

南極ロケット S-210 JA-24, 25 号機  
による電離層電場の観測

小川俊雄\*・森田 護\*・福西 浩\*\*・松尾敏郎\*\*\*・芳野赳夫\*\*\*\*

Measurements of Ionospheric Electric Fields with Antarctic  
Sounding Rockets S-210JA-24 and 25

TOSHIO OGAWA\*, MAMORU MORITA\*, HIROSHI FUKUNISHI\*\*\*,  
TOSHIRO MATSUO\*\*\* and TAKEO YOSHINO\*\*\*\*

**Abstract:** DC and AC (8–110 Hz) electric fields were observed in the auroral ionosphere up to 120 km with spherical double probes on board the sounding rockets S-210JA-24 and 25 at Syowa Station. The rockets passed close to auroras. The DC electric fields observed during substorms at magnetic midnight are composed of the height-independent electric field of about 20 mV/m and the local electric field of up to 30 mV/m. The former electric field is the large scale electric field generally existing in the auroral ionosphere, and the latter local electric field will be the effect of space charges produced by precipitating auroral particles, peaking at the heights between 100–115 km.

Strong AC noises were observed in the limited altitude range of 96–112 km during both the ascent and the descent. The noise frequencies varied with altitude and were ranged between 20 and higher than 110 Hz. The noises appeared in the direction perpendicular to the DC electric field. These characteristics suggest that the noises might be generated by plasma instability in the ionospheric current layer.

**要旨:** 昭和基地から打ち上げられた南極ロケット S-210 JA-24, 25号機を用いて、約 120 km までの電離層電場の DC および AC 成分 (8–110 Hz) を観測した。ロケットはオーロラの縁を通過した磁気地方時真夜中付近で観測された DC 電場は、高さによらない約 20 mV/m の電場と、30 mV/m にも達する局所的電

\* 京都大学理学部地球物理学教室. Geophysical Institute, Kyoto University, Kitashirakawa Oiwake-cho, Sakyo-ku, Kyoto 606.

\*\* 国立極地研究所. National Institute of Polar Research, 9–10, Kaga-1 chome, Itabashi-ku, Tokyo 173.

\*\*\* 京都大学工学部電気工学第二教室. Department of Electrical Engineering II, Faculty of Engineering, Kyoto University, Yoshida-honmachi, Sakyo-ku, Kyoto 606.

\*\*\*\* 電気通信大学電波物理研究室. Radio Physics Laboratory, University of Electro-Communications, Chofu-shi, Tokyo 182

場から成る。前者はオーロラ帯電離層に一般的に存在する大規模電場である。後者は降下オーロラ粒子による空間電荷の影響と思われる電場で、100-115 km の高度に存在する。

ロケットの上昇下降時とも、高さ 96 から 112 km の局限された高度領域に、強い AC ノイズが観測された。ノイズの周波数は高さとともに変わるが、20-110 Hz 以上に及ぶ。ノイズは DC 電場と直交する方向に偏波している。このようなノイズの原因は、電離層内の電流層におけるプラズマ不安定によるものと思われる。

## 1. 序

オーロラ帯の電場は、ロケット、気球、人工衛星、バリウム電離雲、IS レーダー等の方法で観測されている。このうちロケットによる電離層電場の観測は、他の方法に比べてより直接的で、電場の微細分布を観測するのに適する。特に昭和基地における S-210 型ロケットによる観測は、小型ロケットであるため、電離層下部におけるオーロラ粒子停止領域の観測に適している。

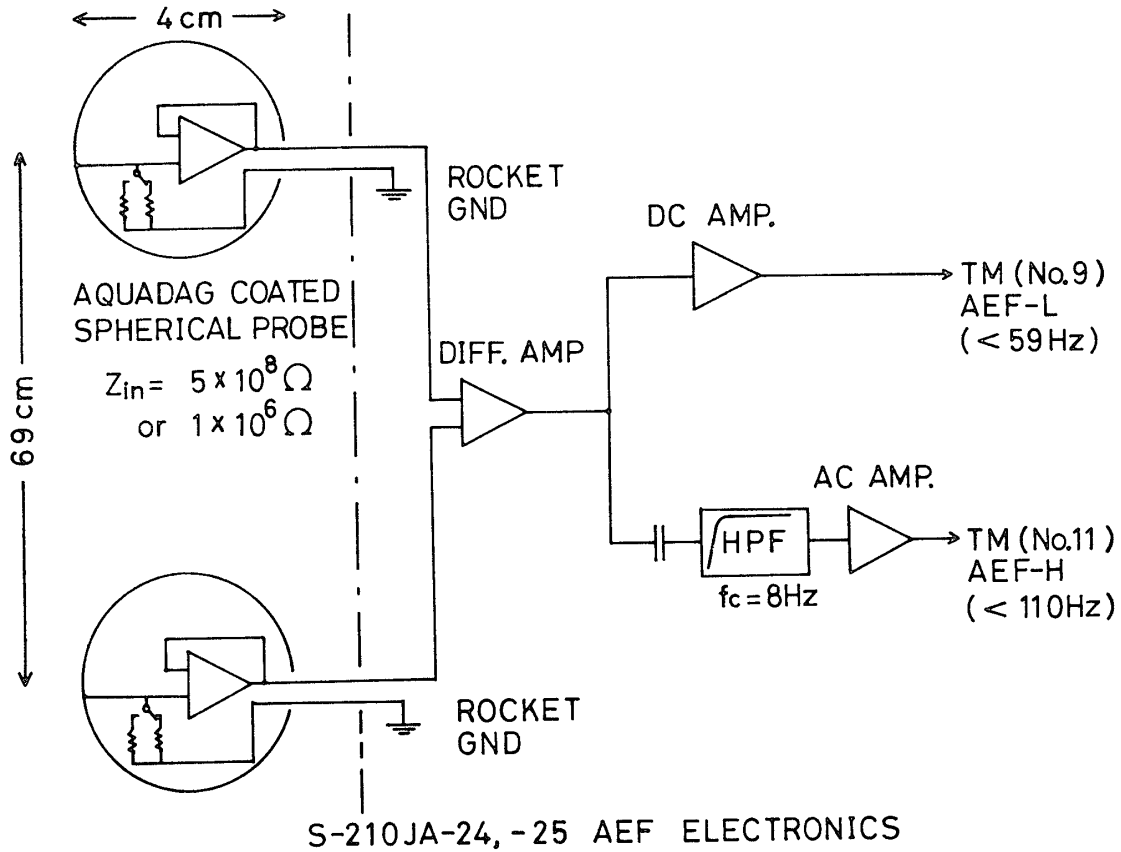
S-210JA-24, 25号機は、オーロラ発生時の電離層中の電磁場の観測を目的として打ち上げられたもので、ここではダブルプローブによる DC および AC (8-110 Hz) 電場の測定結果について報告する。

## 2. 測定装置

プリアンプを内蔵した直径 4 cm の一対の球プローブをロケット軸に垂直に展開してダブルプローブとして用いた。プローブ間の距離は 69 cm である。球プローブの表面は金メッキの上にアクアダックコーティングがほどこしてある。プリアンプの入力抵抗は、 $5 \times 10^8 \Omega$  と  $1 \times 10^8 \Omega$  の2種類を2秒毎に切り換えた。ダブルプローブにかかる電位差はロケット本体内の差動アンプで検出され、一方は DC アンプ (ゲイン 50 dB) を通し、他方はしゅ断周波数が 8 Hz のハイパスフィルターを通した後、AC アンプ (ゲイン 90 dB) で増幅した。測定できる周波数の上限は、テレメータの周波数応答 (110 Hz) で決まる。このようにして電場の DC 成分と AC (8-110 Hz) 成分を測定した。以上の電場測定装置の概略図を図 1 に示す。

## 3. 観 測

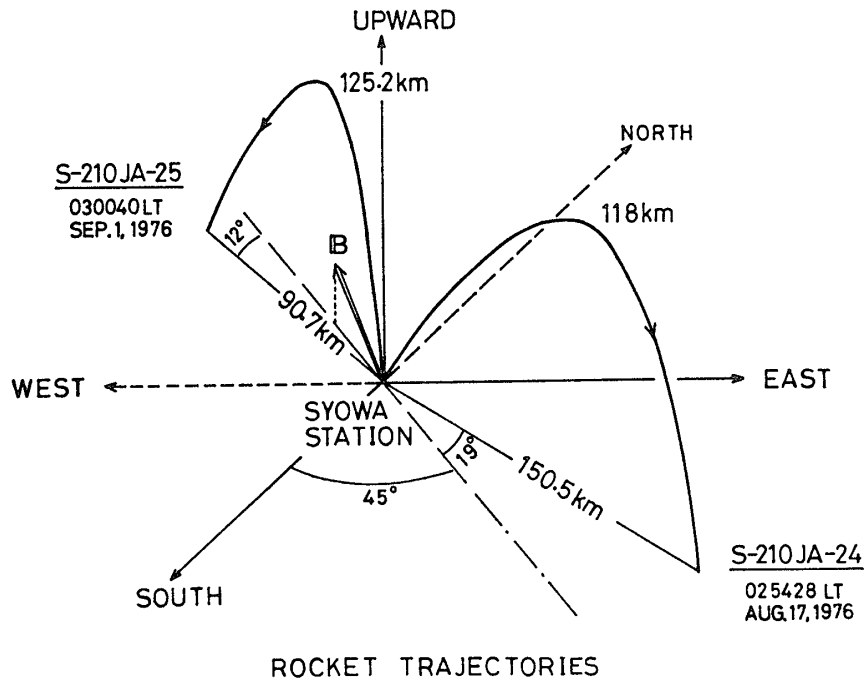
S-210JA-24 号機は1976年 8月17日02時54分28秒 EST, 昭和基地 (地理座標 69.00°S,



S-210JA-24, -25 AEF ELECTRONICS

図 1 DC および AC 電場測定用ダブルプローブ電子回路

Fig. 1. Electronic system of the double probes for DC and AC electric field measurements



ROCKET TRAJECTORIES

図 2 S-210JA-24, 25 号機発射方位, 到達高度と飛しょう距離

Fig. 2. Rocket trajectories for S-210JA-24 and 25; azimuths, altitudes and distances

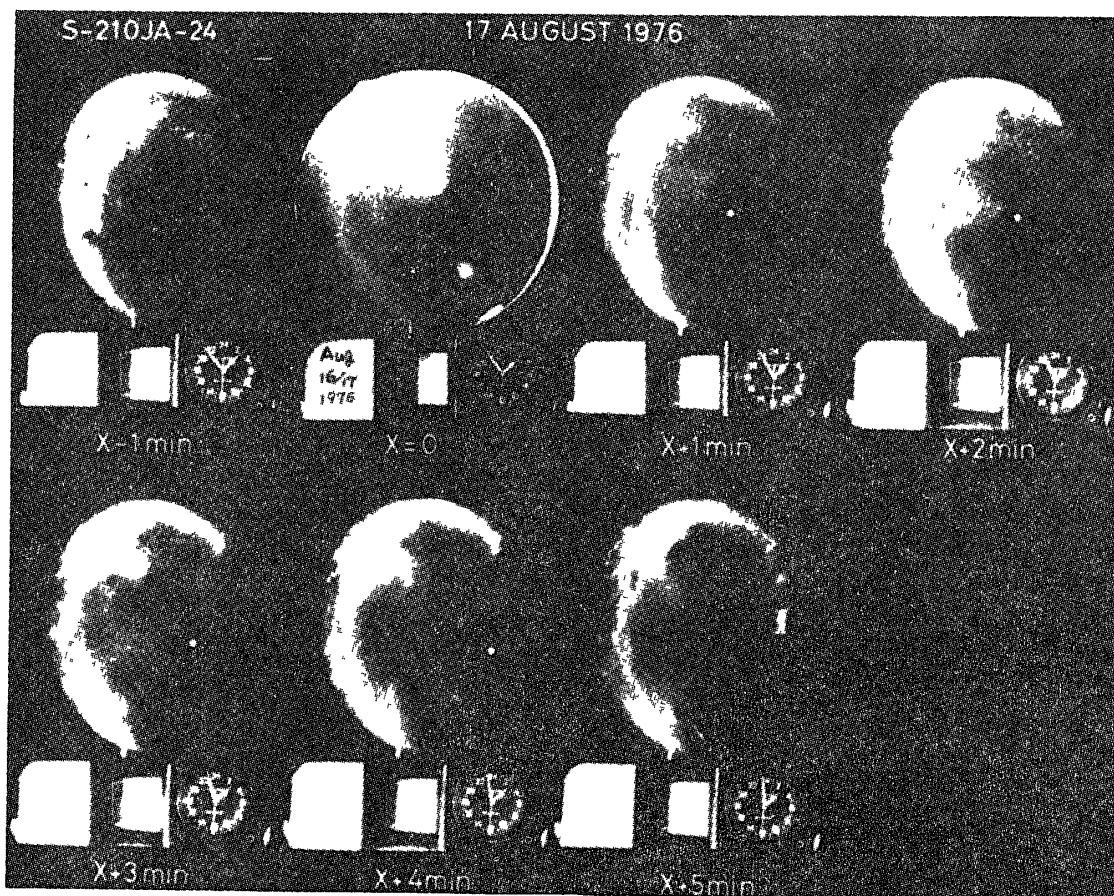


図3 S-210JA-24号機発射時の全天カメラによる連続写真 X=0は発射時を示す 左方が北、上方が西。

Fig 3 A series of photographs taken by all sky camera when the electric field measurement was made with S-210JA-24 The rocket was shot at X=0 The left side is north and the upper side is west

39.58°E, 地磁気座標 69.81°S, 78 51°E) から, 上下角 82°, 方位角 135°E で, 磁力線 (315°E) と反対方向に打ち上げられ, 最高到達高度 118 km に達し, 飛行時間 324 秒で 150.5 km の水平距離を飛行した。

S-210JA-25号機は1976年9月1日, 03時00分40秒 EST に上下角 82°, 方位角 315°で磁力線と同方向に打ち上げられ, 最高到達高度 125.2 km に達し, 飛行時間 340 秒間に水平距離 90.7 km を飛行した。図2にこれらの飛しょうテータを示す

24号機打ち上げ (X=0) の1分前から, 1分毎に昭和基地で撮影した全天カメラの写真を図3に示す。写真中の白点が, その時刻におけるロケットの飛しょう位置を示す 図3によれば, diffuse型オーロラが天頂の北側に存在し, ロケットはその南端をかすめて通過した。

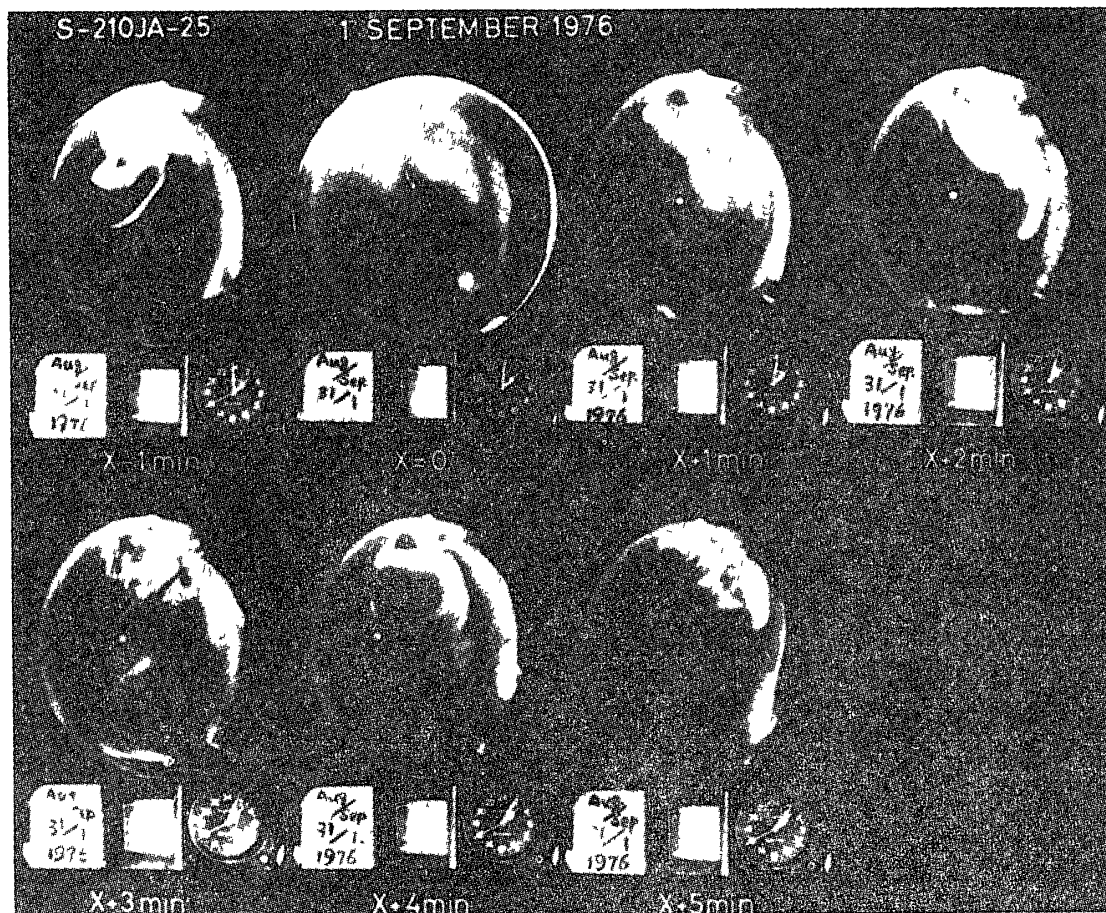


図4 図3と同じ。ただしS-210JA-25号機の場合  
 Fig. 4. Same as Fig 3 (data from S-210JA-25)

25号機打ち上げ時の同様の全天カメラの写真を図4に示す。この時は、はっきりしたアーク状のオーロラが西から南東に向かって伸びており、ロケット飛しょう時間中複雑に動いた。ロケットはオーロラの北側を通過した。

## 4. 観測結果

### 4.1. 観測データと解析法

S-210JA-24, 25号機からのテレメータ出力の記録例を、それぞれ図5の上と下に示す。それぞれ図の上から、DC電場、AC電場と飛行時間を示し、対応する高度を付記した。DC, ACともに、2秒毎の変化は入力抵抗の切り換えによるもので、DC電場の解析には $5 \times 10^8 \Omega$ の部分のデータを用いた。DC電場の信号はロケットのスピンのより正弦状波形となっている。24号機の場合、83秒以前には正弦波が零線よりずれている(オフセッ

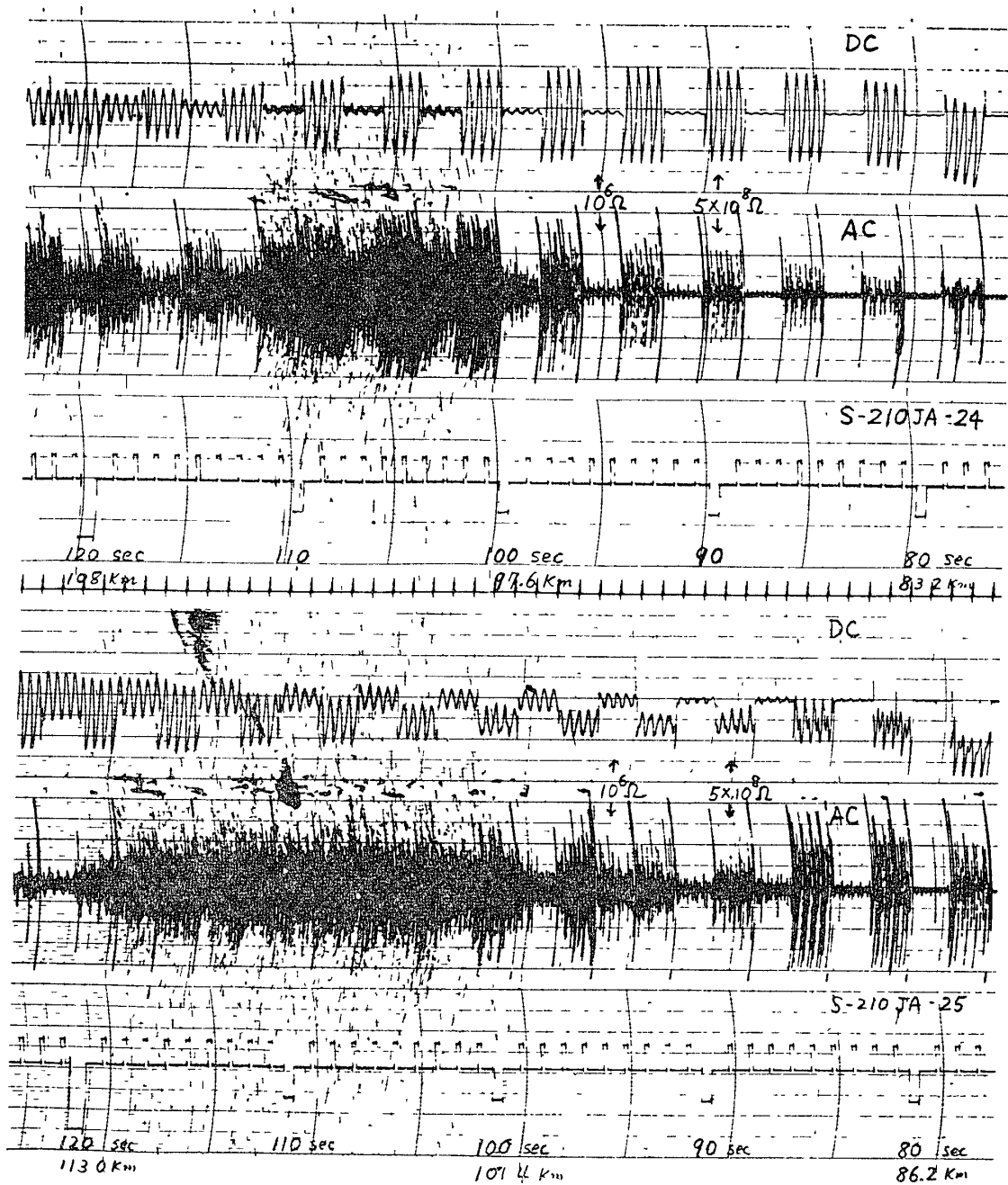


図5 S-210JA-24, 25号機で観測された電場のDCおよびAC成分の記録例。入力抵抗は2秒毎に $5 \times 10^8 \Omega$ と $1 \times 10^6 \Omega$ に切り換えた。

Fig. 5. Examples of record of DC and AC electric fields observed with S-210JA-24 and 25.  $5 \times 10^8 \Omega$  and  $1 \times 10^6 \Omega$  were used every 2 seconds alternately for the input resistances.

ト)が、これは64秒にアンテナが展開して、プローブがプラズマ中に露出され、一時的に不安定となったものが回復してゆく状態を示している。AC成分は約98秒から120秒、高度にして約96 kmから112 kmに局部的に強いACノイズが観測された。25号機の場合

合もほぼ 24 号機と同じである DC オフセットは 97 秒以後では安定している. 90 秒以前には波形の歪みがみられるが, これはプローブ展開直後の不安定によるものである AC 成分は 24 号機と同様に 96 km から 112 km に強いノイズが観測された.

このような観測データを次のようにして解析する. いま地球に固定した座標系でみた電場を  $\mathbf{E}$  とすると, 速度  $\mathbf{V}$  で運動するロケットに固定した座標系で観測される電場  $\mathbf{E}_R$  は,

$$\mathbf{E}_R = \mathbf{E} + \mathbf{V} \times \mathbf{B} \quad (1)$$

で表される. ここで  $\mathbf{B}$  は観測点における磁場ベクトルである. 観測はスピン面内で行われるため, 実際に観測される電場  $\mathbf{E}_R'$  は, ロケットの軸ベクトルを  $\mathbf{R}$  とすると,

$$\mathbf{E}_R' = \mathbf{E}_R - (\mathbf{R} \cdot \mathbf{E}_R) \mathbf{R} \quad (2)$$

$$= \{\mathbf{E} - (\mathbf{R} \cdot \mathbf{E}) \mathbf{R}\} + \{\mathbf{V} \times \mathbf{B} - \mathbf{R} \cdot (\mathbf{V} \times \mathbf{B}) \mathbf{R}\} \quad (3)$$

$$= \mathbf{E}' + (\mathbf{V} \times \mathbf{B})' \quad (4)$$

で示される. ここに ' を付けた量は ロケット軸ベクトルに垂直な面への投影を表す. この電場をスピン面によって変調した信号として観測する. こうして観測される信号  $V$  は,

$$V = |\mathbf{E}_R'| \sin(\omega t + \delta) \quad (5)$$

で与えられる. ここに  $\omega$  はロケットのスピン角周波数,  $\delta$  はスピン面上での基準方位からの位相角である. 角析方法としては, 式 (5) の  $|\mathbf{E}_R'|$  と  $\delta$  を読みとり,  $\mathbf{R}$  を知ることで, 式 (4) または式 (3) から, 地上座標系でみた電場  $\mathbf{E}$  のスピン面への投影を求めることになる. 3次元電場ベクトルを求めるには他にもう1つ姿勢に関する情報が必要であるが, それがない場合は, たとえば磁力線方向の電場の値を仮定することによって得られる.

実際の観測信号 ( $V$ ) に歪みがあるときは, 誤差を少なくする目的で, スピン変調された信号を最小二乗法を用いて, スピン周期をもつ正弦波形で近似 (sine fitting) したものをデータとして用いた. また, ロケット速度  $\mathbf{V}$  はレータ追跡によって与えられ,  $\mathbf{B}$  は昭和基地の地上磁場を絶対値について高度補正したものをを用いた.

#### 4.2. ロケット座標系における DC 電場

図6は S-210JA-24号機によって得られたロケットスピン面での電場の値, 方向およびオフセット値を飛行時間と高度についてプロットしたものである.  $\mathbf{V} \times \mathbf{B}$  電場をスピン面

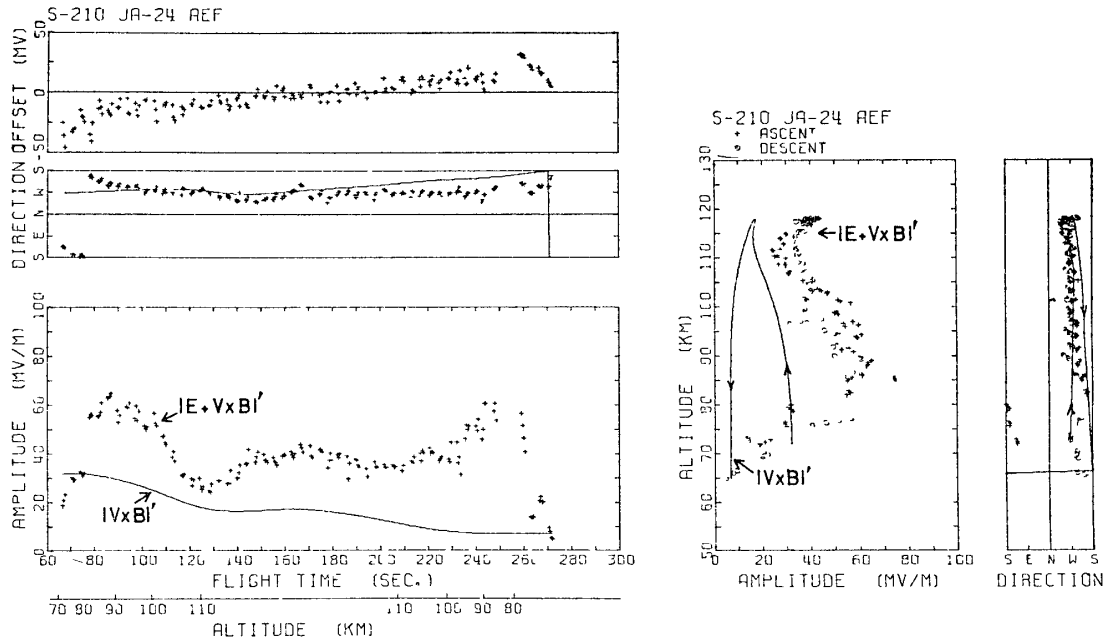


図 6 S-210JA-24号機のアンテナスピニング面において観測された電場  $|E+V \times B|'$  と計算された  $|V \times B|'$  の時間および高度分布.

Fig. 6. Time and altitude profiles of observed electric field  $|E+V \times B|'$  and calculated field  $|V \times B|'$  on the antenna spinning plane for S-210JA-24.

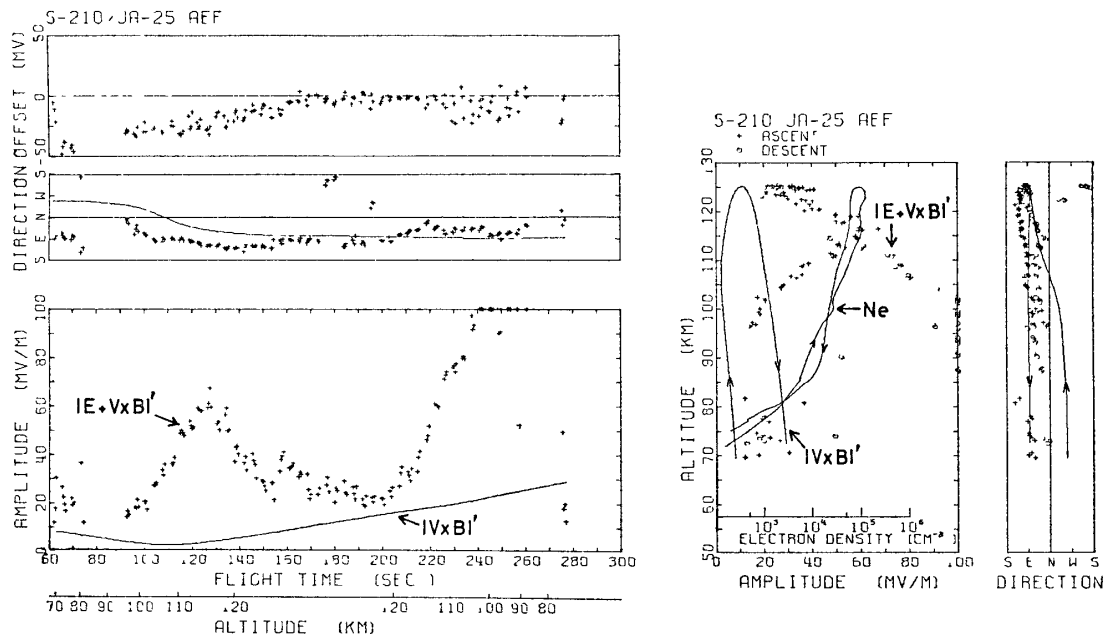


図 7 図 6 と同じ ただし S-210JA-25号機の場合で、電子密度の高度分布も示す.

Fig. 7. Same as Fig 6 (data from S-210JA-25) The electron density profile is also included.



内に投影したものを同時に示す。オフセット値はアンテナ展開直後の約  $-30 \text{ mV}$  から、約 20 秒間で約  $-10 \text{ mV}$  に減少してほぼ安定になったことがわかる。24号機は磁力線と反対方向に打ち上げたため、上昇時の  $|\mathbf{V} \times \mathbf{B}'|$  は  $20\text{--}30 \text{ mV/m}$  の大きい値となっている。スピン面内の電場の値は  $30\text{--}60 \text{ mV/m}$  である。

図 7 は 25 号機によって得られた同様の値である。ここでもオフセット値は徐々に減少しているが、安定になるまでに約 90 秒を要している。25 号機は磁力線に沿って打ち上げられたため、上昇時の  $\mathbf{V} \times \mathbf{B}$  が数  $\text{mV/m}$  以下におさえられており、それだけ電場観測の精度はよくなっている。スピン面内の電場は飛行時間 125 秒、高度  $116 \text{ km}$  で  $60 \text{ mV/m}$  に達する極大を示し、150–210 秒の間は  $20\text{--}30 \text{ mV/m}$  の値を示している。210 秒以後は電場が大きくなり、240 秒では測定の上限である  $100 \text{ mV/m}$  をこえた。この原因は明らかでない。高度プロットの図に、25 号機に同時に搭載された電子密度測定器の観測結果を示す。電場と電子密度の高度分布を比較すると、両者のピークが同じ高度付近に現れることがわかる。

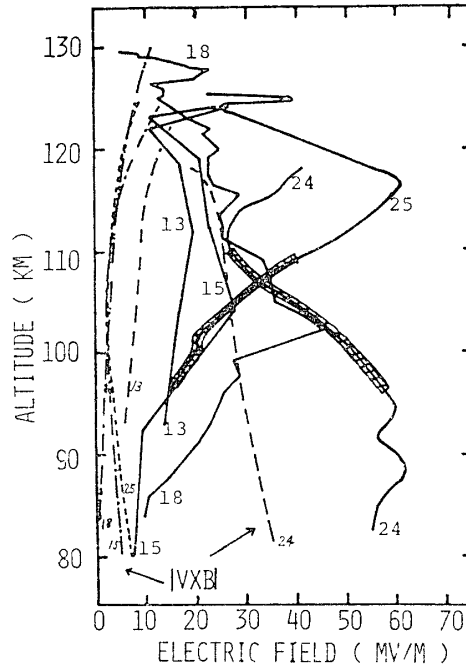


図 8 S-210JA-13, 15, 18, 24, 25 号機で観測された、上昇時のアンテナスピン面での電場  $|\mathbf{E} + \mathbf{V} \times \mathbf{B}'|$  と  $|\mathbf{V} \times \mathbf{B}'|$ 。24, 25 号機の斜線は AC ノイズが観測された高度を示す

Fig 8 Altitude profiles of observed electric fields  $|\mathbf{E} + \mathbf{V} \times \mathbf{B}'|$  and calculated  $|\mathbf{V} \times \mathbf{B}'|$  on the antenna spinning plane during the ascent of S-210JA-13, 15, 18, 24 and 25. AC noises were observed in the hatched altitude range for S-210JA-24 and 25

スピン面内での電場の値から、電場の特徴について大まかな議論をすることができる。昭和基地でこれまでに打ち上げられた電磁場観測用ロケット6機のうち5機のロケット(13, 15, 18, 24, 25号機)の結果から、スピン面での電場の大きさ  $|E + V \times B|'$  と  $|V \times B|'$  の上昇時の値を図8に示す。図中ハッチした部分は、ACノイズの観測された部分である。AC電場の観測は24, 25号機以外では行われていない。実線以外は  $|V \times B|'$  の値である。24号機以外はすべて磁力線に沿って打ち上げられており、 $|V \times B|'$  の値は小さいので、スピン面での全電場から  $|V \times B|'$  を差し引いた値はほぼ地球座標系での電場とみてよい。これから電場の高度分布について次のような特徴があることがわかる。

(1) 高度によらない成分約 20 mV/m が存在する。

(2) 各号機ともそれぞれ1つないし2つのピークをもつ。このような局所的な電場の大きさは 30 mV/m にも達する場合があります、その大きさと出現高度はそれぞれ異なる

各ロケット打ち上げ時の昭和基地における地上磁場変化と、観測された電場の大きさの関係は表1のようになり、両者の関係が単純でないことがわかる。

表1 南極ロケットで観測された電場の値と昭和基地での地磁気水平分力の変化

Table 1. Electric fields observed with the sounding rockets and the geomagnetic field variations (horizontal component) observed at Syowa Station.

Rocket code	$\Delta H$ ( $\gamma$ )	E typical (mV/m)	E peak (mV/m)
S-210JA-13	-350	15	26
S-210JA-15	-200	17	27
S-210JA-18	-50	25	45
S-210JA-24	-200	40	61
S-210JA-25	-50	35	60

#### 4.3. 地上座標系における DC 電場

ロケットスピン面での電場から、地上座標系における電場を求める際には、ロケットの姿勢がわかっていなければならない。24, 25号機では姿勢検出用として2成分磁力計(GAHとGAZ)と、月に対するロケットの相対姿勢を知る月センサーが搭載されていた。しかし月センサーからは合理的な結果が得られなかったため、次のような方法で姿勢を仮定せざるを得なかった。図9に示す天球面上で、 $Z$  は天頂、 $B$  は磁力線ベクトル、 $L$  は打ち上げ時のロケットの軸ベクトル、 $R$  は飛しょう中のロケット軸ベクトル、 $P$  はロケット

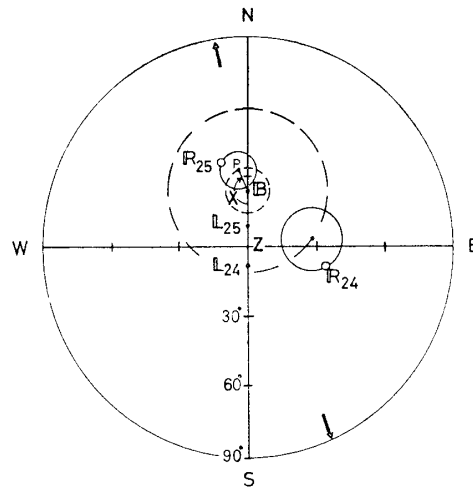


図 9 地平面上への天球の投影面上に示した地磁気の方角とロケットの姿勢 記号については本文参照

Fig. 9 Diagram showing the geomagnetic field direction and rocket attitude in the projection of celestial sphere on the horizontal plane

の歳差運動の中心であるとする。添字はそれぞれ、24号機か25号機のいずれかを表す。GA センサーのデータから、24, 25号機とも飛行中かなり安定した歳差運動をしていたことがわかっており、その半角および中心軸と磁場のなす角が決定される。図中点線で画かれた円は可能な歳差運動の中心軸の位置である。B と Z を結ぶ線からの回転角 X をパラメータとして中心点 P の位置を仮定することによって、刻々の軸ヘクトル R の位置を計算した。24, 25号機とも X を 30° 刻みにとって地上座標系での電場を計算した。その際磁力線方向の電場 EP を 0, -10 mV/m, +10 mV/m と仮定する3つの場合についてそれぞれ計算した。それらの結果を、24号機について図 10 に、25号機について図 11 に示した。それぞれの場合について電場の大きさと方向を飛行時間と高度についてプロットしてある。計算結果は、磁力線方向の電場 EP の違いによってプロフィールに顕著な相違は現れなかった。図 9 に示したロケット落下地点の方向から考えて、24号機については X が 300°, 330°, 0° のいずれかであった可能性が、また 25号機については X=120°, 150°, 180° のいずれかであった可能性が一番高い。実際、後で述べる磁場変化との比較等から、24号機については X=300°, 25号機については X=150° の場合が最も確からしいと推論される。

24号機の場合電場の値は、上昇時 20-50 mV/m で、下降時には 90 km の高度に 70 mV/m のピークが現れた。25号機の場合には、上昇時に明らかな 70 mV/m の電場のピ

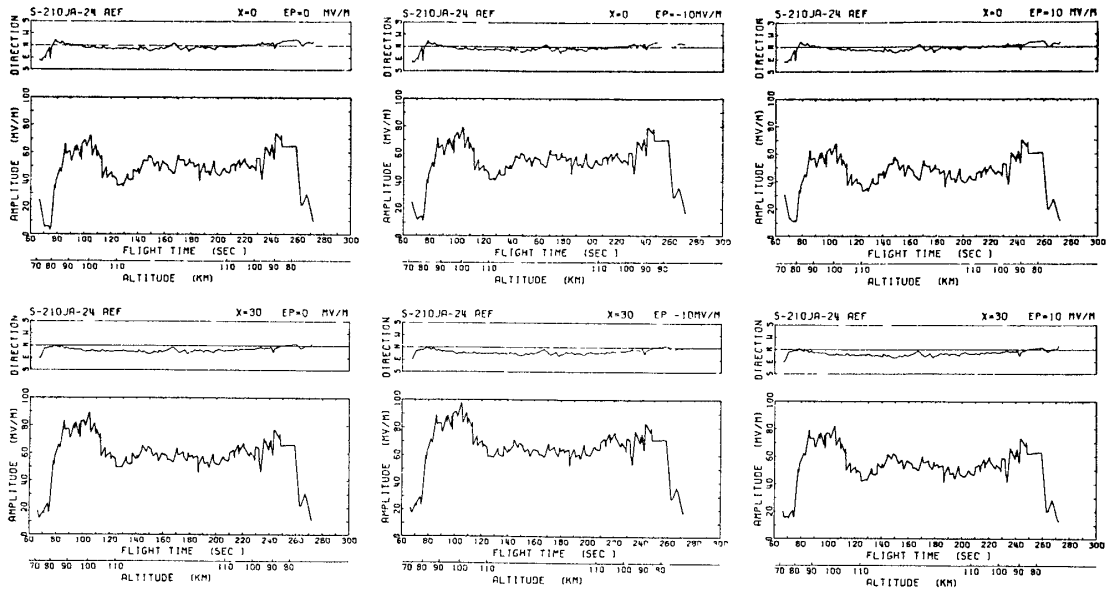


図 10a S-210JA-24 号機の観測値について、 $X=0^\circ$  と  $30^\circ$  (図9参照) をパラメーターとして計算した地上座標系での電場。同一の  $X$  に対して、磁力線に平行な電場  $EP=0$ ,  $-10\text{ mV/m}$ ,  $+10\text{ mV/m}$  を仮定した3つの場合について計算した。

Fig 10a. Estimated electric field profiles for  $X=0^\circ$  and  $30^\circ$  in the earth-fixed coordinate for the data from S-210JA-24. The electric fields are calculated for the cases of assumed parallel electric field  $EP=0$ ,  $-10\text{ mV/m}$ , and  $+10\text{ mV/m}$ .

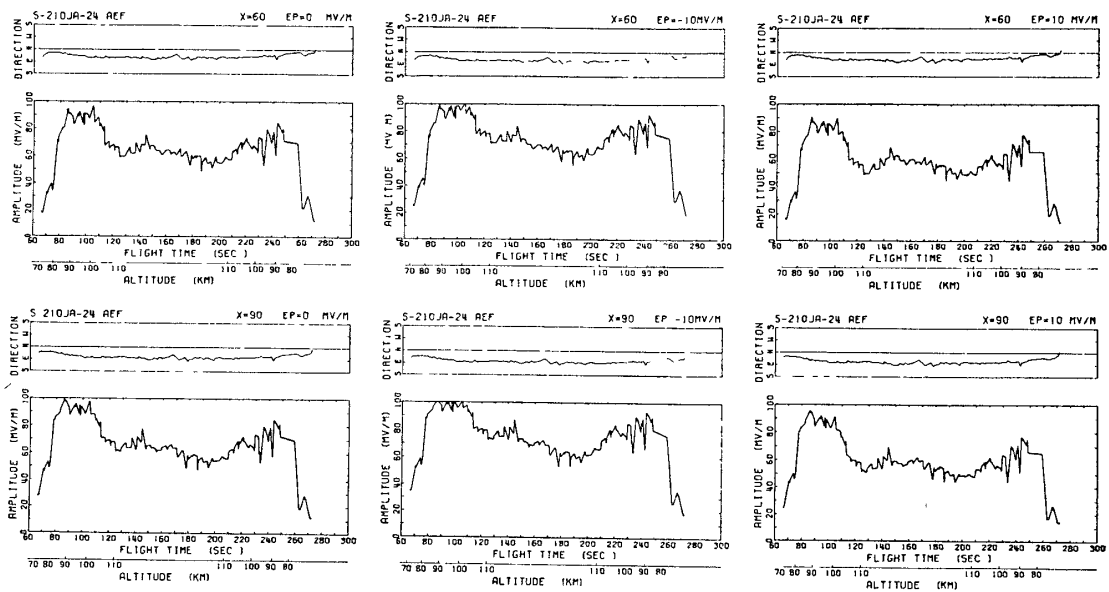


図 10b 図 10a と同じ。ただし  $X=60^\circ$  および  $90^\circ$  の場合

Fig 10b. Same as Fig. 10a except  $X=60^\circ$  and  $90^\circ$ .

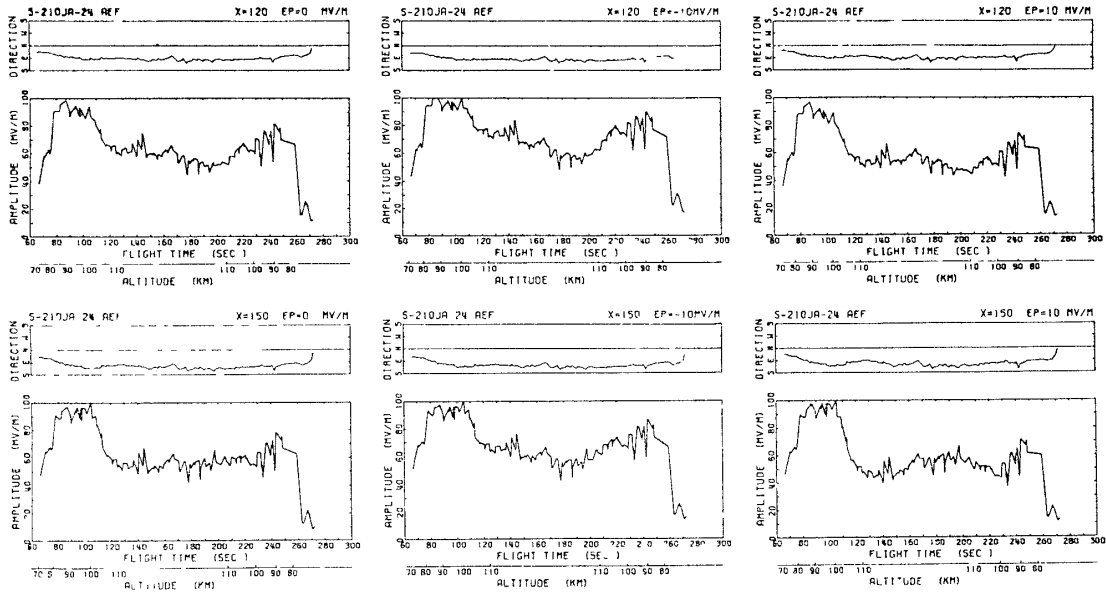


図 10c 図 10a と同じ ただし  $X=120^\circ$  および  $150^\circ$  の場合  
 Fig 10c. Same as Fig 10a except  $X=120^\circ$  and  $150^\circ$

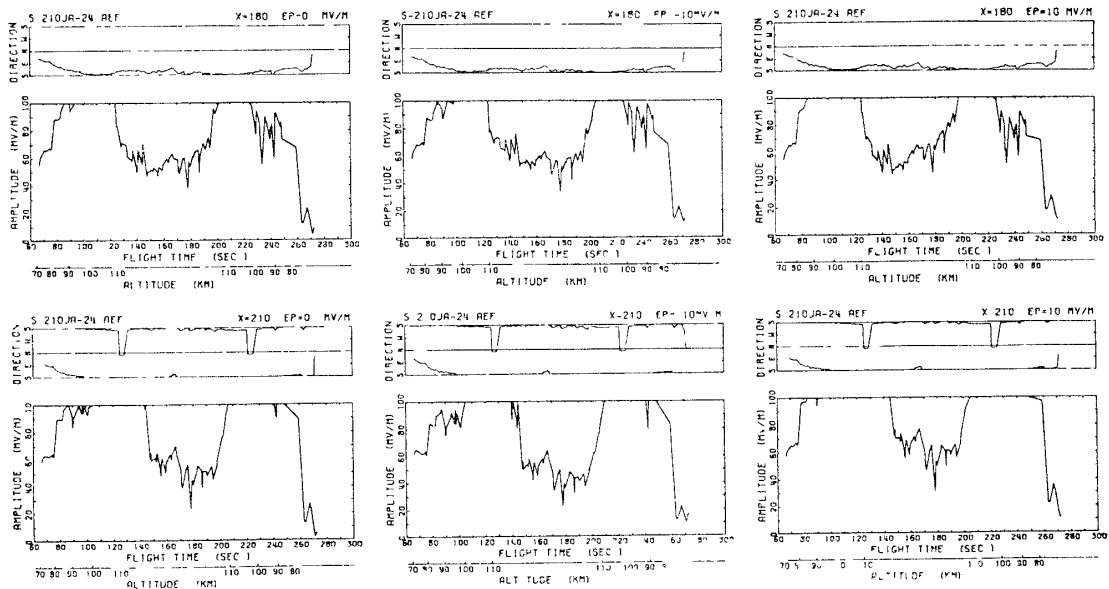


図 10d 図 10a と同じ. ただし  $X=180^\circ$  および  $210^\circ$  の場合  
 Fig 10d. Same as Fig 10a except  $X=180^\circ$  and  $210^\circ$ .

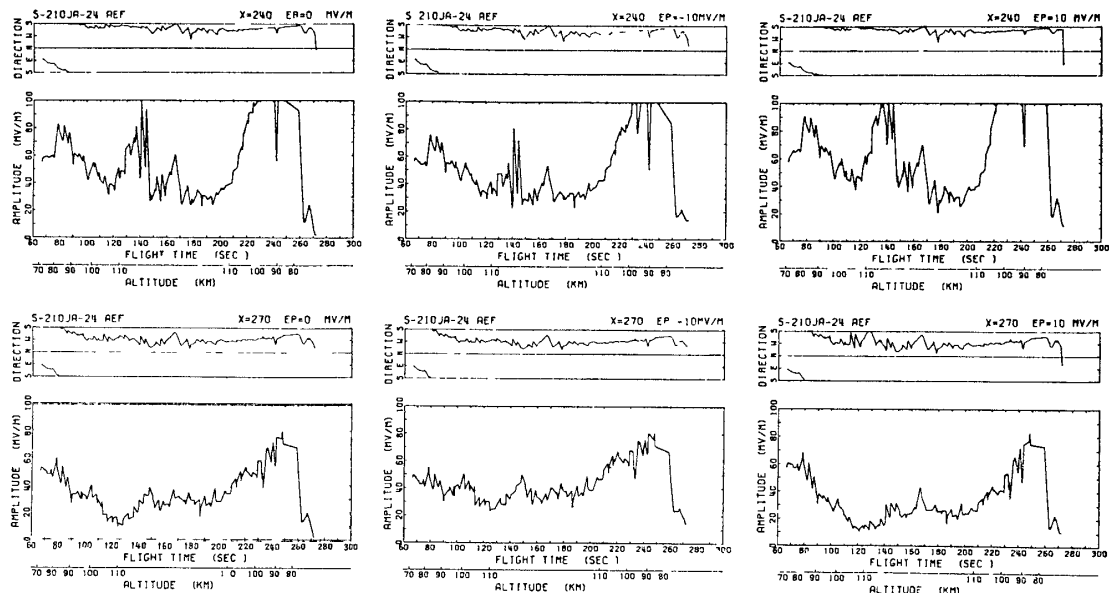


図 10e 図 10a と同じ. ただし  $X=240^\circ$  および  $270^\circ$  の場合  
 Fig 10e Same as Fig 10a except  $X=240^\circ$  and  $270^\circ$ .

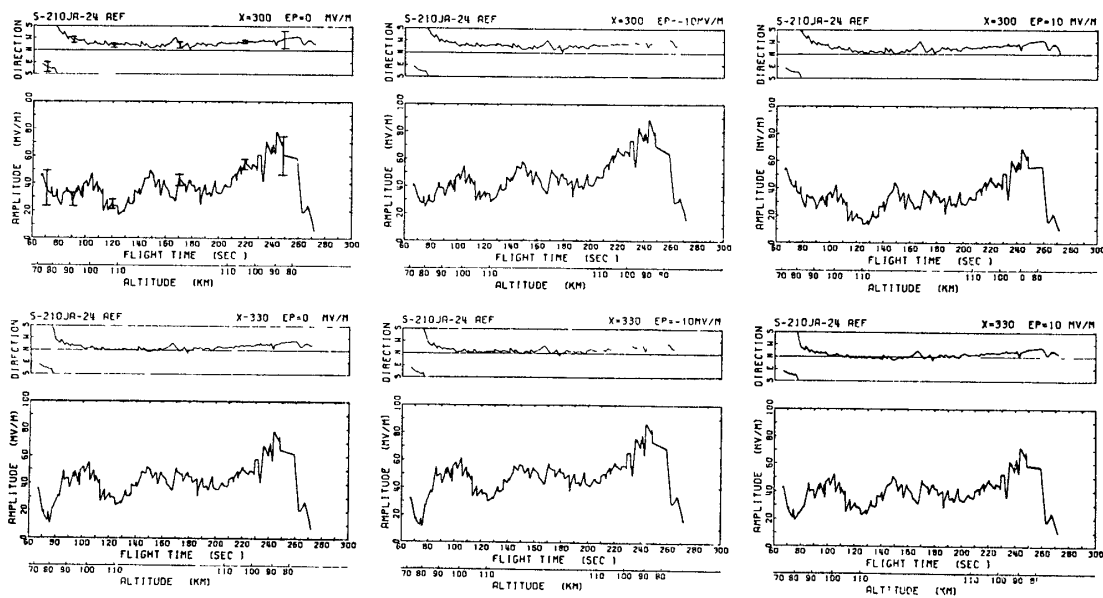


図 10f 図 10a と同じ. ただし  $X=300^\circ$  および  $330^\circ$  の場合  
 Fig. 10f. Same as Fig 10a except  $X=300^\circ$  and  $330^\circ$ .

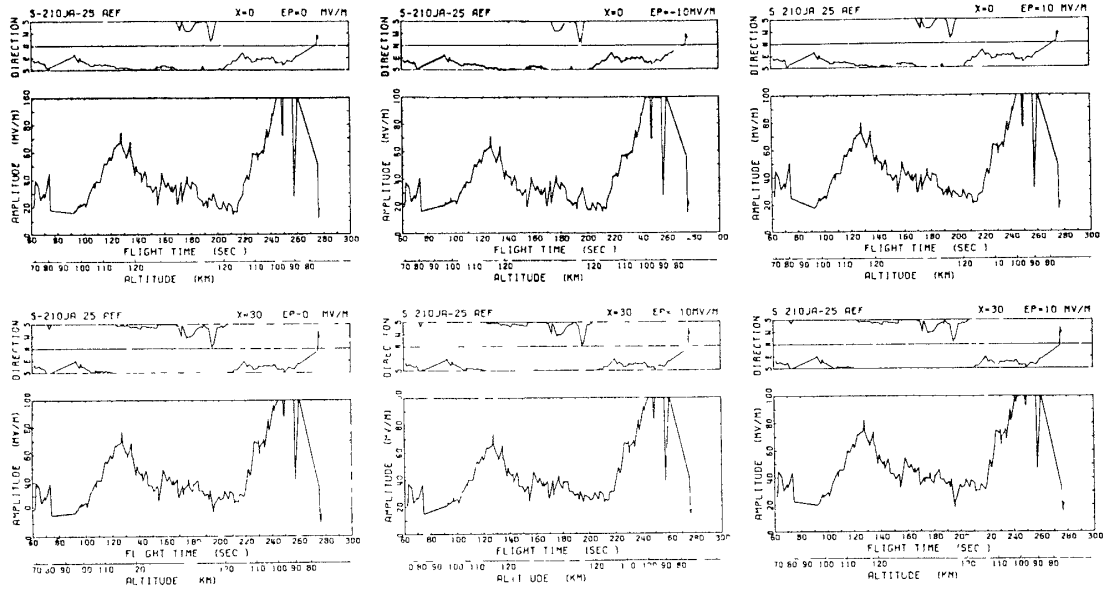


図 11a 図 10a と同じ ただし S-210JA-25 号機の場合  
 Fig 11a. Same as Fig 10a but the data are from S-210JA-25

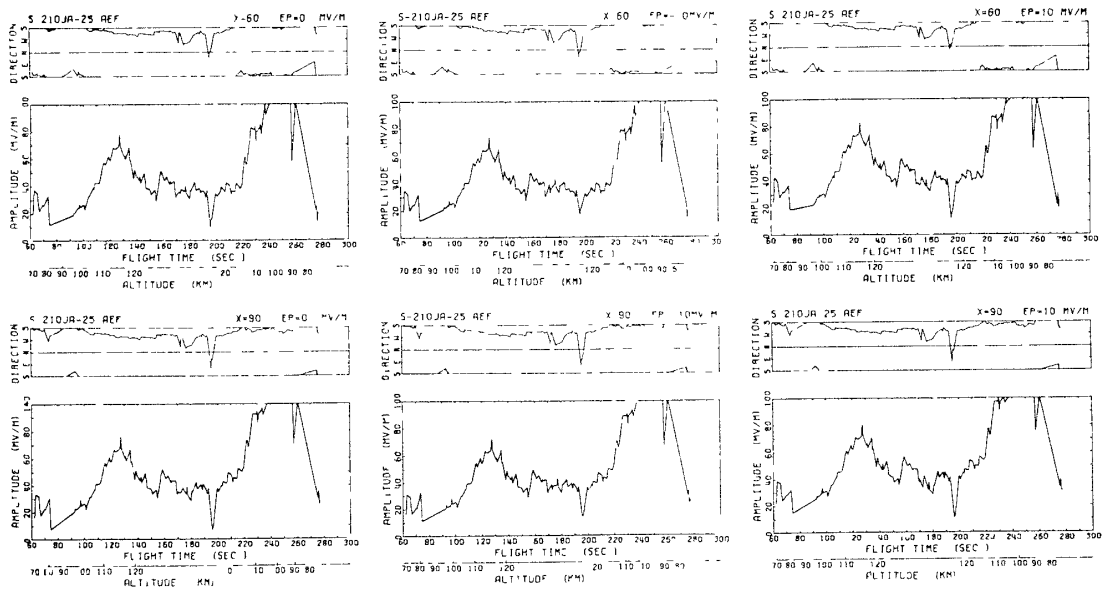


図 11b 図 10b と同じ ただし S-210JA-25 号機の場合  
 Fig 11b Same as Fig 10b (data from S-210JA-25)

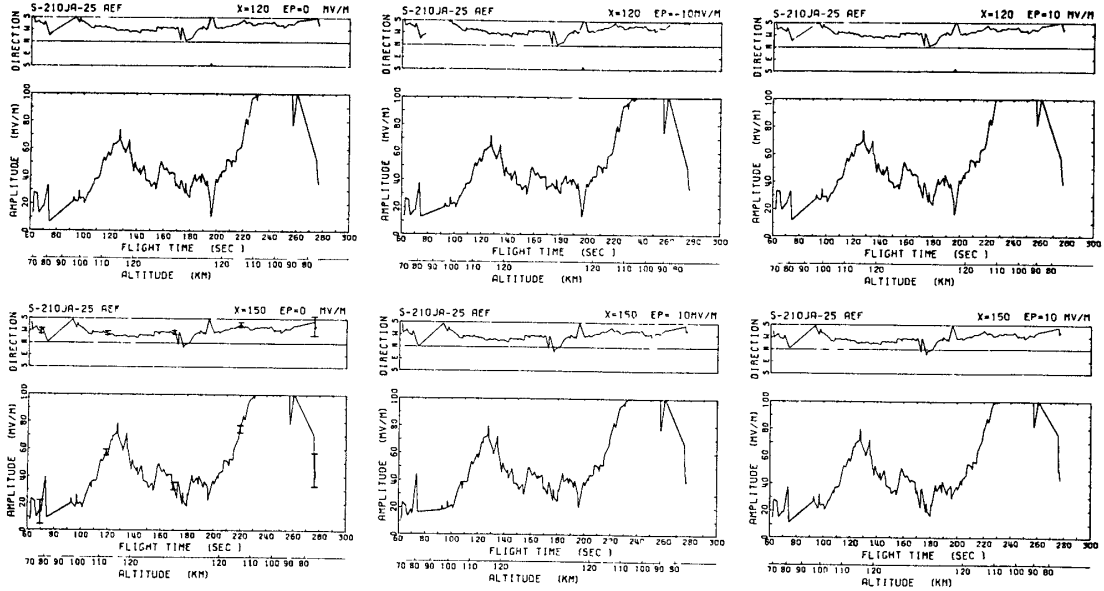


図 11c 図 10c と同じ。ただし S-210JA-25号機の場合  
 Fig 11c Same as Fig 10c (data from S-210JA-25)

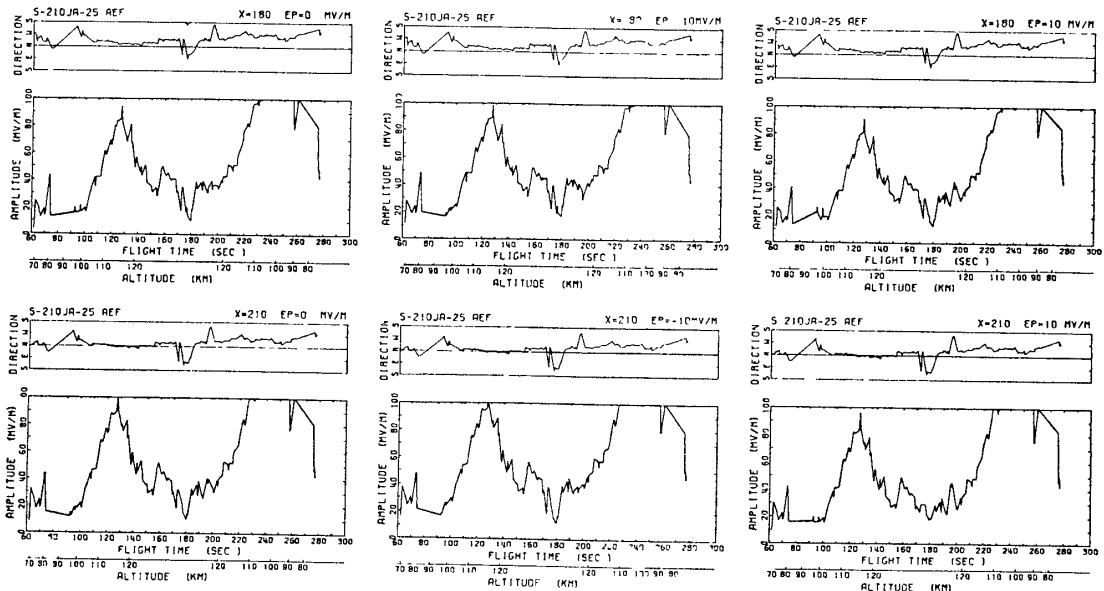


図 11d 図 10d と同じ。ただし S-210JA-25号機の場合  
 Fig 11d Same as Fig 10d (data from S-210JA-25)



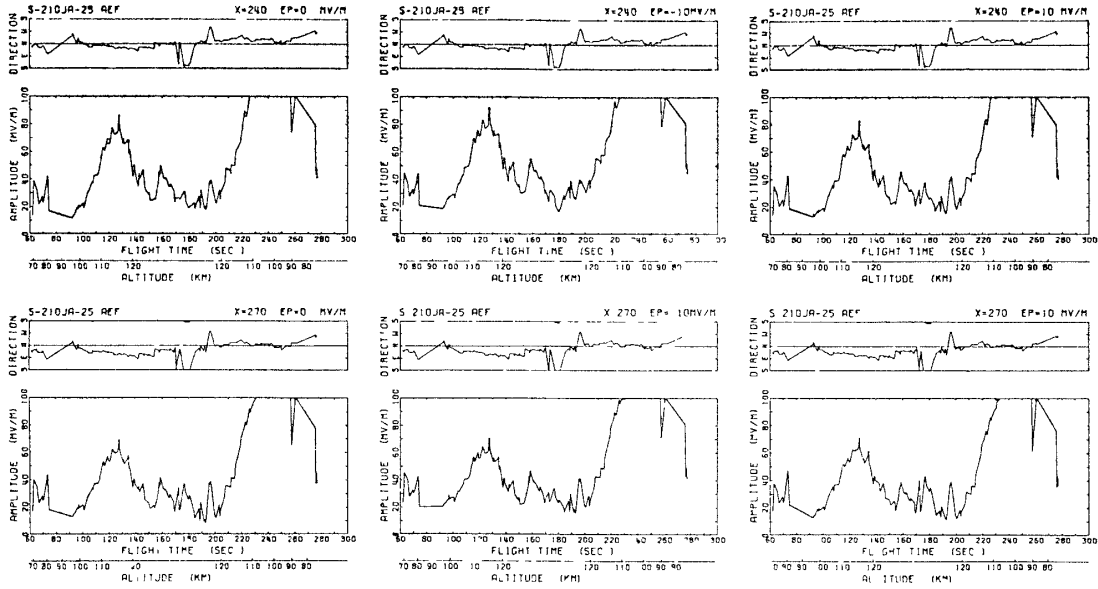


図 11e 図 10e と同じ。ただし S-210JA-25 号機の場合  
 Fig 11e Same as Fig 10e (data from S-210JA-25).

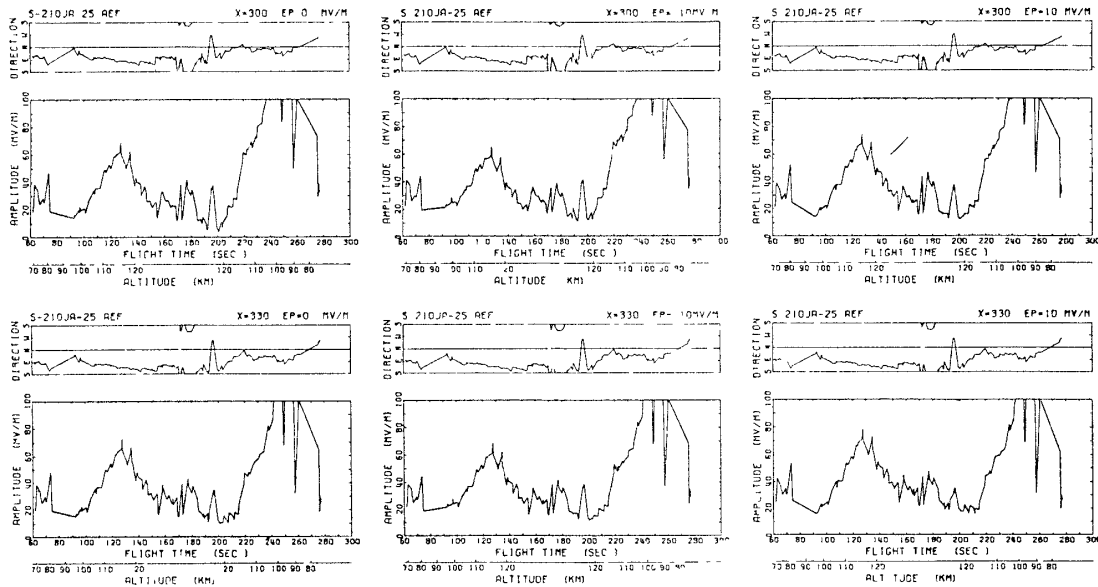


図 11f 図 10f と同じ。ただし S-210JA-25 号機の場合  
 Fig 11f. Same as Fig. 10f (data from S-210JA-25).

ークが高度 115 km 付近に現れた. 下降時には 100 km 前後で 100 mV/m を越える電場  
が現れた. 一般に下降時のプロフィールは姿勢の不正確さ等の原因によって, 上昇時に比べ  
て信頼度は低いと思われる.

#### 4.4. 地磁気変化との比較

図 12 に 24, 25 号機打ち上げ日の昭和基地および, 昭和基地の磁気共役点である北半球  
のレイキャビックで観測された地磁気変化を示す. 図より, 昭和基地とレイキャビックの  
地磁気変化の対称性がよいことがわかる. このことから, 北半球の地磁気観測点のデータ  
を用いて, 24 号機打ち上げ時の地磁気変化ベクトルの分布を求め図 13 にプロットした.  
次にこれらの地磁気変化分布を用いて近似的な電離層等価電流系を描いた. 24 号機打ち上  
げ時は, 図 12 からわかるように, 23 時 25 分 UT から始まったサブストームの主相に当たり,  
DP 1 型の電流系が発達している. サブストームにともなう強い西向きジェット電流がレイ  
キャビックの北方に流れ, 夕方側には弱い東向きジェットが存在するように見える. 同  
様に, 25 号機打ち上げ時の北半球における地磁気変化ベクトルの分布と等価電流系を図 14

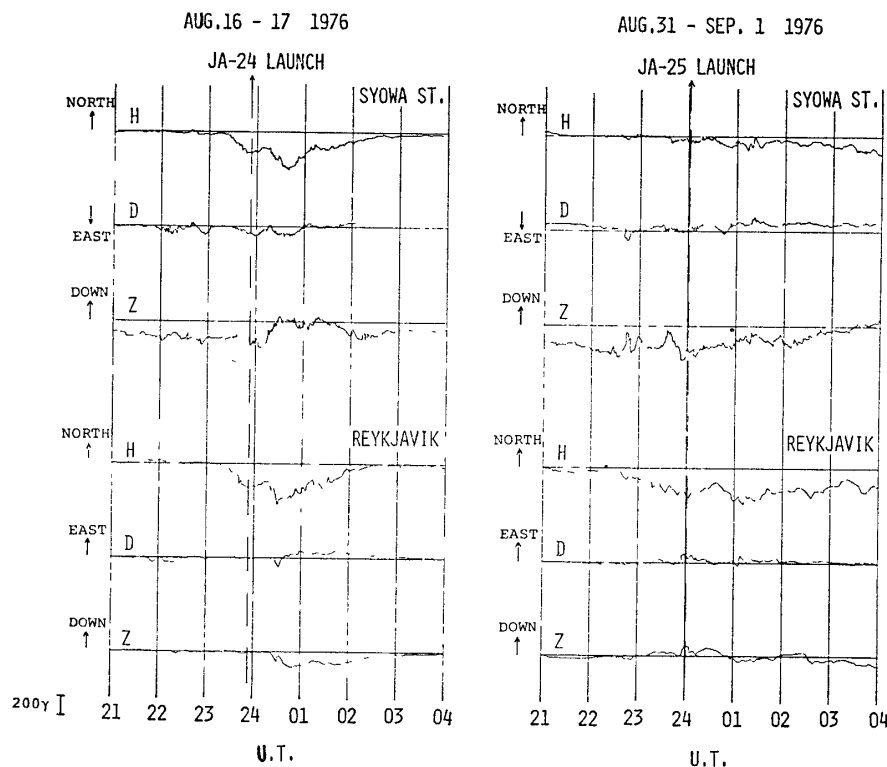


図 12 S-210JA-24, 25 号機打ち上げ時前後の昭和基地とレイキャビックでの地磁気変化  
Fig. 12. Geomagnetic field variations at Syowa Station and Reykjavik on the launch  
days of S-210JA-24 and 25.

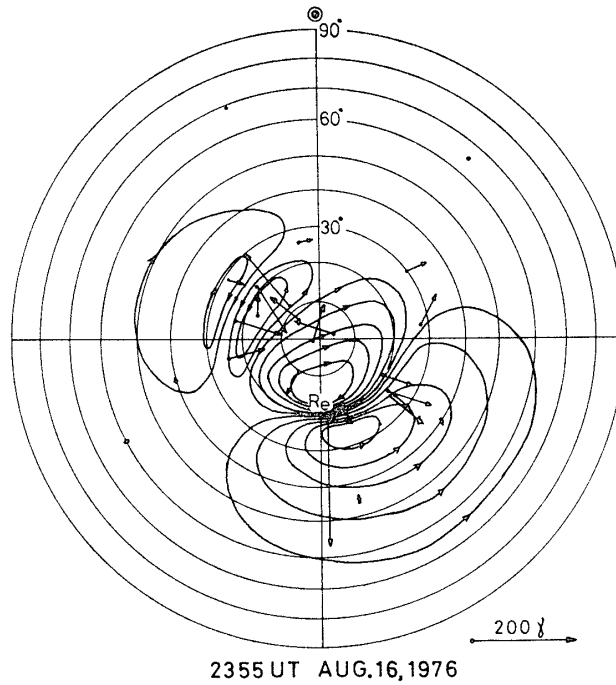


図 13 S-210JA-24号機打ち上げ時の北高緯度における地磁気変化ヘクトルの分布と、それらから推定される等価電流系

Fig 13 Distribution of geomagnetic field variations and assumed equivalent current system on the northern polar cap at the time of electric field measurement with S-210JA-24

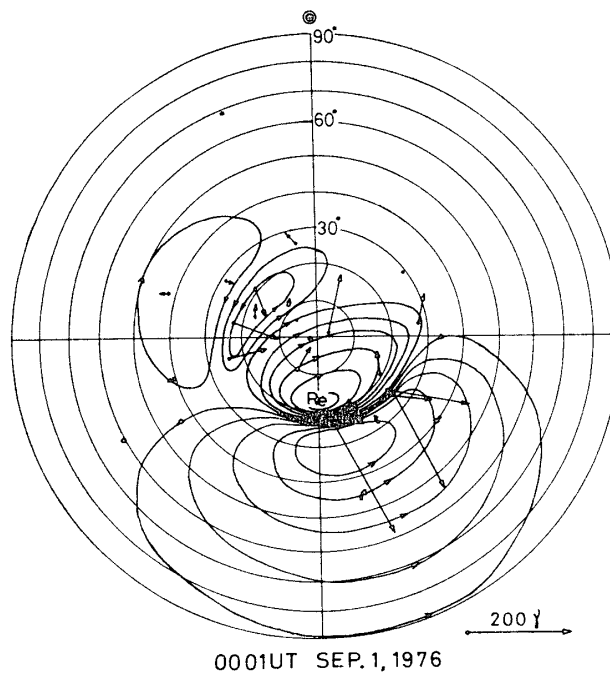


図 14 図13と同じ ただし S-210JA-25号機の場合

Fig 14 Same as Fig 13 (data from S-210JA-25)

に示す. この場合は, 図12に示した通り, 南北両半球間の地磁気変化の対応は24号機の場合ほどよくないが, 同様のDP1型電流系が発達していることがわかる.

図12の地磁気変化と, 観測された地上座標系での電場を用いると, 2次元無限平面電流を仮定した場合の電離層高さ積分電気伝導度を求めることができる. 図10, 11の電場についてそれぞれ計算すると, 計算結果に負の値が出る場合が多い. 24号機については  $X=300^\circ$ , 25号機については  $X=150^\circ$  の場合の計算結果が一番負の値が少ない. いずれも  $EP=0$  の場合について計算した例を図15に示す.  $\Sigma_1$  と  $\Sigma_2$  はそれぞれ高さ積分した Pedersen および Hall 伝導度である.  $\Sigma_1$  と  $\Sigma_2$  の値は, 24号機の場合それぞれ約 2 mho と約 5 mho で, 25号機の場合それぞれ約 0.3 mho と 0.6 mho である. 計算値の中で負の値が出ている部分は, ロケットの姿勢の誤差と, 磁力線に沿う電流の効果を考慮

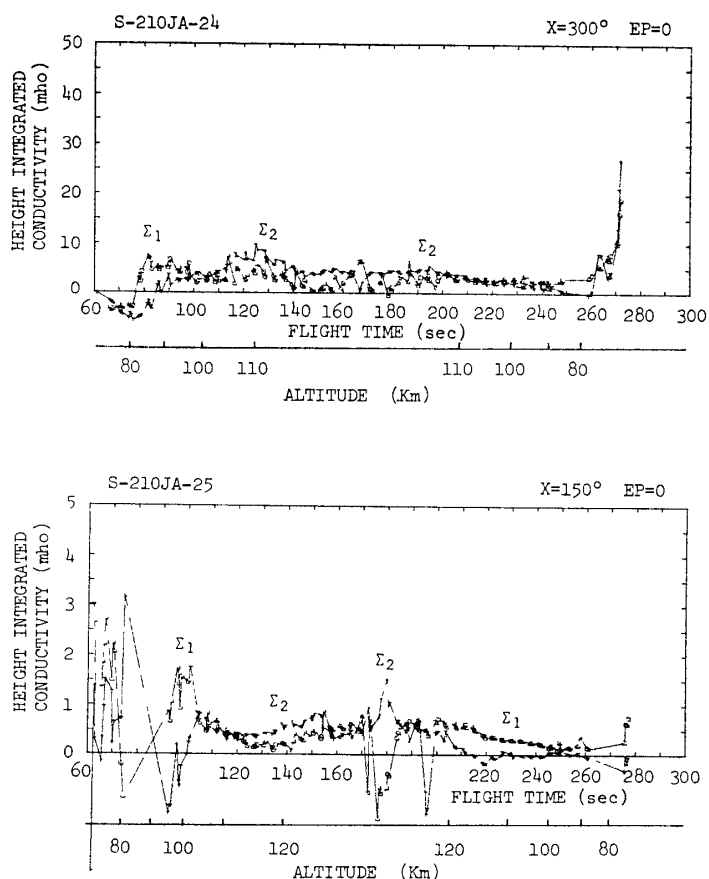


図15 S-210JA-24, 25号機で観測した電場と, 昭和基地での地磁気変化から計算した高さ積分電離層電気伝導度.  $\Sigma_1$ ,  $\Sigma_2$  はそれぞれ Pedersen, Hall 伝導度.

Fig. 15. Height integrated conductivities estimated from the rocket-observed electric fields with S-210JA-24 and 25, and the geomagnetic field variations at Syowa Station.  $\Sigma_1$  is the Pedersen conductivity, and  $\Sigma_2$  the Hall conductivity.

していないため等の原因によるものと思われる。しかしこのようにして計算した電気伝導度の値がほぼ妥当な値で、しかも  $\Sigma_2$  が  $\Sigma_1$  の約2倍であるということは、他の方法で求めた結果と一致する (BREKKE *et al.*, 1974)。

#### 4.5. AC 電場

図16に24号機の上昇および下降時に観測された AC 電場のダイナミックスペクトルを示す。上昇時、下降時ともに、96-112 km に 110 Hz 以上に延びたスペクトルをもつ AC ノイズがみられる。しかし、テレメータ応答が 110 Hz までであるので実際のノイズの上

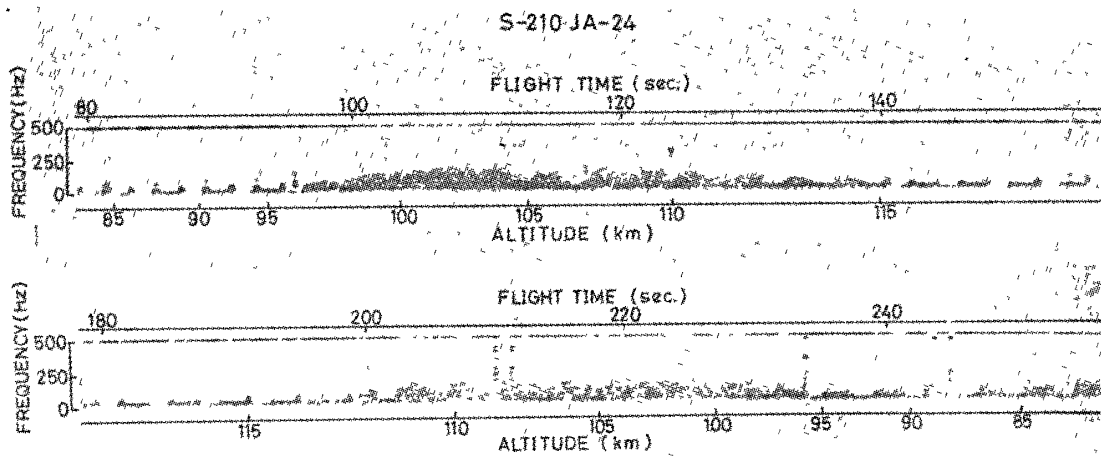


図 16 S-210JA-24 号機の上昇および下降時に観測した電場 AC 成分のダイナミックスペクトル。テレメータの周波数応答は 110 Hz。

Fig 16 Dynamic spectra of AC electric fields observed during ascent and descent of S-210JA-24 The maximum frequency response of telemetering system is 110 Hz

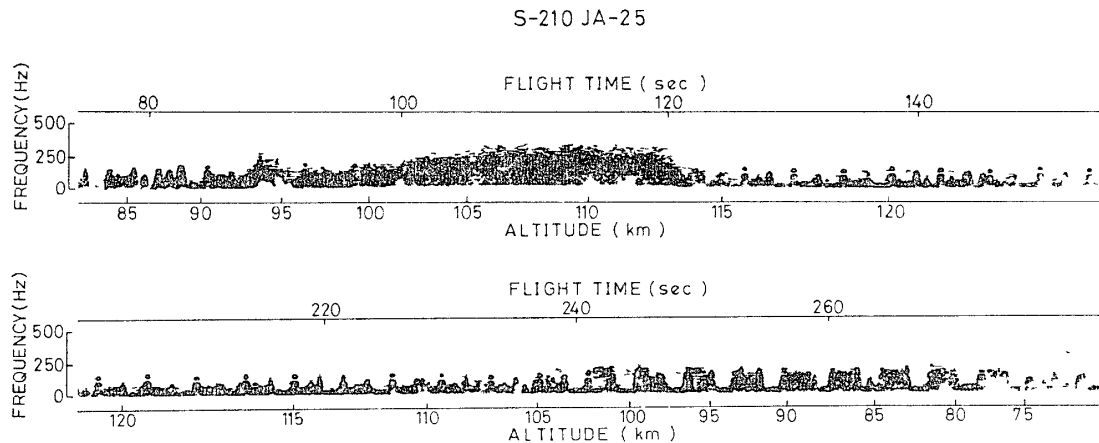


図 17 図 16 と同じ ただし S-210JA-25 号機の場合  
Fig 17 Same as Fig 16 (data from S-210JA-25)

限周波数はわからない。

図 17 に 25 号機の上昇および下降時に観測された AC 電場の同様のダイナミックスペクトルを示す。ここでも上昇時 96-112 km にノイズが見られる。下降時のノイズは 75 km ぐらいまで延びているように見える。

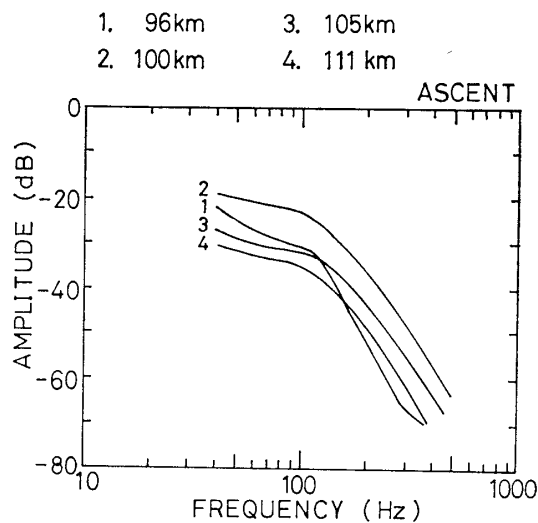


図 18 S-210JA-24 号機の上昇中に観測した電場 AC 成分の周波数スペクトルの変化。テレメータの周波数応答は 110 Hz

Fig. 18. Frequency spectrum variations of AC electric fields observed during ascent of S-210JA-24. The maximum frequency response of the telemetering system is 110 Hz.

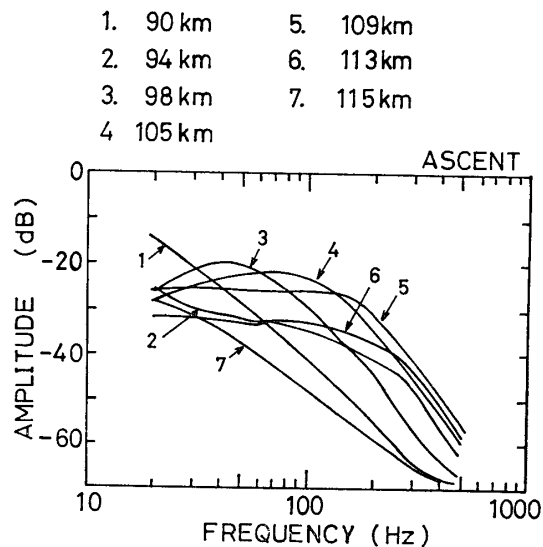


図 19 図 18 と同じ。ただし S-210JA-25 号機の場合  
Fig. 19. Same as Fig 18 (data from S-210JA-25).

図18に24号機について、いくつかの高度でのノイズスペクトルを示す．高度 100 km 付近で強度が一番強いことがわかる．

図 19 に 25 号機の上昇時の周波数スペクトルを 7 つの高度についてそれぞれ示す．最初 90 km では、解析下限周波数 20 Hz より、周波数とともに単調に減少するスペクトルをもっているが、高度の上昇とともにスペクトルのピークが 40 Hz, 70 Hz と上昇して、109 km では 200 Hz 以上まで延びていることがわかる．115 km では急激に強度が減少している．

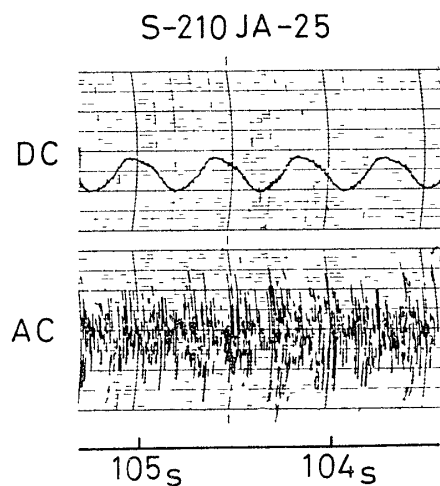


図 20 S-210JA-25号機で観測した電場の DC および AC 成分を、記録紙上でモニターした波形の例

Fig 20 Wave forms of DC and AC electric fields on the recording chart paper observed with S-210JA-25.

このような AC ノイズの性質をもっと詳しく見るために、波形を記録紙上にモニターした例を、25号機の上昇時について図20に DC 成分とともに示す．図の上段に示した DC 成分と比べると、下段の AC 成分の振幅がスピンのように変調を受けていることがわかる．さらに AC 成分の振幅最大となる部分が、アンテナが DC 電場に直交する方向になったとき現れたことがわかる．このことは AC ノイズが、背景に存在する DC 電場と直交する方向に偏波していることを示す．

以上述べた 24, 25 号機で観測された電場の AC 成分に現れたノイズは、同乗で観測した電子密度にもゆらぎとして現れている．ノイズが DC 電場に直交して現れることから、このようなノイズの原因はプラズマ不安定によるものと思われる．HOLTET (1973) はロケット観測から 95-120 km の高度に 50 Hz-30 kHz のノイズが存在することを見い出

し、原因として **cross field** 不安定と 2 流体不安定を考慮して検討した結果、2 流体不安定によるものと結論している。

## 5. 結 論

S-210JA-24, 25号機を用いた下部電離層における電場の観測から、約 20 mV/m の高度によらない成分と、約 30 mV/m にも達する局所的な電場と思われるものとの両方が存在することがわかった。前者は西向きオーロラジェット電流を起こす大規模電場である。また、ある高度に局在する電場は、オーロラ帯への降下荷電粒子による空間電荷の影響と思われる。

96-120 km の高度範囲に周波数が 110 Hz (観測上限周波数) 以上に延びる強い AC ノイズが観測された。これは DC 電場と直交する方向に偏波し、プラズマ不安定によって発生したものと思われる。

## 謝 辞

ロケット発射とテレメータ受信に多大の援助をいただいた第 17 次南極観測越冬隊員の方々に深く感謝します。データ解析は京都大学理学部地磁気世界資料解析センターを利用したことを付記します。

## 文 献

- HOLTET, J. A (1973): Electric field microstructures in the auroral *E* region. *Geophys. Norw.*, **30**, 1-88.
- BREKKE, A., DOUPNIK, J. R. and BANKS, P. M. (1974). Incoherent scatter measurements of *E* region conductivities and currents in the auroral zone. *J. Geophys. Res.*, **79**, 3773-3790.

(1978年6月10日受理)