

K-9 M-67号機による夏の夕方時における  
電離層熱的電子のエネルギー分布観測

雨宮 宏\*・小山孝一郎・平尾 邦雄

(1983年8月15日受理)

Observation of the Energy Distribution of Thermal  
Electrons  
in the Summer Afternoon Ionosphere by a K-9 M-67  
Rocket

By

H. AMEMIYA, K. OYAMA and K. HIRAO

**Abstract :** Characteristics of a Langmuir probe measured by a K-9M-67 rocket are analyzed to obtain the variation of energy distribution with height. The rocket was launched in the summer afternoon (Aug. 18, 1979 pm. 4h00m) from Kagoshima Space Center. Digitized probe currents are smoothed by a least square fitted curve at each point successively and the second difference of the probe curve is taken. The result shows that a group of superthermal electrons with 0.2 to 0.3eV exists in the E layer below 120 km. The mechanism of the generation of such a group of electrons is considered to be due to the collision of thermal electrons with vibrationally excited N<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> molecules. The energy distribution in the F layer above 150 km exhibits nearly Maxwellian. The electron temperature determined from the semilog plot of the probe current by the usual procedure shows a slight increase with height toward about 250 km and then has a constant value of about 1300 °K above this height.

---

\* 理化学研究所

## 概 要

1979年8月午後4時0分に打上げられたK-9M-67号ロケットに搭載されたラングミュアプローブ測定器におけるプローブ特性を解析した結果、高度84-127 kmに亘って0.2~0.3 eVおよび0.6 eVの非熱的電子の存在を示唆するピークが得られた。解析はプローブ特性をデジタル化し、各プローブ電圧において移動的に最小二乗法を適用し平滑化した曲線の二次差分をとることにより行った。これらのエネルギーをもつ電子群発生の一機構としてE層中に存在する振動励起されたN<sub>2</sub>ないしO<sub>2</sub>分子の熱的電子との衝突による脱励起過程が考えられる。

## 1. はじめに

本報告は1979年夏夕方時にK-9M-67号機に搭載されたラングミュアプローブにより高度84 km-360 kmに亘る熱的電子のエネルギー分布および電子温度の測定結果に関するものである。搭載計器はビート法によるエネルギー分布測定回路とプローブ電流測定回路とから成っていて、各回路にプローブが接続されていたが、前者の回路に接続されたプローブ被覆用ガラスカッターがプローブに当たって短絡したためプローブ電流の二次微分特性は測定出来なかった。しかし、プローブ回路の方は正常に動作しその特性を解析した結果、84-120 kmの高度のプローブ特性は非熱的電子の存在を示唆した。一方、140 km以上では高エネルギー部分で若干の凹凸がみられるが、比較的マクスウェル分布に近い分布を示唆した。

従来は電離層の熱的電子はマクスウェル分布に従うという仮定のもとに電子温度の測定が精力的に行われて来たが[1,2]、最近その仮定をはずし、二次高調波法[3]やビート法[4,5]による微小交流重畳法を用いて分布関数が測定され、マクスウェル分布からのずれが見出されている。また、実験室プラズマでも最近第二種非弾性衝突に基づく非熱的電子の発生がアフタグローや負グローにおいてプローブによるエネルギー分布測定によって実証されている[9-12]。従って、ここではこれら実験結果もふまえて測定結果の考察を行なう。

## 2. 測定装置および方法

第1図は測定系のブロックダイアグラムを示す。測定器はプローブ電流 $i_p$ の測定回路とビート法によるプローブ特性二次微分 $i_p''$ の測定回路からなっている。 $i_p$ と $i_p''$ の測定のためガラスで真空封じした3 mmφ、18 cm長のステンレス製円筒プローブを接続している。プローブ電圧 $V_p$ はロケット本体に対し-0.5 Vから2.0 Vまで1 Hzの三角波で掃引しプローブ電流を利得1, 4, 16(夫々出力電圧5 Vに対し20 μA, 5 μA, 1.25 μAの変換利得)でテレメタチャネル#14(レスポンス330 Hz), #13(220 Hz), #12(160 Hz)に送出した。打上げ時刻からノーズコーン開頭までおよび打上げ後550秒以後にCALへの切

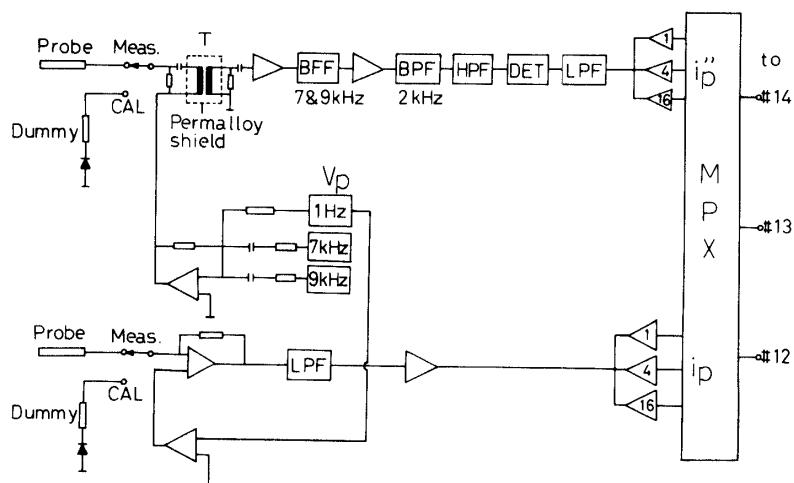


Fig. 1 Block diagram for the measuring circuit of the probe current  $i_p$  and its second derivative  $i_p''$ . BEF : band eliminator, BPF : band pass filter, T : transformer, DET : detector, LPF : low pass filter, HPF : high pass filter, MPX : multiplexer.

換えにより規準信号，即ち，ダミー非線形素子（トランジスタ 2SC 373 G と  $1\text{ M}\Omega$  の抵抗の直列接続）に流れる電流を相対利得 1, 4, 16 の順にチャンネル# 13 に送出した。また，浮動電圧は常時チャンネル# 5 において監視されていた。

ロケット発射地点は内の浦，発射角  $79^\circ$ ，方向  $135^\circ$ ，着地点は (28.498 N, 133.12 E) 附近，最高高度は 364.91 km，打上げ日時は 1979 年 8 月 18 日午後 16 時 00 分である。

タイミングは以下の通りである。

打上げ後 51 秒：ノーズコーン開頭

52 秒：観測計器へのテレメタ切替

53 秒：プローブ被覆用ガラス割り

54 秒：プローブ展張

251 秒：PWP カソードヒータ点火

第 2 図にロケットの高度と水平距離の関係を示す。パラメタとして打上げ後の時刻(秒)が付されている。測定は主に 54 秒から 310 秒までの上昇時において行われた。その内、250 秒 (350 km) から PWP (プラズマ波動測定器) が作動し電子源の陰極の加熱を行ったが、暫くは未だバイアス電圧が零であったのでビームはあまり放出されず浮動電位  $V_f$  も殆んど変化はなくプローブ特性はそのまま得られた。しかし、この高度から 365 km まではプローブ電流が完全にプラズマ電子のみからなるという保証はない。PWP の電子源が切られ電子放出が終了した 522 秒から CAL モードに変換を行った 550 秒までは再びプローブ特性が得られる様になった (下降時)。

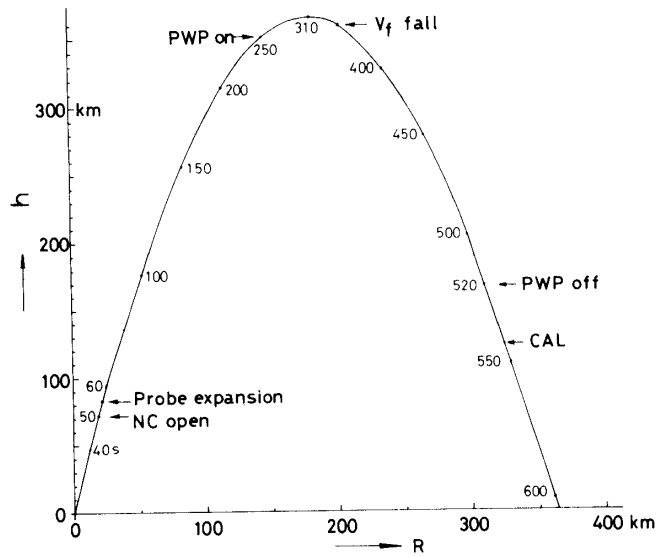


Fig. 2 Height of rocket vs. horizontal range. NC: nose cone, PWP: plasma wave measurement, CAL: calibration mode.

### 3. 観測結果

第3図は開頭時近辺数秒間のテレメタチャンネル#14, #13, #12に現われたプローブ電流信号の波形 ( $i_p$ ) を示す。二次微分信号は  $i_p$  と時分割送信したが前述の様にガラスカッタの不具合のため  $i_p$  の次に平坦な信号となって現われている。これは交流信号重畳用コイルに並列に接続された抵抗 ( $10\text{ k}\Omega$ ) でプローブがロケット本体に接触し、 $V_p$  に対し線形な電流が流れ  $i_p' = 0$  となったものと考えられる。プローブ展張時 (54秒) では、高度  $h$  は  $84\text{ km}$  に達し、ロケットは既に十分プラズマに浸されている。チャンネル#5 (レスポンス  $20\text{ Hz}$ ) は PWP により測定された浮動電位  $V_f$  でこの時間帯では  $V_f$  の変化はやや大きい。チャンネル#14での展張前の波形はプローブ電圧  $V_p$ , #13の波形はダミーロードによる利得  $\times 1, \times 4, \times 16$  の規準信号および零レベルを表わす。

55秒から83秒に亘る典型的なプローブ特性のフォトコーダトレースを第4図に示す。高度  $90$  から  $120\text{ km}$  にかけては同図に三角印で示す所に非熱的電子の存在を示唆するプローブ電流の微係数変化が見られ、それより高い電位における微係数変化はプラズマ電子による寄与と考えられる。尚、所々矢印で示す様に特性に不連続性が現われているが、これらのピーク等は同時搭載計器等からの擾乱信号と思われる。60秒より310秒 (最高高度  $365\text{ km}$  に到達時) に亘ってこの様な擾乱が所々見られた。342秒より PWP の電子ビーム放出に伴うロケット浮動電位  $V_f$  の約  $2.5\text{ V}$  降下 (バイアス  $6\text{ V}$  印加) によりプローブ特性は電子飽和領域まではとることが出来なくなった。

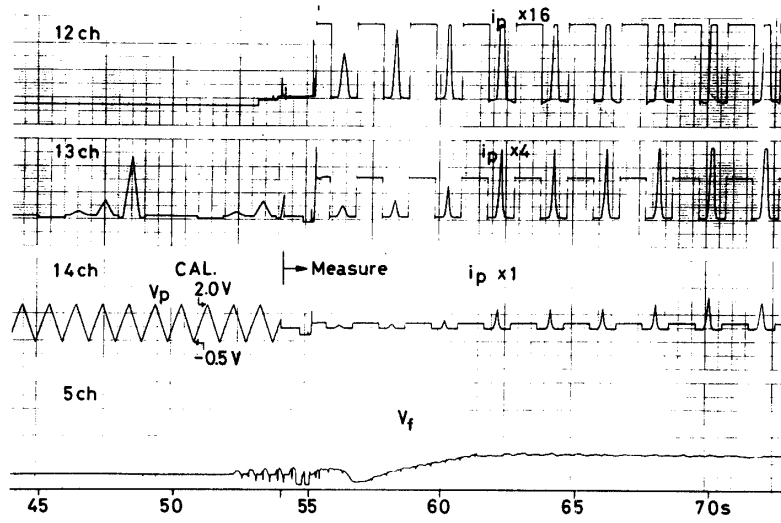


Fig. 3 Time chart around 54 sec. (probe expansion) after launching of the rocket, showing switching from calibration (CAL) mode to measuring mode.

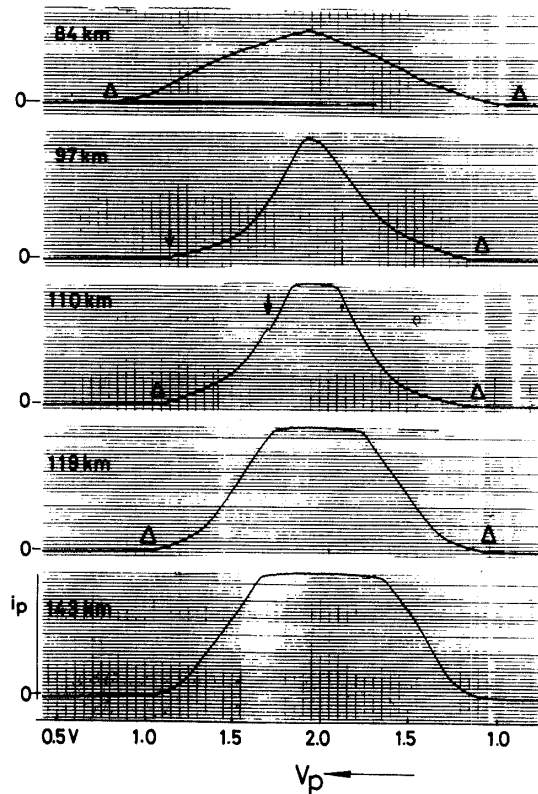


Fig. 4 Photocoder traces of probe characteristics  $i_p$  in 13th channel between  $h=84$  and 143 km.

第5図のタイムチャートは  $V_f$  の降下とそれに伴うプローブ電流の変化を示している。 $i_p$  は  $V_p$  に対する指数関数的な形状からは歪んでいて PWP からの放出電子の影響を受けている様である。ここで、#5 に示す浮動電位  $V_f$  は上向きに負(-)となっている。ロケット下降時は能動的な波動実験が優先的に行われたことと、プローブ特性自体がウェークの影響を受けたおそれがあるためプローブ特性の解析は上昇時(285秒, 362.5 km まで)に限定した。

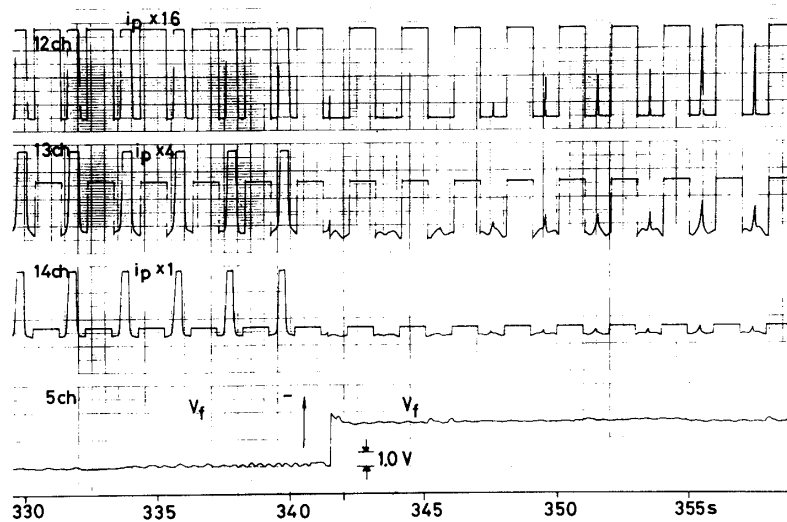


Fig. 5 Time chart around 342 sec. after launching, when the electric potential fell due to the electron beam ejection by PWP.

第6図のタイムチャートは550秒において内部タイマにより動作チェックのモード(CAL)に戻った時点の様態を示している。内部タイマのクロックがロケットのタイマの周期より約1%短かったため実際には545秒でCALモードに切り替えが起り、それ以後はデータはえられない結果となった。プローブ電圧  $V_p$  およびダミー負荷を流れる電流共プローブ展張(55秒)以前と殆ど変わらず測定器は飛行中を通じ正常に動作したことが分る。

第7図は高度181 km から319 km の間の典型的なプローブ特性を示している。この範囲の高度では非熱的電子の存在を示唆する微係数の変化はみられずプラズマ電子に対応する変化のみが見られる。矢印で示す様に矢張り第4図と同様擾乱によると思われる不連続が所々存在する。

ここでドリベステンの公式に基づいてエネルギー分布  $f(E)/\sqrt{E}$  を求める。即ち、

$$\frac{d^2 i_p}{dV_p^2} = \frac{n_e S}{4} \sqrt{\frac{2e}{m}} e^2 F(eV_p) / \sqrt{V_p} \quad (1)$$

ここに、 $E$  : エネルギー,  $V_p$  : プラズマに対するプローブ電位,  $S$  : プローブ表面積 ( $S =$

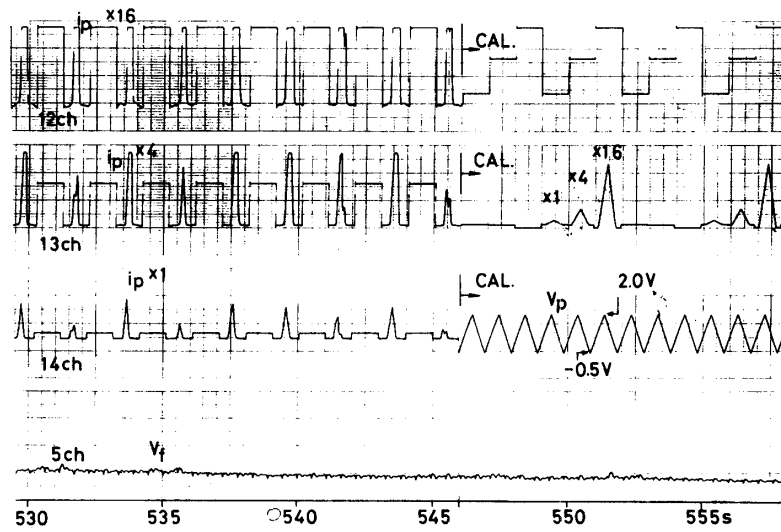


Fig. 6 Time chart around 550 sec., when the measuring circuit was switched again to the calibration (CAL) mode.

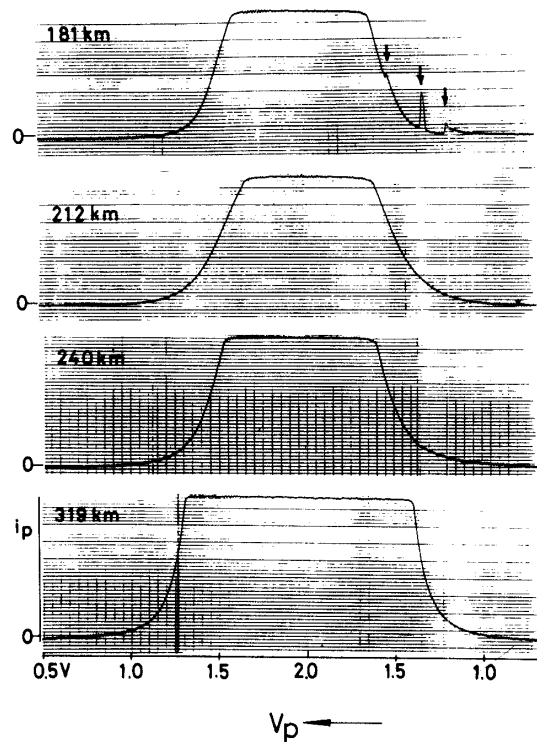


Fig. 7 Photocoder traces of probe characteristics  $i_p$  in 13th channel between  $h=181$  and  $319$  km.

$2\pi r_p l$ ,  $2r_p=3$  mm,  $l=180$  mm),  $n_e$ : プラズマ密度である. また,  $e$ ,  $m$  は夫々電子の電荷と質量である. 上式で  $d^2 i_p / dV_p^2$  は以下の様にして計算した. まず, フォトコーダ上の  $i_p$  曲線を光学的曲線読取機を用いてデジタル化した(感度は 20 cm が 10000 に対応). 交流法による二次微係数測定の際用いた重畳電圧  $0.1 V_{p-p}$  に相当する差分電圧  $\Delta V$  で二次差分を次式により計算した.

$$\Delta^2 i_p / \Delta V_p^2 = \{i(V + \Delta V) - 2i(V) + i(V - \Delta V)\} / \Delta V^2 \quad (2)$$

ここで,  $i_p(V)$  は 2 mV の間隔でサンプルした. そして, 上式における  $i_p(V)$  の値は各点に対し最良多項式を計算機で決定することによって得た修正値を用い, これにより曲線読取の際発生した人為的雑音を除去し  $\Delta V$  の範囲内では十分平滑化が行われた. プローブ特性を最良多項式近似する手法は他でも行われているが[7]そこでは次数が高く固定的に行われている. 我々の方法では移動的に各点においてその左右の点を 25 点として最小二乗近似するもので, 多項式の次数も高々三次とすることが最良の結果を生むことを見出した. 平滑化したプローブ特性に対し(2)式を適用して  $\Delta^2 i_p / \Delta V_p^2$  を種々の高度に対し計算し, 計算機により XY プロットさせた.

上記方法の妥当性を検査するため以前に第1図と同様の回路で正常な測定が行われた S-310-3 号機の  $i_p$  の二次差分とビート法による二次微分  $i_p''$  を比較することを行った. 即ち, 190 km 附近の  $i_p, i_p''$  のフォトコーダトレースを曲線読取機でデジタル化しさらに平滑化したものから  $\Delta^2 i_p / \Delta V_p^2$  を求め  $i_p''$  ( $\Delta$ 印) と最大値同士が等しくなる様規格化し同一図に重ねて実線で表わした. 第8図はこの比較を示す. 図から分る様に,  $i_p''$  と  $\Delta^2 i_p / \Delta V_p^2$  とは高エネルギー尾部と空間電位以上の部分を除いてよく一致している. 高エネルギー部

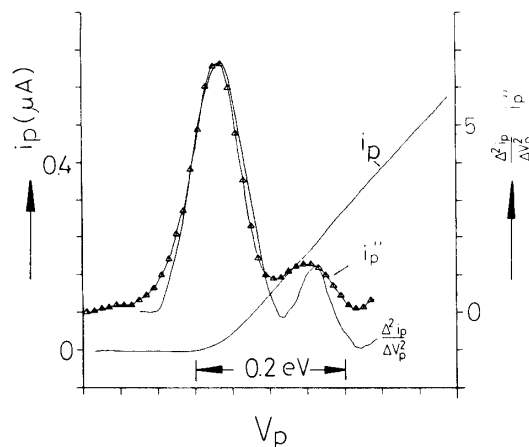


Fig. 8 Comparison between the calculated value of second difference  $\Delta^2 i_p / \Delta V_p^2$  and measured  $i_p''$  for the data of S-310-3 rocket (h=190 km).  $i_p$  is smoothened by the least square fitting.



での歪は  $i_p$  のデジタル化の際の数値の桁が少なかったためいわゆる量子化雑音が現われたものと解釈できる。空間電位以上の違いは一つは交流法では直線検波のために  $i_p'' < 0$  の部分が裏返されて絶対値が出ること、もう一つは検波回路自体と平滑回路による時間遅れが若干効いたのではないかと思われる。この様な時間遅れの歪は  $i_p''$  が立上って最大値を通り越した立下りにおいて特に強く現われる。

以上の試験をもとに、K-9 M-67号機のデータに対し高度  $h=84-158$  km に亘る平滑化されたプローブ特性  $i_p$  とそれから求めた二次差分  $\Delta^2 i_p / \Delta V_p^2$  とを第9図に示す。図から分かる様に  $h=84-120$  km にかけてはプローブ特性からも定性的に予想された通り、非熱的電

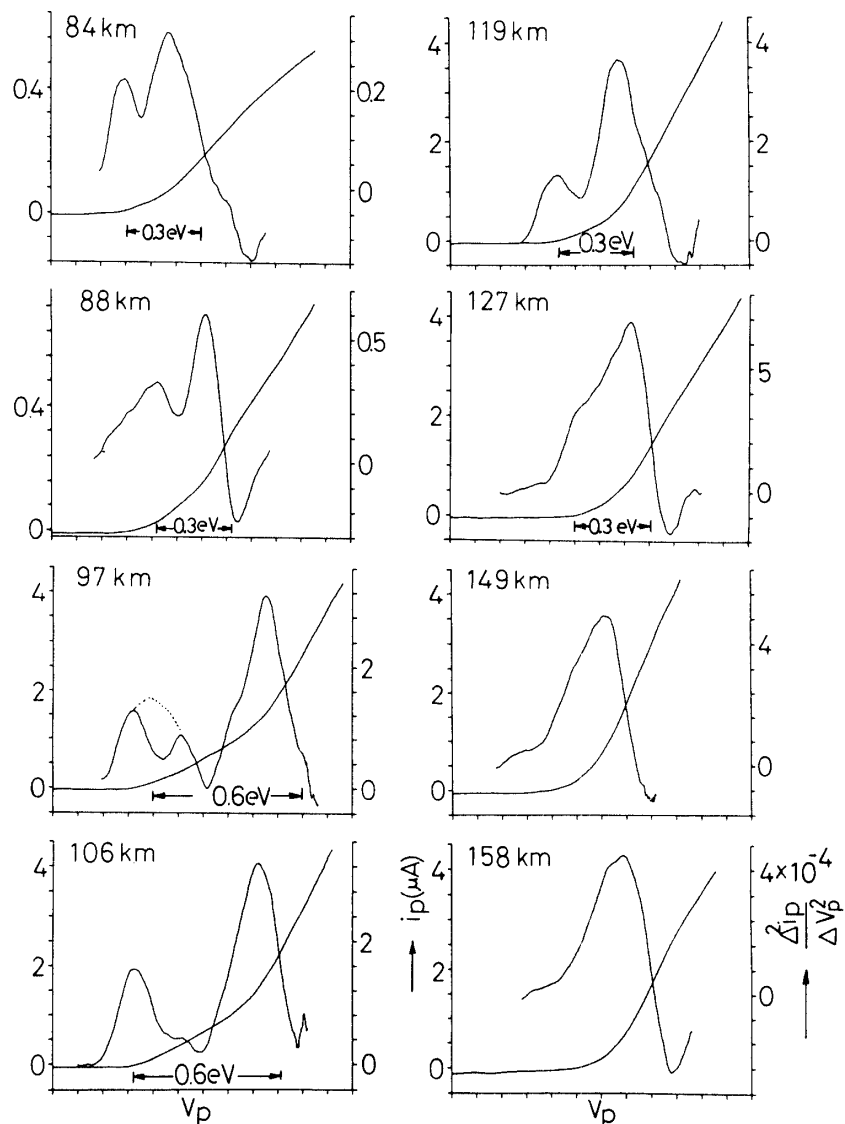


Fig. 9 Second differences and least square fitted probe characteristics between  $h=84$  and  $158$  km.

子群（左側のピーク）が熱的プラズマ電子（右側のピーク）の左側約  $0.2\sim 0.6\text{ eV}$  の所に存在する。127 km においては両電子群のピークは互に融合している様にみえる。149 km-158 km にかけては殆どプラズマ電子と見てよい。さらに上の高度では 365 km に至るまで非熱的電子によるピークは現われない。  $h > 181\text{ km}$  のプローブ特性を 20 mV の間隔でセミログ・プロットした例を第 10 図に示す。高エネルギー尾部は若干の凹凸があり完全なマクスウェル分布とは言えない。しかし、傾斜は直線から非常に離れているとは言えず、分布がマクスウェル分布から大きくずれているとは言えない。

プローブ特性の解析にはチャンネル# 13 のデータを用いたが、利得のより大きいチャンネル# 14 ではプローブ電流の電子電流方向への零レベルのシフトが十分でなかったので正イオン電流がテレメタの下限レベルで切られてしまった。このため高エネルギー尾部が十分の精度で得られなかった。また、第 3, 5, 6 図のタイムチャートに示す  $V_f$  の変化から分か

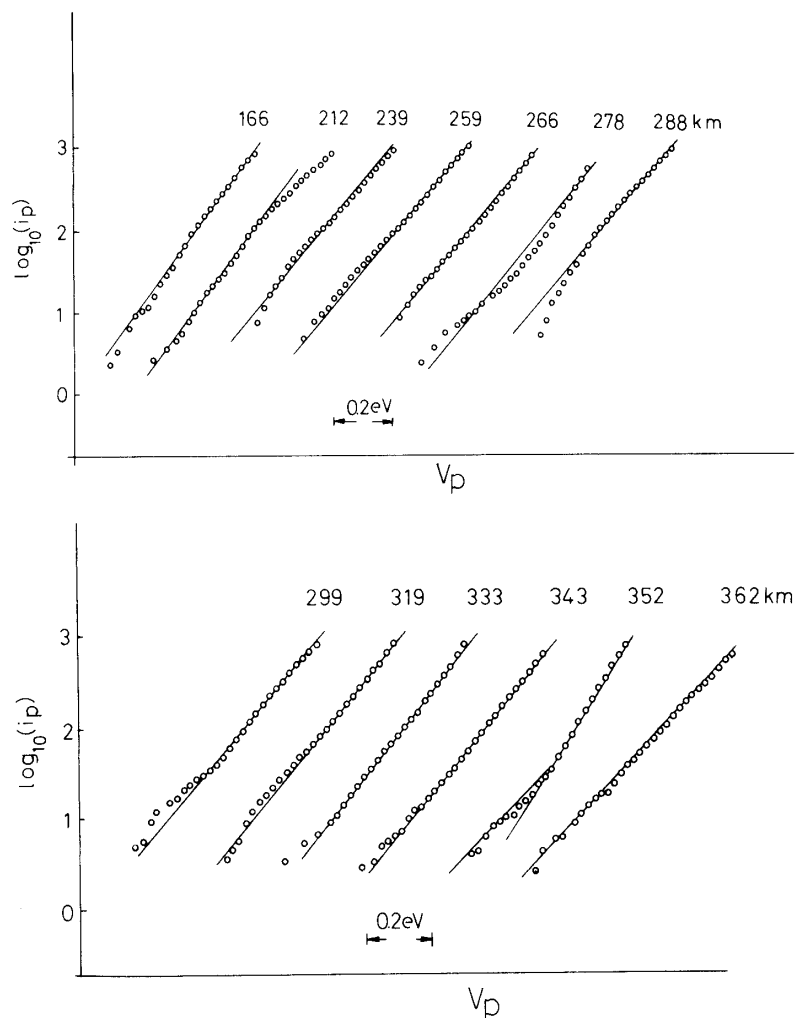


Fig. 10 Semi-log plots of the probe characteristics  $i_p$  between  $h = 181$  and  $362\text{ km}$ .

る様に、開頭附近では所々尖頭的な変化がありなるべくこれらを避けた部分の特性を解析に用いた。62秒辺りからPWP電子源の点火時(251秒)までは比較的 $V_f$ の変化はゆるやかである。即ち、データ解析を行った時間帯では $V_f$ はほぼ定常とみなせる。 $V_f$ に階段状変化の現われる340秒附近や、下降時においては細かい変動がみられる。

#### 4. 検 討

先ず高度84 kmから127 kmに亘って見られる二つの山からなる分布(第9図)について考察する。これらの分布は大体E層附近に現われるとみてよい。最近E層のNO, NO<sup>+</sup>の観測に良く合うモデルが提唱されたが[8], 正イオンの種類としてはO<sup>+</sup>, O<sub>2</sub><sup>+</sup>, N<sub>2</sub><sup>+</sup>, NO<sup>+</sup>がとり上げられている。これらと電子との相互作用はO<sup>+</sup>に対しては再結合, O<sub>2</sub><sup>+</sup>, N<sub>2</sub><sup>+</sup>, NO<sup>+</sup>に対しては解離反応が考えられている。しかし、これらの反応からは凸部に対応する電子の発生は望めない。

実験室プラズマでは負グロー部, ホロー陰極のダブルシース附近, アフタグローでのH<sub>2</sub>, He, Neなどの放電で分布の尾部に突起が観測されていて[9-23], 主プラズマに対するピークの高さは比率で10<sup>-1</sup>~10<sup>-4</sup>にわたっている。定量的には10<sup>5</sup>~10<sup>7</sup> cm<sup>-3</sup>/eVの程度である。これらはダブルレアによる加速, 準安定原子と電子との脱励起衝突, 準安定原子同士の衝突による電離によるものである。

また, O<sub>2</sub>放電[14]では低エネルギー部(~0.1 eV)でピークが生じることが昔, 観測されていて負イオンのためだろうと考えられている。負イオンがあると, O<sup>-</sup>+O → O<sub>2</sub>+e, O<sup>-</sup>+O(<sup>1</sup>D) → 2O+e, O<sup>-</sup>+e → O+e+eなどで電子の発生する過程が増える。特に, 第1の反応率は大きい[15]。しかし, E層上部においては負イオン自体の存在があまり望めないと思われる。

実験室プラズマでのN<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, 空気放電の実験, 特にエネルギー分布の測定はあまり見当たらないが, 二, 三の計算と測定例を見ると, N<sub>2</sub>においては振動レベル励起による2~3 eVにおける凹部[16-18], O<sub>2</sub>では同様振動レベル励起によると思われる0.5 eVの凹部, 空気ではこれら両方がみられる[18]。N<sub>2</sub>の2~3 eVの凹部は光電子スペクトルの計算[19], ロケット観測[20-22]でも見られて, それにより附近に凸部が相対的に出ることになるが, エネルギー範囲として本実験の範囲外になる。更に, 上述の実験室プラズマでは1.0, 1.6, 2.0 eV附近に小さい凸部が見られる。また, モデル大気に対するボルツマン方程式の解析ではO<sub>2</sub>の振動励起によるうねりが, 1 eV附近に, そして, N<sub>2</sub>の共鳴振動レベル励起による凹部が4.3 eV附近に高度120 kmで示唆されているが[23], 何れも本実験のものよりエネルギー値が高い。O<sub>2</sub>, O, N<sub>2</sub>, NOの主要励起レベルをHerzberg[24]より引出すと第1表のようになるが, これらの値からO<sub>2</sub>放電における1.0, 1.6, 2.0 eV附近のピークは夫々O<sub>2</sub>(a<sup>1</sup>Δ<sub>g</sub>), O<sub>2</sub>(b<sup>1</sup>Σ<sub>g</sub><sup>+</sup>), O(<sup>1</sup>D)との第2種非弾性衝突によるものと考えられる。特にO<sub>2</sub>(a<sup>1</sup>Δ<sub>g</sub>)の脱励起率はその生成率やO<sup>-</sup>生成率よりも大きいことが示されている[15]。宇宙空間では高緯度では100 km附近でO<sub>2</sub>(a<sup>1</sup>Δ<sub>g</sub>)の密度が10<sup>8</sup>-10<sup>9</sup> cm<sup>-3</sup>に達するという報告がある。日本上空の1.27 μ放射の(a<sup>1</sup>Δ<sub>g</sub>→X<sup>3</sup>Σ<sub>g</sub><sup>-</sup>)測定は90 km附近で最大となっている(夜8時のデータ)[26]。一方, 天頂角75.5°では50 kmで2.5×10<sup>2</sup> cm<sup>-3</sup>というデ

Table 1 Typical excitation levels of  $N_2$ ,  $O_2$ ,  
O and NO and their ions. (eV単位)

$N_2$		$O_2$		O	NO
vib. (0→1)	0.293	vib. (0→1)	0.2	$^1D$ 1.97	$A^2\Sigma^+$ 5.44
vib. (0→2)	0.586	vib. (0→2)	0.4	$^1S$ 4.19	$B^2\Pi_r$ 5.691
vib. (0→3)	0.879	$a^1\Delta_g$	0.98		5.695
$A^3\Sigma_u^+$	6.22	$b^1\Sigma_g^+$	1.63		$C^2\Sigma^+$ 6.463
$B^3\Pi_g$	7.39	$c^1\Sigma_u^+$	3.90		
$a^1\Pi_g$	8.55	$c^3\Delta_u$	4.26		
$N_2^+$		$O_2^+$		O <sup>+</sup>	NO <sup>+</sup>
$X^2\Sigma_g^+$	15.58	$X^2\Pi_g$	12.08	13.61	9.267
$A^2\Pi_g$	16.87	$a^4\Pi_u$	16.11	$^2D^o$ 16.9	
$B^2\Sigma_u^+$	18.75	$A^2\Pi_u$	16.82	$^2P^o$ 18.7	

ータ[19]もありばらつきがある様である。電子密度に比し  $O_2(a^1\Delta_g)$  の密度は同程度ないしそれ以上となり得、0.98 eV のピークの発生は十分認めるが、今回のデータでは高エネルギー部分ではプローブ電流の感度が十分でなくこの範囲での凸部はみられなかった。

さて、第9図においてプラズマ電子の右側ピークと非熱的電子の左側ピークの間隔は、97 km, 106 km を除いて約 0.2 eV, また空間電位に対応する  $\Delta^2 i_p / \Delta V_p^2 = 0$  の位置からは約 0.3 eV である。高度 97 km, 106 km では空間電位からピークの中心部までは約 0.6 eV である。これら 0.2~0.3 eV, 0.6 eV に相当するピークの発生原因として第1表から  $N_2(vib)$ ,  $O_2(vib)$ ,  $O_2(b^1\Sigma_g^+ \rightarrow a^1\Delta_g)$ ,  $NO(B^2\Pi_r \rightarrow A^2\Sigma^+)$  などが考えられるが、現実的可能性としては  $N_2(vib)$  が最もありそうと思われる。振動レベル励起による電子の冷却率がこれまで考えられて来た[27-30]。一方、加熱過程はあまり考えられていない様である。理論的に示唆されている加熱過程として  $NO^+$  や  $O_2^+$  の解離性再結合効果[31],  $N_2(v>1)$  と電子との起弾性散乱がある。後者は特に低域でその可能性が示されている[19]。即ち、



この反応で 97-107 km においては振動温度が高く  $v=2$  が多く、他の高度では  $v=1$  が多かったと仮定すると 0.3, 0.6 eV のピークに対する説明が得られる。 $N_2$  を作る過程としては  $e + N_2$  による励起の他、 $O(^1D) + N_2$  やさらに  $N + NO \longrightarrow N_2 + O$  があるとされる[32]。しかし、上層になるにつれ  $O^+$  が増えるから、 $N_2$  をこわす反応、 $N_2 + O^+ \longrightarrow NO^+ + N$ , が増えて  $N_2$  が減少したのかもしれない。従って、120 km より上部では上述の非熱的電子によるピークが出ないという結果に結びつく。以上は定性的な説明であるが、実際に  $N_2$  の振動励起されたものの密度、高度分布があればもっと定量的な議論が可能になる。また、非熱的電子の熱的電子に対する相対密度が大き過ぎる様な印象もあるが、今後交流法等でより精密な二次微分の直接測定を行うことによりその密度の正確な決定を行いた

い。

次に空間電位附近の特性であるが、マクスウェル分布ではこの近くで  $\Delta^2 i_p$  は非常に大きくなる筈である。しかし、観測結果は低エネルギー部は丸味を帯びるか二つの小さい山から成る傾向をもっている(第9図, 149-158 km)。低エネルギー電子はプローブ表面での反射効果もあり測定が難しいが、高エネルギー尾部のみならず低エネルギー部分のマクスウェル分布からのずれもクーロン衝突の効果を評価する上で重要と思われる。

## 5. 結 言

K-9 M-67号機による夏の夕方附近の熱的電子のエネルギー分布をラングミュアプローブ特性の解析から求めた結果、高度 84 km から約 120 km にかけて 0.2~0.3 eV および 0.6 eV 附近に非熱的電子の存在が確認された。これら電子の発生は振動励起された  $N_2$  分子との第二種非弾性衝突によると考えられる。一方、高度 160 km から最高点 360 km にかけてはほぼマクスウェル分布に近い分布が得られた。従って F 層では従来通りのマクスウェル分布を仮定した電子ガスの冷却理論が妥当と考えられるが、E 層およびその附近では分布関数の形を考慮に入れた冷却のみならず加熱理論も必要と考えられる。

今回初めて試みたプローブ特性に移動的に最小二乗法を適用し二次差分をとるという計算機処理は交流法による二次微分の直接測定に比して差程劣らない質のデータを提供できることが分った。このことは、プローブ特性をエネルギー分布測定にも利用しうることを示し今後より精度の秀れた差分処理の開発を望み度い。

## 参 考 文 献

- [1] K. Hirao and K. Oyama : J. Geomag. Geoelect. 22 (1970) 393.
- [2] K. Hirao and K. Oyama : Space Research 12 (1972) 1335.
- [3] K. Oyama and K. Hirao : Planet. Space Sci. 24 (1976) 900.
- [4] 雨宮, 清水, 土手 : 東大宇宙航空研究所報告 13 (1977) 949.
- [5] 雨宮, 清水, 土手 : 東大宇宙航空研究所報告 15 (1979) 449.
- [6] 雨宮, 清水, 土手 : 東大宇宙航空研究所報告 12 (1976) 975.
- [7] Yu. B. Golbovskii, V. M. Zakharova, V. N. Pasunkin and L. D. Tsendin : Sov. J. Plasma Phys. 7 (1981) 340.
- [8] M. C. Azpiazu and D. Duhan : J. Phys. D (Appl. Phys.) 15 (1982) 933.
- [9] A. N. Soldatov : Opt. Spectr. 31 (1970) 97.
- [10] A. N. Soldatov : Opt. Spectr. 39 (1975) 594.
- [11] A. B. Blagoev, Yu. M. Kagan, N. B. Kolokolov and R. I. Lyaguschenko : Sov. Phys. Tech. Phys. 19 (1974) 215.
- [12] A. B. Blagoev and T. K. Popov : Phys. Lett. 66A (1978) 210.
- [13] Yu. M. Kagan, N. B. Kolokolov and B. P. Lavrov : Sov. Phys. Tech. Phys. 22 (1977) 345.
- [14] J. B. Thompson : Proc. Roy. Soc. A262 (1961) 503, 519.
- [15] K. Masek, L. Laska and T. Ruzicka : Czech. J. Phys. B28 (1978) 1321.
- [16] D. R. Suhre and J. T. Verdeen : J. Appl. Phys. 47 (1976) 4484.

- [17] V. A. Pivovarov and T. D. Sidorova : Sov. Phys. Tech. Phys. 24 (1979) 792.
- [18] V. P. Konovalov and E. E. Son : Sov. Phys. Tech. Phys. 25 (1980) 178.
- [19] 永田, 等松 : 超高層大気の物理学, 裳華房, 1973, p 404.
- [20] 向井, 平尾 : 東大宇宙航空研究所報告 9 (1973) 394.
- [21] 向井, 平尾 : 東大宇宙航空研究所報告 10 (1974) 703.
- [22] 向井, 平尾 : 東大宇宙航空研究所報告 11 (1975) 593.
- [23] O. Ashihara and K. Takayanagi : Planet. Space Sci. 22 (1974) 1201.
- [24] G. Herzberg : Molecular Spectra and Molecular Structure I, Spectra of Diatomic Molecules, van Nostrand, 1950.
- [25] G. Moreels, D. Chahrokhi and J. E. Blamont : J. Geophys. Res. 81 (1976) 5467.
- [26] T. Makino, H. Sekiguchi and H. Yamamoto : Sounding Rocket Data in Japan vol. 3, 104.
- [27] A. Dalgarno : Canad. J. Chem. 47 (1969) 1723.
- [28] P. Stube and W. S. Varnum : Planet. Space Sci. 20 (1972) 1121.
- [29] S. S. Prasad and D. R. Furman : J. Geophys. Res. 78 (1973) 1701.
- [30] A. F. Timothy et. al. : J. Atm. Terr. Phys. 34 (1972) 969.
- [31] D. A. Hamlin and B. F. Myers : Planet. Space Sci. 22 (1974) 1343.
- [32] J. D. Kelly and V. B. Wickwar : J. Geophys. Res. 86 (1981) 7617.
- [33] G. P. Newton, J. C. G. Walker and G. P. Mantas : J. Geophys. Res. 82 (1977) 187.