が恒星の前面を通り過ぎることによる2%レベルの明るさの微小変化を検出すること（トランシット法）に成功し[3]、ついに独立な2つの間接法によって惑星の存在が確認され、系外惑星という解釈は疑問を挟む余地の無いものになった。トランシット法に関しては、スペースから大気の揺らぎに邪魔されず星の明るさの変化をより精密に測定するために、2004年に打上げ予定のCOROT（仏）や、2007～8年を目指すNASAのKepler、ESAのEddingtonなどの計画がある。

このように、間接的手法による系外惑星検出は過去数年にわたって成功を収めてきた。そこで、次なるステップとして、木星型・地球型それぞれの系外惑星の直接撮像に向かって熾烈な競争がスタートした。

3. (地球型) 系外惑星の直接検出の困難さ

木星型巨大惑星はともかく地球型惑星の直接撮像に至るためには、まだまだ多くの困難が横たわっている。それは、非常に高い感度、画像のシャープさ（解像度）、明るい恒星のすぐ近くの暗い天体を見る能力（ダイナ

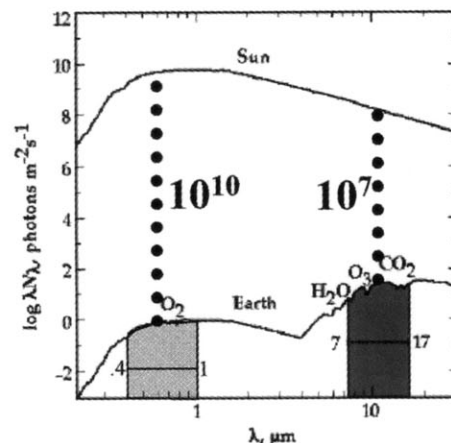


図1 地球と太陽のスペクトルエネルギー分布

ミックレンジ)の3者を同時に実現する必要があるからである。例えば、我々から約33光年離れたところから太陽系を見た場合、地球の明るさは可視光波長のVバンド（波長0.6 μm）で約29等、中間赤外波長のNバンド（波長10 μm）で約20等になる。地球・太陽間の角距離は0.1秒角（36,000分の1度）しかない。これらは、それぞれの数値だけを見ると、現在の観測技術でもそれほど達成困難なものではない。最大の問題は、太陽・地球の明るさの比である。図1は地球のスペクトルエネルギー分布である。波長0.4～5 μmあたりの可視光・近赤外波長では太陽からの光の反射が主となるが、波長7～20 μmあたりの中間赤外より長い波長では惑星自体の熱放射の寄与のため両者の明るさの比は多少緩和される。それでも、Vバンドで約10桁、Nバンドで約7桁に達する。この明るさの比を上記の角距離で達成できる観測装置は現在のところ存在しない。

中間赤外線におけるダイナミックレンジ条件の緩和は、確かに赤外線における系外惑星検出にとって魅力である。しかし、波長が長いと、同じ口径の望遠鏡を用いる限り低解像度の観測に甘んじなければならない。従って、単一大口径望遠鏡よりも比較的小さな望遠鏡を離して並べる干渉計が有利である。また、中間赤外線波長において超高感度を得るためには、地球大気・望遠鏡・観測装置の熱雑音から逃れるためにスペースに出ることが不可欠となる。そこで、系外惑星探査ミッションとしては赤外線スペース干渉計が有利であるというアイデアが出てきた。NASA/TPFの最初のアイデアもこれに基づいたものである。しかし、これにはいくつかの問題があることがわかった。一つは、恒星の周りには赤外線観測において雑音となる物質（特に、黄道光）が意外に多くあり、惑星からの赤外光がこの中に埋もれてしまう可能性がある。黄道光の原因となるダストは惑星系形成の副産物であり、太陽系内外の両方においてその影響を避けることが難しい。

星周ダストの量は恒星系によって異なり、今後の赤外線ミッションのデータに基づき、黄道光・系外黄道光が系外惑星検出に及ぼす影響を定量化してゆくことが急務である。2004年はじめに打上げ予定の宇宙科学研究所の赤外線ミッションASTRO-Fは、さまざまな星の赤外線超過の観測から、このような星周ダストの「進化」を統計的に明らかにするものと期待される。もう一つの困難は、やはり赤外線スペース干渉計に伴う技術的な壁の大きさであり、最近、提案されつつある可視光コロナグラフ（4章参照）のアイデアと比較すると、その優位性は明確でない。つまり、地球型系外惑星検出のために、その反射光を狙うべきか、熱放射を狙うべきかの議論は振り出しに戻っている。

4. TPFの現状とJTPFワーキンググループ

TPFの1999年当時のアイデアは、口径3.5mの冷却望遠鏡を4台用意し、基線長75mから1kmを確保する赤外線干渉計であった。波長域は3~30 μ mをカバーする。これにより、太陽近傍の恒星系を周回する地球型惑星を検出するための感度と解像度が達成される。さらに、通常の干渉計と異なり、干渉計の対称軸位置にある恒星からの光に対しては山と谷とを重ね合わせてその光を打ち消し、そのすぐ近くにある惑星の光は打ち消さない「ナル干渉計」とする。これにより、必要なダイナミックレンジも確保される。この野心的な素案は現在では古典的TPFとも呼ばれる。しかし、赤外線干渉計に伴う技術的困難さやそれ以外の方法による地球型惑星検出の可能性が指摘され、より広範囲にさまざまなアーキテクチャーを見直すことになった。そして約2年にわたって4つの企業・アカデミアが独立に20を超えるTPFコンセプトを検討し、2000年12月に予備レビューを、2001年12月に最終レビューを行った。ボールエアロスペースのグループは可視光のコロナグラフ、ボーイングのグループは赤外線干渉計からなる超望遠鏡とコロナグラフの一種とも言える矩形状望遠鏡の2つ、TRWのグループは大口径赤外線コロナグラフ、ロッキード・マーチンのグループは古典的TPFを延長した赤外線干渉計に絞って検討を進めて来た。現在、これらのアーキテクチャーの審査が行われている。

太陽系外惑星系の直接観測への関心は日本でも高い。ひとつには、すばる望遠鏡の完成で原始巨大惑星などの直接観測の気運が高まっていること（図2参照）や、いくつかの間接的系外惑星観測が日本においても開始されたことがある。さらに、日本の次期赤外線衛星として検討されている口径3.5m望遠鏡のSPICA[4]では、恒星から離れた惑星の中間赤外線分光観測が可能[5]になる。このような背景をもとに、日本における系外

惑星探査ミッションを検討するワーキンググループ（JTPF-WG）が立ち上がった[6]。いっぽう、TPFのような地球型系外惑星探査プロジェクトの規模の大きさや目的を考えると、スペースにおける系外惑星探査プロジェクトに関して国際協力は必須と考えられる。実際に、欧州において独立に進められてきた赤外線干渉計による系外惑星探査計画DarwinもTPFと協力して進める可能性が検討されている。JTPFワーキンググループでは、TPF/Darwinとの協力を視野に入れつつ、当面は、中口径の可視光・近赤外線高コントラストスペース望遠鏡の検討と赤外線干渉計の検討とが並行して進められる予定である。前者の新しいタイプの可視光コロナグラフを利用した3-4mクラス口径の望遠鏡の場合、64光年の距離から見た太陽系のような惑星系の場合、巨大惑星（木星、土星、天王星）が、また10光年の距離からは地球型惑星（金星、地球、火星）が比較的容易に撮像できる。そして、その大気を分光することで、可視光においても適切な生命の指標となる分子（とくに水と酸素）の存在の有無が議論できる。このような望遠鏡は通常の紫外線・可視光・近赤外線スペース天文台としても用いることが可能なので、一般天文学への寄与も期待されるだろう。

（たむら・もとひで）



図2 すばる望遠鏡で得られたTタウ型星GG Tauの原始惑星系円盤の赤外線コロナグラフ画像。このような若い星の星周円盤の中で生まれた若い巨大惑星を直接発見できる日も近い。

参考文献

- [1] Van de Kamp, P. 1969, AJ, 74, 238
- [2] Mayor, M. & Queloz, D. 1995, Nature, 378, 355
- [3] Charbonneau, D. et al. 2000, ApJ, 529, L45
- [4] Nakagawa, T, et al. 2000, ISAS Report SP-14, 189
- [5] Tamura, M. 2000, ISAS Report SP-14, 1
- [6] <http://www.cc.nao.ac.jp/jtpf/>

お知らせ



★人事異動（教官）

発令年月日	氏 名	異 動 事 項	現（旧）職等
		（昇 任）	
14. 1. 1	小 川 博 之	システム研究系助教授	次世代探査機研究センター助手
14. 3. 1	佐 藤 哲 也	宇宙推進研究系助教授	宇宙推進研究系助手
		（客員部門）	
14. 1. 1	池 田 博 一	次世代探査機研究センター助教授 （高効率エネルギーシステム分野）	高エネルギー加速器研究機構素粒子 原子核研究所物理第一研究系助教授
		（併 任）	
14. 1.17	廣 澤 春 任	三陸大気球観測所長 （併任の期間は平成15年3月31日まで）	衛星応用工学研究系教授

★ロケット・衛星関係の作業スケジュール（3月・4月）

	3 月	4 月
相 模 原	M-V-5 B-1 仮組立 (IA 富岡事業所)	
	8 ←	→ 5
	MUSES-C 総合試験 (一時所外にて試験)	
	8 ←	→
	LUNAR-A 母船・ペネトレータ通信系試験	
能 代	ASTRO-F FM 一次噛合せ試験	
	S-310-31・32 計器合せ試験 15 ↔ 16	
	KM-V1-3 真空燃焼試験	
	7 ←	→ 26

★シンポジウム

衝撃波シンポジウム

開 催 日：3月14日（木）～3月16日（土）

場 所：独立行政法人 産業技術総合研究所 つくばセンター共用講堂

スペースプラズマ研究会

開 催 日：3月29日（金）

場 所：宇宙科学研究所 新A棟2階会議室A・B

問合せ先：宇宙科学研究所研究協力課共同利用担当 TEL：042-759-8019（ダイヤルイン）



★S-310-30号機実験終わる

S-310-30号機は2月6日19時30分に鹿児島内之浦町にある鹿児島宇宙空間観測所から成功裏に発射されました。本ロケット実験は、下部熱圏、即ち高度100km付近の窒素分子から電子への熱の流れを研究する目的で提案されたものです。観測機器搭載部の大部分を窒素分子のエネルギー状態を知る観測器が占めました。この測定器は1996年に初めてS-310-24号機に搭載されましたが、今回はこれに更に改良を重ね、同時にプラズマ密度、温度、および風を測る測定器を搭載して総合的に研究することにしました。従来型のテレメータ、レーダに加え、ミニチュアテレメータ、ミニチュアレーダも搭載しました。このように多くの機器を搭載したために、ロケットの全長は標準型と考えられてきたS-310-24号機より70cm長く、これまでの最長となりました。推進剤もあたらしくなり、ロケットエンジンの寸法も幾分変更が加えられたこともあり、新しく開発されたロケットを試験するという気持で作業を進めました。現地での搭載機器の詳細調整、天候不良などのため、結局、当初予定した2月1日より5日遅れで発射しました。素晴らしく良いデータが取れ、実験班各位、および関係機関のご苦勞に応えることができたとホッとしています。今回特に感じたことですが、ロケット発射に至るまでの各機関への迅速な通知の仕方、打上げオペレーション中の各班のチームワークの良さは今後も是非残していきたいものです。(小山孝一郎)



★「ようこう」10周年国際会議、ハワイで開催

同時多発テロの余波で開催延期された「ようこう」10周年記念国際会議を、1月21日から24日までの4日間、ハワイのコナ市で開催した。COSPAR Colloquiumのひとつとして開催された同会議は、NASAその他の米国研究機関とともに宇宙研がスポンサーとなって実現したものである。

「ようこう」による太陽コロナ研究の広がりを反映して、この会議には、日米英の「ようこう」御三家、フランス、ドイツ、ポーランド、ロシア、チェコ、インド、ブラジルなどの諸国から約130名の研究者が参加した。日本からの参加者数は40名を超えたが、これも「ようこう」の大成功のなせる業というべきか。SOLAR-Aプロジェクト開始時の小さなグループがここまで成長したかと思うと感慨深い。

会議では、オープニングに続き、小杉から「ようこう」の近況報告。昨年末に観測が中断した経緯と復旧努力のあらましを説明。続いて、COSPARを代表して、Vice Presidentの西田前宇宙研所長があいさつ。磁気リコネクションの物理学の進展に「ようこう」とGEOTAILが果たした役割が力説され、会議はここから科学モードに突入した。

「ようこう」10周年の区切りをつけるために、この会議では若手・中堅の研究者を招待講演者とし、それぞれの分野の到達点をレビューしていただいた。また、招待講演者以外でも若手にチャンスを与えることを重視してプログラムを編成した。お蔭で全般に熱気あふれる研究紹介となり、活発な議論が交わされた。日本からは招待講演者3名を含む十数名が演台に立ったが、若手の堂々たる発表ぶりには感動を禁ずることができなかった。また、ポスターも好評だった。

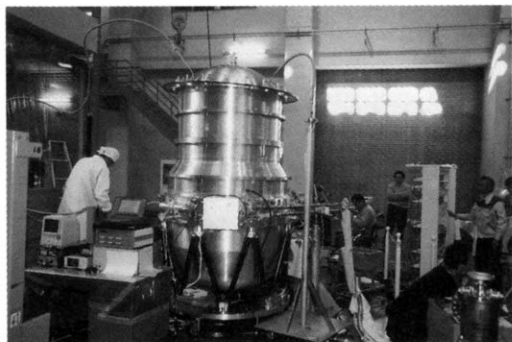
なお、水曜日の午後にはマウナケア山頂の「すばる」望遠鏡を見学した。お世話になった国立天文台関係者に感謝。この会議が終わって、金曜と土曜の午前は、SOLAR-B科学会議を招集し、約70名でSOLAR-B衛星の科学運用方針を討議。こちらの方は、いよいよ正念場にさしかかる。(小杉健郎)



★ASTRO-F 観測機器の総合試験

赤外線天文衛星ASTRO-Fの観測機器の第一次総合試験を、2002年の1月から、飛翔体環境試験棟1階のスペースチェンバー室において行なっています。宇宙での高感度の赤外線観測を可能にするために、ASTRO-Fの観測機器は、約-270℃という極低温に冷却されます。この冷却を行なうために、観測機器は全てクライオスタットと呼ばれる大きな真空容器（写真に移っている縦長の円筒型の容器です）に収められています。この容器内に液体ヘリウムを入れて冷却を行なうため、その注液／排液等のための配管がニョキニョキと何本もクライオスタットにつながっています。

この試験は3月まで予定されています。それが終わると、続いて衛星全体の一次噛み合わせ試験に、観測機器は参加します。（中川貴雄）



試験中の ASTRO-F 観測系。縦長の円筒型の容器が、観測機器を収めるクライオスタット

★DASHについて

「高速再突入実験機（DASH）」は、2月4日11時45分にH-II A-2号機のピギーバック衛星として種子島宇宙センターより打ち上げられました。その後、サンチャゴ局において17時40分から18時40分まで電波を受信し、衛星の機能はほぼ失われていないことが確認されました。しかし同衛星はフェアリングと未分離の状態であることがほぼ確認されたため、同日23時過ぎからの鹿児島宇宙空間観測所第1可視において、搭載機器の状態を精査し、復旧の可能性を探る努力をしました。しかしながらフェアリングより分離できず、その後の運用が続けられないため、実験を断念致しました。

DASH実験では、ロケットの打ち上げは種子島宇宙センター、運用は内之浦の鹿児島宇宙空間観測所、追跡局としてはチリのサンチャゴ局、カプセルの落下域は西アフリカ・モーリタニアの砂漠地帯と、それぞれの実験チームの拠点は地球規模の広がりを持つものであり、それらの準備では、色々、面倒なこともありましたが、関係者の努力により、それぞれの準備もさることながら、打ち上げ後の相互連携も大変に巧くいき

ました。衛星の機能も、分離ができていないこと以外はほぼ完全であることが確認できているだけに、大変残念な結果となってしまいました。いずれにしても、DASH実験は、さまざまな方々のご支援、ご協力を得て、実行までこぎ着けたものと考えております。この場を借りまして、関係の方々のご支援と、ご協力に深い感謝の意を表します。

打ち上げ後の分析、解析により、分離ができなかった原因は、メーカーの製造段階における製造図面の誤りによる実験機内信号伝達ケーブルの誤配線に伴う分離信号の不伝達であると特定されました。不具合を発見できなかったことは、この衛星がピギーバック衛星であったための特殊性もありますが、今後、このような失敗の再発防止に向けて、今回の試験方法の妥当性も含め、衛星の研究開発、試験体制について評価、点検し、そのあり方を検討する予定です。（安部隆士）

★宇宙学校（相模原）開催

今回は「太陽系（参加者162名）」「宇宙技術（同142名）」「ブラックホール（同140名）」の三つのテーマで行われました。「太陽系」では、彗星衝突、生命の宇宙起源、火星からの隕石まで、興味ある話が展開し、宇宙環境における生命活動などにも、比較的身近で素朴な質問が出されました。「宇宙技術」では、冒頭で「宇宙旅行をしたい人？」と言う問いに90%以上の人の手があがりました。再使用、往還機など、人が宇宙へ出るためのロケット開発に追い風を感じました。宇宙発電では予想通り、コストと安全問題がたずねられました。最も質問が集中したのはやはり「ブラックホール」でした。最近のメディアの影響も見え隠れし、「ブラックホールは最後どうなるのか？」「その後は宇宙はどうなるのか？」「無とは何か？」とだんだん禅問答に近くなって行きました。この中で、私達が観測的に確認されたこと、理論的に明らかな帰結以外は「わからない」と答えることが聴衆としてはもの足らない様でした。仮説であっても確定した結論として言い切る方が「安心感」を持たれる様です。このすれ違いは、今後の我々の広報活動の課題の一つかも知れません。

一方、今回の宇宙学校での質問のいくつかは、一般の人たちの興味の有り様を教えてくれるものでした。統合される新しい宇宙機関として、一般の方々から支持される得るテーマはやはり「知的好奇心」であり、「宇宙への人類の展開」であると感じたのは私一人ではないと思います。関係者の皆様の御協力を感謝致します。（國枝秀世）

★宇宙学校（東大駒場）開催

東大駒場での宇宙学校は2月9日（土）、ソールトレークシティ冬季オリンピック開会式の朝でしたが、平均して200人以上の出席で、いい雰囲気でした。相模原での陣容からちょっとかわって、講師では佐々木さんのかわりに成尾さん、校長が国枝さんから平林になりました。

1時限、吉川さんの探査プランニングと黒谷さんの生きものの話。お互いに関連がなさそうな分野ですが、話題は適当な割合でわかれます。最後の幼稚園児の質問は、軌道と生きものをつなぐ秀逸なものでした。

「あのう。ブラックホールにい」（はぁー）「イモリがあ」（えっ）「落ちたらあ」（へっ）「どうなるんですかあ？」

2時限、澤井さんの再使用型宇宙輸送機と成尾さんの太陽発電衛星の話。澤井さんは有翼型、成尾さんは垂直離着陸型を熱心に研究開発中のこともあって、両者その熱心さが表にでます。再使用型飛行、有人飛行、太陽発電衛星計画は、経済性や政治性もふくめた国民的議論が必要です。2時限目はそんなわけで、たいへんユニークな時間になりました。最後の質問は、DASHについて。澤井さんと校長の答えを受けて、的川さんが最後を、じっくりと締めくくって語ってくれました。聴衆もシーンと聴き入っていました。

3時限、前田さんのブラックホールと山村さんの赤

外線観測の話。いやぁ、おどろきましたね。始めから終わりまで、ほとんどブラックホールに食われました。前田さん大わらわ。山村さんにも前線に出ることを促し、時には校長も引き取ります。

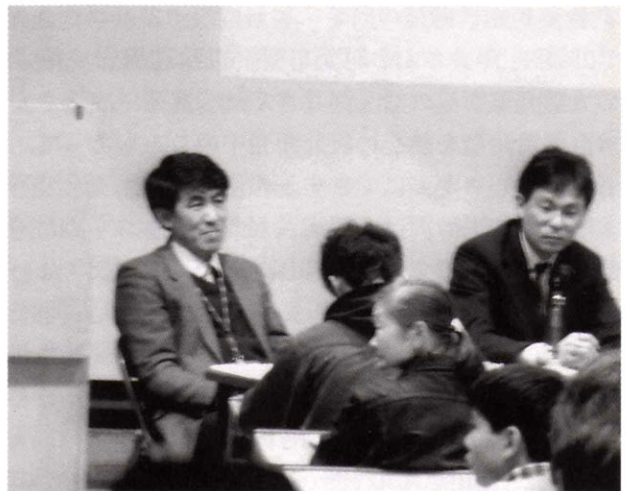
「ブラックホールに入ったらどこに出てくるか。入りっぱなしで何で悪いと考えることもできますがね。愛するひとたちが亡くなると、どうなるんだろうって考えるでしょう。そんなとき、僕たちは、どこかにここが残ってつながっているように考えますよねえ」わけの分からない高僧の説教みたいです。

一部始終を阿弥陀様のように見まもった的川さんの評；懐かしい駅前でビールを飲みながら、「若い先生たちの答えに苦しむところ、誠意が感じられてよかったねえ。それに今回は、校長のつつこみや講師いじめ（質問者への応援？）がめだったねえ」

今回は若い子供たちからお年寄りまでまんべんなくいろいろな人が集まりました。変に困ったり、しつこかったりする質問がなく、質問に対して1回で素直に「ありがとう」と言っておられました。「それなら」と、次の質問に展開してもいいのかも知れません。最後に、講師をする機会がないとなかなか気がつかないことですが、この催しのために、多数の管理部の皆さんが働いていることも、研究部の皆さんにお伝えしておきましょう。（平林 久）



宇宙学校のスナップ



第6回宇宙3機関統合準備会議

2月28日（木）に第6回の宇宙3機関統合準備会議が開催された。

テーマは、「新機関の組織の骨格の在り方について」で、独立行政法人としての新機関の組織の骨格と、主要な業務についての事務局案が示され、議論が交わされた。

業務については

- ・基幹システムの整備・運用に関する業務
- ・衛星等利用システムの企画，開発及び利用促進に関する業務
- ・基盤的・先端的技術開発に関する業務
- ・宇宙科学研究・教育に関する業務

とされ、特に宇宙科学研究・教育については、「大学共同利用」システムを制度的・組織的に整備し、新機関長は、これらの「大学共同利用」システムによる組織運営を尊重することが必要であるとされ、現行の宇宙研における評議員会、運営協議員会に相当するものを設置することが適当とされた。

今回大筋の合意が得られたので、次回（3月27日）に最終報告となる予定である。

（松尾弘毅）

齋藤 義文

地球をはじめとする惑星の周辺や惑星間空間はプラズマで満たされています。プラズマとは、物質が電子とイオンの状態に電離された状態をいいます。太陽から絶えまなく流れ出すプラズマ流である太陽風や惑星自体の大気、惑星表面物質等がその起源で、各々の惑星毎の条件に応じてそれらのプラズマの組成、密度、速度、温度などは複雑に変化します。これらのプラズマ（具体的には電子とイオン）をそのプラズマが存在するその場所で測定することで、プラズマの起源や変化の原因を明らかにして、惑星や惑星間空間の構造、変化を知ることができます。

プラズマを計測する方法には色々なものがありますが、現在我々の研究室では「プラズマを構成する電子やイオンのエネルギー、質量、電荷を弁別して、観測器に飛び込んで来るこれらの低エネルギー荷電粒子を一個一個数える」という原理の観測器の開発を行っています。これらのプラズマの観測は地球の電離層での観測に始まり、現在では太陽系の他の天体周辺での観測を行うに至っています。太陽風の電子・イオンと惑星周辺電子・イオンではプラズマの密度、速度、温度などの状態が大きく異なります。そのため、観測器の感度や質量、電荷の分解能等をそれぞれの目的に合わせて変化させる必要があります。人工衛星にはスピン衛星、三軸制御衛星がありますが、どちらの衛星に搭載するかで観測器の構造は変化します。我々の観測器は、プラズマの3次元の分布を測定する必要があるのですが、このためには3次元のあらゆる方向から観測器に飛び込んで来る電子やイオンを方向毎に数える必要があります。スピン衛星の場合、衛星のスピンに垂直な面内一次元の視野を持っていればあとは衛星自体のスピンを利用して3次元のデータを得ることができますが、三軸制御衛星の場合にはスピンを利用できませんので観測器自体が広い視野を持つ必要があります。図1はスピン型衛星用に開発したプラズマの観測器の例です。観測器上方の丸い2枚の板の間から荷電粒子が入射しますが、この観測器は一周360度の視野を持っています。これは1998年に打ち上げられた火星探査機「のぞみ」に搭載したもので、太陽風プラズマや火星周辺プラズマの観測を行います。図2は三軸制御の衛星搭載用に開発したプラズマ観測器の例です。これは2005年打ち上げ予定の月探査周回衛星「セレーネ」に搭載するために開発したものです。観測器の上部には観測器の上方から入射する電子・イオンの入射方向を選択するための電極があり、観測器上方の半球面の領域から入射する電子・イオンを測定することができます。

将来的には、観測器の性能を現在のものより飛躍的に向

上させる必要があります。現在我々は地球磁気圏観測衛星として10年前に打ち上げられた「ジオテイル」衛星を運用しています。この「ジオテイル」による地球磁気圏尾部の観測によって地球磁気圏に関する様々な新しい描像が得られたのですが、同時に新しい疑問も生まれてきました。これらの疑問を解明するために現在、次期磁気圏衛星の検討を行っています。この次期磁気圏衛星で行いたいことの一つは、電子観測の時間分解能を従来の約1000倍にすることです。「ジオテイル」衛星の観測によって地球磁気圏尾部でイオンの果たしている役割はかなり明らかになってきました。ところがイオンの約1/1000の質量しか持たない電子についてはイオンの約1000倍の時間分解能で測定しないとその役割を明らかにすることができないと考えられています。そこで、次期磁気圏衛星では電子の地球磁気圏尾部での役割を明らかにするために、約10ミリ秒という高い時間分解能を持ったプラズマの観測器が必要となります。これ程高い時間分解能を持ったプラズマ観測器は未だ世界のどこを探しても存在しません。我々はこの観測器の開発を数年以内の完成を目指して本年度から開始しました。今後、時間分解能を向上させるだけでなく、質量分解能の向上、測定可能エネルギー範囲を増やすなどの開発項目一つ一つに挑戦し、究極のプラズマ観測器を完成させるべく奮闘しています。（さいとう・よしぶみ）

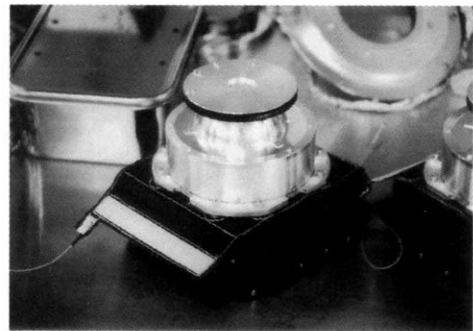


図1 スピン型衛星用プラズマ観測器



図2 三軸制御の衛星搭載用プラズマ観測器

1月14日（成人の日）に行なわれた理学委員会にミッション提案中の「BepiColombo国際共同水星探査計画」の評価小委員会でのプレゼン終了後、ほっとする間もなくオランダに移動した。1月17日から2月4日まで3週間にわたり、国際協力の相手であるESA（European Space Agency）のESTEC（European Space Research and Technology Centre）に滞在した。ビジター用の部屋に既に机とパソコンが用意されており、同室の人はイタリア人、イギリス人、ロシア人と国際色豊かであった。部屋を訪ねて来た人がオランダ語でしゃべりかけてきたときに、皆で一斉に“English, please!”と答える、そんな部屋であった。

ESTECはオランダ王国のNoordwijk（ノードュヴェイク）という北海に面する町にあり、隣にはライデン、東にはアムステルダム、西にはハーグやロッテルダムがある。到着してからの2週間は強風と雨に悩まされた。聞くところによると異常気象らしく、オランダであるところの秋の天気であるらしい。特に海岸沿いの烈風は凄まじく、気温は2～3度程度で雪はなかったにも関わらず、体感温度は相当低かった気がする。実は10年前まではかなり雪が降っていたらしいが、やはり温暖化のせいではないかとESAの人達は話していた。

昨年春に始まった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昨年末の中間報告を受けて、ESA/ESTECにおいてさらにシステムの見直しを行なっている。宇宙研は水星に送られる3つの探査機のうちMMO（Mercury Magnetospheric Orbiter）を担当することが期待されているが、そのMMOとESA担当部分とのインターフェースを中心にBepiColombo全体システムについて議論するのが今回の目的であった。会議は定期的にCDF（Concurrent Design Facility）という会議室で開催され、探査機の構造、熱制御、姿勢制御、通信、電源、コスト等の担当のspecialistが一堂に会し（plenary meeting）、それぞれが問題点を指摘・検討の上、全体システムを最適化していこうという思想である。

全員が集まる必要のない詳細検討のための打ち合わせ（splinter meeting）も随時開催された。私以外はすべてESTECの人であり、ドイツのDarmstadtにあるESOC（European Space Operations Centre）のミッション計画関係者はテレビ会議の形で参加していた。配布資料は一切なく、プレゼンは、事前にCDFで管

理しているサーバに入れておきプロジェクトを使用して行なわれた。ESAにおける衛星設計の方法が良くわかるいい機会であったと同時に、非常に多くのESAの人達と直接話すことができたことが最大の収穫であった。やはり、相手の顔を知らないと言事は進まない。

ところで、会議終了後のランチはいつもESTECの人と雰囲気、メニュー共に充実しているカフェテリアで食べていた。ESTECでは、ほぼ100%食事後にコーヒー（あるいは紅茶）を飲む。面白いのは、たいていその席で一番偉い人が飲み物のオーダーをまとめて自分で取りに行くことである。しかも奢りである。大きな声では言えないが、宇宙研では考えられないことである。ある時、イタリア人が多いテーブルで食べた時に、カプチーノを食後に注文したが、既にイタリア人の間では“Hiroshiはいつもカプチーノを注文する”ことが有名になっていた。イタリア人は昼にはエスプレッソを飲み、カプチーノは重いので朝にだけ飲むらしく、外国人かどうかはこれですぐに見分けがつくと言っていた。実際、ドイツ人達と食べた時には、なぜか全員カプチーノであった。なるほどと納得した瞬間であった。ちなみにカフェテリアでの支払いは2002年元旦から流通していたユーロである。ユーロはすっかり浸透しており、既にギルダーの使い道は町の中でもなくなっており、オランダ滞在中の1月28日には、ギルダーは正式に使用できなくなった。

帰国する直前の2002年2月2日には、Willem王子とMaxima妃の結婚式がアムステルダムにて行なわれた。その前から町という町は、二人の写真があちこちに掲げられ、national colorであるオレンジ色で彩られていた。子供達もオレンジ色の王冠のようなものを頭にきて、すごく人気がある“Maxima”のまねをして遊んでいたのをよくみかけた。今回の滞在はオランダおよびヨーロッパの多様な側面を見せてくれた。

（やまかわ・ひろし）





宇宙でろうそくを燃やす方法 !?

産業技術総合研究所 若山 信子

誰でも幼い頃、砂場で磁石に砂鉄が引付けられるのを見て、磁石の不思議に驚かれたことがあると思う。磁石は鉄ばかりでなく、強弱はあるが、すべての物質を引付けたり、反発したりする。私はこの磁気力利用、例えば地上で低重力環境を作る方法や燃料電池の効率向上などについて研究している。ここでは宇宙実験における磁石利用についてご紹介しよう。

宇宙でろうそくは燃えない！

「高温の気体、液体は密度が小さくなるため上方へ移動する。」これは地上の常識である。このような自然対流は化学工学の観点からみれば熱伝導、物質輸送など重要な役割を果たしている。ところが宇宙では無重力のため自然対流が発生せず、地上の常識では考えられない様々な問題が生じてくる。NASAの実験では「宇宙でろうそくに火を灯しても、30秒も経たずに消えてしまう」ことが明らかになった。

私たちは上砂川の地下無重力実験センターで、この実験を再現してみた（北大工・伊藤研究室と共同）。図A, B, Cは、ライターに使用されるボタン炎を使用した実験結果である。ろうそくのような拡散炎では、自然対流で新鮮な空気が供給されるので燃焼が継続する（図A）。炎が縦に長いのは対流のためである。

つぎに無重力環境になると対流が存在しないため、一瞬火炎は丸くなる（図B, 0.76秒後）。この場合、酸素ガスの供給、炭酸ガス、水の除去は拡散過程に依存し、その輸送速度が非常に遅いため、炎は燃焼ガスに囲まれて酸素ガスが供給されなくなり、数秒間で殆ど消えかかることが明らかになった。

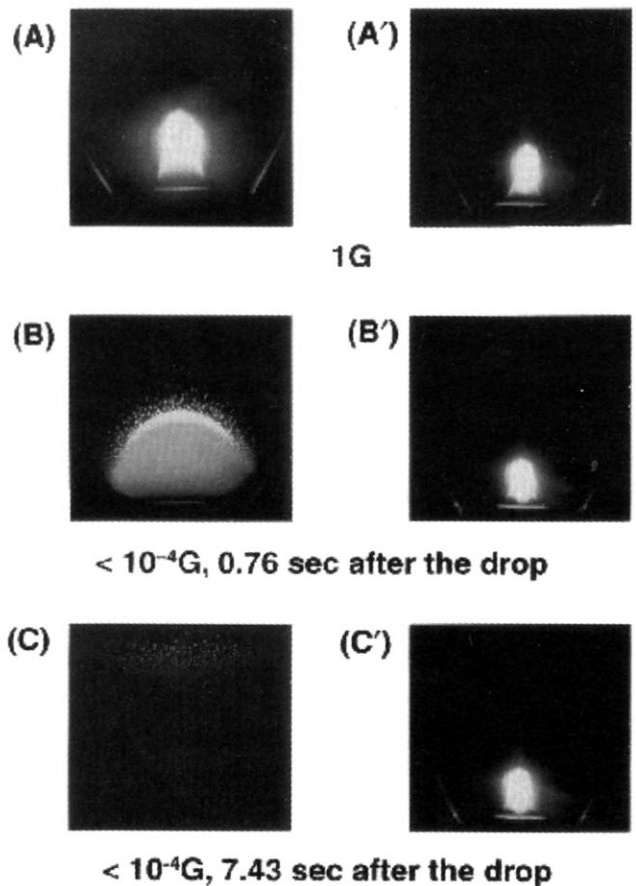
宇宙でろうそくを燃やす方法

燃焼に必要な酸素ガスは常磁性で磁石に引付けられる性質がある。この磁気力を利用すると無重力環境でも対流が発生させることが可能である。磁場が最強になる場所に炎を置けば、空気は磁場に引付けられて炎に供給され、反対に磁場に反発する性質のある燃焼ガスは排除される。

図A', B', C' は最高6キログaussの永久磁石を利用した実験結果である。図A' は重力下の炎であるが、図Aと比べ磁場をかけることで燃焼は促進され、炎は明るく、そして小さくなっている。次に無重力の10秒間、炎は重力場よりも明るく燃え続けることが観察された（図B', C'）。

この研究発表をきいた毛利衛氏は「宇宙でろうそくを灯し誕生パーティを開けますね。」と冗談を言われたが、磁気力是对流を誘起するばかりでなく、浮力で気泡を制御するなど、その他にも今後、宇宙における利用価値は大きいのではないと思われる。私は宇宙ヘドライバー、ペンチのような工具を持参するように、ぜひ永久磁石持参をお勧めしたい。

（わかやま・のぶこ）





子供心

齋藤 猛男

キーワード：木炭カマ、ペンシルサックロケット、
太陽系の謎、スプートニク、ガガーリン

私が院生として、駒場の宇宙航空研究所の13号館、通称本館3階の山崎毅六先生の教授室の扉を叩いてからちょうど35年になります。当時東大ロケットが、人工衛星の産みの苦しみを味わっていた時期でありました。それから3年後のL-4S-5号機による日本初の人工衛星「おおすみ」の成功以来、この2月のH-IIA-2号機による小型カプセル「DASH」の失敗まで、日本における数々の打上成功の報を聞き心を躍らせ、失敗の報を聞き心を曇らせてきました。この様に、私は日本の宇宙時代の幕開けから成長期、更には成熟期に掛けて、宇宙航空研究所から宇宙科学研究所と名称は変わりましたが、日本の宇宙科学のメッカで仕事が出来たことを非常に幸せだったと思っております。これも一重に皆様のおかげであると感謝致しております。

今63年間の人生を振り返ってみますと、私がこの道に入る切っ掛けとなった出来事が、いくつか子供時代にあったような気がします。

「いざ来いニミッツ・マッカーサー・・・」を口ずさんでいた戦争中、お袋に連れられ田舎へ買い出しに行くのに乗った木炭カマ（後に「木炭ガス発生炉」と言う正式名を知りました）をお尻に付けたバス。昇り坂になると乗客が降りバスの後押しをする光景を目のあたりにしてきた私にとっては、絵本の中のロケットが何を燃やしてあんなに速く、あんなに遠くへ飛んで行くのかと不思議に思ったものでした。

戦後の小学生時代になると、よく近所の畑でロケット遊びをしたものです。セルロイド製のフィルムを切り刻んで鉛筆のサックに詰め込み、ペンチで出口をつぶし、少しはみ出たフィルムの端にマッチで火を着けるとピューッと言う笛の音の様な音をたてながら一瞬の内に10mも20mもそら高く飛んで行きました。まさに「ペンシルサックロケット」です。全然ちゃちではありますが、今の水ロケットに相当するかも知れません。そんな子供時代のほのかな思い出がロケット燃料

に興味を持たせたのかも知れません。さらに、低学年の頃、焼け跡に出来たバラック校舎での理科の時間に見た「太陽系の謎」（多分？）の映画は後々まで心の片隅に焼きついていました。この映画により、月に行けたら、火星人は実在するのか、太陽系の端や宇宙の果てがどんなになっているのかと宇宙への興味をかき立てられたのを思い出します。

中高時代には、勉強そっちのけで野球に精出し、甲子園を夢見、宇宙のウの字も考えたことはありませんでした。しかし、浪人中、世界初の人工衛星スプートニク1号の成功に世界が沸き立ったこと、さらに、ガガーリンがボストーク1号に乗って宇宙飛行に成功し生還したことは、子供時代の夢が現実になった驚きと共に、ロケット工学の素晴らしさに、宇宙への夢、さらに私にとってはロケットへの夢が蘇ったようです。この様に、これ等の出来事が切っ掛けとなり、子供の片隅に灯されていた炎が急に燃え上がり、私の人生を定めたような気がしてなりません。其の後、ロケット燃料の研究を目指し始めた駒場時代に、アームストロングとオルドリンが月面活動の後、無事地球に帰還した有様をテレビで見、ロケット工学研究の末席を汚していることに誇りを感じたものでした。

宇宙研の皆様、これから3機関統合問題等重要な問題が山積みしておりますが、是非これからも一般公開、宇宙学校等の催し物を通して、幼稚園児や小中学生の心に宇宙の夢を育ませてあげて下さい。いつしか、その中から何人もの宇宙科学を志す若者達が生まれるのではないのでしょうか。

「子供達に夢を！」

長くもあり、短くもありの35年間でした。皆様、ほんとうに有り難うございました。（さいとう・たけお）



春の足音とともに花粉の季節がやってきました。ここ数年のうちに大きなマスクをした人がとみに増えたような気がします。このつらさは、なってみないとわからないですね。

（久保田）

ISASニュース

No.252 2002.3

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>）。