

X 線, 粒子線に関するまとめ

早 川 幸 男*

Summary of Sessions on Galactic X-Rays and High Energy Particles

By

Sachio HAYAKAWA

Abstract: It is argued that the observation of extra-solar X-Rays may be regarded as “astronomy”, so that this will be a long lasting field of research. This is in contrast to the case of cosmic ray observation, which is neither of locality nor astronomical. Our observation of high energy particles is thus concerned with local, geophysical phenomena, such as the leakage from the radiation belt and its geophysical effects. Both high energy particles and radiation in cosmic space are synthetically coordinated on the bases of recent big discoveries in astrophysics, and a speculation on the mechanism of X-Ray emission is discussed.

概 要

太陽系外天体で発生するX線の観測は“天文学”として成り立ち得るが、宇宙線の場合は事情が異なる。天文学となれば局所性のない対象でも息長く研究できる。粒子線の研究は“放射線帯からのもれとその影響”という局所的、地球物理学的な面に主力が注がれている。X線と粒子線とを総合して、それを最近の天体物理学における新発見の中で位置づけ、X線の発生機構にふれる。

1. X線・粒子線研究の位置づけ

わが国の宇宙空間研究は地球の近くに重点がかたよっている。主題であるX線と宇宙線は、このシンポジウムでは太陽系外の対象を扱うすべてである。しかし、粒子線の方は重点がむしろ地球近傍にあり、遠方の広大な宇宙を対象にするのはX線だけといってよい。このような地球偏重は、ロケット観測がIGYの一環として始ったこと、IGYの中心人物が旧電離層委員会の人々であったこと、などの歴史的理由が主であろう。

他方において、米ソなどの外国の研究と比べて、地球物理学的観測が局地性の有利さを持

* 名古屋大学理学部

っていることはいなめない。上層風の観測において、日本は卓越風の流れをつなぐ重要な経度に位置し、電離層や地磁気の研究において、日本は Sq 電流の眼玉の下にある幸運に恵まれた。このような特殊性のために、同種の観測が外国で行なわれたとしても、日本でそれを行なうことは十分に意義がある。

日本で行なわれつつある粒子線の観測も、勢い地理的特殊性を生かす方向におもむいている。近藤氏の報告にあったように、日本は放射線帯から遠い所に位置し、ロケットで放射線帯自身を観測するのはむづかしい。その代り放射線帯からもれる粒子の観測は比較的純粋な形で行なえる。それが夜間電離層の維持にどう役立つかも、粒子のもれが一般に少ないだけに、はっきり答えやすい立場にある。

今までに行なわれ、近い将来に計画されている、電子やそれに伴う X 線、d, t, ^3He , ^4He などの重粒子の観測は、上のような地球物理学的意義で評価すべきであろう。それだけに Aeronomy, 磁気圏の動力学との関連を明確にしつつ問題を設定し、実験を計画し、結果を分析することが必要である。

地球物理学に比べて、天文学は局所性といういいわけができないので非常に苦しい。金と経験に恵まれた米国の研究に対抗して、われわれの観測が存立し得るかどうかは深刻な問題であった。そこで議論されたのが、X 線の観測が天文学になり得るかどうかということであった。

天文学は“星の数ほど多く”の対象をもっている。しかもそれが同質ではなく、いろいろな面からの多様性を持ち、個々の星の観測が一つ一つ意義をもち得る。それゆえ多数の星の観測を重ねることが必要で、その研究は大勢の人に長年月開かれる。これに比べて宇宙線は天文学になり得ない。星間磁場のために一様化され、宇宙線という均質な対象になっている。もし実験が正しければ、その観測は各断面について一回づつ行なえばすんでしまうので、新しい断面を限られた時間内にねらわなければならない。これは宇宙線が荷電粒子であるという本性に原因する。

ふく射線は直進するので、天文学になる潜在能力をもっている。しかし X 線天体の数と多様性が知られない間は天文学になり得るかどうかはわからない。たとえば X 線の等方成分は松岡氏の話のように多少の異方性があったとしても、宇宙線と同格のもので天文学にはならない。

小田氏の話は、X 線観測が天文学になる希望を物語っている。第一に X 線源の数は 10 個以上で観測の精密化とともに増えていくようである。第二に X 線源には少なくとも種類ある。

SN (超新星の跡): Tau A, Cas A と同定

RG (電波銀河): Cyg A と同定

Star (?): Sco X-1 のように小さい。

それらは大きさ、エネルギー分布において異なり、それぞれ異なった X 線発生機構が働いているだろう。SN と RG は強い電波源なので、シンクロトロンふく射が X 線領域まで延びているのかもしれない。しかし最も平らな電波スペクトルをもつ Tau A においてさえ、延長した先で X 線の強度を説明するのは無理である。

これらの X 線源について、天文学的な精密な観測が行なわれねばならない。また同時に、

X線という狭い波長領域を離れて、硬 X 線, γ 線, UV, 可視光から赤外領域に観測を延ばすことが望ましい。これらは一つの発生機構から生ずるスペクトルに属するとは限らず、異なる機構の相関を示す場合もあり得る。赤外の問題については、後に述べるように原始星が X線源とすれば重要である。

このように広い波長領域にわたる観測を総合的に行なうロケット (K-10-3) が計画されている。このような試みを重ねて、 γ 線観測が天文学になり得るかどうかという、次の課題への解答が次第に得られるであろう。

X線と粒子線のそれぞれについては、小田、近藤両氏がすぐれた総合報告をしたので今さら繰り返さない。その代り両者を関連させる話を、最近の新発見を基にして話そう。

2. 最近の大きな発見

ふく射線・粒子線について最近 5 年間に行なわれた大きな発見は次のものであろう。それは二つの種類にわけられる。

A. その存在が予想されなかった上、今も何ゆえ存在しているか明確な解答が得られてないもの。

B. あらかじめ定性的に存在するだろうと考えられており、その確認によって知識が飛躍的に増し、新しい研究分野が開けるもの。

A に属するものとして次のものをあげられる：

(A・1) X線。ロケットを使って発見された。X線天体はそのエネルギーの大部分を X線領域に放出し、エネルギー発生率はわれわれの銀河系内で最大級に属する。また等方的 X線強度も意外に大きい。強度が大きいためロケット観測に最適のものの一つである。X線天体の数、その多様性から考えて、天文学として成り立つ。

(A・2) QSS (Quasistellar object)。宇宙においてエネルギー発生率が最大 ($\sim 10^{45}$ erg/sec)、最遠 (宇宙半径に近い) の天体である。電波で注目され可視光で同定され、銀河系進化の重要段階にあると考えられる。その色が青いことから、将来 UV 領域での研究が期待される。たとえば red shift した He の線が UV 領域で期待される。また XUV にエネルギー発生率の極大があるかもしれないという模型が杉本によって提案されている。

(A・3) マイクロ波ふく射。3°K の黒体ふく射らしいことが、波長 4mm までの観測で支持されている。強度極大を越えて赤外領域に至るスペクトルの観測が、大気圏外で行なわれるであろう。このエネルギー密度は可視光のそれより大きく、X・ γ 線天文学に重要な役割を演ずる。

以上の三つは、宇宙のエネルギー解放に重要な部分を占め、宇宙のエネルギー収支を考える上に見落すことができないものであるのみならず、宇宙の進化や物理学の基本法則を解くかぎを秘めているように思われる。

B に属する発見は、A の三項と密接に関係している。その天体物理学的重要性は A に匹敵するが、その荷うエネルギー総量が小さい点と、発見に至る歴史的過程で A と区別される。

(B・1) 宇宙線のエネルギーの上限。10²⁰ eV という高エネルギーの宇宙線が見出され

た。それは多分 QSS の進化した段階に当る電波銀河で加速されたものであろう。 10^{20} eV 以上になるとマイクロ波と衝突して中間子を発生する過程が効き、それ以上で宇宙線強度は急激に減ると予想される。そのような宇宙線の観測には、空気シャワーのつくる大気の電離柱、シャワー電子のコヒーレントな電波放出、瞬発大気光、月面下での放射線損傷等が利用されるであろう。

(B・2) 高エネルギー電子。マイクロ波との衝突が電子のエネルギー損失に大きく効き、宇宙線の銀河系内の寿命を τ 年とすると、 $E \approx (10^8/\tau)$ GeV でスペクトルが折れ曲るであろう。電子が銀河系外に放出される割合は τ に逆比例し、これによって銀河系間空間での電子強度が決る。銀河系間電子のスペクトルはもっと低いエネルギーで折れ曲り、それがマイクロ波と衝突して $\sim E^{-2.2} dE$ のスペクトルの等方 X 線が期待される。

(B・3) 高エネルギー γ 線。上の過程が正しければ、そのスペクトルが硬 X 線から MeV 領域まで延びているであろう。数十 MeV 以上では電子の起源と共通する中間子の崩壊が原因となる。これらはまだ実験的に確認されておらず、電子と共に正に大気圏外での観測に好適な問題である。 γ 線が観測されれば、X 線同様天文学になり得るであろう。現在確からしいのは、チャカルタ山上の空気シャワーで観測された $\sim 10^6$ GeV の γ 線である。これは宇宙線と星の光との衝突で生じたものであろう。もっとエネルギーが高くなると、 γ 線はマイクロ波との衝突による電子対発生のため強く吸収される。

(B・4) 地磁気圏境界にある電子。磁場の変動による加速機構を知る好例である。地球磁場では加速が数十 keV までで、電子強度は $10^9 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ 程度である。それが数十 MeV まで加速されれば（これは太陽表面では起っている）、逆ユムプトン効果で X 線を出し得る。ただし、星の光は非常に強くないと X 線の強度が足りないから、赤外部で強く可視光は弱い赤外線が候補になる。赤外線は星の生成段階に対応し、収縮のための角運動量放出に伴って大きな磁場の変動が起る。これには宇宙線の加速が伴い、T-Tauri 型星の Li の異常、隕石中の Li の同位体比、D, Li などの起源を説明するのに有利である。

以上はふく射線と粒子線の相互関連を示し、一つの観測が他に対して重要なかぎを与える。これらはロケットのみによっては観測されず、他に多くの適する観測手段がある。

以上に述べた分野は総称して高エネルギー天体物理学と呼ばれるであろう。そして未解決のなぞをほらみながら、宇宙の本性に迫るものと考えられる。

1966年7月23日