

「しんせい」の宇宙線観測^{*} — quasi-trapped electron の空間分布 —

竹内一,^{**} 今井喬,^{**} 和田雅美,^{**} 宮崎友喜雄^{**}

1. 序 言

第1号科学衛星「しんせい」によって観測された100KeV級の高速電子のデータについては、現在もなお基礎的作業が進行中であるが、興味ある現象について多くの分野の専門家の討論、示唆をお願いしたいので、これまでにまとまったところを報告することにした。この衛星の探査範囲は、赤道の両側約32°、高度約870-1800Kmであるから、観測データは放射線帯といわゆる quasi-trapped の領域とを出入りしながら取得されている。以下測定器の概略、観測結果 1) B-L 図上等強度点の分布によるデータの妥当性チェック、2) 電子の異常増加現象 (precipitation event とと思われる) の例、の順序で報告する。

2. 測定器

今回の報告は主検出器のプラスチック・シンチレータによる測定結果についてである。その寸法などの諸元を第1表に示す。コリメータ軸は衛星スピンの軸と直角な平面内にある。

第1表 プラスチック・シンチレータの諸元

plastic scintillator	14.5mm dia. × 5.0 mm length, cylindrical geometric factor for cosmic rays 8.77 cm ² · sr counting efficiency for charged particles ~ 1	
entrance window	Al 15 μm (4mg/cm ²)	
collimator	Al min, thickness 3mm, cylindrical inner dia 12mm × 24 mm length geometric factor 0.198 cm ² · sr mean aperture angle $2\bar{\theta} = 24.2^\circ$	
notation	discriminator	electron
	level setting (KeV equ.)	threshold energy (KeV)
D 1	40	70
D 2	80	120
D 3	300	400
D 4	800	1000
D 5	1900	2500

* 宇宙研特別事業費による論文

** 理化学研究所

入射粒子のシンチレータ中でのエネルギー損失に比例する出力パルス波高を5組の積分型波高弁別器(D1ないしD5となすける)によって分析する。

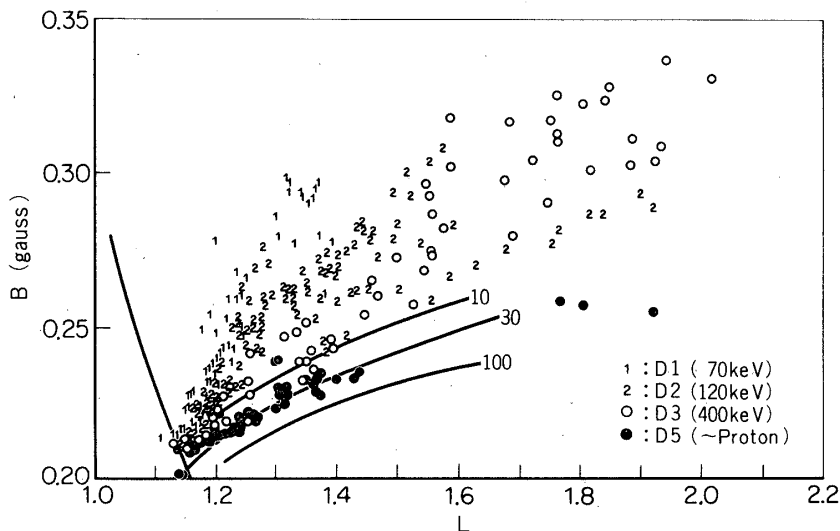
入射粒子の質量、速度と入射窓物質通過の残飛程、シンチレータ中でのエネルギー損失との関係から、陽子以上の重粒子と電子とはほぼ分離することができる。電子の検出限界エネルギーは、入射窓の透過率(入射エネルギー、弁別限界エネルギー損失の函数)と、適当に仮定した入射電子のエネルギー・スペクトルとから計算でもとめた(第1表)。入射窓の透過にだけ着目すれば、最大の弁別レベルD5は表のごとく2.5 MeVとなるが、シンチレータの平均厚みを考慮すると事実上は高エネルギー陽子あるいは重粒子による計数が大部分となる。

各波高弁別器の出力パルスは8ビット、5ワードのシフトカウンタで3.875秒(以下これをtime of frameとし、計数率をcounts/frame, c/fなどと表記する)の間計数し、次の0.125秒間は入力ゲートを閉じ、シフトレジスタ・モードでPCMテレメータに送りこむ。これらの制御はテレメータ装置からのクロックパルスによってなされる。

3. 観測結果

3.1 B-L図での等強度点の分布, そのエネルギー依存性

周知のようにshell parameter L と磁場強度 B をもちいる座標系[1]は、地磁気に捕捉されている荷電粒子分布を記述するのに便利なシステムである。初期のデータ(REV 1~300のうちの若干例)から、D1, D2, D3, D5(第1表参照)について、100counts/frameになる時刻の衛星位置に対応する B , L をもとめて*プロットしたのが第1図である。



第1図 B-L図上の等強度点の分布

数字付きの3本のカーブはMc Ilwain 論文[1]より引用した。
単位 counts/sec. 数字のないカーブは磁気赤道。

* B. Venkatesan の B , L 表 (羽倉幸雄博士所蔵) による。

る。高エネルギー陽子に対応するD5の等強度点は同図中に転写したMc Ilwainの等強度線(文献[1])にほぼそっている。電子のデータD1, D2, D3の等強度点はD5よりも一般にBの大きいところにあり、傾斜 dB/dL が大きく分布する。また次の二点が注目される。

1) $L = 1.15 - 1.2$ では各データとも散らばりが少く、 $L > 1.2$ では大きい。

2) エネルギーが低いほど dB/dL が大きい。これはBを固定してみれば、Lが大きいほどエネルギー・スペクトルが立っていることにつながる。

Temnyの $>50\text{KeV}$ の電子[2], Paulikas-Blake-Fredenの $>300\text{KeV}$ の電子[3]のB-L図も、放射線帯陽子, quasi-trappedの電子の等強度線の関係については我々の図の傾向と一致する。これらの点から見て我々の測定値は妥当なものと考えられる。絶対強度を問題にするならば、電子のピッチ角分布によるスピン平均計数率の姿勢依存性についてnormalizationが必要になるが、姿勢データ**を概観すると、使用データ相互間ではこの影響は到底factor 2までおよばない。図に見られる点の散らばりは姿勢よりもむしろ経度依存性その他によるとの印象を得た。この点は今後の解析課題である。

3.2 電子強度の異常空間分布の例

temporary electron precipitation によると思われるもので、我々の観測目標の主な一つであった。もっとも明瞭な例はカリブ海上空で、軌道に入った直後のREV 10(Sep 28, 1971)から見られる。やゝ鈍い形ではあるがアラビア半島上空で二例、日本東南太平洋上空で数例、類似の現象と思われるものが観測された。

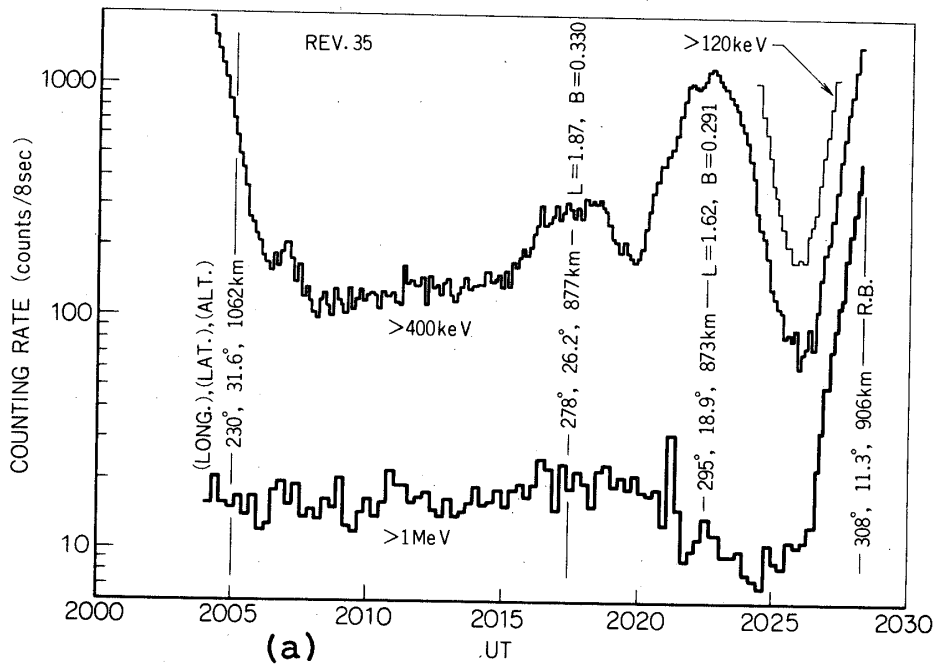
3.2.1. カリブ海の例

これは内之浦で接触可能なもっとも東よりの軌道で、例外的に二番目でも、見つかったものである。測定可能な軌道を逃さず捕えた観測班の熱意に感謝しなければならない一例である。典型的な例を第2図a, bにしめた。図中高エネルギーのデータ($>1\text{MeV}$)のほぼ平坦な時刻範囲で、低エネルギー($>400\text{KeV}$)のデータは1, 2個の鋭いピークをしめている。さらに低エネルギー($>120\text{KeV}$)では、計数率が大きすぎてオーバー・フローが復原しきれないが、少なくともLの小さい側の形は似ていることがわかる。衛星の近地点緯度が南下するにしたがい、上記ピークの見られる経・緯度を通過する高度が高くなり、10月13日以後はピークの観測が不可能となった。この直前には $>1\text{MeV}$ にも同位置に小さいピークが見られるようになった。これらピーク現象の諸要素を第2表にまとめておく。

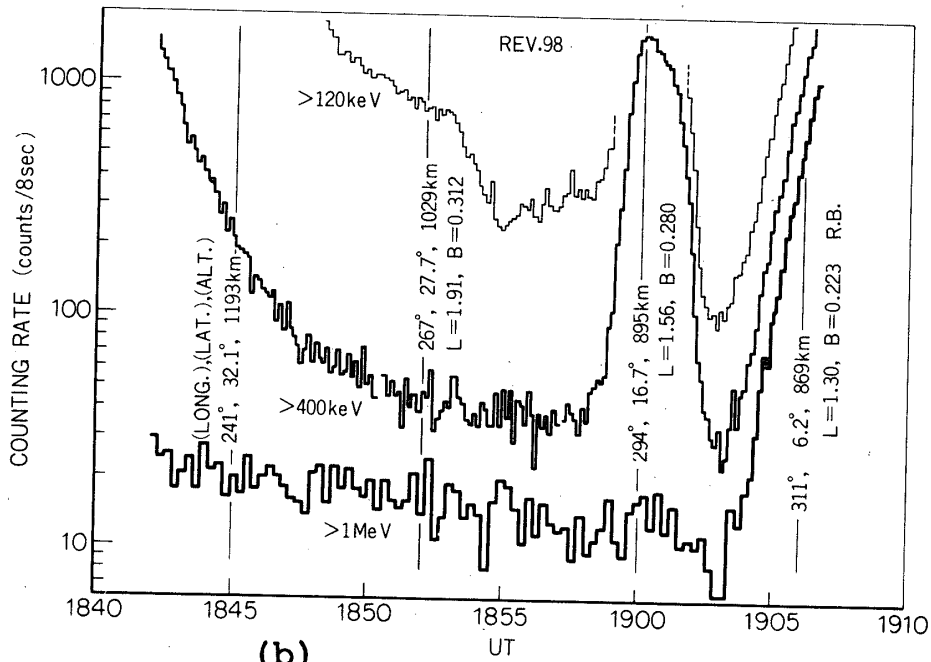
次に軌跡、ピークの位置をB-L図上に描いてみると第3図のようになる。前記Mc Ilwainの論文から10 cpsの線を一本転写した。これと対比すれば、これらのピークが観測されるのは放射線帯よりかなり下(B大)の部分であることがはっきりする。ピークのLは大部分1.5-1.7の間にある。二つのピークのあるときは、一つは $L = 2$ の附近にある。

ピークの観測された地方時(LT)は第2表にまとめた通り、初期の17時より最後の例の12時まで次第にうつって行く。ピークはLTには無関係に地球に固定した位置に対応すると考えるべきであろう。

** 二宮研究室で行われた総合解析によるスピン軸の赤経、赤緯および計算プログラムによって、衛星スピン軸と磁力線とのなす角をもとめた。



(a)



(b)

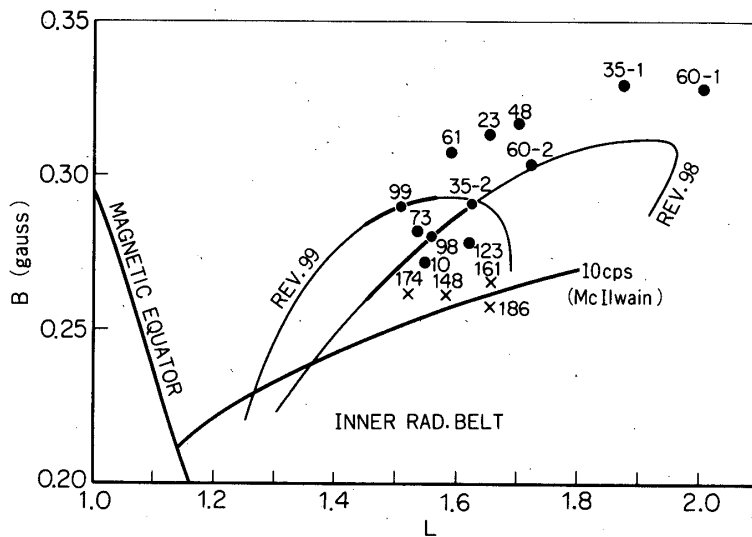
第2図 temporary electron precipitationと思われるピークの例
(カリブ海上空)

- a REV 35, 2 peaks
- b REV 98, 1 peak

第2表 カリブ海上空のピーク現象のまとめ

a) はメモリーのビットあふれのため直接決定できず、両側の時刻のデータから推定したもの、第3図の×印に対応。

REV	Date (1971)	UT (h m)	Long. (°E)	Lat. (°)	Alt. (Km)	LT (h)	Approx. peak c.r. (counts/frame)	L	B (gauss)
10	Sep 28	2119.9	296.9	16.0	918	17.1	450	1.54	0.272
23	Sep 29	2114.8	271.3	22.5	872	15.8	280	1.65	0.313
35-1	Sep 30	2017.5	277.8	26.2	877	14.8	150	1.87	0.330
35-2	Sep 30	2022.6	295.0	18.9	873	16.0	600	1.62	0.291
48	Oc 1	2048.2	273.2	23.3	875	15.0	120	1.70	0.317
60-1	Oct 2	1916.4	263.1	30.8	981	12.8	90	2.03	0.329
60-2	Oct 2	1924.8	293.1	21.6	877	15.0	110	1.72	0.303
61	Oct 2	2117.2	262.5	22.5	882	14.8	85	1.59	0.307
73	Oct 3	1956.7	291.6	16.0	871	15.4	500	1.53	0.282
98	Oct 5	1900.2	293.9	16.7	895	14.6	800	1.56	0.280
99	Oct 5	2050.6	257.2	20.8	927	14.0	450	1.51	0.290
123	Oct 7	1803.1	294.6	18.3	955	13.7	500	1.62	0.279
148	Oct 9	(1707.7) ^{a)}	300.6	17.1	1008	13.2	(2 000) ^{a)}	1.59	0.262
161	Oct 10	(1735) ^{a)}	295.0	18.7	1072	13.2	(6 000) ^{a)}	1.66	0.266
174	Oct 11	(1805) ^{a)}	277.4	16.0	1079	12.6	(10 000) ^{a)}	1.52	0.262
186	Oct 12	(1639) ^{a)}	289.6	18.2	1158	12.0	≤10 000) ^{a)}	1.66	0.258



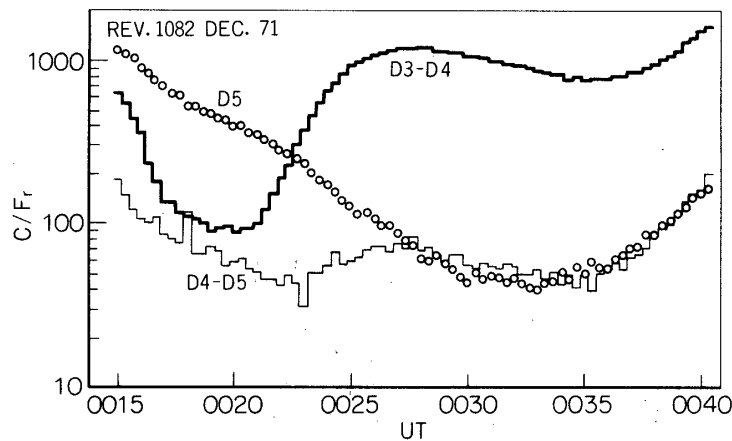
第3図 B-L図上のピーク的位置

各点につけた数字は周回数、黒丸、×印はそれぞれ決定したピーク的位置、または両側から推定したピーク的位置をあらわす。REV98, 99の軌跡中、太くかいた部分が強度の大きい部分。

このようなピークが $L \leq 2$ のような低緯度で観測された例は従来きわめて乏しく、Paulikas-Freden [4]の0.9 MeV 附近の電子の観測がほとんど唯一のものである。彼等は $L = 2.0, 1.2$ あるいはオーロラ帯にいくつかのピークをとらえた。我々の場合にも少数ながら小さいピークが $L \approx 2.0$ に存在する。また $L = 1.5 - 1.7$ のものも彼等の $L = 2.0$ の観測に対応した経・緯度の一部分の近くにある。しかし $L = 1.2$ に対応するものは我々の場合は見当らない。いずれにしろ両者とも地磁気の South Atlantic Anomaly の共役的な位置に関連がありそうである。太陽活動などもこの時期には特に顕著なものが対応できない。Paulikas-Fredenの場合もそうであるが、この事がかえってこのような現象の特性をしめすものであろう。今後VLF電波との相互作用[5]などの検討に期待する。

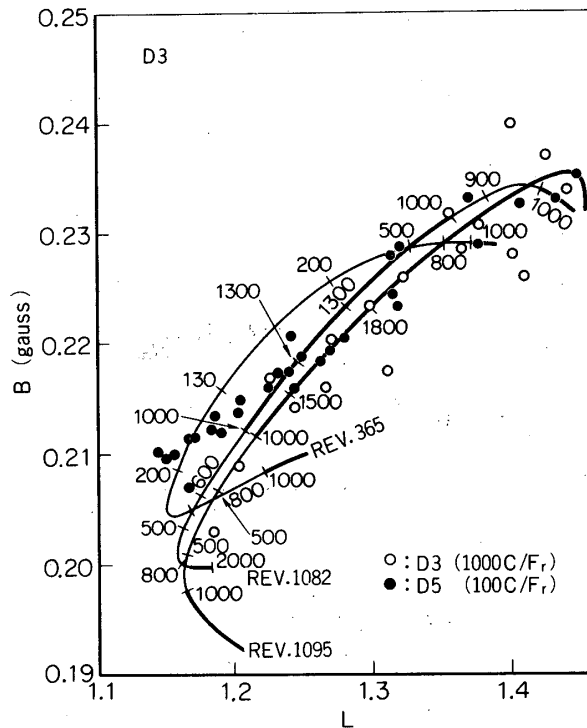
3.2.2 アラビア半島の例

Dec 22, 23 (1971) の二つの周回REV 1082, 1095 においては前例よりもっと幅広い強度上昇が見られた。REV 1082 の場合を、二つのエネルギー限界の差の形で第4図にしめす。D3-D4の大きな「ふくらみ」はアラビア半島の上空に対応する。B-L図に軌跡をプロットすると第5図のようになる。経度範囲は $10 - 90^\circ E$ である。前記両周回のものとしてREV 365の軌跡をかいてある。この図によると前例より



第4図 アラビア半島上空の例

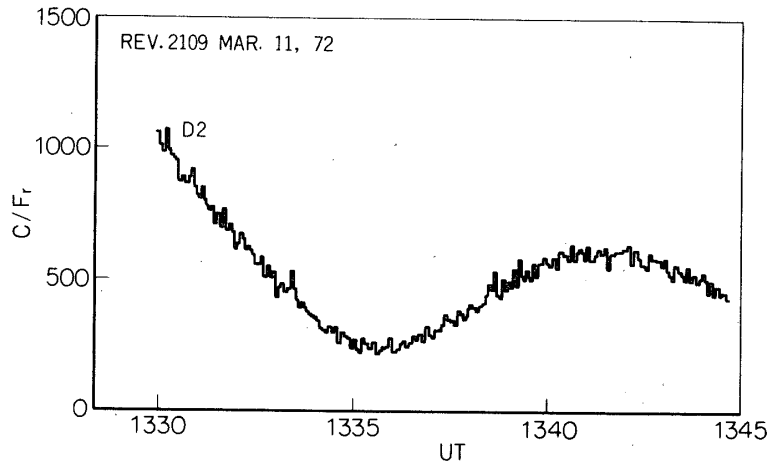
高度が高く放射線帯に入っていること、強度増大が一般分布からは表現しにくいこと、 $L = 1.3 \pm 0.5$ に対応することなどがわかる。この期間は電離圏が荒れているようなので、それとの関連、あるいは「しんせい」塔載の電子密度測定器のデータとの対比も興味があり、今後の解析予定に入れている。



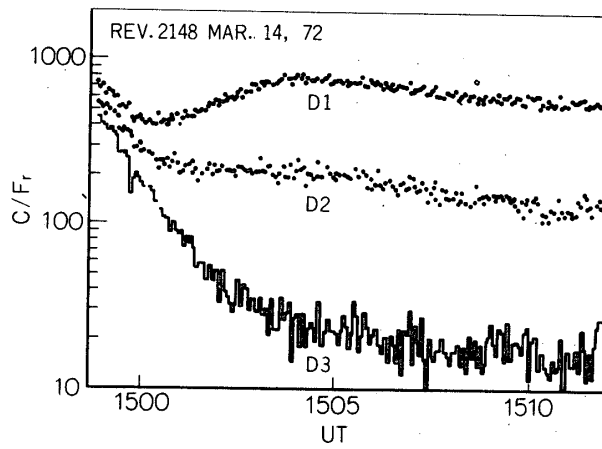
第5図 B-L図上の軌跡，アラビア半島の例
数字は計数率 counts/frame，軌跡中
太くかいたのは1000 counts/frame
をこえる部分をしめす。

3.2.3 日本東南の太平洋上の例

これはMar 11-14 (1972) において受信現場のリアルタイム・アナログ・モニタの記録中にみつけられたものである。例を第6図 a, b にしめす。D1, D2 はそれぞれ $>70\text{KeV}$, $>120\text{KeV}$ の電子に対応する。D2 について B-L 図上に軌跡をつくってみると第7図のようになり，放射線帯より低く，一般分布の傾向とも違うよう見えるが，経，緯，高度の変化の微妙な兼ね合いによりできたみかけ上の「こぶ」との疑問もすてきれない。長期のデータによる感度変化チェック，リアルタイムおよび L-3H のデータをストアドデータと共にもちいて，赤道帯の全経度にわたって分布を調べることが結果の解釈に必要なようになってきた。

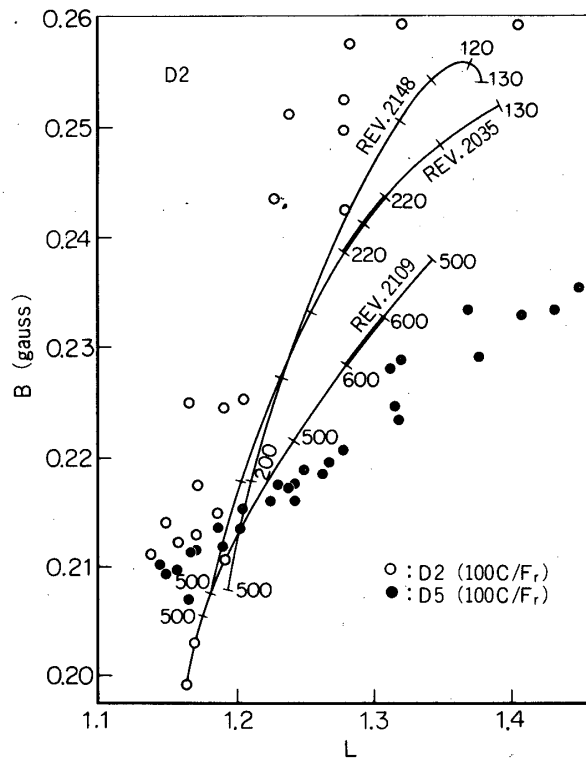


a REV 2109



b REV 2148

第6図 日本東南の太平洋上空の例



第7図 B-L図上の軌跡・日本東南太平洋上空。

数字は計数率 counts/frame。軌跡の太くかいた部分は増加した場所をしめす。白丸, 黒丸は一般的分布の参考用。

4. 結 言

放射線帯より低高度の領域における 100 KeV 級電子の空間分布についてデータの妥当性のチェックがすみ, そのエネルギー分布の見当がついた。今後ピッチ角分布, 経度依存性など考慮しながら当初計画された線にそってエネルギー・スペクトルの解析を進めたい。短時間変化と見られるピーク現象も一次的整理がすんで, 今後定常分布を確立することにより, その特性を明確にし, 発生メカニズムの考察を進めたい。

この研究の実現に御協力いただいた東大宇宙航空研究所の実験, 観測班ならびにデータ処理センタ各位に深甚の謝意を表す。姿勢計算方式を御教示いただいた二宮研究室の各位, B, L表を貸して下さった羽倉幸雄博士, データ処理プログラムについて御協力頂いた荻田直史博士, 理研電子計算機室各位に厚く御礼申し上げる。

1974年7月30日

参 考 文 献

- [1] C. E. MCILWAIN, J. Geophys. Res., **66**, 3681 (1961).
- [2] V. V. TEMNY, Space Research, V. 489 (1965).
- [3] G. A. PAULIKAS, J. B. BLAKE, and S. C. FREDEN, J. Geophys. Res., **71**, 3165(1966).
- [4] G. A. PAULIKAS, and S. C. FREDEN, J. Geophys. Res., **69**, 1239 (1964).
- [5] G. A. PAULIKAS, and S. C. FREDEN, *ibid.*