

オーロラ粒子の観測

松 本 治 弥*

The Auroral Particle Detection

Haruya MATSUMOTO*

Abstract: An outline of the auroral particle detector which is planned to be flown in the Japanese Antarctic rocket experiments during IMS is presented.

The detector uses a combination of curved plate electrostatic analysers and channel electron multipliers together with thin foils. It measures 0.1, 0.3, 0.5, 1, 3, 5 keV electrons. The observable fluxes are 10^5 – 10^8 /cm² s sr keV for all energies with the pitch angle resolution of 20°–30°. Measurements of proton flux are also under consideration.

1. は し が き

オーロラ粒子（ここでは主として数 keV 以下のエネルギーの電子，プロトンを含む）は，オーロラ発光の直接的原因となるもので，その観測は，オーロラの成因の究明にそれ自体として重要な意味を持つのみならず，オーロラ現象に関連する他の諸観測，たとえば発光，電磁波，プラズマなどの観測に対して基本的な情報を提供するものである．したがって，欧米諸国では早くからロケット，人工衛星によるオーロラ粒子観測が行われてきた．しかし，オーロラ現象を全地球的に見た場合，成因の異なるかもしれぬ各種の型のオーロラがあり，特定の観測から結論を引き出すのは危険であり，いずれも局所的に制限された観測であることを念頭に入れておかねばならない．また従来の粒子観測は，他の観測と密接な関連を持たせて，個々の事象をとらえた例が少なく，わが国の南極におけるオーロラ粒子のロケット観測も，このような立場から行われるものと期待している．ここでは従来の観測の一例，搭載用オーロラ粒子観測器に要求される条件，考えられる観測器の構成などについて簡単に述べることにする．

2. オーロラ粒子観測の一例

図1は 69.3°N, 16°E でオーロラの2個の red arc にロケットを通過させて，オーロラ電子を観測した結果 (MAEHLUM and MOESTUE, 1973) を簡単に図にまとめたもので，オ

* 神戸大学工学部. Faculty of Engineering, Kobe University, Rokkodai-cho, Nada, Kobe.

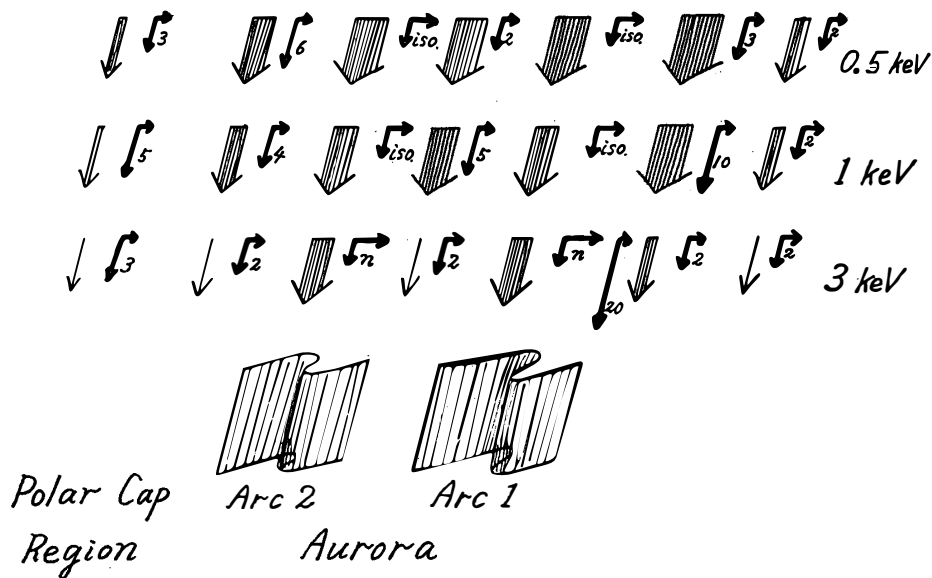


図 1 オーロラ粒子観測結果の一例 (MAEHLUM and MOESTUE)

↓: 粒子束強度, 太いほど強度が大きい

↗: 磁場に平行方向および垂直方向の成分の比を矢印の長さの比であらわす. 数字は比の大きさ, n は垂直成分の方が大きいことを示し, iso は等方的分布を示す.

Fig. 1. Schematic illustration of incoming auroral particles (after MAEHLUM and MOESTUE, 1973).

オーロラ降下電子の振舞を示す一例としてここに掲げた. 図で右が赤道側, 左が極側で 0.5, 1, 3 keV の電子流が, オーロラアークに対して相対的にどのように変化しているかを示している. 太さの異なる矢印は, 電子束の大きさの程度を表わし, 一番太いもので, $10^8 \sim 10^9 / \text{cm}^2 \text{ s sr keV}$, 一番細いものは, $10^4 \sim 10^5 / \text{cm}^2 \text{ s sr keV}$ 程度である. また, 別に矢印で磁力線に沿う方向の成分と垂直方向の成分の比を矢印の長さ, および数字で示してある. この図は, 単にオーロラ粒子の振舞の複雑さを例示したに過ぎないものであるが, このようにエネルギーにより空間的变化, ピッチ角分布が異なり, しかも時間的变化も大きくて, 粒子観測器の仕様, 構成を考える場合無視できない要素となる.

3. 観測器の仕様

上記の例からわかるように, 通常の搭載用として要求される容積, 重量, 電力の制限, 高い信頼性などの条件のほか, オーロラ粒子観測器として次のような仕様を満足することが望ましい.

(i) 測定エネルギー範囲: 0.1~10 keV の連続スペクトル測定が望ましいが, テレメータ容量, 時間的, 空間的分解能, 検出器受感面積の点から考えて現時点では, 固定エネル

ギーでの測定の方が有利である．この場合は，0.1, 0.3, 0.5, 1, 3, 5, 10 keV を基準として搭載機器としての条件が許す限り，この中から3点以上を観測する．

(ii) 測定粒子束範囲： $10^4 \sim 10^9 / \text{cm}^2 \text{ s sr keV}$ の粒子束が測定可能であれば，理想的であるが，少なくとも $10^5 \sim 10^8 / \text{cm}^2 \text{ s sr keV}$ は必要である．

(iii) ピッチ角測定分解能および測定範囲：角度分解能を良くすると有効視野角がせまくなり，検出器感度が低下するので，分解能 $2 \sim 30^\circ$ ぐらいが適当と思われる．ピッチ角分布は，もちろん $0^\circ \sim 180^\circ$ の範囲で測定することが望ましいが，これは検出器の設置角のみならず，ロケットの姿勢によっても決まるので，検出器開口を2, 3の異なる角度に向けて設置し，ロケットスピンによる角度掃引ができるだけ広い範囲をおおうように考慮しておく必要がある．

(iv) 空間分解能：同一条件の測定値が，どの程度の空間的密度で得られるかは，ロケット速度，スピン周波数，テレメーター伝送形式などによるが，一応数 km を目標にすべきであろう．

4. 観測器の構成

観測器の構成のうち問題となるのは，検出部で，検出器としてチャンネル形二次電子増倍管を用いるとして，エネルギー分析部を前記の仕様を満足する形で構成する必要がある．現在われわれの方で基礎的実験を行っているのは，電界型，磁界型，薄膜型の三種で，これらのうちいずれか一つ，または二者を併用して用いることになる．以下簡単に，それらの得失を述べる．

(i) 電界型：従来から粒子測定に最も多く用いられているが，検出器感度をよくするためには，偏向板構成が複雑になり（同心球型または同軸円筒型の変形など），また，分析用の高圧電源も必要になる．

(ii) 磁界型：単一永久磁石で，粒子軌道半径の異なる位置に対応して増倍管を配列すれば，異なるエネルギーの粒子の同時測定が可能である．図2はわれわれの試作品で測定した分析特性の1例である．構造は簡単であるが重量がやや大きく，また，磁界のものが磁場測定その他の観測器に影響を与える恐れもある．

(iii) 薄膜型：金属または，有機薄膜の粒子透過エネルギー特性を利用して，積分スペクトルを得るもので，薄膜の電子透過後のエネルギー散乱，角度散乱など基礎的データについては，すでにわれわれの方で実験を行い多くの結果を得ている．この分析器は，重量，容

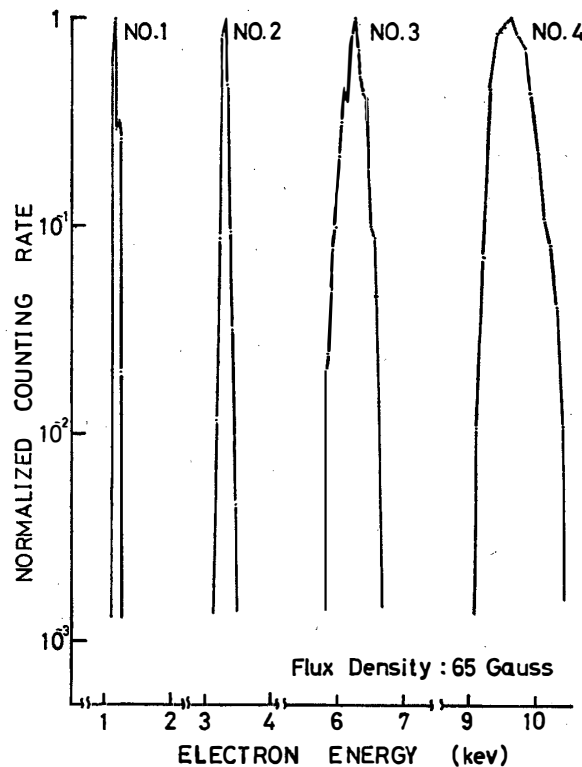


図 2 試作磁界型エネルギー分析器による
分析特性の一例, 単一永久磁石, 4 個
の増倍管列を使用

Fig. 2: Detection sensitivity of magnetic
particle energy analyser.

積とも小さく, 構成も簡単であるが, 分析の精度は劣り, 1 keV 以下のエネルギーについては, 膜の強度上不適である。

現時点では最終的な構成案は定っていないが, 電界型と薄膜型の併用になる可能性が最も大きい。電子回路部, データ伝送のフォーマットについては, 検出部の構成に依存する面も多く, まだ未定であるが, 前節の仕様をできるだけ満足する方向で設計を行う。

5. 結 言

オーロラ粒子の観測を意義あるものとするためには, 他の観測項目と密接な協調のもとに観測を行うことが重要であるのはもちろんであるが, 粒子観測自体も周到な計画, 準備が要求される。また, 観測高度が, 100 km~200 km と予想されるので, 機器の飛しょう前の真空抜きも必要となり, 現地での準備の簡略化も考慮して構成を設計せねばならない。現在はこれらの点も考え合わせて観測器の基本型を検討中である。

文 献

- MAEHLUM, B. N. and H. MOESTUE (1973): High temporal and spatial resolution observations of low energy electrons by a mother-daughter rocket in the vicinity of two quiescent auroral arcs. *Planet. Space Sci.*, **21**, 1957-1967.