

東京—昭和基地間の短波伝ぱん特性

長谷川貞雄*・竹内鉄雄**・磯部 武***†

CHARACTERISTICS OF THE SHORT WAVE PROPAGATION FROM TOKYO TO SYOWA STATION, ANTARCTICA

Sadao HASEGAWA*, Tetsuo TAKEUCHI** and Takeshi ISOBE***†

Abstract

Measurements of the field intensity of 6055 KHz (NSB, Nippon Short Wave Broadcasting), 9595 KHz (NSB) and 15300 KHz (NHK, Radio Japan) were made at Syowa Station in Antarctica, from April 1966 to January 1967.

Results were compared with the calculated values by the two methods developed by K. MIYA and CRPL (Central Radio Propagation Laboratory), and with the ana-

lyzed result by MIYA's method on the whole. It was found that the propagation of the received radio wave was always controlled by MUF (Maximum Usable Frequency) of the ionosphere at Syowa Station, and that the propagation was also made by the Es (Sporadic E) mode at near midnight in winter there.

Also, we found that the propagation of 9595 KHz had the best condition of all the frequencies measured through all seasons.

1. 緒 言

昭和基地は、現在、東京および外国基地と連絡を行なうのに、短波による無線通信を利用している。しかし、短波帯の極地域伝ぱんはまだ未知の点が多く、不安定で信頼性に乏しいきらいがある。

昭和基地の重要な通信回線のひとつに、東京回線があり、この回線の伝ぱん特性については、まだほとんど手がつけられていない。過去におけるこの回線の短波の測定は第3次(1959-60年)の越冬時に WAKAI ら(1961)による特定の時間における JJY の測定がある。

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

† 電波研究所秋田電波観測所 Akita Radio Wave Observatory, Tegata-Sumiyoshi-cho, Akita

*** 電波研究所平磯支所 Radio Research Laboratories, Hiraiso Branch, Isozaki, Nakaminato.

のみで、ほかに「宗谷」の船上観測として、栗城（1961）と田之畑（1963）の測定結果があるが、測定点が移動し、測定時期が限られていた

今回は、第7次越冬（1966-67年）の際、日本短波放送（NSB）と NHK 国際放送の電波を約10カ月間にわたって受信し、電界強度の連続測定を行なった。この測定結果は宮（1952）および CRPL (Central Radio Propagation Laboratory) の計算式(DAVILS, 1965) による電界強度の値と比較し、解析を行なったか、得られた結果を、今後のこの回線の設計資料として報告する

2. 測 定 の 概 要

2.1 測定期間

1966年4月22日に測定を開始し、1967年1月31日に終了するまでの約10カ月間。しかし、周波数により、それぞれ測定期間および測定時間は変更があった（図1参照）

2.2 測定場所

南極昭和基地（69.0°S、39.6°E）

2.3 測定電波

1. 期間にわたって連続して放送する電波であること、および周波数特性を考慮し、日本短波放送（NSB）と日本放送協会（NHK）の国際放送を選出した

放送局諸元をそれぞれ表1および2に示す

表1 日本短波放送（NSB）

周波数 (KHz)	放送時間 (J.S.T.)	出力 (kW)	期 間 (月)	空 中 線			
				型 式	方位(度)	仰角(度)	利得(db)
6055	0500~2000	50	5, 6, 7, 8	1/2) Holoed dipole 型	233	53	5.1
	2000~0050	10	"		"	11.5	-2.6
	0500~1900	50	3, 4, 9, 10				
	1900~0050	10	"				
	0500~1800	50	1, 2, 11, 12				
	1800~0050	10	"				
9595	同 上	同 上	同 上	同 上	同上	30	5.3
						11.5	1.1

L.T. = J.S.T. - 6h

表 2 NHK国際放送

周波数 (KHz)	放送時間 (J.S.T.)	出力 (kW)	期 間 (月)	空 中 線				
				型 式	方位 (度)	仰角 (度)	利得 (db)	
9560	2100~0530	100	11, 12, 1	EU8-HFT	330	11	11.8	ヨーロッパ向
11815	1900~0730	100	6~10	SS6-RH	240	13	8.5	東南アジア向
15195	0500~0730	100	11, 12,	SS6-RH	240	9.5	12.3	東南アジア向
15300	1000~2230	100	6~10	EU6-HFT	330	11	11.8	ヨーロッパ向
	1000~2030	100	11~1	"	"	"	"	ヨーロッパ向
	ただし							
	1500~1730	200	6~1	EU6 EU7-HFT	"	"	14.8	"

L.T=J.S.T-6h

さらに両放送局の送信位置を示すと次のとおりである。

日本短波放送 埼玉県戸田市喜沢南

NHK 国際放送 茨城県猿島郡三和村 KDD 八俣送信所

2.4. 測定装置

受信空中線：半波長タフレット (9595 KHz 専用)

逆 L 型 (高さ 10m, 水平長 約30m)

測 定 器：ハマーランド型全波受信機 (日本電気製, 9595 KHz 専用)

NRD-1E 型全波受信機 (日本無線製).

記 録 計：直動式 KRB 型 (横河電機製, 9595 KHz 専用).

電子平衡式 ER 型 (横河電機製)

受信空中線の利得は、各周波数について、それぞれ実測により較正を行なった。また受信電界強度に対する較正は、標準信号発生器により毎日 1 回実施した。

測定中、受信機の通過帯域幅は 3 KHz を用いた。受信機出力は動作範囲約 45 db の対数圧縮器 (2 台基地で製作) を介して記録した。

3. 測 定 結 果

電界強度の測定結果を 6055 KHz, 9595 KHz と 15300 KHz の周波数ごとに示すと、図 1 の(a), (b)および(c)となる。ここで横軸は昭和基地地方時 (L.T.) および J.S.T., 縦軸の上段は受信電界強度 (E db) である。測定値は記録紙から 10 分ごとに準最大値を読み取り、その値の月の中央値と最大値を図に示したものである。

測定時刻は季節および周波数により異なり、図 1 の中段に白枠で示した。ここで、測定中でありながら測定値が図示されていない時刻では、電界強度の値が受信機最低感度以下

(ZAN) となって受信できない場合を示している

また同図には、東京および昭和基地における月の中日の夜間時刻を斜線によって示している。両方の斜線の重なっている時間が夜間伝ぱん路となる。

さらに図1の下段には、月初に、測定回数に対するその時刻の電波の受信率(R%)を示す。ここで受信率が50%以下の月中央値はZAN となって、当然図に示されないが、混信による測定不能なデータを除いた場合は、中央値が示されている。

以下3つの周波数帯に分けて伝ぱん特性を説明する。

3.1 6055 KHz の伝ぱん特性

6055 KHz の測定結果は図1(a)に示されている。電界強度の値は4月から6月にかけて最も強く、12月に向かって徐々に弱くなる。12月はその値が最も低く、月中央値はZAN となって図示できなかった。

測定時間は月によって異なり、電界強度が高く、しかも長時間受信可能な月に対しては全放送時間にわたり、その他の月については受信状態によって適宜短縮した。

電界強度の日変化の値は、1800~2300 L.T. の放送中止時間を除いて、昭和基地の地方時の午後に高くなり、年間を通して受信可能な時刻は1700 L.T. 前後、逆に全く電波が受信されない時間帯は0100~0900 L.T. である。

受信率 R は電界強度の強さに比例する傾向があり、強度の場合と同じく4~6月に高く、12月に最も低くなっている。

なお一般的に、昭和基地では1800 L.T. 頃から基地の経度に沿う方向より到来する電波によって混信が増大し、0000 L.T. 前後の測定は困難となることが多く、この現象は9595 KHz についてもほぼ同様であった。

3.2 9595 KHz 伝ぱん特性

6055 KHz と同一内容の同時放送であるが、電界強度はかなり強く受信され、平均して受信時間が長く、東京-昭和基地間の通信に最も適した周波数帯と考えられる。

伝ぱん特性の測定結果は図1(b)に示されるとおりで、季節変化がかなり顕著である。すなわち、測定期間を通して最も高い電界強度の値を示す月は6月前後で、1400 L.T. 頃を頂点として1100~1600 L.T. の間が受信率も高く、最も良好である。しかし、この季節を除くと電界強度の最高値にはあまり差が認められない。なお9月の測定値は他の月に比して最も低く、さらに受信時間が短い。これは、9月に地磁気擾乱が特に多く発生したためで、この

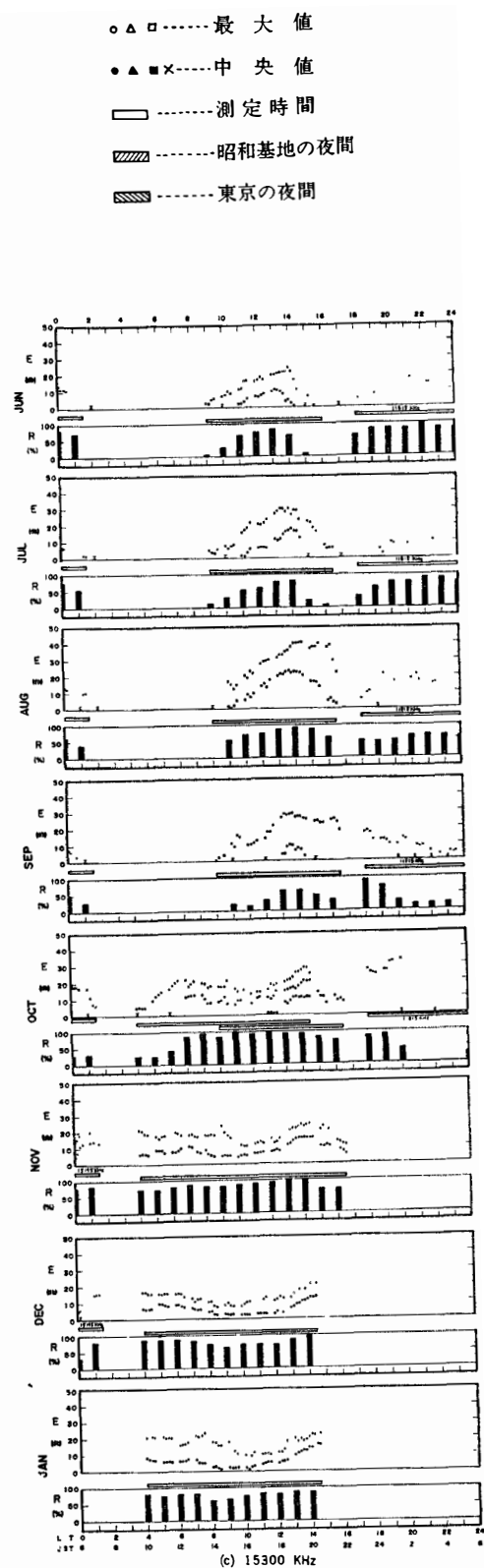
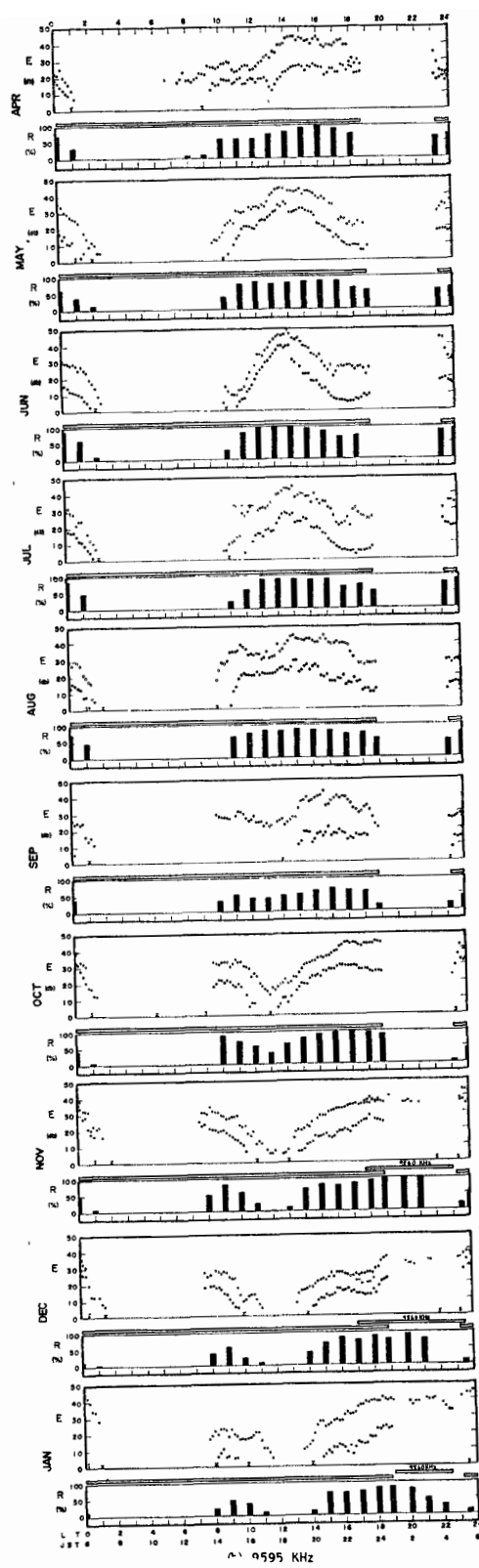
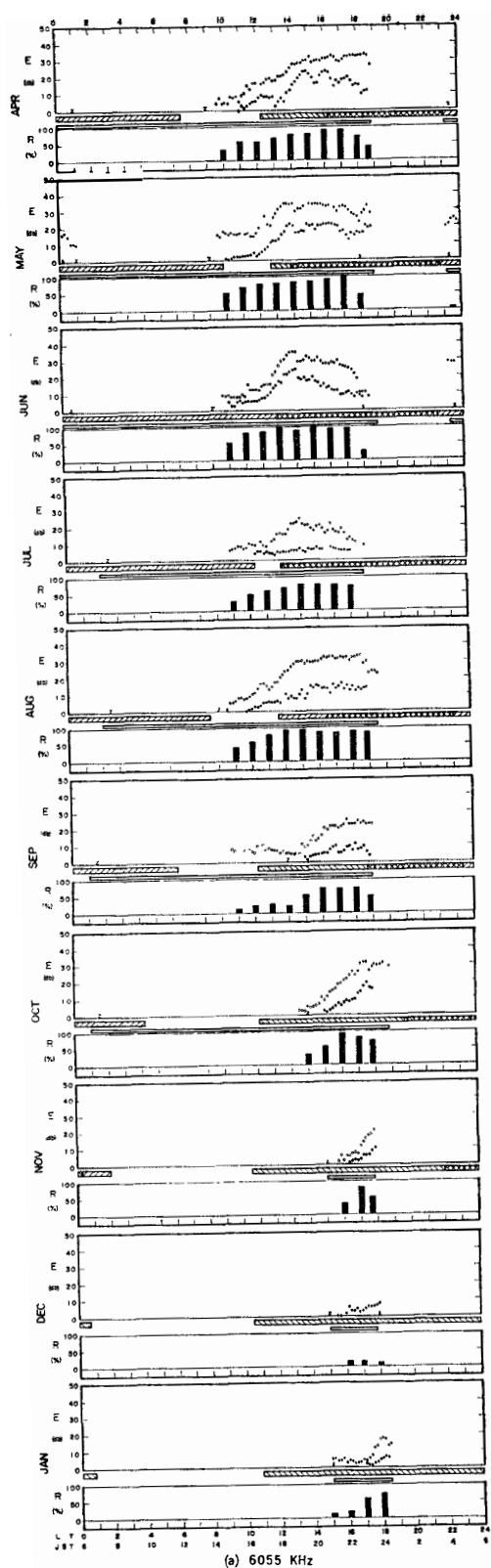


図 1 受信電界強度(E)と受信率(R)

月を除いて検討する。

測定電波の受信時間は、季節的に非常に変化が見られ、6月の測定値の山はしたいに平坦になり、12月には逆にその時刻が谷となって受信率が0となる。12月の測定値は谷を境に0700～1100 L.T. と 1400 L.T. 以後の二つのグループに分かれている。この後者の受信時間帯の測定値は6月と位相が逆となり高い値となる。この傾向は×印で示した9560 KHzの補足の測定値が示している。しかし、この時間帯は他局の混信妨害が入り、明瞭度が悪く、受信率Rが低下している。

0200～0700 L.T. の時間は6055 KHzと同じく、年間を通してこの電波は受信されない。

3.3. 15300 KHzの伝ぱん特性

15300 KHzの測定結果を図1(c)に示す。この電波の測定は、6月～10月の間は通信棟、10月以降は電離棟で、それぞれ別の受信装置によって行なった。

測定結果は通信棟の場合を■印、電離棟の場合を●印で示した。また周波数は異なるが、11815 KHz(×印)と15195 KHz(▲印)の測定結果も同図に示した。

10月の通信棟と電離棟との測定結果を比較すると、前者の受信総合利得は後者より大分低いことがわかるから、この利得の差を考慮して、各月の電界強度を比較する必要がある。

測定結果から、電界強度の値に季節的な差異はあまり見られず(9月の値は前節と同じ理由で除く)、わずかに7,8月頃にその値が高くなる程度である。

しかし、測定電波の受信時間は季節変化が大きく、6055 KHzとは逆に、6月頃が短く、12月は長い。

4. 計算値と測定値との比較

4.1. 計算方法

一定の伝ぱん通路が与えられているときの、~~すなわち~~ 受信点に到来する電波の電界強度Eはdbで表示すると基本的に次のような式で表わされる。

$$E = E_0 + P + G - \Gamma_1 - \Gamma_2 - \Gamma_F$$

ここで

P: 送信電力 (1kW=0 db)

G: 送受信空中線系の利得

Γ_E : 大地反射損失

Γ_1 : 電離層を突抜ける際に受ける減衰量 (non-deviative absorption)

I_s 電離層から反射する際に受ける減衰量 (deviative absorption)

E_0 電波の伝はん通路長に対する無減衰電界強度

上式の実用的な計算方法として、米国の CRPL 法と宮によって提案されている方法とが現在広く用いられている

この両者の計算方法で、最も異なるのは、 I_s の値の扱い方である。すなわち、宮法では、ある電離層の状態が所定の電波 f を反射し得るか、または突抜けるかの臨界付近、すなわち $p \approx 1$ ($p = f/\text{MUF}$, ここで f は使用周波数、MUF は最高利用可能周波数) について I_s の値を求めているのに対し、CRPL 法ではこの境界付近の値を考慮せず、電波が伝はん可能か否かの二つの状態に分けて I_s を考えている

4.2 測定値の正規化

東京から昭和基地に向かう電波は図2に示す矢線の大圏路に沿って伝はんするか、ヨーロッパ向電波と東南アジア向電波は昭和基地方向に対しては大圏路に沿う成分の電波が伝はんするものと仮定した

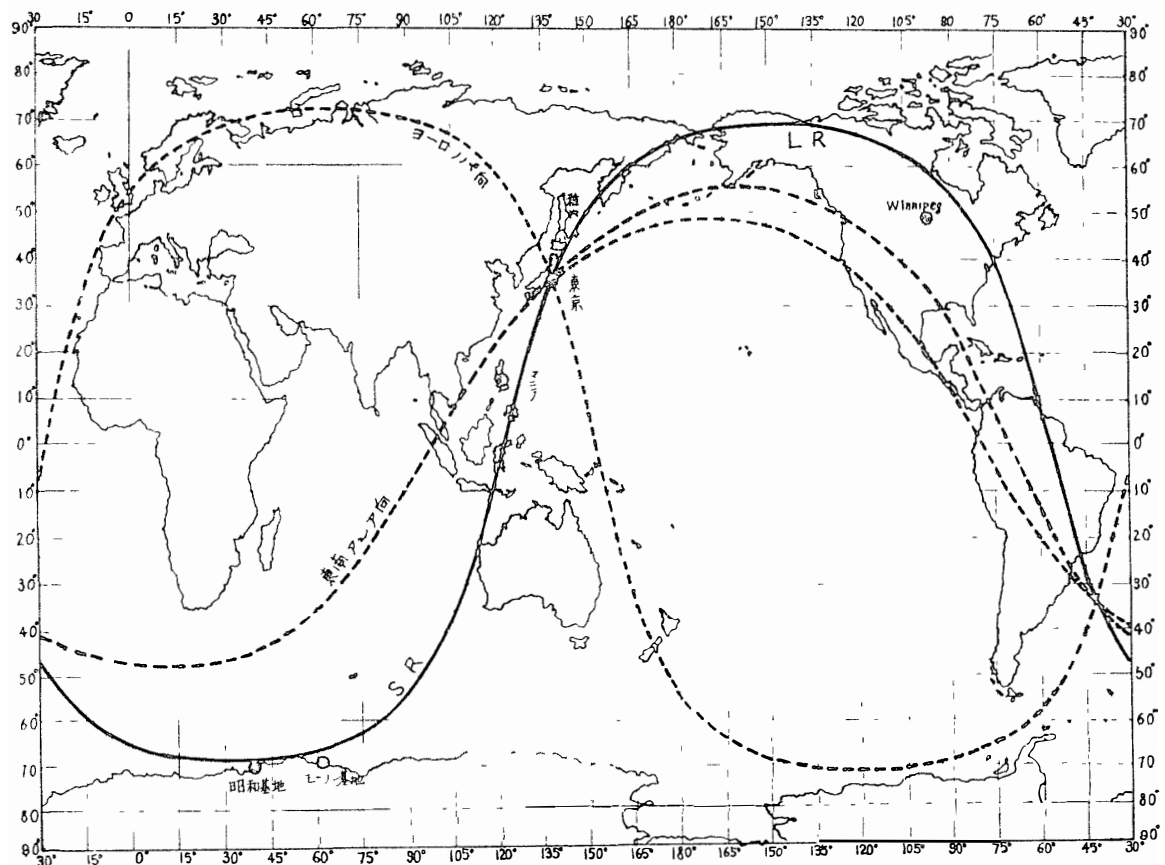


図2 電波伝はんの大圏路

図1に示されている電界強度の測定値から得られた実効輻射電力 1 kW, 空中線利得 0 db に対する値 E' を季節特性として6月, 9月と12月について図3に示す. ただし, この場合の送信側諸元は表1および表2により, これが不正確なときは測定値の比較から推定し, 受信系空中線はそれぞれ実測によって求めた値により補正を行なった.

測定値を計算値と比較する場合, 電離層の擾乱の影響を受けたテータを取り除くために, 地磁気のK-indexによって電離層の状態を判別した. そこで柿岡地磁気観測所と, 極地特有の polar cap absorption を除くため, 昭和基地のK-indexの値を用い, 両所の観測値が同時に index 2 以下となる日を静隠な状態として, この日の測定値のみを使用することにした.

図3に示されている測定値は地磁気擾乱の影響を除いてあるから, 図1に見られた9月の低い測定値は現われず, 季節変化特性が明瞭となっている. また3周波数の欠測時間におけるテータを補うために, 他の周波数の補正値を記入したが, この値によって, さらに日変化特性が明らかとなっている.

4 3 CRPL方式による計算値との比較

図3は正規化した測定値と, CRPLの方法による1kWの輻射電力に対する電界強度の計算値 E' (db)を示す. ここで, 太い線が表廻り (Short Route) 伝ぱん, 細い線は裏回り (Long Route) 伝ぱんを示し, 点線はMUFが所定の電波の伝ぱんに対して24時間にわたって有効な場合で, F_2 がわすかな値となり, 最も良好な伝ぱん時の電界強度を示す. 実線はcontrol point法により, 昭和基地のMUFと, S.R. 伝ぱんの場合はマニラ, L.R. 伝ぱんの場合は稚内のMUFの値と比較して, 低い方の値により求めた伝ぱん曲線である. ただし, 計算にあたっては東京—昭和基地間の大圏路のうち, S.R. 伝ぱん路 14200km を4回反射, L.R. 伝ぱん路 25800 km を7回反射 (1-Hop- F_2 の距離はいずれも約3700km) で電波が伝ぱんすると仮定した.

また, 上述の受信側のMUFは昭和基地の値を用いたが, これは伝ぱん路の最終反射点がある. S.R. 伝ぱんの場合, Mawson 基地沖となり, Mawson 基地と昭和基地の6月のMUFの値を比較した結果, その差異があまり認められなかったのて, テータのそろう昭和基地の静隠日の値を用いることにした.

この計算方法によれば, 伝ぱん様式として, 6055 KHz と 9595 KHz の両波は S.R. 伝ぱんのみが可能であり, L.R. 伝ぱんは 15300 KHz に現われている.

測定値と計算値曲線とを比較すると, 電界強度の値と受信時間が共によく一致する例としては, 12月の 9595 KHz と 15300 KHz がある. 後者の場合, control point の値として,

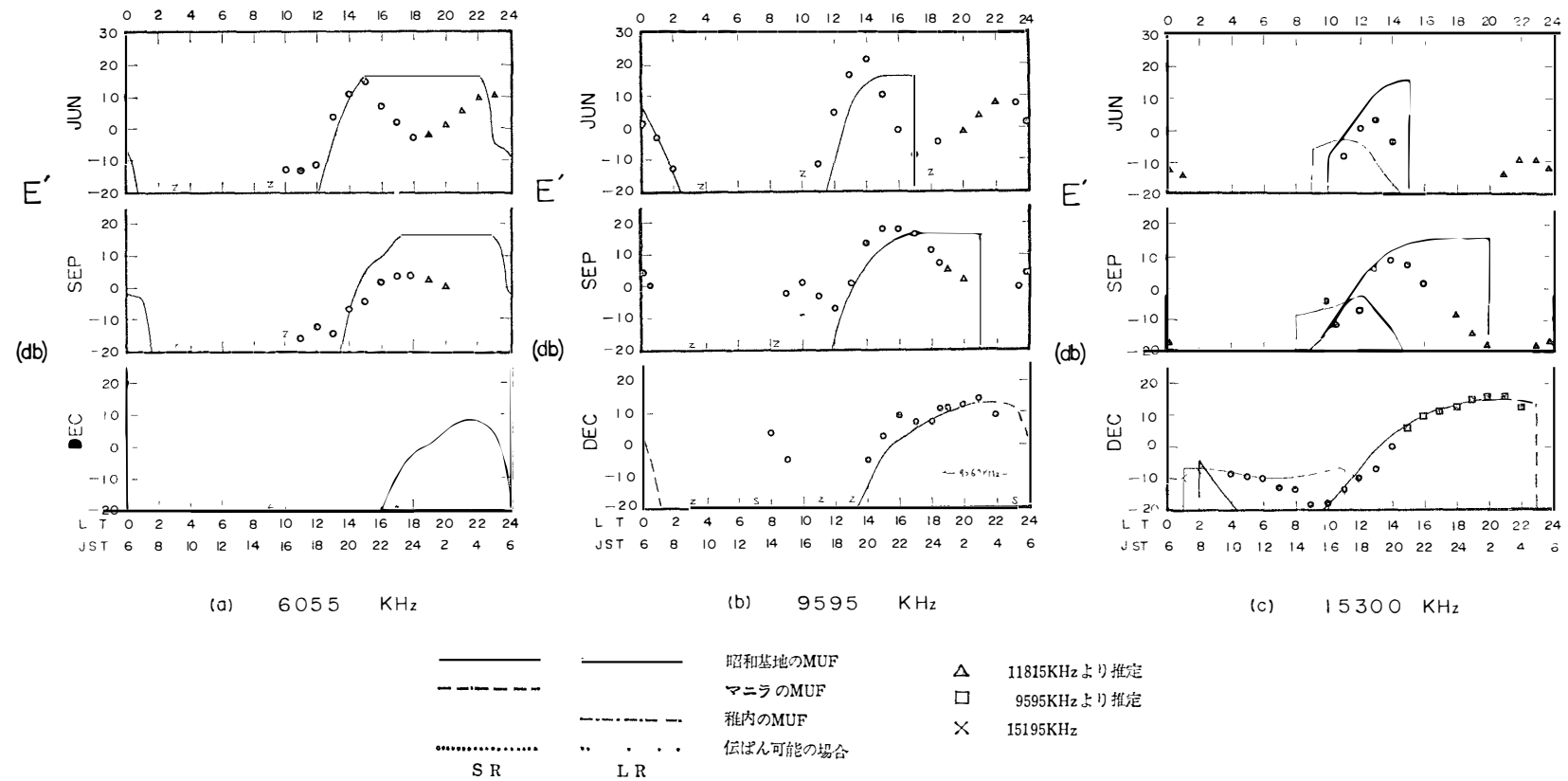


図3 CRPLの方法による計算値

マニラの MUF 値を用いる時間が若干現われるが、大部分は昭和基地の値である。

逆に不一致な例には、同じく12月の 6055 KHz がある。これは測定値が何らかの原因によって著しく吸収を受けているためである。

他のテータについて、測定値の受信時間を考察すると、測定値は計算値より長い時間におたって受信される。すなわち 9595 KHz より低い波では 1000 L.T. 前後、より高い波では 2000 L.T. 頃、またはそれ以後の時間で両者は一致しない。

更に、両者の相違点をあげれば、強度 E' の変化の形があまり一致しないことである。

4.4. 宮の方法による計算値との比較

前節の結果で、9595 KHz 以下の周波数では 1000 L.T. 頃の測定値が計算値と一致しなかったが、この原因として L.R. 伝ぱんの存在が考えられる。そこで、宮による計算法で $F_2 \approx 0$, すなわち F_1 のみを考慮したときの電界強度の値を求め、点線によって図4に示した。この結果、6055 KHz は CRPL の場合と同じく L.R. 伝ぱんは存在しないが、9595 KHz では可能となり、測定値と一致する。

F_1 の吸収を受けた電波は、つぎに各反射点のうち、最も低い MUF の値を持つ反射点において減衰量 F_2 を受ける。

S.R. 伝ぱんについて解析した結果は次のようになる。

1. 6月の季節は前節と同じく、昭和基地の MUF の値が最も低く、この値により計算した結果を図4に実線で示す。ここで太い線が S.R. 伝ぱん、細い線が L.R. 伝ぱんの場合の値である。

計算値と測定値とを比較した結果は、ほぼ前節と同じく、1400 L.T. 前後はよく一致しているが、6055 KHz を除いて、1900~0200 L.T. の間は計算値曲線がなく、 F_2 層伝ぱんでは測定値を説明することができない。この時間帯は昭和基地の MUF が非常に低くなり、6055 KHz では伝ぱん可能であっても、9595 KHz より高い周波数には反射し得なくなる。しかし、この時間には、sporadic E層 (Es) が強く現われるため、この層による伝ぱんを考えて計算を行なってみた。すなわち、Es 層の MUF の値による計算値を破線で示したが、その結果は測定値とかなりよく一致している。

2. 9月の場合の計算値曲線を同じく図4に示す。これは6月と同じく、この季節の MUF の最も低い反射点である昭和基地の値による計算値である。そして、この計算値の値は全般に測定値より高く、また夜半における Es 層伝ぱんの存在も示しているが、6月に比較して弱く、この伝ぱん様式はあまり期待できなくなっている。

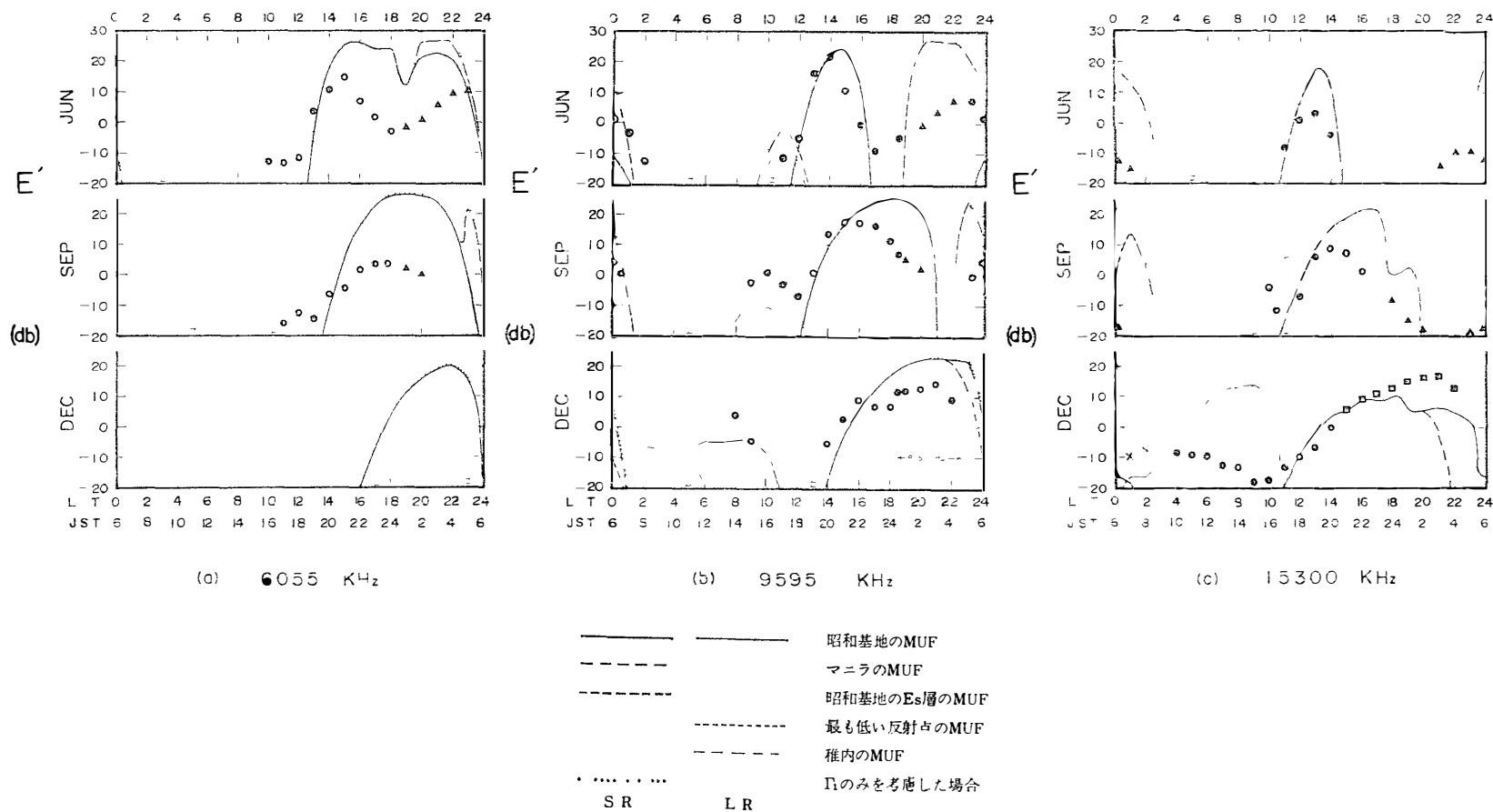


図4 宮の方法による計算値

3. 12月については、図3の場合と同じく、マニラと昭和基地の MUF の値を用いた計算値を図4に示す。測定値との比較の結果、15300 KHz では、昭和基地の MUF による値の方がマニラの値の曲線より一致しているようであり、9595 KHz では両曲線の差異は少ない。全般的に、6055 KHz を除いて、計算値は比較的測定値と一致していると思われる。

以上のごとく、S.R. 伝ぱんの場合、MUF の決定は control point 法となってしまったが、各季節にわたって、昭和基地付近の電離層の MUF の値が、ほとんどの時間について他の反射点より低い値となり、結局、昭和基地の MUF によって伝ぱんが control される結果になった。

次に、L.R. 伝ぱんについて同様な解析を行なった。計算値は細線で図に示したが、測定値と比較すると、つぎのようになる。

すなわち、CRPL の場合と同じく、6055 KHz については L.R. 伝ぱんは不可能であり、1000 L.T. 頃の測定値と一致しない。

L.R. 伝ぱんは 9595 KHz 以上の周波数で存在し、S.R. 伝ぱんのときと同じく、まず MUF の値の低い反射点の値により電界強度を計算した。すなわち、北極圏の MUF の値が最も低くなるときはウィニペク(カナダ)と稚内の値とを用いた。そしてこの値による計算値と測定値とを比較すると、15300 KHz の6月と9月は MUF の値が低すぎて、計算値では伝ぱんは不可能となり、また12月および 9595 KHz では測定値と一致せず、結局このような伝ぱん様式は存在できないことが分かった。

さらに、control point 法により、前節と同じく計算を行なったが、その結果は稚内の MUF の値の影響が 15300 KHz の12月にだけ現われるのみで、昭和基地の MUF の値による計算値が最も測定値に近いことを示した。

以上の結果から、電波の伝ぱんは受信点である昭和基地付近の電離層の MUF によって control されること、そして6月付近の夜半は Es 層伝ぱんを考慮する必要のあることなどが明らかとなった。

5. 結 言

以上、NSB と NHK の短波放送を受信し、その電界強度の測定によって得られた結果の概要を示すと次のとおりである。

1. 受信電界強度の測定値と宮および CRPL の方法による計算値とを比較した結果は、総合して、吸収量 F_2 を細かく考慮した宮の方法が若干良好に思われる。しかし、 F_2 を無視できるような場合、すなわち MUF が使用周波数よりはるかに高くなるような場合は、む

しる電界強度の値は CRPL の方法が適している

2. 東京から昭和基地へ伝ぱんする場合、短波は F_2 層による伝ぱん様式が考えられているが、この回線に影響を与える f_oF_2 は受信点である昭和基地付近の電離層の MUF によってほとんど決定されると考えられる

3. 昭和基地の冬(6月)はその上空の F_2 層の臨界周波数の値が年間を通じて最も低い値となるが、とくに1900~0200 L.T.の時間は著しく低下して、 F_2 層伝ぱんが不可能となる。しかし、この時間には Es 層による伝ぱん様式を考えることにより測定値とよく一致する

4. 受信電界強度は 6055, 9595 と 15300 KHz の三波を比較したが、9595 KHz の値が年間を通じてほぼ一定しており、値も高い。6055 KHz は6月に高く、12月では著しく低く、計算値とは全く一致しない。逆に、15300 KHz は f_oF_2 の影響を強く受け、昭和基地の MUF の値の低い6月に最も低く、12月に最良となる。

5. L.R. 伝ぱんは 9595 KHz より高い周波数で可能であり、季節的には9月と12月に現われる。とくに、12月で 15300 KHz のように周波数が高くなると、この伝ぱん様式は非常に有効となっている。

以上のごとき結果が得られたが、極地伝ぱんの解析にあたっては、栗城も指摘しているように fading に対する定量的な研究、および極地伝ぱん様式のより詳細な解明などの点について今後の研究が必要である。

謝 辞

本報告をまとめるに際し、種々助言をいただいた小林周波数利用研究室長、新野電波予報研究室長、資料整理に協力された渡辺研究官、そして昭和基地で測定に際し協力された通信担当の深川隊員、資料を提供された国際電々および日本短波放送の諸氏に深くお礼を申し上げます。

文 献

- DAVIES, K (1965) Ionospheric radio propagation. Natn. Bur. Stand. Monogr, 80.
栗城 功・大瀬正美(1961) 宗谷船上観測による短波電界強度の距離特性 電波研究所季報, 7(30), 288-292.
前田憲一・後藤三男(1959) 電波伝播, 岩波.
宮 憲一(1952) 短波通信回線に必要な電波伝ぱん特性の研究 中央電波観測所研究報告, 3.
田之畑一男・石川三郎(1963) 宗谷船上における電界強度測定結果 南極資料, 17, 51-55
WAKAI, N. and S. WATANABE(1961) Ionospheric absorption of HF waves in high latitudes. J. Radio Res. Labs. Japan, 8(40), 413-423

(1968年10月18日受理)