

中緯度における 0.1 ~ 10 keV 領域の電子の ロケットによる観測

久保治也・伊藤富造

Rocket Observation of Electrons in the Energy Range of 0.1 - 10 keV at Midlatitude

By

Haruya KUBO and Tomizo ITOH

Abstract: Electrons of energies between 0.1 and 10 keV were observed in the altitude range of 130-360 km at geomagnetic latitude 20°N. The electrons were detected with conventional cylindrical electrostatic analyzer on board the sounding rocket K-9M-45 launched at 11:00 Japanese Standard Time on January 16, 1974, when solar activity was quiet and geomagnetic activity was a little disturbed. The measured flux was about 1200 electrons/cm² sec ster and no significant altitude dependence was observed.

梗概

磁気緯度 20°N で高度 130 ~ 360 km の間で 0.1 ~ 10 keV の電子を観測した。電子は通常と同軸円筒型静電エネルギー分析器で検出された。この測定器は 1974 年 1 月 16 日、日本標準時 11:00 に観測ロケット K-9M-45 号機に搭載されて打上げられた。その時の太陽活動度は静かで、地球磁場は少し乱れていた。測定されたフラックスは約 1200 electrons/cm² sec ster で、有意の高度依存性は無かった。

1. 緒言

高緯度に於ては、侵入して来る電子フラックスが E 層及び D 層の電離に重要な役割をすると言われている。それ等は中緯度に於ても、特に磁気嵐の時や、日の出、日没の期間は勿論、夜間に於いても考慮されねばならない (粒子仮説) [1], [2]。この点に関連して、今迄になされた数 keV 程度の電子の観測には次の様なものがある。

Antonova et al. [3], [4] は数回にわたってエネルギー領域 0.5 keV から 20 keV 迄の電子フラックスを、平行平板静電エネルギー分析器と二次電子増倍管の組み合わせと、thermoluminescent phosphorus CaSO₄-Mn で、昼間、夜間、日の出、日没時に測定している。彼等の測定したエネルギーフラックスは、天頂角 86° 近傍で、種々の Kp index の時に、静電分析器によるものは $1 \times 10^{-2} \sim 0.6$ erg/cm² sec ster, CaSO₄(Mn) によるものは $2 \times 10^{-2} \sim 0.2$ erg/cm² sec ster であった。日没前には 0.01 erg/cm² sec ster になり、夜間には $10^{-3} \sim 10^{-4}$ erg/cm² sec ster 迄減少した。O'Brien et al. [5] は地磁気活動度が静かな夏の真夜中に Wallops Island で、100 km よりも少し高い高度で、40 keV よりもエネルギーの高い電子を Geiger Counter で測定した。それによると電子フラック

スは $7 \text{ electrons/cm}^2 \text{ sec ster}$ で、エネルギーフラックスは $2 \times 10^{-2} \text{ erg/cm}^2 \text{ sec}$ 以下である。Jones [6] は冬の地磁気活動度が中位の時、天頂角 66° で 40 keV 以上のエネルギーの電子を Geiger Counter で測定した。彼の結果は Wallops Island ($L=2.5$) では $10 \text{ electrons/cm}^2 \text{ sec ster}$ 、Keweenaw ($L=3.9$) では $200 \text{ electrons/cm}^2 \text{ sec ster}$ であった。Keweenaw での二日後の測定は、 $20,000 \text{ electrons/cm}^2 \text{ sec ster}$ と粒子フラックスがオーダー2つも上がった。これは同じL値に対する Tulinov [7] のデータよりもオーダー2つ以上多い。Rice and Morse [8] は同軸円筒型静電エネルギー分析器で、磁気緯度 45° で、冬に、乱れた地磁気条件の等 ($K_p = 5^+$) 40 eV から 6 keV 迄の電子を測定し、昼間 $2 \times 10^{-4} \text{ erg/cm}^2 \text{ sec}$ 、夜間の上限 $2 \times 10^{-7} \text{ erg/cm}^2 \text{ sec}$ なるエネルギーフラックスを得た。Hill et al [9] は磁氣的に静かな時に、薄膜の Proportional Counter で 3 keV 以上の電子のフラックスを 22°N と 17°N で、日没後約2時間経過した時に測定し、高度 120 km 以上で、典型的なフラックスの値として、エネルギー 4 keV の所で、 $100 \text{ electrons/cm}^2 \text{ sec ster keV}$ を得た。Hayakawa et al. [10], [11] は 7 keV 近傍の電子を日本標準時 $21:00$ に Proportional Counter で測定し、 200 km 以上で $300 \text{ electrons/cm}^2 \text{ sec ster keV}$ を得、Kohno [12] は $140 \sim 265 \text{ km}$ で、 $6.5 \sim 23 \text{ keV}$ の電子を Proportional Counter で測定し $50 \text{ electrons/cm}^2 \text{ sec ster}$ を得た。

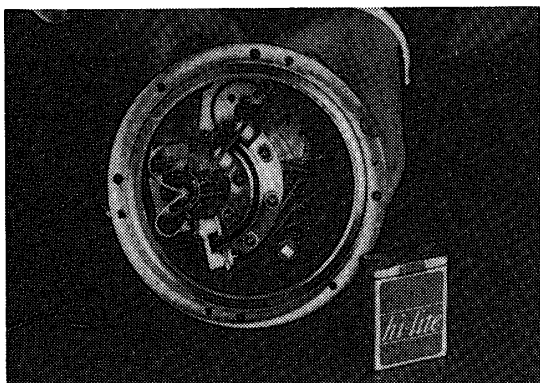
この様に、電子フラックスの測定値は、時と場所によって非常に異なる。従って、上層大気の電離源及びエネルギー収支を理解するためには、数 keV の電子フラックスを正確に測定し、その値を種々の太陽及び地磁気条件の下で確立することは非常に重要である。

2. 測定器

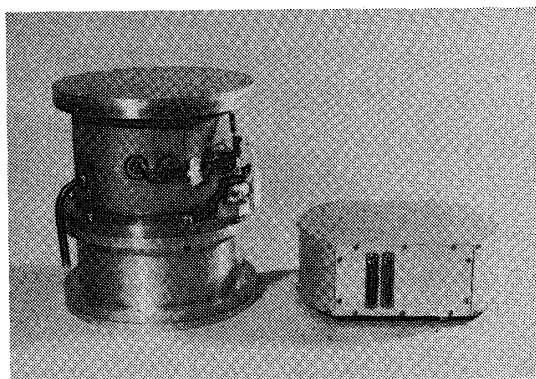
検出器は、中心半径 40 mm 、電極間隔 4 mm 、中心角 $\pi/\sqrt{2}$ の通常の円筒型静電エネルギー分析器 [13]、内径 4 mm 、長さ 40 mm の円筒型入射スリット、内径 1 mm の Bendix 4010 チャンネルトロンとそれ等の操作回路より構成されている。入射スリットは、電離層の熱電子が検出器に入って来ない様にロケット本体に対して -40 V にしてある。分析器の外側電極はロケット本体と同じ電位にし、分析器の内側電極の電位がロケット本体に対して、 $+20 \text{ V}$ から $+2 \text{ kV}$ 迄の 0.1 Hz の鋸歯状波で掃引され、分析器は 100 eV から 10 keV の間のエネルギーの電子を通過させる。これ等の通過した電子はチャンネルトロンで検出され、出力パルスが $4 \text{ bit} + 4 \text{ bit}$ の counter で計数され階段波が作られ、テレメーターで送信される。この測定器は真空シールをした後に、outgas による高圧の放電を防止するために、SORB-AC appendage pump AP-10 で排気され、又、真空管 6 AH 6 の電極で作られた真空モニターと動作チェック用の電子源を持っている。この測定器の写真を第1図と第2図に、又、測定系の Block diagram を第3図に示す。

測定器の諸元は下記の如くである。

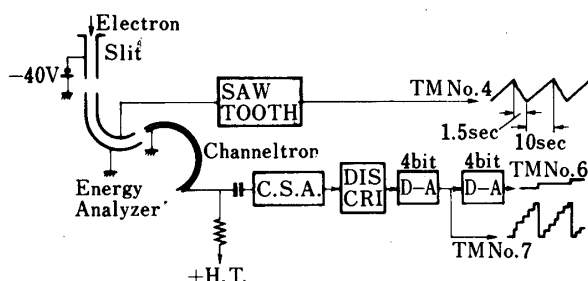
1. 大きさ： センサー部 $200\phi \times 125$
回路部 $200\phi \times 90$
2. 重量： センサー部 6.5 kg
回路部 4 kg



第1図 センサー部の内部写真。
真空計，真空ポンプも見える。



第2図 回路部と一緒にした測定器一式



第3図 測定系のBlock diagram

3. エネルギー領域： 100eV~10keV
4. エネルギー分解能： $\Delta E/E \sim 1/10$ (分析器のみ) $\sim 1/40$ (チャンネルトロンを付けた場合)
5. Geometrical factor： $10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ ster}$
6. 掃引時間： 10秒

3. 実験方法

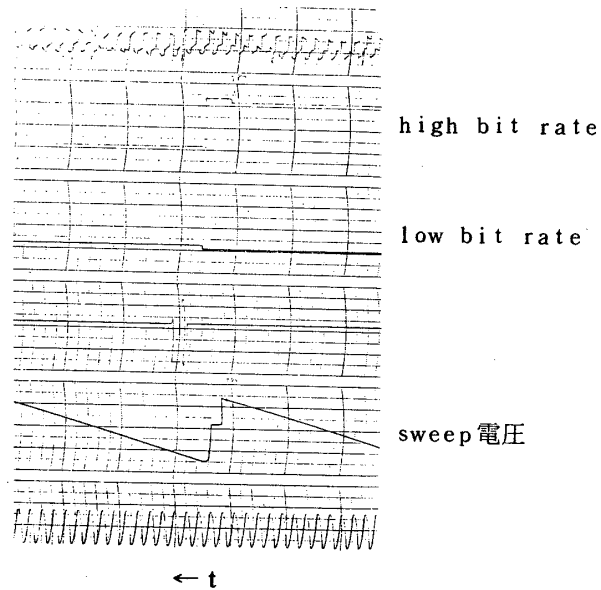
観測ロケットK-9M-45号機に搭載された測定器は1974年1月16日11:00(日本標準時)に鹿児島スペースセンター(磁気緯度 20° N)から打上げられた。打上げの前後及び打上げ時に太陽活動は静かで、地球磁場は少し乱れていた。

Nose coneは打上げ後51秒(高度75km)に除かれた。測定器の窓は打上げ後72秒(高度120km)でopenされた。測定器は打上げ後562秒(高度下りの69km)迄正常に動作し、この時刻に掃引電圧の波形が歪がみ、非常に高い計数率が得られた。打上げ後572.5秒(高度下りの39km)で放電が起った。100eV及び10keVの電子のジャイロ半径は各々1.2m及び12mなので、地磁気による電子軌道の弯曲の効果は無視する。

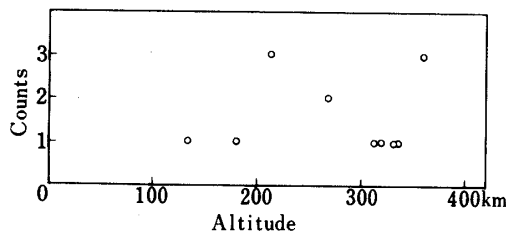
4. 実験結果及び議論

テレメーターで送信された典型的な生まのデータを第4図に、又、ロケットが飛んでい

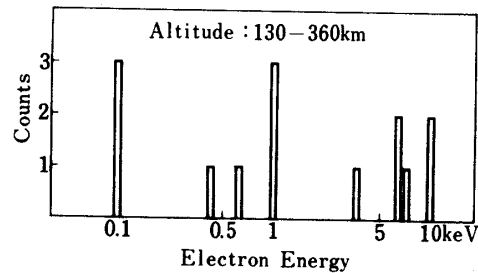
る間に得られた計数を第5図に示す。ロケットが高度 130 km 以上の期間、即ち、高圧が投入された打上げ後 77 秒(高度 131 km)から、534 秒(高度下りの 130 km)の間に 14 カウントあり、計数率は $14 \text{ counts}/475 \text{ sec} \sim 0.031 \text{ counts/sec}$ であった。高度 300 km 以上での計数率は 0.03 counts/sec 、250 km 以上では 0.028 counts/sec 、200 km 以上では 0.031 counts/sec であった。この事から高度が 130 km から 360 km の間では計数率はほとんど一定である事がわかる。第5図によると 300 km よりも高い所に沢山の計数がある様に見えるが、ロケットはこの高度により長時間滞在するので、時間平均の計数率は一定になる。



第4図 生まの data の一例



第5図 計数の高度分布



第6図 電子エネルギーのヒストグラム

第6図は高度 131 ~ 360 km に於ける、測定された電子のヒストグラムである。全計数が非常に少ないので、エネルギー・スペクトラムの形に関して何等特別な事は云えないが、数 keV 領域の電子の方が数 100 eV 領域の電子よりも多い様である。

今、測定器の geometrical factor は $10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ ster}$ で、測定系の分解能は $\Delta E/E = d/R = 1/40$ である。ここに d はチャンネル・トロコの内径、 R は分析器の中心半径である。これ等の係数を考慮すると、我々の 0.031 counts/sec は $1240 \text{ electrons/cm}^2 \text{ sec ster}$ に相当する。ここで、他の研究者が測定した電子をこの測定器で計数すると、どの様な計数率が得られるかを考える。Antonova et al. の昼間の結果は、すべての電子のエネルギーが 10 keV であったとして、 $15.6 \text{ counts/sec} \sim 9.4 \times 10^2 \text{ counts/sec}$ になる。Jones の Wallops Island での結果は $2.5 \times 10^{-4} \text{ counts/sec}$ 、Keweenaw では $5 \times 10^{-2} \text{ counts/sec}$ になり、2日後の結果は 5 counts/sec になる。Rice and Morse の結果はすべて

の電子が3 keV であると仮定して、昼間で0.083 counts/secになる。Kohno の結果は 1.25×10^{-3} counts/sec となる。

我々の結果は Keweenawでの Jones の結果に近い。Anatonova et al. が報告している様な強い電子フラックスは存在しなかった。又、Kohno の測定結果より一桁多かったのは地磁気活動度の相異と思われる。数 keV 領域の電子のエネルギースペクトラムを得るには、その様な電子が非常に少ないので、測定器が大きな geometrical factor を持つ事が本質的である。我々は geometrical factor を二桁改良するために、扇形のコレクターを有する同心球型静電エネルギー分析器を次回のロケット実験のために準備中である。

1974年7月30日 新設部(科学)

参 考 文 献

- [1] G.S. Ivanov - Kholodny and L.A. Antonova, Doklady Akad. Nauk USSR, **140**, 1070, 1961.
- [2] G.S. Ivanov - Kholodny, IAGA meeting in Madrid, September, 1969.
- [3] L.A. Antonova and T.V. Kazatchevskaya, Space Res. **X**, 757, 1969.
- [4] L.A. Antonova, G.S. Ivanov - Kholodny and T.V. Kazatchevskaya, University of Illinois, Aeronomy Report NO. 48, 127, 1972.
- [5] B.J. O'Brien, F.R. Allum and H.C. Goldwire, J. Geophys. Res., **70**, 161, 1965.
- [6] W.H. Jones, University of Illinois, Aeronomy Report NO. 48, 134, 1972.
- [7] V.F. Tulinov and S.G. Yakovlev, Kosmich. Issled. **7**, 122, 1969.
- [8] C.J. Rice and H.A. Morse, Trans. American Geophys. Union, **53**, 1077, 1972.
- [9] R.W. Hill, R.J. Grader, F.D. Seward and J.P. Stoering, J. Geophys. Res., **75**, 7267, 1970.
- [10] S. Hayakawa, T. Kato, T. Murakami, F. Nagase, K. Nishimura and Y. Tanaka, J. Geophys. Res., **78**, 2341, 1973.
- [11] S. Hayakawa, T. Kato, T. Kohno, T. Murakami, F. Nagase, K. Nishimura and Y. Tanaka, J. Geomag. Geoelectr., **25**, 113, 1973.
- [12] T. Kohno, J. Geomag. Geoelectr., **25**, 131, 1973.
- [13] A.L. Hughes and V. Rojansky, Phys. Rev., **34**, 284, 1929.