

6. 昼間における中波帯放送波の伝搬特性

根本長四郎* 渡辺 昭二** 石川 三郎*** 大内 長七****
(昭和 50. 7. 15 受理)

6. DAYTIME PROPAGATION CHARACTERISTICS OF
BROADCASTING RADIO WAVES IN THE MF BAND

By

Choshiro NEMOTO, Shoji WATANABE, Saburo ISHIKAWA and
Choshichi OUCHI

As a part of the study of the ionospheric absorption of radio waves, field strength measurements of the sky-wave component of MF radio waves have been made at Hiraiso on a routine basis since February 1969.

The transmitter (750kHz, 100kW) used for this measurement is located at Sapporo, 740 km north of the receiving site.

The seasonal features of local time variations, and the dependence of the field strength both on the solar zenith angle and solar activity, are derived from the measurements.

1. ま え が き

中波帯電波の空間波は、主として電離層E層で反射されて伝搬するため、昼間はD領域を通過する際に大きな吸収を受ける反面、夜間はD層の消滅と共に損失少なく非常に遠距離にまで到達する。従って空間波の利用は主に夜間にあり、研究対象としても夜間の伝搬に集中しているのが現状である。

電波研究所平磯支所においては、短波及び中波帯での電離層吸収の研究を組織的に行ってきたが、その一環として中波帯放送波の電界強度測定を、1969年から開始し現在に至っている。

中波帯放送波は、過大な放送局数に加えて競合増力する送信電力、更には最近の発展途上国の割当要求等の諸問題をはらんで、国際的に再編成を迫られている。このような情勢の中で、電波監理局と電波研究所との中波放

送伝搬に関する協同調査計画が発足した(田尾, 1975)わけであるが、前記平磯支所における測定をこの調査計画の一部として取上げ、昼間時の空間波伝搬に主眼を置いて解析したのが本報告である。

測定は現在も引き続き実施しているが、本報告では、1969年2月から1973年2月までの4年間のデータを用い、電界強度の長期変動、季節変化特性、太陽活動度依存を求め、また、電界強度から換算した電離層吸収量と太陽天頂角との関係についてのべている。

2. 送 受 信 諸 元

送信局; NHK札幌第2放送

地理的位置, 141°20' E, 43°05' N

周波数, 750kHz

電力, 100kW

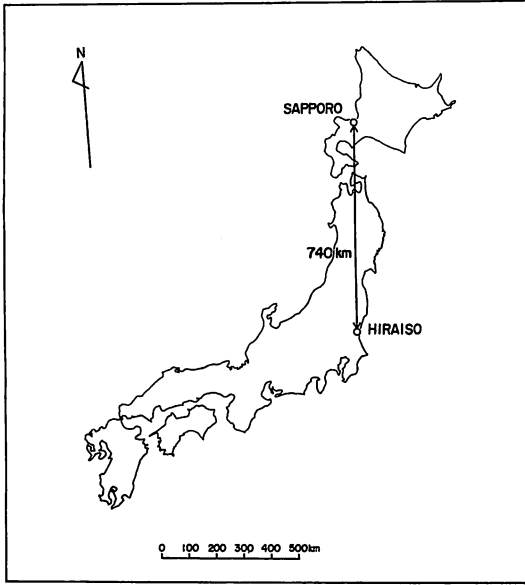
受信局; 電波研究所平磯支所

地理的位置, 140°37' E, 36°22' N

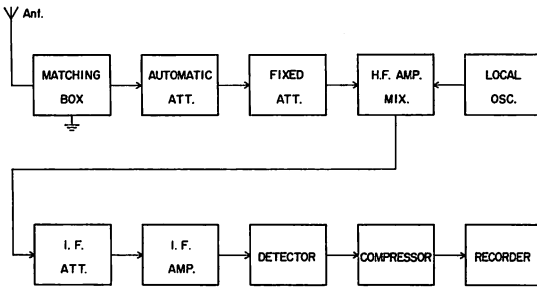
送受信点間距離; 740km

* 平磯支所超高層研究室 ** 沖繩電波観測所

*** 調査部国際技術研究室 **** 大吠電波観測所



第1図 送受信点の地理的位置



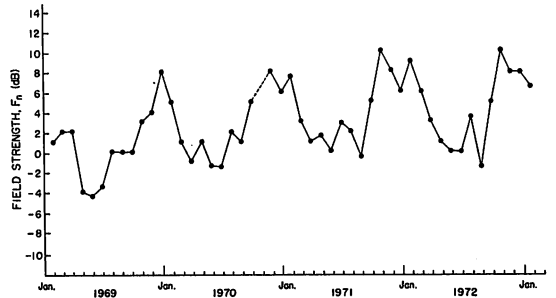
第2図 受信機のブロックダイアグラム

伝搬路方位(受信点→送信点); 北から4°24' 東
送受信点の地理的關係を第1図に示した。

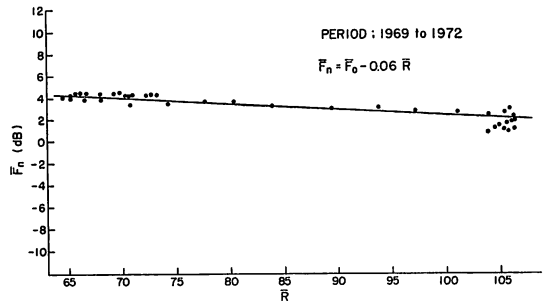
3. 測定 の 概 要

受信アンテナは、水平長40m、高さ8mの逆L形であり、その出力は整合トランスを経て受信機に導かれた。受信機のバンド幅は約10kHz(-3dB)であり、検波出力を対数圧縮してペン書き記録計に記録した。受信系のブロックダイアグラムを第2図に示す。電界強度の日変化の振幅がかなり大きいので、強度値を精度よく読みとるために、日出時と日没時に30dBの減衰器調整を自動的に行った。

受信信号は、最大約15dBにわたるフェージングを伴う。電界強度値は、1時間内の頻度50%の値である。受信機入力電圧の較正は、標準信号発生器を用いて毎日1回行った。この入力電圧を受信電界強度と関係づけるためのいわゆるアンテナ較正には、予め標準磁界発生器で較正された、ループアンテナ付携帯型電界強度測定器を



第3図 電界強度正午値の長期変化特性



第4図 正午における電界強度(\bar{F}_n)と太陽黒点数(\bar{R})との関係(\bar{F}_n, \bar{R} はそれぞれ12か月移動平均値)

用いた。較正の方法は次の通りである。受信電界の安定している昼間時に、受信アンテナに比較的近い屋外に携帯型電界強度測定器を置いて受信波の電界強度 E ($\mu\text{V}/\text{m}$) を測定する。一方同時に受信機でも受信波を測定し、標準信号発生器の出力と比較して受信機入力端電圧 V (μV) を得る。受信波は昼間時といえども空間波が卓越しているため、受信電界強度はフェージングを伴って変動する。しかし実際問題としては、アンテナの相違による偏波の影響があって、この同時測定値の差は必ずしも一定しないが、同時測定を繰返し、約 $\pm 2\text{dB}$ の偏差をもった平均値として、 E と V との差であるアンテナ係数 K を求めた。こうして求めた $K(=E-V)$ は -24dB であった。

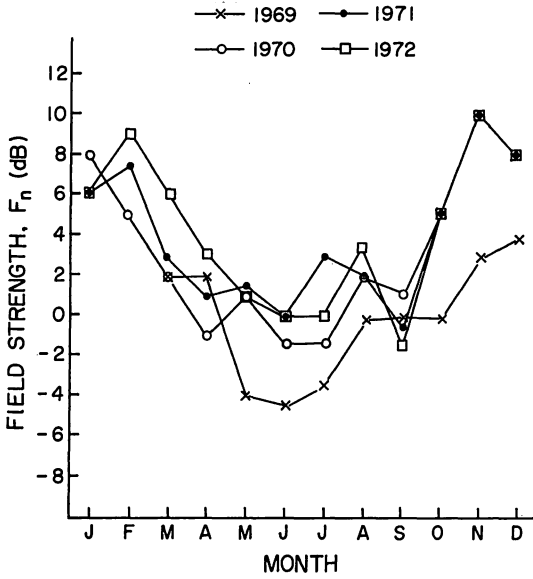
以下の解析では電界強度の測定値を更に送信電力1kWに対する値に換算(-20dB)して用いている。

4. 解析 結果

4.1 電界強度正午値の長期変動と季節変化

1969年2月から1973年2月までの、正午における電界強度の月中央値を第3図に示す。この図に見られるように、電界強度は冬季に高く夏季に低い一年周期が卓越し、その差は約10dBである。そしてこの期間は太陽黒点の減少期にあっているが、電界強度はそれと反対に徐々に高くなってゆく傾向が認められる。

電離層の電子密度が太陽活動度の影響をうけること



第5図 電界強度正午値の季節変化

は、すでに知られている。中波電波の吸収はD領域内で起こるので、太陽活動の減少に伴うD領域電子密度の減少は、電界強度の増加をもたらす筈であり、観測された傾向は納得できるものである。この関係を定量的に求めるために、正午における電界強度の月中央値 (F_n) と、同月の相対太陽黒点数 (R) の、それぞれの12か月移動平均値 (\bar{F}_n, \bar{R}) をとり、両者の関係を図示したのが第4図であり、最小自乗法により得られた関係式が次式である。

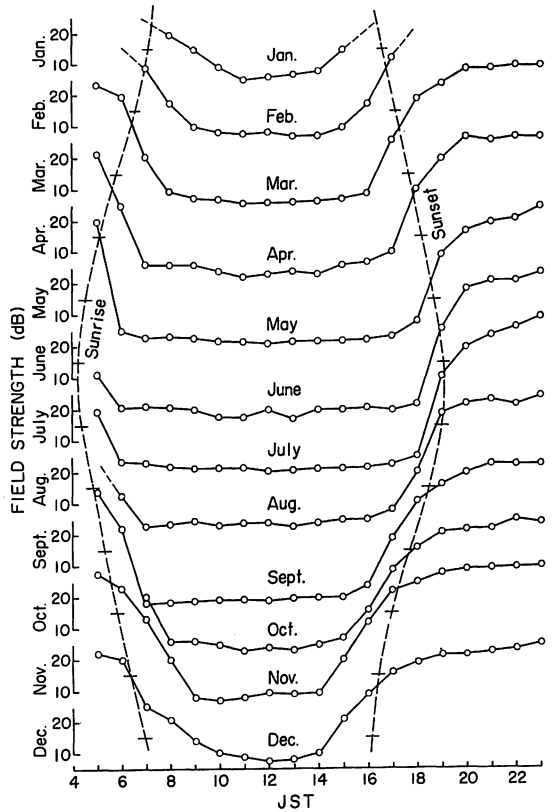
$$\bar{F}_n = \bar{F}_0 - 0.06\bar{R}$$

ここで \bar{F}_0 は太陽黒点数を0とした時の電界強度値である。 \bar{F}_0 の値は8dBであるが、今回の解析のように、比較的せまい太陽黒点数の変化幅 ($R=65\sim 105$) から、 \bar{F}_0 を決定することは危険であり、また、電界強度絶対値よりも太陽活動への依存度に重点を置いたので、上式には \bar{F}_0 のままで示した。

次に季節変化についてのべる。

すでに第3図に明らかなように、電界強度の正午値は冬に高く、夏に低い、太陽天頂角に比例した変動を示す。第5図は季節変化を見易くするために、4年分を重ね合わせて月別にプロットした。図によると9月が前後の月に比して一般に低い。春秋は地磁気活動度が高く、また中波電界強度が地磁気の影響を受けることも知られているが、この4年間の地磁気指数を調べた結果からは、両者の明確な対応は見出されない。

次に中短波帯の電波に対して、天頂角から期待される値よりも異常に大きな吸収が現れる、いわゆる冬季異常



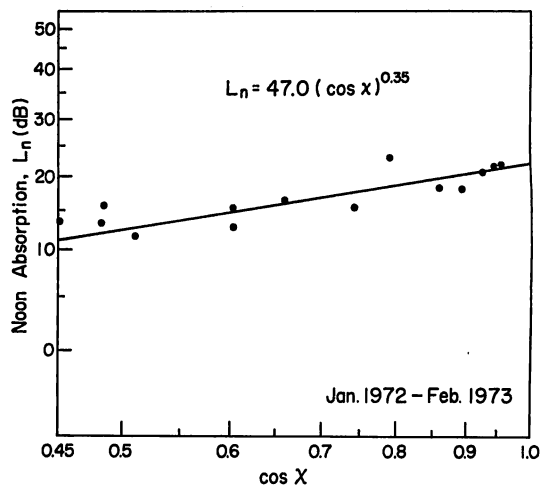
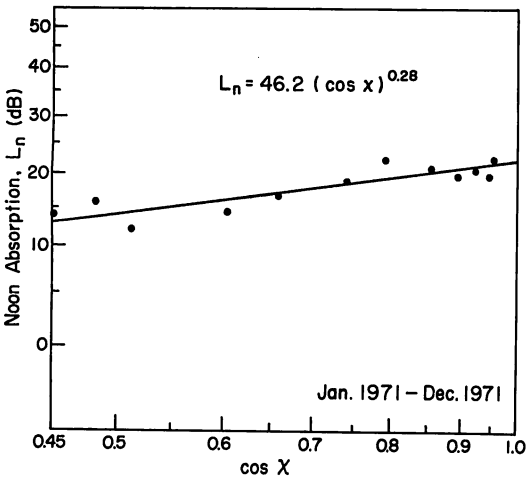
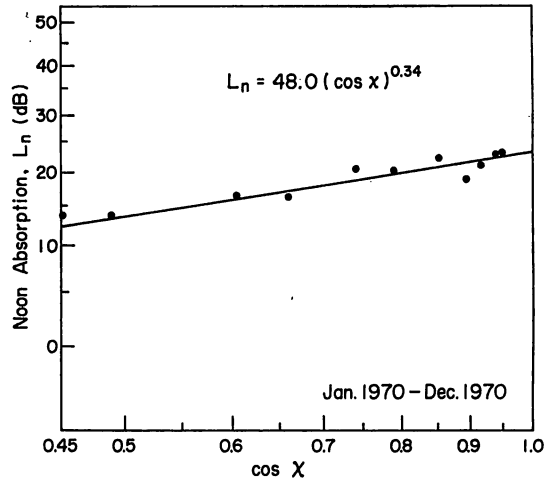
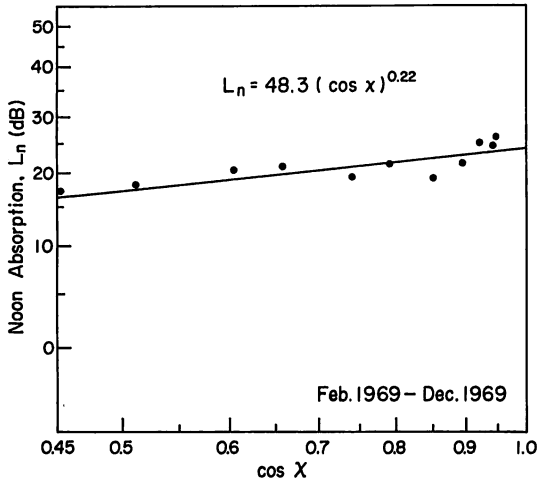
第6図 1972年の電界強度月中央値の日変化

吸収現象が観測されたかという点についても考察したが、第5図に見られるように、冬季に特に電界強度が低下する傾向も明瞭には見出されなかった。この点に関しては、電波吸収量に換算した値をもとに、4.2節で改めて言及する。

4.2 太陽天頂角との関係

1972年を例にとり、各月毎に電界強度の日変化を図示したのが第6図である。図の縦軸は電界強度値、横軸は地方時 (135° E. M. T.) であり、破線は地上における日出没時刻である。図によると夏季は日中長時間にわたり、ほぼ一定の値で推移している。その原因として地表面波の混入が考えられるので、この点に関して検討を行った。

まず、CCIRの地表波計算図表 [CCIR, Rec. 368-1, 1970] から読みとった地表波強度は、大地常数 $\sigma=10^{-2}\Omega/\text{m}$, $\epsilon=4$ に対しては、-3dB, $\sigma=3\times 10^{-3}\Omega/\text{m}$, $\epsilon=4$ に対しては -21dBであった。一方道正他 [1967] による日本全国の等価大地導電率地図によると、本伝搬路は $\sigma=10^{-2}$ の地域と $\sigma=10^{-3}$ の地域にわたっている。以上のことから余り確定的な結論は導くことはできないが、地表波強度は -10dB の程度であろうと考えた。



第7図 正午吸収量 (L_n) と $\cos \chi$ との相関 (χ : 太陽天頂角)

従ってフェージングパターンをも考え併せて、第6図の日変化は一応空間波の強度変化を表しているものと思われる。

次に太陽天頂角との関係を電波吸収量をもとに考察する。

吸収量の算出にあたっては、夜間の電界強度値は電離層の吸収をうけていない、いわゆる無減衰値であると仮定することが必要である。この仮定は、電離層への入射角が大きく(低仰角発射)しかも多重反射による遠距離伝搬を除いては正しいものと考えられる。この無減衰強度からある時刻の電界強度を差引いて、その時刻の吸収量を L とする。

今 L と $\cos \chi$ (χ は太陽天頂角) との関係を、

$$L = L_0 \cos^n \chi$$

の形で考察する。ここで χ は札幌と平磯の midpoint における値である。正午における吸収量 L_n の $\cos \chi$ に対する

関係を1年ずつに分けて図示したのが第7図である。図には測定値(黒丸)に適合する直線とこれを表す関係式も併記してある。

4.1 節で述べた冬季異常吸収の存在は、中波帯の上部においては明瞭に観測されている [大内他 1973]。その原因は、D から E 領域にかけてのイオン組成、温度、電子密度分布または成層圏の昇温に関連する等多くの説があり未だ明確にされていない。放送波帯の電波吸収にこの現象が観測されるか否かは、異常吸収の原因となる領域に関する情報を与えるので、 L と $\cos \chi$ との関係に注目した。

冬季異常吸収の存在は第7図から端的に見出すことができるはずである。すなわち、もし冬季異常吸収が存在するならば、図の冬季の吸収量 ($\cos \chi$ が0.5前後の値) は平均的な関係(図中の直線)から大きく上に外れるはずである。しかし第7図全体を通してこのような顕著な外

れは見出せない。従って冬季異常吸収は少なくとも本解析期間内には観測されなかったと結論する。また、 L_n と $\cos \chi$ との関係は平均的に $L_n = 47(\cos \chi)^{0.3}$ が得られた。

5. 考察と結論

本文では、測定された電界強度は空間波のそれであり、地表波の混入は無視できるという前提にたつて解析を進めた。しかし4.2節で述べたように、空間波と地表波の強度差は、夏季の日中は必ずしも大きいとはいえないかもしれない。第3図中の1969年の夏が最も低い強度を示しているわけであるが、計算した地表波強度を考慮すると、この程度の強度が本伝搬路で空間波として測定できる最低のレベルではないかと考えられる。

得られた結論を要約すると次のようになる。

1. 冬季の電界強度は夏季に比べて約 10dB 高い。
2. 太陽活動度の影響は、黒点数の変化で 65~105 という限られた範囲内ではあるが、正午の電界強度の12か月移動平均値として

$$\bar{F}_n = \bar{F}_0 - 0.06\bar{R}$$

の関係式で求められた。

3. また、電離層吸収の太陽天頂角に対する関係は

$$L_n = 47(\cos \chi)^{0.3}$$

で求められた。

4. 冬季異常吸収現象は認められなかった。

謝 辞

本報告をとりまとめるに際し、特別の御指導を頂きました田尾企画部長（前調査部長）および若井平磯支所長に深く感謝いたします。

参 考 文 献

1. 大内長七，根本長四郎，若井登，小角鉄弥，山崎一郎：IASY期間中のLORAN—A電波による電離層吸収の測定，電波研季報，第19巻，第100号，pp. 41—54，Jan. 1973.
2. CCIR XII th Plenary Assembly, Rec, 368—1, Vol, II, Part 1, pp. 217~223, New Delhi, 1970.
3. 田尾一彦：2. 中波帯放送波伝搬特性の調査研究経過の概要，電波研季報，第21巻，第113号，pp. 51—53, 1975.
4. 道正喜一，清水富次，日野秀男：全国等価大地導電率特性について，電気通信学会雑誌，第50巻，第2号，pp. 189—195, 昭和42年2月.

