

# スペース天文学の新しい技術

— IAU 第41 シンポジウム —

小 田 稔\*

1970年8月10日~14日、表記のシンポジウムがひらかれた。これは人工衛星、ロケット、気球による天文学観測の技術ということで $\gamma$ 線、X線、UV、電波の4つのセッションからなっていた。

場所はミュンヘン郊外 Gauching にある Extraterrestische Physik のマックス・プランク研究所であった。この所長 Lüst はピアマンの弟子で惑星間空間や星間空間での宇宙線のふるまいについての理論的な仕事で1950年代後半から、宇宙線屋にとってはおなじみの人である。最近では科学行政の面でもっぱら腕をふるい、ドイツの科学庁、ヨーロッパの宇宙科学庁での重要な存在になっている。Lüst は数年前から、大気圏外にロケットや人工衛星によってバリウムの蒸気を放出し、これが太陽光によって電離し空間の電場、磁場によってドリフトする様子を地上から観測することによって宇宙空間プラズマの中の電場をしらべるという方法を創始した。この観測は世界各地のロケット基地から数十回にわたって行なわれている。Lüst の研究所は主力が(研究者が少なくとも15人はいったと思った)この観測やその基礎になる実験室研究にむけられ、がっちりとした研究がすすめられている。

もう一つの重点はガンマ線天文学にむけられている。これは Pinkau が主になって、現在はアメリカで行なわれる気球観測であるが、次のヨーロッパの科学衛星の主テーマの1つとして予定され準備されている。余談だがこの Spark chamber が主になっている気球観測装置1個の値段が、現在宇宙研で西村さんが実施している1年間の気球観測全部の費用とほぼ同じであることには大分考えさせられてしまった。もっともそれにしても成果の方はもう一息と頭をかしげるむきもかなりあるようではある。

さて、シンポジウムだが、UVと電波については末元先生が11月号で紹介して居られるので私は $\gamma$ 線とX線の話に限ることにする。

X線天文学は1962年にはじめられた若い分野である。 $\gamma$ 線天文学は1950年頃に早川さんほか数人の理論家に

よって提唱されてはいたが、実際に宇宙 $\gamma$ 線がはっきり観測され出したのはほんの数年前からのことである。この若い分野について、同じく IAU のシンポジウムとしてはじめてX線、 $\gamma$ 線天文学と銘をうった会合が1969年5月ローマで催されたのだった。天文学とはいっても、まだ「学」といえるほどの体裁が整っているわけではなく、末元先生がいて居られるように、今のところほとんどが高エネルギー物理、あるいは宇宙線から転向してきたものがたざざわっている分野である。

8月10日、まず $\gamma$ 線天文学について MIT の Clark がレビューをした。Clark は Kraushaar, Garmire とチームを組んで、人工衛星 OSO-III号によってはじめて本格的に宇宙 $\gamma$ 線の観測を行なった。この観測は星間空間で高エネルギー宇宙線と星間物質とが衝突して出来る $\pi^0$ (中性中間子)が崩壊して出来る平均100 MeVのエネルギーをもつ $\gamma$ 線をとらえようとするものである。この観測は1950年代の終わりに企画され、まず1961年にはエクスペローラ11号によって最初の観測がなされた。

元来このプロセスによる $\gamma$ 線はその強度が極めて小さいために、宇宙線が衛星の中でつくる2次 $\gamma$ 線と区別するために慎重な技術的な配慮がなされなければならない。この最初の観測ではこの点で、充分に質の良い結果が得られたとはいいい難いものだった。OSO-IIIによる観測ではじめて銀河面、特に銀河中心に近い方向に強い宇宙 $\gamma$ 線を認めたのだった。ただし、その強度は $\pi^0$ - $\gamma$ プロセスとして予想されたものより1桁以上強いということが問題とされていたが、このレビューで Clark は、理論的予想がやや増えること、実験結果の解析の誤りから観測結果を少し落せることから、この食い違いがほぼ2倍ほどになっていることを示した。

天空のあらゆる方向からほぼ一樣にくる数十 MeV 以下のX線- $\gamma$ 線成分がある。これは多くの人工衛星、気球観測データがあって、どうやらそのすべてを総合して power law スペクトルが得られてきている。この成分についていろいろな理論的解釈がなされている。

ついで、NASA の Fichtel が $\gamma$ 線天文学の観測技術についてレビューを行なった。 $\gamma$ 線の検出は実験室での

\* 東京大学宇宙航空研究所

Minoru Oda: New Techniques of Space Astronomy

高エネルギー実験につかわれるものと同じ方法で行なわれる。これは、コムプトン効果が主なプロセスである10 MeV 以下のエネルギー領域と電子対創成が主になる高エネルギー領域とでほぼ2つに大別することが出来る。

低エネルギー領域ではシンチレーション・カウンターの中で $\gamma$ 線がつくるコムプトン電子が検出される。このカウンターは外から入ってくる荷電粒子を避けるために、Anti-counter とか Veto-counter とかよばれる別のシンチレーション・カウンターによってシールドされる。Clark 等 MIT のグループが高エネルギー $\gamma$ 線の観測に使った装置は荷電粒子から充分よくしゃへいされたシンチレーション・カウンターの中で発生する電子対をとらえるものだった。その $\gamma$ 線の方向、したがって電子対の方向はチェレンコフ・カウンターによって得られ、その角分解能はほぼ steradian の程度だった。

これに対して $\gamma$ 線の点源を検出するためには、装置の角分解能が鋭くなれば、それだけ源を見る S/N 比がよくなるわけである。1960年代を通して、Spark chamber を使って電子対の飛跡をとらえ、これによって $\gamma$ 線の入射方向を知ろうとする方法が、多くのグループによって気球を使って試みられた。こうしてえられる角分解能は $1^\circ \sim 2^\circ$  の程度である。これを1970年代の人工衛星に搭載すべくいろいろなデザインが提案され予備実験が行なわれている。飛跡を精密に得るといところが勝負どころであるだけに、機上での情報処理にいろいろこったことが考えられている。

8月11日～12日はX線天文学につかわれた。はじめ、筆者がX線天文学のレビューをした。これまで発見された40にあまるX線星は明らかにすべてが同じカテゴリーに属する天体ではない。そのあるものは超新星の remnant である。(このシンポジウムで Cygnus loop も拵がったX線源であることが報告された。) またあるものは近接連星の性質をそなえているように見える。これまでに、極少数を除いては光学的にも電波でも同定されていない。これはほとんどのX線星の位置が精密にはきめられていないことによるが、光や電波が極めて弱いことがはっきりしているX線星もある。また、昨年夏観測されたようにわずか数ヶ月間輝いて消えていったX線星もある。ほとんどのX線星は我々の銀河系に属しているが、この他に M 87 はほぼ確実に、3C 273 や Cen A も多分X線源である。

Sco X-1 はよく知られているように、1966年に岡山観測所ではじめて光学的に同定されたものである。その後、その光学的特性もだんだん明らかになり、特に光学-X線同時観測がいくつか行なわれ、そのモデルが考えられるようになってきた。光学的にもX線でも時々 flare up することが、気球や人工衛星によって観測されてい

る。

先きのべた Nova のように一時輝いたX線星は、たまたま見つけられたものだけでなく、もっとあるのではな

いか。系統的な天空のサーベイが必要であろう。かに星雲のほぼ中心にある Tau X-1 のX線エネルギーのほぼ10%は光のパルサーと精密に同期していることが1969年に発見された。これはX線天文学にとって特筆すべき大きな事件の一つであった。

現状では、はっきり光学的に同定されたX線源は極めてわずかだが、光学的同定は明らかにX線天文学の今後の最も重要な問題の1つであろう。このためにはX線源の位置決定の技術にもうひと工夫が必要である。

従来は、X線観測は検出法の技術的な制限から、2 keV より硬いX線にほとんどが集中していた。最近極めて軟らかい 1/4 keV 領域とよく呼ばれるエネルギー領域の測定がプラスチックの薄膜の窓をつかってその Carbon-edge によるエネルギーの窓を使って行なわれるようになってきた。この軟らかいX線のみで見られるX線星が二三見つかっている。

X線天文学の極く初期から、X線星のほかに天空からほぼ一樣にくるX線の成分が見つかった。その一樣性からその源は銀河系外と考えられているが、そうならば、もしこれを軟らかいX線で観測するならば星間ガスの吸収によって銀緯の低い領域で弱いことが見えるはずである。ところが事實は、予想より複雑であって、一昨年ローマ・シンポジウムではいろいろなグループの結果をまとめることは出来なかった。これに現在では、技術的困難によることもあるが、実際、軟X線を吸収する星間ガスの分布が大へん複雑なことになっているのだろうと考えられる。

ついで、MIT の Rossi とともにX線天文学の創始者である Giacconi がX線天文学の技術的側面についてレビューを行なった。1960年代にはX線天文学はほとんど観測ロケットに頼ってきたが当然個々の観測時間が短かいということに悩まされてきた。1970年代には多くの人工衛星による観測が予定されており、新しい時代が拓かれるだろう。Giacconi は現在予定されているいくつかの観測の内容を紹介した。人工衛星による観測は特に全天観測に有力であり、遠からずロケット観測の感度のほぼ100倍の感度で数多くのX線星が1～5分角の精度で発見されることだろう。またX線新星の出現も常時モニターされることになるだろう。

Giacconi 達は1 keV 以下の軟X線(ほぼ $10\text{\AA}$ より長波長)については、固体表面に斜めに入射するX線が全反射することを使って、X線の反射望遠鏡をつくり、すでに太陽X線について利用している。この望遠鏡が1970年代後年には大型の人工衛星に搭載されX線天文学にひ

ろく利用されることになるだろう。反射鏡の技術は硬い X線にたいしてすだれコリメーターが使われるのと相補って軟らかい X線の分野に広く使われる傾向にある。最近のロケット観測では短冊型のガラスをブラインド状に並べて、指向性の鋭いコリメーターを形成し Cygnus loop の観測が行なわれている。

つづいて NASA Headquarters で Space Astronomy を扱っている役人、Opp と Roman が現在計画されている衛星についてサーベイした。

いま NASA が計画している科学衛星はかなりの部分が X線、 $\gamma$  線天文学にふりむけられる様子である。まず SAS-A (Small Astronomical Satellite) は大型比例計数管をつんで 1970 年末に打ち上げられる予定であり、X線星の全天サーベイが行なわれるという計画であった。(これは実際に 12月12日アフリカのサン・マルコ基地から打ち上げられ、12月末現在順調に観測をつづけている。) SAS-B は主に  $\gamma$  線天文学にむけられ、ワイヤー・グリッドをつかった Spark chamber によって 1971 年末から観測が行なわれることになっている。SAS-C は 1973年に打ち上げられ、X線天文学に使われる。いろいろな X線星のスペクトルをとる他に軟らかい X線の全天観測によって低銀緯の空の星間ガス分布をしらべることになっている。HEAO (High Energy Astronomy Observatories) はいくつかの大きな重い実験装置を搭載するものである。現在までに HEAO に集った提案は、世界中から 50 を超え、これが 30 ほどに今しぼられ今後さらに 5~6 にしぼられるものようである。この重点は X線と  $\gamma$  線とにむけられるようである。HEAO-A は全長 9m、直径ほぼ 2.5m、重量 4トンの実験装置をつめることになっている。HEAO-A は 1974 年を目標としている。

今回のシンポジウムは現在提案をスクリーンされているいろいろなグループの NASA 当事者に対する宣伝競争のような感じもあった。研究者達がそれぞれの装置の特長や、得られるべき成果について宣伝していた。その個々についてはここではふれないが、いくつかの傾向をまとめてみよう。

1つは、先にのべた斜入射の反射鏡を使った X線望遠鏡がいろいろなデザインで登場してきていること。次にこれは未完成で実際の観測は行なわれていないが、X線の Bragg 反射を使って、X線天体からの線スペクトルを見ようとする試み、X線の偏極をしらべようとする設計が提案されている。これらはいずれも大きな装置にな

り HEAO をねらっている。

硬い X線の精密実験にはすだれコリメーターがいろいろに使われるが、すだれコリメーターを回転させて高い分解能をもたせようという設計がすでに一部ロケット観測に使われている。

筆者は 1969-1970 年天文台の高倉さんのお手伝いをして太陽の X線フレアの観測をしたすだれコリメーターを紹介し、これが将来大型衛星でどのような効果をうむかという話をした。X線フレアはすでに人工衛星によって観測されてはいるが、その分解能は大へん粗いものであって、この高倉さんによる気球観測が人工衛星による観測よりもはるかに高い精度でフレアのサイズと位置とを決定したということは皮肉なこととして受けられた。

これまでよく使われてきた比例計数管は窓に使われる物質の強度の制限からエネルギー領域は 1 keV 以上に限られていたが、最近では強いプラスチックの薄膜を使うことによって先にのべた 1/4 keV 領域に感じるカウンターがよく使われるようになってきた。

シンポジウム全体を通しての印象として、個々の X線源について観測を精密化する方向と、極めて高い感度で X線源をそう索し、また軟 X線にまで観測をひろげることによって多数の X線源をとらえ、統計的に把握しようとする方向とが大きく拓かれつつある。このために Space vehicle が大型化し、作業は国際協同化するという傾向がはっきりしてきている。

古いたとえだが、10年近くを経た X線天文学も大艦巨砲時代をむかえたような感じがする。これにたいして、我々は国際的に協同することによって大艦巨砲にのるか、あるいはこれも古いたとえだが潜水艦による奇襲戦法がまだ有効であるのか慎重に考えなければならないことである。

シンポジウムの中に記者会見があった。私は X線天文学の現状について答えるはずだったが、私への質問はむしろ日本の宇宙計画にアメリカの力がどの位入っているのかを知ろうとすることに集中していた。また、これはどこでも同じことかもしれないが新聞記者の関心は観測の内容よりは、とにかくヨーロッパの力で衛星を廻すということにあったようである。

シンポジウムの最終日の UV は末元先生の守備範囲ということにさせて戴いて、私は Clark と一緒にチロルに山登りに出発してしまった。