

## ISIS-1, 2 で観測された VLF ソーサーの特性

尾崎孝之\*・岩瀬政之\*・芳野起夫\*・松尾敏郎\*\*・福西 浩\*\*\*

### Characteristics of VLF Saucers Observed by ISIS-1, 2 Satellites

Takayuki OZAKI\*, Masayuki IWASE\*, Takeo YOSHINO\*,  
Toshiro MATSUO\*\* and Hiroshi FUKUNISHI\*\*\*

**Abstract:** Characteristics of the saucer emissions are studied by using ISIS VLF data which were received at Syowa Station by the wintering party of the 17th Japanese Antarctic Research Expedition in 1976-1977.

Saucers were observed most frequently in the nighttime in winter and were scarcely observed in summer. The magnetic latitude ranges in which saucers were observed are  $\sim 60^\circ - 75^\circ$  in the nighttime and  $\sim 70^\circ - 80^\circ$  in the daytime. These occurrence regions are located at the higher latitude side of the plasmopause and at the lower latitude side of the hiss occurrence regions. The shapes of saucers on frequency-time spectra showed generally two different types,  $\tau$  e, symmetrical hyperbolic shapes and symmetrical V-shapes.

**要旨:** 第17次観測隊(1976-1977)の手によって、昭和基地において ISIS の VLF 広帯域テータがテレメトリー受信された。その磁気テープ記録を周波数分析することにより作成されたタイナミックスpektrumから VLF ソーサーについて以下の点が明らかとなった。1) ソーサーは冬の真夜中付近で発生頻度が高い。2) 緯度的には夜間は地磁気緯度  $60^\circ - 75^\circ$ 、昼間では  $70^\circ - 80^\circ$  でよく観測される。3)  $f-t$  スペクトルの形状から大きく分けて、双曲線状のものと V 字形のものがある。4) ソーサーの発生領域はプラズマポーズの外側で、VLF ヒスの領域の低緯度側、またその発生源は 1000-1500 km 以上の高度に存在していると考えられる。

### 1. は じ め に

1976年4月から1977年1月までの10カ月間にわたり、カナダ ISIS 機構、郵政省電波研究所、国立極地研究所の間の正式取り決めに基づき、第17次観測隊によって、極軌道衛星、ISIS-1, ISIS-2 の定常的なテレメトリー受信が行われた。

テータレコーダに録音された VLF 広帯域テータの磁気テープ記録を周波数分析すること

\* 電気通信大学. University of Electro-Communications, 5-1, Chofugaoka 1-chome, Chofu 182.

\*\* 京都大学工学部. Department of Electrical Engineering II, Faculty of Engineering, Kyoto University, Yoshidahon-machi, 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.

により、衛星高度における VLF エミッションのタイナミックスペクトルを作成し、25 kHz 以下の周波数帯で観測された VLF エミッションについて、その発生領域、スペクトル構造等を調べた

従来の衛星による観測によっても、衛星が高緯度地方を通過する際に、そのスペクトルが双曲線状、あるいは V 字形の特異な形状を持つエミッションが観測されており、VLF ソーサー、また V-shaped ヒス (GURNETT and FRANK, 1972) 等が言われている

今回得られた ISIS のデータの中でも、このような特異な形状を持つエミッションが多く観測されており、ここではそれらの観測される領域、および VLF ヒス、ホイスターの観測される領域との関係について統計的に詳しく調べた。

ISIS-1 は 1969 年の打ち上げで、近地点 570 km、遠地点 3500 km の楕円軌道であり、ISIS-2 は 1971 年打ち上げ、高度 1400 km のほぼ円軌道である。両方の衛星共に、0.05–30.0 kHz の広帯域受信機を搭載しており、79 m のタイポールアンテナで測定を行っている (BARRINGTON, 1975)。

## 2. 昭和基地でのデータ取得

表 1 は、昭和基地 (69°00' S, 39°35' E) でのこの期間の ISIS-1, ISIS-2 の月別受信回数

表 1 月別解析状況

A の欄は統計等に使用した軌道数、B の欄は受信回数を表す

Table 1 The monthly number of ISIS passes

Column A shows the number of passes which were used for the statistics of the occurrences Column B shows the total number of the passes received at Syowa

Month	ISIS-1		ISIS-2	
	A	B	A	B
'76 May			1	1
June	7	8	7	8
July	3	4	11	11
Aug	3	11	7	7
Sep	3	9	21	24
Oct	1	4	3	3
Nov.	5	6	19	19
Dec	12	13	18	18
'77 Jan.	6	14		
Total	40	69	87	91

(VLF 広帯域データを受信したもの), および統計その他の解析に使用した軌道数を示している。

ISIS-2 の受信状態は非常によく, S/N のよいデータが得られている。しかしながら ISIS-1

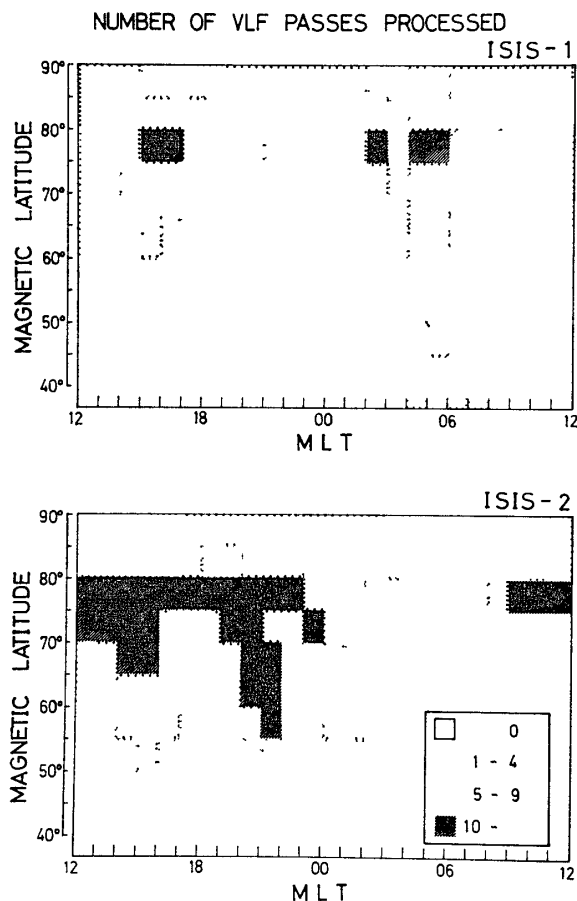


図 1 統計等の解析に使用した軌道の地磁気緯度と MLT に対する分布

Fig. 1 Distribution of the ISIS pass numbers used for the data analysis as a function of local time and magnetic latitude

対に低緯度から高緯度方向に通過する場合があるが, 冬の期間の夜で, 衛星が高緯度から低緯度方向に観測して行った場合には, VLF ヒス, ソーサー, ホイスラーの各エミッションが順に観測されることが多い。一方, 夏の期間には, 昼間側の高緯度, 極冠帯内を通過するような軌道が多くなるためもあるが, 全体的にこれらのエミッションの観測が少なくなっている。

図 4 は 5 月から 9 月までの南半球の冬の期間におけるソーサーの発生頻度の地磁気緯度と MLT に対する分布を示したものである (統計に用いた軌道数については表 1 を参照)。10 月以降の南半球の夏の期間には, ISIS-1, ISIS-2 共にこのタイプのエミッションはまったく観

では, PCM, トップサイドサウンダー等の信号が混入したものがかなりあり, 結局使用したデータの対応する軌道数は ISIS-1 が 40 軌道, ISIS-2 が 87 軌道の合計 127 軌道となった。

図 1 は衛星の各軌道の地磁気緯度と MLT に対する分布の状態を示している。低緯度は  $40^{\circ}$  位まで, 高緯度では極までの範囲を観測することが可能である。また, ISIS-2 はオーロラ帯を非常によくカバーしているのがわかる。しかしながら夏の期間では昼間側に, 冬の期間では真夜中付近に観測回数がかたよっている。

### 3. VLF ソーサーの発生領域

図 2, 図 3 は衛星が昭和基地からの受信可能領域を通過する際に得られる一軌道分の観測例を示したものである。

衛星は, 昭和基地上空を高緯度から低緯度に向かって通過する場合と, それとは反



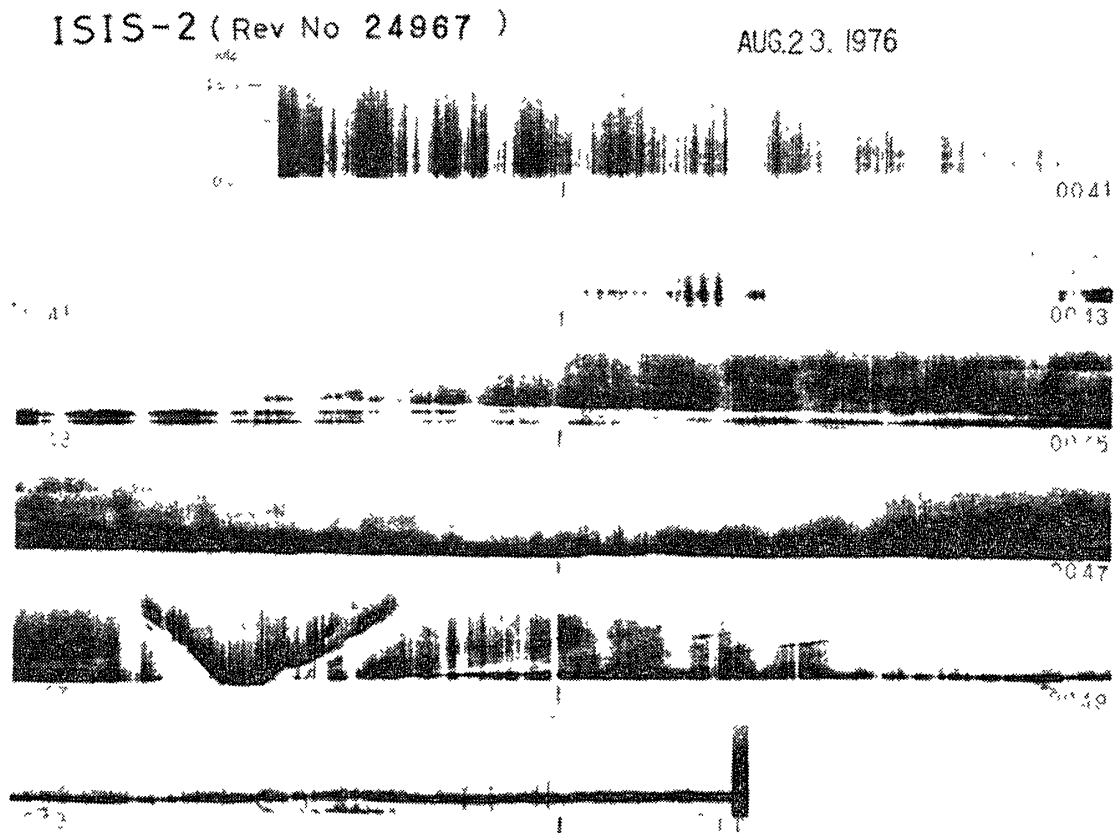


図 3 1 回の pass の受信データから得られる ISIS-2 VLF データの  $f$ - $t$  スペクトル例

Fig 3 Example of the ISIS-2 VLF spectrum

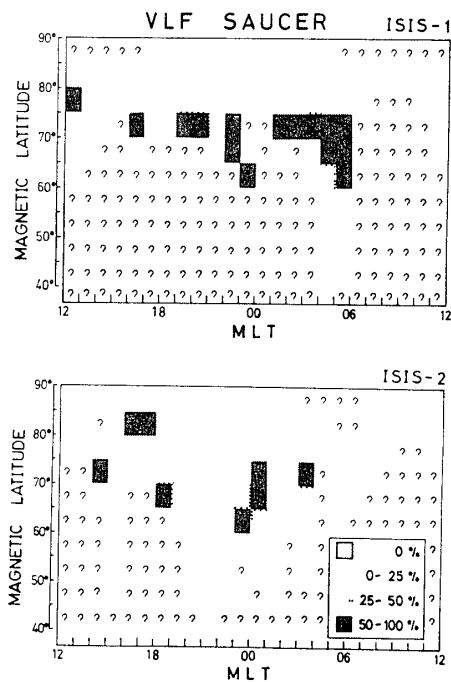


図 4 VLF ソーサーの発生頻度分布 (May 1976-September 1976). “?” はその領域のデータがないことを示す.

Fig 4. Occurrences of VLF saucers as a function of local time and magnetic latitude. Question marks indicate lack of data.

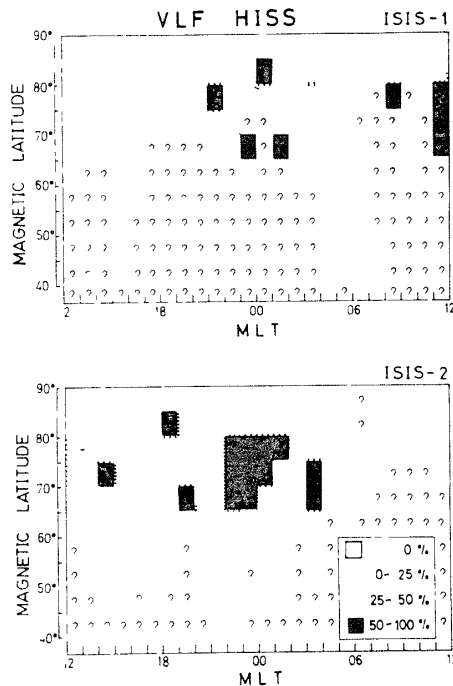


図 5 VLF ヒスの発生頻度分布 (May 1976–January 1977) “?”はその領域のデータがないことを示す。

Fig 5 Occurrences of VLF hiss emissions as a function of local time and magnetic latitude Question marks indicate lack of data

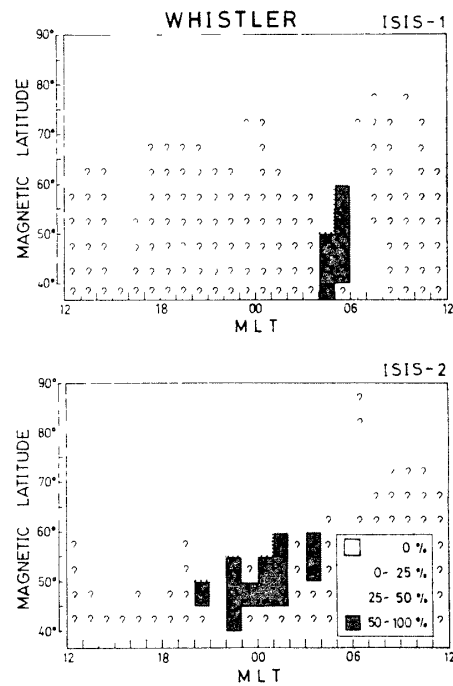
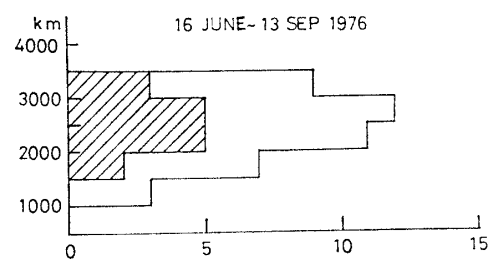


図 6 ホイスラーの発生頻度分布 (May 1976–January 1977) “?”はその領域のデータがないことを示す

Fig 6 Occurrence of whistlers as a function of local time and magnetic latitude Question marks indicate lack of data

図 7 ソーサーの発生頻度の高度分布 (ISIS-1)  
斜線部分はソーサーの観測された軌道数、  
外枠は全体の軌道数のヒストグラム

Fig 7 Distribution of saucer occurrences as a function of altitude The shaded histogram indicates the number of passes with saucers and the unshaded histogram shows the total number of the passes for the data analysis



昼間側では  $70^{\circ}$ – $80^{\circ}$  に位置しオーロラオーバルに対応している またホイスラーは  $65^{\circ}$  以上ではまったく観測されていない。

ホイスラーの領域が  $60^{\circ}$  付近までであることから、プラズマポーズの平均的位置を  $60^{\circ}$ – $65^{\circ}$  付近とすると、ソーサーの発生領域はプラズマポーズの高緯度側でしかもヒスの領域の低緯度側に位置しているものと考えられる。

図 7 は ISIS-1 の高度変化を利用して、ソーサーの観測される高度について示したもので

あるが、2500–3000 km で発生頻度が高くなっている。1500 km 以下の高度での観測は少ないが、JAMES (1976) の観測が指摘するように、ソーサーの発生源は 1000 km 以上の高度に存在している。

#### 4. $f$ - $t$ スペクトルでみたソーサーのタイプ

観測されたソーサーを  $f$ - $t$  スペクトルでみるとその形は大きく分けて 2 つのタイプに分類することができる。

その第一のタイプは、文字どおりソーサー状で、左右対称な双曲線状のスペクトル構造を持つものである。図 8 はこのようなものの例であるが、腕部の広がり是非常に大きく 20 秒以上にもわたっている。高度 1400 km の軌道上にある ISIS-2 では、20 秒間に衛星は約 140 km 移動しており、このエミッションが衛星高度において 100 km 以上もの広がりを持ってい

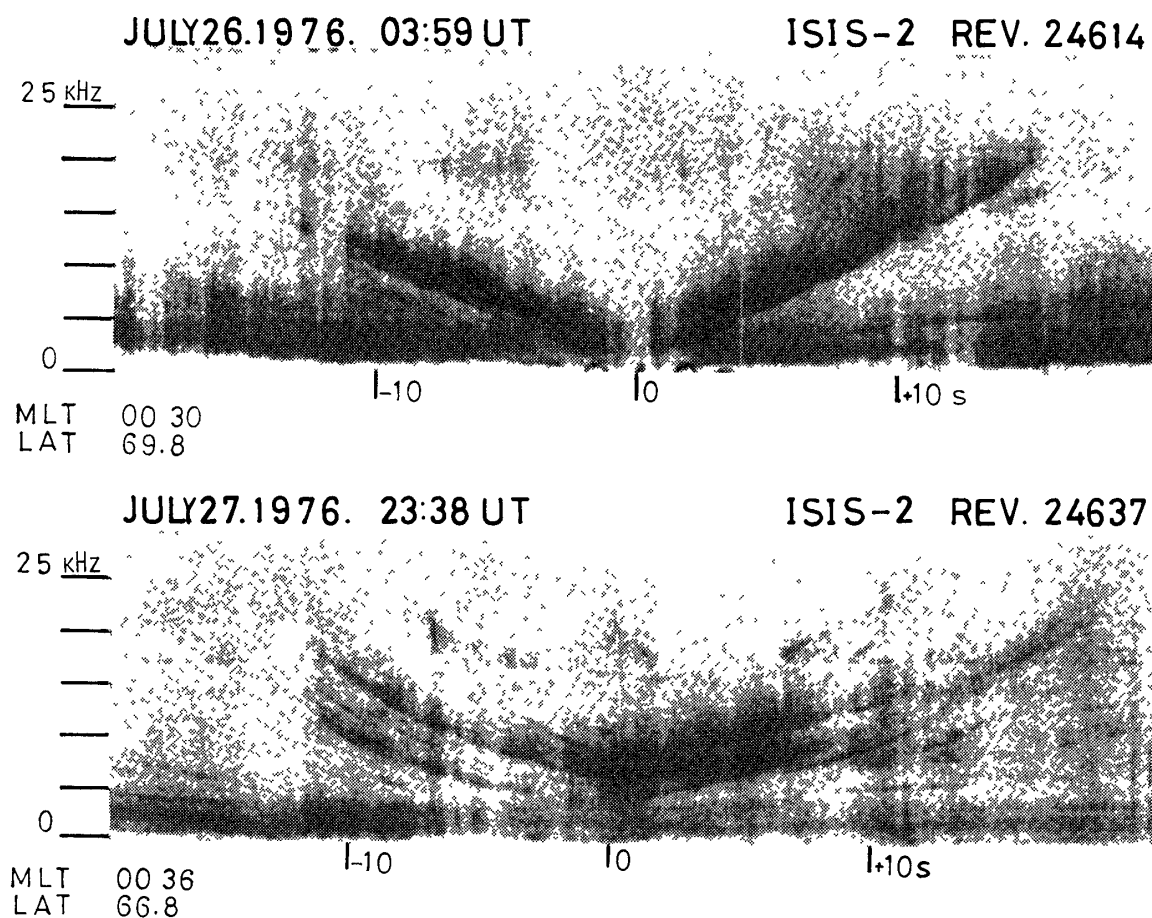


図 8 双曲線状のソーサー

Fig 8 Example of the hyperbolic shaped VLF saucer

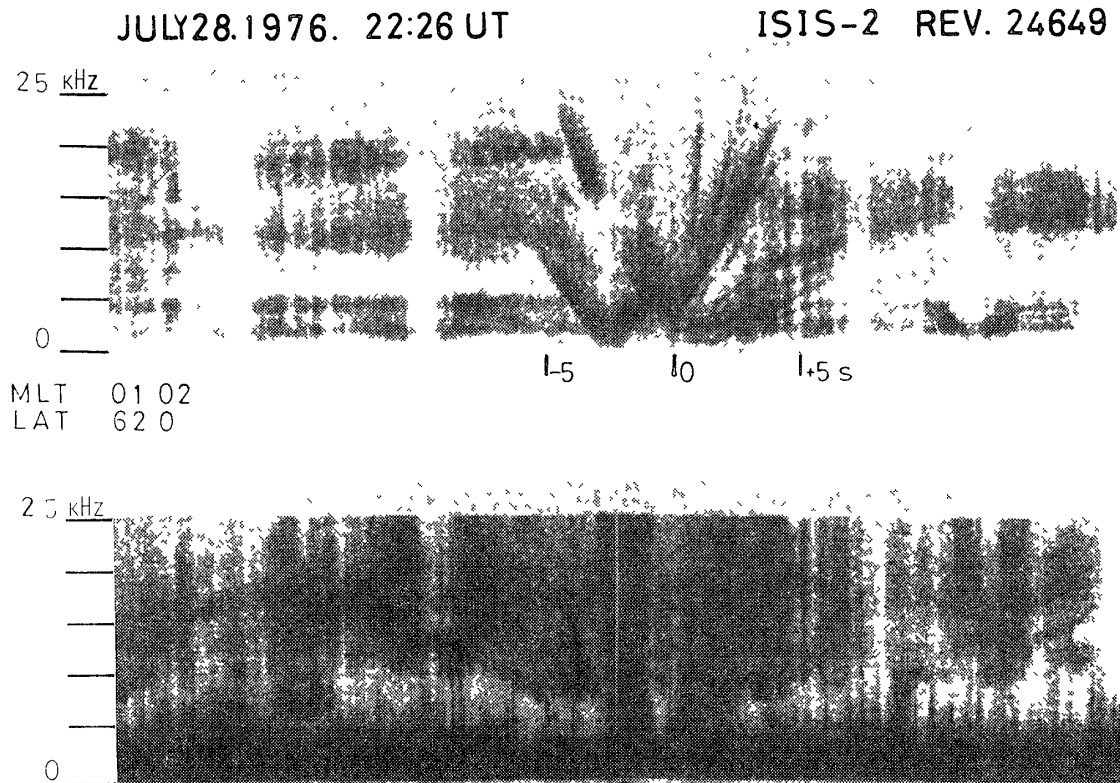


図 9 V 字形のソーサー

Fig. 9 Example of the V-shaped VLF saucer

たことになる。図 8 は観測されたソーサーの中でも腕部の広がり大きなものであるが、一般的には、このような双曲線状のソーサーの腕部の広がりには 5～10 秒程度のものが多く、また腕部の両端（高い周波数）でその強度が弱くなっているようである。

ソーサーの第二のタイプは腕部が曲線状ではなく、直線的な変化をしており、V 字形をなしているものである。

図 9 はこのようなタイプの例であるが、2 つのソーサーが近接して観測されている。腕部の両端は、25 kHz あるいはそれ以上の周波数まで伸びている。最も腕部の広がったところで 5 秒程度の広がりを持っている。

このような V 字形のスペクトル構造を持つソーサーは、双曲線状のスペクトル構造を持つものと比べて、高い周波数にまでその腕部が伸びているものが多く、25 kHz 付近の腕部の広がり、数秒程度であるものが大部分である。最低部の周波数は、このような V 字形のものでは、周辺に存在するヒスのカットオフ周波数以下にまで達しているが、前者の双曲線状のものではヒスのカットオフ周波数とほぼ同じになっている。

このようにソーサーのタイプをスペクトルの形状から大きく 2 つに分類したが、実際に観



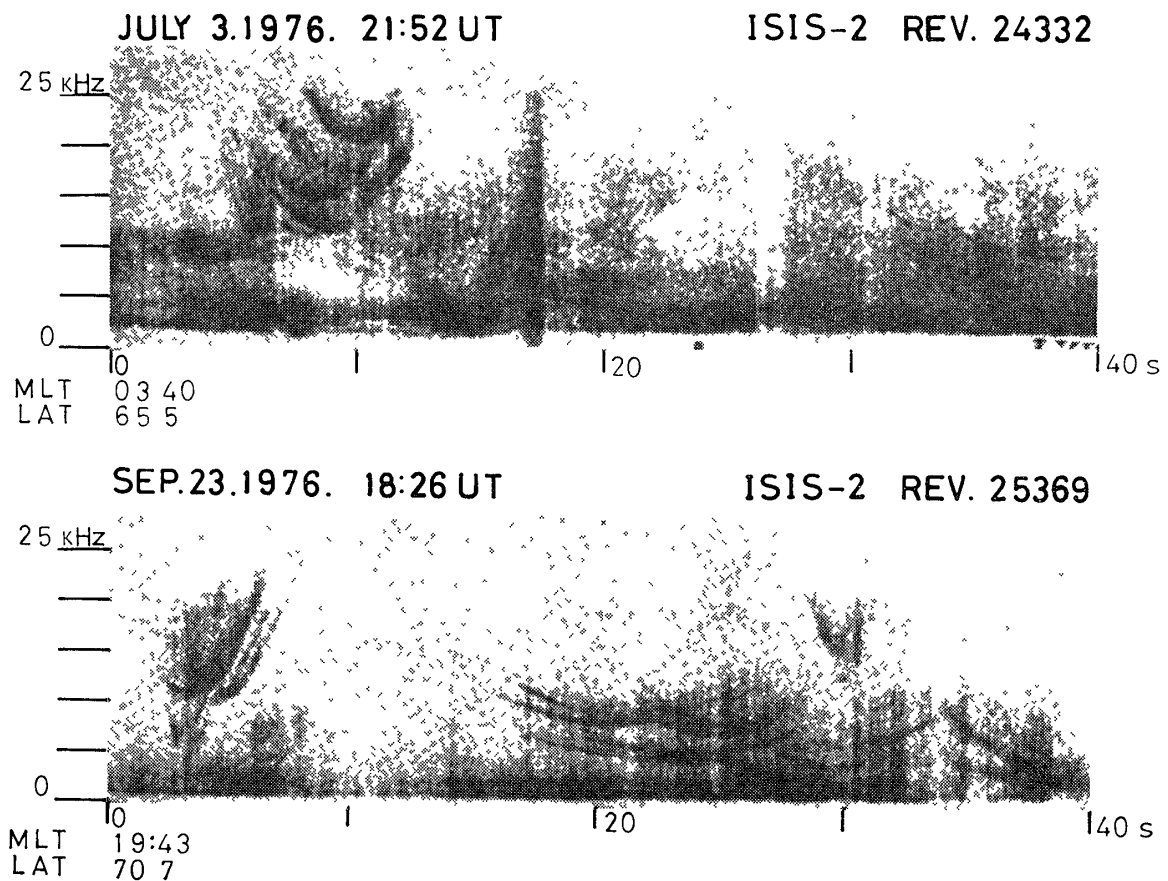


図 10 最底部の周波数の高いソーサー

Fig. 10. Example of VLF saucers whose bottom frequencies are high.

測されたエミッションでは、腕部が片側しかはっきり現れていないもの、また腕部が直線状であるか曲線状であるのか、はっきりとは区別できないもの等があって、そのスペクトル構造は多様で、一部にこの分類にあてはまらないものも存在する。腕部自身の幅に注目した場合、その太さもさまざまである。またとのソーサーでも lower cut は非常にはっきりしているが、upper cut については、はっきりしていないものもあり、そのようなものでは“腕部”という表現は適当でなくなる。さらにソーサーの最低部の周波数についても種々のものがある。図 10 では最低部の周波数が 10 kHz 以上になっているようなものが観測されている。この例では同じ場所で最低部の周波数のそれぞれ異なるソーサーが、いくつも重なって観測されている。付図 1-4 として観測されたソーサーの例を示しておく。

ここで得られたソーサーの発生頻度の MLT に対する分布は、同じく ISIS-2 の多くのデータを用いた統計 (JAMES, 1976) と同じように真夜中付近にピークを持っている。しかしながら、頻度は JAMES の観測によるものに比べて全体的にかなり高いものとなっている。この原

因としては、データ数の少ないこと、またここでは、ソーサーの持続時間が 5-30 秒程度のものであるが James の場合は、これよりかなり短いものを扱っているためであると考えられる。

Injun 5 での Poynting flux の方向の観測 (MOISER and GURNETT, 1969; MOSIER, 1971) は、ソーサーの発生源は衛星の下方に位置し、そこからホイスラーモードの波が上向きに伝搬していることを示しており、またソーサーの発生源の大きさは、水平方向に 0.5 km, 垂直方向に 50 km 程度でそのパワーは 10 mW 程度と計算されている (JAMES, 1976)。

ソーサーは、オーロラ帯に特有のエミッションであり、その発生機構は、オーロラ、VLF ヒス等との関連から明らかにしてゆくことが必要である

## 5. ま と め

以上まとめてみると、

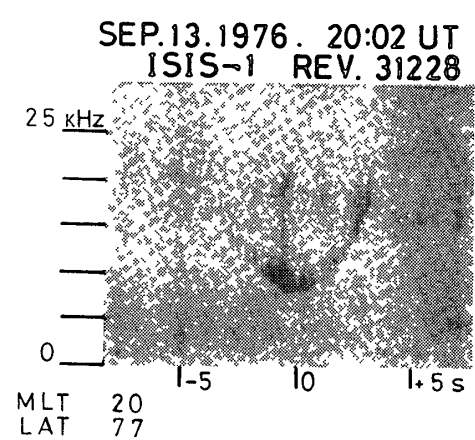
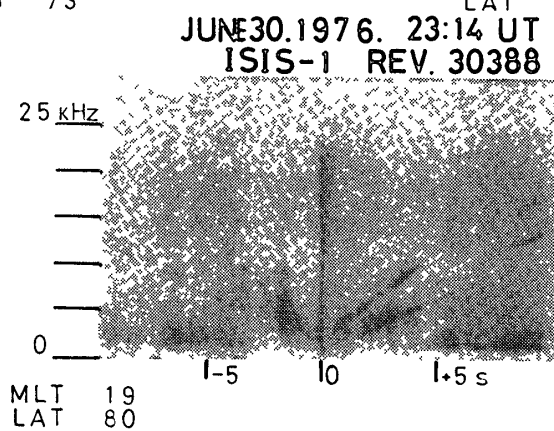
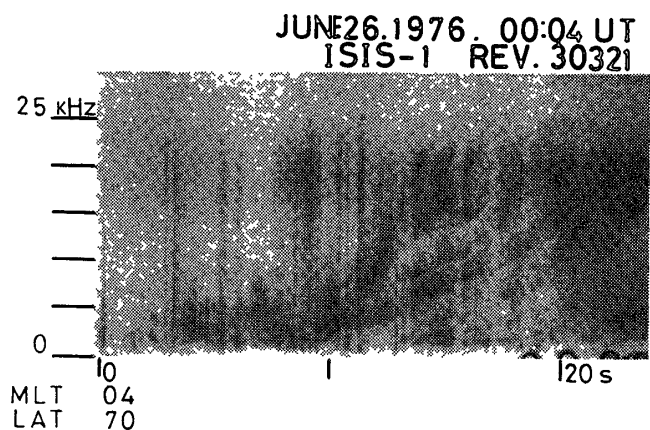
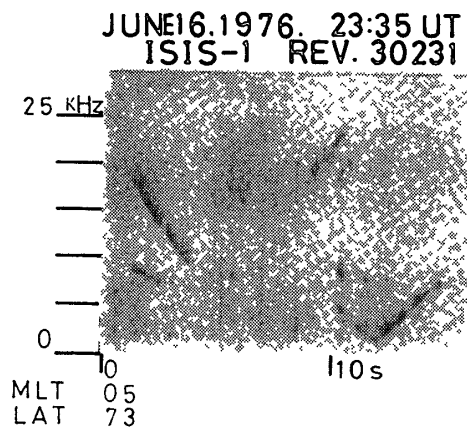
- 1) ソーサーは冬の期間の真夜中付近で発生頻度が高い。
- 2) 緯度的には、夜間では地磁気緯度  $60^{\circ}$ – $75^{\circ}$ 、昼間では  $70^{\circ}$ – $80^{\circ}$  で観測され、 $60^{\circ}$  以下の低緯度ではまったく観測されていない。
- 3) ソーサーの発生領域は、プラズマポーズの外側で、ヒスの領域の低緯度側に位置するものと考えられる
- 4) ソーサーのソースは、1000–1500 km 以上の高度に存在していると考えられる。
- 5) ソーサーのスペクトル構造は多様であるが、大きく分けて双曲線状のものと V 字形のものがある。

今後さらに多くのデータを用いることによって、ヒスやオーロラ等との関係、ソーサーのソース付近の磁場などの総合的な研究によってソーサーの発生機構を明らかにしてゆくことが必要となる

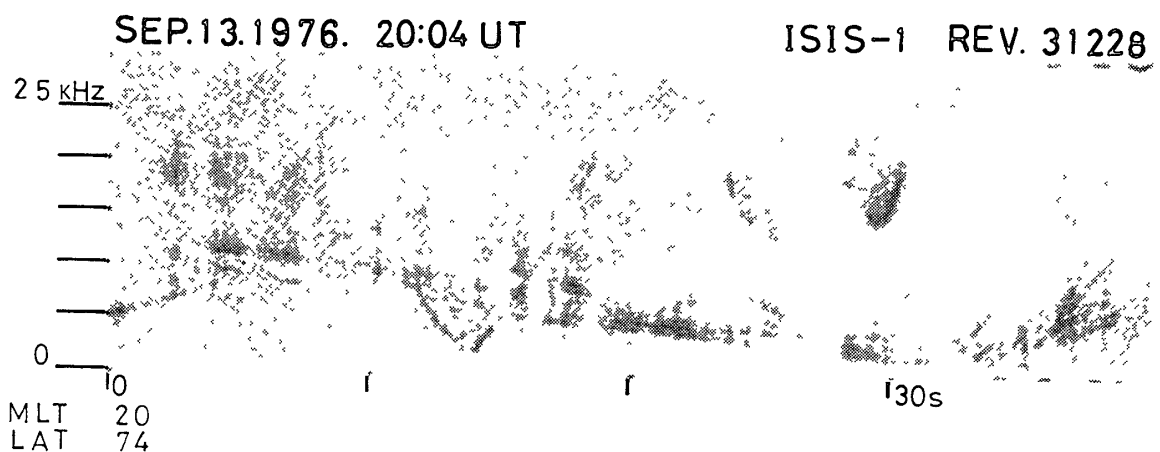
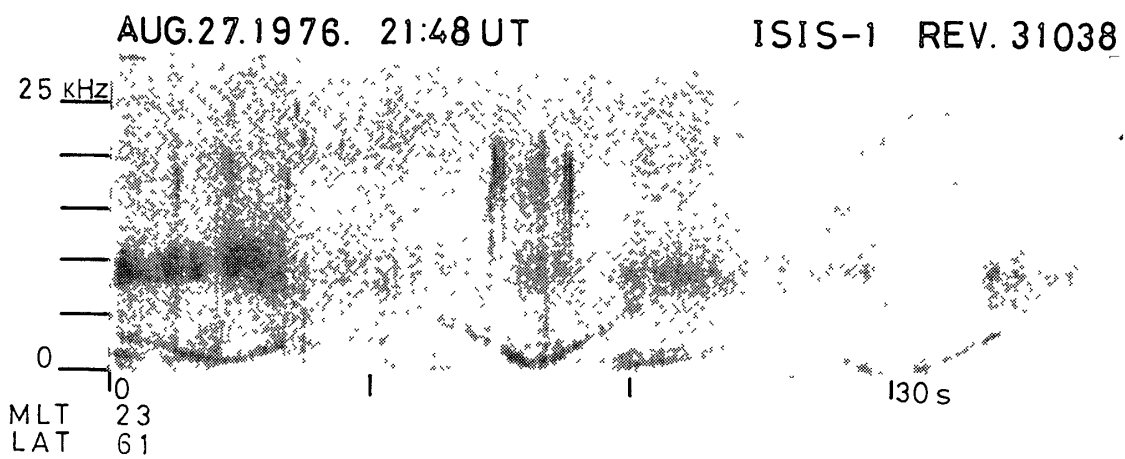
## 文 献

- BARRINGTON, R. E. (1975) Report on active and planned spacecraft and experiments NSSDC/WDC-A-R&S
- MOSIER, S. R. and GURNETT, D. A. (1969) VLF measurements of the Poynting flux along the geomagnetic field with the Injun 5 satellite J Geophys Res, **74**, 5675–5687
- MOSIER, S. R. (1971) Poynting flux studies of hiss with the Injun 5 satellite J Geophys, Res, **76**, 1713–1728
- GURNETT, D. A. and FRANK, L. A. (1972) VLF hiss and related plasma observations in the polar magnetosphere J Geophys Res, **77**, 172–190
- JAMES, H. G. (1976) VLF saucers J Geophys Res, **81**, 501–514

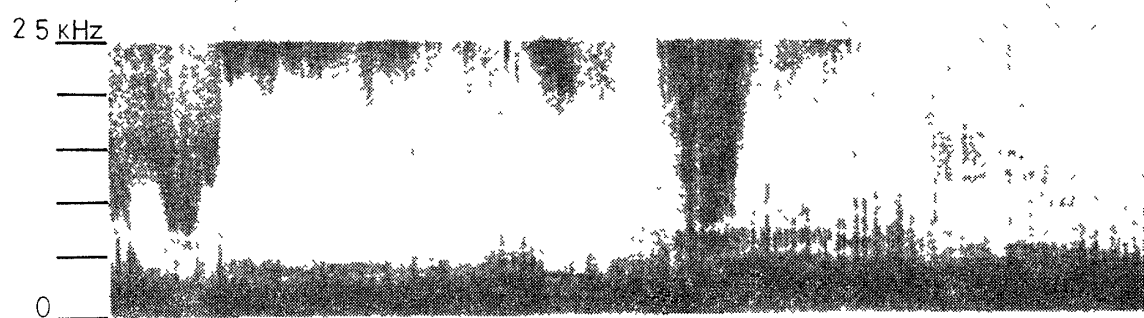
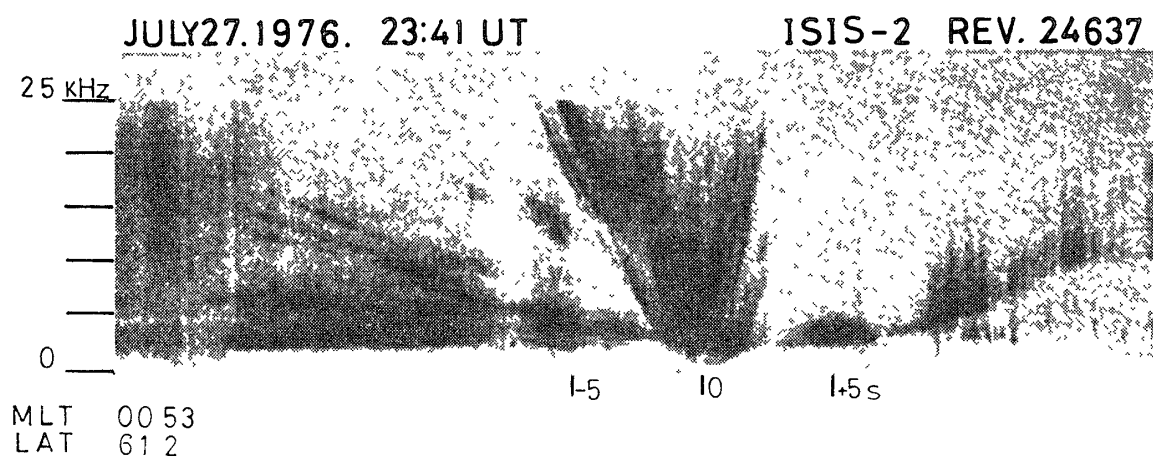
(1978 年 6 月 10 日受理)



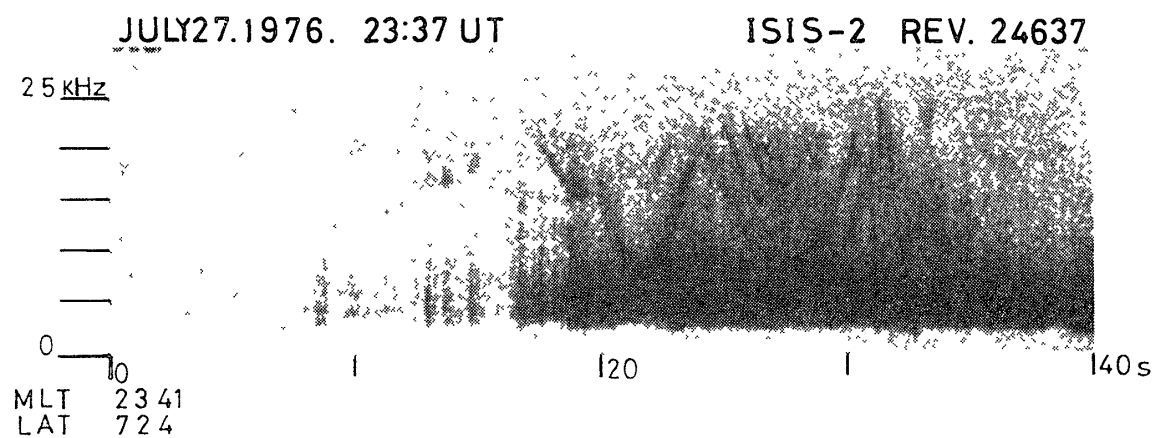
付図 1



付図 2



付図 3



付図 4

付図 1~4 ISIS-1, 2 で観測されたソーサー

Appendix 1-4 Examples of the frequency-time spectra of VLF saucers observed by ISIS-1 and 2