

昭和基地における遠距離VLF信号強度の測定結果

坂元 敏朗*・城 功**

Signal Strength of VLF Radio Wave Measured at Syowa Station in Antarctica

Toshiro SAKAMOTO* and Isao SHIRO**

Abstract: The measurement of NAA-17.8 kHz signal strength was made at Syowa Station, Antarctica, for one year from February 1970 to January 1971.

The diurnal and seasonal variations of the signal strength are shown. The data were compared with other observational data associated with auroral phenomena and solar flares.

A significant positive correlation between VLF signal strength and radio aurora occurrences was found during the nighttime.

Sudden enhancements of the signal were detected, which appear to be related to the solar flares.

1. は し が き

VLF 電波の遠距離伝搬特性については、すでに多くの調査研究がなされているが（桜沢他, 1962; 石井他, 1964, 1968; 山田, 1966; 土屋他, 1968), オーロラ帯における吸収などの伝搬特性を研究するため、南極昭和基地で第 11 次越冬時 (1970 年 2 月-1971 年 1 月) に VLF 電波 (NAA, 17.8 kHz) の信号強度を測定した。

本報告はその測定結果の概要である。

2. 送受信に関するデータ

2.1. 送信側の諸元

位 置 Cutler, U.S.A. 44°39'N, 67°12'W

* 電波研究所山川電波観測所. Yamagawa Radio Wave Observatory, Radio Research Laboratories, Yamagawa, Ibusuki-gun, Kagoshima 891-05.

** 電波研究所電波部. Radio Wave Division, Radio Research Laboratories, Koganei-shi, Tokyo 184.

局 符 号	NAA
周 波 数	17.8 kHz
輻 射 電 力	1,000 kW
周波数精度	$\pm 0.5 \times 10^{-10}$
発 射 時 間	7 days/week 24 h/day
ア ン テ ナ	変形かさ形アンテナ

2.2. 受信側の諸元

測 定 場 所	南極昭和基地, 69°00'S, 39°35'E
測 定 時 間	1970 年 2 月 1 日から 1971 年 1 月 31 日まで
受 信 方 式	シングルスーパーヘテロダイン方式
測定レベル範囲	-10 dB~120 dB (端子電圧)
受 信 帯 域 幅	300 Hz (-6 dB)
対 数 圧 縮 幅	40 dB
検波放電時定数	1 s
ア ン テ ナ	ホイップアンテナ (高さ 7 m)
記 録 計	直動式 KRB 型直流記録電流計 60 mm/h
較 正	標準信号発生器によりほぼ 10 日に 1 回

なお、使用受信機のブロックダイアグラムは図 1 に示す。

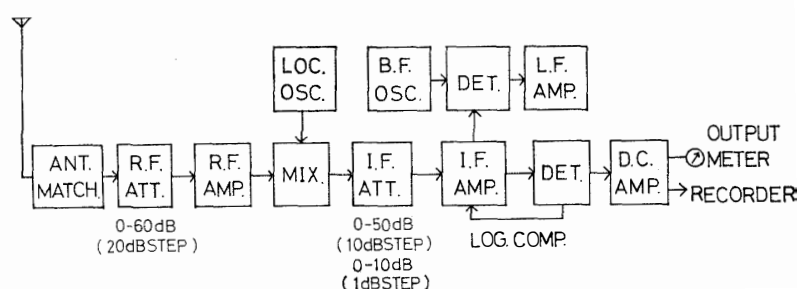


図 1 受信機ブロックダイアグラム

Fig. 1. Block diagram of the receiver.

2.3. 伝搬通路

送信地点と受信地点との間の伝搬距離は表回りで約 15,200 km である。

その伝搬通路は図 2 に示す。

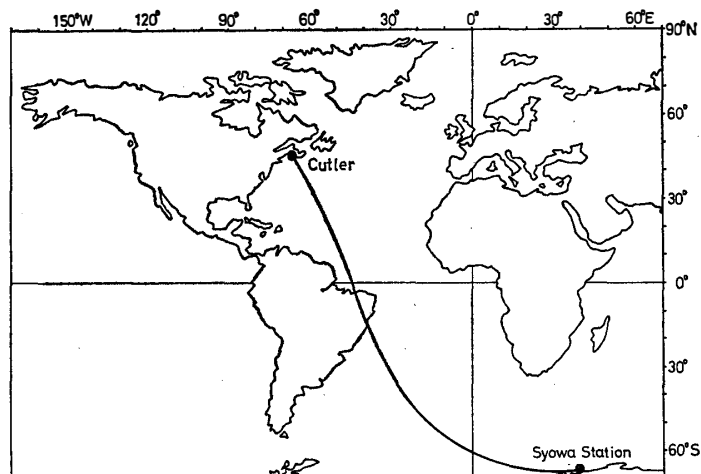


図 2 伝搬通路

Fig. 2. Propagation path (Cutler-Syowa Station).

3. 測定記録の整理

信号強度の測定には上記 2.2. の測定装置を用い、測定期間中連続記録を行った。

図 3 はその記録例である。記録データの読み取りにあたっては毎時零分近傍における中央値をもって、その時刻の信号強度とした。測定値の較正は標準信号発生器を用いて相対値を求めた。

4. 測定結果の概要

Cutler-昭和基地回線についての 1 年間の測定結果を図 4 に示す。図 4 (a) は各時刻の月平均値で示した信号強度の日変化、図 4 (b) はその標準偏差である。

図 4 (a) の時間軸上に Cutler (C) および昭和基地 (S) の日出時刻 (SR) と日没時刻 (SS) をそれぞれ地上 (G) および地上高 90 km の層上 (L) にわけて表示した。層上の日出没時刻計算については地上高 30 km のしゃへい層を考慮した。

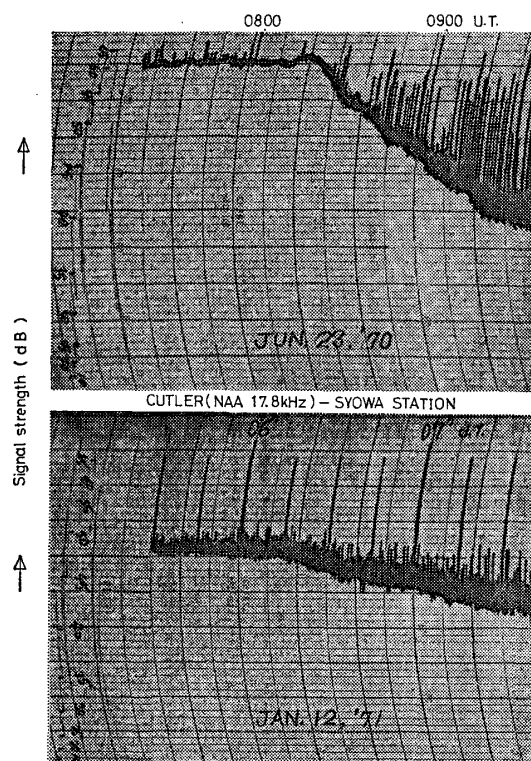


図 3 VLF 信号強度の記録例

Fig. 3. Samples of signal strength record.

図中白い部分は伝搬通路がすべて昼間、黒い部分はすべて夜間、斜線の部分は昼夜混在の過渡期にあたることを表す。

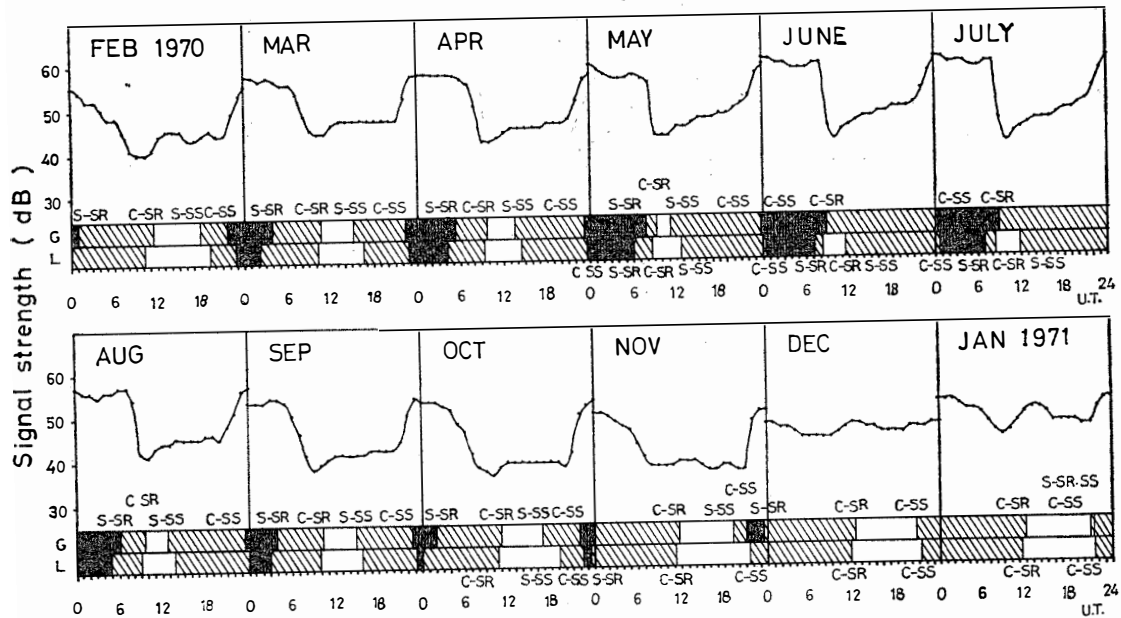


図 4(a) VLF 信号強度の日変化

Fig. 4(a). Daily variation of signal strength (Cutler-Syowa Station path, $f=17.8$ kHz, $d \approx 15,200$ km).

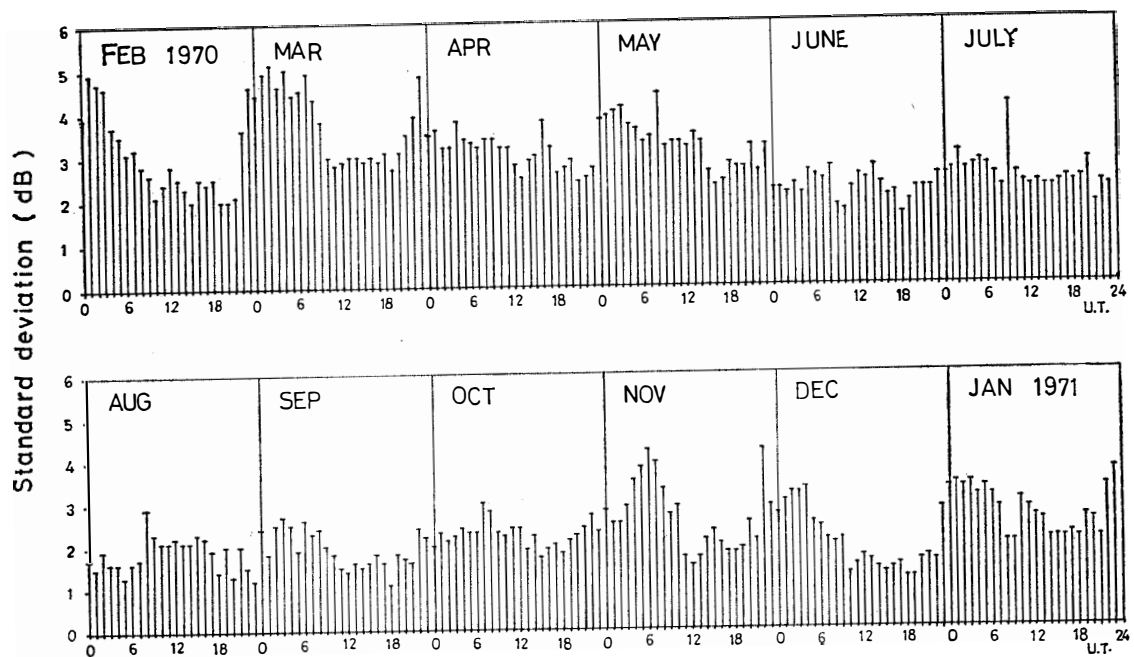


図 4(b) 1 カ月間の信号強度の標準偏差

Fig. 4(b). Standard deviation of signal strength for a month (Cutler-Syowa Station path).

図 4 (a) における日変化の特徴として、受信信号強度は昼間より夜間で強くなっている。そして回線が昼間と昼夜混在期間だけに存在する 12 月および 1 月における受信信号強度は最大と最小との差が小さく、ほとんどレベルが一定している。

次に、日出時および日没時に受信信号強度の極小をもたらすいわゆる日出効果および日没効果についてみると、この場合は日没効果より日出効果がより顕著に表れている。

すなわち、昭和基地の層上 (L) 日出 (S-SR) から Cutler の層上日出 (C-SR) までの昼夜混在時間が比較的短い 4 月から 9 月までは、夜間強度から昼間強度への移行はとくに急激な変化を示しているが、他の月では昼夜混在時間が長くなるにしたがって、夜間強度から昼間強度への移行はゆるやかになっている。各月にみられる一般的傾向として、信号強度は昭和基地の日出 (S-SR) を境にしてそれまで維持されていた夜間強度レベルから下降を始め、Cutler の日出 (C-SR) と前後して日出効果現象を伴って昼間強度レベルに移行している (12 月、1 月は昭和基地の層上で日没がないので除く)。一方日没効果は昭和基地の日没 (S-SS) から Cutler の日没 (C-SS) までの昼夜混在時間が短くなる、10, 11 月および 2 月に顕著に表れている。

図 4 (b) をみると、受信信号強度の変動、すなわち標準偏差は全般的には約 4 dB 以下である。犬吠-Oso 回線 ($F=18.6$ kHz, $D=7,600$ km) に関する解析結果では約 3 dB 以下と報告されており (桜沢他, 1962), また、犬吠-NWC 回線 ($F=19.8$ kHz, $D=7,000$ km), に関しては約 6 dB と比較的大きい値が報告されている (石井他, 1968)。これは伝搬通路にあたる赤道地帯の不安定な電離層の及ぼす影響で変動が大きな値を示すものと考えられる。一方昭和基地-Cutler 回線における信号強度変動は、その通路に赤道地帯があるにもかかわらず、犬吠-NWC 回線における値よりも小さい。これは赤道電離層の影響を受ける回線部分の全距離に対する割合が少ないためと思われる。変化量の日変化は昼間では小さく、夜間では大きい傾向がみられる。また、季節的には昭和基地側の春季にあたる 9 月前後は約 2 dB で小さく、秋季にあたる 4 月前後は 5 dB をこえて大きくなる。

図 5 は受信信号強度に及ぼす日出没効果と日出没時刻との関係を示したものである。

昭和基地の地上日出没時刻は 6 月および 7 月が夜間だけ、12 月が昼間だけとなる。さらに層上日出没時刻は 11 月、12 月および 1 月は昼間だけとなるから線で結ばれていない。図 5 をみると、受信信号強度に及ぼす日出没効果は送・受信点間の昼夜混在時間が短くなる頃 (4 月～9 月頃は日出効果, 10, 11 月および、2, 3 月頃は日没効果), 顕著に表れると同時に送信側である Cutler の層上日出没時刻に大きく支配されているものと思われる。

図6は受信信号強度の季節変化であって、昼間受信信号強度(○印)、および夜間受信信号強度(●印)をそれぞれ月平均してプロットした。なお、昭和基地側に夜間の存在しない月では夜間強度がプロットされていない。図における昼間受信信号強度は1年間でかなり変動しており、昭和基地の sun lit summer に相当する、12月、1月頃に極大がみられ、春季にあたる、10月、11月頃に極小がある。夜間受信信号強度は昼間ほどではないがやはり変動がみられ、昭和基地の dark winter に相当する6月および7月に極大がある。すなわち、昼間強度は夏季に強く、夜間強度は冬季に強くなるような季節変化を示す。

5. VLF 受信強度と諸観測

データとの関係

受信点が極光帯に位置する遠距離回線の VLF 電波信号強度は、伝搬通路における諸現象の多様な影響を受けると考えられ

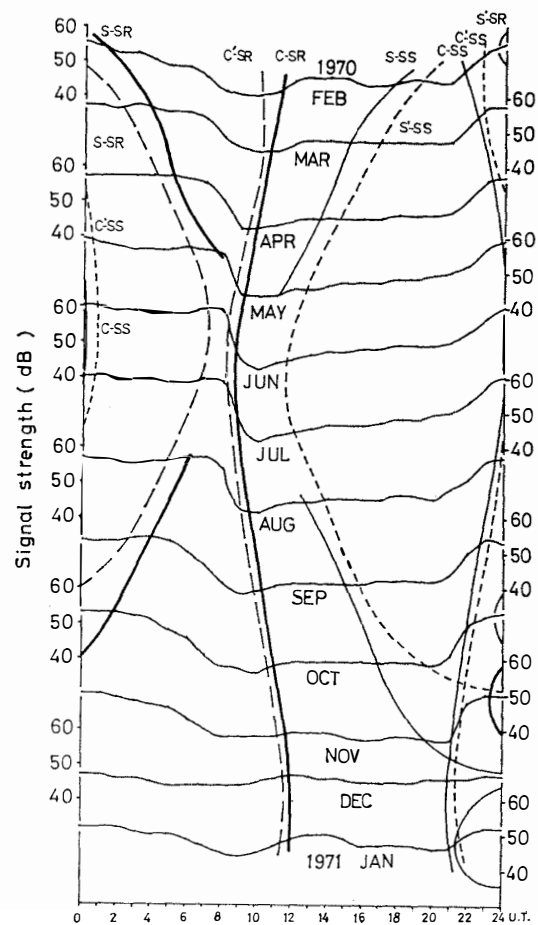
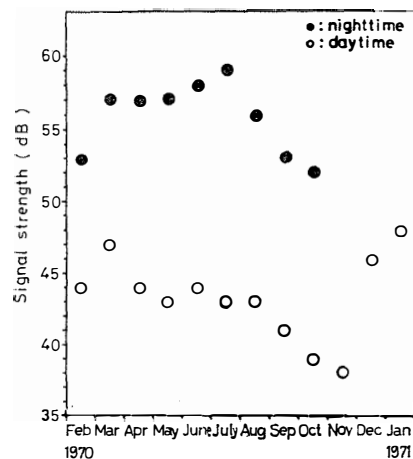


図5 信号強度における日没効果

Fig. 5. Sunrise and sunset effect on signal strength.

—SR
—SS sunrise and sunset line (on the ground)
—SR
---SS " (upper layer)

図6 信号強度の季節変化

Fig. 6. Seasonal variation of signal strength (Cutler-Syowa Station path).

る。ここでは VLF 信号強度とオーロラおよび太陽フレアとの関係について述べる。

5.1. VLF 信号強度とオーロラレーダー反射との相関

図 7 (a~c) はオーロラレーダー観測 (SHIRO *et al.*, 1972) を実施した期間のうち、1970 年 5 月から 1971 年 1 月までの各月に対して、オーロラレーダー反射波が受信された時の VLF 信号強度 (●印) と受信されなかった時の VLF 信号強度 (○印) の月平均値、および全信号強度の月平均値 (実線) を表示したものである。オーロラレーダー反射波が受信された時の VLF 信号強度が、受信されなかった時の強度より高くなっている状態をタイプ A, 逆にオーロラレーダー反射波が受信されなかった時の VLF 信号強度の方が高くなっている状態をタイプ B, 両者の強度に差がない状態をタイプ AB とすれば、全測定期間中の A, B および

図 7(a)
Fig. 7(a)

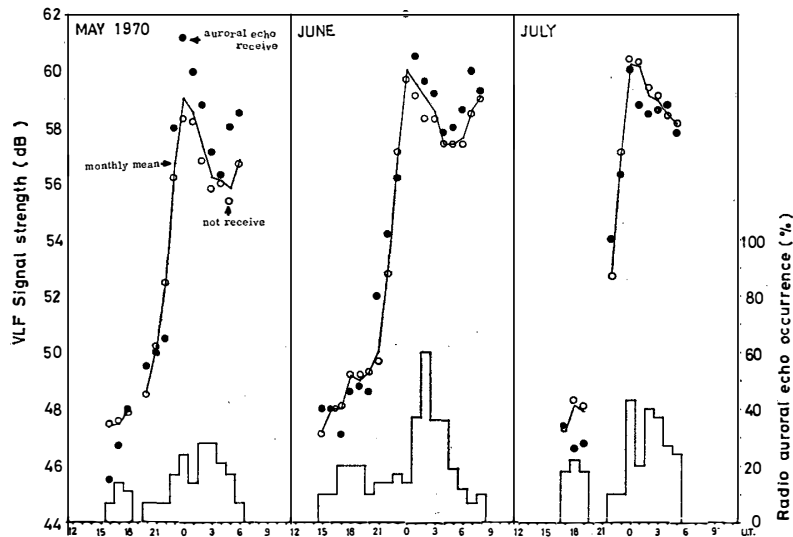
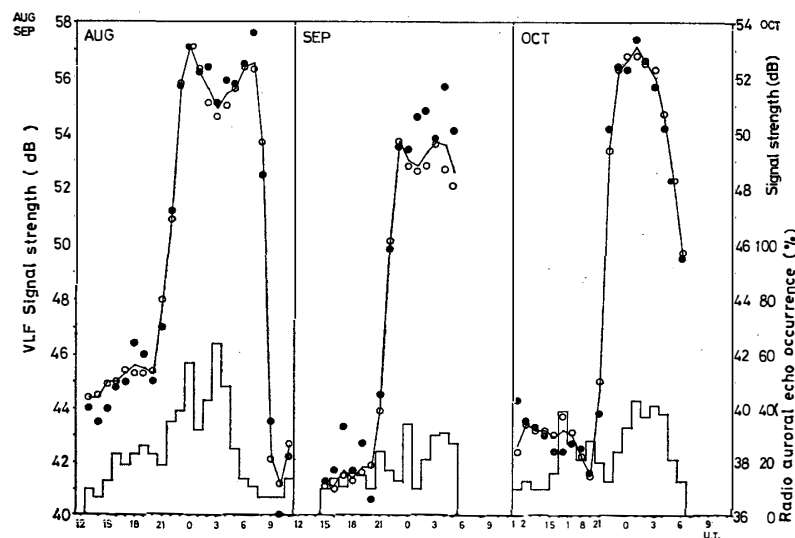


図 7(b)
Fig. 7(b)



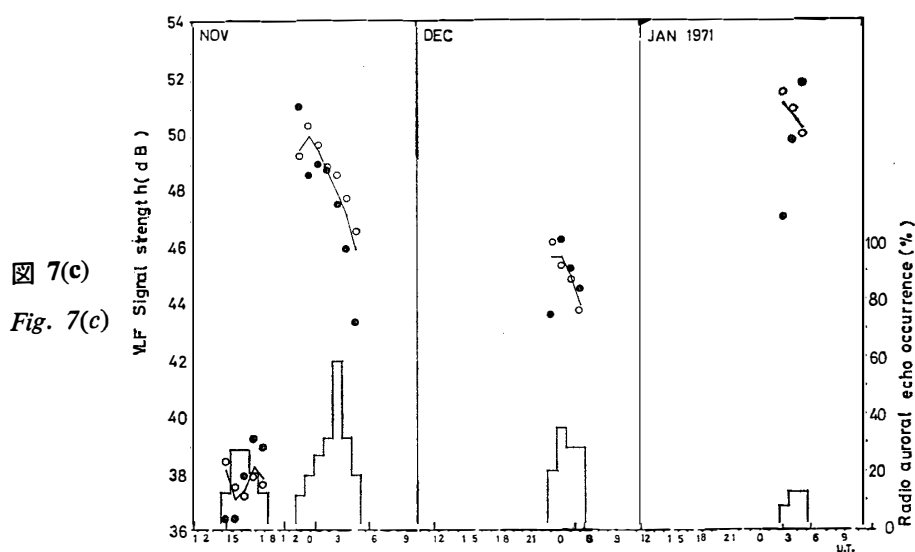


図 7(c)
Fig. 7(c)

図 7(a~c) オーロラレーダー反射波受信の有無に対する信号強度

Fig. 7(a~c). VLF signal strength when radio auroral echoes were received at Syowa Station and not received respectively and receiving rate of radio auroral echoes.

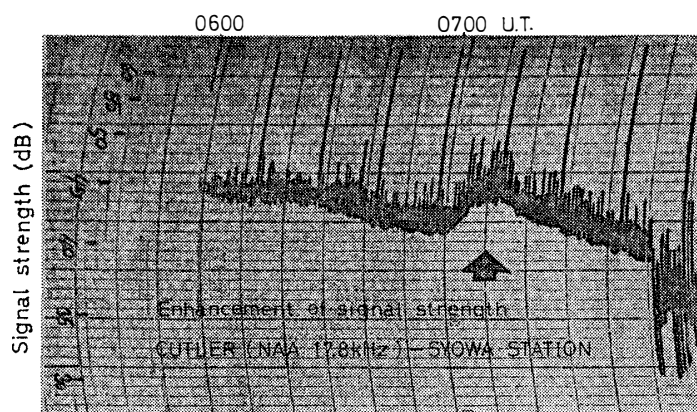
AB の各タイプの出現比率はそれぞれ、54%、44%、および2%でタイプ A がわずかに優勢になる程度である。しかし、時間帯にわけてみると、昼間強度に対して各タイプの出現比率はタイプ A 47%、タイプ B 53%、タイプ AB は0%に、昼夜混在強度に対してはそれぞれ45%、52%、および3%に、夜間強度に対してはそれぞれ78%、18%および4%になっている。昼間および昼夜混在時に比べて夜間におけるタイプ A の出現率は高く、かなりの特異性を示している。

5.2. 太陽フレア時の VLF 信号強度変化

1970 年 2 月から 1971 年 1 月までの 1 年間には太陽フレアがいくつかあった。1970 年 2

図 8(a) 太陽フレア時の VLF 信号強度記録例

Fig. 8(a). Enhancement of signal strength.



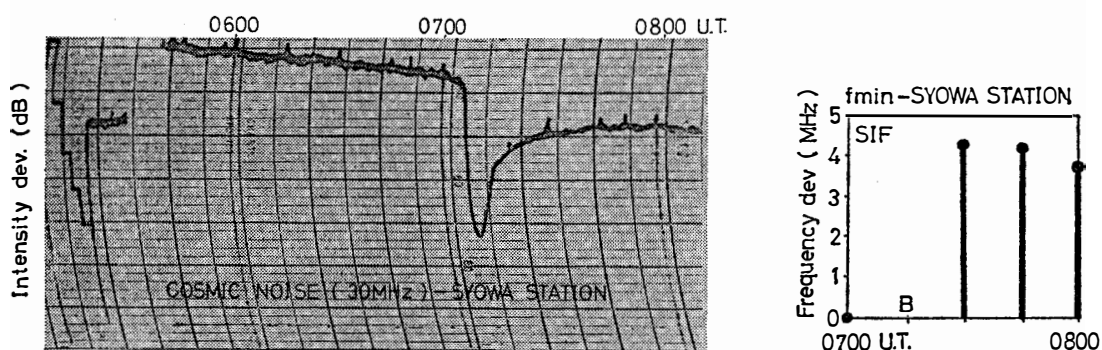


図 8(b) 太陽フレア時における昭和基地での諸観測データ

Fig. 8(b). Some other data obtained at Syowa Station during the event.

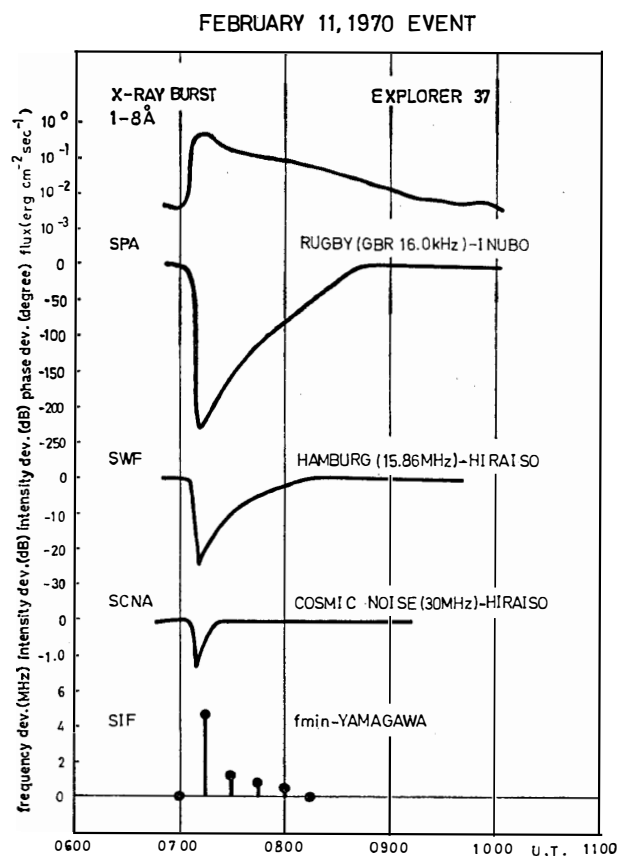


図 8(c) 太陽フレア時における諸観測データ

Fig. 8(c). Some other observational data during the event.

月 11 日の太陽フレア時における観測データを図 8 に示す。

図 8 (a) は約 3 dB の増大を示す VLF 信号強度の記録である。また図 8 (b) は昭和基地で観測された宇宙電波 (30 MHz) のリオメータ記録と電離層観測記録である。昭和基地以外で得られた太陽フレアの観測記録およびそれに関連する諸観測データ (RADIO RES. LAB., 1972) を図 8 (c) に示す。

6. む す び

高緯度地帯の南極昭和基地で受信した遠距離伝搬の VLF 信号強度の様相について概略を報告した。その特徴を要約すると次のとおりである。

- (1) 受信信号強度は昼間より夜間が高い。
- (2) 受信信号強度の変動には日没効果より日出効果がきく。
- (3) 日出没時における受信信号強度の変化率は伝搬通路の昼夜混在時間に依存する。
- (4) 同時刻における受信信号強度の標準偏差は年平均約 4 dB になり、1 日のうちでは昼間がより小さく、季節的には昭和基地側の春季に相当する頃がより小さい。
- (5) 受信信号強度は昭和基地側の夏季に昼間強度の極大があり、冬季に夜間強度が強くなる。
- (6) オーロラレーダー反射波が受信された時の VLF 電波受信強度が、オーロラレーダー反射波が受信されなかった時の受信強度より強くなる出現率はすべての観測期間中では 50 % 強であるが、夜間のみでは 80 % 近くなる。
- (7) 太陽フレアの影響と思われる受信信号強度の増大が認められる。

最後にこの観測を遂行するにあたってご配慮いただいた第 11 次越冬隊長の松田教授に厚くお礼申しあげます。また資料まとめに際しましては有益なご助言をいただいた電波研究所糟谷電波部長をはじめ研究プロジェクトリーダーの桜沢標準電波課長、皆越山川電波観測所長に厚くお礼申し上げます。

文 献

- 石井隆広雄・桜沢 晃 (1964) : 太平洋横断通路における NPG-18.6 kc/s 信号の長期振幅変動について。電波研季報, **10** (47), 50-55.
- 石井隆広雄・山田勝啓・中島敏夫・緒方隆信・寺島良子 (1968) : 赤道地帯を横断する VLF (NWC 信号) 電波の電界強度と位相日変化 (1)。電波研季報, **14** (73), 431-442.
- RADIO RESEARCH LABORATORIES (1972) : Comprehensive tables of sudden ionospheric disturbances observed at the Radio Research Laboratories during the international active sun years January 1969-December 1971. Radio Research Laboratories, 84.
- 桜沢 晃・浅井順一・石井隆広雄 (1962) : 遠距離における VLF 波の電界強度測定結果。電波研季報, **8** (34), 21-30.
- SHIRO, I. and T. SAKAMOTO (1972) : Records of radio aurora at Syowa Station, Antarctica from April 1970 to February 1971. JARE Data Rep., **15** (Ionosphere), 33 pp.
- 土屋清美・山田勝啓・中島敏夫・緒方隆信 (1968) : VLF (18.6 kHz) 遠距離伝搬波の日出没効果。電波研季報, **14** (73), 443-450.
- 山田勝啓 (1966) : 長波による下部電離層観測。電波研季報, **12** (63), 492-500.

(1975 年 12 月 23 日受理)