

## ホイッスラ分散値の自動計測 II

太田 健次\*, 江口 博之\*

### The Automatic Measurement of the Dispersion of Whistlers II

Kenji Ota\* and Hiroyuki Eguchi\*

(Received September 17, 1977)

The group delay of whistlers is influenced by the number of electrons along the path of propagation, and therefore their dispersion is an important quantity to get the information about the electron density distribution in the ionosphere and magnetosphere. To evaluate the dispersion, the Sonagraph is used in general, but it is difficult to analyse whistler data continuously without delay. It is possible to obtain the dispersion with the PPL IC by observing the time difference ( $t_2 - t_1$ ) as a function of whistler frequencies ( $f_1, f_2$ ).

The results of measurement are satisfactory and the time needed to analyse whistlers is remarkably reduced.

#### 1 まえがき

ホイッスラは雷放電により放射された電磁波の一部が磁力線にそって磁気圏プラズマ中を伝搬し、対称半球へ到達する VLF 帯の電磁波であり、ホイッスラの周波数を  $f$ 、波源である空電から対称半球へ到達する伝搬時間を  $t$  とすると

$$t = Df^{-\frac{1}{2}} \quad \text{---(1)}$$

の関係がある。D を分散と呼び磁気圏における媒質のパラメータに関する定数で次式で与えられる<sup>1)</sup>。

$$D = \frac{1}{2c} \int_{path} \frac{f_p}{\sqrt{f_H}} ds \quad (\text{sec}^{\frac{1}{2}}) \quad \text{---(2)}$$

但し  $f_p$ ,  $f_H$  はそれぞれ電子プラズマ周波数、及び電子ジャイロ周波数で  $c$  は光速、 $path$  は磁力線にそった通路(ダクト)を示す。

この分散特性を調べることににより電離層、磁気圏における電子密度が測定でき、簡単に継続した観測が行なえるので磁気圏の地球物理学に関する情報を提供するものとして古くより用いられている<sup>2)</sup>。

しかし、通常ホイッスラのデータはルーチン観測によるもので毎時50分から52分の2分間に発生する空電現象

をテープレコーダに録音し、後に人間の耳でホイッスラを確認し、ソナグラフ装置によって放電記録紙に描かれた時間一周波数のカーブと、あらかじめ計算によって求めた(1)式のカーブ群を重ね合せて最もよく合うカーブの分散値を見つける fit on 形式が用いられておりホイッスラの解析はほとんど人手で行っている。また一回のホイッスラ解析に5分前後の時間を必要とするので連続観測でデータを収集することはできなかった。

我々は低緯度におけるホイッスラのデータを少しでも多く集めるために各種の自動観測装置を開発しているが、ホイッスラは周波数が時間的に変化する gliding tone で一種の周波数変調信号と見なせるので Phase Locked Loop IC (以下PLLと記す)の周波数—電圧変換特性を利用したホイッスラ検出、および分散値の自動計測を考案し、連続観測を行ってきたのでその結果を報告する。

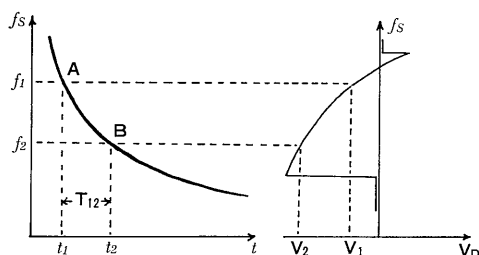
#### 2 測定原理

PLL ICの周波数—電圧変換特性は直線性が非常によく、入力信号電圧の強度変化に対してはロックレンジが変化するのみで同一の直線性を保っており、出力電圧で入力信号の周波数が正確に求められる。これを利用し

\*電子工学科 (Department of Electronic Engineering)

第1図のようにホイッスラが特定周波数  $f_1$ ,  $f_2$  を通過した時間をそれぞれ  $t_1$ ,  $t_2$  とすれば(1)式より分散値  $D$  は

$$D = \frac{t_2 - t_1}{\frac{1}{\sqrt{f_2}} - \frac{1}{\sqrt{f_1}}} = k(t_2 - t_1) = kT_{12} \quad \text{---(3)}$$



第1図 分散値測定原理

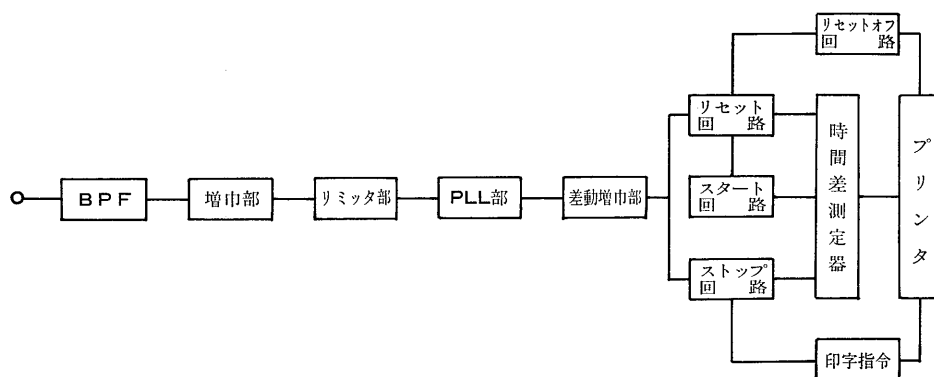
で与えられる。そこで  $T_{12}$  は PLL の周波数—電圧特性上での電圧  $V_1$  から  $V_2$  に達するまでの時間差を測定すれば分散値  $D$  が求まる<sup>3)</sup>。

### 3 回路構成

第2図に自動観測装置の構成を示す。

#### ① BPF部

8 KHz 以上および 1 KHz 以下はホイッスラの受信強度も弱く 10 KHz 以上にはオメガ局や依佐美の NDT 局などがありその電信が前置増巾部を飽和させるため、また 1 KHz 以下は 60 Hz の送電線による高調波雑音があるためにそれぞれ除去する。さらにホイッスラは通常 6 KHz ~ 4 KHz が比較的強く受信されるので S/N をかせぐため 6 KHz ~ 2 KHz の BPF を挿入してある。



第2図 自動観測装置の構成

#### ② リミッタ部

PLL IC の入力レベルは 100 mV (p-p) でリミッタがかかり最大入力 1000 mV まで一定のロックレンジを保つようになっているのでホイッスラ入力信号レベルをこの範囲に入れる。このため前段にアンプを入れダイオードリミッタで 200 mV (p-p) の方形波を作りホイッスラの最低検出レベルを高めている。

#### ③ PLL部<sup>4)</sup>

PLL の free running frequency はホイッスラ受信強度が最も強い 5 KHz を中心にしているが BPF を通過したホイッスラをより確実に検出するためにはできるだけ多くのチャンネルを持つ必要があり、多チャンネル化の第一歩として 5 KHz と 4 KHz の 2 チャンネルで測定を行っている。PLL IC は Signetics 社の NE 565 を使用しているが lock range は free running frequency の最大  $\pm 60\%$  と広く第1図の  $f_1$ ,  $f_2$  の間隔を十分とれるように設計してある。

#### ④ 差動増巾部

PLL の出力電圧は demodulated output と reference output の差を取り出すため差動増巾器を用い、出力電圧の振幅を電源電圧まで振らせるため 10 倍 ~ 20 倍の利得を持たせてある。この利得は使用する PLL の特性および次記のコンパレータ回路の設定電圧によって自由に変えられる。

#### ⑤ リセット回路, スタート回路

第1図の A 点すなわち PLL の出力電圧では  $V_1$  でコンパレータ回路を用いてリセットパルス信号を作る。またこのパルスを利用しスタート回路を動作させる。リセットを行なった後にスタートさせるため遅延回路が内蔵されているが、この遅延時間は ns オーダであり分散値の計測上は無視できる。このコンパレータ回路の基準電圧はツェナーダイオードとポテンシオメータを用いて、0V ~ 6V の任意電圧に設定できる。

#### ⑥ ストップ回路

第1図の B 点すなわち PLL 出力電圧  $V_2$  でコンパレータ回路を用いてストップパルス信号を作り、遅延回路を

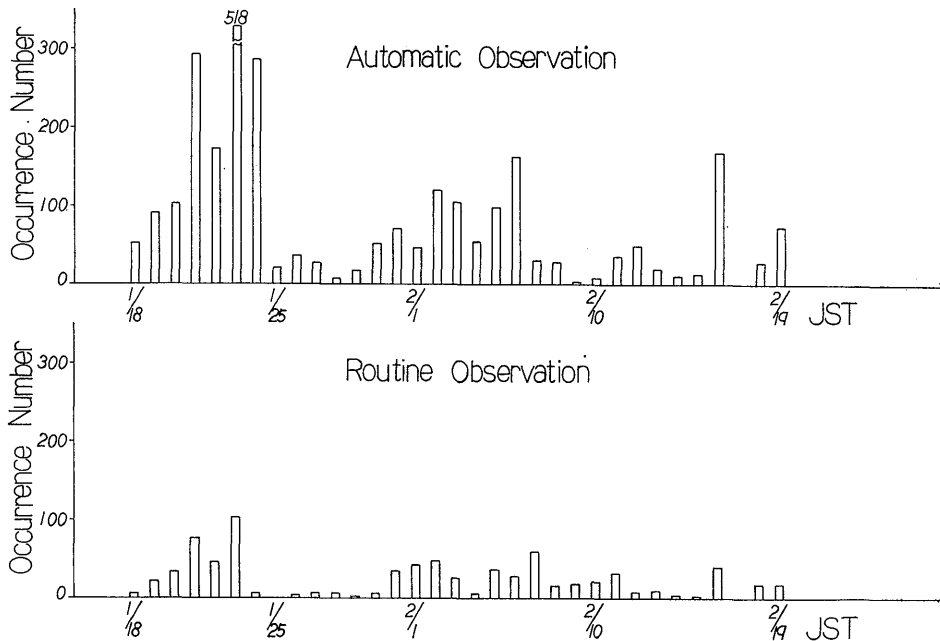
通してプリンターの印字指令パルス信号にも利用する。この場合、印字中に次のホイッスラが到来しリセットパルスを発生するのを防ぐため印字中(約300ms)はリセット回路が動作しないようにリセットオフ回路を内蔵している。したがって連続してホイッスラが到来しその間隔が 300ms 以内なら第一回目の分散値を印字する。またコンパレータ回路の基準電圧は 0V~15V の任意電圧に設定できる。

#### 4 測定結果

1977年1月18日から2月19日まで、1日当りのホイッ

スラ発生頻度を第3図に示す。

自動観測はルーチン観測に比べ約5倍のホイッスラを検出しており、よく対比しているが、細かな違いも見られる。これは自動観測が24時間連続観測をしているのに対して、ルーチン観測は1時間にわずか2分間であり、ホイッスラが短時間に発生した場合は、自動観測の方が検出個数が多くなる。一方ホイッスラの受信強度が弱くなったり diffuse type のホイッスラが到来した場合は、自動観測が S/N の関係上不利になり、人手によるルーチン観測の方が検出個数が多くなる。さらに細かに



第3図 一日当りのホイッスラ発生頻度

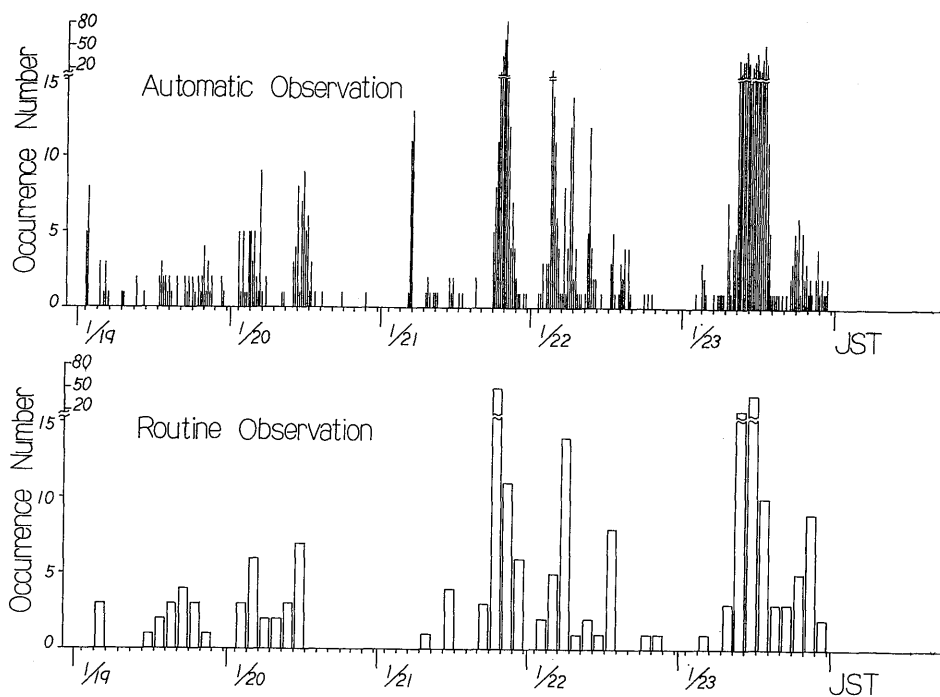
調べるため1月19日より1月23日までを12時より00時まで(00時から12時まではホイッスラの発生が少なかったため省略した)の12時間を10分単位で集計した発生頻度を第4図に示す。

この場合は自動観測とルーチン観測の相関が非常によくとれており自動観測による10分間の発生個数がルーチン観測の2分に相当している。これより自動観測装置によるホイッスラ検出率は2割以上を確保できることを示している。また1月21日14時のホイッスラは発生持続時間が短かいのでルーチン観測には全く現われていないし、1月22日12時からはルーチン観測に比べて細かな発生頻度のピークが多数あることを示している。一方1月21日および1月23日のホイッスラ発生頻度は、自動観測もルーチン観測と同様な結果になっているが、ルーチン

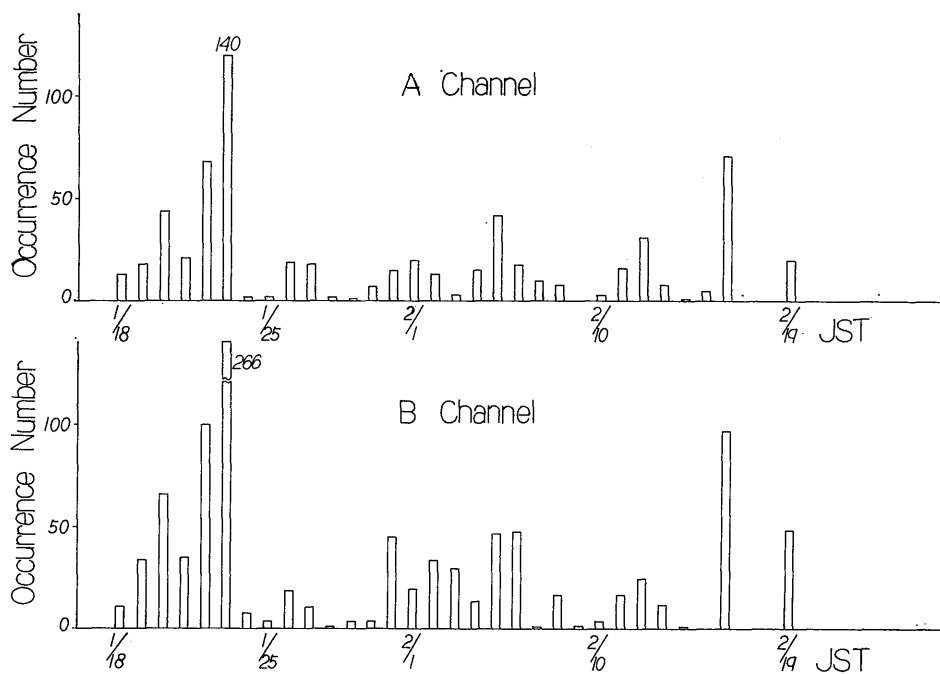
観測では読みとれないホイッスラ発生頻度の立ち上り、ピーク、立ち下りが自動観測では容易に解明できる。

PLLの free running frequency が異なる場合のホイッスラ検出数について第5図に示す。

Ach は free running frequency が 4KHz, Bch が 5KHz である。観測データは 12時~00 時の12時間について集計してある。Ach, Bch とも同様な発生頻度を示しているが、Ach が Bch に比較し検出個数が少ないのはホイッスラが高い周波数より低い周波数へと移動しており、Bch が検出し、その後 Ach が検出するのでプリンタ動作はたとえ Ach が検出していても Bch で印字するためである。しかし Ach で検出したホイッスラは Bch では検出されなかったことを示している。このことはホイッスラ検出の PLL は 1ch でも良好なデータが



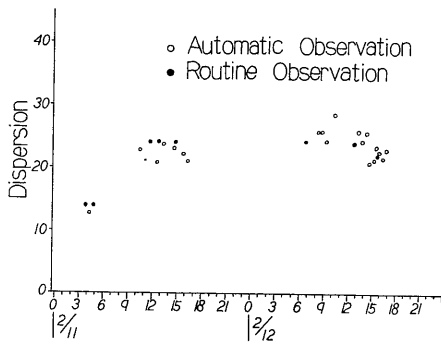
第4図 10分当りのホイッスラ発生頻度



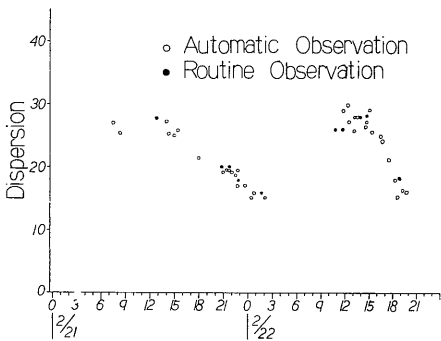
第5図 2ch によるホイッスラ検出数の比較

得られるが多チャンネル化によってより多くのホイッスラが検出できることを示している。

ルーチン観測と自動観測によるホイッスラ分散値の比較について第6図と第7図に示す。



第6図 ホイッスラ分散値の比較

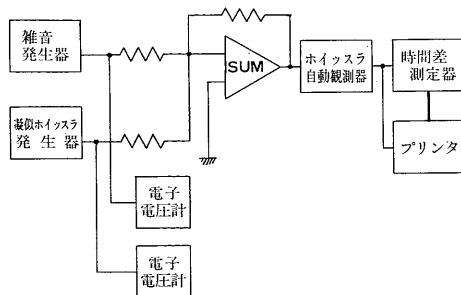


第7図 ホイッスラ分散値の時間変化

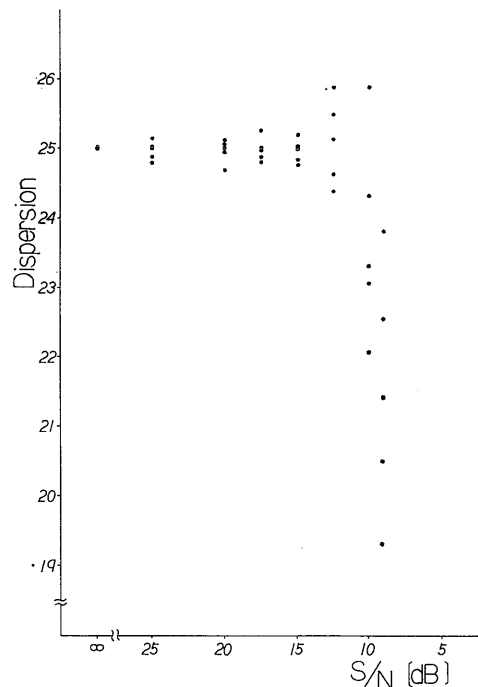
自動観測で検出されたホイッスラの中で特に  $S/N$  が良好なものの分散値を白丸で示し、ルーチン観測によるものを黒丸で示している。分散値の測定は自動観測において最も困難な点であるが、十分ルーチン観測の代用をなすものと考えられる。特に第7図は時間変化に対する分散値の変動をよく追跡しており、ルーチン観測では得難いデータである。

## 5 検討

PLLを用いたホイッスラ自動観測装置が雑音に対し、分散値においてどのような測定誤差をおよぼすかを調べる。第8図にその測定回路を示す。


 第8図  $S/N$ による分散値の測定回路

この測定回路にあるノイズ発生器は雑音帯域 20KHz の白色雑音を発生しているが、自動観測装置に 6KHz～2KHz の BPF が挿入されているので、電子電圧計にも同様のフィルタを入れて、雑音強度を測定し、擬似ホイッスラ発生器は 7KHz より 1KHz まで5回掃引させ、分散値を測定する。なお分散値は山岡観測所で最も多く観測される25で代表する。自動観測装置の最低飽和入力電圧は、-40dbm でありこれを中心にして  $S/N$  を決定した。その結果雑音強度が変化して  $S/N$  を変えた場合も、信号強度が変化して  $S/N$  を変えた場合も  $S/N$  が 12.5dbm 以下においては、測定分散値の誤差が  $\pm 1$  を超えてしまう。特に 10dbm 以下においては、マイナス誤差が極端に大きくなり、測定値を採用できない。これはストップ回路のコンパレータ電圧の近くまでしか PLL 出力電圧がなく、もはや第1図において A点～B点までが PLL 出力電圧の一部と言えなくなるためである。B点近くまでしか振れない場合は、ノイズによる振動があるため、マイナスの誤差が出るものと思われる。しかし  $S/N$  が 15dbm 以上ではその誤差は  $\pm 0.5$  以内であり、fit on 形式よりも正確なデータが得られる。このことから分散値測定はストップコンパレータ電圧を超え、十分マイナス方向へ掃引したホイッスラ ( $S/N$  が 15dbm 以上のホイッスラ) の場合のみ採用すべきである。第9図に測定結果を示す。


 第9図  $S/N$ による分散値の測定誤差

## 6 むすび

PLL を用いたホイッスラ自動観測装置はルーチン観測の約5倍以上のデータ収集能力があり, 信頼性も十分あるものと思われるが, すべてをルーチン観測に取って代わることができない理由もある。

① 自動観測では Hybrid type whistler, Echo train type whistler, Multi type whistler など, 興味あるホイッスラを識別できない。

② ホイッスラ以外の VLF 帯の諸現象を観測できない。

③ 誤動作, 誤測定を自動的に識別できない。

④ 人手によるルーチン観測データには絶対的な信頼性がある。

などであるが一方ルーチン観測では, 不可能な分単位によるホイッスラデータの収集があり, 今後人工衛星によるオーストラリア方面における雲の移動も入手可能になった場合, 連続観測は欠せないものとなってくる<sup>5)</sup>。

今後この自動観測装置の改良は PLL の多チャンネル

化と,  $S/N$  による分散測定値の精度向上に主目を置いて研究を進めたいと思っている。

## 7 謝辞

この研究は本学における特別研究費の御援助によるもので, 大学当局と金原 淳教授の御尽力に厚く感謝します。またルーチン観測のデータを提供し, 検討いただいた栗本計起講師, 武知英明技術員に感謝します。

なお本装置の試作にあたり51年度卒研究生奥田君, 小栗君, 原君, 岡本君, 丹羽君, 伊藤君の協力で謝意を表します。

## 文 献

- 1) Storey: An investigation of whistling atmospherics. Phil. Trans. Roy. Soc. (1953)
- 2) Helliwell: Whistlers and Related Ionospheric Phenomena. Stanford Press (1965)
- 3) 太田, 江口: 中部工大紀要第12巻・A(1976)
- 4) Signetics Linear PLL Applications Book (1972)
- 5) Yoshino: Low-Latitude Whistlers and Cloud Distributions in the Conjugate Area. J.G.R. (1976)