

# 銀河 X 線の観測

—K-9M-15 による観測速報—

早川幸男\*・松岡勝  
小川英夫\*・山下広順\*

## The Observation of Galactic X-Rays

—A brief report of preliminary results observed with a rocket, K-9M-15—

By

Satio HAYAKAWA, Masaru MATSUOKA, Hideo OGAWA and Koujun YAMASHITA

**Abstract:** In order to know the intensities and energy spectra of galactic X-ray sources, Tau X-1 and others, three types of Geiger counters which are sensitive to the wavelength ranges of 1.5~3.9, 3.9~7.5 and 7.5~11 Å respectively were used.

Preliminary results were obtained as follows; the flux intensities of X-rays from Crab nebula in the wavelength ranges of 1.5~3.9, 3.9~7.5 and 7.5~11Å were  $0.23 \pm 0.13$ ,  $1.3 \pm 0.8$  and  $6 \pm 3$  photons  $\text{cm}^{-2}\text{sec}^{-1}\text{KeV}^{-1}$  respectively and those of isotropic X-rays in the wavelength region of 1.5~4Å were  $5 \pm 2$  photons  $\text{cm}^{-2}\text{sec}^{-1}\text{sr}^{-1}$ .

### 概 要

銀河 X 線源のうち TauX-1 と他のいろいろなところからのエネルギースペクトルを得るために 1.5~3.9Å, 3.9~7.5Å, 7.5~11Å の 3 領域に主に感度をもつ 3 種のガイガー計数管を K-9M-15 号機に搭載した。この結果, TauX-1 からの X 線強度として上の 3 領域で, それぞれ  $0.23 \pm 0.13$ ,  $1.3 \pm 0.8$ ,  $6 \pm 3$  photons  $\text{cm}^{-2}\text{sec}^{-1}\text{KeV}^{-1}$  であった。また 1.5~3.9Å の銀河 X 線の等方成分は  $5 \pm 2$  photons  $\text{cm}^{-2}\text{sec}^{-1}\text{sr}^{-1}$  であった。

### 1. 実験の目的とその概要

銀河 X 線の発生機構を知るのに, そのエネルギー分布は重要な手がかりを与える[1]. K-9M-12 号機に比例計数管を載せて ScoX-1 等の X 線のエネルギー分布を測ったが[2], 別種の測定器でそれを再測定して結果を確実にすると共に, 低エネルギー部分における異なるグループの結果の食い違いについて答を得るため, 3 種類の GM 計数管を載せて X 線の観測を企てた。

最初はこれを 9 月に行ない, K-9M-12 で観測したのと同じ ScoX-1 や Cyg の X 線源

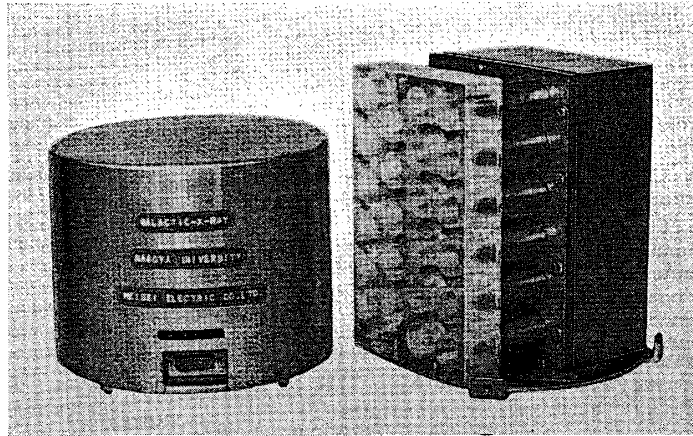
\* 名古屋大学理学部

のエネルギー分布を測る予定であったが、2, 3 の外的障害のため飛しようが3月に延期された。この時期には既知の強い X 線源としては TauX-1 しか見えないが、そのエネルギー分布は気球によって高エネルギー部分でしか測られていない。それゆえ低エネルギー部分でのスペクトルを観測することは十分意味があると考え、当初の目的とずれた時期にあえて実験を行なった。また顕著な X 線源が少ないことを逆に利用して、等方成分、大気成分のスペクトルを得ると共に、新しい X 線源の発見をねらった。

この実験の副次的目的は、X 線測定器としての GM 計数管についての経験を得ることであった。我々が銀河 X 線の観測を 1965 年 3 月に初めて行なって以来 1 年しかたっておらず、経験の浅い我々として、シンチレーション・カウター、比例計数管について、GM 計数管に関する経験を得て、将来の発展に備える必要があると考えた。

GM 計数管は銀河 X 線の発見に用いられて以来、米国ではしばしば使われたが、一定の波長領域における強度を測るだけであった。我々がこの測定器の試作を開始してから、2 種の吸収体を用いて GM 計数管でエネルギー分布を測ることが試みられた。しかし 2 点での強度だけではスペクトルの形を決定できないので、我々は 3 点での強度を測るために 3 種の計数管を用いることにした。

3 種の計数管を 23 個用い、おのおのの一端を薄い窓にした。これに筒状のコリメータをつけ、X 線の到来方向がわかるようにした。製作後半年以上を経たので計数管の劣化が心



第 1 図 銀河 X 線観測装置

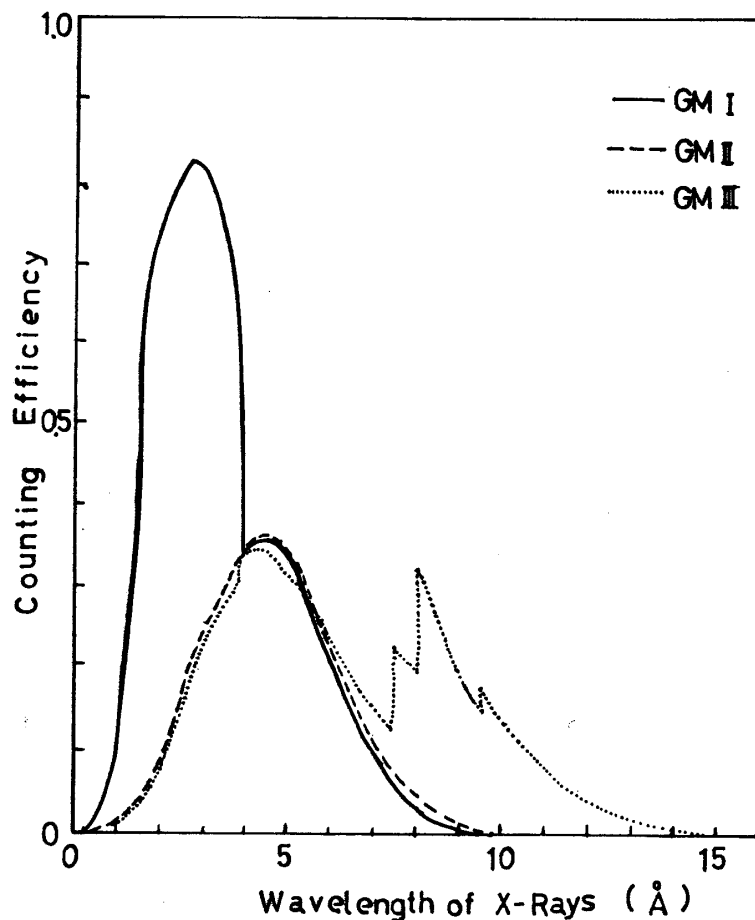
配されたが、幸い全部正常に働いた。各組の計数管同志では anti-coincidence をとって宇宙線を除くことを試みたが、これに役立つ立体角が小さいので、宇宙線による計数が X 線によるものと同程度になった。しかし宇宙線の寄与は異種の計数管の計数を比較することによって差し引くことができ、各波長領域での X 線強度が得られた。

ロケットの姿勢についてのデータがまだ解析されていないので X 線源を正確に同定することは行なわれていないが、西方にある計数率の山を TauX-1 によるとして、そのスペクトルの概要を得た。方向による強度分布を見ると、それ以外にも X 線源があるようで、北方

のは CasA, 東方のは Vir A に対応するかもしれない。これらの山の間にある谷から等方成分の強度が得られる。またさらに低い谷は地球を望む場合と考えられ、それから大気成分強度の上限が求められる。これらの結果は、方向による計数効率の補正を十分にしていないので、まだ予備的のものである。正確な結果は姿勢のデータを待たねばならない。

## 2. 測定装置

GM 計数管は  $25\phi \times 30$  mm の筒型で、その一端に X 線を透過する薄い窓にした。3 種類の計数管の特性を表 1 にまとめた[3]。窓に垂直に入射する X 線に対す計数効率の波長依存性を第 2 図に示した。計数効率は  $^{55}\text{Fe}$  の KX 線を使って調べ、第 2 図の理論値を確かめた。

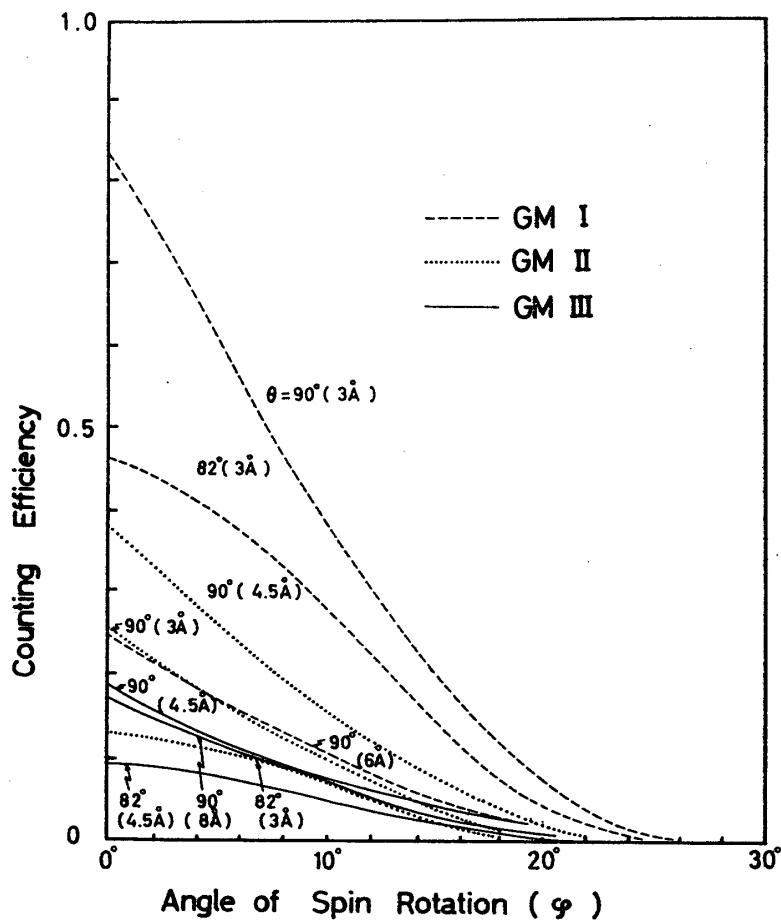


第 2 図 GM 計数管の計数効率

おのおの窓の前に  $25\phi \times 30$  のあなをあけたプラスチックを置きコリメータとした。これによって視野は  $\pm 20^\circ$  に制限される。X 線の入射角による計数効率の変化を第 3 図に示した。これによると有効半値幅は  $\pm 8.5^\circ$  程度である。

第1表 GM 計数管の諸特性

種類	ガス	圧力	窓の物質と厚さ	面積	有感波長領域	個数	テレメータの応答周波数
GMI	Ar	750mmHg	Be 100 $\mu$	4.7cm <sup>2</sup>	1 ~ 3.9 $\text{\AA}$ 3.9 ~ 8 $\text{\AA}$	7	330c/s
GMI	Ne	700mmHg	Be 100 $\mu$	4.7cm <sup>2</sup>	2 ~ 8 $\text{\AA}$	8	220c/s
GMI	Ne	700mmHg	Mica 3.3 $\mu$	2.5cm <sup>2</sup>	2 ~ 7.5 $\text{\AA}$ 7.5 ~ 11 $\text{\AA}$	8	110c/s

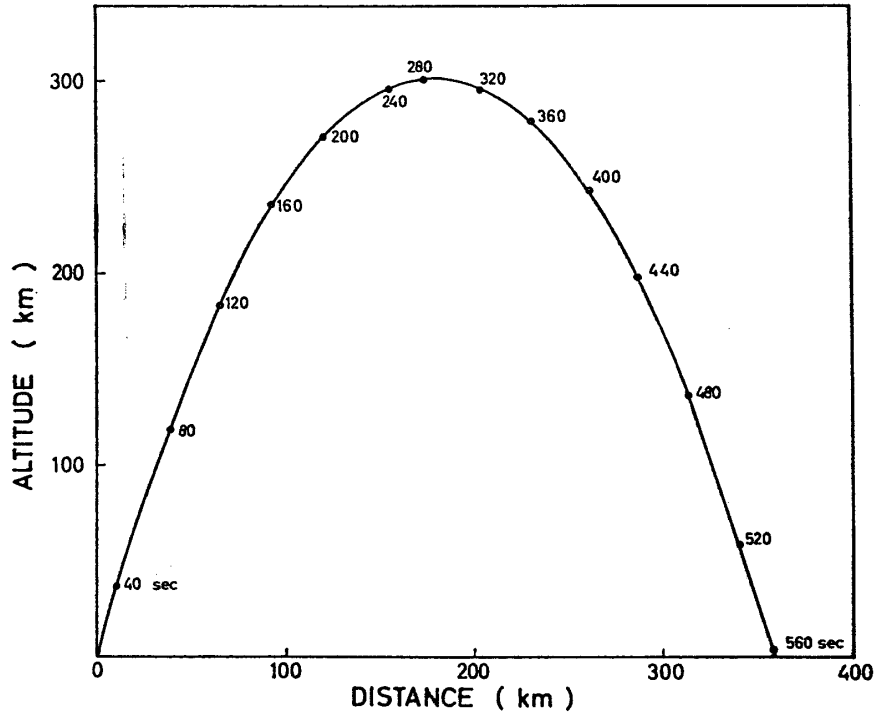


第3図 計数効率と入射角の関係。θはロケット軸と X 線到来方向との角

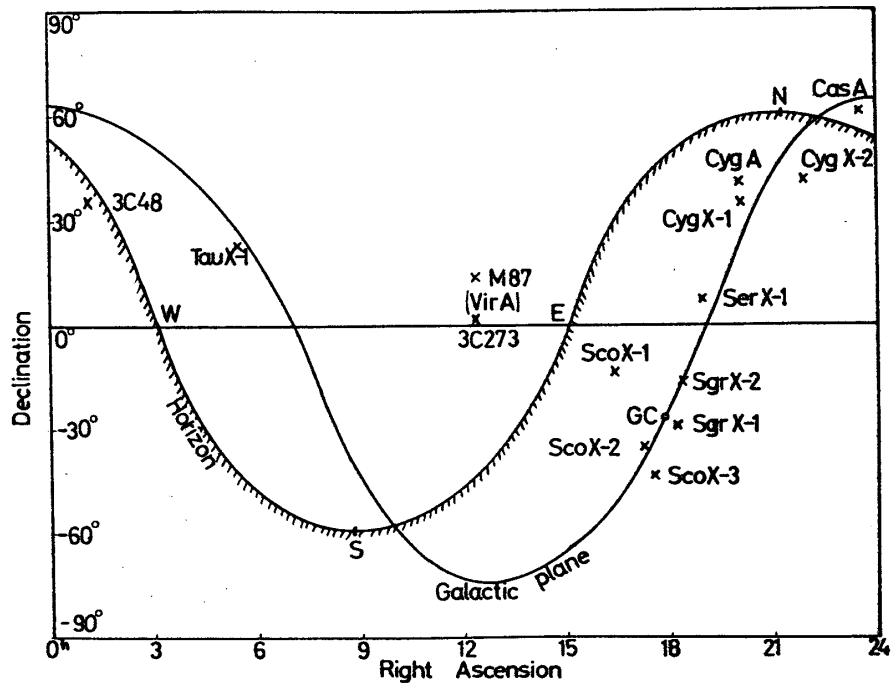
この計数管系は窓面がロケット軸と平行になるように大気光観測装置の下に置かれた。窓の逆側には高圧電源部とプリアンプを納めた気密箱がとりつけられ、他の回路部は別の円筒のケースに納められた。

同種の計数管からの計数は加えられて、一つのテレメータ・チャンネルを通して送られた。これによって時々刻々の X 線の計数が得られた。

ロケットの姿勢は同乗の地磁気姿勢計によって測られた。



第 4 図 K-9M-15 の飛しょう曲線



第 5 図 K-9M-15 で走査した天空

### 3. 実験の諸条件

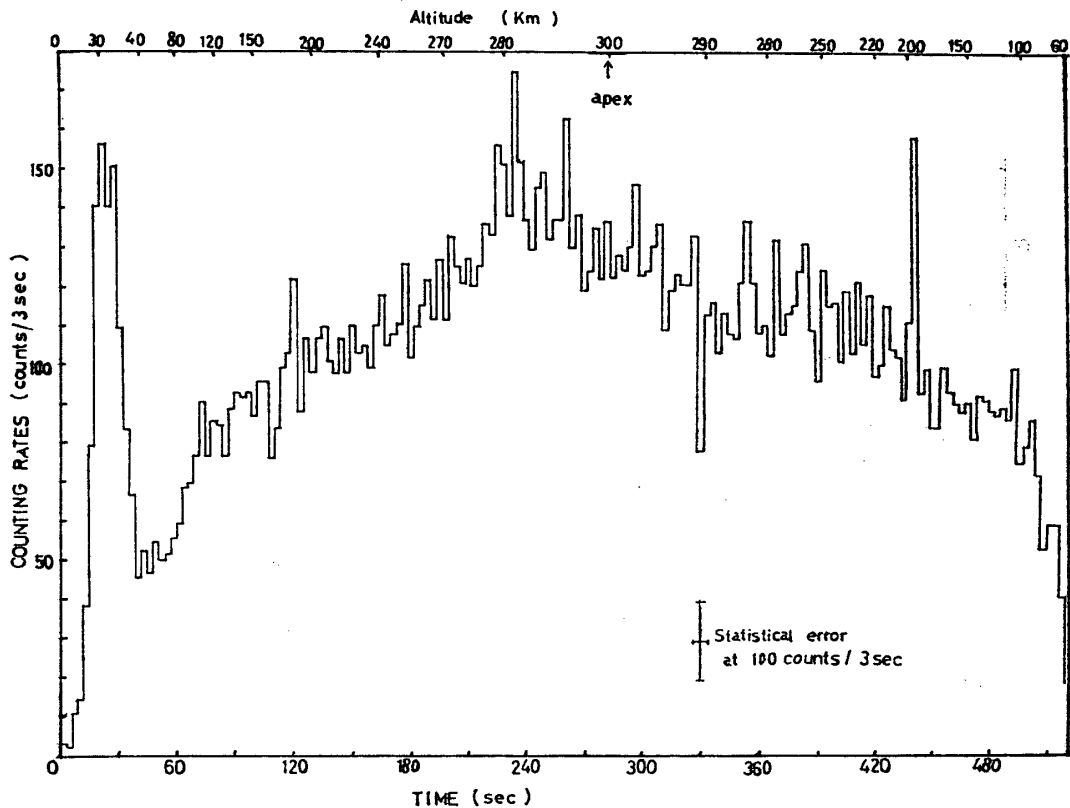
K-9M-15号機は1966年3月20日21時15分、上下角 $78^\circ$ で南々東に向けて発射された。発射後51秒で開頭し、4分40秒で最高高度300kmに達し、9分15秒後に360kmの沖合に落下した。高度と時間の関係を第4図に示す。

発射時の天空の様子を第5図に示す。地平線上にある顕著なX線源はTauX-1だけである。最高高度付近では、CygX-2が地平線すれすれに見える。顕著な電波源としては、北方にCasA、東方にVirA、3C273、西方に3C48がある。

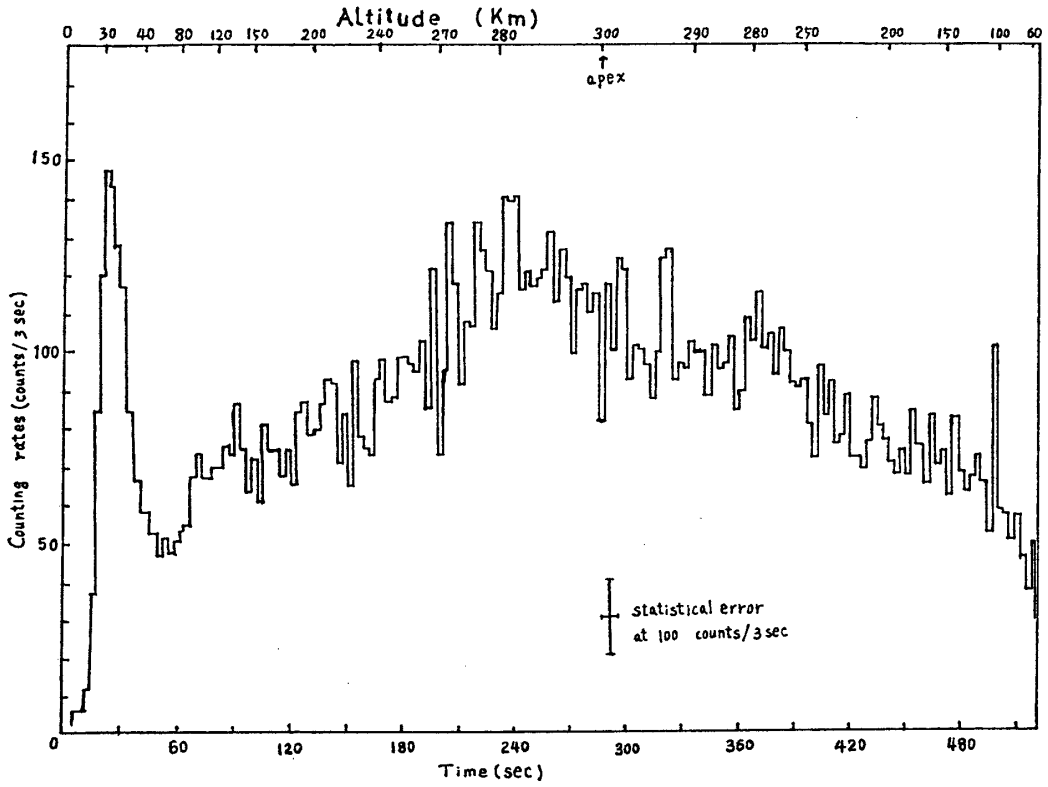
ロケットのスピンは開頭と共におそくなり、周期は約1.5秒であった。プレセッションはおそく、その周期は167秒であった。プレセッションの角度についてはまだ正確にわからないが、 $30^\circ$ 以上はあったと推定される。

### 4. 観測結果

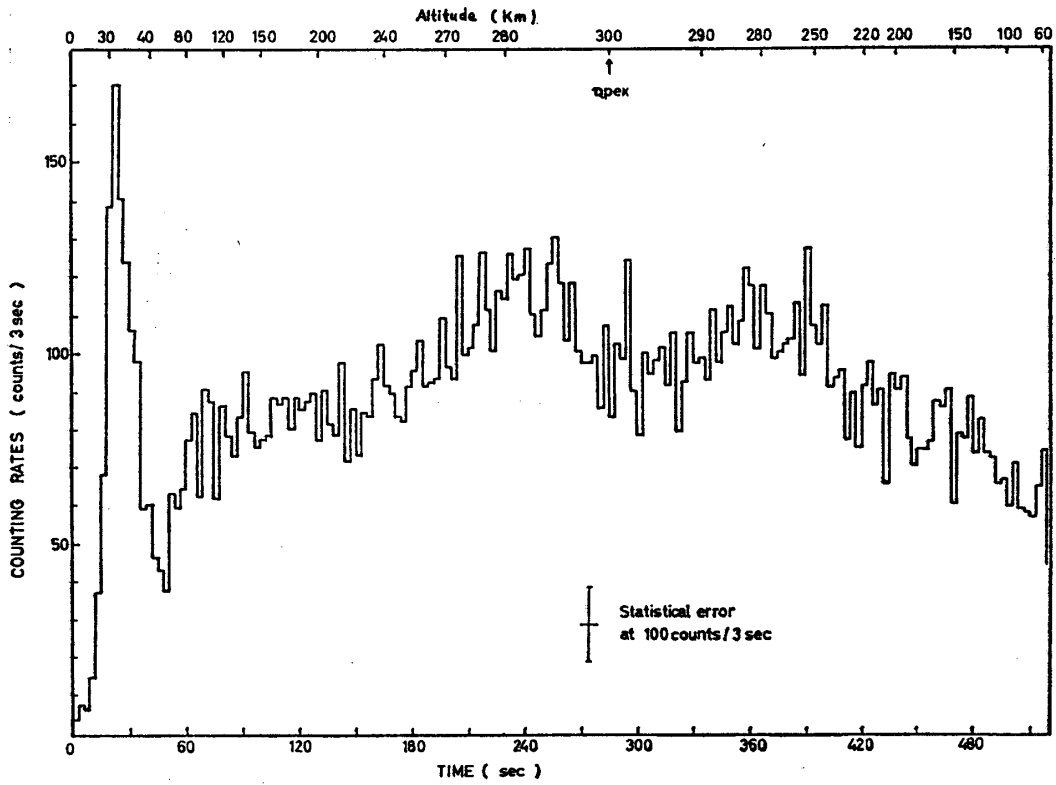
各計数管の計数率を時間に対してプロットしたものを $(C_I(t), C_{II}(t), C_{III}(t))$ を第6図に示す。宇宙線のPfozter極大が著しく現われ、その計数率から、宇宙線に対する各計数管の効率は実際上等しいことがわかる。Pfozter極大は主に軟成分でつくられるので、大気外にお



第6図 各計数管の計数率の時間(高度)変化  
(a) GMIによる計数率 $C_I(t)$



(b) GMII による計数率  $C_{II}(t)$



(c) GMIII による計数率  $C_{III}(t)$

ける宇宙線と組成が異なる。Pfozter 極大を越したところにある極小は主に一次宇宙線によるものである。これに対しても各計数管の宇宙線に対する効率ほぼ等しい。

極小を過ぎて計数率が急激に増すのは、そとからの X 線のためである。計数率が高さと共に上昇を続けるのは、宇宙線の地磁気効果、precipitation particles, X 線の大気成分、X 線源が地平線から現われること、などによる。

このうちまず粒子と X 線による分を分離する。3 種類の計数管は表 1 に示したように三つの波長領域で感度をもつ。各計数管の波長  $\lambda$  に対する計数効率を  $\epsilon_J(\lambda, \theta)$ ,  $J=1, 2, 3$  とすると、窓面の垂線から角  $\theta$  で入射するスペクトル  $j(\lambda)d\lambda$  の X 線に対する計数率は

$$C_{XJ}(\theta) = S_J \int j(\lambda) \epsilon_J(\lambda, \theta) d\lambda, \quad (1)$$

$S_J$  は窓面積。実際の計数率には粒子の寄与が大きいのでそれを差引かねばならない。

Pfozter 極大を過ぎたあとの計数率の極小はほとんど全部宇宙線によるものと考えられる。GMI の計数管 1 個あたりの計数率は、この高さで

$$J_{P1} \approx 2.1/\text{sec}/\text{counter}. \quad (2)$$

高度が増すと、アルベド、地磁気効果、precipitated electrons などのために粒子の計数率が変化する。全体の計数率の高度変化が粒子によるか X 線によるかを見るには、各計数管の計数率の適当な差をとればよい。

II と III は同型の計数管だから、 $C_{II} - C_{III}$  をとれば粒子の寄与が消えるが、第 6 図でわかるように同時に X 線の寄与も相殺する。そこで  $C_I$  と  $C_{II}$  を使い、主として短波長側にある I の高い X 線計数率を利用する。この部分の波長依存性を見れば、計数率はスペクトルの形にひどくはよらないから、第一近似として平らな波長スペクトルを仮定する。こうして有効計数効率を求めると表 2 のようになる。

第 2 表 計 数 効 率 ( $\epsilon_X, \epsilon_P$ )

波長領域 (Å) 計数管	I	II	III
1 (1.5~3.9)	0.775	0.175	0.175
2 (3.9~7.5)	0.233	0.233	0.233
3 (7.5~11)	0	0	0.158
粒 子	1.00	0.84	0.85
個 数 (面 積)	7(1)	8(1)	8(1/2)

これを用いて計数率は

$$C_I = (J_X \epsilon_{X_I} + J_P \epsilon_{P_I}) n_I, \quad (3, I)$$

$$C_{II} = (J_X \epsilon_{X_{II}} + J_P \epsilon_{P_{II}}) n_{II}, \quad (3, II)$$

で表わされる。これから  $J_P$  を消去すると

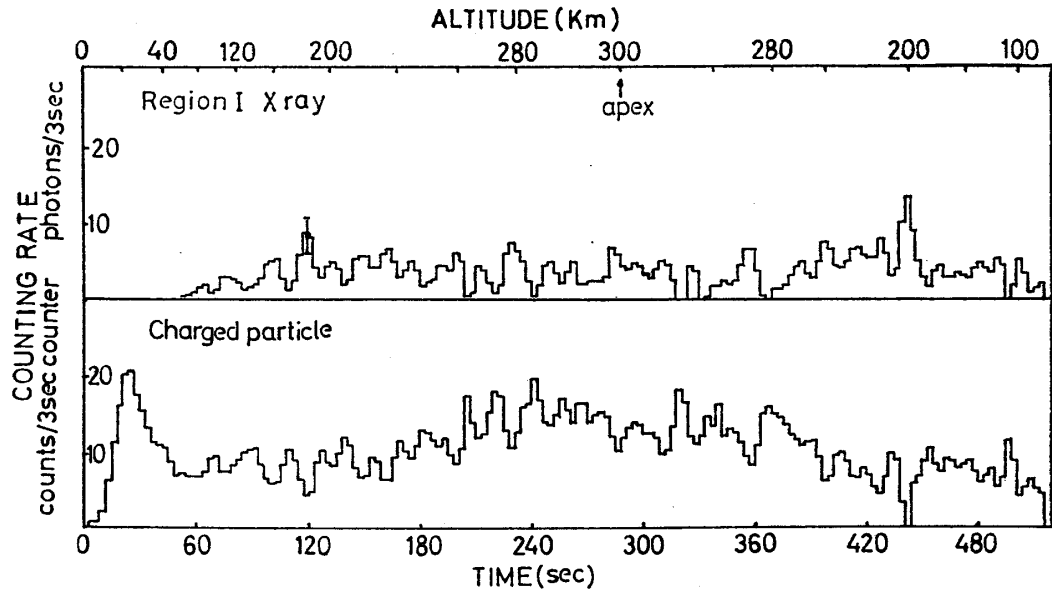
$$C_I n_{II} \epsilon_{P_{II}} - C_{II} n_I \epsilon_{P_I} = n_I n_{II} (J_X \epsilon_{X_I} \epsilon_{P_{II}} - J_X \epsilon_{X_{II}} \epsilon_{P_I}).$$

右辺で  $\epsilon_{P_I} - \epsilon_{P_{II}}$  が小さく、領域 2 で  $\epsilon_{X_I}$  と  $\epsilon_{X_{II}}$  が小さくかつ同程度であることを考慮すれば、大部分の寄与は領域 1 からくる。それゆえ



$$J_{X1} \approx \frac{\epsilon_{P\parallel} n_{\parallel} C_I - \epsilon_{P\perp} n_{\perp} C_{II}}{n_{\perp} n_{\parallel} (\epsilon_{X1} \epsilon_{P\parallel} - \epsilon_{X\parallel} \epsilon_{P\perp})} \approx 0.22(C_I - C_{II}). \quad (4)$$

これを用いてさらに  $J_P$  を求めることができる.  $J_{X1}$  と  $J_P$  の高度変化を第7図に示す. X線強度は 100km 以上・大体一定であるのに比べて, 粒子強度は高さと共に増す.



第7図 X線と粒子強度の高度変化

この方法から 1.5~3.9Å での等方成分の X線強度

$$\int_{1.5}^{3.9} j_{iso}(\lambda) d\lambda \approx 5 \pm 2 \text{ photons cm}^{-2} \text{ sec}^{-1} \text{ sr}^{-1}, \quad (5)$$

を得る. この値は他のグループが得たものとよく一致する. 他の波長領域での強度については, 引算からくる誤差が大きく, 信頼できるデータを出せない.

X線からくる X線のスペクトルを求めるには, 粒子や等方 X線の寄与をあらかじめ引き去って置く, その残りを (1) の  $C_{Xj}$  と考え, 式 (1) を適用する.  $j(\lambda)$  に適当なスペクトルを仮定して  $C_{X1} : C_{X2} : C_{X3}$  を計算し, これを観測値とくらべる. そして一致したものを採用すればよい.

スペクトルとしてべき形と指数関数形の両方を仮定した. その波長スペクトルならびにエネルギー・スペクトルは

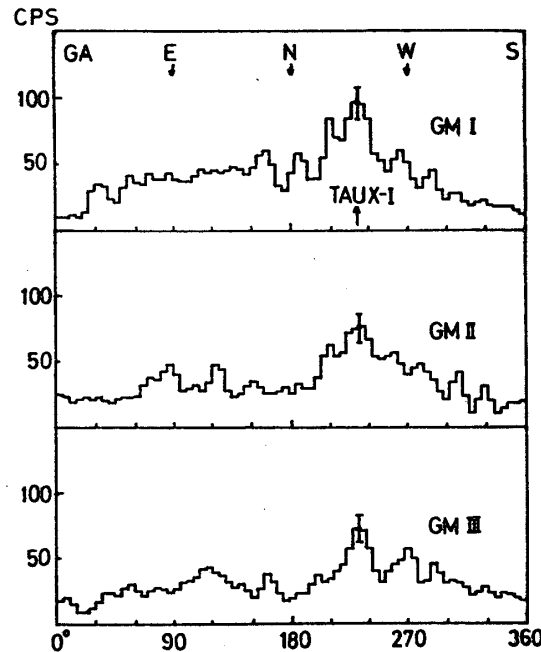
$$j(\lambda) d\lambda = j_0 \left( \frac{\lambda}{\lambda_0} \right)^n \frac{d\lambda}{\lambda_0}, \quad j(E) dE = j_0 \frac{E_0^{n+1}}{E^{n+2}} dE. \quad (6)$$

$$j(\lambda) d\lambda = j_0 e^{-\lambda/\lambda_0} \frac{d\lambda}{\lambda}, \quad j(E) dE = j_0 e^{-E/T} \frac{dE}{E}. \quad (7)$$

これを式 (1) に入れて, パラメータ  $n, T$  を決める.

X線源を見る確率は計数管の姿勢による. それはスピンとプレセッションによって変化する. そこでプレセッションの位相角の狭い範囲に対してスピンによる計数率の変化を重ね

合わず。第 8 図にはこうして求めた X 線強度の方位変化の代表的例を示した。ここで方位は地磁気姿勢計から求めた。



第 8 図 X 線強度のスピンのによる方向変化

第 8 図で北よりの西に見る山は TauX-1 に相当すると考えられる。ほかに 2, 3 の山があるが、統計精度が悪いのとプレセッション角がまだわかっていないので、はっきりしたことはいえない。TauX-1 に相当する山はプレセッションの位相によって高さを変える。この山が最も高くなった場合、計数管は TauX-1 に正面したと推定して、式 (1) で  $\theta=0$  とする。

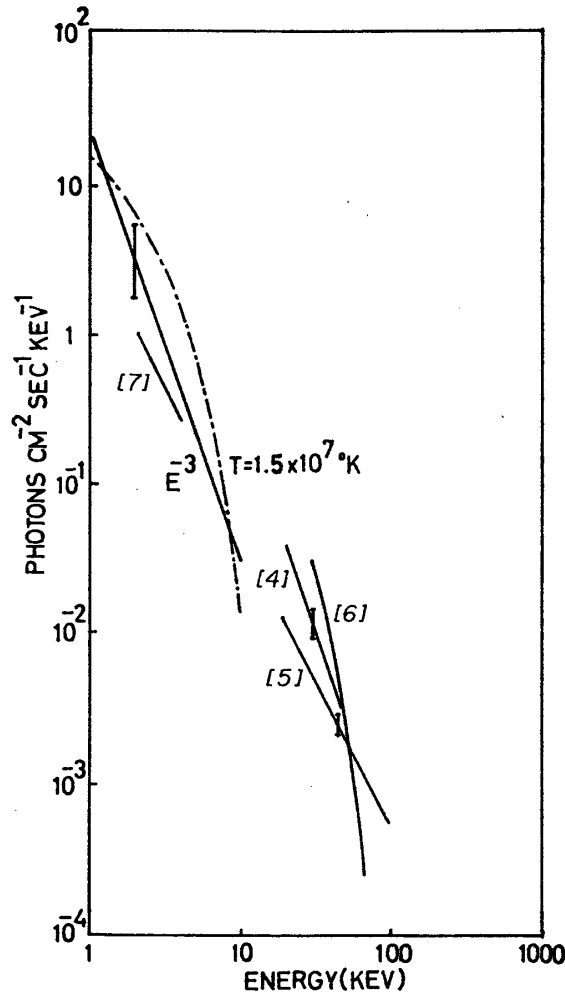
こうして (6) の  $n$  の値、(7) の  $\lambda_T$  の値を変化させて計数率を計算した結果

$$n \approx 1, \lambda_T \approx 9.6 \text{ \AA} (T = 1.5 \times 10^7 \text{ K}), \quad (8)$$

が大体実験に合う計数率の比を与える。これに基づいて求めたエネルギー分布を第 9 図に示した。

表 3 には TauX-1 の X 線強度の実験結果と (8) で仮定して得られる各計数管での強度とが GM I で規格化して比較してある。ここで示した値は絶対強度と計数効率をかけたものである。

第 9 図には比較のため他のグループが得た結果をも示した。低エネルギー領域では NRL グループ [4] の得た絶対値と大体一致する。(6) のべきスペクトルを延長すると、気球で得た Clark [5] の結果と傾斜は一致するが、絶対値は Peterson et al [6] のとつながる。指数関数形のスペクトルでは急激に落ちて気球のデータとはつながらない。Haymes and Grad-dak [7] は  $T \approx 10^8 \text{ K}$  のスペクトルを得ているが、我々が低エネルギー部分で得た温度はそれよりはるかに小さい。



第 9 図 TauX-1 の エネルギースペクトラム. 図中の番号は文献の番号に対応する

もしこの領域でのエネルギー分布を滑らかにつなごうとすればべき形の方がよい。しかし熱ふく射の場合でも、中重原子の自由-束縛遷移や束縛-束縛遷移が加わると、もっと高い温度をとって観測されるスペクトルを再現できないことはない。しかし約 2KeV でこれをきかそうとすると、温度が 2KeV より著しく高くてはだめで、Haymes の高温スペクトルとつなげるのはいずれにしてもむずかしい。

第 3 表 TauX-1 X線の計数率 (photons cm<sup>-2</sup> sec<sup>-1</sup>)

計数管	実験値	$E^{-3}dE$	$e^{-E/1.5 \times 10^7 K}(dE/E)$
GM I	1.67	1.67*	1.67*
GM II	1.20	1.12	1.27
GM III	2.60	2.26	2.28

\* 実験値に規格化した。

最後にこの観測装置の製作を担当していただいた明星電気目黒研究所の瓜本信二・小池光磨・古賀茂昭の諸氏に感謝致します。またカウンターの製作は日本無線医理学研究所の石村明氏等にお世話になった。

1966年5月30日

#### 参 考 文 献

- [1] S. Hayakawa, M. Matsuoka, and D. Sugimoto, : Space Sci. Rev. **5**, 109 (1966)
- [2] S. Hayakawa, M. Matsuoka, and K. Yamashita, : Proc. International Conference on Cosmic Rays at London (1965)
- [3] M. Matsuoka, : ISAS Report No. 403 (1966); Jap. J. Appl. phys. **5**, (1966) (in press)
- [4] G. W. Clark, : Phys. Rev. Letters **14**, 91 (1965)
- [5] L. E. Peterson, A. S. Jacobson and R. M. Pelling, : Phys. Rev. Letters **16**, 142 (1966)
- [6] R. C. Haymes and W. L. Graddak, : Phys. Rev. Letters, (to be published)
- [7] S. Bowyer et al, : cited in reference [4]