

オーロラ電子観測資料処理

和田雅美*・奥谷晶子*・今井 喬*・竹内 一*・小玉正弘*

Data Processing for Auroral Electron Analyses

Masami WADA*, Shoko OKUTANI*, Takashi IMAI*, Hajime TAKEUCHI*
and Masahiro KODAMA*

Abstract: By means of semi-analogue recording of the magnetic tape which was obtained by the Antarctic rocket experiments in 1967–77, details of data processing for deducing the pitch angle distribution of auroral electrons from the observed electron counting rates are described. In this way, a viewing direction of the detector is taken into account against both the spinning and precession motions of rocket.

要旨: デジタルデータをセミアナログ的に伝送して得た磁気テープ記録から、各電子検出器の計数率をロケットのスピンの、プレセッションを経て、ピッチ角分布にしていく資料処理の過程を示す。

1. データの伝送法

ロケット機上の時計でつくられた約1秒を1データサイクルとする。これを20等分した時間に加算された各検出器の計数が、次の計数に平行して伝送される。その間にそれぞれ4桁の4または6成分のデータが含まれるので、1データサイクルの中で送られる桁数は、

$$4 \text{ (または } 6) \times 4 \times 20 = 320 \text{ (または } 480)$$

となる。したがって、1桁伝送に要する時間は2~3 msである。1桁内は10進、すなわち0, 1, ..., 9に対応する電位で示される。なお各サイクルの初めに4桁幅の同期信号として9より高い電位が入る。続く4桁も特殊成分のデータサイクル間計数に用いられるので、初めの2成分のデータは失われる。

2. AD 変換

以上のデータはアナログ磁気テープに記録されているので、再生器を通した出力をAD

* 理化学研究所宇宙線研究室. The Institute of Physical and Chemical Research, 7-13, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173.

変換器（東大宇宙研の FACOM-U300 付属）にかけ、デジタル磁気テープに移した。変換周波数 10 kHz, 数値は +1023 ~ -1024, MT に 1600 BPI で 2 バイト/語のバイナリー 1280 語/レコードにして約 4000 ~ 7000 レコードがロケット 1 回分である。

3. 計数への変換

上記の方法で計算機が読める MT としたが、内容はまだアナログ的である。これをプロッターで画かせた例を図 1 に示す。図の左上と右下が同期信号であり、この間に約 1 万点の AD 変換点が含まれる。5 段はプロットの都合によるもので、時間的には継続している。細かく入れた縦線は 4 桁分ごとに分けたものであり、同期信号間が $480/4 = 120$ 区分されている。6 区分で 6 成分がひとまわりするので、パターンの繰り返しが認められる。なお、4 桁分は時間と共に低い桁から送られるので注意を要する。6 成分のうち、2 と 4 が計数大であり、5 と 6 は非常に少ない様子もみられる。

横線は 0, 1, ..., 9 の区分である。ロケット上の回路では矩形波としてつくられているに

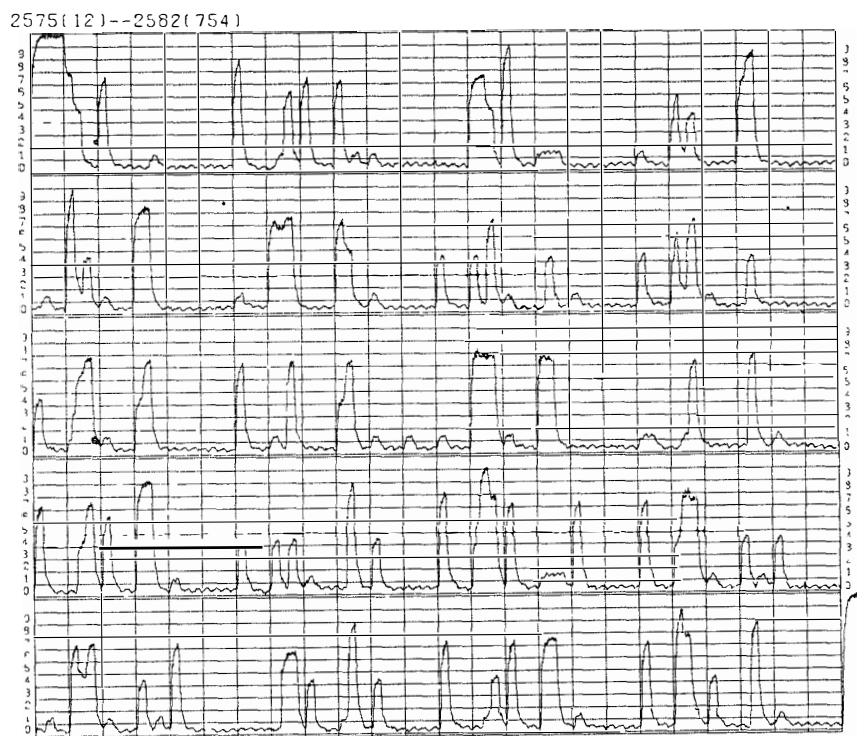


図 1 伝送データの再生結果

Fig. 1. A sequence of telemetered raw data. Vertical lines are drawn at the boundaries of words which contain four digits semi-analogue values. The height of each pulse corresponds to one of the numerals 0, 1, ..., 9 as shown on the ordinate.

もかわらず，波形のなまっているのは，伝送系の時定数が低いためである．雑音も加わっているが，だいたいにおいて指数関数的に最終値に近付くので，AD 変換した点を順に x とすれば，

$$y(x) = y_0 + a \exp(-bx) \quad (1)$$

と書ける．この y_0 が最終値となる． b をあらかじめ与えておき，

$$z = \exp(-bx) \quad (2)$$

$$y(z) = y_0 + az \quad (3)$$

とすれば，一次の最小自乗法により簡単に解けて， y_0 を得ることができる．

y_0 の分布は $0, 1, \dots, 9$ に対応する山を持つが，谷間は必ずしも y_0 頻度ゼロとしてすっきり分かれるものでもない． b を変えたり， x として用いる点数を変えたりして最良のものを探しても，なおかつそうであった．したがって，谷間の一部に y_0 が落ちたときは不定とした．かくて，4桁とも明らかなもののみを記録し，他を欠測とした．1データフレームごとの計数を1レコードとし，MT またはディスクファイルに保存し，以下の解析に用いた．

4. 資料解析法

4.1. 全点プロット

以下の解析において，地上時計によるロケット発射時から測った時間すなわち， $x+t$ 秒が用いられる．計数と送信の時間のずれは考慮されてある．

まず，各成分の $1/20$ 秒ごとの計数をそのまま全点プロットする．例を図2に示す．これにより，(1) 入射粒子に対応するロケット自転1周期変化，(2) 捕捉粒子を示す自転半周期変化，(3) 以上の高度，時間変化，(4) 成分間の差等の全体像を把握することができる．さらに観測資料の質，資料処理の適否，のちの処理法の計画等を見，かつ用いることができる．

プログラムとしては，成分のプロット順，縦横スケール，時間範囲等任意にえらぶことができる．なお縦スケールは対数とした．

4.2. 1秒平均計数

全点プロットに比べ，自転変化が消されること，時間幅がつまること等により全観測時間の変化を集約して見る効果がある．機上のデータサイクル約1秒間の平均計数を求めた．これにより，時間，高度，ロケットプレセッションを総合した状態を大観できる．例は別

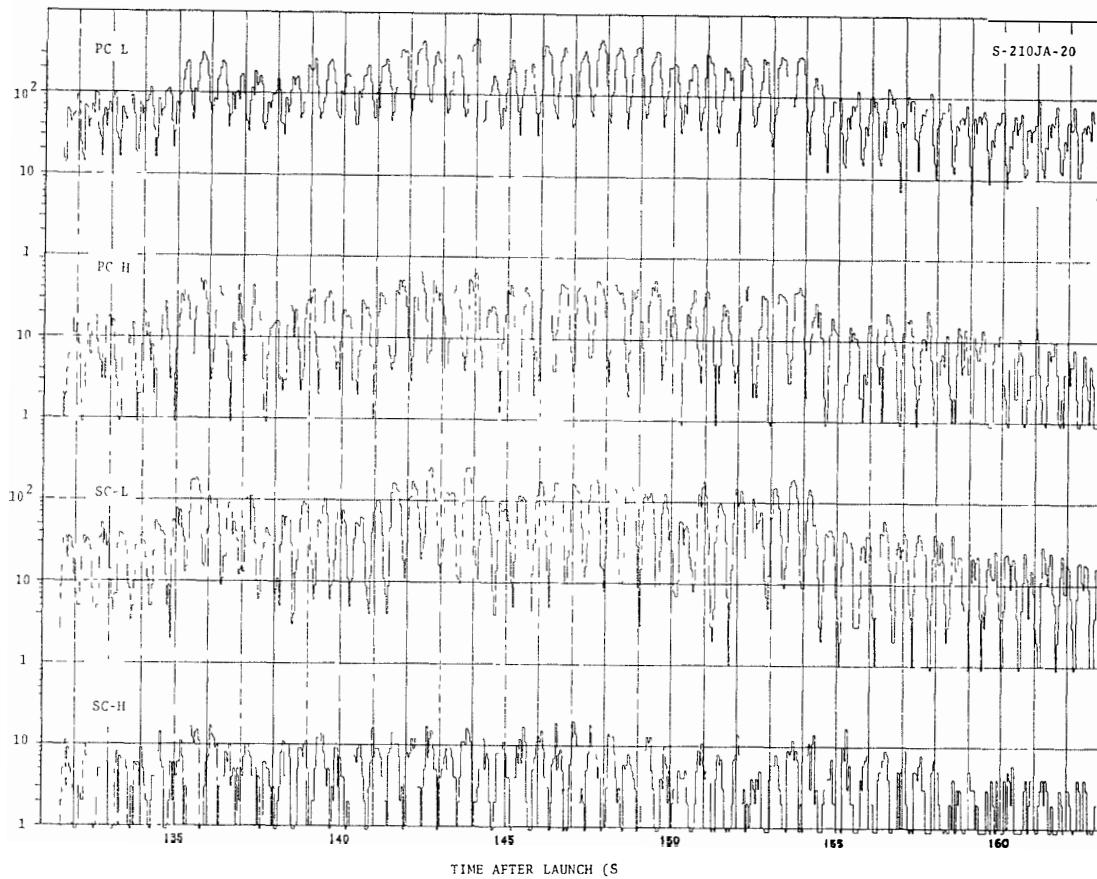


図 2 1/20 秒計数値の全点プロット

Fig. 2 Time profile of counts accumulated every 1/20 s Spin cycle (~ 2 Hz), altitude and time variations are clearly seen There are two types of spin modulations, single and double peaks

報（奥谷他，1979）にゆずる。

4.3. 自転周期変化

すでに、全点プロットにより大勢は見られたが、さらに位相振幅の量についても知るため、選んだ期間の平均的な自転周期変化を求める。これにはまず自転周期を与えることにより、周期内をたとえば 12 等分した区画（ビン）を用意する。1/20 秒ごとのデータ観測時刻に対応する区画にそのデータを入れていく。何周期かのちには、すべての区画にほぼ等分に観測点がばらまかれる。これをそれぞれの区画の点数で平均すれば、周期変化が得られる。

次に位相振幅を出すため調和解析を行う。自転 1 周期と半周期について求めた。位相は選んだ期間のほぼ中頃の時刻 $x+t$ 秒に換算して与える。これにより磁気センサー H 成分

の位相との対応を見ることができる。

1 周期変化は、磁力線と電子検出器のなす角が最小になった点で極大となり、電子降下を表すと考えられる。半周期変化は、ピッチ角 90 度を切る点に極大強度を持つ捕捉電子によっておこされるとみられる。もしそうであれば、1 周期位相 (極大点) は、半周期位相の 2 コの組のちょうど中間にくるはずである。多くの場合、この条件は満たされているが、比例計数管の低エネルギー側で異なる例がみられた。安定して狂っているので意味があり、原因が追求されるべきである。以上の結果を図 3 に示す。

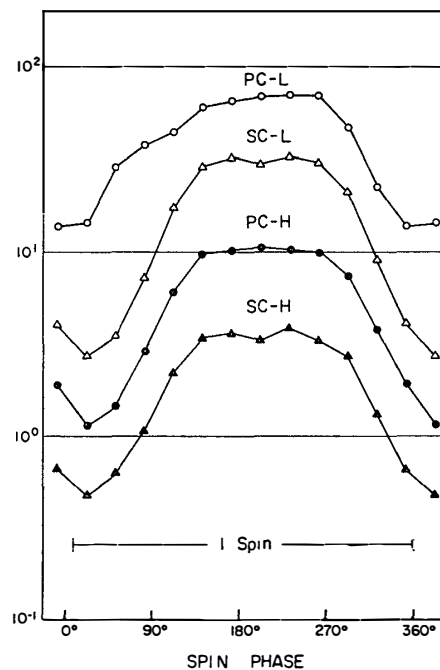


図 3 スピン周期変化の例

Fig. 3. Averaged spin cycle variations at a selected time interval.

4.4. ピッチ角分布

磁気センサーからプレセッションの値が得られているので、任意の $x+t$ 秒における検出器主方向のピッチ角を計算することにより、選ばれた期間の平均ピッチ角分布を出すことができる。この場合も、あるピッチの歩みで区画をつくり、それぞれの計数をばらまいてゆき、最後に平均する操作を行う。

ピッチ角 θ の計算は次の式で行う。

$$\cos \theta = \cos \delta \cos \varepsilon + \sin \delta \sin \varepsilon \cos \left(\frac{\pi}{2} - \varphi \right) \quad (4)$$

$$0 \leq \theta \leq \pi$$

ただし、

δ ： 検出器がロケット自転軸となす角、

ϵ ： プレセッションにより変化する自転軸と磁力線となす角、

φ ： 自転角、ピッチ角 90 度の点を原点としピッチ角が小さくなる方に進む。

したがって検出器が自転軸に直角に設置されている場合、 $\delta = \pi/2$ なのて式 (4) は、

$$\cos \theta = \sin \epsilon \sin \varphi \quad (5)$$

と簡単になる。 φ の原点を決めるには、先にのべた自転周期変化の位相を用いた。すなわち、磁気センサーは用いず電子強度そのものの变化から得た。

平均ピッチ角分布を見る場合、プレセッション範囲を広くとると、ピッチ角により、サンプルした時刻幅にちがいが生じる。したがって高度や時間変化の大きい場合、注意を要する。ピッチ角分布範囲を広くとるため、 δ の異なる検出器を同時に積むことは有効である。

解析例は KODAMA *et al.* (1978), 奥谷他(1979) にゆずる。

4.5. エネルギー分布

エネルギー分布をとるには当然ながら、エネルギーを分けた情報が必要である。しかし、今回の実験ではその区分数が 2~3 コと少ないので、スペクトル型を与えて解析することになり、かつその定数の数はかぎられてくる。一方、各エネルギーに対する検出感度は、必ずしも十分にみられてないので、較正された限界エネルギーのみを資料とし、感度は全範囲にわたり一様かつ 100% とした。幾何学的な値はコリメータの数値から算出した。

2 コに区分したエネルギー範囲をもつ場合、それぞれの計数の比 R は

$$R = \frac{\int_{E_1}^{E_2} f(E) dE}{\int_{E_3}^{E_4} f(E) dE} \quad (5)$$

となり、 $f(E)$ を与えたときの R の期待値を出しておき、 $f(E)$ のパラメーターを得ることができる。今回は単純ヘキ関数として、

$$f(E) = aE^{-\gamma} \quad (6)$$

をあてはめ、

$$R = \frac{E_1^{-(\gamma-1)} - E_2^{-(\gamma-1)}}{E_3^{-(\gamma-1)} - E_4^{-(\gamma-1)}} \quad (7)$$

から γ を求めた。しかし高エネルギー側でより急に減少する傾向が見えるので、

$$f(E) = a \exp(-E/E_0) \quad (8)$$

などの型でやってみる必要もあろう。

なおプログラムとしては、先のピッチ角分布の中で、それぞれの角ごとに R 、したがって γ を求めるようにしてある。

文 献

KODAMA, M., IMAI, T., TAKEUCHI, H. and WADA, M. (1978): Rocket measurements of auroral-zone energetic electrons at Syowa Station, Antarctica I. Characteristics of electrons under no geomagnetic disturbance. Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue, **9**, 11–23.

奥谷晶子・和田雅美・竹内 一・小玉正弘・今井 喬 (1979) 南極ロケットによるオーロラ帯降下電子の観測. 南極資料, **63**, 29–41.

(1978年6月10日受理)