

南極域での大気硬X線の磁気地方時依存性

内田正美¹・鈴木裕武⁴・中川道夫²・松本直記²・村上浩之⁴
森本幸司⁵・山内 誠⁶・山上隆正³

Dependence of The Atmospheric Hard X-Rays on Magnetic Local Time in Antarctica

By

Masami UCHIDA¹, Hiromu SUZUKI⁴, Michio NAKAGAWA²,
Naoki MATSUMOTO², Hiroyuki MURAKAMI⁴, Kouji MORIMOTO⁵,
Makoto YAMAUCHI⁶ and Takamasa YAMAGAMI³

Abstract : Dependence of the atmospheric hard X-rays observed by The Polar Patrol Balloon (PPB#6) on Magnetic Local Time have been studied.

The atmospheric hard X-rays showed the maximum counting rate and a relatively soft spectrum in the vicinity of midnight. These results support that the cut-off rigidity will disappear at night side in the high Invariant Latitude region.

The atmospheric hard X-ray observations also show an excess emission the low energy band above a simple extrapolation from the high energy band. The maximum excess rate was seen at about six in MLT.

要 旨

PPB 6号機により観測された硬X線バックグラウンドの大気硬X線成分について、不変磁気緯度による強度変動の少ない70°～81°におけるX線強度の磁気地方時(以下、MLTと略す。)依存性を調べた。

その結果、大気硬X線の強度はMLT 0時前後に最大となり、そのe-folding energyは最小になっていた。これは、高緯度地方の夜側では、cut-off rigidityが消滅しているという説を支持

¹ 大阪信愛女学院

² 大阪市立大学理理学部

³ 宇宙科学研究所

⁴ 立教大学理理学部

⁵ 理化学研究所

⁶ 宮崎大学工.学部

している。

また、30~50keVの領域で、50~120keVで求められたエネルギースペクトルより推定される値からのexcessが見られた。推定値に対するexcessの割合は6時頃に最大となっていた。

重要語：MLT依存性，大気硬X線，極域周回大気球

1. はじめに

大気球高度における硬X線バックグラウンドは、主に宇宙線荷電粒子による成分と、天体X線源と等方成分の和である宇宙X線成分とが含まれている。硬X線バックグラウンドから、宇宙X線成分を差し引いた残りの硬X線が大気硬X線成分である。この大気硬X線成分は大気中におけるカスケードプロセスの結果であり、その強度の微分スペクトルは指数関数で表されている。

Neher(1961)は、イオンチェンバーを用いて、気球高度における宇宙線電離成分を観測し、不変磁気緯度に関する計数率の変化を求めた。その結果によると50°~60°付近にkneeが見られ、その位置は気球高度の増加と共に高緯度側に移っていく。また、kneeよりも低緯度側では、ある傾きを持つ直線でfitされ、高緯度側では、ほぼ一定値を保っていることを示した[1]。

極域周回大気球(PPB)計画は、南極域の成層圏に季節に応じて安定して吹く偏西風や偏東風を利用して大気球を地理上の南極点を中心に周回させ、長期間にわたる広域観測を行う計画で、1990年度から3年間実施された。極域周回大気球6号機(PPB6号機)は、約一周半の極域周回飛行を行い、その間40以上のオーロラX線イベントを観測するとともに、長期間にわたるX線バックグラウンドの観測も行った。

その観測結果をもとに、鈴木は不変磁気緯度と硬X線バックグラウンド強度との関係を調べ、硬X線バックグラウンド強度は54°付近にkneeがあり、それ以上の高緯度ではほぼ平坦になっていることを見だし、宇宙線電離成分の観測結果と一致することを示した[2]。

ここでは、大気硬X線のMLTに関する依存性について報告する。

2. 観測

PPB6号機は1993年1月5日0855(UT)に南極の昭和基地(南緯69.0度，東経39.6度)より放球され、南極大陸を反時計回りに約1.5周して1月31日に南緯70.6度，東経176.7度付近に降下した。飛行時間は27日間であった。有効観測時間は584時間であり、MLTで計れば約24サイクル分に相当した。また、観測中の不変磁気緯度は49°から81°におよんでいる。その間、プリセット値が30.7kmに設定されたオートバラストによる制御で高度は約31km以上を維持し続けた[3]。

X線検出器には、口径2インチ厚さ5mmのNaI(Tl)シンチレータを用いた。開口角は165°，有効SΩは52.7cm²strである。エネルギー分解能は60keVで約13%である。測定エネルギー領域は30~120keVで、E1からE4の4チャンネルに分割されており、それぞれ、30~50keV，50~70keV，70~90keV，90~120keVである。各チャンネルのカウント数は30秒間集積され、ARGOSシステムにより伝送された。

3. 観測結果

図1に、全フライト期間中の(a)X線の強度変化および(b)気球位置における不変磁気緯度を示す。X線強度がスパイク状に変化しているところは、オーロライベントが発生したところで、オーロライベントを観測していな

いX線強度の静かな部分をphase 1, phase 2及びphase 3と名付ける. phase 1は $49^{\circ} \sim 57^{\circ}$, phase 3は $54^{\circ} \sim 58^{\circ}$ と中緯度帯で, phase 2は $70^{\circ} \sim 81^{\circ}$ と高緯度帯でそれぞれ観測を行っている.

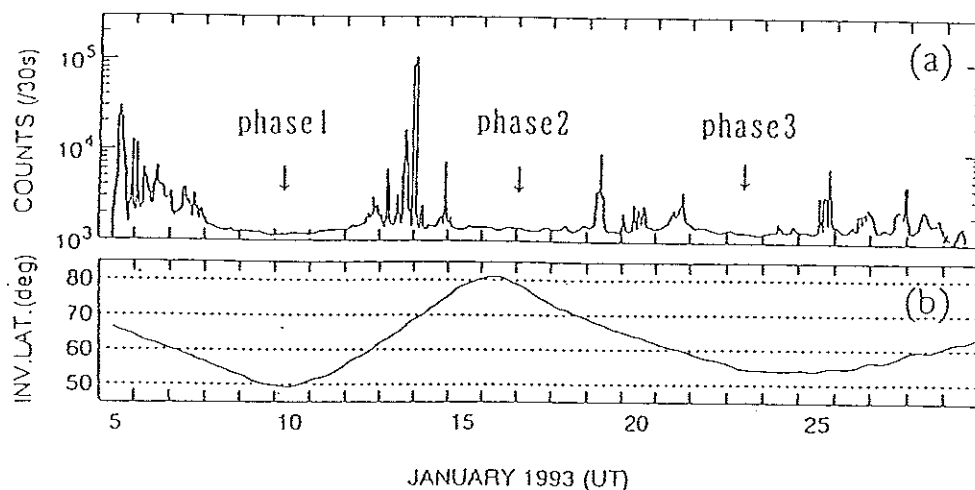


図1 全フライト中のX線強度と気球位置における不変磁気緯度

図2に, 大気深度 $8.0 \pm 0.2 \text{ gcm}^{-2}$ における, 不変磁気緯度に対する30秒あたりのX線強度を示す. 図によるとkneeは 57° 付近にあり, それ以上では不変磁気緯度に対する大気硬X線の強度はほぼ一定値になっている.

phase 2は不変磁気緯度が $70^{\circ} \sim 81^{\circ}$ であるので, 図2によるとX線の強度変化は少ない領域にあたる. したがって, 以後の解析にはphase 2のデータを用いた. さらに, これらのX線強度を空気による吸収を考慮して大気頂上におけるカウント数に換算した.

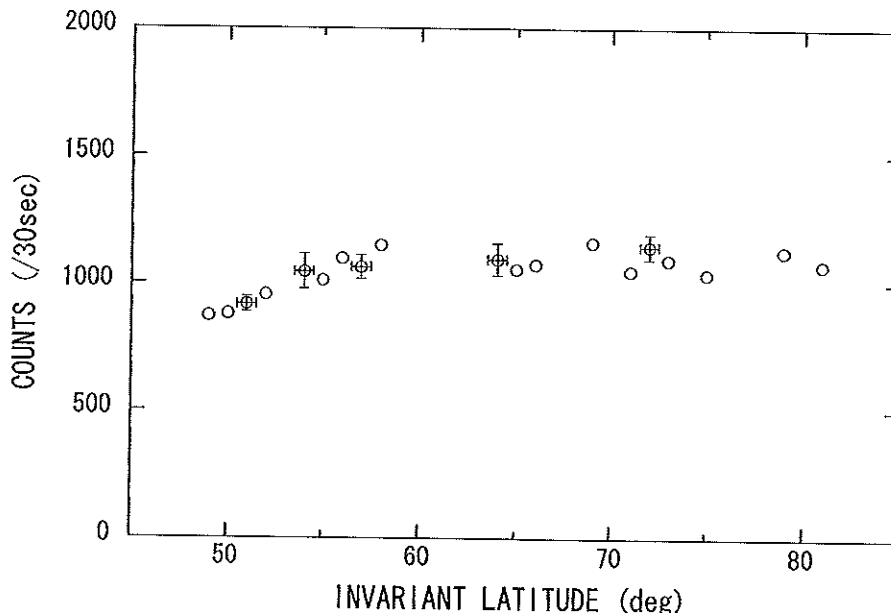


図2 大気硬X線バックグラウンド強度の不変磁気緯度に対する変化

総カウント数(全エネルギー帯のカウント数の和)と全エネルギーチャンネルから求めたe-folding energy (E_0)を図3に示す. 図中, 丸印は総カウント数, 菱形は E_0 である.

図3によると, 総カウント数は夜側で増加している. PPB 6号機では, CsI(Tl)検出器によりプロトンの観測も行っている. 図4はphase 2における, 大気頂上で100MeVから150MeVのエネルギーに相当するプロトンのカウント数で, 図3における総カウント数と同様の変化を示している.

一方、図3では一般的にカウント数が多いところでは E_0 は小さく、カウント数が少ないところでは E_0 は大きくなっている。図5に総カウント数に対する E_0 を示す。カウント数が増加すると E_0 はほぼ直線的に減少している。このことは、カウント数の増加とともに大気硬X線中の低エネルギー成分の割合が大きくなっていることを示している。

さらに、図3では2時ないし3時頃から総カウント数は減少しているが、 E_0 は6時頃までほぼ一定の値である。すなわち、この時間帯で大気硬X線中の低エネルギー成分の割合が減少していないことを示している。

図6は、E2からE4のエネルギーチャンネルを用いて求めた E_0 である。2時～6時の時間帯においても、カウント数が減少するにつれて E_0 の値は大きくなり、図5と同様の傾向を示している。そこで、スペクトルはhardなエネルギースペクトルを持つX線に、softなエネルギースペクトルを持つX線が重なっているとすると、特にE1ではhardなエネルギースペクトルから推定されるカウント数よりもexcessしていることが示される。

図7は、MLT6時間毎に求めたエネルギースペクトルである。図中、直線はE2からE4のエネルギーチャンネルでの強度に対してbest fitさせたものであり、菱形はfitさせたパラメーターを用いて求めたE1における推定値($E_{1\text{ est}}$)である。 χ^2 の値は、それぞれ 4.72×10^{-4} 、 6.95×10^{-2} 、 8.16×10^{-2} 、 3.91×10^{-3} (dof 1)である。

各MLTにおける、観測値($E_{1\text{ obs}}$)のexcessの割合を示すため、 $E_{1\text{ est}}$ に対する $(E_{1\text{ obs}} - E_{1\text{ est}})$ の割合を求め、これを図8に示す。0時から6時にかけて割合は大きくなり、その後減少して12時頃からほぼ一定値になっている。このことは、softなエネルギースペクトルを持つX線の占める割合が、0時から12時の時間帯で大きくなっていることを示している。

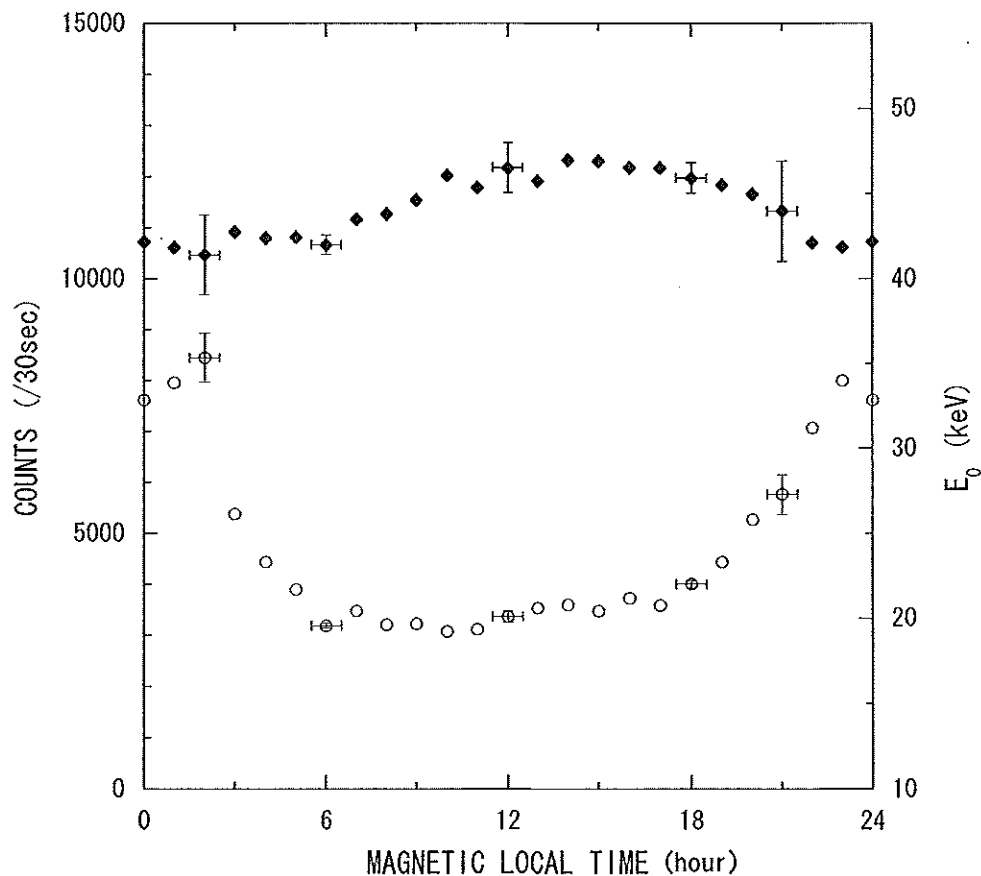


図3 MLT 1時間毎に求めた総カウント数と E_0 。丸印は総カウント数、菱形は E_0 。

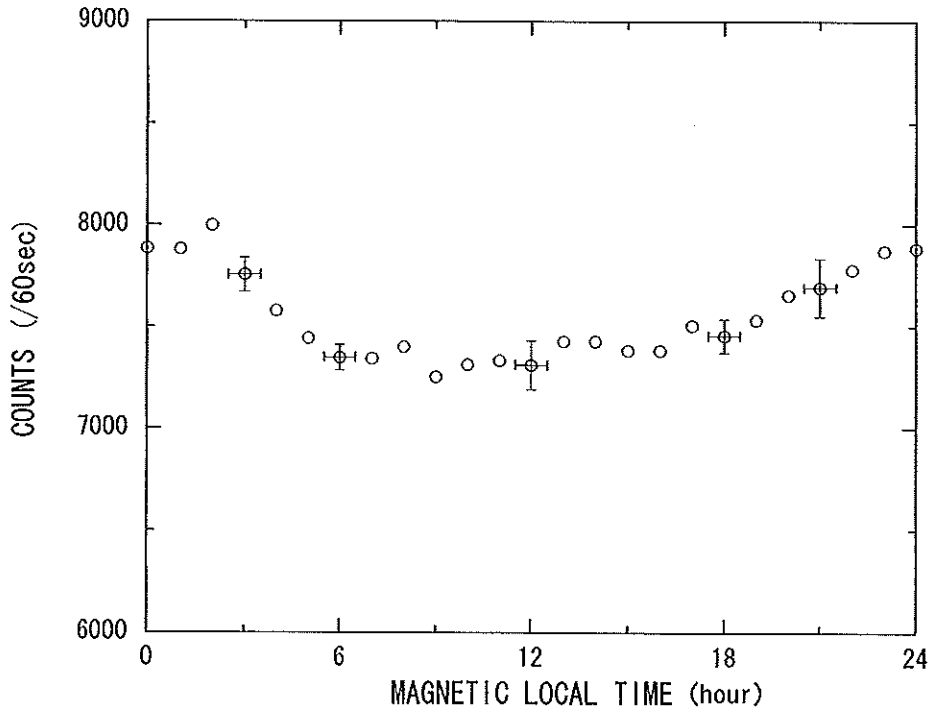


図4 phase 2におけるプロトン（大気頂上で100MeVから150MeVに相当）のカウント数

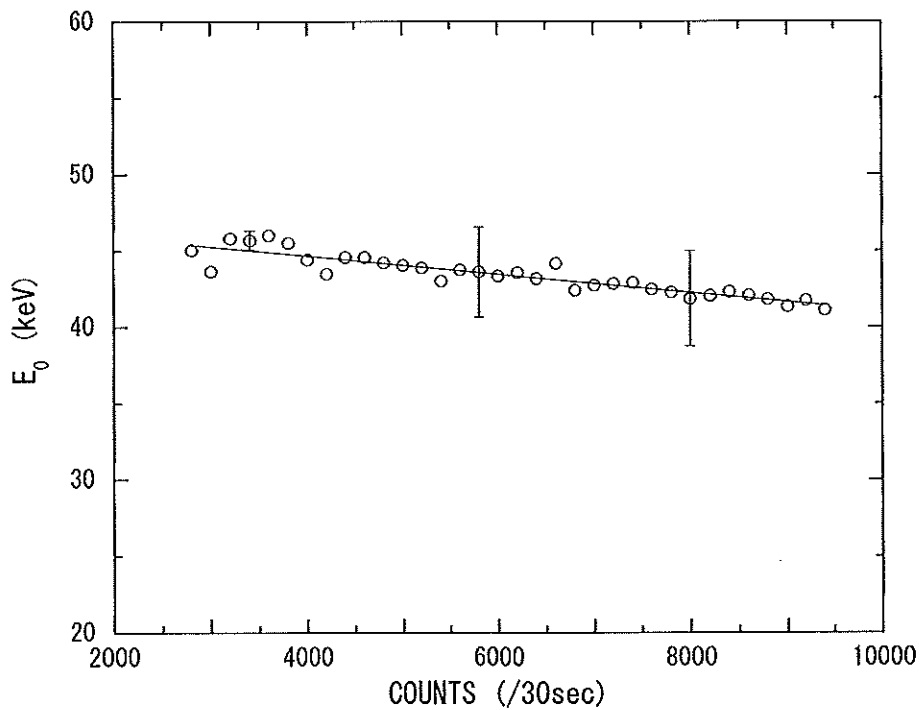


図5 総カウント数に対する E_0 の変化

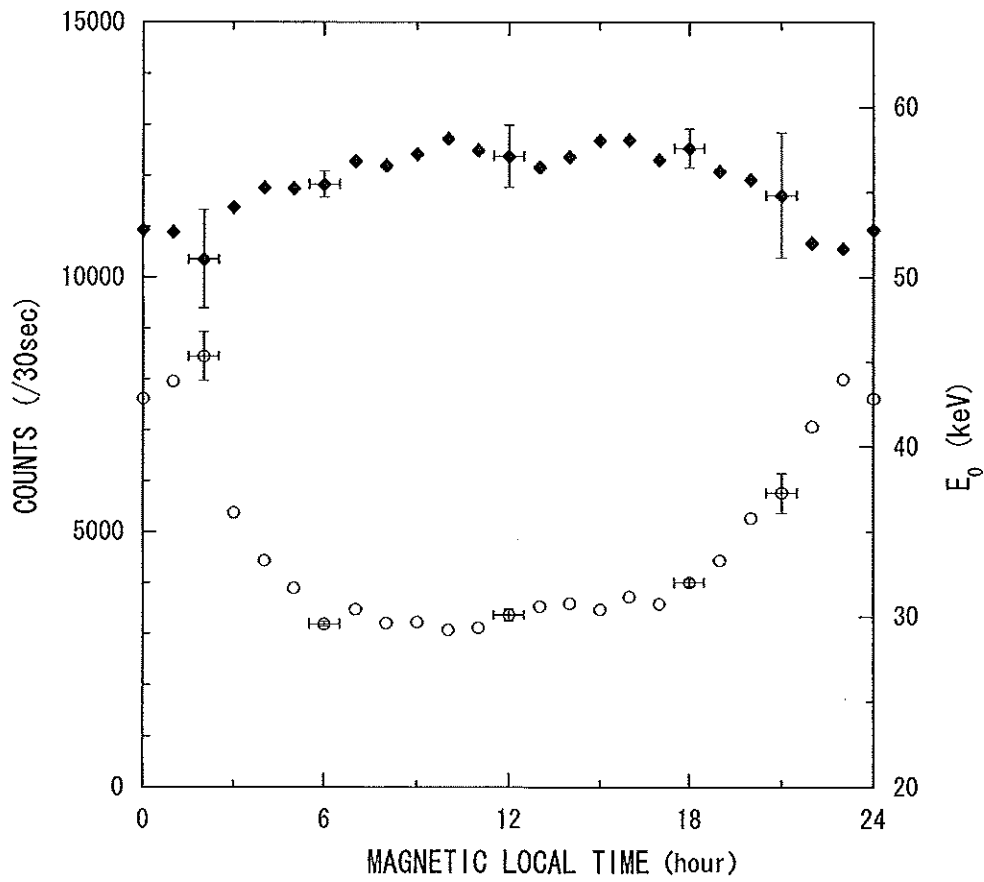


図6 MLT 1時間毎に求めた、総カウント数とE2～E4でbest fitさせて求めた E_0 。丸印は総カウント数、菱形は E_0

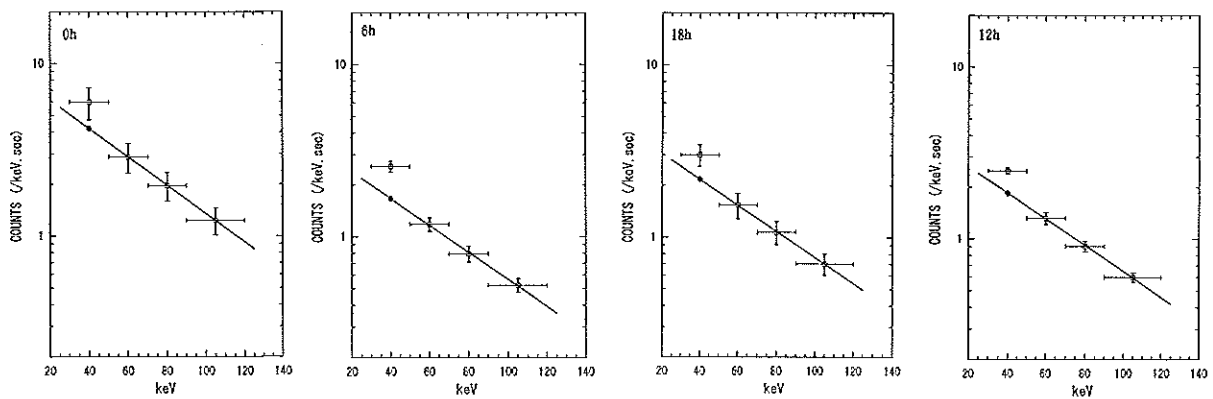


図7 各MLTにおけるエネルギースペクトル。直線はE2～E4でbest fitさせて求めたもの。菱形はfitさせたパラメーターを用いて推定した E_1 ($E_{1\text{ est}}$)。

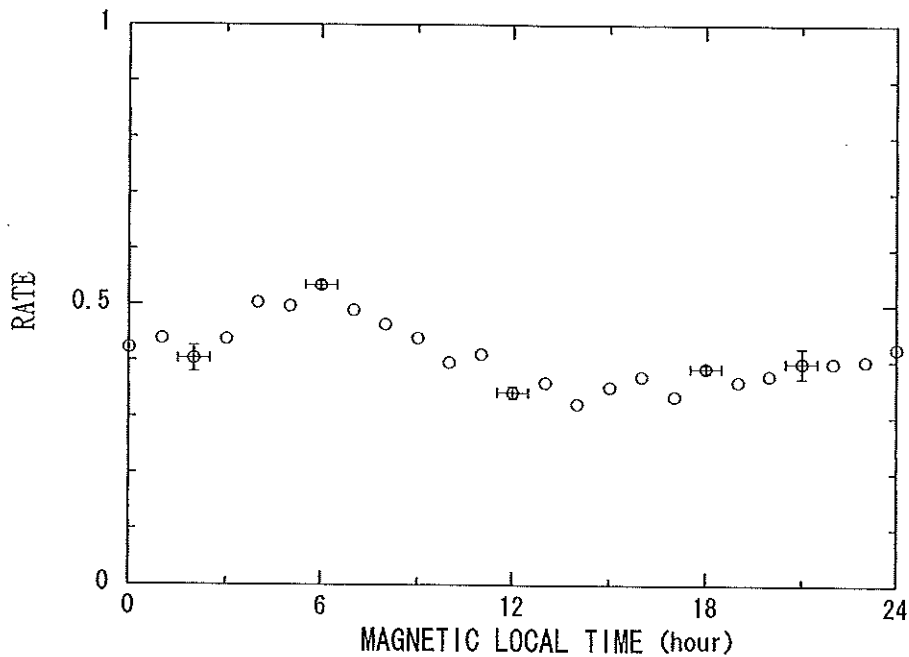


図8 $E1_{est}$ に対する $(E1_{obs} - E1_{est})$ の割合

4. まとめ

PPB 6号機で得られたデータをもとに、高緯度地域に於ける大気硬X線バックグラウンドについて調べた。

総カウント数はMLT 0時頃に最大であり、6時頃に向かって減少する。その後大きな変化はなく、18時頃から0時頃にかけて増加していた。同時に観測されたプロトンの計数率も同様の変化を示している。また、大気硬X線のエネルギースペクトルは全体的にはカウント数の増加と共にsoftになっており、真夜中付近が最もsoftであった。

このことは、高緯度地方の夜側では、cut-off rigidityが消滅しているという説を立証していることになる。すなわち、昼側では降り込むことのできない低エネルギー電子成分が降下して、softなエネルギースペクトルを持つX線を発生させていることを示している。

また、30~50keVで、50~120keVで求められたエネルギースペクトルより求められる推定値からのexcessが見られ、推定値に対するexcessの割合は6時頃に最大となることが示された。このことは、真夜中付近に降り込んできた低エネルギー電子成分が昼側に向かってドリフトしながら、降下していることを示唆している。

5. 謝辞

ゴンドラの製作から南極における放球まで協力していただきました。極地研の超高層グループの方々、宇宙研の矢島信之氏と気球工学の方々、佐藤夏雄氏と34次隊の方々に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] H. V. Neher and H. R. Anderson : Cosmic Rays at Balloon Altitudes and The Solar Cycle, J. Geophys. Res., 67 (1962), 1309-1315

- [2] 鈴木 裕武：「ポーラー・パトロール・バルーン（極域周回大気球）観測によるオーロラ X 線の広域空間分布及びエネルギースペクトル特性」，立教大学学位論文（1996）
- [3] 並木 道義，利根川豊，佐藤夏雄，PPB ワーキンググループ，1992 年度南極周回気球実験，宇宙科学研究所報告，特集 32 号（1995），3-22