

# 科学衛星 JIKIKEN (EXOS-B) における 電子ビーム放出実験

河島 信樹 , 牛越 淳雄 , 村里 幸男  
江尻 全機 , 森岡 昭\* 大家 寛\*  
宮武 貞夫\*\*, 松本 紘\*\*\*

Beam-Plasma Interaction Experiment in the Magnetosphere  
by Emitting an Electron Beam from a Satellite "JIKIKEN"

By

Nobuki KAWASHIMA, Atsuo USHIKOSHI, Yukio MURASATO,  
Masaki EJIRI, Akira MORIOKA, Hiroshi OYA,  
Sadao MIYATAKE and Hiroshi MATSUMOTO

**Abstract:** Beam-plasma interaction experiment has been done in the magnetosphere by emitting an electron beam (100 ~ 200 eV, 0.25 ~ 1.0 mA) from a Japanese scientific satellite "JIKIKEN". Various types of wave emissions are detected by a LF and HF wave detector (NPW(A)). Two waves near at upper-hybrid frequency and at electron cyclotron frequency, respectively, are detected in a low L-value region. In a higher L-value region, a harmonic generation of 16 kHz is conspicuous, which is originated from the cathode heater power supply. The time variation and dependence on various parameters of the magnetosphere are studied.

## 摘 要

科学衛星「磁気圏」から電子ビーム (100~200eV ; 0.25~1.0mA) を放出することによって、磁気圏において、ビーム・プラズマ相互作用の実験がなされた。様々なタイプの波動が LF 及び HF 帯の受信器 (NPW(A)) によって検出された。L 値の低い領域では、上側ハイブリッド周波数と電子サイクロトロン周波数に近い波動が検出される。一方、L 値の高い領域では、16 KHz の高調波群が目立ってくる。この波動は、電子銃のカソード・ヒーターの電源から生ずるものである。これらの波動の時間変化及び磁気圏の様々のパラメータへの依存性が吟味される。

---

\* 東北大・理学部  
\*\* 電通大  
\*\*\* 京都大・工学部

## 1. 序 論

1978年9月16日 14:00 (JST), 内ノ浦実験場より打ち上げられ軌道に乗った科学衛星「磁気圏」(Exos-B)は, その後順調に観測を続け磁気圏の内部構造に関する貴重な観測データを送り続けている。この衛星における我々のCBE (Controlled Beam Experiment) 実験は, 電子ビーム放出による衛星の電位の制御及び波動の励起や線型・非線型現象の研究を目的とするものであるが, これらの問題は工学的見地からも物理的見地からも, 大へん興味深い問題を含んでいる。というのも, 前者に対しては, 1970年代初期に打ち上げられたATS-5, 6 etc. の静止衛星で, 真夜中~夜明けの領域でかなり高いエネルギーをもった粒子束が存在し, それが衛星に当たって, 衛星を $-10 \sim -20$  KVの高電位まで帯電させていることが報告されて以来, 多数の衛星で, 帯電現象とその弊害が観測されてきているのであるが [Sharp et. al., 1970; Deforest and Mc Ilwain, 1971; Deforest, 1972; Rosen, 1976], そのメカニズムの詳細については, 今だに未知の部分が多いためである。この帯電現象は, 衛星にとってたいへん危険なもので, 衛星が不均一に帯電した場合, それらの部分の帯電の差によって, その部分間に高電位差が生じ, それが近接した部分ならば, そこで放電が起こり, 衛星表面の熱制御特性を低下させ, 衛星の寿命を縮めるばかりか, 放電により生ずるパルス的なEMI (electromagnetic interference) 波の放射によって, 内蔵されている回路を誤動作させたり, あるいは極端な場合には, 衛星の破壊をも, もたらすものである。そこで, このような帯電現象に伴う弊害を取り除くために, 何らかの active あるいは passive なエミッタで電子を放出し, 衛星の電位を0V近くまで引き下げてやる必要がある。我々の実験は, このような衛星の電位制御という問題に対して, 実際の宇宙空間で行われた貴重な実験データを提供するものである。後者については, 地上の実験室では実験できないスケールでのビーム・プラズマ相互作用の実験を与える。磁気圏では, 変動する粒子群と変動する電磁場とが互いに相互作用し合って, 非線型相互作用が活発に起こる環境を与えており, そこに active に電子ビームを注入することで周辺プラズマ中にどのようなメカニズムで波動が生ずるか, あるいはプラズマ粒子のエネルギー分布にどのような変化が観測されるかを研究する。

これまで, この実験で次のような興味深い結果が得られている; すなわち,

- (i) エネルギー・スペクトル分析器 (ESP) において, 衛星の電位上昇を意味する, 衛星に向かっての低エネルギー電子束と放出ビームに対応するエネルギー分布をもった電子束の著しい増加が観測される。
- (ii) IEF (S) (single langmuir probe による測定) に対しては, 同様に, ビーム放出に伴う電位上昇と, 衛星のスピンの周期に同期した出力の変化が見られる。
- (iii) 波動受信器 (NPW) において, 様々な種類のプラズマ波動の励起が観測される。

以下に, CBEによるNPW(A)への影響について, すなわち, CBEによる波動の励起と, CBEモードの変化に伴う, それらの波動の変化について得られた結果を報告する。

## 2. 装 置

「磁気圏」に搭載された電子銃は, Pierce 型軸対称平行ビーム電子銃で, Wehnert 型電極

を用い、放出口でのビーム口径  $5\phi$ 、ビーム・ダイバージェンス  $\sim 3$  rad. で、電子ビームを放出する。ビーム電流、ビーム電圧は、

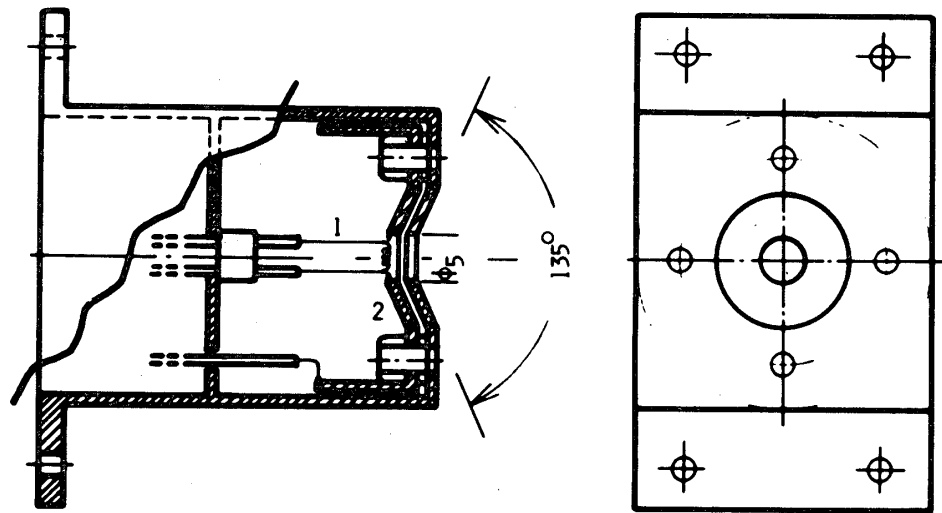
$$I = 0.25 \text{ mA}, \quad 0.5 \text{ mA}, \quad 0.75 \text{ mA}, \quad 1.0 \text{ mA}$$

$$V = -100 \text{ V}, \quad -125 \text{ V}, \quad -150 \text{ V}, \quad -200 \text{ V}$$

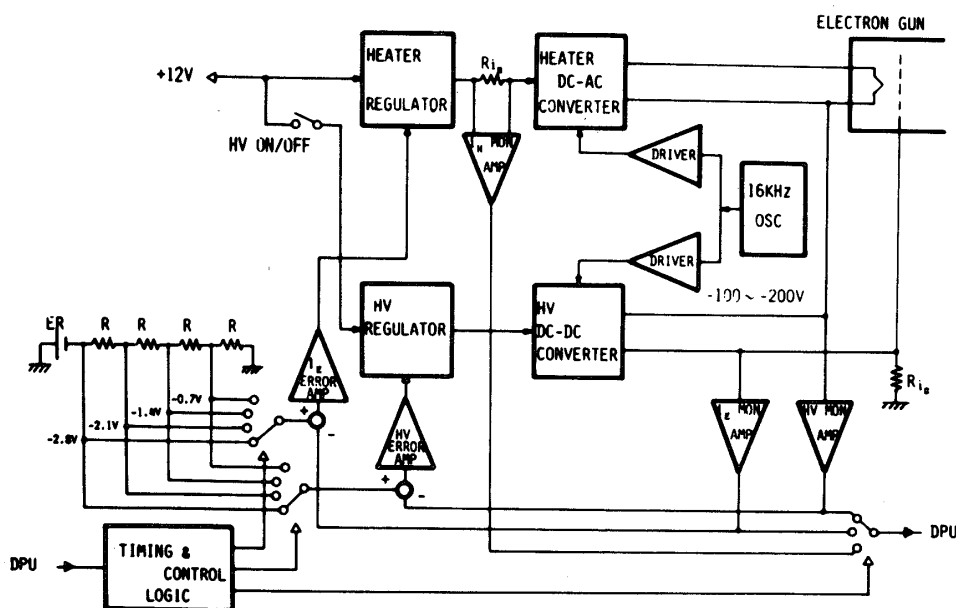
と、各々4段階ずつ制御することが可能である。ビーム電流の制御は、電子ビーム・フラックスの制御、すなわち、ビーム量の制御を、ビーム電圧の制御は、電子ビームのエネルギー分布の制御、上記のビーム量の制御との対応で言えば、いわば質の制御を意味している。これらの制御に対する命令の仕方には、二通りの方法があり、一つはDC (Discrete Command) コマンド、もう一つはOG (Organized) コマンドである。DCコマンドでは、ビーム電圧・ビーム電流は任意の組合せで選ぶことができ、したがって16通りのモード設定が可能である。OGコマンドでは、8 sec. あるいは 32 sec. の時間間隔で自動的に各モードを順次変化させる。第1図に、電子銃と回路のブロックダイヤグラムを示す。

電子銃のカソード・ヒーターは、直熱型タングステン・ヒーター (3.4 V, 1 W) を用いており、このカソード・ヒーターに、Heater DC-DC Converter 出力の 16 KHz 矩形波を印加する。同時に、カソード・ヒーターには HV DC-DC Converter 出力の  $-100 \sim -200$  V の直流電圧を印加して、Ground に対してバイアスし、電子ビームを加速している。エミッション電流は、図中の  $R_{iE}$  を流れる電流を検出することにより、モニターできる。カソード・ヒーター電流は  $i_E$  Monitor Amp. の出力と、あらかじめ設定された制御電流 ( $I_1 \sim I_4$ ) との差により、 $i_E$  Error Amp. から誤差電圧を取り出し、この出力により Heater Regulator を制御し、カソード・ヒーター電流を設定値に保っている。Heater Regulator は、Series Regular 方法を用いた。  $i_E$  Error Amp.  $\rightarrow$  Heater Regulator  $\rightarrow$  Heater DC-AC Converter  $\rightarrow$  Electron Gun  $\rightarrow i_E$  Monitor Amp. は一つのフィードバック・ループを構成し、ヒーター電流を制御している。加速電圧も同様に、HV Monitor Amp. の出力電圧と、あらかじめ設定された、制御電圧 ( $V_1 \sim V_4$ ) との差を HV Error Amp. により取り出し、その出力により HV Regulator を制御し、加速電圧を設定値に保つ。HV Regulator は Heater Regulator とほとんど同じ回路であり、この出力を HV DC-DC Converter の供給電圧としている。装置の全重量は 1.39 kg、消費電力は平均で 2.9 W である。電子銃は、ソーラ・パネル上部に、ベース・プレートから  $30^\circ$  の角度で取り付けられている。なお、カソード・ヒーターは直熱型なので、加速電圧にヒーター電圧が重畳されており、したがって放出ビームはヒーター電圧出力の 16 KHz 矩形波で modulate されており、後に述べるように NPW の観測にかかる部分も出てきている。

さて、衛星「磁気圏」は磁気圏での波動・粒子相互作用の解明を主たる目的とするものであり、したがって測定系としては、波動計測と粒子計測の二つのグループから構成され、電磁場及び粒子の分布関数の時間的・空間的変化の同時計測を行っている。「磁気圏」に採用された波動計測項目は、SPW (Stimulated Plasma Wave), NPW (Natural Plasma Wave), DPL (Doppler Frequency of Artificial Waves), IEF (Impedance and Electric Field), MGF (Magnetic Field) etc. である。それらのうち、我々の実験に関係の深い NPW, IEF, MGF に話を限ると、NPW は、人工プラズマ波動を放射しない



(a) Electron Gun



(b) Block diagram of the circuit

第1図 「磁気圏」に搭載された電子銃と、回路のブロックダイアグラム

(a) 電子銃；Pierce型軸対称平行ビーム電子銃

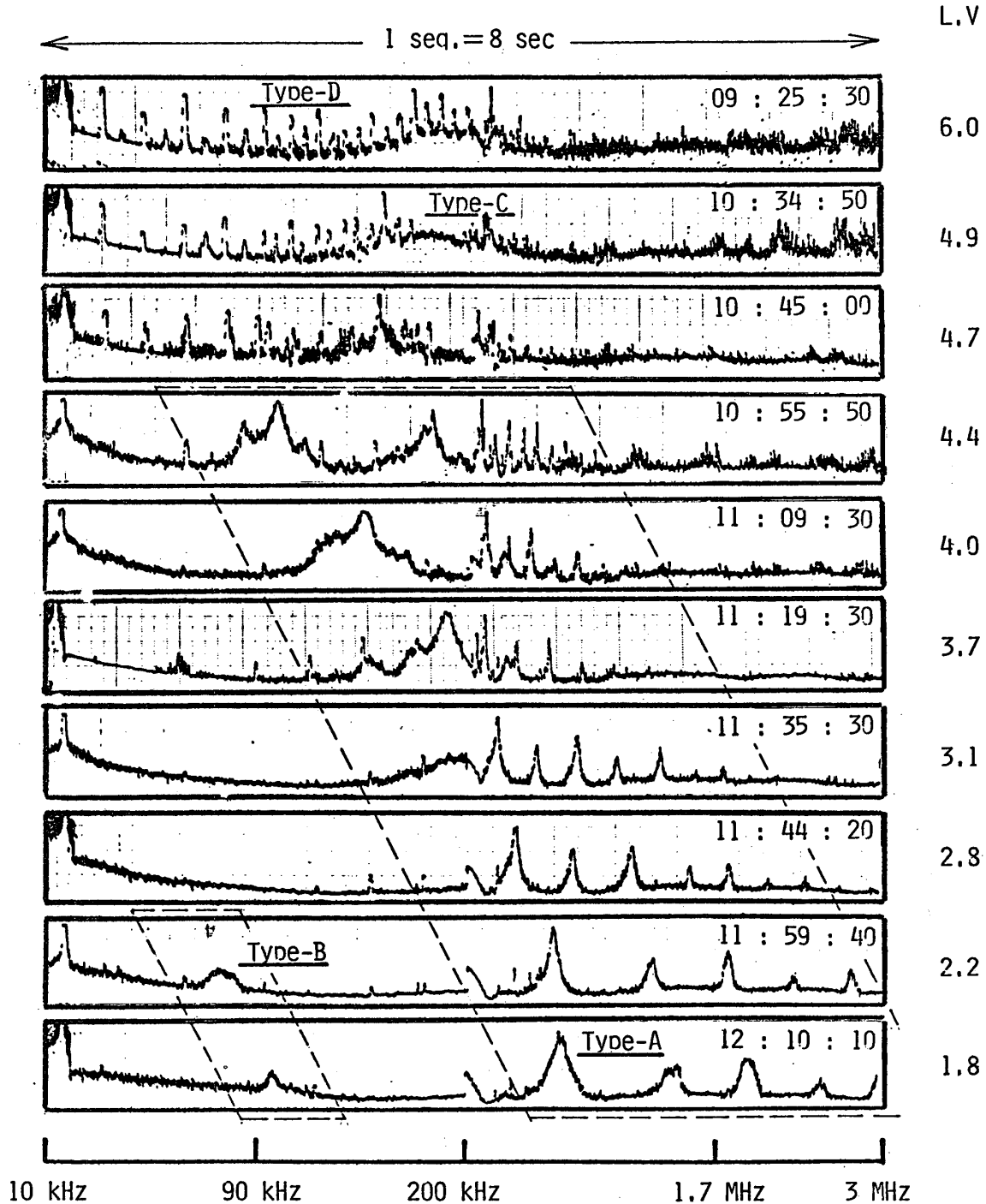
1. 直熱型タングステン・ヒーター 2. Wehnert型電極

(b) 電子銃制御回路のブロックダイアグラム

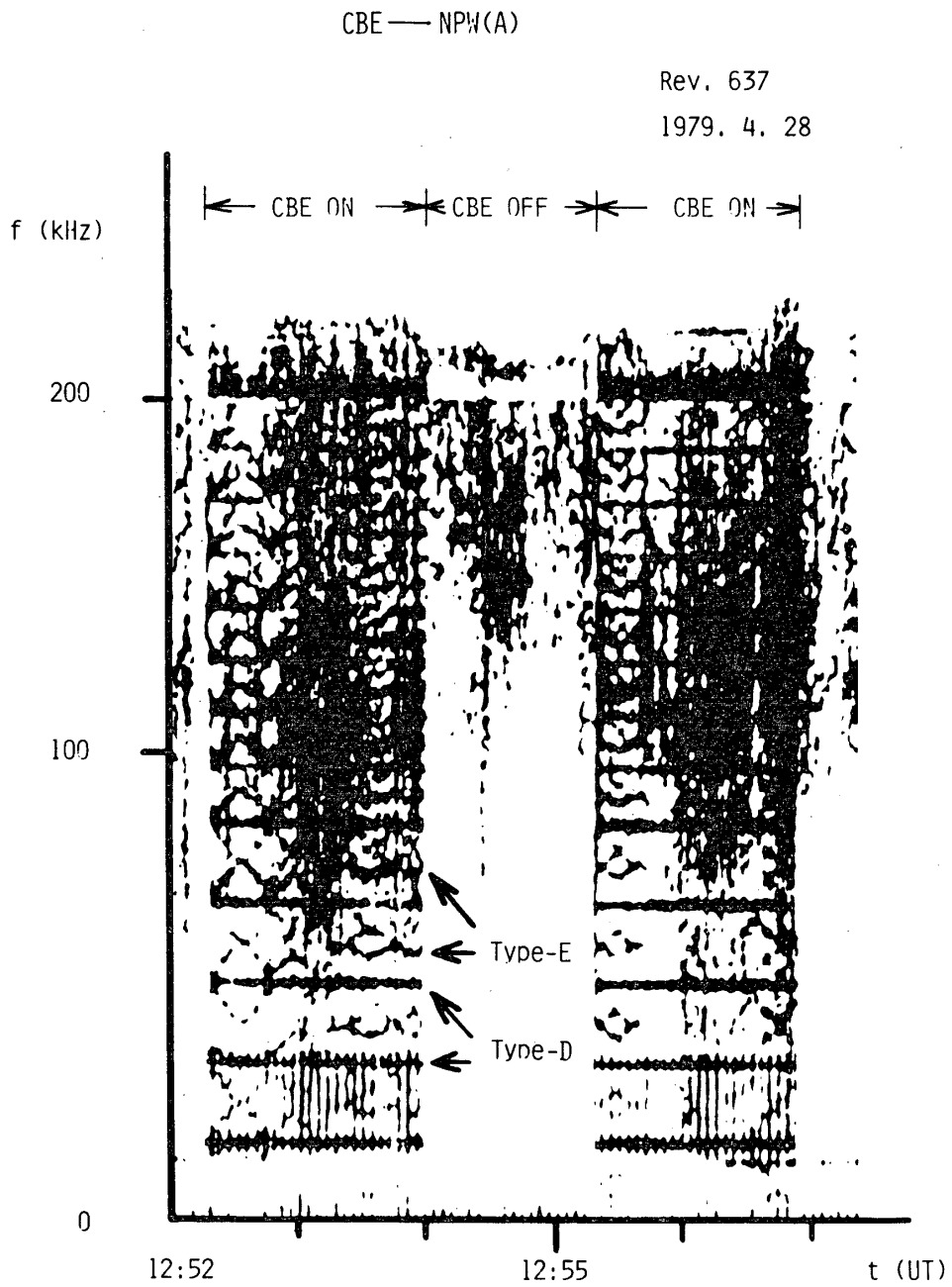
CBE ( $V_4, I_4$ ) — NPW(A)

Rev. 654 ; 1979. 5. 4

M.lat ;  $19.55^\circ$  —  $-6.1^\circ$



第2-1図 NPW(A) に受信された典型的な周波数スペクトル



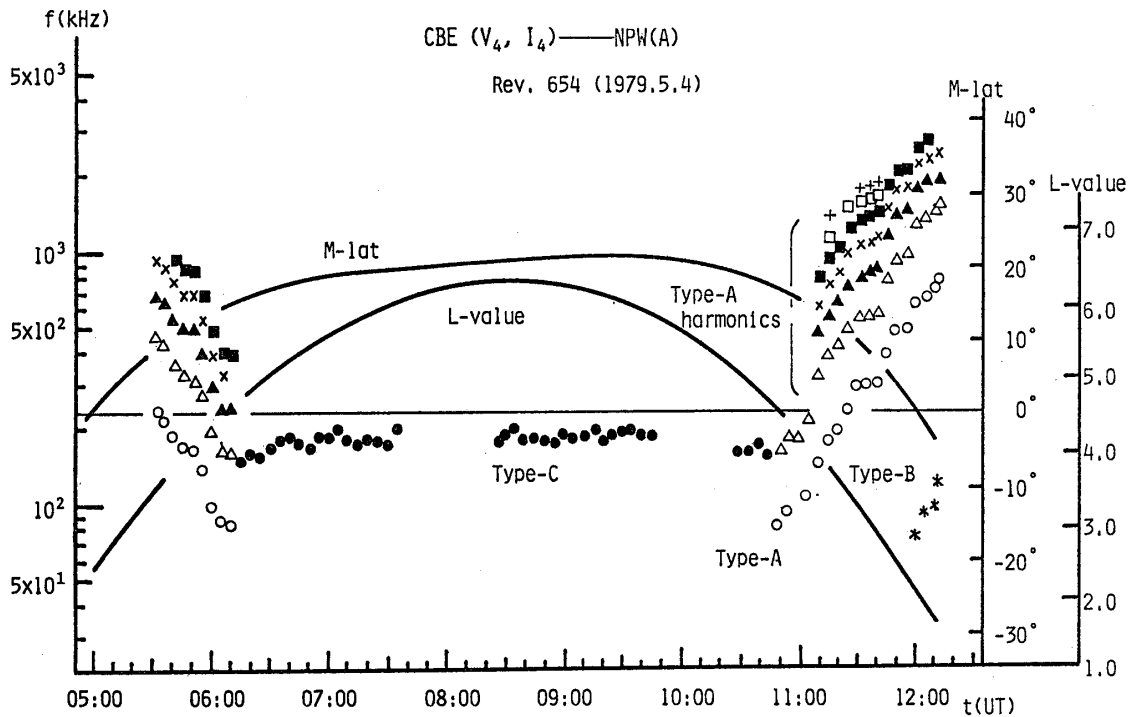
第2-2図 励起波動のソナグラフ。；100~200 KHz にあらわ  
れている波動は TKR である。

状態で自然のプラズマ波動を計測するもので、NPW (V), NPW (VL), NPW (S), NPW (A) の四つのモードをもつ。計測周波数帯は、広帯域受信をもって行うことを主体とする VLF 電波放射系 (750 Hz ~ 10 KHz) と、狭帯域のスペクトル分布を on board で行うことを主体とする LF 及び HF 電波放射系 (10 KHz ~ 200 KHz ; 180 KHz ~ 3.0 MHz) から成り、前者は NPW (V), NPW (VL) が、そして後者は NPW (S), NPW (A) がそれぞれ担当している。IEF は、プラズマの電子温度、電子密度、プラズマ・インピーダンス及び電場の計測を行うもので、IEF (I), IEF (C), IEF (S), IEF (D) の各モードをもつ。IEF (I) は、インピーダンス・プローブによる計測で LF ~ HF 帯にわたる、プラズマ中プローブのインピーダンスを計測しプラズマ電子密度の計測を精密化する。IEF (C) は電場計測を、そして IEF (S), IEF (D) は single Langmuir probe, double Langmuir probe による計測でそれぞれバイアス電圧を走引、固定できプラズマの電子密度・電子温度を計測する。MGF は、磁気圏の構造を議論する上での基本量となる磁場を flux-gate 磁力計を用いて計測するものである。一方、粒子計測は ESP (Energy Spectrum of Particles) で行われる。ESP は 5 eV ~ 11 KeV の電子及び 20 eV ~ 30 KeV のイオンのエネルギー分布を測定するもので、波動現象との対応、あるいは CBE によるエネルギー分布の変化 etc. を調べる。今回の実験では主に、NPW (A) と IEF (I) が用いられている。

### 3. 実験結果

第2-1図に、NPWへの影響が最も顕著にあらわれるものと想定される ( $V_4$ ,  $I_4$ ) モード ( $V_4 = -200$  V,  $I_4 = 1.0$  mA), すなわち、ビーム電圧、ビーム電流が共に最大のモードを用いて実験を行った時、NPW (A) に受信された波動の周波数スペクトルの典型的なものを、ある時間にわたってとったものを、また第2-2図に、受信された周波数のソナグラフを示す。波の強度は、第2-1図では縦軸に、第2-2図では輝度変調されている。CBE OFF 時には、このようなピークあるいはパターンがあらわれないことから、これがCBEに依るものであることは明らかである。これらを見ると、状況あるいは時間の変化に応じて、いくつかのタイプの波動があらわれてきているのがわかるが、それらを大別すると、以下に述べる5つのタイプに分類される。;

第1の波 (Type-A と呼ぶことにする) は、比較的L値が小さな領域であらわれ、L値が下がるにつれて周波数が増加していくものである。第3図に、Rev. 654 (1979. 5. 4) の入感時から消感時までの Type-A と以下に述べる Type-B, Cの波動の周波数の時間変化を示す。図中では、Type-Aの波動が、ある値 ( $L \sim 4.5$ ) 以下であらわれているのが良くわかるが、しかし、一連の実験ではL値に対して必ずしも一致した閾値をもって出ているわけではなく、衛星の orbit によってまちまちである。したがって、この波動が出現する閾値は、衛星の位置を表現するパラメータ (Local Time, 緯度 etc) や磁気圏の諸条件に密接に関与しているものと思われる。この波動は、多分に instrumental なものに起因するものと思われる、いくつかの高調波を伴っている。この波動の基本波は、同時に行われた IEF (I) (インピーダンス・プローブ) の測定から、上側ハイブリッド周波数



第3図 Rev. 654 (1979. 5. 4)における Type-A, B, C の  
波動の周波数の時間変化

$f_{UH} = \sqrt{f_{pe}^2 + f_{ce}^2}$  か、あるいは電子プラズマ周波数  $f_{pe}$  であることがわかる。すなわち、第4図に見る如く、IEF (I) の周波数スペクトルの上側ハイブリッド共鳴 (UHR) に対応するピークが、NPW (A) の Type-A の基本波のそれに一致するのである。なお、Type-A の波動が上側ハイブリッド周波数か電子プラズマ周波数かの区別は、その差が観測されるピークのバンド中の中にはいってしまっていて判然としない。第5図は、Type-A の波形パターンの時間変化をあらわすものであるが、強度が衛星のスピン周期  $T \sim 90$  sec. で変動していることがわかる (特に、高調波が instrumental なものだとすると、それがスピン周期に伴って現われたり消えたりするのは、基本波の強度の著しい変動を意味するものである)。このようなスピン周期性は、測定系あるいはCBEが太陽あるいは向きまで考慮した磁力線、等といった一方向性をもつものに対して相関をもつ証拠であるが (向きを考慮しない磁力線に対しては、二方向性をもつ)、この波動の場合、強度が最大になるのはCBEあるいは測定系が太陽方向を向いた時で、かような方向性をもつ理由についてはまだ不明であり検討中である。

第2の波 (Type-B) は、Type-A よりも低いL値の領域であらわれ、Type-A と同様 L 値の減少と共に周波数が増加していくものである (第2-1図, 第3図) この波動は、Rev. 654~671の一連の実験では、概して入感近くでは観測されず、主に消感近くで観測されたが、その理由は、第6図にみるように、入感時の観測時刻が遅すぎて、あるL値よ



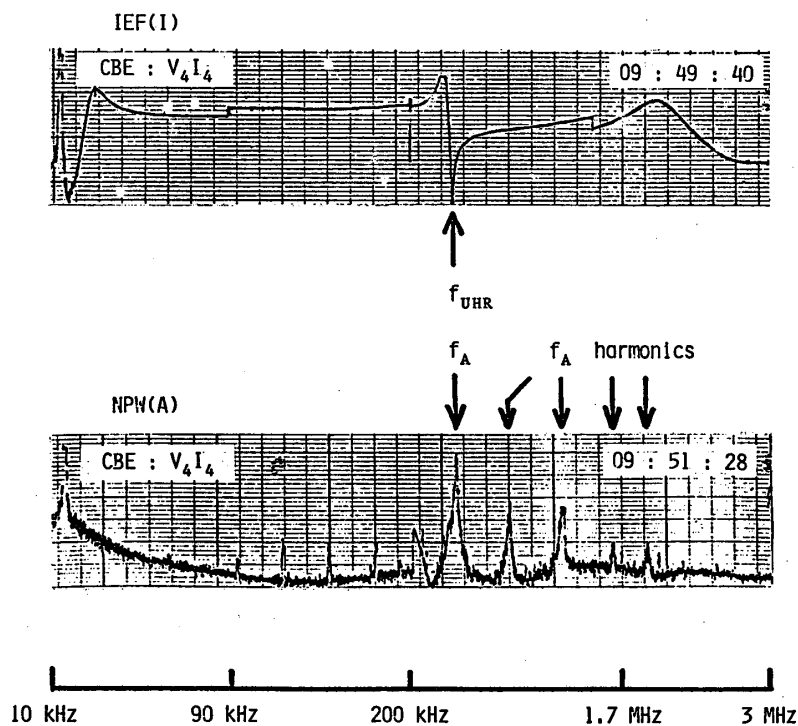
CBE ( $V_4, I_4$ ) — IEF(1), NPW(A)

Rev. 674

1979. 5. 11

L.V ; 2.95

M.lat ; 6.64°

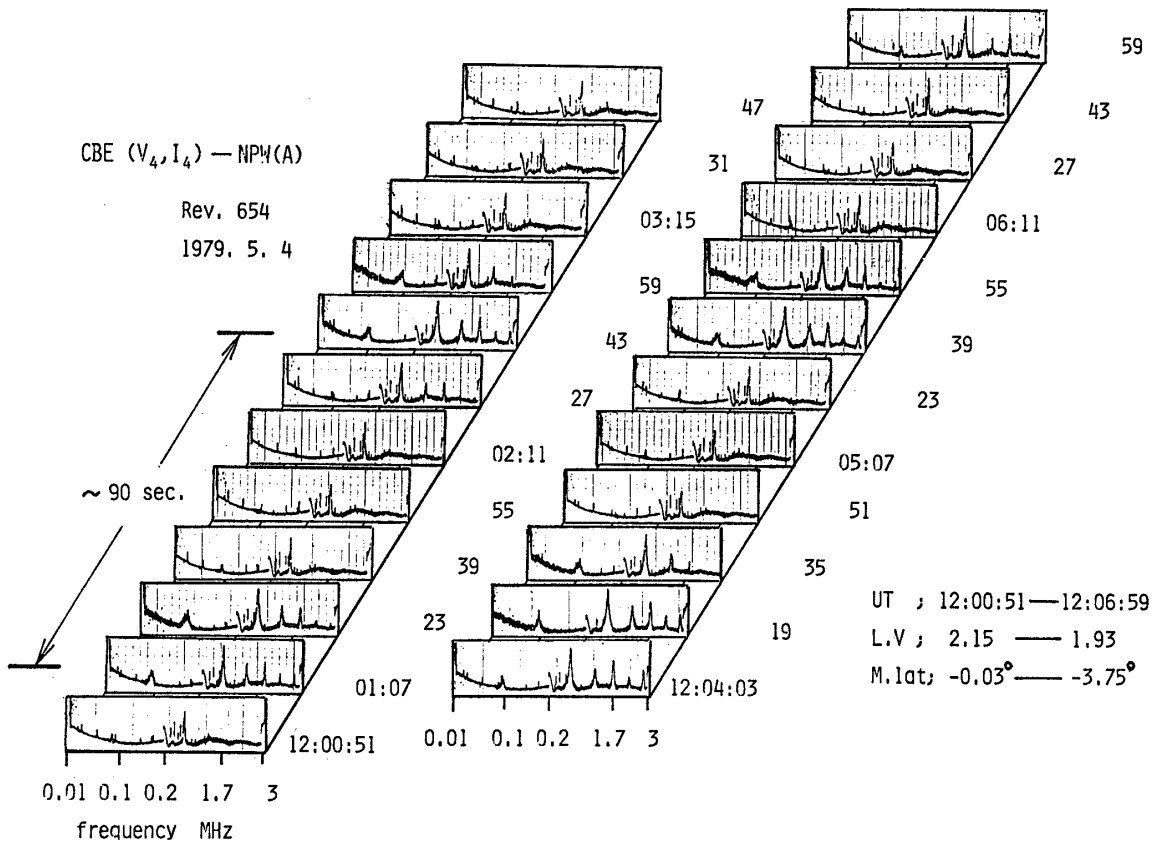


第4図 Type-A 波動の波形パターン

(上) IEF(1) の周波数スペクトル。  $f_{UHR}$  は上側ハイブリッド共鳴周波数

(下) NPW(A) の周波数スペクトル；  $f_A$  は  $f_{UHR}$  にほぼ一致している。

りも高い所から観測が始まっているためである。これはすなわち、Type-B の波動があらわれるL値の上限が存在することを示唆しているが、実際、L値が上昇するにつれて強度が減少していった消滅してしまうことが観測されている。Type-Bの波動があらわれるもう一つの重要なパラメータとして、周辺プラズマの密度  $n$  あるいはそれと放出ビームの密度  $n_b$  との比、  $n/n_b$  があげられる。周辺プラズマの密度  $n$  については、Type-Aの基本波のピーク周波数  $f_A$  とIEF(1)の上側ハイブリッド共鳴周波数  $f_{UHR}$  がほぼ一致することから、Type-Bがあらわれている範囲で



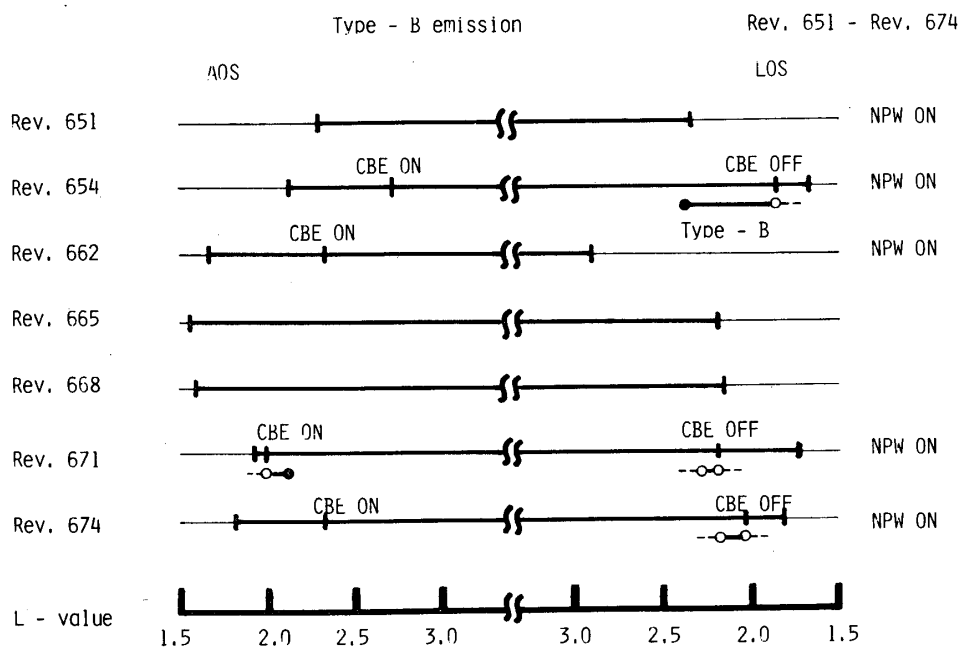
第5図 Type - A, B 波動の波形パターンのスピンの周期 (T ~ 90 sec.) による変動

$f_A \approx f_{UHR} \approx f_{pe}$  として求めた電子密度  $n_e$  を L 値についてプロットしたものを第7図に示す。図中の実線に続く破線は、Type - B の波動があらわれている途中で測定モードを変えたために観測は行っていないが、まだ現われていることを示している。そして、破線が続かない端点は、そこで Type - B が消滅あるいは観測にかからなくなったことを意味している。これら一連の実験値で見ると、Type - B の波動があらわれる L 値の上限は  $L \sim 2.4$ 、密度の下限は  $n_e \sim 3.5 \times 10^3 / \text{cm}^3$  である。L 値の下限、密度の上限については入感・消感時刻による制限のため明確ではない。Type - B がパラメータ  $n/n_b$  に依存するかどうかは、CBE モードを変化させた系統的な実験が、まだ十分に行われていないので何とも言えない。第8図に、地球磁場を双極子磁場、

$$B(r) = B_0 \left( \frac{a}{r} \right)^3 \sqrt{1 + 3 \sin^2 \Phi}$$

$B_0 = 0.312 \text{ G}$  ,  $a = 6320 \text{ km}$  ,  $\Phi$  ; 磁気緯度

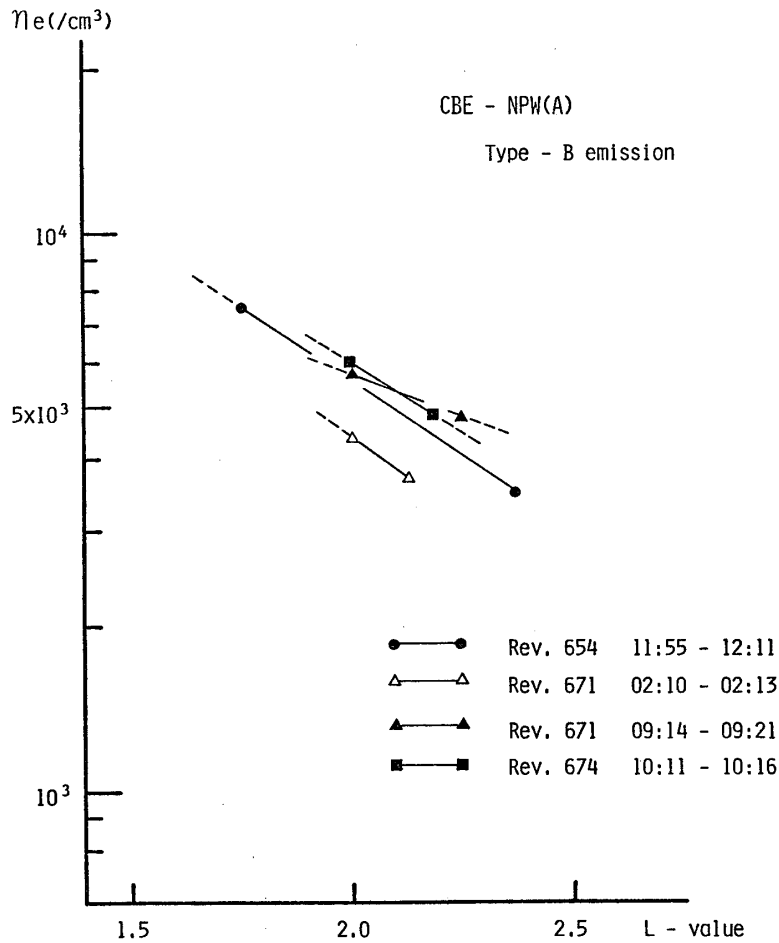
で近似して導出した磁場強度に相当する電子サイクロトロン周波数  $f_{ce}^{(d,a)}$  と観測された



第6図 Rev. 651～674におけるType-B波動の出現領域

周波数  $f_B$  の比  $f_B/f_{ce}^{(d,a)}$  をL値の函数として求めたものを示す。明らかに、Type-Bの波動は、電子サイクロトロン周波数  $f_{ce}$  か、それに極めて近い周波数をもつ波動である。概してそれら二者の間には、わずかな差が存在しているのがわかるが（特に、Rev. 654のL値の高い部分と低い部分で、それが顕著である）、現在MGFが故障中で、磁場の実測データがないため、それが、磁場の乱れ等により実際の磁場強度が双極子近似からずれているためなのか、あるいは電子サイクロトロン周波数と少し違った周波数をもつ波動であるのか、の判定は難しい。さて、このType-Bの波動も、Type-Aの波動と同様、スピン周期性をもっている。第9図に、Type-AとType-Bの波動の強度の時間変化を示すが、二つの波動はin phaseで衛星のスピン周期で変動していることがわかる。したがって、Type-Bの波動もCBEあるいは測定器が太陽方向を向いた時に極大値をもつ。

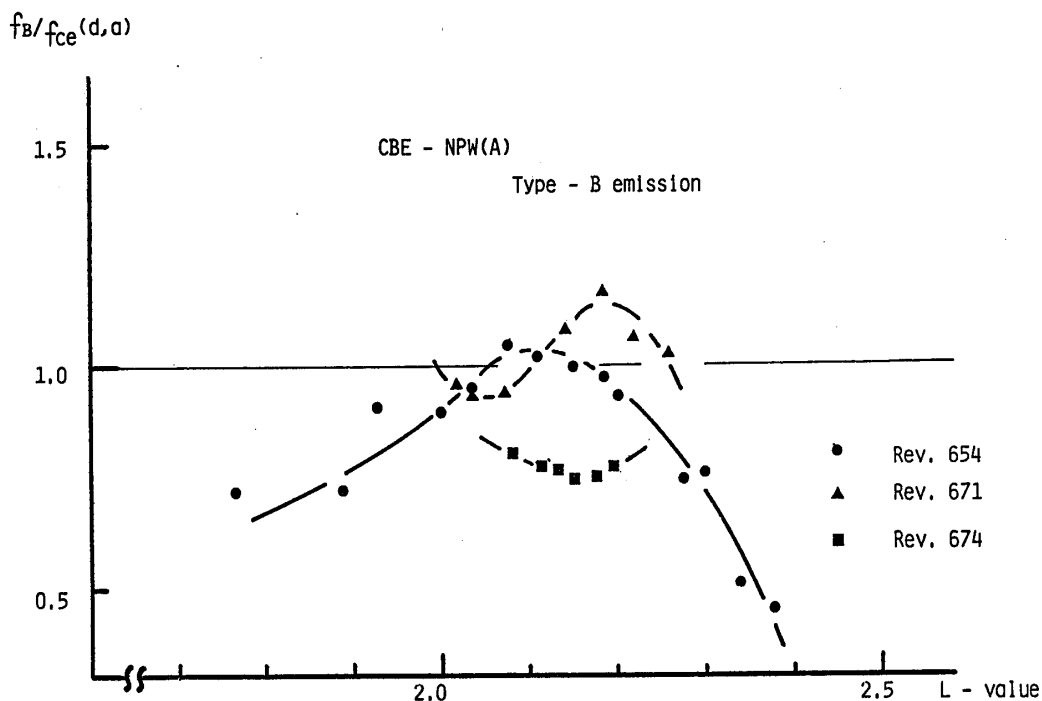
第3の波（Type-C）は、第2-1図、第3図に示すように、L値がある程度大きい領域でかなりの時間にわたってあらわれる波動である。ピーク位置は  $f_c = 150 \sim 200$  KHzでL値の変化（したがって周辺プラズマの密度や磁場強度の変化）に依らずほぼ一定で、かなりバンド幅が広い。かように、この波動は局所的なプラズマ・パラメータに依存しないため、それがその場所で発生したものではなく、磁気圏の外側に起因するもので、電子ビームを放出した際、NPWのアンテナの感度が上がり、このようなものが検出されるのではないかと考えられている。この波動はRevolutionの違いによってはっきり現われる場合とわかりにくい場合があり、したがって軌道etc.の違いによって多少再現性が左右される傾向を



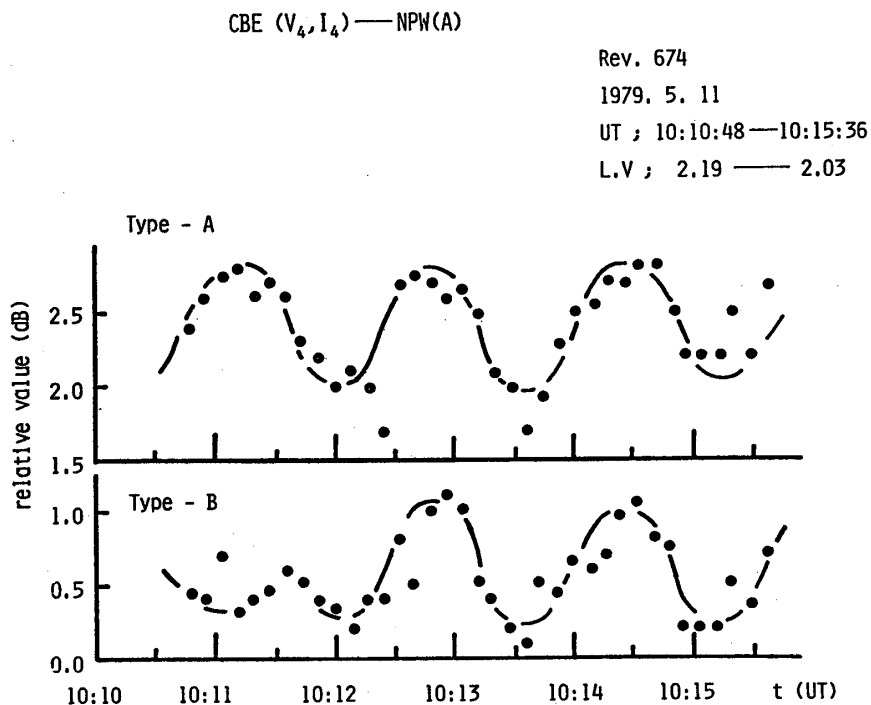
第7図 Type-B波動が現われる際のL値 vs. 密度プロット

もつ。衛星のスピン周期に対する依存性については、Type-A, B のようなはっきりしたものは見受けられないが、 $\sim 1/2$  スピン周期でやや波形が乱れる傾向があり、測定器と磁力線との位置関係が関与していることを示している。

第4の波 (Type-D) は、前述の 16 KHz 高調波群である (第2-1図, 第2-2図)。この波動は、その原因が CBE の加速電圧に重畳されている 16 KHz 矩形波のヒーター電圧によるものである。既に述べたように、カソード・ヒーターは直熱型で、そこに AC 電圧が加えられているので、カソードの両端では約 3 V の電位差が生じている。ビーム放出電流は、空間電荷制御モードではなく、温度制御モード、すなわち、カソード・ヒーターの温度をコントロールすることによって制御されており、そのヒーターの熱時定数が 10 msec. 以上のため、結局、放出電流は 16 KHz 交流によっては modulate されない。一方、ビーム・エネルギーについては、加速電圧に交流ヒーター電圧が重畳されているため、例えば、加



第8図 比  $f_B / f_{ce}^{(d,a)}$  の L 値による変化



第9図 Type - A, B 波動の強度のスピン周期依存性. ;  
これらの波動は衛星のスピン周期 ( $T \sim 90 \text{ sec}$ )  
で互いに in phase で強度が変動している

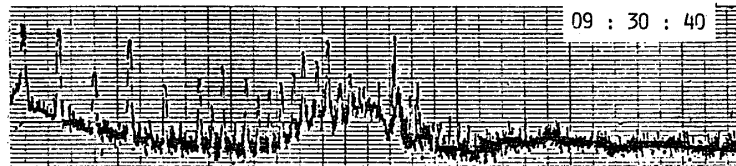
CBE ( $V_4, I_4$ )—NPW(A)

Rev. 654

1979. 5. 4

High L-value

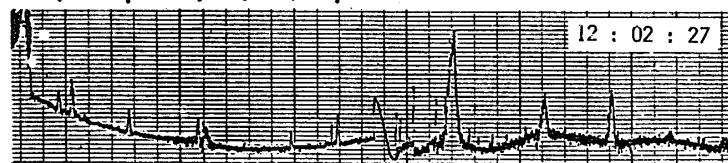
L.V = 5.99, M-lat = 19.84°



1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12  
 $f = n f_0$   
 $f = (n + x) f_0$

Low L-value

L.V = 2.09, M-lat = -0.92°



$f = 2 m f_0$   
 2 4 6 8 10 12

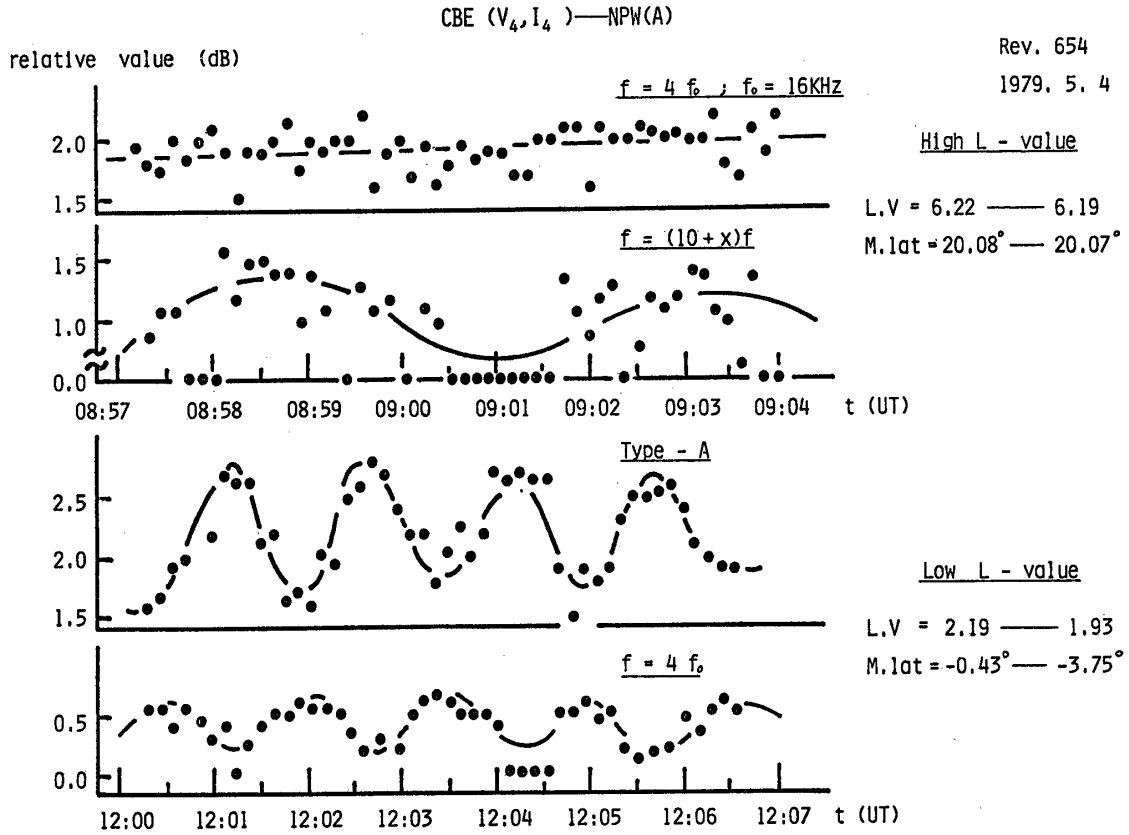
10 kHz      90 kHz      200 kHz      1.7 MHz      3 MHz

第10図 Type-D 波動の典型的な周波数スペクトル

(上) L 値が大きな場合 (L = 5.99)

(下) L 値が小さな場合 (L = 2.09)

速電圧が  $-200\text{ V}$  の場合、ビーム・エネルギーは最大値が  $200 \sim 203\text{ eV}$  の間を  $16\text{ KHz}$  で振動する。すなわち、ビームは速度空間で変調を受けるため、ビーム・パンチングが起こる。第10図に、L 値が大きな領域と、L 値が小さな領域での Type-D の典型的な波形を示すが、これらからわかるように、L 値が大きな領域では、 $16\text{ KHz}$  の高調波群、 $f = n f_0$  ( $f_0 = 16\text{ KHz}$ ;  $n = 1, 2, \dots$ ) と  $f = (n + x) f_0$  ( $0 < x < 1$ ) が現われておりその強度も強い。x は各 n に対して同じ値をとり、したがってこの波動の間隔  $16\text{ KHz}$  である。それに対して L 値が下がると、これらの強度は次第に弱まり、また高調波の種類も減少していった Type-A, B のあらわれるような L 値の小さな領域では、偶数次の高調波  $f = 2m f_0$  のみ現われる。この波動の強度のスピ周期依存性についてプロットしたのが、第11図である。L 値が大きな領域ではほとんどスピ周期に依存していないのに対して、L 値が



第11図 Type-D波の強度のスピ周期依存性  
 (上) L値が大きな場合;  $f = 4f_0$  と  $f = (10+x)f_0$   
 (下) L値が小さな場合; Type-A と  $f = 4f_0$

小さな領域では、Type-A, Bの波動と out of phase でスピ周期と同期した変動を受けているのがよくわかる。以上のような観測事実から、この16 KHz波と周辺プラズマとのカップリングには、当然パラメータ  $n/n_b$  が関与していることが予想される。したがって、CBEモードの違いによる変化が問題となるわけであるが、これについては少しく後述する。

第5の波 (Type-E) は、第2-2図のソナグラフに現われているもので、16 KHz高調波群の間で周波数がスピ周期で変動しているものである。この波動は、L値が大きな領域であられるもので、前述のType-Dの  $f = (n+x)f_0$  に対応しているものとも思われるが、現在のところ検討中である。

次に、これらの波動のビーム・エネルギー及びビーム電流に対する依存性について得られた結果について述べる。これは主にType-AとType-Dについて研究された。第12図に示すように、Type-A波動は、ビーム・エネルギーが増加する程、またビーム電流が増加する程、強度が増加し、ピークバンド幅も広くなり、高調波も多く現われる。このような傾向は、L値が高い領域に行く程、顕著になる。

CBE ----- NPH(A)

Rev. 674

1979. 5. 11

L.V. 2.35 - 2.58

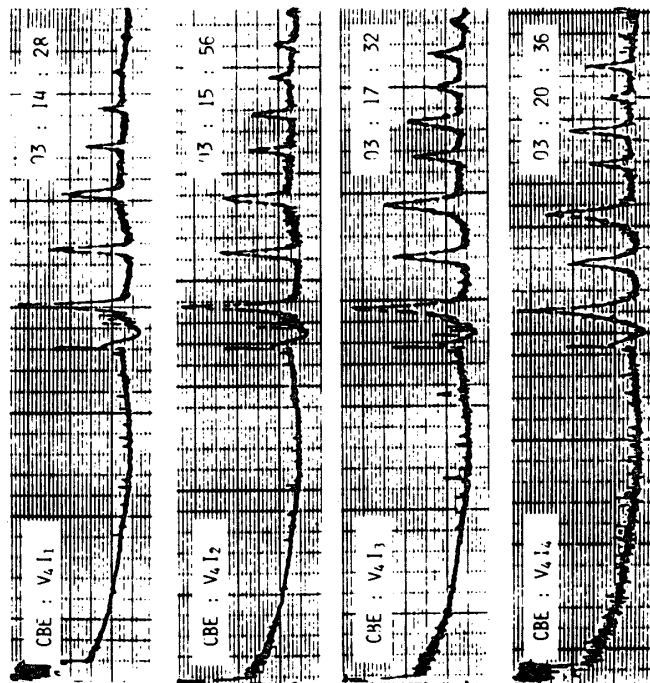
M. lat. 1.35° - 3.91°

$V_4 = -200V$  ;  $I_1 = 0.25mA$

$I_2 = 0.5 mA$

$I_3 = 0.75mA$

$I_4 = 1.0 mA$



CBE ----- NPH(A)

Rev. 674

1979. 5. 11

L.V. 2.58 - 2.71

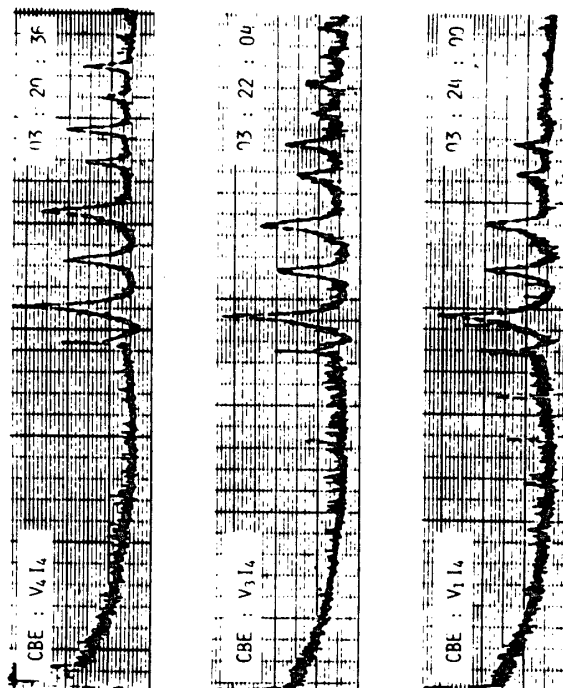
M. lat. 3.91° - 5.14°

$I_4 = 1.0mA$  ;  $V_1 = -100V$

$V_2 = -125V$

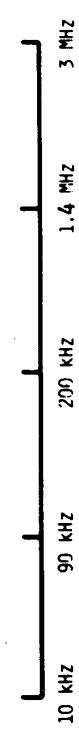
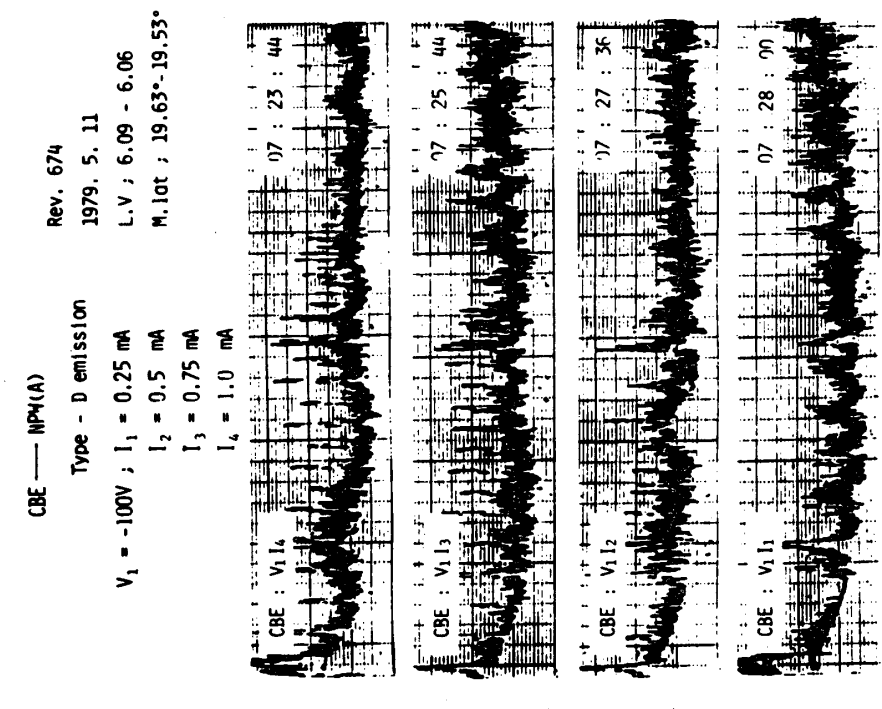
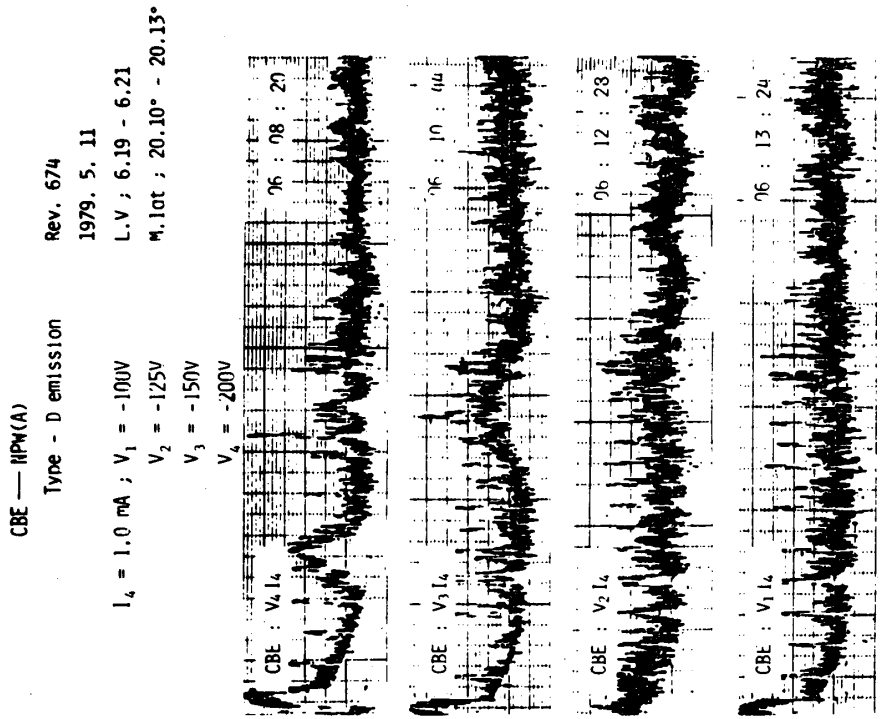
$V_3 = -151V$

$V_4 = -200V$



第12図 Type-A波動のビーム・エネルギー及びビーム電流依存性





第13図 Type-D波動のビーム・エネルギー及びビーム電流依存性

それに対して、Type-D波動は、Type-Aとは異なった依存性をもっている。すなわち、波動の強度と高調波の数は、ビーム電流が増加する程、またビーム・エネルギーが減少する程、増加する(第13図)。このような依存性を示す理由として、ビーム電流が増加する程、またビーム・エネルギーが減少する程ヒーター電流が増加し、それがヒーター電圧を増加させ、その結果、強いエネルギー変調が起こる、というモデルが考えられるが、このヒーター電圧の増加は約10%で、さほど多いというわけではなく、Type-Dのかなり激しい変化を十分説明できない。そこで、これを説明する1つの可能性として次のようなことが考えられる。すなわち、電子銃は温度制御モードで作動するようにデザインされているが、低加速電圧、あるいは高放出電流で作動させる場合、ビーム特性がある程度まで空間電荷制御モードとなっていてビーム電流まで16 KHzで modulate されている可能性があり、それがType-Dの変動に寄与するためであろう、と。既に述べたように、Type-Dの波動は、主にプラズマ密度の低い領域で現われ、周辺プラズマと電子ビームとのカップリングは、かなり複雑である。もっと詳細なメカニズムについては現在研究中である。

#### 4. 結 論

CBEのプラズマ波動への影響を調べる実験において、電子ビーム放出時に、プラズマ中に5つのタイプの波動が励起されることが見出された。それらの波動は以下の通りである。

- (i) Type-A ; 上側ハイブリッド周波数  $f_{UH}$ か、あるいは電子プラズマ周波数  $f_{pe}$ 。  
L値の比較的小さな領域であらわれ、instrumentalなものに起因するものと思われるいくつかの高調波を伴う。波動の強度は、衛星のスピン周期で変動し、またビーム・エネルギー及びビーム電流の増加に伴って増大する。
- (ii) Type-B ; 電子サイクロトロン周波数  $f_{ce}$ か、それに極めて近い周波数の波動。  
Type-Aよりも低いL値の領域であらわれる。この波動のあらわれるL値の上限は  $L \sim 2.4$ 、密度の下限は  $n_e \sim 3.5 \times 10^3 / \text{cm}^3$ である。Type-Aと同様、スピン周期性をもち、Type-Aとはin phaseで強度が変動する。
- (iii) Type-C ; 周波数  $f = 150 \sim 200$  KHz、バンド幅はかなり広い。L値が比較的大きな値であらわれ、L値の変化(したがって、密度、磁場強度の変化)に依存せず、またかなりの時間にわたって観測される。orbitの違いにより多少再現性が左右される。
- (iv) Type-D ; 16 KHz 高調波群。L値の大きな領域では、 $f = n f_0$  と  $f = (n+x) f_0$  があらわれ、スピン周期性がない。一方、L値の小さな領域では、 $f = 2 m f_0$  があらわれ、スピン周期性をもつ、すなわち、強度変化がType-A, Bとout of phaseであらわれる。また強度は、ビーム・エネルギーが低い程、ビーム電流が高い程、増大する。
- (v) Type-E ; 16 KHz 高調波群の間で、周波数  $f$  がスピン周期で変動する。上記の

$f = (n+x) f_0$  に対応するものと想定されている。L 値の大きな領域であらわれる。

これらの波動の励起は、磁気圏におけるプラズマ・パラメータあるいは他のパラメータに大きく関与しているので、これらの波動励起の物理的メカニズムを解明することは、磁気圏物理に豊富な知識を提供することになる。現在のところ、NPW(A)のデータばかりでなく、VLF領域でのデータ(NPW(V))や、エネルギー分析器(ESP)、プラズマ・プローブ(IEF)のデータといった、多数のデータが集積されており、順調に解析が進められている。

#### 謝 辞

大林辰蔵教授、木村磐根教授はじめ、この実験に携わった Exos-B プロジェクト・スタッフ及び JIKIKEN 追跡班の諸氏に感謝の意を表す。また、久保治也、向井利典、鶴田浩一郎、橋本弘蔵博士らや小野高幸氏との有益な議論は、この実験を行うに際してたいへん参考になった。

1979年10月1日

#### 参 考 文 献

- [ 1 ] S.E. Deforest and C.E. McIlwain; J. Geophys. Res., 76, 3587, 1971.
- [ 2 ] S.E. Deforest; ibid, 77, 651, 1972.
- [ 3 ] A. Rosen(ed), Spacecraft Charging by Magnetospheric Plasmas, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1976.
- [ 4 ] R.D. Sharp, R.G. Johnson, and G. Paschmann; J. Geophys. Res.; 75, 6092, 1970.