



▲ノーズフェアリングに収まるMUSES-B衛星

〈研究紹介〉

飛行のシミュレーションと人間

九州大学工学部 後藤 昇 弘

■はじめに

我が国固有の有人宇宙飛行計画は未だ公式日程に上っていないが、宇宙飛行士は続々と誕生している。宇宙飛行士は打上げや大気圏再突入などの大きな衝撃に耐え、微小重力環境で仕事をしなければならないから、健康状態の管理はもとより様々な環境に慣れるよう十分な地上訓練がなされるのは周知の通りである。勿論地上は宇宙と異なるので、訓練はいわゆるシミュレーション（模擬）が中心となる。宇宙飛行あるいは宇宙滞在による体験が数多く報告されるようになったが、それぞれの体験が地上で再現可能かという点と必ずしもそうではない。そのような一つとして宇宙酔いがある。宇宙酔いの原因の一つは、人間が1g環境で獲得した運動に関する情報処理法が微小重力環境で齟齬を来すことにあると言われるが、それだけではなく多くの要因がからみ合っていて、原因究明と対処法は未だ進展段階にある。先般エンデバー号で飛行した若田宇宙飛行士の話を聞く機会があったが、彼は「宇宙酔いは意識もしなかった」と言っていた。個人差もあるし宇宙滞在期間の長短も影響しているようである。それ

では、人間は運動をどのように知覚し、姿勢や視覚の安定化、制御、誘導に利用しているのだろうか。特に知覚は情報獲得過程として種々の問題の根本的な点であるので、これについて概略をまとめ、地上で飛行のシミュレーションを行う際に生じる問題点について触れてみたい。

■空間識

三次元空間における人間の位置と動きの確認、方向づけを空間識（Spatial Orientation）と呼ぶが、人間の空間識には内耳が重要な働きをしている。19世紀中葉までは、人間の平衡感覚は頭や内臓での血液移動や皮膚にある圧力レセプターより生じると考えられていたようだが、内耳の重要性を主張したのはベンチュリ管で有名な Venturi である。内耳には三半規管（Semi-circular Canals）と耳石（Otoliths）で構成される前庭器官（Vestibular System）がある。それぞれは図1に示すように模式化される。

まず、三半規管は互いに直交する三つの半規管から成る。それぞれの半規管の内部はリンパ液で満たされ、半規管が回転しリンパ液が流動すると、半規管の取付

部でリンパ液をせき止めている平衡頂(Cupula)の毛状細胞が変形し、平衡頂両端間の圧力差が検出される。従って、三半規管は三軸まわりの角加速度検出器である。しかし、リンパ液の粘性が高いので角加速度入力に対する平衡頂の動きの動特性は過減衰の二次系でモデル化することができ、しかも二個の時定数(16secと0.005sec程度)の差が大きいので、実際には積分ジャイロ的特性が示される。即ち、三半規管はむしろ角速度検出器として働いている。実際、平衡頂の動きと眼球の動き(Nystagmus)が密接な関係があることを利用して、入力角速度と人間が感覚する角速度の間の周波数特性が測定されていて、それによると、0.1rad/sec～10rad/secの広い範囲で振幅比はほぼ0dBであるが、位相は同じ範囲で+30°位から徐々に遅れていき、1rad/secあたりで丁度同位相、10rad/secでは-180°程の遅れを示している。このことから、三半規管は1rad/sec付近の回転運動に対しては角速度検出器として美事に作動するが、それより低周波や高周波の入力に対しては主観的回転感覚は特に位相の面で信用できないことになる。雲の中など低視程環境での低周波旋回飛行を水平直線飛行と感じたり、スピンを続けて急停止

すると逆スピンをしているように感じるのはこのような三半規管の特性から生じる錯覚である。フィギュアスケータの回転感覚には多分に順応(Adaptation)や馴化(Habituation)の作用があると考えられるが、これらの作用は三半規管自体だけでは説明できず、中枢神経系(Central Nervous System)の役割が大きいようだ。

次に耳石であるが、これは三半規管に比べるとまだ良く理解されていない。というのは、耳石は卵形のう(Utriculus)と球形のう(Sacculus)に一式ずつ収められているが、卵形のうの方は明らかに直線加速度検出器であることが認められるものの、球形のうの方は構造は類似であるのにその働きは不明だからである。ここでは直線加速度検出器としての卵形のうの方を取扱う。図1に示すように、卵形のうは耳石とそれを支える有毛支持細胞(Macula)及び神経組織から成る系を包んでいる。耳石自身は炭酸石灰を成分とする多数の平衡砂(Otoconia)であり、直線加速度入力により感覚細胞の毛の曲げ変形が神経系へ伝えられる。しかし、曲げ変形だけでは二軸方向の加速度検出が主となるので、圧縮力も伝えられるのかも知れない。一軸加速度入力による実験解析によれば、耳石系は三半規管と同様に過減衰二次系のモデル化が可能で、従って実際には速度検出器として作動し、その特性が良好な周波数領域は $0.2 < \omega < 1.5$ rad/secである。耳石系は合成加速度を検知するので、例えば電車がカーブした軌道を走ると乗客は窓外の家や木が傾いていると感じる。勿論これは視覚系が運動感覚系と連動しているためである。また、宇宙飛行士の訓練のために軌道飛行による自由落下の実験が行われるが、この無重力状態では定常の重力加速度入力がないので飛行士には上下感覚が無い筈である。にもかかわらず上下感覚の幻覚があることが報告されているが、これは瞬間的頭部の運動による加速度情報が誤認されているためであろうと思われる。

上述の前庭器官や視覚による情報の他に、人間は触覚や知覚神経端末からの情報を空間識に役立てている。触覚は圧力センサーと見なされるが、日常経験するように、圧力刺激の微分値の検知がその主な役割である。一方、各知覚神経端末からの情報は定常の空間識を得るために用いられる。例えば、手足の位置、各筋肉の長さや張力などは上下位置関係や外力の認識に役立てられる。

結局、これらの情報の流れと人間が乗っている飛行機や宇宙船の動きとの関係は図2に示すようにモデル

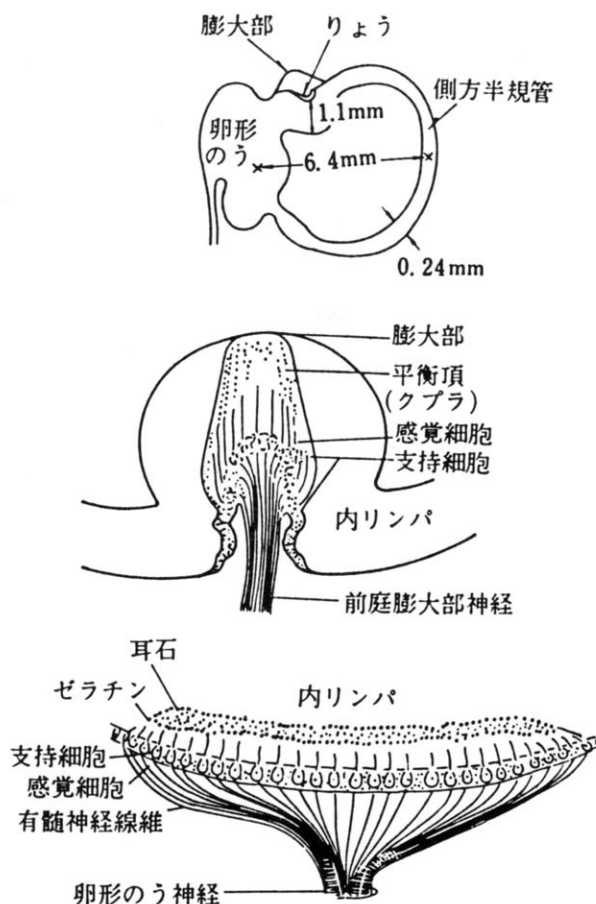


図1 三半規管と耳石の模式図
(幸尾治朗, NAL TR-645)

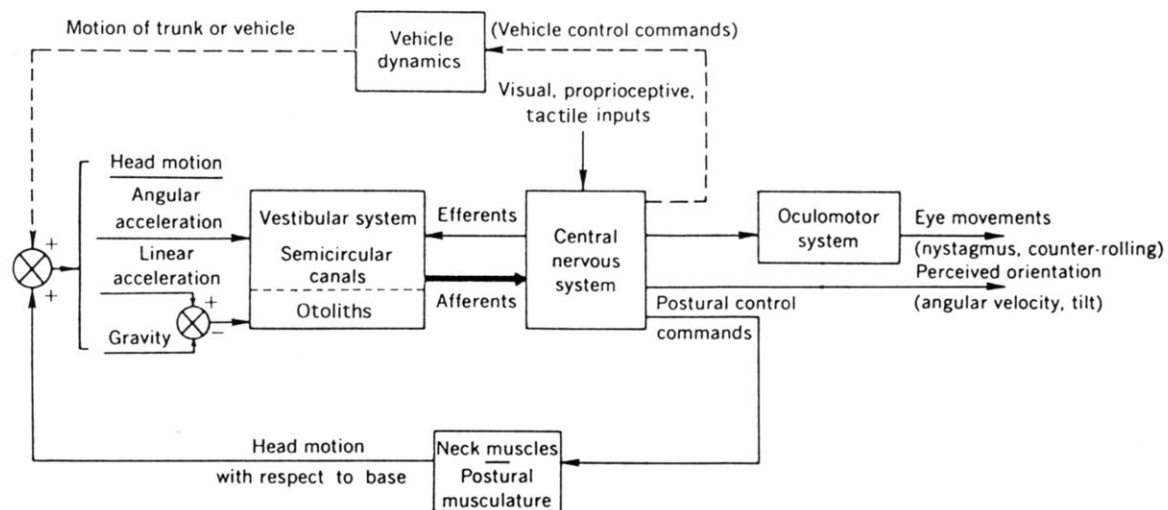


図2 運動と感覚情報の流れの関連 (L. R. Young, AIAA-82-0422)

化できると考えられている。このように、人間は種々の感覚情報を中枢神経系のソフトウェアで解析して空間識を得ている訳である。このソフトウェアの内容は良く分かっていないが、各種感覚情報の不一致があると色々な問題を起こす。いわゆる乗物酔いはこのことに基づくことが多いようだ。宇宙環境を含む非日常的な運動環境にさらされると、各種感覚器官の動特性の違いからそれぞれの情報の不一致を生じ、ソフトウェアは処理に困り、空間位置感覚の失調 (Vertigo) を招いたり生理的不快感を催すことになる。他にも、航空機操縦のシミュレーションに運動を伴わない固定座席シミュレータを用いると、模擬視界による運動情報に体感が伴わないため「シミュレータ酔い」を起こすことが知られている。また、飛行実験中の計測員が酔い易いと言われるが、これは機体が回転運動中に頭の移動を行うことによるコリオリカの発生を前庭器官が捕え、錯覚と現実の相剋に苦しむためと思われる。先のベトナム戦争でB-52爆撃機のナビゲータが酔いに苦しんだという話はもう一つの良い例である。

■飛行のシミュレーション

このようなことから、シミュレータを用いた(宇宙)飛行の模擬には十分な注意が払われねばならない。運動のスケールや周波数領域を考慮してそれぞれに応じた工夫がなされている。宇宙機の打上げ時のGの模擬のためには遠心力発生装置がよく用いられるが、耳石は合成加速度ベクトルを検知するので、局所鉛直の錯覚に注意が必要である。NASA Ames研究所では、そのためのトラベルの大きいエレベータ式シミュレータを以前製作し使用した。同研究所ではまた、ヘリコプタなど垂直離着陸機研究用に矢張り上下のトラベルの長い特殊なシミュレータを開発し使用している。我が

国ではSSTプロジェクトが進行中であるが、スレンダーボディの弾性振動が与えるパイロットの操縦への影響や乗客の乗心地への影響の調査のために、このような振動を模擬できるシミュレータが不可欠である。

■おわりに

我々の研究の目標は、これまで述べてきたような人間パイロットの特性のモデル化を行い、計算機上で有人飛行を行って制御系を含む機体の設計評価に役立てることである。そのためには中枢神経系の働きなど解明されねばならない点が多くあるが、部分的には有用となった結果も多い。特に1自由度運動の飛行に対しては相当精密なパイロットモデルが提案されており、各種飛行問題の解決に役立っている。飛行の評価法は、従来はパイロットレイティング (Pilot Rating) という10点法の主観的評価に頼っていたが、ミッションの成績とパイロットの作業負担 (Workload) を成績指標として表わせれば最適問題として定式化できることが分かり、客観的評価のための努力が続けられている。筆者等はこのような指標にH ∞ -ノルムを用いた手法を提案している。しかし、現状では1自由度運動にしか適用できないのが難点で、情報処理の相剋が問題となる多自由度運動への発展はこれからの課題である。冒頭にも述べたように、人間には経歴を含めた個人差があるので、これをどのように表現するかも未解決である。人間がいかに複雑な interdisciplinary な存在であるかを漸く実感として認識し始めた段階であり、ことに中枢神経系の研究などは自分の頭の中身をさらけ出すようでとても公にはできない。

杜牧の詩の一句に「包羞忍恥是男兒」とあるが、そのような心意気で大方のご意見を俟つといった現状である。
(ごとう・のりひろ)

★研究会・シンポジウム

宇宙エネルギーシンポジウム
 日 時 平成9年2月26日(水)～27日(木)
 場 所 宇宙科学研究所本館2階会議場
宇宙科学企画情報解析シンポジウム
 日 時 平成9年3月11日(火)
 場 所 宇宙科学研究所本館2階会議場
大気圏シンポジウム
 日 時 平成9年3月13日(木)～14日(金)
 場 所 宇宙科学研究所本館2階会議場
衝撃波シンポジウム
 日 時 平成9年3月13日(木)～15日(土)
 場 所 東京農工大学工学部6号館会議室
スペース・プラズマ研究会
 日 時 平成9年3月14日(金)
 場 所 宇宙科学研究所本館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
 TEL 0427-51-3911 (内線 2234, 2235)

★教官人事異動

発令年月日	氏 名	異 動 事 項	現 (旧) 職 等
		(転 出)	
9. 1. 1	長谷川典巳	山形大学理学部教授	惑星研究系助教授
9. 2. 1	小原 隆博	郵政省通信総合研究所平磯宇宙環境センター宇宙環境室長	宇宙科学企画情報解析センター助手
		(昇 任)	
"	中川 貴雄	次世代探査機研究センター助教授	宇宙圏研究系助手
		(採 用)	
"	飯島 祐一	惑星研究系助手	COE研究員

★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							
1	5	10	15	20	25	30	1	5	10	15	20	25	30
MUSES-Bの運用													
(ISAS)													
(ようこう, あすか, あけぼの運用)													
(ISAS)													
PLANET-B 第 1 次 嚙 合 せ													
(ISAS)													



★M-Vロケットの打上げ成功
(表紙に関連写真・撮影：前山勝則)
 今期のロケット打上げ実験は、MT-135、2機のバイパー、S-520と順調に終わり、いよいよ真打ちのM-Vロケット1号機が、当初予定日の2月7日から2度の延期を経て2月12日13時50分に打ち上げられた。ロケットの飛翔は極めて正常で発射後478秒に、搭載した衛星MUSES-Bはキックモータから切り離され、ほぼ予定の軌道に投入された。軌道に乗ったMUSES-Bは国際標識97-005Aを与えられ、「はるか」と命名された。以後軌道制御がつづけられている。
 (的川泰宣)

★MT-135-65号機の打上げ

MT-135-65号機は、1月13日11時に上下角78度で発射され、1分50秒後に最高高度55kmに達した。発射後96秒にノーズコーン脱頭、114秒にパラシュート放出と

開傘、118秒に温度センサー放出とオゾン観測開始が予定通り行われ、高度54kmから5kmまで、オゾン密度、気温および風向、風速を測定した。快晴と澄んだ大気のお陰で、落下しつつあるパラシュートのビデオ撮影にも成功した。

フロンガスによる成層圏オゾン破壊の経年変化を観測するのが本ロケットの主目的である。平成2年の52号機から昨年の63号機まで12回の測定を行った。それらの結果によると、高度40～45kmにおいて年2%のオゾン濃度の減少が見られる。しかし、その原因がフロンガスによるとはまだ結論出来ない。というのは今までの観測が太陽活動の減少期に行われたからである。太陽活動周期が11年であることを考えると、フロンの影響を見積るためには少なくとも今世紀末まで観測を続ける必要がある。

新年早々の初ロケットであり、これに失敗しては

M-V-1号機をひかえている実験班の士気に影響するかもしれないと心配であったが、幸先の良い打上げであった。(中村良治)

★バイパーロケットによるチャフ実験

約80～105kmの高度領域の風の観測を目的としたバイパー2号機および3号機は、2月14日21時00分、および22時15分に相次いで宮原レーダの前に仮設したスパイラル発射台から打ち上げられた。わずか直径114mm、長さ約35cmのマイクロロケットの先端に封入された約5000枚(厚さ1 μ m、巾約5mm、長さ約25mm)のチャフ(原義は“わらくず”)は予定通り、打上げ約135秒後に放出されたとみえ、宮原レーダはViper2号機では打上げ約173秒に、バイパー3号機では236秒にチャフのレーダエコーを捕え、その後約30分間にわたって風の観測を行った。このチャフ実験と同時に内之浦より西方約50kmにある郵政省通信総合研究所、山川電波観測所の大型中波レーダでは高度70km～100kmの水平風速を観測、また京都大学MUレーダ(内之浦の北東約600km)では高度80～110kmの流星エコーから求められる風速および温度変動、拡散係数などのパラメータを観測し、チャフ実験との比較を行って、地上観測との検証も行われた。

本実験においては鹿児島宇宙空間観測所の職員をチームに、相模原からの職員はオブザーバーとして実験に参加するというかたちをとった。実験の成功をとりわけ喜び、かつ打上げオペレーションに自信を深めたのは、鹿児島宇宙空間観測所の職員諸氏であったように思う。本実験を顧みるに、地上観測は、特に郵政省山川電波観測所、飛翔体による観測は本研究所の鹿児島宇宙空間観測所と役割分担することによって効果的な実験ができたと思っている。今後も両研究機関の施設の活性化につながるような魅力ある研究が提案されることを期待している。

最後に本実験はロケットの発射、および追跡等ほとんどが工学側に負担をかけた実験であった。科学担当者に代わって謝意を表する次第である。(小山孝一郎)

★S-520-18号機成功

LUNAR-Aペネトレータ系と同じ設計方法で製作された実験用ペネトレータ系を用いて、母船からの分離以降の全てのシーケンスをシミュレートし、加速度、姿勢、姿勢変動等の計測により、LUNAR-Aペネトレータ系に適用された設計方法の妥当性を確認する事を目的としたS-520-18号機は、平成9年1月30日16時30分鹿児島宇宙空間観測所より発射された。ロケットの飛翔は正常で発射後289秒で最高高度310kmに達し、約

10分後に内之浦南東海上に落下した。

その間計画された全ての実験が正常に実行され、データも受信された。特にDOM(軌道離脱モータ)の推進性能に関しては立上がり特性、残留推力に関し精度良い計測を実施する事ができた。又、月周回軌道で母船から分離後実施される90度の姿勢マヌーバに適用されるラムライン制御も予定通り実施され、制御系の特性が計画通りである事が確認された。

今期の観測ロケット実験(MT-135、バイパー、S-520)は2月に予定されているM-V-1号機の打上げ実験の先駆けとしてその任を果す事ができ実験班員の志気は大いに高まっている。(中島 俊)

★平成8年度第3次大気球実験

上記大気球実験は、平成9年1月20日から1月29日まで三陸大気球観測所で下表のように実施した。今回実験を行った2機の気球はいずれも気球工学実験であった。

EV01-1号機は、気球材料として現在使用しているポリエチレン・フィルムと異なった特性を持つ気球材料のエバール(エチレン・ビニル・アルコール)10 μ m厚とポリエチレン15 μ m厚をラミネートしたフィルムで製作した気球である。このフィルムの特徴は、ポリエチレンに比べて波長7.5～14.5 μ m領域の赤外線吸収率が5倍程度高く、強度が4倍程度強いものである。今回製作した気球は、容積が100立方メートルで、製作方法も新たにラップ・シール法で熱接着したものであり、その気球の飛翔性能試験を目的に実験を行った。気球は正常に上昇し予定高度16.2kmに達し、徐々に気球の内圧が上昇し気球は破壊した。今回の実験で、気球内圧力、破壊強度、気球内温度および外気温度等、今後の気球開発に必要な貴重なデータを取得することができた。

BT120-1号機は、重量10kg程度の科学観測器を高度40km以上まで飛翔させる高高度気球の開発の一環として製作されたものである。高高度まで気球を飛翔させることは、気球本体の自重を如何に軽くし、気球飛翔環境に耐える大容積の気球を製作することができるかどうかにかかっている。製作した気球は、5.8 μ m厚のポリエチレン・フィルムを用い、自重が従来のものの4分の1の87kg、容積が12万立方メートルであった。気球は正常に上昇し高度50.2kmに達した。この到達高度はこれまでに我が国が放球した気球の最高高度であ

放球日	気球名	観測項目	高度	観測時間
1/24	EV01-1	飛翔性能試験	16.2km	1時間40分
1/27	BT120-1	飛翔性能試験	50.2km	3時間45分

る。この結果、10kg程度の観測器を50kmを越える領域まで飛翔させることが可能になり、宇宙および大気観測に広く使用されることになることと期待される。(山上隆正)

★「あすか」NASA調査委員会の評価

「あすか」は、この2月で打上げからまる4年を迎えますが、大きな問題もなく無事観測を続けています。「あすか」の観測は世界の研究者からの観測申し込みに基づいて行われており、その公募観測も第5期を迎えています。これまで観測した天体は1000を越え、観測データに基づく論文は200を数えようとしています。また、「あすか」の観測をもとに、国内だけでも、これまで14人が博士の学位をとり、13人が学位審査中です。

さて、「あすか」からの観測データの受信や、米国での観測申し込みの受け付け、一般解析者のための共通解析ソフトの整備、観測申し込み者の占有期間がすんだデータの管理とサービスなどには、NASAの協力を得ていますが、最近、NASA内の調査委員会において「現在NASAが運用のための予算を提供している8つ

の天体物理学ミッションに対し今後も予算提供をつづけるべきか」の評価が行われました(NATURE誌1996年10月31日号参照)。その結果、「あすか」は、最近打ち上がったばかりの赤外線天文衛星ISOについて第2位の高い評価を得て、宇宙研の「あすか」に続く次のX線天文衛星ASTRO-Eが打ち上がる予定の2000年まで、「あすか」運用協力への出資が延長される見通しとなりました。「あすか」は、今後とも、世界のX線天文台として、天体物理学の発展におおいに貢献することが期待されます。(井上 一)

★SFUシンポジウム開催さる

宇宙実験・観測フリーフライヤ(SFU)シンポジウムが東京大学本郷キャンパスの安田講堂において、平成8年12月10日、11日の日程で開催された。SFUがスペースシャトルで回収されてからおよそ1年が経過し、軌道運用解析や関連実施機関の実験成果を公式に発表する場である。シンポジウムの内容は、SFUの全体ミッション概要、本体システムの概要、軌道運用の概要、

IACGからの報告

宇宙科学研究所 的川 泰 宣

昨年(1995)の12月8日から3日間、フロリダ州ココアビーチのラディソン・リゾート・ホテルで、IACG(Inter-Agency Consultative Group for Space Science:宇宙科学関係機関連絡協議会)が開催された。「関係機関」とは、NASA(米国航空宇宙局)、ESA(ヨーロッパ宇宙機関)、IKI(ロシア宇宙研究所)、ISAS(宇宙科学研究所)の4つである。

そもそもIACGとは、1985年から翌年にかけて76年ぶりでハレー彗星が太陽に接近した時、探査機を彗星に接近させるミッションを有する宇宙機関が、それらのミッションから最大限の効果を挙げるべく開始した定期的な連絡協議の場である。1981年にイタリアのパドヴァを皮切りに、4機関がローテーションを組んでホストを務めてきた。日本ではこれまでに鹿児島(1982)、京都(1987)、奈良(1991)、札幌(1995)で開催している。ハレー彗星探査では、ヨーロッパが「ジオット」、ソ連が2機の「ヴェガ」、日本が「さきがけ」「すいせい」、アメリカが「アイス」と計6機が1986年の3月に一斉にハレーに接近して協力観測の実を挙げた。彗星の科学、ミッション構成の上での戦略的協力など、素晴らしい国際協力の成果に、ローマ法王パウロ2世も感動したものである。

ハレー彗星が太陽系の彼方に去った後、折角の素敵

な協力を止める手はないということになり、さりとて漫然たる連絡会では意味がないので、すべての機関が飛翔体ミッションを有する分野を選んで協力の柱を定め、宇宙科学分野の真に役立つ国際協力の定期協議にしようということになった。ハレーの次の協力の柱には太陽地球系科学が選ばれた。太陽から地球周辺までの空間、とくに太陽風と地球磁気圏の相互作用を、4機関の数多くの衛星ミッションの協力で徹底的に調べようという試みが開始された。昨年アリアン5型ロケットが運ぼうとしたESAの磁気圏編隊飛行衛星クラスターは残念ながら打上げ失敗に終わったが、4機関が計画した多くの関連衛星はほぼ出揃って、現在精力的に協力観測を開始しているところ。日本は「GEOTAIL」を先頭にして、「あけぼの」「ようこう」が大きな働きをしている。

太陽地球系科学が協力の中心にすわった10年間は、この分野に関してワーキング・グループ(WG)が3つ設けられた。WG1は科学、WG2はデータ交換、WG3はミッション解析である。それに将来協力が予想される分野として、パネル(小委員会)が設置された。パネル1はスペースVLBI(電波天文学)、パネル2は太陽系の惑星と小天体の科学、パネル3は天体物理学。この10年間、この3WG・3パネルの体制は非常に有

各実験成果の報告、若田宇宙飛行士の特別講演、および「宇宙実験・観測の将来」をテーマにしたパネルディスカッションで構成された。世界初の観測結果や実験成果の発表、若田宇宙飛行士の貴重な体験談、軌道上で発生した不具合を含む今後に生かすべき教訓談や回収衛星ならではの成果も数多く披露された。また、パネルディスカッションでは宇宙を活動の場とする非



SFUシンポジウムの会場風景

常に幅の広い観点から活発な討論がされ、有人宇宙活動と無人宇宙活動の将来の役割などにも議論が及んだ。期間中、場所柄もあり将来を担う学生の聴講も多く、記帳参加者578人、シンポジウム関係者を含めると600人を超える参加者があった。シンポジウムで配布されたSFU成果報告書はインターネット上でも公開されている。(清水幸夫)

★GEOTAIL関係の国際シンポジウム

「GEOTAIL」衛星は打上げ以来4年半になるが順調に観測を続けている。これまで磁気圏尾部の構造や磁気リコネクション過程による粒子加速・加熱のメカニズム、プラズマ波動の介在する微視過程などについて幾多の新しい知見が得られてきている。その成果を総括し、さらに今後の展望を議論する目的で、「地球磁気圏尾部研究の新たな展望」と題した国際シンポジウムが昨年の11月5～9日の5日間にわたって金沢市の石川県教育会館で開催された。参加者は170有余名で、そのうち外国からの参加者は米国から47名、ロシアから

効に機能してきたと言える。

さて今回の会合では、一応ミッションが出揃って実行段階に入っている太陽地球系科学に代わる次の協力の柱を決定するという大切な課題があった。

会議はNASAの宇宙科学局長ウェス・ハントレスの司会で始まった。最初に、各機関の現状と将来の見通しについての報告がなされた。ESAは、月探査のMOROも火星探査のマースネットも閣僚会議でつぶされて意気が上がらない。惑星探査は彗星サンプルリターンの「ロゼッタ」計画を軸に立て直しにかからざるを得ないようだ。ロシアは12月の火星ミッション「マルス96」の打上げ失敗にがっかり来ているようで、全体として元気がない。ISASはいつもと変わらず「GEOTAIL」「ようこう」「あすか」などの具体的な成果がたくさん出された。いつものIACGでは、この日本の成果が、抽象論議に陥るのを救う主役になってきたわけだが、今回一味違っていたのはNASAである。ハッブル宇宙望遠鏡の成果もしっかり報告したし、火星からの隕石に発見された「生命の痕跡」も丁寧に説明し、21世紀に展開しようとしているORIGIN計画も出席者の注目を集めた。ORIGIN計画は、宇宙の起源・銀河や星の起源・太陽系の起源・生命の起源等、あらゆる起源(ORIGIN)にまつわる宇宙科学への取り組みを強化するという計画で、赤外線天文学や惑星及びその生命探査に重点が置かれてくるだろうことを予想させる。久しぶ



IACG会議場風景

りで意欲的な計画を持って、NASAは活気づいている。今後の宇宙科学は大なり小なり、このNASAのORIGIN計画の影響を受けざるをえなくなる。

このような情勢を受けて、太陽地球系科学の次の協力のテーマは「惑星探査」に決定した。これまであったWGの体制も見直され、「WG1:惑星科学、WG2:データ・アーカイブ、WG3:太陽地球系科学」となった。それに天体物理学と太陽物理学がパネルとしてそれぞれ組織される。この新体制で取り組むこれからの1年の成果は、1997年のIACGで総括されるが、その会議はモスクワ近郊において、ロシアのホストで開かれることになった。(まとがわ・やすのり)

10名を含めて76名であった。連日、朝8時半から夕方6時までの盛りだくさんの内容の含まれたプログラム構成であったが、ほとんどの参加者がフルに会場にいたのはGEOTAILを中心とする最近の観測成果から目を離せなかったからであろう。その成果を一層際立たせていたのが計算機シミュレーションとの連携プレーであり、また、この2年程の間に相次いで打ち上げられた米国やロシアの衛星との共同観測による総合データ解析結果で、現象の時間空間発展のダイナミックスが明らかになってきている。特に、POLAR衛星で撮影されたオーロラ発達の様相とそのエネルギーの源である磁気圏尾部の粒子加速領域を観測するGEOTAILの解析結果の対応には多くの人の耳目を奪った。多くの外国人参加者から、日本の若手研究者の研究成果に対する賛辞と今後のGEOTAIL観測への更なる期待が寄せられて、シンポジウムの幕は降りた。その1ヵ月後にGEOTAIL衛星の第20回目の軌道修正が行われ、まだしばらくの間は元気に観測を続けていけることになった。

なお、本シンポジウムの開催に際しては、地元の金沢大学の長野教授をはじめ所内外の多くの方々のご支援とご協力を頂いた。この機会を借りて深く感謝する次第である。(向井利典)

★NASA宇宙科学局長のKSC来訪

さる1月31日、NASAの宇宙科学局長W.ハントレス博士ら6名の一行が、内之浦の鹿児島宇宙空間観測所を来訪した。西田所長、松尾副所長、上杉実験主任らが対応し、歓談と施設見学を行ったが、ミュー・センターのM-Vロケットの模型を見て、「予想をはるかに凌駕して大きいですね」と、局長補佐のピルチャー博士の弁。宇宙科学副局長のハッキンス博士は、「コントロ

ール・センターの飛翔安全と電波誘導の管制システムはシンプルで機能的だし、ミューの作業スケジュールが非常に能率よく組み立てられている」と感心していた。ハントレス博士は、「日本の宇宙科学の未来は非常に有望で、21世紀に入っても大いに協力を深めていきたいが、ロケットや組立室の充実度に比べて、建物の老朽化が激しいですね。マリリン・モンローが浮浪者の服を着ているみたいです」と率直な感想を述べてKSCを後にした。

なお、ハントレス博士からKSC所長の私に、ハッブル宇宙望遠鏡などの映像をはめ込んだパネルがプレゼントされた。(的川泰宣)

★オリジン計画等に関する日米科学者会合について

この会合は、昨年夏に行われたNASA長官ゴルディン氏と当時の宇宙開発委員会委員長中川氏との間で交わされたオリジン計画に関する日米協力の可能性についての話し合いに基づいて宇宙開発委員会が主催したもので、NASA宇宙科学局ハントレス長官および宇宙研西田所長を共同議長とし、1月28、29の両日、浜松町の貿易センタービルで開催されました。米国からハントレス長官以下16名、日本から関係する研究者約20名が参加しました。オリジン計画は米国が21世紀に向けた宇宙科学の中心的課題として進めようとしている研究の総称で、宇宙の起源、銀河系の起源、星の起源、惑星および生命の起源を解き明かしていく戦略として提起されています。この中で、赤外線による天体観測の推進と火星の生命探査を中心とした太陽系探査を大きな柱としています。日本もM-V、H-IIといった大きな打上げ能力を持ったロケットの実現を背景に火星、月、小惑星の探査、また、赤外線天文衛星の計画を進めつつあるところであり、このような会議を持つ良い時期であったと考えられます。日本側の出席者には、これまでの日本の宇宙科学との関わりが薄かった有機・無機の微量分析の専門家、微生物検出の専門家も出席し、日本の分析分野の実力を示すとともに、21世紀に向けた両国の研究の広がりを一層具体的なものとすることが出来ると思います。一方、米国側の発表を通して、長期戦略を具体的な戦略として実現して行こうとする米国の自信と力も強く感じられました。これから様々な形で両国の協力を強めていく上で日本の長期戦略とこれを実現していく実行力が今まで以上に必要となる時期に突入したという認識を一層強く持ちました。俗な表現をとれば「腹を据えてかかる時期」が来たなというのが全体の会議を通して私が抱いた感想です。(鶴田浩一郎)





第4回 分子の衝突励起—原始惑星系円盤—

宇宙科学研究所 北村良実

我々の太陽系は、今から約46億年前に星間ガスの塊が自己重力によって収縮し形成されたと考えられている。惑星系は原始太陽の周囲を取り巻いていた半径36天文単位の円盤、即ち原始惑星系円盤の中で形成されたと推定されている。今となつては、過去に起きた太陽系形成過程を実証することは不可能である。

ところが、最近の電波望遠鏡の活躍によって、太陽系外での惑星系形成の現場が直接観測可能になってきた。距離約460光年に位置するおうし座には、太陽と同程度の質量の若い星、Tタウ型星が多数見られる。我々は国立天文台・野辺山の電波望遠鏡を用い、いくつかのTタウ型星のまわりに数百天文単位の広がりをもつ原始惑星系円盤を発見した(図1)。

では、なぜ電波望遠鏡によって原始惑星系円盤が観測できるのであろうか？

原始惑星系円盤は水素分子を主成分とし、残りは少量の分子と塵からなっている。電波は、水素分子からではなく、数で水素分子の1万分の1程度の微量成分である一酸化炭素分子COから主に放射されている。COは全体としては電氣的に中性であるが、分子内ではCがプラスにOがマイナスに偏っているため、まわりに多量にある水素分子との衝突によって回転すると、強い電波を放射することができるのである。他に電波で観測できる分子として、一硫化炭素CS、シアン化水素HCN、ホルミルイオンHCO⁺等がある。

一酸化炭素分子等は、乱雑な熱運動をしている水素分子が絶えず衝突してくるため、その温度に応じた回

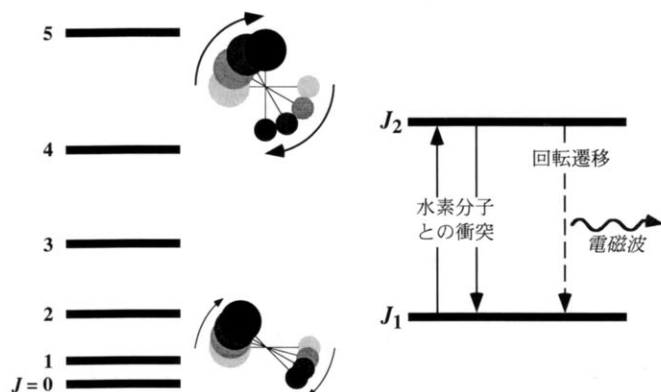


図2 二原子分子の回転エネルギーレベルと回転遷移にともなう電磁波放出

転をするようになる。しかし、その回転はコマのように連続的に変化するのではなく、回転エネルギーはミクロの系を扱う量子力学によって厳密に決められる離散的な値しかとれない(図2)。各エネルギーレベルJへは、主に水素分子との衝突励起によって分配され、その分布は温度によって決まる。衝突によってエネルギーレベルJ₂に励起されていた分子が、低いエネルギーレベルJ₁(=J₂-1)へ遷移する際には、そのエネルギー差に相当する電磁波を放射する(図2)。例えばJ=1から0への遷移の際に放射される電磁波は電波領域に入り、電波望遠鏡で観測される。

回転のエネルギーレベルは分子固有のものであり、放射する電波の周波数も異なる。例えば、CO(J=1-0)の周波数は約115GHzで、ラジオやテレビの周波数に比べればずっと高い。また、天体から受信される電波の周波数にはある程度の幅があるが、これはドップラー効果で説明できる。原始惑星系円盤内には、その温度に応じた乱雑な熱運動と、円盤全体としての回転、落下、膨張等の運動が存在する。乱雑な熱運動は周波数の幅をつくり、全体の運動は周波数のシフトを生じさせる。即ち、受信した電波の源である分子の種類を特定すれば、その幅やシフトから分子の運動、言い換えれば円盤の温度や内部運動を知ることができる。

結局、種々の分子からの電波を受信すると、原始惑星系円盤の物理的性質、半径・質量・内部運動・温度等がわかる。さらに、塵成分からもその温度に応じたすべての周波数にわたる連続的な電磁波が放射されているため(図1)、独立に円盤の物理量が求められる。主成分の水素分子に比べれば、ごくごく微量な成分である一酸化炭素分子等が、水素分子による衝突励起と回転遷移に伴う電波放射を通じて、マクロな原始惑星系円盤の情報を我々にもたらししてくれるのである。

(きたむら・よしみ)

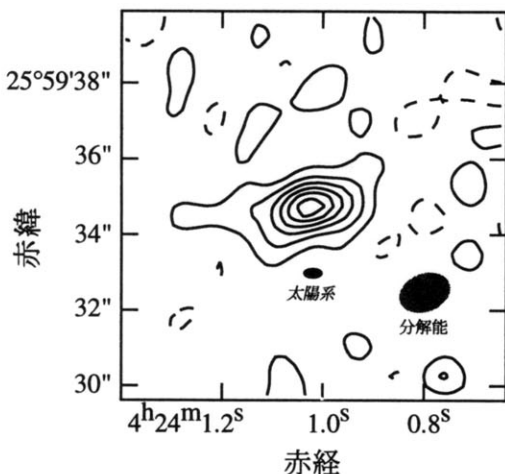


図1 おうし座DG星のまわりのダスト円盤

渉外・教育・広報・大概

宇宙科学研究所 的 川 泰 宣

昨年12月5日に成田を発って、12月14日に羽田に降り立つまで、ついに東京には一度も立ち寄れないめまぐるしい旅となった。成田・ヒューストン・ココアビーチ・成田・福岡・内之浦・鹿児島・内之浦・羽田。出張は、長くても一か所に滞在するのなら気が楽だが、今回のように猫の目のように滞在場所が変わっていくと、非常に忙しく切なくなる。とくに成田から直接飛んだ福岡のホテルで洗濯をしている時の佻しさは表現のしようもないものだった。

NASAでは、広報と渉外と教育とは別の部署によって管轄されている。今回の連続出張は、図らずもこのすべての分野にわたるものとなった。

【広報】

最初の目的地ヒューストンでは、NASAの広報を調査する機会があった。NASAの広報活動は、その創立当初から「国民は知る権利があり、NASAは報せる義務がある」という確固たる基礎がある。アポロ計画の頃は、NASAの活動も上昇期にあり、放っておいても宇宙活動への根強い支持があったので、広報の義務は事実を正直にマス・メディアに伝えることで事足りた。それがチャレンジャー事故の後になると、NASAのトップが事実を隠したりする態度も出てきたため、それまで「宇宙プロ」として情熱を持って取材してきたフリーの記者が愛想づかしをして他の分野に去っていった。その反省に立って、現在NASAは国民の信頼を回復すべく必死の努力を開始している。その広報活動から、国民への義務意識の薄い日本の宇宙関係者が学ぶことは多い。マス・メディアの与える影響は大きい。双方とも言い分はあるが、そこはお互いに我慢をして、学びながら共に成長する態度が大切であることを実感した。

毛利衛・土井隆雄・若田光一の三飛行士と会った。特に今年シャトルで飛ぶことに決まった土井さんの明るさが目立った。飛行士に選抜されてから11年、待ちに待った宇宙へ行くことが決定されて、晴れ晴れとした輝きに溢れていた。よかったねえ。

【渉外】

ヒューストンの次はIACG(宇宙科学関係機関連絡協議会)である。IACGは、ハレー彗星探査に関わる1981年以来の四つの宇宙機関の定期協議の場。四つの機関というのは、NASA、ESA(ヨーロッパ宇宙機関)、IKI(ロシア宇宙研究所)、ISAS(宇宙科学研究所)である。ハレーの去った1986年以降は、太陽地球系科学が協力の柱となった。

太陽地球系科学の諸ミッションもほぼ100%打ち上がった。今年のIACGでは次の4機関の協力の柱を決めるという大切な課題があった。それは月・火星探査をふくむ太陽系科学に落ち着いた。この件は別稿を参照されたい。久しぶりで訪ねたココアビーチの中華料理屋「バンブー・パンダ」のチャンポンが、まああの味だったので救われた。

【教育】

12月14日の夕方、成田に着いた。東京を横目で見ながら福岡へ飛ぶ。ちょうど土・日にかかったので、日本宇宙少年団の子どもたちの合宿学習の応援に駆けつけた。場所は福岡郊外の夜須高原少年自然の家。水ロケット、星空観察、太陽系旅行ゲームと、盛り沢山の楽しい催し。若く頼もしいリーダーたちが日本の各地で続々と育ちつつある。世代のギャップを埋めていく努力をもっと旺盛に展開しなければ、科学技術立国は危うい。100人を越す子どもたちの輝く瞳がまぶしい。

【渉外】

さてどんじりに控えしは……鹿児島県と内之浦町の協力会。まずは内之浦へ走って新精測レーダーの竣工式。21世紀の宇宙科学を支える力強い味方の誕生である。19日は鹿児島県の協力会。協力会もここ数年はマンネリ化の気配を感じている。協力される側としての情熱・誠意がもっと前面に出る会議にしなければ。20日が内之浦町の協力会。やはり同じことを感じる。21日、KSC職員の忘年会。新年のバイパー・ロケット打上げに向けて、職員の意気軒昂。この意気込みは1月に確かに花開いた。頼もしい仲間たち。宴たけなわの時に新聞社からの電話、C・セーガン氏逝去。

【大概】

内之浦から羽田へ移動したのが21日。宇宙学校、来年に開催されるコスパー総会(名古屋)の準備、打上げの窓を上げるための漁業者との折衝、……まだまだ対外協力の東奔西走はつづく。

宇宙科学研究所の対外協力室はしばしば「大概」協力室とも呼ばれる。誰に頼めばいいか分からない問題は、対外協力室に「つい」来てしまうのである。

渉外・教育・広報・大概……そのいずれもが管理部や広報委員会その他の強力な同志がいなければどうしようもない。口では強がりを言っても、本当は心から感謝しているのです、皆様。

そして今回の旅ガラスも、対外協力室とデータ・センターの面々との久しぶりの対面で心がなごんだ。

(まとかわ・やすのり)

パソコンによる惑星探査ローバの智能化

久保田 孝

月・惑星探査用ロボットとして、ローバ研究グループは、図1に示す親子協調型ローバの研究開発を推進しています。親ローバは、比較的平坦なところを長距離移動します。一方、子ローバは必要に応じて親ローバから降りてクレータ内部や崖付近などの険しいところの探査を行います。親子ローバが協力しながら科学探査を行うのが特徴です。

ローバの誘導制御方法としては、大きく分けて地上からのテレオペレーションと人工知能による自律誘導が考えられます。惑星探査において、科学者の意図をくみとって、その指示通りに行動してくれるローバが要求されます。また通信時間が非常にかかる場合には、自律的に判断して行動するローバが必要となります。従って、両者の機能を有するローバが望ましい探査ロボットといえるでしょう。その際、威力を発揮するのが搭載コンピュータです。ローバは、搭載コンピュータを用いて種々の情報を処理することにより、大きな岩や窪地の認識、マップの生成、経路計画、自己位置同定、誘導制御、地上との交信、ユーザフレンドリなマンマシンインタフェース機能、予期せぬ障害物の回避など高度な知能を備えることができます。

図2は、子ローバの研究用実験モデルを示しています。頭部に人間の目に相当するCCDカメラを搭載し、六足歩行により不整地を移動します。図3に子ローバのシステム構成を示します。各脚はそれぞれCPUを有し、独立に各関節の制御を行います。各SUB-CPUはBUSを介して他の脚のCPUやメインCPUと結合され、階層型制御及び自律分散型制御が可能となっています。このように配置することにより負荷分散・高速処理・フォールトレランス機能を実現しています。

メインCPUとしては、おなじみのPentiumを用いています。ローバ搭載コンピュータとしては、種々の情報を処理する高速CPU、豊富なメモリ、拡張性豊かな入出力、しかも小型軽量で低消費電力であることが要求されます。昨今のマイクロエレクトロニクス技術の進歩によりノート型パソコンやサブノートパソコンがそのまま地上試験用ローバに搭載することが可能となっています。またPC-Cardの出現により、画像データの取得、モータ制御など小型軽量のインタフェースが揃っています。宇宙用としても、民生用RISCチップに放射線試験を行ったところ、良好な結果が得られてお

り、100MIPS程度のCPUが宇宙で活躍するのもそんなに遠くはないでしょう。パソコンではソフトウェアも充実しており、またLINUXを使えば、WSと同じ環境になります。パソコンやWSでシミュレーションしたプログラムをそのまま実装するだけで、探査ローバを動かすことが可能となるわけです。あなたもローバを動かしてみませんか？
(くぼた・たかし)

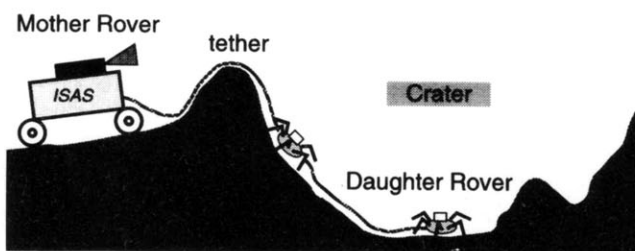


図1 親子ローバの協調による月・惑星探査

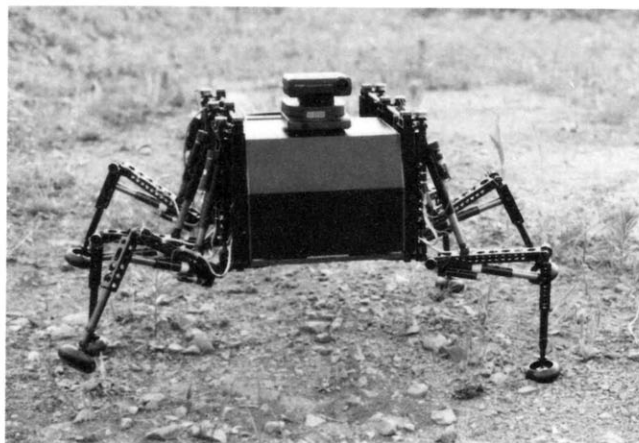


図2 子ローバ (多脚型ロボット)

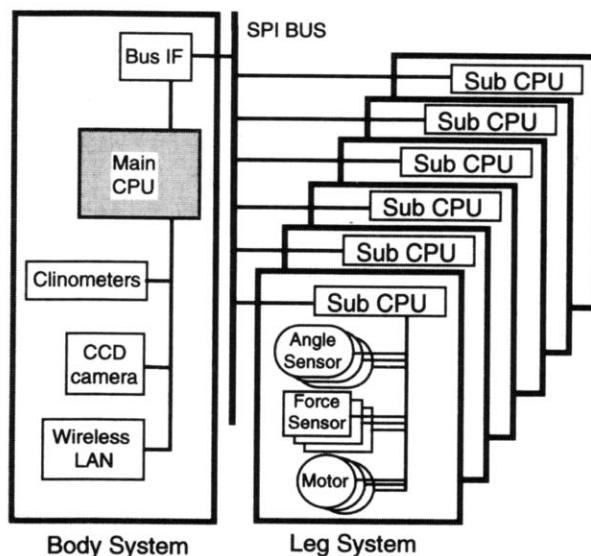


図3 子ローバのシステム構成



あけぼのから宇宙天気へ

小原 隆 博

〈きっかけ〉

1970年2月、鉄腕アトムが大好きな岩手の小学生だった私は、「おおすみ」打上げの報道を大きな感動を持って見ていた。前年にはアポロの月着陸があり、時代は宇宙一色であった記憶がある。黄色いヘルメットを付けたおじさん達が真剣な表情で衛星打上げの仕事をしていた。それがきっかけだったのかもしれない。東北大学理学部地球物理の大家研究室に入り、宇宙空間物理学を学んだ。1980年にあこがれの内之浦に行ったのをかわきりに、エクソスB、CそしてDと衛星を経験させていただいた。

2月1日付けで平磯宇宙環境センター（郵政省通信総合研究所）に移り、新しい仕事に着手しているが、移るにあたっての川先生から「いも焼酎」を書くように申しつかった。これまでの宇宙研での生活を振り返ると共に、これから行おうとしている新しいプロジェクトについて述べさせていただくことにしたい。

〈あけぼのとの日々〉

エクソスD（あけぼの）が私が最もかかわった衛星である。1989年2月に打ち上がり今なお順調に観測を続けている。プロトモデルからフライトモデルの製作に移ろうとする段階の86年、東北大学の大家研究室を巣立ち、宇宙科学研究所に助手として勤務することになった。衛星組立の現場で働く一方、衛星運用、データ処理について担当した。それまでは1サブシステムとして参加はしていたものの、エクソスDではシステム全体に関して理解する必要がある、随分多くの方々に教えていただいた。プロジェクトマネージャーの鶴田先生の立ち振舞を見ては、マネジメントは如何にあるべきかを知った。そして運用の現場では、「衛星状態の僅かな変化が実は重大な危機の前触れである」との大家先生の言葉を胸に、危機管理的な立場から取り組んだ。

あけぼのはオーロラの機構を解明する目的を持った衛星である。私はエクソスC（おおぞら）ではじめて垣間見た極冠域をさらに詳しく見てみたかった。そこに見られるオーロラの正体が知りたかったのである。しかしなかなか活路が見いだせない時、西田現所長が実に明確にターゲットを与えてくれた。具体的に外国の幾人かの研究者を指差し、君がこれから納得させていかなければならないのは彼らだ、と勢いを込めて言われた。ターゲットが定まったからには丁寧に進めるだけだ。研究の進展は決して早くはなかったが、やっと最近になって極冠域オーロラ研究グループから講演の招待を受ける事が出来ている。

〈宇宙天気予報〉

あけぼのに次いで打ち上げられたジオテールの観測から、磁気圏物理学のかなり本質的な理解に到ってい

る。基礎物理を大切に進めて来た宇宙研の方針の正しさが証明されたと感じている。そんな中、オーロラや磁気圏物理の研究を精力的に進めて来たアメリカに変化が起きはじめていた。地球周辺（太陽も含めて）についてこれまで獲得された知識の社会への還元が問われはじめていたのだ。公平に見て約半数のアメリカの科学者は、宇宙空間研究の社会的役割を意識した研究計画を持ちはじめた。

その骨子は以下のようなものである。「21世紀に向けて人類が活動する空間になる。しかし一方そこはとても恐ろしい空間で、常に放射線の驚異にさらされる場所である。放射線の総量は太陽フレアや磁気嵐等によって大きく変動する。これからの研究はフレアや磁気嵐の発生、およびこれに伴う放射線量の変化を予測、予知する事に向けられる」と言うものである。これは、別名「宇宙天気予報」とも呼ばれ、アメリカの国家プロジェクトになっている。

日本においては、宇宙空間科学のある意味でのアプリケーションとも呼べる「宇宙天気予報」への取組は、ここ郵政省平磯宇宙環境センターに於て行われている。太平洋が眼下に望める白亜のセンターの一室で、今日もメンバーの人達と97年度の計画について検討した。私達のグループは、これまでの経歴もあって主として磁気圏を中心に宇宙天気予報を実現しようとしている。平磯にもう一つある太陽の研究室では高精度の偏光望遠鏡を新たに製作中で、これとすでに製作が完了、稼働している太陽電波望遠鏡を用いて、太陽フレア予知に挑もうとしている。

〈ふるさとのお桜〉

もう10年以上も前になるだろうか。宇宙科学研究所に助手として勤務することになった時、大家先生が下さった色紙を、今、見ている。郷里盛岡の岩手県公会堂前には、大きな岩を二つに割ってその合間から太い幹を大空に向かって伸ばしている桜がある。盛岡の人達はこれを「石割り桜」と呼んでいるが、先生は色紙の中で「石割り桜」の力強さを賛美し、かくあるようにとの教えを下された。樹齢はいかほどであろうか。父も母も見て育ったと聞くこの桜にあやかって、予報に挑んでいきたいと思っているところである。

（通信総合研究所・平磯宇宙環境センター、
おばら・たかひろ）



「おおばら（太っ腹）」の小原さんが「おおぞら」で「オーロラ」を見つけて「おおしごと」という囃し言葉に、ニコニコ顔だが鋭い切り返し。ニュース編集委員会がずいぶん明るくなりました。かくいう私もそろそろ…（芝井）

ISASニュース

No.191

1997.2.

ISSN 0285-2861

発行：宇宙科学研究所（文部省） ☎229 神奈川県相模原市由野台3-1-1 TEL 0427-51-3911

The Institute of Space and Astronautical Science

◆本ニュースに関する問い合わせは、庶務課法規・出版係（内線2211）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>）。