

## S-310-20号ロケットによるD層の負イオン測定結果

雨宮 宏\*・中村 良治・Yoshyuki Shigueoka\*

### Negative Ion Detection in the D-Layer by S-310-20 Rocket

By

HIROSHI AMEMIYA, YOSHIHARU NAKAMURA AND YOSHYUKI SHIGUEOKA

**Abstract:** This report relates to the result of observation on the D-, E- and F-layers obtained by the S-310-20 rocket, which was launched from the Kagoshima Space Center at 4:30am in January 28, 1990. The elevation angle of the rocket was 78° and the apogee was reached at 185km after 3min. 35s. The observations continued for about 7min. A Faraday cup and a glass-sealed Langmuir probe were used for the measurement. Fixed biases of  $\pm 6V$  were given to the grid of the cup for 0.25s alternately to measure saturated currents. A triangle sweep voltage with a period of 0.5s was given to the probe to measure the probe characteristic and its second derivative. Floating potential of the cup was also measured.

The result shows that the currents at positive and negative biases are neary of the same order up to 85km while the current at the positive bias becomes larger according as the altitude increases. This indicates that the D layer consists of a plasma with nearly the equal density of ions of both signs and with a small electron density whereas in E and F layers the electron density is much larger than the negative ion density.

### 概 要

本報告は1990年1月28日午前4時30分内の浦鹿児島宇宙空間観測所より打ち上げられたS-310-20号ロケットによるD層及びE, F層観測結果に関する。ロケットは78度の仰角で打ち上げられ3分35秒後最高高度185kmに達し、約7分間電離層観測を行った。測定にはコレクタとグリッドから

---

\* 理化学研究所

なるファラデーカップとガラス封じ円筒型ラングミュアプローブを用いた。ファラデーカップでは±6 Vの固定バイアスを0.25秒毎に印加し各バイアスでの電流を測定した。ラングミュアプローブでは0.5秒周期の三角波掃引電圧を印加、電圧上昇時にはプローブ特性二次微分、下降時にはプローブ特性を測定した。さらに、負イオン密度に関連する量としてカップの浮動電位の測定も行った。

その結果、85km までは正負バイアス電流がほぼ同程度、高度が上昇するにつれて正バイアス電流の増加が見られた。これからD層では正負イオン密度があまり変わらず電子密度の少ないプラズマである事、E、F層では電子密度が負イオン密度を凌駕する状態である事が明かになった。

**Key words** D-layer, negative ions, Faraday cup, S-Rocket, Winter, Predawn

**重要語** D層, 負イオン, ファラデーカップ, S-ロケット, 冬, 夜明け前

## 1. はじめに

D層の電子密度については過去いくつかのデータがあるが、夜間や昼間下部層では殆ど正負イオンが優勢なプラズマからなると考えられている[1]。しかし、イオン密度なかでも負イオン密度のデータはE、F層に比し少なく過去質量分析計[2, 3], Gerdian プローブ[4]で測定されているに過ぎない。我が国では内之浦で正イオンは固定バイアスのラングミュアプローブ、ファラデーカップで密度測定が行われてきた[5]。正イオン種は四重極質量分析器で測定され[6]、正負イオンは Gerdian プローブによってその密度分布が60-90km にわたって測定された[7]。しかし、時間変化、季節依存性、負イオン種等のデータが枯渇している。国内外を通じて観測データが少ないのとデータのばらつきも大きくデータの蓄積が必要である。本観測の目的は、60-90km (D層)において主として負イオンの密度(および正イオン密度に対する負イオンの密度比)を測定する事にあった。ここではD層の主要な特徴である負イオンに関連する現象に的をしぼる。ただし、プローブ測定の為イオン種の測定は行われず  $O_2^-$  換算とする。

## 2. 観測方法と機器概要

測定にはコレクタと一枚グリッドからなるファラデーカップ及びガラス封じ円筒型ラングミュアプローブを用い、それぞれ正負バイアスでの飽和電流と電流-電圧特性を測定した。今回の観測の主目的はD層の観測にあるので、90km までは利得を拡大して測定した。しかし、ロケットがさらに上層に達するので、同一計器で180km 付近まで(E層およびF層下部)の測定も行い、D層データの参照データとして用いた。以下各測定モードについて述べる。

### 2. 1 ファラデーカップ (FC)

ファラデーカップ FC は一枚グリッド (SUS, 100メッシュ, 80mmφ) とコレクタ (SUS,

80mmφ) からなり寸法は外径10cmφ, 厚さ約 2 cm, FC をロケット本体と接続するアーム部約30cm である. カップの浮動電位を測定するため, アーム部とカップ部門とは電氣的に絶縁した. 開頭 3 秒後, ファラデーカップはその面がスピン回転面に平行になる様に本体と直角方向に展張した. これによって, 衝撃波が FC 前面に発生するのを防止した. カップは打ち上げまでは Oリングで真空封じすることによって電極の汚染を防止し, 打ち上げ前に蓋を取り FC の表面にボンベから乾燥窒素を流した.

コレクタ電流の測定は正負固定バイアス ( $\pm 6 \text{ V}$ ) をグリッド G に 0.25 秒毎に切り替えてコレクタ C に加速電圧 ( $\pm 12 \text{ V}$ ) を印加する事によって行った. D 層ではプラズマはほぼ正負イオンからなりプラズマ密度が  $10^2 - 10^4 \text{ cm}^{-3}$  になる事が想定されるので正負バイアス電流はほぼイオン電流からなるのに対し, E 層ではプラズマ密度が  $10^4 - 10^5 \text{ cm}^{-3}$  になる事が想定され正バイアス部の電流は負イオンから電子電流に移り変わっていく. 従って, 正バイアス部では D 層  $10 - 100 \text{ (M/m)}^{1/2} = 2400 - 24000$  倍 (M, m はそれぞれイオン, 電子の質量), 負バイアス部では 10 - 100 倍になる事が予想された. この様な広範囲の電流をカバーするため, 69 秒でタイマ信号を受け高度 90km 付近で up-leg, down-leg 各々で高→低, 低→高とゲインの 2 段切り替えを行った. さらに, 電流検出のための直流アンプはカップの裏面に設け変位電流による誤差を除去した信号をアーム部を通して本体に設けたメインアンプに導き所定利得で増幅した. 信号が正負にまたがるのでメインアンプ部では負電流は 0.25 秒周期のパルスにより反転させすべて正方向の電流とした後ログアンプに通し, 2 桁以上の電流範囲をカバーする様測定した. 利得  $\times 1$ ,  $\times 10$  で検出された電流値は PCM テレメタ ( $\times 4 \text{ N}$ ) の 2 つのチャンネルに送出した. 64 秒毎に 0.25 秒間 FC からダミー抵抗に切り替え基準信号 CAL を出した.

第 1 図はプリアンプ部のブロックダイアグラムである. スイッチ SW1 により 64 秒毎に測定モード MEAS から基準信号モード CAL に切り替えた. 前者では SW2 により 0.25 秒毎にグリッド G, コレクタ C に  $+6 \text{ V}$ ,  $+12 \text{ V}$  および  $-6 \text{ V}$ ,  $-12 \text{ V}$  を印加しそれぞれ負の荷電粒子, 正の荷電粒子をコレクタに集め, アンプ  $A_1$  において抵抗  $R_i$  によって信号  $I$  として電流検出した. CAL では  $1 \text{ G}\Omega$  の固定抵抗  $R_c$  に流れる電流を検出する. 一方, カップの浮動電位を入力抵抗  $R_F$  で受けアンプ  $A_F$  によってインピダンス変換した後信号  $V_F$  として検出した.

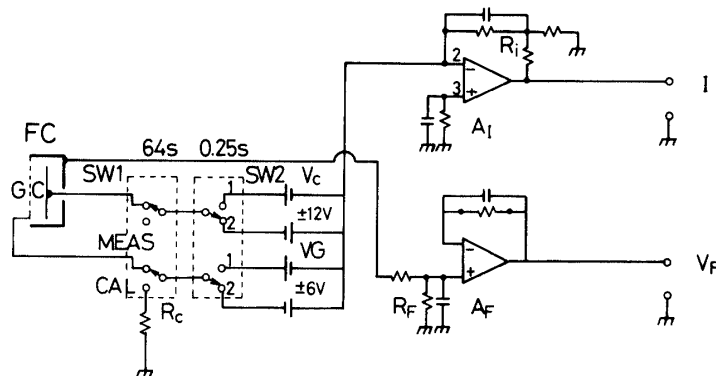


Fig. 1 Block diagram of the pre-amplifier of the Faraday cup.

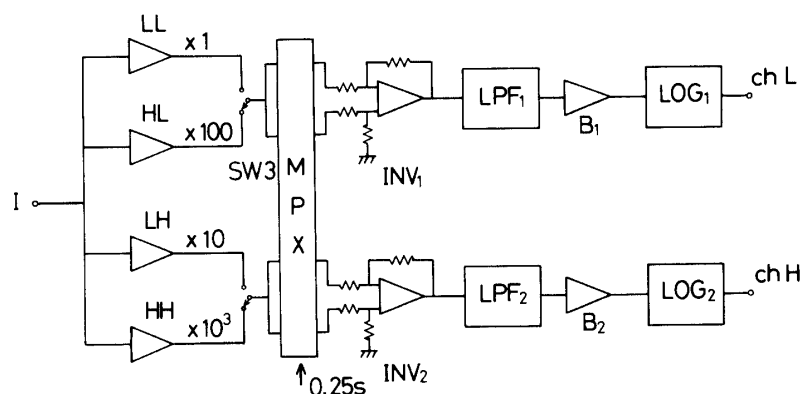


Fig. 2 Block diagram of the main amplifier of the Faraday cup.  
MPX: multiplexer, INV: inverter, LPF: low pass filter, B: buffer amplifier, LOG: log-amplifier.

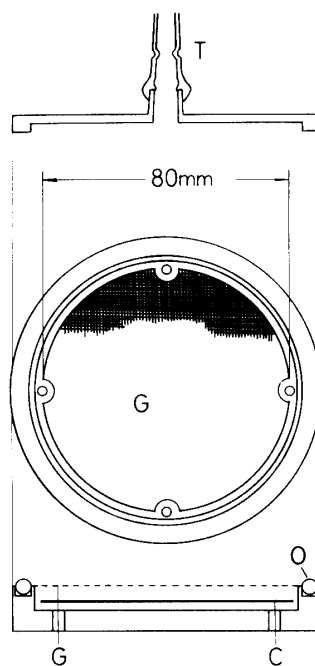


Fig. 3 Top and side views of the Faraday cup.  
G: grid, C: collector, O: O-ring, T: tip-off tube.

第2図はファラデーカップのメインアンプ部ブロックダイアグラムである。電流信号 I はスイッチ SW3 によってD層測定モードDとE, F層測定モードEに切り替えられた。打ち上げ後タイマにより69秒でゲイン高Hより低ゲインLに切り替え, 内部タイマにより360秒後再びゲイン低Lよりゲイン高Hに切り替えた。各測定モードでゲイン高, 低があり, D層測定用アンプはHH, HL, E, F層測定法アンプはLH, LL からなる。

第3図にファラデーカップの正面図, 側面図を示す。グリッドのメッシュは20線/インチ,

電極間間隔は約 4 mm である。

## 2. 2 浮動電位

ファラデーカップのアームはロケット本体と電氣的に接続しこれと同電位に保つ。一方、カップの外枠部分はアームから電氣的に絶縁した（カップとアームの間にマイカ絶縁板を挟み、絶縁ネジを用いて固定）。カップ外枠部とロケット本体の間の電位、即ち浮動電位 $V_F$ をプリアンプ内で検出した。この信号は負イオン/正イオン密度比の決定において重要なパラメタとなる。信号レベルは中央を 0 V、フルスケール $\pm 2.5$  V としテレメタ 2N に送出した。

## 2. 3 ラングミュアプローブ (LP)

4 mm $\phi$ , 22cm 長の SUS ガラス封じ円筒型のものを使用した。ガラス管直径は12mm $\phi$ , 23cm 長, 取り付け部は約 7 cm 長である。ワイヤカッターによるガラス割と展張をそれぞれ開頭後2.3秒に行った。

プローブ静特性とその二次微分は0.5秒周期で測定した。二次微分は三角波の前半の上り期間0.25秒で測定、一方プローブ静特性は三角波の後半の下り期間0.25秒で交流の重畳を切る事によって測定した。両モード共ダミー素子として2SC373+10M $\Omega$ を用い64秒毎に0.5秒間 CAL 信号（計 1 秒）を出した。

測定方法は本質的に従来の TED ビート法回路と同じであるが、電流値が60–90km では非常に小さくなる事を考慮しアンプのゲインを高ゲインとし、高度が90km 以上では TED モードの低ゲインに切り替えた。下りの360秒で再び高ゲインとした。二次微分の測定には微小交流重畳法を適用した。印加交流の周波数は6.5kHz, 9 kHz, 振幅を0.2V<sub>p-p</sub>, 三角波の前半の上り期間0.25秒ではビート成分2.5kHz をパーマロイシールドコイル T でピックアップしバンドエリミネータ BEF, 2.5kHz 選択増幅器 BPF, 高域増幅器 HPF (> 2 kHz) を経て検波器 DET で検波し低域増幅器 LPF 通過させた後対数増幅器 LOG に通した。

第 4 図に上記プローブ測定のプロッタダイアグラムを示す。これは先の K-9M-81号機等で用いられた従来の TED の回路と同様である。

テレメタチャンネル, タイマおよび日時, 観測地点は以下の通りである。

テレメタチャンネル

FC 用: 正負イオン電流 ( $\times 4N$ ), 浮動電位 ( $\times 2N$ )

LP 用: 電流–電圧静特性 ( $\times 4N$ ), 二次微分特性 ( $\times 4N$ )

タイマー

開頭……………打ち上げ後46秒

開頭後 1 秒……テレメタ計測→PI 切り替え

開頭後 2 秒……LP ガラス割り

開頭後 3 秒……FC, LP 展張

打ち上げ後69秒……ゲイン高→ゲイン低切り替え

観測日時, 場所

打ち上げ時 1990年 1 月28日午前 4 時30分

打ち上げ点 内の浦 (131.08E, 31.15N)

落下点 (132.53E, 29.46N)

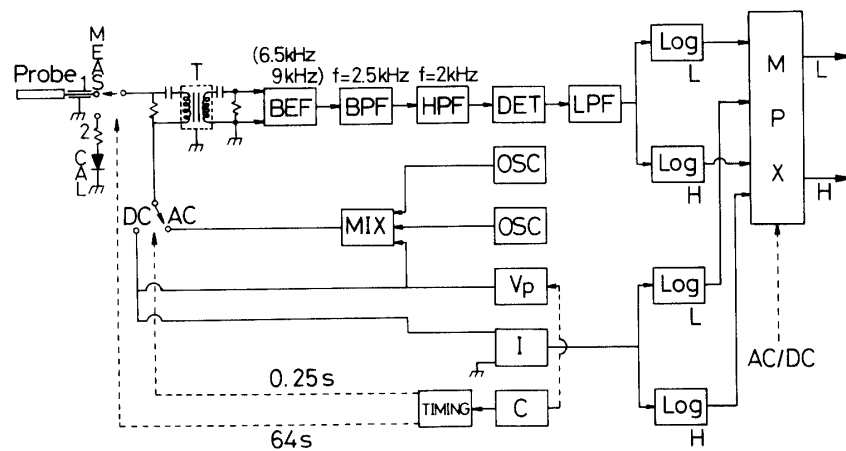


Fig. 4 Block diagram of the measuring circuit of the probe characteristics and the second derivative.

OSC: oscillator, MIX: mixer, C: counter, MPX: multiplexer, Vp: voltage generator, I: current amplifier.

### 3. 観測結果

第5図はロケットの高さ  $h$  と水平距離  $R_h$  との関係を示す。曲線上の数字は打ち上げ時からの秒時を示す。NC は開頭、GC はD, E層でのゲイン切り替えを表す。

第6図 (a) は打ち上げ後60秒付近 (高度76km 前後) のファラデーカップの正負電流の対数データの時間変化を示す。上図は相対利得が $\times 1$ 、下図は $\times 10$ に対応する。記号+は正バイアス、-は負バイアスにおける電流を表す、ゲインLのデータでは-バイアスの電流は小さいため零レベル0を割って+バイアスの電流のみしか見えない。ゲインHのデータから正バイアスの電流値は負バイアスの電流値に比し約10倍大きい事が分かる。0.25秒以内での電流の過渡的变化は電流の絶対値が $10^{-9}$ Aと小さいためファラデーカップとケーブルの持つ容量分が効いているためと考えられるが、一定値に落ち着くに要する時間として0.25秒は十分である事が分かる。

第6図 (b) は打ち上げ後69秒付近 (高度90km 前後) のデータを示す。正負バイアスでの電流の比率は高度が上昇するにつれて大きくなっていき、さらに電流の絶対値も増加しゲインHでの+バイアス電流は上限値に達し飽和しているのが分かる。これは正バイアス電流がD層では電子成分が少ないのに対し、E層になるに従い電子の部分が増加する事を示唆していると考えられる。69秒で予定通りゲイン切り替えが正常に行われている。ゲインLでは+バイアス電流のみが測定されているが、ゲインHでは72秒以後は+バイアス、-バイアス共に測定されている。0.25秒以内での電流の過渡的变化はE層では少なくなりスピンによる影響のみとなるがその変化分も up-leg では小さい。

第6図 (c) は打ち上げ後357秒付近 (高度90km 前後) の down-leg でのデータを示す。矢印の所で予定通り高 $\rightarrow$ 低のゲイン切り替えが正常に行われている。しかし、up-leg の場合と異なり電流値は0.25秒の間で揺れているが、これはウエークによりスピンの影響がより大

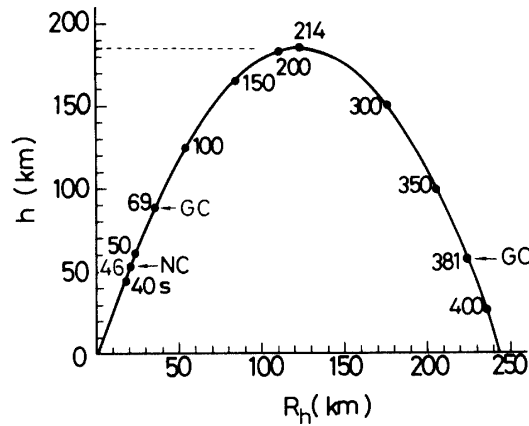


Fig. 5 Locus of the S-310-20 rocket. Range  $R_h$  vs height  $h$ .

きく現れる為と考えられる。360秒以降はロケットは再びD層に入った為、バイアスの電流比は小さくなっているのが分かる。

第7図は、ファラデーカップの電流値、即ち、電子-負イオン電流  $I_e^-$  と正イオン電流  $I_+$ 、その電流比  $R = I_e^- / I_+$  を高度の関数として計算した結果を示す。図から90-120km かけてのE層、その上の密度の低い中間層、続いて密度が上昇するF層への変化がわかる。また電流比  $R$  は86km までは10近辺であるが、90km 以上からはしだいに増加し最高高度185km 付近では100近い値になっている。この事はE層以下は負の荷電粒子としては負イオンの多い事、E層以上ではほとんど電子からなる事を示唆している。

第8図は200秒(180km) 付近のラングミュアプローブ電流の時間変化を示したものである。図で正イオン電流から電子電流の立ち上がり部分が観測されている。これを解析することによりE-F層にかけて  $T_e = 800^\circ\text{K}$  が得られた。D層での  $T_e$  は電流が小さ過ぎたため測定出来なかったため、E-F層の値を外挿して採用した。

次に、上記の  $I_e^-$ 、 $I_+$ 、 $R$  用いて正負イオン密度、電子密度を計算した。電離層では電子温度  $T_e$  とイオン温度  $T_i$  とがあまり変わらないので  $I_e^-$ 、 $I_+$  に対して次式が成り立つと仮定してよい。

$$I_e^- = eS \{ n_e (kT_e / 2\pi m)^{1/2} + n_- (kT_- / 2\pi M_-)^{1/2} \}, \quad (1)$$

$$I_+ = eS n_+ (kT_+ / 2\pi M_+)^{1/2}. \quad (2)$$

従って、(1)、(2)より次式が得られる。

$$R = (1 - \alpha) (M_+ T_e / m T_+)^{1/2} + \alpha (M_+ T_- / M_- T_+)^{1/2}, \quad (3)$$

ここで、 $\alpha = n_- / n_+$  と定義した。 $\alpha < 0.9$  では負イオン種によって  $\alpha$  はあまり変わらずその影響の現れるのは  $\alpha > 0.96$  である。理論値によると、 $T_+ = T_e$  の場合  $\alpha = 0$  では  $R(0) = (M_+ / m)^{1/2}$  となり、 $\text{O}_2^+$  に対しては242.4であるが、実測値は185km で102であり約  $1/2$  となった。くい違いの一つの原因として考えられるのは正イオン電流は十分に飽和した部分をとったのに対し電子電流はまだ完全飽和していない部分をとって少なく評価しているためである。従って、 $I_e^-$  には空間電位における電流減少因子として  $\delta$  を乗ずる必要がある。この

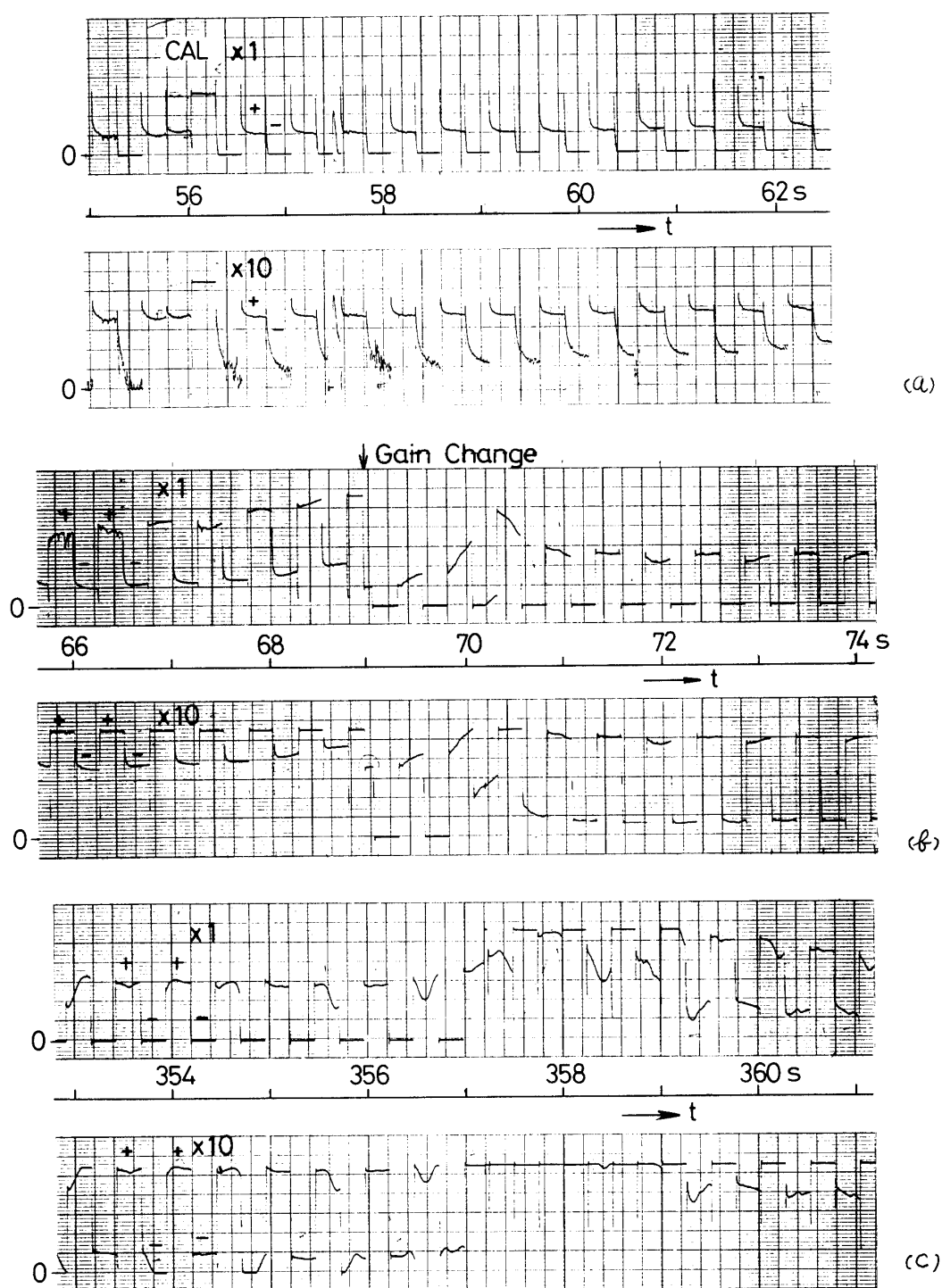


Fig. 6 Time chart of the current to Faraday cup at positive and negative biases in the  
 (a) D region,  
 (b) E region in up-leg,  
 (c) D region in down-leg.



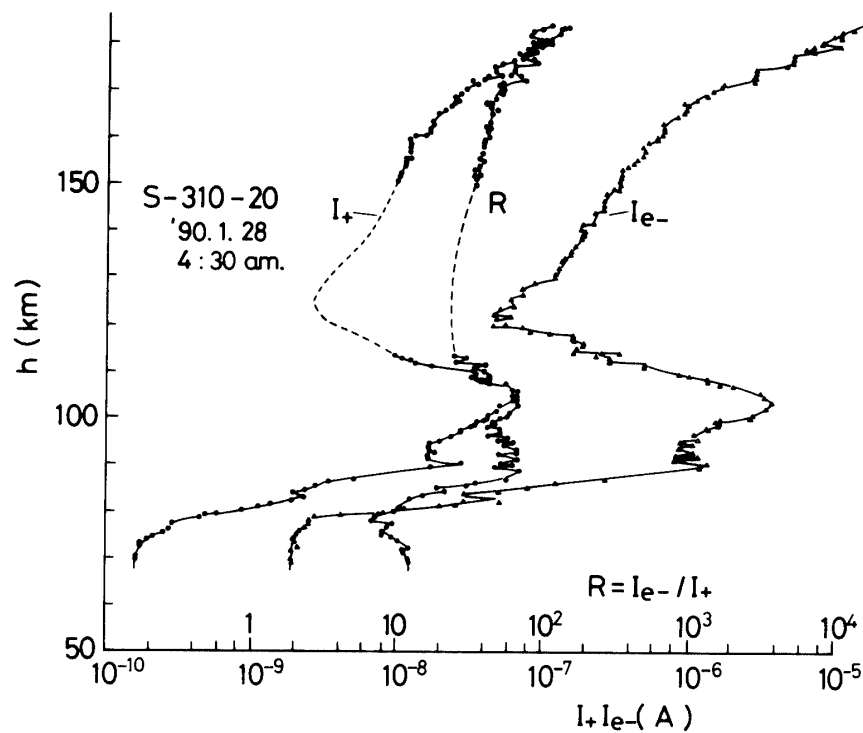


Fig. 7 Saturated currents  $i_{e-}$ ,  $i_+$ , and the ratio  $R = i_{e-} / i_+$  vs height  $h$ .

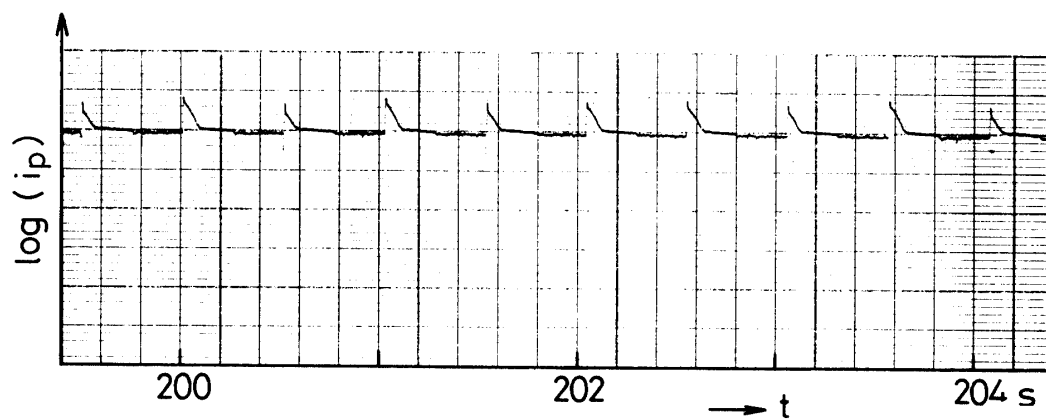


Fig. 8 Probe current  $\log(i_p)$  vs time  $t$  near apogee.

因子はプローブの寸法、それとデバイ長の比、シースの厚さにもよるから少しずつ高度と共に変化する筈であるが、ここではその変化率は少ないとして近似的に全高度で  $R(0) = \text{一定}$  と仮定する。この事を考慮して  $\alpha = 0$  の時の電流比  $R(0)$  に対する規準化された比  $R_n$  を定義することにより  $\alpha$  と  $h$  の関係を求めた。

第9図は  $\alpha$  の値を電流比  $R$  と(3)式から求めた結果である。ただし、イオンとしては正イオンは  $O_2^+$ 、負イオンは  $O_2^-$  の場合を考慮した。その結果、 $h < 80\text{km}$  ではほぼ  $\alpha > 0.9$ 、即

ち負イオンが電子を凌駕する事実が得られた。 $h$ が80kmより下では $\alpha$ はかえって増加しているが、この一原因としては正イオン等価質量の増加、電子温度/イオン温度比の増加が考えられる。また、88–92kmにかけてはまだ $\alpha$ が0に近く減少しないが、これは(1)、(2)で $T_e$ 、 $T_+$ の影響が効いてくるので $R$ の値から $\alpha$ を求める事はあまり正確ではない為と考えられる。そのため、 $h < 88.5\text{km}$ は(○)で、一方 $h > 88.5\text{km}$ は(●)で区別して表した。

第10図は(1)、(2)式と $\alpha$ から負イオン密度 $n_-$ を求めた結果を示す。 $h=88\text{km}$ までは密度が高度と共に次第に増加している傾向が見られる。 $h > 90\text{km}$ では $R$ の表式から $\alpha > 0$ となるが、前述の理由で $R$ の表式自体に曖昧が生ずるのでプロットは控えた。

第11図は $h > 90\text{km}$ での電子密度 $n_e$ ないし正イオン密度 $n_+$ を求めた結果を示す。イオノグラムの結果は100kmでスポラディックE層( $f_E=2.3\text{MHz}$ )が観測され、そこから200kmまでは密度の空乏層( $f_E < 2.3\text{MHz}$ )があり220km以上からF層が観測された[8]、これに対して、本実験ではE層の幅は30kmと広く中間層からF層にかけて測定値が得られている。90km以下では負イオンの存在により $n_e < n_+$ となっているが、150–170kmまでのF層では $n_+$ が $n_e$ を約2倍上回る値になっている。これは90km以下では正イオンを $\text{O}_2^+$ と仮定したのに対し上層では $\text{O}^+$ の成分比が増えた為と考えられる。一方、170km以上では $n_+$ と $n_e$ が再びよく一致する傾向を示している。この原因としてはapogee付近でロケット進行方向がスピン軸からずれるためウエークによる正イオン電流の減少が起こった為と思われる。第10、11図から60–85kmにわたるD層ではプラズマは専ら正イオンと負イオンとからなっている事、90km以上から電子が優勢なプラズマに発展していく事が分かる。

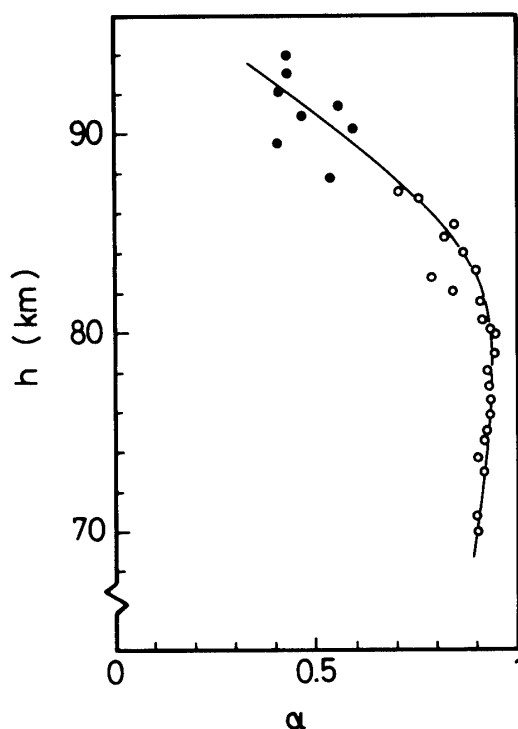
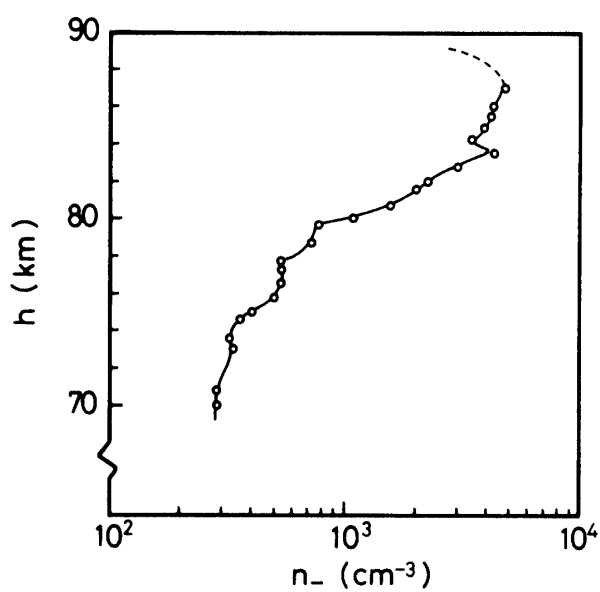
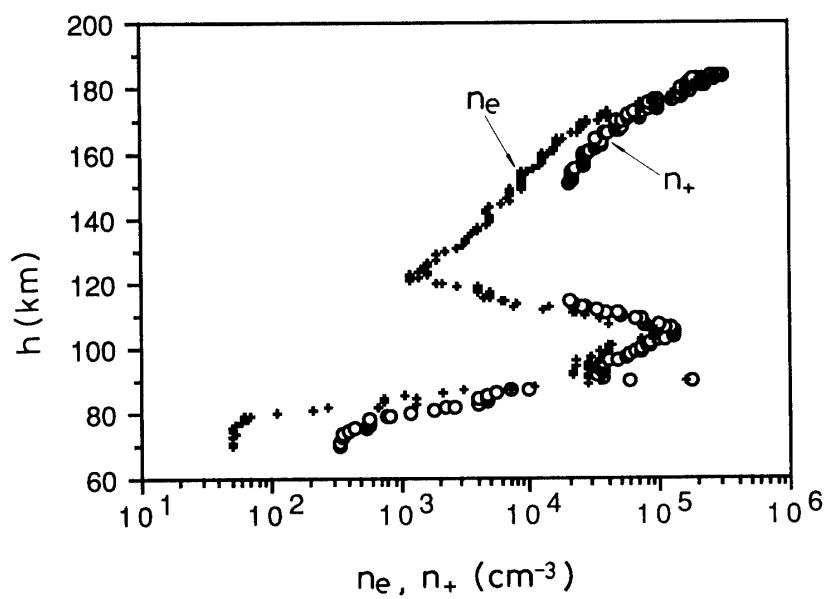


Fig. 9 Plot of  $\alpha$  vs height  $h$ .

Fig. 10 Densities of negative ions  $n_-$  vs height  $h$ Fig. 11 Densities of electrons and positive ions ( $n_e$ ,  $n_+$ ) vs height  $h$ .

## 4. 観測結果の検討

### 4. 1 従来のD層研究結果との比較

D層の負イオンに関してはこれまで以下の事実が知られている[9, 10], 電子, 酸素分子との三体再結合仮定による  $O_2^-$  生成が元となり, 順次重くかつ電子付着エネルギーの高い分子に変化していく.  $NO_3^-$  が最終分子と考えられているが  $H_2O$  がクラスター化し最大質量数134 ( $NO_3^- \cdot (H_2O)_4$ ) も出来る. 正イオンでは  $NO^+$ ,  $O_2^+$  に  $H_2O$  が作用し順次重いイオンに変化し, ( $H_9O_4^+$ ) が出来る他, 水酸化物も生成される. 負イオン密度比は下部になる程, また夜間ほど大きい, 中性粒子としてO, Hはそれぞれ  $O_2$ ,  $H_2O$  の光解離により昼間で増加,  $O_3$  は逆に減少する. 正イオンとしては  $NO^+$ ,  $O_2^+$ , 電子密度は定性的にO, Hと同様の時間変化をする. また, 電子密度分布は日の出時には, 負イオンの光脱離効果により電子密度が増加, 密度分布に“ledge”(階段層)が発生する.

本観測は午前4時30分なのでまだ夜間に属し負イオン密度が電子密度よりも大きくなる結果が得られたがこれは上の事実と傾向が一致する.

### 4. 2 観測機器の試験

D層では下部や夜間では負イオン密度が電子密度を可成り上回るので観測計器の試験のために負イオンの存在するプラズマや殆ど電子の無い状態のプラズマを実験室で実現する必要があった, ハロゲンを用いると電子付着率が高いのでこの状態のプラズマは比較的容易に実現出来るので, 我々はこれを用いて実験室プラズマでその密度, 温度測定法を開発し  $H^-$ ,  $I_2$ ,  $SF_6$  プラズマで負イオンの存在や殆ど無電子性プラズマを示唆するデータを得た[11, 12]. 宇宙研スペースチェンバでも酸素プラズマで正イオンに対する負イオン成分比が非常に1に近い無電子状態まで制御可能なプラズマ状態が得られた[13], さらに, 中型チェンバでも  $Ar/O_2$  系,  $Ar/SF_6$  で負イオン密度比を任意に変える事が出来, これらを用いてファデーカップの試験に成功した.

### 4. 3. D層のシミュレーション

正負イオンのみからなるプラズマは最近のプラズマ物理での重要課題の一つになりつつあるが[14, 15], D層は天然に出来た無電子性プラズマとしても興味ある対象である. さらに, 最近, 環境問題に関連して下部電離層の研究が重要となって来ているのでプラズマ物理の立場からこの問題に対して如何なる寄与が出来るかを考える事は有意義である. ハロゲン化塩を用いた無電子的プラズマの生成の実験[14]では, プラズマが容器を汚染する事, プローブ測定が表面現象のため歪を受ける難点がある. 上層大気をより正確にシミュレートするために酸素を用いた法がより好都合である.

D層を模擬した装置としてスペースチェンバ内に多極型極小磁場装置を二台配置しフィラメントと陽極(磁石を埋め込んだ棧)の間でDC放電を行った, イオンはラーマ半径が小さいので磁石を含む棧の間から流出する, 一次電子は磁場で追い返され洩れ難いのに対し低速度のものはガスとの衝突によって棧の間から洩れ出す. その結果, 中心部には正負イオンとごくわずかの低電子温度の電子からなるプラズマが実現出来た, さらに, 放電電流を変える事により電子の量を制御出来, 荷電粒子平衡の条件,  $n_+ = n_e + n_-$ , により負イオン密度比を制御する事が出来た[13]. その中で例えば  $Ar$  と  $O_2$  の場合のプローブ特性を比較すると

Ar では飽和電流比  $R$  が大きいのにに対し  $O_2$  では  $R=1.14$ , 即ち,  $\alpha$  は殆ど 1 付近となった.

$\alpha$  が 1 に非常に近い場合の電子密度を算出する為に, (2)式第 2 項で  $\alpha=1$  と置き  $O_2^-/O_2^+$  系,  $M_+=M_-$ ,  $T_-=T_+$  を仮定することにより

$$1-\alpha=(R-1)/(M_+T_e/mT_+)^{1/2}. \quad (4)$$

が得られる. これから仮に  $T_e=T_+$  としても,  $(1-\alpha)=5.8 \times 10^{-4}$  となり, 無電子正プラズマが実現出来た事を意味する. 上記の方法にインピダンスプローブによる電子密度  $n_e$  の絶対測定を加味すると  $n_+$ ,  $n_-$  値が決定でき, 最近スペースチェンバを利用して実験に着手している.

D 層の他の特徴としては, D 層が可視光に対し敏感である事である. 即ち, 負イオンが形成されるので等価再結合係数が増加し日没において急激な電子密度の低下となり, 逆に日の出前は光脱離により負イオンから電子が遊離され電子密度の急激な上昇が見られる. 日食時も同様の変化が起こる [10]. この様な可視光によるプラズマの変化をシュミレートする為に D 層と同程度の圧力で酸素ホロー陰極放電に連続 (ダイオード) レーザーおよびパルス (YAG) レーザーによる光を照射しプラズマの応答を実験した結果, 光脱離によるオプトガルバナ信号を得る事が出来た [16, 17], 将来この原理による観測器の開発を行いたい.

## 5. 結 論

以上, 主としてファラデーカップによる夜明け前の D 層における負イオン測定についての観測結果を示した, その結果 70–87km では電子密度が低く負イオンが優勢なプラズマになっている事, 80km 以下では負イオン密度比はほぼ 0.9 で 80km から減少する事が明らかとなった. また, 負イオン密度そのものは負イオン種を  $O_2^-$  と仮定した場合 70km から 87km にかけて  $3 \times 10^2$  から  $4 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$  の値をとる事が分かった, 観測装置の試験および D 層に関するシミュレーションとして, 実験室プラズマで無電子性プラズマの生成を行いその中でのプローブ計測や光脱離の実験を行った結果を述べた.

終りに本観測器の製作において松栄電子株式会社, 堀江茂氏および高木信男氏, またラングミュアプローブの製作において理化学研究所技術部, 菅原正吾技師に感謝する.

## 参 考 文 献

- [1] J. W. Chamberlain and D. M. Hunten: "Theory of Planetary Atmosphere", p.243.
- [2] F. Arnolds and D. Krankowsky: J. Atm. Terr. Phys. **33** (1971) 1963.
- [3] R. S. Narcisi et al.: J. Atm. Terr. Phys. **33** (1971) 1147.
- [4] G. Rose and H. U. Widdel: Radio Science **7** (1987) 81.
- [5] K. Hirao and S. Miyazaki: Sounding Rocket Data, ISAS **1** (1972) 59, 63, 71, 79.
- [6] I. Iwamoto et al.: Sounding Rocket Data, ISAS **3** (1979) 61, **4** (1982) 56.
- [7] M. Takagi et al.: J. Geomag. Geoelect. **32** (1980) 715.
- [8] 西牟田一三: Private communication 1990.
- [9] L. Thomas and M. D. Harrison: J. Atm. Terr. Phys. **32** (1970) 1.
- [10] R. S. Narcisi et al.: J. Atm. Terr. Phys. **45** (1983) 461.
- [11] H. Amemiya: J. Phys. Soc. Japan **57** (1988) 887.
- [12] H. Amemiya: J. Phys. D (Appl. Phys.) **23** (1990) 999.

- [13] H. Amemiya & Y. Nakamura: J. Phys. Soc. Japan **58** (1989) 4479.
- [14] D. P. Sheehan and N. Rynn: Rev. Sci. Instrum. **59** (1988) 1369.
- [15] Physics and Diagnostics of Negative Ion Plasmas, Special issue of Sci. Paper Inst. Phys. Chem. Res. **85** (1990), ed. N. Sato and H. Amemiya.
- [16] H. Amemiya and T. Suzuki: Jpn. J. Appl. Phys. **29** (1990) L1712.
- [17] H. Amemiya, T. Suzuki and Y. Shigueoka: Jpn. J. Appl. Phys. **29** (1990) L 1915.