

第12-14次隊南極ロケットによる下部電離層の観測

宮 崎 茂*

Rocket Observations of the Lower Ionosphere in the 12th-14th
 Japanese Antarctic Research Expeditions (1971-1973)

Shigeru MIYAZAKI*

Abstract: The 12th, 13th and 14th Japanese Antarctic Research Expedition parties (1971-73), carried out firings of twenty-one rockets to observe the polar ionosphere and auroral phenomena at Syowa Station (69°00'S, 39°35'E; geomagnetic lat. 69.6°S, long. 77.1°E), Antarctica. The electron density profiles of the ionosphere in disturbed conditions were obtained. The results of analyses and discussions are given in this report.

1. 緒 言

1957年南極昭和基地において第1次越冬隊が観測を始めて以来、超高層物理学の分野の研究は一段と進歩した。1966年第7次隊による南極観測再開以来、昭和基地における超高層ロケット観測が重要なテーマとして推進されてきた。人工衛星と並んで超高層物理現象を立体的に観測し、それらと地上観測を有機的に解析および研究ができるので、その重要性はあらためていうまでもない。

さて第11次隊によって1970年2月 S-160JA-1, -2号機による予備観測が成功裏に行われた (HIRASAWA *et al.*, 1970; 川口他, 1971)。これに引続いて第12次隊から3カ年間のロケットの本観測に入った。第12次隊においては S-160型1機と S-210型6機によって超高層の観測を行った。この中で S-160JA-3, S-210JA-5, -6号機に電離層測定器を搭載した。第13次隊は S-160型1機と S-210型6機によって超高層の観測を行った。第13次隊では全号機に電離層測定器を搭載した。第1期ロケット観測3カ年計画の最終年度である1973年において、第14次隊では S-210型7機によって超高層の観測が行われた。この中で、S-210JA-16, -17, -18, -19号機に電離層測定器を搭載した。

* 郵政省電波研究所. Radio Research Laboratories, 4-2-1, Nukuikita-machi, Koganei-shi, Tokyo 184.

2. 測定器

電離層の電子密度の測定器として、高周波プローブ法と静電プローブ法の2種類を用いた。測定法および原理についてはすでに述べられているので(宮崎, 1970; 宮崎・大瀬, 1971), ここではその概要および実際の回路について述べる。

2.1. 高周波プローブ法 (Radio frequency probe method, RFP)

プラズマは高周波に対して、プラズマと交流電磁場との相互作用のために、インピーダンスを呈する。この高周波インピーダンス特性と、その周囲のプラズマ・パラメータとは密接な関係がある。よってプラズマ・プローブ系のインピーダンスを測定して、プラズマ・パラメータを解析することができる。ここでは送信と受信の2つの電極を用いて、送信に高周波電圧を印加して、受信電極にてプラズマを介した高周波特性を測定する。また今回の測定器には高周波電圧の上に鋸歯状波の直流バイアス電圧を重量し、プラズマ・プローブの高周波特性に対するシースの影響も調べた。

印加周波数範囲	0.2~15 MHz
周波数較正	1 MHz と 10 MHz の2点
掃引信号印加レベル	200 mV (p-p)
掃引時間	0.5 s
受信特性	100 mV (p-p)~100 μ V (p-p), ダイナミックレンジ 60 dB以上
直流バイアス波形及びレベル	鋸歯状波 0~6 V
同周期	16 s

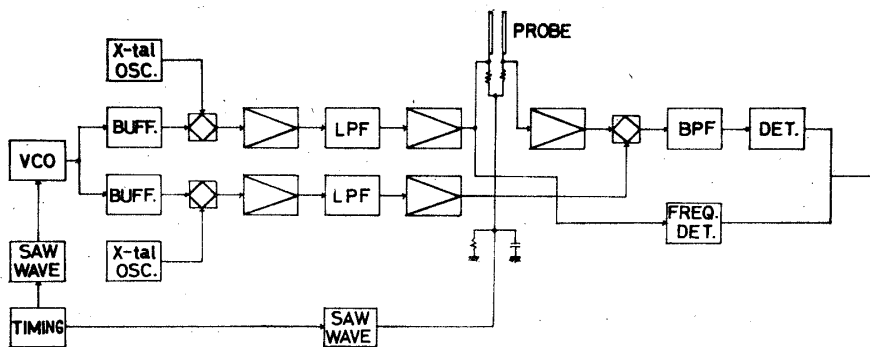


図 1 高周波プローブ測定回路ブロックダイアグラム

Fig. 1. Block diagram of radio frequency probe measuring circuit.

電極 直径 2 mm, 長さ 550 mm 2 本, 間隔 60 mm

図 1 に高周波プローブ測定回路のブロックダイアグラムを示す。

2.2. 静電プローブ法 (Electrostatic probe method)

静電プローブ法として 2 種類のプローブ法を用いてある。一つはいわゆる通常の Langmuir probe (LP) で, 測定電極にある電圧範囲掃引する直流電圧を印加し, その電流電圧特性を測定するものである。なお今回は直流電圧の上に交流電圧を重量してあり, 詳細な特性を得ることを目的とした。

直流印加波形及びレベル	鋸歯状波 0~6 V
掃引時間	0.5 s
交流印加周波数	1 kHz
交流印加電圧	200 mV (p-p)
印加周期	0.5 s ON, OFF
電圧較正	16秒に 1 回 2 点
直流電流測定範囲	$3 \times 10^{-4} \sim 3 \times 10^{-6}$ A, $3 \times 10^{-6} \sim 3 \times 10^{-5}$ A, 増幅器は線型で 2 段切り換え
交流電流測定範囲	$5 \times 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-8}$ (1/2p-p) A, 対数増幅器
電極	直径 2 mm, 長さ 200 mm (円筒形)

図 2 に Langmuir probe 測定回路のブロックダイアグラムを示す。

次に第 2 番目の方法は加速電界領域における電子電流の特性を利用してプローブに正の固定電圧を印加し, 連続的に相対的な電子密度を測定するものである。

直流印加レベル +6 V 固定 (5.2~6.5 V)

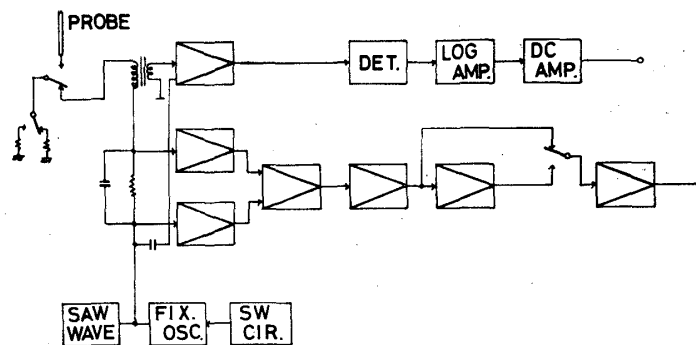


図 2 Langmuir probe 測定回路ブロックダイアグラム
Fig. 2. Block diagram of Langmuir probe measuring circuit.

測定電流範囲	$3 \times 10^{-4} \sim 3 \times 10^{-9} \text{A}$
増幅器	対数圧縮
電流校正点	2点
校正点間隔	16 s に1回
電極	直径 2 mm, 長さ 200 mm (円筒形)

図3にこの電子電流プローブ (Electron current probe, EP) 測定回路のブロックダイアグラムを示す。

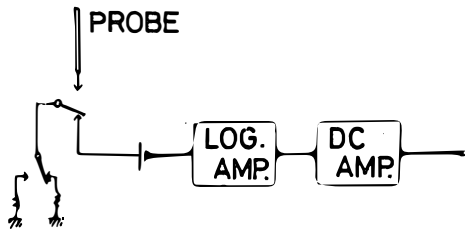


図3 電子電流プローブ測定回路ブロックダイアグラム
Fig. 3. Block diagram of electron current probe measuring circuit.

以上 S-210JA-5, -6 号機に搭載した測定器の概要を述べたが、プローブは発射後60秒の脱頭後、MT (Mechanical timer) のトリガーにより焼切り方式のプローブ展開機構が作動し、ロケット軸と直角方向にプローブが発射後62秒で開くようになっている。

S-160JA-3号機は小型のため脱頭ができないので、先端部を金属製にしてプローブとして使用してある。測定方式は最も簡単な固定電圧を印加する電子電流プローブを使用している。

印加電圧	2.7 V
測定電流	$10^{-8} \sim 10^{-6} \text{A}$
出力電圧	0~3 V
利得切換	1秒毎に gain を high と low に切り換え、その比は 10:1 である。
校正	16秒に1回入力ショートと指定電圧が挿入される。

測定信号はレーダートランスポンダのPPM (Pulse position modulation) で送られる。プラズマ・チャンバー・テストの結果、電子電流 i_e と電子密度の関係は次の実験式で与えられる。

高感度	$N_e (\text{cm}^{-3}) = 4.97 \times 10^8 i_e (\text{A})$
低感度	$N_e (\text{cm}^{-3}) = 5.40 \times 10^2 i_e (\text{A})$

図4は JA-6号機搭載用測定器および電極を示し、図5は JA-5, -6号機用の測定器を組み上げたところを示しており、図6は電離層測定器のプラズマ試験装置を示す。図7は S-

160JA-3号機搭載用測定器を示し、図8はS-160JA-3号機の頭胴部を示す。図9はS-210JA-5、-6およびS-160JA-3号機の搭載機器の配置図を示す。

第13次隊における測定器は第12次隊の場合とほぼ同じであるが、細かい部分がかかなり改良

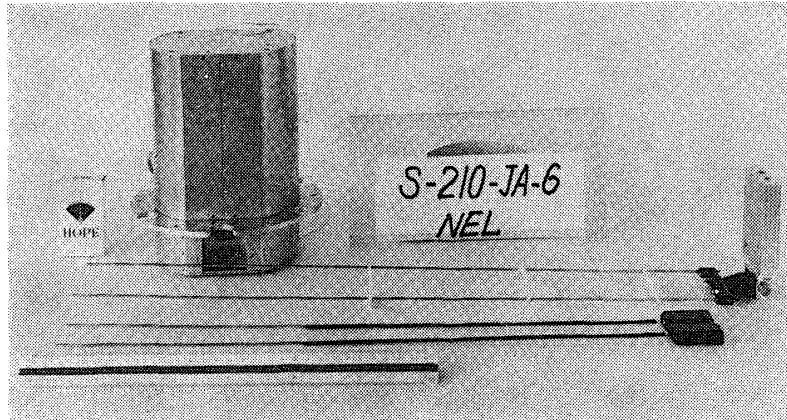


図4 S-210JA-6号機搭載用測定器

Fig. 4. Ionospheric measuring instrument for S-210JA-6.

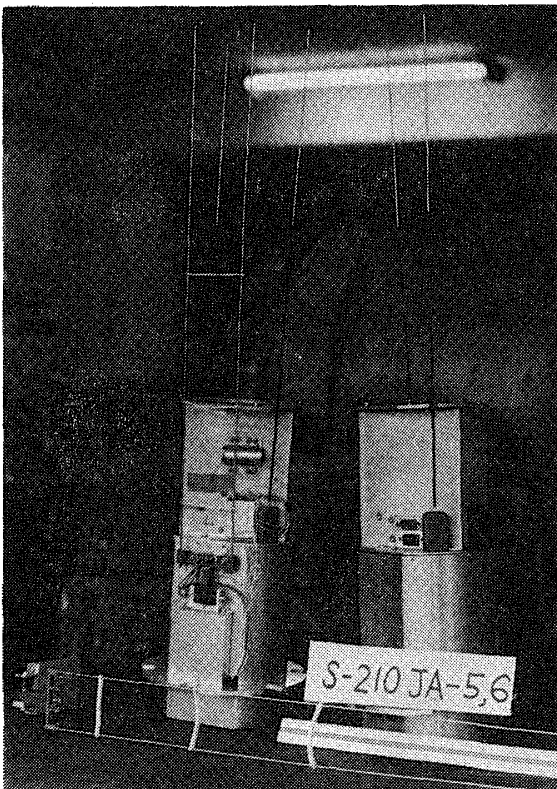


図5 S-210JA-5、-6号機頭胴部

Fig. 5. Instrument assemblies for S-210JA-5 and -6.

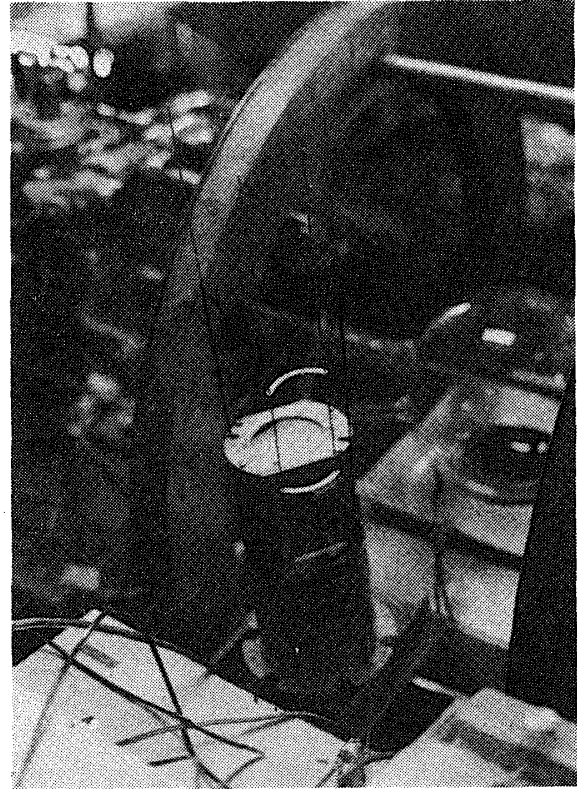


図6 電離層測定器のプラズマ試験装置

Fig. 6. Plasma test equipment for ionospheric measuring instrument.

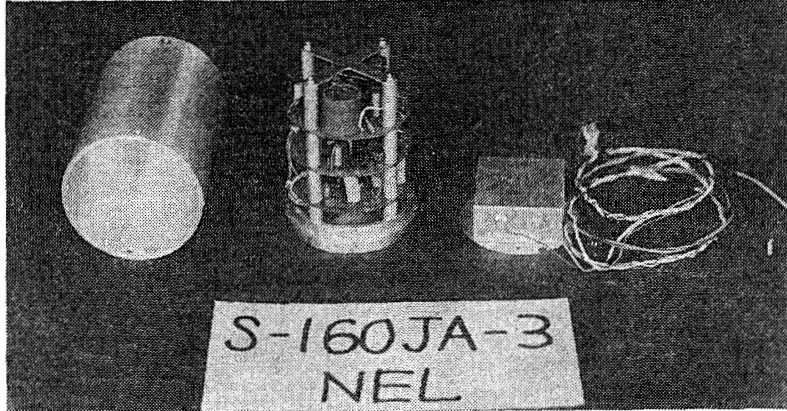


図 7 S-160JA-3 号機搭載用測定器

Fig. 7. Ionospheric measuring instrument for S-160JA-3.

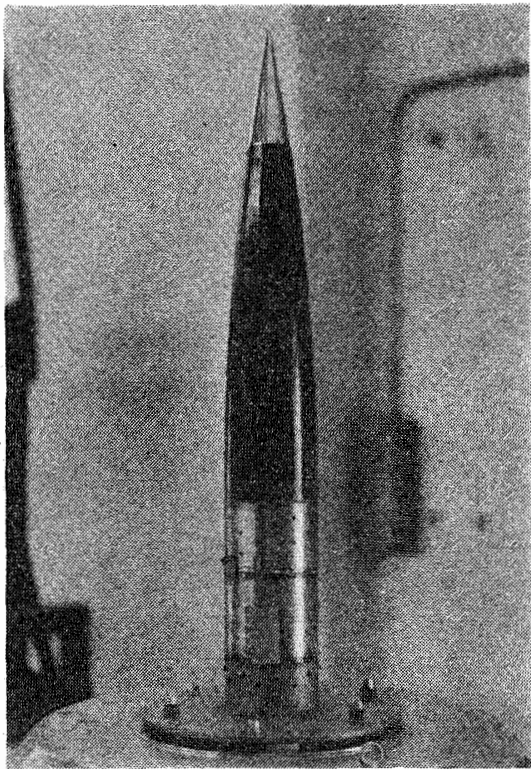
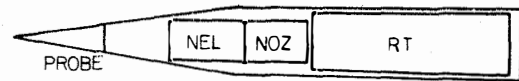
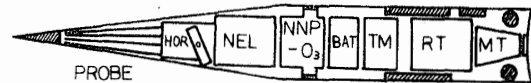


図 8 S-160JA-3 号機頭胴部

Fig. 8. Nose cone and probing electrode of S-160JA-3.



S-160JA-3



S-210JA-5,-6

図 9 搭載機器配置図 (JARE-12)

Fig. 9. Arrangement of rocket-borne instruments.

されている。高周波プローブについては第12次隊の S-210JA-5, -6 号機の場合の直流バイアスをやめて、高周波電圧のみを印加した。また電極の配置を変更した。Langmuir probe については直流掃引電圧を鋸歯状波形から三角波形にして、電流電圧特性のヒステレシスを詳細にチェックした。また差動増幅部は一旦 current amp. を通した後に差動成分をとつ

たので、安定度が良くなった。電子電流プローブについては回路的には変更なく、電極の配置を変えた。なお測定器の重量は、本体回路部が約 2.1 kg, 電極部が約0.4 kg 計約 2.5 kg であり、使用電力は+18 V 系が約300 mA, -18 V 系が約100 mA で計約0.72 Wである。

プローブの展開機構は第12次隊の場合には複雑であったので、今回は頭胴部脱頭後、バネの力によって自然に開いて、かつ固定する方式を採用した。次に各号機についての測定器の概要について述べる。

2.2.1. S-210JA-7

高周波プローブは0.5~7 MHz の間の周波数を掃引し、掃引周期は 0.5秒である。高周波印加電圧は600 mV (p-p) である。プローブは2本の電極を用いて、扇形に開いており、その角度は約45度である。

静電プローブとしては電子電流プローブを使用し、垂直のプローブと水平180°の両方に出した計3本のプローブを用いた。水平方向の2本のプローブは1秒毎に切り換えてある。3本のプローブを用いたのはロケットの wake の効果を3本のプローブによって調べるためであった。

2.2.2. S-210JA-8

高周波プローブは 0.5~7 MHz の間の周波数を掃引し、掃引周期は0.125秒である。これはロケット・スピンによる影響を調べることおよび、より詳細なロケット周囲の密度変化を調べるために掃引周期を早くした。プローブは従来の two-wire を受信に使用し、それと直角方向に single wire を出し、それを送信側にした。

静電プローブは Langmuir probe と電子電流プローブの2種類を用いた。Langmuir probe は電圧-8.2 V~+7.8 V の間を1秒の三角波として掃引してある。他の号機における Langmuir probe の掃引電圧は 0~+6 V であるが、この8号機のみ範囲を拡げたのは、比較的高いエネルギー範囲の電子およびイオンの量的関係を調べることであった。Langmuir probe はテレメータ 2 ch. を用い、受信利得は 1:10:100 の割合いで切り換えてある。また電子電流プローブも搭載しており、プローブは水平で高周波プローブの送信側と180°逆の位置にある。

2.2.3. S-210JA-9, -10

高周波プローブは 0.5~7 MHz の間の周波数を掃引し、掃引周期は9号機の場合は0.125秒、10号機の場合は 0.5秒である。高周波プローブに使用する測定電極は8号機と同じ型式のものを用いた。

Langmuir probe に関しては、0~6 V の間を1秒間の三角波として掃引している。Langmuir probe の電極は高周波プローブの送信電極と180°逆の位置に取り付けてある。また電子電流プローブも搭載しており、垂直の電極を用いた。

2.2.4. S-210JA-11

高周波プローブは0.5~7 MHz の間の周波数を掃引し、周期は0.1秒である。測定電極は平行線電極とそれと直角方向の電極を受信とした計2ch.による測定を行った。これはロケット・スピンによる周囲の電子密度分布と、two-wire probe 法と間隔を直角方向に拡げた、いわゆる通常の impedance probe の比較を行う意味もある。静電プローブとしては、電子電流プローブのみを搭載した。測定電極は先端部に垂直な測定電極を用いた。この11号機に搭載した電子電流プローブの回路には途中の校正電圧なしで、脱頭まで基準抵抗を付加して、それを基準校正電圧とした。

2.2.5. S-210JA-12

高周波プローブは0.5~7 MHz の間の周波数を掃引し掃引周期は0.5秒である。測定電極は平行線電極を用いてある。電子電流プローブは水平に出した電極を用いてある。

2.2.6. S-160JA-4

第12次隊の S-160JA-3 と同じ電子電流プローブを搭載したが、対数増幅器を使用したもので、測定電流範囲は広がった。

図10は S-210JA-7, -8, -9, -10, -11, -12 および S-160JA-4 号機の頭胴部内の各搭載機器の配置図を示す。

第14次隊においては測定器の細かい部分が、さらに改良されているのでそれについて述べる。高周波プローブについては0.125秒の周期で0.5~8 MHz までの周波数を掃引し、800~1000 mVp-p のレベルで印加し、受信機は75 dB の利得、60 dB のダイナミックレンジをもっている。掃引中の周波数目盛を示すマーカー発生回路は今回1 MHz の水晶発振回路を採用し、その高調波3, 5, 7 MHz を発生させたので、その安定度が格段に良くなり、かつ、周波数目盛が4点になったので測定の精度があがった。測定電極は送受2本あり、円筒形で、約30°の角度の扇形に開いた形をしている。Langmuir probe は初段増幅にブリッジ型の高入力抵抗、高安定の演算増幅器を使用したので安定度が特に良くなった。増幅度が20 dB と60 dB の2系列をもち、さらにプローブに直列に入った抵抗を100 k Ω と10 k Ω に1秒ごとに切り換えることにより、出力電圧が5 V~0.1 V までデータとして扱えると、測定電流範囲は $5 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-9}$ (A) となる。校正として16秒間に1回1秒間ずつプローブのかわり

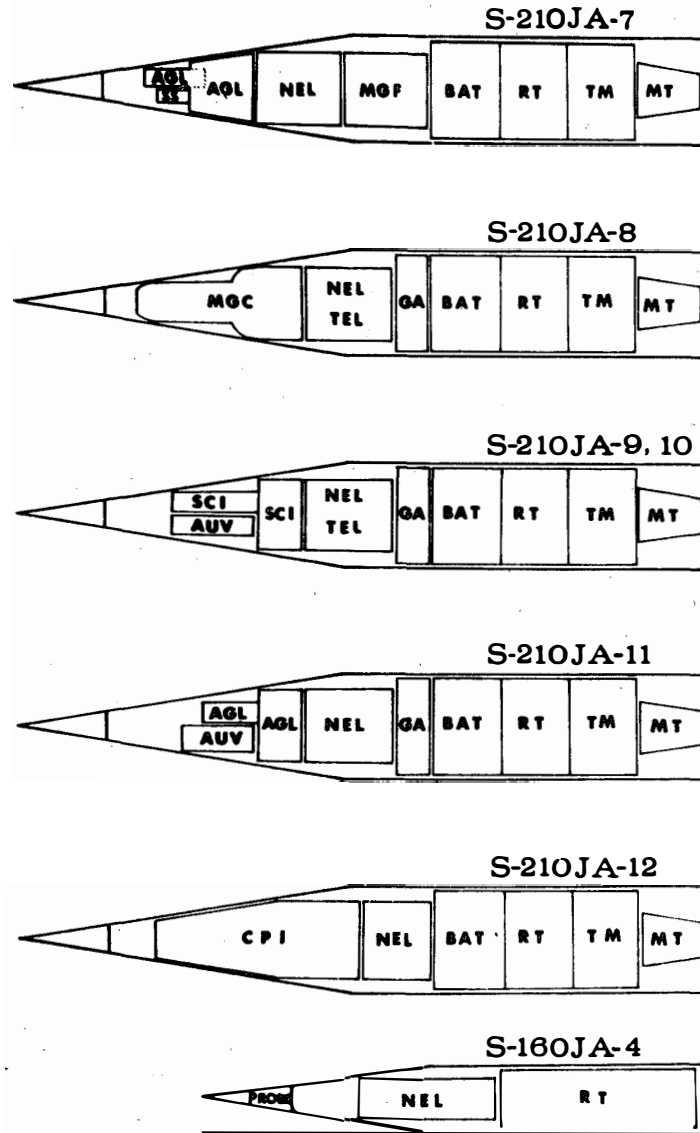


図 10 搭載機器配置図 (JARE-13)

Fig. 10. Arrangement of rocket-borne instruments.

に $12\text{ M}\Omega$ と $1.1\text{ M}\Omega$ が接続される。また発射前より発射後62秒まで校正抵抗に接続されている。電子電流プローブについては測定回路は前回と同じであるが、校正として16秒間に0.5秒間プローブの代わりに $200\text{ k}\Omega$ が接続され $+4.5\text{ V}$ となる。また、発射前から発射後62秒まで校正抵抗 $20\text{ k}\Omega$ が接続されている。

S-210JA-16, -17, -18 号機は高周波プローブおよび静電プローブ両方を搭載している。S-210JA-19 号機は相乗りの搭載機器の関係上、電子電流プローブのみを搭載してある。測定電極はロケット中心軸先端部に直径 25 mm の球形電極を用いている。

図11, 12, 13は S-210JA-16, -17, -18号機に搭載した電離層測定器の外観を示す。

図14は S-210JA-19号機の電子電流プローブの形状を示す。図15は S-210JA-16, -17, -18, -19号機の搭載機器の配置図を示す。

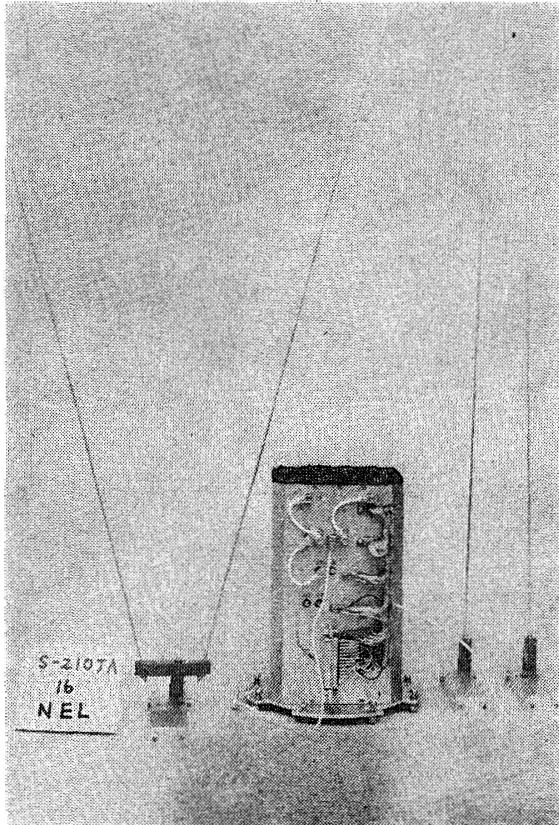


図 11 S-210JA-16号機搭載用電離層測定器
Fig. 11. Ionospheric measuring instrument for S-210JA-16.

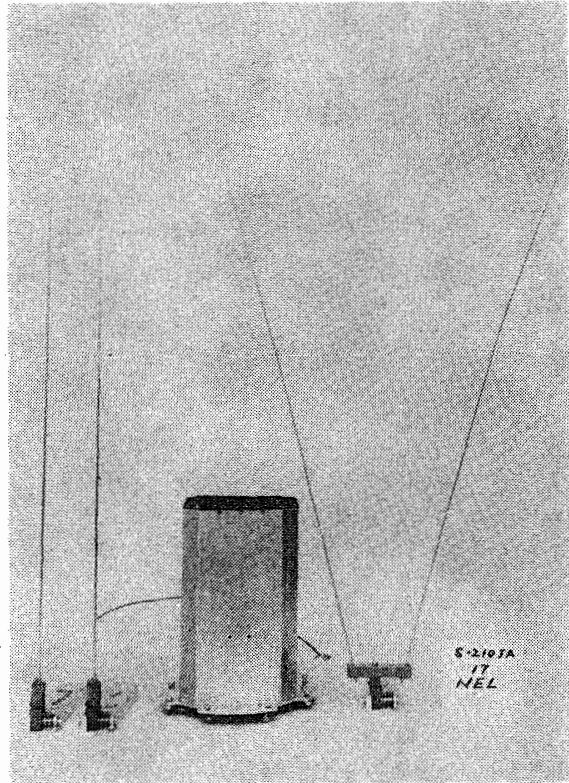


図 12 S-210JA-17号機搭載用電離層測定器
Fig. 12. Ionospheric measuring instrument for S-210JA-17.

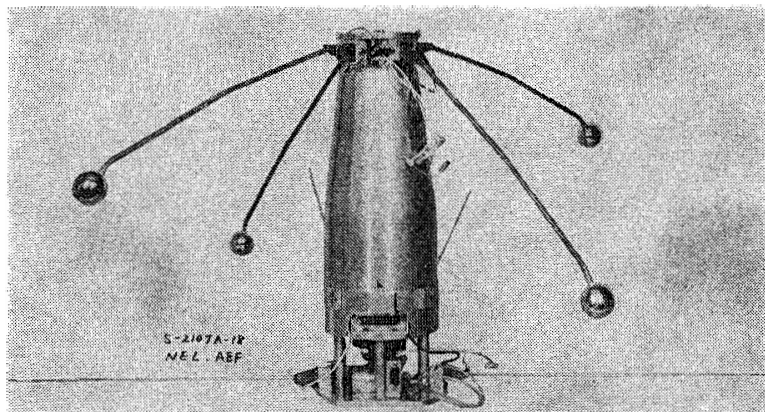


図 13 S-210JA-18号機搭載用電離層測定器
Fig. 13. Ionospheric measuring instrument for S-210JA-18.

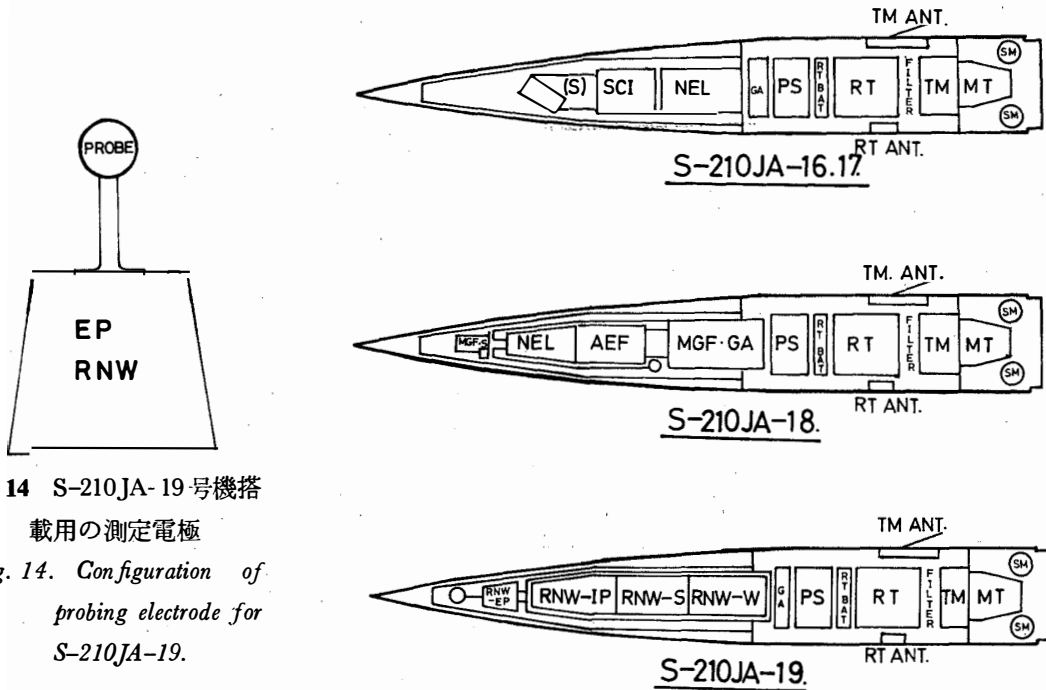


図 14 S-210JA-19号機搭載用の測定電極
 Fig. 14. Configuration of probing electrode for S-210JA-19.

図 15 搭載機器配置図 (JARE-14)
 Fig. 15. Arrangement of rocket-borne instruments.

3. 観測結果

3.1. 第12次隊による観測

図16は昭和基地からのロケットの発射方位および水平距離を示す。図の中の数字はロケットの号機を示す。図17はロケットの軌跡を示す。表1に第12次隊の電離層観測ロケットの飛しょう諸元について示す。図18は S-160JA-3号機の上昇時および下降時の電子密度分布の観測結果を示してある。この場合は S-160JA-1, -2号機の場合より電子密度が大きくなっている。

図19および図20は、S-210JA-5号機の上昇時および下降時の電子密度分布の観測結果を示してある。このロケットは夜間の発射であり、電子電流プローブの測定によれば電子密度は、上昇時において高度約95 km までは比較的単調に上昇しており、それから上では密度勾配は比較的ゆるやかになり、電子密度は約 $1 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$ である。下降時においては、約 100 km の高度において電子密度の勾配が変化している。100 km 以上の勾配が上昇時よりやや大きい、これは 100 km から 105 km 付近はロケットの wake の影響を受けていて電子密度の測定値がやや減少したものである。電子電流プローブからの測定から約 65 km にお

いて電子密度は 10^2cm^{-3} と推定される。

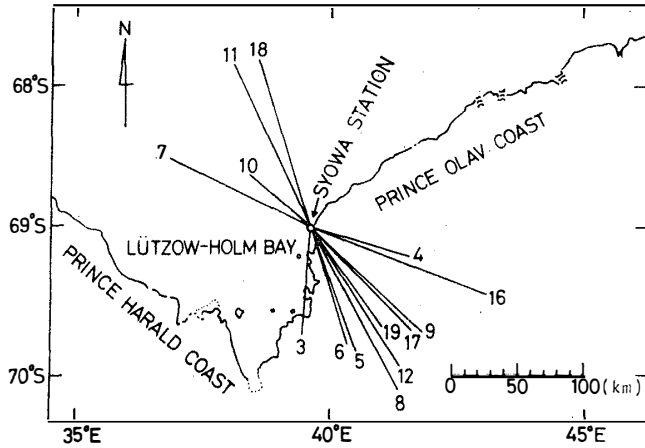


図 16 ロケットの発射方位および落下地点
Fig. 16. Flying directions and landing points of rockets.

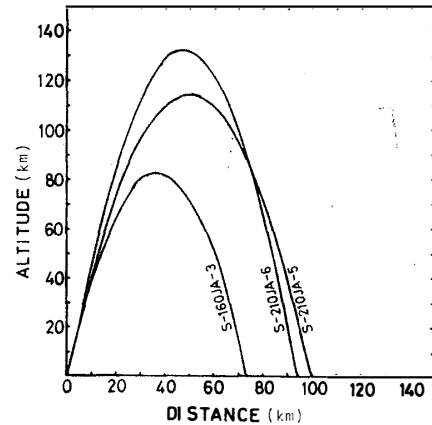


図 17 ロケットの飛しょう軌跡 (JARE-12)
Fig. 17. Rocket trajectories.

表 1 電離層観測ロケット飛しょう諸元 (JARE-12)
Table 1. Ionospheric sounding rockets (JARE-12).

No.	1	2	3
ロケット	S-160JA-3	S-210JA-5	S-210JA-6
飛翔年月日	1971. 4. 30	1971. 9. 14	1971. 12. 3
飛翔時刻	13 h 00 m	00 h 50 m	15 h 00 m
発射上下角	82°	82°	82°
発射方位角	180°	170°	170°
最大到達高度	83 km	114.2 km	132.1 km
最大高度到達時間	2 m 16 s	2 m 40 s	2 m 54 s
水平到達距離	80 km	99.7 km	93.8 km
全飛翔時間	4 m 32 s	5 m 16 s	5 m 41 s
落下方位	184°	158.9°	161.4°
レーダ待受け上下角	80.5°	76.9°	74.9°
レーダ待受け方位角	191°	174.5°	173.9°
テレメータ受信時間	4 m 32 s	5 m 05 s	5 m 28.5 s
頭胴部重量	19.5 kg	37.1 kg	37.0 kg
槽内温度	3°C	18°C	—
推薬温度	11°C	11°C	—
発射時地上気温	-6°C	-23.1°C	+1.2°C
発射時地上風向風速	0 m/s—	2 m/s SE	2 m/s SSE
天候	曇	晴	晴

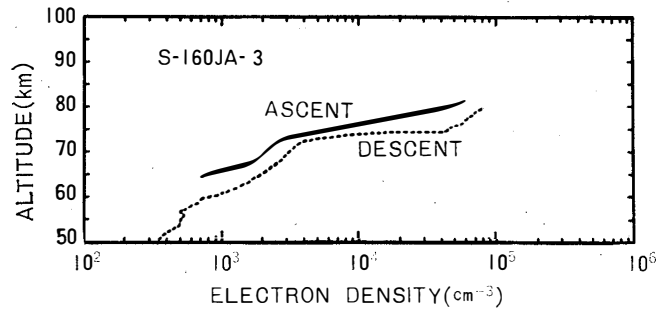


図 18 S-160JA-3ロケットによる電子密度分布観測結果
 Fig. 18. Electron density profiles.

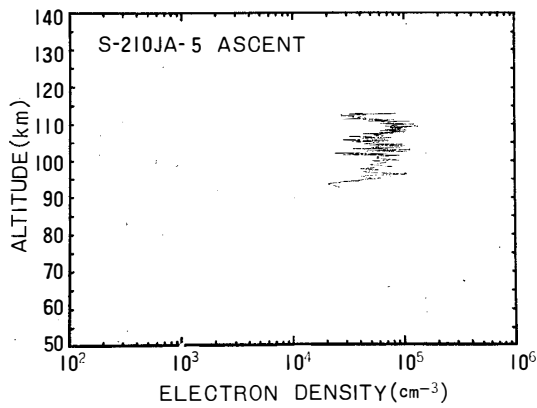


図 19 S-210JA-5 ロケットによる電子密度分布の観測結果 (上昇時)
 Fig. 19. Electron density profile.

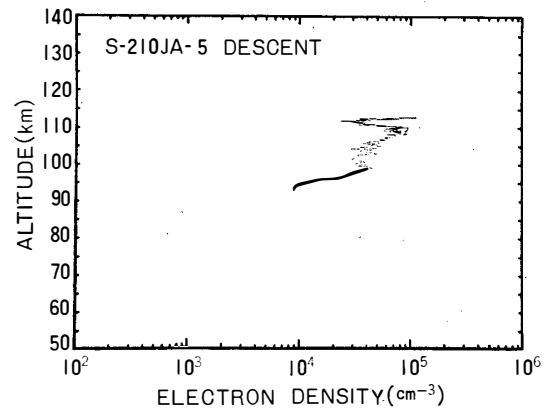


図 20 S-210JA-5 ロケットによる電子密度分布の観測結果 (下降時)
 Fig. 20. Electron density profile.

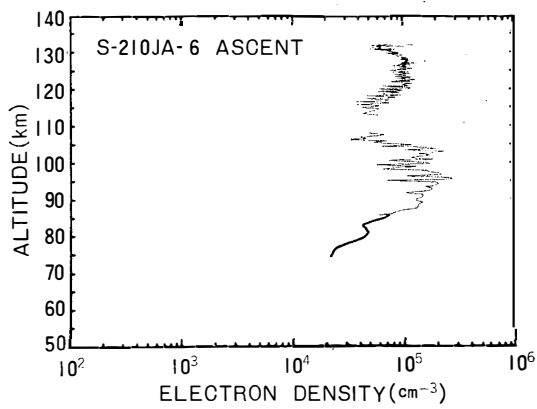


図 21 S-210JA-6 ロケットによる電子密度分布の観測結果 (上昇時)
 Fig. 21. Electron density profile.

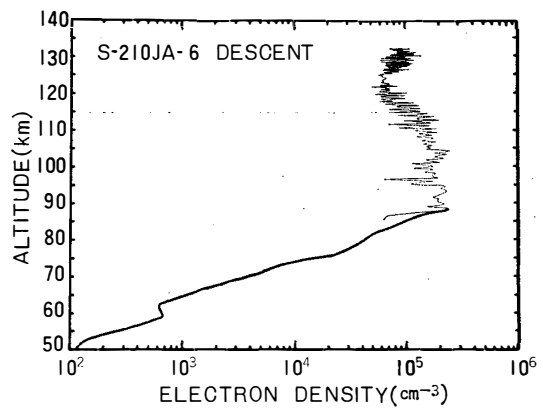


図 22 S-210JA-6 ロケットによる電子密度分布の観測結果 (下降時)
 Fig. 22. Electron density profile.

図21および図22は S-210JA-6 号機の上昇時および下降時の電子密度分布の観測結果を示してある。このロケットは昼間の発射である。高度約88 km まで電子密度の勾配が急であり、約95 km~105 km において最大電子密度 $2 \times 10^5 \text{cm}^{-3}$ を示し、それより上ではわずかながら電子密度が減少している。電離層状態はわずかながらじょう乱状態であった。上昇時の約110 km および下降時の約125 km の電子密度の減少は、ロケットの姿勢による影響も考えられる。

3.2. 第13次隊ロケットによる観測

図23はロケットの軌跡を示す。表2に第13次隊の電離層観測ロケットの飛しょう諸元について示す。

図24 および図25は、S-210JA-7 号機の上昇時および下降時の電子密度分布の観測結果を示してある。太陽高度は約 3° と推定される。従って電離源としては太陽遠紫外線およびX線も寄与している。電子密度のプロファイルは上昇時および下降時もほぼ同じである。約95 km 以上はゆるやかな電子密度の勾配をもち、最大電子密度は約110 km 前後に存在しており約 $3 \sim 4 \times 10^5 \text{cm}^{-3}$ である。それより上では密度がやや減少している。約95 km を境にして密度は急激に減少している。さらに特徴的なことは約85 km において電子密度の勾配が変化していることである。これは電離の機構が変化することを示唆するものである (KAMIYAMA, 1967; REES, 1964)。

図26 および図27は、S-210JA-8 号機の上昇時および下降時の電子密度分布の観測結果を示してある。このロケットはいわゆる1972年 August event (電波研究所, 1973) の期間に打ち上げられ、超高層のじょう乱度は JA-11 号機の場合に次いで大きい。地磁気水平成分の変動は -450γ であり、30 MHz リオメータは -2.6 dB 、イオノグラムは radio black-

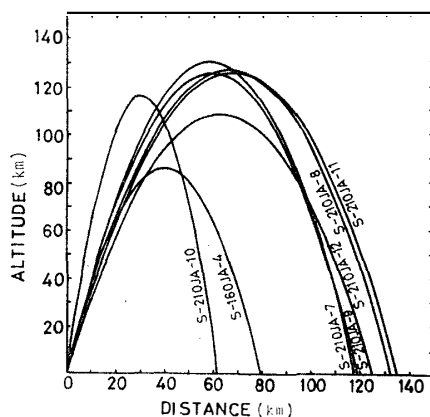


図23 ロケットの飛しょう軌跡 (JARE-13)

Fig. 23. Rocket trajectories.

表 2 電離層観測ロケット飛しょう諸元 (JARE-13)

Table 2. Ionospheric sounding rockets (JARE-13).

No.	1	2	3	4	5	6	7
ロケット	S-210JA-12	S-160JA-4	S-210JA-9	S-210JA-10	S-210JA-11	S-210JA-8	S-210JA-7
飛翔年月日	1972. 2. 11	1972. 4. 17	1972. 5. 14	1972. 5. 16	1972. 8. 7	1972. 8. 11	1972. 12. 14
飛翔時刻	15 h 00 m	02 h 42 m	02 h 13 m	02 h 02 m	04 h 45 m	04 h 01 m	00 h 23 m
発射上下角	82°	82°	82°	82°	82°	82°	82°
発射方位角	135°	135°	135°	315°	315°	135°	315°
最大到達高度	107.5 km	86.0 km	129.3 km	115.4 km	125.8 km	126.6 km	125.8 km
最大高度到達時間	2 m 36 s	2 m 19 s	2 m 54 s	2 m 43 s	2 m 51 s	2 m 50 s	2 m 51 s
水平到達距離	123.7 km	79.1 km	117.3 km	60.7 km	135.3 km	132.2 km	118.2 km
全飛翔時間	5 m 10 s	4 m 33 s	5 m 41 s	5 m 28 s	5 m 41 s	5 m 35 s	5 m 40 s
落下方向	146.1°	105.7°	131.9°	310.0°	334.0°	150.6°	295.2°
レーダ待受け上下角	76.2°	80.4°	77.2°	81.4°	78.5°	77.0°	77.1°
レーダ待受け方位角	148.8°	123.0°	139.2°	303.0°	317.1°	139.6°	303.9°
テレメータ受信時間	4 m 48 s	4 m 33 s	5 m 21.7 s	5 m 08 s	5 m 21 s	5 m 15 s	5 m 23.6 s
頭胴部重量	40.0 kg	17.8 kg	40.5 kg	40.0 kg	40.0 kg	40.5 kg	40.7 kg
槽内温度	—	14°C	24°C	15°C	-2°C	10°C	15°C
推薬温度	17.5°C	12°C	15°C	11°C	13°C	9°C	14°C
発射時地上気温	-0.5°C	-12°C	-22°C	-20°C	-13°C	-33°C	-7°C
発射時地上風向風速	3.8 m/sSSW	8 m/sE	0.2 m/s—	4 m/sSSE	3 m/sENE	0 m/s—	2 m/sW
天候	晴	快晴	快晴	晴	薄曇	晴	曇
磁場水平成分	静穏	-320γ	-290γ	-200γ	-600γ	-450γ	-200γ
CNA	0 dB	-1.2 dB	-1.3 dB	-0.3 dB	-4.8 dB	-2.6 dB	-1.5 dB
電離層状態	平穏	Blackout	Blackout	Spread F	Blackout	Blackout	Blackout
電離層測定器	EP, RFP	EP	EP, LP, RFP	EP, LP, RFP	EP, RFP	EP, LP, RFP	EP, RFP

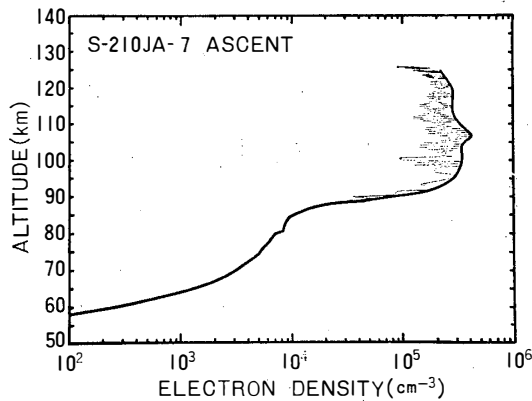


図 24 S-210JA-7 ロケットによる電子密度分布の観測結果 (上昇時)

Fig. 24. Electron density profile.

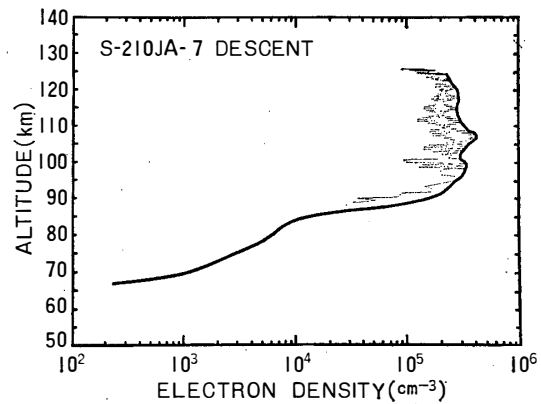


図 25 S-210JA-7 ロケットによる電子密度分布の観測結果 (下降時)

Fig. 25. Electron density profile.

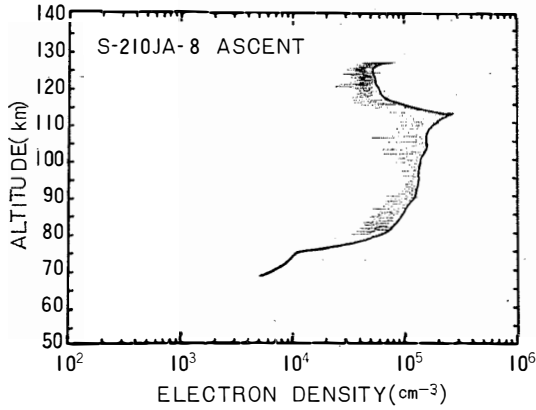


図 26 S-210JA-8 ロケットによる電子密度分布の観測結果（上昇時）

Fig. 26. *Electron density profile.*

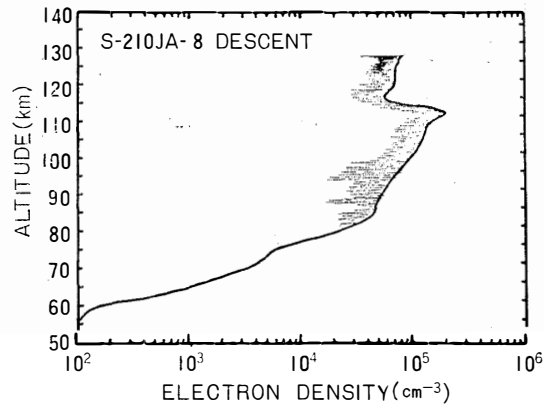


図 27 S-210JA-8 ロケットによる電子密度分布の観測結果（下降時）

Fig. 27. *Electron density profile.*

out を示している。上昇時および下降時ともに約 80 km 電子密度の勾配が変り、約 112 km 程度までゆるやかに電子密度が増加し、それ以上ではやや減少している。また高度約 75 km 近傍で前の JA-7 号機の場合と同じように密度勾配の変化する点が存在する。

図28および図29は S-210JA-9 号機の上昇時および下降時の電子密度分布の観測結果を示してある。打ち上げ時の地磁気の水平成分の変動は -290γ 、30 MHz リオメータは -1.3 dB であった。またイオノグラムにはときどき E_s 層のみが現われたが大部分は radio blackout の状態であった。

さて電子密度のプロファイルは上昇時と下降時は著しく異なっている。すなわち上昇時は約 115 km まで電子密度が単調に増加して最大電子密度は約 $2.5 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$ になっており、

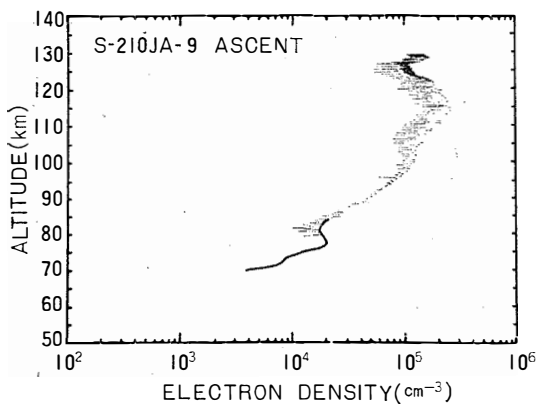


図 28 S-210JA-9 ロケットによる電子密度分布の観測結果（上昇時）

Fig. 28. *Electron density profile.*

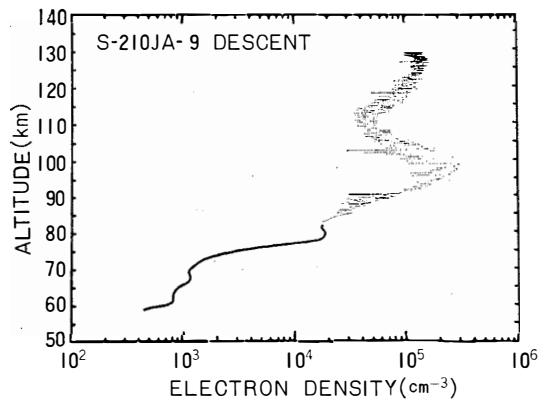


図 29 S-210JA-9 ロケットによる電子密度分布の観測結果（下降時）

Fig. 29. *Electron density profile.*

それより上ではやや減少している。それに対して下降時では高度 100 km において、電子密度最大になり約 $3 \times 10^5 \text{cm}^{-3}$ を示し、高度 110 km で極小を示している。上昇時と下降時のプロファイルの異なる理由はオーロラの局所的な存在によるものか、あるいはロケットの異常な姿勢によるロケットの wake の影響であるのか検討を要する。

図30および図31は、S-210JA-10 号機の上昇時および下降時の電子密度分布の観測結果を示してある。このロケットの打ち上げ時は比較的超高層のじょう乱度が小さく、イオノグラムは spread F の存在を示していた。上昇時および下降時共に高度約 80 km までは急激に上昇しており、約 102 km まで比較的勾配がゆるやかに上昇し、それより上では電子密度は $8 \sim 10 \times 10^4 \text{cm}^{-3}$ を示している。

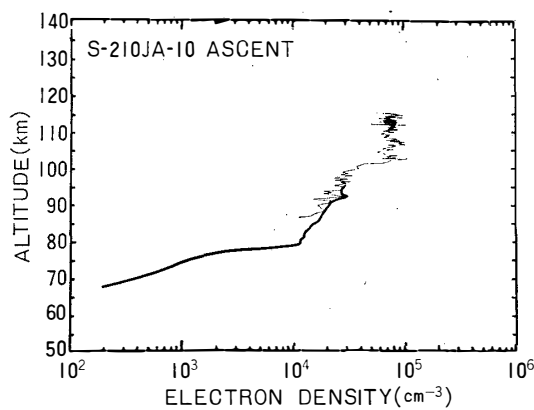


図 30 S-210JA-10 ロケットによる電子密度分布の観測結果 (上昇時)

Fig. 30. Electron density profile.

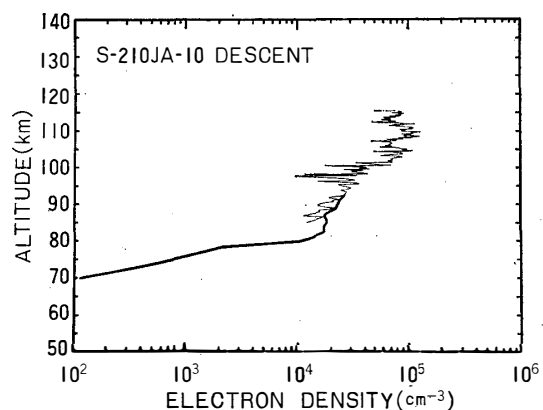


図 31 S-210JA-10 ロケットによる電子密度分布の観測結果 (下降時)

Fig. 31. Electron density profile.

図32および図33は、S-210JA-11 号機の上昇時および下降時の電子密度分布の観測結果を示してある。このロケットの打ち上げ時は JA-8 号機と同じく、August event の期間中に行われた。超高層のじょう乱状態はかなり大きいもので、地磁気水平成分の変動は -600γ 、30 MHz リオメーターは -4.8dB であり、イオノグラムは radio blackout を示していた。電子密度分布において特徴的なことは、高度約 62 km おいて電子密度の極大が生じていることである。上昇時においては約 77 km から電子密度の勾配がゆるくなり始め、99 km において約 $4 \sim 5 \times 10^5 \text{cm}^{-3}$ の極大値を示し、以後ゆるやかに減少している。下降時においては高度 95 km ~ 105 km の間に電子密度の極大が存在し、 $4 \sim 5 \times 10^5 \text{cm}^{-3}$ 以上の密度を示している。この場合周波数掃引幅の上限が限界に達し測定値は飽和してしまった。それより上ではゆるやかに減少している。また約 81 km 以下においても減少している。

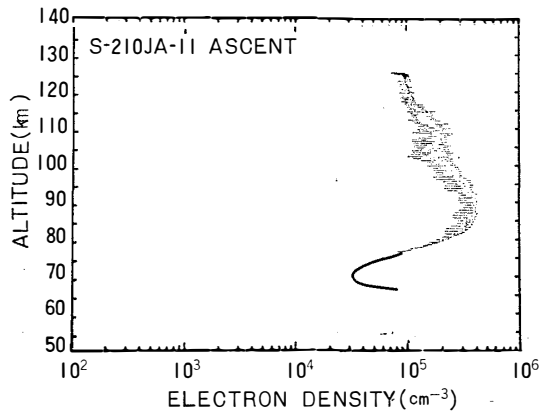


図 32 S-210JA-11 ロケットによる電子密度分布の観測結果（上昇時）

Fig. 32. *Electron density profile.*

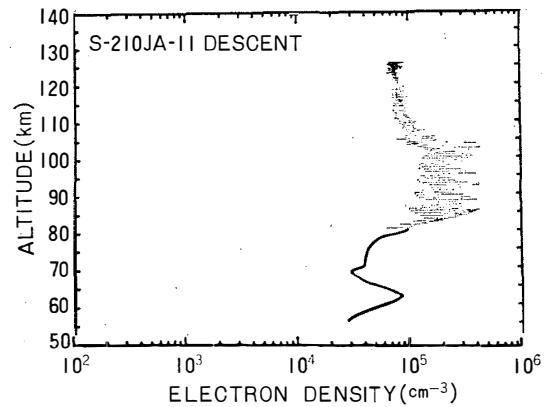


図 33 S-210JA-11 ロケットによる電子密度分布の観測結果（下降時）

Fig. 33. *Electron density profile.*

図34および図35は、S-210JA-12号機の上昇時および下降時の電子密度分布の観測結果を示してある。このロケットは昼間の静穏時に打ち上げられたもので、比較的典型的な昼間の電離層電子密度の状態を示すものと思われる。さて、上昇時においては高度88 kmまで密度が急激に上昇して、それより上ではほぼ密度が一定になっている。その値は $1 \sim 2 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$ である。下降時においては約93 kmまで密度はほぼ一定でそれから下は急激に減っている。

電子密度分布の測定において、上昇時および下降時に電子密度が一けた程度減少しているのはロケットの飛しょう時における姿勢の変化によるロケットのwakeの影響によるものと思われる。また下降時において高度90 km以下の密度が直線的に減少しているのは、測定上の問題に関連しているかも知れない。

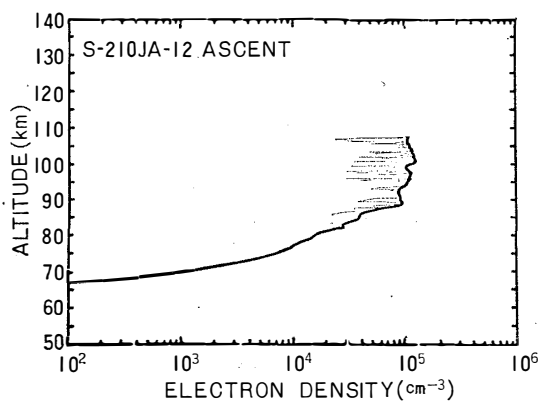


図 34 S-210JA-12 ロケットによる電子密度分布の観測結果（上昇時）

Fig. 34. *Electron density profile.*

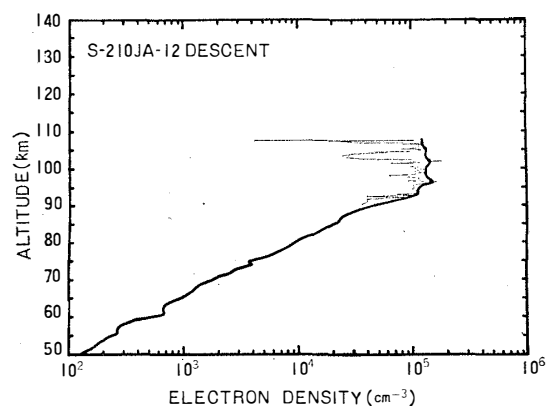


図 35 S-210JA-12 ロケットによる電子密度分布の観測結果（下降時）

Fig. 35. *Electron density profile.*

図36は S-160JA-4 号機の上昇時および下降時の電子密度分布の観測結果を示してある。このロケットは夜間の打ち上げで、30 MHz リオメータの吸収は -1.2 dB、地磁気水平成分の変動は -320γ とややじょう乱状態であった。その結果 65~80 km の下部領域において比較的電子密度が大きくなっている。

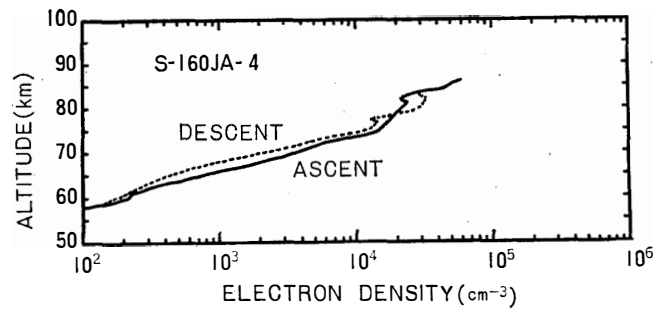


図 36 S-160JA-4ロケットによる電子密度分布の観測結果

Fig. 36. Electron density profiles.

3.3. 第14次隊ロケットによる観測

図37は第14次隊のロケットの軌跡を示す。表3に電離層観測ロケットの飛しょう諸元について示す。次に観測結果について述べる。

図38および図39は、S-210JA-16号機の上昇時および下降時の電子密度分布の観測結果を示してある。このロケットの発射時刻は02時45分であるが、昭和基地においては日の出直前の状態で、いわゆる常用薄明時である。上昇時および下降時共に、高度約95 km 以下は電子密度は急激に増加しており、それより上では電子密度の上昇はゆるやかなしはほぼ一定値 $5 \sim 6 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$ を示している。また上昇時においては高度 86 km、下降時においては高度 84 km において、電子密度の勾配が著しく変化している。また図39に示す下降時の電子密度分布に

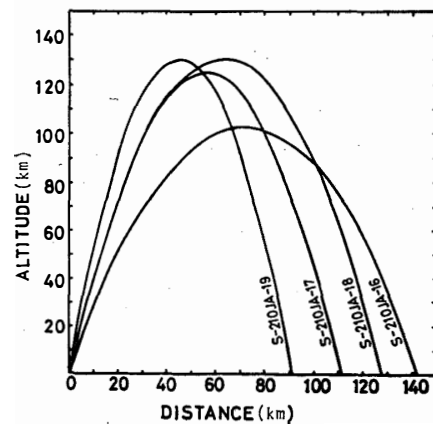


図 37 ロケットの飛しょう軌跡 (JARE-14)

Fig. 37. Rocket trajectories.

表 3 電離層観測ロケット飛しょう諸元 (JARE-14)

Table 3. Ionospheric sounding rockets (JARE-14).

No.	1	2	3	4
ロケット	S-210JA-16	S-210JA-17	S-210JA-19	S-210JA-18
飛翔年月日	1973. 2. 15	1973. 4. 23	1973. 7. 15	1973. 8. 23
飛翔時刻	02 h 45 m	02 h 54 m	22 h 09 m	03 h 53 m
発射上下角	82°	82°	82°	82°
発射方位角	135°	135°	135°	315°
最大到達高度	102.6 km	124.5 km	130.0 km	129.4 km
最大高度到達時間	2 m 31 s	2 m 49 s	2 m 53 s	2 m 52 s
水平到達距離	141.5 km	110.7 km	92.0 km	128.5 km
全飛翔時間	5 m 00 s	5 m 35 s	5 m 42 s	5 m 33 s
落下方位	110°	134°	144°	343°
レーダ待受け上下角	75.87°	76.50°	76.52°	77.77°
レーダ待受け方位角	113.02°	137.10°	137.02°	317.43°
テレメータ受信時間	4 m 40 s	5 m 15 s	5 m 27 s	5 m 28.5 s
頭胴部重量	40.85 kg	40.70 kg	39.89 kg	40.82 kg
槽内温度	18.0°C	13.0°C	8.0°C	0°C
推薬温度	14.0°C	15.0°C	15.0°C	8.0°C
発射時地上気温	-2.5°C	-15.0°C	-31.5°C	-32.1°C
発射時地上風向風速	7.1 m/s E	0.2 m/s E	0 m/s E	0.2 m/s SE
天候	曇	快晴	快晴	快晴
磁場水平成分 CNA	-300 γ -1.5 dB	-750 γ -5.0 dB	+50 γ 0 dB	-50 γ -0.5 dB
オーロラ	—	5~7 KR	0	3~5 KR
電離層状態	Es のみ(7 MHz)	Blackout	E の多回反射あり	Echo 出たり 消えたり
電離層測定器	EP, LP, RFP	EP, LP, RFP	EP	EP, LP, RFP

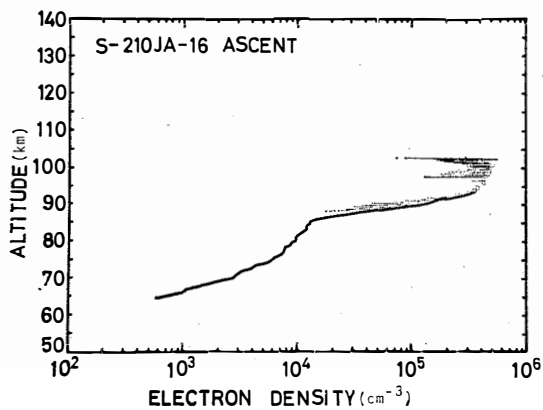


図 38 S-210JA-16 ロケットによる電子密度分布の観測結果 (上昇時)

Fig. 38. Electron density profile.

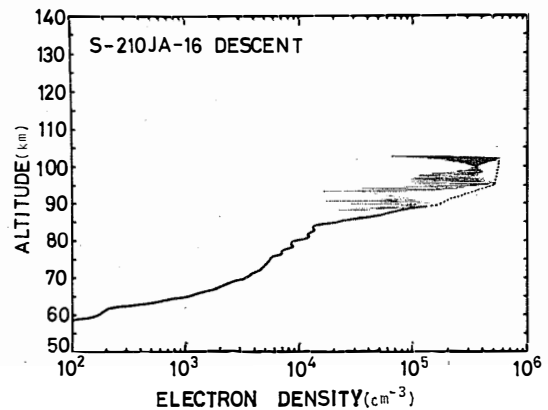


図 39 S-210JA-16 ロケットによる電子密度分布の観測結果 (下降時)

Fig. 39. Electron density profile.

において、高度約90 km 以上において著しい電子密度の増減があるが、これはロケットの姿勢に起因するロケットの wake の影響によるものと思われる。

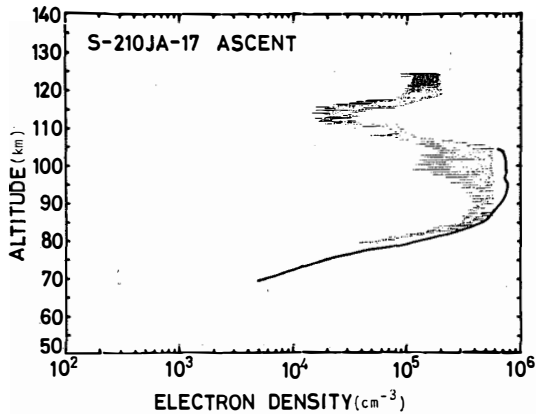


図 40 S-210JA-17 ロケットによる電子密度分布の観測結果（上昇時）

Fig. 40. Electron density profile.

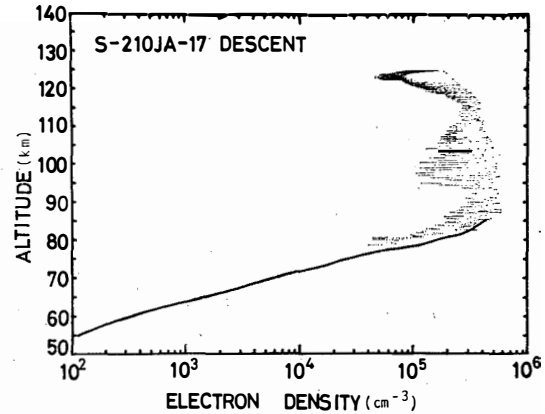


図 41 S-210JA-17 ロケットによる電子密度分布の観測結果（下降時）

Fig. 41. Electron density profile.

図40および図41は、S-210JA-17号機の上昇時および下降時の電子密度分布の観測結果を示してある。このロケットの打ち上げ時の電離層の状態は三カ年間におけるロケット観測の中で最大のじょう乱を示した。すなわち地磁気水平成分の変動は -750γ を示し、30 MHz リオメータは -5.0 dBを示した。またイオノグラムは完全な radio blackout 状態であった。上昇時高度 90 km から 105 km までは、高周波プローブの測定が上限の周波数 7 MHz を越え、飽和してしまった。図40のこの高度の区間における実線は、電子電流プローブから求めた測定値を示してある。また高度 105 km から 120 km までの電子密度測定値の減少はロケット wake の影響も一部原因になっているものと推定されるが、これについてはなお詳細な考察を行う必要がある。下降時は高度約 87 km から約 105 km の間において、ゆるやかな極大値約 $6 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$ をもち、それより上では電子密度はやや減少している。高度約 121 km から 125 km の間は上昇時と同様、電子密度の測定値が減少しているのは、ロケットの wake の影響がこの場合は大きいものと推定される。

図42および図43は、S-210JA-18号機の上昇時および下降時の電子密度分布の観測結果を示してある。このロケットは上昇時高度約 105 km 付近においてオーロラに突入した模様なので、この高度において著しい密度の勾配を示している。高周波プローブによる測定では、高度 103.4 km において最大電子密度 $5.33 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$ を示している。下降時においては電子密度分布はかなり凹凸があり、電子密度の増減が存在する。すなわち高度約 90 km, 122 km

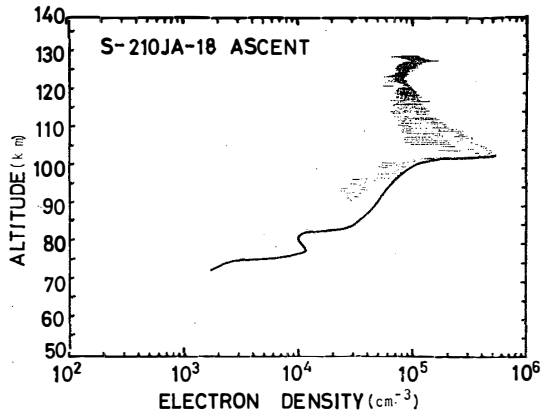


図 42 S-210JA-18 ロケットによる電子密度分布の観測結果（上昇時）

Fig. 42. Electron density profile.

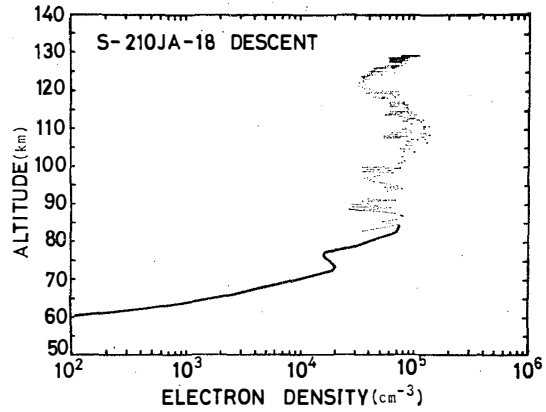


図 43 S-210JA-18 ロケットによる電子密度分布の観測結果（下降時）

Fig. 43. Electron density profile.

に極小が現われ、約 110 km 付近に極大が存在している。最大電子密度は約 $1.5 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$ で、全体としては電離層はそれほどのじょう乱を示していないように推定される。

図44および図45は、S-210JA-19号機の上昇時および下降時の電子電流プローブによる電流の測定結果を示してある。このロケットには他の搭載機器の関係上、電子電流プローブのみしか搭載できなかった。測定電極はこのロケットのみ球型プローブを使用したので、従来の円筒形からの類推はそのままあてはまらないが、上昇時および下降時の電子密度分布の最大値は大約 $1 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$ 程度と推定される。またこのロケットの打ち上げ時の地磁気および電離層はほぼ静穏状態であると推定される。

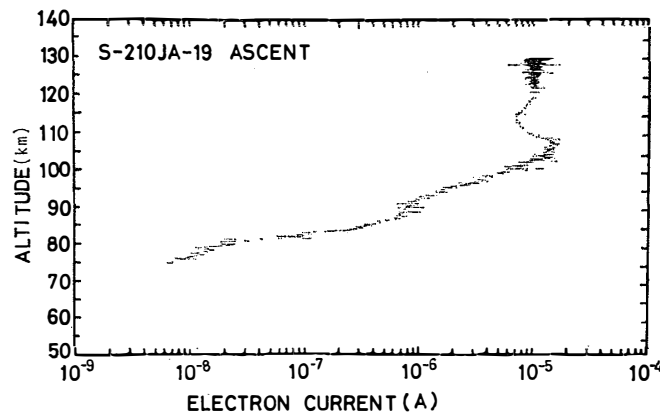


図 44 S-210JA-19 ロケットによる電子電流の観測結果（上昇時）

Fig. 44. Electron current measurement.

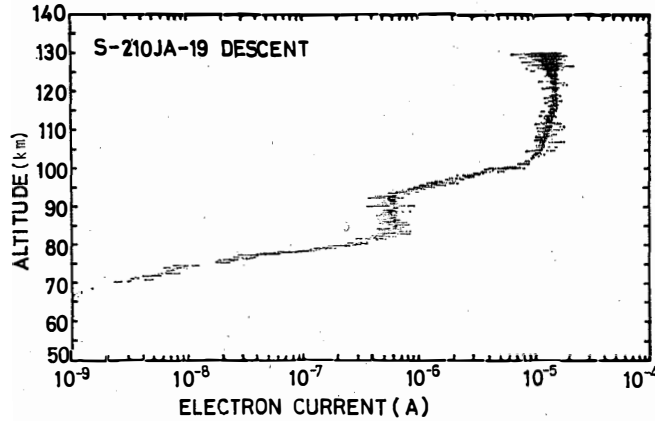


図 45 S-210JA-19ロケットによる電子電流の観測結果 (下降時)

Fig. 45. Electron current measurement.

4. 考察およびまとめ

図46は昼間打ち上げの S-160JA-1, -2, -3 および S-210JA-6号機の94 km 以下の電子密度の高度分布を一緒に示したものである. JA-1, -2号機の場合は電離層のイオノグラムも, CNA (30 MHz 垂直) の記録もほぼ平穏状態を示している. ただ地磁気の記録は, JA-2号の場合小さな positive bay を示し, 電離層は E_s の存在を示している. JA-3号機の場合, CNAの記録は当日6時00分頃から吸収が始まっており, 打ち上げ時 -0.2 dB 程度の吸収があった. S-210JA-6号機の場合は打ち上げ当日11時00分頃から CNA の記録において吸収が始まっており, 20時00分頃まで続いていた. 打ち上げ時 -0.8 dB とややじょう乱状態であると推定される (OGATA and Ose, 1972).

図47, 48, 49は, S-160JA-3, S-210JA-5, -6号機の発射の際のイオノグラムを示す.

図46には JA-5号機の電子密度を併記しなかったが, 大体のプロファイルは66 km で 10^2

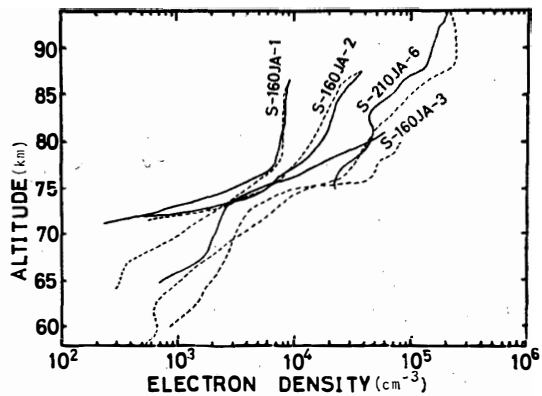


図 46 昼間電子密度分布

Fig. 46. Electron density profiles in the daytime (Solid and dashed lines indicate the cases of ascent and descent respectively).

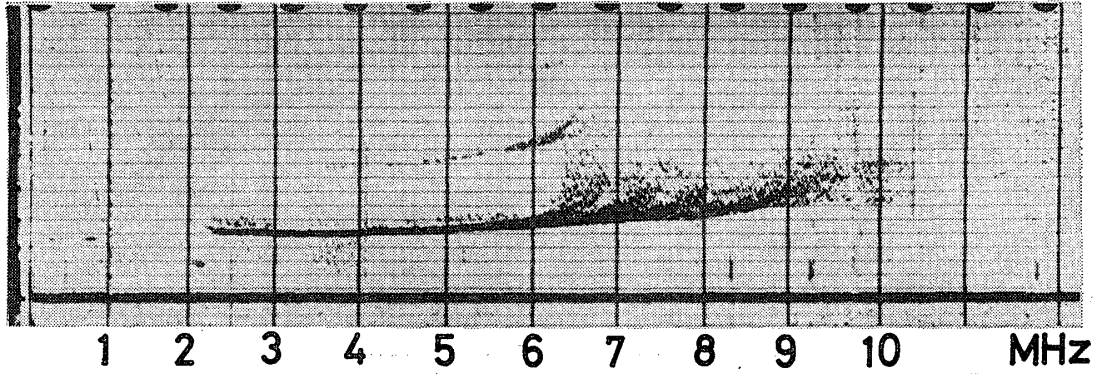


図 47 イオノグラム (1971年4月30日, 13時00分昭和基地)

Fig. 47. Ground-based vertical sounding ionogram (13 h 00 m, April 30, 1971, Syowa Station).

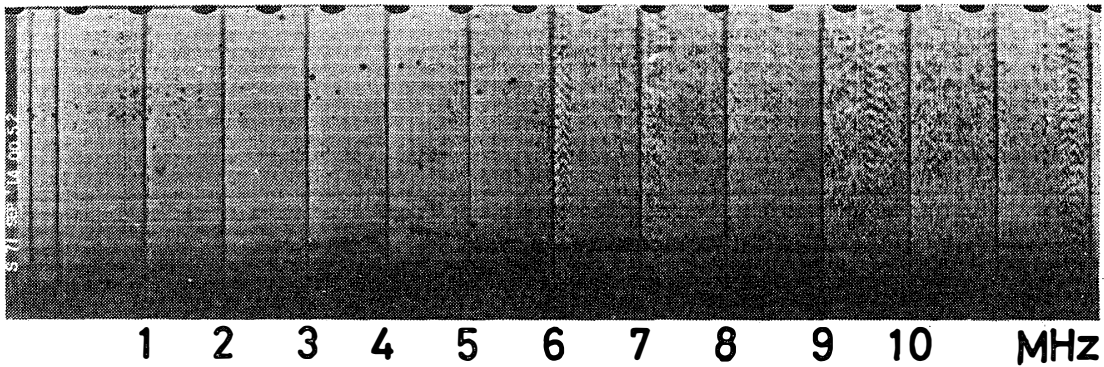


図 48 イオノグラム (1971年9月14日, 00時52分昭和基地)

Fig. 48. Ground-based vertical sounding ionogram (00 h 52 m, September 14, 1971, Syowa Station).

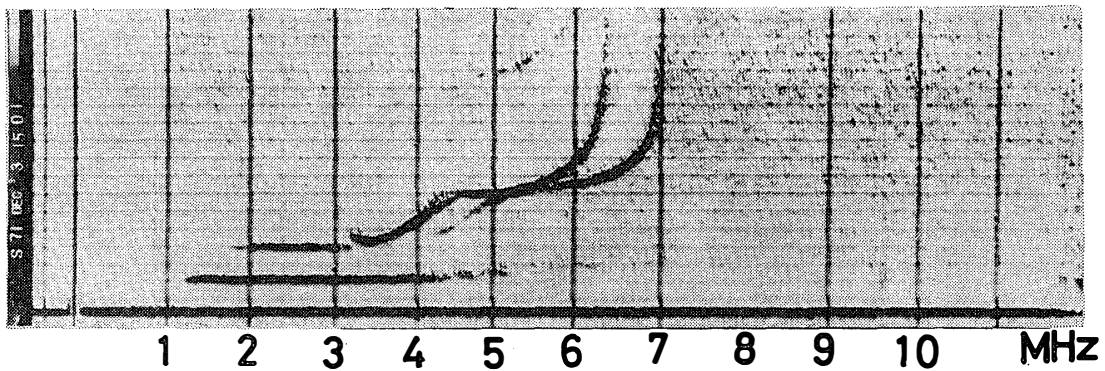


図 49 イオノグラム (1971年12月3日, 15時01分昭和基地)

Fig. 49. Ground-based vertical sounding ionogram (15 h 01 m, December 3, 1971, Syowa Station).

cm^{-3} , 76km で 10^3cm^{-3} , 86 km で 10^4cm^{-3} 程度であると推定される。リオメータの記録によると00時43分頃 -0.8dB の割合い急な CNA があったがその前後は平穏と見なされる。

しかし電離層のイオノグラムによると E_s 層のみしか記録に現われていないので、下部領域に吸収層が存在していたものと思われる。これらを総合すると下部電離層の電子密度は、電離層のじょう乱度に密接に関連していることが図46からも判る。また、S-210JA-5号機とJA-6号機を比較すると、高度約95 km 以上ではJA-6号機の方が2~3倍大きく、それ以下の高度では約一けた大きい電子密度が観測されている。

図50および図51は、S-210JA-5、-6号機のLangmuir probeの飽和電流の値を示してあるが(森他, 1972), JA-5号機の場合約30秒程度の周期のプレセッションによる影響が、顕著に現われていることが判る。またJA-6号機の場合はそれほど大きなプレセッションの影響はないと思われるが、110秒前後および220秒前後の電流の落ち込みはプレセッションの影響と考えられる。

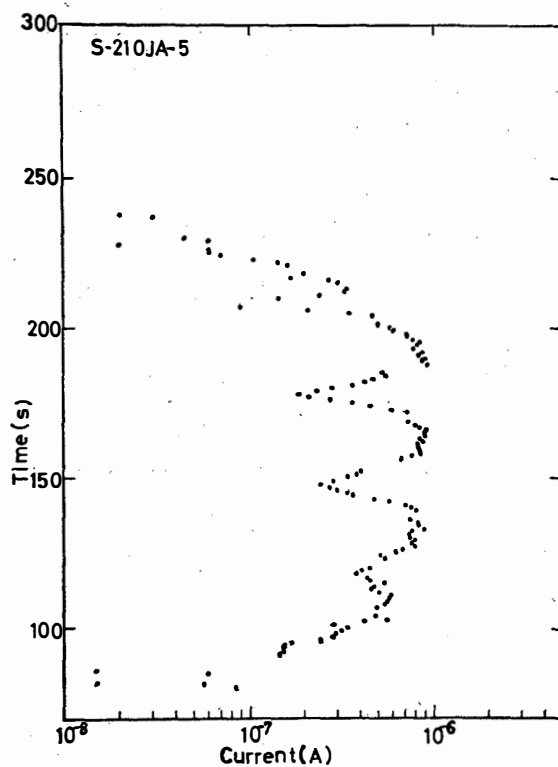


図 50 S-210JA-5ロケットによるLangmuir probeによる飽和電流測定結果

Fig. 50. Electron saturation current measurement by Langmuir probe mounted on S-210JA-5.

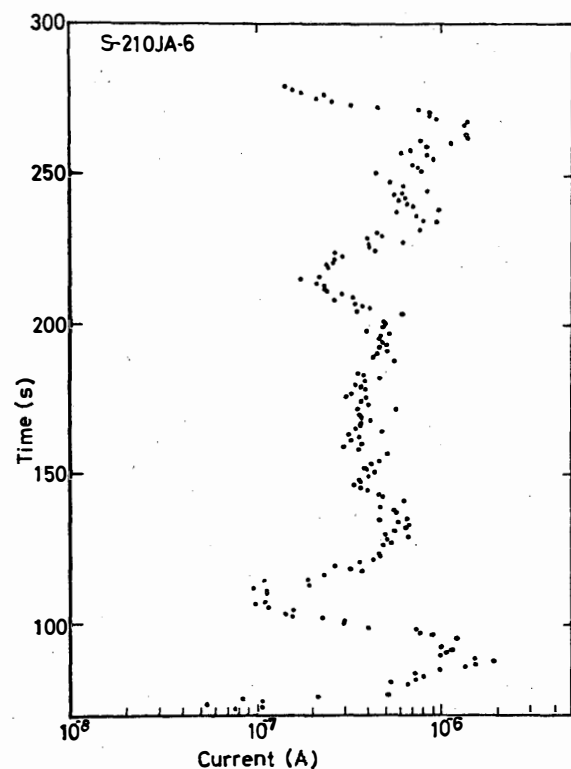


図 51 S-210JA-6ロケットによるLangmuir probeによる飽和電流測定結果

Fig. 51. Electron saturation current measurement by Langmuir probe mounted on S-210JA-6.

図52, 53, 54, 55, 56, 57, 58は、S-160JA-4, S-210JA-7~12号機の発射の際のイオノグラムを示す。次に30 MHz リオメータによる吸収のデータは、S-210JA-12号機の場合は

0 dB で静穏, S-160JA-4号機の場合は -1.2 dB で, 少し荒れているが比較的静かな状態であり, S-210JA-9号機の場合は, -1.3 dB で小さな吸収が3時間続いた後大きな吸収が始まり, 40分程度続いた. JA-10号機の場合は, -0.3 dB で前後とも比較的静かであり, JA-11号機の場合は -4.8 dB で, 当日04時20分から05時00分まで大きな吸収があった. JA-8号

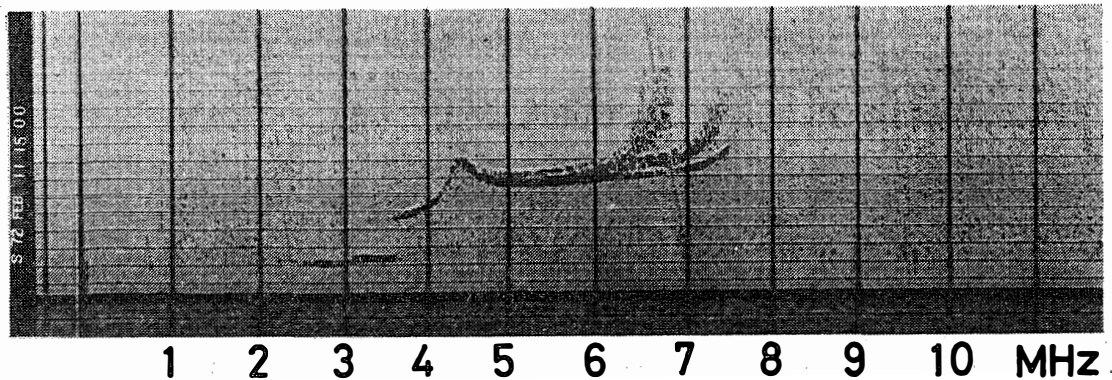


図 52 イオノグラム (1972年2月11日, 15時00分昭和基地)

Fig. 52. Ground-based vertical sounding ionogram (15 h 00 m, February 11, 1972, Syowa Station).

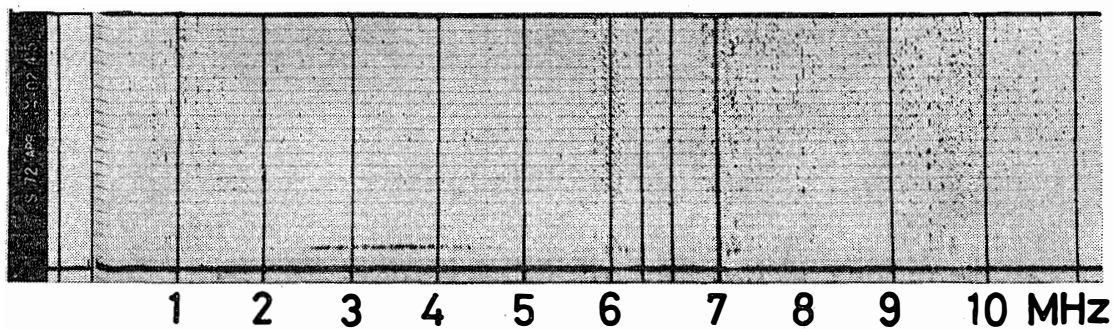


図 53 イオノグラム (1972年4月17日, 02時45分昭和基地)

Fig. 53. Ground-based vertical sounding ionogram (02 h 45 m, April 17, 1972, Syowa Station).

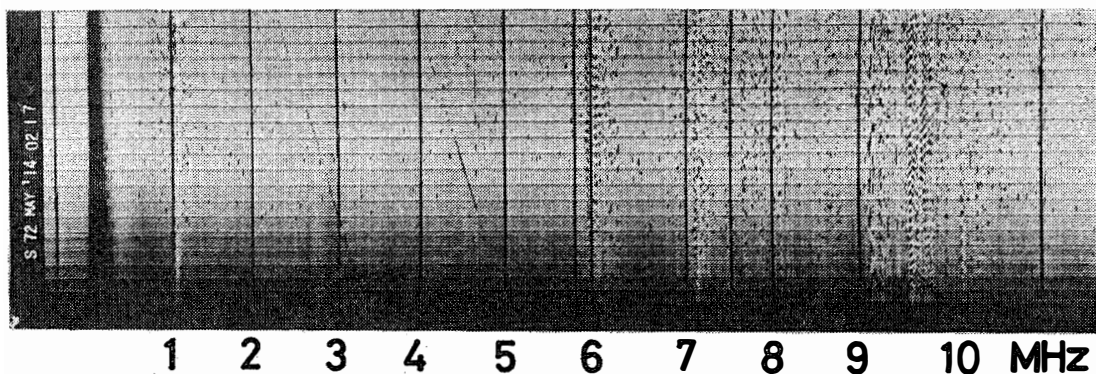


図 54 イオノグラム (1972年5月14日, 02時17分昭和基地)

Fig. 54. Ground-based vertical sounding ionogram (02 h 17 m, May 14, 1972, Syowa Station).

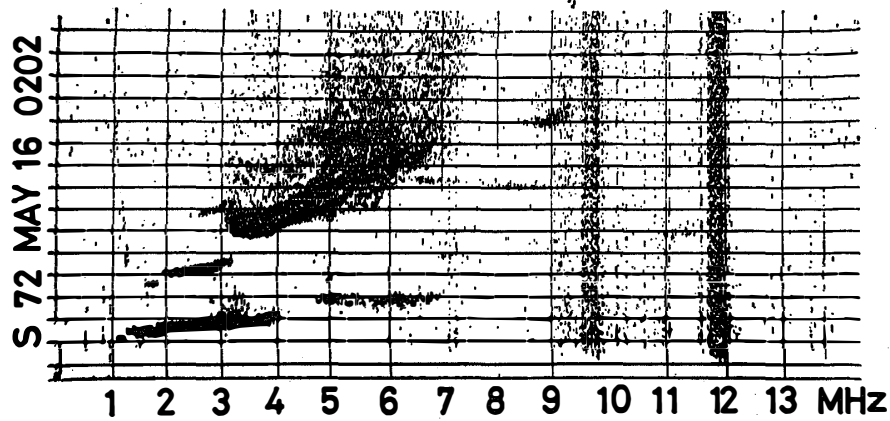


図 55 イオノグラム (1972年 5月16日, 02時02分昭和基地)

Fig. 55. Ground-based vertical sounding ionogram (02 h 02 m, May 16, 1972, Syowa Station).

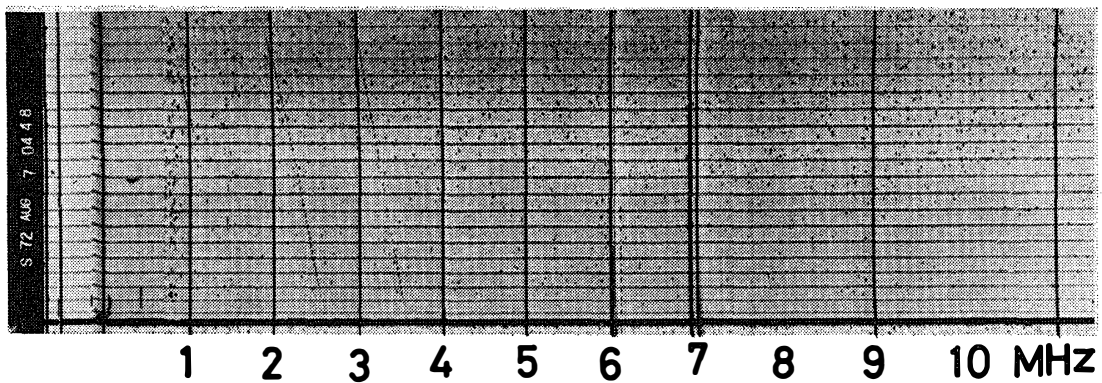


図 56 イオノグラム (1972年 8月7日, 04時48分昭和基地)

Fig. 56. Ground-based vertical sounding ionogram (04 h 48 m, August 7, 1972, Syowa Station).

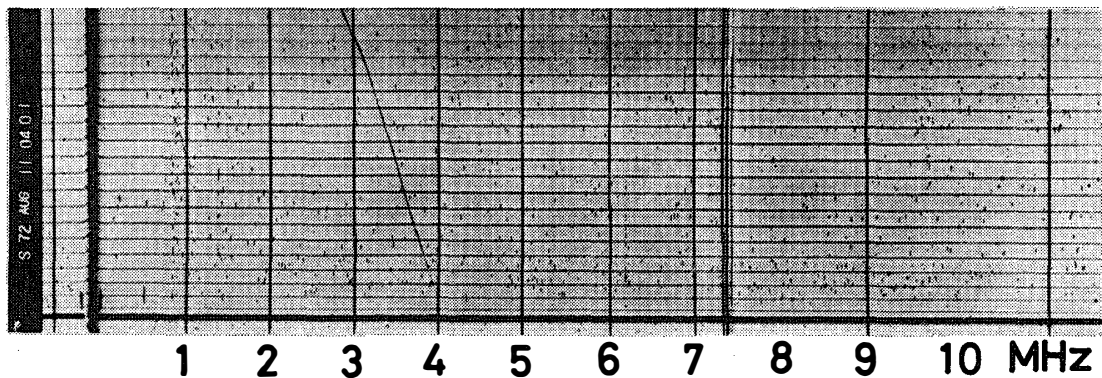


図 57 イオノグラム (1972年 8月11日, 04時01分昭和基地)

Fig. 57. Ground-based vertical sounding ionogram (04 h 01 m, August 11, 1972, Syowa Station).

機の場合は -2.6 dB で、当日01時50分頃より吸収が大きくなり、相当変動している状態がしばらく続いた。JA-7号機は -1.5 dB で比較的平穏であったが、00時00分頃から吸収が現

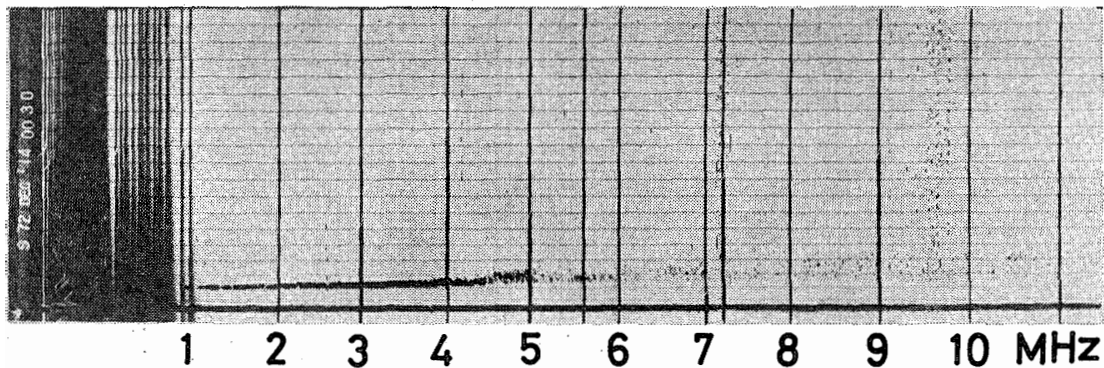


図 58 イオノグラム (1972年12月14日, 00時30分昭和基地)

Fig. 58. Ground-based vertical sounding ionogram (00 h 30 m, December 14, 1972, Syowa Station).

われた (ISOZAKI and MIYAZAKI, 1973).

さて、昼間の第12次隊によって発射された S-210JA-6 号機と今回の12号機を比較すると、JA-6号機の方が、高度 88 km 以上において約 2 倍の密度を示している。これは JA-12号機は静穏時に打ち上げられたものであり、JA-6号機はややじょう乱の時打ち上げられたことによるものである。また下降時において高度 75 km から 90 km の範囲の *D* 領域も密度が増加している。S-160JA-3号機の場合は高度 80 km 付近でさらに密度が高く観測されている。

S-210JA-7号機の場合は日の出直後の発射であり、従って電子密度分布を規定する電離源として太陽遠紫外線、太陽 X 線、および荷電粒子による両方を考慮に入れる必要がある。

夜間オーロラ出現時のプロファイルの比較を行うと、そのじょう乱の大きさにほぼ比例して電子密度が増大しているのが判る。特に高度 75 km から 110 km の間の *D*, *E* 領域の電子密度はじょう乱との相関が非常に良いことが判る。また、S-210JA-7, -8, -10号機の場合、電離層 *D* 領域において密度勾配が変化するのが明瞭に現われているが、これは前にも述べたように電離の機構に変化があるためと思われる。この原因として auroral zone disturbance におけるオーロラ粒子による下部電離層の電離が考えられる (KAMIYAMA, 1967; REES, 1964)。また電子電流プローブにおいて、図59, 60 に示すごとく S-210JA 型のほとんど全号機において 40 km ~ 60 km の高度において電流の極小が存在することが観測されている。すなわちこの高度より下方では電子による電流でなく、負イオンによる電流と考えられる (PEDERSEN, 1966; ROSE and WIDDEL, 1972)。

図61, 62, 63, 64はそれぞれのロケット発射時のイオノグラムを示す。S-210JA-16号機の場合の図61は 7 MHz 程度の *E_s* 層の存在を示し、JA-17号機の場合の図62は完全な radio

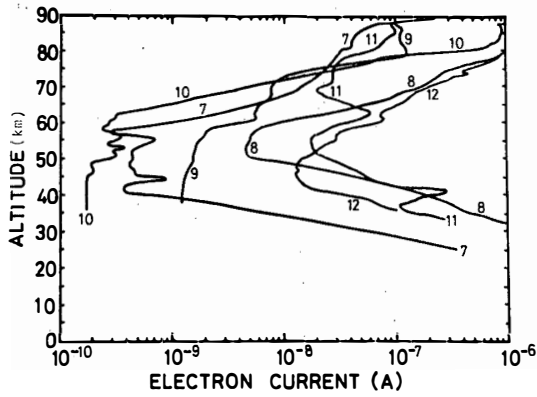


図 59 S-210JA-7, -8, -9, -10, -11, -12
ロケットによる下部領域における電子
電流測定結果 (下降時)

Fig. 59. Electron current measurements in the
lower region.

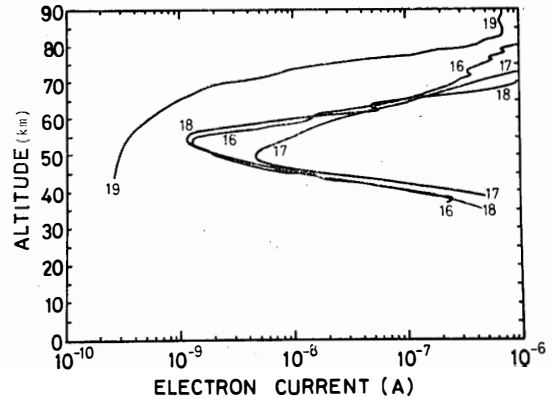


図 60 S-210JA-16, -17, -18, -19ロケット
による下部領域における電子電流測定結
果 (下降時)

Fig. 60. Electron current measurements in the
lower region.

blackout を示している。JA-19 号機の場合の図63は、発射前後共に E 層の多回反射の存在を示している。JA-18 号機の場合の図64は見掛の高さ約 340 km に部分的なエコーが観測されているのが判る。

第13次隊の S-210JA-7 と JA-16 号機の場合は日の出前後の発射であり、従って電子密度分布を規定する電離源として太陽遠紫外線、太陽 X 線、および荷電粒子による両方を考慮に入れる必要がある。両者の電子密度分布を比較すると、上昇時および下降時共にそのプロファイルはほぼ同じ形であり、高度約 85 km 以上において JA-16 の方が JA-7 の場合より約 2 倍の電子密度の値を示している。これは JA-16 の場合の方が地磁気じょう乱および電離

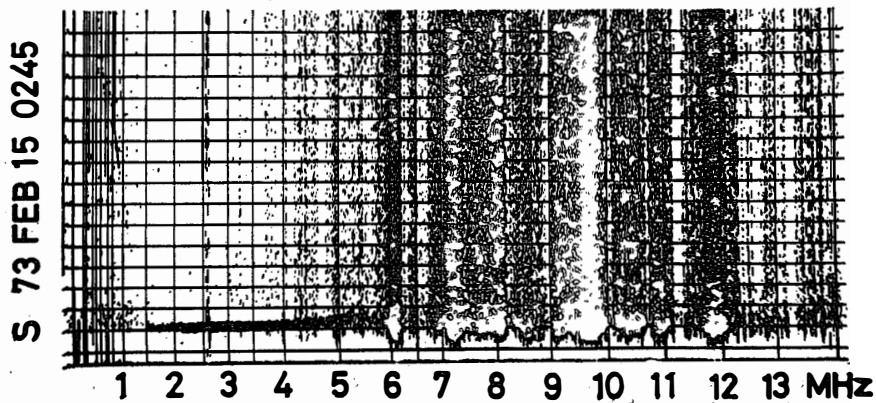


図 61 イオノグラム (1973年 2月15日, 02時45分昭和基地)

Fig. 61. Ground-based vertical sounding ionogram (02 h 45 m, February 15, 1973, Syowa Station).

層じょう乱が JA-7 の場合より大きいことに起因している。すなわち地磁気変動が、JA-16 の場合、 -300γ 、JA-7 の場合、 -200γ であり、イオノグラムは JA-7 の場合 radio blackout であったが、JA-16 の場合は E_s 層の強い反射が存在していた。

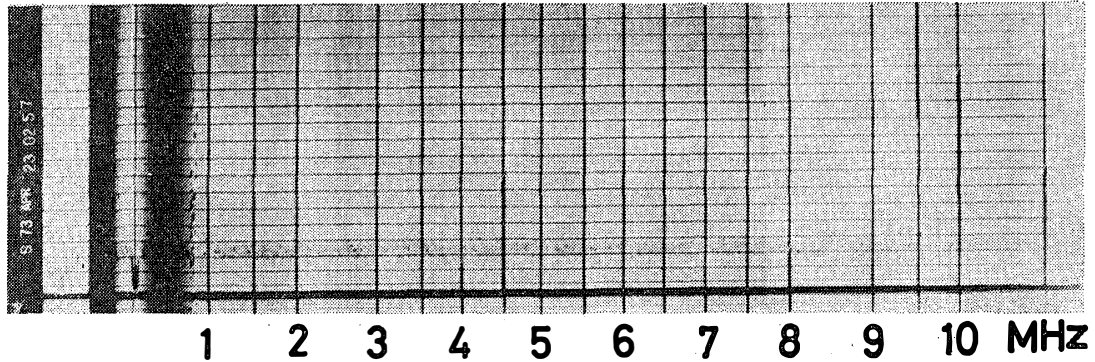


図 62 イオノグラム (1973年4月23日, 02時57分昭和基地)

Fig. 62. Ground-based vertical sounding ionogram (02 h 57 m, April 23, 1973, Syowa Station).

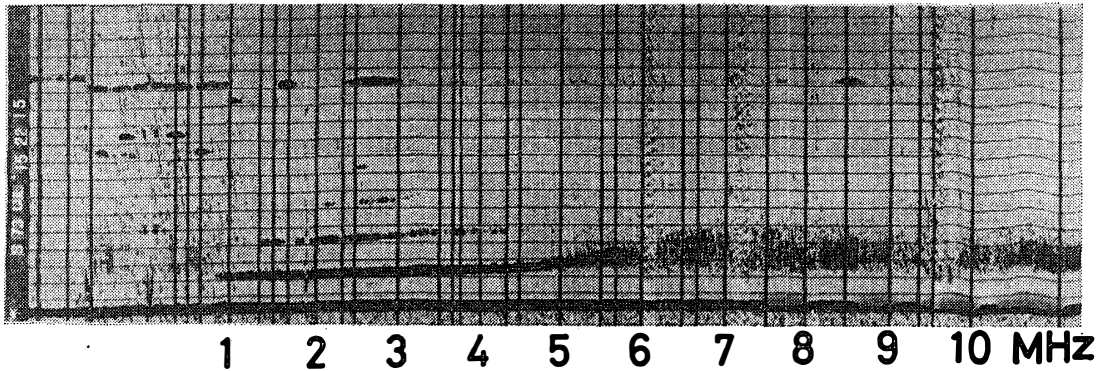


図 63 イオノグラム (1973年7月15日, 22時15分昭和基地)

Fig. 63. Ground-based vertical sounding ionogram (22 h 15 m, July 15, 1973, Syowa Station).

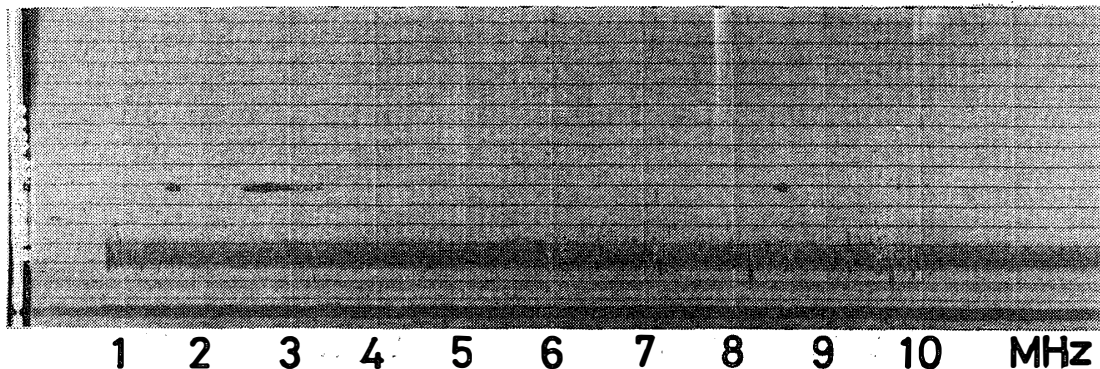


図 64 イオノグラム (1973年8月23日, 03時50分昭和基地)

Fig. 64. Ground-based vertical sounding ionogram (03 h 50 m, August 23, 1973, Syowa Station).

JA-18号機上昇時においては、高度約80 km 前後、下降時においては75 km 前後において電子密度の凹みが存在すること、JA-19号機において上昇時、下降時共に高度約90 km において密度勾配の変化を示す部分が存在することは、前に述べた電離源の変化と関連しているかも知れない。

S-210JA型は脱頭するとプレセッションが大きくなり、ロケット軸の方向が大幅に変動するので、姿勢が極端に悪くなることがあるので、電子密度測定に関してはロケットのwakeの効果を考える必要がある。

南極昭和基地において最初の第1期の3カ年計画であったロケット観測実験は、電離層じょう乱および地磁気じょう乱の種々の度合いに関して、オーロラ現象の解明に対する多くの資料を得ることが出来た。

今後の課題として、ロケットのデータをより有効に解析するために、地上の観測設備をより充実することが必要である。オーロラの光学観測、リオメータ、地磁気等の2地点以上の観測、高性能電離層観測機の設置、とくに下部電離層観測および通常の観測ではradio blackoutの状態の観測も肝要である。またロケットもより大型のものを用意してさらに高高度の領域において入射粒子、電磁波等の観測を行うことも重要である。

謝 辞

このロケットによる電離層電子密度の観測および研究は国立極地研究所のプロジェクトの一つとしてなされたものである。

南極昭和基地においてはなはだ困難な条件のもとでロケット実験を行い、成功裏に観測をされた第12-14次越冬隊の方々に心より感謝の意を表します。

ロケット搭載用電離層測定器は明星電気株式会社によって製作されたものである。

文 献

- 電波研究所 (1973) : 1972年8月の太陽地球間じょう乱現象. 電波研究所季報, **19**, 245-390.
- HIRASAWA, T., T. NAGATA, S. KAWAGUCHI and K. HIRAO (1970) : Rocket observations of electron density of the daytime ionosphere at Syowa Station, Antarctica. Rep. Ionos. Space Res. Japan, **24**, 237-243.
- ISOZAKI, S. and S. MIYAZAKI (1973) : Riometer records of 30 MHz cosmic noise at Syowa Station, Antarctica in 1972. JARE Data Reports, **20** (Ionosphere), 1-76.
- KAMIYAMA, H. (1967) : The electron density distribution in the lower ionosphere produced through impact ionization by precipitating electrons and through photoionization by the associated

- bremsstrahlung X-rays. *J. Geomag. Geoelectr.*, **19**, 27-47.
- 川口貞男・平沢威男・伊東弘二・芦田成生・鮎川 勝・白壁弘保 (1971): 第11次南極地域観測隊ロケット部門報告. *南極資料*, **40**, 74-107.
- 宮崎 茂 (1970): 宇宙空間プラズマのプローブ測定. 昭和45年電気四学会連合大会シンポジウム, 1970年4月.
- 宮崎 茂・大瀬正美 (1971): 南極ロケットによる電離層観測計画. *電波研究所季報*, **17**, 287-291.
- 森 弘隆・小川忠彦・大瀬正美・宮崎 茂 (1972): 南極ロケットによる極域電離層の電子密度分布の観測. 東京大学宇宙航空研究所, 宇宙観測シンポジウム, 昭和47年度, 183-186.
- 南極地域観測統合推進本部 (1972): V ロケット部門報告. 日本南極地域観測第12次隊報告 (1970-1972), 137-168.
- 南極地域観測統合推進本部 (1973): VII ロケット部門報告. 日本南極地域観測隊第13次隊報告 (1971-1973), 127-150.
- OGATA, T. and M. OSE (1972): Riometer records of 30 MHz cosmic noise at Syowa Station, Antarctica in 1971. *JARE Data Reports*, **18** (Ionosphere), 1-62.
- PEDERSEN, A. (1966): D-region ion densities measured in the auroral zone with rocket probes. *Proceedings of NATO advanced study institute held at Finse, Norway, April 1965, Electron density profiles in ionosphere and exosphere*, ed. by J. FRIHAGEN, North-Holland Publishing Co., Amsterdam, 31-34.
- REES, M. H. (1964): Ionization in the earth's atmosphere by aurorally associated bremsstrahlung X-rays. *Planet. Space Sci.*, **12**, 1093-1108.
- ROSE, G. and H. U. WIDDEL (1972): Results of concentration and mobility measurements for positively and negatively charged particles taken between 85 and 22 km in sounding rocket experiments. *Radio Sci.*, **7**, 81-87.

(1975年4月4日受理)