

科学衛星 JIKIKEN (EXOS-B) によって 観測された地球キロメトリック放射の特性*

森岡 昭**・大家 寛**・宮武 貞夫***

Characteristics of the Terrestrial Kilometric Radiation:
Initial Results From JIKIKEN (EXOS-B) Satellite

By

Akira MORIOKA, Hiroshi OYA and Sadao MIYATAKE

Abstract: The electric fields in a frequency range from 10 kHz to 3 MHz have been observed using very long dipole antenna (102 m tip to tip) installed on JIKIKEN satellite. In the astronomical mode of the natural plasma waves (NPW-A), the measurements have been carried out with scanning rate of 2 sec/sweep. The results provide very extensive survey of the terrestrial kilometric radio waves (TKR).

The enhancement of TKR makes very clear coincidence with the initiation of the substorm in the magnetosphere that was defined by occurrence of π^2 pulsations. It is clarified by this work that the terrestrial kilometric radio waves can be observed almost all the night-hours when the satellite is located in a suitable position; only the band width and the intensity of the emitted radio waves change corresponding to the substorm activity. From the fine structure of the TKR emission spectrum, the movement of the radio source along the magnetic field lines is also verified; the source region moves with the average velocity in a range from 5 to 10 km/sec, toward the lower level.

概 要

“じきけん”は1978年9月16日、遠地点30,056 Km、近地点229 Kmの長楕円軌道に投入された。本稿では“じきけん”衛星によって観測されたデータを用いて地球キロメトリック放射（略してTKR）

* 宇宙研特別事費による研究論文

** 東北大学理学部

*** 電気通信大学

の特色が報告される。

“じきけん”に搭載された自然プラズマ波動観測装置(NPW-A)は、アンテナ長102mのダイポールアンテナを用い、周波数10 KHzから3 MHzの周波数帯域にわたる自然プラズマ波動の観測を目的としている。この装置の特色である広帯域高分解能スペクトル分析により、地球キロメトリック放射のいくつかの新しい特性が明らかにされた。すなわち、

i) TKRの高度分布は、地磁気活動度に依存し、静穏時には高度5,000 Km~7,000 Kmに位置し、擾乱時には高度2,500 Km~12,000 Kmの広い範囲に分布する。

ii) TKRの微細構造を構成する部分は、オーロラ域の磁力線に沿って5~10 Km/secの速度で降下している。

iii) TKRは、プラズマポーズ外側で発生する強いUHRエミッションと良い対応を示し、沿磁力線電流系の発達と密接な関係があることを示唆している。

1. 緒 言

科学衛星“じきけん”に搭載した自然プラズマ波動観測装置(NPW-A)は、1)磁気圏内プラズマ波動の観測、2)地球および惑星電波の観測、および、3)太陽電波バーストの観測を目的としている。本稿では、衛星軌道投入後の6カ月間のデータを用いて特に、地球極域より放射される地球キロメトリック放射(Terrestrial Kilometric Radiation, 略してTKR)の特性について述べる。

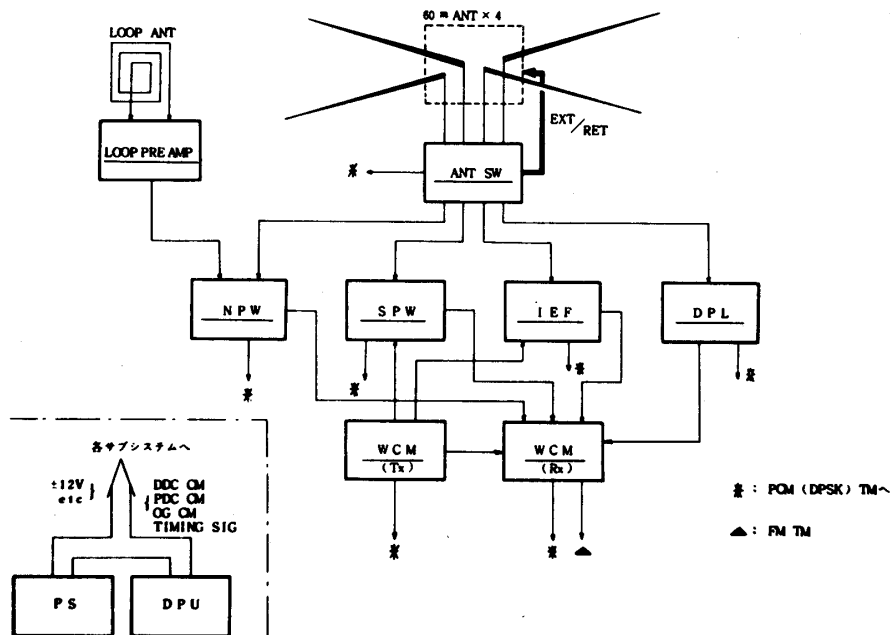
地球や惑星からの電波放射は、これら惑星極域での擾乱現象にともなって発生するプラズマ波動に起因していると考えられる。したがって、この惑星からの電波放射の振舞いを詳細に観測することにより波動励起機構、および惑星プラズマ圏擾乱の過程に関する情報を得ることができる。

地球からの電波放射(TKR)は1974年以来、Gurnett等によって強度スペクトル、オーロラおよびAE指数との対応、空間分布等について研究が進められており[1, 2, 3, 4および5], TKRの大略的な振舞いが明らかにされてきた。TKRの研究の次のステップとして更に詳細なTKRの特性、特にスペクトル変動を調べることによって、TKRのもつ情報すなわち、波動のモード、電波源の高度分布とひろがり、および沿磁力線電場との関係といったTKRの発生機構にかかわる手懸かりを得ると同時に、磁気圏サブストームの1側面の様相が明らかにされることが期待される。

“じきけん”搭載NPW-Aは周波数10 KHz ~ 3 MHzの広帯域にわたって2秒/8秒(high bit rate/low bit rate)で掃引受信を行う。これまでの磁気圏衛星にはない高い分解能をもった自然電波観測装置であるが、これによりTKRの非常に細かいスペクトル変動の観測が可能になった。

2. 観測装置

“じきけん”衛星は磁気圏における波動粒子相互作用の実態を総合的に解明することを目的としており、搭載された観測機器は多岐にわたる。なかでも衛星内より伸展された直交する2組の長エレメントダイポールアンテナは“じきけん”衛星の波動観測における最も重要な機器の一つである。アンテナ展出は衛星打上げ後9日目に完了した。各アンテナの長さは

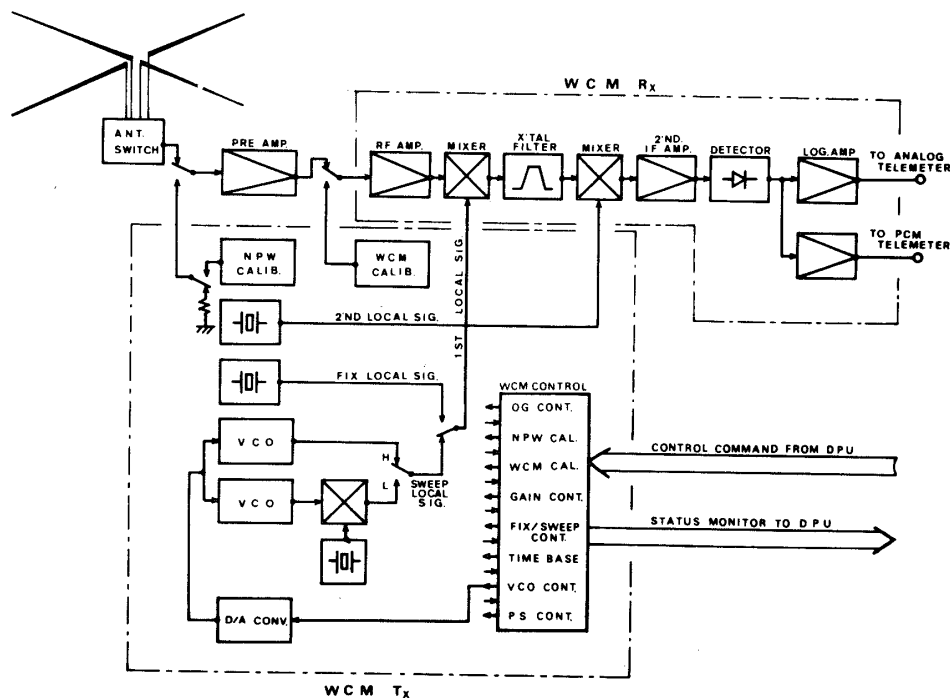


第1図 長エレメントダイポールアンテナと各サブシステムへの接続。OGコマンドあるいはディスクリオンコマンドによる観測モードの指定によりアンテナが選択されサブシステムと結合される。

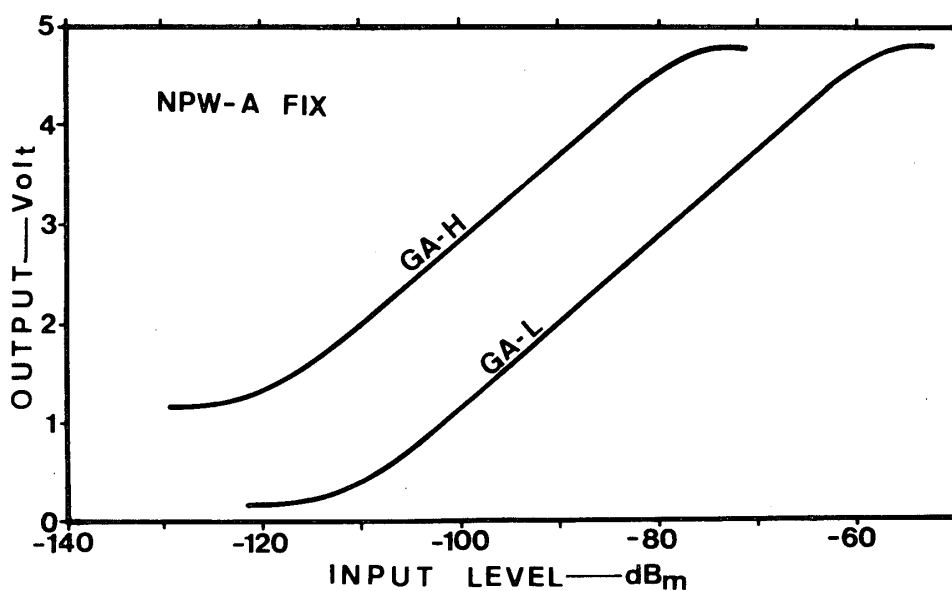
それぞれ102mおよび72mである。これらの長エレメントアンテナは第1図に示すごとく各観測モードに対応してアンテナ切換器を通して各観測機器へ接続される。NPW-Aの観測では主として102mダイポールアンテナが用いられ、アンテナ受信々号は低雑音指数をもつ前置増幅器へみちびかれる。ここで広帯域増幅された出力は波動共通受信部に入る。波動共通受信部は波動観測系の共通情報処理部で各観測モードに対応した信号の処理が行われる。NPW-Aモードは二つの信号処理系をもつ。第1は5.005 MHzにおける信号強度の測定であり、第2は10 KHz から3 MHz にわたる広帯域のスペクトル分析である。スペクトル分析においてはダブルスーパーヘテロダイン方式を採用しバンド幅は全周波数領域にわたって1 KHz の狭帯域受信を行っている。掃引速度は8秒/1掃引、2秒/1掃引の二つのモードがコマンドにより選択できる。波動共通受信部の構成は多岐にわたり複雑であるが、NPW-Aに注目したブロック図を第2図に示す第3図にNPW-Aシステムの総合入力特性を示すが、入力感度-125 dBm、ダイナミックレンジ70 dBが得られている。NPW-Aの観測オペレーションはOG (Organized Command) およびDDC (Discrete Command) によって行われる。OGによるオペレーションでは掃引受信(NPW-A(S))、固定受信(NPW-A(F))の他アンテナインピーダ観測を行うことができる。

衛星の軌道を考慮しつつ、有機的な組合せをした有機的な観測を行うことができる。

データの伝送はUHFチャンネルによるアナログ伝送およびVHFチャンネルによるPC



第2図 NPW-A観測モードのブロックダイヤグラム

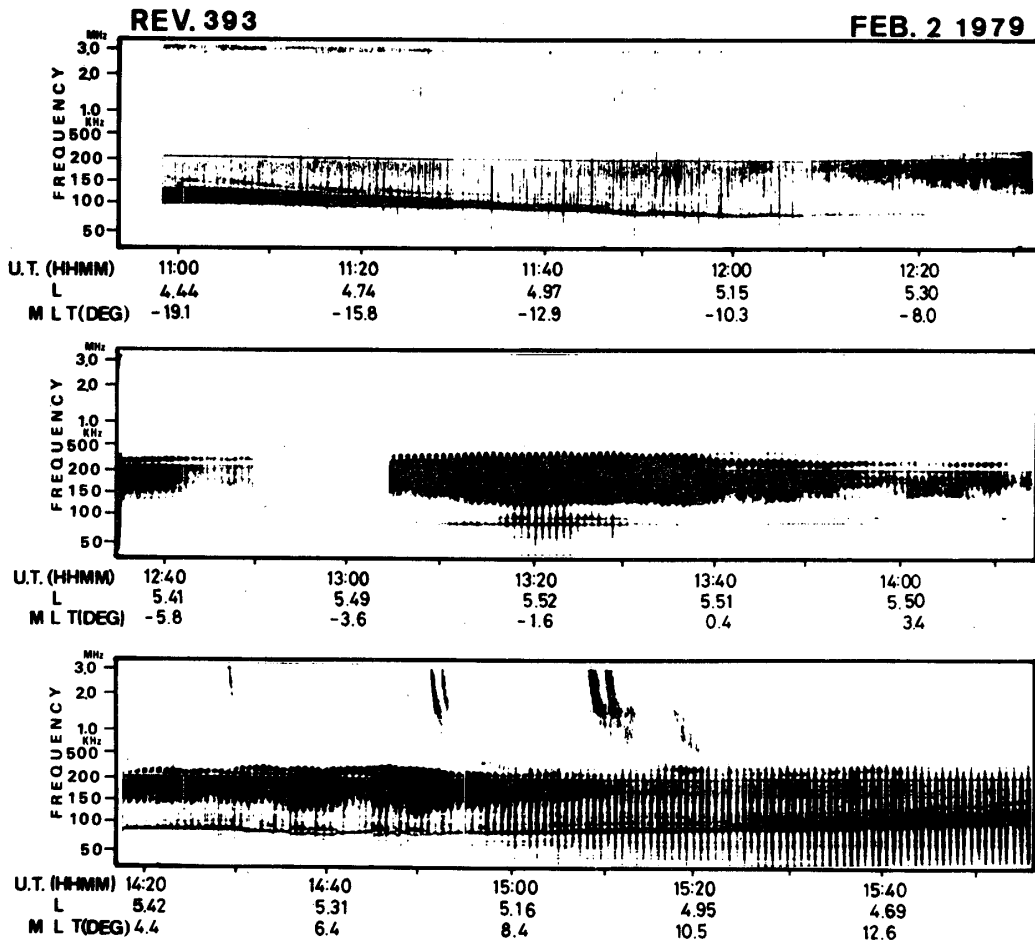


第3図 NPW-Aシステムの総合入出力特性

M伝送の両方が行われる。

3. “じきけん”で観測されるプラズマ波動

“じきけん”衛星の軌道投入時の遠地点は真夜中のセクター ($L T = 2^h$) にあり,その後 15° /月の速度で西向きに移動する. したがって, 最初の6カ月においては真夜中から夕方側にかけてのプラズマ圏内部から $L \approx 6$ にいたる磁気圏を観測することになる, この領域は

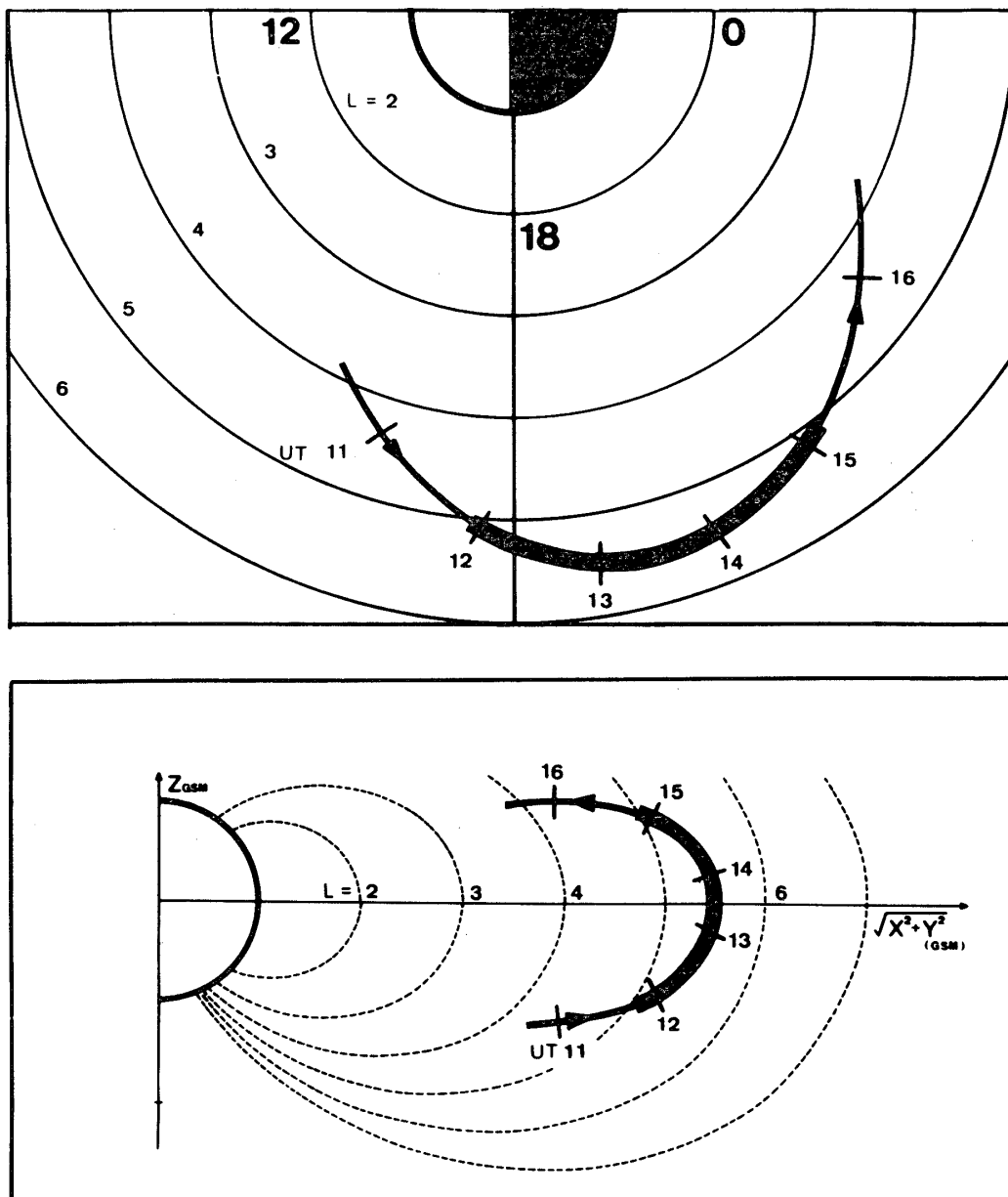


第4図 1979年2月2日, Revolution 393において夕方側磁気圏で観測された波動現象. TKRが12h UTより15h UTにかけて周波数150 KHzから500 KHzの帯域に出現している. 観測期間を通じて連続的に150 KHz ~ 80 KHz の帯域に出現しているのはUHR エミッション. 14h 30m UTより15h 20m UTにかけて周波数3 MHz から500KHz へと周波数降下する現象は地球外より到来する惑星又は太陽電波である(本文参照).

内部磁気圏からプラズマ圏の bulge 領域にあたり，外部磁気圏ではディスクリートオーロラにともなう沿磁力線電流，インバーテッドV，TKR等磁気圏サブストームの発達にともなう種々の現象がみられるところである．第4図に夕方側磁気圏で観測される波動現象の典型的な例をダイナミックスペクトルで示してある．

REV.393

FEB. 2 1979



第5図 Revolution 393の“じしけん”軌道．太線で示された部分はTKRが観測された領域を示す．

まず顕著な現象として、 $12^h UT$ より $15^h UT$ にかけて周波数 150 KHz から 500 KHz の帯域にみられるTKRがあげられる。第5図にこの日の軌道を示すが、太い線で示された部分はTKRが観測された領域をあらわしており、プラズマ圏の外側でTKRが観測されることを示している。TKRの周波数帯域(バンド巾)と強度は非常に激しく変化しており(第4図 $13^h UT \sim 15^h UT$)、磁気圏サブストームの発達と対応して発生する波動現象であることを示唆している。次に顕著な波動現象として、UHRエミッションがあげられる。Rev 393の観測期間中に常に出現している現象で、 $10^h 35^m UT$ には150 KHz から100 KHz にかけてのUHR周波数(f_{UHR})とプラズマ周波数(f_p)の間にみられ“じきけん”がプラズマ圏を通過する経路に対応してバンド巾がせまくなり、遠地点ではほぼプラズマ周波数に一致する周波数のエミッションとなる。これはプラズマ圏から外部磁気圏にかけての領域では電子サイクロトロン周波数(f_H)が f_p に比べて急速に小さくなるために

$$f_{UHR} = (f_p^2 + f_H^2)^{\frac{1}{2}} \sim f_p$$

となるためである。このダイナミックスペクトル上のUHRのトレースから磁気圏内のプラズマ密度分布を知ることができる。

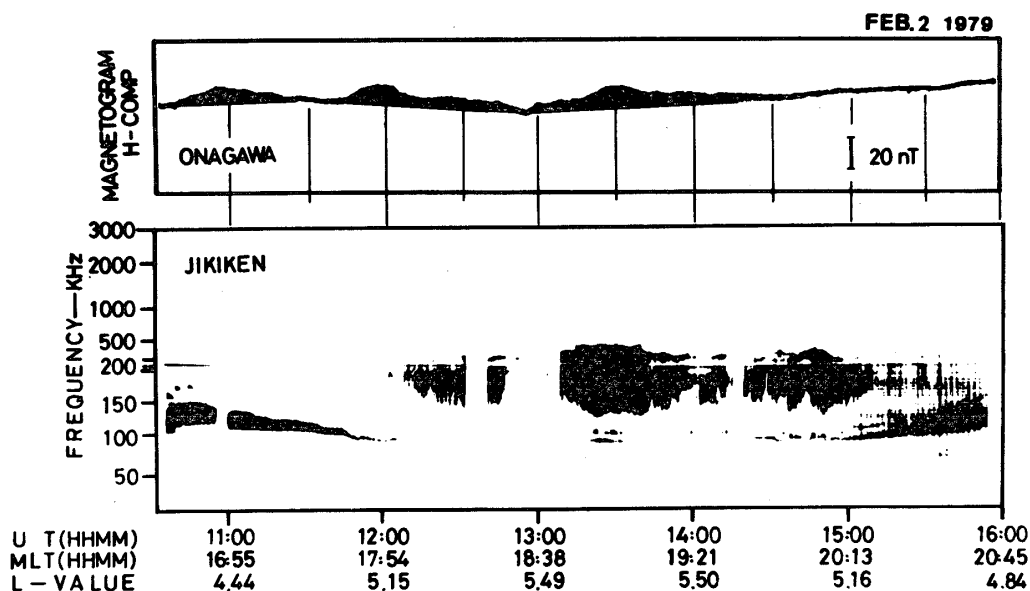
次に $15^h UT$ 付近において周波数が3 MHzから300 KHzへと周波数降下(falling tone)現象がみられる。これは地球磁気圏外から到来する電波であるが、その電波源は太陽タイプIIIバーストまたは木星からのヘクトメータ電波放射のいずれかである。しかし、この観測時期には木星と太陽は“じきけん”衛星のスピンの軸に対して対蹠点の位置にあるため、アンテナ指向特性から電波源位置を同定することはできない。しかし、太陽と木星が分離できる時期の観測では太陽タイプIIIバーストと木星ヘクトメータ波放射の両方が同定されており、これらの電波放射現象も重要な研究対象である。

さらに第4図のダイナミックスペクトルに静電的プラズマ波がみられる。すなわち、さきにみたUHRエミッションより少し低い周波数で、 $f = f_{UHR} - 2f_H$ あるいは $f = f_{UHR} - f_H$ という周波数関係の波動がみられる($13^h 20^m$ および $14^h 40^m$)。これらの波動は非線型の波動粒子相互作用によって励起されたものと考えられるが詳細は他稿にゆずることとする。

4. Terrestrial Kilometric Radiation の特性

4.1 サブストームの発達とTKR

磁気圏サブストームとTKR発生との密接な関係はすでにディスクリットオーロラ [1], AEインデックス [2] との対比から確かめられている。“じきけん”による観測期間中の極域サブストームデータは現在調査段階で、ここでは低緯度の磁場データに対する“じきけん”によるTKRデータを比較する。第6図上欄に、女川地磁気観測所で記録されたマグネットグラムを示す。極域サブストームにともなう中低緯度特有のPositive Bayが $10^h 42^m UT$, $11^h 43^m UT$ および $12^h 56^m UT$ にみられ、それぞれがPi 2脈動と対応している。“じきけん”衛星がプラズマ圏を出た $12^h UT$ ころからTKRが観測され始めるが、TKRのバンド幅はPositive Bayの変動と良く対応していることがみとめられる。更にここで注目したいのは、Positive Bayの変動とTKRのバンド幅の大局的な対応に加えて、TKR

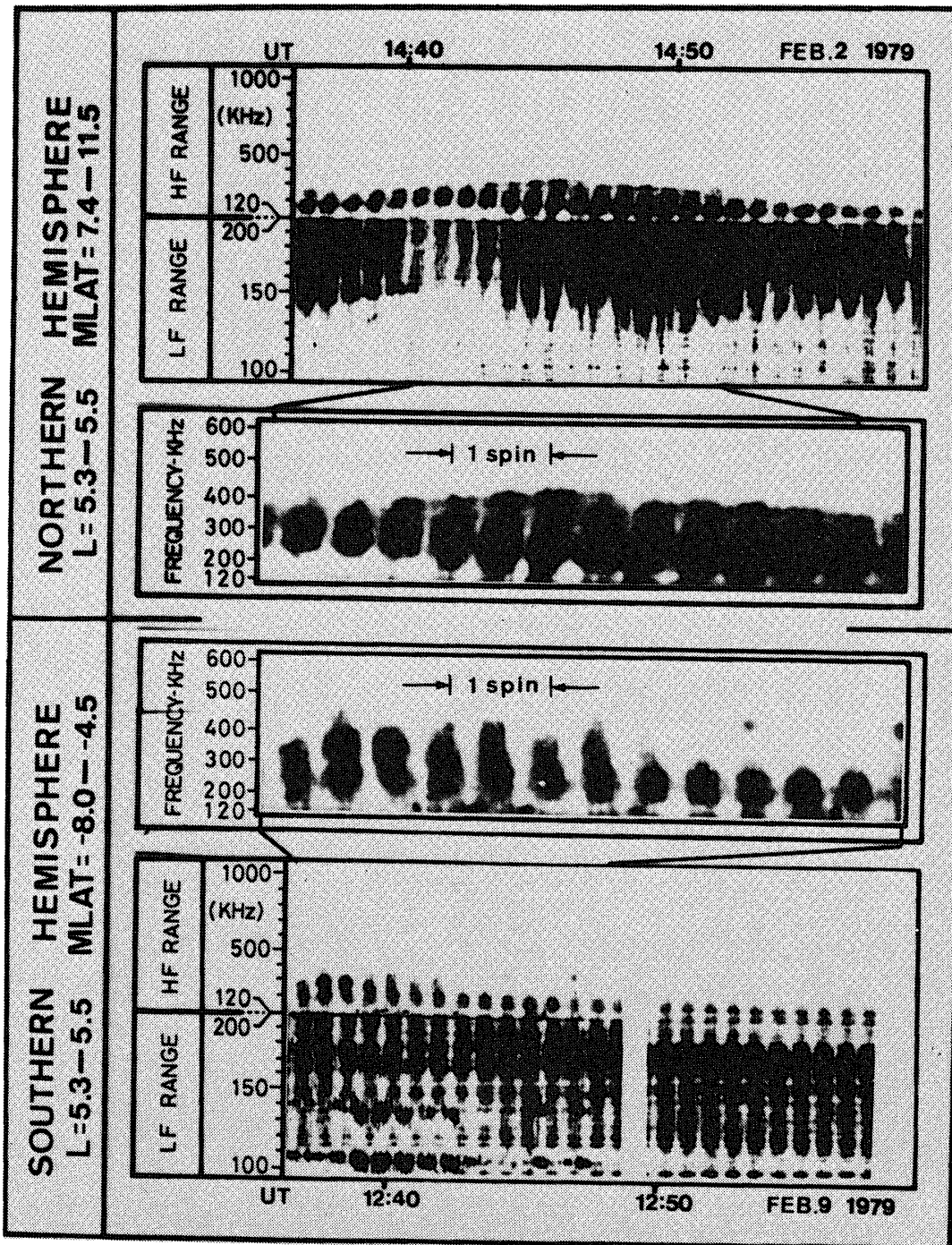


第6図 上段；低緯度女川地磁気観測所で観測されたポジティブベイ，下段；“じきけん”によってRev 393において観測されたダイナミックスペクトル。11^h 50^m UT 以後のポジティブベイの変動とTKRの活動度が良く対応している。

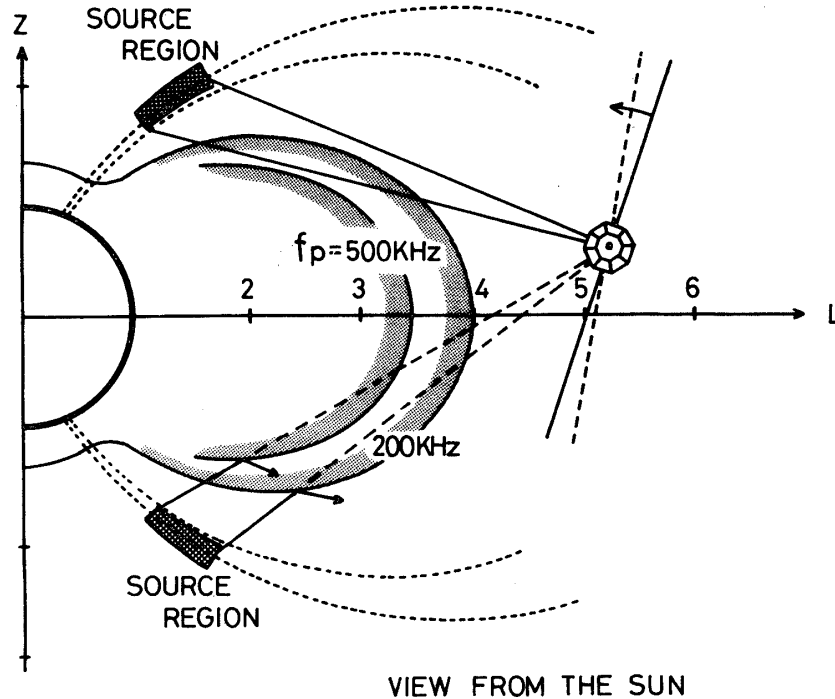
はそのバンド幅をはげしく変化させていることである。このTKRのバンド幅の早い変動は、極域電離層上部のTKRの発生領域がはげしく動き、かつ広がったり収縮したりしている様子を示しており、磁気圏サブストーム中の磁気圏-電離圏結合系のダイナミカルな変動を反映しているものと考えられる。

4.2 TKRの発生域

観測されるTKRスペクトルにあらわれる衛星スピンの効果から、TKRの発生域の推定が可能になる。第7図の最上段と最下段に通常のダイナミックスペクトラムを示すが、HF帯の掃引周波数は120 KHz から3 MHz であるため周波数軸を圧縮した形のTKRスペクトルをみることができる。このHF帯の120 KHz から600 KHz の帯域を一部拡大したものが第7図中2段に示してある。この図にみられるように、スピン変調をうけたTKRスペクトルは衛星が北半球に位置しているときは正の周波数ドリフトを1スピンに2回示し、南半球に衛星が位置しているときは負の周波数ドリフトを示す。磁気圏夕方側で観測されるこのスピン変調をうけた周波数シフトは、この時の衛星の姿勢を考慮すると次のように説明される。すなわち、第8図には模式的に関係図を示すが、衛星のスピン軸は太陽方向を向いており、太陽から見て反時計回りに回転する。衛星のスピンにともなって表われるダイポールアンテナの利得最大の方向は、北半球の極域を高々度から低高度へと掃引し、地球中心を経て次に南半球の低高度から高々度へと掃引する。TKRは南北両半球の極域で放射されている



第7図 “じきけん”衛星が磁気赤道より北半球側に位置したとき観測されたTKRのスペクトル（上2段）と南半球に位置したときのTKRスペクトル（下2段）。観測されるTKRのスペクトルは、北半球では1スピンのにつき2回の正の周波数ドリフト、南半球では負の周波数ドリフトを示す。



第8図 太陽側から見た地球、プラズマ圏、TKR源位置および“じきけん”衛星位置の模式図。観測されるTKRのスピนว調をうけた周波数シフトはダイポールアンテナがTKR源を高々度から低高度へ（北半球）および低高度から高々度へ（南半球）と掃引することによる。

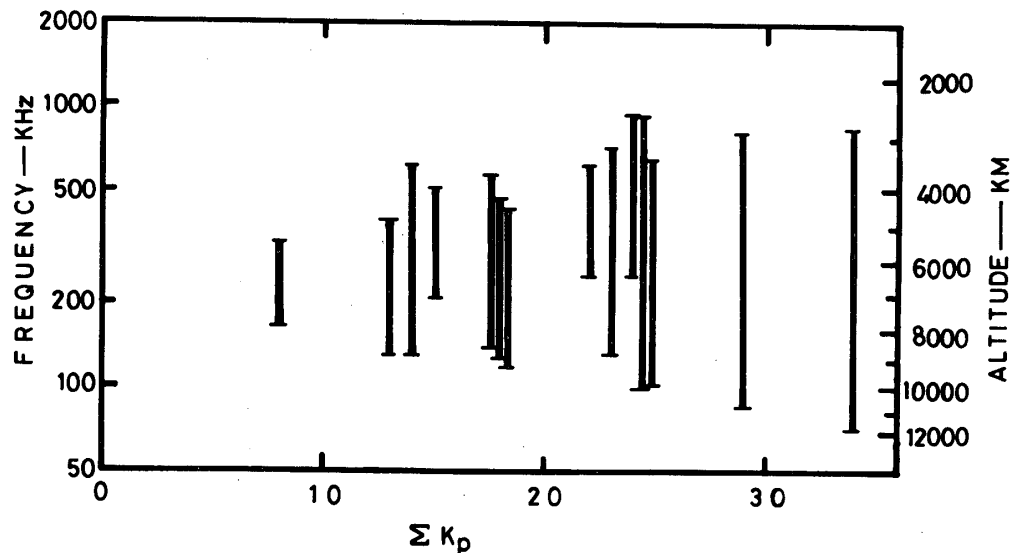
と考えるのが一般的であるが、衛星が北半球に位置している時、南半球で放射されるTKRはプラズマ圏でカットオフをうけるため、衛星では北半球からのTKRのみを受信することになる。したがって、北半球（南半球）で観測される正（南半球の場合は負）の周波数ドリフトは、TKRの高い周波数程、高度の低い領域から放射されていることを示している。すなわち、TKRの周波数は地上からの高度に依存したプラズマパラメータと密接な関係があることが実証された。

4.3 TKR発生域の高度分布

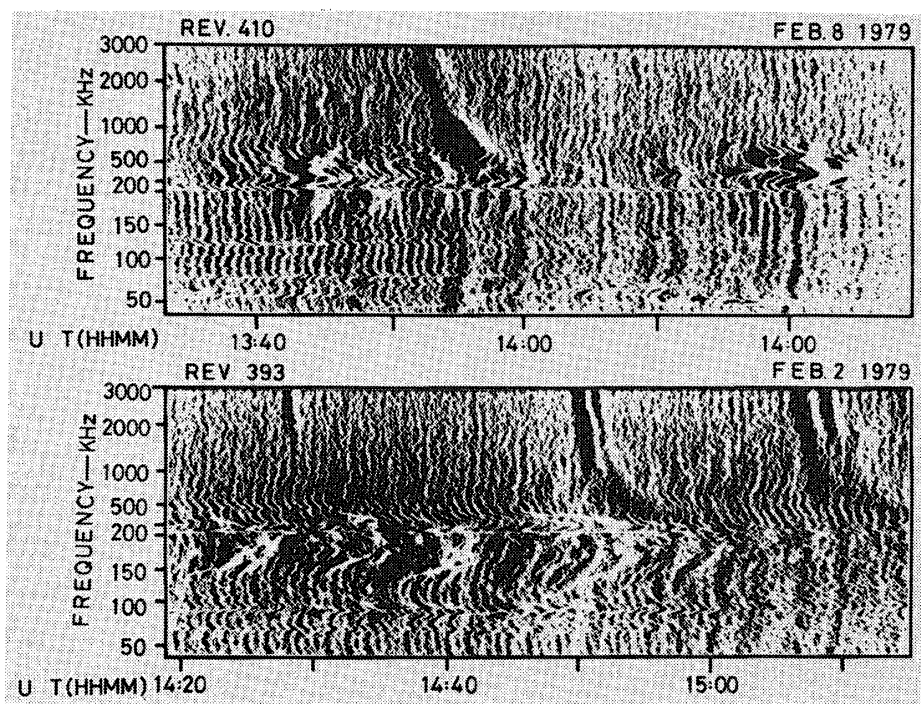
TKRはその発生場所が地上からの高度の上昇とともに、その発生周波数が逆に減少していることが実証され、TKRの放射は発生域でのパラメータを反映する特性周波数、すなわち電子サイクロトロン周波数、プラズマ周波数、あるいはUHR周波数に強く依存していると考えうる。TKRの放射機構が判明すればTKRのもつ周波数スペクトルから発生域の高度分布およびそのひろがりやを推定することができる。

ここで最も有力な放射機構として、オーロラにともなう降下粒子によってチェレンコフ型

の波動粒子相互作用を生じ、それによって励起されたUHR周波数近傍の静電的プラズマ波がプラズマの不均質を介して電磁波に変換されるというメカニズム [6] を考える。第9図に観測されるTKRの周波数帯域を ΣK_p に対して示す。TKRの周波数帯域は ΣK_p の増大とともにひろがるが、さらにTKRの下限の周波数も ΣK_p の増大とともに単調に減少している。一方、TKRの上限の周波数は $\Sigma K_p = 25$ 付近までは ΣK_p 値とともに増大するが、 $\Sigma K_p = 25$ 以上では上限の周波数はほぼ800 KHzにおさえられる。なお、第9図右縦軸にTKRの周波数が発生域のUHR周波数に対応するとし、磁気緯度 70° (1例として考える)の磁力線上の高度を示す(電子密度はPolar windモデル[7]による)。したがって、TKRの周波数を高度におきかえてみる場合、TKRの発生域はその中心が6000 kmの高度にあり、磁氣的活動度が大きくなるにしたがい高々度側($\Sigma K_p = 33$ で12,000 Km)、および低高度側の両方にひろがる。低高度側の限界はほぼ2,500 Kmの高度であり、それ以上低いところでは発生しないことがわかる。第10図に個々のサブストームの中でもTKRの発生高度は、はげしく変化していることを示す例をあげる。図に示されたアンプリグラムで、2月8日の例では $13^h 50^m UT$ 以前にはTKRは200 KHzから400 KHzの比較的狭い周波数帯域に出現していたが、約20秒後には150 KHzから700 KHzの帯域へひろがっている。この帯域幅の高・低周波側へのひろがりや高度変化に対応させてみると、はじめ5,000 Kmから7,500 Kmの高度範囲にあったTKRの発生域は、3,500 Kmから9,000 Kmの高度領域へと、短時間のうちにひろがったことを示す。この発生領域のひろがりの速度は $\sim 100 \text{ Km/sec}$ のオーダーとなる。このような早いひろがりTKR発生領域の変動は磁気圏サブスト



第9図 磁氣的活動度 (ΣK_p) に対するTKRの周波数帯域の依存性。右縦軸はTKRの周波数が発生域におけるUHR周波数と仮定したときの磁気緯度 72° の磁力線上の高度を示す。



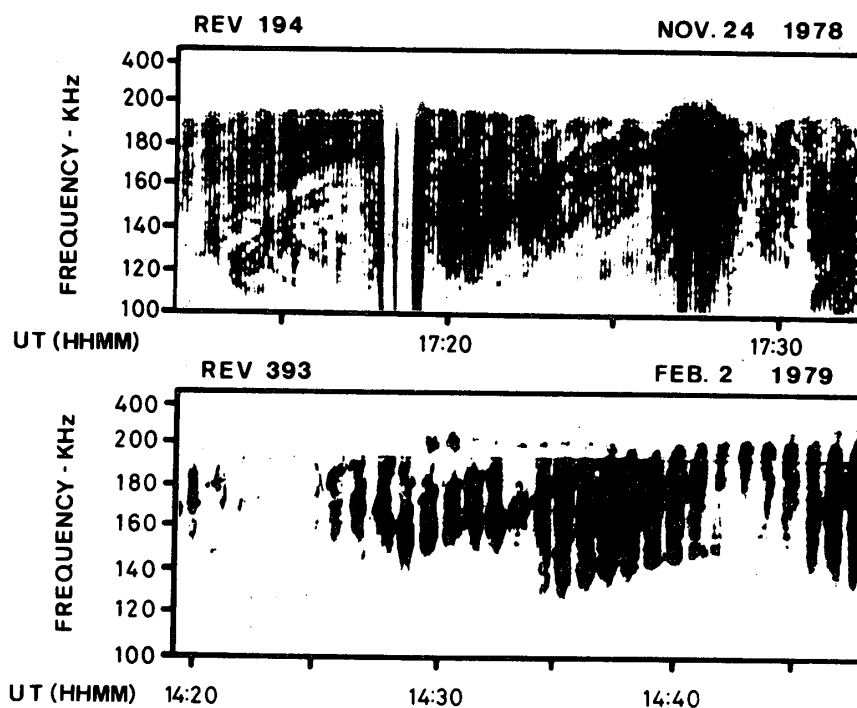
第10図 TCRのアンプリグラム。TCRの周波数帯域は短時間のうちに激しく変化していることを示す。

ームの電離圏-磁気圏結合系(垂直構造)の変動をものがたっているものと考えられる。

4.4 TCRの微細構造と発生域の運動

TCRのダイナミックスペクトルの微細構造をみると強度の強い部分が時間とともに周波数上昇を示すことがしばしばある。この特徴的な微細構造は時にはTCR全体を構成していることもある。微細構造のタイムスケールは、1分~10分であり、前節で述べた急激な周波数帯域のひろがりとは区別されるものである(第11図参照)微細構造が正の周波数ドリフトを示すということは、前述の発生機構を考えると発生域が地球に向かって動いていることを示している。微細構造の始点の周波数に対応する高度と終点の周波数に対応する高度、およびその継続時間から、発生域の運動の速度をもとめると、平均5-10 Km/secの速度となる。この結果は最近のISEE 1-2の観測[8]とほぼ一致する。この発生域の運動の速度は磁力線に沿って降下する粒子の速度に比べてはるかに遅いことから、微細構造をつくりだすTCRの発生域の運動はオーロラ粒子降下そのものにとまなうのではなく、オーロラ粒子を加速する原因となる磁力線に沿った電場(E_{\parallel})の発達、変動と関連しているものと考えられる。

更に詳細に微細構造を調べると、周波数ドリフト率は時間と共に変化している。第12図上・中段にダイナミックスペクトルと微細構造の模式図を示す。また、第12図下段には、微細構造の周波数の3乗値が時間に対してプロットしてあるが、非常に良く直線にのること



第11図 TKRのダイナミックスペクトルにみられる微細構造。広い帯域にわたるTKR周波数帯域の中に時間とともに周波数が上昇する成分がある

がわかる。すなわち

$$(f_{TKR})^3 = \alpha t \quad (1)$$

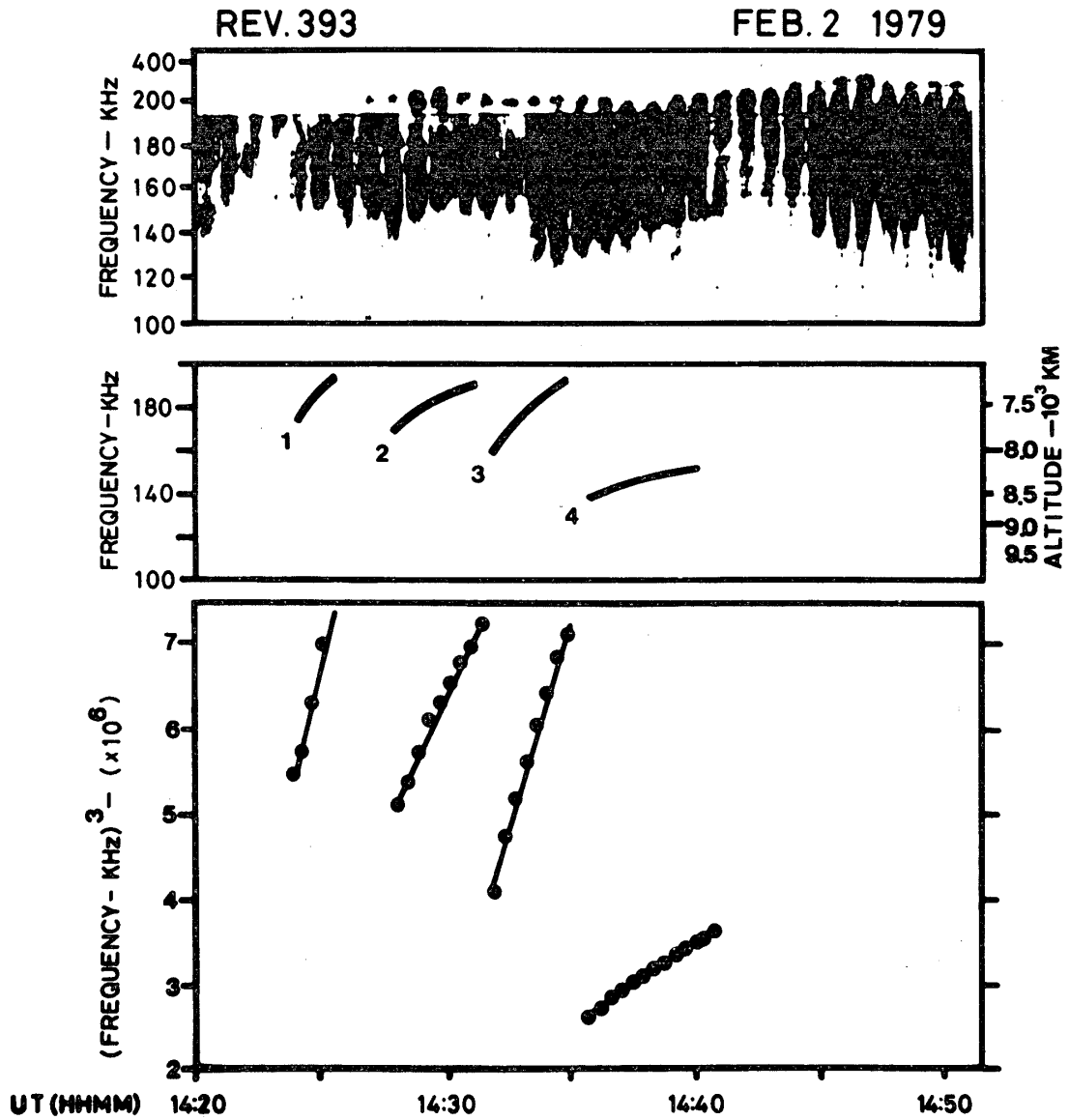
とあらわせる。観測されるTKRの周波数は、高度の高い領域では電子密度が低いいためUHR周波数に対するプラズマ密度の寄与は小さいとすると、

$$f_{TKR} \simeq f_H = \beta \left(\frac{R_e}{R} \right)^3 \quad (2)$$

$$\text{ただし, } \beta = \frac{e}{2\pi m_e C} \cdot \frac{M}{R_e^3} \sqrt{1 + 3 \sin^2 \phi}$$

とあらわせる。ここで f_H , e , m_e , C , M , ϕ , R_e および R はそれぞれ、電子サイクロトロン周波数、電子電荷、電子質量、光速、地球ダイポールモーメント、磁気緯度、地球半径および地球からの距離をあらわす。したがって(1), (2)式から

$$\alpha t = \beta^3 \left(\frac{R_e}{R} \right)^9 \quad (4)$$



第12図 微細構造をもつTKRスペクトル(上段), 微細構造の部分の模式図(中段)および微細構造の周波数の3乗値。微細構造の周波数は $f^3 = \alpha t$ の関係で変化していることを示す。

となる。これより微細構造をもつTKRの放射域の速度をもとめると、

$$V = \frac{dR}{dt} = -\alpha R^{10} \cdot (9\beta^3 R_e^9)^{-1} \quad (5)$$

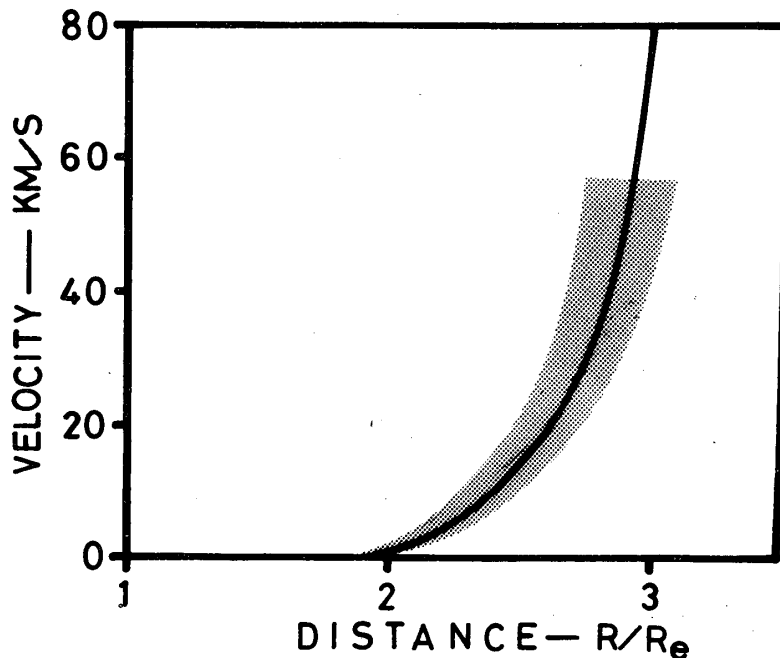
となる。すなわち、TKR微細構造をつくりだす放射域は地球からの距離の10乗に比例す

る速度で地球に近づいてくる運動をしていることになる。第13図に磁気緯度 70° の磁力線上にTKRの放射域があると仮定し観測される α の値を入れて計算した高度に対する速度のプロファイルを示す。前節で述べたようにTKRの発生域は3,000 Kmから12,000 Kmのあいだにあるのでハッチで示された速度領域で、微細構造をもつTKRは運動していることになる。すなわち高々度では数10 Km/secの速度であるが、低高度に下りてくるにしたがい速度は減速し、3,000 Kmの高度ではほとんど停止してしまうという特性をもつ。

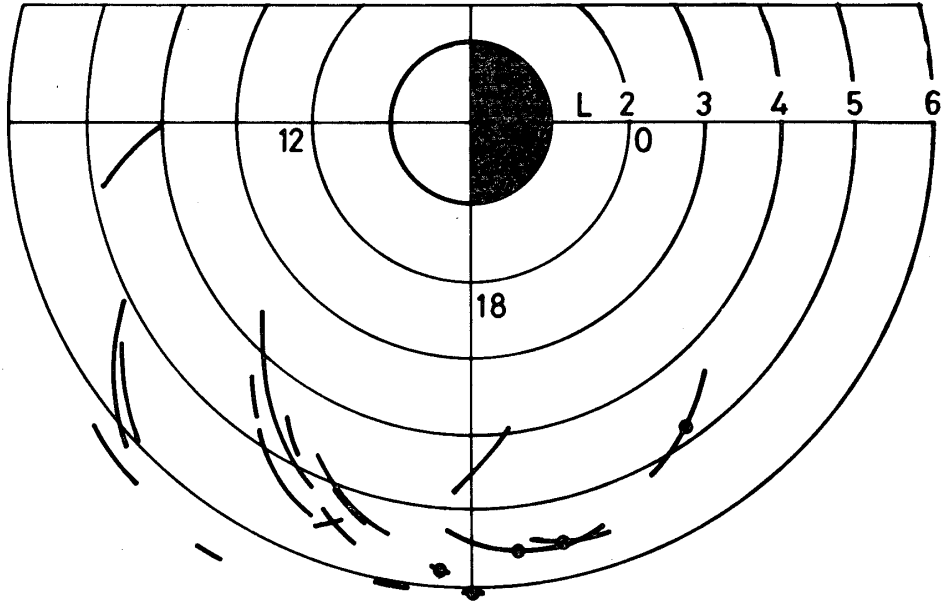
5. TKRと磁気圏内の強いUHRエミッション

プラズマポーズの外側においてしばしば非常に強いUHRエミッションが観測される。このエミッションの強度は受信機の前置増巾器を飽和させる程強いものもあり、また低エネルギー電子のフラックスの増大と良い対応を示す。第14図にこのタイプのUHRエミッションが観測された位置をL-T-Lのダイアグラムに示す。また、第15図にはエミッションの位置とその時の磁気活動度 K_p との関係を示す。このUHRエミッションは $L = 4 \sim 6.5$ の領域で観測され、磁気活動度が増大するにつれ地球側へ近づいてくる。

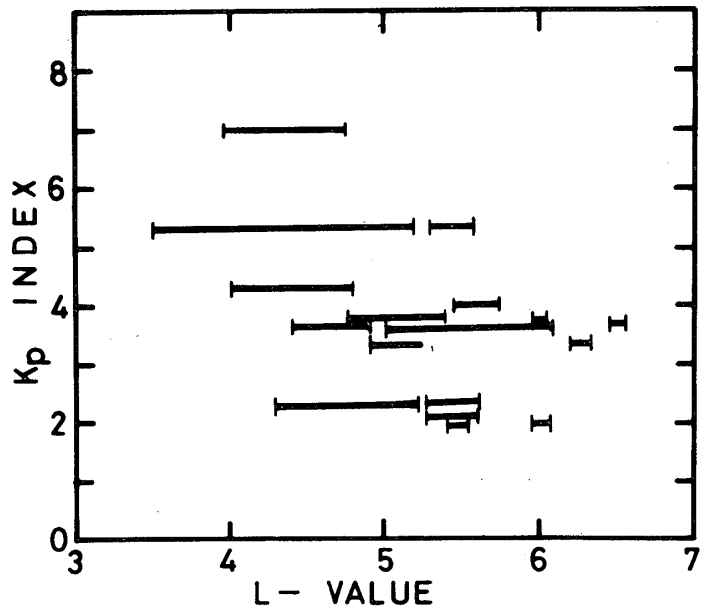
この衛星近傍で観測される強いUHRエミッションはTKRの出現もしくは強度の増大と良く対応することがある。第16図にその例を示すが、Rev. 396の例では $14^h 01^m UT$ から周波数45 KHzに強いUHRエミッションが出現しているが、これとほぼ同時に300 KHz



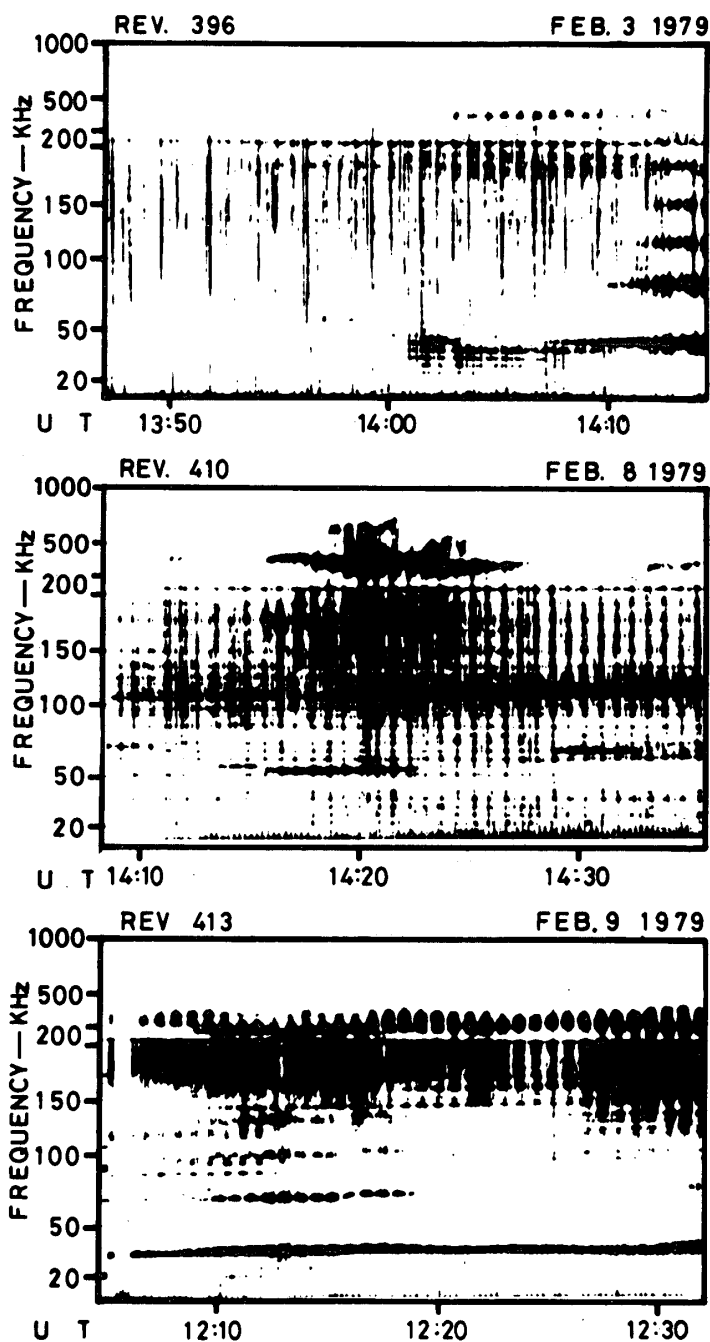
第13図 TKR微細構造をつくりだす放射域の磁力線に沿っての運動速度プロファイル。放射域が地球に近づくに従い急速な減速をうける。



第14図 磁気圏において観測される強いUHRエミッションの発生域



第15図 磁気圏内で観測される強いUHRエミッションの発生位置(L値)とその時の磁気活動度(K_p)との関係



第16図 TKRの発生および強度の増大と強いUHRエミッションとの関係。Rev. 396(上段)では $14^h 01^m UT$ のUHRエミッション($f \sim 45$ kHz)の出現とほぼ同時にTKR($f \sim 300$ kHz)が出現している。Rev. 410(中段)では $14^h 15^m UT$ におけるUHRエミッション($f \sim 55$ kHz)の出現にともなってTKR($f \sim 400$ kHz)があらわれている。Rev. 413(下段)の例ではUHRエミッションの強度増大($12^h 10^m UT$)がみられるとき、それまで出現していたTKRの強度が増大し周波数帯域もひろがっている。

を中心としてTKRが観測されている。また、Rev. 410の例では $14^h 16^m UT$ から55KHz近傍にUHRエミッションがみられ、これと同時に400KHzを中心としてTKRが観測されている。Rev. 413においてはUHRエミッションの強度の増大($12^h 10^m UT$)にともなってTKRの強度および周波数帯域のひろがりが見られる。

オーロラにともなってTKRが発生している位置($L = 7 \sim 8$)と強いUHRエミッションが観測される衛星の位置($L = 5 \sim 6$)とはかなり離れているため、両者のあいだに直接的なつながりはないであろうが、磁気圏サブストームの発達過程としてとらえるとき、重要な意味をもつと考えられる。すなわち衛星が強いUHRエミッションを観測する領域は、ここに数百eV-数Kevのsoft energetic particleの流れがあるが、この領域はIijima and Potemura [9]およびPotemura [10]の示したプラズマシートの内側に位置する電離層に流入する沿磁力線電流域に相当するものと考えられる。一方、TKRの発生している領域は電離層より流出する沿磁力線電流域と一致しているものと考えられる。

6. むすび

“じきけん”衛星による自然プラズマ波動の観測は順調に行われており、多くの成果をおさめつつある。

自然プラズマ波動観測装置は高速高分解能の周波数分析を機上で行い、これを地上にアナログテレメータで伝送するため、磁気圏内プラズマ波動の広帯域にわたる時間分解能の良いスペクトル解析が可能となっている。

本稿では、初期観測期間のデータを用いて地球キロメトリック放射の特性が調べられた。地球キロメトリック放射は、磁気圏サブストームの発達消長と深く関連しており、特にオーロラ領域の沿磁力線電場の生成、降下粒子の加速過程と密接にかかわりあっていることが明らかになった。これら磁気圏サブストームの物理過程にかかわる情報をもたらす地球キロメトリック放射の観測は今後さらにその重要性を増すとともに、木星・土星といった巨大惑星からの電波放射との惑星電波と比較研究を実証的に行う上からも、長期間にわたるデータの蓄積と詳細な解析が重要である。

7. 謝辞

“じきけん”衛星ミッションの遂行にあたり、プロジェクトマネージャー大林辰蔵教授をはじめ東京大学宇宙航空研究所の“じきけん”衛星実験班の方々のご努力に敬意を表するとともに、観測・解析に寄せられましたご協力とご助力に深く感謝いたします。

1979年10月1日

参 考 文 献

- [1] Gurnett, D.A.; J. Geophys. Res., 79, 4227 (1974).
- [2] Voots, G.R., D.A. Gurnett and S.-I. Akasofu, J. Geophys. Res., 82, 2259 (1977).
- [3] Green, J.L., D.A. Gurnett, and S.D. Shawhan; J. Geophys. Res., 82, 1825 (1977).
- [4] Kruth, W.S., M.M. Baumbach and D.A. Gurnett; J. Geophys. Res., 80, 2764 (1975).
- [5] Alexander, J.K. and M.L. Kaiser; J. Geophys. Res., 81, 5948 (1976).
- [6] Oya, H; Planet. Space Sci., 22, 687 (1974).
- [7] Banks, P.M. and T.E. Holtzer, J. Geophys. Res.; 74, 6317 (1969).
- [8] Gurnett, D.A., R.R. Anderson, F.L. Scarf, R.W. Fredricks, and E.J. Smith; Space Sci. Rev. 23, 103 (1979).
- [9] Iijima, T. and T.A. Potemura; J. Geophys. Res., 81, 5971 (1976).
- [10] Potemura, T.A.; in Dynamical and chemical coupling between the neutral and ionized atmosphere 337, D. Reidel (1977).