

夜間の電離層吸収

II. 狭帯域受信機による南極観測船上電界強度測定

若井 登*・藤井 周*・宮本 善行*

HF Radio Wave Absorption in the Nighttime Part II. Measurements of the Field Intensity of HF Radio Waves by Means of Narrow Band Receivers

Noboru WAKAI*, Shu FUJII* and Yoshiyuki MIYAMOTO*

Abstract: Narrow-band receivers developed for receiving exclusively the JJY signal in the presence of interferences by the other standard frequency waves with an identical carrier frequency are used since 1967 for the observation of HF radio wave absorption on board the ship of the Japanese Antarctic Research Expedition.

This paper summarizes the technicality of the receiver, and presents the results of measurements obtained in the 10th JARE (Nov., 1968–Apr., 1969) by means of the receiver.

Dependence of the ionospheric absorption in the nighttime on the solar activity was confirmed quantitatively by the same analysis as that given in Part I (1971) of this paper.

1. 緒 論

南極観測船上短波電界強度測定の目的、経緯、ならびに第8次観測（1966～1967）までの測定とその解析結果については、本文の第I部（若井・大瀬・田之畑，1971）で報告した。

本文では、同一搬送波の他の標準電波による混信を除去しながら、JJY強度を連続記録するために開発した狭帯域受信機の概略と、それによる第10次観測（1968～1969）の測定結果についてのべる。

2. 標準電波受信用狭帯域電界強度測定器

世界各国の標準電波が、同じ周波数系列で発射されているということは、実用上の多くの利点がある反面、本測定のように、たとえばJJYだけを測定しようとする場合には、標準電波相互が混信するため、特定波の分離抽出はかなりやっかいな問題になる。磯崎等(1970)は、短波遠距離伝搬の研究のために、WWVおよびWWVH受信用の狭帯域受信機を開

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

発して上述の困難を解決した。

第8次観測以前においては、停波時間を利用して混信をさけながら希望波を測定するという、直接人力による測定にたよってきたが、1967年に前述の狭帯域受信機と同じ方式の、JJY 2.5 MHz 受信用電界強度測定器を製作し、同年11月に出発した第9次観測から測定を開始した。

第10次には5 MHz 受信用、第11次には10 MHz 受信用測定器を逐次追加して、現在ではこの3周波数により観測を継続している。夜間電離層吸収の検出には、低い周波数ほど精度が高いので、15 MHz での測定は省略し（若井等，1971）、このように逐年的に受信機を整備し、測定を実施した。

表1に、第9次から第11次観測までの測定年月、周波数、航路等、観測の概要を示した。

図1に JJY 2.5 MHz および 5 MHz 受信用電界強度測定器のブロックダイアグラム

表1 第9次観測以降の南極観測船上短波電界強度測定の概要

Voyage for JARE	Month, Year	Frequencies (MHz)	Course			SSN	Observer
			From	To	Via		
9th	Nov.-Dec., 1967	2.5	Tokyo	Antarctica	Australia	100	K. ISHIZAWA
10th	Nov., 1968-Jan., 1969	2.5, 5	Tokyo	Antarctica	Australia	110	Y. OTA
10th	Feb.-Apr., 1969	2.5, 5	Antarctica	Tokyo	Indian Ocean	108	K. ISHIZAWA R. SARUWATARI
11th	Nov., 1969-Jan., 1970	2.5, 5, 10	Tokyo	Antarctica	Australia	106	I. SHIRO T. SAKAMOTO
11th	Feb.-May, 1970	2.5, 5, 10	Antarctica	Tokyo	Indian Ocean	106	Y. OTA T. HIRASAWA

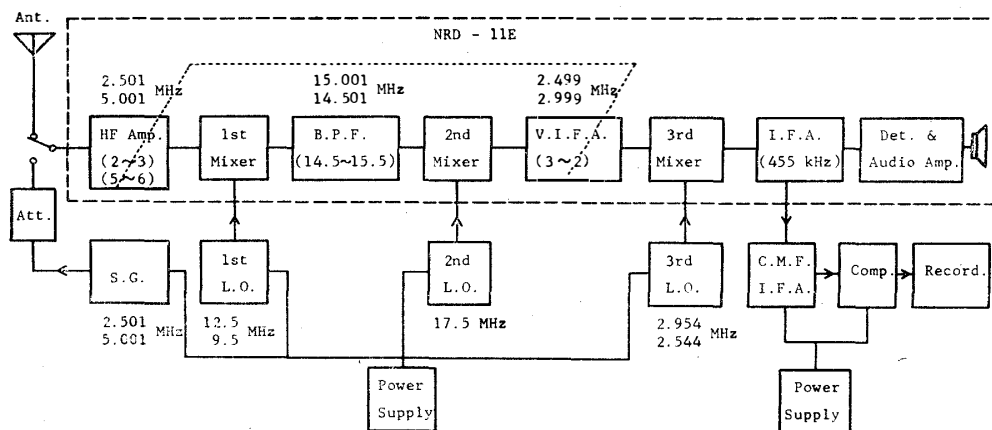


図1 JJY (2.5 と 5 MHz) 受信用電界強度測定器のブロックダイアグラム

を示す。図中の数字は周波数を示し、上段は 2.5 MHz、下段は 5 MHz 受信の際の周波数、また上下の区別のない場合は共通の周波数をあらわしている。この受信機の特長は、I. F. A. (455 kHz) の出力を、更に約 ± 100 Hz の帯域幅をもつ C. M. F. I. F. A. (Crystal Mechanical Filter I. F. A.) に導くことによって、2.5 と 5 MHz 標準電波の上側帯波であるそれぞれ、2.501 と 5.001 MHz 成分のみを取り出すことにある。そのためには、各局部発振器 (1st, 2nd, 3rd L. O.) の周波数変動度は、約 1×10^{-7} 以上であることが要求される。したがって、受信機本体 (日本無線製 NRD-11 E) に付属の局部発振器では不十分なので、外部から安定な発振器出力を供給した。この受信機によれば、もし搬送波周波数の等しいいくつかの標準電波が混信したとしても、その変調周波数が 1 kHz でなければ、JJY だけを完全に分離受信することができる。

受信機出力は対数圧縮 (Comp.) され、約 60 dB の範囲にわたってほぼ直線的に記録される。また一定時間毎に基準発振器 (S. G.) 出力とアンテナ入力とを切り換え、受信強度の較正を行なった。

10 MHz 用受信機は、B. P. F. (14.5~15.5 MHz), 2nd Mixer, および 2nd L. O. (17.5 MHz) を省略したダブルスーパーヘテロダイン方式になる以外は、2.5 および 5 MHz 用受信機と回路的に同じ (ただし 1st L. O. の周波数は 13.0 MHz) なので特に図示はしない。

使用したアンテナは、各波別々の長さ 6 m のホイップアンテナであるが、変換回路を含めて利得が不明なので、絶対電界強度 ($1 \mu\text{V}/\text{m}$ に対する強度) の決定のために、第 9 次観測以前と同様に直読式携帯用電界強度測定器による測定を適宜行ない、受信系全体の較正とした。

測定記録の実例を図 2 に示す。上段の 10 MHz の例は、平磯において 1969 年 10 月 13 日に測定されたものである。図中の略号 J は JJY, W は WWV, B は BPV をあらわす (例には記録されていないが、この他 ZUO, LOL 局も受信された)。受信電波の送信局を同定するには、勿論 call sign をきけばよいわけであるが、図 2 のような受信記録から判定するには、各国標準電波の発射スケジュール、特に 1000 Hz 可聴周波で変調される時間を知らなければならない。これが図 3 に示される。

図 2 の 10 MHz の記録では、0~10分、20~25分、34分からの30秒、40~50分、59分からの30秒にある強い信号 (分信号による強度の落ちこみがみられる) は、JJY の電波であることが図 3 との比較によりわかる。同様に、12, 17, 27, 32, 37, 52, 57分に各 1 分間受

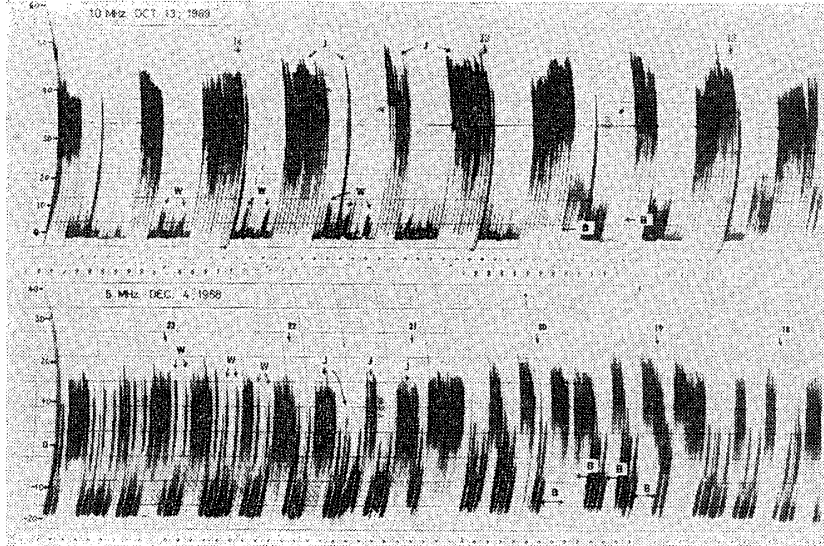


図 2 狭帯域受信機による測定記録例（上段 10 MHz, 下段 5 MHz）

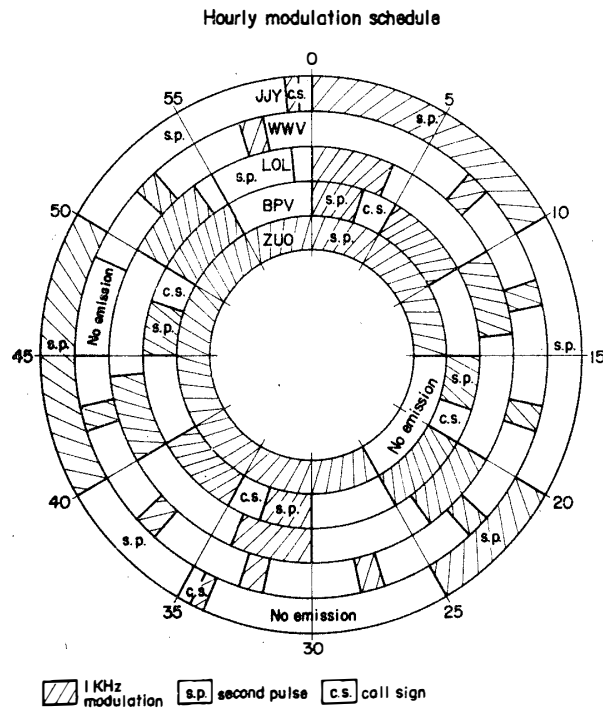


図 3 標準電波の発射ならびに 1 kHz 変調スケジュール

信されている弱い信号は WWV 局であって、発射スケジュールにある 7, 22, 42分の信号は、強い JJY にかくれて見えない。BPV 局は CCIR に正式に登録されていない中華人民共和国（上海あたりから発射）からの標準電波であって、電波監理局の調査によると、5, 10, 15 MHz で発射され、図3のようなスケジュールによっているらしい。この BPV が、12時15～25分、30～40分に受信されている。ただし、20～25分の間は、JJY の分信号の切

れこみが BPV の混信によってノイズレベルまで下りきらないという形で受信されていることに注意されたい。受信記録から判断すると、図3の中 BPV の c. s. (call sign) も 1000 Hz で変調されているようである。

図2の下段は、1968年12月4日観測船「ふじ」がフィリピン海域 (15°N, 130°E) を航行中に得られた、5 MHz の受信記録である。20時の前後約1時間にわたって BPV の混信がみとめられるが、その他の時間は JJY と WWV がほぼ同程度の強度で規則正しく受信されていることが、10 MHz の場合と同様に、図3との対比によって明らかである。

2.5 MHz の受信記録には、上述2例のような強い混信もみとめられず、空電雑音レベルは多少高いが特に記すべき点もないので、例をあげなかった。

3. 測定結果とその解析

レコーダー用紙上の測定記録から電界強度値をよみとるには、第9次以前のデータとの均一性を失わないように、フェージングする信号の頻度50%の値を定め、約30分毎にこの値をよみとった。そしてこの値と前述の携帯用電界強度測定器による絶対電界強度とを比較することによって、受信系全体の等価的利得を求めて、 $1 \mu\text{V/m}$ を基準とした値に換算した。測定電界強度から電離層吸収量を求める際の計算式、手順等は第I部と同じなので、本文では省略する。ただし、第9次観測以降は、前述の狭帯域受信機によって上側帯波だけを受信しているので、当然送信電力に対する補正 (JJY の変調度は80%) を加えなければならない。この効果は無減衰電界強度の低下となってあらわれる。

図4は、このようにして得られた第10次観測における、電界強度測定値と無減衰値の地表距離に対する変化を示している。

第9次船上電界強度測定は全航路にわたって実施されたが、出港直後に近接送信機からの電波によって測定器が損傷をうけたため、利得の変動がおこり、その後も良質なデータが得られなかったので、解析を行なわなかった。また第11次観測の結果は、目下データのよみとりが行なわれている段階なので追って発表する。

図5は、図4をもとにして大地反射損失を差し引き、電離層吸収を求めた結果を示しており、距離に対する吸収の変化は、図中の直線または表2によってあらわされる。また、等価吸収係数は、表3のようになる。これらの表には、本文で得られた結果だけでなく、比較のため第8次観測以前のものも掲載してある。表中の値のうち第I部と異なるのは、測定値の精度に関してその後データの再検討 (混信の有無等) を行ない、受信強度の修正を施したためであり、さらに周数波によっては、JJY 以外の電波の測定結果も追加してある。したがっ

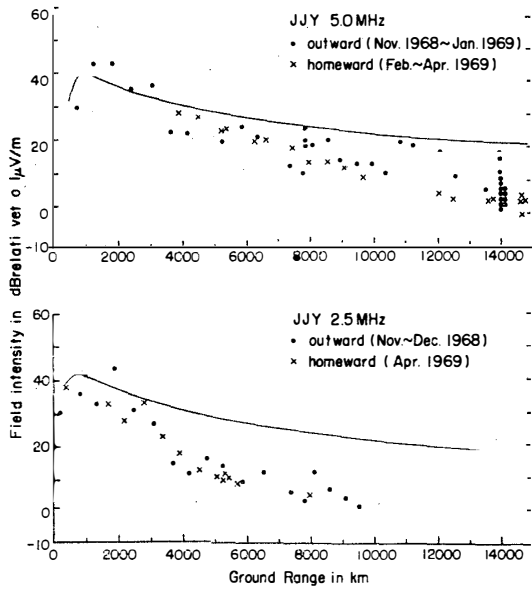


図 4 第10次 (Nov. 1968~Apr. 1969) 船上電界強度測定による JJY 標準電波強度の地表距離に対する変化 (図中の曲線は無減衰電界強度)

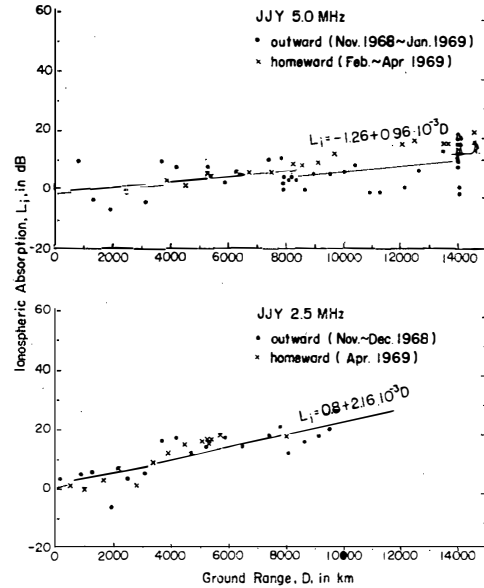


図 5 第10次観測における JJY 5 MHz(上段) と 2.5 MHz (下段) 電波に対する電離層吸収の距離特性

表 2 $L_i(\text{dB})=a+b \cdot 10^{-3} \cdot D(\text{km})$ における a と b の値

Voyage	SSN	2.5 MHz (JJY)		5 MHz				10 MHz (JJY)		11.8 MHz (JKI-4)	
		a	b	(JJY)		(ZUO)		a	b	a	b
				a	b	a	b				
2-3rd	200-180	-3.64	3.9	-5.24	2.15	-4.47	2.45	0.001	0.26	1.93	0.45
6th	50-40	-1.51	2.44	3.79	0.28	0.75	1.80				
7-8th	23-72	-2.72	1.31	7.14	0.006						
10th	110-108	0.80	2.16	-1.26	0.96						

表 3 測定値に適合する等価的 I 係数

Voyage	SSN	2.5 MHz (JJY)	5 MHz		10 MHz (JJY)	11.8 MHz (JKI-4)
			(JJY)	(ZUO)		
2-3rd	200-180	0.09	0.11	0.12	0.04	0.08
6th	50-40	0.05	0.02	0.1		
7-8th	23-72	0.03	<0.01			
10th	110-108	0.05	0.05			

て、第 8 次観測までの最終的測定結果に関しては、若井等 (1970) を参照されたい。

第 I 部における結果を要約すると、太陽活動のほぼ半サイクルにわたる南極観測船上観測結果を解析して、次のような結論を得た。

(1)夜間の電離層吸収は太陽活動度に依存し、その原因はすでに知られている(WAKAI, 1968) 夜間 E 層の電子密度の変化によるものと考えられる。

(2)短波帯電波の受信電界強度の実用的算定に便利な、等価吸収係数を夜間に拡張し、計算式を与えた。

この観点から本文の結果を考察する。第10次観測に際しては、往路(1968年11月~12月)においては \overline{SSN} (相対黒点数の12ヵ月移動平均値) は約110であり、復路(1969年2月~4月)においては漸次下降期に入って約108であった。したがって、第6次観測($\overline{SSN}=50\sim 40$)より太陽活動度は大きいわけであるが、表2の b または表3の I は、2.5 MHz に関しては必ずしも第10次観測の結果は大きな値を示してはいない。しかし、5 MHz に関しては、第6次観測の低すぎる値を改善して、はるかに妥当な b または I を示している。これらを総合して第10次観測の結果は、第I部における結論を裏づけて、夜間電離層吸収の太陽活動度による依存性を確認したといえることができる。

4. 考 察

第9次観測以降の測定は、それ以前の地方時正子のみの測定と異なって、自動的に連続測定のできるものが特色であって、電離層吸収の夜間を通じての変化を求めることが、当初の目的の一つであった。しかし、この目的にかなうデータとして現在利用しうるのは、第10次観測の1回だけなので、今後の測定データの集積をまって、夜間吸収の地方時変化特性を明らかにしたいと考えている。

第I部を含めて本文においては、電離層吸収量を求めるにあたって、測定データのすべてを用いて解析を行なった。すなわち電離層じょう乱の影響を無視した、平均的かつ包括的な取扱いを行なった。しかしながら、第III部(若井, 1971)においてふれるように、電離層じょう乱時に吸収は増加するけれども、全体としてじょう乱の頻度は少ないので、このような取扱いが解析結果に大きな影響を与えているとは考えられない。

5. 結 論

本文において得られた結果から次のことが結論される。

(1)標準電波相互の混信を除去して、JJY のみを受信するために開発した狭帯域受信機は、本測定にとって有効に動作し、望ましいデータが得られた。

(2)測定された夜間の電界強度を、第I部と同じ手法により解析した結果、第I部の結論を

裏づける，夜間の電離層吸収の太陽活動度への依存を定量的にも確認することができた。

謝 辞

第10次南極観測船上観測の本項目を担当された，太田安貞，石沢 薫の両技官，ならびに猿渡了己氏に対し，厚くお礼申し上げる。

文 献

- 磯崎 進・竹之下裕五郎・大部弘次（1970）：標準電波電界強度測定用受信機．電波研究所研究資料，No. 平磯 70-1.
- WAKAI, N. (1968) : Mean variations of the nighttime ionospheric E layer. J. Rad. Res. Labs., 15, 109-132.
- 若井 登・大瀬正美・田之畑一男（1970）：夜間の電離層吸収に及ぼす太陽活動度の影響．電波研究所季報，16, (87) 558-569
- 若井 登・大瀬正美・田之畑一男（1971）：夜間の電離層吸収，I．第2-8次南極観測船上短波電界強度測定．南極資料，39, 1-18.
- 若井 登（1971）：夜間の電離層吸収，III．夜間電離層に入射する中短波電波の通路と吸収．南極資料 41, 9-23.

（1961年3月5日受理）