

## 長距離電波測位装置とその測位精度

岡田 貢\*・打田明雄\*

### THE HYBRID POSITIONING SYSTEM AND THE ACCURACY

Mitsugu Okada\* and Akio Uchida\*

Received 1981 October 6

#### Abstract

A system was developed during fiscal 1980 for THE SAGAMI-NANKAI TROUGH SURVEY, and mounted onboard the survey ship SHOYO in early 1981. The system is mainly composed of NNSS, giving geographical positions discontinuously, Rho-rho loran C, giving relative positions continuously, magnetic tape recorders, logging the data, and computers.

The characteristics of the system are as follows:

1. The Rho-rho loran C or hyperbolic method is available, and 3 rangings (or 3 LOPs) by cross-chaining can be measured simultaneously, so that better accuracy is obtained.
2. In case of Rho-rho loran C, full digits are measured so that no ambiguity remains.
3. The ship leading information is displayed on a CRT to help steersman easily enter a new sounding line and keep the sounding course.

This system has effectively been used in 4 survey areas for a total of 110 days in the past 6 months, and the target accuracy of 110 meters has been obtained. This report introduces the functions of the system and its accuracy.

#### 1. まえがき

大洋上で、高い精度の連続測位ができるシステムとして、アメリカでは1970年ごろから衛星測位システム（以下、NNSSと呼ぶ）と、ロランC等の長距離型の電波測位装置をコンピュータで結合し、ほぼ、 $0'.1$ の精度を有する複合測位装置（Magnavox Model 200等）を開発整備してきた。

一方、我が国では独自に、1974年にマラッカ海峡協議会が、運輸省電子航法研究所や海上保安庁水路部等の職員からなる技術委員会の指導のもとに、NNSS/ $\rho$ - $\rho$  ロランC複合測位装置を開発し、ロンボック・マカッサル海峡共同水路調査で効果的に使用された。

本稿で述べる装置は、相模・南海トラフ海底活構造調査のための機器整備の一環として、昭和55年度に開発し、測量船昭洋に搭載されたNNSSと $\rho$ - $\rho$ ロランCの複合測位装置である。

本装置は、マラッカ海峡協議会の開発機に比較し次のような特徴をもっている。

- (1) ロランCにおける  $\rho$ - $\rho$  方式においては3レンジ測定が、また、双曲線方式では3LOP測定が同時にできるため、測定位置の精度が良く、いずれもクロスチェイン(異なるロランC組局)の使用が可能である。
- (2)  $\rho$ - $\rho$  方式でも、あいまいさ(Ambiguity)のない全桁測定を行う。
- (3) 操舵者に操舵情報が示されるので、計画測線上の航走が容易となり、作業能率の向上と省力化を図ることができる。
- (4) パネル面で初期設定が迅速かつ容易に行える。

本装置は、昭和56年4~6月に2度の実作業に使用され、精度とその機能において満足できる結果を得たので仕様の概要を紹介し、精度試験の結果について報告する。

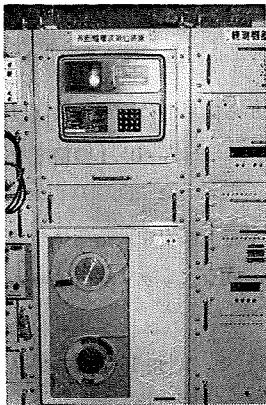
## 2. 仕様の概要

### (1) 構成

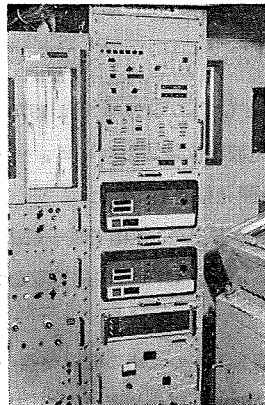
第1表に本装置の構成を、第1図に写真を、また第2図に構成系統図を示す。

Table 1 Composition of the system.

番号	品名	数量	記事
1	精密ロランC受信機	2台	
2	ルビジウム周波数標準器	1 //	
3	NNSS受信機	1 //	デュアルチャンネル
4	インターフェース	1式	
5	結合計算機	1式	
6	磁気テープ装置	1台	
7	プリンタ	2台	1台は予備
8	プロッタ	1台	
9	ブラウン管ディスプレイ	2台	
10	筐体	1式	JIS-C6010ラック



NNSS (Top) and Tape recorder (Bottom)



Main Unit

From the top, a computer, two Loran C receiver, a rubidium frequency standard and a power supply.



A teletypewriter

Figure 1 Main equipments of the system installed on board the survey ship SHOYO.

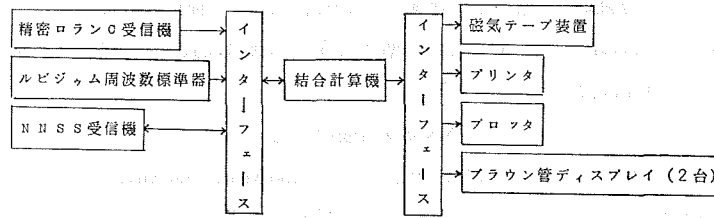


Figure 2 Block diagram of the system.

## (2) 各部機能及び性能

### i 精密ロランC受信機

本機は、自動追尾デジタル表示式ロランC受信機で、切替により  $\rho$ - $\rho$  方式または双曲線方式が使用できる。 $\rho$ - $\rho$  方式の場合には、ルビジウム周波数標準部から受けた信号を基準として、ロランC信号との間の時間差で表した距離を測定する。時間差測定は8本のパルスをすべて使用し、コード識別するとともに、上がりから3サイクル目を自動検出し、この点で位相比較を行い、時間差（以下 LOP と呼ぶ）を計測する。ただし LOP はすべての桁に不明確さ（Ambiguity）のない値を出力する。測位には、クロスチェイン選択が可能で、主従局の区別を問わない2局（2LOP）、または3局（3LOP）のいずれかが測位に採用できる。

本機には、デッカ社の Model DL 91 改型が採用されており、性能は次のとおりである。

#### 精密ロランC受信機の性能

時間差測定値（最大）	99999 $\mu$ s
感度	1 $\mu$ V/m
自動追尾精度	0.1 $\mu$ s
出力 LOP 数	双曲線方式 3LOP $\rho$ - $\rho$ 方式 3LOP
自動3サイクル検出時間	0 dB S/N において 400 秒（最大） - 6 dB S/N において 600 秒（最大）

### ii ルビジウム周波数標準器

ルビジウム蒸気共振セルを利用して、高安定の周波数を有する正弦波を発振する。信号の出力は精密ロランC受信機のほか、NNSS、結合計算機等に供給する。

本機は、ヒューレットパッカード社 HP 5065 Aが使用されている。性能は次のとおりである。

#### ルビジウム周波数標準器の性能

周波数安定度	$\pm 1 \times 10^{-11}$ /月（最大限のドリフト）
短期間安定度	$< 5 \times 10^{-13}$ （平均時間 100 秒）
出力周波数	5 MHz, 1 MHz, 100 kHz
出力電圧レベル	$> 1$ Vrms 50 $\Omega$ 負荷
温度範囲	0~50°C
電源	115V $\pm 10\%$ （スタンバイ電源付）

### iii NNSS 受信機

トランシット衛星からの位置情報とドップラ信号を受信し、船位を測定する。（以下、NNSS 測位と呼ぶ）

NNSS 受信機には、対地船速と針路が結合計算機により計算され、即時入力されるほか、手動入力も可能である。NNSS 測位の位置は、ロランC測位の基準となる。本機は北辰マグナボックス社のHX 1107型が採用されている。その性能は次のとおりである。

#### NNSS受信機の性能

受信チャンネル数	デュアルチャンネル (150 MHz, 400 MHz)
衛星の選択受信	2個の衛星が同時に出現する場合、条件の良い衛星を自動選択する
測位位置の出力	緯度 N 〇〇° 〇〇'.〇〇 経度 E 〇〇〇° 〇〇'.〇〇 GMT 〇〇h 〇〇m 〇〇s UP DATE (or NO UP DATE)
受信感度	-1.45 dBm
ショートドップラ	24秒以内計数可能
UP DATE の条件	受信衛星の最大仰角が10~70度以内 収斂計算回数が7回以内 最接近点以前で少なくとも2分間のドップラデータが得られること 計算に使用されたドップラデータの確率誤差は60m以内であること
衛星受信子報	月日 衛星出現時刻 GMT 最接近点における仰角 衛星番号

#### iv 結合計算機

後述するシステムプログラムに従って、各機器の入出力制御、演算を実行する。本機にはマイクロプロセッサが3個使用されている。

#### v 磁気テープ装置

測定データを指定した間隔で磁気テープに収録する。本装置にはティアック社 MT-1000 が採用されており、性能は次のとおりである。

#### 磁気テープ装置の性能

記録方式	PHASE ENCORD 方式
記録密度	1600 bpi
トラック数	9トラック
テープ速度	45 ips
テープ リール直径	10.5 インチ
テープ長	2400 フィート
テープ幅	0.5 インチ

#### vi プロッタ

船上における船位監視用として航跡を記入する。渡辺測器 WX 4631 が使用されており、その性能は次のとおりである。

#### プロッタの性能

記録寸法	A 3 版
記録密度	20 cm/sec
入力データ	XY 座標値または経緯度

## vii ブラウン管ディスプレイ

ブラウン管上に、測位結果と操船に関する情報を表示する。2台のうち、1台は操舵者の前に設置される。

## (3) システムプログラム

## i 測位方式別船位計算

a  $\rho$ - $\rho$ 方式

この方式は、NNSS と  $\rho$ - $\rho$  方式の複合測位機能を有するもので、NNSS 測位による位置を基準として、(1)式のように  $\rho$ - $\rho$  方式の距離測定値に対する改正値を計算し、以後、 $\rho$ - $\rho$  方式により連続測位を可能とするとともに、NNSS 受信機には、精度の高い対地船速と針路を供給し、NNSS 測位を高精度なものにする。

$$\text{改正値} = D_c - D_M \quad (1)$$

$D_c$  は、NNSS 測位点と  $\rho$ - $\rho$  方式で選択したロランC局間の大圏距離を  $\mu\text{s}$  (マイクロ秒) で表した値で、次式により計算する。

$$D_c = T + T_e$$

ここで

$$T = \text{大圏距離(m)} / 299.6912$$

$T_e$  は電波伝播速度の2次補正值で大圏距離により次の2種類の式を使い分ける。

大圏距離 > 160 km の場合

$$T_e = 129.04398/T - 0.40758 + 0.00064576438 T$$

大圏距離 < 160 km の場合

$$T_e = 2.7412979/T - 0.011402 + 0.00032774624 T$$

また、 $D_M$  は NNSS 測位時における  $\rho$ - $\rho$  方式による距離測定値である。

$\rho$ - $\rho$  方式による測位のうち、3 LOP を使用して位置計算を行う場合は、一義的に決まらないので、各 LOP に精度の重みをかけて最小二乗法により最確船位を計算する。LOP の精度は、受信信号の電界強度、すなわち、送受信点間の距離の二乗に反比例し、送信電力の平方根に比例する。最確船位は(2)式により収斂計算を行う(大森・坪川, 1969; 須田, 1976; セナー株式会社, 1978)。

$$X = N + A \quad Y = E + B \quad (2)$$

ここで  $X, Y$  は UTM 座標における最確位置

$N, E$  は推定位置の UTM 座標値 (収斂計算になると、前回の計算値  $X, Y$  が代入される)。

また

$$A = \{-[\text{pbb}][\text{pal}] + [\text{pab}][\text{pbl}]\} / C$$

$$B = \{-[\text{paa}][\text{pbl}] + [\text{pab}][\text{pal}]\} / C$$

ただし  $C = [\text{paa}][\text{pbb}] - [\text{pab}]^2$  [ ] はガウス記号

$$a = (N - N_i) / d_i$$

$$b = (E - E_i) / d_i$$

$$l = d_i - D_i$$

$$\rho = 1/d_i^2 \times \sqrt{W}$$

ただし  $N_i, E_i$ ; ロランC局の UTM 座標値

$d_i$ ; 推定位置とロランC局間の UTM 座標上における平面距離

- $D_i$ ;  $\rho$ - $\rho$  ロランCによる距離測定値 ((1)式の改正値により改正の施された値) をメートル単位で表した UTM 座標上の平面距離
- $W$ ; ロランC局の送信電力
- $\rho$ ; 重み

収斂計算は、A及びBの絶対値がともに15メートル(0.05  $\mu$ sに相当する)より小さくなった時に終了し、そのX、Yをもって船位とする。XY座標値は、測量船の操船に都合のよいように必要な角度で座標回転するとともに、経緯度にも変換される。船位計算の流れ図は第3図のとおりである。

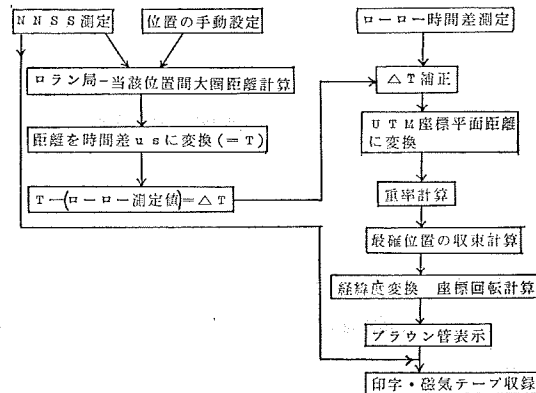


Figure 3 Flow chart illustrating the computation of  $\rho$ - $\rho$  loran C position fix.

#### b 双曲線方式

この方式は、NNSSと双曲線ロランC方式の複合測位機能を有する。NNSS測位の位置を基準として、双曲線ロランC LOPのローカル誤差の改正値を求めた後は連続的に測位を行うとともに、船速と針路を計算してNNSS受信機に入力する。この方式でもクロスチェン並びに3LOP測位が可能である。

#### c $\rho$ - $\rho$ /ジャイロ・ログ共用方式

NNSS測位を基準とし、 $\rho$ - $\rho$ 方式による位置とジャイロ・ログによる推定位置との加重平均値をもって船位とする共用方式で、加重値は任意に設定できる。ロランC電波の信号が弱い海域では有効に使用される。

#### ii 船速・針路計算

船位測定データに基づき、2分間の移動平均船速と針路を計算する。

#### iii 磁気テープ収録

JISコードにより、年月日・時刻・LOP値・LOPに対する改正量・針路・船速及び他から入力される地磁気・重力・水深の各データを磁気テープに1ブロック20レコードとして収録する。

#### iv 印字

磁気テープの収録データを指定時間間隔で印字する。

#### v 船位記入

各測位方式により得られる船位データに基づき、航跡を指定の縮尺で記入する。紙面は有効に利用できるよう指定角度で座標が回転できる。

#### vi ブラウン管ディスプレイによる表示

ブラウン管上には、時刻・経緯度・XY座標値(回転座標系)を数値で表示するとともに、測量船の計画

測線からの現在位置の偏位量，測量境界までの残距離を記号で表示する．測量境界外に出たときは，新測線に移動するための情報（偏位量・航走すべき距離）を表示する．測線間隔等は初期設定する．

### 3. 各地における測定と測定値の精度

本装置の初めての海上試験は，東京湾を縦断して行われ，精度評価のためのデータは，館山沖の錨泊点において収集した．一方，実作業では屋久島南方地震予知測量に初めて本装置が使用され，測位精度評価のためのデータは，長崎港及び鹿児島港の棧橋における固定点において収集した．

精度は，各測定値の標準偏差で表してあるが，ロランCの場合，伝播距離が長いために，その測定値の標準偏差が時により変動する傾向が見られるので，時刻の経過にしたがい測定値を処理する必要があった．位置の再計算は第2表の基本的な定数を採用し，YHP 9825 A パーソナルコンピュータにより行った．また，結果の作図はYHP 9872 S プロッタによった．

Table 2 Position and transmitting power of the adopted Loran C stations.

局名	緯度	経度	送信電力(kW)
北西太平洋ロランCチェーン			
主局M(硫黄島)	24°48'03".60 (24 47 48 .00)	141°19'30".30 (141 19 41 .53)	1800
従局X(北海道)	42 44 37 .10 (42 44 28 .14)	143 43 09 .25 (143 43 23 .90)	1000
従局Y(沖縄)	26 36 24 .98 (26 36 10 .87)	128 08 56 .45 (128 09 03 .99)	1000
従局Z(ヤップ)	09 32 45 .79 (09 32 25 .91)	138 09 54 .97 (138 10 04 .52)	1000
韓国ロランCチェーン			
主局M <sub>2</sub> (韓国)	36 11 05 .80 (36 10 55 .47)	129 20 27 .28 (129 20 36 .04)	35

\* 上段は WGS-72 系，下段 ( ) 内は日本測地系に基づく経緯度である．

なお第2表において，WGS-72 系から日本測地系の経緯度に変換する計算式は，モロデンスキー変換式(MOLODENSKIY TRANSFER EQUATION)を使用し，式の中の変換定数及び地球定数は次の値によった．

$$dX = -140 \text{ m} \quad dY = 516 \text{ m} \quad dZ = 673 \text{ m}$$

$$\left. \begin{array}{l} a = 6378135 \text{ m} \\ f = 1/298.26 \end{array} \right\} \text{WGS-72}$$

$$V = 2.996912 \times 10^8 \text{ m/sec (ロランCの自由空間電波伝播速度)}$$

#### (1) 館山沖における測位精度試験と結果

昭和56年4月15日17時30分から16日08時30分まで，北西太平洋ロランCチェーンの主局及びX，Y各従局（以下，単にM局，X局，Y局と呼ぶ）の各信号を館山沖の昭洋錨泊点で受信し，各測定値を15秒間隔で印字記録した．第4図はその時の印字例である．図中，TYPEの欄は通常測定で“0”が，またNNSS測位結果の割り込みデータには“1”が印字される．また，MODEの欄には使用している測位方式が数字で

NOE 0019. VESSEL \* SHOYO HL01 \*

DATE	TIME	TYPE	LATITUDE	LONGITUDE	MODE	PATTERN	PATTERN	PATTERN	DELTA	DELTA	DELTA	VESSEL
Y.M.D	H.M.S					-1-	-2-	-3-	PAT.1	PAT.2	PAT.3	HEAD. SPEED
810416	114445	0 35	07.48N	139 46.12E	1 1N	3854.6	1X 3043.9	1Y 4861.9	0.	0.8	0.3	008.11 12.1
810416	114500	0 35	07.53N	139 46.12E	1 1N	3854.9	1X 3043.6	1Y 4862.1	0.	0.8	0.3	005.99 12.0
810416	114515	0 35	07.58N	139 46.15E	1 1N	3855.2	1X 3043.2	1Y 4862.3	0.	0.8	0.3	007.66 12.3
810416	114530	0 35	07.63N	139 46.13E	1 1N	3855.5	1X 3042.9	1Y 4862.3	0.	0.8	0.3	009.11 12.4
810416	114545	0 35	07.70N	139 46.13E	1 1N	3855.9	1X 3042.5	1Y 4862.5	0.	0.8	0.3	010.99 12.4
810416	114600	0 35	07.75N	139 46.11E	1 1N	3856.3	1X 3042.4	1Y 4863.0	0.	0.8	0.3	008.00 12.7
810416	114615	0 35	07.77N	139 46.24E	1 1N	3856.3	1X 3041.9	1Y 4863.3	0.	0.8	0.3	011.55 12.4
810416	114630	0 35	07.84N	139 46.19E	1 1N	3856.7	1X 3041.6	1Y 4863.3	0.	0.8	0.3	011.22 12.4
810416	114645	0 35	07.90N	139 46.19E	1 1N	3857.1	1X 3041.3	1Y 4863.6	0.	0.8	0.3	009.77 12.6
810416	114700	0 35	07.93N	139 46.18E	1 1N	3857.4	1X 3041.2	1Y 4864.0	0.	0.8	0.3	008.99 12.3
810416	114715	0 35	07.98N	139 46.23E	1 1N	3857.6	1X 3040.8	1Y 4864.2	0.	0.8	0.3	010.77 12.0
810416	114730	0 35	08.05N	139 46.29E	1 1N	3857.9	1X 3040.2	1Y 4864.4	0.	0.8	0.3	016.11 12.3
810416	114745	0 35	08.08N	139 46.37E	1 1N	3858.1	1X 3039.9	1Y 4865.0	0.	0.8	0.3	022.66 12.6
810416	114800	0 35	08.15N	139 46.30E	1 1N	3858.6	1X 3039.7	1Y 4865.2	0.	0.8	0.3	021.22 12.9
810416	114815	0 35	08.22N	139 46.22E	1 1N	3859.0	1X 3039.3	1Y 4864.7	0.	0.8	0.3	010.99 12.9
810416	114830	0 35	08.22N	139 46.31E	1 1N	3858.8	1X 3039.0	1Y 4864.6	0.	0.8	0.3	015.00 12.4
810416	114845	0 35	08.30N	139 46.25E	1 1N	3859.5	1X 3038.8	1Y 4865.2	0.	0.8	0.3	010.11 12.3
810416	114900	0 35	08.35N	139 46.33E	1 1N	3859.7	1X 3038.4	1Y 4865.7	0.	0.8	0.3	008.99 12.4
810416	114915	0 35	08.39N	139 46.38E	1 1N	3860.0	1X 3038.2	1Y 4866.4	0.	0.8	0.3	008.22 12.2
810416	114930	0 35	08.45N	139 46.35E	1 1N	3860.4	1X 3037.9	1Y 4866.5	0.	0.8	0.3	006.00 12.0
810416	114945	0 35	08.50N	139 46.33E	1 1N	3860.7	1X 3037.6	1Y 4866.5	0.	0.8	0.3	005.33 12.1

Figure 4 Example of the print out results.

示され、“1”は $\rho$ - $\rho$ 方式、“2”は双曲線方式、“3”は $\rho$ - $\rho$ /ジャイロ・ログ共用方式となっている。DELTAの欄には時間測定値(PATTERN)に対する補正値を印字する。ただし、主局測定値に対する補正値は実際とは異なり、常に“0”が印字される。図には省略されているが水深・地磁気・重力の各データも印字される。

第5図には、各ロランC局の配置と受信点の位置を示す。数字は受信点とロランC局間の距離である。

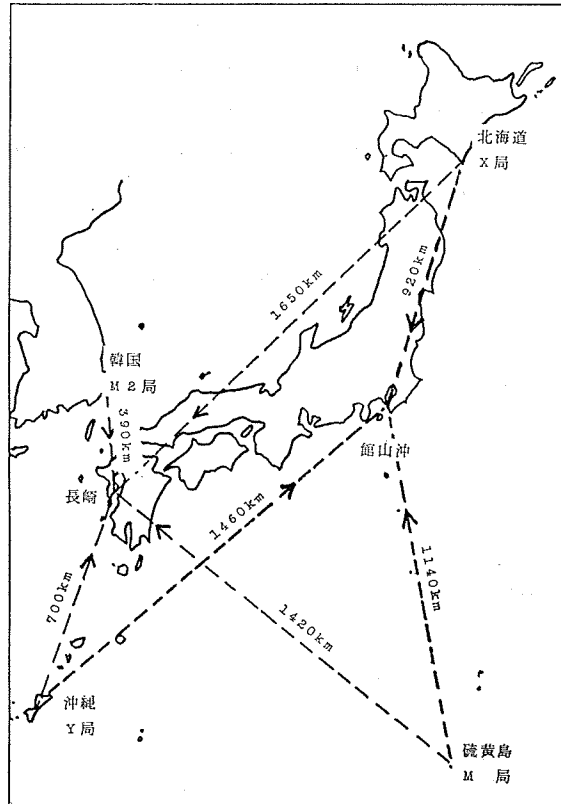


Figure 5 Distribution of Loran C stations and receiving points.



第6図は、印字記録から、毎時の30分～35分の5分間における15秒ごとの各局からの距離測定値と、経緯度の標準偏差を計算し図化したグラフで、縦軸は標準偏差、横軸は時刻である。上部グループの3本のグラフは、 $\rho-\rho$ 方式による各局の距離測定値の標準偏差を、また、下の2本は3レンジ測位による経緯度の標準偏差を表している。測定精度は図から当然ながら伝播距離が最も小さいX局の値が最も良く、以下距離の小さい順にM局、Y局となっている。なお、各局とも受信信号は地表波伝播によるものである。緯度に比較し経度の標準偏差が大きいのはLOPの方向によるものであり、系統的なものではない。

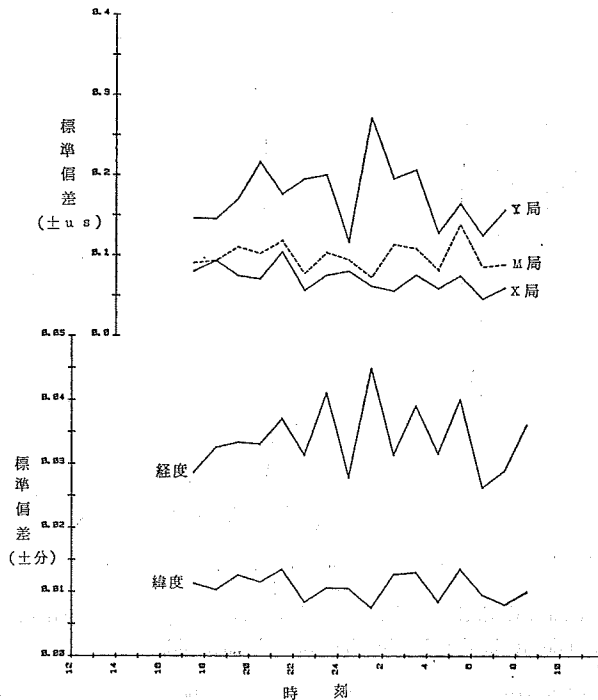


Figure 6 Standard deviations of measured distances (top group) and of longitude, latitude (bottom group) at the anchored position off Tateyama.

ここで、2レンジと3レンジの $\rho-\rho$ 方式の精度を比較するため、第6図の距離測定値の標準偏差を用いて計算した2レンジ $\rho-\rho$ 方式による位置の平均二乗誤差を第3表に示す。

Table 3 R.M.S. error of the 2 range fix according to the pair of the station.

局組合せ	LOP 交角	位置の平均自乗誤差(±m)
M-X	150°	73
M-Y	60°	68
X-Y	150°	110

一方、3レンジ測位の位置の平均二乗誤差は第6図の経緯度の標準偏差から55mとなり、2レンジのいずれの組合せによるものよりも、かなり誤差が小さいことがわかる。

(2) 長崎港固定点における精度

屋久島南方の地震予知測量期間中、昭和56年5月3日から4日にかけて約27時間にわたり、長崎港内で本

装置による固定点連続測定を実施した。データの処理結果と若干の考察について述べる。

#### ii $\rho$ - $\rho$ 方式による測定と結果

ロランCの受信局は、M局・X局・Y局並びに韓国チェーンの主局M（以下M2という）で、クロスチェーンの $\rho$ - $\rho$ 方式による測定を実施した。

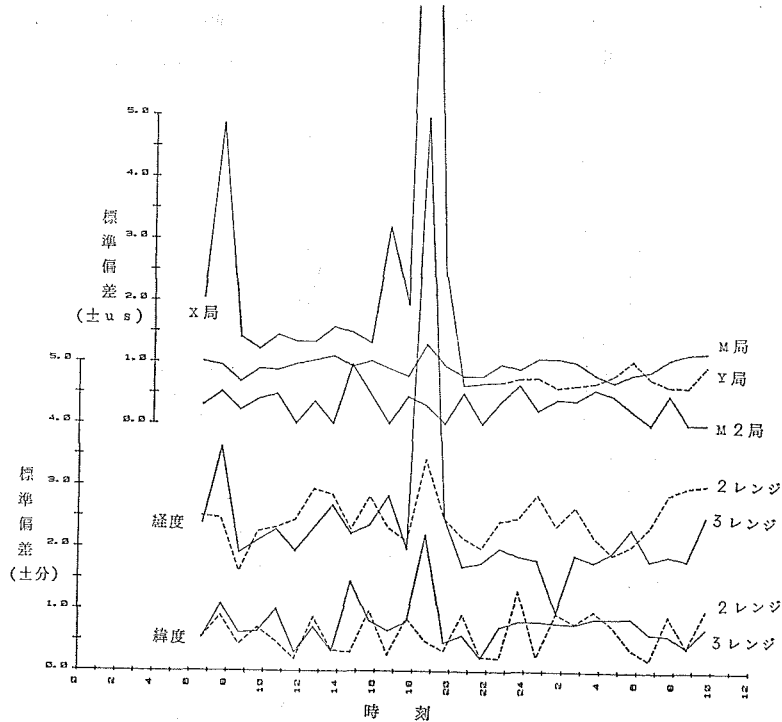


Figure 7 Standard deviations of measured distances (top group) and of longitude, latitude at fixed point in the port of Nagasaki.

第7図は、第6図の作成要領と同じであるが、経緯度の標準偏差については、現地選択の3レンジ $\rho$ - $\rho$ 方式によるもののほか、後日計算処理によるM局とM2局の2レンジ $\rho$ - $\rho$ 方式による測位の標準偏差も比較のため点線で記入してある。上段グループの3本のグラフは、各局からの距離測定値標準偏差の時間変動を示している。ただし、5月3日23時40分に実線表示のX局から点線表示のY局へと選択局が変更されている。X局の標準偏差は、5月3日の7時頃と18時頃の2度にわたり非常に大きくなっている。これは、第8図のX局距離測定値の変動に見られるように空間波を受信しているためであり、電離層の高さと密度が不安定となる日出時と日没時に相当している。

X局と長崎港との間の距離は約1,700 kmあり、この距離でロランC受信機の3サイクル自動検出機能は誤動作し、空間波を捕捉したことになる。一方、前述の館山沖における受信結果では、約1,500 km 伝播のY局信号は地表波、すなわち立ち上がりから3サイクル目を捕捉している。したがって、その中間の1,600 km程度が本装置の精密ロランC受信機の地表波受信能力の限界かと思われる。このことは、今後本装置を使用するうえで、以下に述べるような測位精度に関連して注意を要する点である。

第7図の23時付近の測定中断をはさみ、その時刻以前は、2LOP地表波と1LOP空間波を使用した $\rho$ - $\rho$ 3レンジ測位の位置の標準偏差を示しているが、時刻によっては位置情報として使用に耐えない。むしろ空間波の1LOPを除いた2レンジ測位の方が精度としてはるかに優れている。また中断以降についていえば、

3 LOP の地表波を使用した 3 レンジ測位の方が 2 レンジ測位より優れている。

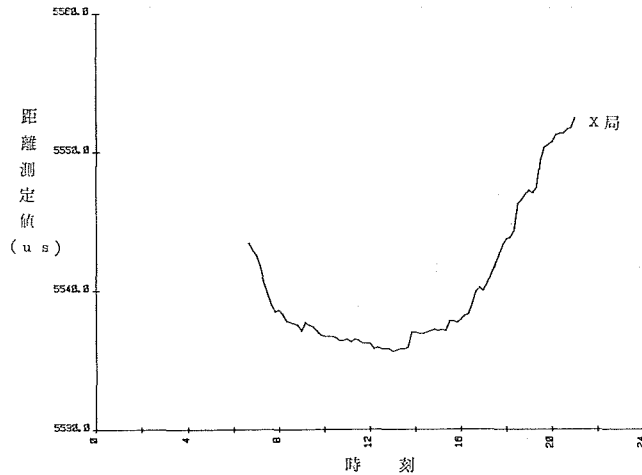


Figure 8 Graph showing the variation of a distance obtained by skywave signal from X-slave station.

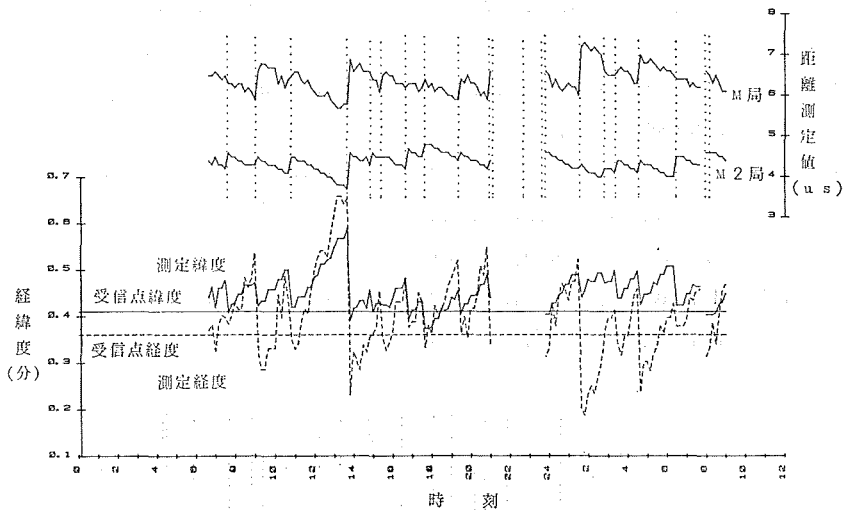


Figure 9 Hourly variations of measured distances (top group) and of longitude, latitude (bottom group) fixed by 2 range  $\rho-\rho$  loran C at Nagasaki.

第 9 図は、距離測定値並びにそれらに基づいて計算された位置の経緯度別時間変動を示している。上段グループは測定中断をはさんで、前後にそれぞれ M 局・M2 局及び M 局・Y 局・M2 局の下 2 桁(0.0  $\mu$ s)の距離測定値の時間変動を表したものである。縦の点線は NNSS の測位時刻を表していて、この点で測定値の較正が行われている。下段のグループは、2 レンジ測位による下 2 桁(0.00 分)の経緯度(実線は緯度、点線は経度)の時間変動を示すグラフである。横線は参考のため、固定受信点の 1 万分の 1 海図上での見取り位置(実線は緯度、点線は経度)を表している。

第 10 図は、3 レンジ測位の経緯度時間変動を示しており、22 時ごろの中断をはさんで前半は M 局・X 局・M2 局、後半は M 局・Y 局・M2 局からの距離測定値に基づき決定した位置の時間変動である。前半

は、既に述べたように X 局からの信号が空間波であるため標準偏差が大きな値を示すだけでなく、第 9 図の 2 レンジ測位の結果と比較すると決定位置の偏位量もまた大きいことがわかる。

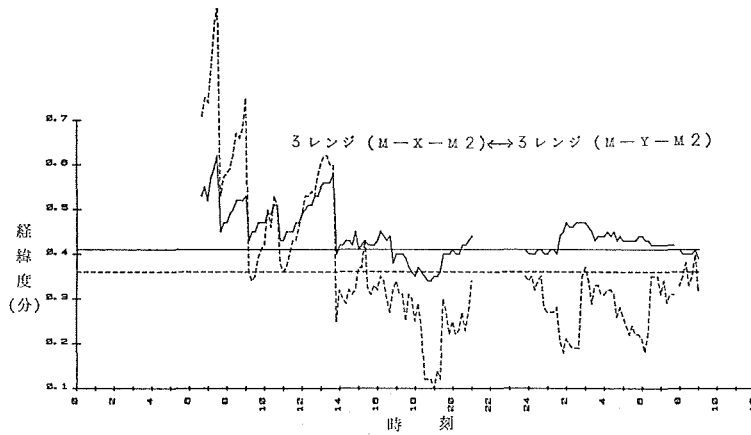


Figure 10 Graph showing the variation of the fixed position by 3 range  $\rho$ - $\rho$  loran C at Nagasaki.

第 9 図と第 10 図の経度と緯度の時間変動を示すグラフに鋸歯状波が見られる。これは、ルビジウム周波数標準器の基準信号周波数のロラン C 送信周波数からのずれ（以下ドリフトと呼ぶ）が主な原因であり、固定点観測にもかかわらず、あたかも本装置を搭載した船が徐々に移動しているかのように測定位置が一定の方向に偏位していき、NNSS の測位時点で再び元の位置に引き戻されたためである。一方、この時点で、距離測定値も新たな較正がなされるので、同様にそのグラフは鋸歯状となる。このことは、測量中にも当然起き得ることで、生データを使用した航跡図も鋸歯状となる。第 9 図の上段グラフから、距離測定値の時間当たりの平均傾斜は各局ともほぼ  $-0.25 \mu\text{s}$  ( $=75 \text{ m}$ ) という値が得られる。この値は、ルビジウム周波数標準としては、ほぼ 1 桁悪い精度で、初期調整が十分でなかったものと思われる。現在では、調整によりドリフトは  $0.07 \mu\text{s}$  ( $21 \text{ m}$ )/時間となり良好であるが、3~4 月に一度程度の調整を要する。ちなみに、第

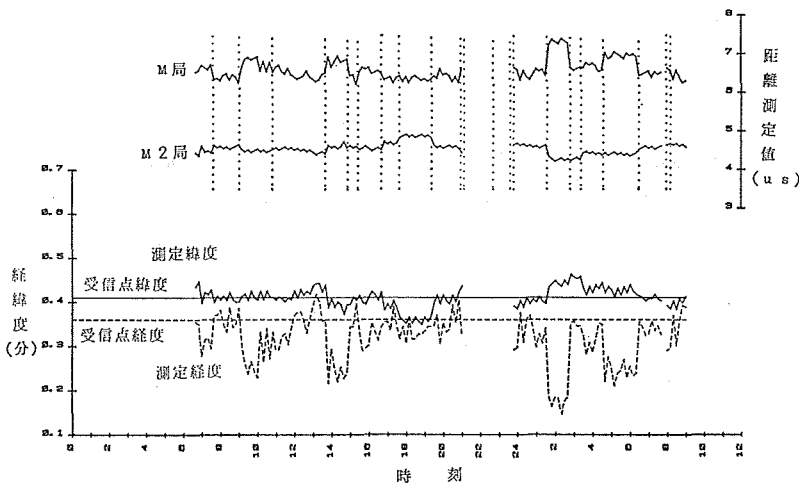


Figure 11 Graph showing the variation of distances and positions after the frequency drift corrections are applied. (Reference to Figure 9)

11 図には、コンピュータによりドリフト改正処理を行った後、第 9 図と同様に変動を描いたグラフを示す。ドリフトによる傾斜はなくなったが、凹凸の変動が 3~4 箇所で見られる。これは NNSS 測位が大きすぎたためである（後日、NNSS の up date 判定を機能する回路が不良であることがわかり、精度の悪いデータにも up date を付して出力していたため、基準位置として採用していたものである）。

ii NNSS 測位の精度

NNSS 測位は、昭和 56 年 5 月 1 日 10 時 37 分から 5 月 4 日 08 時 02 分まではほぼ 70 時間にわたり実施された。これ等のデータを処理した結果と、これとの比較のため、同測量期間中昭洋が鹿児島に入港した際のデータ処理結果、並びに昭和 47 年 12 月に昭洋が専用棧橋（東京）において MX 702（旧 NNSS 受信装置）により測位したデータの処理結果も合わせて第 4 表に示す。計算には up date の付されたもののみを使用した。

Table 4 The results of the NNSS position fix.

測位場所	長 崎	鹿 児 島	専用棧橋
受信回数 (回)	49	12	—
緯度標準偏差 (±分)	0.032	0.014	0.018
経度標準偏差 (±分)	0.029	0.012	0.022
1σ半径 (m)	78	38	47
緯度の偏位 (分)	0.01	0.02	—
経度の偏位 (分)	0.02	0.03	—

第 4 表を見ると長崎の測位精度が非常に悪い。これは受信地点付近に山がせままっていることで、場所の条件が海上における場合より悪いことが考えられ、そのほか、都市雑音、混信等による妨害も考えられる。一方鹿児島ではほぼ満足できる精度が得られており、海上において船速が零の場合には本装置の NNSS 測位精度は 30~40 m (1σ) が十分期待できる。

(3) 昭洋専用棧橋における測位方式別精度

昭和 56 年 6 月 6 日、昭洋専用棧橋において、M 局・X 局・Y 局のロラン C 電波を受信し、3 レンジまたは 2 レンジ ρ-ρ 方式または双曲線方式等を適宜選択し、測定を実施した。各データから標準偏差を計算し、横軸に時刻をとって記入した結果を第 12 図に示す。標準偏差の計算には、15 秒ごとの測定値を 21 個使用した。

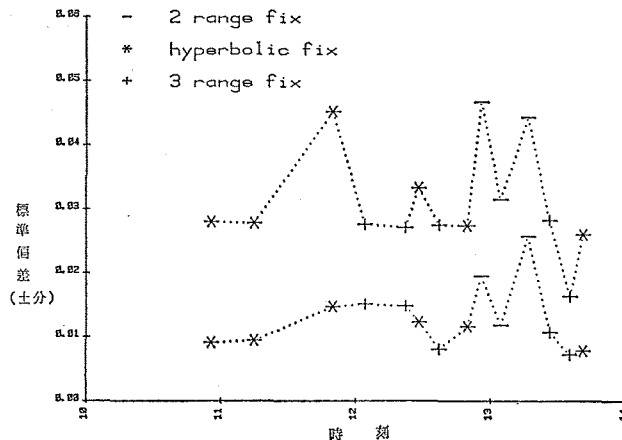


Figure 12 Graph showing the accuracy of various position fixing modes at the SHOYO's pier in Tokyo.

図から、+符号で表示した地表波受信による3レンジ $\rho$ - $\rho$ 方式が最も精度が良く、次に\*印の双曲線方式、精度が最も悪いのは2レンジ方式という結果になった。ただし、精度に大きく影響する LOP の交角は場所により異なるので、順位はどこも同じになるとは限らないが、駿河・南海トラフ付近の測量における順位に限って言えば、専用栈橋における LOP 交角と大差はないので、この順位はそのままあてはまるものと思われる。同一測位方式で、何回も時間をおいて測定しているのは、標準偏差が時間とともに変動しているため、その影響を軽減させるためである。

#### (4) 硫黄島周辺海底地形地質構造測量における航跡図

昭和56年6月8日から6月30日まで、昭洋により実施された同測量において、本装置が使用され、その測位結果が磁気テープ装置に収録された。測位に使用されたロランC局は、X, Y, Z の各局であり、M局は至近のため使用できなかった。従って、双曲線方式はこの海域では使用不能で、3レンジ $\rho$ - $\rho$ 方式が採用された。測位データを収録した磁気テープは、水路部の大型電子計算機で自動作図が可能なよう処理され、第13図に示すように作図機により航跡図を作成した。図において、×印は10分ごとの位置を、⊗は毎時の位置で時刻が記入されている。○印は NNSS 測位の位置で、必ずしも航跡上にないが、同点から約10分後に航跡が急に折れている所が見受けられる。この不連続な点が NNSS 測位による基準位置に基づき、 $\rho$ - $\rho$  測位が修正された点である。この図は、生データにより航跡が作図されたもので、最終的には、NNSS 測位点を航跡が通るようにコンピュータで航跡修正を行い、折線の無い航跡図が作図される。

## 4. 考察

### (1) 総合精度

本装置は以上に述べたように、NNSS とロランCの複合測位システムであるので、その誤差は、双方の測位誤差を加え合わせたものとなる。ロランC測位については、LOP の交角、送信局からの距離、その他の条件により場所によって測位精度が大きく異なる。従ってここでは、主として九州における実データを使用し、本装置の測位精度の目安を得るべく、次式により計算した相対位置誤差(平均二乗誤差)を第5表に示す。

相対位置誤差 = ロランC測位誤差 + NNSS 静的測位誤差 + 船速誤差に基づく NNSS 測位誤差

ただし、ロランC測位誤差は、長崎におけるデータの平均値を採用し、3レンジ $\rho$ - $\rho$ 方式で $\pm 30$  m、2レンジでは $\pm 40$  m とする。一方、NNSS の静的測位誤差は第4表の長崎の結果を採用して $\pm 40$  m とし、また、屋久島南方における測量中の結合計算機出力の船速データから船速誤差は $\pm 0.2$  ノットが得られ、これが NNSS 測位に及ぼす誤差として、東西方向航走で、ほぼ $\pm 30$  m、南北方向航走で、 $\pm 60$  m (衛星最大仰角に大きく影響を受け、角度が悪いとこの値の数倍に達する) とする(電子航法研究所報告 No. 5)。

Table 5 Repeatability accuracy of the system in the vicinity of Kyusyu.

	東西方向航走(±m)	南北方向航走(±m)
3レンジ測位	100	130
2レンジ測位	110	140

更に、絶対位置の精度としては、NNSS 測位の絶対誤差と $\rho$ - $\rho$  ロランCの基準周波数のドリフトに基づく位置誤差の和が第5表の相対位置誤差に加えられる。前者は第4表の経緯度偏位から約50 m、後者のドリフトは日本付近における衛星の平均受信間隔である1.4時間当たりのものを計算して $0.1 \mu\text{s}$  (=30 m) とすると、その和は80 m となるが、これらの誤差は測量海域近傍の経緯度既知点(基地港内)で受信データを取得

IO SIMA 1981-0610 0617 RHO-RHO

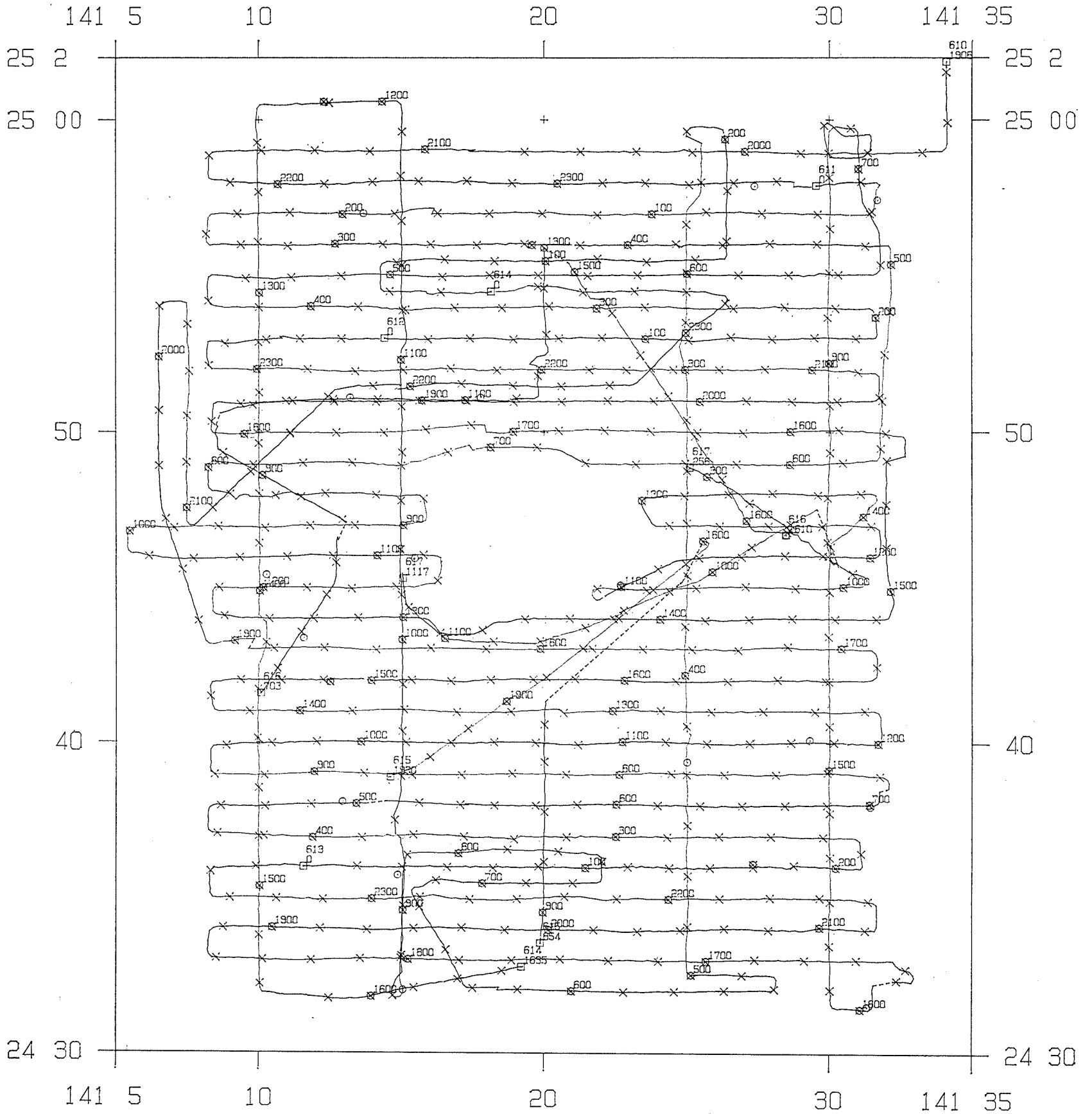


Figure 13 Ships track chart drawn with automatic plotter.  
 Position data were collected on the magnetic tape of this system in  
 the vicinity of Iwo island during the survey in June 1981.

すれば、後日補正が可能であろう。

測量計画立案にあたり、第5表から見られるように、測線方向を南北にとるよりも東西にとった方が、より精度の高い測位結果が得られるという事実は注意を要する。一方、測線方向について測量船の誘導面から考えると、第6図およびその関連記述からもわかるように、LOPの傾きによって決めるのがよく、緯度線にほぼ平行したLOPが多い場合は東西方向に、また、その逆では南北方向を選択するというように、より安定した軸に沿って航走する方が優れた操舵情報が得られ、きれいな航跡図が得られるばかりでなく、測線間隔の許容偏位量に関する再測の手間も少なくなる。以上に述べた測線方向決定の2方法で相反する結果が生じた場合は、測量縮尺、等深度曲線の方向、あるいは一般船の航路方向等を考慮のうえ、測線方向を決定されることが望ましい。

## (2) 今後の課題

本装置の現在までの欠点は、低精度のNNSS測位位置が $\rho$ - $\rho$ に基準位置として取り込まれた瞬間、操舵情報が急変し混乱を生ずることである。したがって、up dateの付された航海用としては十分な精度を有する測位データでも、水路測量用としては精度不十分の場合があるので、たとえ、NNSS測位の間隔が長くなってもコンピュータにより更にデータをふるいにかける必要がある。

次に、このような装置は今後少なくとも数年にわたり使用されるものであるから、結合計算機のプログラムはユーザー側で自由に変更が可能なるよう、フォートラン等の高級言語で作成することが望まれる。

今回、本装置の精度試験が固定点に限られていたので、近い将来には、マイクロ波を使用した精密電波測位機を使用して、実海域における動的精度を把握したいと考えている。

最後に本報告を作成するに当たり、各地の貴重な測定データを提供していただいた測量船昭洋・屋久島南方地震予知測量班・硫黄島周辺海底地形地質構造測量班、並びに本装置の製造にあたられたセナー株式会社、の各関係の方々へ厚く感謝する。

## 参 考 文 献

Magnavox Report R-5885A 1978 : pp. 4.22-4.44.

Magnavox Report R-6147 1979 : pp. 2.1-2.13, 3.15-3.26.

Grant, S.T. 1973 : Rho-Rho Loran-C combined with satellite navigation for offshore surveys, International Hydrogr. Review, 50, 2, pp. 35-54.

木村小一・西 周次・田中鏞一・奈須英臣・西野朝生・藤田光紘・伊藤 実 1973 : Navy Navigation Satellite System の利用に関する研究, 電子航法研究所報告, No. 5, pp. 37-43.

大森又吉, 坪川家恒 1969 : 測地学序説, 山海堂, 東京, pp. 240-272.

木村小一 1977 : 衛星航法, 海文堂, 東京, pp. 89-121.

マラッカ海峡協議会 1975 a : ロランCと NNSS の複合測位データ処理プログラム説明書, pp. 2-49.

マラッカ海峡協議会 1975 b : ロランC・NNSS の結合による精密船位測定システム説明書, pp. 2-41.

セナー株式会社 1978 : マルチレンジングによる測位の計算, pp. 1-9.

須田教明 1976 : 電磁波測距儀, 森北出版, 東京, pp. 201-206.