

最近の観測衛星と Solar Maximum Mission

— NASA・GSFC だより —

大木 健一郎*

1976 年はバイキング 1・2 号が火星に着陸して、火星面での作業を行い世間の話題を集めているが、筆者が NASA のゴダード宇宙飛行センター (GSFC) に来て今日までの約 1 年半の間にも、観測衛星による宇宙観測は、その計画と実行が着々と進められているようだ、その間に GSFC の手で打ち上げられた主な天文観測衛星だけでも数個あり、その打ち上げの都度ここ GSFC でも打ち上げ基地から直接送られて来るテレビ画面が、一般所員にも放映されるので、その模様を見学できた。特に昨年 6 月の OSO-6 のときは、GSFC の中枢とも言われるコントロール・ルームの中へ、幸いプロジェクト・マネージャーからの招待を受けた。そこで、NASA がいかにして科学衛星を打ち上げ、世界中に分布している地上管制システムからの情報を一カ所に集めているかを、つぶさに見ることができ、その組織力の巨大さに驚かされた。その他に記憶に残っている衛星は、OSO-8 の少し前の SAS-3 で、X 線のモジュレーション・コリメータを積んでいるので、最近話題となった宇宙 X 線バーストや X 線パルサーの位置を次々と決定している。それから 1975 年夏には上記のバイキング 1・2 号が相ついで打ち上げられ一年後 1976 年夏のアメリア独立 200 年祭と時を同じくするべく火星をめざした。1976 年 1 月には、ヘリオス 2 号がタイタンという大型ロケットで、地球よりも太陽にずっと近い惑星軌道に打ち上げられ、西ドイツと共同でその後の作業が進められている。変り種としては、今年 6 月に打ち上げられた Relativity 衛星がある。この衛星は水素メーザーの原子時計を載せており、地上に置かれた同型の時計と衛星からの telemetry を比較することができる。アインシュタインによって考え出された相対性理論が正しいとすれば、telemetry によって送られて来る衛星上の時計の振動は地上のものより早くならねばならない。また、赤方変位実験は、時空の重力によるひずみを実証することになる。参考までに、この実験は Astrophysical Observatory of the Smithsonian Institute の Robert Vessot と M. W. Levine が行っている。

もう一つ、これから数年以上にわたって太陽 X 線、UV 等の連続観測に大きく貢献すると思われるのが、Naval

Reserch Laboratory の SOLRAD 11 A, B で、1976 年 3 月に打ち上げられた。別名を SOLRAD-Hi と呼ばれるごとく、7 万海里 (約 13 万 km) の高度の円軌道に A, B 2 つの全く同型の衛星を、軌道上 180° 離して打ち上げたものである。だから図 1 に示されているように、地球上の一点だけの衛星電波受信所だけでも、かわるがわる視界に入ってくる A, B 2 つの衛星からの電波を受ければ、100% に近い太陽観測時間を得られる。もちろん、常時 2 点以上の受信所が動いているそうだから、普通の衛星のように、一たんテープレコーダに入れたデータではなく、リアル・タイムのデータを 100% の時間受信できるわけだ。したがってデータ伝送量も多くなり、各観測器の時間分解能も飛躍的に高くなっている。また観測器の数も従来よりはるかに充実し、0.5-460 MeV の α 粒子と 0.5-100 MeV の陽子の検出器も含め、硬 X 線から可視光までの 25 種もの観測器が A, B 2 つの衛星に各々搭載されている。

次に OSO-8 でもたらされた成果のうち最近のものいくつかを紹介してみよう。この衛星は OSO シリーズ最後の衛星となるはずだが、1975 年という太陽活動最小期に近い年に打ち上げられたので、太陽観測は最小限とし、宇宙 X 線観測器が多く含まれている。図 2 にあるように、SAIL と呼ばれる太陽電池パネルの上に 2 つの UV の観

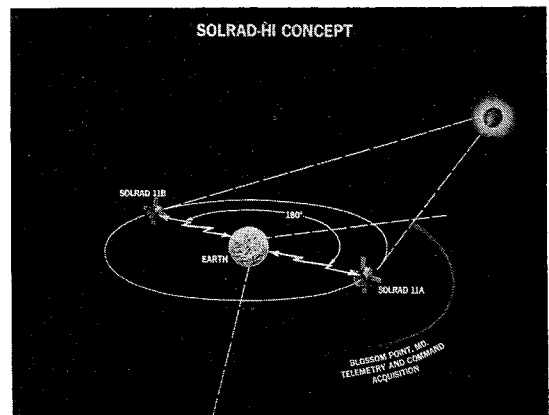


図 1 1976 年 3 月に打上げられた Naval Research Laboratory の 2 つの太陽観測衛星 SOLRAD 11 A, B の軌道概念図。

* 東京天文台 K. Ohki

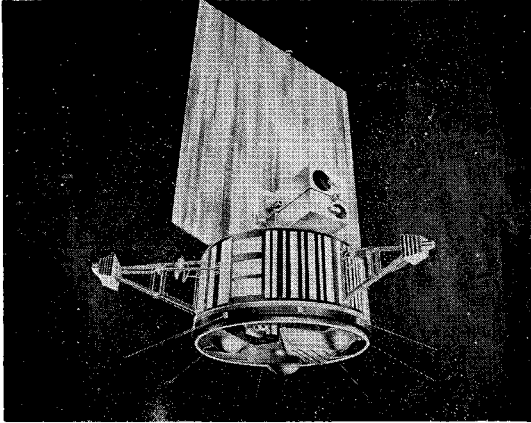


図 2 1975 年 6 月, デルタ型ロケットにより 560 km の軌道に打上げられた後, 太陽紫外線スペクトル観測及び宇宙 X 線観測等を行っている OSO-8.

測器が載せられて, 常に精度よく太陽面を向いている他は, 6 個の観測器が Wheel Assembly と呼ばれる SAIL の下の回転する円筒形部分に収められ, 主として宇宙 X 線の観測をしている. その内の 2 つが, GSFC の Serlemitsos グループと Frost グループの各々 2-60 keV と 10-1000 keV の宇宙 X 線スペクトル観測器である. 回転する Wheel に載せられているとは言え, 2-1000 keV という広いエネルギー範囲で高感度・高時間分解能のエネルギースペクトルの観測は, 始めてであろう. Spin 軸方向の周囲の 5 度の範囲だけの空を scan するようにセットされているので, スピン軸をどの X 線天体に向けるかを 3 カ月に 1 回皆で集まって, にぎやかに議論して, その計画を決めている. 原則として, 1 つの X 線源に, 数日間の観測時間が割り当てられている. ブラックホール最有力候補とされている Cyg-X 1 は, 2-200 keV という広いエネルギー範囲で power law 型のスペクトルを持つことを知られているが, 実はこれが, 常時単純な power law であるのではなく, 時折, 奇妙な変化をすることが最近の観測から明らかになった. 2-200 keV の power law 型スペクトルをシーソーの台に例えるならば, 約 7 keV のところを支点として, 低エネルギー側がもち上がり高いエネルギー側が下がるという動きかたをする. シーソーの両端で約 2-3 倍 X 線フラックスが増加, 或いは減少する. GSFC の Holt によると Ariel 5 という別の衛星の連続観測からも, このような変化で低エネルギー端のフラックス変化が 10 倍くらいのもが見つかっている. OSO-8 で見つけた程度の変化の方が頻度が多いらしく, 5.6 日の周期性もあるらしいと思われる. これらの観測事実は, ブラック・ホールの近くで X 線を放射している場所のモデルについて新しい

問題をなげかけ, 硬 X 線が逆コンプトン効果で放射されているという仮説をより確かなものにすると思われる. もう一つ OSO-8 はラジオ銀河の Cen A も時々見ているのだが, 驚いたことには, このような遠くの銀河の中心付近から出ていると思われる X 線ですら時間変化していたのである. Uhuru の 1971 年の観測と比べると, 1975 年には 2-6 keV のフラックスが約 4 倍に増加している. もう少し連続的に見てみると, 1969-1972 年の間は, ほぼフラックス一定で, 1974 年の 1 年間に急に増加し, 1976 年には再び下がって来ている. 2-3 年の継続時間を持った大規模なバーストのような現象が銀河中心付近で起こっているのだろうか.

ここで話題を変えて, 将来の計画について, 特に Solar Maximum Mission (SMM, 図 3 参照) に限定して述べてみよう. 将来とは言っても, この計画は 1979 年に実行すべく, 最近になって予算を認められたものである. 実にこの SMM 予算の認可に伴い, 筆者のいる GSFC 21 号館の 1 階フロアは, 俄かに活気を帯び騒々しくなったようである. というのも, もちろん GSFC で世話をする衛星だし, NASA の天文科学衛星としても OSO シリーズより更に大型のものである. 7 項目の観測計画の多くの部分に GSFC の人々が参加している. 因みに衛星の総重量は, OSO では最大の OSO-8 の 2346 ポンドに対して, 3900 ポンドで, 搭載観測器重量では 2 倍以上になるだろう. しかもすべての観測器を絶対精度 ± 5 秒角で太陽面のどこにでも向けることができるし, その安定度も ± 1.5 秒角と言われている. 使用できる電力量も 800 ワットというもので, 日本の科学衛星に参加している我々にとっては全く夢のような数字である. 従って予

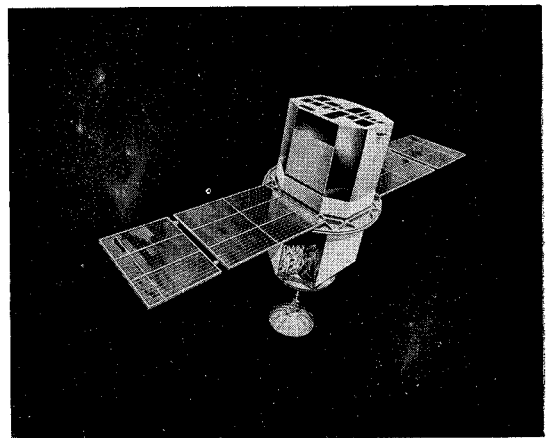


図 3 1979 年に打上げが予定されている SMM (Solar Maximum Mission) 衛星の想像図, 太陽電池パネルから上が太陽の方を精度よく向いたまま静止し, 7 項目の観測が行われる.

算の方も、OSO-8 の約3千8百万ドルに対して、SMM は約7千万ドルというふうに増加している。いかに米国でも、これからはこのように高価なものを2-3年で使い捨てにするわけにもいかないらしく、スペース・シャトルにより回収され、地上で修理した後に再使用されることである。

ところで、このSMMのハイライトは、何と言ってもスカイラプの観測で見つかった coronal transient (フレアのときの白色光観測で、多量の物質を含むプラズマ雲か或いはアーチ状のものが、コロナ中を急速に広がって行くのが、太陽半径の数倍以上のところまで見えたもの)を含む白色光コロナの連続観測である。今度は更にコロナの直線偏光を測り、7.5秒角の分解能で磁力線の形まで描き出そうとしている。何しろ、何年間に1回、それもわずかに数秒間しか与えられない日食観測のようなチャンスを、宇宙空間という絶好の環境で、数年間にわたって連続的に与えられるのだから、その利点は明らかである。もう一つのSMMのハイライトは、高分解能

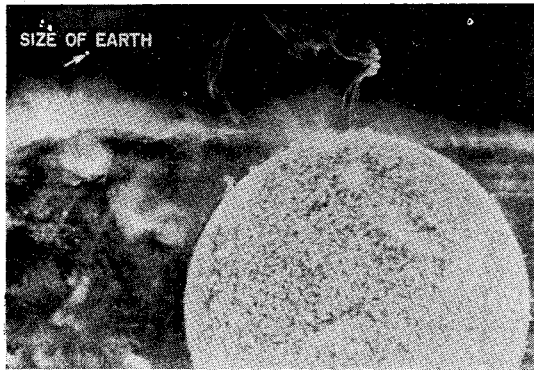


図4 スカイラプに搭載された観測器のうちの一つ Naval Research Laboratory の XUV スペクトロヘリオグラフで撮影された太陽の XUV スペクトルの一コマ。写真にあるように、各スペクトル線で見えた太陽像が横方向に並んでいる。フレアや活動領域のように形の小さいものは、このような写真が連続する 150-630 Å の全範囲では、数百本のスペクトル線に対応するものが分離して見える。太陽像全体とかコロナ中の大きい形のもの、ちょうど、この写真にあるように、強いスペクトル線の数比較的少ない 300 Å 付近では、はっきり分離して見える。写真の He II 304 Å では、フレア直後の噴出物質が、高さ 50 km 以上まで広がっているのが見えるが、左側の Fe XIV 284 Å では、そのような広がった形状は見えない。つまり、このフレア噴出物質は、Fe XIV 線を放射する百万度ぐらいのプラズマではなく、ずっと低温のプラズマであることがわかる。噴出物質の複雑な形状についての説文は本文中を参照。

UV 偏波スペクトル計と呼ばれるものである。これは、1秒角の分解能で、1100-3000 Å の範囲を 0.01 Å のスペクトル分解能で、任意の4本のスペクトル線を選び出し、scan することもでき、また任意のスペクトル線で見えた太陽面図を、直ちに描き出すこともできる。しかし、ここまでの性能なら、従来の OSO シリーズでの UV 観測の諸性能を1桁程度改善させたのに留まるが、この器械が、決定的に以前と違うのは、これは本質的には、マグネトグラフを宇宙空間に持ち込む最初のものとなることだ。即ち、偏波成分の4つのストークス・パラメータを同時に任意の2本のスペクトル線について決定することができる。これらの性能の意味するところは、彩層、遷移領域、コロナにわたって、同時に物理パラメータ (T , n_e , v , B) を、フレアのように速い時間変化にも対応できる高時間分解能で決定してしまうことになる。但し、上記の v は、例えばフレア・プラズマの速度場で、1~2 km/sec までわかるという。 B は磁力線の強さと方向で、視線方向に対する B の成分 (B_{\perp} , B_{\parallel}) は、各々のストークス・パラメータから計算される。最も強いスペクトル線を使うと、 $|B|$ は 50 ガウス以上の磁場なら少くともわかると考えられている。これによって、フレアの活動そのものである高温度プラズマと磁場の変化がわかり、本質的な解明をもたらすことが期待されている。例えば、図4の写真にある He II 304 Å 線で観測されたフレア噴出物質は、2.5秒毎に撮影された連続写真があるのだが、それらの写真によると、最初フレアによって噴出されたガスは、コロナ中を急速に広がった後、何か見えない壁に阻まれたかのように止められてしまう。そして、それらの物質の一部は、可視光でも見られる 'coronal rain' のように、細い糸状に分かれ太陽面に落ちて行く。このような物質の動きを見ていると、磁場だけが支配的でガスの運動を規制しているとも思えないし、重力場或いはガス圧だけが支配的とも思えない。つまり、何がこのような複雑な物質の動きを支配しているかは、このような形態学的議論だけから決定的なことは言えないのだろう。彩層における H α 線だけで見た従来のフレアの形態学的議論もしかりである。そこで前記のパラメータ (T , n_e , v , B) が、分解能1秒角の太陽像上で決められてしまうことの大切さが、明らかとなる。

SMM にはその他に、オランダのグループの硬X線像観測も衛星観測では初めてのものとして登場する。これは、日本で初めての天文衛星 ASTRO-A で、我々のグループが小田式コリメータを使って、やろうとしているフレアの硬X線像観測にとって強敵となるだろう。オランダのグループの場合、検出器としては、受光面に2次元に並んだ 1024 個のミニ比例計数管を使っているので、最高エネルギーを 30 keV までしかとれず、果たし

てフレアーの硬X線成分を捉えられるのかどうか疑問もある。なぜなら、最近筆者とGSFCのK. Frostとが共同で行ったOSO-5の硬X線スペクトルの解析によれば、少なくとも大きなフレアーでは、 10^8 K以上の超高温プラズマが確かに存在し、したがって、数10 keV以下のX線フラックスには、マイクロ波電波をも放射している非熱的成分（これを真の硬X線成分と名づければ）の含まれる割合は少ないのではないと思われるからである。いずれにしても、1979年の観測結果が待遠しい。我々のグループとしては、上記の理由で、最高検出エネルギーを30 keV以上のできるだけ高いところまで観測して勝負をするべきだと思う。我々の場合、X線検出器は普通のシンチレータだから、原理的に、もっと高エネルギーまで観測できるからである。

紙面には限りがあるので、SMM計画についてしか述べられなかったが、この他にも、Uhuru等のSASシリーズの後にHEAOによる宇宙X線の観測計画があり、1980年以降のよいスペース・シャトルの時代に入る。ここGSFCでも、シャトルに載せる天文観測器が、既に現実のものとして、実行に移されつつあり、各Project Scientistと各メーカーとの交渉に、筆者も何度か同席させてもらい、それらの計画を目のあたりにすることが出来た。OSO, SAS等を宇宙観測の第一世代とするなら、

現在は既に新しい第2世代の幕あけにあたるのだろうか。第一世代では、宇宙空間という全く未知のフロンティアで、新しい波長域の観測に挑んで成功すれば、殆んどの場合、何かの新しい発見につながるという幸福な時代であったのに比べ、第2世代では、より洗練された観測器とアイデアで臨まねばならずその結果、種々の観測・研究計画のうち淘汰されたもののみが残って行くという、より厳しい環境に移って行くことだろう。しかし、観測器についても、その感度と空間・スペクトル・時間いずれの分解能も、まだまだ向上を望めるものが多く、当分は天文学に残されたフロンティアであることには違いないだろう。ともかく、シャトルと共にいよいよやってくる本格化する宇宙観測の時代に肌を感じるような今日のごころである。

掲 示 板 I

第7回彗星会議の開催

本年の彗星会議は、次の通り開催されます。

日時：1977年3月26日(土)、27日(日)の2日間。

会場：神戸市北区箕谷 グリーン スポーツ ホテル

くわしくは 明石天文科学館 (Tel: 078-911-5826) 内
河野健三氏 宛にお問い合わせ下さい。

わが国唯一の天体観測雑誌

天文ガイド

定価240円(〒45円) 77-4月号・3月5日発売!

●4月号のおもな内容

- ★春の夜空の観測は、まず春の二重星の観測から始めましょう。岡田好之さんの解説。そしてもう一つメシエ探訪はおなじみ大野裕明さんです。
- ★今年の春は「おとめ座流星群」と「こと座流星群」の観測条件が最良。春の流星観測は、藪保男さんの解説です。
- ★4月は、夕刻西の空に、なかなか見られない水星が姿を現わします。夕方見るには4月が一番条件がよい時。
- ★グリグ・シユレルuppという彗星が接近してきます。写真撮影には対象です。狙ってみましょう。
- ★限界線星食とはなに? ★4月星座 ★連星系…ほか

ふじい旭の 新星座絵図

本書はイラストレーターふじい氏が精魂をこめて描きあげた、まったく新しい星座の絵で、全ページ2色刷り、88星座を全部紹介しています。軽妙なエッセイを配し、いままでにないユニークな天文書です。

●ふじい旭著/A5変型・170ページ・1,200円発売中

天体望遠鏡製作 ハンドブック

5cm級の小型望遠鏡から20cm級の大形望遠鏡まで、木製部品の作り方から鉄工所への依頼法、図面のひき方までいろいろな工作法を、写真や図をつけて具体的に説明しました。巻末には観測小屋の自作法も加えました。

●川村幹夫著/B6判・280ページ・1,500円好評発売中

誠文堂新光社

東京都千代田区神田錦町1-5
振替東京7-6294 電話03(292)1211