

S-520-7号ロケットによるスポラディック  
E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\*\*

(1986年2月25日受理)

Observation of the Energy Distribution of Thermal Electrons  
in a Sporadic E-Layer by an S-520-7 Rocket

By

H. AMEMIYA, K. OYAMA and K. HIRAO

**Abstract:** S-520-7 rocket was launched from the Kagoshima Space Center at Uchinoura on February 11, 1985, 19h30m for a thorough study of the night time ionosphere. This paper is concerned with the energy distribution function  $f(E)$  of thermal electrons obtained by an instrument for measuring the second derivative of the probe characteristic based on the Druyvesteyn method. Before the launch of the rocket, the ionogram at the Yamagawa observatory identified the appearance of a sporadic E layer at about 100 km. The electron density  $n_e$  at the launch time was  $3 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$ . The rocket succeeded in acquiring the data on  $f(E)$  in the  $E_s$  layer, E-F valley and F layer at both ascent and descent. The maximum value of  $n_e$  in the  $E_s$  layer was found to be  $1.2 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$  at 103 km. Although  $f(E)$  deviated from Maxwellian distribution, through the best fit to it the electron temperature  $T_e$  was evaluated to be 600°K. An E-F valley with a minimum value of  $n_e = 1.0 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$  and  $T_e = 1100 - 1300^\circ\text{K}$  was seen between 140 and 160 km. Above 180 km, F layer with a maximum value of  $n_e = 2.0 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$  and  $T_e = 800 - 1000^\circ\text{K}$  existed.

---

\* 理化学研究所

\*\* 東海大学工学部

## 概 要

本報告は1985年2月11日19時30分に内の浦から打ち上げられたS-520-7号ロケットにより観測された電離層熱的電子のエネルギー分布に関する。今回の観測では未だ十分に明らかにされていない特にE層の観測に重点を置き、他の観測項目との時分割測定を考慮し80 km から170 km にかけての測定を目標とした。打ち上げ前の山川観測所のイオノグラムには明確にスポディックE層(E<sub>s</sub>層)の存在が確認されていた。ロケット上昇時および下降時にそこでのエネルギー分布が観測され最大電子密度 $1.2 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ約1.8 kmを得た。E<sub>s</sub>層中の電子エネルギー分布測定は世界で初めてのものである。分布はマクスウェル分布より若干のずれを示したがほぼ熱平衡分布に等しく、中性大気温度よりも高いことが分った。このことはWindshear説による理論的帰結とのくい違いを示唆する。プローブ測定に対する電場測定用L<sub>+</sub>ビームの影響はなく、100~350 kmに亘る観測に成功した。

E<sub>s</sub>層以上は150 kmに最低密度 $10^3 \text{ cm}^{-3}$ の凹部が、また210 km以上は最大密度 $2 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$ に達する厚さ約200 km程度のF層がみられた。

## 1. はじめに

冬の夜間電離層の総合観測を目指し、低周波波動観測器、静電磁場観測器、磁場観測器、インピダンスプローブによるプラズマ密度測定器、電子温度計、電子エネルギー分布観測器を搭載したS-520-7号ロケットが、1985年2月11日19時30分内の浦より打ち上げられ約10分間にわたり観測が行われた。ここでは、その中の熱的電子のエネルギー分布の観測結果に関して述べる。高度約200 km以上で静電磁場測定用L<sub>+</sub>ビームが放出されたため、正規のエネルギー分布の測定は開頭から100秒までの短かい時間帯であった。しかし、今回の観測で103 km附近にスポラディックE層が存在することが打ち上げ前山川観測所のイオノグラムで確認され、ロケットにより世界に先がけてその中のエネルギー分布が観測できたことは大きい収穫であった。

また、現実にはL<sub>+</sub>ビームのプローブに対する影響は無視しうるものであることが分り、上昇時、下降時に亘りE<sub>s</sub>層、F層および中間層の状態に関するデータも正常に得られた。以下、測定方法、観測結果および検討の順に述べる。

## 2. 測定方法および装置

電子エネルギー分布はドリベステン法に基ずきプローブ特性の二次微分をとることにより得た。二次微分は二本のプローブを用い微小交流法および遅延回路法を併用することにより得た。プローブには4 mmφ×29.6 cm長のステンレス棒を使用した。プローブは予めガラス管内に $10^{-6}$  Torrの雰囲気中で200°Cで計約10時間加熱した後、真空封じした。前回

の観測<sup>(1)</sup>では遅延回路装置が空電に敏感で打ち上げ直前のデータチェックに障害を与えたので、今回はガラス管に導電塗料を塗布しガラス管をロケット本体に短絡させることにより雑音を軽減させた。夜間の電離層では密度が低いためプローブ表面積を従来用いた寸法  $3\text{ mm}\phi \times 18\text{ cm}$  のものよりも約2.2倍増加させた。スピントイマー試験において生じた単熔接における機械的強度の弱点による破壊を埋め込み式溶接とすることにより本観測では克服できた。

プローブ特性およびその二次微分を得る回路は前二回の観測<sup>(1)(2)</sup>と同様であるので省略する。プローブ掃引電圧は微小交流法(#1)においてはロケット本体に対し $-1.0\text{ V} \sim 1.5\text{ V}$ 、 $2\text{ Hz}$ 、遅延法(#2)に対しては $-0.9\text{ V} \sim 1.6\text{ V}$ 、 $2.5\text{ Hz}$ である。それぞれ96秒、38.4秒毎にトランジスタと抵抗を用いた非線形素子による規準信号を発生させ回路動作を監視した。得られたプローブ電流  $i_p$  およびその二次微分  $i_p'' \equiv d^2 i_p / dV_p^2$  および  $\log i_p''$  のデータは PCM チャンネルに8ビットデータとして送出した。サンプル時間は2.5 m 秒である。

第1図はロケットの軌跡(高度  $h$  とレンジ  $R$  の関数)を示す。曲線上の数字は打ち上げ後の秒時、パラメータは以下のプログラムを表わす。タイマーは以下の通りである。

打ち上げ後	45 秒	ヨーヨー ( $Y_0 - Y_0$ ) デスピン
	55 秒	開頭 (NC off)
	57 秒	プローブ封じガラス管割り (Glass Cut)
	59 秒	プローブ展張 (Deploy)

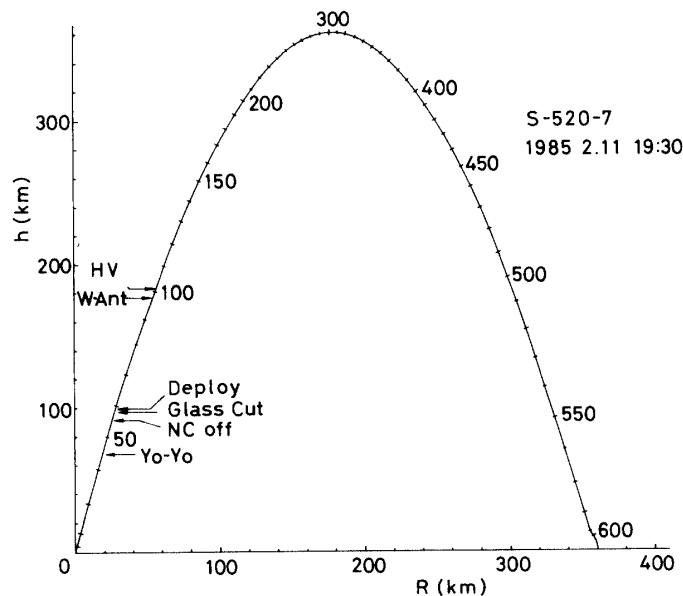


Fig. 1 Plot of the height  $h$  and range  $R$  of the S-520-7 rocket. The number on the curve denotes the time (sec) after launch. Launch time is 1985. 2. 11, 19h30m JST.

## 101秒 静電磁場測定用ビームヒーター (HV) 点火

ロケット打ち上げ日時は、1985年2月11日、19時30分、打上げ地点は内の浦(131.08 E, 31.25 N)、着地時点は19時40分(132.9 E, 28.46 N)である。

## 3. 観測結果

第2図は X-T レコーダ上に現われたデータの時間変化を示す。横軸は打ち上げ後の秒時、縦軸は上からプローブ#1 (交流法) によるプローブ特性  $i_p$  (利得 $\times 1, \times 10$ ) とその  $\log i_p''$  信号 (利得 H, L) プローブ#2 (遅延法) によるプローブ特性  $i_p$  とその二次微分  $i_p''$  信号 (利得 $\times 1, \times 3, \times 10$ ) である。59.8秒からプローブ信号が得られ始め、61秒 (~105 km) 附近に  $E_s$  で示す様に大きい信号が見られるのはスプラディック E 層 ( $E_s$ ) にロケットが突入したことに対応する。ロケットの上昇速度はこの辺りでは約 2.2 km/秒であるから  $E_s$  層の厚さは約 1.8 km 程度となる。遅延法による  $i_p''$  信号は利得 $\times 1, \times 3$  では零レベルが何らかの回路的な原因で上昇すると共に雑音が大きくなり正常データが得られず利得 $\times 10$  のみが正常に動作した。

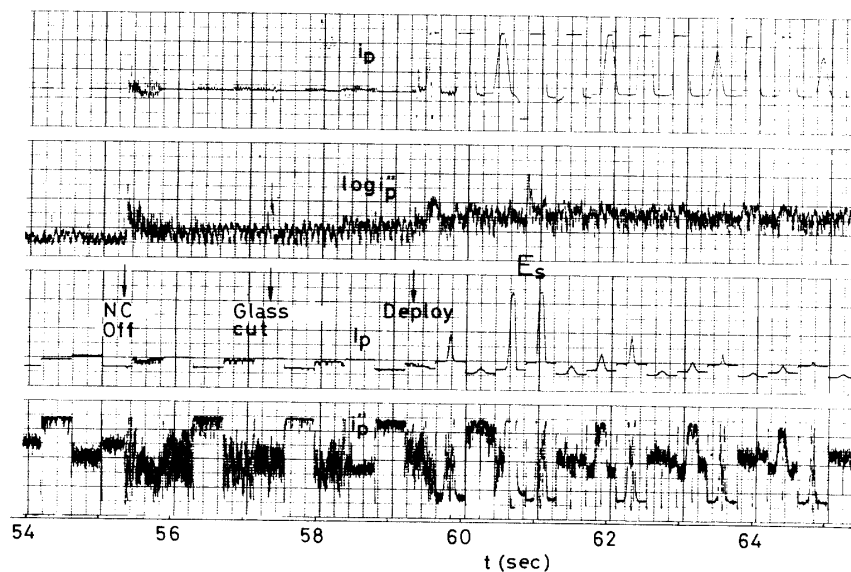


Fig. 2 Time chart of the probe current  $i_p$  (higher gain), logarithm of the second derivative  $\log i_p''$ ,  $i_p$  (lower gain) and  $i_p''$  in up-leg in the  $E_s$  layer. The upper two traces were measured by the a. c. method and the lower two traces were measured by the delay circuit method.  $E_s$  denotes the signal in the sporadic E layer.

第3図は111秒(高度190 km)附近のデータの時間変化を示す。この辺りはF層に突入し始める時刻に対応する。最上段の $i_p$ 信号はE層を主目標とし利得を非常に大きくしたため殆ど飽和し切っている。三段目の $i_p$ のデータは三つの利得で正常なプローブ特性がえられている。 $\log i_p''$ の信号はやや利得不足であった。CALと示したのは先述のダミー素子による規準信号である。この信号は着地時近辺まで正常に得られ、適正な回路動作を証明した。遅延法による最下段の $i_p''$ 信号は利得 $\times 10$ で正常な信号が見られる。

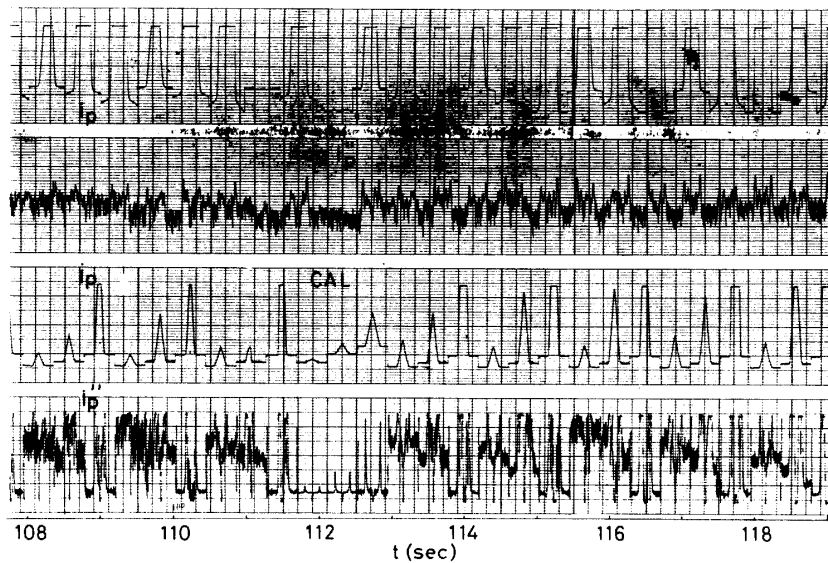


Fig. 3 Time chart of  $i_p, \log i_p'', i_p$  and  $i_p''$  in up-leg near 190 km. CAL denotes the calibration signal with three gains.

第4図はロケット下降時にE<sub>s</sub>層(高度約104.4 km)に再突入する時刻のタイムチャートを示す。545.2秒で再び大きい信号が見られる。E<sub>s</sub>層滞在時間はほぼ1秒程度で2.0 kmの厚さであることが推定される。 $i_p''$ 信号は548秒まで得られた。

第5 a 図は山川観測所で得られた<sup>(3)</sup>イオノグラムを示す。時刻は表示よりも30秒遅れである。E<sub>s</sub>層の高い電子密度によりF層からの反射は全く見られない。上段では $f_0E=5.0$  MHz,  $h_{0E}=106.6$  km, 下段では $f_0E=4.5$  MHz,  $h_{0E}=106.6$  kmである。これからE<sub>s</sub>層の電子密度は5分間に $3.1 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$ から $2.5 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$ に減少したことが分る。

第5 b 図はイオノグラムから得た $f_0E$ と電子密度 $n_e$ を地方時に対してプロットした図である。図で矢印で示す間隔はロケット観測が行われた時間帯を示す。電子密度 $n_e$ の時間的減少は指数関数的ではなく再結合型に近い。即ち、初期電子密度を $n_{e0}$ , 再結合時定数を $\tau$ と表すと

$$n_e/n_{e0} = (1 + t/\tau)^{-1} \quad (1)$$

となる。ここで19時26分の $n_e$ と $n_{e0}$ とし $(n_{e0}/n_e - 1)$ を $t$ に対してプロットすると直

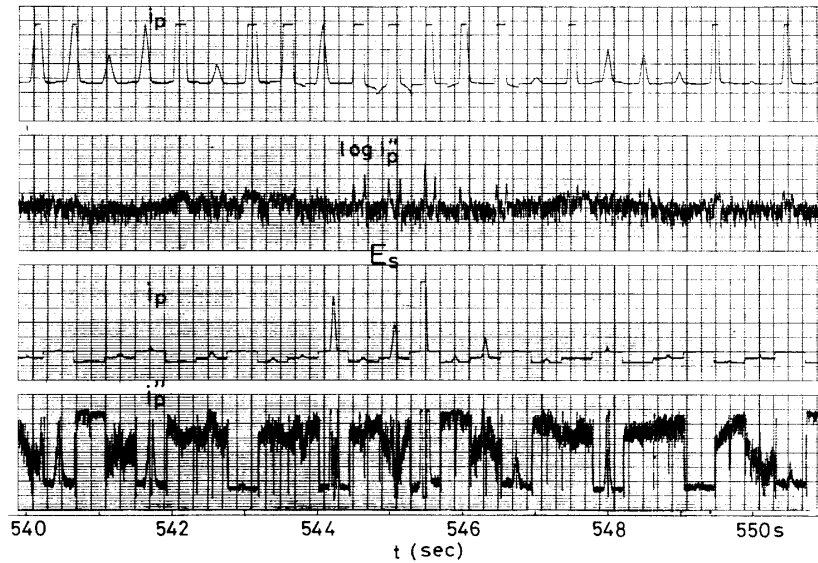


Fig. 4 Time chart of  $i_p$ ,  $\log i_p$ ,  $i_p$  and  $i_p''$  in down-leg in the  $E_s$  layer. E denotes the signal in the sporadic  $E_s$  layer.

線によく載りその傾斜より再結合特性時間として  $\tau = 1.15 \times 10^3$  sec を得る。また、実効再結合係数の  $\alpha_{\text{eff}}$  は  $\alpha_{\text{eff}} = (n_{e0}\tau)^{-1} = 2.3 \times 10^{-9} / \text{s} \cdot \text{cm}^3$  となる。 $\tau$  の値は従来の E 層の値とほぼ同程度であるが、 $\alpha_{\text{eff}}$  の値は電子密度が 1 桁以上大きいとその相応分程小さい。

第 6 a, b 図はそれぞれ  $t = 61$  秒 (上昇時), 544 秒 (下降時) 附近のプローブ電流およびその二次微分  $i_p''$  の PCM データを示す。これらは共にスポラディック E 層内のデータである。 $i_p$  の縦軸は 100 目盛が  $0.4 \mu\text{A}$  に対応し、0 レベルは 50 目盛の位置である。上昇時の  $i_p$  は  $n_e$  が高く  $i_p, i_p''$  共に飽和している。図で矢印の辺りがほぼ空間電位に対応する。従って、二次微分曲線は高エネルギー尾部のデータを表わしている。これらデータを電圧に対し片対数プロットすることにより高エネルギー部および低エネルギー部温度を求めた。

第 7 図は上昇時 (左側の図) および下降時 (右側の図) の  $i_p, i_p''$  の片対数プロットの一例を示す。図中  $\log i_p''$  は  $\log i_p$  からの外挿が最もよく合う様プロットしてある。 $\log i_p$  は深いプローブバイアスの所で直線から高い方にずれを示し、エネルギー分布関数は完全なマクスウェル分布に従うとは言えない。しかし、一応、マクスウェル分布の仮定の下に電子温度  $T_e$  を傾斜から求めると上昇時は  $T_e = 600^\circ\text{K}$ , 下降時は  $640^\circ\text{K}$  となる。これらの値は 100 km 附近の US 標準大気モデルによる中性原子分子の温度  $T_0 = 300 - 320^\circ\text{K}$  に比し高い。

第 8 図はプローブ特性  $i_p(V_p)$  より標準的手法に従って求めた電子密度  $n_e$  の値を高度  $h$  に対してプロットしたものである。図中白丸は上昇時, 黒丸は下降時のデータを示す。スポラディック E 層の電子密度は F 層のそれにほぼ等しく最大  $1.2 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$  となった。ロケット打ち上げ時 (19 時 30 分) の値 ( $\Delta$  印) はイオノグラムからの  $n_e$  である。E<sub>s</sub> 層よ

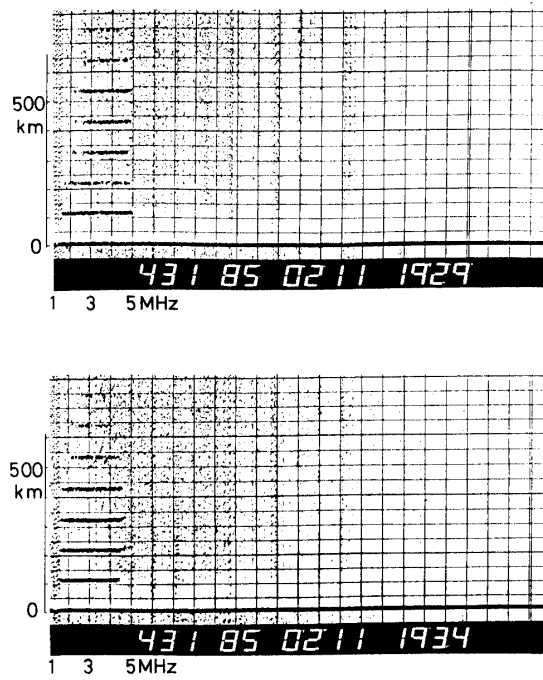


Fig. 5 a Ionograms obtained in Yamagawa observatory<sup>(3)</sup> at 19h29m30s and 19h34m30s.

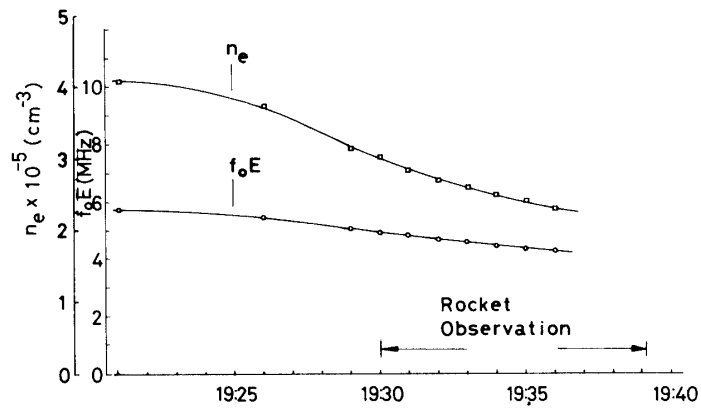


Fig. 5 b Temporal variations of  $f_oE$  and the electron density  $n_e$  determined from  $f_oE$ . The arrow denotes the period of rocket observation.

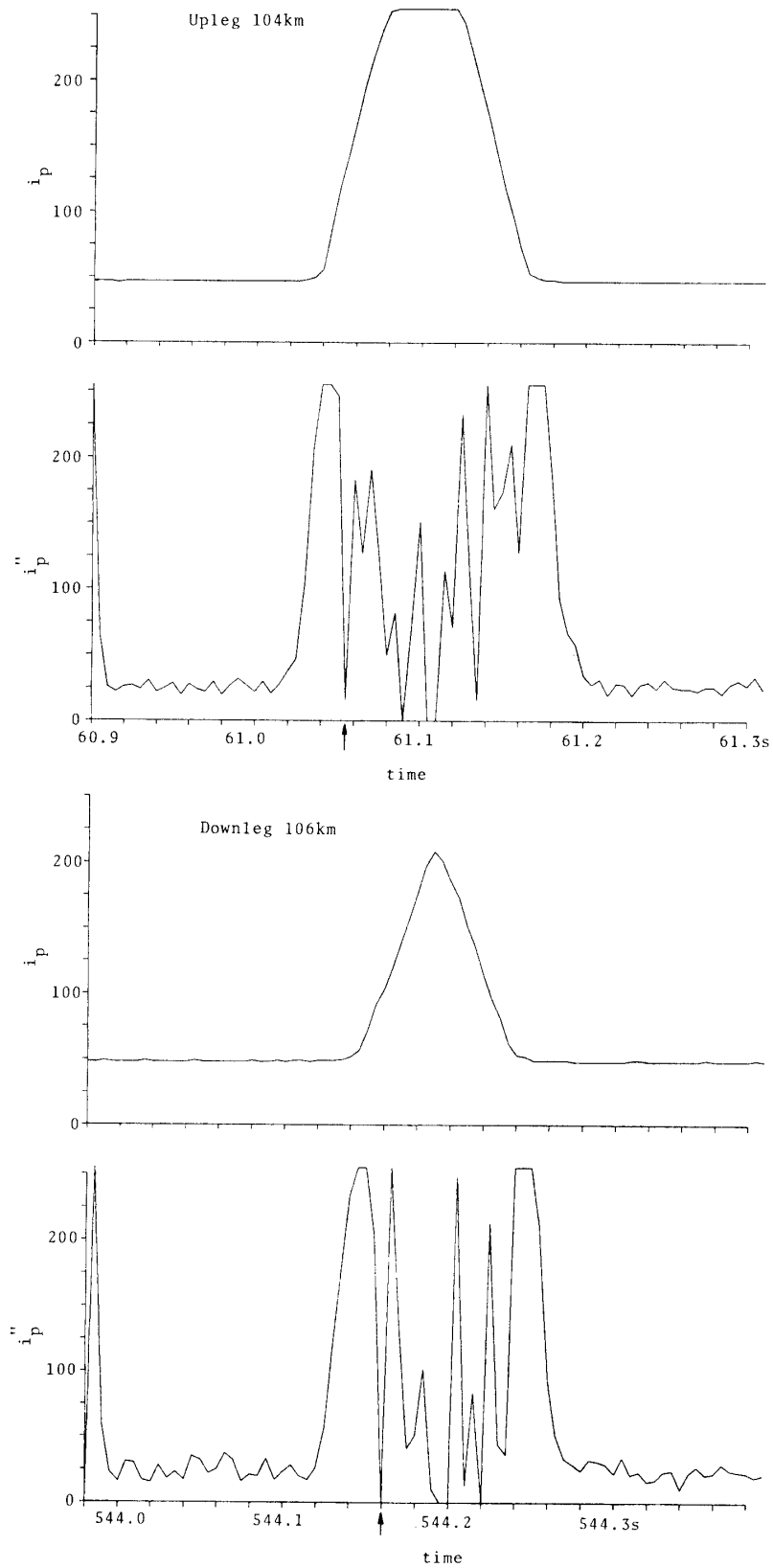


Fig. 6 Probe current  $i_p$  and its second derivative  $i_p''$  measured by the delay circuit method. (a) in up-leg, (b) in down-leg. The both figures show  $i_p$  and  $i_p''$  in the sporadic E layer.



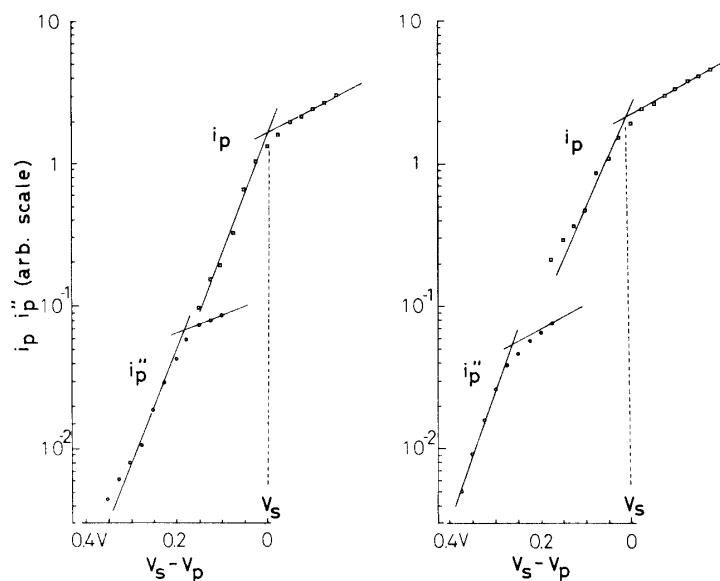


Fig. 7 Semilog plot of  $i_p, i_p''$  in the  $E_s$  layer. left : up-leg, right : down-leg. Slope of  $\log i_p$  gives the temperature in the lower energy range while that of  $\log i_p''$  gives the temperature in the higher energy range.

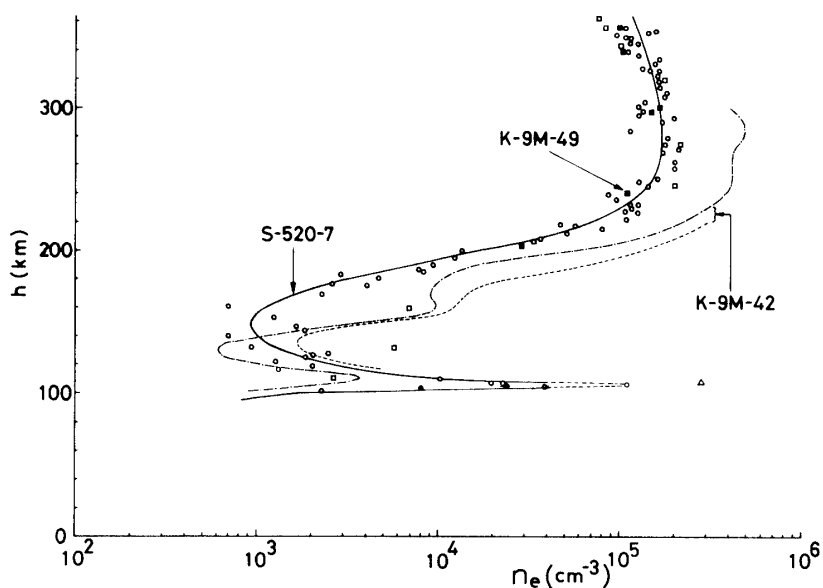


Fig. 8 Plot of electron density  $n_e$  vs. height  $h$ . ( $\circ$  up-leg,  $\bullet$  down-leg). The triangle  $\triangle$  denotes the data by the ionogram at 19h30m. Dotted curve (up-leg) and chain (down-leg) denote the data obtained by the K-9M-42 rocket by Kimura<sup>(4)</sup> in 1973 Feb. 23, 18h38m JST. Square points denote the data obtained by the K-9M-42 rocket ( $\square$  up-leg,  $\blacksquare$  down-leg) by Oya et al.<sup>(5)</sup> in 1975 Jan. 17, 18h35m JST.

り上では密度が  $10^3 \text{ cm}^{-3}$  程度の谷が見られ 200 km 附近より最大密度  $2 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$ , 厚さ約 200 km の F 層が続く. F 層のエネルギー分布はほぼマクスウェル分布に近いことが分った. これまで我が国ではスプラディック E 層のデータはあまり得られていない. 今回とほぼ同じ季節と時間帯の  $n_e$  の高度分布を第 8 図に参考のために示す. 図では K-9 M-42 号ロケット (1973 年 2 月 23 日 18 時 30 分) のデータ<sup>(4)</sup>では上昇時が点線, 下降時が鎖線で示されている. 100 km 附近で E 層がみられるが, その最大電子密度は今回のものよりも 1 桁以上低い. K-9 M-49 号ロケット (1975 年 1 月 17 日 18 時 35 分) のデータ<sup>(5)</sup>では (○) が上昇時, (■) が下降時の  $n_e$  である. ここでは E 層は非常にあいまいである. F 層に関しては両データとも今回の測定と非常によく似た特徴を示している. これら過去のデータは今回のデータより 1 時間程早いので F 層密度はやや高い. 即ち, E 層は季節, 時刻に敏感であるのに反し, F 層は再現性が高い.

第 9 図は  $\log i_p$  から得た電子温度  $T_e$  の高度分布を示す. スプラディック E 層の出現した 100 km 附近では  $T_e = 600^\circ\text{K}$  でそこから 120 km にかけて急激な上昇が見られる. 中間層での温度はやや高目に出ている. そして F 層の  $T_e$  はばらつきがあるが平均値として約  $1000^\circ\text{K}$  を示している. これまで冬の電離層における電子温度は電子温度計により 2 回程得られている. 図で実線は K-9 M-42 号ロケットのデータ<sup>(6)</sup>, 点線は K-9 M-49 号ロケットのデータ<sup>(7)</sup>を示す.

これらのデータと今回のデータを比較すると日没後の冬の電離層の温度として 200 km 以上の F 層ではほぼ  $1000^\circ\text{K}$  が妥当な値と考えられる.

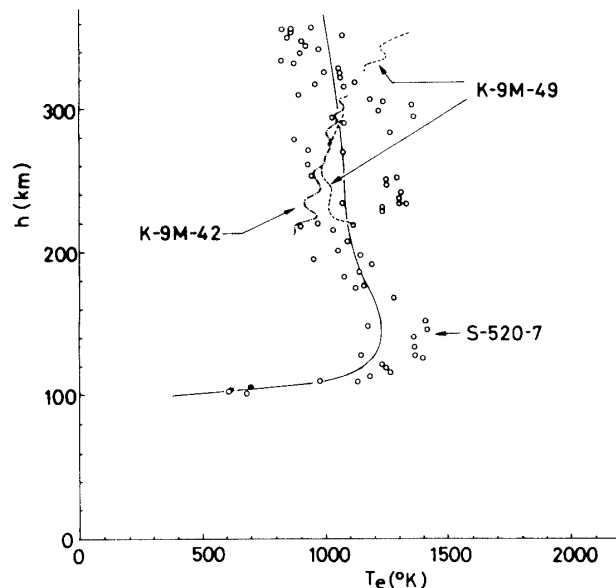


Fig. 9 Plot of electron temperature  $T_e$  vs. height  $h$  (○ up-leg, ● down-leg) in comparison with  $T_e$  by an electron temperature probe on the K-9M-47 (chain curve) and K-9M-49 (dotted curve) rockets<sup>(6,7)</sup>.

## 4. 検 討

以前の外国におけるスプラディック E 層のデータによると Wallop<sup>(6)</sup>島では高度 104 km で電子密度  $n_e = 8.8 \times 10^4 - 2.5 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$ , 電子温度  $T_e = 300 \pm 100^\circ\text{K}$ , 厚さ 3.0 km のもの (7 h 43 mEST)<sup>(8)</sup>, Algeria の Hammaguir では高度 110 km で  $n_e = 1.7 \pm 0.2 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$ ,  $T_e = 365^\circ\text{K} - 420^\circ\text{K}$ , 厚さ約 1 km のもの (19 h 23 m)<sup>(9)</sup>が報告されている. 今回の E<sub>s</sub> 層は高度 106 km,  $n_e = 1.2 - 3.0 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$ ,  $T_e = 600^\circ\text{K}$ , 厚さ 1.8 km であり電子温度を除いては出現時間帯等も含めてこれまでのものとよく一致している.

比較的最近の White Sands, New Mexico での E<sub>s</sub> 層の測定<sup>(10)</sup>によると, 106.4-107.5 km において  $n_e = 3 - 7 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$ ,  $T_e = 340 - 380^\circ\text{K}$ , 厚さ約 1 km が得られ,  $T_e$  は E<sub>s</sub> 層で最小値を示しその上下で 500-515<sup>o</sup>K となっている.

また, E<sub>s</sub> 層の理論的研究<sup>(11)</sup>では高度 115 km で  $n_e$  は最大となる一方,  $T_e = 370^\circ\text{K}$ , 中性粒子温度  $T_g = 355^\circ\text{K}$ , そして  $T_e - T_g$  は E<sub>s</sub> 層の中心部で最小となる結果が得られている.

さらに, E<sub>s</sub> 層内の電子密度の勾配は  $5 \times 10^3 - 1.0 \times 10^4 \text{ cm}^{-3} \text{ km}^{-1}$  という値が得られているが<sup>(9)</sup>, この値は今回の測定値  $2.6 \times 10^4 \text{ cm}^{-3} \text{ km}^{-1}$  とほぼ一致している. E<sub>s</sub> 層の傾きは殆ど 0° に近いものから最大 6° となる結果<sup>(6)</sup>や, 全く傾きがないという結果<sup>(10)</sup>がある. 本観測結果では最大密度の位置は上昇時は  $h = 102.3 \text{ km} (t = 61.1 \text{ s})$ , 下降時は  $h = 103.9 \text{ km} (t = 545.5 \text{ s})$  と推定される. この間の距離は 300 km であるから, 傾きはほぼ 0.16° となり, 外国の例とほぼ同程度である.

上記従来の結果と今回の測定結果との相違は, 内の浦での電子温度が 600<sup>o</sup>K と高い点にある. しかし, この結果はエネルギー分布がマクスウェル分布に従うという仮定の下であって, 実際の分布関数は熱平衡分布からの歪みをもっている. 第 7 図(左)を見ると 0.1 eV 附近と 0.3 eV 附近はマクスウェル分布から落込んでいる. 従って, ここで求めた  $T_e$  は完全な温度とは言い切れず, 特にこれらエネルギー部分での温度はもっと低い. 他の問題点として E<sub>s</sub> 層をロケットが通過する速度 (2.2 km/s) が大きいことが挙げられる. 一つのプローブ特性をとる時間 (200 ms) の間に 440 m 進むため各  $V_p$  では異なる場所を測定している. しかし, 第 6 図から分かるように, プローブ特性の反発領域,  $i_p'$  の立上り部分を測定している時間帯は約 20 ms であるからこの間のロケット飛行距離は 44 m に過ぎない. 理論的なモデル<sup>(11)</sup>ではロケットが E<sub>s</sub> 層の中心部に近づくに従い  $n_e$  は増大し  $T_e$  は減少する. この場合, プローブ特性を  $V_p$  の深いバイアス値からしだいに上昇させる ( $dV_p/dt > 0$ ) と, 電流の立上りは  $n_e, T_e$  が一様な場合に比し大きくなり見かけの温度  $T_e'$  は低く観測される筈である. 一方, ロケットが E<sub>s</sub> 層の中心部から遠ざかる場合は  $n_e$  は減少し,  $T_e$  は増加するため  $dV_p/dt > 0$  の時  $T_e'$  は逆に高く観測される筈である.  $dV_p/dt < 0$  の場合は  $dn_e/dz$  と  $dT_e/dz$  の値により  $T_e'$  は高くなったり低くなったりする可能性がある. 第 7 図は  $dV_p/dt > 0$  の場合をプロットしている. ここではプローブ特性から  $n_e$  は多少増加しつつある. 従って, ロケットの進行により  $T_e$  が見かけ上高く測定された可能性は小さいだろう. PCM のサンプリング時間が 2.5 ms であることにより  $T_e$  の決定を 7-8 点のデータから行わねばならないことは測定精度に限界を生じている.

これまで我が国では下記の場合に  $E_s$  層が観測されている<sup>(12-14)</sup>.

K-8-4 (1960.9.16) 20 h 25 m 道川  $\begin{cases} n_e = 3.8 \times 10^5 \text{ cm}^{-3} \\ h = 110 \text{ km} \end{cases}$

L-3 H-2 (1966.1.23) 15 h 35 m 内の浦  $\begin{cases} n_e = 1 \times 10^6 \text{ cm}^{-3} \\ h = 100 \text{ km} \end{cases}$

K-10-4 (1969.1.14) 19 h 00 m 内の浦  $h = 96 \text{ km}$

これらの例において、高度、電子密度の点において、日没後の  $E_s$  層はほぼ今回の測定値と一致している。しかし、電子温度が測定された例は見当たらない。また、当時のプローブはガラス管で真空封じされたものでないため  $T_e$  の測定値に対する信頼性は乏しい。 $E_s$  層内の  $T_e$  の値やその空間的勾配を測定するにはプローブ表面の清浄化の他にプローブ電圧掃引速度の増加、それに伴いテレメータの周波数応答の拡大が望まれる。

夜間電離層の電子密度の形態はロケット観測<sup>(15,16)</sup>の他にイオノゾンデ<sup>(17)</sup>、非コヒーレント後方散乱法<sup>(18,19)</sup>により調べられて来た。そして、80-130 km に生ずる密度のやや高い ( $10^3$ - $10^5 \text{ cm}^{-3}$ ) 中間層、130 km-200 km にかけての密度の谷 ( $\sim 10^3 \text{ cm}^{-3}$ ) が観測されている。本観測では中間層らしきものが 130 km 付近で見えなくはないが、データのばらつきのため明確ではない (同時プロットした 1973 年 2 月 23 日の K-9 M-42 号機のデータでは 160 km 付近にそれが見られる)。今回の観測時における太陽活動度は  $K_p = 3+$ 、黒点数  $R_a = 16$ 、太陽電波強度  $S = 73.2 \text{ AU}$ 、一方 Arecibo で中間層が現われた時のデータ<sup>(19)</sup>は  $K_p = 3-6$ 、 $S = 76.2-79.8$  である。

## 5. 結 論

以上 1985 年 2 月 11 日 19 時 30 分に内の浦より打ち上げられた S-520-7 号ロケットによる夜の電離層熱的電子のエネルギー分布観測結果を示した。104 km 附近にスポラディック E 層が出現し厚さ約 1.8 km、最大電子密度  $1.2 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$ 、電子温度  $600^\circ\text{K}$  が得られた。一方、イオノグラムによる打上げ時の値は  $3 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$  を示した。140 km から 160 km にかけては最低密度  $8 \times 10^2 \text{ cm}^{-3}$  の凹み領域が観測され、そこでの電子温度はほぼ  $1200^\circ\text{K}$  であった。200 km より F 層が観測され半値幅約 200 km、最大電子密度  $2 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$ 、電子温度約  $1000^\circ\text{K}$  を得た。F 層の電子密度、電子温度はこれまでの内の浦の観測値とほぼよく一致した。 $E_s$  層の観測は今迄我が国では殆んどなく、今回世界に先がけてその中の電子エネルギー分布ないし電子温度が得られ、中性粒子温度の推定値より高い値をもつことが分ったことが特筆される。

## 謝 辞

本研究の施行において、エネルギー分布観測器の製作に対し、松栄電子、堀江 茂、佐藤確吉氏、またガラス封じラングミュアプローブの製作に対し理化学研究所技術部菅原正吾氏に感謝する。

## 参 考 文 献

- 1) 雨宮, 小山, 平尾: 宇宙科学研究所報告, 特集9号 (1984) 45.
- 2) 雨宮, 小山, 平尾: 宇宙科学研究所報告, 特集12号 (1985) 125.
- 3) 西牟田 氏の提供による.
- 4) I. Kimura: Sounding Rocket Data in Japan Vol. 2 ISAS p. 10.
- 5) H. Oya, A. Morioka, T. Ono and M. Kondo: *ibid.* p. 30.
- 6) K. Hirao and K. Oyama: *ibid.* p. 42.
- 7) K. Hirao and K. Oyama: *ibid.* p. 64.
- 8) L. G. Smith: Radio Science 1 (1966) 178.
- 9) A. Aubry et al.: *ibid.* 1 (1966) 170.
- 10) E. P. Szuszczewicz and J. C. Holms: J. Geophys. Res. 82 (1977) 737.
- 11) W. H. Hooke: Planet. Space Sci. 17 (1969) 737.
- 12) K. Hirao and S. Miyazaki: Sounding Rocket Data in Japan Vol. 1 ISAS p. 34.
- 13) Y. Aono, K. Hirao and S. Miyazaki: *ibid.* p. 60.
- 14) K. Hirao and S. Miyazaki: *ibid.* p. 82.
- 15) L. G. Smith: J. Atm. Terr. Phys. 32 (1970) 1247.
- 16) E. Constantinides and J. F. Bedinger: J. Atm. Terr. Phys. 33 (1971) 461.
- 17) N. Wakai: J. Geophys. Res. 72 (1967) 4507.
- 18) J. F. Rowe Jr.: J. Geophys. Res. 78 (1973) 6811.
- 19) J. S. Shen, W. E. Swartz and D. T. Farley: J. Geophys. Res. 81 (1976) 5517.