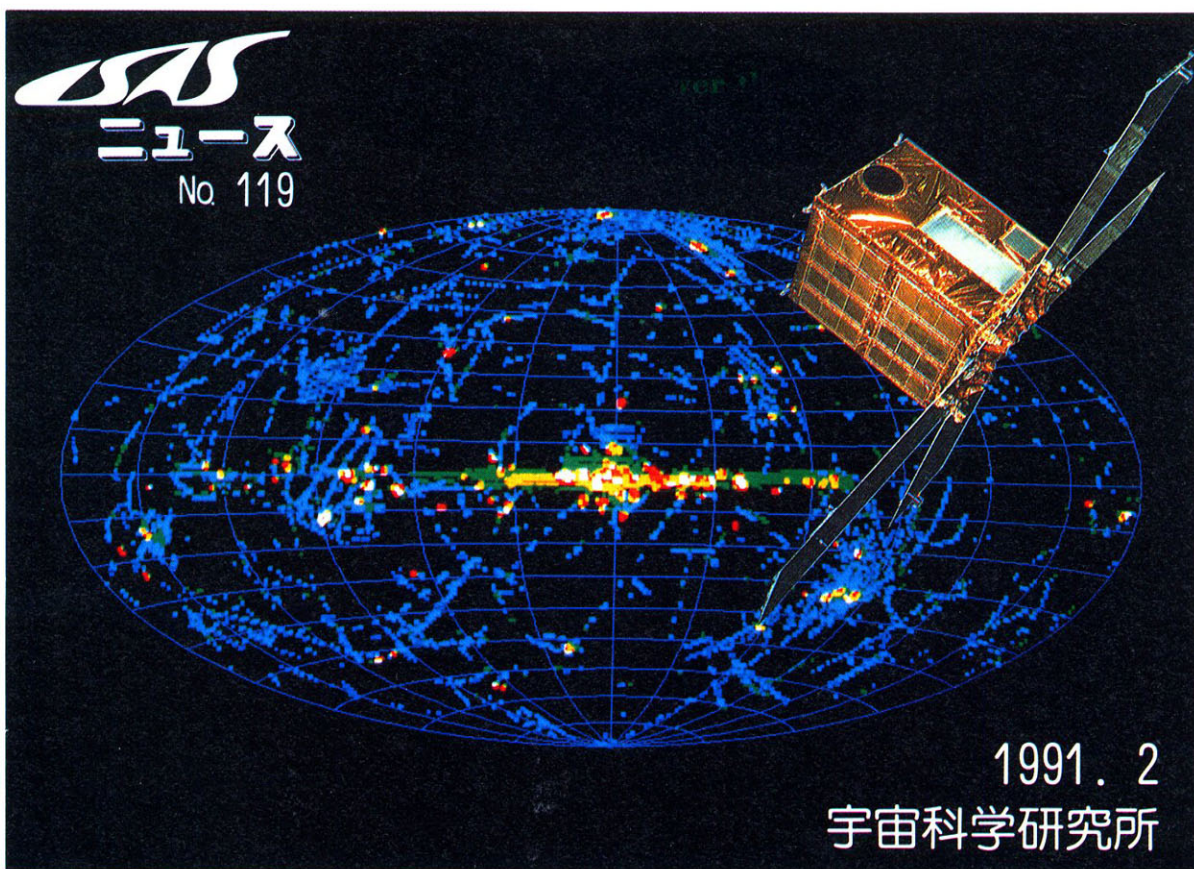




## 〈研究紹介〉

# 「ミニ対流圏」仮説と大気圏上下結合

京都大学超高層電波研究センター 山中 大学

我が地球の大気圏が人間活動により危機に瀕していると言われるが、筆者はそれほど悲観的でも逆に楽観的でもない。社会的な問題はさておき、大気圏の基本的な成立ちや素過程の物理に余りにも謎が多いからである。例えば地球温暖化の根拠となっている数値モデルでも、対流圏の鉛直温度勾配をある臨界値（ふつう $-6.5^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ）に調節したり、雲の効果と称する鉛直流や加熱項を付加したりするが、これらは現在の大気の“平均”的観測結果に基くもので、成立条件等に必ずしも明確な物理的・定量的裏付けがあるわけではない。そのような大気圏内の素過程の曖昧さに立ち向かう努力の一端を紹介したい。

## ●多重圏界面の“再”発見

話はまず今から60年くらい昔に遡る。前世紀末に成層圏の発見を導いた気球観測は1935年には全欧州高層気温観測網に発展し、その最初のデータ解析はノルウェーのビヤークネスらにより58頁の大論文として1937年に出版された。気象学におけるこの論文の評価は、温帯低気圧・前線モデル（1919年に弱冠21才のビヤークネス自身が地上観測のみから天才的洞察力で作成）の温度構造を実証したというものである。しかし計算機もない時代に44枚の図を解析し、僅か2年後に論文出版にまで漕ぎ付けた馬力をも併せ持つビヤークネスは、さらに新しい事実——対流圏界面が高度間隔1～2km、水平の広がり数100kmの多重構造をなすこと

をも発見していた(図参照)。

ところがこの「多重圏界面」の事実は、不思議なことに研究者からは余り注目されなくなり一旦ほとんど忘れ去られてしまう。1940年代のレーダー追尾による風速測定の実験や高層気象観測網の全世界的拡大は、前線上空のジェット気流の実見を導き、温帯低気圧を偏西風の流体力学的不安定現象として解釈する契機を与えた。しかるにデータ解析は専ら温帯低気圧のスケール(水平波長数1000km)が抽出できる程度に“平均”化されたため、対流圏界面については各半球1~2箇所(顕著な前線の上空)にギャップがあるという描像が定着した。下部成層圏は放射による等温状態として冒頭に述べた臨界温度勾配を“仮定”すれば、対流圏の温度分布と圏界面高度は地上気温のみで決まるので、太陽可視光による地上加熱の強い赤道域では極より高い圏界面が生じ、地上気温ギャップのある前線上空では圏界面ギャップが生じると説明された。

一方、1960年代から成層圏・中間圏の研究が本格化し、安定に成層した惑星流体中を伝播する波動という新しい視点が確立されてきた。1980年代までに、下部成層圏や上部中間圏にそれぞれ鉛直波長1~2kmおよび10km程度の「重力波」(浮力復元力の流体波動)が存在し、この波が砕けて厚さ数100mおよび数kmの多重「乱流(小規模対流)層」を生成し、この砕け波によるストレスで中部成層圏(高度25km付近)や中間圏界面(高度80km付近)は“平均”的弱風状態であることが明らかになった。東大の松野太郎教授と米国MITのリンツェン教授の1981~82年の理論的研究を初め内外の多くの研究者は中間圏界面に着目したが、名大水圏研の田中浩教授と筆者は中部成層圏弱風層の生成を論じた。これについては、筆者が1981~86年に受託学生・ポスドクとして宇宙研に居させて頂き、西村純所長・廣澤春任教授の指導下に特殊風速計搭載気球による乱流層観測に成功し、また重力波による気球航跡の微妙な変化を肌で感じたことが大きい。

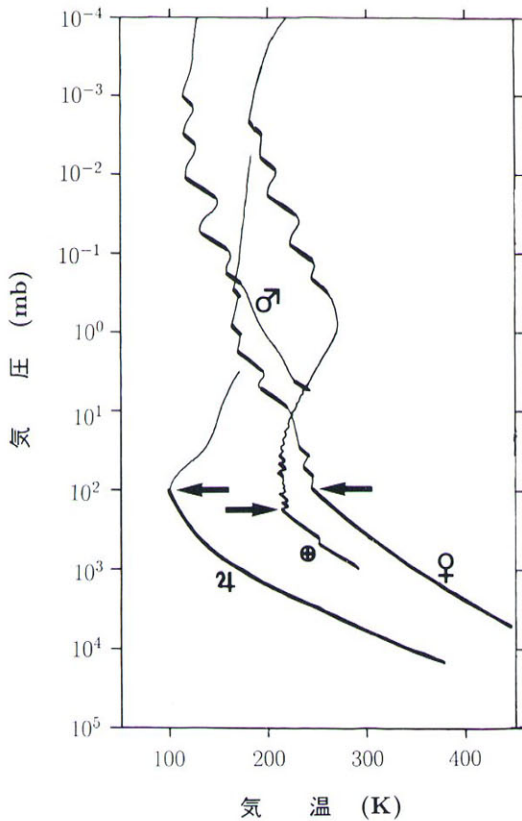
同じ頃、京大超高層の加藤進教授らはMUレー

ダーを建設し(1984年完成)、全国共同利用・国際協同観測を開始した。コンピュータ制御による高速走査機能は高い鉛直・時間分解能(150m, 1分)の3次元風速データの蓄積を可能にし、津田敏隆氏らによる成層圏・中間圏「重力波」の気候学が構築されつつある。筆者は1989年にこのグループに加わり、MUレーダー風速変動観測による下部成層圏「重力波」の構造と、高層気象観測資料にある気温低極面の分布が極めて良く対応することに気付いた。実はそれ以前に深尾昌一郎教授らが、レーダーエコー強度(乱流強度)分布から圏界面が推定できることを発見していた。下部成層圏「重力波」はビヤークネスの実見した「多重圏界面」であったのである。

### ●「ミニ対流圏」仮説

「重力波」が「多重圏界面」であれば、これに伴う「乱流層」は「ミニ対流圏」と呼ぶに相応しい。いわゆる対流圏の内部でも対流は決して均一に発生している訳ではなく、積乱雲のように背は高くても局所的なものや、成層圏内と同様な層状の乱流(飛行機で遭遇する晴天乱気流)として存在している。これら乱流あるいは対流の存在領域では、対流発生の実値である断熱的な鉛直温度勾配(乾燥大気で-9.8度/km, 湿潤大気では常温常圧で-4.7度/km)となる。これまでの「重力波」の観測では、偏西風の強まりに伴い下部成層圏や対流圏内部に出現することがかなり多いが、これはジェット気流付近に現れる前線や対流圏界面ギャップの幻と矛盾しない。

結局、冒頭に述べた経験的鉛直温度勾配は「ミニ対流圏」の出現確率で決まっており、対流圏とか成層圏とか言う“平均”的温度構造による領域区分はこの出現確率の違いによる区分と解すべきである。ある高度領域における「ミニ対流圏」の出現確率は、MUレーダーのような高分解能観測を長期間連続して行うか、または一定高度を長時間浮遊する気球の航跡を大規模運動から予測されるものと比較しても推定できる。極地研と宇宙研の協力での年末年始に南極大陸周縁の成層圏高



地球 (⊕)・金星 (♀)・火星 (♂)・木星 (♃)における大気鉛直構造(気圧に対する気温の分布)の“スナップショット”の模式図。矢印は“平均”的な対流圏界面を示す。

度1周に成功した大気球の航跡を、気象官署の客観解析に基く空気の軌跡と比較することが期待される。

対流圏界面が1枚の面でなく時間・空間的に“ゆらぎ”を伴うことで、乱流による大気混合(鉛直輸送)およびストレス発生による偏西風抑制が起こる。皮肉にも断片的なスナップショットでは見え、多くのデータを“平均”すると消えるノイズのようなものが重要なのである。偏西風は極域を中心とする低気圧の周りの流れであり、これにストレスが働けば中心つまり極向きの流れが生じるが、これは放射過不足による鉛直流と連続していただければならない。実際、観測される「重力波」の波長や振幅の値はある程度揃っており、従って極向きの流れや乱流混合も放射収支と同程度には一定のようである。

## ●惑星大気圏における“相”と上下結合

対流圏界面は言わば地球対流圏という巨大な雨粒の表面であって、成層圏という外気との間に蒸発と凝結のように互いに拮抗する“相”変化過程、つまり放射による“成層圏化”と「ミニ対流圏」生成による“対流圏化”で維持されている。発見当初の成層圏のイメージ——流体運動がなく静穏で等温であり大気成分は重い順に下から層をなして分離した状態——は、高度100~120kmにある均質圏界面より上の、分子運動による“熱圏化”が流体運動より卓越した領域で実現する。つまり均質圏界面は「ミニ対流圏」出現の上限であり、成層圏と熱圏という2“相”の境界面と言える。従って「ミニ対流圏」生成という素過程は、均質圏界面より内側の各高度領域を上下に結びつけるものなのである。

現在推進中のSTEP(太陽地球系エネルギー国際協同研究計画)の重要課題である地球大気圏上下結合、つまり大気の“相”平衡を根本的に解明するためには、地球および他惑星の大気圏を詳細に観測し比較することが、経験的プロセスを一切排除した数値モデルがない限りおそらく唯一の手段である。一般に惑星が大気圏をもつための条件は脱出速度より分子運動の遅い低温領域が生じることであり(脱出速度の小さい水星や月には大気圏がない)、これが熱圏という“相”のもう一方の境界を与える。また対流圏と接するもう一方の、

“相”として地球の大気成分(水)凝結による水圏(海)は考慮すべきであるが、木星など巨大惑星本体の流体や、地球でのオゾン光化学過程による中間圏の成層圏からの分離および人類を含む生物圏の存在は、当面の議論からは除外できよう。結局、惑星大気の“相”として水圏・対流圏・成層圏・熱圏の4つを考えることになる。

今のところ具体的に研究対象となる惑星は地球・金星・火星の3つに過ぎないが、金星の濃密大気(90気圧)の底には灼熱地獄(470℃)、火星では希薄大気(数mb)の下に酷寒の世界(-90℃)という極端な違いがある(図参照)。金星で温室効果を暴走させ厚い対流圏の“相”として存在する炭

酸ガスは、火星では大部分ドライアイスとなった残りが成層圏の“相”として存在し、地球では水圏に溶存している。残念ながらここから先の議論に必要な金星や火星での「ミニ対流圏」の出現状態は全く未知に等しく、特に金星対流圏下部は理論的にも技術的にも極めて困難とされてきた領域であり、宇宙研で現在計画されている観測機投入に大きな期待がかかっている。

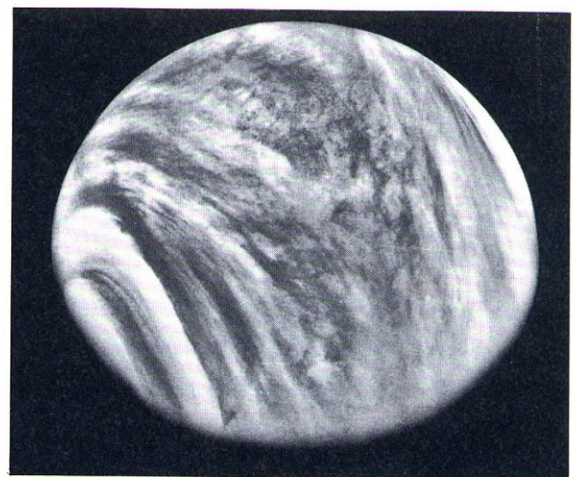
### ●当面の課題：赤道大気

金星対流圏界面には赤道を中心として、本体の自転の60倍（4地球日で1周）に達する「4日循環」と呼ぶ超高速気流がある。地球のジェット気流も冬季に同程度の速度に近づくが、大気全体の平均風速はほとんど0（大気は本体とともに自転）で、他の星でも大気が全体として本体より速く回るのは知られていない。金星は自転が極めて遅い（243地球日で1回転）にもかかわらず、この気流のため大気や表面の昼夜の温度差は解消され、平均風速が0となるような昼夜間の対流は生じない。大気を回すのは本体と大気下層との間に働く摩擦であるが、それだけでは大気は結局は本体とともに回転してしまうので、自転車のフリーホイールのように回転は伝えても引きずられない謎のメカニズムが、特に固体自転の接線速度の最も大きい赤道域の大気下層に必要とされる。

金星大気運動の問題のみならず赤道域は、一般にどの惑星でも、また熱（太陽エネルギー入射量の再分配）においても励起源であり、かつ自転軸が水平となるため力学的に極めて特殊な状況となる。実際、1665年に初代パリ天文台長カッシニの発見以来謎のままの木星大赤斑や、ごく最近（1989年）ボイジャー2号が見つけた海王星大暗斑なども赤道域にある。天才ピヤークネスは米国UCLAを67才で退官した翌年（1966年）、現在「エルニーニョ南方振動」と総称される地球規模気候変動の原因が赤道域の海洋と大気との相互作用にあることを見抜き、77才で没するまでこの問題の研究を続けたが、実は地球ですら赤道域には未知が多過ぎて今なお完全には解かれていない。

地球の赤道域大気圏の解明を阻んできた、広大な海洋との熱・水収支の複雑さや陸上の開発途上地域の多さは、国際的かつ学際的な協力で初めて克服できる。そこでSTEPや海洋学や生態学関係の国際計画をも糾合した文部省「新プログラム」（1990～94年度）が、地球で最高温の海水と最低温の成層圏が存在するインドネシア～赤道西太平洋域を対象として、大気科学分野では加藤教授らの力学観測、田中正之東北大教授らの組成・化学観測、松野教授らのモデリング・データ解析の3課題で始まった。このうち力学観測は東大の住明正氏らの大気海洋相互作用と深尾教授らの対流・波動発生機構の2項目から成り、後者を筆者も分担している。

観測は常にチームワークを必要とするが、上記の赤道大気観測は国内や欧米諸国の研究者のみならず、インドネシアを初め東アジア諸国の各方面の人々との密接な協力、しかも大気現象のスケールを考えれば将来への永続的発展が必須である。そこでインドネシア超大型レーダーを中核とした国際赤道大気研究センター（ICEAR）の建設が、国際学術組織の積極的支持のもと加藤・深尾両教授を中心に計画されており、完成の暁には筆者も現地永住の計画を立てている。まだ道は決して近くないが、インドネシアの若者とともに地球の、そして金星や木星の赤道大気の謎を解明する日が必ず来ると信じている。（やまなか・まなぶ）



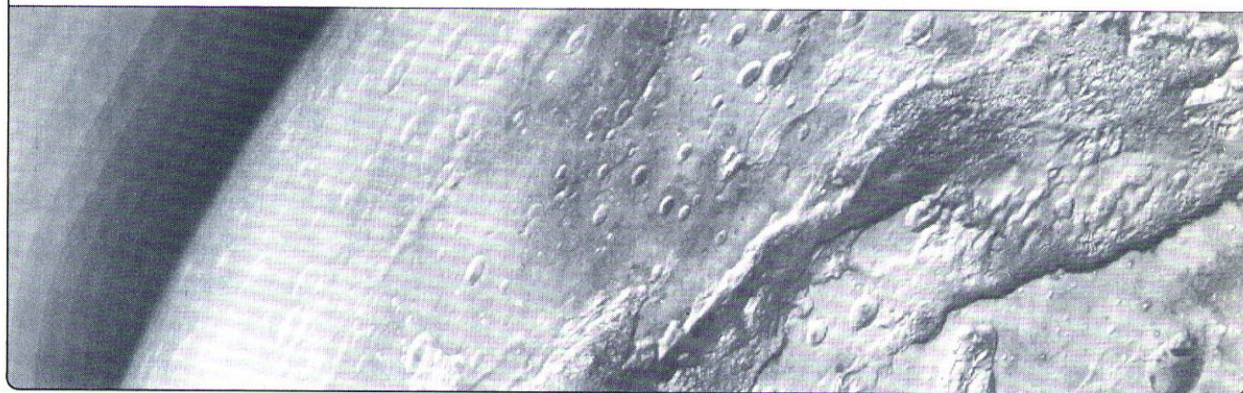
「パイオニア・ビーナス」がとらえた金星

## 火星に生命が存在したか？

赤く輝く火星は地球のすぐ外側の軌道を回る惑星で約2年毎に地球に近づき、昔から月や金星と共に人々に親しまれてきた。火星は半径3398kmと地球の約半分であるが、太陽系内最大の火山オリンポス山や巨大なマリネリス峡谷、赤茶けた砂漠に砂嵐と変化に富んだ様相を示す。一般に小さな天体内部の分化は不完全で短時間で終了すると考えられているが、火星には火山作用や水による浸

食作用が明らかに存在した。火山は内部から種々の元素を熱と共に地表に運び、浸食を起こすに足る水が地表に存在したと考えられる。原始火星の環境は原始地球の環境と似たものであると想像され、そこには生命活動があったかも知れない。このような生命活動の痕跡の探査は生命の起源に迫るものであり将来望まれるであろう。

(早川雅彦)



## お知らせ



### スペースプラズマ研究会

日 時 平成3年2月18日(月)  
場 所 宇宙科学研究所本館2階会議場

### 宇宙エネルギーシンポジウム

日 時 平成3年2月14日(木)～15日(金)  
場 所 宇宙科学研究所本館2階会議場

問合せ先 宇宙科学研究所研究協力課共同利用係 0427(51)3911 内2234, 2235

### 宇宙圏研究会

日 時 平成3年3月7日(木)～8日(金)  
場 所 宇宙科学研究所本館2階会議場

### 宇宙科学資料解析シンポジウム

日 時 平成3年3月7日(木)～8日(金)  
場 所 宇宙科学研究所本館1階入札室



### ★「ひてん」順調に飛行

昨年10月2日、第5回月スウィングバイによって大きく軌道をふくらませた「ひてん」は、11月17日、日本の地球周回衛星としてはこれまでで最も遠い場所、すなわち地球から約135万kmの位置に到達した。この軌道は来年打ち上げ予定のGEOTAILの軌道を模擬したもので、遠地点の位置もGEOTAILと同じく太陽と地球を結ぶ線の延長上、地球の夜側に設定され

ている。135万kmと言えば月までの距離の3倍強、「さきがけ」、「すいせい」の際に話題となっていたいわゆる「地球の重力影響圏」よりも外側ということになる。しかしながら「ひてん」は地球から脱出することなく、再び地球に向かって帰還を開始、第5回スウィングバイから3か月後の本年1月3日、屠蘇気分の巷のみならず無人の管制室を尻目に月に6回目の接近を果たした。

1月8日運用再開、当初捕捉に若干の問題を生

じ、急拠KSCの20mアンテナに応援を依頼することとなったが、大事には至らず。軌道決定結果によれば、日本標準時1月3日20時42分過ぎに月の前方約23,000kmを通過した「ひてん」は再び小さい軌道に移り、1月27日の第7回スウィングバイに向け順調に飛行していることが確認された。このまま速度修正を行わなくても3月3日第8回スウィングバイまで可能であることも判り、所期の「ひてん」ミッションが達成できることはほぼ確実となった。その後、焦点は「ひてん」の近地点高度を約120kmまで落して行う3月19日及び3月31日の2回のエアロブレーキ実験へと移ることになる。(上杉邦憲)

#### ★「ぎんが」満4歳を迎える

(表紙図：栗木久光氏(名大・理)作製)

X線天文衛星「ぎんが」は、1987年2月5日の打ち上げからちょうど4年を迎えました。「ぎんが」は故障のほとんどない健康優良児で、各機器はほぼ順調に動作しています。三つの観測機器—LAC, GBD, ASM—も現在、元気に働いており、日々遠い天空の情報を送ってきます。それらの情報にこれまで何度となく興奮させられました。

表紙に載せた図は、「ぎんが」の主観測器LAC(大面積比例計数管)でこれまでに観測した天空のX線強度を天の川を赤道とした天球図に示したものです。特に明るいX線天体が集中している図の真中が、いて座にある我々の銀河の中心で、天の川に沿った領域の明るい天体達は、我々の銀河系内のX線星で、その中には「ぎんが」で新たに発見されたX線星も含まれています。また、天の川に沿った領域の高温ガスからのX線も見ることができます。天の川から離れた領域の天体の多くは、銀河系外の活動的銀河や銀河団です。LACの優れた性能は、銀河系内のX線星の激しい活動の詳しい研究や遠くの銀河系外天体の探査などに多くの成果をもたらし、その成果は海外でも高く評価されています。また、LACの観測は、より遠くの天体の探査を目指すASTRO-D計画につながる新たな研究を提示してくれました。GBD, ASMも、

ガンマー線バーストの起源を探る研究、X線新星の発見に各々活躍し、注目を集めています。

健康優良児「ぎんが」は、大気圏突入まであと1年程度と予想されていますが、それまで、健康体を維持し、できる限り長く天空の情報を送ってくれることを願っています。(紀伊恒男)

#### ★平成2年度ブラジル大気球実験

平成2年度日伯共同大気球実験は10月上旬から12月上旬にかけて行われた。日本側参加機関は、宇宙科学研究所、東京大学理、高エネルギー研究所、立教大学理、大阪市大学理、山形大学理であり、ブラジル側がINPE研究所であった。実験の目的は、1987年に爆発した大マゼラン雲中のSN 1987Aより発生すると考えられている硬X線およびガンマ線を日本で開発した世界最高水準の低バックグラウンド検出器を用いて観測することである。

ブラジルの大気球放球場は、サンパウロより北西200km、西経45°01'、南緯22°40'に位置するカシユエイラ・パウリスタINPE研究所支所である。この支所は衛星トラッキング基地として建設された施設であり、軽飛行機等が発着できる広大な面積を有している。この時期のカシユエイラ・パウリスタは高温多湿の気候であり、日本から昨年持参し保管しておいた大気球追尾受信装置および解析装置、特に計算機部分が故障し、部品のないブラジルではその修理に困難をきわめた。

第1号機(気球容積18.6万m<sup>3</sup>、総重量1,217kg)

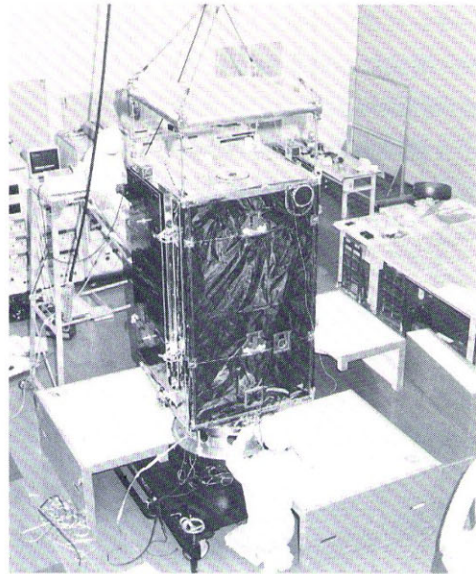


は11月14日22時01分に放球された。気球は正常に上昇し、放球2時間後、高度35.9kmで水平浮遊に入った。観測器は一部コマンドの不調を除いて全て正常に動作し、気球環境下での貴重な観測データが得られた。観測器は放球場より北西600kmのメリディアーノではほとんど無傷の状態で回収された。回収後、観測器は次の放球に備えて観測データの結果に基づき、その性能を充分発揮できるように調整を行った。第2回目の放球（気球容積25万m<sup>3</sup>、総重量1,290kg）は11月29日22時10分に行われ、気球は正常に上昇し、高度37.4kmで水平浮遊に入った。観測器は全て正常に動作し、S N 1987 Aの観測を5時間行った。観測器は飛行機回収班によって放球場より北西1,000kmのリオ・バルドで回収された。観測されたデータは現在詳細に解析を行っている。

ブラジルの気球放球法は、ダイナミック放球方法であり、気球の動きに合わせてランチャー車が迅速且つ正確に気球の真下に移動し、タイミング良く観測器をランチャー車より放球する方法である。第2回目の放球では、タイミングが多少遅れ観測器の底部が地面に接触し、クラッシュパットの一部をクラッシュして、上昇するというまさにダイナミックな放球であった。（山上隆正）

### ★SOLAR-A総合試験

昨年11月より始まった「SOLAR-A」の総合試験はこの原稿を書いている時点で、観測機器の電気試験がたけなわというところまでスケジュールが進んで来ている。この衛星は第22太陽活動極大期に照準を合わせて、太陽フレアを中心とする太陽表面の高エネルギー活動現象をX線からガンマ線を用いて総合的に観測することを目的とするプロジェクトであり、打ち上げは今夏を予定している。前極大期にひのとり・SMM（ソーラー・マックス）などを成功させた日・米・英の太陽高エネルギー物理のグループとの国際協力を実現し、その英知を結集したミッションであることはいうまでもない。昨年4月からハードな第一次機械合わせ・噛み合わせを行い、周到な準備を行ってきた成果



を目下最終的に確認している。

太陽指向の超精密な姿勢制御や、大きなフレアのデータを機上データレコーダに記録するデータプロセッサの巧妙なロジックなど、共通機器にも今までにない高性能化・CPU化が浸透しているため、試験が更に複雑になっていることは否めない。幸い試験は順調であるが、汚染に細心の注意を払い、American, English, Scottish, IrishそしてJapanglishに長時間つきあうのは骨が折れる。黒点相対数増加や大フレア発生などの報に武者震いをしながら、試験装置のターミナルをにらんでいる今日この頃である。（渡邊鉄哉）

### ★第10回IACG報告

いささか旧聞に属するが、第10回の宇宙科学関係機関連絡協議会（IACG）は、昨年11月12～16日にカナリー諸島（スペイン）のテネリフェで開催された。今年はESAの主催で、4人の首席代表であるR. Bonnet（ESA）、L. Fisk（NASA）、A. Galeev（インターコスモス）、西村純（ISAS）以下約40人が4機関から出席した。

まずIACGに先立って開かれた太陽地球系科学（STS）ワークショップでは、多数の衛星の同時観測によって解決すべき研究課題が討議され、そのための衛星群の配置・運用やSatellite Situation Centerの機能についての希望が出された。

ワーキンググループ1 (WG1:太陽地球系科学)の性格・構成について手直しすることが、ESAのBonnet局長から提案され、そのためのコア・グループが4機関各1名ずつのメンバーで設置され、西田教授がその責任者に指名された。

WG2 (データ交換)に関連した活動としては、STSのデータにアクセスするために必要な情報をまとめたハンドブックの刊行 (NASAの宇宙科学データセンター) が挙げられる。これにはミッション毎のデータシステムや関連した各種のデータサービス、ネットワークの内容と利用法が記され

ている。

WG3 (ミッションデザイン) は、STS関連の全ミッションについて、軌道・ミッション設計・運用などを記述した3巻からなるハンドブックを作成した。またWG3はSTSミッションの軌道をPC上に表示し、観測計画の立案を助けるため、フロッピーディスクによって情報を配布する計画 (SPIN) の企画を始めている。

なお次回は今年11月19、20日の2日間、奈良市で開催される予定である。 (的川泰宣)

## コラム

### 能代市の市制50周年記念式典

西村 純

私は小学校と中学の一部を山形県の酒田市で過ごしたので、能代市という言葉は馴染み深い。中学の校庭から見える鳥海山のむこうに秋田市があり、そのさらに北にある大きな木材集散の港であるという程度の認識であった。能代町が能代市になったのは、昭和15年、私が中学2年の時のことであった。昨年末、市制50周年目を迎えた。

能代の地が歴史に初めて登場したのは、西暦658年阿倍比羅夫が180隻の軍船を率いて蝦夷征伐に來たのが最初の事だとされている。この日本書紀の記録から、さらに数百年を経た16世紀の中頃から能代の町は形を整え、四百年を越す歴史を持つこの町は旧くから木材の集散地として栄えてきた。

松林に囲まれた能代市の浅内海岸に、ロケット燃焼施設が出来たのは昭和37年の事、まだ、東京大学宇宙航空研究所が発足する少し前のことである。小さな観測ロケットから、ハレー彗星まで『さきがけ』『すいせい』を、そしてX線衛星『ぎんが』、オーロラ衛星『あけぼの』そして月へ『ひてん』を運んだM3S-II型ロケットに至るまで、すべてここで最初の燃焼試験が行われ、巣立って行った。そして、今年から大型化されたMロケットM-Vの燃焼試験も始まろうとしている。日本の宇宙科学の発展は能代市のご絶大なご支援とご理解に負うところが大きい。

昨年10月1日、能代市の市制50周年記念式典が

行われた。丁度、実験場では『エア・ターボラム・エンジン』の試験が行われており、最終試験が成功裡に終わったところを見せていただいて、式典会場にお伺いした。

能代市消防隊による纏振り、木槍りに始まり、能代市の50年の歴史をつづる何枚かのスライド。それは能代市に住む人々にとって、忘れることの出来ない50年に亘る喜びと悲しみである。つづいて、小・中学生の作文『子供達が語る未来の能代』の優秀作の発表。小学生のはきはきとした発表、将来、私は女性弁護士になって世の中に尽くしたい、または宇宙科学研究所に勤め、宇宙の研究に励みたいと言った中学の女生徒の発表は印象的であった。

宮腰市長のご挨拶の後、能代市に功績のあった方の表彰が行われた。宇宙科学研究所は能代市の『市民の方々に宇宙に対する意識の高揚に寄与してきた』と言うことで感謝状を頂戴した。

町には風船が浮かび、楽隊が行く、パレードの行進……。その日一日、能代市は市制50周年に賑やかに沸き立っていた。しかし、能代に故郷を持つ人々にとっては、その昔を思い起こし、感傷をさそう一日であったのかも知れない。

能代市の今後の益々のご発展を祈ってやまない。  
(にしむら・じゅん)



## 地球の磁場は逆転する！

子供の頃の経験からしますと、磁場との付き合いは、棒磁石や、水筒のふたに付いていたコンパスから始まっているようです。そして、地球がそれ自身として、巨大な磁石であることは、コンパスがいつも北を指す事に依って理解して来たように思います。地球の磁場は大体双極子的です。双極子とは、おおざっぱに言えば、長さの短い棒磁石の様なものです。今の地球上では、コンパスのN極は北を指し、S極は南を指します。NとSは互いに引き合いますので、地球の北極にはS極が、南極にはN極があることになります。

今回のテーマは、地球の磁場は逆転する！です。つまり、コンパスのN極が南を指していた時代があったのです。それも、ここ1000万年の間には、平均10万年に1回の割合で地球の磁石の北と南が、入れ替わっていたのです。

では、どの様にして、この事が分かったのでしょうか？私達が日常使っているテープレコーダーの原理を思い出してください。テープがゆっくり動いていきます。ヘッドと呼ばれる部分を通過するときに、音の信号がテープの上に記録されます。テープは帯磁するのです。詳しく見て行きますと、テープの上の磁場は信号の変化と共に、次々に向きを変えています。テープレコーダを再生して音楽などを楽しめるのは、記録された磁場の向きを読み取って、音声信号に戻しているからです。

では一体地球のどこにテープレコーダがあるのでしょうか？1963年にケンブリッジ大学の研究者が、海洋底に記録が残されている事を見付けました。当時、海洋底は海嶺で生まれ、広がってい

き、海溝で沈むと言う海洋底拡大説が唱えられていました。彼らは“生まれたばかりの海洋底はその時の地球磁場の方向に帯磁されて広がっていくが、地球磁場の逆転が起こると、新しく生まれた海洋底は、反対向きに帯磁される”と言うのです。逆転が頻繁に起こると、海洋底には、沢山の縞模様が出来上がります。

この考えが正しいことは、世界の沢山の海洋底の磁場の記録を調べることによって証明されたのです。勿論この考えは、テープレコーダの動く仕組みについては、余り触れていません。どうして海洋底は拡大するのでしょうか？マントル対流が原因だと考えられていますが、ではマントルはどうして対流するのでしょうか。ひとつの問題は次々に他の疑問につながっていきます。しかし、それ以上に地球の磁場が逆転すると言うのは、おどろきです。

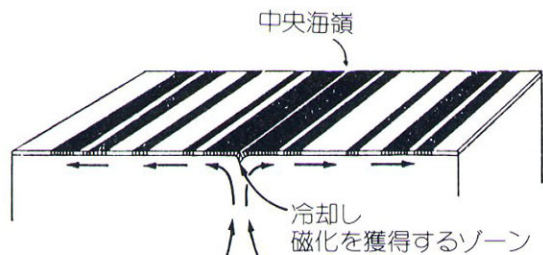
地球の磁場の成因についても、現在100パーセントこれだと言う理論はありません。中心核の回りに電流が流れていると研究者は考えています。また、流れる電流の量は、地球の自転と関係があると考えられています。

太陽系の惑星はほとんど、磁場を持っています。そのなかで、火星が自転のスピードの割に磁場が弱いのです。ある研究者は火星は今、磁場が逆転しているところだと言っています。最近の観測によれば海王星の磁場の向きが自転軸と47度も傾いている事が分かりました。海王星も逆転の途中なののでしょうか？

逆転する途中では、磁場がとても弱くなります。その様な時、地球には何が起ったのでしょうか？沢山の宇宙からの放射線が、地上に降り注いだと思われています。気温は上昇したのかもしれませんが。ふだんは、極域でしか見れないオーロラが赤道域で見えたのかもしれません。

現在、地球の磁場の逆転の研究は、磁場の成因論と共に、地球科学者の挑戦を待っています。

—宇宙研— 小原隆博



(竹内他, 1970による)

## NASAの浦、ワロップス

荒 木 哲 夫

「NASA発射管制システムの調査と意見交換」という目的で '90年11月下旬から約1週間アメリカ出張を命ぜられ、アメリカ東部のNASA施設を訪問した。この出張にてNASAとISASの発射管制システムの明確な相違点を見出し、帰国後ではあるが、その要因を自分なりに結論づけられた事は有意義であったと思われる。出張の行程は、全て、GEOTAIL計画の打ち合わせの為ゴダード滞在中の上杉教授の完璧なる御配慮に依るものであった。いざ出陣という際、手土産にタイピンを持ってきたが…「NASAではタイピンは使わず、上着のボタンも外しておくのが流行である」「US航空は時々荷物が行方不明になる」「街中でさえホールドアップを見た、要注意!」「IMAX映画は一見の価値有り」等細かな点までのアドバイスを頂いた。

最も目的に合った、ゴダード宇宙飛行センター付属の施設、ワロップス発射場は内之浦のKSCにあたる。ナショナル空港からUSの角張った小型機で南へ約40分、サルズベリへ到着、北海道の稚内空港を思わせるローカルムードは緊張を少し緩和してくれたが、待合い室でコンベヤーに我がスーツケースは無く再緊張となった。「重い荷物は搭乗機の下から直接自分で運ぶように」と中年の婦人係員が叫んでいたのを聞き取れなかった故である。空港からレンタカーで約1時間、地図だけを頼りに、ポコモーク市郊外の宿に到着。翌朝、約30分でゲートに到着。迎えにきてくれた温厚で親切そうなFillis氏のワゴン車に乗換え、場外に出たのかと錯覚する程走り続けた末、ようやく建物にたどり着いた。シュミドリン博士にご挨拶、訪問の目的、担当分野等を雑談した後、F氏の案内で施設回り。途上、内之浦町を幾つも吞み込んでしまいそうな面積の広大さに、KSCと同等という先入観は消えた。航空機の滑走路を有し、大小数機の飛行機が格納庫で待機していた。

これらは実験時の警戒、大気汚染度の調査研

究、空撮、スタッフのゴダードへの輸送等に用いられるのだそうである。場内のあちこちに配置されたパラボラアンテナ、レーダ技術の進展が窺える。あるアンテナの前では、このレーダは飛んでいる蜜蜂さえも追尾可能であると、しきりに指で蜂の大きさを強調した。発射管制室では新レーダの性能テストのため、小型ロケットの発射スケジュールが進行中、数名のオペレータが極あり経れた型の盤の間を行ったり来たりしていた。隣室の点火管制装置は宇宙研が内之浦で実験を始めた当時のものとよく似た旧式のものが未だに使用され、一方、発射管制室と同じ位の広さの保安管制室ではディスプレイのオンパレードである。秒読みが始まり室外へ。ロケットは30°位の鋭角で吸い込まれそうな青空に一筋の白い直線を描き大西洋の方角に消えた。またドライブ、広野を横切り、薄暗い松林の道を進行中、突然、F氏は車を止め、「ドルを持っているか?」と云う。まさかこんな所で…と一瞬驚いたが、平静を装って「少しは持っている」と答えると、「OK」と再び走り続け、ある売店の前で停車「昼食のハンバーガーを買いたいのだから持ち合わせがないので私の分を立て替えて欲しい」との事。おいとまの際、折角持参した土産故「NASAのダンディはタイピンを使わないそうだが、ペーパークリップにでも…」と言い訳しつつ手渡したところ、F氏は顔を紅潮させ、「そんなことはない、喜んで…」なんと優しい思いやり。シュミドリン博士に見送られ、ゲートに向かう途中、ハンドルに触れたのか、F氏のネクタイに付けた認識票がずれ、その下には長方形のタイピンが光っていた。

ゴダード、ワシントンDCのNASA本部を経て南走、ケネディ宇宙センタの“IMAX”という大迫力映画で宇宙飛行を体験、感動し、加えて帰国前夜、たまたまスペースシャトル“コロンビヤ”の打ち上げを観られる幸運に恵まれ感動の醒めやらぬまま帰路に着いた。(あらき・てつお)

## 略語のしおり——衛星搭載機器 (4)

### EXOS系

EXOSとは、Exosphereの略で、地球の外圏を意味します。青空のかなた、地上約100kmから外側の空間です。この領域の大気は、強い太陽紫外線の影響を受けて電離し、プラズマ状態になっています。また、放射線帯があるのも、この領域です。Exosphereは、太陽が吹き出すプラズマ流（太陽風）の息ずきや、太陽風が運んでくる磁場の変動により、激しく変化します。時に、激しいエネルギーの解放は、極域にオーロラを出現させます。

EXOS-AからDの衛星群は、それぞれ特徴ある軌道を持って、Exosphereに繰り上げられる諸現象を観測しました。これらの観測によってオーロラが出来るメカニズムが分かってきています。

以下では、個々の衛星では呼び名が違っていますが、主な搭載機器を観測対象ごとに分類して、説明します。

【オーロラ撮像】ATV (Aurora-TV-camera) が EXOS-A, D に搭載され、オーロラの撮像を行いました。特に、真空紫外領域でのオーロラの撮像は、EXOS-A が世界で初めての実験でした。

【低エネルギー粒子計測】上限～30KeVまでの比較的エネルギーの低い粒子を計測する装置として、ESP (Energy Spectrum of Particle) が、EXOS-A, B, C に搭載されました。EXOS-Dには、さらに質量分析の機能を付加してLEP (Low Energy Particle) が搭載されました。

【高エネルギー粒子計測】数百KeV～数百MeVの高エネルギー粒子を計測するためにHEP (High Energy Particle) がEXOS-Cに搭載されました。

【プラズマ計測】電離層プラズマ（温度数eV）を計測するために、電子温度プローブが搭載されました。TEL (Thermal Electron; EXOS-A, C 搭載) とか TED (Thermal Electron Distribution; EXOS-D 搭載) と呼ばれています。また、電子密度計測装置が搭載されていますが、NEL (Number density of Electron; EXOS-A 搭載) あるいは、

NEI (Number density of Electron by Impedance probe) と呼ばれています。超熱的粒子計測の為に、SMS (Suprathermal Mass Spectrometer) が、EXOS-D に搭載されています。

【磁場】地球周辺の磁場とその微小変動を計測するために、磁場のセンサーが搭載されています。MGF (MaGnetic Field) と呼ばれており、EXOS-B, D に搭載されました。衛星の帯磁の影響を避ける目的で、磁場のセンサーはマストなどを用いて出来るだけ衛星本体から離れた所に置かれています。

【電場】電場を測定するためには、主として衛星から伸展された長いダイポールアンテナを用いています。IEF (Impedance and Electric Field; EXOS-B に搭載) とか、EFD (Electric Field Detector; EXOS-D に搭載) と呼ばれています。

【プラズマ波動】プラズマ波動を計測する目的で、多くの装置が搭載されました。NPW (Neutral Plasma Waves; EXOS-A に搭載), PPS (Planetary Plasma Sounder; EXOS-C に搭載), PWS (Plasma Waves and Sounder; EXOS-D に搭載) が、比較的高周波に焦点を置いているのですが、低周波に対しては、VLF (Very Low Frequency; EXOS-D に搭載) があります。EXOS-D においては、展開型ループアンテナを用いて磁界成分の計測が行われている点が特筆されます。

以上、主だったものを紹介いたしましたが、EXOS系の衛星は、多くの異なった物理量を同時に計測して、相互の因果関係から新しい物理を見つけ出すと言う、地球物理独得の方法論が、ミッションの設計の基本にある事が、お分かりいただけると思います。

—宇宙研— 小原隆博



## やったぜ! カエル宇宙実験



黒谷 明 美

打ち上げの日、カエル班は夜中の2時に起きた。レーニンスクのホテルの客室がペイロードインテグレーションサイトである。ソ連側には一度も受け入れ検査などされていない生命維持箱に、ついさっき最終選抜のすんだカエルを詰め、それを膝の上に抱きかかえること1時間弱、パンのなかで飛び上がりながら射点まで移動した。装置の試験計画の打ち合わせの際に「フライト品は振るな」とソ連側に言われたが、この最後の段階で振動試験はできるわけだ。人間の方は何度か往復しているからもう頭を天井にぶつけたりはしない。射座から300mの地点でカエル入りの生命維持箱は搭載技師に手渡され、われわれの手を離れた。打ち上げ7時間前である。次に心配なのは打ち上げの遅れである。生物が生きのいい状態で宇宙にたどりついてくれなくては、実験は成り立たない。カエルを載せたソユーズは予定時間と数秒の違いで打ち上げられた。もちろんホットローンチ。「ロケットはソ連でいちばん時刻の正確な乗り物だ」と言うのは本当だった。ソ連のロケットは生物を使う実験にとっては、うってつけなのだ。打ち上げは1.6kmという至近距離から見物できた。ロケットの打ち上げを肉眼で見たのは初めてである。音がすばらしい。「ゴォー」などという擬音はウソである。「バリバリバリバリ」といった方が近い。いくらわたしが打ち上げ花火通であっても、もう花火などチャチで見る気がしない。思わず、「もう一回!」と叫んだ。今度はエネルギーの打ち上げを絶対に見たい。

6匹のカエルは生きてミールに着いた。カエル班の中には、顔も緩んで早々と日本へ帰った人も居る。秋山宇宙特派員は宇宙酔いにもめげず、予定時間を大幅に超過してカエルの実験をやり遂げ

てくれた。これでカエルが1匹でも生還してきたら、120%の成功である。アルカリクの帰還地点に向かうヘリの中で、だんだん望みが高くなっていく自分にあきれた。帰還カプセルから顔を出した秋山さんが、いち早くわたしを見つけ、「カエル元気だよ」と言ったのが、図らずも彼の生還第一声となった。カエルのついた大きなゼッケンと腕章が役に立ったのか、望みではちぎれた食欲な視線で見えていたせいなのかはわからない。帰還時刻ももちろん正確だった。それからカエルに御対面できるまで待たされること、待たされること、(本当は30分弱という信じられない早さだったのだが)。そして確かに6匹のカエルは帰還箱の狭い個室の中でモゾモゾ動いていた。万歳!

解剖、不慮の死亡から逃れた3匹の宇宙飛行カエルはA棟7階のオフィスで安穩に暮らしている。もう行動もフツウのカエルに戻ってしまい、なんとなく価値がうすれてきたような気がするが、彼らの顔を見ては、帰還カプセルの焼け焦げた匂いときらきらしたアスピリンスノーの舞い上がる中央アジア雪原を思い出している。

(くろたに・あけみ)



ISASニュース No.119 1991.2.

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



新シリーズ「宇宙の不思議」を連載します。できるだけ分かり易く、面白いものにし、たいと編集委員一同はりきっています。(紀伊)