

# 科学衛星 KYOKKO によるプラズマ波動の観測

中村 良治・野村 雄二・伊藤 富造

向井 利典・平尾 邦雄

(1981年12月26日受理)

## Observation of plasma waves by the scientific satellite KYOKKO

By

Yoshiharu NAKAMURA, Yuzi NOMURA, Tomizo ITOH,  
Toshifumi MUKAI and Kunio HIRAO

**Abstract:** Observation of plasma waves performed by the plasma wave receiver on board KYOKKO satellite in the frequency range from 45 kHz to 3 MHz is described. Plasma emissions have been detected mainly in two regions. In the auroral region, the auroral hiss is associated with the electron precipitation. The hiss occurs in two frequency regions. One exists below the minimum of  $f_p^-$  or  $f_g^-$  where  $f_p^-$  and  $f_g^-$  are the plasma and cyclotron frequencies of electrons, respectively and the other extends to above it. The hiss which extends to above the minimum of  $f_p^-$  or  $f_g^-$  is correlated with the inverted  $V$  electron precipitation with a peak energy of a few keV to 10 keV. In the equatorial region, a hiss has been also observed. Two different modes coexist in the hiss. One is a usual whistler mode observed in geographically limited regions. The other is a UHR wave which sometimes continues to be observed in the polar regions.

### 1. ま え が き

衛星による超高層プラズマ内の波動観測はこれまで磁気圏全域にわたって数多くなされてきて、種々の波動の存在とその分布姿態および役割等について研究されてきた [1]。その中でもオーロラ磁力線に沿った磁気圏では広帯域静電ノイズ [2]、オーロラヒス [2][3]、ソーサー [4] 等が観測され、その領域 (数 Re) に発生源をもつと言われるオーロラキロメートル放射 [5][6] が最近注目をあびている。プラズマ波動観測装置 (ESW) を搭載した

科学衛星 KYOKKO (EXOS - A) は昭和 53 年 2 月 4 日遠地点高度 3977 km, 近地点高度 642 km, 軌道傾斜角  $65.4^\circ$  の準極軌道に打ちあげられた。ESW は極域超高層を中心にプラズマ波動を受信観測して極域での波動の姿態及び分布について議論検討することにより, 磁気圏—電離圏の結合の様子と活動を波動—粒子の観点から解明する。またそれだけでなく, 磁気赤道付近でも波動を観測していて, 電離圏の波動現象ならびにプラズマの様子を研究するためのデータを供給している。

この報告では衛星の飛翔した全領域で, 受信観測された波動の結果について記述する。特に極域での波動現象についてはやはり KYOKKO に搭載された電子エネルギースペクトル観測装置 (ESP) の同時観測によって得られた降下電子 [7] との相関について報告する。

## 2. 観 測 器

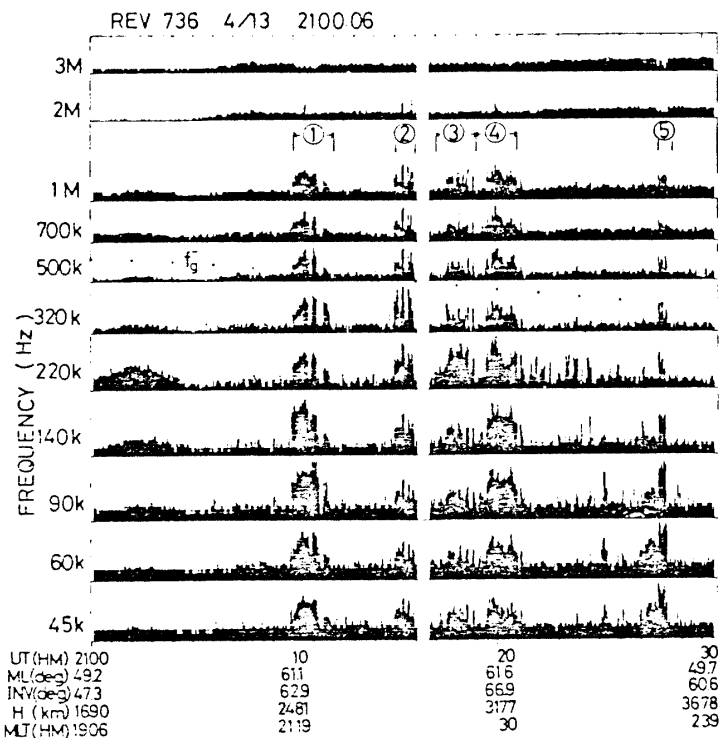
ここで報告する波動は主に先端長約 4.5 m のダイポールアンテナによって受信された 45 kHz から 3 MHz の LF・MF 帯の波動である。11 個の帯域フィルターを有し, 45 kHz から 3 MHz までを対数的にほぼ等間隔になるように選んであり, それぞれの中心周波数は 45, 60, 90, 140, 220, 320, 500, 700 kHz, 1, 2, 3 MHz である [8]。データ伝送は, LOW BIT RATE 時には 2 秒間に各チャンネルが 4 個のデータを取得し, 次のデータ取得までには 6 秒待たねばならない。従って, 最高時間分解能は 2 秒平均となるが, データ表示には 2 秒間に得た 4 点を平均して 1 点として, 全体を 8 秒平均とする方法をとっている場合が多い。一方, 電子エネルギースペクトル観測装置 (ESP) は 4 eV から 9.4 keV のエネルギー範囲を掃引し, BIT RATE LOW 時の繰り返し周期は 4 秒で磁力線に沿った降下電子, 上昇電子を観測した。

## 3. 観 測 結 果

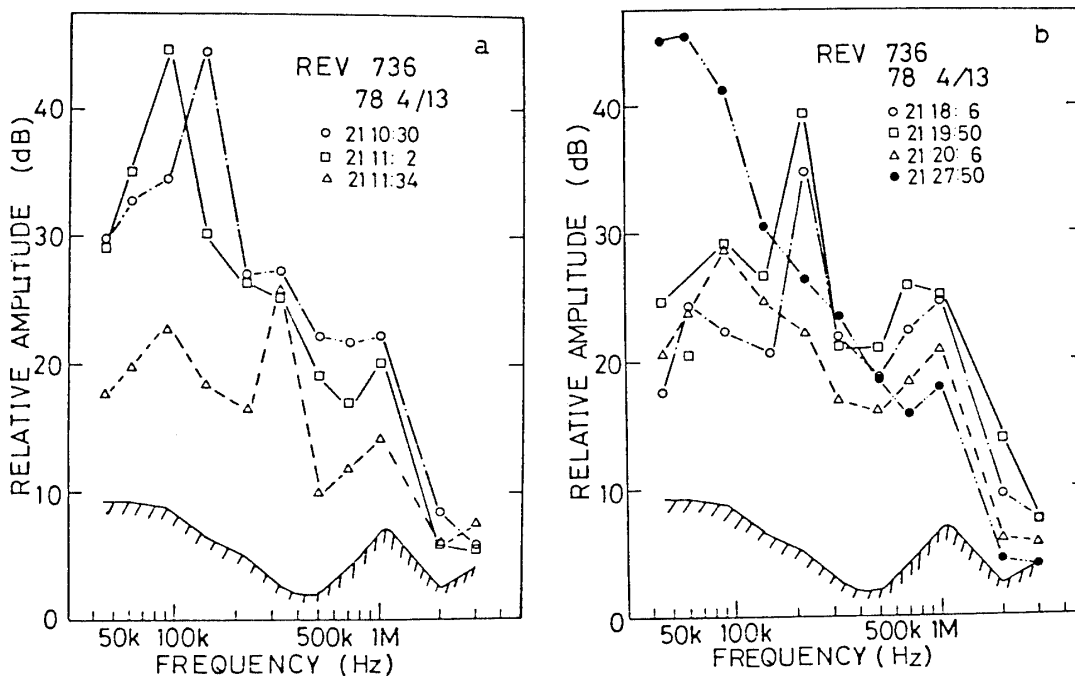
### 3.1 極域で観測された波動

図 1 には周回数 736, 1978 年 4 月 13 日 21 時 00 分から 21 時 30 分 (UT) の時間帯に観測されたプラズマ波動の例を示す。① 10 分から 12 分, ② 15 分から 16 分, ③ 17 分から 19 分, ④ 19 分から 21 分, ⑤ 27 分 50 秒から 28 分 30 秒に 45 kHz から 1 MHz 帯にかけ, 時には 2 MHz にまでの周波数帯に及んだ波動が観測されている。この時, 衛星は高度 2400 ~ 3600 km, 磁気地方時 21 時 19 分から 2 時 20 分の真夜中を, 地磁気不変 (INV) 緯度  $629^\circ$  から  $67.1^\circ$  まで上り再び下って  $62.3^\circ$  までを飛翔した。この時間帯で観測された①~⑤の波動の特徴として a) 45 kHz から 1 MHz までの各チャンネルの周波数で波動強度の時間(空間)変化が著しく, b) 同様に最大強度となる周波数も変化し, c) 特性周波数  $f_g^-$  や  $f_p^-$  等での顕著なカットオフがみられない。ここで  $f_g^-$  は IGRF 1975 モデルに基づいた局所電子ジャイロ周波数(図中に示す)であり,  $f_p^-$  は電子プラズマ周波数で約 320 kHz 位であった。

もう少し詳しくみると上述した特徴を有しない波動も観測されている。1 つは 21 分 30 秒から 28 分 00 秒にかけて 220 kHz のみで観測された波動で, 他は 25 分 30 秒と 27 分 30



第1図 周回数736, 1978年4月13日21時から21時30分に観測された極域でのプラズマ波動, 図中の点はIGRF 1975の局所電子サイクロトロン周波数の値を示す。



第2図 極域で観測されたプラズマ波動の周波数スペクトルの型。a)~c)にはそれぞれの時間で観測された周波数スペクトルの例を示す。

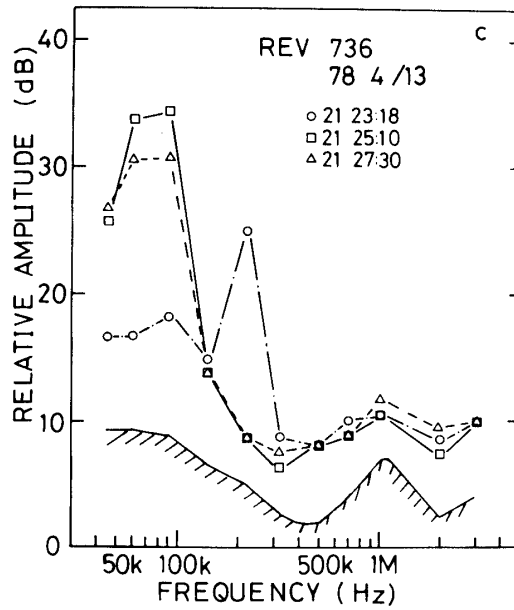
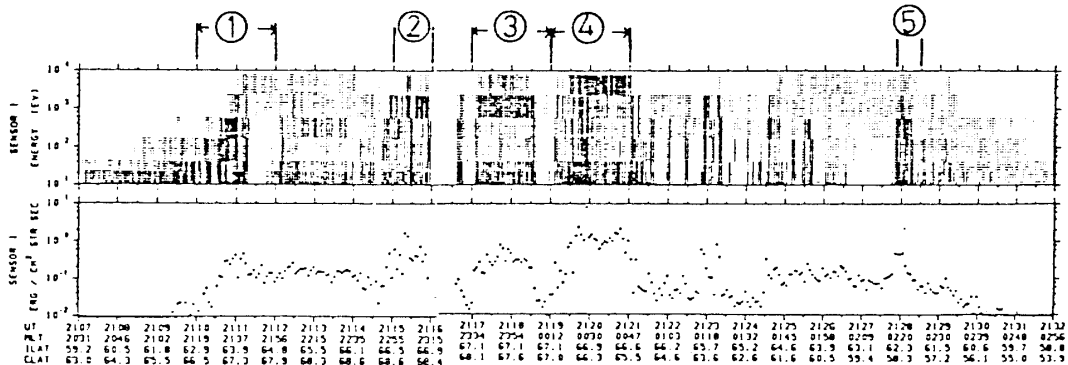


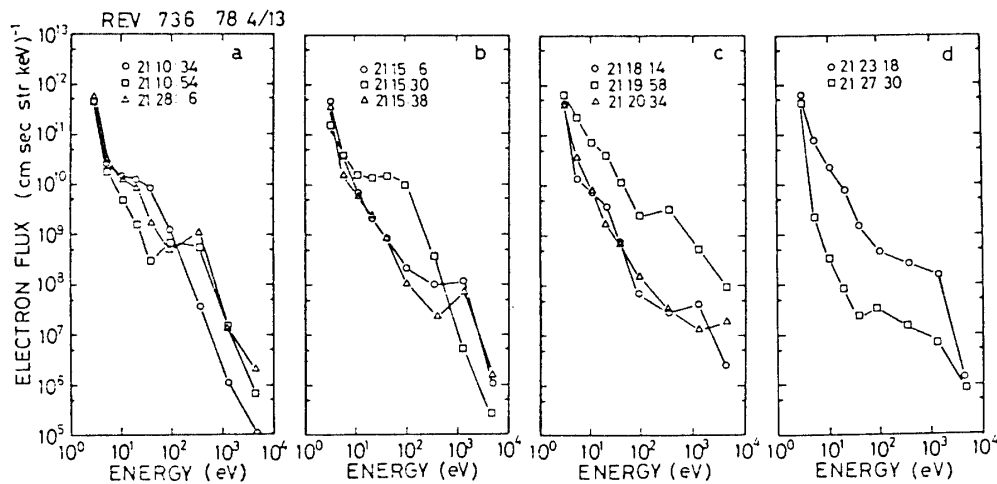
図2-c

秒に 90 kHz 以下でのみ観測された波動であり、27分30秒に観測されている波動は他と比較して穏やかである。これらはずかしの例外もあるが  $f_{g^-}$  や  $f_{p^-}$  以下で観測されている共通点がある。

スペクトル構造を詳しくみるために、ある時刻での代表的なスペクトルを第2図に示す。第2図aは①の時間内で観測されたスペクトル波形である。90 kHz から 320 kHz 内で強度が最大の周波数が変化しているし、振幅変化も大きい。1 MHz 付近にピークがあるが、これは受信器内のノイズが大きいため、これを考慮すると 500 kHz 以上はほとんど単調減少している。同じく 90 kHz 以下も単調減少していると思われる。b図も 500 kHz 以上のスペクトルの形はa図と同様な傾向を示しているが、⑤の21時27分50秒に示されるように 45 kHz から 60 kHz にかけて最大値があり 90 kHz 以下の周波数の強度変化が激



第3図 低電子エネルギー観測装置 (ESP) で観測された降下電子。上図はエネルギー—時間図 (E-t図) 下図はエネルギーフラックス—時間図を示す。



第4図 それぞれの時間で観測されたエネルギースペクトル図，a)は①と⑤の時間帯で，b)は②の時間帯でc)は③，④の時間帯で，d)はその他の時間に観測されたエネルギースペクトル図。

しい。c図は21分30秒から28分までの間に観測されたスペクトル例であり、受信されている波動はa, bで示した例と比較して狭帯域であり、かつ $f_p^-$ 以下でのみ存在する顕著なスペクトル構造をしている。aとb図は $f_g^-$ 以上でも波動が受信されかつ、 $f_g^-$ 以上では周波数が増加するに従い強度は単調減少している。 $f_g^-$ または $f_p^-$ 以下の周波数帯域で最大強度の周波数は変化している。一方c図は $f_g^-$ 以上ではほとんど観測されていなく、 $f_p^-$ または $f_g^-$ 以下でのみ観測されている。 $f_g^-$ 以上でノイズレベルより5 dB大きい信号が受信されているがこれは別の原因である。

以上の結果をまとめると真夜中の極域で観測された波動はINV緯度 $62.0^\circ$ から $67.7^\circ$ にわたって観測されているが、個々の現象は $2^\circ$ 以内の所で突発的に発生している。 $f_g^-$ または $f_p^-$ 以下でのみ観測される波動と $f_g^-$ 以上にわたって観測される波動があり、後者は45 kHzから2 MHzまでの全周波数帯で強度が時間(空間)的に激しく変化し、特に $f_g^-$ または $f_p^-$ 以下での周波数帯で激しい。

### 3.1.1 低エネルギー降下電子との対応

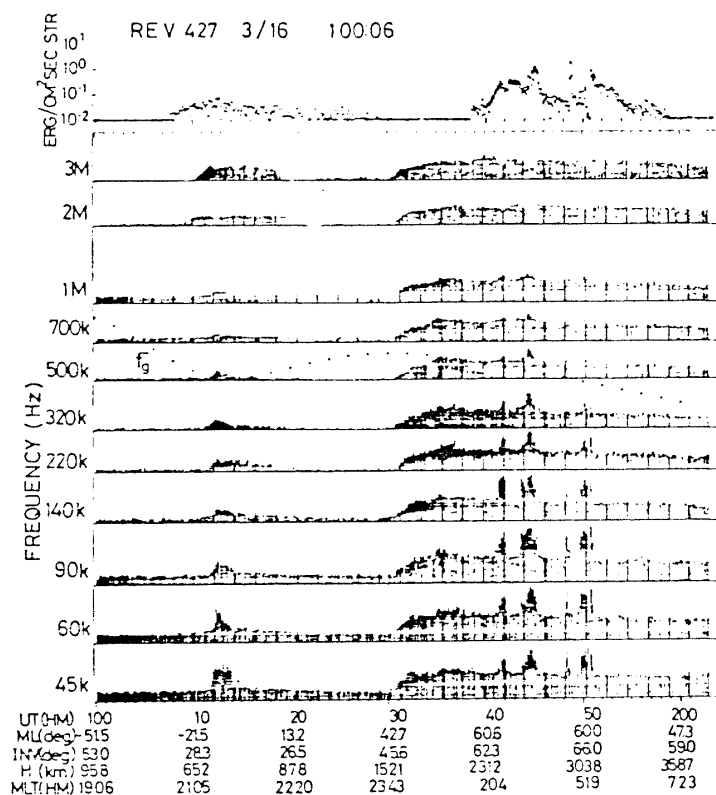
波動の時間(空間)的变化が激しいのは波動の発生源の降下電子にその原因があると考えられるが、詳しく調べるためにESPで得られた低電子エネルギーの観測との比較を行った。第3図には第1図と同時刻に低電子エネルギー観測装置(ESP)で観測されたエネルギー-時間( $E-t$ 図)(上図)とエネルギーフラックス-時間図(下図)を示す。上図において②, ③, ④にはピークエネルギーは異なるが特徴的な逆V字型の降下電子が観測されていて、エネルギーフラックスの増大がみられる。①, ⑤にも同様にエネルギーフラックスの増大がみられる。21時9分30秒から21時31分まで $10^{-2}$  erg/cm<sup>2</sup> str sec以上の降下電子がみられるが、時間(空間)的にフラックスが変化している時に波動が観測されている。21時12分から14分30秒まで約0.1 erg/cm<sup>2</sup> str secの降下電子が定常的にみられ

るこの時間帯では波動は際立って観測されていない。①、⑤で顕著であるが、降下電子の増大がみられる時間帯よりも波動の観測されている時間の方が長い。各時刻での電子エネルギースペクトル図を第4図a～dに示す。ほとんどのエネルギースペクトルに正の勾配が存在するのがわかる。②の時間帯には二つの逆V字型電子降下が観測され1.3 keVにピークが存在する(b図)。また③でも同様に1.3 keVにピークが存在するのがわかる。④では4.9 keVにピークがあるように見える(c図)。①、⑤でもE-t図で、特に①では1.3 keVにピークを有する降下電子がみうけられるが、しかしそれは衛星の飛翔が緯度的に早く変化しているためか明確に判別がつけにくい。ここでは数100 eVにピークがある例を示す(a図)一方、21分30秒から27分50秒の時間帯で、急激にエネルギーフラックスが増加し、波動が観測されている時のエネルギースペクトル図をみると数100 eV付近にピークを有するか平坦部を有する特性を示すのが多かった。例としてd図には衝撃的にエネルギーフラックスが増加した時とそうでない時のエネルギー分布を示す。

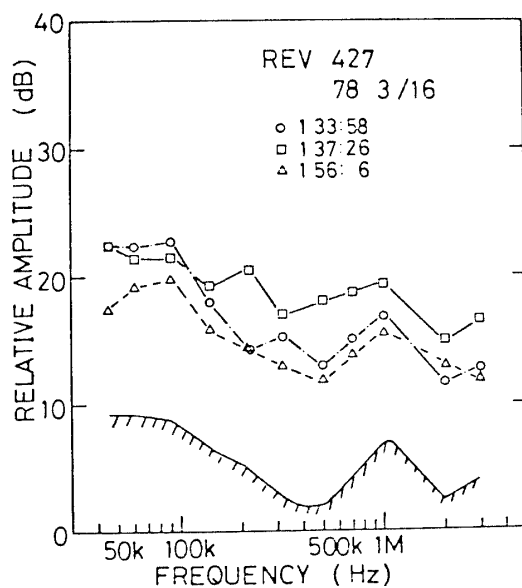
以上の結果をまとめると強度変化は降下電子のエネルギースペクトル変化とエネルギーフラックスの変化に対応している。数keVにピークエネルギーをもつ逆V字型の降下電子がある場合は $f_g^-$ 以上におよぶ波動が観測されることがわかった。また $f_g^-$ 又は $f_p^-$ 以下でのみ存在する波動が観測された時刻付近のエネルギースペクトルは数100 eVにピークを有するか平坦な構造を有していた。降下電子のエネルギーフラックスが $0.1 \text{ erg/cm}^2 \text{ str sec}$ 位定常に存在する場合は波動は目立って観測されなかった。これらの事により観測された波動は磁力線に沿った降下電子ビームにより発生したことがわかる。また波動の強度変化が激しいのは降下電子のエネルギースペクトルの構造つまりピーク値及びエネルギーフラックスが変化しているためだという結論が得られた。このように観測された波動はインコヒーレントな放射よりむしろ電子ビーム不安定性の増幅作用の過程を経て観測されたと考えられる[9]。また、突然に観測される波動は電子が急激に降下してきたか非常に局在して降下しているためエネルギースペクトルが平坦になっているのは波動-粒子相互作用の非線型過程を経た結果であろう。

### 3.1.2 議論

$f_g^-$ または $f_p^-$ の小さい方以下で存在する波動としてホイッスラー波が考えられ、ここで観測された波動もその例にもれないであろう。従って極域でしばしば観測されるオーロラヒス[3][10]と同じ波動である。数100 eVから数keVにピークをもつ降下電子と対応が良いことから、直接にホイッスラー波が励起されたのではなく位相速度の遅いレゾナンスコーン角度近くで伝播する静電成分の大きなホイッスラー波が増幅され[9]観測されたと考えられる。ピークエネルギーが数keVを有する逆V字型の降下電子の中心で観測された波動は90 kHzから320 kHzに最大強度をもつ周波数スペクトルをしていたが、これは理論計算値[9]と異なる。KYOKKOと同様な領域を通過する衛星で観測されたオーロラヒスの発生場所の磁気不変緯度幅は $7^\circ$ で、真夜中では $72^\circ \text{ INV}$ に真昼では $77^\circ \text{ INV}$ に最も良く集中していた[3]。また0.7, 2.3と7.3 keVの中で0.7 keVのエネルギーの降下電子フラックスと昼間側の極性カスプで観測されたオーロラヒスは相関があった[11][12]。ここで観測された波動の領域の磁気不変緯度幅は個々の事象は $2^\circ$ 以内であり $62.0^\circ$



第5図 周回数427, 1978年3月16日1時から2時3分にESW(下図)とESP(上図)で観測されたデータ。

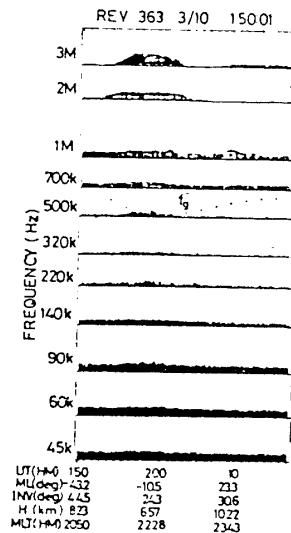


第6図 中緯度及び極域にわたって観測されたノイズの周波数スペクトルの例。

から  $67.1^\circ$  にわたっていた。 $67.1^\circ$  以上は衛星が通過しなかったので幅については比較できないが Injun 3 の観測より赤道側にずれているのは磁場が荒れていたせいであろう [13]。この日の  $\Sigma K_p = 27^+$  でこの時間での3時間おきの  $K_p$  指数は  $6_-$  であった。 $f_g^-$  または  $f_p^-$  以下のみの周波数の波動については数 100 eV にピークを有するビームと相関があり、 $f_g^-$  以上にわたって存在する波動がある場合は、数 keV にピークを有する逆 V 字型の降下電子と相関があった。 $f_g^-$  以上で存在する波動のモードとしては電磁波 (AKR) 又は静電サイクロトロン波が考えられるが数 keV にピークを有する沿磁力線方向の逆 V 字型の降下電子と相関があり [14]、この日は  $\Sigma K_p = 27^+$  であり、 $f_g^-$  以上で周波数スペクトルが連続的に続いているようにみえることから AKR の可能性が大きい [6]。静電サイクロトロン波は  $f_p^- < f_g^-$  の条件では  $nf_g^-$  ( $n$  は整数) の近くだけしか分散関係が存在しない [15] のでこのモードとは考えられない。

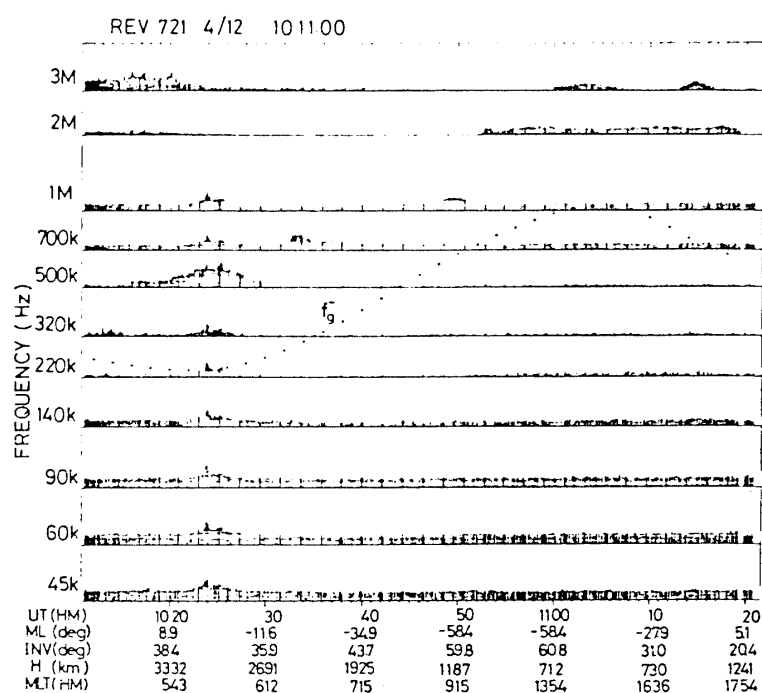
### 3.1.3 中緯度及び極域にわたって観測されたノイズ

第5図は周回数 427, 1978年3月16日1時から2時3分 (UT) に得られたデータを示す。ここで注目しているのは1時31分から2時3分まで 45 kHz から 3 MHz の全周波数帯域で受信されたノイズである。1時4分30秒, 44分10秒, 48分30秒及び50分付近に突発的な強度の増大がみられるのは前述した LF-MF 帯のオーロラヒスである。いくつかの時刻での周波数スペクトルを第6図に示す。時間的に強度の違いはあるが、スペクトルの型は全周波数帯ではほとんど平坦である。強度の時間 (空間) は前述のオーロラヒスと比較して穏やかである。観測されている時刻は磁気地方時で15時12分から翌日の7時50分, INV 緯度が  $45.7^\circ$  から  $67.3^\circ$ , 再び下って  $55.1^\circ$  以下までであることからオーロラヒスとは全く異なるタイプのエミッションである。また降下電子との対応もほとんどない。す



第7図 磁気赤道付近で観測された波動の例。周回数 363, 3月10日1時50分から2時18分に観測された。



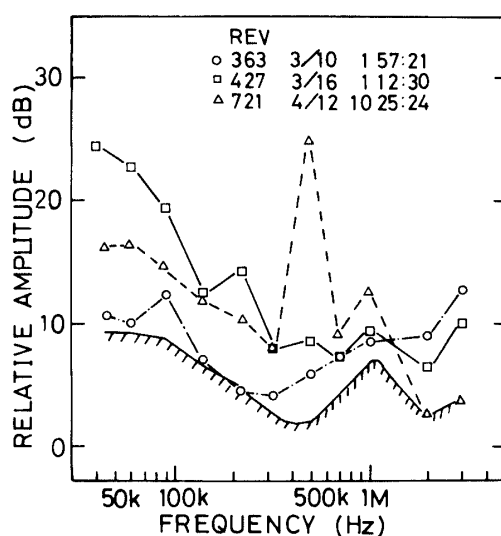


第8図 磁気赤道付近及び極域で観測された波動. 周回数 721, 4月21日10時11分から11時21分に観測された。

なわち, 降下電子のエネルギーフラックスが  $10^{-2}$  erg/cm<sup>2</sup> sec str 以上になり始めるが1時38分頃から59分頃までに対してノイズは前述したようにずっと長い時間観測されている。従ってこのタイプのノイズを自然なプラズマ波と考えるならオーロラヒストとは異なった発生機構により励起されたものであろう。他の発生原因として衛星か測定器から出たノイズの可能性も考えられる。

### 3.2 磁気赤道付近で観測された波動

第5図を再度みると磁気赤道を横切る前の付近(1時13分UT)で波動が観測されている。この時衛星は670 km位から近地点高度を通過し1000 kmへ上昇している。波動は1 MHz以上と以下でモードが異なるように見える。1 MHz以上の波動は狭帯域であるためか, 1, 2と3 MHzのチャンネルで観測されている時間帯が異なる。一方500 kHz以下の波動は磁気緯度 $-15.0^{\circ}$ から $-0.5^{\circ}$ にかけて局在化しており, 磁気地方時は21時20分から51分の夜中の時間帯に観測されている。もう1つの例を第7図に示す。周回数363, 3月10日1時50分から2時18分に観測されたもので, 周回数427の時とほとんど同じであるが厳密には磁気地方時は約1時間遅れており, 磁気緯度は約 $3^{\circ}$ ずれていて高度は同じであった。今回は軌道がほとんど同じにもかかわらず, 波動は1 MHz以上のチャンネルでしか観測されなかった。最後の例は周回数721, 4月21日10時11分から11時21分に観測されたもので第8図に示す。この時は前の二つの例と異なり高度は3100 kmを通過し, 磁気緯度 $10^{\circ}$ 付近, 磁気地方時6時の夜明け頃であり, 45 kHzから1 MHzの周波数帯で観測されている。波動の特徴としては, 1)  $f_g^-$ または $f_p^-$  ( $\approx 390$  kHz)での顕著なカットオフがみら



第9図 磁気赤道付近で観測された波動の周波数スペクトル。

れない、2) 波動強度の時間(空間)的变化が急激になる場合がある、3) 前2つの例のように1 MHz以上で波動が観測されていない、等である。

### 3.2.1 粒子との比較及び議論

KYOKKOは沿磁力線制御をしているため、磁場に沿った方向の電子しか観測できない。赤道を横切る時は $0.1 \text{ erg/cm}^2 \text{ sec str}$ 以下の電子が観測されていて、エネルギースペクトルは極域で観測されたように数100 eVから数keVにピークはなく、エネルギーが高くなるに従い電子数は単調減少していた。

磁気赤道付近ではすでに衛星によるVLFヒスの観測がある。例えばGurnettのInjun 3による観測は171周回でヒスが観測され、そのうち10周回でのみ、磁気緯度 $\pm 35^\circ$ 以内、350 km以下の高度であった。測定は2 kHzから8.8 kHzの周波数でなされ、それらのスペクトルはオーロラヒスと似たものであった[16]。一方、OGO 6衛星では近地点と遠地点高度400 kmから1100 kmの領域で、20 Hzから時には200 kHzまで観測され、スペクトルの変化も二種類あると報告されている[17]。

ここでは、どのような条件により発生したかわからないが周回数427と363のようにほとんど同じ軌道を通りながら $f_g^-$ 以下で波動が観測されたり、されなかったりしている。 $f_g^-$ 以下の波動はこれまで観測されたのと同じと考えられ、強度の時間(空間)変化もゆるやかであるが、中には急激に変化するエミッションも存在する。1 MHz以上及び500 kHzで狭帯域の強度の大きな波動は電子密度の変化に対応している。また、第8図の例のように局所電子サイクロトン周波数の変化に一致していることからUHR波と考えられる。従って高度の低い650 kmの時は1 MHz以上で、高い3000 kmの時は500 kHzで観測されたのであろう。それぞれの周回数で観測された周波数スペクトルの例を第9図に示す。図より、UHR周波数近傍でのみ強く受信され、また3 MHzの波動強度(周回数363)は500 kHz(周回数721)より約10 dB小さいことがわかる。

$f_g^-$ 以下で観測される波動はUHR波動に比較し、磁気緯度  $\pm 30^\circ$  以内に局存化しているようである。この領域はブラジル磁気異常帯 [18] に対応している。明確な結論は発生分布を調べ統計的な処理を行わなければ出せないが、その領域をブラジル磁気異常帯と考えると粒子が磁力線を横切って、またはあるピッチ角分布をもって降下してくるとすると、UHR波動やホイッスラー波が励起されやすい。ホイッスラー波が直接または静電波成分の大きなレゾナンス角度で伝播する波動として励起されるかは降下電子のピークエネルギーとの関係ではっきり断定できない。また受信アンテナは常に磁場に直角方向を向いているため、斜め伝播のホイッスラー波を含めて、磁場方向に波数成分をもつ電磁波や直角方向に波数成分をもつ静電波に対して指向性が良い。第8図をもう一度みると、UHR波は磁場強度やプラズマ密度と対応して700 kHz, 1, 2と3 MHzのチャンネルで、磁気赤道付近、そして昼側の極域、さらに再び磁気赤道付近で観測されている。

#### 4. 結 語

KYOKKOに搭載されたプラズマ波動観測装置で観測されたプラズマ波動は観測される領域により大きく二つに分類できた。つまり極域と赤道領域での波動である。極域オーロラヒスは $f_g^-$ または $f_p^-$ 以下で観測されるエミッションとそれ以上でも観測される波動があり、前者は数100 eVの降下電子と対応が良く、後者は数keVにピークを有する逆V字型の降下電子と対応が良かった。観測されたオーロラヒスの時間(空間)的に強度変化が激しいのは発生源である降下電子のピークエネルギー又はエネルギースペクトルの形が変化したためと考えられる。エネルギーフラックスが $0.1 \text{ erg/cm}^2 \text{ str sec}$ でも、時間(空間)的に定常的に観測される場合には波動は目立って観測されなく、 $0.1 \text{ erg/cm}^2 \text{ str sec}$ 以下でも急激な増加があると波動が観測された。降下電子のエネルギースペクトルは、正の勾配が存在するか、存在していたらしい形をし、波動はインコヒーレントな放射より電子ビーム不安定により励起または増幅されたと考えられる。

一方、赤道付近でも45 kHzから3 MHzに及んで波動が観測され、 $f_g^-$ 以下の波動はオーロラヒスと同じホイッスラー波であり、波動の観測されている場所はブラジル磁気異常帯に局在化され、ほとんど同じ軌道でも観測されたりされなかったりし、電離層のプラズマの変化を反映していた。一方電子密度の変化に対応して観測される波動はUHR波であり、 $f_g^-$ 以下の波動と同時に存在する場合もあれば、そうでない場合もあった。また、受信領域は極域までも延びていた。

今回解析したデータは衛星で観測された代表的な波動である。今後はこれらの波動と降下電子との対応をさらに重ね、また他のプラズマパラメータ(電子温度等)変化との対応を調べて、波動の発生分布、地理的な場所依存性、時間依存性、高度依存性や $K_p$ 依存性等統計的な処理を行う予定である。

#### 謝 辞

電子密度のデータ等を提供して下さった宇宙研小山孝一郎氏に感謝します。また衛星データの処理の管理をされている宇宙研の関係者に感謝します。

## 参 考 文 献

- [1] Shawhan, S. D. MAGNETOSPHERIC PLASMA WAVES ; Solar System Plasma Physics, vol. 3 (1979).
- [2] Gurnett, D. A., and Frank, L. A.; A region of intense plasma wave turbulence on auroral field lines, J. Geophys. Res., 82, 1031 (1977).
- [3] Gurnett, D. A., A satellite study of VLF hiss, J. Geophys. Res., 71, 5599 (1966) .
- [4] Gurnett, D. A., L. A. Frank, VLF hiss and related plasma observations in the polar magnetosphere, J. Geophys. Res., 77, 172 (1972).
- [5] Gurnett, D. A., The earth as a radio source : Terrestrial kilometric radiation, J. Geophys. Res., 79, 4227 (1974).
- [6] Morioka, A., H. Oya, S. Miyatake, and T. Obayashi ; Terrestrial kilometric radiation observed by JIKIKEN (EXOS - B) satellite. ISAS research note RN 98 (1979).
- [7] 向井利典, 平尾邦雄, 「極光」によるオーロラ電子の観測, 東京大学宇宙航空研究所報告, 14, 1179 (1978).
- [8] 柴田 喬, 中村良治, 芳野起夫, 伊藤富造, EXOS - A 搭載プラズマ波観測器, 南極資料, 64, 18(1979).
- [9] Maggs, J. E., Electrostatic noise generated by the auroral electron beam, 83, 3173 (1978).
- [10] Laaspere, T., W. C., Johnson, and L. C. Semprerbon, Observations of auroral hiss, LHR noise, and other phenomena in the frequency range 20 Hz—540 kHz on Ogo 6, J. Geophys. Res., 76, 4477 (1971).
- [11] Hoffman, R. A., and T. Laaspere, Comparison of very-low-frequency auroral hiss with precipitating low-energy electrons by the use of simultaneous data from two Ogo 4 experiments, J. Geophys. Res., 77, 640 (1972).
- [12] Laaspere, T., and R. A. Hoffman, New results on the correlation between low-energy electrons and auroral hiss, J. Geophys. Res., 81, 524 (1976).
- [13] Laaspere, T., and W. C. Johnson, Additional results from an OGO 6 experiment concerning ionospheric electric and electromagnetic fields in the range 20 Hz to 540 kHz, J. Geophys. Res., 78, 2926 (1973).
- [14] Green, J. L., D. A. Gurnett, and R. A. Hoffman, A correlation between auroral kilometric radiation and inverted V electron precipitation, J. Geophys. Res., 84, 5216 (1979).
- [15] 宮岡 宏, 大塚 寛, ビームによる波の励起(線形理論) —AKRの発生機構に関連して, 磁気圏シンポジウム, 103 (1979).
- [16] Gurnett, D. A., Observation of VLF hiss at very low L values, J. Geophys. Res., 73, 1096 (1968).
- [17] Morgan, M. G., Equatorial hiss in the topside ionosphere, J. Geophys. Res., 84, 7279 (1979).
- [18] 平尾邦雄, 小山孝一郎, “たいよう”による電子温度測定結果, 電離圏研究会, 123 (1976).