

## 菅平宇宙電波観測所に於けるホイッスラー空電観測(3)\*

— 1年間の観測データから見た諸特性 —

深町靖夫\*\*・柴田 喬\*\*・奥沢隆志\*\*・芳野越夫\*\*・上滝 実\*\*

Observation of Whistling Atmospherics at Sugadaira  
Space Radio Wave Observatory (3)

—Some Characteristics Deduced from the Whole-Year Data—

Yasuo FUKAMACHI, Takashi SHIBATA, Takashi OKUZAWA,  
Takeo YOSHINO and Minoru KOHTAKI

## Synopsis

*From the whole-year (1970) data of whistlers at Sugadaira station, diurnal, seasonal and storm-time variations of the dispersion as well as of the occurrence rate are disclosed. A basic form of the diurnal occurrence curves appears to be one which has a deep minimum at local noon and relatively high dawn and dusk-time activities showing maximum at about 5 and 17 hours local time. Depending on local season, one or more of these peaks may be shifted, absent or enhanced. Good correlation is found between the diurnal as well as seasonal variations of the dispersion and those of  $f_oF_2$  at Kokubunji, indicating thereby that the dispersion originating from the ionosphere is very significant. During severe magnetic storms, the dispersions are found to be poorly correlated with the  $f_oF_2$ 's, and to be statistically in increasing phase. With following the "fit method", distances between the generating sources and Sugadaira are estimated for some examples of the whistler which is preceded by the tweek impulse, and it results in reasonable values with leaving a few exception, which might give a positive proof that the whistler signals can propagate partly underneath the ionosphere.*

## 1. 緒 言

雷放電によってふく射された電磁波エネルギーが電離層を突きぬけ、地球の磁力線に沿って数千から数万 km の高度を伝ばんしてくるホイッスラー空電は、その伝ばん路にある地球磁気圏の情報を提供してくれる。ホイッスラー空電の観測によって地球周辺の電子密度分布が推定出来ること、ダクト伝ばんの事実、さ

らに画期的なこととしてプラズマボーズの発見は、ホイッスラーの観測研究の大きな成果であった。

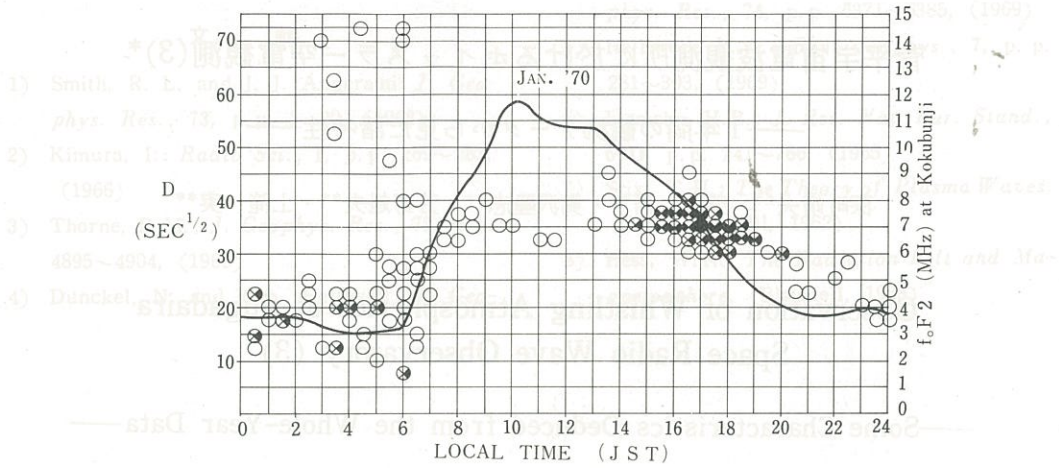
今日、ホイッスラーの物理的な解釈はほとんど完全に与えられたといえども、なお、伝ばん機構と電離圏と磁気圏の変動との関連などについて未知な点が残っている。

ホイッスラーの分散  $D$  は、伝ばん路沿いの電子密度と磁場の強さによって決まる定数で、ホイッスラーの

\*昭和46年5月10日受理

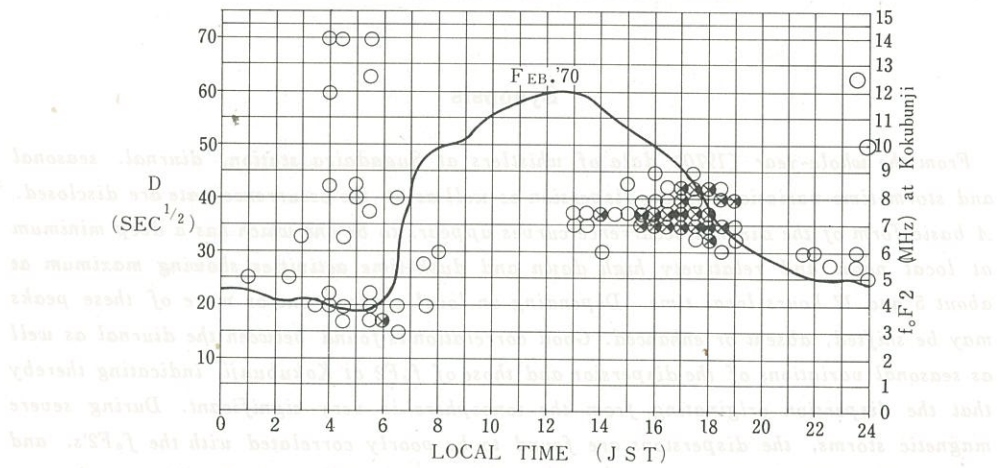
\*\*応用電子工学科

WHISTLER DISPERSION



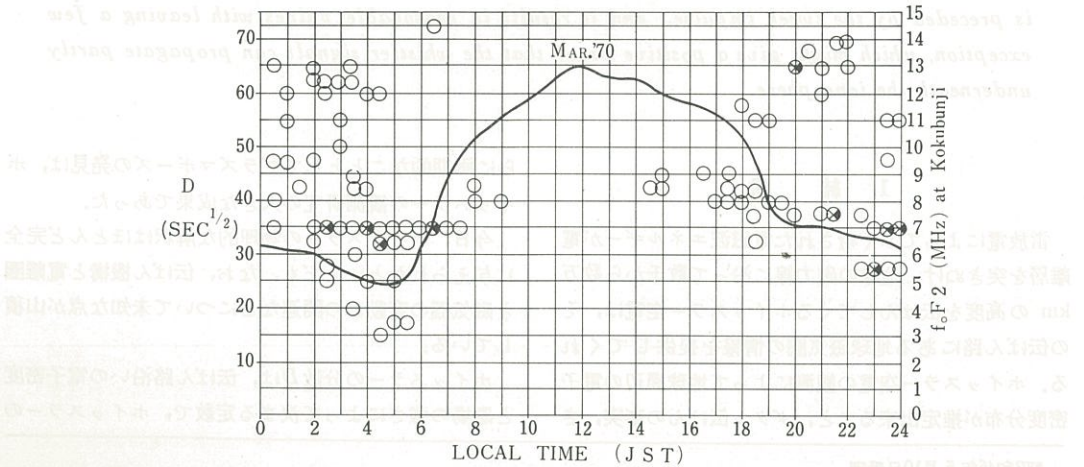
第 1.1 図

WHISTLER DISPERSION



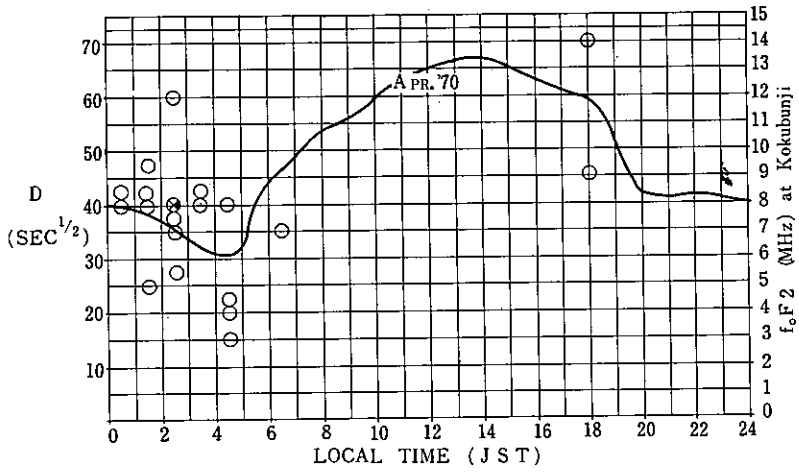
第 1.2 図

WHISTLER DISPERSION



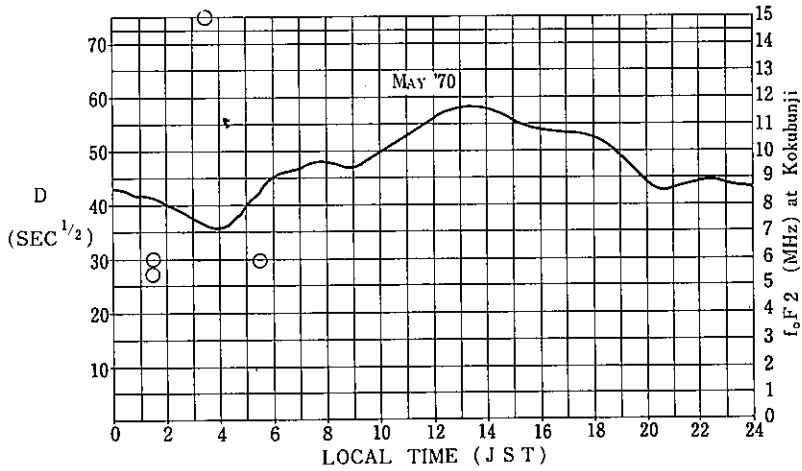
第 1.3 図

WHISTLER DISPERSION



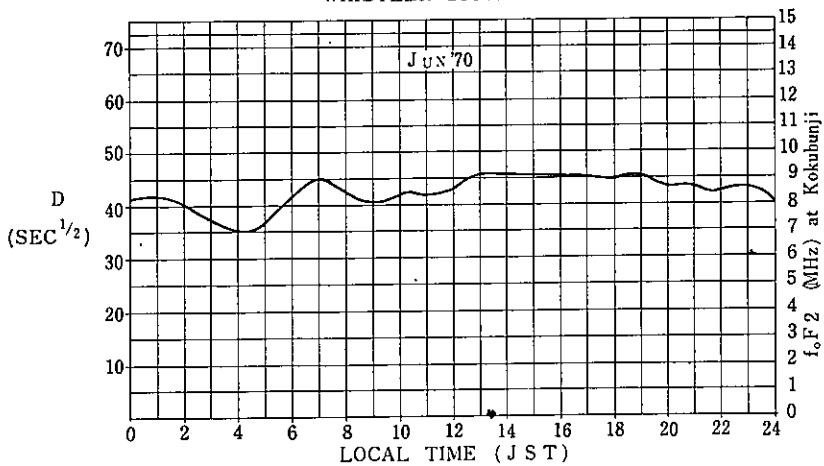
第 1.4 図

WHISTLER DISPERSION



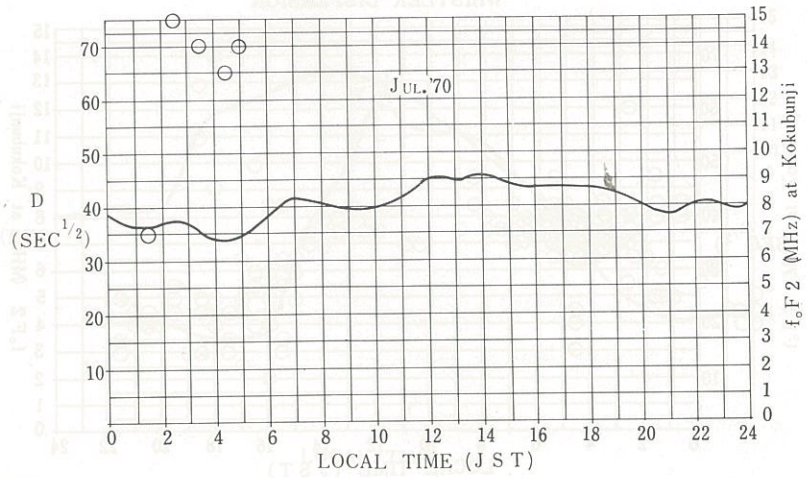
第 1.5 図

WHISTLER DISPERSION



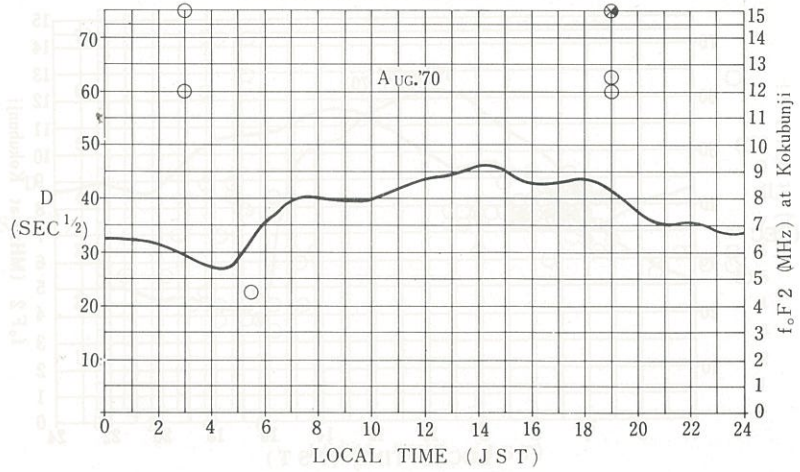
第 1.6 図

WHISTLER DISPERSION



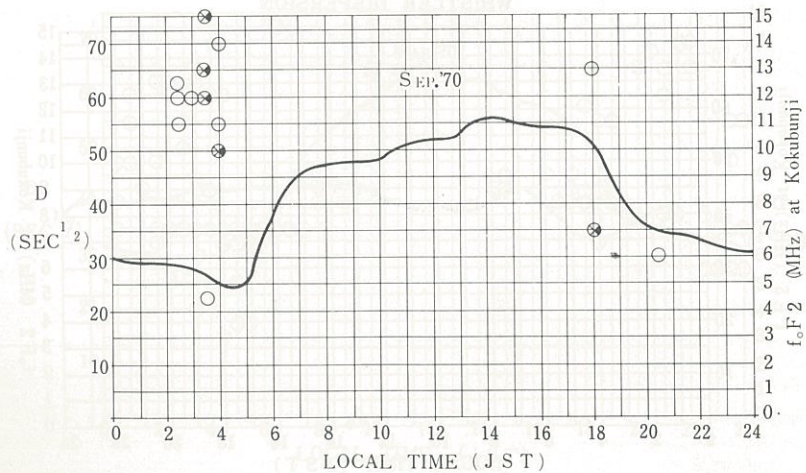
第 1.7 図

WHISTLER DISPERSION

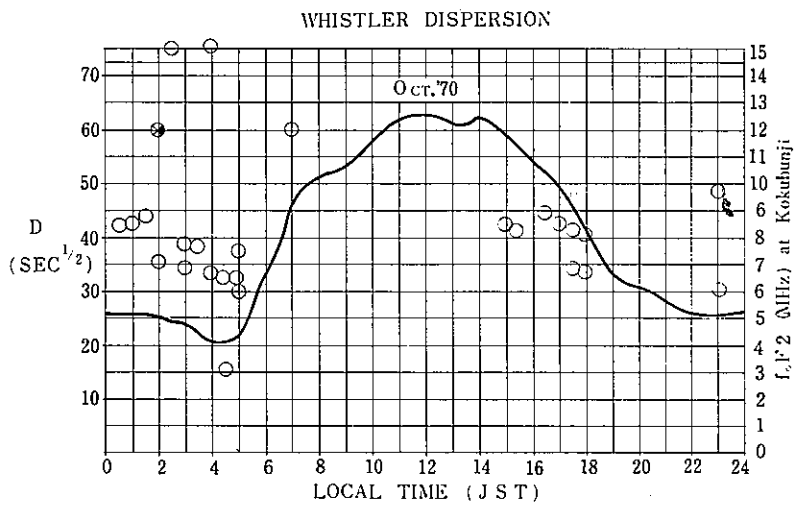


第 1.8 図

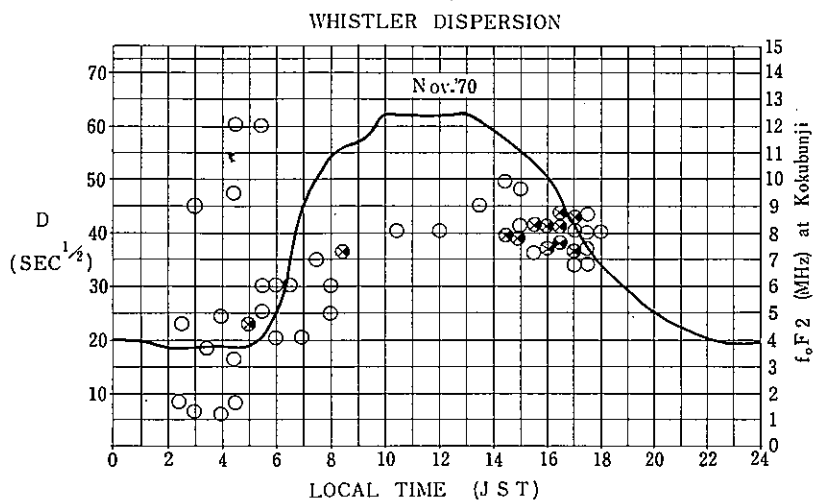
WHISTLER DISPERSION



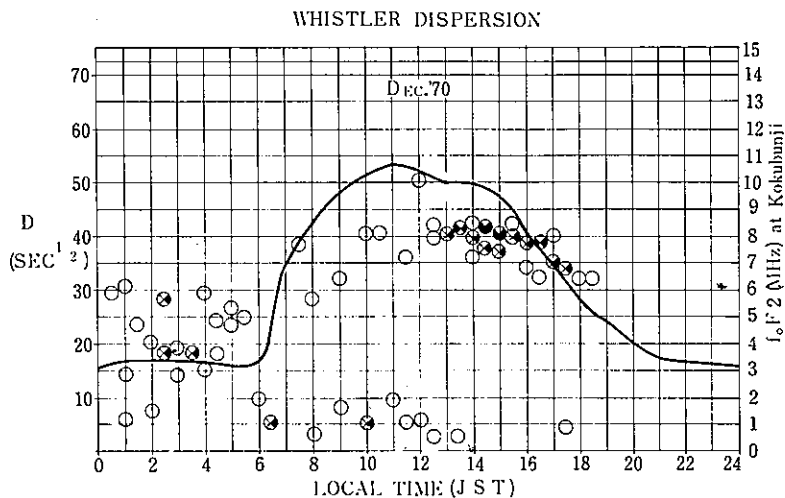
第 1.9 図



第 1・10 図



第 1・11 図



第 1・12 図



発生頻度とともにホイッスラーの基本的な物理を知るうえで重要な量である。菅平宇宙電波観測所（磁気緯度  $26.0^\circ\text{N}$ ）に於けるホイッスラー空電観測は、1970年1月よりルーチン観測を開始した。ここに、1970年1月より1970年12月に至るホイッスラーの発生状況と分散に関する日変化、季節変化並びに磁気擾乱時の特性など、1年間の基礎的なデータをまとめたので報告する。

## 2. 観測結果

1970年1月～3月の結果については既に報告されている<sup>1)</sup>ので、それ以後の結果に重点を置き述べる。観測時間は、国際的慣習に従い、毎定時20分と50分より1分20秒間とし、その間に受信されたホイッスラーの数を0、1～2個、3～5個、6～8個、9個以上の五段階に分け、それぞれ index を0、1、2、3、4と指定する。発生頻度はこの index を各観測時間毎に加えて得られたものである。

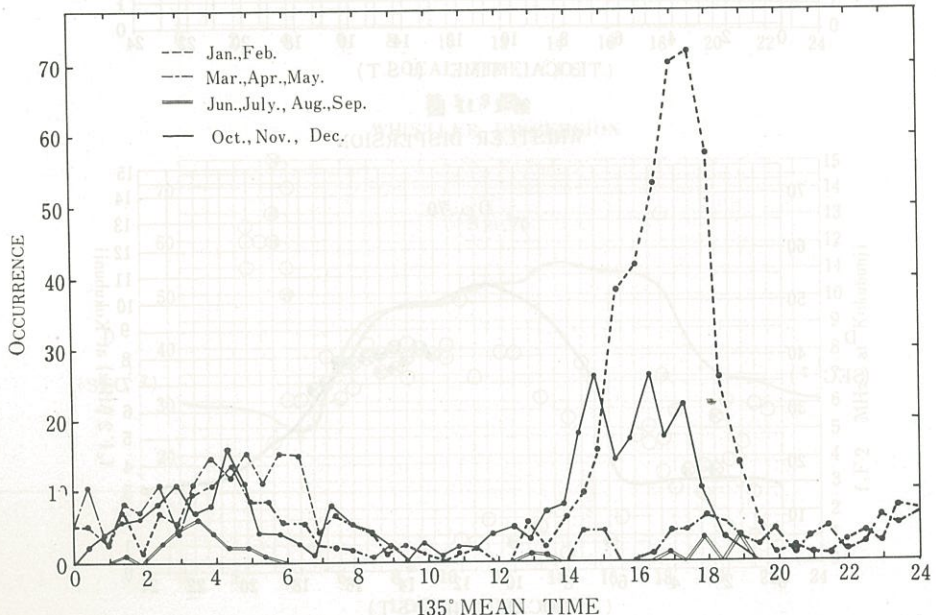
### 2.1 月変化

**発生頻度** 第1・1図から第1・12図は、1970年1月より12月に至る発生状況と分散値の分布及び国分寺での  $f_oF_2$  の月平均値を、地方時（30分毎）をパラメータとして表わしている。尚、以後地方時は JST ( $135^\circ\text{LMT}$ ) を意味するものとする。図中の記号は各観測時間帯に対して受信されたホイッスラーの数を集計して得られる発生頻度を示している（●：9個以

上、●：6～8個、⊙：4～5個、⊗：2～3個、○：1個）。

発生頻度の日変化は、大きく分けると日出前と日没後に2つのピークを有し、発生が集中している。1月、2月は朝方に比しておよそ4～5倍ぐらい夕方時間帯に多いが、3月から5月、および9月、10月にかけては逆に夕方のピークが低くなり、朝方に発生頻度が高くなる傾向を示す。11月、12月になると再び夕方に卓越するようになる。年間の発生数では1月、2月が圧倒的に多く、夏の期間である6月から8月にかけては受信されにくく、特に6月は皆無であった。

**分散** ホイッスラーが観測されにくい5月～8月を除いて、各月ともかなり明瞭な分散の日変化が存在することが分る。朝方の分散の平均は1月、2月が  $20(\text{sec}^{1/2})$  であるが、3月が  $35(\text{sec}^{1/2})$ 、4月が  $40(\text{sec}^{1/2})$  と増加し、10月になって  $37.5(\text{sec}^{1/2})$ 、10月が  $23(\text{sec}^{1/2})$ 、12月が  $20(\text{sec}^{1/2})$  のように減少する傾向がある。夕方にも、減少し増加してゆく変化が見られるが、後述するように季節的に比較してみるとかなり明瞭になる。また、明け方近くには  $D=50(\text{sec}^{1/2})$  以上の swish type のホイッスラーがしばしば観測されるが、これらは源が北半球に存在するロング・ホイッスラーである。7月から8月にかけて受信されるホイッスラーは、その80%がロングホイッスラーであった。第1・1図より第1・12図は各月の発生頻度、分散と同時に国分寺に於ける  $f_oF_2$  の月平均値を示す。この図によると、 $f_oF_2$  の日変化は分散の規



第2図 発生頻度の季節変化

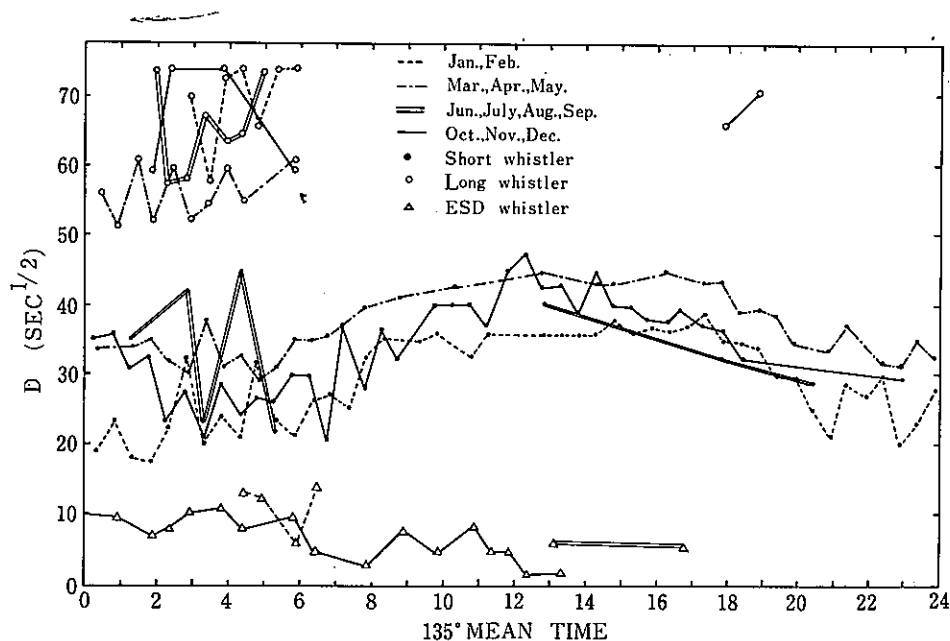
則的日変化に対して類似の傾向が明らかとなる。1月～4月の分散と $f_oF2$ を比較してみると1月から2月、3月、4月へと $f_oF2$ の増加にしたがって夜間・昼間とも分散が増している。夏期の $f_oF2$ と分散との関連は、ホイッスラーの発生頻度が少ないので明確でないが、11月から12月にかけて同様の傾向を示している。

## 2.2 季節変化

**発生頻度** 第2図は、季節による発生頻度を地方時をパラメーターとして表わしている。発生頻度は一年を通じて冬が最も多く、春から夏へと減少し、秋になると再び増加する傾向を示している。また、発生は年間を通して明け方3時～6時の間と日没前後の15～18

時の間にピークが有り、冬季では夕方のピークが大きい。春になると明け方に発生の集中が移行してきて、夏はほとんど明け方に限られる。このような季節変化が起る原因は、磁気対称点であるオーストラリア附近における雷活動度が北半球の冬季に高く、夏季に低くなること、日本に於いては逆に夏季に活発となり、雑音レベルが冬に低く、夏に高くなること、および菅平は低緯度であるので電離層の吸収・減衰の効果を受け易いことなどが上げられる<sup>2)</sup>。

**分散** 第3図には季節によるホイッスラーの分散の変化を地方時をパラメーターとして示した。図中、○印はロングホイッスラー、●印はショートホイッスラ

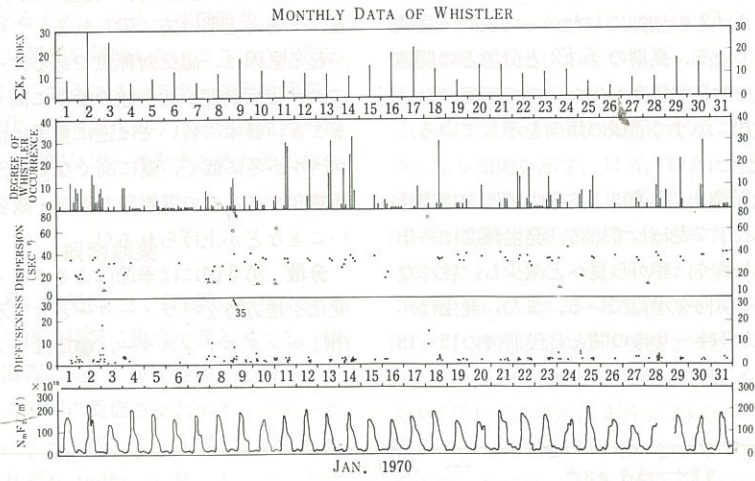


第3図 分散の季節変化

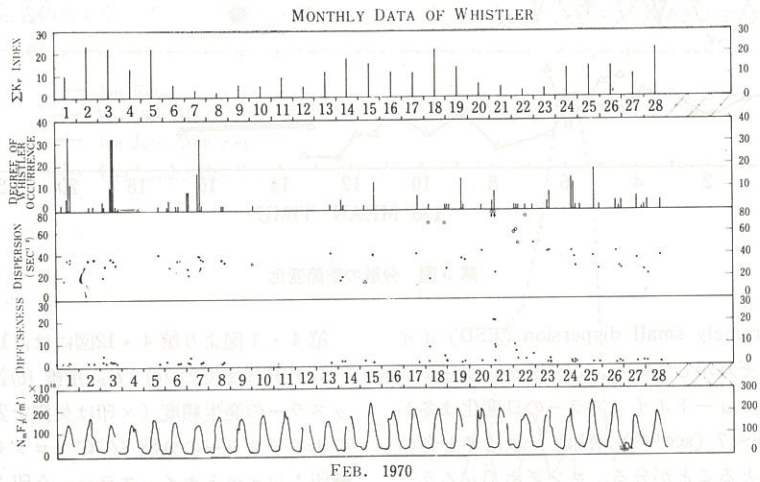
ー、△印は extremely small dispersion (ESD) ホイッスラーをそれぞれ示している。この図から明らかに分かることは、ショートホイッスラーの日変化は冬から春にかけて5～7 ( $\text{sec}^{1/2}$ ) 増加し、秋は冬と春のほぼ中間の値をとることが分る。ロングホイッスラーの分散は冬の方が大きく、春になると減少する。また、非常に分散の小さいホイッスラー (ESD;  $D = 10$  ( $\text{sec}^{1/2}$ ) 以下と仮に定義する) は冬と春に多く、特に秋は明け方から13時の間に分布している。

## 3. 磁気嵐時の特性

第4・1図より第4・12図には、1970年1月1日より12月31日までの (a)  $\Sigma K_p$  指標 (b) 菅平に於けるホイッスラーの発生頻度 (×印は欠測を表わす) (c) 同地でのホイッスラーの分散 (○印: ロングホイッスラー, ●印: ショートホイッスラー, △印: ESDホイッスラー, †印:  $D = 80$  ( $\text{sec}^{1/2}$ ) 以上のホイッスラー) (d) ソナグラフ上での広がりを示す diffuseness (5 KHz) における広がり単位は mm. (○印: ロングホイッスラー, ●印: ショートホイッスラー, †印: 30mmを越えるホイッスラー) (e) 国分寺における  $F2$  層の最大電子密度  $N_m F2$ , について同一時刻上 (LMT) に表記

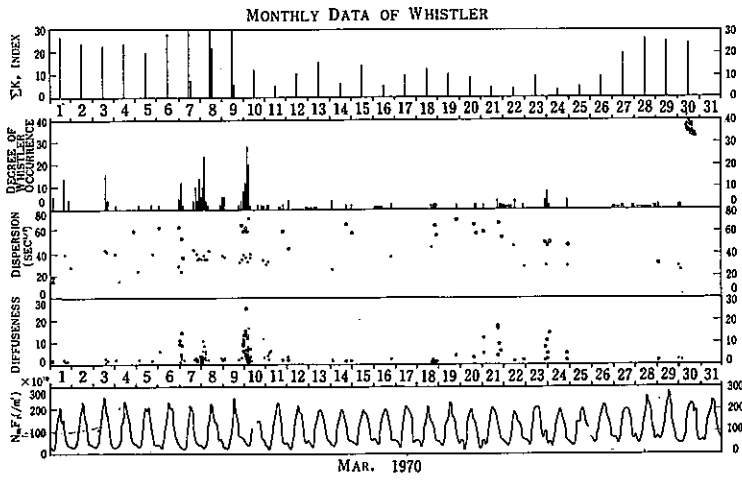


第 4・1 図

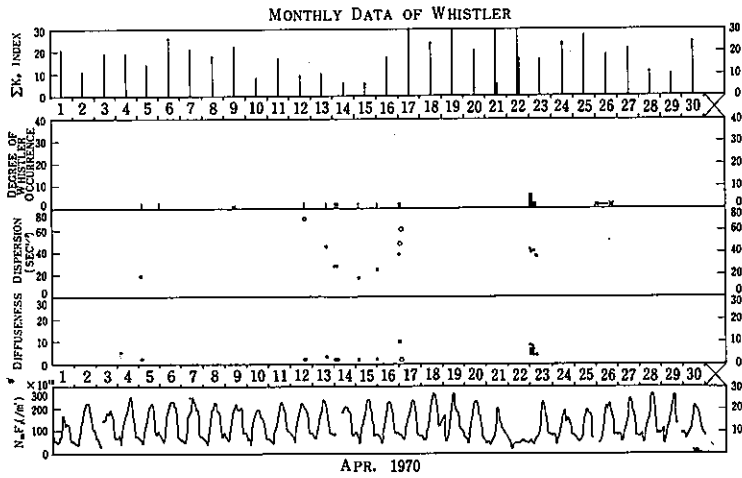


第 4・2 図

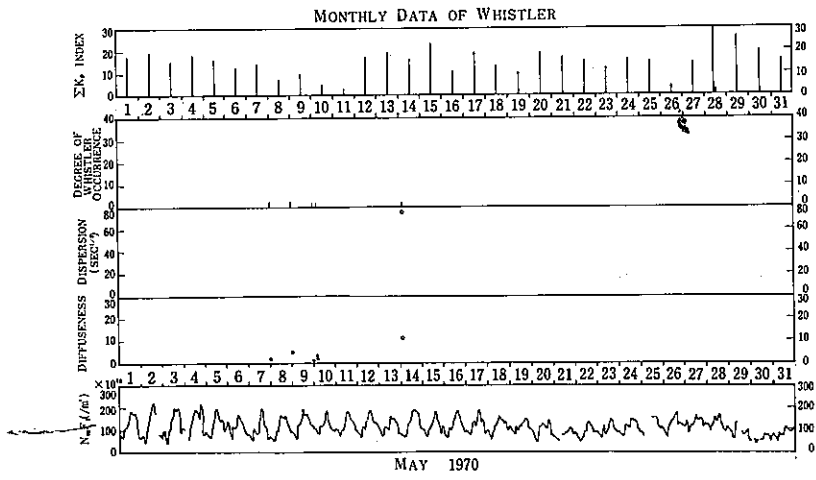




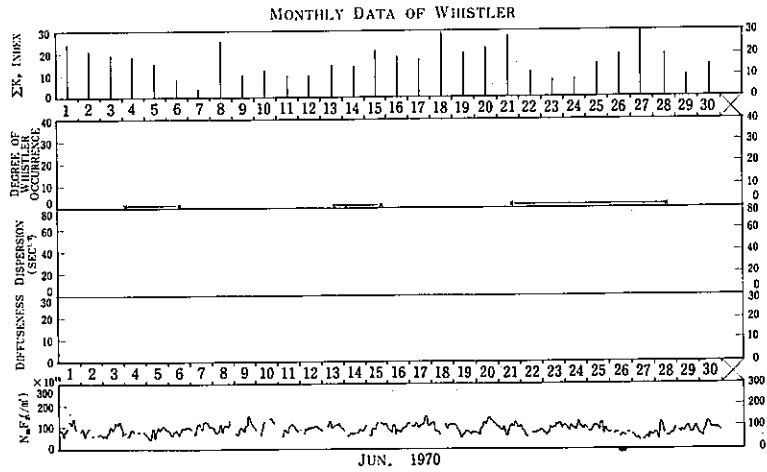
第 4・3 図



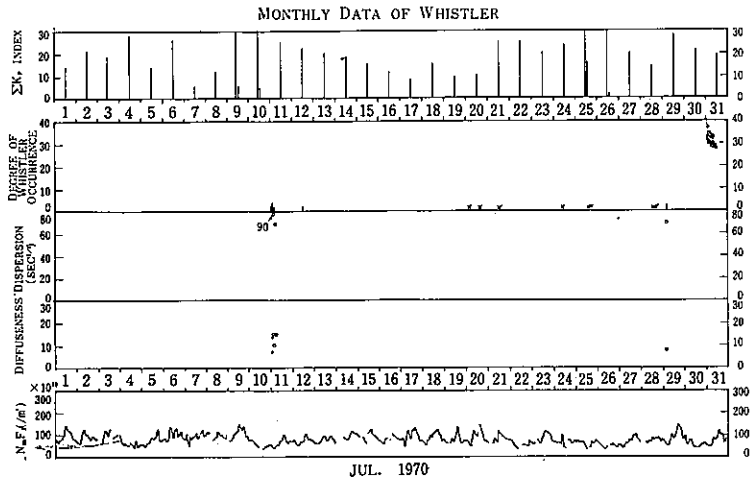
第 4・4 図



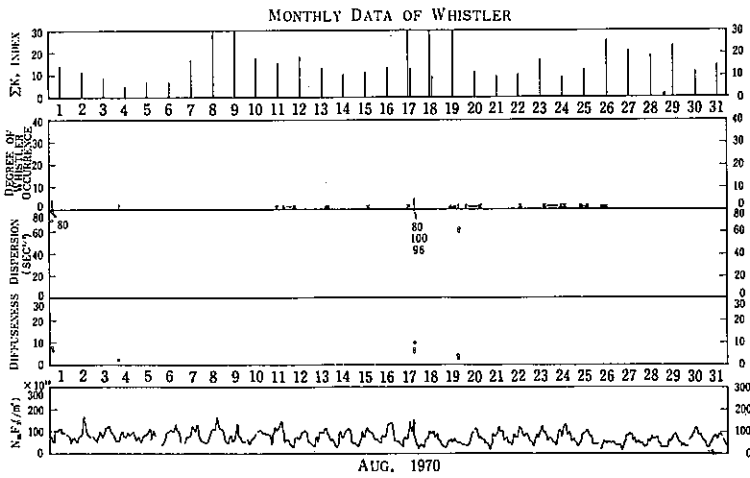
第 4・5 図



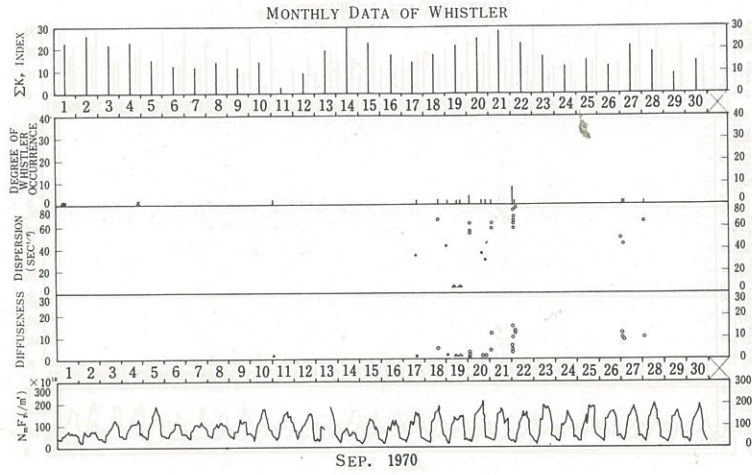
第 4・6 図



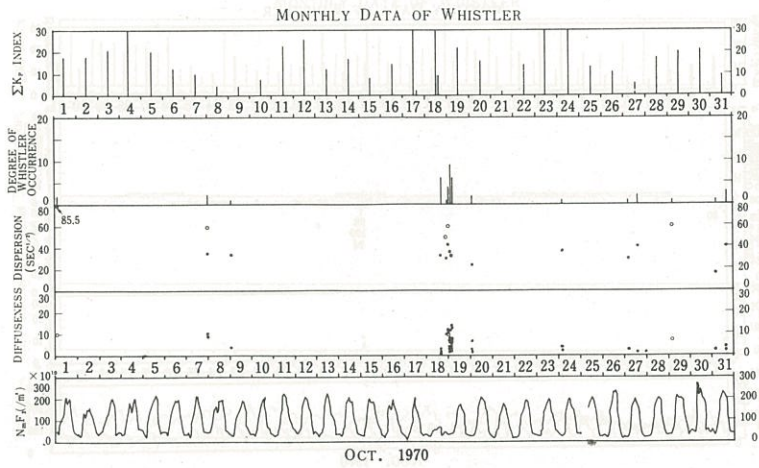
第 4・7 図



第 4・8 図

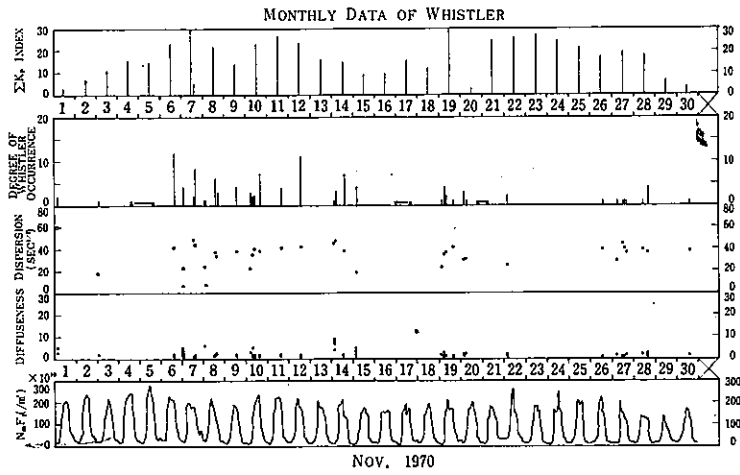


第 4・9 図

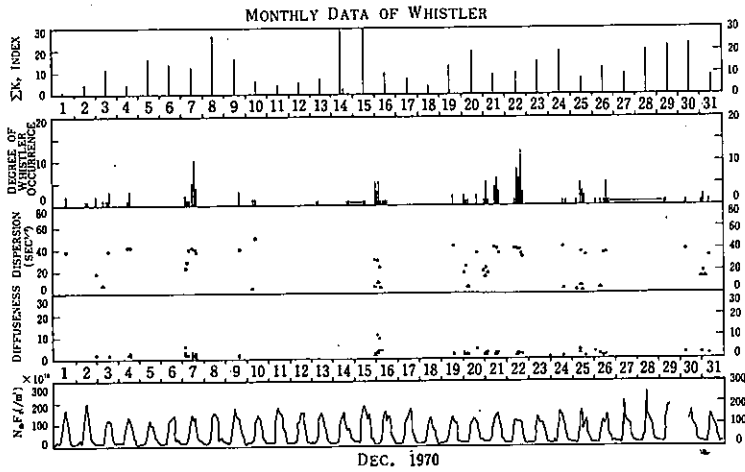


第 4・10 図





第 4・11 図

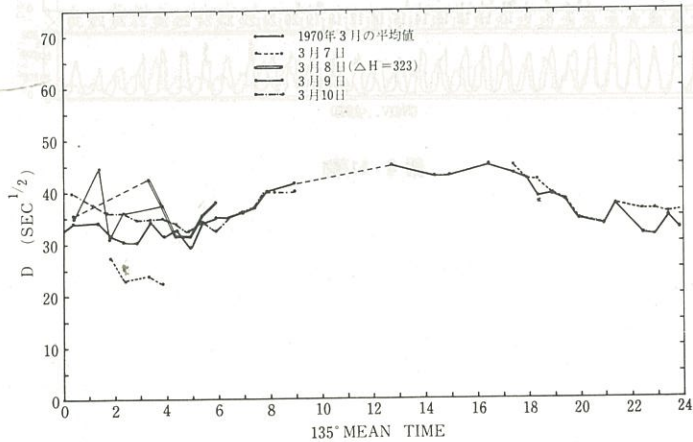


第 4・12 図

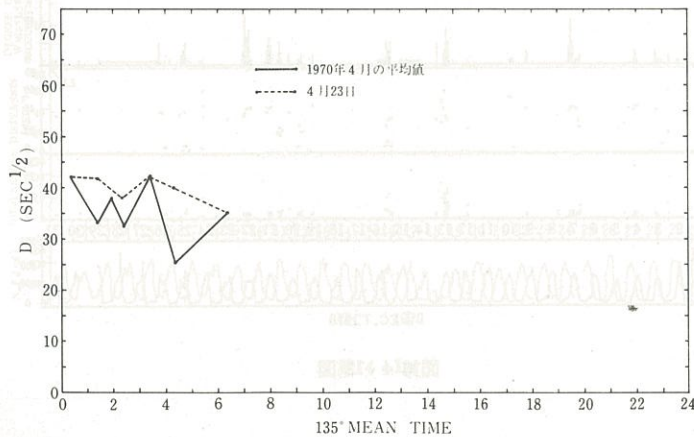
したもので、一年間にわたる相互の関係が明確である。

$\Sigma K_p$  が30を越えて増加し始めるとホイッスラーの発生頻度は急激に増加する。1月2日, 3月7日, 4月22日, 7月10日, 8月17日, 10月18日, 11月7日, 12月14日などがその例である。同時に, diffuseness の大きいホイッスラーや ESD ホイッスラーが多発する。さらに, この1年間に地磁気の主相時水平成分の変化  $\Delta H$  が200 $\gamma$ 以上に達する磁気嵐は5例あったが, こゝろ3月8日 ( $\Delta H=323$ ), 4月20日 ( $\Delta H=144$ ),

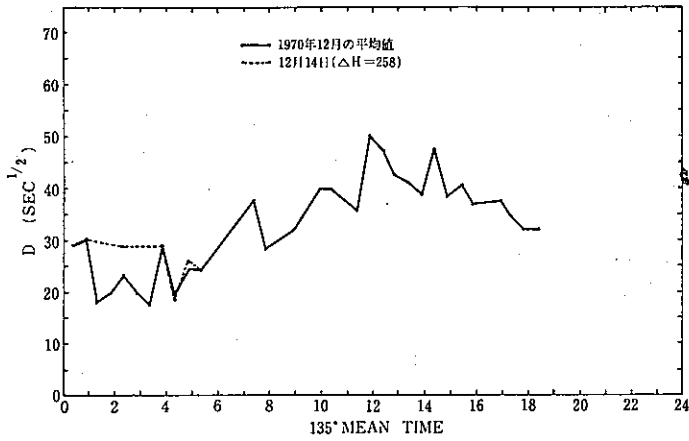
12月14日 ( $\Delta H=258$ ) の3例について, 急始の前後における分散を調べた結果を第5・1図より第5・3図に示す。図の太線はその月の日変化の平均値である。第5・1図に示す3月8日の場合は, 嵐の始まる前日の7日の朝方は平均より小さい分散を示すが, 夕方になると平均をわずかに越す変化を示し, 嵐の日の8日, それ以後の9日, 10日も月平均を上回っている。第5・2図は嵐より3日後の4月23日のデータのみであるが, やはり増加している。第5・3図は12月14日



第5・1図 磁気嵐の日(3月8日,  $\Delta H=323$ ) 前後の分散の変化



第5・2図 磁気嵐(4月20日,  $\Delta H=144$ ) 後の4月23日における分散の変化



第5・3図 磁気嵐の日(12月14日,  $\Delta H=258$ )の分散の変化

の嵐の日のデータであるが、やはり分散が増加している傾向を示している。

4. 発生源までの距離の推定

前回, ショートホイッスラーのトゥィーク (tweek)

第1表 適合法による源までの距離の推定

MAR. 10 L.T.0350 D=23.0					MAR.14 L.T.0250 D=24.0					MAR.22 L.T.2350 D=27.5							
$\frac{f_{(Hz)}}{f_{(MHz)}}$	80	83	85	87	90	$\frac{f_{(Hz)}}{f_{(MHz)}}$	80	83	85	87	90	$\frac{f_{(Hz)}}{f_{(MHz)}}$	80	83	85	87	90
$3 \times 10^3$						$3 \times 10^3$			○			$3 \times 10^3$					
4 "						4 "				○		4 "					
5 "				◎		5 "			◎	○		5 "			○		
6 "				○	◎	6 "			◎	◎		6 "				◎	
7 "					○	7 "						7 "				○	◎
8 "						8 "						8 "					
MAR.14 L.T.0222 D=27.5					MAR.23 L.T.2220 D=28.0					MAR.10 L.T.0520 D=33.0							
$3 \times 10^3$						$3 \times 10^3$						$3 \times 10^3$					
4 "			○	○		4 "						4 "			○		
5 "				◎	○	5 "				◎		5 "				◎	
6 "					◎	6 "				◎		6 "					◎
7 "						7 "						7 "					○
8 "						8 "						8 "					
MAR.24 L.T.0050 D=47.5					MAR.24 L.T.0020 D=48.0					MAR.21 L.T.2350 D=55.0							
$3 \times 10^3$						$3 \times 10^3$						$3 \times 10^3$					
4 "			○			4 "						4 "					
5 "			◎	○		5 "			○			5 "					
6 "			○	◎	○	6 "				○		6 "			◎	○	
7 "				○	○	7 "					○	7 "				◎	
8 "						8 "						8 "					

型先行空電の伝ばん特性よりショートホイッスラーの源までの距離を求めて報告した。トウィークの伝ばん特性は導波管理論により説明されており、源までの距離を  $d$  とすれば、基本モードについての伝ばん式は

$$t = \frac{d}{c} \cdot \left\{ 1 - \left( \frac{c}{2hf} \right)^2 \right\}^{-1/2} \quad (1)$$

で与えられる<sup>1)</sup>。ここに  $c$  は光速、 $t$  は時間、 $f$  は周波数、 $h$  は電離層の見かけの高さとする。ソナグラフ上の  $(f, t)$  関係より遮断周波数  $f_c$  を求め、 $h$  を決めることにより源までの距離  $d$  を求めることが出来る。しかし、 $f_c$  や伝ばん時間  $t$  をソナグラフ上から決めることは実際上誤差が大きく、大まかな目安しか得られない。それで今回はホイッスラーの分散  $D$  を求めた方法と同じ適合法によって、(1) 式により  $(h, d)$  をパラメーターとして  $t-f$  曲線を描き、 $d$  を測定した。9例ほどの結果について第1表に示す。表中、◎印は観測と最も良く適合する場合、○印は比較的良く適合する場合、また空白は全く適合しない場合を示している。 $(f, t)$  図から  $f_c$ 、 $t$  を求め計算による方法ではかなりバラツキがあったが、適合法によれば電離層の高さ  $h = 87 \sim 90$  km の範囲で大略 5,000 km ~ 6,000 km の間にあることが分かる。菅平の磁気共役点までの距離はおよそ 5,800 km であるから、これらの結果はほぼ妥当な値と言えるが、3月21日、22日の例については  $d = 7,000$  km の値を示しているので源の位置から磁気共役点まで導波管伝ばんして到達したものと考えることが出来る。

## 5. 結 言

1年間に渉るルーチン観測から菅平に於けるホイッスラーの発生状況や分散など、次のような基本的な特性を知ることが出来た。

- 1) 発生頻度は冬に圧倒的に高く、春から夏へと減少し、秋になると再び増加する季節変化が存在する。
- 2) 発生頻度の日変化は、日出前と夕方に発生が集

中する2つのピークを有して居り、冬季は夕方が非常に多いが、春や秋では朝方のピークが高くなる。

3) ショートホイッスラーの分散は規則的な日変化を示す。日変化曲線は、冬より春が  $5 \sim 7$  ( $\text{sec}^{1/2}$ ) 増加し、秋はそれらの中間値をとる。

4) 国分寺の  $f_oF2$  の月平均と各月の分散は良い相関を示す。

5) 磁気嵐時にはホイッスラーの発生頻度が急激に増加し、swish type や ESD ホイッスラーが頻ばんに受信される。

6) 磁気嵐の前後について分散を調べた結果、擾乱時からそれ以後数日にかけて月平均より増加の傾向を示す。

7) ショートホイッスラーの発生源までの距離を推定するために、適合法を用いて測定した結果、5,000 km ~ 6,000 km の結果が得られた。

以上1970年1月より12月までの期間における菅平に於けるホイッスラー観測から得られた主要な結果である。今後、磁気嵐時の変動特性、とくにダクト生成・消滅の機構の詳細な検討や太陽活動度との相関(経年変化)についても調べてゆきたい。

謝辞 観測及びデータの整理は卒業生、院生など電波物理研究室全員が担当した。ここで皆さんに感謝するとともに、観測機器の自動化に尽力された大学院学生鈴木道彦、松井嘉一郎両氏、テープの交換を一年近く担当して頂いた金井伴子嬢、そして、引き続き我々の身の回りの面倒を見て頂く竹村夫妻に厚くお礼申し上げます。

## 文 献

- 1) 梶靖夫、奥沢隆志、芳野越夫、上滝実：電気通信大学学報、28、(理工学編)、p. 61~68、(Aug., 1970)
- 2) Kimpara, A.: Proc. Res. Inst. Atmos. Nagoya Univ., 6, p. p. 38~43 (1959)