

北西太平洋チェーン沖縄局のロランC電波

西 隆昭*

Loran C Wave of Okinawa Station in Northwest Pacific Chain

Takaaki Nishi*

Keywords : Loran C, LF propagation

Abstract

Loran C system has broadly been used as a reliable electric navigation of the ground station. In North America and Europe, the related various countries used it and established an international cooperation chain in practice. It has also since 1994 launched out on construction of the cooperation chain between Japan, Russia, Republic of Korea and China in Far East sea areas.

In recent years, technology of Loran C receiver was advanced and found a new application with a demand of a more accurate receiver. Since most of the studies on Loran C wave were done in USA mainland, the propagation path and application were different from those of Japan. Therefore, a consideration should be taken when applied in Japan.

I established a Loran C receiver for study at the Faculty of Fisheries, Kagoshima University, and continued observation of Loran C wave. In 1994, a monitoring receiver was newly installed, and since then enabled to make a more accurate observation.

As a result, I could observe a phase change of Loran C which has not been seen before. The phase was changed by $0.2\mu\text{s}$ exceptionally in a half day. The relation between advanced distribution of refractivity N and phase change was examined as the factor. An influence of S type duct was recognized thereby.

ロランCシステムは、信頼できる地上局の電波航法として広く使われており、北米・ヨーロッパでは、関係諸国が国際協力チェーンを構築し、運用している¹⁾。極東海域においても、1994年より日本・ロシア・韓国・中国により国際協力チェーンの構築を開始し整備されつつある。近年ロランC受信機の技術が向上し、新しい使用方法へ発展し、一層の精度を要求されるに至った。

海上作業では測位の精度向上の他に、反復性としては50m位が望まれているが、熟練した使用者はこの値を達成する場合がある。これは、受信機の技術の向上に加えて、ロランC電波の伝搬状態を研究することにより、さらに精度および反復性が向上する可能性を示している。

ロランC電波の研究の多くは米国本土において行われ

てきたので、伝搬経路の異なる日本付近に適用するには、検討する必要がある^{2,3)}。日本に主な送信局を置く北西太平洋チェーン(GRI 8930)は、米国から移管を受けた後、主局を新島に移したが、その伝搬経路は陸上伝搬の米国本土と異なり、ほとんどが海上伝搬である。そこで、鹿児島大学水産学部に科学用ロランC受信機を設置してロランC電波の観測を続けてきた^{4,5)}。1994年からは、従来の受信機に加えて観測精度が一桁よい監視用受信機によりさらに観測を続けている。

本論では、鹿児島まで海上伝搬する沖縄局の1994年後半より1996年前半までの観測をもとにその方法と結果の一部を紹介する。

*鹿児島大学水産学部海洋環境計測学研究室 (Laboratory of Marine Electronics, Faculty of Fisheries, Kagoshima University, 50-20 Shimoarata 4, Kagoshima, 890 Japan)

実験方法

ロランCは、搬送波が100 kHz のパルス波を主局と従局が同期して送信するシステムである。受信機では、主従局からの電波のエンベロープの時間差により粗測定を行い、ついで両搬送波の位相差により精測定するハイブリッド方式である。また、空間波の混入を避けるように、パルスの立ち上がり点から30 μ s に位相追尾点をおいて測定することが多い。

測定は、北西太平洋チェーン (GRI 9970) が北西太平洋チェーン (GRI 8930) に移行し、試験運用を開始した1994年10月より1996年6月までの期間、送信局の送信断や受信機の調整以外は伝搬経路の殆どが海上伝搬である沖縄局を中心に、連続測定を行った (Fig.1)。著者らはロランC電波に気象要因による変化を見いだしたが、必ずしも高い相関が得られたわけではなかった⁹⁾。そこで、気象の影響をさらに検討するために、観測間隔を1.5時間から15分とした⁹⁾。

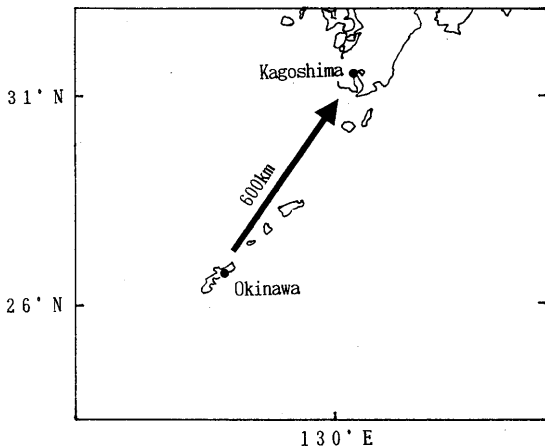


Fig. 1 Okinawa station of 8930 chain and receiving point.

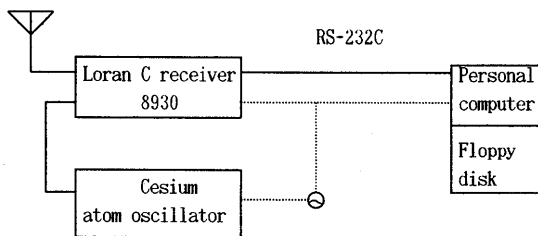


Fig. 2 Loran C measurement machinery constitution.

Table 1 Condition of absolute accuracy under 0.025 μ s

Absolute signal level	25~104dB/1 μ V/m
E C D	under 4 μ s
Signal to noise ratio	-10dB or bigger than this (atmosphere noise)

監視用ロランC受信機は、鹿児島大学水産学部に置き、10⁻¹² の安定度を持つセシウム周波数標準器を接続し、10⁻⁸s の桁までロランC信号を単局電波を送信する $\rho - \rho$ 測定し、同時に信号対雑音比、電界強度、ECD (Envelope to Cycle Difference) を求めた (Fig.2)。ロランC受信機の誤差は Table 1 に示した絶対信号レベル、E C D、信号対雑音比 (S N R) の条件で0.025 μ s 未満である。

観測結果

観測期間の $\rho - \rho$ 測定したロランC電波の位相記録を5日間隔で表した。Fig.3は各季節の例である。位相の絶対値が、それぞれ異なるのは、 $\rho - \rho$ 測定のために、受信機復帰のたびに異なる値となるためである。海上ではアンビギティの原因となるが、定点観測であるので無視できる。

いずれの例でも変化の幅は0.1 μ s/12時間以下であり、日毎の値は変化せず、精度、反復性の両方とも安定している。

観測期間のほとんどの記録は Fig.3 と同様であった。一方、従来の受信機では観測できなかった突発的な0.1

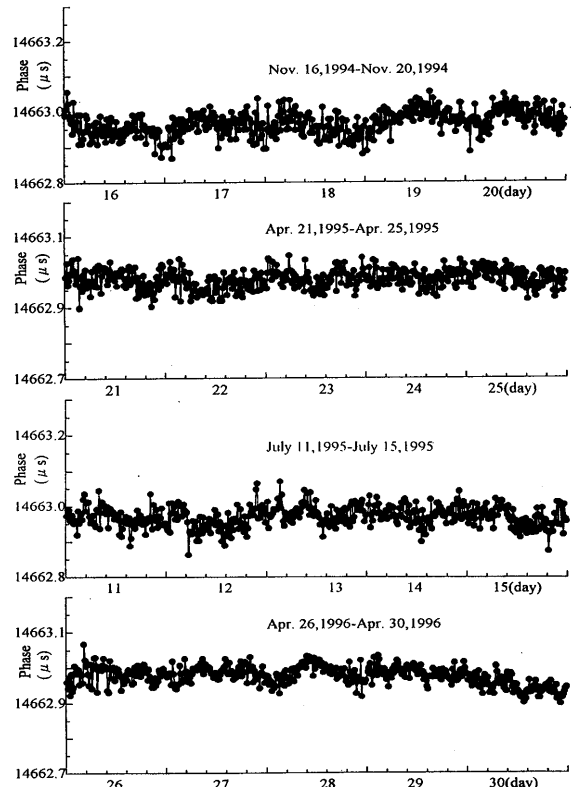


Fig. 3 Daily fluctuation of phase (Okinawa).

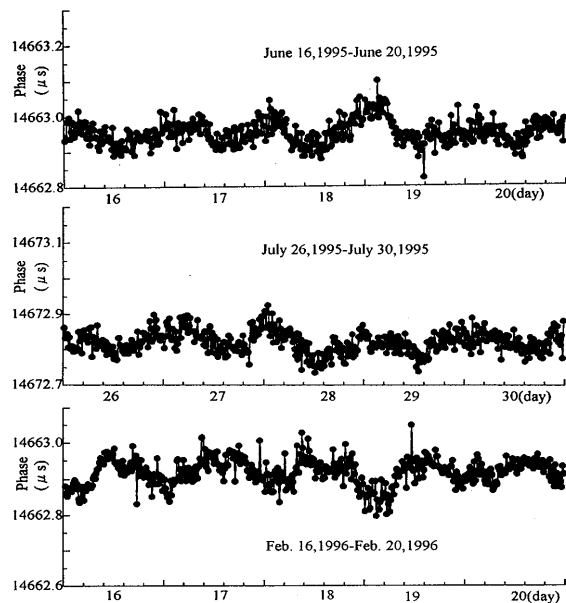


Fig. 4 Daily fluctuation of phase (Okinawa).

$\mu\text{s}/5$ 時間の変化や、半日で $0.1\mu\text{s}\sim 0.2\mu\text{s}$ の変化を数日繰り返す現象が見受けられた (Fig. 4)。

考 察

はじめにロランC電波の受信状態を検討する。

位相と同様に表した絶対信号レベル (Fig. 5) は、1994年11月～1996年4月で75, 75, 76, 71dB/1 $\mu\text{V}/\text{m}$ と25～104dB/1 $\mu\text{V}/\text{m}$ の範囲を満足している。また、値がほとんど変化しないことは、送信局の出力変動がないこと、空間波の混入がないことを示している。1996年4月の電界強度が、他の結果より4～5 dB低いのは受信機の調整を行ったためである。

ECDは、搬送波の位相とパルスエンベロープの発生時点間の時間関係を示すものである⁷⁾。ECD値は受信パルスと標準パルス間の差を測定したものである^{8,9)}。著者らは、1.5時間積分したパルスのECDからロランC電波の季節変化および低気圧の影響を研究してきた^{4,5)}が、本論文で用いるECDは、受信信号の位相追尾点 $\pm 10\mu\text{s}$ の強度を測定し即値のECDを求めている。結果は (Fig. 6), 1994年11月～1995年4月は $3.1\sim 3.5\mu\text{s}$ を中心に $\pm 0.2\mu\text{s}$, 1996年4月は $1.7\mu\text{s} \pm 0.1\mu\text{s}$ の値となり、変化が少なく値も $4.0\mu\text{s}$ より小さくTable 1の条件を満たしている。1996年4月のECDが他の期間より $1.4\mu\text{s}$ 程度小さいのは、絶対信号レベルと同様に受信機の調整を行ったためである。

信号対雑音比 (SNR) は Fig. 7 のとおりになる。1994年11月が日中高く夜間低くなる最大5 dBの変化を

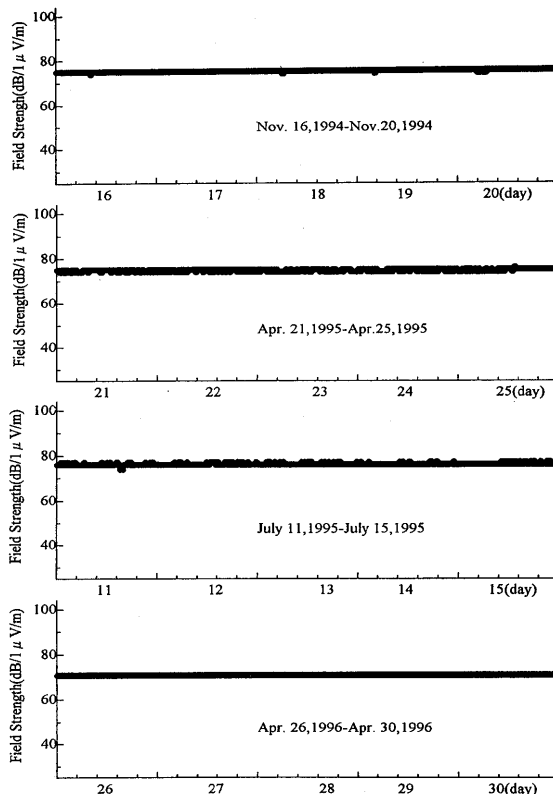


Fig. 5 Daily fluctuation of field strength (Okinawa).

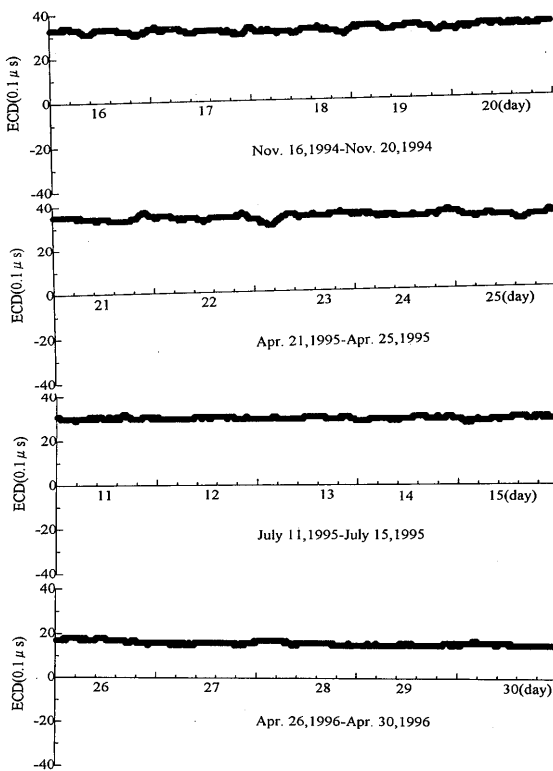


Fig. 6 Daily fluctuation of ECD (Okinawa).

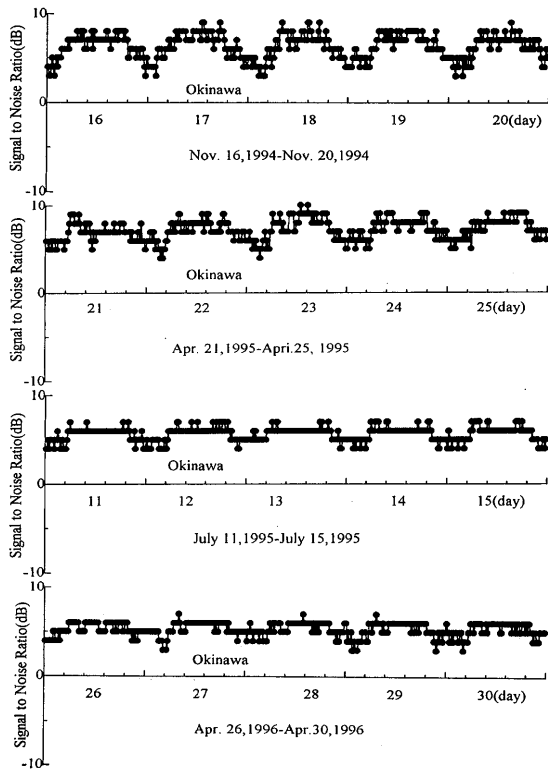


Fig. 7 Daily fluctuation of signal to noise ratio.

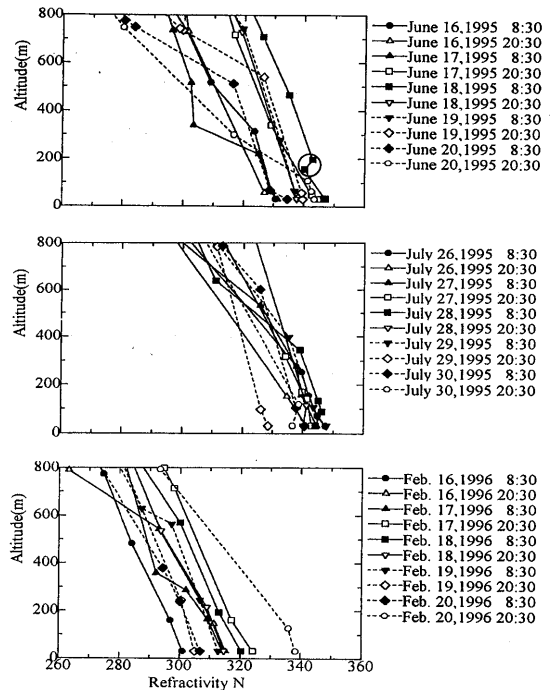


Fig. 9 Advanced distribution of refractivity.

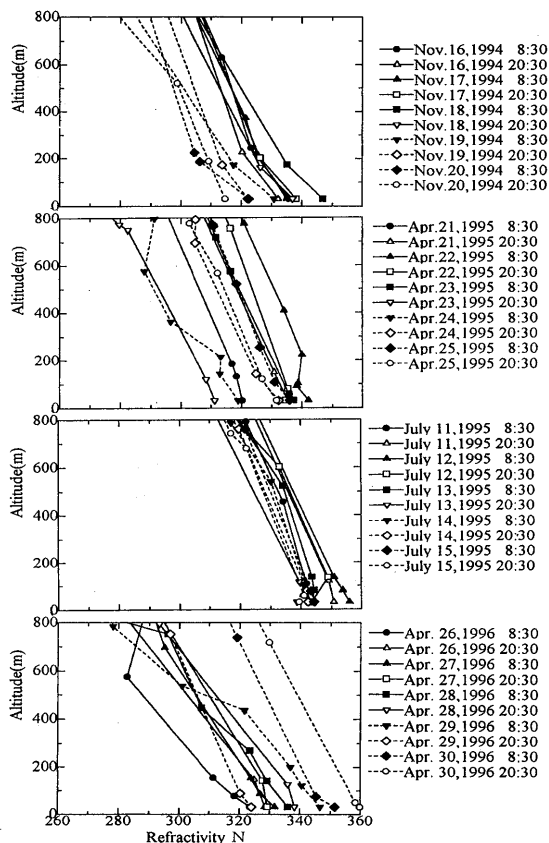


Fig. 8 Advanced distribution of refractivity.

している。SNRは、大気雑音の増減により変化するので、受信点のSNRが社会活動が静穏な夜間に小さくなるのは意外である。しかし、Table 1の条件よりはるかに上回る3~8 dBの範囲である。

したがって、Table 1の条件は全て満足しているので、受信結果は、0.025μs未滿の精度を維持しているのは明らかである。

ロランC電波の速度に影響をおよぼす要因としては、大気屈折率による一次位相係数、周波数、インピーダンスによる二次位相係数が考えられる³⁾がインピーダンスは数時間で変化しない事、そして気象は数時間で変化することがある事から、大気屈折率が要因として考えられる。大気屈折率は、垂直方向の300m以下が重要であるとされているが¹⁰⁾、1994年10月より前は鹿児島地方気象台の高層観測は800m以上の観測しか行われておらず、資料が得られなかった。1994年10月からは300m以下の観測資料が得られるようになったので、観測記録として得られ高度、気温、湿度から大気屈折率に相当するリフラクティビチNを求めた^{11, 12)}。Fig. 8はロランC位相記録が静穏な時のリフラクティビチNの高度分布であり、Fig. 9がロランC位相記録が変動した時のリフラクティビチNの高度分布である。

リフラクティビチNは標準大気では直線的に減少するのが普通である¹¹⁾。静穏時のリフラクティビチNは分布直線の幅の広狭はあるが、直線的に減少している。観測日時

によって広狭の違いがあるのは、天候の影響がある。リフラクチビチNが小さい場合が晴天で大きい場合が雨天である。従って雨天が続く場合の高度分布は分布直線の変化の幅が小さい。変動時も静穏時と同様に、直線的に減少している。しかし、最も位相の変化の大きい6月18日は、リフラクチビチNが高さ180m付近で増加し、その形がS型になる。いわゆるS型ダクトができています。8時30分と20時30分の2回の観測間隔から考えると、一回だけであるがS型ダクトが観測されたことは十分その影響の可能性を考えてよいだろう。しかし、資料の数が少ないのでさらに観測を続ける必要がある。

ま と め

従来、観測できなかった $0.1\mu\text{s}$ 以下のロランCの位相の変化を監視用受信機とセシウム発振器を使うことにより観測できるようになった。その結果、 $0.1\mu\text{s}$ 以上変化することはほとんどなかったが、ときとして半日で $0.2\mu\text{s}$ まで変化することがあった。距離にすると60mとなる。この要因としてリフラクチビチNを考え検討したところS型ダクトの影響が認められた。

参 考 文 献

- 1) 塩山壽男・岩崎 孝(1996): 極東海域におけるロランC国際協力チェーンについて, 電波航法, pp. 34-40, 電波航法研究会.
- 2) R. H. Doherty and J. R. Johler (1973): Meteorological Influences on Loran C Ground Wave Propagation, Proc. of 2nd Annual Tech. Symp. of WGA.
- 3) S. N. SAMADDAR (1979): The Theory of Loran-C Ground Wave Propagation-A Review, NAVIGATION, 173-187, Journal of The Institute of Navigation, Vol. 26, No. 3, Fall.
- 4) 西 隆昭・田口一夫・宮崎一成 (1994): 海上伝搬するロランC電波のECDの季節変化, 日本航海学会論文集, 91, 177-183.
- 5) 西 隆昭・田口一夫・宮崎一成 (1995): 気象要因によるロランC電波のECDの変化—低気圧の影響—, 日本航海学会論文集, 93, 263-270.
- 6) 木村竜治 (1981): 8章 温帯低気圧, “大気科学講座 2 雲や降水を伴う大気”, pp. 194-226, 東京大学出版会.
- 7) Megapulse, Inc. (1995): ACCUFIX520 LORAN-C MONITOR RECEIVER OPERATOR'S MANUAL, Megapulse, Inc.
- 8) E. H. Theiele (1961): An Analysis of the Envelope-To-Cycle Discrepancy in the Loran-C System, U. S. Coast Guard Electronics Engineering Report No. L-31.
- 9) Wild Goose Association (1976): LORAN-C System Characterization, WGA Publication No.1 / 1976, September.
- 10) 田口一夫・佐尾和夫 (1981): 気象の影響によるデッカ双曲線の変動, 信学会論文誌, J64-B, 295-300.
- 11) 宇田新太郎 (1978): 無線工学 I 伝送編, pp.279-283, 丸善株式会社.
- 12) 東京天文台 (1985): 水の蒸気圧, 理科年表, 58, pp. 382-475.