

## 海洋測量の自動観測システムについて

川村文三郎\*・徳弘 敦\*\*・小俣一郎\*  
田野陽三\*\*\*・竹村武彦\*\*\*\*・西村英樹\*\*\*\*

### ON THE AUTOMATIC DATA ACQUISITION AND PROCESSING SYSTEM FOR OCEAN SURVEY

Bunzaburō Kawamura, Atusi Tokuhiko, Itirō Omata,  
Yozō Tano, Takehiko Takemura and Hideki Nisimura

*Received 29 October 1973*

#### Abstract

In promoting automation of hydrographic services, the following three items can be considered as main projects:

- (1) Automatic data acquisition and processing system on board a survey vessel.
- (2) Survey data filing.
- (3) Automatic drawing and compilation of survey results.

During the course of the "Research on Automatic Drawing" carried out for three years from the fiscal year 1970, a concrete progress has been made in the researches and studies which have mainly been focused on the item (1) above. As the result, a system devised is now put to practical use in gravity measurements at sea. It is now promising that another system developed will also be put to practical use in the real-time processing of ship's position by Loran C system.

It is considered that the completion of the automatic data acquisition and processing system will necessarily lead the ways and means to developing the systems for items (2) and (3) above.

In this paper the authors report the outline of the researches, studies and results concerning the automatic data acquisition and processing system for ocean survey.

#### 1. ま え が き

水路業務の自動化に関する事項を調査研究する目的で設立された水路業務自動化調査委員会から、昭和43年11月に委員会報告書が水路部長に提出された。この報告書において、水路測量・海象観測等による資料収集に始めて、その整理・審査、海図の計画・編集、海図原稿の製図、製版・印刷に至るまでの海図作製の各工程に対して、自動化の技術的可能性の具体的な提示、勧告および将来予測がなされている。また、海図作製の第一段階たる計測業務については、計測ハードウェアの仕様の規格化、データコードの規準化、データ処理ソフトウェアの

\* 海洋研究室 \*\* 第六管区海上保安本部(元海洋研究室) \*\*\* 第十一管区海上保安本部 (前海洋研究室)

\*\*\*\* 編暦課

充実等を始めとして、個々の測量や観測の機械化を統合し、集められた諸資料の評価を行い、測量原図作成に至る一貫した自動化システムの開発の重要性を指摘しており、当時建造が計画されていた大型測量船の装備として採用が望ましい自動計測方式についても言及している。

その後、この委員会にオブザーバとして参加していた徳弘敦を中心として、水路測量の自動化に関する技術的資料の収集、調査が進められ、自動化システムの研究計画が立案された。この結果、「自動図化の研究」の名称で、昭和45年度から47年度までの3か年継続で運輸省科学技術研究管理規則による特定研究の指定を受け、自動図化実行委員会の参画を得て、海洋研究室を中心に実施に移された。

この研究は、大型測量船に装備されるべきデジタル化された海洋測量機器および周辺機器を、ミニコンピュータでプログラム制御する方式の船上自動計測、オンラインリアルタイム処理システムに関するものであって、その内容は、測量船装備の自動追尾形式ロランC受信装置、音響測深機、プロトン磁力計、海上重力計等の中、プログラム制御によって単独または複数の装置を選択、入出力制御装置を介しデータをミニコンピュータに入力して処理し、その結果をタイプライタで印字するとともにXYプロッタで図形出力する自動化システムについての研究である。

年度別実施項目および研究従事者はつぎのとおりである。初年度には、徳弘敦を主務とし、西村英樹の協力で、入出力制御装置の論理設計・製作等の開発を実施するとともに、ミニコンピュータおよびXYプロッタのハードウェア、ソフトウェアおよび周辺機器の調査を進めた。次年度は、田野陽三を主務として、中央処理装置の記憶容量8192語(16ビット/語)のミニコンピュータ HITAC 10 の導入、ソフトウェア機能の調査およびデータ処理サブプログラムの開発等を行った。最終年度には、竹村武彦・西村英樹による重力データの船上オンラインリアルタイム処理プログラム、ロランC船位計算プログラム等の開発、小俣一郎を主務とするデジタルXYプロッタWX-535の導入、作図サブプログラムPSA-10の機能調査および既に開発されたかまたは開発されつつあったデータ処理プログラムの最終段と接続する航跡図・水深図等作図プログラムの開発、測量船昭洋による海上実験ならびに研究のまとめ等を実施した。この研究の計画の実行、実行各段階毎に結果からの帰還による計画の修正および研究のまとめ等に関する総括を川村文三郎が行った。

この報告では、自動観測システムの設計における基本思想、システムのハードウェア、ソフトウェアに関する開発研究の概要および今後進められるべき水路業務自動化の方向と問題点について述べる。

## 2. 自動観測システムの基本構想

データ収集からその成果の図化にいたる一連の作業プロセスを自動化しようとする場合、大別してつぎの主プロセスに区分できる。

- 1) 観測オペレーションの自動化とデータのリアルタイム処理
- 2) データファイルの作成管理
- 3) 機械図化あるいは機械編集による最終成果の作成

この三つの主プロセスは作業の流れとして連続し業務遂行上の内部要因や最終成果に求められる条件によって相互に関連し合うから、全体は統一あるシステムとして運用されるよう設計されていなければならない。

歴史的に回顧すれば、海上重力計は設計の基本方針において、データ処理における電子計算機の利用を前提としていたから、必然の結果としてリアルタイムオンライン処理の方向をとって進んだし、船位や水深のデータが付加的に要求されるデータというよりそれらが一体となってはじめて海上における重力測定が存在し得るものと言えるものであった。このことは船上観測を系統的に自動化しなければならないという必要性を具体的に教

えた。そこでそのようなシステムにおける観測の様式についての仕様はかなり具体的に画くことができた。そして昭和43年頃には船に搭載できる格好の小型電子計算機の出現を待つのみということまで熟していた。そのようなシステムを完成すれば、成果を自動的に図化させることには大きな障害はないことを、ロラン海図や重力異常図をコンピュータと自動作図機によって描かせる実験等（昭和44年）を通じて予想できた。

船上自動観測システムによるオンライン、リアルタイム方式のデータ処理は、ソースデータに対する一次処理に止むべきで、例えば海上重力計TSSGではそれまで計測値を紙テープにパンチしその膨大なテープを観測終了後電子計算機で一括処理していたものを船上でリアルタイムに重力値を求めるようにする、測深においては音速度改正を、船位については座標変換をリアルタイム処理する等である。このようにして船上で測量データファイルを作成させる。このデータファイルは陸上の計算センタで標準仕様のファイルに編集しなおす必要があるだろう。こうして、測量成果はマスタファイルの資格で蓄積されてゆく。

重力異常図を作ること、海底地形図を作ること等は、そのようにして完成されたデータファイルを用いた二次、三次、……処理加工の出力として、ソフトウェアを充実させれば望むままに自動化し得るであろう。保存されるべき成果は最終的に出力される図の形のものではなくデータファイルであり、物理的には磁気テープ上の記録である、自動作図機の性能から見て、従来の手作業で10日を要する作図は自動作図機によれば1時間と見ればよいであろう。一般論として複雑な図になるほど機械図化は能率的である。成果図は単に紙の上に編集出力されたディスプレイであって、それ以上のものではない。今までの保存されるべき原図に代るべきものはデータファイルである。ファイルそのものの管理のし易さ、その中に盛られた情報の管理し易さ等多くの長所を持っている。いわゆる電子計算機界におけるデータベースの思想は、水路業務の自動化を進める上において学びとるべき多くのものを持っている。

### 3. ハードウェア

HITAC 10 中央処理装置と入出力制御装置を通じて接続できる昭洋装備測量機器一覧表を第1表に、そのシステム構成を第1図に示す。

#### 1) ミニコンピュータ HITAC 10 (日立製作所)

中央処理装置は基本筐体で30cm×45cm×65cmの寸法であって標準ラックに装着できる。この中に電源部を含み、主記憶装置は8,192語(16ビット/語)まで装備できる。

中央処理装置の主な性能および特徴はつぎの通りである。

#### 演算関係

データ語長は16ビット(単語)を基本とするが、ある種の命令(加減算、ロード、ストア)においては32ビット(長語)も使える。メモリアイクルタイムは1.4 $\mu$ s、乗除算は付加機構としてハードウェアに組込むことができる。その場合、演算速度はそれぞれ9.8 $\mu$ s、11.2 $\mu$ sとなる。命令語を第2表に掲げる。

#### 入出力制御関係

1レベルの割込み機能を持ち、割込みを要求している外部装置の識別はスキップ命令を利用したソフトウェアによる。このことはソフトウェアとしての負担を大きくするが、優先度の与え方はフレキシブルにできる。入出力制御装置を通じて64台までの外部装置を接続することが可能であり、それぞれの装置に8個までの入出力命令語をユーザ側の負担で作ることができる。外部装置から見た主記憶装置に対するメモリアクセスは、通常のアキュムレータを経由する方法(低速)の外にいわゆるダイレクト・メモリ・アクセス(DMA)の方法(高速)も使えるが、われわれのシステムでは必要がないのでDAM方式は使っていない。1レベルの割込み

機能に対して同期関係のない複数個の外部装置（観測機器）を直結してリアルタイム制御を実行させるために若干の工夫も必要になる。その例を海上重力計の場合についてあとで述べる。

TABLE 1 SURVEY EQUIPMENTS INSTALLABLE TO THIS SYSTEM ABOARD THE SHÖYŌ

機 器 名	型 式 名	記 事	数 量	製 造 者
ロランA/C航跡記録装置	LR-3C	XYレコーダ付	1	古野電気株式会社
音響測深装置		測深範囲		
浅海用音響測深機	NS-77	0~1,600m	1	日本電気株式会社
深海用音響測深機	NS-16A	0~12,000m	1	"
A-D交換器	NE-76		1	"
プロトン磁力計	PMM-611G		1	国際電子工業株式会社
海上重力計	TSSG-70		2	測機舎
観測機器制御装置		水晶発振器付	1	国際電子工業株式会社

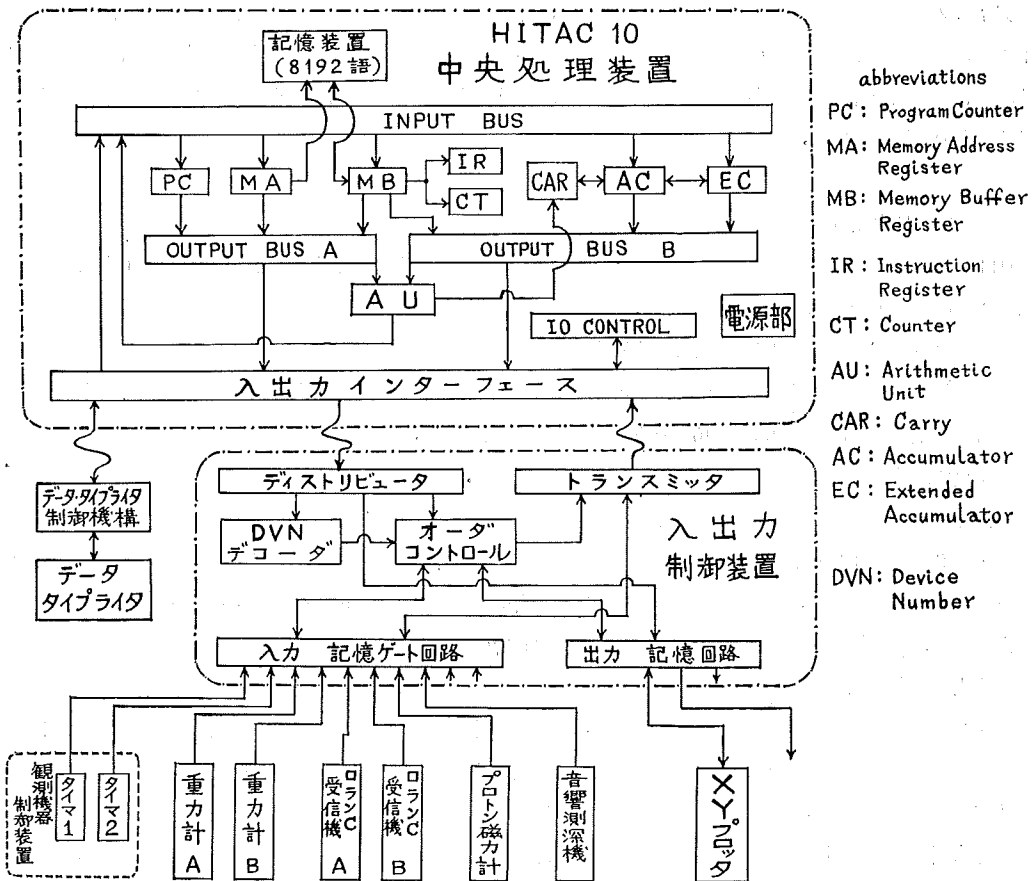


Fig. 1 Block diagram of the automatic system

TABLE 2 LIST OF THE HITAC 10 OPERATION CODES

命令コード (2進表示)	暗記用コード	命 令	実行時間 $\mu s$
0 0 0 0 1	L	Load	2.8
0 0 0 1 0	A	Add	2.8
0 0 0 1 1	S	Subtract	2.8
0 0 1 0 0	N	And	2.8
0 0 1 0 1	X	Exclusive Or	2.8
0 0 1 1 0	O	Or	2.8
0 0 1 1 1	ST	Store	2.8
0 1 0 0 0	B	Branch	1.4
0 1 0 0 1	BAL	Branch and Link	2.8
0 1 0 1 0	KCT	Skip on Count	4.2
0 1 1 0 0	SE	Set Effective Address	1.4
0 1 1 0 1	SC	Status Control	2.8
0 1 1 1 0	IOC	Input Output Control	4.2
1 0 0 0 0	SRL	Shift Right Logical	$1.4\left(1+\frac{n}{3}\right)$ ただし $n$ は シフト桁数. $\frac{n}{3}$ の小数点 以下の端数 は切上げる.
1 0 0 0 1	SLL	Shift Left Logical	
1 0 0 1 0	SRA	Shift Right	
1 0 0 1 1	SLA	Shift Left	
1 0 1 0 0	SRDL	Shift Right Double Logical	
1 0 1 0 1	SLDL	Shift Left Double Logical	
1 0 1 1 0	SRDA	Shift Right Double	
1 0 1 1 1	SLDA	Shift Left Double	
1 1 0 0 0	LE	Load Extended Accumulator	2.8
1 1 0 0 1	LD	Load Double	4.2
1 1 0 1 0	AD	Add Double	4.2
1 1 0 1 1	SD	Subtract Double	4.2
1 1 1 0 0	M	Multiply	9.8
1 1 1 0 1	D	Divide	11.2
1 1 1 1 0	STE	Store Extended Accumulator	2.8
1 1 1 1 1	STD	Store Double	4.2

## 2) 入出力制御装置

ミニコンピュータの場合、入出力制御装置に関する論理的仕様、物理的仕様がユーザに公開されたことは特筆すべきことであろう。これによってわれわれの有する種々の観測装置をミニコンピュータとのオンライン接続で一体的に運用することの可能性に見通しを立て、具体的設計を行うことができるようになった。海洋研究室における海洋測量の自動化に関する研究も、FACOM-R や HITAC 10 の入出力制御装置仕様を入手した

時点で具体的に進み始めた。音響測深機，プロトン磁力計，ロランC受信機のいずれからでも着手し得るものであったが，その時点でデータのリアルタイム処理を最も必要としていた海上重力計 TSSG のオンライン接続が最初に選ばれた。従ってオンラインリアルタイム処理についてハードウェア，ソフトウェアそれぞれについての基本的な学習や調査は，まず海上重力計について行われることとなった。

ミニコンピュータとして HITAC 10 が選ばれたのも入出力制御装置関係の論理設計が初心者向きであると判断したことによっている。

入出力制御装置は HITAC 10 とわれわれの有する各種観測装置の制御信号，データ信号のオンライン転送のための論理的，物理的バッファ装置とでもいうべきものであって，HITAC 10 の入出力制御装置仕様にもとづいて設計したものである。その主な性能と特徴はつぎの通りである。

i) 接続可能な外部装置の数は15台（通常の呼び方には沿わないが，ここではチャンネルと呼ぶ）とした。各チャンネルは3枚のプリント基板で構成され，各チャンネルの論理仕様はできるだけ統一するような設計方針をとった。われわれの場合，接続したい外部装置の方が先にできていたため，この方針をつらぬくことは実際上無理があるが，オンライン接続に関する装置間インターフェース仕様を標準化し，各外部装置がこの標準化された仕様に従うことが望ましい。15台の外部装置はつぎの通りの機器番号（DVN）が与えられている。

(機器番号)	(機器名)	(機器番号)	(機器名)
48	タイマ 1	55	音響測深機 (制御用スイッチ兼用)
49	タイマ 2	56	デジタルプリンタ
50	重力計 A	57	パンチャ
51	重力計 B	58	予備
52	ロランC A	59	"
53	ロランC B	60	"
54	プロトン磁力計	61	"
		62	割込みマスク

この表で，例えば，機器番号48, 49はそれぞれタイマ1, タイマ2に与えられているが，これは2台の時計を設計のときに予想したものではなく，時計からの時刻表示を16ビットにおさめることが無理なので32ビットを確保するために2個の機器番号を与え，形式上タイマ1, タイマ2としたもので，実質的には時刻を表示する数値の上位桁，下位桁という風に使い分けることを考えたためである。こうすることによってタイマに割当てたハードウェア上の特殊性がほとんどなくなり，ソフトウェアを入れかえることによってほかの外部装置を接続することも原理的に不可能でなくなる。重力計A, Bは2台の重力計を意味し，ロランのCのA, Bは2対局から2つの値が求められるからそれをA, Bと分けたものである。

#### ii) 割込みマスク

上に示した表の中の機器番号62は，実質的には外部装置のために与えられたものではなく，割込み要求に対するマスク操作のための16個のフリップフロップ（マスクレジスタと呼ばれ，各フリップフロップは定められた外部装置に対応付けられている）のために与えたものである。入出力制御装置を15チャンネルに止めたのも，このマスクレジスタのフリップフロップが16個までしかとれないからである。このマスクレジスタの使用はソフトウェアによるものであり，その活用法は工夫によっていろいろ考えられよう。最も簡単な使い方としては，割込みを禁止したいと思う装置に対応するフリップフロップを0にセットすることによって，たとえ外部装置が割込み要求のフラグをONにしても，このマスクレジスタによって要求が無視されてしまう。自動観

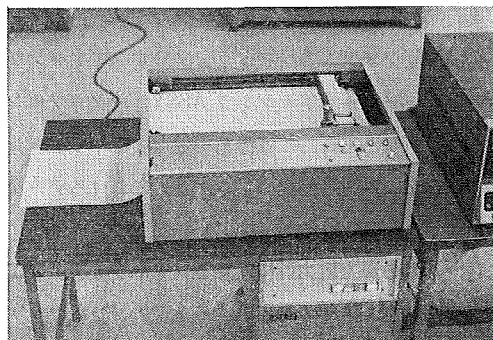
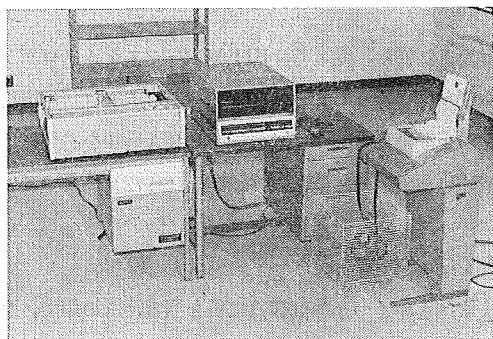


Fig. 2 The minicomputer HITAC 10 and XY plotter WX-535 (left photograph)

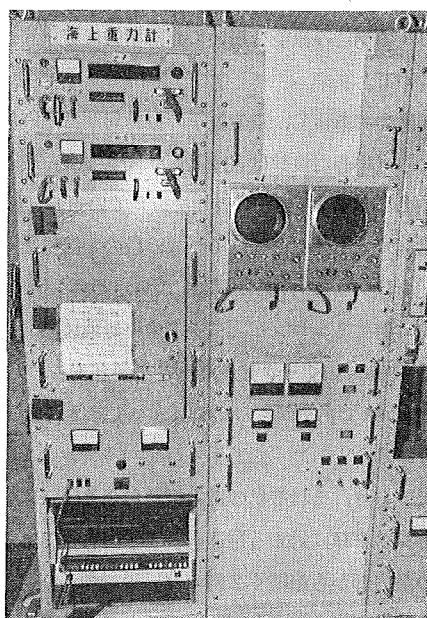


Fig. 3 Racks of the gravity meter : Monitor unit (right rack), Counters (top of left rack), Input output interface (left middle), Power supply unit (left lower part) and the minicomputer HITAC 10 (left bottom)

測システムの観測プログラムを使って外部装置を自動制御しようとする場合には、このマスクレジスタを効果的に利用できる筈である。

### 3) デジタルXYプロッタ WX-535 (渡辺測器製作所)

インクリメンタル方式のフラットベッド型XYプロッタであって、有効作図面積は380mm×250mm (A3判)であり、用紙は作図中静電吸着方式によって本体上面に水平に固定される。用紙は厚、薄2種が使える。記録ペンは、黒・青・緑・赤の4種類のボールペンが用意されており、作図開始前に1種類を選んでマニュアルで装着する。ペンは、X、Y軸ともパルスモータにより駆動され、ペンのステップ幅は1パルス毎に0.1mm、記録速度は1秒につき400~800ステップである。ペンアップ、ペンダウンはソレノイドコイルによってそれぞれ毎秒10回が限度である。

記録精度は、直角度0.8mm/1,000mmであり、作図の総合精度は、移動距離の0.1%+反復精度+動的精度で表され、反復精度は0.05mm以下、動的精度はX、Y軸とも1ステップである。設置の周囲条件、電源条件はHITAC 10と同様である。本体の寸法は、26cm×70cm×60cm、重量は約60kgである。

このシステムの構成機器の外観写真を第2、3図に示す。

#### 4. ソフトウェア

自動観測システムのソフトウェアはすべてアセンブリ言語で書かれた。従って、HITAC 10 システムプログラムの中、ベーシックアセンブラ ASSY, マクロアセンブラ MASS によってソースプログラムのアSEMBルを行い、プログラム実行時には浮動小数点演算パッケージ FAP および基本作図サブルーチン P S A -10 を必要に応じて用いた。重力自動観測プログラムにおけるデータの数値的処理方法は、徳弘敦 (1966), (1972) によっている。

##### 1) 2 台の海上重力計に対するソフトウェア上の工夫

自動観測システムを実現する上で、ソフトウェアで解決すべきいくつかの問題点に行き当たる。その中で、2 台の重力計に対するソフトウェア上のサービス問題は最初に手がけたテーマであり、特殊な具体例ではあるが考え方としては一般化し得ると思われるのでとりあげて説明する。

問題点をつぎのように要約することができる。「1 レベルの割込み機能を用いて非同期的にデータ処理を要求する 2 台の外部装置に対するソフトウェア上の工夫について」

TSSG の測定値  $T_i$  は、重力振子の振動周期の連続的な出力であって、重力振子の振動周期は垂直加速度の平方根に逆比例するような関係式で周波数変調を受けており (中心周波数は約 2 kHz), その周期  $T_i$  は、100 kHz のクロックパルスで計数する方式で測られる (実際上は、1024 回振動する周期を数えている)。従って  $T_i$  はほぼ 0.5 秒間隔で出力されるが、出力間隔は  $T_i$  に比例する関係を持つ。それ故、船の動揺によって垂直加速度が平均値 (その場所での重力値) より大きくなるときは  $T_i$  は小さく (従って測定間隔も短く)、逆の場合には  $T_i$  は大きくなる。重力計は 1 個の  $T_i$  を測定する毎にミニコンピュータの中央処理装置 (略して、CPU と呼ぶ) に対して割込み要求を起し、そのたびに約 100ms のデータ処理時間を必要とする。 $T_i$  の測定間隔が約 0.5 秒で 1 個の  $T_i$  に対するデータ処理時間が約 100ms であるから、CPU としては 2 台の TSSG のデータ処理をリアルタイムで引受ける余裕は十分ある筈である。

しかしながら、2 台の重力計 A, B は互に独立した装置であり、それぞれの重力振子が全く同一にできていないわけではない。従って  $(T_i)_A$  と  $(T_i)_B$  とは、ほぼ交互に CPU に対する割込み要求を出す筈であるが中心周波数が全く同一というわけではないため、時々とは同一の重力計から相続く 2 個の  $T_i$  に対する割込み要求が出されることもあろうし、 $(T_i)_A$ ,  $(T_i)_B$  が同時に割込み要求を出すこともあり得ることである。そのような場合でも、データ処理プログラムは 2 台の重力計からの出力に対して混乱を起してはならず、また、たとえ 1 個の  $T_i$  であろうとデータ処理を欠くことは TSSG の測定原理上許されない。総計のデータ処理所要時間は、先ほど述べたように 2 台の重力計から送り込まれる測定値に対して不足することはないが、 $(T_i)_A$  と  $(T_i)_B$  が非同期的に割込み要求を発するから、一方のデータ処理中にもう一方の重力計がデータ処理を要求することは頻繁に起る筈である。

我々が作成した 2 台の重力計のためのソフトウェアではつぎのような工夫でこの問題を解決した。データ処理プログラムはメインルーチンに用意し、これは重力計 A, B に対して共用させる。一方、割込みルーチンはデータの読取りプログラムを用意し、A, B いずれの重力計からの要求であるかを判断し、それぞれのデータタンクにためこんで行く。メインプログラムでは  $T_i$  の補間計算のため連続した 5 個の  $T_i$  を必要とするが、それ以上古いデータをためこむ必要はないから不要になったデータは逐次データタンクからあふれ出て棄てられて行く。データ処理プログラムはデータタンクをながめて満タンクであれば新しい 5 個の  $T_i$  が読込まれたことを知りデータ処理を実施する (そしてデータタンクを 1 個分順にずらしてつぎのデータの読込みに備える。このときデータタンクは、つぎの連続した 5 個のデータの読込みが終るまで満タンク状態ではなくなる)。



こうして、データタンク A, Bはタイミング上のバッファ機能を果たすことになる。従って、先に述べたように、CPUの処理速度が、総計的な関係において2台の重力計のためのデータ処理所要時間を満足するものであれば、2台の重力計に対するデータ処理は満足に働く筈である。この関係をフローチャートとして第4図に示した。本来、CPUは2台の重力計に対し、どちらを優先的に扱うという差別をすることは望ましくない。しかし割り込み処理の原理からいえば2台の重力計を全く同等に扱うことは不可能である。われわれの場合でも、もし同時に割り込み要求が出されたら重力計Aのデータの読み込みを先に行うことにしているが、これは実質的の差別とはなっていない。メインルーチンのデータ処理プログラムにおいては、重力計AおよびBに対するサービスがループによって巡回するから全く同等の扱いを受けていると考えてよい。

結局のところ、割り込みレベルが1個であることは今の場合、何等の障害となっていない。仮に複数の割り込みレベルを持つCPUを用いた場合においてもここで述べた方法をとる限り2台の重力計を異った割り込みレベルに割当てることは得策ではない。

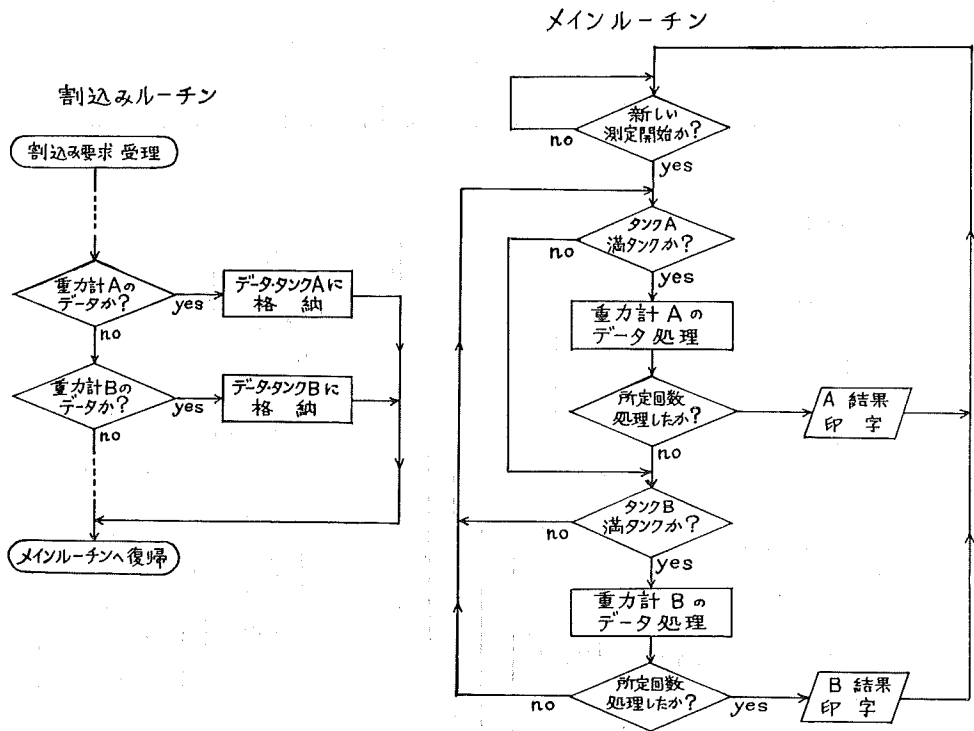


Fig. 4 Simplified flowchart of the real-time processing program for two gravity meter (main part)

2) ロランC船位計算プログラム

北西太平洋のロランC網SS3チェーンの包括海域を対象として開発した船位計算プログラムであり、その概要および計算式はつぎの通りである。

プログラムに内蔵してある主局、従局位置、電波伝搬速度と、初期データとして入力された仮定位置をもとに、ロランCデータ(2対局)を入力して逐次近似により船位を計算して印字する一連の処理を一定時間間隔

で繰返し実行するもので、初期設定において入力方式がオンラインかオフラインかを指定するようになっている。このプログラムのフローチャートを、第5, 6図に示す。

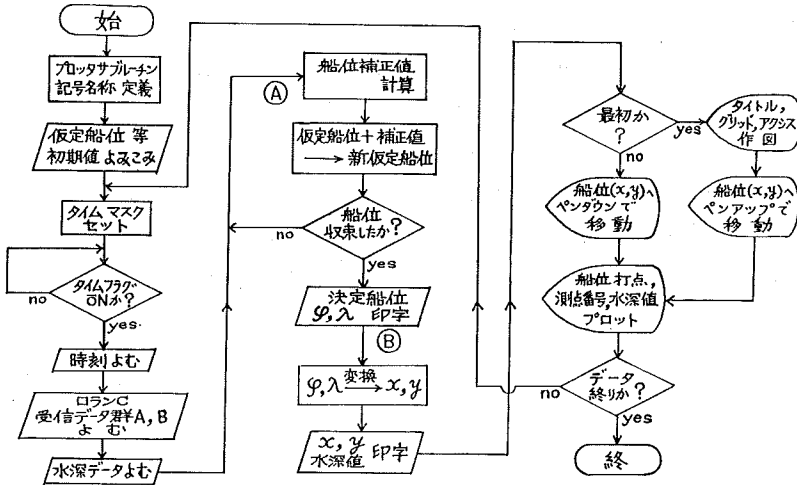


Fig. 5 Simplified flowchart of the Loran C calculation and track chart plotting

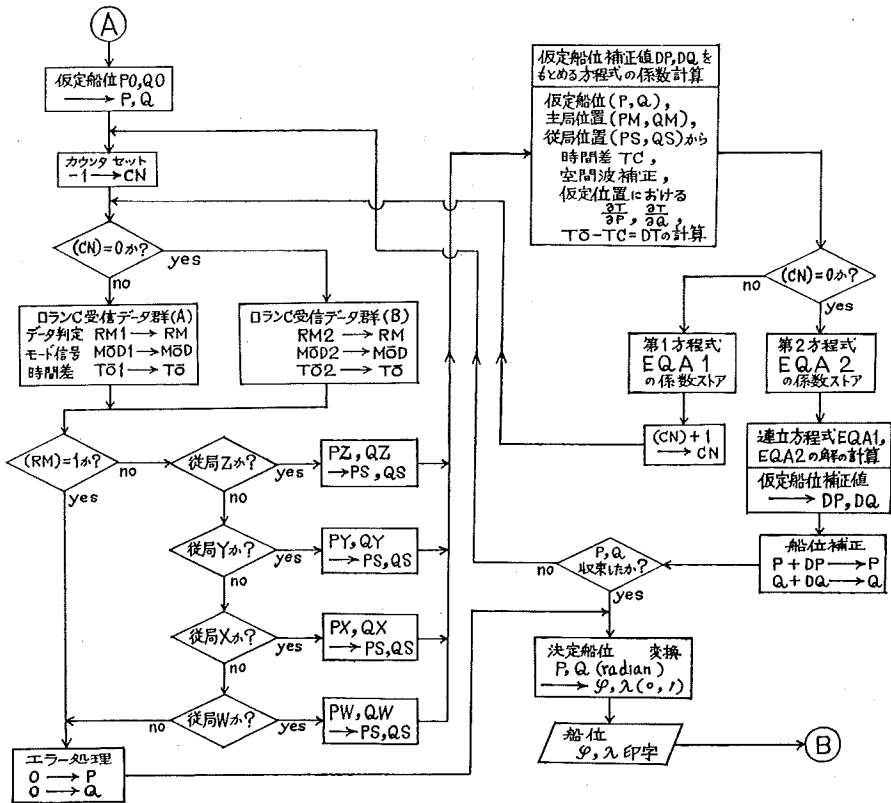


Fig. 6 Flowchart of the Loran C calculation (main part)

## 計算式

主局または従局と仮定位置との距離，電波到達時間差の計算式は Charles Kirkland (1964) によるものである。

## i) 距離および電波の到達時間差の計算

地球の赤道半径を  $a$ ，極半径を  $b$  とし，地球上の2点を  $P_1(\varphi_1, \lambda_1)$ ， $P_2(\varphi_2, \lambda_2)$  とし， $P_1$ ， $P_2$  の距離を  $d$  とする。距離計算をつぎの2段階に分ける。

第1に，地球を半径  $a$  の球と仮定し， $P_1$ ， $P_2$  の地理緯度  $\varphi_1$ ， $\varphi_2$  からそれぞれ化成緯度  $\beta_1$ ， $\beta_2$  を求め，これと  $\lambda_1$ ， $\lambda_2$  とから球面上の角距離  $\chi$  (ラジアン) およびこれに対応する距離  $D$  (メートル) を計算する。

第2に，地球楕円体上の  $P_1$ ， $P_2$  の距離  $d$  は， $D$  から正の小なる補正値を減じる形で，つぎの式から計算する。

$$d = D - A_0 P - B_0 Q$$

ここで， $P = (a-b)(\chi - \sin \chi) / 4(1 + \cos \chi)$

$$Q = (a-b)(\chi + \sin \chi) / 4(1 - \cos \chi)$$

$$A_0 = (\sin \beta_1 + \sin \beta_2)^2$$

$$B_0 = (\sin \beta_1 - \sin \beta_2)^2$$

ロランCに対する電波伝搬速度  $299.6929 \text{ m}/\mu\text{s}$  により，到達時間差を計算する。

## ii) 船位の計算

仮定位置に加えて船位が得られるような補正値  $d\varphi$ ， $d\lambda$  を逐次近似法により求める。主局，従局からの電波の到達時間差  $T$  は船位  $(\varphi, \lambda)$  の関数であるから，いまロランC測得時間差と前項 i) で計算した時間差との差を  $dT$ ，仮定位置における時間差の変化率を  $\frac{\partial T}{\partial \varphi}$ ， $\frac{\partial T}{\partial \lambda}$  とすると，つぎの方程式を得る。

$$dT = \frac{\partial T}{\partial \varphi} d\varphi + \frac{\partial T}{\partial \lambda} d\lambda$$

ここで， $d\varphi$ ， $d\lambda$  は未知量， $dT$  は観測量， $\frac{\partial T}{\partial \varphi}$ ， $\frac{\partial T}{\partial \lambda}$  は計算できる量であり，ロランC測得データ1組(2対局)によって，この形の方程式2個が得られるから，これを  $d\varphi$ ， $d\lambda$  について解けば補正値が求まり，仮定位置に加えて船位を得る。ついで，収束判定のために，この船位を新しい仮定位置として  $dT$ ， $\frac{\partial T}{\partial \varphi}$ ， $\frac{\partial T}{\partial \lambda}$  を計算し，前と同様にして方程式を解き，得られた補正値が一定値より小ならば収束とみなして決定船位とし，一定値より大ならば収束するまで近似計算を繰返す。

決定した船位の緯度，経度を単位ラジアンから度，分に換算し，つぎに最初に与えた仮定位置を座標原点とし，指定された縮尺，図法の直角座標に変換する。

このプログラムの最終出力項目は，測点番号，月日，時分，緯度(度，分)，経度(度，分)， $X$ ， $Y$  であり，さらに，音響測深機，プロトン磁力計がオンラインでミニコンと結合されている場合に限り，水深，全磁力の2種の項目がここに付加されるプログラムとなっている。

## 3) 作図プログラム

前項2)のロランC船位計算プログラムの出力をオフラインで入力して，一定の図法，指定された縮尺で航跡図をXYプロットで作図させるプログラムである。入力データの中に，水深，全磁力が付加されている場合には，水深図または全磁力図の形で作図される。水深，全磁力の中，どちらの図をプロットさせるかはプログラムの初期設定の中で指定するようになっている。このプログラムの実行時には，あらかじめ，浮動小数点演算パッケージ FAP および基本作図サブルーチン P S A-10 がロードされている必要がある。

概略フローチャートは第5図後半に示してあるが、プログラムの内容はつぎのとおりである。最初に、PSA-10のふくむ各作図サブルーチンの記号名称・ポイント番地の定義、初期設定としてプロットさせる観測項目指定、作図用コントロールデータ指定を行って図の表題・XY座標目盛線・目盛数値等を作図し、前項2)のプログラムで用いた仮定位置(これを旧原点位置とする)とこのプログラムで用いる新原点位置(新旧原点位置は同じでもよい)および縮尺係数等を読み込んで浮動小数点データに変換し、新旧座標変換の補正量計算を行う。

前項2)プログラムの出力データの最初の1組を入力し、その中から、測点番号、船位の旧座標値、水深値(または全磁力値)を選択して浮動小数点データに変換し、それに縮尺変更、座標変換を行って船位の新座標(X, Y)を計算する。中間結果出力として、測点番号、(X, Y)、水深値(または全磁力値)を1行にらべてタイプライタで印字する。つづいてPSA-10を使ってXYプロッタで図上(X, Y)の位置に打点し測点番号、水深値等を点の側傍にプロットして、入力データに対する一連の処理、出力を終る。新しくつぎの1組のデータを入力して、このデータに対する処理、出力を行う。これを順次繰返し、点と点を接続すると航跡図が得られ、船位の側傍にプロットした水深値の集合として水深図が得られる。

## 5. 海上実験および結果

### 1) 重力観測プログラムの開発実験および実用化

昭和46年秋、大型測量船の就役を翌年の春にひかえて、重力プログラム開発のための様々の調査や準備が具体的に始められた。昭和42年1月、重力観測サブルーチン、引続いて重力観測メインプログラムの開発も着手された。測量船昭洋は、昭和47年2月に舞鶴で引渡しを受け、3月中旬東京に回航された。

3月21日～27日、昭洋の最初のテスト航海が相模湾で行われ、重力計および姿勢制御ジャイロ等のテストと平行して、重力観測プログラムの船上テストおよびデバッグがオンライン状態で行われた。

5月20日から昭洋による日高・胆振沖海底地形測量が開始され、重力では、HITAC 10(記憶容量4,096語)を用いて自動観測が試みられたが、ハードウェア・ソフトウェア両面にわたって様々の問題が発生し、種々の調整・テストを繰返した。その後、重力計および鉛直ジャイロ等も安定に作動し海上重力自動観測プログラムも完成して、年度作業の方式として実用化された。

### 2) ロランCデータ処理、航跡図作図、海上実験

ロランCデータリアルタイム処理プログラム、航跡図作図プログラム等の開発はそれぞれ独立に着手された。その時期は昭和47年12月から48年1月にかけてであった。

自動観測システムに関する海上実験は昭和48年中に前後2回行われた。それぞれ、昭洋には他の行動目的もあったため、この実験に対しては、観測機器によってはオンラインテストが許されないとか、ミニコン使用時間が限定される等多少の制約が存在したものの、ソフトウェア開発のための船上実験という目的に対しては、所期の成果をあげることができた。以下、実験の概要および結果について述べる。

#### 実験第1回

期間および海域	昭和48年 2月21日～24日、相模湾
使用船	昭洋
実験担当者	小俣一郎、竹村武彦、松本邦雄(3名)
搭載機器	自動観測システム 1式

#### 実験内容

ロランC受信機と HITAC 10 とを入出力制御装置を介して結合し、ロランCデータのオンライン入力、リアルタイム印字等のプログラム機能の確認ができた。HITAC 10は主として夜間に使用した。

ロランC船位計算プログラムのアSEMBル、テストラン、デバッグ等を行ってオンライン処理機能のチェックをした。航跡図作図プログラムにおいては、船位データをオフライン形式で与えることによって、このプログラムの作図機能をチェックして修正し、所期の図形的出力を得た。

#### 実験第2回

期間および海域 昭和48年 7月9日～18日、日向灘

使用船 昭洋

実験担当者 小俣一郎(1名)

搭載機器 自動観測システム 1式

#### 実験内容

海底地形測量の年度計画作業のため、昭洋装備の測量機器は行動期間中連続して正規の観測に使用されており、自動観測システムに関する実験は、前回にオンライン入力、印字等のプログラム機能が確認されている事実をふまえて、オンライン、リアルタイム処理に準じた形で実験を行い、ロランC船位計算および作図等のプログラムの実行結果として、毎分船位による航跡図および水深図(または全磁力図)等の最終出力を得た。ただし入力データは、昭洋装備の観測機器制御装置からテーブパンチャーで出力された毎分値データであって、その項目は、測点番号、日、時分、ロランCA、ロランCB、水深、全磁力となっている。

#### 結果および今後の問題

この実験でひとまず完成された一連のプログラムの出力結果の一部としての作図例を第7、8図に示す。第8図は、ロランC船位計算プログラムによる中間結果である船位、水深等の毎分値を作図プログラムに輸入し、処理してXYプロットで作図させた航跡および船位の右下にプロットした水深値の集合としての水深図である。最初、図法は簡単のために平面図を用いた。尺度は、XY格子の目盛数値にkm単位で示してある。ロランCのソースデータは毎分の特定の1秒間の平均値であり、航跡のジグザグはこの値のばらつきによるものである。

この研究の成果として得られたシステムのハードウェアおよびソフトウェアを、現在の水路業務の自動化の歩みに役立てるために、この研究を通じて今後考慮すべき事項として残ったソフトウェアに関する一、二の問題について参考として述べる。

手近な問題として自動観測ソフトウェアの充実が推進されなければならない。

i) 複数の観測プログラムの単一化 別々の研究者によって作業別に作成された観測プログラムを、作業の流れに従って有機的に結合し単一プログラムにまとめること。このことによってシステムの機能を高め効率的な利用が可能となる。

ii) 各種サブルーチンの統合および標準化 作業別のプログラムの幾つかは、上に述べたように同一の研究者によって作られたものではないことから、使われている各種サブルーチン(例えば整数データ読み込み2進化ルーチン、実数データ読み込み浮動小数点数値化ルーチン、ラジアン度分変換ルーチン、座標変換ルーチン等)は機能の重複などを始め不統一が存在することが考えられる。各サブルーチンの機能分析を行い、統合または標準化をはかることによって、サブルーチンを互換性あるものとし利用度を高めることが望まれる。水路業務において HITAC 10 または 10II が 5 台稼働中である現在、プログラムの文書化の問題と合せて考慮されるべき問題と思われる。

iii) 新しい自動観測プログラムの開発 入出力制御装置を介して HITAC 10 と結合可能な測量機器の中、

TRACK CHART OFF THE COAST OF MIYAZAKI

THE ORIGIN: LAT. = 32° 18' .97N, LONG. = 132° 10' .73E

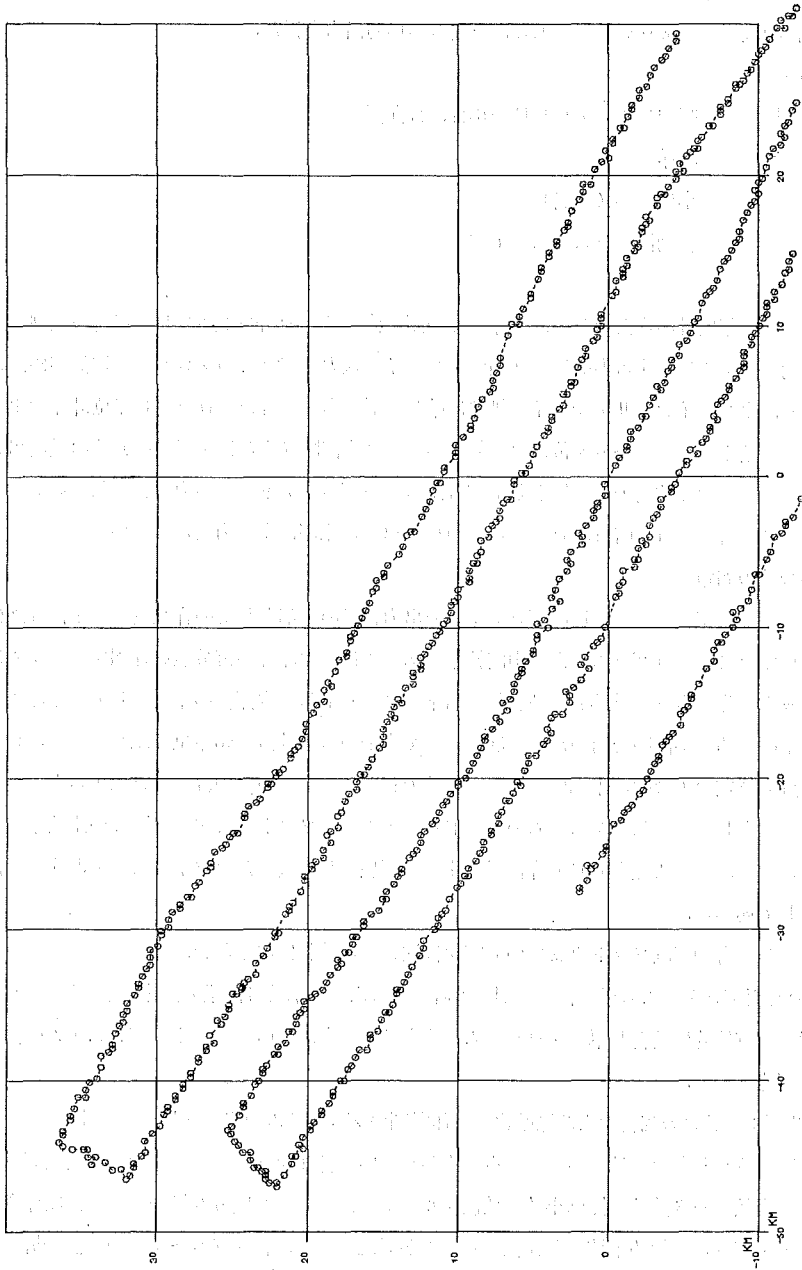


Fig. 7 Plot of vessel track (1)  
plotted from the every minute data of ship's position using Loran C system

TRACK CHART OFF THE COAST OF MIYAZAKI

THE ORIGIN: LAT. =  $32^{\circ}18'.97N$ , LONG. =  $132^{\circ}10'.75E$

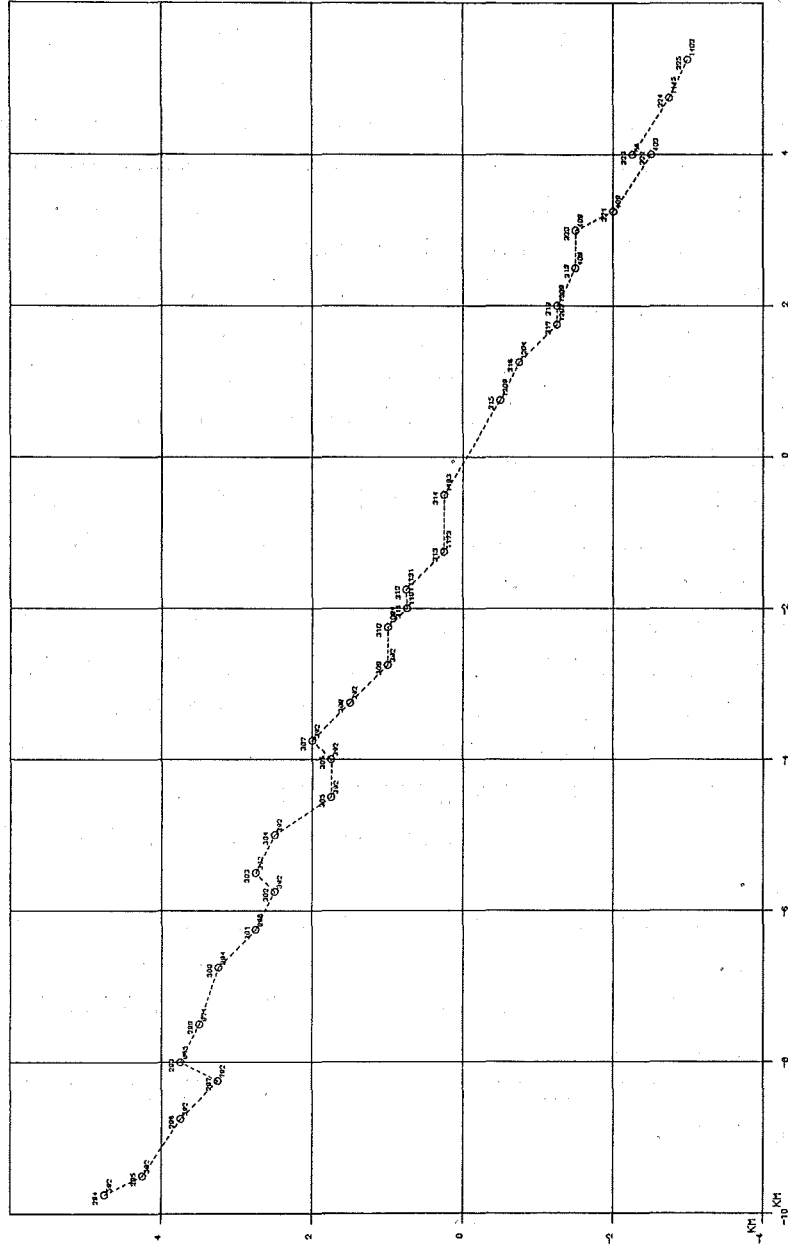


Fig. 8 Plot of vessel track (2) plotted from the every minute data of ship's position using Loran C system, position number and depth

CPUの8,192語の記憶容量を有効に用いて、複数個の異った機器に対するデータ収集、処理および出力等の制御を同時に行わせる単一プログラムの開発研究に着手されるべきである。

## 6. あとがき

デジタルな計測方式をとり、コンピュータとの連結によりいわゆるオンラインリアルタイムなデータ処理によって計測の合理化と能率化を進めることは、現在では我々のような観測、測量の分野ばかりでなく、それ以上に生産管理や品質管理に幅広く導入されているようである。ミニコンの出現がそのエポックメイキングであったことも周知のことである。振り返ってみれば、我々がここでとり上げた一連の研究についても、その例外ではないし、そのスタートにおいて決しておくれをとっていなかったことを自負することもできる。

水路部におけるコンピュータの導入も古く、ソフトウェアの作成についてはかなりの経験を積んでいるし、海上重力計 T.S.S.G. およびこの装置による海上重力測定の仕事から学んだ多くの事柄が、我々の自動化の研究に大きな影響力を持っていることも書き記しておかねばならないことである。

ゲルマニウムトランジスタからシリコントランジスタへ、そして集積回路へと回路素子が進歩していくことで、海上という厳しい観測環境において何を経験し何を習得したかということも、それだけで一つの重要な報告書となるが、この報告ではふれることができなかった。

デジタルエレクトロニクスについては我々が現在頭の中に描けるような自動化システムに対しても、その論理仕様を満足してくれると考えてよいであろう。そこで水路部として、これから何を考え、何を実行に移すべきかをつぎのように要約してむすびとしたい。

- 1) ハードウェア、ソフトウェアを含めた水路業務の自動化をになう機械システムが水路業務全体の組織機能の中でどのような部分や役割を果すのかという理解が悪いと決してよい機械システムは生れない。
- 2) 船上自動観測システムの設計に関しては今の時点で既存のコンピュータの性能、機能に関してさらに要求すべき事項は何もない。コンピュータと各観測装置のインターフェイス部分のデータおよび制御信号の受け渡しについての論理仕様、物理仕様を定める作業を始めなければならない。
- 3) 作業の流れについて見ても、システム構成においてデータ・ファイルを基本においた考え方で設計を進めるべきである。
- 4) 自動作図機の出力から印刷工程への入力の接続部については、調査も研究も手がついていないが軽んじることはできない。
- 5) 最も重要なことであるが、新しいタイプの水路技術者を養成するための教育カリキュラムの作成についての作業を急がねばならない。

最後に海上実験を共にした測量船昭洋船長古別府盛吉（第1回目）、重広敏（第2回目）ほか乗組員一同の皆様は厚く御礼申し上げる。

## References

- Kirland, C. 1964, Unpublished manuscript.
- Tokuhiro, A. 1966, *Report of Hydrographic Researches*, No. 2, 1.
- Tokuhiro, A. 1972, *Researches in Hydrography and Oceanography*, 57.