

「大空」による高エネルギー粒子観測*

永田 勝明**・河野 毅***・村上 浩之†
中本 淳†・長谷部信行††・竹中 哲喜#
菊池 順#・道家 忠義#

(1984 年 12 月 25 日受理)

OHZORA High Energy Particle Observation

By

Katsuaki NAGATA, Tsuyoshi KOHNO, Hiroyuki MURAKAMI,
Atsushi NAKAMOTO, Nobuyuki HASEBE, Tetsuyoshi TAKENAKA,
Jun KIKUCHI, and Tadayoshi DOKE

Abstract: Observations of fluxes and energy spectra of electrons (0.19-3.2 MeV) and protons (0.64-35 MeV) by OHZORA satellite are reported. Preliminary results show that the maximum fluxes of electrons and protons are observed in the south Atlantic Anomaly and the auroral zones. Energy spectra show that the much more high energy component of particles (>1 MeV) in the Brazil Anomaly than in the auroral zone. And the pitch angle distributions show the maximum intensity of 90° , this means that the high energy particles are trapped. Temporarily intensive proton and He ion fluxes at the north polar cap are observed at May 25, 1984, the proton energy spectra show that the solar particles inject into the cap.

1. はじめに

“大空”衛星に搭載された高エネルギー粒子測定器 (High Energy Particle=HEP) の観測目的は南太西洋地磁気異常地帯および極域オーロラ地帯における粒子のフラックス,

* 宇宙研特別事業費による研究論文

** 玉川大学工学部

*** 理化学研究所 (板橋)

† 立教大学理学部

†† 愛媛大学教養部

早稲田大学理工学研究所

エネルギー・スペクトラム、高度分布、時間変動、電離層との相互関連などを調べるのが目的である。衛星の軌道が高度 350–850 km、傾斜角 75° なので両極点近くを除いてほぼ全地球的な観測を行なうことができる。これまでの諸外国の観測はオーロラ粒子に重点が置かれ、40 keV 以下の観測が多く高エネルギー粒子に関する観測の論文は数が少なかったもので、その観測が望まれていた。

1960 年代にいくつかの高エネルギー粒子観測が行なわれているが、米ソの大気圏外の核実験の影響で自然の姿が大きく変えられていた。1970 年代にはソビエトの人工衛星による観測がいくつかある[1,2,3]。これらの観測は GM 計数管[1]、シンチレーションカウンタ[2]、比例計数管[3]によるものでエネルギーの分解能はあまり良いものでなかった。Imhoff 等の測定[4,5]はシンチレーションカウンタによるものであり、Gledhill と Hoffman[6]のは低エネルギー (0.2–26 keV) の粒子の測定であった。Gledhill[7]はブラジルアノマリーの主たるエネルギーは MeV 電子であると述べているが未だに結論がでていない。それゆえに、高エネルギー粒子についての詳細な測定が必要であった。

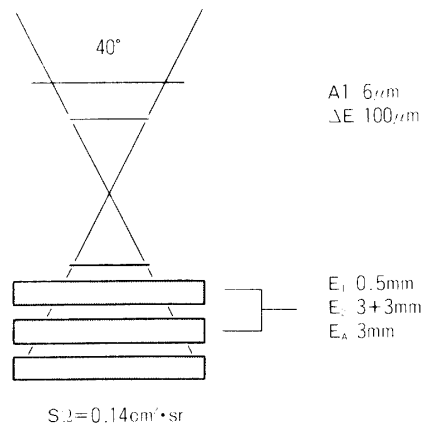
この論文では小型で分解能が良い Si 半導体検出器を用いた ΔE - E テレスコープによる高エネルギー電子 (0.19–3.2 MeV)、陽子 (0.64–35 MeV) の測定について述べる。観測の成果については、打ち上げ (84 年 2 月) から 6 月までの間に得られたものを中心に、ブラジルアノマリー、南北のオーロラ領域についてのエネルギー・スペクトラム、粒子フラックス等について述べる。“大空”は通常スピンをせず、常に太陽方向に向いた姿勢を保っているが、84 年 4 月 10 日から数日間 0.7 rpm のスピンをさせた。この時の観測より、粒子の磁力線に対するピッチ角分布のデータが得られたので、その結果についても述べる。また、84 年 5 月 25 日 (UT) に観測された北極キャップでの陽子と He イオン (4–13 MeV) の増加は陽子のエネルギー・スペクトラムの形から、太陽フレア粒子が直接に極域に流れ込んだと考えられるのでその結果についても記す。

2. 測定方法

2-1 ΔE - E テレスコープ

電子および陽子の測定は Si 半導体検出器を用いた ΔE - E テレスコープ (センサー) により行なう。 ΔE - E 法については England[8]、Goulding と Harvey[9]等が述べている。Si 検出器は小型でエネルギー分解能が良く人工衛星による粒子の測定に一般的に使用されている。“大空”には第 1 図に示すような 5 枚の Si 検出器から成る ΔE - E テレスコープを 2 台搭載した。

ΔE 検出器には厚さ 100 μm 、有効直径 10 mm の表面障壁型の Si 検出器を使用した。 E 検出器は厚さ 0.5 mm 有効直径 10 mm の表面障壁型 Si 検出器と厚さ 3 mm 有効直径 20 mm の Si (Li) 検出器 2 枚から成り、厚さは全体で 6.5 mm である。 E_A は厚さ 3 mm、有効直径 25 mm の Si (Li) 検出器で、 ΔE と E の両方の検出器を通り抜けるような高いエネルギーの粒子を非同時計数回路で除くためにある。粒子の分離はエネルギーが同じなら質量の小さい電子の方が速度が早いので陽子より物質中に深く貫通することを利用して行なう。すなわち、 ΔE 検出器において電子のエネルギー損失は陽子のエネルギー損失に比



第 1 図 高エネルギー粒子 (HEP) 測定用の ΔE - E テレスコープ (センサー) の断面図。衛星には 2 台のテレスコープを搭載し、センサー 1 (S-1) を太陽と逆方向を向くように、センサー 2 (S-2) を太陽と直角方向を向くように置いてある。

較してずっと小さいことになる。 ΔE 検出器の厚さ $100 \mu\text{m}$ では電子は 180 keV 以上のエネルギーをもつものは通り抜けて E 検出器に達するが、陽子は 3.3 MeV まで通り抜けることはできない。そこで、 180 keV にデイクリレベルを設けて電子、陽子を分離する。

Si 検出器は光にも感ずるので遮光のため厚さ $6 \mu\text{m}$ の Al フォイルを粒子の入射窓に張ってある。検出器全体はアルミニウム製のケースに入れてあり横方向から入射する粒子の影響を受けないようになっている。テレスコープの入射窓の開きの角度 40° で $S\Omega \approx 0.14 \text{ cm}^2 \cdot \text{sr}$ である。 ΔE 検出器の厚さ $100 \mu\text{m}$ 、 E 検出器の厚さ 6.5 mm の時、測定エネルギー領域は第 1 表のようになる。電子と陽子の他に He イオンの数を測定している。

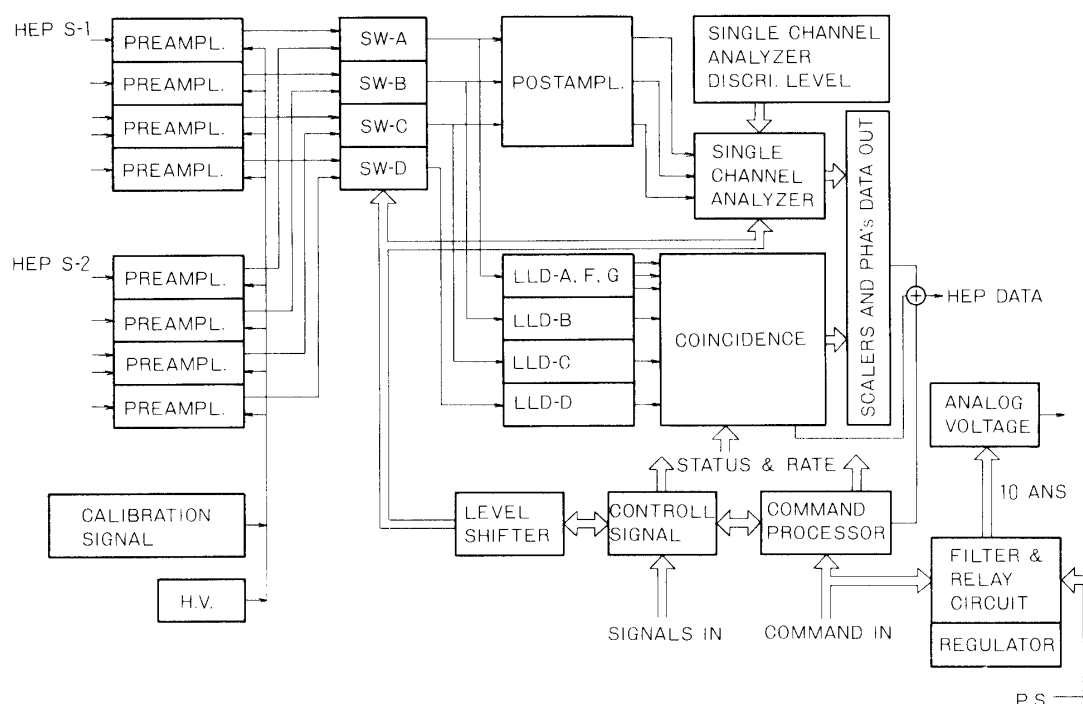
テレスコープを 2 台搭載し、1 台を太陽と逆方向を向くように置き、これをセンサー 1 (S-1) と呼び、他の 1 台を S-1 と直角を向くように置いて、これをセンサー 2 (S-2) と呼ぶ。

第 1 表“大空”高エネルギー粒子の測定範囲

Particle	Energy (MeV)
Electron	0.19–3.2
Proton (Helium)	0.64–3.3
Proton	3.3–35.
Helium	4. – 140.

2-2 電子回路システムとデータ処理

データを処理する電子回路システムのブロックダイアグラムを第 2 図に示す。2 台のセンサー (テレスコープ) を搭載しているが重量の節約のため回路系は 1 組だけになってい



第2図 電子回路システムブロックダイアグラム。2組のセンサーをスイッチ回路 (SW-A 等) で切りかえて1組の電子回路でデータを処理する。図の A, B, C および D は第1図の $\Delta E, E_1, E_2$ および E_A に対応する。

る。各々の検出器に結がっている前置増幅器 (PREAMPL) はスイッチ回路 (SW-A, SW-B...) で1組の後段増幅器 (POSTAMPL) に時分割で接続される。ここで、図の A, B, C, D は第1図の $\Delta E, E_1, E_2, E_A$ にそれぞれ対応している。後段増幅器の後で処理する低レベルディスクミニネータ (LLD) とシングルチャネルアナライザー (SCA) との同時計数 (COINCIDENCE) モードの組み合わせによって粒子を分離する。

粒子の数はスケーラー (SCL) によってビットレート high (Bit High 8192 bps) の時には1/8秒ごとに、ビットレート low (Bit Low 2048 bps) の時には1/2秒ごとに観測する。この時に S-1 と S-2 は時分割で交互に観測するので S-1 が観測している時には S-2 は観測をしていない。エネルギースペクトラムの測定はシングルチャネルアナライザー (SCA) のエネルギーレベルを時間と共に16ステップ増加して行くことで行なう。各チャンネルの観測時間幅は1/8秒 (Bit High) または1/2秒 (Bit Low) である。2つのセンサーについて16チャンネルの全てのエネルギースペクトラムを観測するのに Bit High で4秒, Bit Low で16秒要する。第2表にシングルチャネルのエネルギー分割の幅 (波高分析器のチャンネル幅に相当) の1例を示す。この分割の幅は地上からの“10コマンド”によって変更できる。SCA-I の ΔE というのは ΔE 検出器におけるエネルギースペクトラムで640 keV を越えるときは陽子のスペクトラムになり、640 keV 以下では電子と陽子の両方

第 2 表“大空”高エネルギー粒子観測の波高分析器のエネルギー分割の例.
SCA はシングルチャネルアナライザーを意味する.

Ch. No.	SCA - 1 ΔE	SCA - 2 Electron	SCA - 3 Proton
0	0.0 - 0.025 MeV	0.0 - 0.025 MeV	0.55 - 2.2 MeV
1	0.025 - 0.05	0.025 - 0.05	2.2 - 2.65
2	0.05 - 0.075	0.05 - 0.075	2.65 - 2.9
3	0.075 - 0.10	0.075 - 0.10	2.9 - 3.35
4	0.10 - 0.15	0.10 - 0.15	3.35 - 4.0
5	0.15 - 0.20	0.15 - 0.20	4.0 - 4.75
6	0.2 - 0.275	0.2 - 0.275	4.75 - 5.75
7	0.275 - 0.40	0.275 - 0.40	5.75 - 6.75
8	0.4 - 0.575	0.4 - 0.575	6.75 - 8.0
9	0.575 - 0.80	0.575 - 0.80	8.0 - 9.5
10	0.80 - 1.125	0.80 - 1.125	9.5 - 11.25
11	1.125 - 1.6	1.125 - 1.6	11.25 - 13.5
12	1.6 - 2.275	1.6 - 2.275	13.5 - 16.0
13	2.275 - 3.2	2.275 - 3.2	16.0 - 19.0
14	3.2 - 4.5	3.2 - 4.5	19.0 - 23.0
15	4.5 - 6.4	4.5 - 6.4	23.0 - 27.0

混合したデータになる。電子は 190 keV 以上が測定領域なので SCA-II の 5 チャネル以下はバックグラウンドになる。

粒子の計数率の測定には 7 台のスケーラー (SCL) で行なう。各スケーラーは ΔE 検出器の計数率、電子 (0.19-3.2 MeV)、陽子 (0.64-35 MeV)、He イオン (4-13 MeV)、He イオン (13-140 MeV)、陽子 (35-70 MeV) および陽子 (560 MeV 以上) を測定している。各 SCL のビット数は ΔE 、電子、陽子が 15 ビット、He イオン、陽子のエネルギーの高い方は 5~7 ビットである。エネルギースペクトラムの測定を行なう SCA は各チャネル 12 ビットである。

システムの正常な動作を確認するために、PI ステータスとして回路系の温度、センサー附近の温度、検出器の電圧、デイスリミネーターレベル、各検出器の計数率をモニターしている。84 年 12 月現在データは正常に得られている。

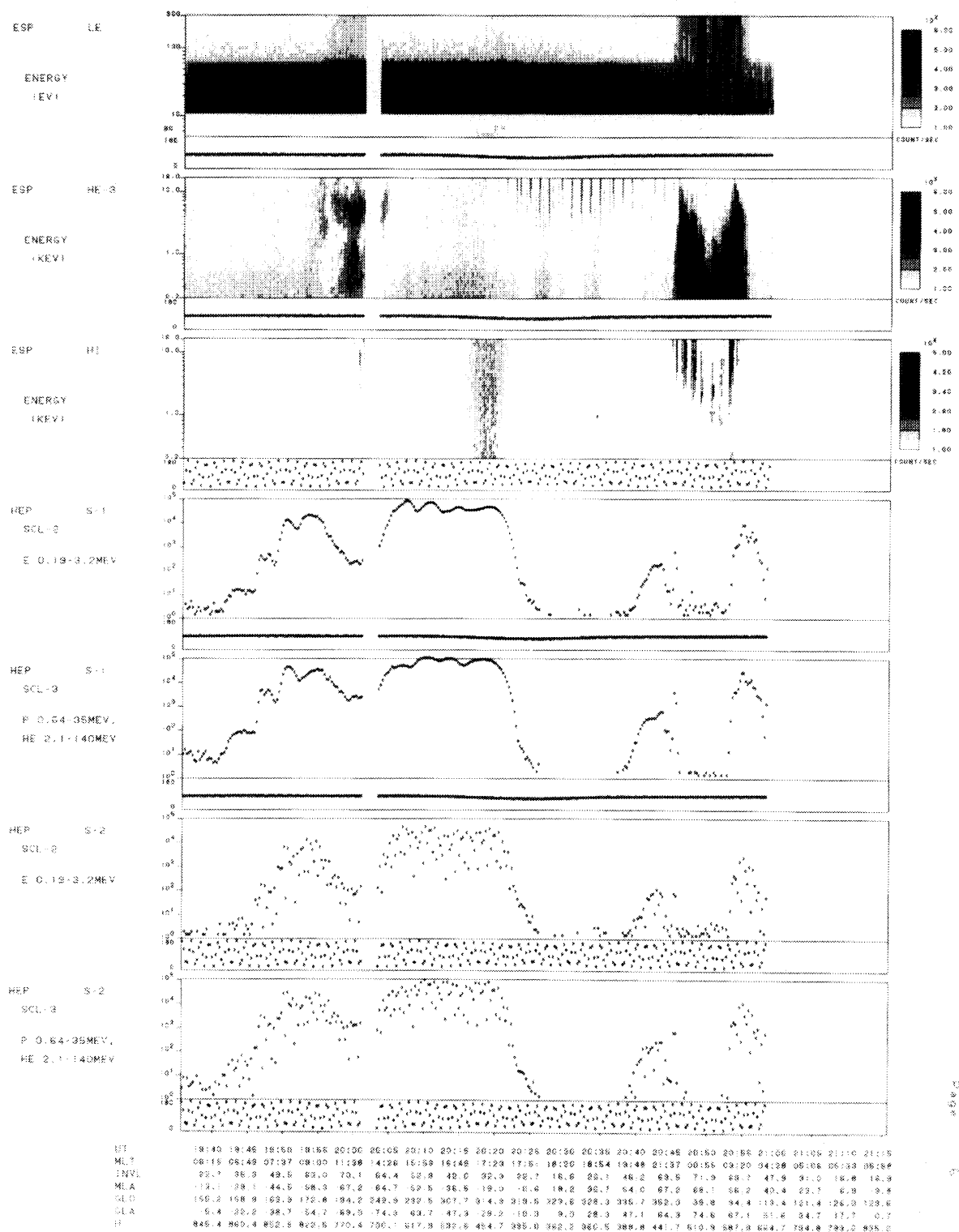
3. 測定結果

衛星を打上 (84 年 2 月 14 日) てから、1 週間目の 2 月 21 日 (UT) に HEP の観測装置にスイッチを入れた。以後、順調にデータが得られている。運用状況は検出器の高圧 150 V、デイスリミネーターレベル (検出器の雑音レベル) 50 keV、波高分析器のエネルギーチャネル分割は第 2 表に示す。検出器の温度範囲 $0^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{C}$ で半導体検出器の正常動作範囲内にある。

3-1 地球周回のデータ

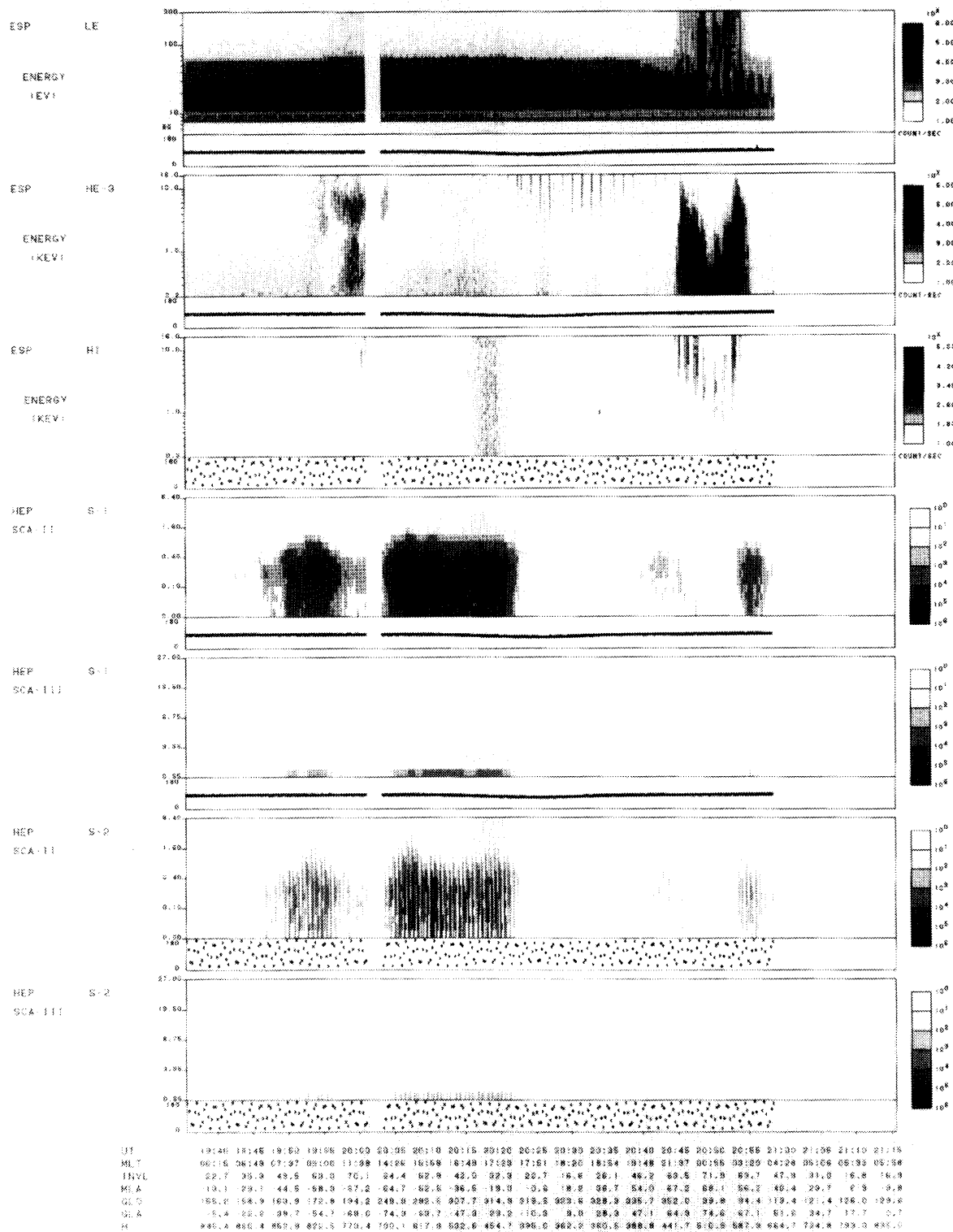
衛星が地球を一周したときのサマリープロットを第 3 図 (Rev. 885) と第 4 図 (Rev. 988)

EXOS-C SUMMARY PLOT REV.00885 84/04/13 19:35:41 2-1



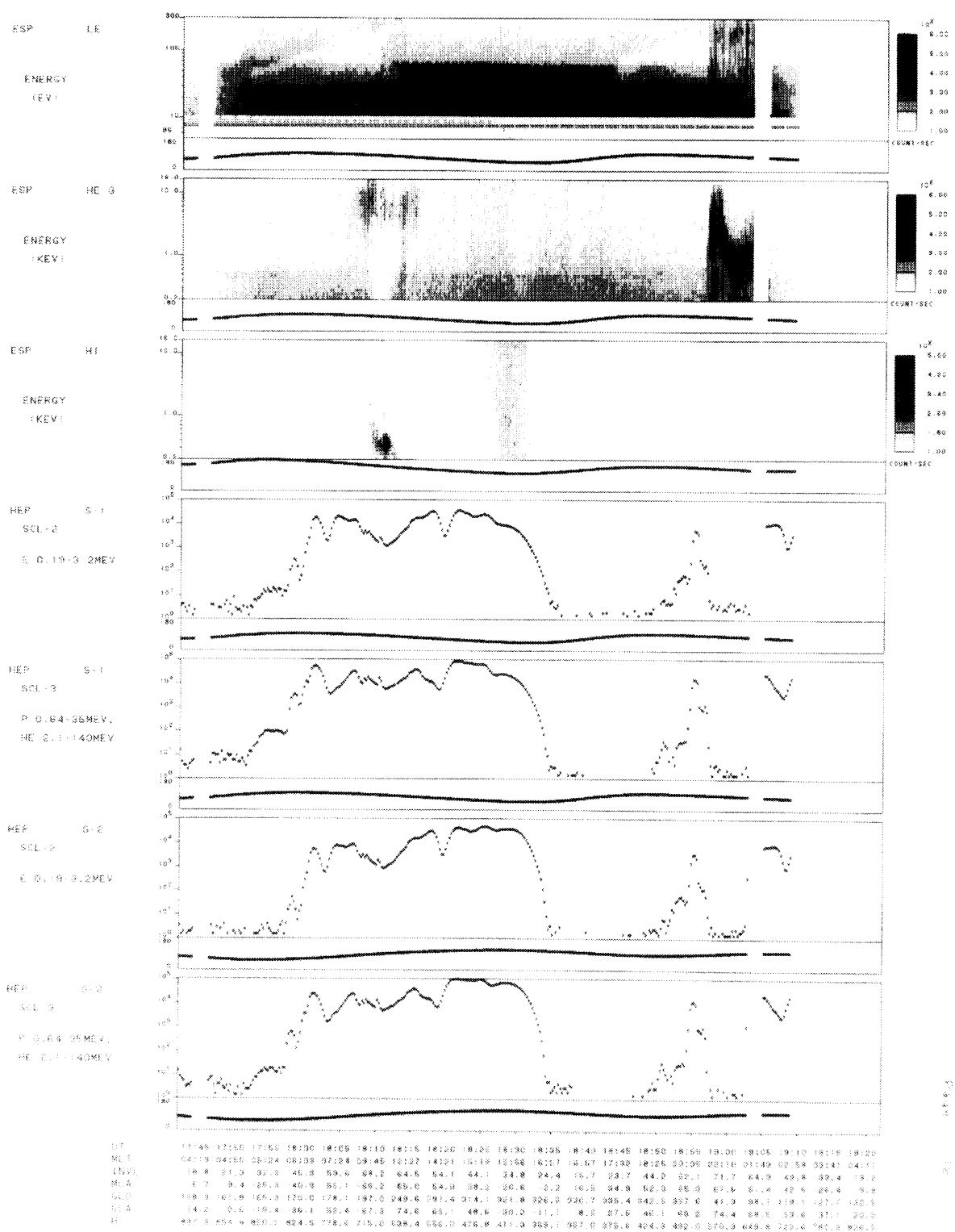
第3図 Rev. 885 (84年4月13日 UT) における地球周回の電子、陽子の測定結果。(a) S-1, S-2の電子(SCL-2), 陽子(SCL-3)の計数率の時間変化。(b) S-1, S-2の電子(SCA-II), 陽子(SCA-III)のエネルギースペクトラム。

EXOS-C SUMMARY PLOT REV.00885 84/04/13 19:35:41 2-1



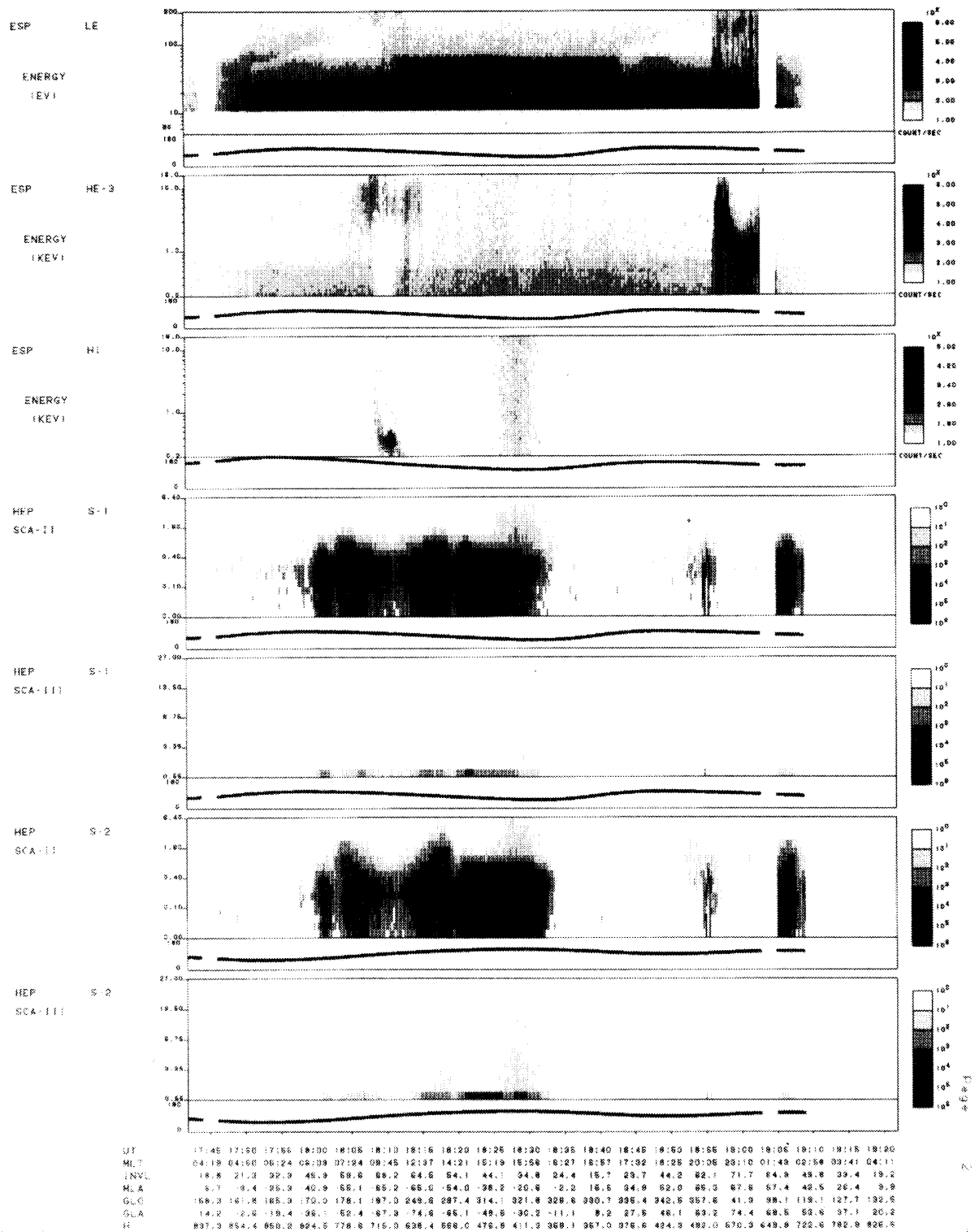
縦軸はエネルギー (MeV), 濃度の濃い所程粒子数が多い. S-2 が縞模様を示すのは衛星が 0.7 rpm でスピニングしているからである. 図の下側に 0~180° の間でセンサーの磁場に対する向きを示す. 図の上側の三段は低エネルギー粒子 (ESP) のデータである.

EXOS-C SUMMARY PLOT REV.00988 84/04/20 17:41:55 2-1



第4図 Rev.988 (84年4月20日 UT)における地球周回の電子、陽子の測定結果。(a)S-1, S-2の電子(SCL-2), 陽子(SCL-3)の計数率の時間変化.

EXOS-C SUMMARY PLOT REV.00988 84/04/20 17:41:55 2-1



(b) S-1, S-2 の電子 (SCA-II), 陽子 (SCA-III) のエネルギースペクトラム。陽子は 1 MeV を越えるものはほとんど存在しないことがわかる。

に示す。図の(a)の横軸は時間(UT)、縦軸は電子、陽子の計数率(counts/s·sr·cm²)を対数スケールでプロットしたものである。(b)は同じ周回のデータについてエネルギー分布を濃淡表示したものである。濃い部分程粒子が多い。縦軸はエネルギー(MeV)を示している。粒子数(counts/s·sr·cm²·MeV)と濃淡の関係は図の右側に表示してある。第3図、第4図とも、上側の3段は低エネルギー粒子(ESP=Energy Spectrum of Particles)のデータである。各段の下側に0°~180°とかかかれている部分は各センサーが磁力線に対してなす角度を示したものである。第3図は衛星がスピンをしている4月13日のデータである。センサー1(S-1)がスピン軸に平行で磁力線にほぼ90°になっているのに対して、センサー2(S-2)は磁力線に対する向きが大きく変化している。

第3, 4図に示してあるのは衛星がKSC(Kagoshima Space Center)上空を通過し、赤道を越えて南下している時から取り始めたデータで、オーストラリア、南極、南太西洋上空を経てヨーロッパ、北極へと通った時の計数率である。Rev. 885では19時47分(UT)、Rev. 988では17時58分(UT)頃に小さなピークが見られる。これはオーストラリア上空(南緯30°)近辺に東西に長く延びている“low latitude zone”と名付けられているものでL≈1.8にある。南北に1000 km位の幅で東西に帯状に延びる非常に粒子密度の濃い所が存在していることを示している。

南極から南大西洋上空(ブラジルアノマリー)へかけては境界が判別できない程に連続的に粒子密度が濃く存在しているのが図からわかる。また、ヨーロッパ上空では粒子は計測されない程少ない。図に示す2つの軌道では北極のオーロラ地域の方が南極のオーロラ地域より狭い。

スピンをしているRev. 885ではセンサー2の計数率が磁力線に対する向きと共に大きく変化している(第3図(a))。また、エネルギー分布の図では縞模様になって見える(第3図(b))。これはピッチ角が90°の粒子の数が、磁力線に平行なピッチ角0°または180°の粒子に対して極めて多いからである。

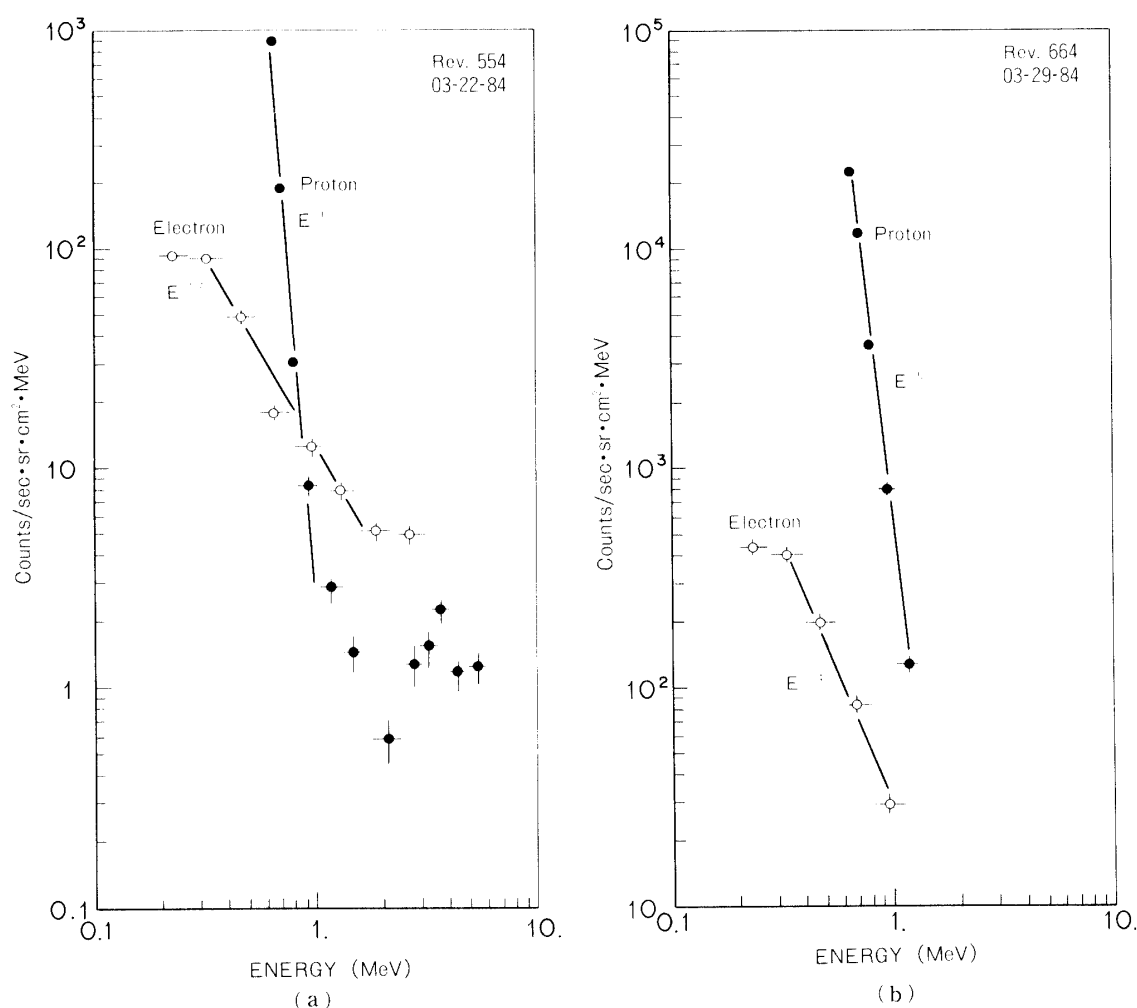
なお、この測定器では 2×10^5 counts/s·sr·cm²以上の粒子数がある所では回路系の時間分解能の関係で計数が飽和状態になる。また、電子のエネルギー分布200 keV以下はバックグラウンドである。

3-2 エネルギー分布

サマリープロットではエネルギースペクトラムの詳細が判らないので、粒子数の多いブラジルアノマリーとオーロラ地帯のエネルギー分布を別に描いたのが第5図(a), (b)である。ブラジルアノマリーの赤道に近い側(Rev. 554, 84年3月22日UT, 南緯19°, 経度316°, 高度755 km, L=1.3, $\alpha=143^\circ$)におけるS-2による観測結果が(a)である。陽子は1 MeV以下では $\sim E^{-10}$ という傾斜で急激に粒子数が減っている。1 MeV以上の電子、陽子はスペクトラムが平らになっているのが特徴である。電子の2 MeV以下位では $\sim E^{-1.7}$ とゆるやかな傾斜で、高いエネルギーの成分が陽子に比べて多いことがわかる。これらの結果はセンサーの地磁気に対する向き、場所、高さ等のちがいがあるのでフラックスの比較はすぐには出来ないが、Paulikas[10]がまとめた過去のデータと比較すると、陽子の1 MeV以下と1 MeV以上のスペクトルの形が異なる点などよく一致している。10

MeV を越える陽子の数は少なく我々の観測では 10^{-1} counts/s \cdot sr \cdot cm 2 \cdot MeV 以下であった。また、1 MeV 以上の電子の占める割合が大きいことから、“ブラジリアノマリーのエネルギーは MeV 電子による”という説[11]は正しいようだ。

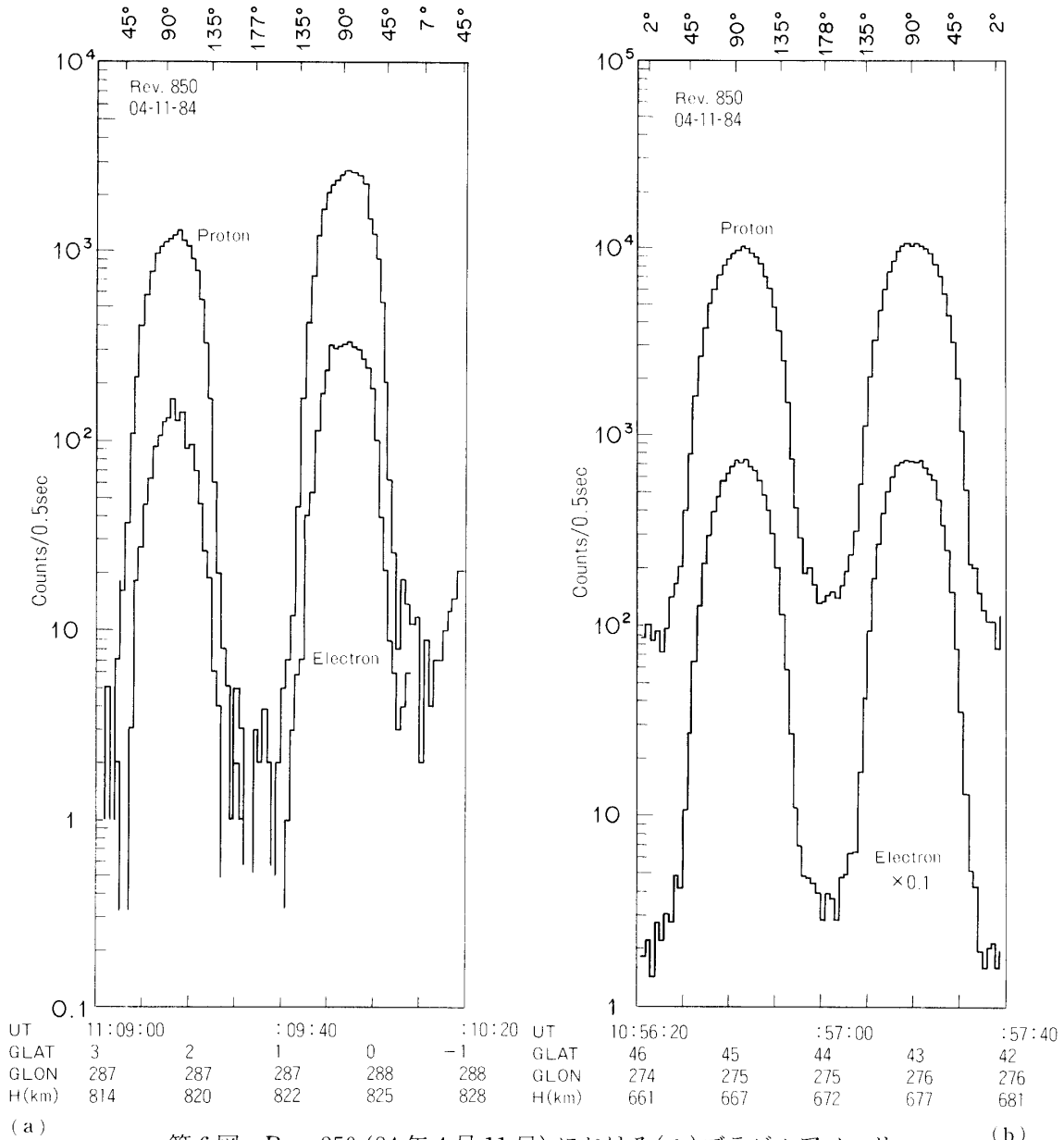
南極のオーロラ地域(Rev. 664, 84 年 3 月 29 日, 南緯 61°, 経度 172°, 高度 874 km, $\alpha = 135^\circ$, $L=8.1$)における S-2 のエネルギースペクトラムの例を第 5 図(b)に示す。1 MeV 以上の陽子, 電子は我々の測定器では観測にかからなかった。陽子のエネルギーが $\sim E^{-10}$ という傾斜をなすのはブラジリアノマリーにおける 1 MeV 以下の場合と同じである。電子は $\sim E^{-2.4}$ で変化し, 高いエネルギーの成分がブラジリアノマリより速かに減少することがわかった。



第 5 図 (a) ブラジリアノマリーにおける電子と陽子のエネルギースペクトラム, Rev. 554 (84 年 3 月 22 日) 南緯 19 度, 経度 316 度, 高さ 755 km, ピッチ角 143°, S-2 のデータである。
 (b) 南極オーロラ地域における電子, 陽子のエネルギースペクトラム, Rev. 664 (84 年 3 月 29 日) 南緯 61 度, 経度 172 度, 高さ 874 km, ピッチ角 135°, S-2 のデータである

3-3 ピッチ角分布

粒子が磁力線とのなす角が 90° であれば、いつまでも磁力線のまわりでジャイロ運動を続ける。もしブラジルアノマリーなどの粒子が一時的に Van Allen 帯より降下するものな



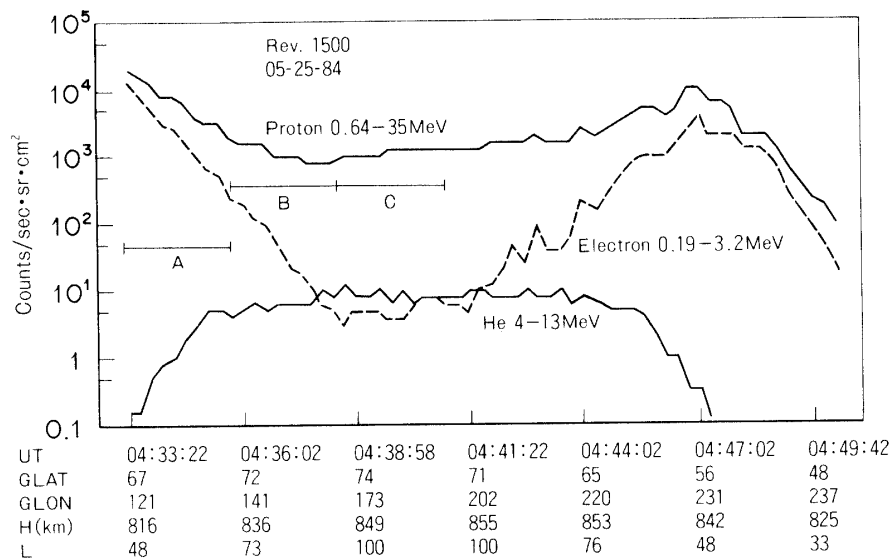
第6図 Rev. 850 (84年4月11日)における(a)ブラジルアノマリーの電子、陽子のピッチ角分布。 $\alpha=90^\circ$ にピークがあり、 $\alpha=0^\circ, 180^\circ$ では粒子数が1000分の1になっている。(b)北極オーロラ領域の電子、陽子のピッチ角分布。 $\alpha=90^\circ$ にピークがあり、 $\alpha=0^\circ, 180^\circ$ 近くでは粒子数は100分の1になっている。(b)図では電子の数を10分の1にして描いてある。

らば角度分布は広がるはずである。“大空”の観測では4月の1時期に衛星を0.7 rpmの回転数でスピンさせたので、この時に粒子のピッチ角分布を測定することができた。

ブラジリアノマリーと北極域におけるピッチ角分布を第6図(a), (b)に示す。(a)に示したのがブラジリアノマリー (Rev. 850, 84年4月11日)の赤道近くにおける陽子と電子のS-2により観測されたピッチ角分布である。横軸は時間で記してあるがスピン軸に平行なS-1が $\alpha=85^\circ$ だったのでS-2はほぼ $0^\circ\sim 180^\circ$ の間で回転していることになる。図の上端にS-2が磁力線となす角度を示してある。電子、陽子ともに0.5秒ごとの計数が 90° にピークを持ち、磁力線に平行になる $0^\circ, 180^\circ$ の時にはピーク値の1000分の1以下になっている。これはピッチ角が 90° に近い粒子がブラジリアノマリーの大多数を占めていることになり、電子も陽子も磁力線に捕捉されていることを示す。

北極オーロラ領域における電子と陽子のピッチ角分布を第6図(b)に示す(Rev. 850, 84年4月11日)。北アメリカ上空なのでオーロラ領域が約 45° と低緯度になっている。図では電子の分布を1/10にして描いてある。この時のS-1は $\alpha=84^\circ$ であったので、やはりS-2は 0° から 180° へ衛星のスピンとともに回転したことになり、図の上端に示すようなピッチ角の情報が得られた。電子、陽子いずれも 90° にピークをもつ。磁場に平行になる $0^\circ, 180^\circ$ ではピーク値の100分の1程でブラジリアノマリーより1桁地磁気に平行な成分が多い。

第3図(b)のS-2のエネルギー分布図でセンサーが磁力線に平行になるときに濃度が薄くなり粒子数が少なくなることと、第6図(a), (b)から高エネルギー粒子は磁力線に直角に運動する成分が大多数を占めていることがわかる。

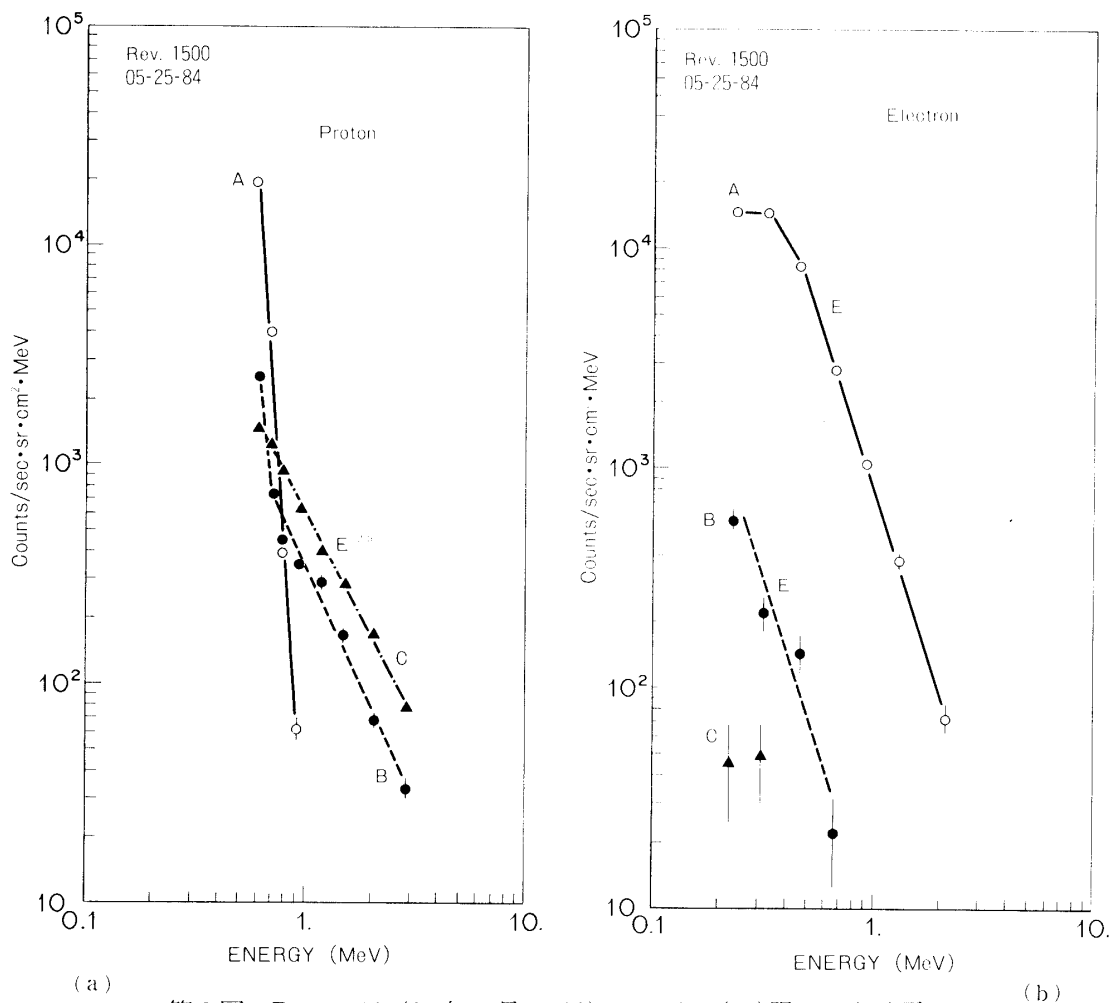


第7図 北極キャップにおける粒子の計数率の時間変化。Rev. 1500(84年5月25日)における測定で陽子(0.64-35 MeV)とHeイオン(4-13 MeV)が増加している。図のA, B, Cは第8図にエネルギー Spektrumを描いた時間帯を示す。

3-4 太陽粒子の観測

衛星の軌道傾斜角が 75° なので両極のキャップ領域の観測も行なうことができる。84年5月25日(UT)に“大空”が北極上空を通過した時に第7図に示すような陽子が電子の2桁以上も増加するという現象が見られた。我々の測定では通常は電子/陽子比は1~10の範囲に入っている。この時のHeイオンの計数率を見るとキャップ領域では電子と同じ位になっていた。他の地域ではHeイオンは観測される程は存在していないので、この現象は太陽粒子が直接にキャップに流入したと判断できる。

第7図にA, B, Cと示した時間帯における陽子と電子のエネルギー分布を第8図(a), (b)に示す。(a)に示すのが陽子のエネルギー分布で、時間帯Aでは第5図(b)にあるオ



第8図 Rev. 1500 (84年5月25日)における(a)陽子と(b)電子のエネルギースペクトル。図のA, B, Cは第7図に示す時間帯A, B, Cに対応する。オーロラ領域Aのスペクトルに比較してB, Cの時間帯のスペクトルはエネルギーが高い方が多くなっていることと、Heイオンが増加していることから太陽フレア粒子がキャップに直接流入したと判断できる

ーロラ領域陽子のスペクトラムと同じであるが、B、C と場所を移動するにつれてエネルギーの高い陽子が増加しているのがわかる。陽子のエネルギースペクトル、 $E^{-2.0}$ は太陽粒子のベキと同じである。

電子は第 8 図(b)に示すように時間 A、B、C と進むにしたがって急速に数が減少している。スペクトル $E^{-2.8}$ は第 5 図(b)の $E^{-2.4}$ に近くオーロラ領域の電子の分布に似ている。時間帯 C では電子の数は非常に少なくスペクトルの形は決まらなかった。また、He イオンと陽子の比はエネルギー範囲は重なっていないが約 1:100 になっている。

L-値も 70~100 と大きいので磁力線も直接に惑星間磁場と結ばれていると考えてよく、気象衛星 (GMS) に搭載されている粒子モニターにも粒子の顕著な増加が認められるので、太陽フレアによる粒子の増加が“大空”により観測されたと決論できる。

4. 今後の課題

衛星飛揚以来多くの観測データが得られているが、いまだに粒子の分布を世界地図上に描くにいたらない。とくに、KSC で受信するのに都合の悪いインド洋からソビエトにかけて、東太平洋上空等の観測データが不足している。しかし、今後エスレンジあるいは南極昭和基地のデータを処理できるようになると粒子の世界分布が描けると期待している。また、高度分布、季節変化等を見るにはさらにデータを積み重ねる必要がある。

4 月の数日間スピンしたのを除き、衛星の姿勢を固定しているが、粒子の運動が磁力線と密接に関連しているので、将来はゆるやかな (~1 rpm) スピンをかけることを希望している。それによりピッチ角分布をさらに観測することができ、磁力線となす角と粒子のエネルギー分布の関係、降下粒子と捕捉性粒子の区別、粒子計数率の精密な測定が可能になる。

高エネルギー粒子測定器の“大空”搭載にあたり御援助戴きました宇宙科学研究所の伊藤富造教授、東北大学の大家寛教授、また宇宙科学研究所の工学部門の方々には測定器の各種のテストに際して御協力戴きました。茲に、厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- [1] Bano, M., P. V. Vakulov, L. Vanichek, S. N. Vernov, T. Gomboshi, N. L. Grigorov, Yu. Dubinski, A. V. Zakharov, S. N. Kuznetsov, V. A. Kuznetsova, V. N. Lutsenko, S. Pinter, N. F. Pisarenko, I. A. Savenko, A. Shomodi, A. Kohlba, and S. Fisher, Measurements of charged-particle current distributions below the radiation belts by the satellite Interkosmos 3, *Cosmic Res.*, **12**, 518-522, 1974.
- [2] Basilova, R. N., I. A. Savenko, L. F. Kalinkin, and G. I. Pugacheva, Flux density of electrons with $E > 80$ MeV at heights of 250-300 km above the Brazil Anomaly, *Cosmic Res.*, **12**, 576-577, 1974.
- [3] Butenko, V. D., O. R. Grigoryan, S. N. Kuznetsov, G. S. Malkiel, and V. G. Stolpovskii, Proton currents with $E_p > 70$ keV at low altitudes in the equatorial region, *Cosmic Res.*, **13**, 457-460, 1975.
- [4] Imhoff, W. L., E. E. Gaines, and J. B. Reagan, Local time dependence of the loss of

- energetic electrons from the slot region of the radiation belts, *J. Geophys. Res.*, **81**, 291-293, 1976.
- [5] Imhoff, W. L., J. B. Reagan, and E. E. Gaines, The energy selective precipitation of inner zone electrons, *J. Geophys. Res.*, **83**, 4245-4254, 1978.
- [6] Gledhill, J. A. and R. A. Hoffman, Nighttime observations of 0.2-to 26-keV electrons in the South Atlantic Anomaly made by Atmosphere Explorer C, *J. Geophys. Res.*, **86**, 6739-6744, 1981.
- [7] Gledhill, J. A., Non-solar ionization in the South Atlantic Anomaly : A review, IAGA, Canberra, December, paper No. 23.06, 1979.
- [8] England, J. B. A., *Techniques in Nuclear Structure Physics*, part 2, 419pp, Macmillan Press, London, 1974.
- [9] Goulding, F. S. and B. G. Harvey, Identification of Nuclear Particles, in *Annual Review of Nuclear Science*, 167pp., Vol. 25, Annual Reviews Inc., Palo Alto, 1975.
- [10] Paulikas, G. A., Precipitation of Particles at Low and Middle Latitudes, *Rev. Geophys. Space Phys.*, **13**, 709-734, 1975.
- [11] Haggard, R., J. A. Gledhill, D. G. Torr, and R. A. Hoffman, Low-energy particles at 300 km in the South Atlantic Anomaly Region, (preprint).