

# K-9M-48号機による 夜間低エネルギー電子の観測

久保治也・向井利典・伊藤富造・平尾邦雄

## 概 要

前日に great solar noise burst が起こり、地磁気が乱れているとき、磁気緯度 $20^{\circ}$ Nで、高度131-347kmの間で4.5eVから4.8keVの間のエネルギーの電子を測定した。低エネルギー電子フラックスの測定値は、9.3eVの所で、約 $3-5 \times 10^3$  electrons/cm<sup>2</sup> sec ster eVであった。測定されたフラックスの分布関数は $E=0.965$ keV迄は冪法則に従い $f(E) \propto E^{-1.87}$ で、0.965 keVでの電子フラックスは約 $1.4-2.1 \times 10^3$  electrons/cm<sup>2</sup> sec ster keVである。一方、4.8 keV電子のフラックスは0.965 keV電子のフラックスとほぼ等しく、約 $0.3-2.2 \times 10^3$  electrons/cm<sup>2</sup> sec ster keVで、はっきりとした高度変化を示す。測定されたエネルギースペクトラムの形は、冪分布の入射電子に対してBanksらが計算したエネルギースペクトラムの形と似ている。この事は中緯度に於ても磁気嵐の後に可成りエネルギーの高い電子の侵入がある事を示唆している。

## 1. 緒 言

中低緯度における降下電子と、それ等の大気との相互作用は非常に興味ある主題である。このような電子の直接観測はKnudsen [1], Heikkila [2], Goldberg [3], 及びTulinovら [4]によって報告されており、又、降下電子の存在を示唆する間接的観測はSayers [5], Knudsen and Sharp [6] (ある小さなL値における電子密度の増大), Gurnett [7] (強い電波雑音の放出), Hicks and Chubb [8] (極端紫外域における大気光), 及びPotemra and Rosenberg [9] (中緯度における電離層擾乱)によって報告されている。これ等の電子の源は放射線帯内帯電子であると考えられた ([3], [5], [6], [9])。放射線帯電子の洩れ出し機構はLyonら [10]によって研究された。

これら降下電子は中緯度夜間電離層の電離源であると考えられている ([4], Potemra and Zmuda [11])。

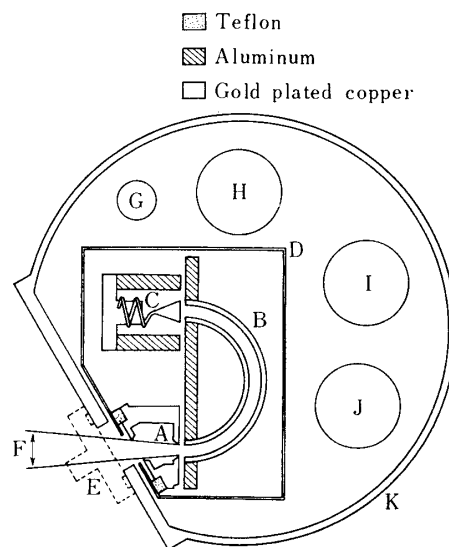
この論文で報告する実験は、一つは、上記の今迄の結果を、降下電子のエネルギースペクトラムと、それ等の大気との相互作用 (Banks et al. [12])を確認する事であり、今一つは、夜間の非常にエネルギーの低い電子 (数eVから数10eV)を観測する事である。

上記の目的に従って、実験は鹿児島宇宙空間観測所 (磁気緯度:  $20^{\circ}$ N)で、1974年9月20日2032JSTに発射された観測ロケットK-9M-48号機で行なわれた。

## 2. 観測器

観測結果は、扇形コリメーター、半球型静電エネルギー分析器及びチャンネルトロン (Galileo 4039型) で構成される電子スペクトロメーターで得られた。この電子スペクトロメーターの概念図を第1図に示す。コリメーター及び分析器の電極は金メッキをした銅で作られている。スペクトロメーターは外部磁場をシールドする為に高透磁率の金属で蔽われ、更に高電圧による絶縁破壊を防止する為に真空容器の中に入っている。高圧電源及び電子回路の一部は、やはり絶縁破壊防止の為に、大気圧封じがしてある。コリメーターの開口角は $10^\circ \times 90^\circ$ で、ロケット軸に平行に大きく開いている。半球型静電エネルギー分析器は平衡型で使用した。すなわち、正電位  $+V$  volt 及び負電位  $-V$  volt が各々内側及び外側の半球に与えられた。スペクトロメーターを通過する電子の平均エネルギー  $E$  は  $V$  と  $V=0.187E$  なる関係にある。スペクトロメーター全体としての energy-geometrical factor  $G$  の推算値は、 $G$  (cm<sup>2</sup> ster eV) =  $6.85 \times 10^{-3} E$  (eV) となった。

実際に電子エネルギーを測定する時には、エネルギーの掃引は段階的に行なった。その電圧と継続時間は、4.5eV(0.1sec), 9.3(0.1), 14.1(0.1), 18.8(0.1), 23.4(0.1), 30.1(0.1), 37.7(0.1), 47.1(0.1), 86.9(0.2), 174.0(0.5), 485.0(0.5), 965.0(1.1)及び4800(1.1)となっている。194, 485, 965, 4800eVのエネルギーの電子を測定する際には、コリメーター



第1図 電子スペクトロメーターの概念図

- A: 扇形コリメーター
- B: 半球型静電エネルギー分析器
- C: チャンネルトロン
- D: 高透磁率金属
- E: 開口窓
- F: 狭い方の開口角 ( $\sim 10^\circ$ )
- G, H, I, J: ハーメチック端子
- K: 真空容器

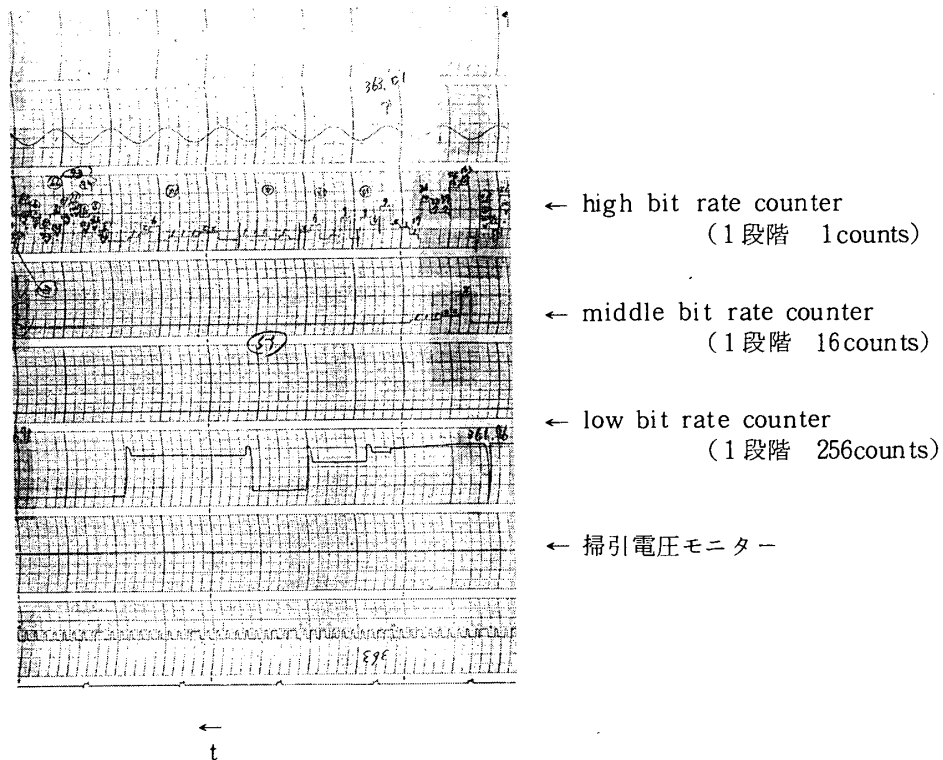
の電位は熱電子による spurious counts を除去する為に、 $-18\text{V}$  に保たれた。データ収集の基本時間は、 $0.1\text{sec}$  であった。すなわち、 $0.1$  秒間の積分されたカウント数が得られた。

### 3. 実験結果及び議論

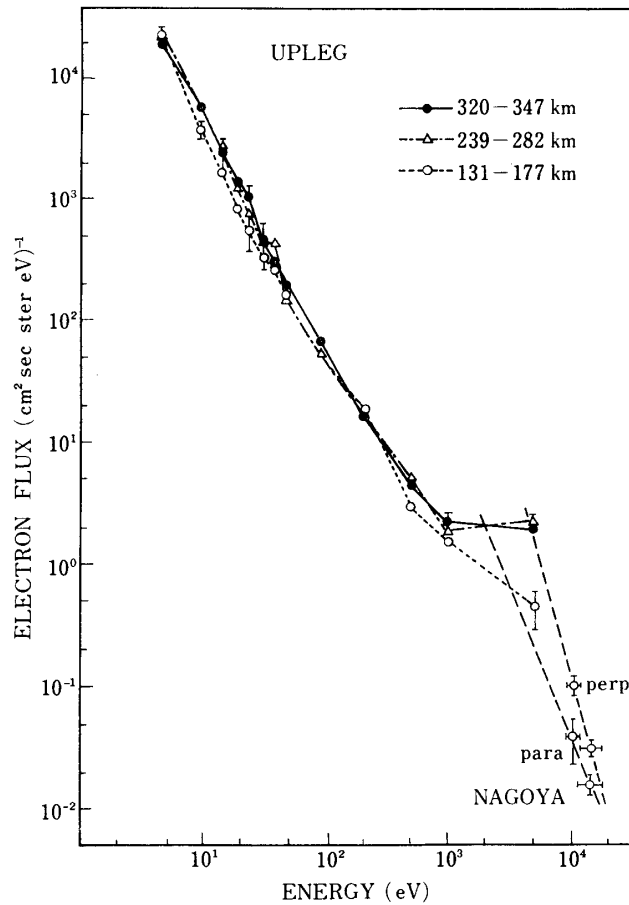
観測されたデータの一例を第2図に示す。上昇時の種々の高度における電子フラックスのエネルギースペクトルを第3図に、又下降時のスペクトルを第4図に示す。上昇時と下降時のスペクトルはほとんど同じである。計数率のデータから電子フラックスを算出する際に前出の energy geometrical factor  $G$  を用いた。

低エネルギー電子フラックスの測定値は  $9.3\text{eV}$  で約  $3-5 \times 10^3 \text{ electrons/cm}^2 \text{ sec ster eV}$  であった。測定されたフラックスの分布関数は  $E = 0.965 \text{ keV}$  迄は冪法則にしたがって  $f(E) \propto E^{-1.87}$  で、このエネルギーでの電子フラックスは約  $1.4-2.1 \times 10^3 \text{ electrons/cm}^2 \text{ sec ster keV}$  であった。一方、 $4.8 \text{ keV}$  電子のフラックスは  $0.965 \text{ keV}$  電子のフラックスとほぼ等しく、約  $0.3-2.1 \times 10^3 \text{ electrons/cm}^2 \text{ sec ster keV}$  であった。

名古屋大学のグループが同じロケット K-9M-48 [13] で、薄膜の proportional counter [14] を用いて X 線及び熱約エネルギーよりも高いエネルギーの電子の観測を行ない、counter 内に蓄積される電子のエネルギーを  $0.2 \text{ keV}$  迄測定した。薄膜の透過率を考慮して、 $6.5 \text{ keV}$  及び  $12 \text{ keV}$  の入射フラックスに換算し、更に冪法則に従うスペクトラムの形を仮定して  $4.8 \text{ keV}$  電子のフラックスが求められた。



第2図 生まのデータの一例

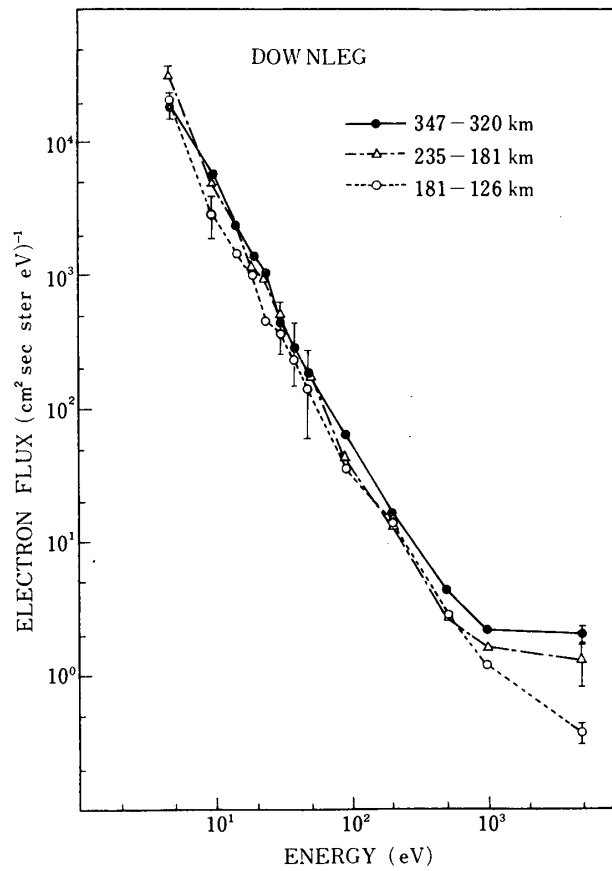


第3図 三つの異なる高度領域での上昇時のエネルギースペクトルと同じロケットで名古屋グループが得たデータ

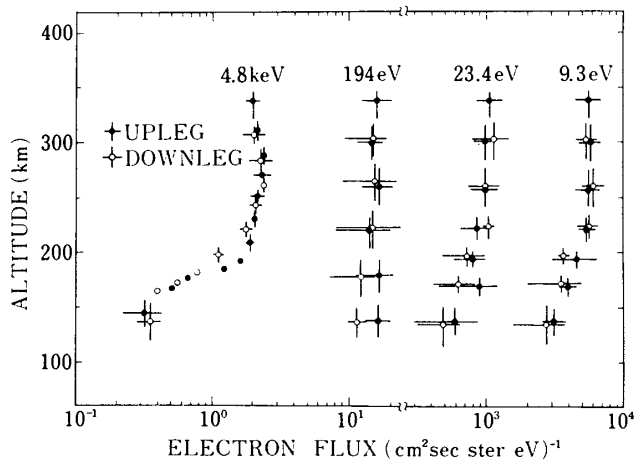
静電エネルギー分析器で測定した4.8keV電子のフラックスは proportional counter で測定したフラックスと、高い高度においては factor 2乃至3の範囲で一致する。この様子は第3図に示されている。

4つの典型的なエネルギーにおける電子フラックスの高度変化を第5図に示す。上昇時及び下降時のフラックスはすべてのエネルギーで可成り良く一致している。4.8keV電子のフラックスは顕著な高度変化を示すが、194eV電子のフラックスはほとんど一定で、よりエネルギーの低い電子のフラックスは少し高度変化を示す。4.8keV電子の最大フラックスは、高度280km近傍で観測され、ロケット軌道の遠地点においてではない。この高度変化と、名古屋グループによって観測された窓を通過する全電子の高度変化は、同じ傾向を示している[13]。即ち、高度160kmでのフラックスは遠地点でのフラックスの約1/3であり、フラックスは高度160kmと200kmの間で急激に増大している。

数keVの電子フラックスの測定値は静かな状態の時に期待される値[14]よりもはるかに大きかった。これは、9月15日2243JST及び9月18日2334JSTに始まった磁気嵐に伴う



第4図 下降時における三つの異なる高度領域でのエネルギースペクトル



第5図 四つの典型的なエネルギーに対する電子フラックスの高度依存性. 4.8 keV電子は顕著な高度変化を示している. 全てのエネルギーで, 上昇時及び下降時のフラックスがよく一致している

地磁気擾乱によるものと考えられる。

Banks ら [12] は、オーロラ領域において降下電子と大気との相互作用の効果を計算した。彼等は種々のエネルギー分布を持つ入射電子が高度 585 km で入射され、又、それらの電子が、電子の進行方向の半球上で等方的なピッチ角分布を有している場合について、磁気伏角が  $90^\circ$ 、重力と電場は磁力線に平行であり、磁場の収斂の効果は無視できるという仮定の下に計算した。

鹿児島宇宙空間観測所で測定されたスペクトラムは、冪法則に従う入射スペクトラムを有する電子が入射された場合の彼等の計算結果 (Ref [12] の第16図) に似ている。即ち、磁気伏角が約  $45^\circ$  であるという相違にもかかわらず、数 keV の所にピーク或は平坦な部分があり、数 10eV の所に肩がある。ある高度に降下電子が存在する事を仮定すれば、これらの電子と大気との相互作用は、原子衝突過程のみを考慮する場合には、すべての緯度で同じである。数 keV におけるピーク或は平坦な部分は入射電子の選択的エネルギー損失によるものであり、数 10eV における肩は、入射電子の二次電子、及びエネルギー損失した一次電子である。

降下電子の源は、多分放射線帯の slot 領域の電子であるが、数 keV 電子が電離層に入射される機構は未だ説明されていない。

非常にエネルギーの低い電子のフラックスは、昼間の測定値 [15] よりも 3 桁小さかった。夜間の EUV フラックスは、昼間の EUV フラックスよりも約 4 桁小さいので、地球コロナや惑星間空間グローで生成される光電子は、昼間の光電子に比べて 4 桁程少ないであろう。この事は、測定された非常にエネルギーの低い電子は大部分光電離によるものではなくて、降下電子の子孫であることを示している。

#### 4. 結 論

夜間における降下電子のエネルギースペクトルが得られ、数 keV 電子のフラックスは静穏状態の時に存在すると考えられているフラックスよりもはるかに大きい。数 eV の電子のフラックスは昼間の光電子のフラックスよりも 3 桁程小さかったが、EUV のフラックス比を考慮すると夜間光電子は昼間の光電子よりも 4 桁程少なくなる筈で、数 10eV の電子の大部分は光電子起源ではなくて、降下電子起源である事を示唆している。種々の高度におけるエネルギースペクトルは、 $0.965\text{keV}$  迄は冪法則  $E^{-1.87}$  に従う。数 keV におけるピーク或は平坦な部分及び数 10eV の肩は、オーロラ電子に対して計算されたスペクトルの形の中に存在するものに似ている。故に、電子と大気との相互作用が如何なる緯度においてもほとんど同じであれば、測定されたスペクトルは高エネルギーの電子の侵入があった事を示している。降下電子の源は、放射線帯の slot 領域であろう。

#### 謝 辞

ロケット実験の際の組込み、発射、データ取得に際して絶大な協力をいただいたロケット実験班の方々に厚く感謝いたします。

1975年9月30日 新設部 (科学)

## 参 考 文 献

- [ 1 ] W.C. Knudsen, J. Geophys. Res., **73**, 841, (1968).
- [ 2 ] W.J. Heikkila, J. Geophys. Res., **76**, 1076, (1971).
- [ 3 ] R.A. Goldberg, J. Geophys. Res., **79**, 5299 (1974).
- [ 4 ] V.F. Tulinov, V.M. Feigin, V.A. Lipovestskii, and Yu. M. Zhuchenko, Cosmic Research, **12**, 199, (1974).
- [ 5 ] J. Sayers, Space Research, **V**, 161, (1965).
- [ 6 ] W.C. Knudsen and G.W. Sharp, J. Geophys. Res., **73**, 6275, (1968).
- [ 7 ] D.A. Gurnett, J. Geophys. Res., **73**, 1096 (1968).
- [ 8 ] G.T. Hicks and T.A. Chubb, J. Geophys. Res., **75**, 6233, (1970).
- [ 9 ] T.A. Potemra and T.J. Rosenberg, J. Geophys. Res., **78**, 1572, (1973).
- [ 10 ] L.R. Lyon, R.M. Thorne and C.F. Kennel, J. Geophys. Res., **77**, 3455, (1972).
- [ 11 ] T.A. Potemra and A.J. Zmuda, J. Geophys. Res., **75**, 7161, (1970).
- [ 12 ] P.M. Banks, C.R. Chappel and A.F. Nagy, J. Geophys. Res., **79**, 1459, (1974).
- [ 13 ] T. Murakami et al., private communication (reported at Varna COSPAR Meeting).
- [ 14 ] S. Hayakawa, T. Kato, T. Kohno, T. Murakami, F. Nagase, K. Nishimura, and Y. Tanaka, J. Geomag. Geoelect., **25**, 113, (1973).
- [ 15 ] T. Mukai and K. Hirao, J. Geophys. Res., **78**, 8395, (1973).