

第 17 次南極地域観測隊によって昭和, みずほ基地で 観測された Pc 1 型脈動の解析

野 崎 憲 朗*

An Analysis of Pc 1 Magnetic Pulsations Observed by the 17th
Japanese Antarctic Research Expedition Wintering Party
at Syowa and Mizuho Stations

Kenrou NOZAKI*

Abstract: Diurnal variations of occurrence frequency of Pc 1 pulsations and relationships between Pc 1 events and Kp , Dst and K (at Syowa Station) indices have been studied by using $f-t$ spectra of magnetic pulsations observed at Syowa and Mizuho Stations during one year from January 1976 to January 1977. It is found that the occurrence probability of Pc 1 events does not depend on the magnitude of Kp index, while there is a tendency that the occurrence probability of Pc 1 events increases greatly when the magnitude of Dst index is larger than -80 nT. It is also found that the $f-t$ spectral patterns of Pc 1 events observed at Syowa and Mizuho Stations were generally quite similar to each other. However, several Pc 1 events were observed only at Syowa Station. Furthermore, dynamic polarization patterns of three typical Pc 1 events observed at Syowa Station are given in this paper.

要旨 昭和基地で, 1976 年 1 月から 1977 年 1 月までの 1 年間に観測された, Pc 1 地磁気脈動についてそのダイナミックスペクトルを作成した. このデータをもとに, Pc 1 の発生時間および地磁気じょう乱との関係を調べた. その結果, 発生頻度は午後側に大きなピークを持つ高緯度に特有な日変化パターンを示すことが分かった. また世界的な地磁気じょう乱を表す Kp 指数と Pc 1 脈動の相関はよくないが, ring current の発達を表す Dst とはよい相関が認められた. 一般に昭和基地とみずほ基地ではスペクトルの形はよく似ているが, 一方のステーションでしか観測されない現象もいくつか見出された. また昭和基地で観測された代表的な Pc 1 現象について偏波解析を行った.

1. は じ め に

高緯度地方では, 発生領域から磁力線に沿って伝搬してきた Pc 1 脈動が直接観測される. 昭和基地を通る磁力線は, 一般にプラズマポーズよりも外側を通るので, そこで観測される

* 郵政省電波研究所電波部 Radio Division, Radio Research Laboratories, 2-1, Nukui Kitamachi 4-chome, Koganei 184.

脈動は外部磁気圏についての情報を含んでいる。昭和基地での地磁気脈動についてはすでにいくつかの観測結果が報告されているが、ここでは第 17 次南極地域観測隊が昭和、みずほ両基地で観測した地磁気脈動の記録について、Pc 1 レンシの周波数でスペクトル解析を行った結果について報告する。

解析した期間は、昭和基地の記録が 1976 年 1 月から 1977 年 1 月までの 1 年間、みずほ基地の記録が 1976 年 7 月から 1977 年 1 月までの約半年間であった。上記期間について、アナログ磁気テープに録音された記録のダイナミックスペクトル解析を行った。また顕著な現象を選んで A/D 変換し、電子計算機を使って偏波解析を行った。

2. 発生頻度と日変化

ダイナミックスペクトル解析で見ると、Pc 1 脈動は昭和、みずほ両基地ともほぼ毎日観測されている。0.1 Hz から 1.5 Hz の周波数範囲にある脈動は、昭和基地の 1 年間の期間の 38% の時間に観測された。

Pc 1 型脈動は、いくつかの種類に分類されている (KOKUBUN, 1970)。観測された現象のうち、pearl 型と思われる脈動は 42% であった。多くの現象は、中心周波数が約 0.3–0.4 Hz のところにあり、1 Hz を超える現象はほとんどなかった。昭和基地を通る磁力線の赤道面上でのプロトンシャイロ周波数 f_o は約 2 Hz なので観測された Pc 1 の中心周波数の f_o に対する比は 0.14–0.19 の範囲にある。

IPDP は発生率 6% であった。周波数範囲は 0.1–0.4 Hz のところにあり、pearl 型脈動より低い。0.2 Hz 以下の周波数帯は長周期脈動のパワーに埋もれて見えないことが多い。

間欠的にバースト状に発生するバースト型 Pc 1 脈動は全体の約 6% 観測された。中心周波数は 0.7 Hz 程度であり、pearl 型や IPDP よりもかなり高い。バースト型脈動の継続時間は 2 時間位のもものが多く、季節的には夏季に発生が少ない。

高緯度の Pc 1 脈動発生の日変化は中・低緯度と異なり、日中の発生頻度が高い (JACOBS, 1970)。 $L=6.4$ の昭和基地の 1 年間の発生頻度の日変化特性を図 1 に示す。昭和基地では UT は地磁気時間 (MLT) にほぼ等しい。MLT 14 時を極大にして 8 時から 18 時の間に大部分の現象が起こっていることが分かる。20 時から 6 時までの夜間は発生が少なく、ほぼ一定の割合で観測されている。特に強度の強い脈動に限ると、夜間の発生がなく、図 1 の山の部分だけを取り出した頻度分布となる。

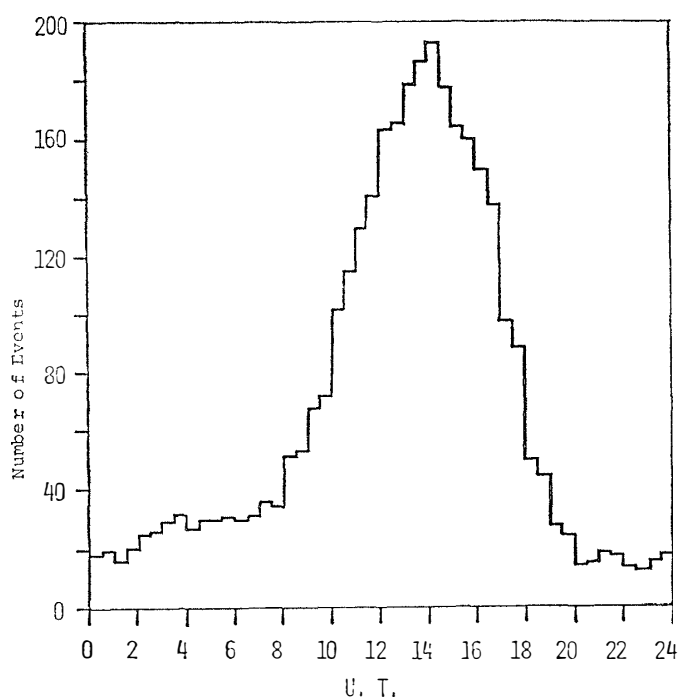


図 1 1976 年 1 月から 1977 年 1 月までの 1 年間に昭和基地で観測された Pc 1 脈動の日変化特性 昭和基地では UT と MLT はほぼ等しい

Fig. 1 Diurnal variation of occurrence frequency of Pc 1 pulsations observed at Syowa Station in the period of January 1976 to January 1977. At Syowa Station, UT is nearly equal to MLT

3. 地磁気じょう乱と Pc 1 発生の関係

昭和基地での Pc 1 脈動と Kp 指数との関係を図 2a に示す. それぞれの time lag= n (時間) に対応する折れ線は, ある Kp 指数を示した時刻から n 時間後に Pc 1 脈動が発生する確率を示している. 図 2b, 2c も同様の表示である. 図 2a の Kp 指数との関係では Kp の大小に対して脈動の発生に大きな変化はない. Kp 指数の大きな値でところどころピークが見えるのは, テータ数が少ないための見かけ上のものである.

Dst 指数と Pc 1 脈動の発生の関係について見ると (図 2b), Dst 指数が -80 nT より低くなるような値 (横軸の中央より右側の領域) では発生の割合は増大している. しかもこの増大は time lag にあまり依存しない. このことは強い ring current が発達するとはらく Pc 1 脈動が発生し続けることを示唆する.

一方昭和基地で得られた K 指数と Pc 1 脈動の関係は図 3c に示されるように, 大きな K 指数の現れた 9-15 時間後に脈動の発生が増大している. その後 30 時間後までは発生が減少し, 33-39 時間後に第 2 のピークが見られる.

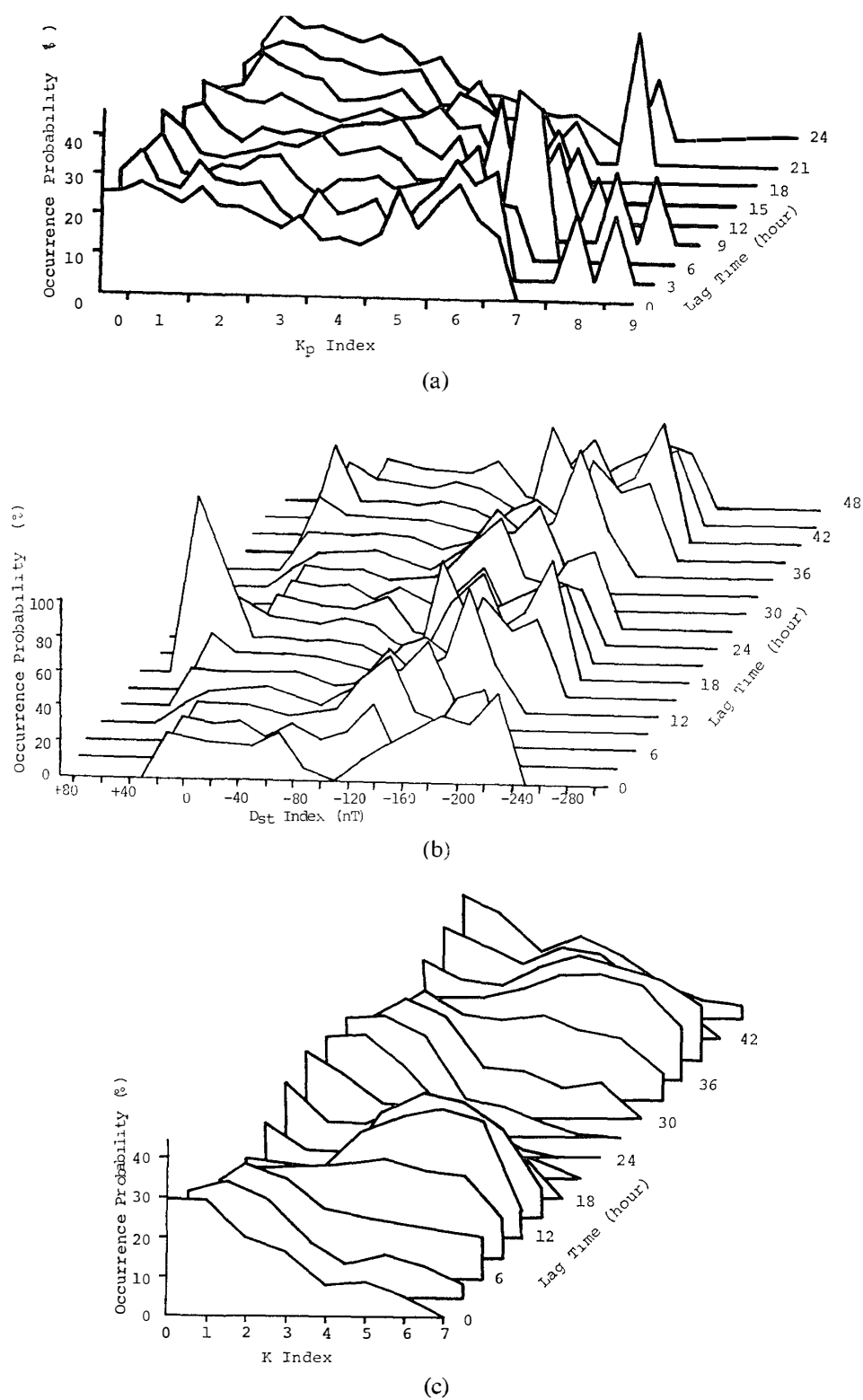
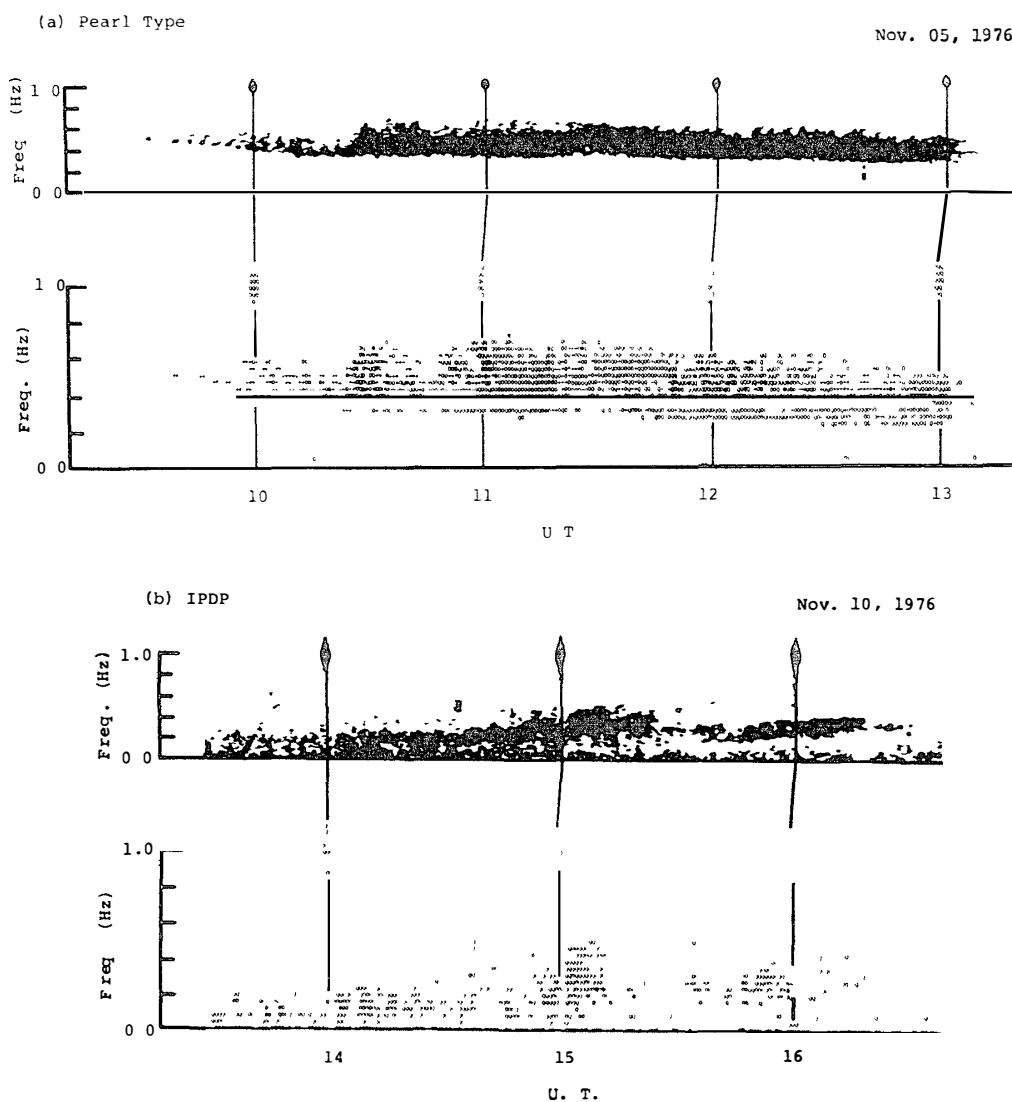


図 2 Pc 1 脈動の, (a) K_p 指数, (b) Dst 指数, (c) 昭和基地の K 指数との関係
 Fig. 2. Relationships between occurrence probability of Pc 1 events at Syowa Station and
 (a) K_p index, (b) Dst index, and (c) K index at Syowa Station.

Pc 1 の発生が Kp 指数の大きさにあまりよらないのに、 K 指数とは 9-15 時間、および 33-39 時間の time lag をもってよい相関があるのは、 K 指数の日変化特性が一般に夜側で大きくなり、一方 Pc 1 の発生は昼側で多いことによる見かけ上の相関と思われる。

4. Pc 1 脈動の偏波特性

磁気圏の赤道面付近で発生した Pc 1 脈動は、磁力線に沿って左回り円偏波で電離層高度まで伝搬すると考えられている。磁気圏から伝搬してきた波は、その出口の領域では偏波は磁気圏内の様相をそのまま反映するが、波が電離層中を水平方向に広がるにつれ、右回り成分が発生し、さらに F 層をタクト伝搬する領域になると直線偏波となる (GREIFINGER, 1972)。



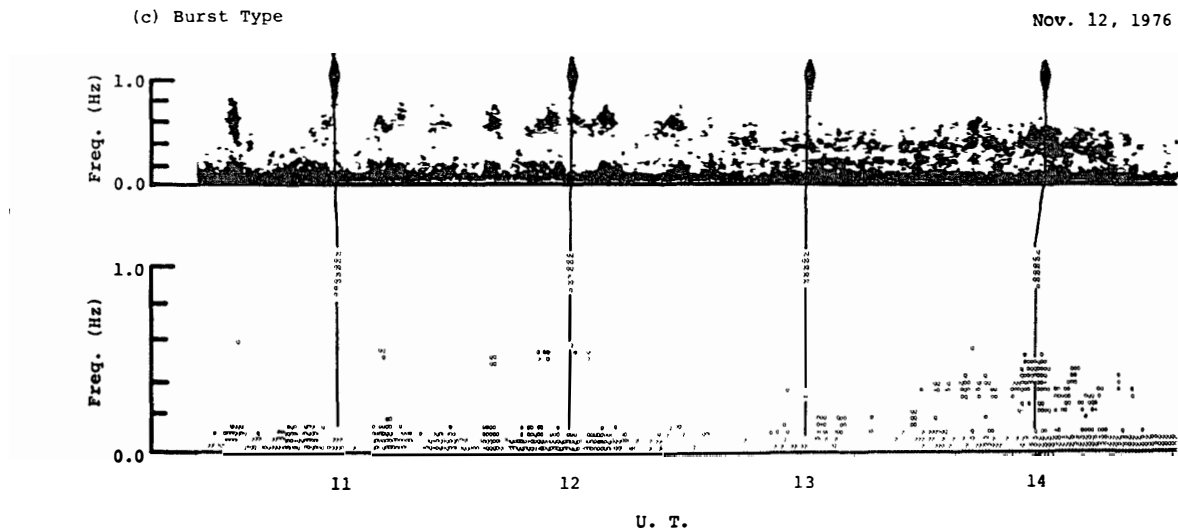


図 3 昭和基地で観測された Pc 1 脈動のダイナミックスペクトルとその扁平度. (a) Pearl 型, (b) IPDP, (c) バースト型 Pc 1 について示す. 扁平度を $\epsilon = \tan \theta$ と表し, 左回り円偏波 ($\theta = 45^\circ$) から右回り円偏波 ($\theta = -45^\circ$) まで 15° 毎に *, +, 0, Q, -, = の順に表してある.

Fig. 3. Dynamic spectrum and ellipticity of (a) pearl type, (b) IPDP, and (c) burst type Pc 1 pulsations. The ellipticity $\epsilon = \tan \theta$ is represented by letters of *, +, 0, Q, - and = in every 15° interval from left-handed circular polarization ($\theta = 45^\circ$) to right-handed circular polarization ($\theta = -45^\circ$)

昭和基地で観測される代表的な Pc 1 脈動について偏波解析を行った結果を, pearl 型 (図 3a), IPDP (図 3b), バースト型 (図 3c) について示す. 各図の上半分がダイナミックスペクトルを表す. 下半分が脈動の扁平度 ϵ (ellipticity) を表す. $\epsilon = \tan \theta$ と表示し, 左旋の円偏波 ($\theta = 45^\circ$) から右旋の円偏波 ($\theta = -45^\circ$) まで等間隔に *, +, 0, Q, -, = の記号で表されている (岩淵他, 1978). 1 時間毎のタイムマークが Q で示されている.

図 3a に示されるように, この pearl 型脈動は始め全体として左旋偏波が強く, 時間の変化とともに直線, 右旋偏波の複雑な動きを示す. この例は, Pc 1 脈動の磁気圏内での発生領域が, 時間と共に移動している可能性を示唆する.

IPDP の偏波は, この例では常に直線偏波となっており (図 3b), この結果は, 発生領域を通る磁力線の足が, 昭和基地から離れた地点にあり, 脈動が電離層中をダクト伝搬してきたことを示唆する.

バースト型 Pc 1 の偏波は, この例では直線偏波に近いので, 昭和基地で観測されたものは遠くから伝搬してきた可能性がある.

5. 昭和基地とみずほ基地での脈動の比較

みずほ基地の記録器の不調のため、 H 成分の記録はある期間欠測したので、ダイナミックスペクトルによる H 成分の比較は、1976 年 11 月 4 日から 1977 年 1 月 24 日までの 2 カ月半の期間について行った。ほかの期間については大きな現象についてのみ、昭和基地の H 成分とみずほ基地の D 成分について比較した。

両基地で観測される脈動は、1 対 1 によく対応する。両基地での出現の比較を図 4 に示す。全体としては昭和基地が発生の頻度が大きい。みずほ基地では信号の S/N が小さく、弱い脈動の信号は雑音の中に埋もれてしまうので、同じ S/N で観測を行えば発生頻度は昭和基地と同じになるであろう。

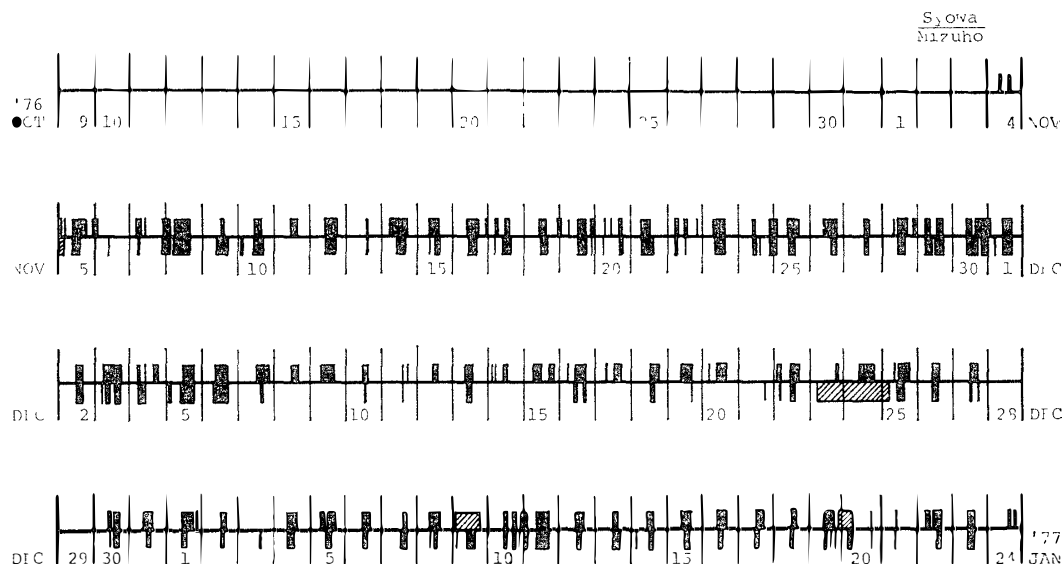


図 4 昭和基地とみずほ基地での $Pc 1$ 脈動発生比較 脈動の発生している期間は黒く塗り、欠測期間は斜線で示した 日付は UT

Fig 4 Comparison of $Pc 1$ occurrences at Syowa and Mizuho Stations The shaded areas indicate the periods when $Pc 1$ events occurred, while hatched areas indicate non-observation periods Date is given in UT

日中の現象には強いものが多く、細い構造までよく対応する。いくつかの現象では昭和基地にあってみずほ基地では観測されない現象があった。その例を図 5 に示す。昭和基地では UT の 6 時 30 分から連続して pearl 型脈動が観測されているが、みずほ基地では 9 時 40 分まで信号が現れていない。

脈動が電離層をダクト伝搬する領域では、その波長は数百 km、減衰の距離定数は約千 km とされている (GREIFINGER and GREIFINGER, 1968)。もし昭和、みずほ基地間がダクト伝搬す

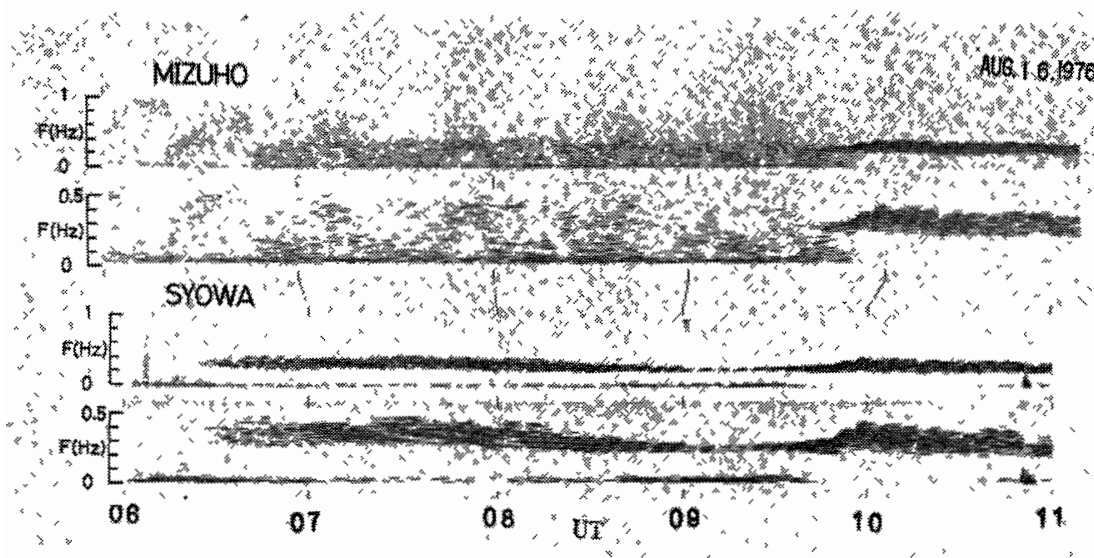


図 5 昭和基地とみすほ基地で、同時に観測された Pc 1 脈動のダイナミックスpekトルの例

Fig 5 Example of f - t spectra of Pc 1 pulsations observed simultaneously at Syowa and Mizuho Stations

るならば、両基地間の距離ではどちらか一方が伝搬中の減衰のために観測されない、ということはない。一方の基地だけで観測される、ということは、発生領域から磁力線に沿って伝搬してきた脈動が、ダクト伝搬モードに変換される以前のものを見ている可能性がある。この場合は、発生領域の広がりがあるまま地上の観測に反映すると思われる。

強い脈動のうち、昭和基地だけで観測される脈動はいくつかあるが、逆にみすほ基地だけで観測される現象はなく、一般に Pc 1 脈動の source は昭和基地側にあると思われる。

6. まとめと今後の課題

昭和基地で観測された Pc 1 脈動は、 Dst が -80 nT よりも強くなるとその発生頻度が急に増大することが見出された。これは高緯度で観測される Pc 1 脈動も、発達した ring current proton によって起こされている部分があることを示す。一方 Kp と Pc 1 脈動の発生率の相関はあまりなかった。しかし TOYA *et al.* (1979) は半月平均した Kp 指数と Pc 1 の発生頻度を比べれば、よい相関があることを示した。このことから、長い時間をかけた平均としては、地磁気が荒れた状態ほど Pc 1 が発生しやすい傾向があるが、Pc 1 の大部分は、個々の地磁気じょう乱（サブストーム）とは一般に 1 対 1 に対応しないことを意味していると思われる。

みすほ基地は、昭和基地とほぼ同じ磁気子午線上にあり、270 km 離れている。同じ発生領域の下に両基地がある時は脈動信号の強度はほぼ同じであることが予想される。両基地間の強度を比較した結果は、ほぼその通りであった。しかし少数ではあったが、昭和基地に強い脈動があってもみすほ基地では観測されない例があり、極域では発生領域からはずれると強度が急に弱くなることがあると思われる。

磁気圏から高緯度地方に伝搬してきた脈動は、電離層のダクト伝搬となる付近で複雑な偏波の変化が理論的に予想され、解析した pearl 型とバースト型 Pc 1 脈動ではそうした変化が観測された。昭和基地とみすほ基地で偏波の比較を行えば、さらに正確な考察がてきまらう。

謝 辞

偏波解析は、国立極地研究所の M-160 II 計算機によって行われた。この解析を行うにあたり国立極地研究所の岩渕さんの指導と協力を受けた。また国立極地研究所超高層部門の諸氏には多大の指導、助言を受けた。ここに深謝する。

文 献

- GREIFINGER, P (1972) Micropulsations from a finite source. *J Geophys Res*, **77**, 2392–2396
GREIFINGER, C and GREIFINGER, P (1968) Theory of hydromagnetic propagation in the ionospheric waveguide *J Geophys Res*, **73**, 7473–7490
岩渕美代子・藤井良一・内海達郎 (1978) クラフィノクティスプレイを用いた会話型スペクトル解析システム. 南極資料, **62**, 29–70
JACOBS, J. A (1970). *Geomagnetic Micropulsations*. Berlin, Springer-Verlag, 28 p
KOKUBUN, S (1970) Fine structure of ULF emission in the frequency range of 0.1–2 Hz *Rep Ionos Space Res Jpn*, **24**, 24–44.
TOYA, T., KUWASHIMA, M, KAWAMURA, M, FUKUNISHI, H. and AYUKAWA, M (1979). Comparative study of magnetic Pc-type pulsations between the low-latitudes and the high-latitudes. (I) Statistical features of Pc 1 pulsations *Mem. Kakioka Mag Obs*, **18**, 29–47.

(1979 年 9 月 6 日受理, 9 月 29 日改訂稿受理)