

特集にあたって-

太陽地球系科学は、ハレー彗星探査を契機として設立されたIACG(宇宙科学の分野における日、米、欧、ソの国際協力機構)の現在の主題です。

活躍中の"あけぼの"に続いて1992年夏には 日米協力によるGeotail衛星の打上げが予定さ

(写真の説明)

1989年10月21日の磁気嵐時に EXOS-D (あけぼの)で撮影したオーロラの連続写真。

編集委員長 松 尾 弘 毅

れており、また、ノルウェーのアンドーヤ基地ではオーロラの観測を目的としてわがS-520ロケットが間もなく打上げられようとしています。 "あけぼの"の打上げ成功満1年を期して、

只今最も活況を呈している分野として太陽地球 系科学の特集をお贈りします。ご期待下さい。

左上、右上、左下、右下の順にオーロラが輝き を増していく姿がとらえられている。図中にある 半島はカムチャッカ半島である。

太陽地球系科学

「太陽地球系科学」という耳慣れない(目慣れない?)言葉が突然見出しに現われて戸惑いを感じておられる方もあるのではないかと思います。 英語ではSolar Terrestrial Physics 略してSTPと呼ばれている研究分野のことで宇宙研では5階の一角の住人、衛星ではEXOS系、Geotail等が関係しています。太陽から吹き出している高速のプラズマの流れ(太陽風)とその影響下にある地球の上層大気(磁気圏、電離圏)を調べることを主な目的としていますが、太陽風そのものや、地球と同じく太陽風の影響下にある太陽系惑星の上層大気の振舞いも研究の対象としております。

この20数年間のこの分野での研究の特色は、それまで間接的にしか観測することのできなかった対象に、直接探査機を投入して観測する事ができるようになったことです。そのために、大変多く

のことが解ってきました。地球に長い尾があることが解ったのもその一つですが、それまで、ほとんど真っ白だった地球の上層大気や惑星間空間にいろいろな地図が書き込まれ大変複雑な構造が見えてきたことです。

今後のこの分野研究の主力は地図に書き込まれた領域が互いにどの様に関連して一つのダイナミックなシステムを形作っているかを明らかにして行くことではないかと考えています。『あけぼの』やGeotail はそのための貴重なデータを提供してくれるものと期待されています。また、Geotail 以後の計画として、新しい考えを持ち込んだいくつかのミッションも計画されつつあります。この特集で、私達の考えの一端を理解していただければと考えています。 (鶴田浩一郎)

さきがけ・すいせいによる 太陽風観測

太陽からは超音速のプラズマの風、太陽風が吹 き、様々な現象を引き起こしている。太陽風が吹 いているため, 地球の磁場は地球半径の十数倍の 範囲に閉じ込められている。この地球磁場の勢力 範囲を磁気圏と呼ぶ。太陽風はこの磁気圏にエネ ルギーを供給し、極域にオーロラを乱舞させ、磁 気圏尾部には地球半径の数倍~数十倍の大きさを 持つプラズマの塊(プラズモイド)を作り出して いる。これらの現象の物理機構の詳細を解明する ことが、それぞれ「あけぼの」、「GEOTAIL計画」 のメインテーマであり、後章で詳しく述べられる。 太陽以外の多くの恒星も星風を吹き出している ことが知られている。その中には強力な輻射に伴 う星風のように太陽風とは全く異なる機構もある が、多くの恒星で太陽風と同様の機構が働いてい ると信じられており、太陽風はそれらの星風に関 する理論をテストする格好の舞台となっている。 太陽風型星風の加速機構は, 基本的には, パーカ 一の提唱した機構、電子によるコロナからの効率

的な熱輸送と重力ノズル効果によって説明されている。この機構を記述する方程式は、ロケット・エンジンに使われているラバル・ノズルを記述する方程式と本質的に同じである。ロケットで超音速ガス・ジェットを作るにはノズルによりガスの流れを絞り込む必要があるが、太陽風の場合にはその絞り込みを重力が行っているのである。

しかし、パーカーの理論の枠内では高々400km/sec程度までの加速しかできないのに対し、現実には800km/sec にも達する太陽風が吹き続けることがある。この問題の最終的な解決は得られていないが、コロナ起源のアルフェン波の運ぶエネルギ



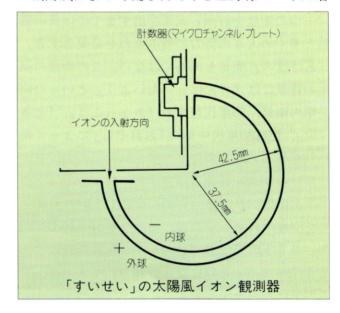
一が、パーカー機構によりゆっくりした速度まで加速された太陽風プラズマに渡り、追加的加速を生じて高速風が生み出されるというシナリオが広く受け入れられている。(「太陽風エンジン」には「アフターバーナー」がついているのである)。太陽風加速機構の問題を最終的に解決するには、やはりその場所へ行くことが必要であり、「太陽プローブ計画」がNASA、ESA、そして日本の関係者の間でそろそろ現実の課題として語られ始めている(後述)。

さて、太陽風は人工天体によって連続的にモニ ターされている。日本の飛翔体として初めて太陽 風を観測したのはハレー彗星に送られた「さきが け」、「すいせい」のコンビであった。右図は「す いせい」に搭載された太陽風イオン観測器の概観 (断面図)である。観測器は内球と外球を持つ二 重の球殻の¼を切り取った¾球型とよばれるタイ プのものである (西瓜の岩を切りとった形を想像 していただければよい。もっとも、観測器の大き さはソフトボール位である)。金属(金メッキした アルミニウム) でできたこの内球と外球の間は絶 縁されており、その間に電圧を加える。外をプラ ス、内をマイナスとすると、この2つの球殻の間 に飛び込んだ正イオンは内向きの力を受ける。こ の力が円運動に伴う遠心力と釣りあうと、イオン はうまく球殻の間隙をすり抜けて、出口に置かれ た計数器に達することができる。加える電圧を変 えることにより、イオンのエネルギーを選ぶ。さ らに飛翔体の自転を利用して, 分析器に入射する 方向を選んでやる。こうして、様々な到来方向・ エネルギーを持ったイオンを1つの観測器で計測 することができる。また、「すいせい」では実現で きなかったが、 計数器の部分に磁石を置けばイオ ンの質量・荷電を分離することができ、太陽風の イオン組成の詳細な情報が得られ、宇宙の元素組 成の基礎データとして重要である。

歴史的には、太陽風が常に存在していることの 証拠は彗星の尾の観測から得られた。彗星には太 陽からほぼ反対方向にまっすぐ伸びた尾と、湾曲 した尾がある。分光学的に、まっすぐ伸びた尾は プラズマから、湾曲した尾はダスト粒子から成っていることが知られている。50年代初め、ビアマンはこのプラズマから成る尾が、太陽風による彗星起源プラズマの吹き流しによってできると提案した。1985、1986年に行われた探査機による彗星の直接探査は、このビアマンの古典的描像を証明したばかりではなく、彗星と太陽風相互作用に係わる物理的素過程の詳細を明らかにした。

「汚れた雪ダルマ」と表現される彗星中心核は 太陽に近づくと盛んに蒸発し、まわりにガスを撒 き散らす。中心核の極く近傍(数千km以内)を出 ると、ガスは希薄となって、その構成粒子は互い に衝突しなくなり、ほぼ直線的に運動すると考え てよい。主に水蒸気からなるこのガスはやがて太 陽の紫外線を浴びて光電離されイオンとなる。ま た, 光電離と同じ位の率で, 太陽風の陽子との荷 電交換反応によってイオンが生成される。太陽風 には太陽起源の磁場(1万分の1ガウス程度,地 球表面磁場強度の数千分の1)があるため、電離 された後,これらの彗星起源イオンは磁力線を中 心とした回転運動(サイクロトロン運動)を開始 し、太陽風と一体となって運動を始めることにな る。時間が経過すると多数の彗星起源イオンが太 陽風につけ加わる。この結果, 運動量保存則によ って、太陽風の流れは減速されることになる(質 量追加効果)。

太陽風によって流されてくる磁力線の一本に着



目しよう。質量追加効果によって、磁力線の彗星に近い部分は大きく減速されるが、彗星から遠い部分ではあまり減速されず、磁力線は次第に彗星中心核の周りにまきつくことになる。この磁力線の変形によって彗星のプラズマ・テイルを説明しようというアイデアは、スウェーデンの学者H.アルフェンによるものである。1985年9月、ジャコビニ・ジンナー彗星の尾を通過した探査機ICE(国際彗星探査機:International Cometary Explorer)は期待される磁場構造を実際に観測することに成功し、このアイデアの正しさを証明した。

彗星の直接探査によって明らかになったのは、 質量追加効果は、期待通り彗星尾形成を起こすば かりでなく、豊富な物理的過程を導くことであっ た。先に述べたように、彗星起源のイオンは電離 された後、太陽風内でサイクロトロン運動を始め る。しばらく時間が経つと多数のイオンが揃って サイクロトロン運動を行うことになるが、このよ うな集団運動は不安定で、磁場の微小擾乱が種に なって、大きな磁場・プラズマの揺らぎが成長す る。この揺らぎは、エネルギー源となったイオン のサイクロトロン周波数付近に励起されるので、 周波数解析をすると他のノイズと区別できる。「さ きがけ」の磁場・プラズマ観測グループはこの周 波数解析に成功し、ハレー彗星から1千万km近く も離れたところまで、ハレー起源の酸素イオンが 広がっていることを明らかにした。また、イオン 自身は揺らぎの励起の反作用を受け,速度空間の 球殻を作ると予想されていた。この球殻の存在は 「すいせい」の観測により初めて実証された。ま た、ESAの「ジオット」やソ連・東欧連合の「ベ ガ」は、日本の探査機よりずっとハレー本体に近 づいたが、そこではサイクロトロン運動起源の擾 乱の振幅が非常に大きく乱流状態にあることが見 いだされた。惜しくも昨年モスクワで客死した, 米国の宇宙プラズマ物理学者スカーフ博士の言葉 を借りれば、彗星近傍は「太陽系内で最も高いレ ベルのプラズマ乱流」状態にある。

このように、彗星プラズマの世界は太陽風研究のルーツでありながら、宇宙プラズマ物理学研究の最前線でもある。日本が、小規模ながら科学観測に成功したことの科学史的な意義は決して小さくないと考えられる。 (寺沢敏夫)

『あけぼの』衛星の成果

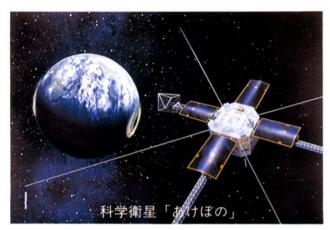
1. はじめに

一つの衛星を計画し成果を出すまでには長い時間と多くの人々の努力の積み重ねを必要とする。 『あけぼの』衛星も例外ではない。この衛星の誕生の背景には『でんぱ』、『たいよう』といった開発期の衛星、70年代後半の『きょっこう』、『じきけん』、更に80年代中葉の『おおぞら』によって培われた経験と、その間に形成されたチームワークの良い技術者・研究者陣容があった。

『あけぼの』衛星は1983年にEXOS-D計画として立案された。その後、様々な検討を経て、92年に打ち上げ予定の『Geotail』衛星の前身である『OPEN-J』と対になる計画としてスタートするごとになった。



『あけぼの』衛星の研究対象は地球の周辺に広 がる磁気圏と呼ばれる広大なプラズマの領域であ



る。この領域は、地球をとりまく大気とプラズマの領域の最も外側に位置し、外側の境界は惑星間空間を充たしている太陽風に接している。従って、太陽風からエネルギーや運動量が供給されるだけでなく同時に、太陽風粒子の侵入も受ける。一方、磁気圏の地球側の境界は地球の大気上層部、通常電離圏と呼ばれている領域である。したがって、磁気圏は電離圏からも強い影響を受けると同時

に電離圏にも大きな影響を与えている。そこで、 『Geotail』衛星が磁気圏の尾部を調べることに重点を置いているのに対して『あけぼの』衛星は磁気圏と電離圏の相互作用、即ちオーロラとそれに関連した現象の研究に重点を置いて、その謎を究めようとして計画されたのである。

オーロラは磁気圏から降り注ぐ高エネルギーの 電子によって大気が発光している現象である。オ ーロラの発生域は『あけぼの』の高度では磁極を とりまく楕円形の領域に見えるのが普通である。

『あけぼの』の軌道に相当するオーロラの上空数 千キロでは、磁気圏尾部から侵入して来る粒子を 加速する機構が働いていると考えられている。この加速された粒子が電離圏まで到達してオーロラ を作っているわけである。この粒子加速にともなって様々な現象が発生している。電離圏から磁気 圏へのイオンの流出、強いプラズマ波動の発生、 電離圏と磁気圏の間を流れる電流の変化、電場の

あけぼのを昭和基地で追う

あけぼの(EXOS-D)衛星の計画立案の時より、 南半球高緯度の観測データ受信の為の地上局が議 論された。北半球では数多くある此等の設備も, 南極の自然条件の厳しさと文明圏から隔離されて いることによる、建設とその運用の困難さにより、 どの南極基地にも直径10m以上のアンテナを有す る地上局は無い。衛星自身に記録装置を搭載して も矢張り多量のデータを直接受信する地上局は必 須であると言う認識により、それを南極昭和基地 に2年掛りで建設する事となった(南極では建設 期間は1年で1ヶ月程である)。この地上局の特色 は、厳しい気象条件を考え直径17mのレドームを アンテナに被せたもので、又、運用操作が一人で 出来るシステムを設計,将来の多くの衛星受信を 考慮しXバンドとSバンドの受信能力を持ち、さ らにVLBI(超長基線電波干渉計)の仕様も満足す る精度を有する。

少ない然も素人の隊員が高所作業を伴う苛酷な 仕事に良く耐え、2月22日あけぼのの第一軌道の 受信に見事成功した。それ以後受信専属隊員一名 と三名の補助隊員で1日24時間体制を作り殆ど休む暇も無く受信作業に当っている。何も見えないブリザードのなか受信棟迄ライフロープを頼りに通ったり(レドームのお陰でどんな強風時でもアンテナ可動が出来る),ある時は受信棟に閉じ込められたり,色々想い出はあるが,凍てつく−40℃のもと満天の星空を彩るオーロラを眺め乍ら衛星から実時間で送られてくるオーロラオバールの映像を見た時の感動は忘れられない。

受信データが有効に使われ、成果を上げられん 事を期待している。 (江尻全機)



大きな変動等々である。

これ等の様々な現象の間の関連を明らかにして 磁気園と電磁圏が結びついた複雑な系,特にこの 領域を特徴づけている粒子加速の原因を解明して 行くことが『あけばの』衛星の課題である。太陽 風の変動の時間や,地球の自転周期に較べて,磁 気圏の内部構造が変化する時間スケールの方が長 くなる場合が多いために,磁気圏には本当の意味 の平衡状態が無い。オーロラ粒子の加速も平衡状 態へ回帰しようとする磁気圏の絶え間無い努力の 過程の一つとも考えられる。この過程で作り出さ れる高エネルギー粒子や,強いプラズマ波動が『あ けぼの』の観測対象であると云うこともできる。

磁気圏が平衡状態へ移行しようとする過程を研究する上で、大きく磁気圏が乱れた状態の研究は大変重要となる。『あけぼの』衛星は太陽観測史上最大の活動期に遭遇することになり、この一年間に数回の最大級の磁気嵐に遭遇することが出来た。北海道でオーロラが見えた磁気嵐もその一つ

である。大きく乱れた磁気圏とその回復過程を研究する絶好の機会に恵まれたわけである。太陽の活動周期が11年ということもあって、磁気嵐時の本格的な観測衛星による研究はあまりなされていないのが現状である。『あけぼの』衛星は、この絶好のチャンスを最大限に利用しなければいけないと考えている。

2.『あけぼの』の成果 — 現在までの状況

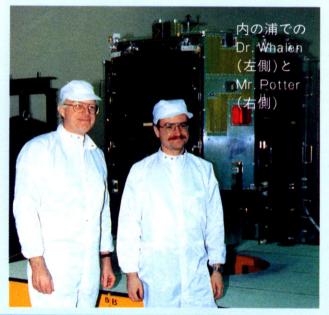
『あけぼの』衛星による研究の成果として期待していることは、個々の現象(その中には新しい現象の発見も勿論含まれるが)の理解を深めることに留まらず、磁気圏の全体像についての理解を一段と深めることである。オーロラ電子の加速機構の解明は重要な一翼である。何故、電気伝導度が無限大に近い磁力線方向の電場加速が起きているのか、何故、オーロラ電子の降込みは空間的に局在しているのか、何故、強い波動が励起されるのか、何故、……。『あけぼの』衛星によるこの一年弱の観測は「何故」の数を増やしたようにも思

カナダの仲間達

「あけぼの」には唯一の外国産(カナダ)観測機器としてSMS(非熱的イオン測定装置)が搭載されている。SMSの働き具合などは別の機会にゆずることにしてここでは、カナダの仲間の紹介をする。形式的にはSMSはカナダ国立研究院(NRCC)と通信総合研究所の共同研究として進められている。PI(実験責任者)はNRCCのDr.B.A.Whalenで、ほかにもたくさんのカナダ人が試験期間中に来日した。他の観測機器に比べると開発に携わった人数の点では優に2~3倍はいたようである。なかでもいつも牛肉を山のように持参してくれた中国の大人の風貌のHumさんは印象深い。

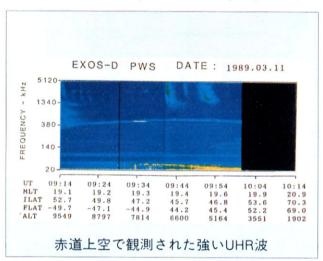
PIのWhalenさんはEXOS-Dが「あけばの」の名前になるまでにたぶん20回以上来日したけれど、日本語の方は最初こそ学習意欲を見せたが、結局余りものにならなかった。それでも、総合試験の間に覚えた「チョットマッテネェ」はずいぶんと気に入って実によいタイミングで使って皆を楽しませていた。「あけばの」でのカナダとの国際協力はプリン

スアルバートの地上受信局も含めてたいへん順調に進んだように思える。これもカナダの人たちの熱心さと宇宙研の人たちの対応の良さのおかげと思っている。これからも全世界のオーロラの半分を所有しているというカナダとの協力関係が長く続くように祈っている。 (佐川永一)

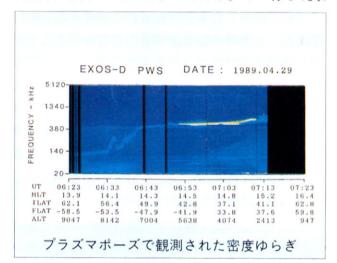


える。このアプローチは、ミクロな非平衡性と表 裏をなすマクロな非平衡性を考慮していくことに よってその理解を深めて行くことが可能となるこ とを十分に裏づけている。この様な観点での『あ けぼの』衛星の成果が出て来るのはもう少し先の 話であろう。現段階ではもっぱら何故を増やすこ とに貢献しつつあると言っていい。

以下に『あけぼの』衛星による観測で出てきた「何故」を幾つか紹介することにする。最初に名乗りを上げた「何故」は高周波波動の観測グループからであった。『あけばの』が赤道の上空を通過するとき、まさに何故かUHR波動と呼ばれる一



種のプラズマ波動が強くなる現象が発見された。 モニター画面でみているとうすいUHR波の軌跡が 急に明るくなり真珠色に一部輝いて見えるのであ る。その後、いろいろ調べてみると低周波の波動 にもおかしな変化が見られることが解ってきた。 従来の衛星観測では殆ど注目されていなかった現 象であり『あけぼの』が見つけた謎である。低高 度の電離圏には赤道域に異常現象があることは良 く知られていることであるが『あけぼの』の高度 で見られたものは、本質的に異なるもので、土星 のリングのように磁気赤道域にプラズマ異常帯が 円盤状に広がっているようである。この様な現象



宇宙空間の手ざわり

「あけぼの」がパドルを閉じてモータ部の上に 載っている様子は、まるで木の幹にとまった蟬の ようです。蟬は七年を地中で過ごした後、世に出 るそうですが「あけばの」も無事打上げられるま では計画、製作、試験に長年が費やされたと聞い ております。

打上げより後、私は電場データの解析を通じて「あけぼの」と係わることになりました。初めの頃は顔も見たことのない外国のペンフレンドから休む間もなく一方的に送られてくる手紙を見ている感じでした。それも日本語だったら良いのですが、古代エジプト文字を解読するが如く字面を追うのに精一杯、内容まではとても手が廻りません。

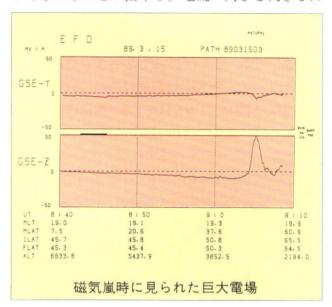
7月には初めての運用当番が廻って来ましたが、 まず専門用語、業界用語に戸惑いました。入感準 備チェックの時、相模原からKSCのアンテナ係の 方を「10メートルさん」と呼んでいるのを聞いて 「さすが鹿児島、そんな変わった名前の人がいる のか」と一人で感心していました。余談はさて置 き、どこそこの電圧が下がったと言っては電話連 絡が飛び交い、温度が上がったと言っては人々が 走り回るのを見て「あけぼの」にかかる期待と運 用の責任をひしと感じました。そんな雰囲気に圧 倒されて、初めのうちはとにかく異常を出さない ことに終始していました。

最近では運用にも慣れ、余裕をもってデータを 眺められる様になりました。これまでは本の中だ けの世界だった磁気圏が、現実のものとして身近 に感じる様にもなりました。果てしなく遠かった 一万キロの距離が手の届きそうな所まで縮まって きています。 (松岡彩子・大学院修士1年) があることは誰も予想しなかったことであった。

同じ、UHR波動から磁気圏内のプラズマ密度が 求まるが、ここからもまた「何故」が一つ加えられることになった。普通、プラズマの密度はプラ ズマ圏の高密度を過ぎて高緯度に移るとスムース に減少して行くものと考えられていたが、高密度 域と低密度域がなん回も繰り返し現れることがあり、プラズマ圏の境界がたまねぎの皮のように大きな密度変動が何層も重なっているように見えることがあることが解ってきた。この現象も従来のプラズマ圏生成の理論から簡単に説明の付くことではなく、新たな謎を提供している。

『あけぼの』打ち上げ直後から何回か磁気嵐に 遭遇し、この時の磁気圏の変化を追跡することが 『あけぼの』に与えられた絶好のチャンスである ことは前に述べた通りである。磁気嵐時に見られ る特徴的な現象の一つに、低緯度に出現する大き な電場が観測された。普段の100倍ちかい電場で ほぼプラズマ圏境界近くで数日間にわたって観測 される。この電場の存在は、普段の100倍近い速さのプラズマの流れがあることを意味し、磁気嵐時の磁気圏の構造を考える上で大きな謎を提供したことになる。

磁気圏と電離圏の間を流れる電流は磁場の観測 から求めることが出来る。電流の向きと大きさに



オーロラ紫外撮像のみちのり

今回は、国際磁気圏研究計画(IMS)の中で我国 が打上げた2機の人工衛星中,78年2月打上げの 準極軌道衛星EXOS-Aによる世界初の試みの真空 紫外光でのオーロラの 2 次元撮像計画がスタート した処からを簡単に述べる。この計画が衛星打上 げに到達する為には、K-10-12号機による大気圏 外からの紫外撮像の可能性実証, 更にEXOS-A搭 載装置(ATV)の撮像管走査部を多極アノードに 置換したオーロラ紫外測光装置(UVP)の、新型 ロケットM-3H用技術試験衛星MS-T3機上2週間 の、機能・動作試験のステップを踏み外す事無く、 これ等と並行してATV装置を開発して行く必要が あった。幸いにして、狭帯域TVカメラ、画像処理 に関しては、夫々丹羽教授(宇宙研) 高木教授(東 大生研)のATVチームへの御参加を頂くと共に、 真空紫外光の室内実験では西教授(東京天文台)の 御指導を仰いで、難航し乍らもATVは無事打上げ る事が出来た。ATVによるオーロラの紫外撮像は 成功を収め、打上げ1年9ヶ月後のミッション終 了時迄に総計2万枚を超す画像データの取得が行

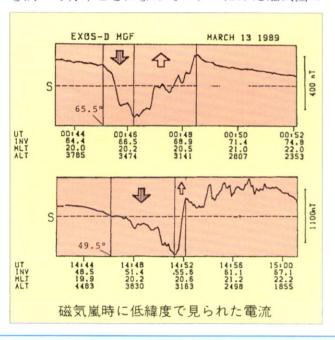
われた。

その後、オーロラ紫外撮像のプライオリティに 関して、国外でのmis-leadingな発表もあって、一 時混乱したが、Iowa大学のFrank教授が最近のレ ヴューでKYOKKO (EXOS-A) ATVのプライオ リティを明確に認めている事から、常識的には今 後この様な事の再発は無いと考えられる。

紫外撮像は、ハレー彗星探査機において彗星頭部に発達する水素雲を対象として行われた。これ等の技術的蓄積を背景に、EXOS-D(あけぼの)において再びオーロラの紫外撮像に取組む事となり、最速8秒毎の撮像と云う高時間分解能観測は、ほぼ所期の成果を収めつつある現状である。

この様に3回連続して紫外撮像のプロジェクトを担当出来た事は、実験屋冥利に尽きるが、大過無く現在に至れたのも、数多くの方の御支援を頂いた御蔭だと考えております。それと共に、これ等のプロジェクトが、観測装置の製作に当ったメーカ各社の多くの技術者の熱い想いに支えられて来た事実は、忘れ得ぬ事として永く胸に残るものです。 (金田栄祐)

付いては平均像としての統計的なパターンが既に 作られているが、磁気嵐時には大きな電流の流れ ている領域がずっと低緯度まで降りてきているこ とが明らかになった。オーロラが低緯度で見られ ることと対応しているわけである。また、極冠域 と呼ばれる磁極に近い領域に通常とは異なる大規 模な電流が流れていることも解った。さらに、磁 気嵐の発達期・回復期の電流パターン、電場変化 を調べて行くことによってマクロにみた磁気圏の



構造変化を研究する重要な手がかりを与えた。

磁気圏には昼間側にカスプと呼ばれる特別な領域がある。ここは、磁気圏の太陽風に対するバリアーとしての効果が弱いところで、太陽風の粒子が侵入し易いところである。『あけぼの』で見るとここに特徴的な粒子がみられると同時に大きな電場の変動が観測される。カスプの性質の研究は太陽風から磁気圏へのエネルギー伝達を調べる上で重要であるが、ここにも研究の糸口が見つかった感じである。

『あけぼの』衛星搭載の8個の観測器は磁気圏と電磁圏の結合部の現象を総合的に調べることを目的に搭載されている。そのような目的に沿ってデータを突き合わせる研究も、それぞれの観測器のデータの性質がはっきりしてきた昨年の夏ごろから始められた。その結果一つの領域で粒子の降込みがあるはずなのに何故か粒子の降込みが何も見えない場合や、あるいは、電場の変動があるはずなのに、電場の変動が殆ど見えないといった不思議な現象が続出している。磁気圏・電磁圏の結合系に見られる空間的な変化や、時間変動について、まだ我々の知らないことがいかに多いか、もう少しデータ解析が進んだ段階で、こうした新し

データ処理システム

「あけぼの」科学チームが素晴らしい結果を出していく事は、衛星開発に携わった人々の努力に応える道であり、ミッションの意義をより確かなものとして位置づけていく事でもある。

「あけぼの」に代表されるような地球物理学の 分野では、イベントを中心に研究が進められる。 速やかにデータ処理を行いイベントが見つけられ る為に、リアルタイムでデータを処理しプロット データを作成している。と同時に、若干の遅れは 生ずるが、全データをデータベース化し、大型計 算機で管理している。

研究者はISASにてこれらのデータの処理が出来るが、チームのメンバーの大半が全国の大学及び研究機関に属しているため、これらの研究室とISASをネットワークで結ぶ事が大変重要になって来る。国立極地研究所とは専用の回線を付設し、

郵政省の通信総合研究所とは、JUST-PCによる接続を果たした。又、このシステムは一部大学とのリンクにも利用されている。

外国へのネットワークも重要で,現在試験的に接続を開始しており,今後は本格的な運用に向けて,進んでいく計画である。

データ処理はしだいに分散化の方向を向いており、これまで以上に各グループでの処理が重要になって来る。「あけばの」の場合は、ワークステーション等の処理システムを参加の3大学に配備し、一部のデータを郵送する等してローカル処理の実現につとめている。

ネットワークやワークステーション等,時代を 代表するテクノロジーを充分に使いこなせるスキ ルを私達の中に培かっていかねばならないと,意 を新たにしている。 (小原隆博) い謎の解明を通じて現在の磁気圏像を塗変えるような新しい結果が出るのではないかと期待している。

表紙の写真は磁気嵐時のオーロラであるが、『あけばの』でのオーロラ撮像には二つの意義がある。一つは、オーロラ像を基にしたマクロにみた磁気圏の構造の研究であり、もう一つは、他の7個の観測器のような衛星近傍での観測に対して現象面から基準となる座標を提供することである。ある現象がどの様なオーロラのどの辺りで観測されたものなのかということが重要な要素となり得る。オーロラ像そのものの研究面でも重要な情報が得られつつある。磁気圏の「地震」に相当する急激なエネルギー放出過程である磁気サブストームがどの様な経過で起こるかということは大変知りたいことであるが毎コマ8ないし16秒という『あけばの』のカメラは、オーロラ像が真夜中の領域で急

に明るくなる瞬間を捉えることに成功した。このようなデータは、今後南極のデータが入手でき、 更に北半球のデータが増える今年前半に数多く見 つかると思われる、磁気圏の大規模な構造変化の 研究に貢献するものと思われる。

以上述べた他にも、下向き電流域での電子温度 の低下とか低周波波動に見られる非線形現象とか 多数の「何故」が見つかりつつある。これらの「何 故」を説明し、『あけばの』で見た磁気圏の全体像 を作って行くことが今後の課題であろうかと思わ れる。多くの人々の努力が、今後ますます結実し てゆくことが期待される。

3. おわりに

『あけばの』衛星は決して大型衛星ではない。 しかし、磁気圏研究の為に必要な観測器を完備し た、世界的にみても第一級の観測衛星であること

北欧(ノルウェー)でのロケット実験

太陽地球系科学の研究にとって一つの目玉は南北両極の電離圏の研究である。端的に云えば、オーロラに関連した現象の研究と云うことになる。ロケットをオーロラの中に打ち込んで観測したいという希望が研究者の中から出て来るのもごく自然な流れである。……と云うことで私達もS-520を極地方で打ち上げたいと数年前から関係各方面にお願いをしてきた。打ち上げ場所としてノルウェーのアンドーヤとスウェーデンのエスレンジの調査を行った。その結果、落下地点に関する制約の緩いアンドーヤが良いと云うことになった。アンドーヤは、北緯69°18′ノルウェーの最北部に位置する職員17人程度のこじんまりした打ち上げ場である。

各方面のご理解を得て平成元年度に予算が付き、 ノルウェー側との話合いも順調に進み始めた5月頃、あまり深く考えていなかった所に大変厄介な 問題があることが解ってきた。S-520はかなり高 性能のロケットであり、これの国外持ち出しには 諸外国の了解が必要であるという。その他にも輸 送の安全にからんで、普段あまり馴染みの無い法 律,条約とお付き合いすることになった。一時は もう駄目かと思うこともあったが,林課長初め所 内外の関係者の努力と関係各省庁の理解で,何と か実験に間に合わせることが出来た次第である。

今回の実験は、脈動型オーロラという特殊なオーロラの中の降下粒子の観測を目的にしているが、 無事打ち上げに成功しご協力戴いた多くの方々に 報いることが出来ることを願っている。

(S-520-12 実験班)



は世界の同業の研究者の認めるところである。『あけぼの』が第一級の観測衛星になり得た最大の理由は搭載されている観測器のデータの質の高さにある。この質の高さは、工学と科学の両分野の有機的な協力と経験を積んだ技術者陣に支えられている。過去の磁気圏衛星の経験が活かされたことは勿論であるが、工学関係者、関連メーカーの担当者の技術力とヒューマンリレーションを通じた執ようなまでの努力なしには、決して達成されなかったことである。

限られた打上げ能力の中で観測器重量を確保す



るために採用された湾曲太陽電池パドル等の構造 上の新工夫、観測上の要請に応えるために採られ た衛星表面の導電性確保、伸展マスト、ワイヤー アンテナ、三軸ループアンテナの開発、フレアー 時の観測を可能にした対放射線強化処置、波動観 測の質の向上に貢献した機器間干渉退治、等々ど の一つが欠けても現在の『あけぼの』はあり得な かったものばかりである。

対放射線強化処置一つとっても、あまり経験の無かった分野で、各素子の耐量測定を行うことから始め、入手がスムーズに行かないために発生するスケジュールの乱れの吸収、代替処置等々と、薄氷を踏む思いの日々がつずいたことを記憶している。そのような状況の中で発揮されるチームワークの良さと、誰からともなく提案されるすばらしい解決策の数々。泥沼とも思える機器間干渉対策にしても、担当の枠を越えて次々に提案される対策を試みることで結果的には大変低い干渉レベルまで押え込むことにつながった。

『あけぼの』開発に携わった多くの人々の努力 に報いる唯一の道は科学チームが今後すばらしい 成果を出して行くことであろうと考えている。先

夢中のX年間

「あけぼの」の打上げが成功して一年近くなる が、仲間と茶飲み話をしていると、しばしば「E XOS-Dは大変でしたねェ」と労いの言葉をかけて くれる。「ええ, まあ」などと曖昧に答えながら, すぐに, ああこれは総合試験中の慢性睡眠不足の 事だなと気が付く。私がシステムグループの一員 として参加させていただいたのは、1985年春の第 3回設計会議からだった。初めは会議の内容をメ モするにも精一杯で、議事録を作成する段になっ て自分のメモの意味がわからなくなり、あちらこ ちらに電話で聞き回った。それにも慣れてくるに 従って, 放射線対策や衛星表面の部分帯電対策な どの小検討会にも興味を持って参加できるように なった。ところがこの頃から、あの悪夢は始まっ ていた。「搭載用のIC輸入が遅れるらしい」「スケ ジュールを検討しよう」「やっぱり遅れた」「まだ土 曜、日曜がある」「不良品がでた」「大変だあ」とい

った調子で、結局第一次かみあわせが開始できた のが1988年春となってしまった。この間、機器製 作関係者の連日連夜の頑張りは賞賛に値するもの だった。当然、その後の試験スケジュールはトラ ブル修復の余裕が無くなり、全員疲労困ぱいで、 黙って座ればそのまま眠りに落ちるという有様だ った。衛星の試験も佳境に入る88年秋の頃、ICリ ードが折れるという事故が続出した。さては、あ の悪夢の再現かということで、 S氏の協力を得て、 電子顕微鏡観察をすることになった。T先生はじ め数人がD棟の電子顕微鏡室に集まり、S氏の説 明を聞くことにした。室内はブラウン管ディスプ レイを見るために暗く, 真空ポンプの排気音が軽 やかに響いていた。皆,無言でブラウン管を見つ めている。その時, ガタンと音がして我にかえっ た。H氏が椅子から転げ落ちそうになっていた。 どうやら二人とも, 文字通り夢中の人となってい たらしい。 (大島 勉)

の米国地球物理学会(AGU)では『あけぼの』特別セッションが設けられ『あけぼの』チームから20編近い論文が発表された。まだ速報的な結果であったにも関わらず評判は上々で、学会後、磁気圏尾部の発見者である Ness 博士からわざわざお褒めの手紙を戴いたくらいである。

最後に『あけぼの』の計画段階,子算化,実施面の全ての段階にわたり労を厭わず貢献され『あけぼの』衛星の現在の成功に導かれた所内・外の研究者,技術者,管理・事務局関係者に,執筆を担当したものとして心から感謝する次第である。 (鶴田浩一郎,大家 寛)

GEOTAIL計画

太陽のエネルギーは地球上にさまざまな現象を 作り出している。日本の沿岸からアメリカ西海岸 におよぶような大規模な海水の循環も、大気を激 しく揺り動かせて強い風や雨をおこす台風も、太 陽から放射されるエネルギーの産物である。

おなじように、「あけぼの」が観測したオーロラ電子や電流系も、太陽のエネルギーから作りだされたものである。ただし、この場合の太陽エネルギーは光や熱という形でもたらされるものではなく、太陽の大気から絶え間なく流れだしている「太陽風」という電離ガス(プラズマ)によってもたらされたものである。

光や熱の場合と違って、太陽風のエネルギーはいきなり大気の中に侵入してくることはできない。地球の磁場が太陽風の行く手をさえぎるからである。太陽風のエネルギーはいったん磁場や電流のエネルギーに姿を変えてから、「磁気圏」とよばれる地球磁場の領域に入ってくる。「あけぼの」衛星の高度でおきる現象、たとえばイオン・電子の加速や電波の発生などは、こうして侵入したエネル



ギーが地球にもっとも近づいたところで引き起こ す最後の華とでもいうべきものである。

GEOTAIL衛星は、「あけぼの」の高度より上にエネルギーの流れをさかのぼって、オーロラ電子や電流の源になっている領域で観測を行う。この領域は「磁気圏尾部」、つまり地球の磁場の尻尾とよばれるところである。太陽風は、地球の磁場のわきを流れ過ぎるときに力をおよぼして、磁力線を流れの方向に引き伸ばす。このために、地球は磁力線の長い尻尾を持っているのである。もし、磁力線が目に見えるものであったら、地球も彗星のように見えただろう。

GEOTAIL衛星が磁気圏の尾部で明らかにしようとしている事柄は、おおよそ三つに大別できる。その一は、尾部の中でおきる粒子加速のメカニズムである。尾部内のプラズマは、引きのばされた磁力線が縮んだり、ちぎれたりする際に放出するエネルギーによって加速され、尾部の中央面には熱いプラズマのシートができている。この加速のメカニズムは、粒子どうしの衝突の頻度がきわめてすくないプラズマの特性を反映しており、カオスの要素をも含む興味深い研究対象である。



第二の事柄は、太陽風から尾部へのエネルギーと粒子の流入のメカニズムである。太陽風のプラズマの一部は地球磁場の壁を貫いて内部に入りこみ、尾部のプラズマ・シートに貯められている。この流入機構にも、衝突頻度の少ないプラズマの性質が反映されている。

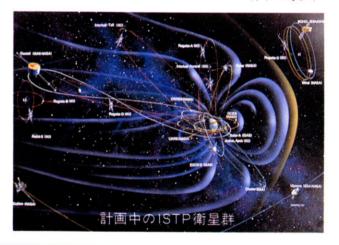
第三の事柄は、「あけぼの」の高度で見られる現象と尾部内のプロセスとの関係である。オーロラの明るさはときどき急激に強まり、それに伴って電流の強度も急激に増す。これは尾部から供給されるエネルギー量が突然増えることを意味する。その原因は何だろうか。磁気圏の状態が平衡状態であることはめったに無く、殆どいつも平衡からはずれているようであるが、余剰エネルギーの解放は少しづつ連続的に行われるのではなく、爆発的におきることが多い。爆発的なエネルギー解放は何をきっかけにして始められるのだろうか。

GEOTAIL衛星は、宇宙科学研究所が衛星を開発しアメリカのNASAが打上げを担当する国際共同プロジェクトであり、1992年7月の打上げに向かって準備が着々と進行している。搭載計器は日米がほぼ2対1の割合で分担する。計画の前半には、MUSES-Aでテストが行われる月二重スイングバイの技術を用いて、衛星の遠地点がいつも夜側にあるようにし、月よりもさらに4倍程遠い約140万kmまでの尾部領域を広く探査する。後半には

8×30Reの準赤道面楕円軌道で運用する。

日、米、ソ、欧の四宇宙科学研究機関はIACGという名の組織を作り、毎年一回会合を持って協力を進めている。1986年以来、IACGは太陽地球系科学を主要な協力活動の分野としており、各機関はあわせて十数機の衛星を打上げて太陽、太陽風、および磁気圏の綿密な観測を行うことになっている。「あけぼの」も是非GEOTAILの時期まで働き続けてほしいものである。このようにして、GEOTAIL衛星の観測と同時に、太陽に源を発し地球の大気にいたるエネルギーの流れが他のさまざまな領域で観測される。これらのデータの比較・検討によって、太陽の大気からわきだす太陽風のエネルギーが宇宙空間に描きだす多彩な現象の理解が飛躍的にすむものと楽しみにしている。

(西田篤弘)

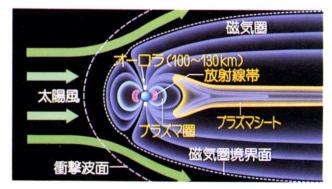


将来計画

1. 磁気圏撮像計画

現在私達が持っている磁気圏像、学術誌や一般 向けの解説書に現われる磁気圏の図は人工衛星に よる磁場やプラズマの直接観測をもとに研究者が 想像力を働かせて描いたものである(右図参照)。 過去20年以上にわたる磁気圏の観測の歴史の中で、 新しい観測が行われ、新しい考えが生まれる度に 少しずつ修正されて現在の磁気圏像ができたわけ である。絵に描いた磁気圏像には目に見えないも の、例えば、磁力線とかプラズマ雲とかいうもの が視覚化して描いてある。『百聞は一見にしかず』 という諺があるが、『見てきたような磁気圏』の図 を見ると本当に磁気圏を見てみたいと思うのが人 情である。

研究面でも数分から数時間で大きく変化する磁 気圏を人工衛星による1点での観測から推し量る





ことに困難を感ずるようになってきた。そのため、最近では複数の衛星を同時に打ち上げて空間的な構造を短い時間に把握しようとする試みがなされるようになってきた。しかし、高価な衛星を多数打ち上げることは現実的でない。せいぜい数個の衛星に留まらざるを得ない。1本の煙草から立ちのぼる煙、この全体像を1点の観測から作り上げる困難を想像してみれば、我々が磁気圏の研究において立たされている状況が見えてくる。もしも、磁気圏を視覚的に捉えることが出来れば「なーんだ、そう言う事か」というようなことに、たぶん大真面目に悩んでいることも多いのではないかと思われる。

問題は磁気圏を目でみることが出来る可能性があるのかどうかということである。磁気圏の中のプラズマの密度は大変低く常識的にはほとんど何も物が無いに等しい。1立方センチ当り1個以下のイオンしかないのが普通である。しかし、幸いなことに、磁気圏は強力な光源=太陽に照らされているため強い共鳴線を持ったイオンであれば低い密度であっても見える可能性がある。丁度、雨戸の節穴から射込む朝日に室内の埃がキラキラ光

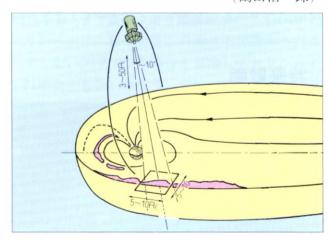
って見えるのと同じ事である。

撮像の対象となるイオンは、ヘリウムと酸素イオンであり、それぞれ304と834オングストロームに共鳴線を持っている。簡単な計算をしてみると、意外なことに、何とか絵に成る程度の光が散乱されることが解ってきた。そうは云っても、光子数にして1秒間に数十個という程度の光であるから簡単に測れるということではない。

技術的に難しい点は紫外線の明るい光学系を作ることが出来るかどうか、惑星間空間のイオンによる背景光が磁気圏からの散乱光を測る上で邪魔にならない程度に低いかどうかといったことである。前者の問題は、多層膜の反射鏡を使うなど最近の技術で解決のめどがたっているが、後の方の、背景光の問題はデータが不十分でまだはっきりしない。簡単な計算では何とか磁気圏の撮像が成りそうなレベルであるが、今後検討を要する問題である。

世界的にも磁気圏の撮像に対する期待は高まっており先のAGU総会でも特別セッションが設けられたりした。しかし、まだ初期の検討段階の域を出ていないようである。何れにせよ、実現できればたいへん大きなインパクトを磁気圏研究の分野に与える計画であるから真面目に基礎的な検討を進めていく必要があると思っている。

(鶴田浩一郎)



2. 惑星磁気圏探査

ボイジャー計画の成功を頂点とする最近の一連 の惑星探査により、太陽系9つの惑星のうち8つ までに人類の手が届いた。そしてひとつひとつの 惑星にそれぞれ、様相の非常に異なった磁気圏が 存在することが分かってきた。我々が長年培って きた地球磁気圏研究の成果を、パラメータのまっ たく違う新しい環境でテストできる、理想的な時 代がやってきたともいえる。「さきがけ」, 「すいせい」で惑星間空間に進出したわが国の研究者にとっても, 次は地球近傍の惑星(水星, 金星, 火星)の周囲に探査機を送りこんで, 磁気圏学発展に寄与する絶好の機会である。

さて、これらの惑星のうち、もっとも地球と似 た磁気圏を持つのは、水星である。水星は体積が 小さく, 月に似ていて, 磁場もないと思われてい たが、1974年のマリナー10号の観測により、きれ いなかたちの双極子磁場と、それの作るミニ磁気 圏を持つことが分かった。このミニ磁気圏(地球 の二十分の一)は、少なくとも二点でわれわれの 興味を非常にそそる。まず、波動の伝播時間から いって、すべてのMHD現象のタイムスケールが地 球よりはるかに短く、地球の一時間は水星の2、 3分に相当する。地球の場合、太陽風の状態が時 間のスケールで頻繁に変わることが、磁気圏現象 の究極の理解を妨げているが、水星では、外部条 件は一定と考えて、磁気圏に固有な時間変化を議 論できる。もうひとつ面白いのは、大気が薄く、 しかも地表からたたき出されたナトリウム原子を 含むことである。これらの原子が太陽光で電離す るとき、電場方向に電流が流れるが、それは昼側 のみで起こる。マリナーの観測で地球のサブスト ームに比しうる現象が見つかっているが、はたし て夜側の電離層なしでサブストームが起こりうる ものかどうか、地球のサブストーム理論にも影響 するところが大きい。

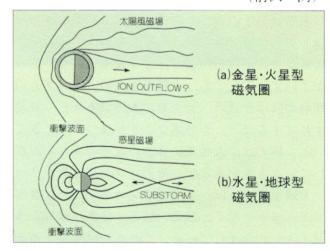
金星の磁気圏は地球とまったく成因が違う。地球の磁気圏では地球のもつ磁場が太陽風プラズマの流れをさえぎっているが、金星は磁場がないために電離層に太陽風が直接ぶつかり、そのとき圧縮された太陽風中の磁場が、逆に惑星を包み込む形の磁場を作り出している。従って、地球磁気圏は地球の磁力線で出来ているのに対し、金星磁気圏は太陽風の磁力線で出来ているといえる。金星の周回軌道にのったパイオニアヴィーナスの観測により金星の昼側の磁場と電離層分布は明らかにな

ったが、夜側の磁場構造と電離層はまだ不明な点が多い。特に真夜中に地表近くの磁力線がどのように供給されるのか、電離層のイオンは磁気圏尾部中に吹き出しているのか、また夜側電離層のホール(穴)との関係はどうか、等々、これからの探査を待つ面白い問題が山積みしている。

最後に火星はもっとも分かっていない惑星である。一番新しいソ連のフォボスミッションの観測によると、昼側の磁気圏の状況はかなり金星と似ているらしい。しかし同時に、金星では観測されていない高エネルギー粒子が磁気圏の境界面近くで見つかっており、また、磁気圏尾部中で、電離層起源の酸素イオンが太陽風以上のエネルギーまで加速されているのが見つかっている。同様の現象が金星で観測されなかったのは、単に観測装置だけの問題なのか、それとも弱いながらも火星には磁場があってそれが金星との差異を作り出しているのかも不明である。もし弱い磁場があれば、太陽風の圧力の変動により、火星磁気圏の様相が金星型と水星型の間を揺れ動くことも考えられる。

このように、地球型の惑星は、巨大な磁気圏をもつ木星、土星などの外惑星よりもむしろ分かっていないことが多い。水星、金星、火星のどの惑星ミッションを行っても、地球では得られない貴重な手がかりが得られることは間違いない。ぜひ向こう10年間のうちに実現したいものである。

(前沢 洌)



3. 太陽プローブ

太陽系の中心的存在,惑星や彗星で生起する様々な自然現象へのエネルギーの源,太陽を直接探

査しようというのが『太陽プローブ』である。これまで、リモートセンシング的手法でしか観測できなかった領域に探査機を送り込んで、磁場・プ

ラズマ・粒子・波動の直接観測からコロナの加熱 プロセスと太陽風の加速メカニズムを調べようと するものである。NASA/JPLのワーキング・グ ループの検討によると、木星のスイングバイを利 用して4倍の太陽半径まで接近することが可能と いうことである。

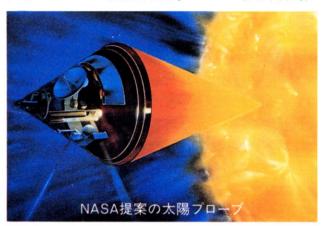
太陽風は、太陽から磁力線を引きずりながら惑星間空間を吹き流れている毎秒数百kmの高速プラズマ流(地球近傍でマッハ数~10)で、太陽系という巨大な太陽磁気圏を構成している。その発生領域はコロナからその周辺部にかけてである。コロナの温度はその下層の光球や彩層の5000~6000度から急上昇して百万度以上にもなっているが、その加熱のメカニズムは何か?そして、それに密接に関連していると考えられている太陽風はどのようにして超音速にまで加速されるのであろうか?この基本的な問題は太陽風発見以来今もって大きな謎である。

その基本線は30年ほど前にパーカーが提唱した ラバル・ノズルのモデルで、太陽重力がロケット のラバル・ノズルのような働きをしていて超音速 の太陽風を放出するというものである。これから すると、コロナのプラズマ温度の高い所が高速流 の源になるが、その後の観測事実はむしろ逆であ った。高速流はコロナ・ホールと呼ばれる低温の 領域から出ていることがわかってきた。コロナ・ ホールでは太陽の磁力線が開いていて、そのこと が太陽風発生の鍵であるのは「プラズマの凍結原 理」から理解できたが、そうすると、低速流の太 陽風はどこからどのようにして放出されているの か?いずれにしても、太陽風加速のメカニズムの 理解にはほど遠い。しかも、太陽風を詳しく観測 すればするほど、不思議なことが幾つも出てきて いる。例えば、太陽風に2つの流速の流れが混在 しているときがあるが、そのプロセスは何か?

太陽風イオンは、主成分のプロトン以外に数% のアルファー粒子、微量の酸素、珪素、鉄等の多 価イオンが含まれている。これらをほぼ同じ流速

に乗せているプロセスは何か?ときには、フレアーに伴ってCME (coronal mass ejection) と呼ばれる大量のガスがコロナから惑星間空間に放出されるが、その正体・メカニズムは?……etc。

これまでの観測は、0.3AUまで探査したへりオス(ESAの惑星間空間探査機)による直接観測と電波星や人工惑星の電波の太陽近傍通過の際のシンチレーションのリモートセンシングに基づいている。これまで出された太陽風の加速に絡む謎を直接観測から突き止めよう、というのが太陽突入プローブ計画である。現実には、熱対策や通信、姿勢制御といった技術革新、それに伴う物質の昇華や放出ガスの観測への影響の評価を続けなければいけない。そう簡単なことでないが、将来ミッションの一つの目標である。 (向井利典)





昨年100号を迎えたISASニュースですが、さらに良いものにしたいと編集 委員一同頑張っております。その後の 第一弾として組まれた特集:太陽地球

系科学ですが、いかがでしたでしょうか。昨年2月に打ち上げられた「あけばの」の結果を中心に、この分野の専門家の皆様にご執筆戴きました。宇宙科学研究所の研究の一端をご紹介しつつ今我国に於て衛星研究がいかに進められているかをお伝え出来ればと思ってます。ISASニュースでは、今後も種々の特集や企画を組みたいと計画しています。是非皆様のご意見ご希望をお願いいたします。

ISASニュース No.107 1990.2.

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