

昭和基地で受信した ISIS 衛星による VLF ソーサーの Attenuation Band と電場

渡辺成昭*・恩藤忠典*・中村義勝*・村上利光*

Attenuation Band and Electric Field of VLF Saucers

Shigeaki WATANABE*, Tadanori ONDOH*, Yoshikatsu NAKAMURA*
and Toshimitsu MURAKAMI*

Abstract: An analysis of the ISIS-VLF data and magnetic field data detected by house-keeping magnetometer received at Syowa Station, Antarctica, shows that the electric field component of the saucer emissions is approximately perpendicular to the local geomagnetic field lines.

Lower cutoff frequencies of attenuation bands of the saucer emissions are usually at harmonics of the local proton gyrofrequencies (nG_p ; $n=2, 3, 4 \dots$) around the ISIS satellite. Sometimes, upper cutoff frequencies of the attenuation bands are observed at nG_p . The source region of saucers may be located at altitude of 950–1050 km which is estimated from the width of the attenuation bands, assuming that the attenuation bands of saucers are caused by the local cyclotron absorption of low energy protons.

要旨 南極昭和基地で受信した ISIS 衛星の VLF テータ, およびハウスキーピング用の磁力計テータにより, ソーサーの電場の方向が磁力線に直角方向にあることが分かった. 電場の弱くなる attenuation band の下限周波数は, 通常ジャイロ周波数の整数倍であり, まれに上限周波数がそれにあたる. 低エネルギー粒子のサイクロトロン吸収によるものとすれば, 950–1050 km 付近に源がある.

1. は じ め に

極域では, さまさまの波動-粒子相互作用が活発に行われている. 本報告ではソーサーの低周波数帯を解析し, ひるがえって全体像を見なおそうとするものである.

ソーサーは, 緯度にしてプラズマポーズから 75° 付近までの auroral field line に沿って観測され, V 字型もしくは, 双曲線のダイナミックスペクトルパターンを持つことによって知られている. 同様の型を持つオーロラヒスと対比されるが, より鋭い形を持つものとされ, オーロラヒスの出現領域に接し, そのすぐ低緯度側で観測される. 観測高度は通常 1000–3000 km

* 郵政省電波研究所, Radio Research Laboratories, Ministry of Posts and Telecommunications, 2-1 Nukui-Kitamachi 4-chome, Koganei 184

であり、1つのソーサーの緯度方向の幅は 10–100 km であるが、オーロラヒスは 100–500 km である。

そのポインティングフラックスは、オーロラヒスが下向き、ソーサーは上向き (MOSIER and GURNETT, 1969a) で、その源はソーサーが観測高度の 50–150 km 程度下方 (JAMES, 1976)、オーロラヒスが Inverted V の電子流に対応して上方にあるとされている (GURNETT and FRANK, 1972, GURNETT, 1977)。

2. Attenuation Band

プラズマ圏外部における VLF 静電ノイズに、プロトンシャイロ周波数 G_p の整数倍の所に、縞状の attenuation band があることか、Javelin 8.46 サウンディングロケットによって GURNETT and MOSIER (1969), MOSIER and GURNETT (1969b) が見出した。それによると attenuation band の中に nG_p が入り、 n は 1, 2, 3, 4 の場合と 5, 6, 7, 8 の 2 例が紹介されている。その後ソーサーにも、正の粒子流と共に観測されることが KLUMPAR によって報告されている。本稿では、この attenuation band の上、下限の周波数と、電場の方向について解析し、伝搬と発生源について言及してみる。

3. 昭和基地で受信した ISIS-VLF データ

南極昭和基地で受信した、カナダの極軌道衛星 ISIS-1, 2 の VLF テータと、姿勢制御用

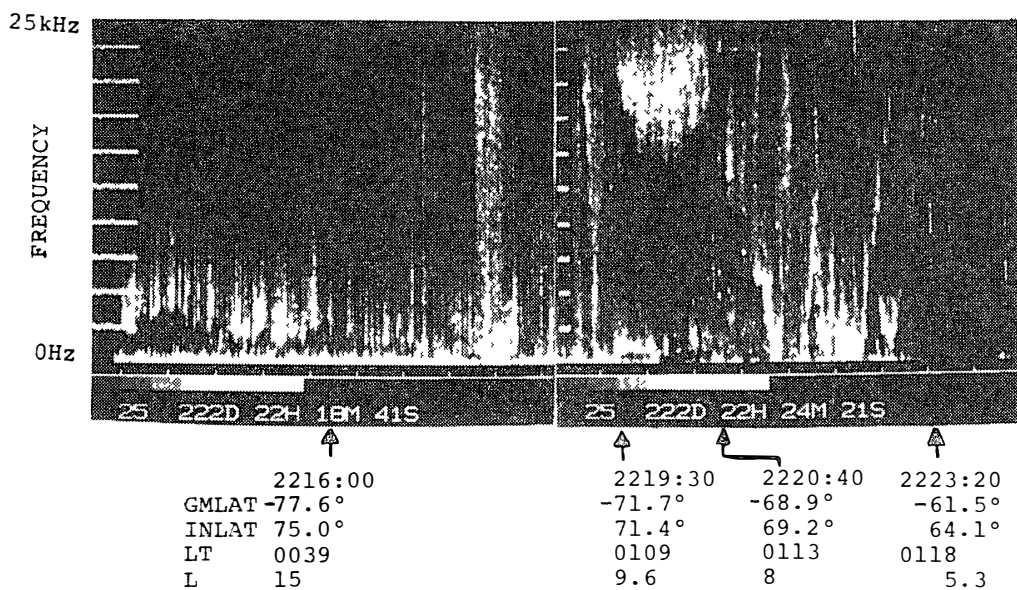


図 1 時間圧縮したダイナミックスペクトル 1976 年 8 月 9 日, ISIS-2 号, 高度約 1400 km
時間軸 1 日 32 秒

Fig 1 Time compression dynamic spectra of ISIS VLF data observed on August 9, 1976 at altitude of 1400 km One interval of time mark is 32 seconds

の磁力計(フラックスゲート)をもとに解析を行った。

図1は1976年8月9日(通算日222日)の回転数24801のVLFバスの概略を知るため、0~25kHzのダイナミックスペクトルを時間圧縮して1枚の図にしたものである。白く見える所がスペクトル強度の強い所である。2219 UTまで、主として10kHz以下のヒス状のものが続き、その後、2220:40 UTまで(不変地磁気緯度 $72^{\circ}\sim 69^{\circ}$)15kHz以上にヒス状のものが現れ、それが終了すると2223 UT(不変地磁気緯度 64°)まで、ソーサーが多数観測されている。この時の K_p は2+, オーロラは観測されていない。プラズマポーズに接したオーロラ磁

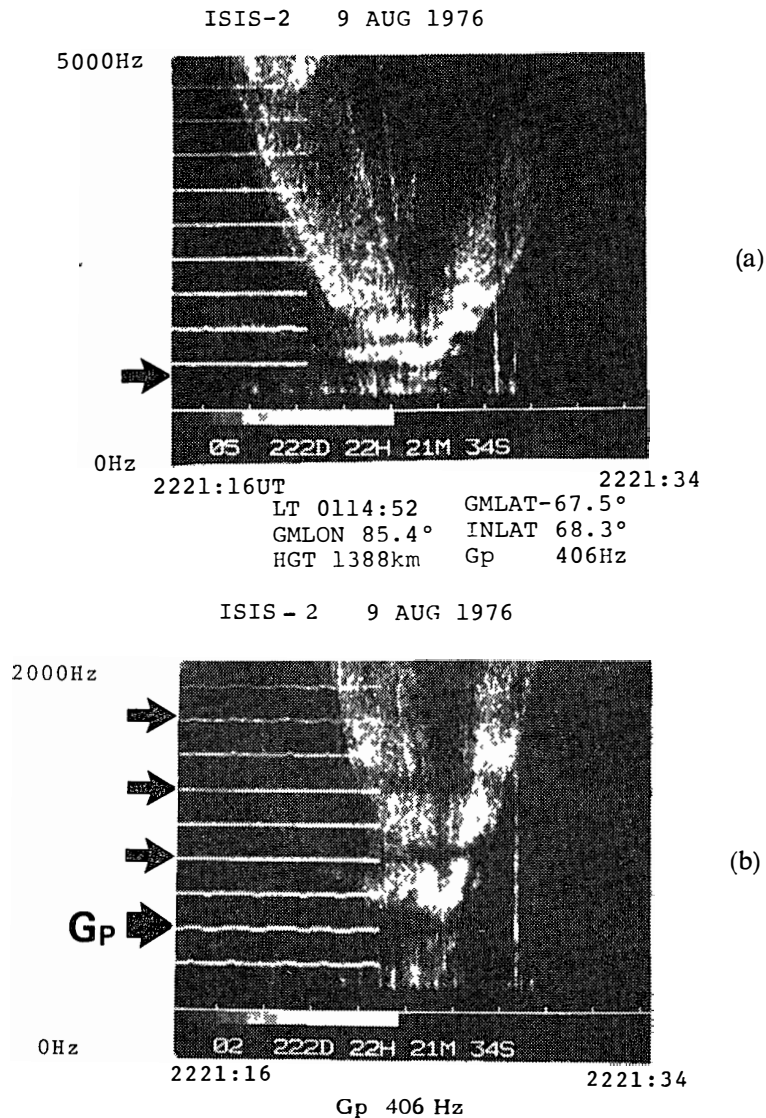


図 2a, b ソーサーのダイナミックスペクトル (a), およびその低周波数拡大図 (b), 時間軸両者同じ, 1 目盛 2 秒

Fig. 2a, b. Dynamic spectra of saucer emission (a) Expanded panel of the low frequency part of Fig. 2a (b) A time interval of both panels is 2 seconds.

力線上でよく生じていることが確認される。これらの1つの例が図2に示してある。図2aは2221:18–2221:30 UTに現れたソーサーの0–5 kHzのダイナミックスペクトルである。その中心部, いいかえると低周波数部に黒い縞が見える。低周波数部を拡大して見たのが図2bで, その時間軸は図2aと一致する。矢印で示したのが衛星近傍のプロトンチャイロ周波数で, その2, 3, 4倍の周波数でぬけている。この中心部を8秒間積分して得られたスペクトル(リニア目盛)が図3である。 nG_p ($n=2, 3, 4$)は谷の左の壁(attenuation bandの下限周波数)になっている。また, 谷の底の広さは2, 3, 4 G_p となる

ほど広くなり, ほぼ n に正比例している。GURNETT and MOSIER (1969) の静電ノイズのようにあいまいさを持ちながら, nG_p が attenuation band の中に入る場合と異なり, かなりはっきりと, attenuation band の下限周波数になっている。これが一般的ソーサーの典型的な形である。次に少し変わった注目すべき例を掲げる。図4は1976年7月29日, 一連のソーサーがあった後, 最もプラスマポーズに近くなった時の例である。2302:22 UT から 2302:40 UT にかけて連続して3つのソーサーが生じている。

図4bがその全体像を示し, 図4aが低周波数部を拡大したものである(時間目盛は2秒)。便宜上, これらをA, B, Cのソーサーと呼ぶ。Aのソーサーは他のソーサーと異なる。すなわち, B, Cは nG_p ($n=2, 3, 4$)

より高周波数側が抜けているのに対し, Aはそれより低周波数側が抜けている。図5はA, B, Cの積分されたスペクトルであるが, 前述のことがよく示されている。B, Cの谷底は, G_p の2, 3, 4倍になるにつれ, やはり広がってゆく。GURNETT and MOSIER (1969) は, 静電ノイズの attenuation band は, Bernstein mode によるものとし, その stop band の上限周波数が, nG_p にならないのは非 Maxwell 分布等で説明できるとしている。しかし, ここに示したソーサーの例では, ほとんどすべてがきれいに nG_p が attenuation band の下限周波数にな

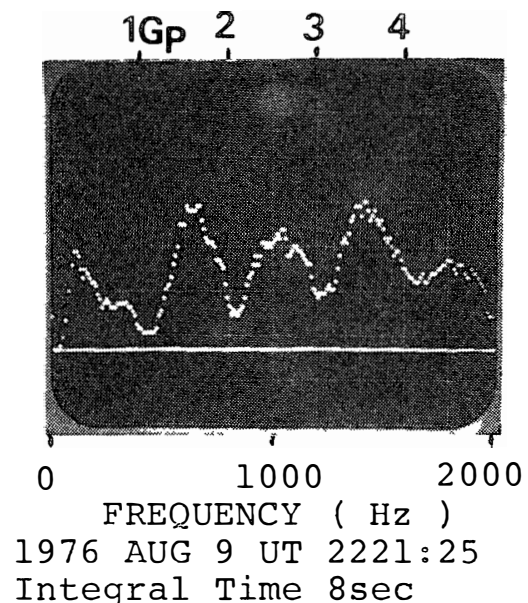


図3 ソーサーのスペクトル

図2に示したソーサーを8秒間積分したもの。衛星周辺のチャイロ周波数 G_p の整数倍が attenuation band の下限周波数となっている

Fig 3 Integrated spectra for 8 seconds of the same saucer emission as Figs 2a–2b. nG_p ($n=2, 3, 4$) is lower boundary frequency of attenuation band

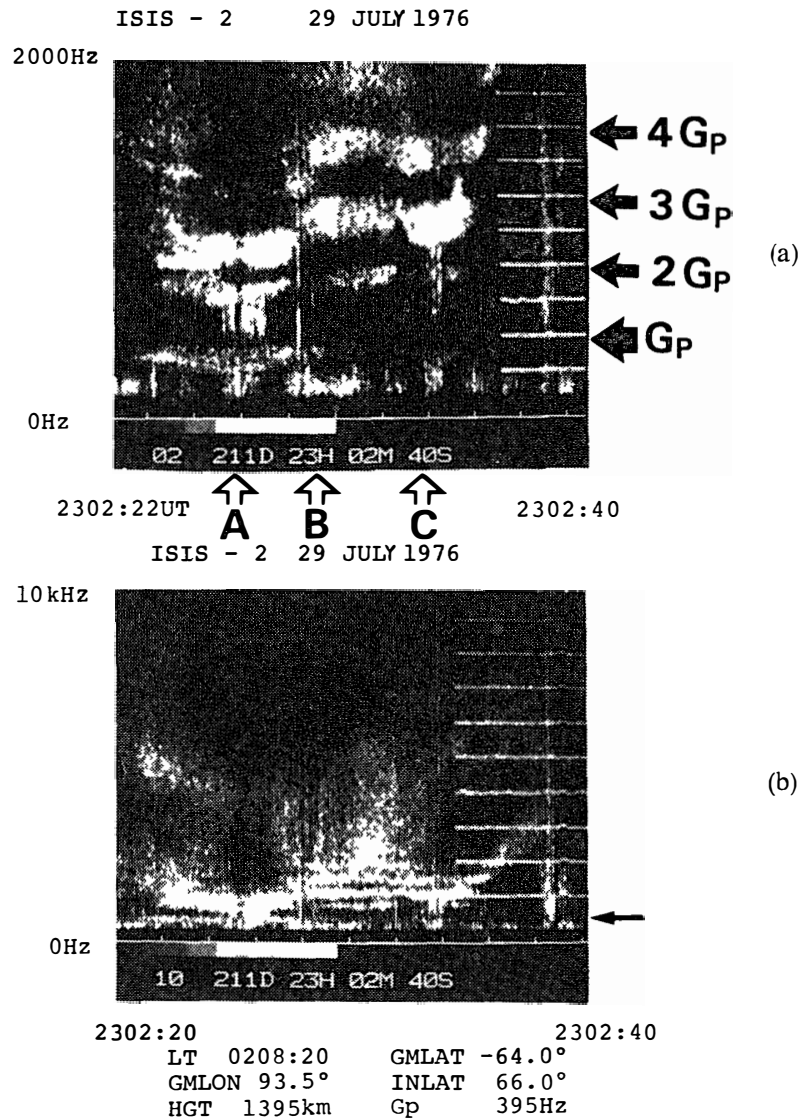


図 4a, b 3つのソーサーの例 (a). 図 4b は図 4a の低周波数域拡大図 (b). A のソーサーは他のソーサーと異なる attenuation band をもつ.

Fig 4 The three saucer emissions (a) Low frequency part of Fig 4a (b). The saucer emission "A" has different attenuation bands from those of other saucer emissions.

っている. 今一つの仮定として, 単純な, 低エネルギープロトンとのサイクロトロン吸収 (ソーサーの波が Bernstein 波等に喰われる等) とする. 吸収線は十分に狭いものとすれば, 吸収された谷底の幅は波動が伝搬するにつれて, ジャイロ周波数が増加することでも説明がつく. nG_p の n が大きくなるに従って, attenuation band が広がってゆくことも都合がよい. そうすれば図 4 の B, C のソーサーは下方から伝搬したものと解釈でき, MOSIER and GURNETT (1969b) とセンスが合う. 図 3, 図 5 の吸収谷の右壁 (attenuation band の上限) は発生源, もししくは, サイクロトロン吸収が効き出す高度のジャイロ周波数とすれば, IGRF 1975.0 によって

計算すると観測高度 1400 km の下方 400 km 程度, すなわち, 高度 950–1050 km 程度に発生源があるらしいことになり, JAMES (1976) の値より若干低めとなる. また, ソーサー A は, 逆に上から下に向かって伝搬していることになる. この手法は HORITA *et al* (1976), HORITA (1977) と似て非なることに注意されたい. この吸収を一般の electrostatic cyclotron harmonic wave (ESCH) の波動粒子相互作用の結果とするか, Bernstein mode が考えている領域で広い band を持っている, 以上の議論はできない. ESCH は磁力線 B_0 に対する波動ベクトル k のなす角によって, nG_p との関係はずれてくる. しかし, 図 4, 図 5 のことく nG_p を境に, ソーサー B, C は高周波側に, A は低周波側に, 谷が分かれていることから, nG_p 付近に狭い吸収線を持つ仮説はすてがたいが, 厳密な検討は今後の研究をまたねばならない

4. ソーサーの電場の方向

ISIS の回転する座標系での位置関係を見る. Y 軸方向に tip to tip が 72 m の長いダイポールアンテナを持ち VLF やサウン

ダーに用いる. X 軸は短いアンテナ, Z 軸はスピン軸である. ダイポールアンテナは, その軸方向に振動電場がきた時最も利得が高く, その直角方向は最も低いので, ISIS のようなスピン衛星の場合には, これを利用して, 電場の方向を二次元的に知ることができる. すなわち, スピンによってアンテナがすべってゆく平面(スピン平面)において, 最も電場の方向に近い所で利得が最大となり, その直角方向が最低となる. 図 6 は 1976 年 7 月 29 日の 2211 UT

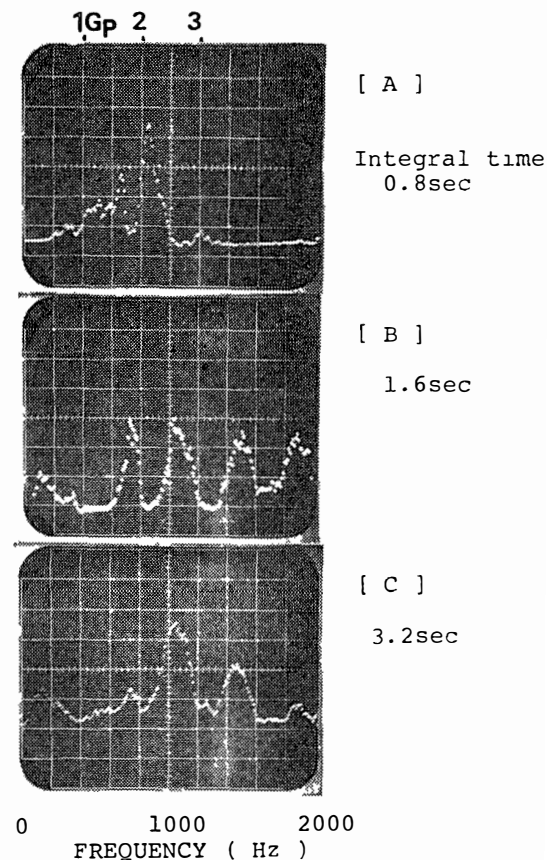


図 5 図 4 の積分スペクトル. [A, B, C] は各々, A, B, C のソーサーの中央を積分したもの. nG_p ($n=1, 2, \dots$) は attenuation band の下限周波数(ソーサー B, C), あるいは上限周波数(ソーサー A)となる

Fig 5 Integrated spectra at centers of the saucer emissions A, B and C. nG_p ($n=1, 2, 3, 4, \dots$) is the lower boundary frequency of attenuation bands for saucer emissions B, C, or the upper boundary frequency of attenuation bands for saucer emissions B, C, or the upper boundary frequency of attenuation band for saucer emission A

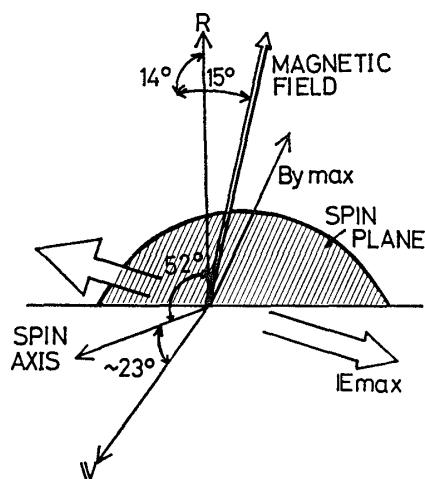


図 6 大まかな衛星の姿勢図, 7月29日 2221 UT 頃

Fig. 6 Geometry of the satellite attitude at 2221 UT on July 29, 1976.

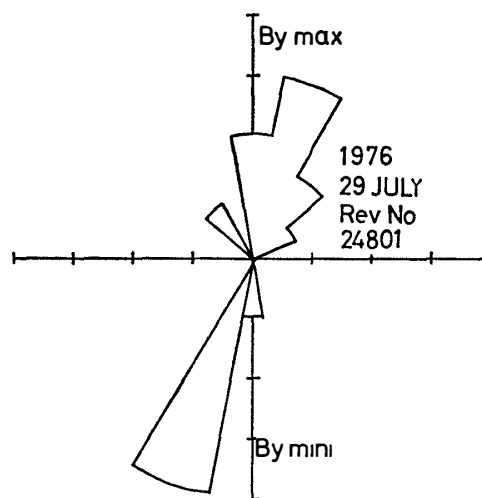


図 7 ソーサーの電場が, スピンによって弱く受信されることの生起回数とスピン位相

Fig. 7. Directions of minimum electric fields of saucer waves caused by the satellite spin, where $B_{y \max}$ is the projection of geomagnetic field line on the plane perpendicular to the spin axis

における衛星のおおよその姿勢を, ハウスキーピンク用の磁力計から逆算してみたものである. 地球磁場とスピン軸は約 52.4° の角度を有し, このスピン平面に磁場を投影した方向にアンテナがきた時, Y 方向の磁力計は最大値を示す. その逆方向は B_y の最小値をとる. Y 方向の磁力計はスピンの位相に対応して, ほぼ正確な正弦波を描く. このスピン位相のどの位置で, 電場が最小となるかを測定すると図 7 のようになり, ほぼ $B_{y \max}$ あるいはその反対方向の $B_{y \min}$ 方向を示すことがわかる. したがって, E_{\max} はその直角方向を示すことがわかる. もし縦波とすれば, そのスピン平面に最も近い所がこの方向となり, 円偏波のような横波の場合は, 電場の回転面とスピン平面との交線が E_{\max} 方向となる.

JAMES (1976) によれば, ソーサーは源が衛星下約 50–150 km であり, resonance cone きりきりいっばいで伝搬する, 縦波に近いホイスラー波なので, その電場は伝搬方向と直角になる. 伝搬方向はソーサーの幅を 100 km 程度とすると, 端の方で 45° 程度鉛直上方ベクトル R よりずれることになる. したがって波動ベクトル k は, 密度分布が成層とすれば, 大まかに言って, 鉛直にたてた面に小さい角で交わり, R に 45° 程度の角をもつことになる. k と E は, ほぼ平行であるから, $R \perp B_0$ とすれば, E_{\max} は $B_{y \max}$ の方向近くになってもよいはずである. しかしそのような例はなく, ほとんどが $B_{y \max}$ に直角になる.

Attenuation band と, 電場の方向はもう一ひねり, 伝搬してくる形態を再考する必要のあ

ることを示している。

謝 辞

ISIS-VLF データをテレメトリー受信された第 17 次越冬隊の皆様、データを処理された郵政省電波研究所の情報処理部衛星データ解析研究室の皆様に感謝致します。

受信を許可、援助されたカナダ CRC の R. E. BARRINGTON 博士、米国航空宇宙局に対し感謝致します。

文 献

- GURNETT, D. A. (1977) Electromagnetic plasma wave emissions from the auroral field lines U Iowa 77-36, The University of Iowa
- GURNETT, D. A. and FRANK, L. A. (1972) VLF hiss and related plasma observation in the polar magnetosphere. J Geophys Res, 77, 172-190
- GURNETT, D. A. and MOSIER, S. R. (1969) VLF electric and magnetic fields observed in the auroral zone with the Javelin 846 sounding rocket J Geophys Res, 74, 3979-3991.
- HORITA, R. E. (1977) The source regions of line structure in whistlers, auroral hiss and ELF hiss J Atmos Terr Phys, 39, 793-798
- HORITA, R. E., FRILSEN, L. and CHAN, A. W. Y. (1976). Ion gyrofrequency phenomena observed on whistlers, auroral hiss and ELF hiss J Atmos. Terr Phys, 38, 677-687
- JAMES, H. G. (1976) VLF saucers J Geophys Res, 81, 501-514
- MOSIER, S. R. and GURNETT, D. A. (1969a) VLF measurements of the poynting flux along the geomagnetic field with the Injun 5 satellite J Geophys Res, 74, 5675-5687
- MOSIER, S. R. and GURNETT, D. A. (1969b): Ionospheric observation of VLF electrostatic noise related to harmonics of the proton gyrofrequency Nature, 223, 605-606

(1978 年 6 月 10 日受理)