

# 科学衛星 TAIYO-RPA による低緯度電離層の観測結果\*

宮崎 茂\*\*

## Observational Results of the Ionosphere in the Low Latitudes by the Retarding Potential Analyzer Aboard the Satellite TAIYO

By

S. MIYAZAKI

**Abstract:** The aeronomy satellite TAIYO was launched on February 24, 1975, into an orbit with an inclination of  $31^\circ$ , perigee of 250 km, apogee of 3100 km and period of 120 min. The ionospheric  $F$  region and the topside ionosphere in the low latitudes have been observed during sunspot minimum, 1975-76, by the retarding potential analyzer which was included in the satellite TAIYO payloads.

The main results deduced from the analysis of the stored data of a total of 117 paths indicate that, firstly, a semi-empirical formula of the  $O^+ - H^+$  ion transition height where  $O^+$  density is equal to  $H^+$  density, is obtained and is expressed as a function of the solar zenith angle and the magnetic dip angle, secondly, there very frequently exist high energy components in electrons and ions of the ionosphere over the South Atlantic geomagnetic anomaly region,  $250^\circ E - 0^\circ E - 80^\circ E$  in the daytime and the nighttime. The altitude range of the region in which there exist non-thermal components of the plasma reaches to about 800 km or more.

### 1. 緒 言

電離圏に関する主要な問題として、現在三つの課題が存在する。すなわち第一に赤道領域の電離圏に関する問題である。ここでは磁場が地表面と平行であり、磁場を横切る荷電粒子の運動、赤道地帯ジェット電流の存在等が電離圏プラズマに影響を与え、さらに種々の赤道異常現象が存在する。

第二は極域電離圏に関する問題である。ここでは磁場が垂直に近く、時には磁気圏に開いている。従って外部磁気圏からの荷電粒子の侵入による影響が大きな問題になる。

第三は南アメリカ大陸のブラジルに中心をもつ南大西洋地磁気異常領域上の電離圏の問題である。この領域では他の領域に比して磁場が弱い[1]。従って、磁力線に沿う荷電粒子の

---

\* 宇宙研特別事業費による研究論文

\*\* 電波研究所

ミラー高度は低い。高度が低くなると、大気密度は増加するので、衝突によって荷電粒子はエネルギーを失い、種々の超高層大気物理効果を及ぼす[2]。

さて、科学衛星 TAIYO は低緯度電離圏のプラズマの特性、プラズマ現象、太陽および地球大気放射線等を観測して太陽放射線と地球大気の相互作用を総合的かつ汎世界的に調べることを目的として、1975年2月24日打ち上げられた。軌道は近地点約250 km、遠地点約3100 km、傾斜角31度、周期120分であり、電離層F領域から上部電離圏および磁気圏下を含む領域を飛しょうして、1976年10月までの約2年間観測を行って多くの貴重なデータを蓄積した。

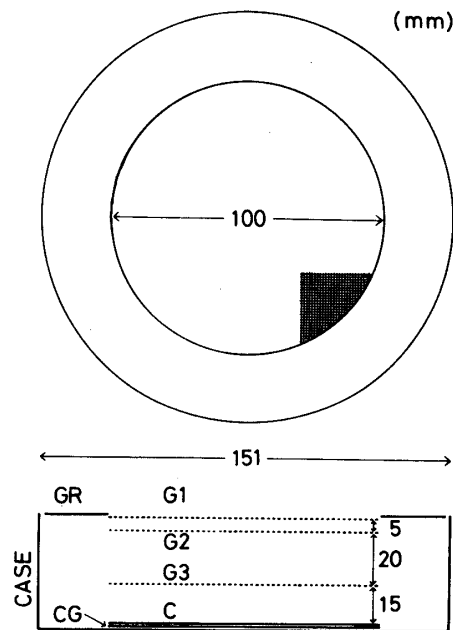
本論文では、TAIYO 衛星に搭載されている Retarding potential analyzer(RPA) の観測目的、機器性能および観測結果等について従来速報ないし個々別々に発表したもの [3~22] から最終的に解析整理された主な観測結果に関して考察を行い、まとめて述べると共に、今後の課題について言及する。

## 2. 測定器

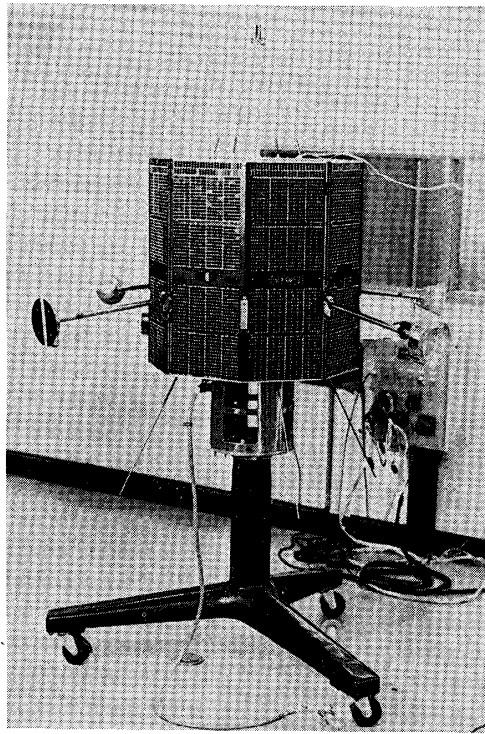
平面形の3枚のグリッドおよび1つのコレクターを有する測定電極を用いて、電子およびイオンに関する電流電圧特性を測定することによって、電子密度・温度、イオン密度・温度および衛星電位を求める。測定器は3つの部分、すなわち測定電極部、電流検出回路部および電流記録部からなっている。次にこれらについて述べる。

### (1) 測定電極部

第1図は測定電極の構造と寸法を示す。電極はグリッドG1, G2, G3, ガードリングGR,



第1図 電極の構造



第2図 TAIYO 衛星 (右支持棒先端に RPA センサー〔外  
径 151 mm〕が取付けられている)

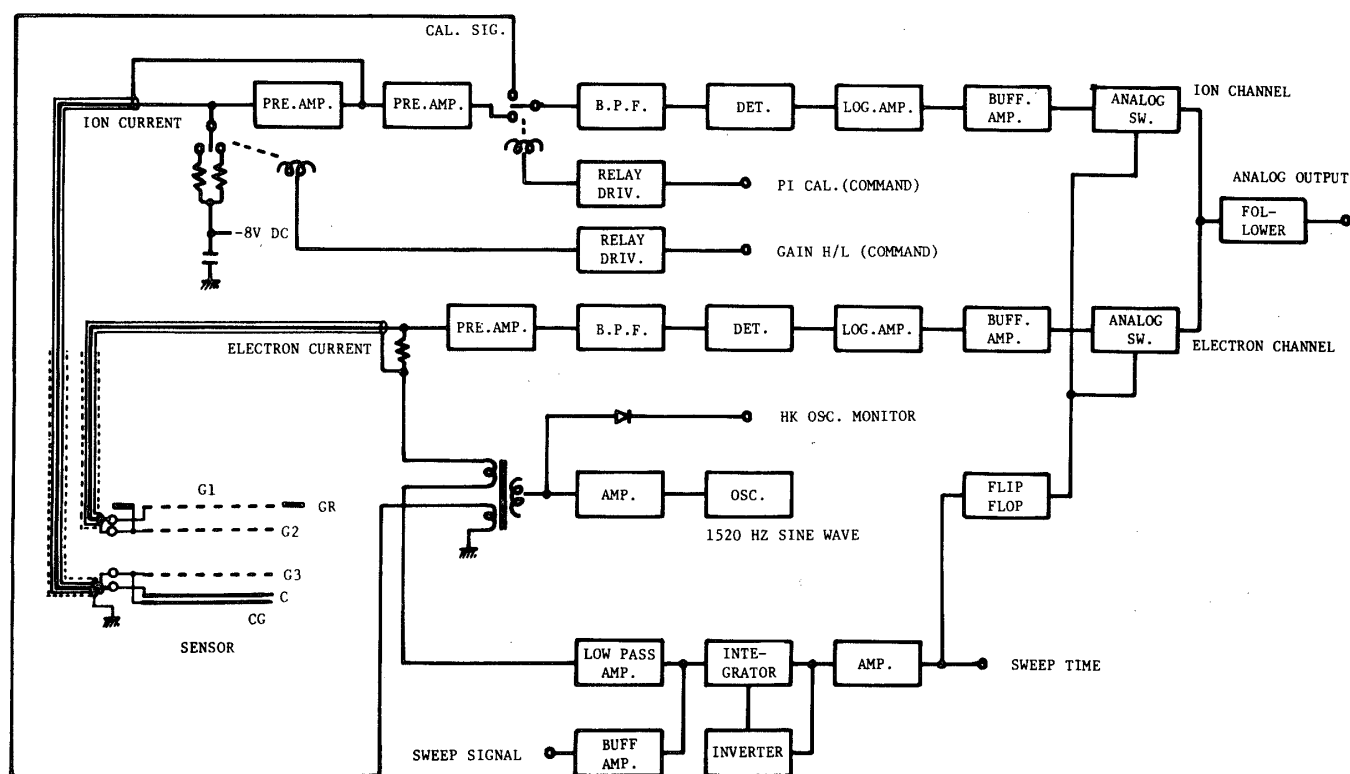
コレクターCおよびコレクターの裏面のコレクターガードCGからなっている。グリッド線は直径0.05 mmの金メッキタングステン線で線間隔は1 mmである。電極の有効内径は100 mmであり、測定電極は衛星本体からスピンドル軸に対して直角に支持棒を出して約50 cm離して、衛星本体による周囲のプラズマの擾乱の影響を受けないようにしてある(第2図)。

平面電極が衛星進行方向に面したとき、クロックからの観測開始の信号によって1秒間観測する。

(2) 電流検出回路部

具体的な電氣的諸元を記す。

- (a) 第1グリッド印加電圧：鋸歯状波  $-2.0 \sim +12.7 \text{ V}$  を1秒間で掃引。
- (b) 重畳交流電圧：正弦波, 1520 Hz,  $100 \text{ mV}_{\text{p-p}}$ 。
- (c) コレクター印加電圧： $-8 \text{ V}$  固定。
- (d) イオン交流電流測定範囲： $10^{-10} \sim 10^{-8} \text{ A}_{\text{peak}}$  (高利得),  $10^{-8} \sim 10^{-6} \text{ A}_{\text{peak}}$  (低利得)。対数増幅 (2桁)。
- (e) 同上リーク電流： $7 \sim 8 \times 10^{-11} \text{ A}_{\text{peak}}$ 。
- (f) 電子交流電流測定範囲： $10^{-8} \sim 10^{-5} \text{ A}_{\text{peak}}$ , 対数増幅 (3桁)。
- (g) 同上リーク電流： $8 \times 10^{-9} \text{ A}_{\text{peak}}$



第3図 TAIYO-RPA ブロックダイアグラム

第3図は電流検出部のブロックダイアグラムを示す。G1の電子電流およびCのイオン電流測定のために、他からの擾乱および容量結合による誘導を防ぐために二重同軸ケーブルを用いている。

### (3) 電流記録部

第(1)項で述べたように1秒間観測を行い、測定された交流微分イオン電流および電子電流のアナログ出力をデジタル値に変換し、コアメモリー回路に記憶する。記憶チャンネル数は128アドレス、記憶容量は8ビットの255である。記憶された内容は所定のタイミングによりテレメトリーされる。所要時間は1フレーム中8ワード割り当てられているので64秒要する。さらに交流微分イオン電流および電子電流を交互に測定するので、実際はこの2倍必要とする。

測定器の重量は3.225 kg、消費電力は4.173 Wである。なお測定器のより詳細な内容については文献 [5, 13] を参照されたい。

### 3. 観測結果および考察

1975年3月から1976年10月迄の約2年間において、TAIYO衛星に搭載されたRPAによって、117パスのデータレコーダによる観測がなされた。この期間におけるOttawaでの2800 MHzの平均Solar fluxは1975年8月を除いて、 $80 (x 10^{-22} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Hz}^{-1})$

以下であり、観測期間は太陽活動極小であり、かつ静穏であるといえる。

### 3.1. $O^+ - H^+$ イオン遷移高度特性

TAIYO 衛星が飛しょうしている電離圏は、イオンの種類として  $O^+$ ,  $He^+$ ,  $H^+$  が主であるが、太陽活動極小期においては  $He^+$  は微量成分と考えられている [23]。TAIYO の観測期間は太陽活動極小期であるので、ここでは  $O^+$  と  $H^+$  の二種類のイオンについて考える。

通常、上部電離圏においては、イオンおよび電子密度分布は磁力線に沿う拡散平衡分布で説明されるが、更に詳細に考えると、種々の要因がこれに影響を与える。この中には磁場とダイナモ電場による垂直方向の荷電粒子のドリフト [24~27]、中性風の影響によって、イオン組成の分布は変化する。このイオン組成に関連するパラメータとして、 $O^+$  密度と  $H^+$  密度が等しくなる高度、すなわち  $O^+ - H^+$  イオン遷移高度が挙げられる。このパラメータに関して、二、三の測定がなされて興味ある結果が出されている [23, 28, 29]。ここでは  $O^+ - H^+$  イオン遷移高度の緯度、地方時変化の特性を主として調べた。

さて第4図は Rev. 1854 のイオン密度、電子密度の観測例である。図の中の点 NP は North pole を示し、TAIYO の軌道面を北の方から見た様子を示す。内側の円は地球の大きさを示し、内側から2番目の円は TAIYO の軌道を示しており、数字は東経(度)を示す。衛星は東向きに飛しょうしており、この図では左回りである。中の二つの円の間隔は観測点における衛星の高度に比例している。外側の円から順番に地磁気緯度、地理緯度、地方時を示す。さらに中側から2, 3, 4番目の円は密度の目盛を示す。この密度の目盛りは対数の任意目盛で、二つの円の間隔は1桁の差を示す。図で実線は電子密度を示す。電子密度の値は TAIYO-IMP のデータと比較し規格化してある。太いプラス印を結ぶ点線は  $O^+$  イオン密度を示し、細いプラス印は  $H^+$  イオン密度を示す。ここで両イオンの和の密度が電子密度と等しくなるよう規格化してある。図の中の HOR ON は、RPA が衛星の中の“Horizon clock system”によって作動したことを示す。この図から、東経約320度および東経約55度において、衛星がイオン遷移高度を観測したことを示す。

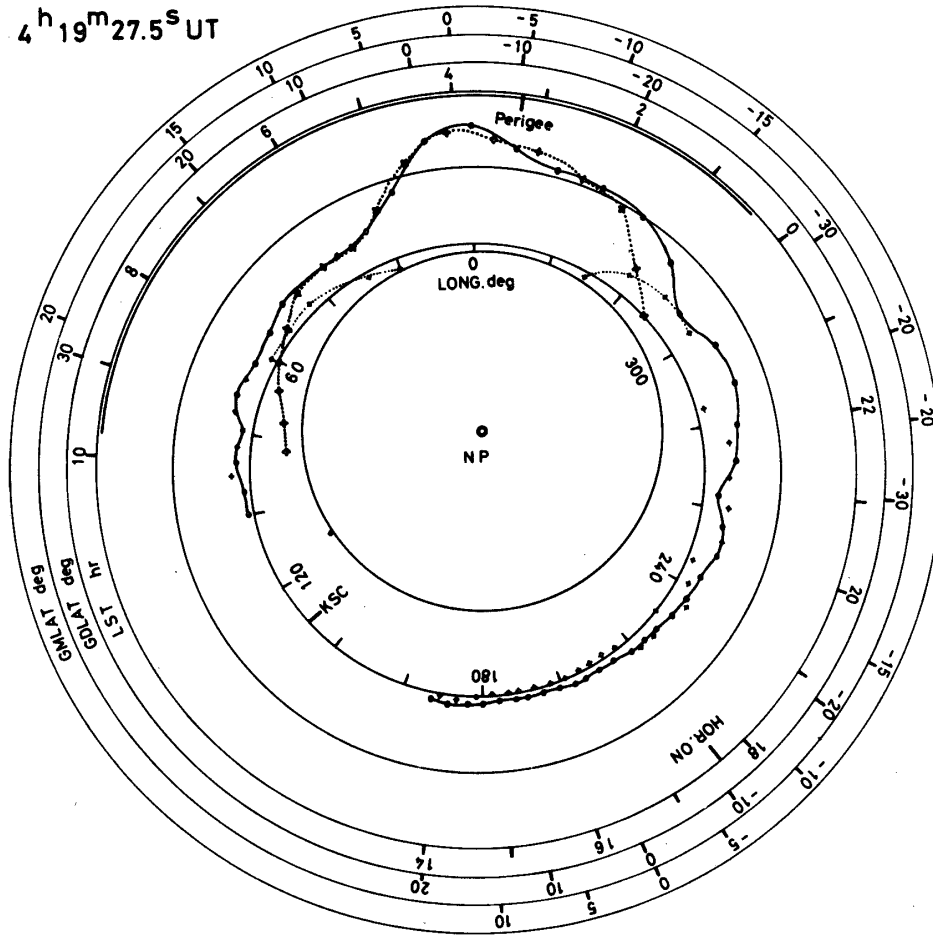
第5図は、経度に対するイオン遷移高度の特性を示す。白丸は06-18時の場合を示し、プラス印は18-06時の場合を示す。昼間の場合、イオン遷移高度の分布は大きく広がっている。東経  $0^\circ - 100^\circ$  の間の値は  $200^\circ - 300^\circ$  の間の値より大体において大きい。一方夜間の場合、イオン遷移高度の分布の広がり、昼間に較べてかなり小さい。

第6図は昼間(06-18時)におけるイオン遷移高度の Dip 緯度に対する特性を示す。又第7図は同じく昼間(06-18時)についてイオン遷移高度におけるイオン密度の Dip 緯度に対する特性を示す。イオン遷移高度は、Dip equator で極小を示し、高緯度になるに従ってイオン密度は低くなっている。図には示さないが、夜間(18-06時)ではイオン遷移高度は緯度によらずほぼ一定値を示すが、そのときのイオン密度は Dip equator において、拡がりの範囲が大きく、緯度が高くなるに従って、範囲が小さくなる傾向が観測されている。

以上の観測結果をまとめると次のようになる。

- (1) 昼間では、イオン遷移高度は 700 - 1000 km の間に広がって存在する。
- (2) 夜間では、イオン遷移高度は経度によらず、大体 450 - 650 km の範囲に存在する。
- (3) 低いイオン遷移高度が South Atlantic anomaly の領域に存在する場合がある。

REV. 1854  
 JULY 28, 1975  
 2<sup>h</sup>35<sup>m</sup>11.5<sup>s</sup> ~  
 4<sup>h</sup>19<sup>m</sup>27.5<sup>s</sup> UT

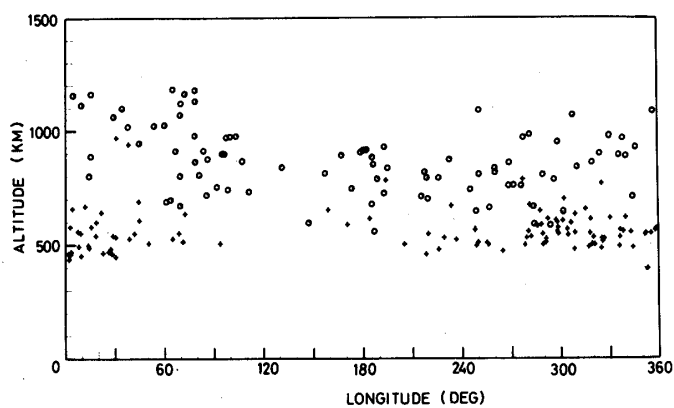


第4図 TAIYO-RPA によって観測されたイオンおよび電子密度分布

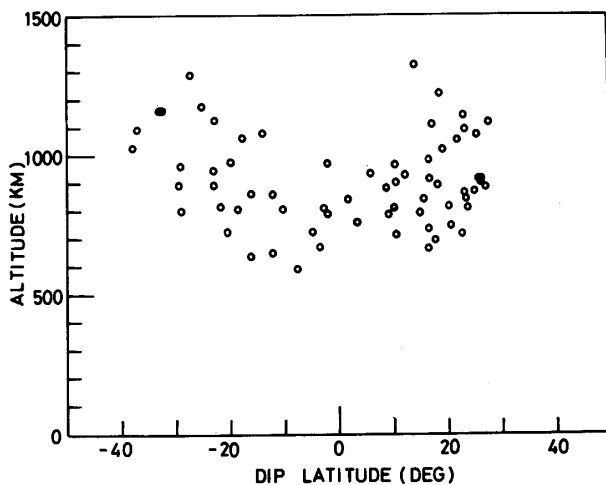
(4) Dip 緯度によるイオン遷移高度の変化に関して, Dip equator においては, 時刻にあまり依存しない, しかしイオン密度は時刻によって変化する.

(5) 前項に関連して, Dip 緯度の高い場所 ( $\sim \pm 30^\circ$ ) においては, イオン遷移高度は時刻に強く依存する. しかし, その高度におけるイオン密度に関しては, 時刻にあまり依存しない.

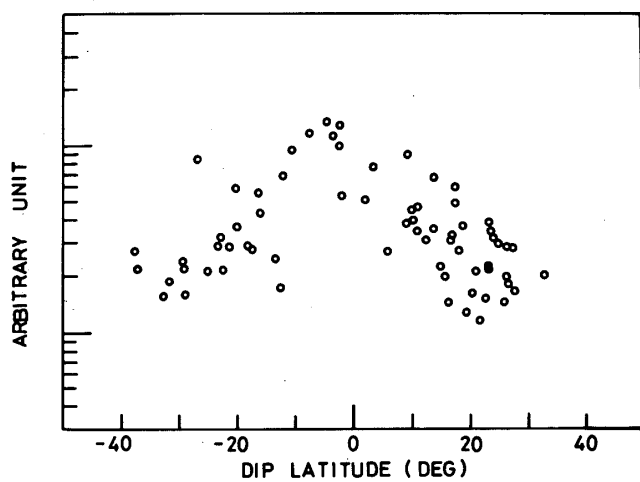
これらの問題に関連して, イオンおよび電子密度の分布について, 多くの研究者によって考察されてきている. さて, 一般にプラズマ温度は赤道から高緯度に移るに従って, 高くなっている [30, 31]. 温度が上昇すると, イオンおよび電子密度の分布は上方に移動する. また  $O^+$  イオンの最大密度の高度も上方に移動する. この結果としてイオン遷移高度は温



第5図  $O^+ - H^+$  イオン遷移高度の経度分布



第6図 イオン遷移高度の昼間の特性



第7図 イオン遷移高度における密度の昼間の特性

度に依存し、温度が高ければ、高度が上昇し、温度が低ければ高度が下がる [32]. このほかに緯度変化に関しては、電子およびイオン密度分布の赤道異常効果が知られている [24~27, 33, 34]. これは、ダイナモ電場  $E$  と地球磁場  $B$  による、磁力線を横切る荷電粒子の  $E \times B$  ドリフトの効果が影響している. 従って、イオン遷移高度はイオンの密度分布に直接関係するので、 $E \times B$  ドリフトの効果も考慮する必要がある. 又、イオン密度分布を変化させる中性風の効果も考慮する必要がある [29].

理論的考察は将来の課題として、ここではイオン遷移高度についての観測値から実験式を求める.

一般に、イオンおよび電子密度分布の極大値は太陽天頂角を  $\chi$  として、 $\cos \chi$  の幅乗で表わされる関数で表示することができる. また、イオン生成率の最大の高度も  $\cos \chi$  の関数として表わされる. また、イオンおよび電子密度分布は磁場によって規定される. 従って、地磁気緯度の関数と考えられる [35]. ここでイオン遷移高度の実験式を求めるのにあたり、次の二つの仮定をする. 第一は、太陽放射すなわち太陽天頂角に依存する項と依存しない項からなること. 第二は、実験式は太陽天頂角に関して  $\cos \chi$  の幅乗の関数で表わされ、かつ地磁気依存性に関して、Dip angle を  $I$  として  $\sin^2 I$  の一次関数として表わされること. 従って、イオン遷移高度  $H$  は次のようになる.

$$H = H_0 + a \sin^2 I \quad \chi \geq 90^\circ \quad (1)$$

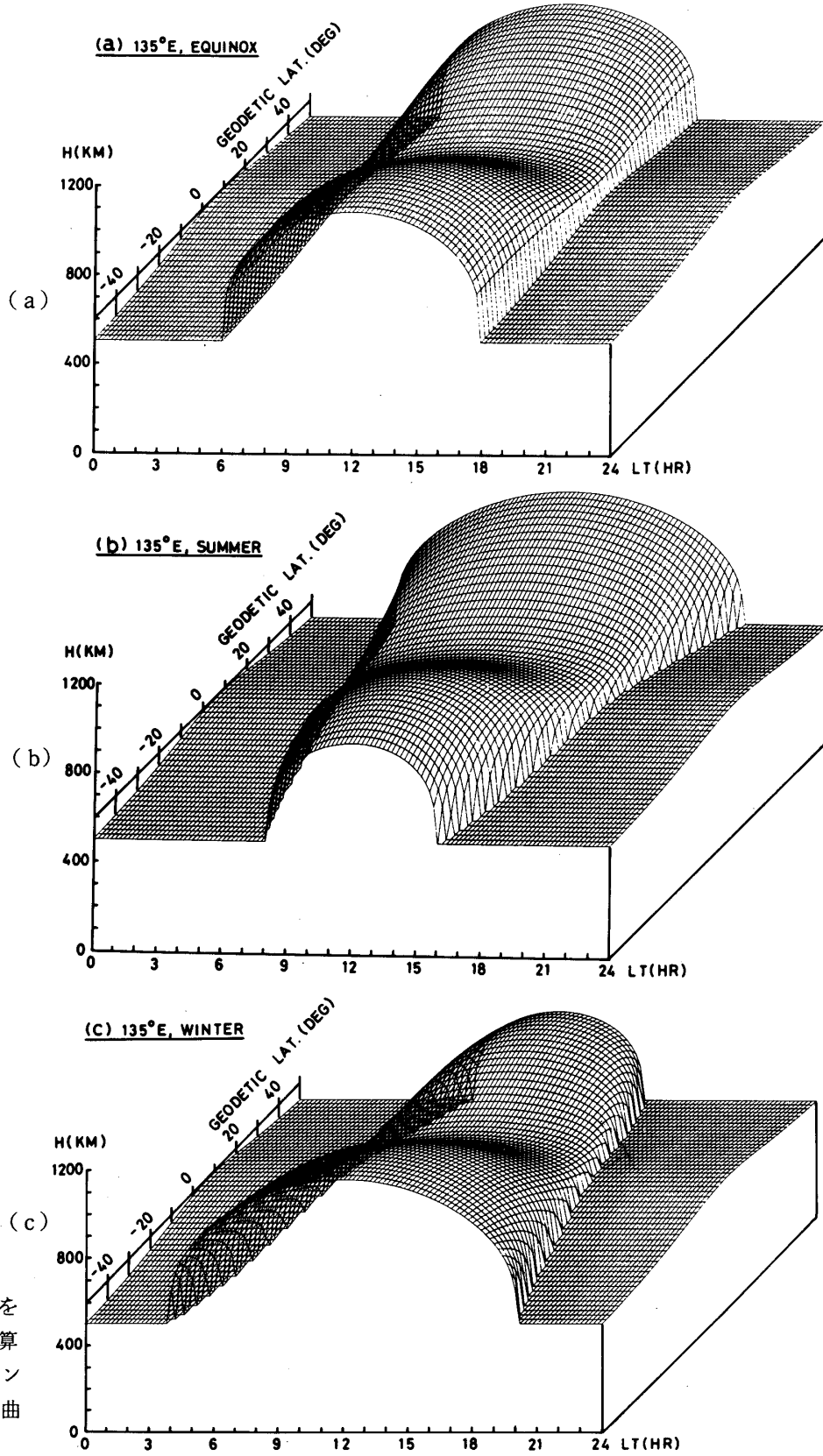
$$H = H_0 + a \sin^2 I + (b + c \sin^2 I) \cos^d \chi \quad \chi \leq 90^\circ \quad (2)$$

ここで  $H$ : km,  $I$ : Dip angle (度),  $\chi$ : 太陽天頂角 (度), 他の記号は決定すべき未知数を示す. イオン遷移高度の観測値から、最小自乗法を用いて5つの未知数を決定する. その結果は次の通りである.

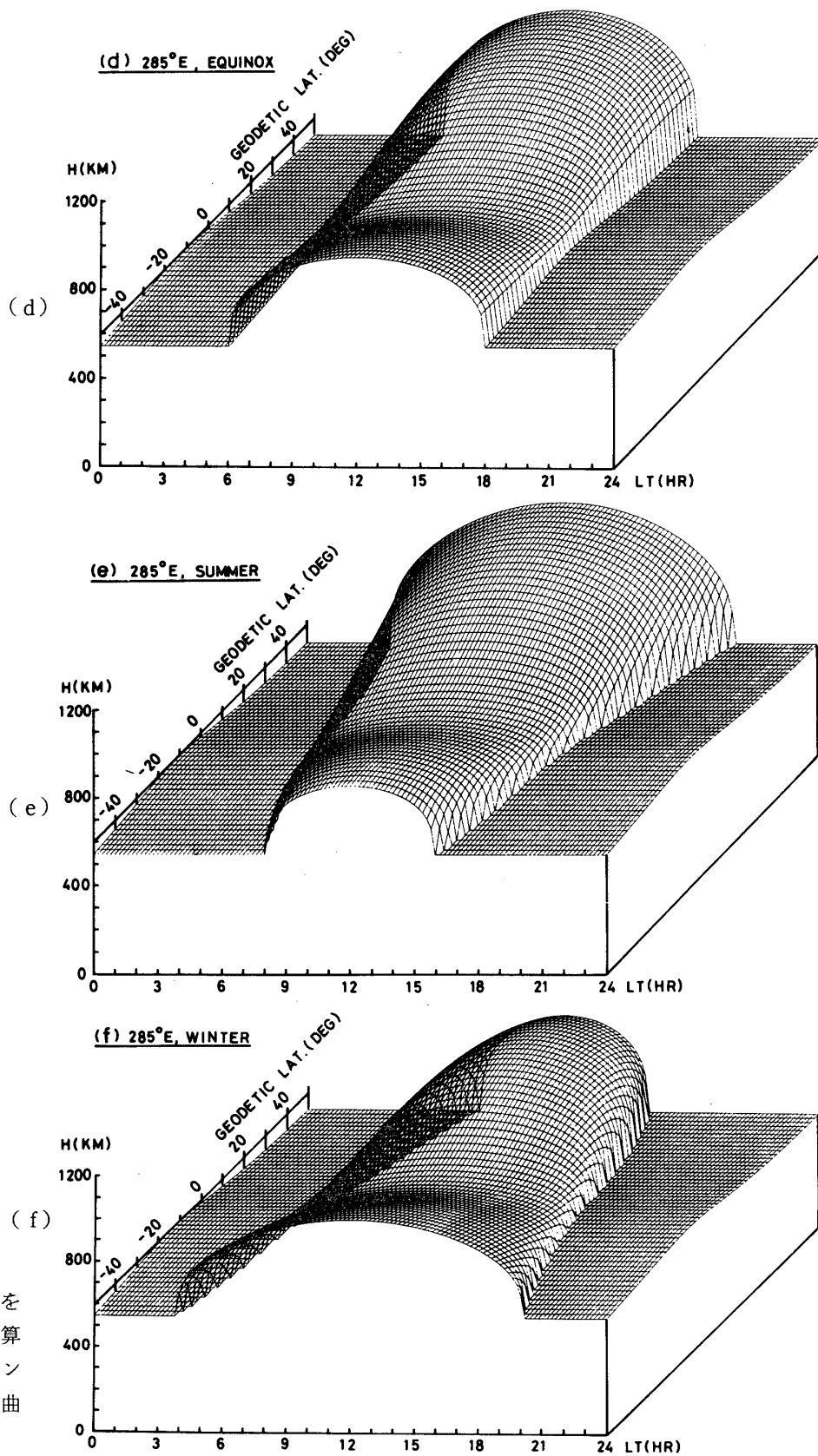
$$H_0 = 591, a = -87.1, b = 217, c = 473, d = 0.331$$

次に、得られた実験式の特徴および他の観測結果と比較を行う. 東経  $135^\circ$  および  $285^\circ$  の2つの場合について、北半球において、それぞれ春 (秋) 分時, 夏至, 冬至の各3例ずつの実験式を用いて計算したイオン遷移高度特性を第8図(a)–(f)に示す. 東経  $135^\circ$  はアジア地帯であり、東経  $285^\circ$  はアメリカ大陸地帯である. 特に東経  $285^\circ$  の南半球においては、南大西洋地磁気異常領域に相当する (3-2. 項参照). この二つの経度に関して、同じ地理緯度でも、Dip angle はかなり異なる. すなわち、東経  $135^\circ$  においては Dip equator は北半球に存在し、東経  $285^\circ$  においては Dip equator は南半球に存在する. 第8図(a)の  $135^\circ$ , 春分時の特性は、Dip equator においてイオン遷移高度は約 600 km から 800 km の間を地方時に対して変化しており、 $\pm 50^\circ$  においては約 500 km から 1100 km の間を変化している. 南北両半球ほぼ対称である. この場合 Dip equator は約  $3^\circ N$  に存在する. 第8図(b)の夏至においては、Dip equator において(a)と同様約 600 km から 800 km の間を変化しており、 $+50^\circ$  においては約 500 km~1100 km,  $-50^\circ$  においては約 500 km~900 km の間を変化している. 第8図(c)は(b)の場合と南北両半球を入れかえればほぼ同じ傾向を示す. これらに対して東経  $285^\circ$  の場合は対称性がなくなる. すなわち、第8図(d)は春分時を示すが、すでに南北両半球の対称性は見られない. 第8図(e)においては  $+50^\circ$  においては約 550 km~1200 km,  $-50^\circ$  においては約 550 km~800 kmの間を





第8図 実験式を用いて計算したイオン遷移高度曲線



第8図 実験式を用いて計算したイオン遷移高度曲線

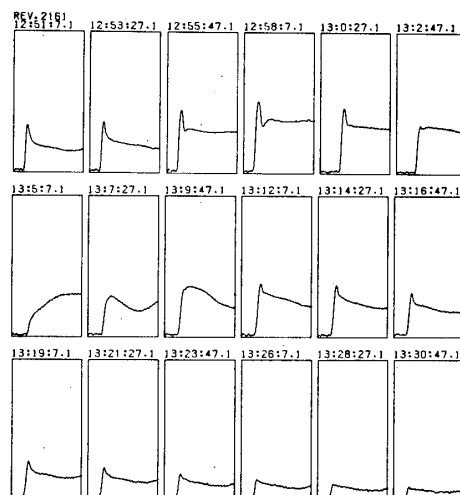
化しており、また第8図(f)の冬至の場合では、 $+50^\circ$ において約550 km~1000 km、 $-50^\circ$ においても約550 km~1000 kmの間を変化している。(e)、(f)の両図においては南北両半球を入れかえてもイオン遷移高度の対称性はないといえる。さらに太陽天頂角の地方時による変化が各々の場合について著しく異なる。

Alouette I のイオノグラムから求めたイオン遷移高度の観測結果 [36] によれば、アメリカ大陸地帯の経度領域では、南北両半球のイオン遷移高度の日変化特性は相互に異なることを示し、南半球におけるイオン遷移高度は北半球のそれよりかなり低いことを示す。また、エクスポーラ 32 のイオン密度の観測結果 [23, 28] によれば、アメリカ大陸地帯 ( $300^\circ\text{E} \sim 20^\circ\text{E}$ ) におけるイオン遷移高度はヨーロッパ地帯 ( $70^\circ\text{E} \sim 120^\circ\text{E}$ ) および太平洋地帯 ( $190^\circ\text{E} \sim 250^\circ\text{E}$ ) のそれと比較してかなり異なることを示し、経度依存性があることを示している。これらの観測事実に関して、今回求めた実験式によれば、ヨーロッパ地帯および太平洋地帯におけるイオン遷移高度は南北両半球において差異はなく、赤道に関して対称的であることが示される。またアメリカ大陸地帯では南半球において低く、対称性がないことも示される。特に、冬季においてはこの差は顕著であることも実験式で示される。定性的にはこの実験式によって他の観測結果を説明できることが明らかになったが、定量的にはさらに詳細な観測および理論的考察が必要である。

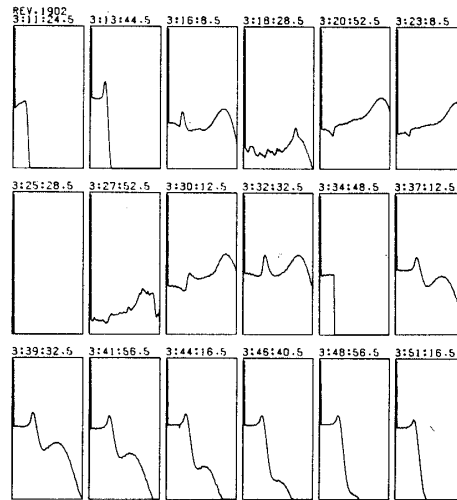
### 3.2. 南大西洋地磁気異常域の電離層プラズマ特性

ブラジルを中心とする南大西洋地域は他の領域に比較して磁場が弱いことが知られている。従って磁力線に沿う荷電粒子のミラー高度はこの地域では低い。ミラー高度が低ければ、より濃密な大気との衝突によって荷電粒子はそのエネルギーを失う。それ故、この南大西洋地磁気異常域においては荷電粒子の降下が多いことが期待され、そして、荷電粒子と大気粒子との相互作用の結果、種々の超高層大気効果が引起される [37~45]。

第9図は、TAIYO-RPA で観測した電子電流の測定波形であり、第10図は同じくイオ



第9図 RPA 電子電流の観測波形, Rev. 2161 (1975年8月22日)



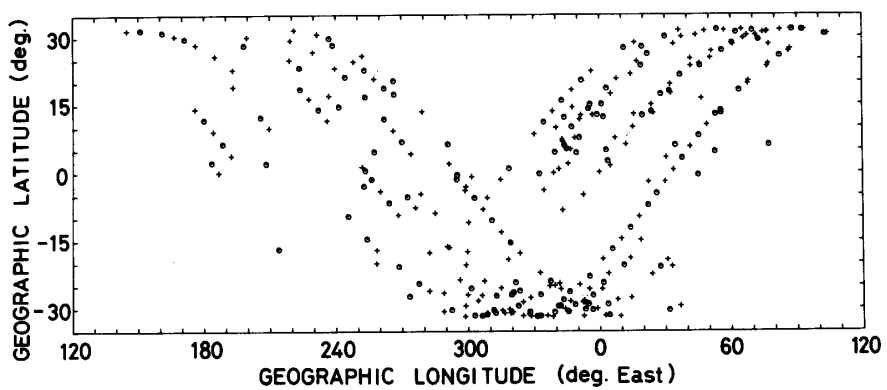
第10図 RPA イオン電流の観測波形, Rev. 1902 (1975年8月1日)

ン電流の測定波形である。各波形の上に世界時の時分秒の数値が示されている。縦軸は任意スケールで表わした交流電流を表わす。電子電流においては3桁の範囲の対数表示であり、イオン電流では2桁の対数表示である。横軸は $-2.0 \sim +12.7$  Vの掃引電圧を示す。第9図の中で13時2分47.1秒, 5分7.1秒, 7分27.1秒, 9分47.1秒の4つの場合は波形が変化している。すなわち低エネルギー部分がなく, やや高いエネルギー部分 ( $<10$  eV) が存在している。第10図においては, 3時18分28.5秒, 27分52.5秒の波形は著しいゆらぎを示している。また3時25分28.5秒の場合は電流が零である。34分48.5秒の波形は途中で零になっている。このような異常波形の現われる原因として次のような理由が考えられる。

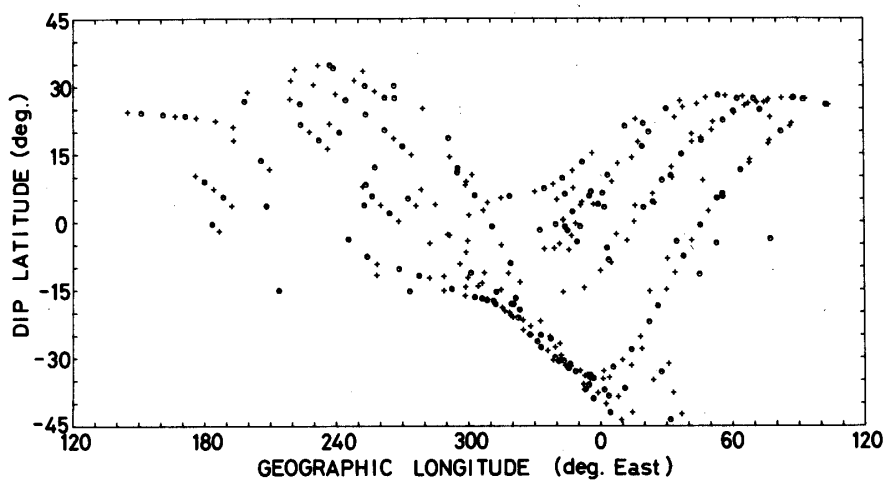
- (1) Maxwell 分布でなく, 高いエネルギー部分 ( $0 \sim 10$  eV) が存在する。
- (2) 周囲のプラズマ密度が異常に低いか, 帯電効果のため, 衛星電位が大きく変動した。
- (3) 比較的大きなゆらぎが存在している。
- (4) プラズマ測定時における異常効果が存在して, 電流が零になる。
- (5)  $O^+$  イオン密度の極端な増減が存在する。

第11図および第12図は, 電子およびイオンの測定波形において上述の異常現象が現われた場所の分布を示したものである。第11図は地理経度—地理緯度, 第12図は地理経度—Dip 緯度に関する特性を示す。第13図は同じく, 地理経度—高度に関する特性を示す。丸印は電子波形の場合, プラス印はイオン波形の場合を示す。さて, 第13図の高度分布において, 東経  $230^\circ - 280^\circ$  の高度約  $250 - 400$  km, 東経  $290^\circ - 30^\circ$  の高度約  $250 - 800$  km, 東経  $40^\circ - 80^\circ$  の高度約  $250 - 600$  km の3つの領域に分けられる。ここで東経  $290^\circ - 30^\circ$  の領域は南大西洋磁気異常域の中心に存在し, また他の2つの領域は北半球に広がっている。このほかに東経  $180^\circ$  付近の点在する領域が存在するように推定される。

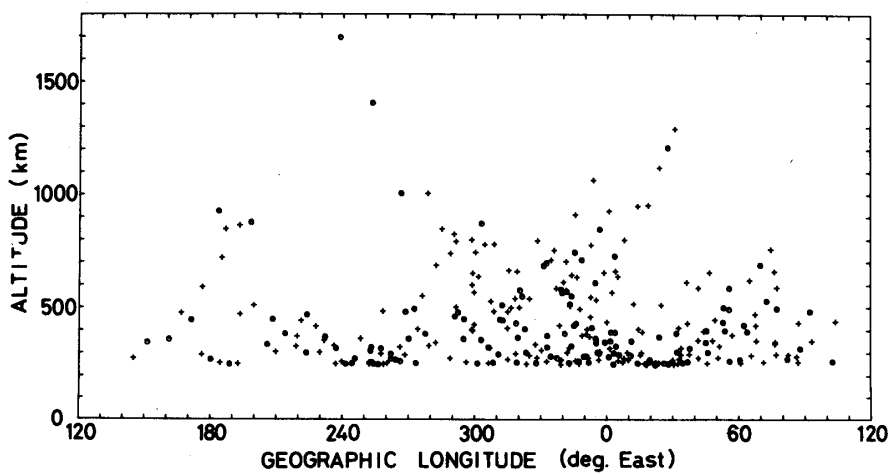
第14図および第15図は, 異常波形の出現頻度の経度および地方時に関する変化を示すヒストグラムである。両図において, 白色の範囲はイオン電流の場合, 薄灰色の範囲は電子電



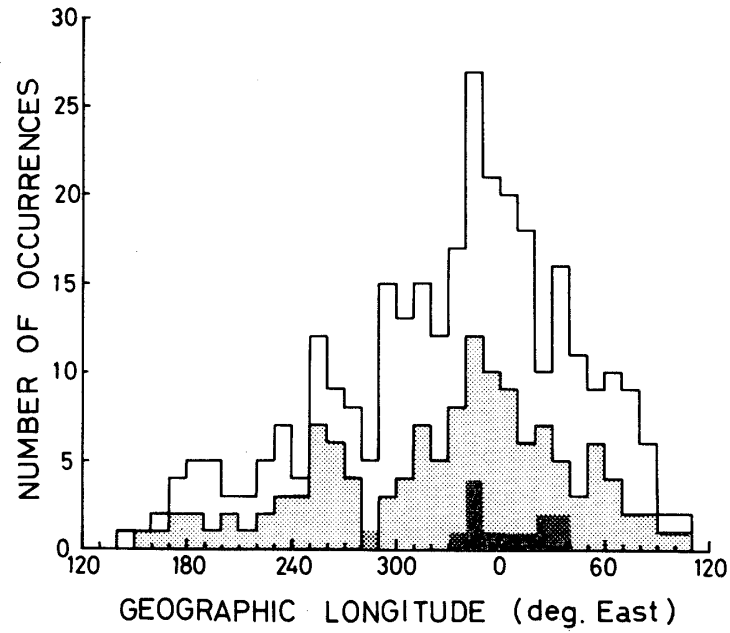
第 11 図 異常観測波形出現の地理緯度変化



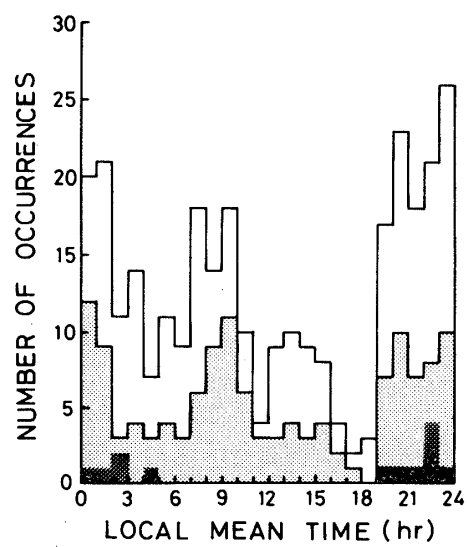
第 12 図 異常観測波形出現の Dip 緯度変化



第 13 図 異常観測波形出現の高度変化



第14図 異常観測波形出現頻度の経度変化



第15図 異常観測波形出現頻度の地方時変化

流の場合を示す。濃灰色の範囲は、電子、イオン電流において特に大きなゆらぎの存在を示したものである。第14図において、出現頻度の特性は、第13図に示したような特徴的な領域に分けられる。またゆらぎの大きな場合は南大西洋地磁気異常域に集中しているのが特徴である。第15図については、07-11時および19-02時の2つの極大が存在し、またゆらぎの大きい場合は夜間にのみ存在することが特徴である。

さて、TAIYOの他の観測器、SXR、TEL、IMPによっても南大西洋地磁気異常域において種々の異常現象が観測されている[46~49]。すなわち、SXRによるこの異常域における、高エネルギー荷電粒子の増加の観測、TELによる電子温度の異常増加、IMPによるシース容量の急変現象の観測が行われた。

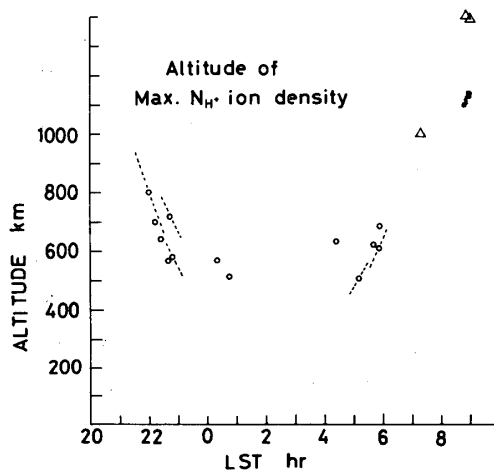
以上の観測を総合すると、南大西洋地磁気異常域においては、昼夜を問わず、高度数100 km以上にわたって高エネルギー荷電粒子降下が存在し、電離層がこれによって擾乱を受け、種々の擾乱現象が惹起されていることが考えられる。

### 3.3. RPAによるその他の観測結果

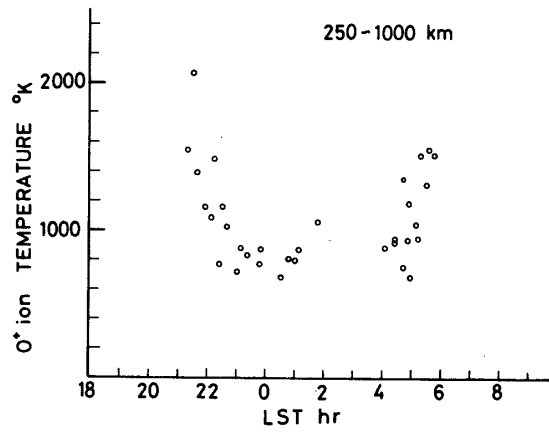
第16図は最大  $H^+$  イオン密度の存在する高度変化を地方時に対して示してある。SXUの観測による日陰は約21時であり、日照開始は約5時である。第16図によると、23時頃から5時頃の間は最大  $H^+$  イオン密度の高度は500-600 kmの間に存在することが判る。この高度は、夜間における  $O^+-H^+$  イオン遷移高度が約500 kmであることに関連して興味がある。なお、第16図において点線は測定的高度範囲を示し、三角は日照時の場合を示した。

第17図は、高度250-1000 kmの間の  $O^+$  イオンの温度変化を地方時に対して示してある。ここで  $O^+$  イオン温度は  $O^+$  イオン電流の測定波形に対して、曲線あてはめ法を用いて算出した。この結果によると、23時頃から5時頃の間は  $800 \pm 100^\circ K$  を示しており、電子温度の測定とほぼ同じ値を示し[48]、等温であることを示唆している。また、日出、日没時において、急激な温度上昇、下降の変化を示していることがわかる。

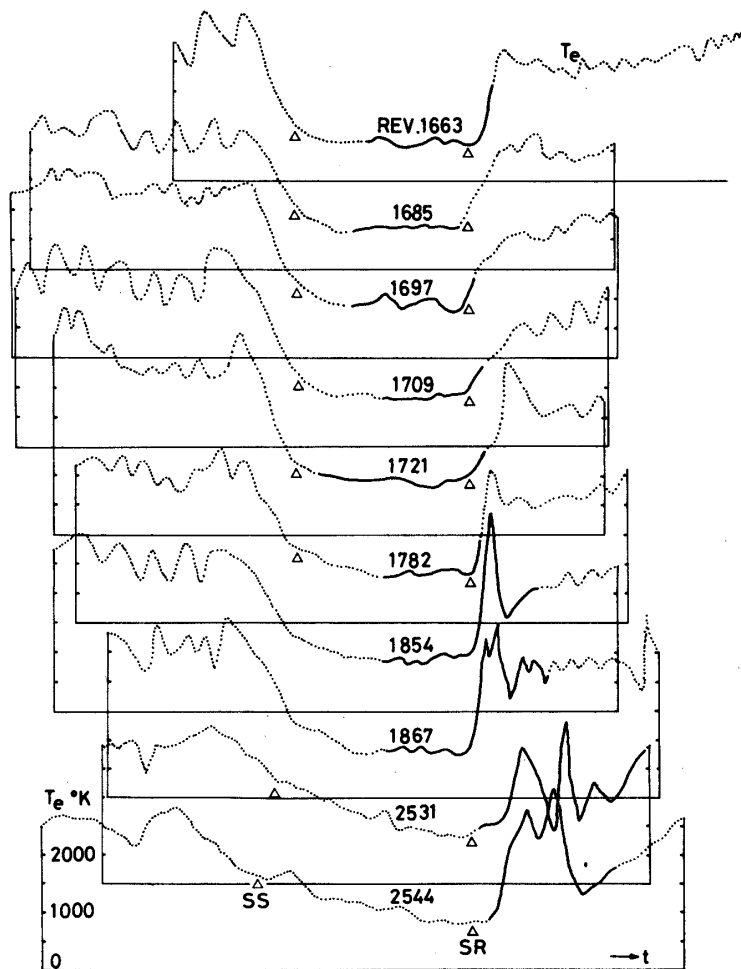
第18図は、TELによって測定された電子温度の測定データと、 $O^+$  イオンおよび  $H^+$  イ



第16図 最大  $H^+$  イオン密度の存在する高度



第17図  $O^+$  イオン温度の変化



第18図 電子温度変化と RPA によるイオン組成との関係



オン密度との関係を示したものである。図中の中央の数字は周回番号を示し、SS は日没、SR は日出を示す。横軸は時刻を任意目盛で示し、縦軸は電子温度で1目盛  $1000^{\circ}\text{K}$  を示す。また、電子温度データは日出を基準にして横軸を揃えて示してある。電子温度を示す曲線において、点線で示された部分は  $\text{H}^+$  イオンが卓越している領域であり、実線の部分は  $\text{O}^+$  イオンが卓越している領域である。第18図に示される如く、 $\text{H}^+$  イオンが卓越しているときは電子温度上昇は概してゆるやかであり、また、上昇範囲は小さい。これに対して  $\text{O}^+$  イオンが卓越しているときは、電子温度の急上昇および温度が極端に大きくなる日出異常の現象が現われている。

#### 4. 結 言

TAIYO 衛星の計画は昭和42年に本格的に始まり、打ち上げられたのは昭和50年2月であり、観測はほぼ丸二年間にわたって行われ、その間衛星搭載データレコーダは正常に作動し、多くの貴重なデータが取得された。本論文に述べた RPA に関しては、最初の衛星搭載であり、また重量、電力、容積、データ伝送等についての制約のため必ずしも満足できる仕様設計ではなかったが、低緯度電離層プラズマの特性について二、三の成果が得られた。すなわち、太陽活動極小期において  $\text{O}^+ - \text{H}^+$  イオン遷移高度の実験式が得られたこと、これについて太陽活動極大期における同種の観測が望まれること、さらにより高緯度までの観測が望まれること、さらに、これらを総合して、理論的考察および理論式の導出が今後の課題である。次に成果の第二は南大西洋地磁気異常域を衛星が飛しょうときは、高度数100 km 以上まで、昼夜を問わず、高エネルギー荷電粒子降下によるプラズマへの影響が存在することを示している。このような低いエネルギー領域 ( $< 10\text{ eV}$ ) におよぶプラズマの非熱成分が殆ど常時存在することを RPA によって観測された。従ってこの観測結果によって、地磁気異常域における電離層プラズマを考察する場合、粒子降下による影響を考慮する必要がある。

最後に、RPA はラングミュア・プローブと同様、プラズマ諸量を計測する標準的なもので、今後ともプラズマ測定器として数多く搭載されると思われるが、TAIYO の実験で、衛星搭載用としての問題点もかなり明らかになり、また衛星相互間の比較検討も数値的により精密に行えるべく、今回得られた観測結果および測定器の問題点等を今後の衛星計画に反映されることを念願する。

#### 謝 辞

第3号科学衛星 TAIYO の計画および実験責任者である東京大学平尾邦雄教授および故等松隆夫教授には、RPA 実験計画、BBM、EM、FM 製作および各種実験、さらにデータ取得から本研究の遂行に関して、長い間、ご鞭撻、ご指導を頂いたことに対して心から感謝の意を表します。また、東北大学大家 寛 教授には IMP データ提供および貴重な論義に対して深甚の意を表します。

さらに、本衛星計画およびデータ取得等に関して東大宇宙航空研究所科学および工学の方々の御支援、電波研究所の電離層衛星研究室および計算機関係の方々の御支援に対して感謝

します。最後に本測定器の製作・試験を担当された松下通信工業(株)の方々に対して感謝します。

1978年11月2日新設部(科学)

### 参 考 文 献

- [1] Vernov, S. N., E. V. Gorchakov, P. I. Shavrin and K. N. Sharvina, Radiation belts in the region of the South-Atlantic magnetic anomaly, *Space Sci. Rev.*, 7, 490–533, 1967.
- [2] Gledhill, J. A., Aeronomic effects of the South Atlantic anomaly, *Rev. Geophys. Space Phys.*, 14, 173–187, 1976.
- [3] 宮崎, 森, 正イオンの観測(TPI), 科学衛星 SRATS 中間報告書, pp. 35–45, 東大宇宙研, 1968年7月.
- [4] 平尾, 宮崎, SRATS 衛星におけるプラズマ測定 of 機上データ処理, 宇宙放射線シンポジウム, pp. 62–67, 1970年2月.
- [5] 宮崎, 森, 正イオン温度・密度の観測, M-3C-2 実験計画書, pp. 295–303, 東大宇宙研, 1975年2月.
- [6] 宮崎, 森, 正イオン温度・密度の観測, M-3C-2 実験報告書, pp. 331–333, 東大宇宙研, 1975年2月.
- [7] 宮崎, 第3号科学衛星「たいよう」速報 TPI, 科学衛星シンポジウム, pp. 3–5, 東大宇宙研, 1975年4月.
- [8] 宮崎, 正イオン温度・密度の観測(TPI), 第3号科学衛星たいようによる科学観測(速報), pp. 24–27, 東大宇宙研, 1975年4月.
- [9] 宮崎, TAIYO による RPA 観測結果, 昭和50年度宇宙観測シンポジウム, pp. 315–318, 東大宇宙研, 1975年6月.
- [10] 宮崎, 巖本, 森, 小川, 水津, 第3号科学衛星「たいよう」による電離層プラズマの観測, 電波研究所第173回研究談話会資料, 1975年8月.
- [11] 宮崎, “TAIYO” による RPA 観測結果, 第58回日本地球電磁気学会予稿集, p. 35, 1975年10月.
- [12] 宮崎, 巖本, 森, 小川, 水津, “たいよう” 衛星による電離層プラズマの観測結果, 電波研究所第49回研究発表会予稿集, pp. 33–47, 1975年11月.
- [13] Miyazaki, S., The retarding potential analyzer aboard the satellite TAIYO, *J. Geomag. Geoelectr.*, 27, 311–320, 1975.
- [14] 宮崎, “TAIYO” RPA による上部電離層の観測結果, 昭和51年度宇宙観測シンポジウム, pp. 28–32, 東大宇宙研, 1976年6月.
- [15] 宮崎, TAIYO-RPA によって観測された  $O^+ - H^+$  ion transition height の特性, 第60回日本地球電磁気学会予稿集, p. 97, 1976年10月.
- [16] Miyazaki, S., Ion transition height characteristics in the topside ionosphere by the satellite TAIYO observation, Paper presented to symposium on AEROS results and co-operative investigations, Bonn, November, 1976.
- [17] 宮崎, “たいよう” RPA によって観測された  $O^+ - H^+$  ion transition height の特性, 電離圏

- 研究会, pp. 135-140, 東大宇宙研, 1976年12月.
- [18] 宮崎, TAIYO 衛星によるイオン密度温度観測結果, 第62回日本地球電磁気学会予稿集, p. 132, 1977年11月.
- [19] Miyazaki, S., The retarding ion trap experiment by TAIYO, Proceedings of the ISAS symposium on the ionospheric research - Scientific results from AEROS-TAIYO satellite missions -, pp. 76-79, ISAS, University of Tokyo, March 1978.
- [20] 宮崎, TAIYO 衛星によって観測された上部電離層の二, 三の特性, 昭和53年度宇宙観測シンポジウム, 東大宇宙研, 1978年7月.
- [21] 宮崎, 南大西洋地磁気異常領域上の電離層プラズマの特性-TAIYO-PRAによる観測結果一, 電波研究所第203回研究談話会資料, 1978年8月.
- [22] 宮崎, TAIYO-RPAによって観測された South Atlantic anomaly region における電離層プラズマの特性, 第64回日本地球電磁気学会講演, 1978年10月.
- [23] Taylor, H. A. Jr., H. C. Brinton, M. W. Pharo III and M. K. Rahman, Thermal ions in the exosphere; evidence of solar and geomagnetic control, *J. Geophys. Res.*, **73**, 5521-5533, 1968.
- [24] Bramley, E. N. and M. Peart, Diffusion and electromagnetic drift in the equatorial  $F_2$  region, *J. Geophys. Res.*, **69**, 4609-4616, 1964.
- [25] Hanson, W. B. and R. J. Moffett, Ionization transport effects in the equatorial  $F$  region, *J. Geophys. Res.*, **71** 5559-5572, 1966.
- [26] Anderson, D. N., A theoretical study of the ionospheric  $F$  region equatorial anomaly - I. Theory, *Planet. Space Sci.*, **21**, 409-419, 1973a.
- [27] Anderson, D. N., A theoretical study of the ionospheric  $F$  region equatorial anomaly - II. Results in the American and Asian sectors, *Planet. Space Sci.*, **21**, 421-442, 1973b.
- [28] Taylor, H. A. Jr., H. C. Brinton and C. R. Smith, Positive ion composition in the magnetosphere obtained from the OGO-A satellite, *J. Geophys. Res.*, **70** 5769-5781, 1965.
- [29] Brinton, H. C., H. G. Mayr, R. A. Picket and H. A. Taylor, Jr., The effect of atmospheric winds on the  $O^+ - H^+$  transition level, *Space Res.*, **10**, 652-662, 1970.
- [30] Thomas, J. O., M. J. Rycroft, L. Colin and K. L. Chan, The topside ionosphere II, Experimental results from the Alouette I satellite, in *Electron Density Profiles in Ionosphere and Exosphere*, edited by J. Frihagen, pp. 322-357, North-Holland Publishing Company, Amsterdam, 1966.
- [31] Brace, L. H., B. M. Reddy and H. G. Mayr, Global behavior of the ionosphere at 1000 km altitudes, *J. Geophys. Res.*, **72**, 265-284, 1967.
- [32] Angerami, J. J. and J. O. Thomas, Studies of planetary atmosphere, 1, The distribution of electrons and ions in the earth's exosphere, *J. Geophys. Res.*, **69**, 4537-4560, 1964.
- [33] Chandra, S., B. E. Troy, Jr., J. L. Donley and R. E. Bourdeau, OGO 4 observations of ion composition and temperatures in the topside ionosphere, *J. Geophys. Res.*, **75**, 3867-3878, 1970.

- [34] Dachev, Ts., D. Teodosiev, A. Bochev and Yu. Matveichuk, Asymmetry in planetary distribution of ion density measured by Intercosmos-2 and 8 satellites, Paper presented to XIX COSPAR plenary meeting, Philadelphia, Pa., U. S. A., June 1976.
- [35] Yonezawa, T., Theory of formation of the ionosphere, *Space Sci. Rev.*, **5**, 3–56, 1966.
- [36] Titheridge, J. E., Ion transition heights from topside electron density profiles, *Planet. Space Sci.*, **24**, 229–245, 1976.
- [37] Trivedi, N. B., D. B. Rai, I. M. Martin and J. M. Da Costa, Particle precipitation in Brazilian geomagnetic anomaly during magnetic storms, *Planet. Space Sci.*, **21**, 1699–1704, 1973.
- [38] Abdu, M. A., S. Ananthkrishnan, E. F. Coutinho, B. A. Krishnan and E. M. S. Reis, Azimuthal drift precipitation of electrons into the South Atlantic geomagnetic anomaly during an sc magnetic storm, *J. Geophys. Res.*, **78**, 5830–5836, 1973.
- [39] Torr, D. G., M. R. Torr, J. C. G. Walker and R. A. Hoffman, Particle precipitation in the South Atlantic geomagnetic anomaly, *Planet. Space Sci.*, **23**, 15–26, 1975.
- [40] Sharp, G. W., W. L. Imhof and R. G. Johnson, Direct evidence for corpuscular radiation effects on the ionosphere in the southern anomaly region, *Space Res.* VI, 203–216, 1966.
- [41] King, J. W., P. A. Smith, K. C. Reed and C. Seabrook, Topside sounder studies of corpuscular radiation effects on the ionosphere during quiet and disturbed conditions, *J. Atmos. Terr. Phys.*, **29**, 1327–1336, 1967.
- [42] Katz, A. H., Electron density variations in the southern hemisphere topside ionosphere during a magnetic storm, *J. Atmos. Terr. Phys.*, **31**, 463–468, 1969.
- [43] Gough, M. P., Particle precipitation in the South Atlantic anomaly deduced from VLF propagation path measurements, *J. Atmos. Terr. Phys.*, **37**, 1379–1383, 1975.
- [44] Kutiev, I., Ts. Dachev and L. Bankov, Irregularities recorded by ion traps at about 1000 km height, Paper presented to XIX COSPAR plenary meeting, Philadelphia, Pa., U. S. A., June 1976.
- [45] Basu, S. and M. C. Kelly, Review of equatorial scintillation phenomena in light of recent developments in the theory and measurement of equatorial irregularities, *J. Atmos. Terr. Phys.*, **39**, 1229–1242, 1977.
- [46] 平尾, 松岡, 永井, “南米上空電離層高度における‘たいよう’搭載太陽X線カウンタの異常カウント”, 第58回日本地球電磁気学会予稿集, p. 37, 1975年10月.
- [47] Matsuoka, M., The southern hemisphere anomaly observed by TAIYO, Proceedings of the ISAS symposium on the ionospheric research – Scientific results from AEROS-TAIYO satellite missions –, ISAS, University of Tokyo, 61–64, March 1978.
- [48] Hirao, K. and K. Oyama, Local characteristics of the electron temperature profile, *J. Geomag. Geoelectr.*, **28**, 507–514, 1976.
- [49] Oya, H., The southern hemisphere anomaly observed by TAIYO: Plasma results, Proceedings of the ISAS symposium on the ionospheric research – Scientific results from AEROS-TAIYO satellite missions –, ISAS, University of Tokyo, 54–60, March 1978.