

第7次越冬隊地磁気部門研究観測報告

地磁気脈動観測

国 分 征*

REPORT ON OBSERVATION OF GEOMAGNETIC MICROPULSATIONS AT SYOWA STATION IN 1966

Susumu KOKUBUN*

Abstract

The observation of geomagnetic micropulsations with period from 300 to 0.5 seconds has been carried out by the JARE wintering party at Syowa Station from April, 1966. Geomagnetic signals are registered on a paper chart and a magnetic tape, using a slow speed tape recorder.

In this report, characteristics of the recording system are briefly described and the preliminary results mainly for micropulsations of the pc-1 category, observed in 1966, are presented.

Pc-1 pulsations are predominantly observed in the daytime at Syowa Station, and about one half of micropulsations with frequency of 0.2-2 Hz show a recurrent structure in f-t display. It is found that pc-1 pulsations are often associated with sudden commencements of magnetic storms which occur around local noon, and that most of ssc pulsations do not have a recurrent structure, although rising frequency of structural elements is noted in f-t display. Some spectral characteristics of pi and pc-2, 3 are also discussed.

1. は し が き

第7次越冬隊地磁気部門研究観測の一つとして、地磁気脈動の連続観測が行なわれた。これは日変化、湾型変化等の地磁気変動から VLF 帯までにわたる広い周波数帯での電磁現象観測の一環として行なわれたもので、周期 300 秒から 0.5 秒の脈動観測を目的としている。脈動観測はすでに第3次から第5次越冬観測においても行なわれてきたが、今回の観測では直流増幅器、ペン書き記録計、テープレコーダーの使用により周波数特性、記録の取り扱い

* 東京大学理学部地球物理研究施設. Geophysical Laboratory, Faculty of Science, University of Tokyo, 11-16, Yayoi 2-chome, Bunkyo-ku, Tokyo.

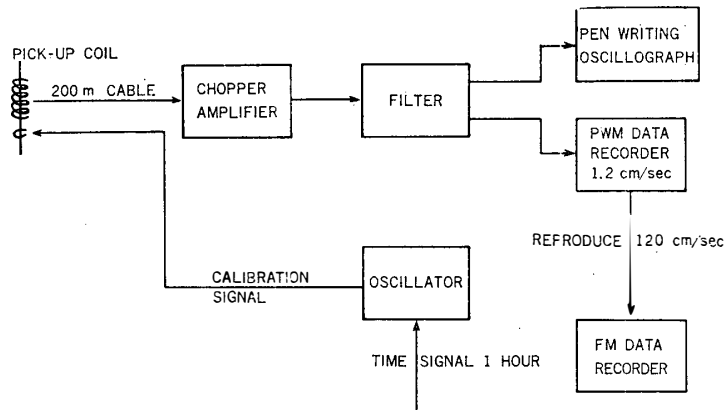


図 1 昭和基地における地磁気脈動記録装置のブロックダイアグラム

易さ等従来のものにくらべて改良されている点が多い。この報告では、装置および観測の概要と主として $pc-1$ についての解析結果を述べる。

2. 観測装置および観測の概要

従来、地磁気脈動観測はガルバノメーターによる光学記録方式によっていたが、第7次観測からは、周波数特性や周波数分析等の解析の容易さを考慮して、ペン書き記録および磁気テープ記録方式を採用した。図1に装置のブロックダイアグラムを示す。

2.1. 検出コイル

検出コイルは直径0.7mmのフォルマル線をベークライトボビンに約22,000回巻いたものであり、直径16mm、長さ1.7m、 $\mu \approx 2,400$ の $hig h-\mu$ パーマロイコアをボビンに差し込んでいる。コイルの直流抵抗は約 75Ω である。この検出コイルの有効面積は約 $8 \times 10^3 \text{ m}^2$ であり、 $0.1 \gamma/\text{sec}$ の地磁気変動に対して約 $1 \mu\text{V}$ の電圧がコイルに誘起される。検出コイルは野外に設置するため、接続ケーブルとして200mの同軸ケーブル(7C-2V)を用いた。

2.2. 直流増幅器

50Hz チョッパーを用いたトランジスタ増幅器であり、周波数特性は2Hzまで伸びている。増幅度は約90db、ノイズレベルは $0.2 \mu\text{V r.m.s.}$ 以下、ドリフトは $1 \mu\text{V/hr}$ 以下、入力抵抗は約 $3 \text{ k}\Omega$ である。

2.3. フィルター

極光帯においては、夜間観測される pi や早朝よく出現する $pc-5$ は、 $2 \gamma/\text{sec}$ 以上に達することもあり、最大 $1 \gamma/\text{sec}$ 程度の脈動($pc-1, 2, 3, 4$) とこれらとを同じ感度で記録するこ

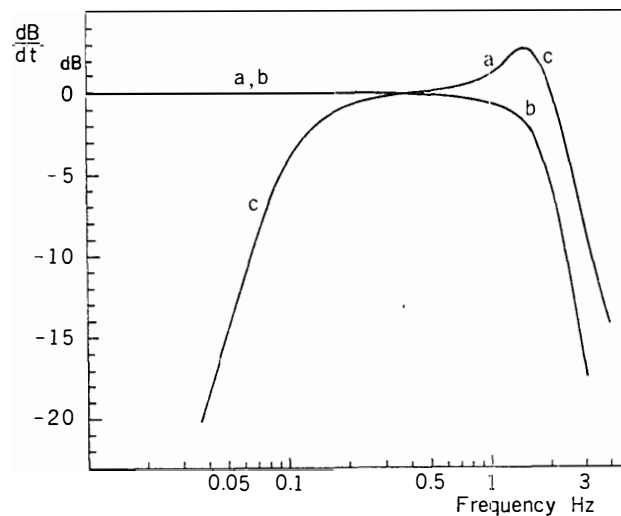


図2 脈動記録装置の周波数特性

とはかなり困難である。このため、ハイパスフィルターを用いて 0.1 Hz 以上の変動を独立に記録した。また、ペン書き記録では 2 Hz 附近の変動を少しおとして記録した。検出コイル、直流増幅器、フィルターを含めた記録装置全体の周波数特性を図2に示す。aはテープレコーダーのI, IIIチャンネル, bはテープレコーダーのII, IVチャンネルとペンレコーダーのIII, Vチャンネル, cはペンレコーダーのIV, VIチャンネルに記録された特性である。

2.4. ペン書きオシログラフ

チャンネル数は6, 脈動記録に用いるのは4チャンネルであるが, 他の2つには極光光電受光器の記録を入れた。記録紙の送りは 0.5 mm/ se で 45m 巻の記録紙が1日分の記録となる。記録振幅は ± 2 cm で, 周波数特性は DC-70Hz である。なお a 特性の記録は 0.5Hz 以下で 0.1 γ / se cmm の感度である。

2.5. テープレコーダー

テープレコーダーとしては直接記録用と持帰りテープ編集用の2つを用いた。記録用は PWM 変調方式による長時間データレコーダーで, 記録速度は 12mm/ se, 周波数特性は, DC-7Hz, S/ N 比は 35db 以上である。持帰り用テープ編集の際はこの記録を 1200mm/ se c の速度で再生し, 時間を 1/100 に圧縮して FM データレコーダーに記録する。FM レコーダーの記録速度は 9.5 cm/ se であり, 内地で 152 cm/ se の速度で再生すれば 1600 倍の時間圧縮率を得ることができる。なお, チャンネル数は両者とも 4 である。直接の連続記録時間はスコッチ #498 計測用テープを用いたため約 16 時間であるが, #499 テープを用いれば 1 日 1 巻で記録できる。

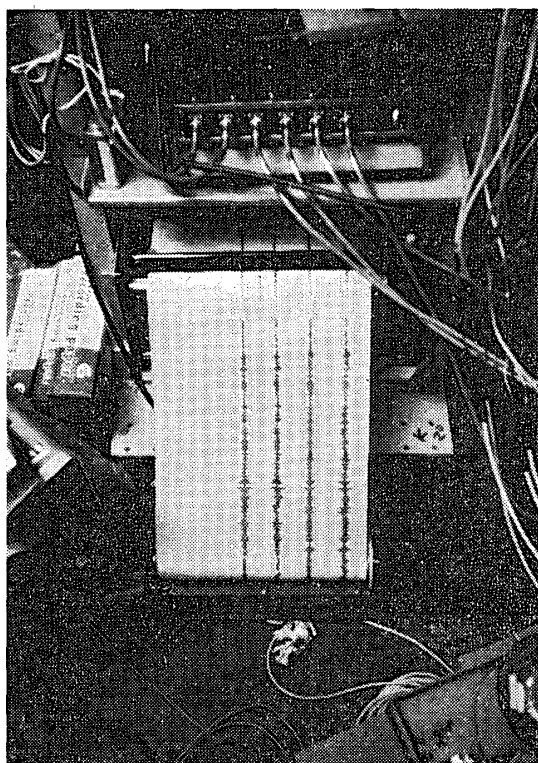


図 3 ペン書き記録計

2.6. タイムマーク

標準水晶時計（安定度 10^{-7} ）の信号により，正時 0001^s より 01^m までの 59 秒間記録に重ねて 0.1 Hz の信号を入れた。

観測機器のテストは 3 月中に完了し，4 月 1 日より H, D 2 成分の連続観測を始め，第 8 次隊観測棟新設に伴う機器移動準備のため，12 月 31 日をもって観測を終了した。図 3 には動作中のペン書き記録計の写真を示す。

ここに記録されている脈動は周期 3 秒程度の $\mu\text{c-1}$ である。観測期間中はこのペン書きオシログラフ紙送り機構の故障により，若干の欠測があったが，次の 2 点を除いてはおおむね順調な観測が行なわれた。

昭和基地附近は露岩地帯のため，検出コイル設置に適切な場所を探すことはむずかしく，第 7 次観測では，露岩上に石でかこって置いた程度で埋設できなかった。このため風速 15m 以上のブリザードになると，風によるヘッドおよびケーブルの振動により，信頼し得る記録がとれなくなることがあった。ブリザード時は随時磁気記録を中止した。なお新観測棟建設に伴う観測機器の移動により，検出ヘッドが埋設されたため，1967 年よりの観測ではこの影響は著しく減少したと思われる。もう一つはアースの問題である。脈動観測では μV オーダーの微小電圧連続測定のため，アースポテンシャルの浮動，電源変圧等の影響を受け易く，水素発生器等の強電力使用時に大きなドリフトを生ずることがあった。これは自動電圧調整器をバッファとして使用することにより，ある程度解決できたが，アースがきいていないことが一番の原因と思われる。1966 年は 50cm 位の深さに銅網を埋めてアースに使用し，1967 年からはパネットアースを 10 本ほど砂に打ち込んで使用しているが，今後は海水中に金属板を入れてアースとする等，更に完全なアース対策をたてる必要がある。

3. 観 測 結 果

第 7 次越冬観測においては，磁気テープ 27 巻およびペン書き記録約 270 巻の資料が得られ

た。磁気テープは152cm/secの速度で再生すると1,600倍の時間圧縮率が得られるが、国産のサウンドスペクトログラフを用いる場合は、0.1Hz以上の現象しか周波数分析できない。Pc-3とかそれ以上の周期を持つ現象の解析の際は10,000倍程度の倍率を必要とする。現在周期8秒以上の現象に関しては、ペン書き記録を読み取り、デジタル解析を行なっている。すでに昭和基地で観測されたpc-5, pc-3等についてはいろいろと報告されているので(OGUTI, 1963; NAGATA, KOKUBUN and IJIMA, 1963, 1966); ここではpc-1およびPiについてこれまでに得られた結果を述べることにする。

3.1. Pc-1 pulsation

0.2Hzから5Hzの周波数をもつ地磁気脈動はpc-1と呼ばれており、最近特に注目を集めている現象である。また、これらの脈動は

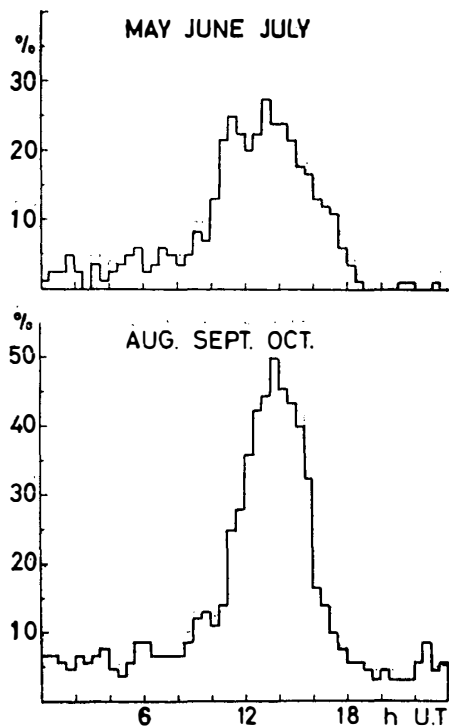


図4 昭和基地におけるpc-1発生頻度日変化(1966年)

hydromagnetic emissionとかhydromagnetic whistlerとか呼ばれており、磁気圏におけるenergetic protonとhydromagnetic waveとの相互作用によって生ずる不安定性に起因するものと考えられている(JACOBS and WATANABE, 1964; CORNWALL, 1965; ODAYASHI, 1965)。昭和基地においては、pc-1は主として昼間観測され、その出現頻度はlocal magnetic time 13~14hにピークをもつ。図4は1966年、5, 6, 7月および8, 9, 10月の各3カ月の出現頻度の日変化を示したものである。この頻度分布はこれまで報告されている極光帯におけるものと同様な傾向をもっている(HEACOCK and HESSLER, 1962; CAMPBELL and STILTNER, 1965)。なおこの出現頻度分布を求める際、

ペン書き記録のみを読みとり、周波数分析パターンの相違を考慮していないので、後述するsweeperなども数えられている可能性があるが、sweeperは数が少ないので、いわゆるpc-1の特性を示すものとしてよい。次に周波数分析で得られたf-tパターンの典型的なものを図示し、いくつかに分類されるf-tパターンの特徴を述べることにする。

3.1.1. Periodic type

図5において明らかのように、非常に特徴的な再帰性のパターンを示すものがある。これ

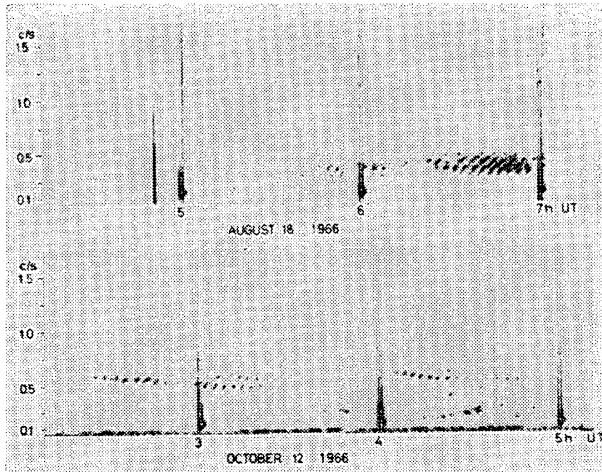


図 5 周期型 pc-1
a) 扇構造型, b) 点状構造型

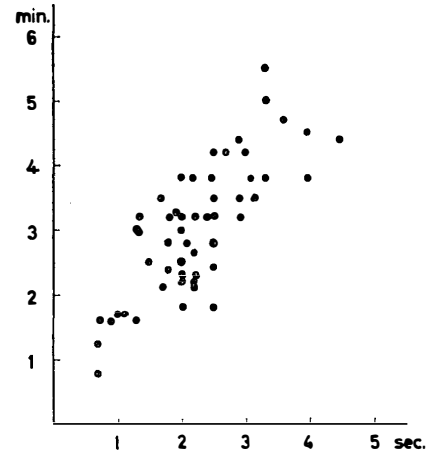


図 6 微細構造の再帰周期と中心周期
の関係

は通常, pearl type とか hydromagnetic whistler とかと呼ばれているものである。図 5 の上部に示したものは特に fan structure を示すもので, この fan 状構造は磁気圏における HM wave の伝播特性によって生ずるものと考えられている。昭和基地においてはこのようなきれいな fan structure を示すものは比較的観測されることが少なく, 多くは点状の periodic emission である。図 5 の下図はその典型的なものである。Fan structure type のものでも, よくみると fan を構成する rising element は連続的でなく, 点状につながっているものがほとんどのものである。また rising element の勾配が周波数によってあまり変わらず, 直線的なものも多い。

Periodic emission の中心周期と再帰周期とはほぼ比例関係にある(図 6)。昭和基地におけるこの関係は北半球の極光帯近くにある Alaska の College での観測結果 (CAMPBELL and STILTNER, 1965) とほぼ一致している。なお, この type の emission は地磁気活動が比較的静かな時 ($K_p \leq 1, 2$) 出現する。

3.1.2. Non-periodic type

昭和基地で観測された周波数 0.2Hz 以上の脈動のうち, 約半数は 3.1.1. で述べた periodic type であるが, その他にいろいろな f-t 特性をもつものが認められる。図 7 にはこれらのうち特徴的なものを例示した。一つは rising element は認められるが, 再帰性を示さないものがある。第一の特徴として, 3.1.1. の type のものにくらべて rising element が連続的である(図 6(a))。この連続的である特徴は後述する sweeper にも認められる。第二は f-t パターンが patch 状になっているものであり, 更にまた, 構造が連続的ではっきりしないもの

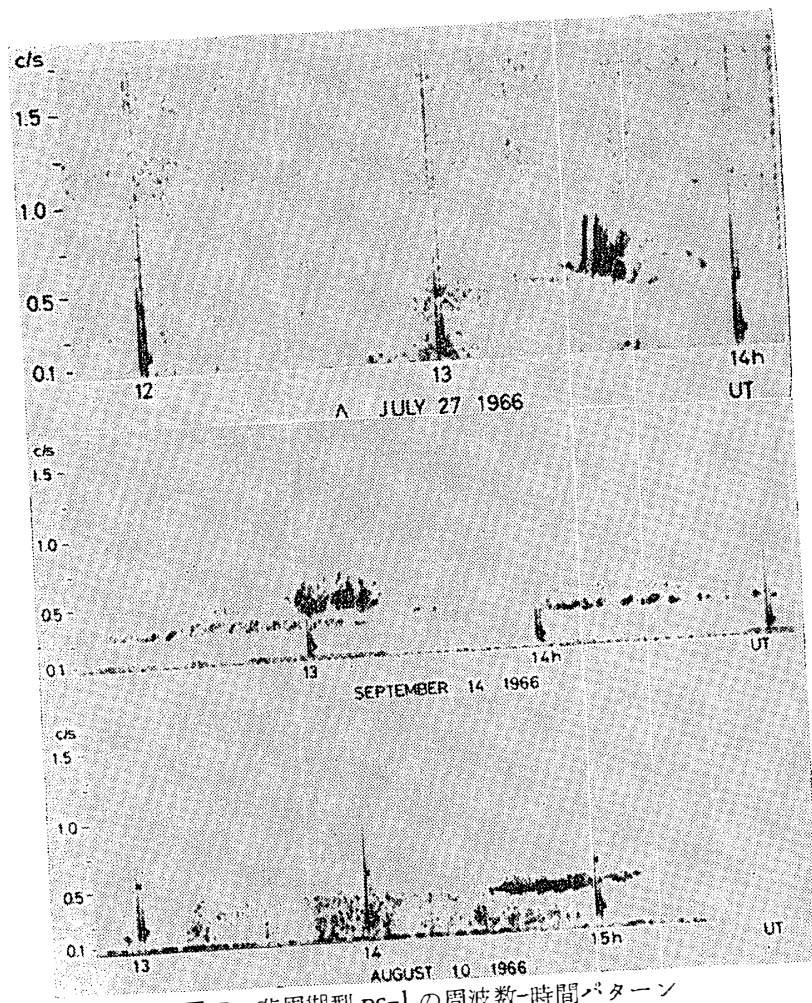


図7 非周期型 pc-1 の周波数-時間パターン

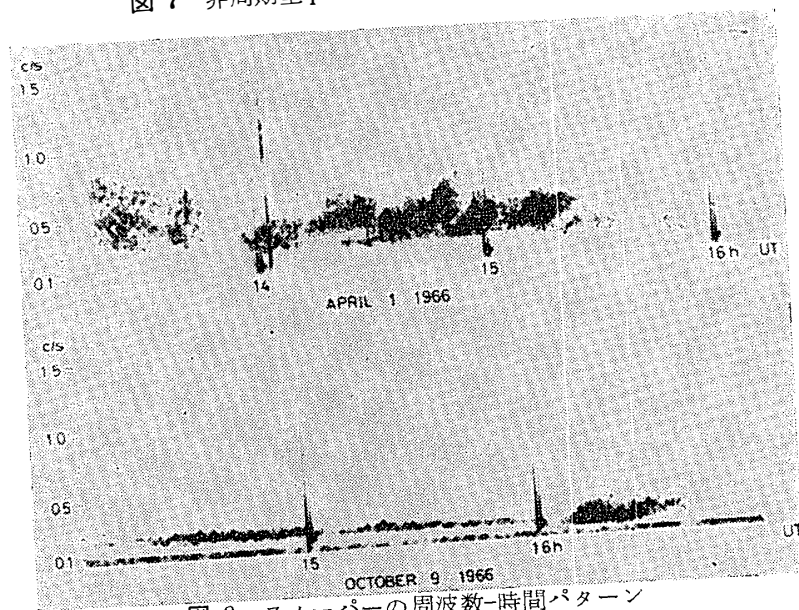


図8 スーパーの周波数-時間パターン

もある。これらの脈動は periodic type のものにくらべてやや地磁気活動が高い場合に観測されるようである。

3.1.3. Sweeper

夕刻 positive bay に伴って、30分から1時間位の間0.1Hzから0.5Hz位にかけて周波数が上昇する現象がある。これは HEACOCK (1967) がすでに“sweeper”という名を与えて報告しているものであるが、その f-t パターンはあまり規則的でない。この例は図8に示した。Sweeper は positive bay と共に顕著な cosmic noise absorption を伴うこともある。Sweeper が観測される場合のほとんどは $K_p \geq 30$ 以上の比較的地磁気活動の高いときであり、いろいろな点で前節で述べたものと異なっている。

3.1.4. SSC に伴う pc-1

磁気嵐の急始変化 ssc に伴っていろいろな脈動が観測されることはよく知られており、pc-2 以下の周期に対応する ssc 脈動は通常現われるものと同様な特性を示すことが報告さ

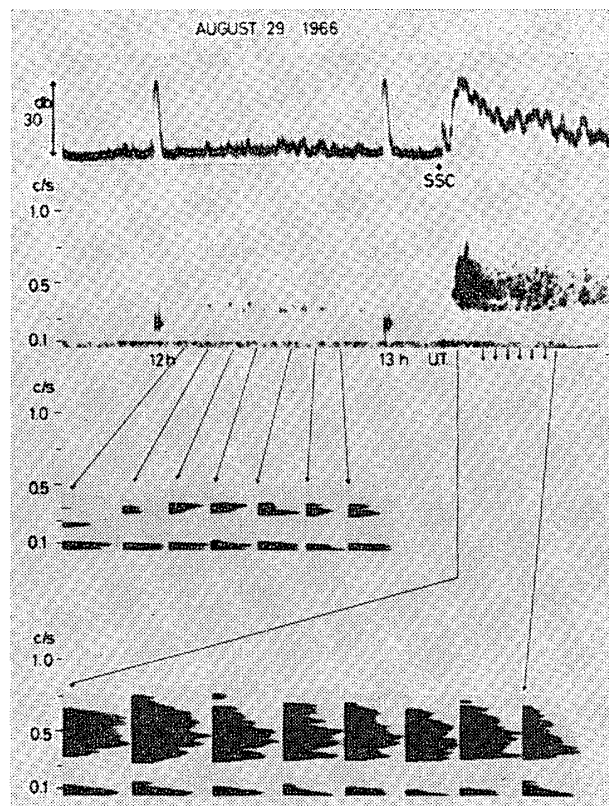


図 9 SSC ハイδροマグネティックエミッション，強度変化，周波数-時間パターンおよびスペクトル断面

れている (SAITO and MATSUSHITA, 1967). 周期 5 秒以上の ssc emission に関しては、これまで 2, 3 の報告 (TROITSKAYA *et al.*, 1962; HEACOCK and HESSLER, 1965) があるにすぎず、あまり詳しい特性は明らかでない。

1966 年は太陽活動が比較的穏やかで、ssc の数もあまり多くなかったが、ここで調べた 18 の ssc のうち 8 event について、昭和基地において pc-1 の範疇に属する emission が観測された。この ssc emission は二つの type に分類できる。一つは ssc の 2~3 min 後に始まり、30~40 分の継続時間をもつもので、図 9 に示すような f-t パターンを示すものである。もう一つの type は ssc 後継続時間数分程度の burst があらわれるものである (図 10)。

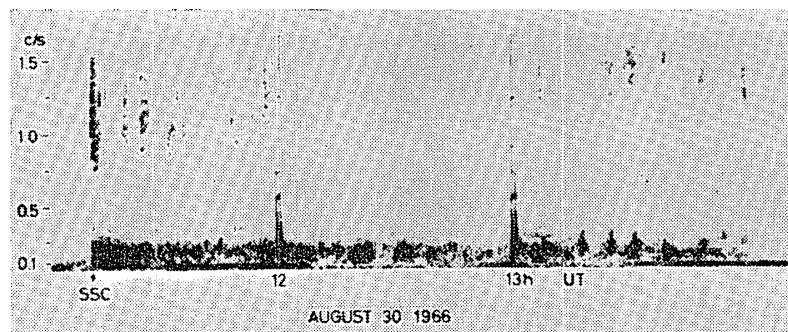


図 10 バースト型 ssc エミッション

前者の f-t パターンには rising element は認められるが、必ずしも再帰性を示さない。6 例中 1 例のみ再帰パターンが認められた。この type のものは ssc 前数時間以内に通常の pc-1 活動が観測されている。この ssc emission の帯域幅は 0.3~0.8 Hz あり、ssc 前のものにくらべて 5~8 倍の帯域幅をもっている。また中心周波数も前のものにくらべて上昇し、約 1.5 倍になる。後者に属するものは 8 例中 2 例認められたが、この 2 例とも ssc 前数時間以内には pc-1 は観測されなかった。この 2 例は他のものにくらべて中心周波数は高く、約 1.5 Hz であり、ssc 直後の f-t パターンは TEPLY and WENTWORTH (1962) によって中緯度地方で観測されたものと似ている。

3. 2. Pi および pc-2, 3

昭和基地における周期数秒以上の脈動に関しては、290, 27, 9 秒の脈動が卓越することがすでに報告されている (OGUTI, 1963) が、1966 年の観測資料を解析した結果を以下簡単に述べる。

今回の観測では 0.5 mm/εc の早送り記録をとったため、この記録を用いて周期 4 秒以下の脈動に関しては十分な精度でデジタルスペクトル解析を行なうことができる。図 11 にデ

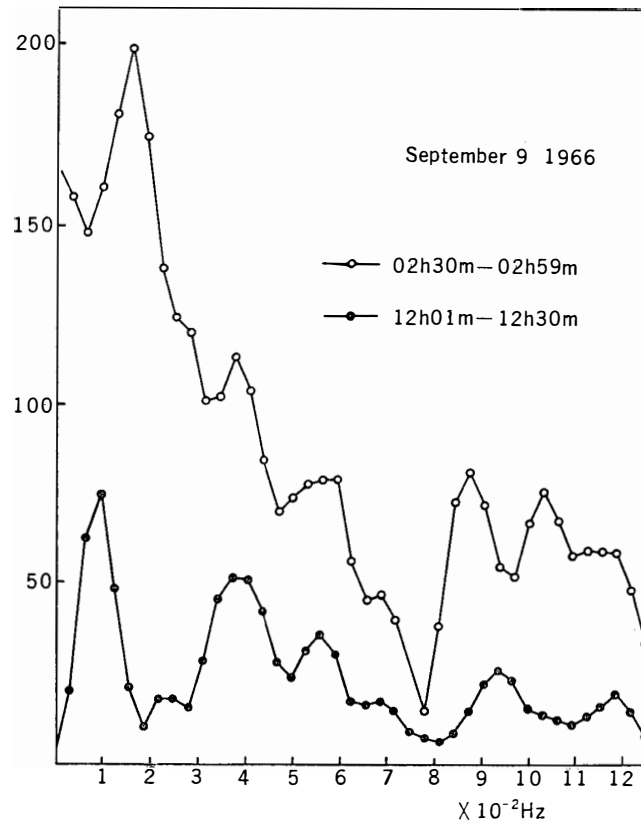


図 11 Pi と昼間の pc のパワースペクトル

デジタル解析によって得られた脈動のスペクトルを示す。この図には夜間の pi と昼間の pc の例が示してある。この 2 例の比較から直ちにわかることは、0.038, 0.056 Hz に共通のピークがあり、また 0.078 Hz 附近にミニマムがあることである。Pi のスペクトルで特徴的なことは、 10^{-2} Hz から 7.8×10^{-1} Hz の間では $f^{-(2\sim 3)}$ で脈動のエネルギーがおちており、この上に 0.038, 0.056 Hz 附近に昼間の pc と共通のピークがのっているように見えることである。また pi, pc とも 0.078 Hz 附近にスペクトルのミニマムがあり、それ以上 0.08~0.12 Hz には常に存在するスペクトルが見られる。これらの卓越周期は IGC (1959 年) の観測資料より統計的に求められたものと一致していることは興味深い。

4. お わ り に

以上再開された昭和基地における地磁気脈動観測の概要と観測資料の解析結果について簡単に述べたが、解析は現在も続行中であり、詳しい結果の検討については今後の報告にゆずりたい。なお、東京大学理学部において計画した 3 年計画としての VLF, ULF 帯観測は、7, 8 次を通じて現在のところ順調に行なわれており、9 次隊の観測によってほぼ所期の目的

は達成されると思われる。

地磁気脈動観測は、超高層物理関係の観測のうち、基礎的なものの一つであるので、今後は定常的に連続観測が行なえるよう保守の容易さ、安定性を考慮した新しい観測機器の製作を現在計画している。

References

- CORNWALL, J. M. (1965): Cyclotron instabilities and electromagnetic emission in the ultra low frequency ranges. *J. Geophys. Res.*, **70**, 61-69.
- HEACOCK, R. R. (1967): Evening micropulsation events with a rising midfrequency characteristics. *J. Geophys. Res.*, **72**, 399-408.
- HEACOCK, R. R. and V. P. HESSLER (1965): Pearl-type micropulsations associated with magnetic storm sudden commencements. *J. Geophys. Res.*, **70**, 1103-1111.
- JACOBS, J. A. and T. WATANABE (1964): Micropulsation whistlers. *J. Atmos. Terrest. Phys.*, **26**, 825-829.
- NAGATA, T., S. KOKUBUN and T. IJIMA (1963): Geomagnetically conjugate relationships of giant pulsations at Syowa Base, Antarctica and Reykjavik in Iceland. *J. Geophys. Res.*, **68**, 4621-4625.
- NAGATA, T., S. KOKUBUN and T. IJIMA (1966): Geomagnetically conjugate relationship of polar geomagnetic disturbances—particularly the distinct geomagnetic conjugacy between Syowa Station in Antarctica and Reykjavik in Iceland. *JARE Sci. Rep., Ser. A*, No. 3.
- OBAYASHI, T. (1965): Hydromagnetic whistlers. *J. Geophys. Res.*, **70**, 1069-1078.
- OGUTI, T. (1963): Inter-relations among the upper atmosphere disturbance phenomena in the auroral zone. *JARE Sci. Rep., Ser. A*, No. 1.
- SAITO, T. and S. MATSUSHITA (1967): Geomagnetic pulsation associated with sudden commencements and sudden impulses. *Planet. Space Sci.*, **15**, 573-587.
- TEPLEY, L. R. and R. C. WENTWORTH (1962): Hydromagnetic emissions, x-ray bursts, and electron bunches. Part I: Experimental results. *J. Geophys. Res.*, **67**, 3317-3333.
- TROITSKAYA, V. A., L. A. ALPEROVICH, M. V. MELNIKOVA and G. A. BULATOVA (1962): Fine structure of magnetic storms in respect of micropulsations ($T \geq 20$ seconds). *J. Phys. Soc. Japan.*, **17**, Suppl. A-II, 63-70.

(Received January 15, 1968)