

南極昭和基地における短波伝搬実験結果

貝 沼 昭 司*・城 功*・山 岡 誠*
一之瀬 優*・坂 元 敏 朗**

Experimental Results of the HF Propagation at Syowa Station, Antarctica

Syoji KAINUMA*, Isao SHIRO*, Makoto YAMAOKA*
Masaru ICHINOSE* and Toshirou SAKAMOTO**

Abstract: Continuous measurement of the field strength of NHK's overseas broadcasting waves (JOB, 11.815 MHz) was carried out from April, 1970, to February, 1971.

The diurnal variations in field strength were not found at the equinox, but in other months the field strength dropped after sunset. The night-time signals at Syowa Station were received mainly through the long path on the great circle.

The mode of propagation varies with the condition of the ionosphere, and the mixed mode (e. g. E plus F layer reflection waves) is often predominant.

At the main phase of sudden commencement of magnetic storm, the field strength abruptly drops, and this effect must be taken into consideration for the operation of communications.

For the purpose of experimental studies of the radio communication in high latitudes, it is planned to continue the field strength measurement on the routine basis in the future.

1. は し が き

昭和基地における短波電界強度の測定は、昭和基地と日本本土を結ぶ短波回線の通信状態をモニターするために行なっている。

したがって、研究目的のための測定ではないので、測定装置も不完全なため受信しやすいNHK 海外放送の電波(11.815 MHz)を測定した。将来測定装置を整備し、本格的な短波伝搬測定を行なう予定であるが、前もって伝搬特性の予備知識を得るために1970年4月から1971年2月までの11カ月間測定したデータを使用して、電界強度の実測値と1970年1月にニ

* 電波研究所電波部. Radio Research Laboratories, Koganei, Tokyo.

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

ューデリーの CCIR (国際無線通信諮問委員会) 総会で採択された計算法による計算値との比較および地磁気活動度などの関係を解析したのでその結果を報告する。

2. 測定回線の概要

2.1. 送信側の諸元

- (1) 周波数: 11.815 MHz (JOB, NHK 海外放送, 東南アジア向)
- (2) 放送時間: 19時00分~06時30分 (J. S. T.) 図2 参照
- (3) 送信出力: 100 kW
- (4) アンテナ: 形式 SS6-RH. 方位角 240度. 仰角 13度. 利得 8.5 dB
- (5) 送信所の位置: 茨城県猿島郡三和村 KDD 八俣送信所 (36°10'N, 139°50'E)

2.2. 受信側の諸元

- (1) 測定場所: 南極昭和基地 (69°00'S, 39°35'E)
- (2) 測定期間: 1970年4月2日から1971年2月16日まで (約10カ月半)
- (3) 測定装置および較正方法

受信用アンテナ: 逆 L 形 (高さ10m, 水平長約30m)

測定器: NRD-1 E 形全波受信機

記録計: 直動式 KRB 形直流記録電流計

受信電界強度の較正は, 標準信号発生器によりほぼ10日に1回行なった。

2.3. 伝搬通路

- (1) 伝搬距離
表回り: 14,118 km
裏回り: 25,890 km
- (2) 到来方位角
表回り: 84度
裏回り: 264度

3. 測定記録の整理方法

電界強度の測定は上記2.2.の(3)の測定装置を用いて行ない, 記録紙の送り速度は毎時60mmで連続記録を行なった。図1は連続記録の一例である。

放送時間は図2に示したタイムスケジュールによって日本時間の19時から06時30分までの

間であるから、得られたデータはほとんど日本時間の夜間のデータのみである。

停波の時間帯における記録データから推測すると諸外国の混信波が混入したと思われ、かなり雑音レベルが高いようである。データの読取りは放送時間が1時間に30分の時は30分間の、1時間の時は1時間の中央値を読み取り、これをその時刻における電界強度とした。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。

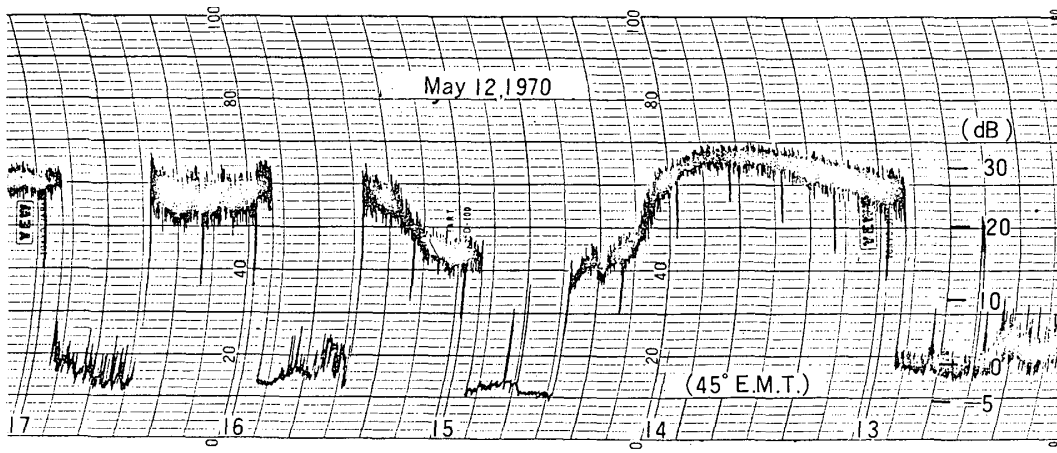


図 1 NHK 海外放送電波 (11.815 MHz) の連続記録例

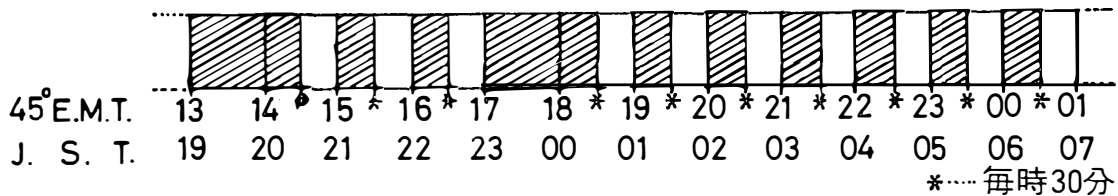


図 2 電波発射タイムスケジュール (斜線の部分が放送時間)

4. 測定結果

4.1. 受信信号の日変化および季節変化

図 3 に各月の電界強度中央値日変化曲線を示す。白丸および黒丸はそれぞれ昭和基地の日中および日没後の電界強度月中央値を示す。各月とも13時から24時 (45° E. M. T.) までの日変化であるが、ほぼ日没時に電界強度の極大を生じ、日没後急激に低下している。季節によって日没時刻が変わるので、それに伴って電界強度の極大になる時刻が変化している。春秋分においては他の季節に比べて比較的ゆるやかな日変化を示し、変化量は約 5 dB の範囲内であった。

放送時間は日本時間の夜間の時間帯であるから送信側の電離層状態は f_oF2 がかなり低下

して、ほぼ変化の少ない状態になっている。したがって日変化は受信側に最も近い反射点の電離層が昼間の状態から夜間の状態に変化する時刻において影響をうけるようである。

昭和基地の日没後における電界強度は、伝搬通路全体が夜間の通路になるので電離層の状態は f_0F2 が低下して伝搬状態が悪くなり、電波が伝搬しやすい昼間の通路すなわち大圏コース以外の off path (裏回りも含めた伝搬通路) を伝搬した信号が受信されるようである。これについては次の節で述べる。電界強度の季節変化は大きな変化はなく、各月とも最大値はほぼ 15~20 dB であるが、4月から7月頃までは1日の平均的電界強度は減少し、9月頃から12月頃までは増加する傾向を示している。その理由として4月から7月頃までの昭和基地における f_0F2 日変化は、昼間が高く (8 MHz)、日没後は急激に低下する。また9月から12月頃までは f_0F2 のピークの値も前期間より高く日変化の傾向がゆるやかになり昼夜の差がなく、比較的電界強度が高くなる。

4.2. 電界強度の測定値と計算値との比較

図4(1)から(6)まで各月について電界強度の計算値および測定値、伝搬モード、受信率ならびに送受信点の昼間の時間と夜間の時間が示してある。

電界強度の計算値は CCIR 暫定法によって計算した。実線が表回り (short path)、破線が裏回り (long path) の伝搬通路である。表回りの計算値は昼間は無偏倚吸収によって電界強度が低下するが、日没時には D, E 層が消滅するので急激に電界強度が高くなる。夜間は F 層の電子密度が低下するので電波は電離層を突きぬけ、表回りは受信できなくなるが off path を伝搬する電波が卓越するようになる。(d) の測定値は1カ月の中央値を棒線の中間にプロットし、上の点は最大値、下の点が最小値を示している。すなわち、棒線はその時刻における1カ月間の変動幅であるが約20~30

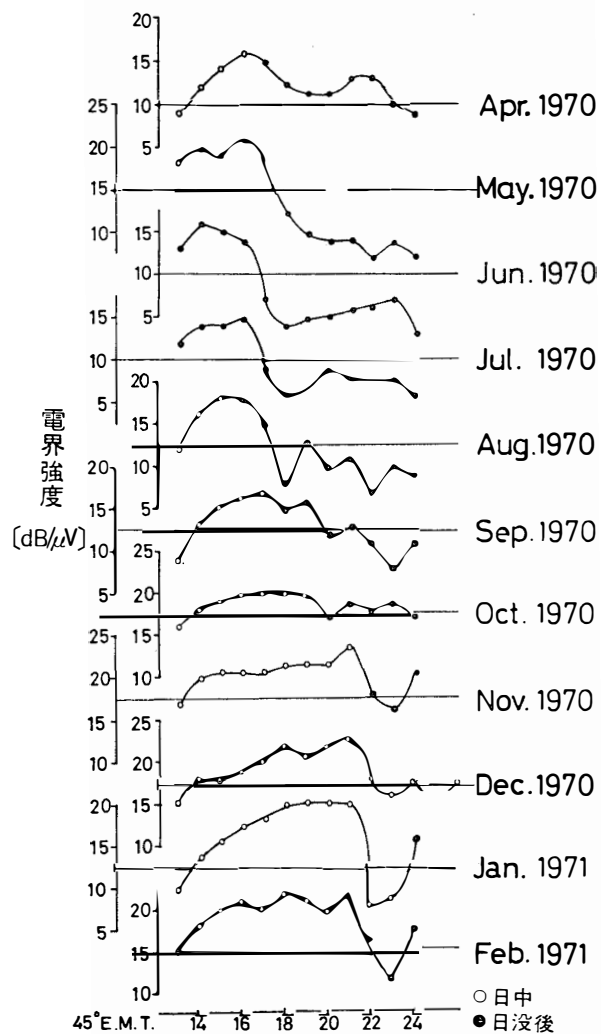


図3 各月の電界強度日変化

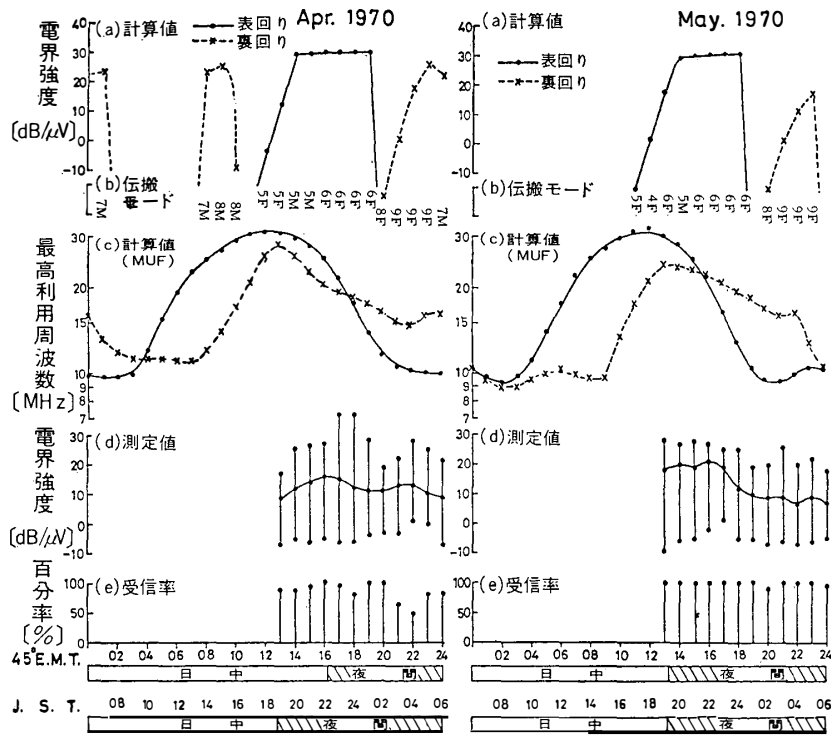


図 4 (1)

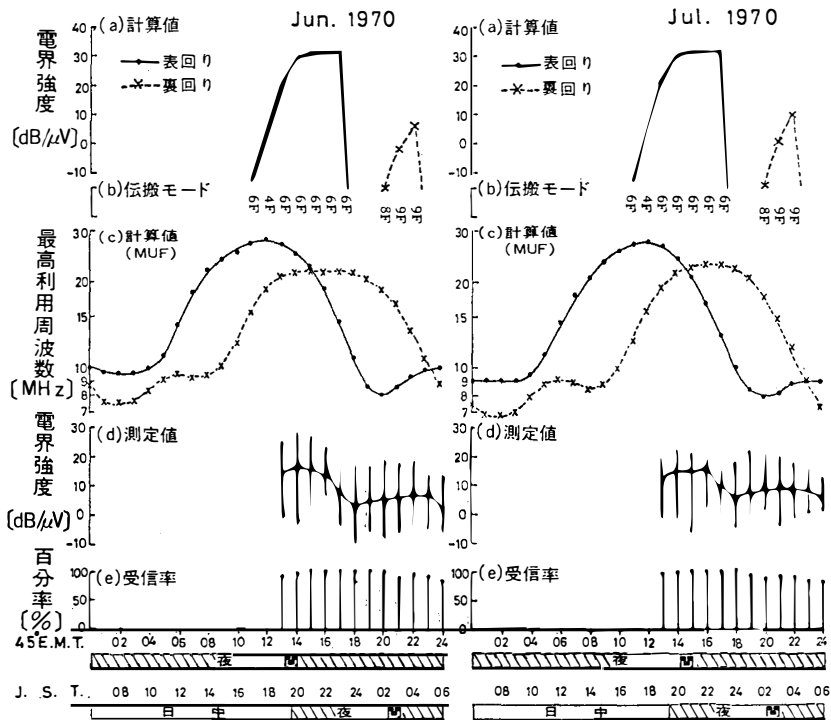


図 4 (2)

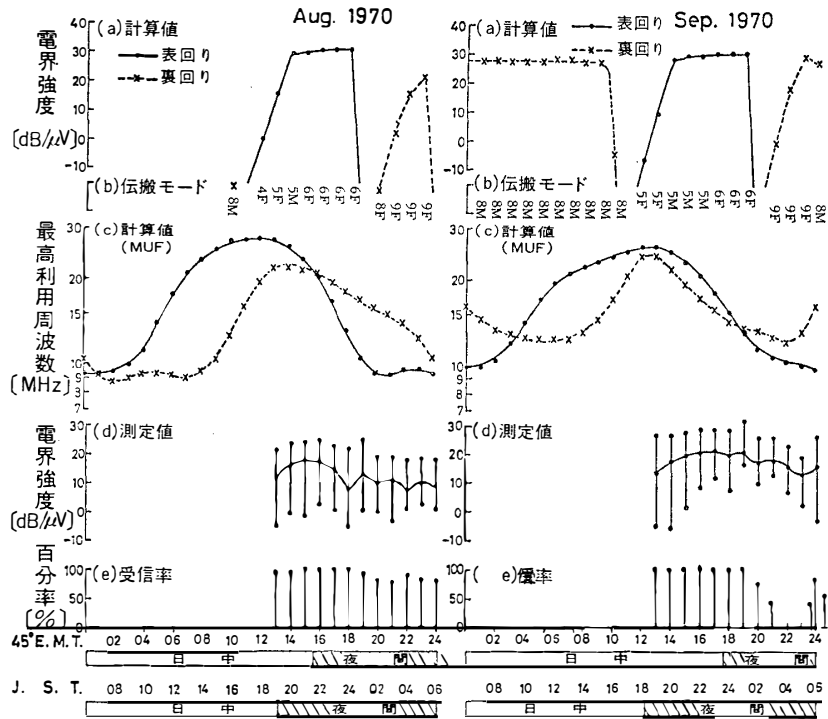


図 4 (3)

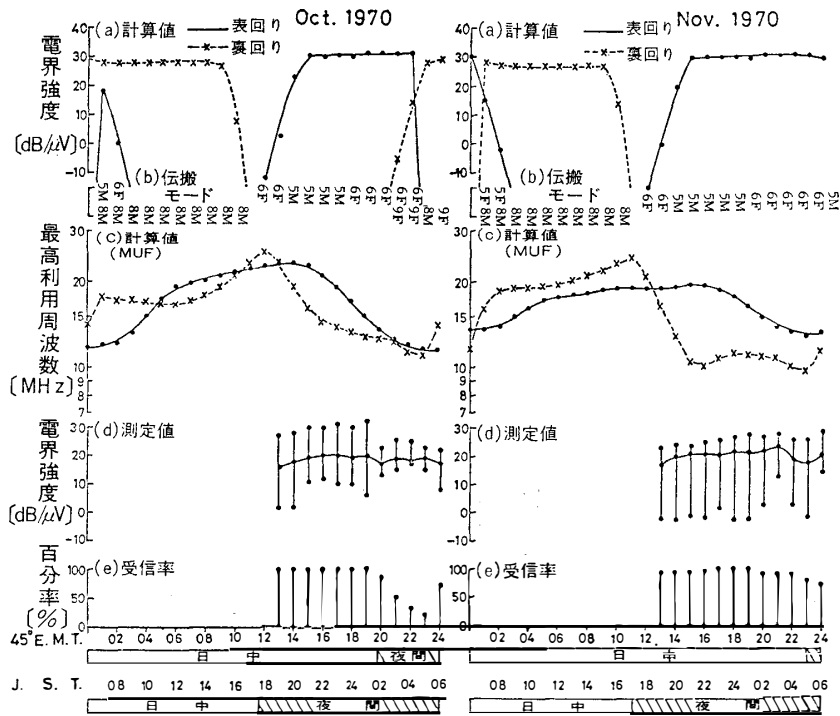


図 4 (4)

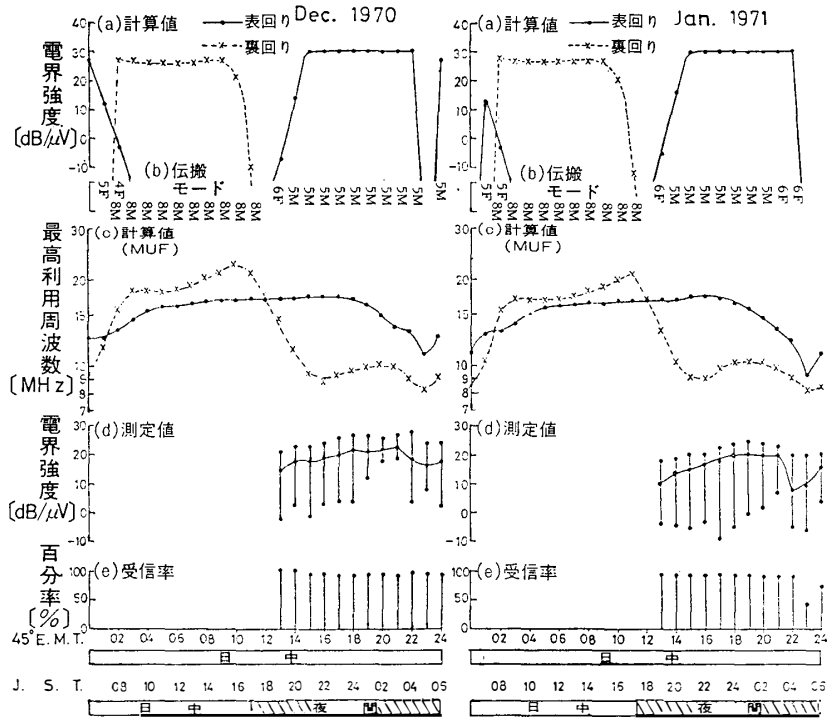


図 4 (5)

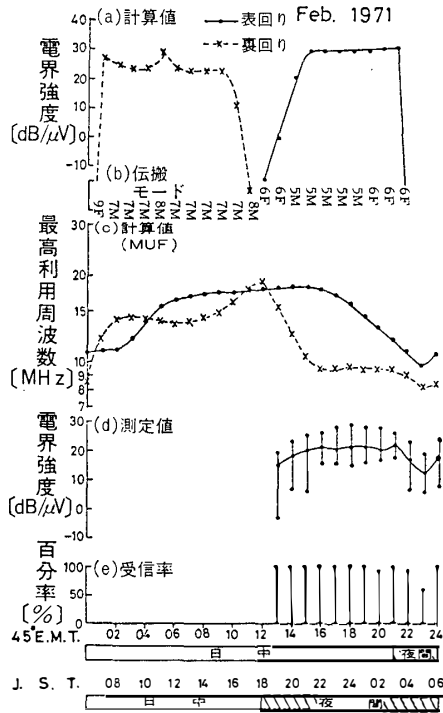


図 4 (6)

図 4 (1)~(6) 電界強度の計算値, 伝搬モード, 計算 MUF, 測定値および受信率の日変化

dB の変動幅がある。

測定値は先に述べたように、春秋を除外して日没後急激に電界強度が低下するが、その伝搬通路は表回りが夜間の通路になるので昼間側の off path を伝搬した信号が卓越するものと考えられる。すなわち、表回りの MUF が使用周波数以下に下がると昼間側の MUF が使用周波数以上になり電界強度は反射回数が多いので低下するが信号は受信可能である。伝搬モードの計算では、電離層の状態によって変り、各図の (b) に示してあるように表回りの通路では $5F^*$ あるいは $6F^*$ であるが昼間は E 層と F 層反射の混合モードも存在することがある。裏回りの通路では $8F$ あるいは $9F$ であるが昼間は受信側の E 層がかなり影響し、 $7M^{**}$ あるいは $8M^{**}$ の混合モードが支配的になるようである。

受信率は 1 カ月間のある時刻に受信できた測定回数を全測定回数に対する百分率で示してある。4 月、9 月および 10 月の 21 時～23 時頃の受信率が低いとそのほかの月はほとんど 100% に近い受信率で測定することができた。受信率の低下する時間は丁度表回りの大圏コースから off path に変る時間である。

4.3. 電界強度の測定値と f_{min} および地磁気水平分力 H との比較

図 5 (1) および (2) は昭和基地における電界強度の測定値、 f_{min} および柿岡での地磁気水平分力 H が示してある。4 月および 11 月の地磁気じょう乱日を選んで 5 日間の日変化を示した。また、各図の右側には各月の中央値が示してある。ブラックアウト (B) は主として昼間に発生しているが、昼間の電界強度測定データがないので電界強度との関係を定量的に求めることはできなかったが、ブラックアウトの発生に伴って D, E 層の電子密度が急激に増加するので無偏倚吸収が増加し、当然電界強度が低下することが予想される。

地磁気量は柿岡で観測した値であるが、電界強度は急始磁気あらしの主相において急激に低下している。磁気あらしは極地方に特に著しく現われるので通信不能におちいる要因の一つと考えられている。終相において水平分力は徐々に回復しているが、これに伴って電界強度の回復状態は十分なデータがとれていないのではっきりわからないが徐々に回復するものと予想される。

4.4. 電界強度の測定値と太陽黒点数および地磁気 K 指数との関係

図 6 に太陽黒点数 (Zürich Final Sunspot Number), 電界強度および地磁気 K 指数

* $5F$ および $6F$ とは送受信点間の伝搬通路の F 層により、それぞれ 5 回および 6 回電波が反射して伝搬する伝搬モードである。

** $7M$ および $8M$ とは送受信点間の伝搬通路の E 層によって 1 回反射し、F 層によってそれぞれ 6 回および 7 回電波が反射して伝搬する伝搬モードである。

の毎日の観測値から10日間移動平均値を求め、全測定期間についてそれぞれ示してある。

地磁気 K 指数の変化と太陽黒点数の変化とは、逆相関になることは太陽活動の下降期及び衰退期に顕著で最盛期にはあまり認められないことが多いが、図6からもその傾向がみられる。例えば、典型的な例が4月20日頃にみられるが、太陽黒点数の減少とともに地磁気K指数は増加している。このことは K 指数から F2 層の臨界周波数が予報できる可能性を示しており、また、電界強度の測定値は太陽黒点数とかなり相関がよいので反射点が夜間の場合、電界強度は F2 層による偏倚吸収を考慮して計算しなくてはならないことを示している。この報告は予備的な報告であるから定量的な説明はできないが、将来本格的な実験が行なわれるならば、その実験データを解析して詳細に報告することにする。

5. 結 論

この測定は日本時間の夜間に放送されている NHK 海外放送波であるから、特定の時間帯のみについて測定したわけである。したがって、充分な解析を行なうことができなかったので予備的な報告にとどめたが、測定結果をとりまとめてみると次のようになる。

- (1) 日変化は4月および10月を除いて受信側の日没時刻から急激に電界強度が低下する。

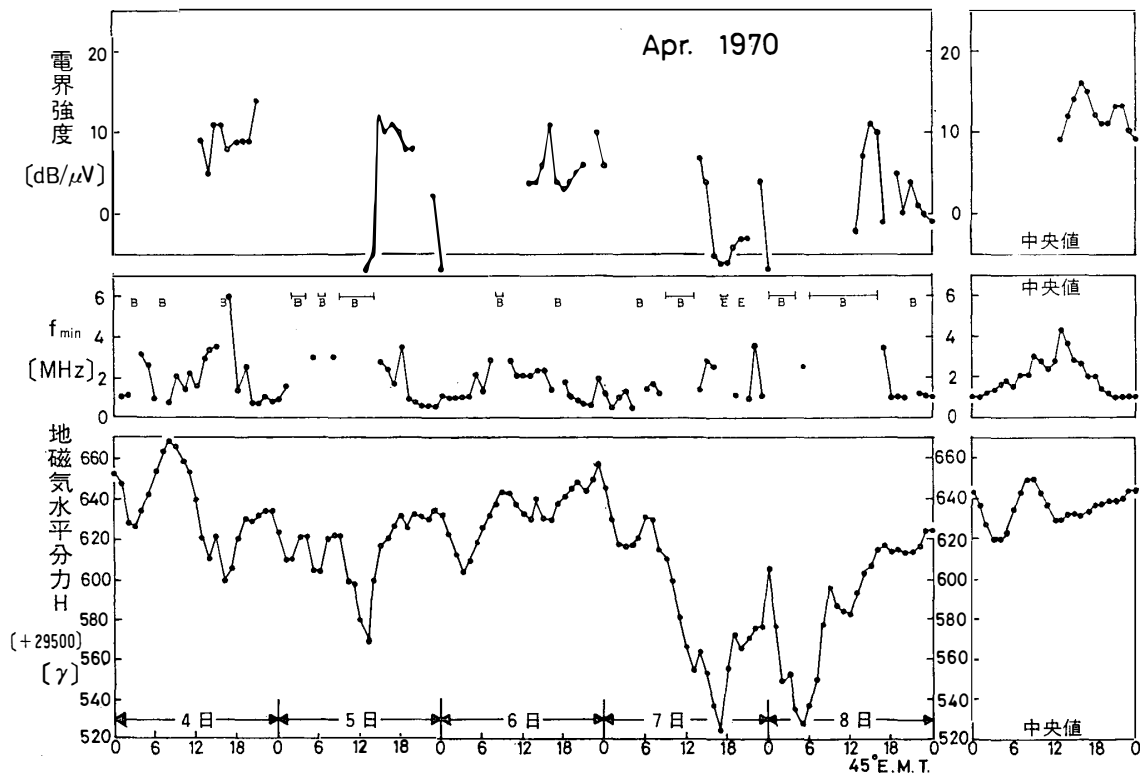


図 5 (1)

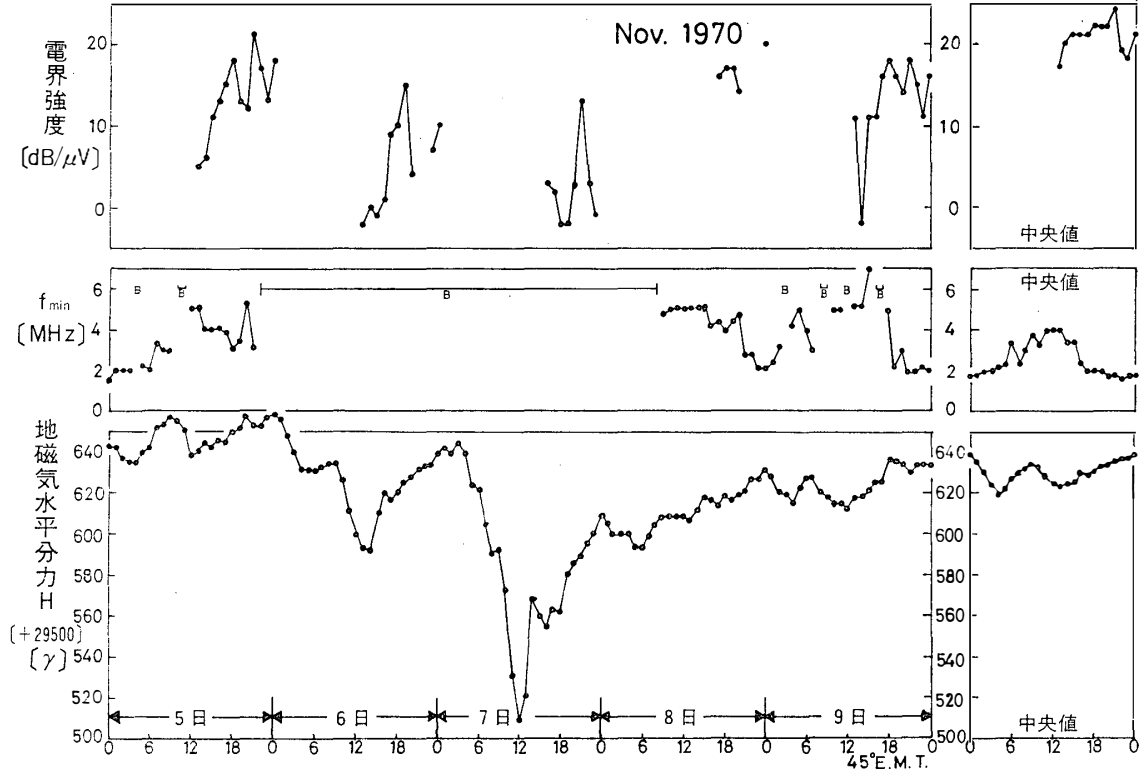


図 5 (2)

図 5 (1), (2) 電界強度の測定値と f_{min} および H との比較

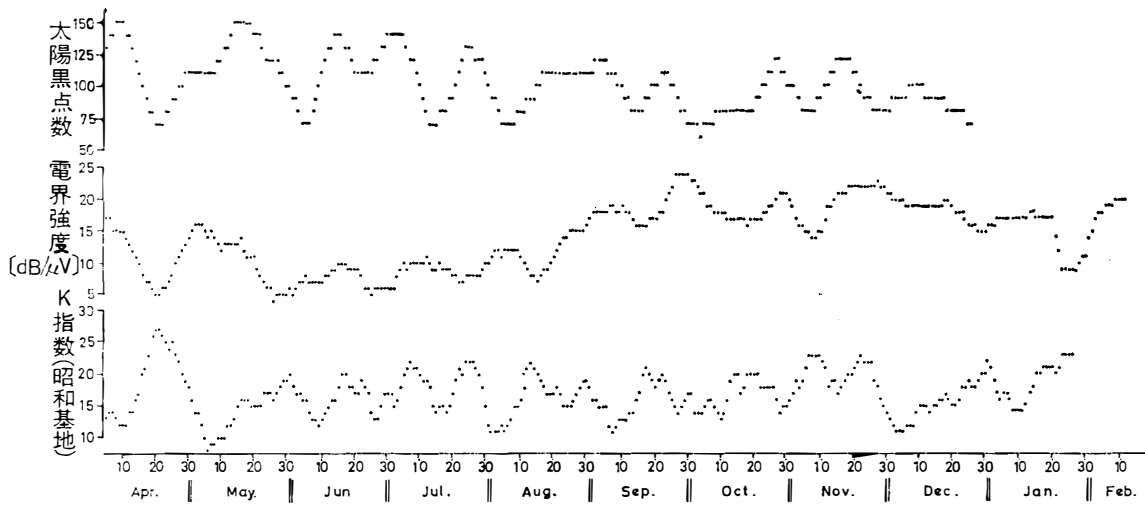


図 6 電界強度の測定値と太陽黒点数および K 指数との比較

- (2) 夜間の信号は表回りよりも昼間側の裏回りを含む off path によって受信される.
- (3) 伝搬モードは電離層の状態によって変り、昼間は E層反射も考慮しなくてはならない.
- (4) 急始磁気あらしの主相において急激に電界強度が低下する. 通信障害を生ずる要因の一つになっている.
- (5) 太陽黒点数と地磁気 K 指数とは逆相関になっているから、今後南極通信を運用するに当り、地磁気 K 指数から MUF が予報できる可能性がある.

なお、この実験において昭和基地はオーロラ帯にあるので、当然、オーロラ帯による異常吸収を考慮しなくてはならないであろう。

ブラックアウトの発生しやすい時間は朝であり、もっとも発生しにくい時間は夕方である。したがって、この測定ではデータが夕方から夜間にかざられているので解析を行なわなかった。将来、オーロラ帯の異常吸収についても測定研究を行なうことを計画している。

謝 辞

この報告をとりまとめるに際し、種々助言をいただいた電波研究所糟谷部長そして新野電波予報研究室長に対し深く感謝いたします。

文 献

- CCIR(1970): CCIR interim method for estimating sky-wave field strength and transmission loss at frequencies between the approximate limits of 2 and 30 MHz. Report 252-2, New Delhi, 202 pp.
- DAVIES, K. (1965): Ionospheric radio propagation. United States Department of Commerce, Washington, D. C., 470 pp.
- 前田憲一 (1967): 地球の物理. 新天文学講座 V, 恒星社, 東京, 306 pp.

(1972年5月4日受理)