

## 測量船「昭洋」における測量方式の自動化について

浅田 昭・近藤 忠

### COMPUTER AIDED HYDROGRAPHIC SURVEY AND PROCESSING SYSTEM OF THE SURVEY VESSEL SHOYO

Akira Asada and Tadashi Kondo

#### Abstract

A computer aided hydrographic survey system of the survey vessel "SHOYO" has been completed. Positioning, data acquisition, data processing are done by using a computer PANA FACOM U-1200.

The computer provides accurate positioning from the integration of the NNSS (Navy Navigation Satellite System), the Loran C, and the other associated navigation sensors. In this system, Loran C position is calculated by multi-LOP (Line Of Position) fixing up to 14 LOP's of 6 hyperbolic LOP's and 8 range LOP's, and corrected by a unique calibration method. The computer calculates differences between NNSS fixes and Loran C fixes to minimize variance of NNSS fixing, and decides reliable calibration values by a weighted mean method. The data processing programs included in the system produces a bathymetric contour chart, a sounding chart, a track chart and other charts. These charts are very available on conducting survey. As far sounding, the automatic echo sounder occasionally provides erroneous depth data. Therefore, we have developed a sub-system to replace erroneous data with interactively re-digitized depth values from analog graphic records of the echo sounder.

#### 1. はじめに

海底地形調査において、近年、自動化が進んでいる。測量船「拓洋」においては、シービームによるデジタル測深およびNNSSとロランC等の複合測位装置（1984、木戸）により、測量時における自動化が確立している。また、後処理についてもシービームデータによる海底地形図作成の処理ソフトが完成し（1986、浅田ほか）、自動化が図られている。測量船「昭洋」についても、建造当初から自動化の要望があり、検討が進められ、長距離電波測位装置（1982、岡田）（1982、酒井ほか）やデジタル測深機の導入が行われて来た。しかし、後処理の問題等から停滞していた。例えば、測位については、NNSSが入る毎に測位をアップデートし、測位の飛びが生じていたので、NNSSの評価をやり直し、NNSS受信点において滑らかな測位に修正する必要があった。さらに、データの収録についても、各種測量機器のデジタル化およびインターフェース、MTの耐震性等の問題から完全なものではなかった。そこで、1986年3月に、測位計算からデータの収録及

び一部データ処理を行うセンサー製測量データ収録装置、そして富士通U-1200II測量データ処理装置の導入を図り、シービームで培われた経験を基に、船上処理ソフトを整備した。測位については、NNSSの個々の分布誤差を取り除くため、複数個のNNSSデータによる最確固定誤差補正が行われ、後処理を必要としない測位法を取り入れた。計算機については集中制御方式を取り、富士通U-1200II計算機1台で、リアルタイム測位、データ収録、船上バッチ処理を並列的に行えるようにした。これにより、船上で航跡図、水深図、海底地形図が作成され、測量の充実が図られる事となった。しかし、測深はレイセオン社の12/34 KHz測深機を使用しており、ビームは12KHzで30度の広い指向幅を持ち、デジタル測深についての問題点があった。複雑な海底ではサイドローブによる双曲線効果により、海底が多重に見えたりして、完全なデジタル測深が行いにくい。そこでデジタイザを使い、測深機のアナログ記録紙からデジタル測深の不良箇所を補う事とした。また、陸上ではできるだけ詳細な海底地形図が作成できるまでのソフトの整備を行った。

## 2. 測位システムの整備

U-1200II計算機を核として、ロランC、NNSS、ログ、ジャイロ等を複合化した最新のシステムを作り上げた。システム全体の構成は第1図に示すとおりである。

NNSSは2周波受信により電離層内の電波屈折による遅延を補正するHX-1107型受信機であり、システムで作り上げた船の進行方向および速さを入力し、最適なNNSS測位が行えるようになっている。NNSS内部において、受信衛星の最大仰角、受信状態、受信中の船体の安定度からその測位精度を自己判定する。システムでは精度的に良質なものと判定されたものを採用する。

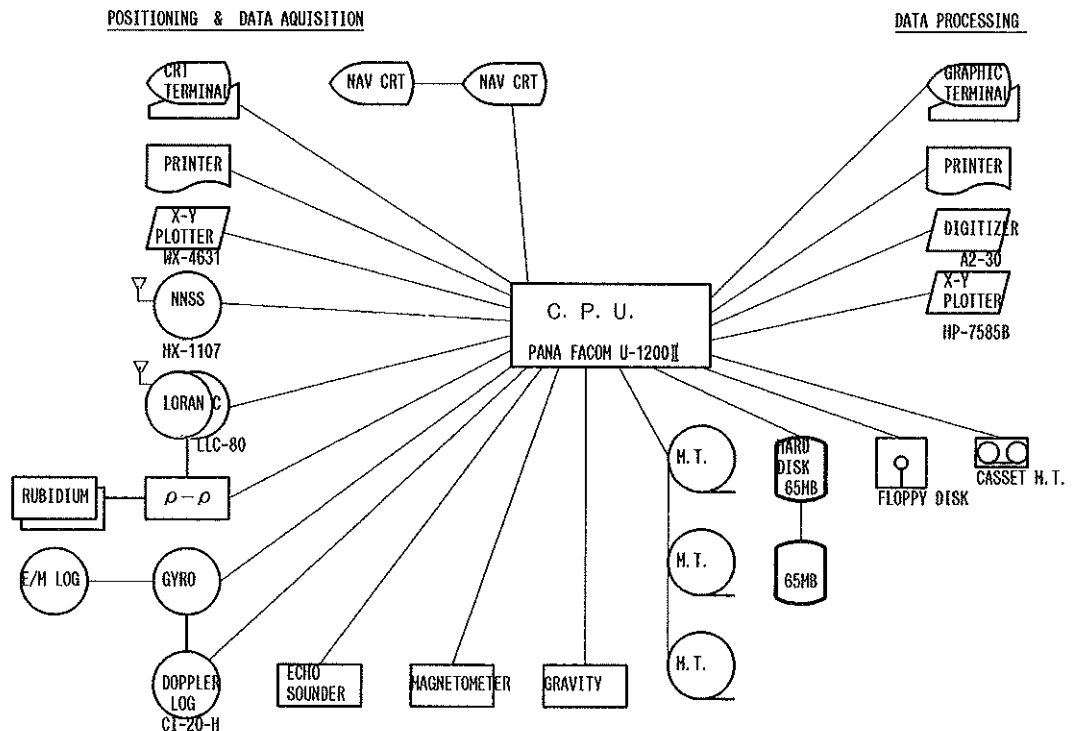


Figure 1. System block diagram

ロランCはLLC-80型受信機2台により、1台当り3双曲線ロップ、4距離ロップの計測を行う。システムには合計14ロップの計測値が取り込まれる様になっており、この内の最適なロップの組み合わせを使用者が選択し、マルチ・ロップ処理により位置を決定する。

ルビジウム周波数標準器は2台あり、ロランCの距離測定モードの基準時計の役割をする。LLC-80は主局と3従局のペDESTALパルスを出力するようになっている。このパルス信号とルビジウム周波数標準器から出力される10KHzおよび5MHzの信号から高精度のGRI信号を発生させ、ロランC受信機からのペDESTALパルスとの時間差を計測する。このGRI信号と各局の電波発射時間の同期ずれはプログラム上で計算、補正されて距離値が計測される。ルビジウムで発生したGRI信号のドリフト値は船舶の係船時ドリフト測定プログラムを使って計測され、ルビジウム周波数標準器は常に最適な状態に調整される。

ログは2系統あり、1つはジャイロおよびE/Mログ系統からの速度情報、もう1つは音波ログからの速度情報である。使用者はどちらか一方を速度センサー情報として使用する。

CRTは2系統あり、1つは操船ガイダンス用であり、船橋と観測室に設置されている。もう1つは各測位センサー監視、システム操作および監視用のものである。

プリンター1台は一定間隔毎の測位情報および収録データの記録、監視データのCRTハード・コピー用に使用される。

## 2-1. 測位計算

測位処理のフローを第2図に示す。まずロランCの計測ロップ値の正規化を行い、次にマルチロップ処理、経緯度値への座標変換が行われ、カルマン・フィルタを通してロラン系位置が形成される。この後、複数のNNSSによるロランC系位置の更正を行ってシステム位置が決められる。

### (1) ロップの正規化処理

2台のロランC受信機から入力される3×2個の双曲線ロップおよび距離測定装置から入力される4×2個の距離ロップを管理する。距離測定装置からの距離ロップ値はゲタをはいた距離であり、正規の距離データに変換する必要がある。距離測定装置の中ではルビジウム信号を使って、GRI信号が作られ、これと各局からの電波の受信時刻のずれ量を計測している(第3図)。船の位置が正確に把握できた時に、各ロランC局と現在の船の位置から、電波の到来に要する時間を計算し、ルビジウム信号によって発生したGRI信号と各局の電波発射時間とのずれ量を計算し、この更正値によって距離ロップの正規化を行う。以後この更正値に従って距離測定が行われる。

$$\text{双曲線: } QLOP_i = RLOP_i - \Delta_i \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{距離: } QLOP_i = RLOP_i + (RHO_0 - RLOP_0) - \Delta_i \quad \dots\dots\dots (2)$$

QLOP<sub>i</sub> は正規化された値で、RLOP<sub>i</sub> はt<sub>i</sub>時の測得ロップ値、RLOP<sub>i</sub> はt<sub>0</sub>時、つまり、更正時の測得ロップ値である。RHO<sub>0</sub> は更正時の距離計算値である。Δ<sub>i</sub> は(2)の陸部における電波伝播遅延補正と、各ロップの送信遅延の和である。ロランCでは、主局に対し、従局は一定の遅延を持って電波が発信される。この遅延は各従局毎に決められたコーディングディレイと主・従局間の距離の和となっている。又、この段階で各ロップ値に対し受信計測値の分散に対応した重み(1.0~0.0)を付加する。

### (2) 陸部における電波伝播補正

ロランCに関して、電波の伝播時間は次のようにして求められる。

まず、大気中の電波伝播速度から一次伝播時間(PF: Primary Phase Factor)を計算する。

$$\text{一次伝播距離 } T_0 = (\text{距離})/V \quad (\mu s) \quad \dots\dots\dots (3)$$

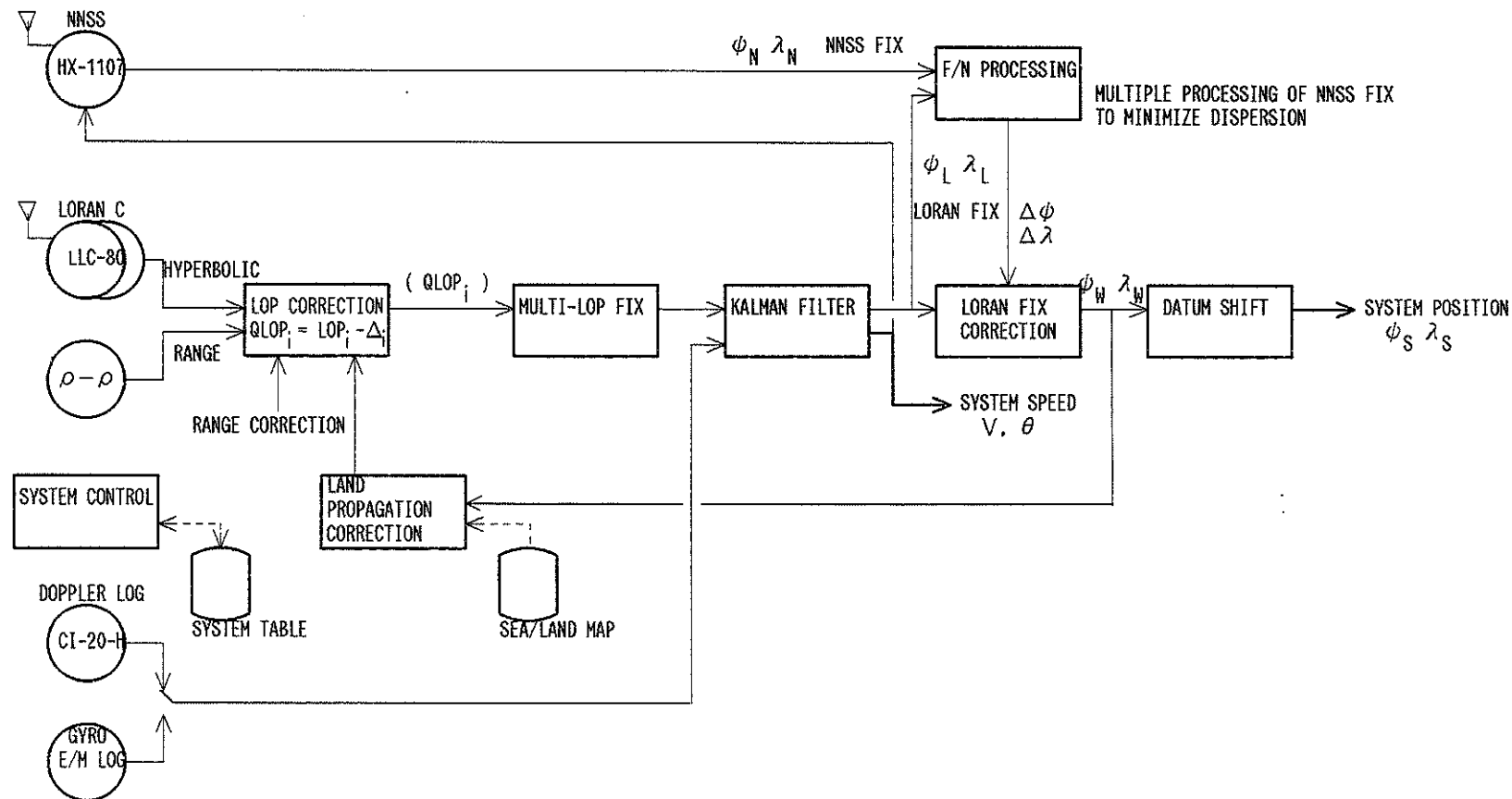
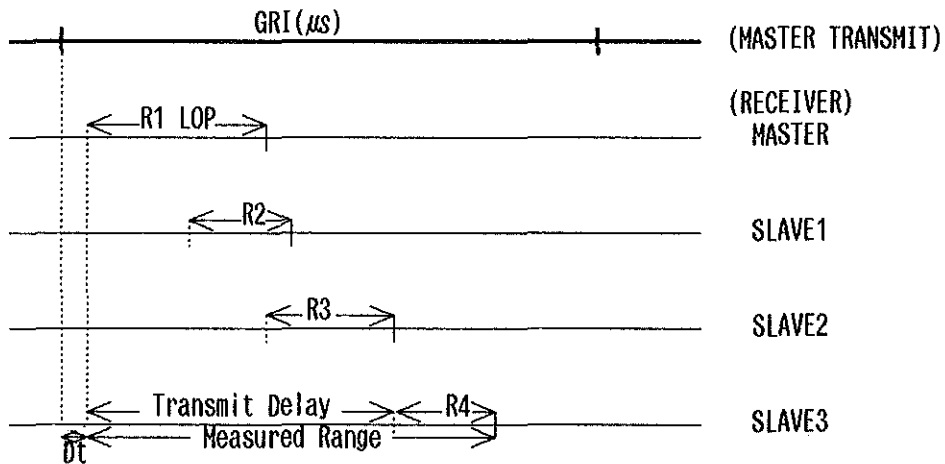


Figure 2. Flow of positioning



Dt : Difference between transmitter GRI & receiver GRI  
Transmit Delay : Coding Delay + Base Line Length

Figure 3. Range measurement of Loran C receiver

$$\text{一次伝播速度 } V = 2.9969 \times 10^2 \quad (\text{m}/\mu\text{s}) \quad \dots\dots (4)$$

次に、2次補正值 (SF : Secondary Phase Factor) を計算する。ロランCの場合、地球の表面付近を伝播する地表波を計測に使用するが、この地表波は地表の電気的影響を受けて大気中上方に伝播する電波より位相遅れを生じる。全ての伝播路が海面上と仮定してこの電波の遅れを補正する。

$$TE = 2.7413/T_0 - 1.140 \times 10^{-2} + 3.2775 \times 10^{-4} \times T_0 \quad (\text{距離} < 160\text{km}) \quad \dots\dots (5)$$

$$TE = 129.04/T_0 - 0.40758 + 6.4577 \times 10^{-4} \times T_0 \quad (\text{距離} > 160\text{km}) \quad \dots\dots (6)$$

これから

$$T = T_0 + TE \quad (\mu\text{s}) \quad \dots\dots (7)$$

と求められる。しかし、これは海上伝播の場合であり、陸部の伝播路を持つ場合、湿気や陸部の地質的電気伝導度の違いや山等の地形的影響により遅れは海面上の場合とは異なってくる。この誤差要素をASF (Additional Secondary Phase Factor) という。この遅延量については0.6μs/100kmの遅延量と推定した例もある (1985, 小野)。また、最近では米国運輸省は計算値と実際の観測データを基に一部補正表 (1986) を作成している。本システムでは、ディスク上に日本付近の海陸凶情報を保存してあり、一定時間間隔毎に推定遅延量から各ロップ毎に更新する方式を採っている。海陸凶は経緯度とも分解能1分のランレンクス法構造で作られており、大圏上の電波伝播軌跡を追跡して陸上伝播距離を求める方法をとっている。この補正は5970チェーンと9970北西太平洋ロランCチェーンの場合のみ行われる。

(3) マルチロップ座標変換処理

(1)で求められた正規化ロップのQLOP値からマルチロップ処理 (第4図) により経緯度値が決定される。測得ロップからマルチ・ロップ処理により船の位置を求めるのに以下の方法が用いられる。今、前回決定された船の位置をφ<sub>0</sub>, λ<sub>0</sub>とする。この点における計算上のロップ値をSLOP<sub>i</sub>とすると、ロップ残差Q<sub>i</sub>は

$$Q_i = QLOP_i - SLOP_i \quad \dots\dots (8)$$

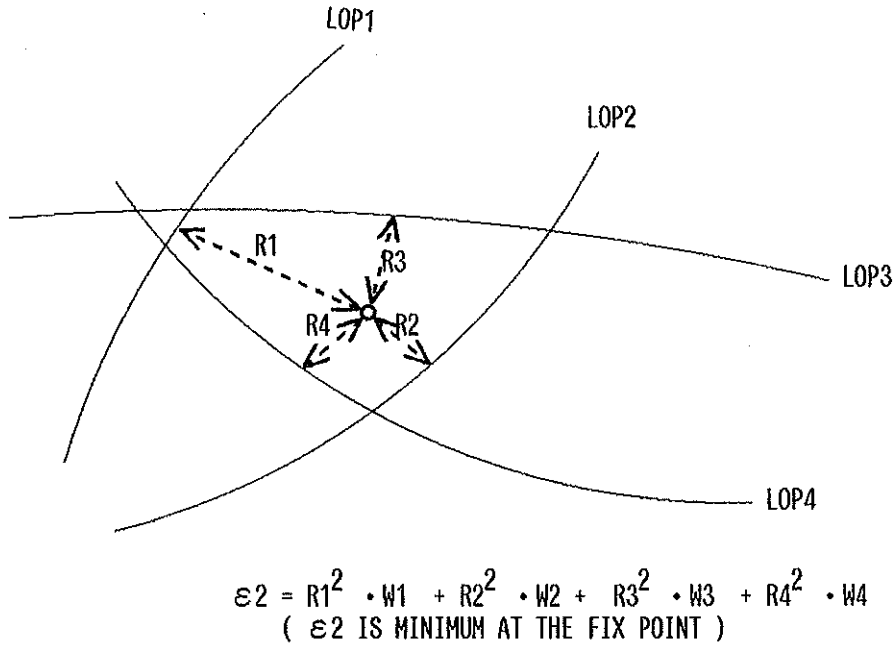


Figure 4. Multi-LOP fixing

となる。ここで

$$QLOP_i = SLOP_i + \Delta\psi \frac{\partial(QLOP_i)}{\partial\psi} + \Delta\lambda \frac{\partial(QLOP_i)}{\partial\lambda} \quad \dots\dots\dots(9)$$

という観測方程式がつくられる。iは測得ロップ番号で1~14の範囲となる。これから、最小二乗法によって $\Delta\psi$ 、 $\Delta\lambda$ を求め、位置 $\psi_0 + \Delta\psi$ 、 $\lambda_0 + \Delta\lambda$ を決定する。

つまり、ウェイトを加味して

$$\epsilon^2 = \sum \left( (Q_i - \Delta\psi \frac{\partial(QLOP_i)}{\partial\psi} - \Delta\lambda \frac{\partial(QLOP_i)}{\partial\lambda})^2 \times W_i \right) \quad \dots\dots\dots(10)$$

が最小となる $\Delta\psi$ と $\Delta\lambda$ を求めればよい。 $W_i$ はウェイトである。

こうして決定された位置とジャイロ、ログまたは音波ログによる速度データがカルマンフィルタに入力され、安定したロラン系位置、ロランCで補正されたシステム速度が得られる。

#### (4) 固定誤差補正

ロランCによる測位は連続的に安定した情報を提供してくれるが、電波の伝播速度による誤差等が生じる。本システムでは、固定誤差値を直接入力する方法、絶対位置の知られている目標物等を基準としてキーボードから基準位置を入力して固定誤差値を決める方法、そして、NNSSを基準として固定誤差値を決める3つの方法を採用している。NNSSによる補正についてはF/N処理法(1987, 上之)を採用している。F/N処理とは、NNSS個々の測位精度は軌道条件、船体の運動等により誤差分布を持っているので、3~7個のNNSS測位値とそれに対応するシステム位置とを使って分布誤差を押さえ、高精度のNNSS固定誤差補正を行うものである。(2)でASFの補正を行っているので陸部の影響によるシステム位置のドリフトが小さく、信頼度も高い。

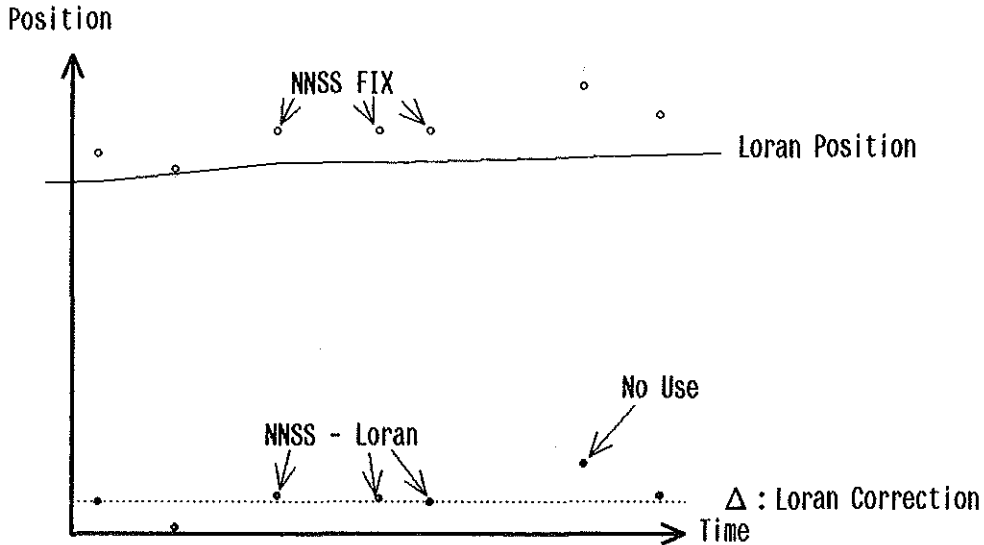


Figure 5. Loran C calibration from multiple NNSS fixes

これにより、個々のNNSSの誤差に振り回される事の無い測位が行われる。この処理においてNNSSの計測位置は時々異常に大きな誤差を持つことがあるので、NNSSデータのうち精度的に質の悪い方から1～2個程度排除するようにしてある。また、NNSS位置の誤差、システム位置の誤差、データの時間的古さに対応した重みをつけて、回帰計算により固定誤差を求める。

第5図は7個のNNSS値とそのときのロランCによって求められた位置の差の加重平均によって補正值 $\Delta$ を求めたものである。このときの棄却数は1であり、最も精度的に質の悪いNNSSが1つ棄却されている。この後NNSSが1つ入る毎に、古いものが1つ排除され、新しい補正值 $\Delta$ に更新される。7個のNNSSを使用しているので $\Delta$ の変動は非常に小さい。この補正の後、測地系を内部計算測地系WGS-72から指定の測地系に変換してシステム位置が形成される。

## 2-2. データ管理およびプログラム管理

測位プログラムおよびデータの収録プログラムはシステムの電源を入れ、CPUを立ち上げるだけで自動的にスタートする。必要なパラメータは全てディスクにファイルされており、スタート時に自動的に読み込まれる。パラメータファイルは分類分けされており、エディット操作によって簡単に変更できる。プログラムの走行中でも、パラメータを簡単に変更できる。一旦エディット操作を行なうとそのファイルのパラメータは更新パラメータ情報として別保管され、“Z”コマンドを入力するとこのパラメータ情報はメモリー内に取り込まれる。“Y”コマンドを入力すると、保管されているパラメータ情報は棄却される。コマンドはこのほか1～2文字で構成され、各種ファイルをオープンしたり、システムを制御するものである。システム制御ファイルIを第6図に示す。各ラインの左端1文字はその行がコメント(C)であるか、入力行(:)であるか、システムが自動的に書き込む行(#)であることを示す。9行目は受信されているロランCの局名と双曲線と距離モード別にシステムが記録したものであり、11行目は各受信局をシステムで採用するかどうかを示す。エディット操作により、このような形でCRT上に表示され、簡単に各種パラメータを変更できる。以下にファイルの種類を示す。

・システム制御ファイル I

```

NO. LABEL OP. OPR.
 1 C
 2 C=== << SHOYO SYSTEM FILE NO.01 FINO:0080 FN/ZSELECT1 >>
 3 C
 4 C*** "SYSTEM SELECT" TABLE ---SYSTEM---
 5 C
 6 C ----HYP---- +++++RHO+++++
 7 C <1> <2> <1> <2>
 8 C 1 2 3 1 2 3 1 2 3 4 1 2 3 4 LOP CHANNEL
 9 # X Y Z X Y Z M X Y Z M X Y Z LOP PATTERN (EXISTING PATT)
10 C + + + + + + + + + + + + + + + +
11 : <1.1.0//1.1.0//0.0.0//0.0.0> LOP ASSING (0:NOT SELECT, 1:SELECT)
12 C
13 C
14 C*** "RHO-RHO INITIALIZE" ---RHORHO---
15 C LAT. LON.
16 C * **-* **N ***-***.***E
17 : KB <1> (0:DISABLE, 1:ENABLE) <35-37, 310N> <139-46, 200E>
18 : RHO <1> (0:DISABLE, 1:ENABLE)
19 C
20 : NAV <0> (0:GND. NAV, 1:DEADRECKON) SYSTEM AVIGATION MODE
21 C **
22 : CALIB <03> "RHO-RHO" AUTOMATIC REINITIALIZING RATE (HOURS)

```

Figure 6. CRT display of System control file

ロランCの選局, および, 距離モードの初期設定を行う。

- ・システム制御ファイルII

カルマンフィルタのモード選択, 海陸補正選択, 速度センサの設定・選択, 海流計算の設定, 測地系の選択, ルビジウム周波数標準器のドリフト計測設定を行う。

- ・F/N処理設定ファイル

F/N処理の衛星組数, 棄却衛星数等の設定を行う。

- ・測線, 目標点制御ファイル

操船案内用に測線または目標点を設定する。

- ・測線, 目標点データファイル

- ・コマンド説明ファイル

- ・各種測地系定数ファイル

- ・データ収録, プリント出力制御ファイル

- ・ロランC局ファイル

各種ロランC局の局位置, コーディングディレイ, ベースライン時間のファイルであり, 受信ロランCチェンのGRIによって自動的にプログラム内にセットされる。

第7図に実際の測位結果のプリントおよび測位データ監視CRTのハードコピーを示す。測位結果として時間, 位置, 船速, 海流, 地磁気, 重力, 水深, ロランCの双曲線ロップ値等が出力される。測位データ監視CRTにはロランC, NNSS, そのほかの測位センサーの受信状態, システム情報, 海流値等が表示され, 効果的に監視できる。また, パラメータで設定した間隔でこのCRTのハード・コピーが行われる。ロランCの受信データにはS/N値, 計測ロップ値とシステム位置から計算したロップ値との差, アラーム情報等が表示される。この測位監視用のCRTはシステム操作と共用されている。

### 2-3. 海流計測

音波ログから入力された対海水速度データと測位の結果から得られる船体の速度データ等を使い, 表面海流の計算が行われる。この計算方法は, 直接システム速度から対海水速度を差し引いて求める方法と, 計算期間におけるシステム位置の移動ベクトルからこの期間の対海水速度による推測航行ベクトルを差し引いて, 船を押し流した海流偏位分を求めて海流を算出する2つの方法がある。採泥作業等ではこういった海流デー



```

** SHOYO / HL01 **
TIME SYSTEM DATE 1986/12/23 DATUM:TD LORAN-C NO 1=9970, NO-2=9970 PAGE 139
SYS SPEED SYS CURRENT MAG. GRAVITY DEPTH +++++ NO.1 L/C HYP +++++ NO.2 L/C HYP
H M S LAT. LON. HDG SPD C.SET RATE (NT) (M GAL) (M) 1 2 3 1 2 3
075200 6N0 34-31.105N 138-41.655E 110.9 14.0 200.8 .3 00000 -00000.00 *0000.0 17811.5 36370.7 60231.8 17811.8 36370.8 60231.9
075300 6N0 34-31.036N 138-41.936E 110.7 14.1 200.8 .3 00000 -00000.00 *0000.0 17810.8 36371.4 60233.4 17811.0 36371.4 60233.5
075400 6N0 34-30.970N 138-42.165E 110.5 14.0 200.8 .3 00000 -00000.00 *0000.0 17810.3 36372.1 60235.1 17810.6 36372.2 60235.0
075500 6N0 34-30.853N 138-42.496E 110.5 14.6 131.4 1.4 00000 -00000.00 *0000.0 17809.8 36372.8 60236.7 17810.0 36372.9 60236.7
075600 6N0 34-30.808N 138-42.710E 110.1 14.0 131.4 1.4 00000 -00000.00 *0000.0 17809.0 36373.5 60238.3 17809.2 36373.6 60238.3
075700 6N0 34-30.723N 138-42.975E 109.6 14.1 131.4 1.4 00000 -00000.00 *0000.0 17808.5 36374.2 60239.9 17808.7 36374.2 60239.8
075800 6N0 34-30.614N 138-43.304E 109.8 14.2 131.4 1.4 00000 -00000.00 *0000.0 17807.9 36374.9 60241.5 17808.2 36374.9 60241.5
075900 6N0 34-30.542N 138-43.573E 109.9 14.5 131.4 1.4 00000 -00000.00 *0000.0 17807.1 36375.6 60243.1 17807.3 36375.6 60243.1
080000 6N0 34-30.478N 138-43.827E 109.7 14.2 62.7 .5 00000 -00000.00 *0000.0 17806.6 36375.2 60244.7 17806.9 36375.3 60244.8
DATE:86-12-23 TIME:08:00:02 <SYS. DR> TD 34-30.478N 138-43.827E
ID:480,D/T:356/21:57:36,QTY1/07,EV=66,IT=03,DP=36
<NNSS FIX> WGS 34-35.581N 138-27.435E 023./071.
<DATUM> <LAT.> <LON.> MB ML <SPEED> <CURRENT>
<SYS> TD 34-30.478N 138-43.827E 2/ 2 HDG SPD SET RATE
WGS 34-30.641N 138-43.634E-0.462/+0.538 SYS 109.7 14.2 SYS 62.7 .5
<NSDR>WGS 34-30.593N 138-43.508E 59:50 3733 6/L 109 0 13.8 GFS
<GPS> DRT DOP 112 6 13.9 DEPTH *0000.0
U HYP-OBS CAL. O-C SYGM WGT U RNG-OBS CAL. O-C WGT @S/N SL
#1 M * 3693.1 89.6 + 3.5 1.0 09 * RATE=9970
1 W 17806.6 06.6 - 0.0 0.0 0.0 * 6216.3 12.2 + 4.0 0.0 -01 *
2 X 36376.2 72.6 + 3.6 0.0 0.0 * 3375.7 77.0 - 1.4 1.0 08 * 34-30.34N
3 Y 60244.7 44.8 - 0.1 0.0 0.0 * 4470.9 71.2 - 0.3 0.9 08 * 138-43.39E
#2 M * 3693.1 89.6 + 3.5 1.0 10 * RATE=9970
1 W 17806.9 06.6 + 0.3 0.1 0.0 * 6216.3 12.2 + 4.0 0.0 -02 *
2 X 36376.3 72.6 + 3.7 0.0 0.0 * 3375.7 77.0 - 1.4 1.0 08 * 34-30.30N
3 Y 60244.8 44.8 - 0.0 0.0 0.0 * 4470.9 71.2 - 0.3 1.0 08 * 138-43.83E
<MODE> STA. <START>01 <END>
AD= NM GD= 7.94NM E 34-28.000N
CD= NM GA=108.1DEG L 138-53.000E

```

Figure 7. Print-out of positioning data and hard copy of the monitoring CRT

タも重要な情報となる。

#### 2-4. データ収録

磁気テープには設定した時間間隔で測位結果および測深値、重力値、地磁気値、海流値、NNSSデータ、音波ログのデータ等が収録される。磁気テープが一杯になると、監視用CRTに警告が表示され、その後のデータはディスク上に保管される。磁気テープを掛け変えると、ディスク上に保管されていたデータがまず最初に収録され、収録洩れが防がれる。

### 3. 船上データ処理

測位プログラムはU-1200 II上で最優先で実行されるが、処理計算機の能力はまだ充分な余力を持っている。そこで、測位プログラムと同時に収録データの編集処理、航跡図、水深図、等深線図、海流図の作成、測深記録紙から測深値のデジタイズ等が行われる。U-1200 IIにはデータ処理用として、操作用キーボード付CRT、シリアルプリンタ、MT 2台、CMT、デジタイザ、大型プロッタ、フロッピー・ディスクが装備されている。

MTはデータ収録用と共用できる。

#### (1) 航跡図、水深図、海流図作成プログラム

データ収録磁気テープを使い、第8～10図のような航跡図、水深図、海流図が簡単に作成できる。これらの図が船上で作成できるので、調査の充実が図られることとなる。

#### (2) 測深記録のデジタイジング・プログラム

「昭洋」に装備してあるレイセオン社12/34KHz測深機のビーム幅が広いことやデジタル測深機構の問題があり、海底の地形が複雑な時にはデジタル測深が旨く作動せず、誤測深を行う事がある(第11図参照)。このような箇所ではデジタイザを使って測深記録紙から水深値をデジタイズする必要がある。このプログラムとしてPC-9801を使うものと、U-1200 IIを使う2つを用意した。どちらも同じ処理方法を取っている。このプログラムによって毎正15秒間隔の時系列測深値がデジタイズされる。

#### (3) 収録データ磁気テープの編集

測深値は1500m/sの仮定音速度で計測されている。このため、実際の音速度プロファイルに基づく水深補正を行い、(2)で作成した水深デジタイズファイルのデータを磁気テープに収録された測深データと置換する必要がある。このデータファイルを磁気テープ上に収録して編集テープを作成する。また、U-1200 IIは、EBCDICコードを使っており、陸上処理用に編集磁気テープをASCIIコードに変換する。

等深線図を作成する場合、本システムで用意されている等深線図作成プログラムは、入力データ数に制限があり、収録磁気テープのデータをそのまま入力する訳にはいかない。そこで、ある程度の間隔で、データの抽出を行い、等深線図作成のためのデータ数を減らしたデータファイルを用意する。このとき、測位については経緯度座標系から平面X-Y座標に変換する。

#### (4) 等深線図作成プログラム

船上で調査中に海底の地形を把握するために、簡単な等深線図作成プログラムを用意した。このプログラムにより作成した等深線図を第12図に示す。このプログラムでは入力データ数7000点まで処理でき、これから約12,000点の格子データに変換し、等深線図を作成する。入力データは(3)によって用意される。この図は(3)で約1海里毎に水深値を抽出し、作成したものである。この図では未だデジタイザによる水深の修正が完全には行われていない。

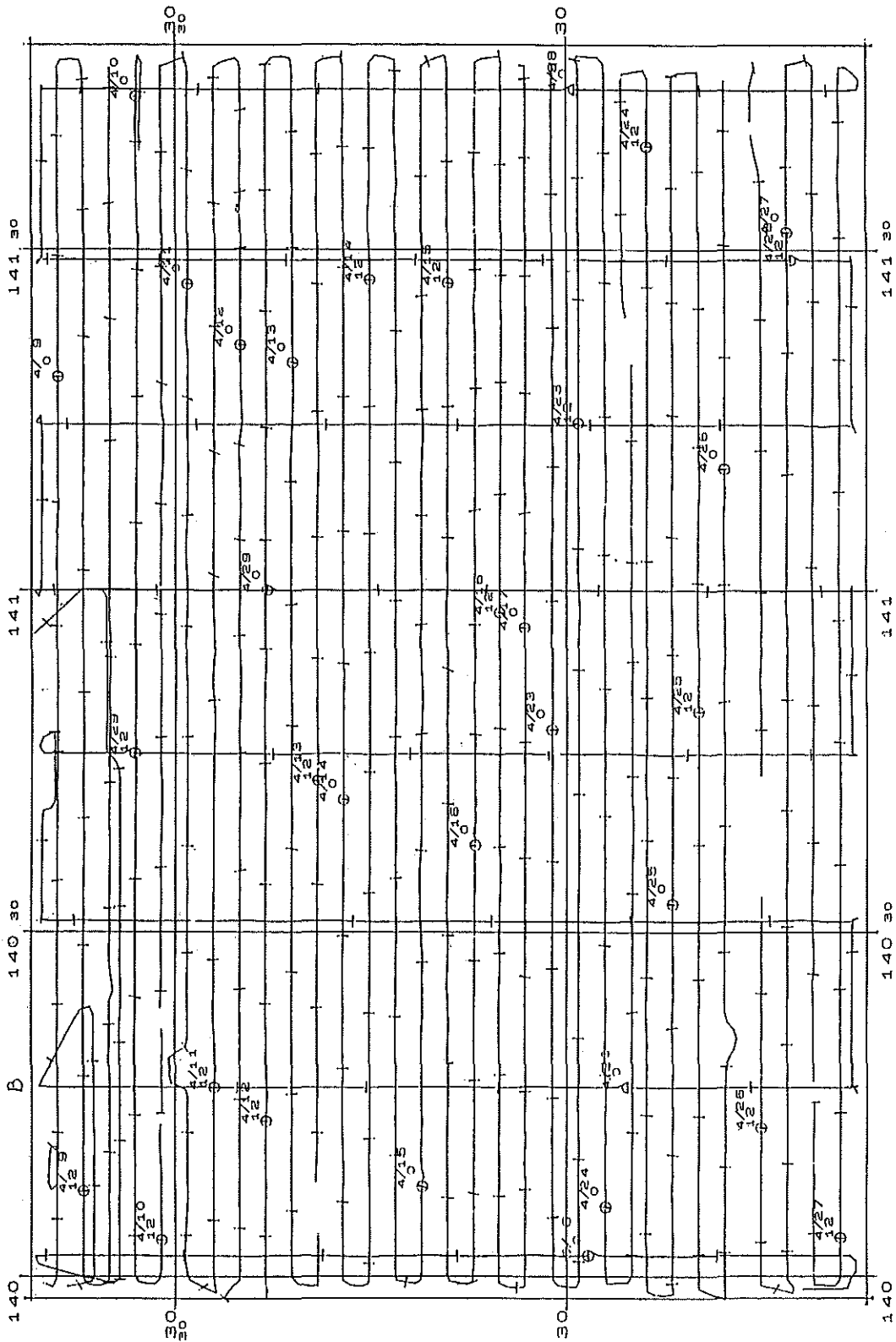


Figure 8. Track chart

1 4 1 1 0

1 4 1 2 0

1 4 1 3 0

1 4 1 4 0

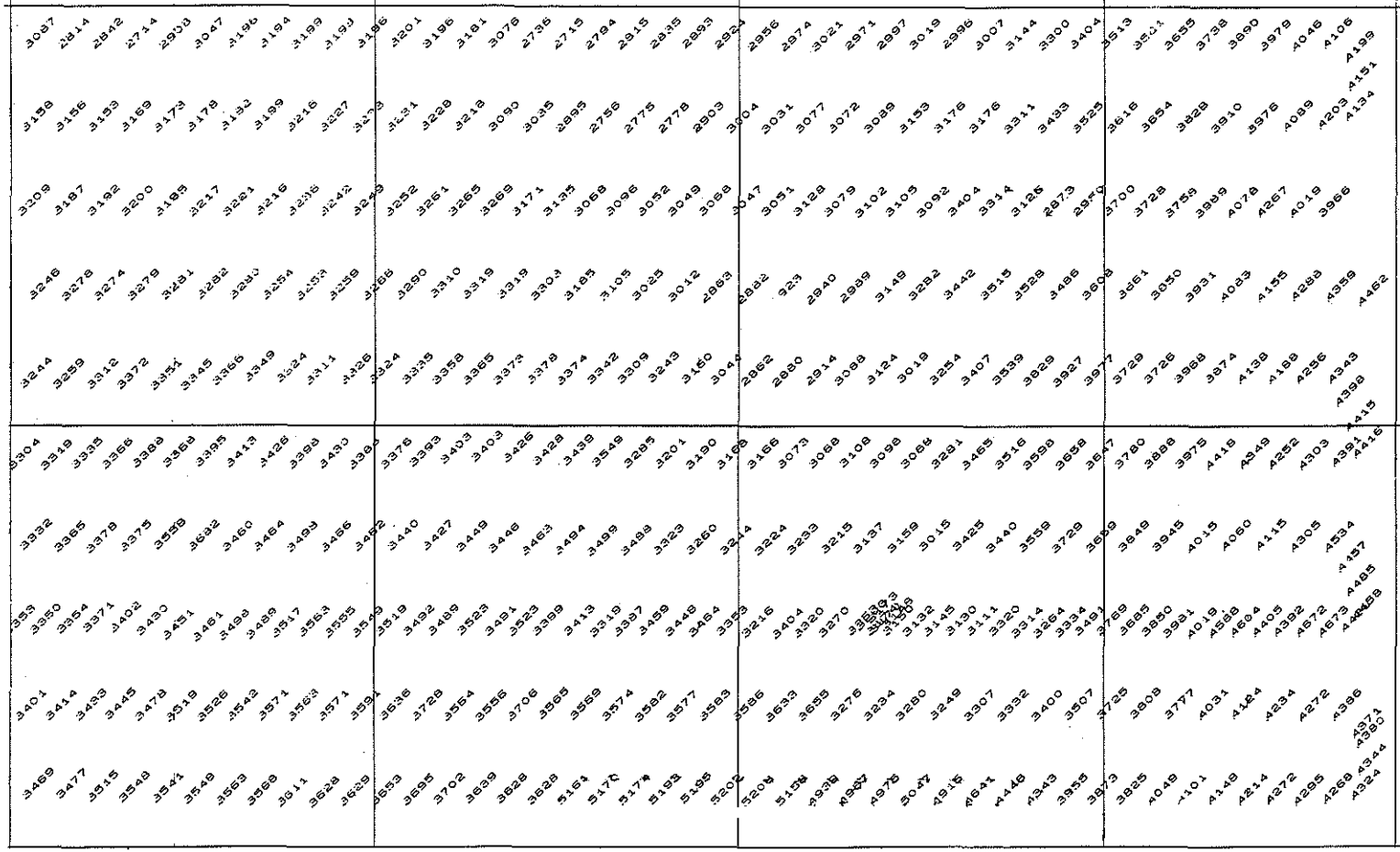


Figure 9. Sounding chart

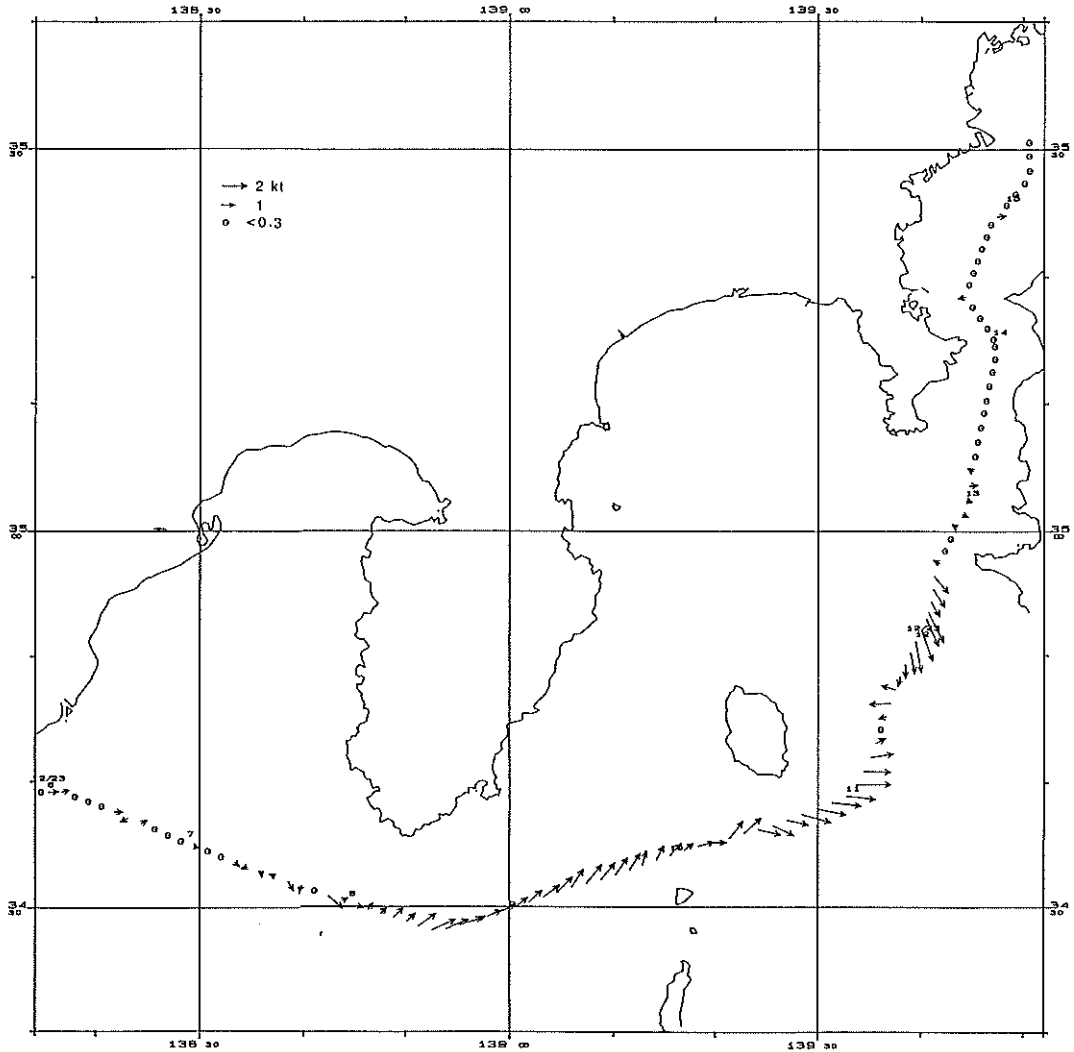


Figure 10. Sea current chart

#### 4. 後処理プログラムの整備

船上で作成された編集磁気テープを使って詳細な等深線図を作成する処理システムを整備した。ここで使用する等深線図作成プログラムはシービーム用に開発された高精度プログラムを使用した。

##### (1) フォーマット変換処理

シービームの場合1ショットにつき15組の測深データであるので、3-(3)で用意した編集磁気テープからシービームスタイルのデータファイルを作成する。つまり、シービームの直下水深位置に編集磁気テープの測深値を書き、他の14組のデータは全て0の値を入れる。この際に潮汐の補正を同時に行う。

##### (2) データのメッシュ化

単ビーム測深機の場合、航跡に従ってデータが非常に密に存在するが、測線間はかなり大きな空白域となる。(1)のシービームフォーマット形式によるデータファイルを使ってシービーム用のメッシュ処理を行うと、当然、航跡に従って非常に密なメッシュデータが作られるが、その両側は空白部となりシービームの等深線

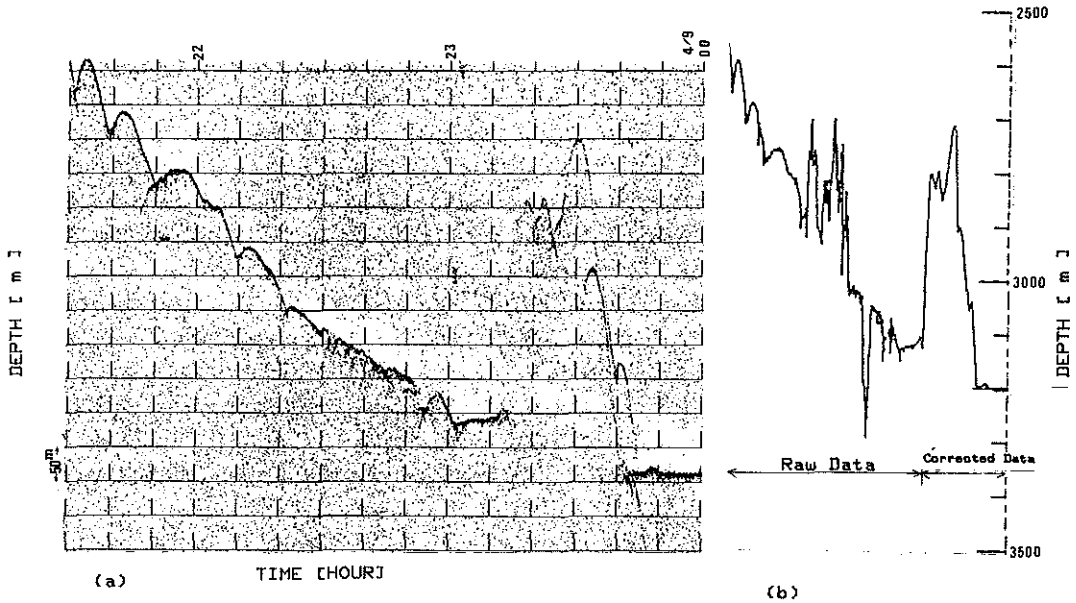


Figure 11. (a) Analog graphic record of the 12 KHz echo sounder  
 (b) Sounding plots of raw and corrected data

図処理には掛けられない。

(3) 補間処理

等深線処理を行うためには、このメッシュデータファイルから補間を行って航跡間の空白メッシュを埋める必要がある。この補間法には1次～3次の近似曲面式を使う処理法を用意した。ここでは近似平面式を使う処理法を照会する。航跡が密になってくれば、2～3次の近似曲面式を使用できる。この補間ファイルを使って等深線図を描いたものが、第13図である。これは、1986年4月の鳥島付近の測量によるものである。この測量は20万分の1の海底地形図を作成する目的で測線が設定されており、測線の間隔は2海里(約3,700m)間隔である。図上では18.5mmとなる。この等深線図は図上5mm間隔、実距離1,000mのメッシュシステムデータに変換して作成した。ただし、サブメッシュとして333m間隔、図上1.67mmの計測水深値を持っている。まず、補間点はデータの無いメッシュの中心点とし、この点を原点とするX-Y座標系を作成し、X、Y座標軸で区分けされる4つの区域毎に原点に近い方から順に2点ずつメッシュデータを抽出する。抽出された8点のメッシュデータから近似平面式

$$Z = aX + bY + c \tag{11}$$

の係数 a, b, c を最小二乗法によって求める。この近似式から補間点 (X=0, Y=0), つまり、c の値をそのまま採用すると、データを保有しているメッシュ付近において、補間したメッシュと不整合を生じる。そこで、この近似平面式の係数 a と b を使い、各抽出データを通るように8つの近似式を作成する。

$$Z_i = aX_i + bY_i + C_i \tag{12}$$

$Z_i, X_i, Y_i$  は抽出メッシュデータである。この式から補間点の水深値  $C_i$  が8個求まる。次に、この8個の水深値を補間点から抽出データ点までの距離の二乗分の1の重みを付けて加重平均する事により、旨く補間できる。

$$W_i = 1 / (X_i^2 + Y_i^2) \tag{13}$$

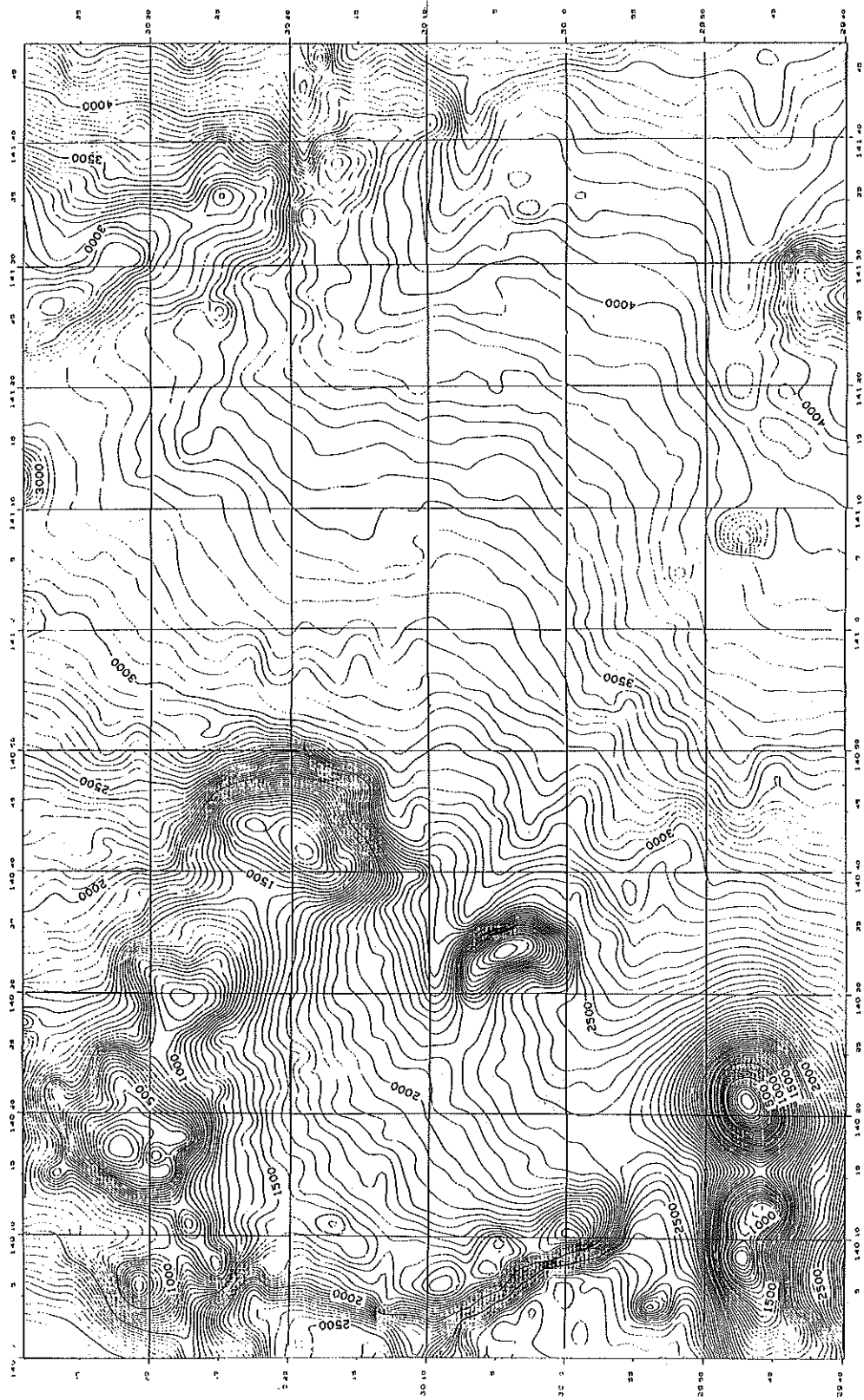


Figure 12. On-board contour chart

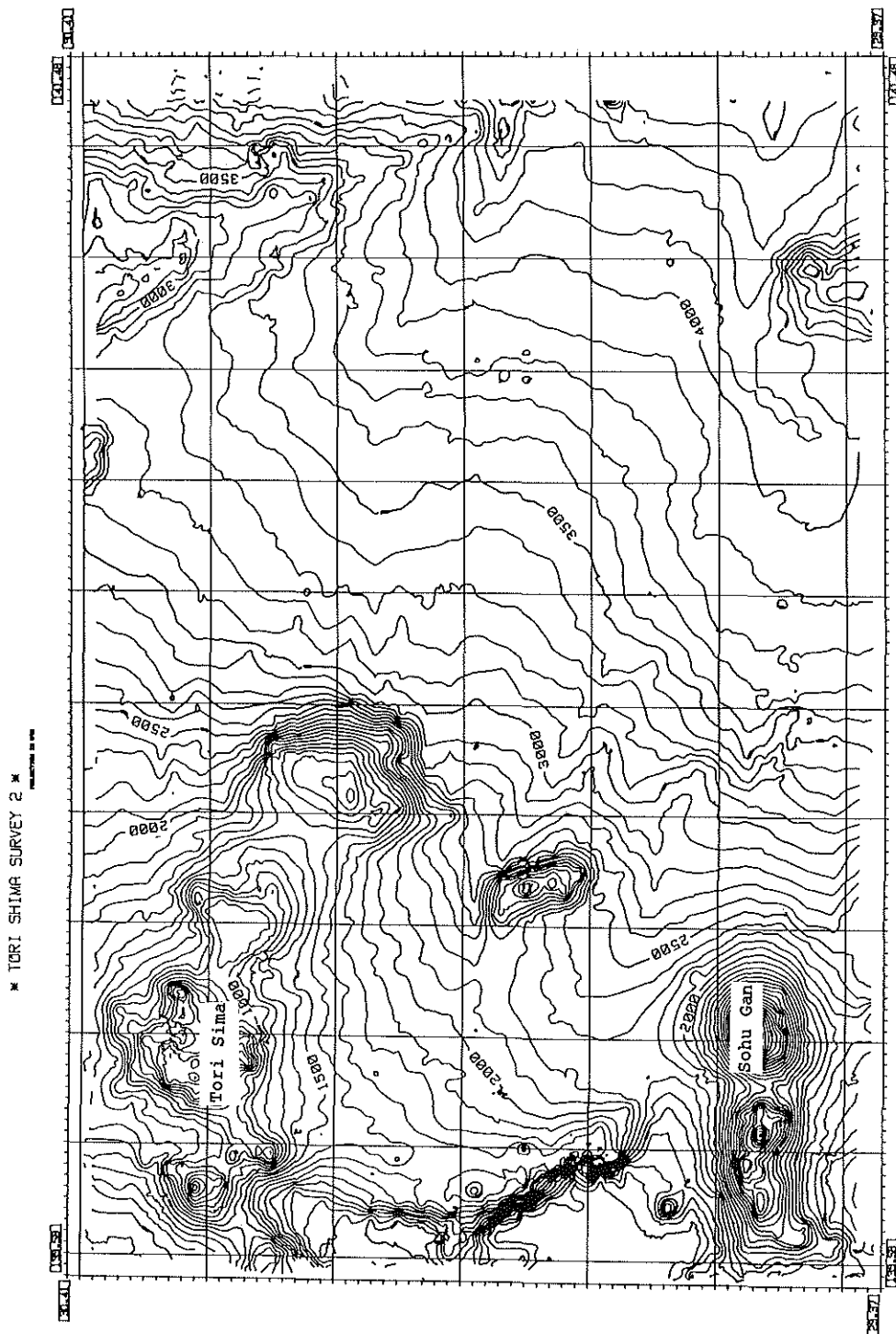


Figure 13. Post-processing contour chart with 100 m contours



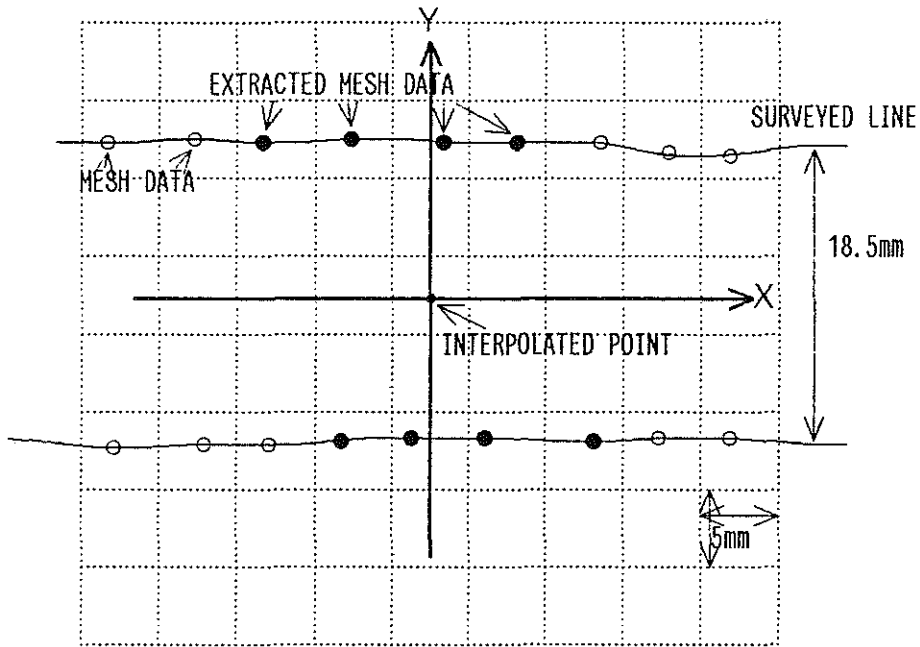


Figure 14. Interpolation of mesh data

$$\text{Depth} = (\sum W_i \cdot C_i) / (\sum W_i) \quad \dots\dots\dots(14)$$

今回の場合、第14図に示すようにメッシュ間隔は図上5mmと充分細かく、測線間隔が18.5mmであるので、抽出データの補間に対するバランスは適当と思われる。また、一部地形の複雑な所を除き近似式は平面式で妥当と思われる。

(3) 等深線作図

等深線作図にはシービームのメッシュデータから等深線を描画するプログラムをそのまま使用した。

5. おわりに

今回、1986年4月の鳥島付近の測量に対して調査から処理まで、測量船「昭洋」における測量方式の自動化がほぼでき上がったと考えられる。1986年4月の鳥島付近の測量に対して、実質、20万分の1の測量で図上1.7mmのメッシュデータ処理をして、高精度の計算機処理による等深線図が得られた。データがメッシュ化されたデジタル値でありデータ管理を含め、各種有効利用も図れる等メリットも大きい。今後については、測位についてはロランCのカバーエリアの問題、NNSSのデータが非常に少ないことから、GPS測位装置の導入が望まれる。又、測深について、記録紙からのデジタイズをしなくても済む様な自動測深の機能向上等を図っていく事が重要と思われる。

測量データ収録装置および処理装置の装備に当たっては測量船「昭洋」の乗組員の方々の御協力を頂き、ここに厚く感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- 浅田 昭・中西 昭, 1986 : シービームデータによる海底地形図の作成, 水路部研究報告第21号, 89-108  
ページ
- 岡田 貢・1982 : 長距離電波測位装置の精度について, シンポジウム資料-2, 最近の海底地形調査-2,  
65-72ページ
- 小野房吉・長森亨二, 1985 : ロランC電波の陸上伝播効果とその評価に基づく補正図の作成, 水路部研究報  
告第20号, 151-166ページ
- 上之清尚, 1982 : 「淡清丸」複合電波測位装置設計書, 東京大学海洋研究所
- 木戸孝一, 1984 : 大型測量船「拓洋」搭載複合測位装置, シンポジウム資料-4, 最近の海底地形調査-4,  
11-22ページ
- 酒井章雄・堀江義夫, 1982 : 長距離電波測位装置の開発について, シンポジウム資料-2, 最近の海底地形  
調査-2, 59-64ページ
- Loran C Correction Table Southeast U.S.A. 7980, 1986 : Hydrographic/Topographic Center, Defense  
Mapping Agency, Washington.