

## 人工衛星測量による船位測定とデータ集録

中条 純輔\* 石原 丈実\* 村上 文敏\*

## NNSS Position Fixes and Data Acquisition

Junsuke CHUJO, Takemi ISHIHARA and Fumitoshi MURAKAMI

## Abstract

The geological research vessel "Hakurei-Marui" uses the NNSS system as both navigational system and data acquisition one. This NNSS (Navy Navigation Satellite System), which was manufactured by Magnavox Co., is appropriately designed for geophysical purpose and it is called model 200. This model 200 system is mainly composed of three portions; one is a computer with its input and output devices and their interface cards, another-navigational equipment, and the other-geophysical equipment.

The computer HP-2100 A has 12 kilo-word memory. There are five kinds of input and output devices; a punched tape reader, a high speed printer, a teleprinter, 2 magnetic tape transports and 4 CRT monitors. The punched tape reader is used mainly for program loading, the high speed printer for input of instructions and printing of navigational data. The teleprinter prints geophysical data, and the magnetic tape transports record navigational data and geophysical data for later use. The real time navigational data are shown on the CRT monitors in separate rooms.

As the navigational equipment there are a NNSS receiver with its antenna, a gyrocompass, a doppler sonar and a EM-log. The NNSS receiver receives two channel electric waves from satellites. Two channels are about 400 MHz and 150 MHz in frequency. Then the receiver counts their doppler shifts of both channels. The gyrocompass measures ship's heading, and the doppler sonar or the EM-log measures ship's speed.

According to the result of Funabashi berth test in February and July, 1975, the standard deviation error of the update satellite fix data is about 37 m. This value decreases by about 5 m, if we take account of the geoidal height error and the systematic error, which is dependent on satellite pass geometry. The result also shows that the theoretical latitudinal and longitudinal differences and the measured ones between Tokyo datum and the satellite datum (NWL-8D) almost agree, but there are errors of about 10 m in parameters used in the theoretical differences.

On December 2, 1974, the 'Hakurei-Marui' and the research vessel "Hakuho-Marui" belonging to the Ocean Research Institute sailed side by side, and two vessels got the satellite fix data simultaneously. These data with reference to the radar data reveal that the accuracy of satellite fix is about 0.1 nautical mile, when the vessels are sailing.

There were 24.7 satellite fixes a day on an average on a cruise from Chiba to Honolulu. At low latitudes the number of satellite fixes decreases. After the satellite fix the position of the vessel is fixed by the dead reckoning with the gyrocompass and the doppler sonar or the EM-log. Next satellite fix updates the dead reckoning position to more accurate one. The radial standard deviation error of dead reckoned position is estimated at 6.7% of sailing distance, when the ship's speed is measured with the EM-log. This dead reckoning error is 2.4 times greater in direction cross course than that in direction along course.

\* 海洋地質部

## 1. 緒言

地質調査船「白嶺丸」の就役によって海洋の地質調査は急速に進みつつある。海洋地質調査の最も基礎になるデータは船の位置であって、調査の内容によっては位置の精度が悪いとその調査内容は全く無意味なものになる場合さえある。本船の位置測定は人工衛星測量により行っているため、その重要さはいままでもないが、位置測定のみならず航法にも重要で、また各種データのデジタル取得にも用いているので調査全体の中枢部分ともいえる地位を占めている。

人工衛星測量の方式は米国の海軍で開発され1964年に公開されたもので Navy Navigation Satellite System, または略して NNSS と呼ばれている。当初は海上で船の位置を決定する目的に使われたが、航法全般に使われるようになり、さらにデータ集録全般の中心になってきた。このような発展のしかたはロランCなどではなかったことである。その理由は第1に NNSS の適用範囲は全地球上であること、第2に測定精度がきわめてよいこと、第3に電算機がないと計算できないためデジタル・データの中心になりやすかったこと、をあげることができる。

本文では白嶺丸に搭載されている人工衛星測量装置—Magnavox 社製システム, モデル200—の概要と測位の実情につき述べる。

初めの節においては人工衛星測量装置の概要と出力につき述べる。本装置の各コンポーネントは現在日本で多く用いられているものがほとんどであるが、システムとしては個有のものなので、主として本装置を使用する技術者、研究者の視点においてまとめた。

次は「白嶺丸」の基地である船橋港において船が停泊している状態で人工衛星からの電波を連続受信して船位を測定し、位置計算の状況と位置計算の根拠である測地系につき扱っている。

続く節では2つの船を平行して航走しながら共に人工衛星測量で測位しその比較を行った。この2船は幸い同一の人工衛星受信機と処理プログラムを用いているのでその比較は位置精度の検討に役立った。

次の節では千葉港とハワイの間を航走したときの人工衛星の受信状況をまとめて統計的に取扱った結果を述べた。

最後の節ではドブラ・ソナーが使えず対地速度が分からないところでの推測航法の誤差をまとめた。

## 謝辞

これらの作業をまとめるにあたり、2船の人工衛星測量の比較測定に関して東京大学海洋研究所の白嶺丸の航

海関係の方々から観測とデータの提供を頂いた。

また船橋港の船の停泊位置を東京測地系で測量するにあたり、千葉県企業庁京葉建設事務所で行われた測量の成果を利用させて頂いた。

これらの各位に心から謝意を表する。

基準点から船のアンテナの位置を測量したのは当地質調査所技術部地形課の磯巳代治、石橋嘉一、小野寺公児、川野辰男の各技官である。

## 2. 人工衛星測量装置と記録について

### 2.1 人工衛星測量装置の概要

人工衛星測量装置 NNSS の装置の概要を使用者の立場から述べる。NNSS のブロック図を第1図に示す。この図に示されるように主として3つの系統から成り立ち、第1は電算機を中心とするシステム関係機器、第2は人工衛星の電波の受信機その他の航法関係機器、第3は地質調査船に特有の船上重力計等地球物理関係機器である。

NNSS の各部分の機能をブロック図に表したものが第2図である。また各ブロックの型式と設置場所を表したものが第3図である。

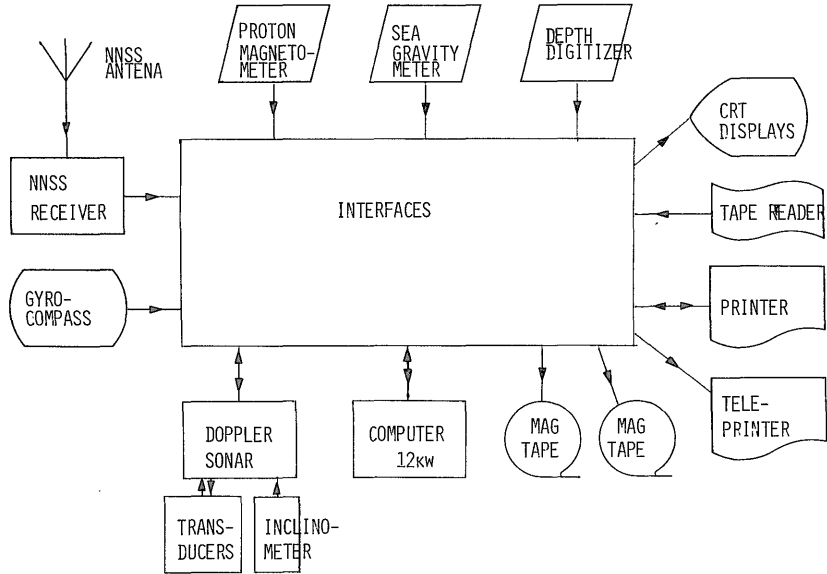
システム関係機器は電算機 HP-2100A, 12 kW を中心にして、紙テープ・リーダー、高速プリンター、TTY プリンター、磁気テープ機構2台、CRT モニター4台を付している。

システムの中心は電算機である。これは HP-2100A (Hewlett Packard 社製) に 12 kW の記憶装置をそなえている。ここで 1 word は 16 bit である。人工衛星測量は専用のミニコンなら 2 kW で済むし、汎用のミニコンでも 4 kW で足りるが、本器が 12 kW を用いているのは位置測量だけでなく地球物理的情報をほとんど全部データ集録しているためである。

付言するなら白嶺丸の情報処理装置として YOHPAC-2100-A, 24 kW を使用しているのはそれが HP-2100-A と同一機種であり、プログラムの互換性や部品の互換性を保つためである。

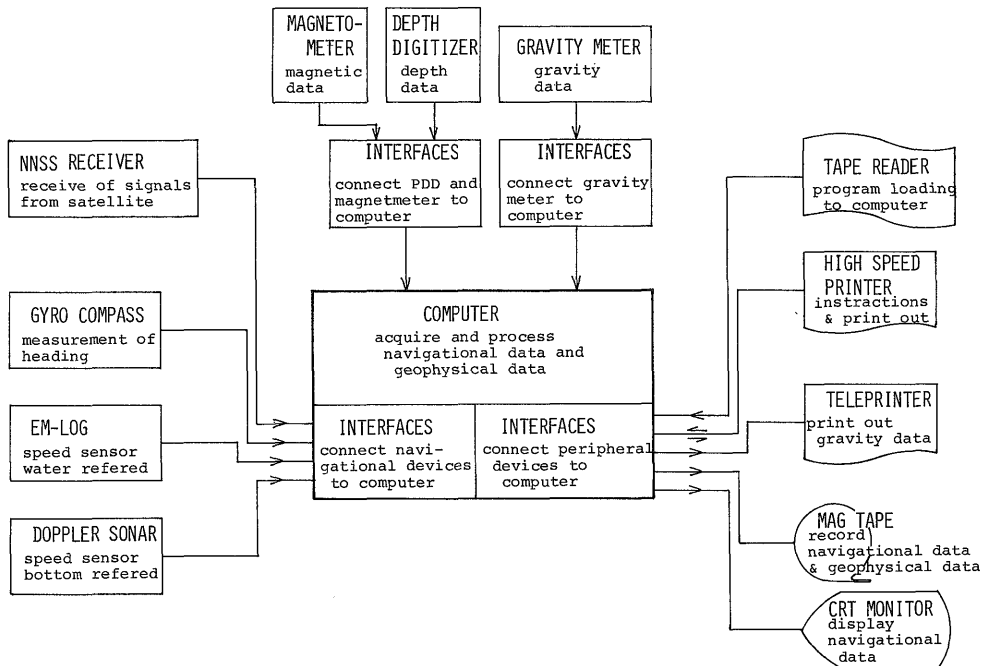
紙テープ・リーダーはシステムを組んだり、プログラムをロードするに用いる。なお本装置は磁気テープ機構 MT を有していて、この MT からシステムを組むこともできるがふつうはこの方式は使わない。

高速プリンターは TI 社の Silent 700 という型式のものであり、命令の入力とシステムとの対話およびデータの出力に用いる。これは印字するのに熱で書く方式なので熱印字機 Thermal Printer ともいわれる。印字のチップにはヨコ 5 コ×タテ 7 コの点状のヒーターがヨコ 2 mm × タテ 2.7 mm の中に埋められていて、ヒーター点の



装置全体はシステム関係、航法関係、地球物理関係に大別される。

第1図 NNSSモデル200のブロック図

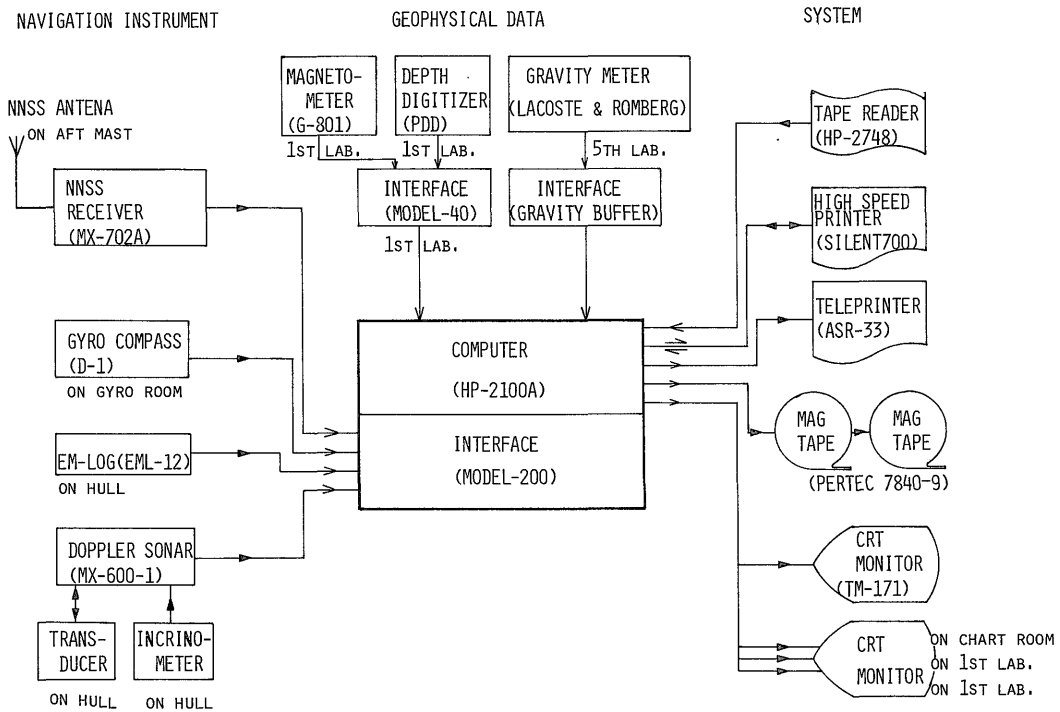


第2図 NNSSの機能のブロック図

撰択で字を書く。

記録紙には熱感応紙という専用のものを用いている。機械部分が少なく動作が安定し、動作の雑音ごく少なく、しかも高速で毎分600字または900字という速さである。

テレタイプは機械的に印字する。高速プリンターより遅くてかなりの騒音を生ずる欠点がある。このテレタイプは重力データの出力に専用に用いているので、ふつうの使用方法では使用時間が少ない。またテレタイプには紙テープを読取ったり書込んだりする機能があるので、



各部の設置場所のうちにも書いてないものはコンソール内かその周辺である。  
第 3 図 NNSS の型式と設置場所のブロック図

もし紙テープ・リーダーが故障したばあにはテレタイプを通してシステムを作ることができるが、高速プリンターにこの機能はない。

磁気テープ機構 MT は 2 台あって交互にデータの集録を行う。使っている磁気テープは 1/2 インチ幅で 600 フィート長のものである。トラック数は 9 トラック、書込密度は 800 bpi で IBM 標準のものである。手動で MT を変更するときの命令は CHNG である。2 つの MT に同時に書込んだり読取ったりすることはない。

この磁気テープ機構は書込みのチェックを行う。すなわち書込んだデータをただちに読取って照合する方式である。もし書込んだものと読取ったものが一致しないと 同じ書込みを 3 回繰返し、それでも正しく書込まなければ別のテープ機構に移る。従って書込みの間違いということはありません。

CRT モニターは航行に関する即時情報を表示する。CRT (Cathode Ray Tube) は 4 台あってその設置場所と大きさは次のとおりで増設は何台でもできる。

- |                     |        |
|---------------------|--------|
| 1. NNSS の機側         | 9 インチ  |
| 2. 海図室              | 16 インチ |
| 3. 第 1 研究室 (物理探査関係) | 13 インチ |
| 4. 第 4 研究室 (地質関係)   | 13 インチ |

CRT モニターの表示については別項に示す。

人工衛星受信機は MX 702A である。受信は 2 チャンネルで 400 MHz と 150 MHz である。正しい発振周波数は 399.968 MHz と 149.988 MHz であり 8 対 3 の比を保っている。この発振周波数と受信周波数とのドプラー偏移を測定するわけであるが、直接その差を測るのではなく、それぞれ 400 MHz と 150 MHz との偏移を測るので、無偏移の場合でも 32 kHz および 12 kHz になる。

受信機のアンテナは後部マストの頂上に取付けられ、前置増幅器が 2 チャンネルとも組込まれている。しかし受信機との接続は同軸ケーブル 1 本である。

ジャイロ・コンパスは北辰電気 D-1 で船側に備えられたものである。精度は 0.2° であり人工衛星測量装置まで出力がレピータの出力として来ているし、また機側にはレピータの表示もある。この方位信号の数値化と接続は NNSS 側で行う。

方位の初期値は手動で入れ、その命令は, IHDG である。方位はなんらかの理由でジャイロコンパスの示す実際の値とシステム内の値が違ってしまったときは必ず手動により IHDG で入れ直さねばならない。

船の速度のセンサーとしてはドプラ・ソナー MX-610

と EM ログ EML-12 の 2 種がある。ドプラ・ソナーは超音波が海底で起すドプラ・シフトを用いて対地速度をベクトルで測るのに対して、EM ログは船底に突出したログのセンサーの孔を通過する水に比例した起電力(ファラデーの法則)により対水速度をスカラーとして測る。

従ってドプラ・ソナーの方が速度センサーとしては優れている。ドプラ・ソナーの周波数は 150 kHz であり、船の前後と右舷左舷の 4 方向に超音波を発振する。そして前後のドプラ・シフトの差から船の進行方向の速度を、左右の差から横方向の速度を求める。送受波器を船底に取付けるとき船の軸との一致は難かしいのであるが、電算機内でソフトウェアによりこのズレを計算補正でき、その範囲は±7°以内である。送受波器の取付場所は船尾より1/3でいどの船底中央であって音響ドームではない。ドプラ・ソナーの海底追尾(bottom lock)は水深 200 m 以浅である。これにより深い海では水中の超音波

を散乱する層による検出(water track)になる。ドプラ・ソナーが正常でなければ EM ログに手動により切替える。

ドプラ・ソナーの送受波器にはサーミスターが付いていて水温を測り、水温による音の速度を計算して対地速度の計算に使っている。速度の値を知りたいときの命令は LAMD であり、プリンターに m/sec 単位で打出す。

NNSS のシステムの一覧表を第 1 表に示す。第 4 図は NNSS のコンソールの外観である。

2.2 CRT 表示

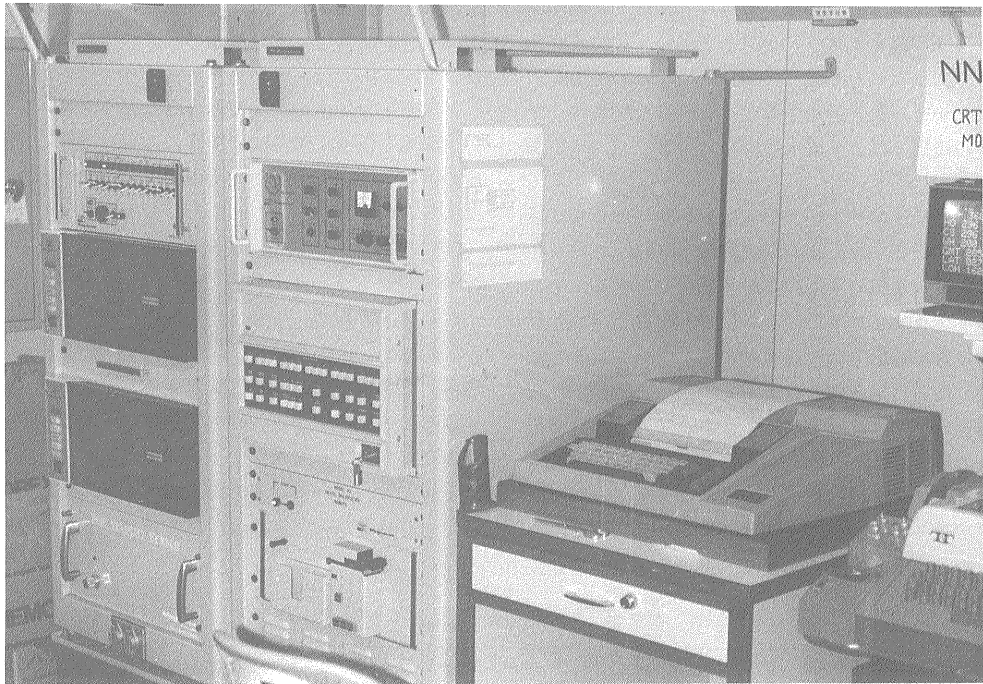
CRT による表示はふつう航行の即時情報を表しているが、電算機の記憶内容を表示することもできる。

表示の形は 16 字×8 行の文字と数字である。一つの字の表現はヨコ 5 コマタテ 7 コ=35 コのセグメントの明暗により行う。航行データの表示の例を第 5 図に示す。ここに示される記号の意味は次のとおりである。

第 1 表 NNSS システムの一覧表

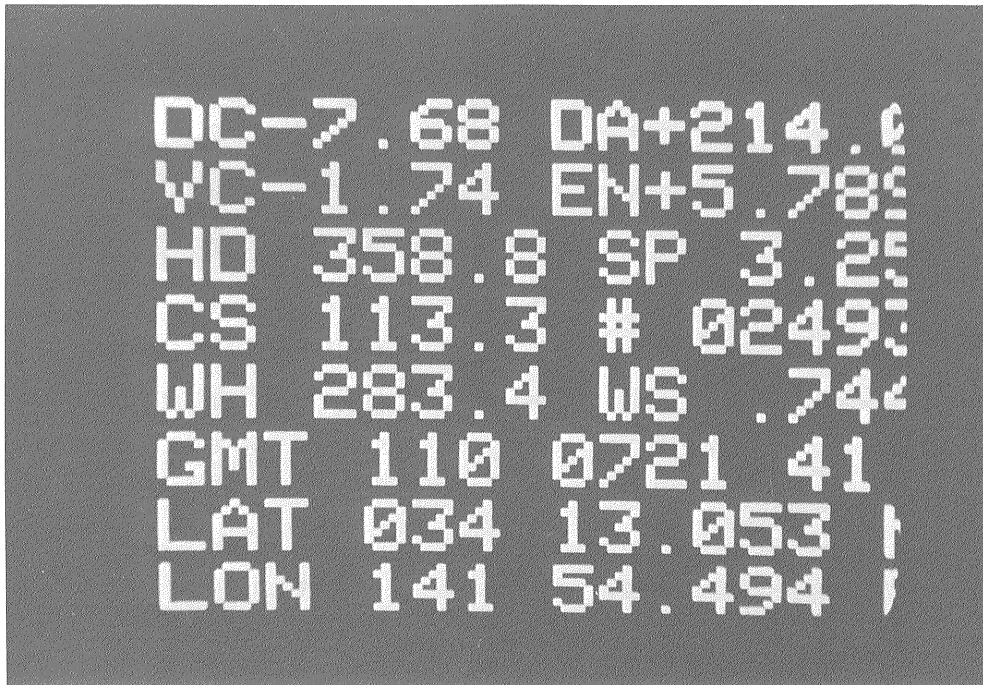
	機 器 名	コンポーネント メーカー	型 式	システム メーカー	設置場所	備 考
シ ス テ ム 機 器	電 算 機	Hewlett Packard	MX-702A	MX	コンソール	12 kW 付
	インターフェース	MX	model 200	MX	同 上	物理探査の仕様
	テープ・リーダー	Hewlett Packard	HP-2748	MX	同 上	フォト・リーダー
	高速プリンター	Texas Instruments	Silent 700	MX	同 上	熱感応紙使用
	テレタイプライター	TTY		MX	同 上	出力専用
	磁気テープ装置 (2 台)	PERTEC	7840-9	MX	同 上	2 台を交互に使う
	CRT モニター (4 台)	ゼネラル電気	TM-171	MX	コンソール 第 1 研 第 4 研 海 図 室	
航 法 機 器	NNSS 受信機	MX	MX-702A	MX	コンソール	
	NNSS アンテナ	MX	同 上	MX	後部マスト	
	ジャイロコンパス	北辰電気	D-1	—	ジャイロ室	
	EM ログ	北辰電気	EML-12	—	船 底	
	ドプラ・ソナー	MX	MX-610	MX	コンソール	
	ドプラ・ソナー送受波器	MX	同 上	MX	船 底	傾斜計, 水温計共
物 理 探 査 機 器	水深数値化機	レイセオン	PDD	—	第 1 研	入力は PDR (12 kHz, 日電製) またはサブボトムプロファイラー(3.5 kHz, レイセオン製) インターフェース・モデル 40 は MX 製
	プロトン磁力計	ジオメトリクス	G-801	—	第 1 研	インターフェース・モデル 40 は水深数値化機と共用
	重力計	ラコスト社	Air/Sea Gravity Meter	—	第 5 研	インターフェース・グラフィックバッファは MX 製

注: MX はマグナボックス社の意味



第 4 図 人工衛星測量装置の外観

コンソールの左上から下へ：モデル 200 インターフェース，磁気テープ機構 2 台，ドブラ・ソナー。右上から下へ：人工衛星電波受信機，電算機，船上重力計バッファ，テープリーダ。中央：高速プリンター。右上：CRT モニター。右下：TTY プリンター。



第 5 図 CRT による航行データの表示

航行中の即時データは CRT により船内各所に表示されている。GMT グリニッチ標準時，LAT 緯度，LON 経度など。

DC (distance cross course)

予定測線からのヨコズレを表し、進行方向右側を+とし単位は km.

DA (distance along course)

予定測線ぞいに走った距離を km で表す. 測線に入る前は-である.

VC (velocity cross course)

船を測線からみたヨコズレ速度で、右舷側に走るとき+とし単位は knot.

EN (distance to end point)

測線終了点までの距離で、単位は km.

HD (heading)

船の方向でジャイロ・コンパスの出力、単位は度

SP (speed)

船の速度で単位は knot.

CS (course)

予定測線の方向

# (shot number)

計数値で何かの作業 (例えばエアガンの発震) の計数をする.

WH (water heading)

WS (water speed)

WS と WH に予め海流の方向 (度) と速度 (ノット) を手動で入れておくと、速度センサーが対水速度のとき対地速度を計算機の中で自動的に計算して表示する. ドブラ・ソナーが対地速度を測っている間はこの2つの項は自動的に消える.

GMT (greenwich mean time)

グリニッチ標準時を表し、始めの3ケタはジュリアン暦による日、次の4ケタは時と分、続く2ケタは秒.

LAT (latitude)

緯度. 度と分で表す.

LON (longitude)

経度. 度と分で表す.

これが通常に航行のときの表示であり、ドブラ・ソナーがボトム・ロック (海底追尾) のとき WH, WS が消えることは前に述べた. 次にある進入点 aim point に入る場合には図の DA と ENがそれぞれ R と B に変る表示を数秒ごとにくり返す.

R (range)

進入点までの距離

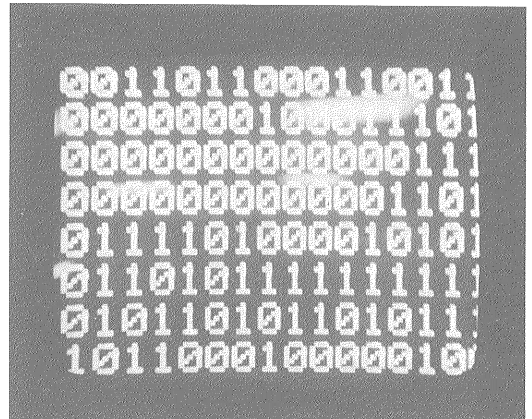
B (bearing)

進入点への方位

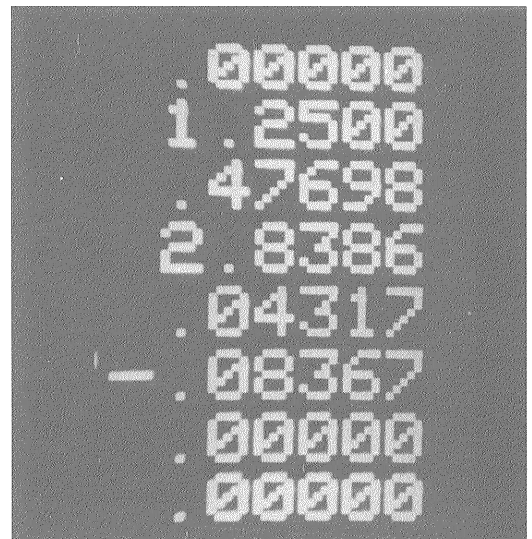
CRT モニターは上記のような航行に関する即時デー

タを表示するだけでなく、電算機の記憶内容を表示して記憶のチェックや診断 diagnostic に用いることができる. 記憶表示の命令は DIAG である. これにより電算機は番地を INPUT ADDRESSと問返すので調べたい番地をタイプ・インする. すると電算機は BINARY? と問うてくる.

2進法で見るときは YES, 浮動小数点で見るときは NO と打つ. 2進法なら指定した番地から8つの番地の記憶内容を 16 bit で表す. 浮動小数点では2つの番地で1語になっている. これらの表示例は第6図, 第7図のとおりである. 元に戻す命令は NCRT である.



第6図 電算機記憶内容の表示  
指定された8コの番地の16 bitの内容をCRTに表示して調べる.



第7図 浮動小数点による記憶の表示  
浮動小数点は2つの番地で1語になる.

なお命令はすべて4文字であり、3文字のときは4つめにスペースを入れる。

### 2.3 磁気テープの記録

データ集録された結果を使うばあい、最も基本的なことは磁気テープに集録されるデータの書式なのでこれを簡単に述べる。

磁気テープには時間順に入ってくるデータを書込んでゆくわけで、書き込むのに5種類の記録がある。

- 記録1 生の人工衛星データ
- 記録2 サト・フィクスのデータ
- 記録3 ショット・データ
- 記録4 初期値設定のデータ
- 記録5 重力データ

各記録の内記録3はショット記録と呼ばれ、エアガンの発震 shot に伴う各種データを書込むものであるが、現在の白嶺丸はエアガンを NNSS で制御してはいないので、その主要目的は推測航法の書込みに使われている。

またロランCのデータは現在使われてはいないが入れられる場所は確保されている。記録5は Gravity record であるが重力だけでなく磁力値や深さなど物理探査データがすべて書込まれている。

従って地質的な目的だけのために磁気テープを使うばあい最も重要な記録である。

各記録はすべて偶数の語数である。1語は8bitのキャラクター2つで成立つ。各キャラクターはIBM標準で、磁気テープには9トラックで入り、書込密度は800 bpi (bit/inch)、奇数パリティである。

語には次の書式が基本になっている。

- Fixed = H-P 固定小数点書式
- (H-P は Hewlett Packard 社標準の意味)
- F.P. = H-P 2語浮動小数点書式
- Instruction = Single-word H-P 命令書式
- Address = Single-word H-P アドレス書式
- ASC = Two 8 bit アスキー・キャラクター
- BIN, MAG = 符号なし2進マグニチュード
- INT. = 整数型—Fixed と同じ
- BCD = 2進10進法
- BCDXS 3 = 2進10進法アクセス3

各語は上記のいずれかで書かれている。使用頻度が多いのは整数型 INT. と浮動小数点型 F.P. である。BCDXS 3 は人工衛星のメッセージがこの型式で送られるので使う。ASCII はサトフィクスの Geometry などアルファベットに使う。

磁気テープに書込まれる5種類の記録のうち、記録3のショット・データを第2表に、記録5の重力データを

第3表に示す。

計算機の記憶内容には予め各種データが割当てられている。NNSSの電算機は12kWであり8進法では30,000<sub>8</sub>の番地がある(俗にいう4kWは4,096<sub>10</sub>Wであり4,096<sub>10</sub> = 10,000<sub>8</sub>であって本機の12kWは12,288<sub>10</sub>Wまたは30,000<sub>8</sub>Wである)。アドレスを8進法で表すと1<sub>8</sub>-77<sub>8</sub>の間の77<sub>8</sub>はシステム関係、100<sub>8</sub>-407<sub>8</sub>の間の307<sub>8</sub>は基礎データ、410<sub>8</sub>-555<sub>8</sub>の間の146<sub>8</sub>は非集録アドレス、556<sub>8</sub>-755<sub>8</sub>の間の177<sub>8</sub>は初期値というように各アドレスに割当てが決っている。そしてある記録を書くときには記憶の順序で記録に指示された内容を書込んでゆく。

ショット・データを表す記録3なら記憶番地100<sub>8</sub>から407<sub>8</sub>まで200<sub>10</sub>語であり、重力データの記録5なら100<sub>8</sub>から221<sub>8</sub>までの間の指定された46語と24,730<sub>8</sub>から25,037<sub>8</sub>までの間の72語の計118語である。

これらの記憶の番地と記録の内容を記録の型式に従ってまとめたものが第4表である。

各記録の欄をタテに見て左側は書出す番地を8進法で示したものであり、右側は書出す順序を10進法で示している。システム関係とBBL (Basic Binary Loader) と非集録の部分は記録に書くことはない。基礎データはすべての記録に大体書かれている。

磁気テープには時間的出現順序に従ってすべて記録してゆく。処理段階では記録の種類別に分類しながら処理することが多い。

### 3. 定点での受信結果

1975年2月18日より2月26日まで8日間、同年7月7日より7月16日まで9日間の2回、船橋港岸壁に白嶺丸が停泊中、NNSSの連続的な受信と測位計算を行った。

このNNSSでは二次元測地方式を取っているので、準拋橢円体からのアンテナ高を与えて、緯度・経度を計算させることになる。

アンテナ高はジオイド高(平均海面の準拋橢円体からの高さ)とアンテナの平均海面からの高さ(白嶺丸の場合約21m)の和として求まるが、2月のテストではアンテナ高53m(すなわちジオイド高32m)、7月のテストではアンテナ高43m(ジオイド高22m)として緯度・経度を求めた。更新<sup>1)</sup>の条件を満たす衛星仰角15-70°の間の受信回数は、2月のテストでは8日間(192時間)で総受信回数200回のうち133回、7月のテストでは9日間(216時間)で総受信回数230回のうち146回であった。平均すると更新の条件を満たすものが総受信回数の65%、88分に1回の割合で受信されていることになる。

1) 更新は update の訳語として用いる。



第2表 ショット・データの書式 (記録3)

ノ ー ト	電算機の 記憶の番地 (8進法)		ショットデー タの語の順序 (10進法)		ニ ー モ ニ ック	定 義	単 位	語 書 式	引 用 サ ー ル チ ン
	始	終	始	終					
1	100		1		LENTH	Mag Tape Record Length- Words		INT.	MAGRC
2	101		2		TYPE	Mag Tape Record Type		INT.	MAGRC
3	102		3		RECRD	Mag Tape Record Number		INT.	MAGRC
4	103		4		REPET	Mag Tape Record Repeat Number		INT.	MAGRC
5	104	105	5	6	SERNO	Name of Program		ASC.	INIT
106	111	7	10		SERN 4	Name of Program		ASC.	INIT
112		11			DAY	current Day Number	DAY	INT.	CLOCK
113		12			TME	current Time	MIN.	INT.	CLOCK
114		13			SECS	current Time	SEC.	INT.	CLOCK
6	115	116	14	15	DRLAT	Latitude at last DR	RADIANS	F.P.	DEADR
6	117	120	16	17	DRLON	Longitude at last DR	RADIANS	F.P.	DEADR
121	122	18	19		DISTN	Distance North since last DR	N.MI.	F.P.	DEADR
123	124	20	21		DISTE	Distance East since last DR	N.MI.	F.P.	DEADR
125	126	22	23		DRANT	Antenna Height at last DR	EARTH RADIANS	F.P.	DEADR
127		24			SHDAY	Day of last Shot point	DAY	INT.	SHOT
130		25			SHTME	Time in MIN at last Shot point	MIN.	INT.	SHOT
131		26			SHSEC	Seconds at last Shot point	SEC.	INT.	SHOT
6	132	133	27	28	SHLAT	Latitude at last Shot point	RADIANS	F.P.	SHOT
6	134	135	29	30	SHLON	Longitude at last Shot point	RADIANS	F.P.	SHOT
58	136	137	31	32	SHDIN	Distance North at last Shot point	N.MI.	F.P.	SHOT
58	140	141	33	34	SHDIN	Distance East at last Shot point	N.MI.	F.P.	SHOT
7	142	143	35	36	SHOT#	Shot point Number		F.P.	SHOT
8	144	145	37	38	SAC	Along Course Distance between Shots	N.MI.	F.P.	SHOT
8	146	147	39	40	SCC	Cross Course Distance at last Shot	N.MI.	F.P.	SHOT
150		41			TFLAG	timed DR flag		INT.	SHOT
151		42			SFLAG	not used			
152	153	43	44		RESID	not used		F.P.	
154		45			OLDN	not used		INT.	
155	156	46	47		KE	not used			
157	160	48	49		TEE	not used			
161		50			PTIME	No.of Sec since last Shot	SEC.	INT.	INTFD
162		51			TRANO	Track Number		INT.	SAIL
163	164	52	53		SLAT 1	Start point Latitude	RADIANS	F.P.	SAIL
165	166	54	55		SLON 1	Start point Longitude	RADIANS	F.P.	SAIL
167	170	56	57		SLAT 2	End point Latitude	RADIANS	F.P.	SAIL
171	172	58	59		SLON 2	End point Longitude	RADIANS	F.P.	SAIL
173	174	60	61		ISHOT	Initial Shot point Number		F.P.	SHOT
175	176	62	63		SLINE	Line Designator		ASC.	INIT
177	200	64	65		SLAND				
201	202	66	67		FSPDN	filtered speed North	KTS.	F.P.	INTFD
203	204	68	69		FSPDE	filtered speed East	KTS.	F.P.	INTFD
205	206	70	71		FSPED	filter speed Total	KTS.	F.P.	INTFD
207	210	72	73		DEPTH	Depth from PDD	METERS	F.P.	INTFD
211	212	74	75		DEPHF	Depth from Sonar	METER	F.P.	INTFD
213	214	76	77		MAGT	Magnetometer			
215	216	78	79		DEPHF	not used			
217	220	80	81		DEPHS	not used			
9	221	222	82	83	WHDG	Water Heading	RADIANS	F.P.	INTFD
9	223	224	84	85	WSPD	Water Speed	KTS.	F.P.	INTFD
225	226	86	87		DIST	Dist between Shot	N.MI.	F.P.	SHOT

地質調査所月報 (第 28 卷 第 2 号)

第 2 表 つづき

ノ ー ト	電 算 機 の 記 憶 の 番 地 (8 進 法)		シ ョ ッ ト デ ー タ の 語 の 順 序 (10 進 法)		ニ - モ ニ ッ ク	定 義	単 位	語 の 書 式	引 用 サ グ ル - ケ ン	
	始	終	始	終						
10	227		88		TOUT	TOUT (Shot interval between TYP)		INT.	SHOT	
11	230	231	89	90	DTIME	Shot Time Interval	SEC.	F.P.	SHOT	
	232	233	91	92	PSCAL	Plotter Scale Factor- steps/n.m.	%	F.P.	PLOT	
12	234	235	93	94	TMINT					
	236		95		QUALI	type of Update		INT.	FXEVL	
	237		96		UPRCD	MAG Record # of last Update		INT.	FXEVL	
13	240	241	97	98	DELAT	Latitude Update applied	EARTH RADH	F.P.	FXEVL	
13	242	243	99	100	DELON	Longitude Update applied	EARTH RADH		FXEVL	
	244	245	101	102	UPLAT	Latitude Update to be applied	EARTH RADH		FXEVL	
	246	247	103	104	UPLON	Longitude Update to be applied	EARTH RADH		FXEVL	
	250		105		FDAY	Fix Day No	DAY	INT.	INIT	
	251		106		FTIME	Fix Time	MIN.	INT.	INIT	
	252		107		FSEC	Fix Seconds	SEC.	INT.	SATPS RCVRD	
	253	254	108	109	FLAT	Fix Latitude	RADIANS	F.P.	INIT	
	255	256	110	111	FLON	Fix Lonfitude	RADIANS		INIT	
	257	258	112		ITER	Iteration count		INT.	INIT	
13a	260	261	113	114	MELEV	Maximum Elevation Angle	RADIANS	F.P.	INIT	
	262	263	115	116	FGEOM	Geom of Fix		ASC.	INIT	
						Start of Interface input				
14	264	265	117		DISC 1	Switch Discrettes	OCT.	OCT.	INTFC	
14	265	266	118		DISC 2	Other Discrettes	OCT.	OCT.	INTFC	
	266	267	119		DFS 4#	DFS 4 Number from DFS 4		BCD.	INTFC	
	267		120		STRAN	Sonar Fore-Aft Frequency	COUNTS	BIN.	INTFC	
	270		121		RFORE	Sonar Fore Frequency	COUNTS	BIN.	INTFD	
	271		122		RAFT	Sonar Aft Frequency	COUNTS	BIN. MAG.	INTFD	
	272		123		RPORT	Sonar Port Frequency	COUNTS	BIN. MAG.	INTFD	
	273		124		RSTAR	Sonar Starboard Frequency	COUNTS	BIN. MAG.	INTFD	
	15	274		125		HEADG	1 or 35 Speed Heading	COUNTS	BIN. MAG.	INTFC
	16	275		126		THERM	Thermistor Reading	COUNTS	BIN. MAG.	INTFC
16	276		127		PITCH	Pitch Angle	V/DEG.	FIXED	INTFC	
16	277		128		ROLL	Roll Angle	V/DEG.	FIXED	INTFC	
17	300		129		VELCO	Velocimeter count	COUNTS	BIN. MAG.	INTFC	
59	301		130		DTIM	Input from D TimeBox	MIN.	BCD		
	302		131		JAPX	not used				
	303		132		STCMD	not used				
	304		133		ATOD 5	not used				
	305		134		ATOD 6	not used				
	306		135		ATOD 7	not used				
	307		136		ATOD 8	not used				
	310		137		ATOD 9	not used				
	311		138		ATOD 0	not used				
	312		139		DFORE	not used				
	313		140		DAFT	not used				
	314		141		DPORT	not used				
	315		142		DSTAR	not used				
	316		143		DISC 3	Valid Sonar status		OCT.		
	317		144			unused input area			INTFC	

第2表つづき

ノ ー ト	電 算 機 の 記 憶 の 番 地 (8進法)		シ ョ ッ ト デ ー タ の 語 の 順 序 (10進法)		ニ ー モ ニ ッ ク	定 義	単 位	語 の 書 式	引 用 サ ブ ル ー テ ン
	始	終	始	終					
	320		145			unused input area			INTFC
	321		146			unused input area			INTFC
	322		147			unused input area			INTFC
	323		148			unused input area			INTFC
						Computer to Interface			
18	324		149		FIRE	Fire Shot		BCD.	INTFC
19	325		150		LAMPS	Light lamps on Interface		BIN. MAG.	INTFC
19	326		151		CMAND	Discrete Commands to Interface		LOGIC	INTFC
20	327		152		DSPL 1	Display word 1		BCD.	INTFC
20	330		153		DSPL 2	Display word 2		BCD.	INTFC
21	331		154		PLOTA	Plotter along Course		BIN. MAG.	INTFC
21	332		155		PLOTG	Plotter cross Course		BIN. MAG.	INTFC
22	333		156		TORQE	Gyro Torque		BIN. MAG.	INTFC
22	334		157		CALBR	Calibration word		LOGIC	INTFC
	335		158		RUDDR	used for Auto Pilot			
	336		159		XTRA 1	Extra Output to INTF			INTFC
	337		160		XTRA 2	Extra Output to INTF			INTFC
						End of Computer to Interface			
	340		161		SPLIT	Model 40 Data depth PDD		BCD.	
	341		162		SCOMP	Model 40 Data depth PDD		BCD.	
	342		163		SRCVCR	Model 40 Data depth PDD		BCN.	
	343		164		SMISC	Model 40 Data Status		OCT.	
	344		165		SMAGT	Model 40 Data Magneto- meter		BCD.	
	345		166		SINTF	Model 40 Data Magneto- meter		BCD.	
	346		167		SGRVT	Model 40 Data Magneto- meter		BCD.	
	347		168		SSONR	Model 40 Data Data Fresh		OCT.	
	350		169	170	SGYRO	Depth		F.P.	
	351								
38	352		171		SSHOT	Depth Status		OCT.	
38	353		172	173	SINCL	Magnetometer		F.P.	
38	354								
38	355		174		STHER	not used			
38	356		175		SSRVY	not used			
22a	357		176		SWREG	not used			
	360		177		PNTWD	Error Printou Indicator			
23	361	362	178	179	ANGLE	Heading in Radians	RADIANS	F.P.	INTFD
	363	364	180	181	ANGDS	Heading in Degrees	DEGREES	F.P.	INTFD
	365	366	182	183	GBIAS	Gyro Bias in Radians	RADIANS	F.P.	INTFD
	367	370	184	185	AZMOD	Azimuth Error in Radians	RADIANS	F.P.	INTFD
24	371	372	186	187	DSTNC	Dist Traveled since last Fix	N.MI.	F.P.	INTFD
25	373	374	188	189	DSTBL	Dist traveled without Bottom Loc	N.MI.	F.P.	INTFD
26	375	376	190	191	DDAC	Distance Slong Course Display	N.MI.	F.P.	INTFD
26	377	400	192	193	DDCC	Distance Across Course Display	N.MI.	F.P.	INTFD
	401		194		NSHTM	not used			
38	402	403	195	196	DCSE	Desired Course	DEGREES	F.P.	SAIL
39	404	405	197	198	VADJ	Velocimeter Bias		F.P.	INTFD
40	406	407	199	200	THADJ	Thermistor Bias		F.P.	INTFD
						end of shot record			

第3表 重力データの書式 (記録5)

ノート	電算機の記憶の番地 (8進法)		ショットデータの語の順序 (10進法)		ニーモニック	定義	単位	語の書式	引用ケルテン
	始	終	始	終					
	100		1		LENTH	Mag tape Record Length -Words		INT.	MAGRC
	101		2		TYPE	Mag Tape Record Type		INT.	MAGRC
	102		3		RECRD	Mag Tape Record Number		INT.	MAGRC
	103		4		REPET	Mag Tape Record Repeat Number		INT.	MAGRC
	112		5		DRDAY	current Day Number	DAY	INT.	CLOCK
	113		6		DRTME	current Time	MIN.	INT.	CLOCK
	114		7		DRSEC	current Time	SEC.	INT.	CLOCK
	115	116	8	9	DRLAT	Latitude at last DR	RADIANS	F.P.	DEADR
	117	120	10	11	DRLON	Longitude at last DR	RADIANS	F.P.	DEADR
	121	122	12	13	DISTN	Distance North since last DR	N.MI.	F.P.	DEADR
	123	124	14	15	DISTE	Distance East since last DR	N.MI.	F.P.	DEADR
	125	126	16	17	DRANT	Antenna Height at last DR	N.MI.	F.P.	DEADR
	127		18		SHDAY	Day of last Shot point	DAY	INT.	SHOT
	130		19		SHTME	Time in MIN. at last Shot point	MIN.	INT.	SHOT
	131		20		SHSEC	Seconds at Last Shot point	SEC.	INT.	SHOT
	132	133	21	22	SHLAT	Latitude at last Shot	RADIANS	F.P.	SHOT
	134	135	23	24	SHLON	Longitude at last Shot point	RADIANS	F.P.	SHOT
	136	137	25	26	SHDIN	Distance North last Shot point	N.MI.	F.P.	SHOT
	140	141	27	28	SHDIE	Distance East last Shot point	N.MI.	F.P.	SHOT
	144		29	30	SHOT#	Shot Point Number		F.P.	SHOT
	201	202	31	32	FSPDN	filtered speed North	KTS.	F.P.	INTFD
	203	204	33	34	FSPDE	filtered speed East	KTS.	F.P.	INTFD
	205	206	35	36	FSPED	filtered speed Total	KTS.	F.P.	INTFD
	207	210	37	38	DEPTH	Depth from PDD		F.P.	INTFD
	211	212	39	40	DEPTH	Depth from Sonar		F.P.	INTFD
	213	214	41	42	MAGT	Magnetometer		F.P.	
	215	216	43	44	DEPHA	not used			
	217	220	45	46	DEPHS	not used			

ノート	電算機の記憶の番地 (8進法)		ショットデータの語の順序 (10進法)		ニーモニック	定義	単位
	始	終	始	終			
	24730	24733	47	50	GDATA		P.EBC
	24734	24737	51	54	GTIM	Gravity Clock	P.EBC
	24740	24743	55	58	GRMTR	Gravity Data	P.EBC
	24744	24747	59	62	SPRNG	Spring Tension	P.EBC
	24750	24753	63	66	ABEAM	Average Beam	P.EBC
	24754	24757	67	70	TCROS	Total Cross Coupling	P.EBC
	24760	24763	71	74	TCORR		
	24764	24767	75	78	INCRC	Inherent Cross Coupling	P.EBC
	24770	24773	79	82	PRCRC	Imperfection Cross Coupling	P.EBC
	24774	24777	83	86	ILCRC	Imperfection Cross Coupling	P.EBC
	25000	25003	87	90	VACEL	Vertical Acceleration	P.EBC
	25004	25007	91	94	HACL C	Cross Horizontal Acceleration	P.EBC
	25010	25013	95	98	HACL L	Long Horizontal Acceleration	P.EBC
	25014	25017	99	102	CROS 2	Second Order Cross Coupling	P.EBC
	25020	25023	104	106	EXTR 1		
	25024	25027	108	110	EXTR 2		
	25030	25033	112	114	EXTR 3		
	25034	25037	116	118	EXTR 4		

第4表 電算機の記憶と記録の書式

電算機の 記憶の番 地 (8進法)	番地数 (8進法)	内 容	記録1. 生の衛 星データ 記録2. サフト イクス・デー タ		記録3. ショッ ト・データ		記録4. 初期値		記録5. 重力デ ータ	
			(記憶 8進法)	(語数 10進法)	(記憶 8進法)	(語数 10進法)	(記憶 8進法)	(語数 10進法)	(記憶 8進法)	(語数 10進法)
1 77	77	システム関係								
100 407	310	基礎データ	100 407	1 200	100 407	1 200	100 407	1 200	100 221*	1 82
410 555	146	非集録								
556 755	200	初期値					556 755	201 328		
756 764	7	非集録								
765 1500	514	人工衛星関係	765 1500	201 532						
1501 17404	15704	非集録								
17405 17650	244	航行テーブル	17405 17650	533 696						
17651 24727	5057	非集録								
24730 25037	110	重 力							24730 25037	83 154
25040 27677	2640	非集録								
27700 27777	100	B B L**								
			語 数	696		200		328		154

\* 記録5の基礎データは一部分の82語しか書込まない。

\*\* BBL = Basic Binary Loader

### 3.1 受信位置の平均値と標準偏差と分布

更新の条件を満たすものから計算した平均値と標準偏差を第5表の2月Aおよび7月Aの欄に示した。標準偏差は直距離にして約37mである。直距離は緯度と経度の偏差の自乗和平方根である。

第8図は2月測位結果における標準偏差の衛星仰角による変化を表し、第9図は7月測位結果における標準偏差の衛星仰角による変化を表す。第10-a図から第10-k図までは2月測位結果における衛星仰角別にみた平均値の

まわりの分布を表し、第11-a図から第11-k図までは7月測位結果における平均値のまわりの分布を表す。

なお Geometry とは衛星の受信点に対する相対的な軌道を表す。第1文字は衛星の進行方向で、衛星は極軌道だから北向きNの飛行か南向きSかである。第2文字は受信点の東側Eを通ったか西側Wを通ったかを示す。例えば N-E は受信点の東側を北に向かって通過したことを意味する。これらの図から次のようなことがわかる。

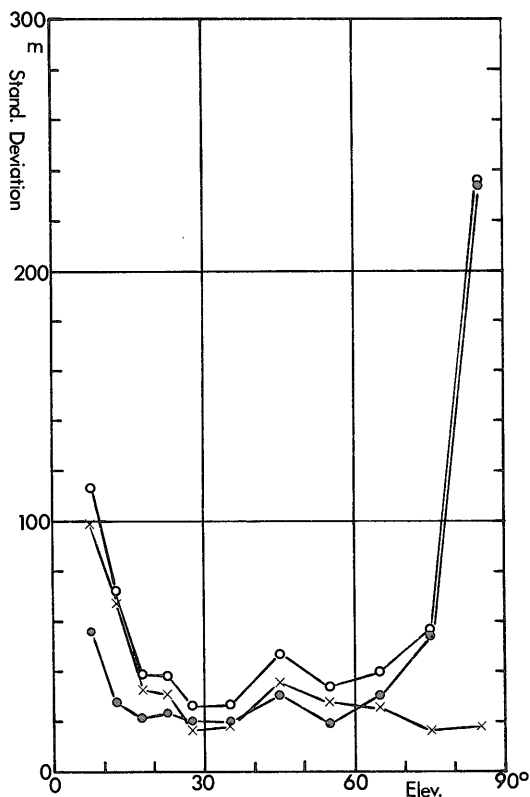
(1) 衛星仰角 15° 未満では緯度、経度とも誤差が大き

第 5 表 船橋港岸壁での NNSS アップデート・データの平均値と標準偏差および東京データによる緯度・経度

データ	平均値		標準偏差 (m)		
	緯度	経度	緯度	経度	直距離
2月 A	35°40'.9607	139°59'.1342	27.4	23.4	36.1
2月 B	40'.9607	59'.1346	27.4	21.2	34.7
2月 C	40'.9608	59'.1347	24.2	17.4	29.8
7月 A	40'.9596	59'.1355	27.4	25.9	37.7
7月 B	40'.9596	59'.1355	27.4	25.0	37.1
7月 C	40'.9597	59'.1356	24.6	21.4	32.6
Tokyo datum	35°40'.7654	139°59'.3482			

A, B, C は標準偏差を減らす計算

Feb.

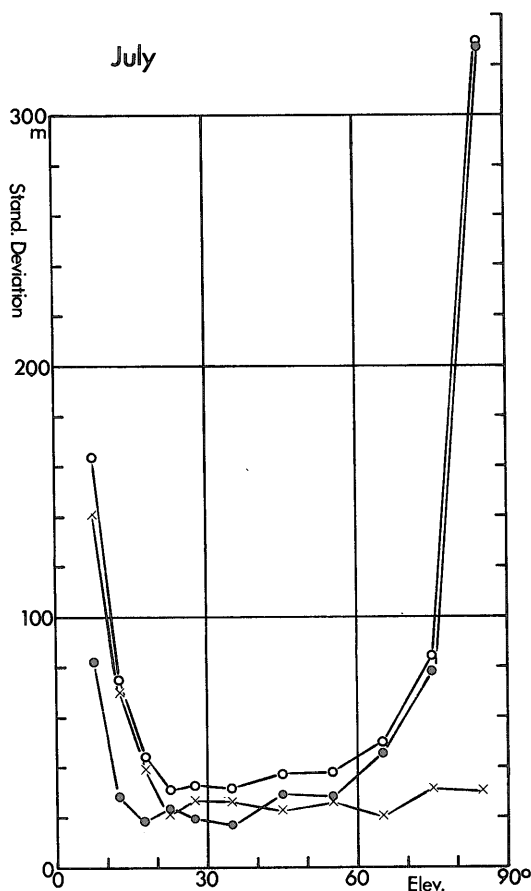


第 8 図 2月の測位結果—標準偏差の衛星仰角による変化

×は緯度, 黒丸●は経度, 白丸○は直距離の標準偏差を表す.

く, 特に 10° 以下では標準偏差が直距離で 100m をこえる。これは受信時間が短い (あるいはドップラカウント受信回数が少ない) ためと考えられる。

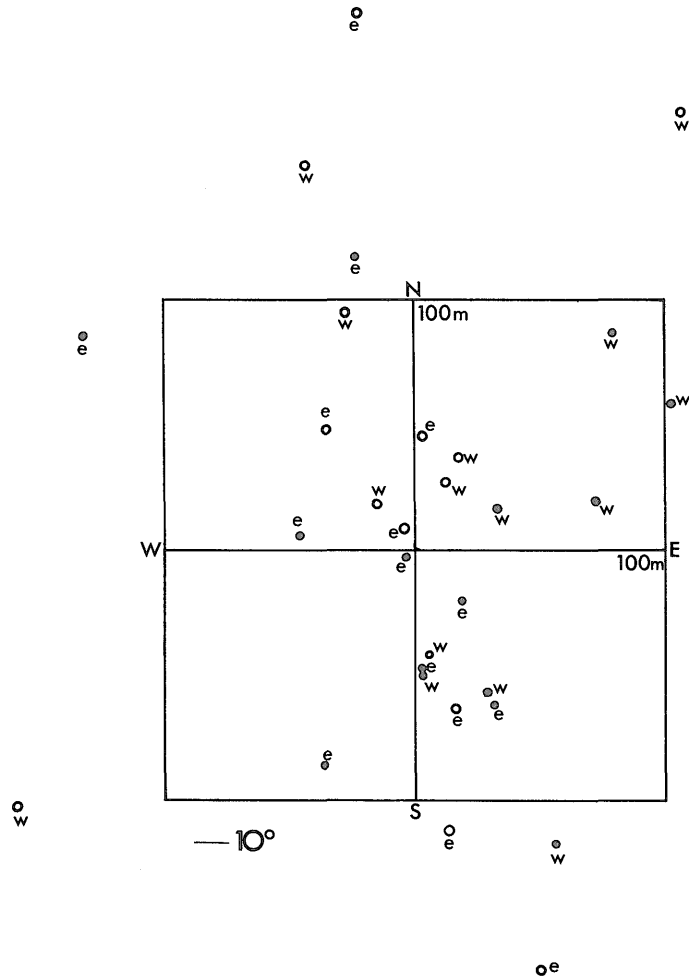
July



第 9 図 7月の測位結果—標準偏差の衛星仰角による変化

マークは前図と同じ.

- (2) 衛星仰角 70° 以上では, 経度方向の標準偏差が大きくなり, 特に 80° 以上で大きい。これは衛星が極軌道を通っているため, 衛星仰角が大きくなると軌道と直交する経度方向の分解能が悪くなること, またアンテナ高の誤差があるとその影響を大きく受けることによると考えられる。
- (3) 前述の(2)と関連するが, 衛星仰角が大きくなるにつれて 2月の受信結果と 7月の受信結果で逆の傾向が顕著になる。すなわち 2月の結果では Geometry が E であれば西側に, W であれば東側にずれるのに対し, 7月の結果では E であれば東側に, W であれば西側にずれている。これはアンテナ高の誤差によると考えられる (このことを考慮して 7月の受信テストではジオイド高, 従ってアンテナ高を 10m 下げた)。
- (4) 前述の(1)と(2)で問題にした衛星仰角 10°未滿および 70° 以上の衛星仰角のものを除いて全般的にいえるこ



第10図 a 2月の測位結果—衛星仰角別にみた平均値のまわりの分布  
 黒丸●は Geometry がN, 白丸○はSを表し, 添えてある英字は Geometry のEとWの区別を表す.

とであるが, GeometryがNであれば北東側に, Sであれば南西側にずれる. これは2月および7月の受信結果共通の傾向である.

これらをもとに, この同じデータの標準偏差を小さくすることを考えた. (1)と(2)については改善の方法がないので, (3)についてまず考えてみる. 衛星の軌道を単純化して, 緯度方向に直線的に進んでいると考えると, ドップラカウントのデータと関連してくるのは, 最接近時における衛星とアンテナ間の距離  $l$  である. したがって第12図のように, アンテナ高の誤差  $\Delta H$  があれば, 経度の誤差 (距離の単位で表して)

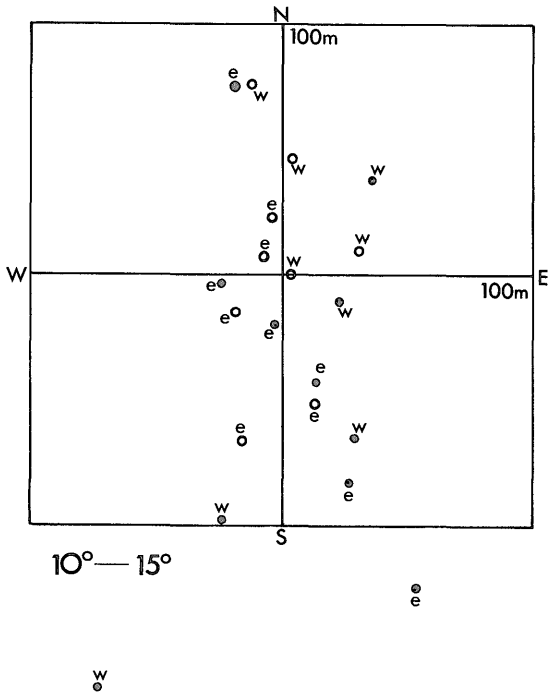
$$\Delta L = -\Delta H \tan \epsilon'$$

を生じる.  $l \gg \Delta H$  より  $\epsilon' \simeq \epsilon$ , したがって,

$$\Delta L = -\Delta H \tan \epsilon$$

となる. ただし  $\epsilon$  は Geometry がEのとき+, Wのとき-とした衛星仰角,  $\Delta L$  は東の方向を+として表した経度方向の誤差距離である. この式をもとにして2月, 7月のそれぞれについて, 経度のデータから  $\Delta L$  を差引いたものの標準偏差が最少になるように  $\Delta H$  をきめた. その結果, 2月については  $\Delta H = 10\text{m}$ , 7月については  $\Delta H = -6\text{m}$  が得られた. したがってジオイド高は2月の結果から22m, 7月の結果から28m, 平均して約25mになる. 植田 (1974) によれば, 船橋港付近のジオイド高は約38mなので10m以上違うことになる.

植田 (1974) の値は測地系間の変換定数の誤差によってジオイド高が大きくなっていることも考えられる. この経度の位置補正をほどこした更新の条件を満たすデータについての平均値と標準偏差が第5表の2月Bと7月



第10図 b

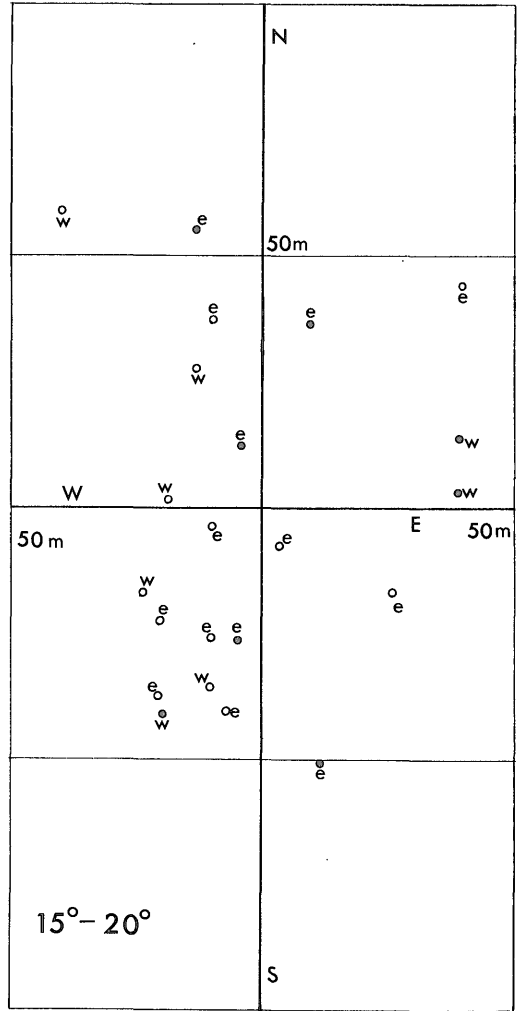
Bである。

この2月B, 7月Bのデータに関し(4)について考えて Geometry がNのものはある距離だけ緯度・経度両方向にずらし, Sのものはちょうどその距離だけ逆方向にずらして, 標準偏差が最少になるようにずらす距離をきめた。その結果, GeometryがNのとき南に13m西に12mずらし, GeometryがSなら北に13m東に12mずらした場合に標準偏差が最少になることがわかった。そのときの平均値と標準偏差が第5表の2月Cと7月Cである。この第5表のように, BがAにくらべ標準偏差が直距離にして1m程度しか小さくならないのに対して, CはBにくらべ5m近く小さくなっている。

(4)については原因がはっきりしないので, この2回の場合たまたまあらわれた傾向という可能性もあるが, このBからCへの補正をすることによってある程度精度を上げられるのではないだろうか。平均値はほとんど変化していない。なお第13-a図から第13-c図に2月測位について前述のA, B, C, の場合の平均値のまわりの分布を示し, 7月測位について同様な分布を第14-a図から第14-c図に示す。

### 3.2 測地系の変換

日本の測地系 (Tokyo datum) と NNSSの測地系(1975年7月現在 NWL-8D)とでは, 緯度・経度のもとになる



第10図 c

準拋楕円体が異なるため緯度・経度のずれが生じる。Tokyo datum では日本の近くだけで準拋楕円体をきめたのに対し, NNSSの測地系では全球的にジオイドによく一致している回転楕円体を採用しているからである。

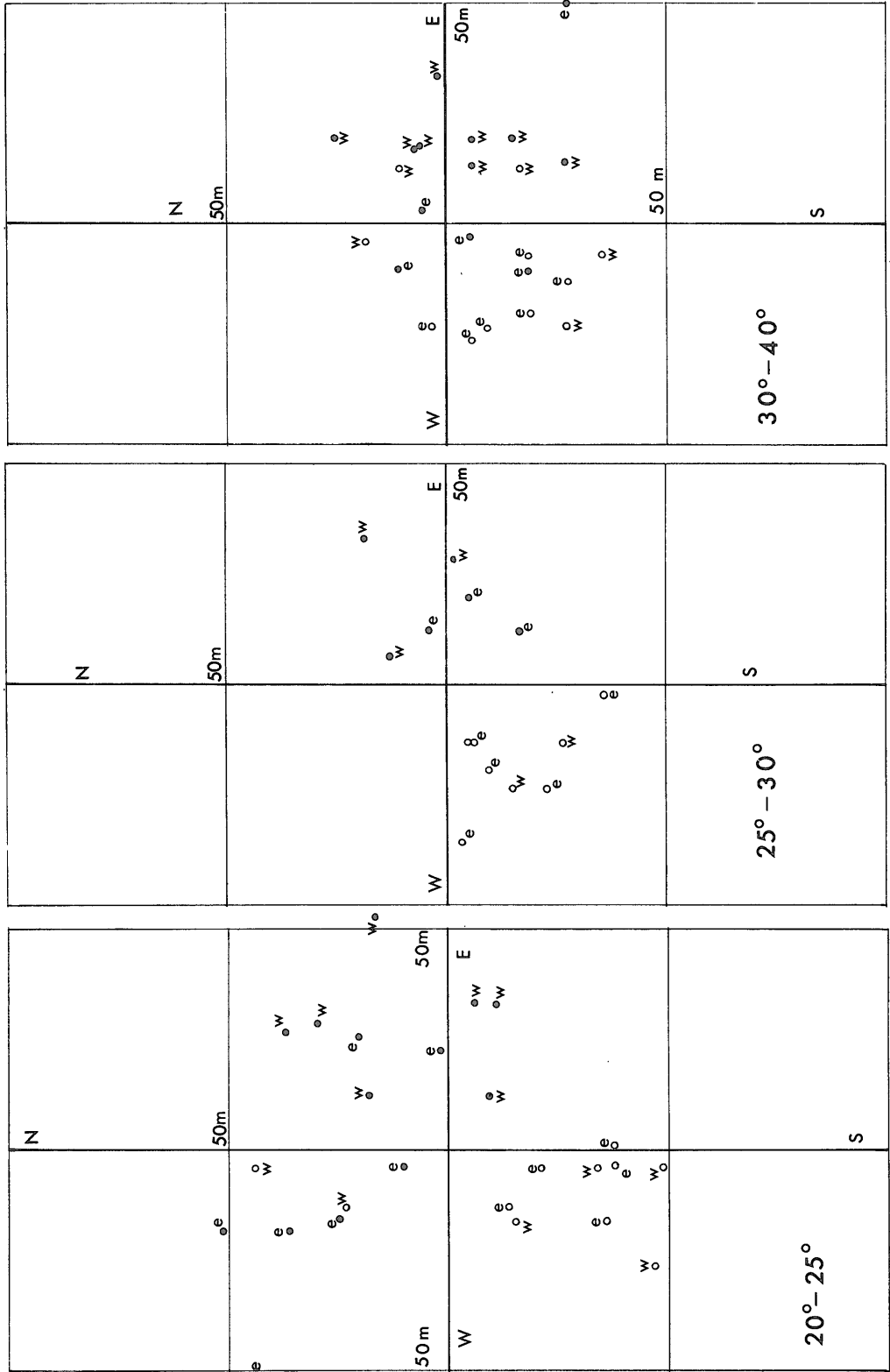
それぞれの楕円体の長軸半径  $a$  と偏平率  $f$  を第6表に示す。さらに楕円体の中心のずれがある。NWL-8Dの中心から Tokyo datum の中心をみたときの北極方向のずれを  $\Delta Z$ , 赤道面内の経度  $0^\circ$  方向のずれを  $\Delta X$ , 東経  $90^\circ$  方向のずれを  $\Delta Y$  とすれば,

$$\Delta X = -147 \text{ m}, \Delta Y = 530 \text{ m}, \Delta Z = 676 \text{ m}$$

という値が計算されている。

これらの値を使えば, 理論的に予想される測地系間の緯度・経度およびジオイド高のずれの計算 (すなわち測

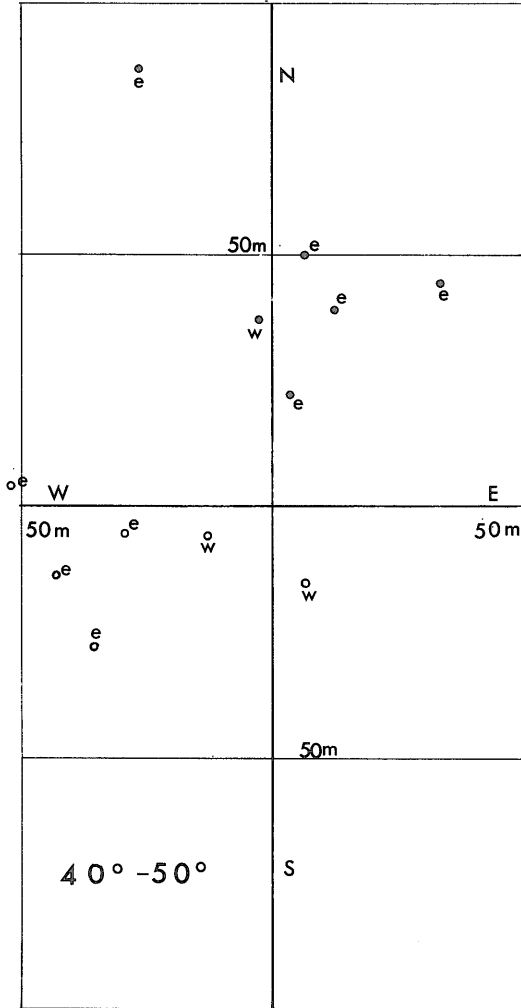




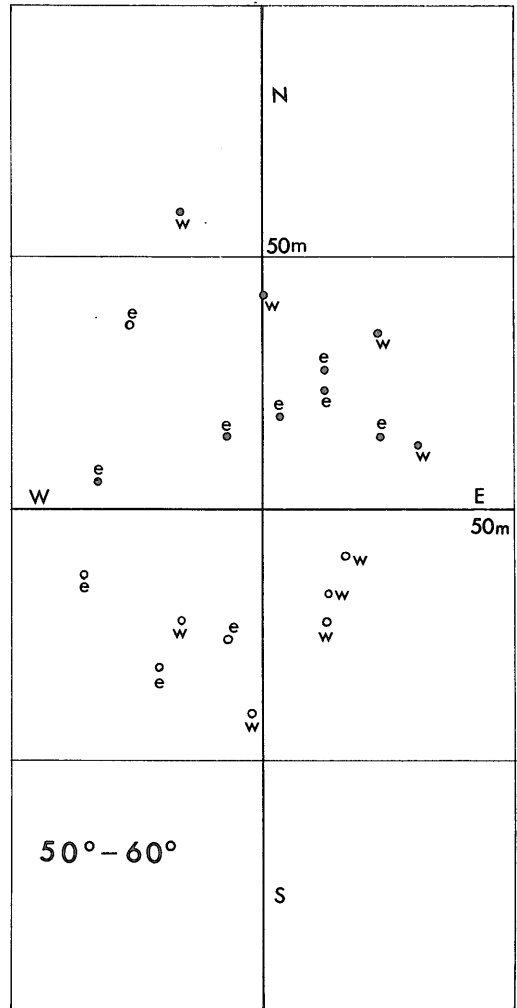
第10図 f

第10図 e

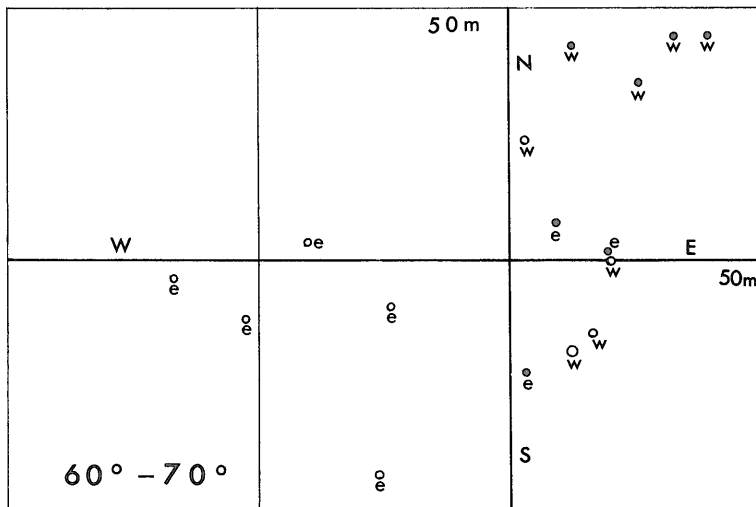
第10図 d



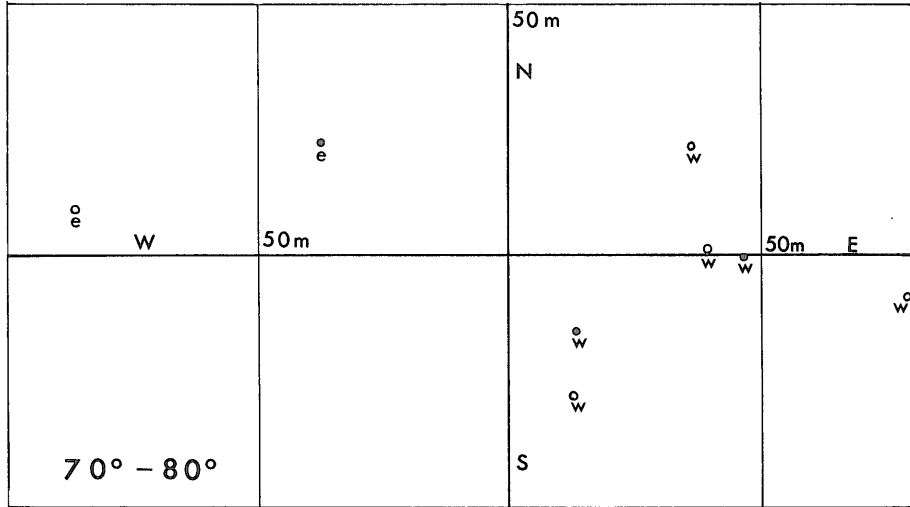
第10図 g



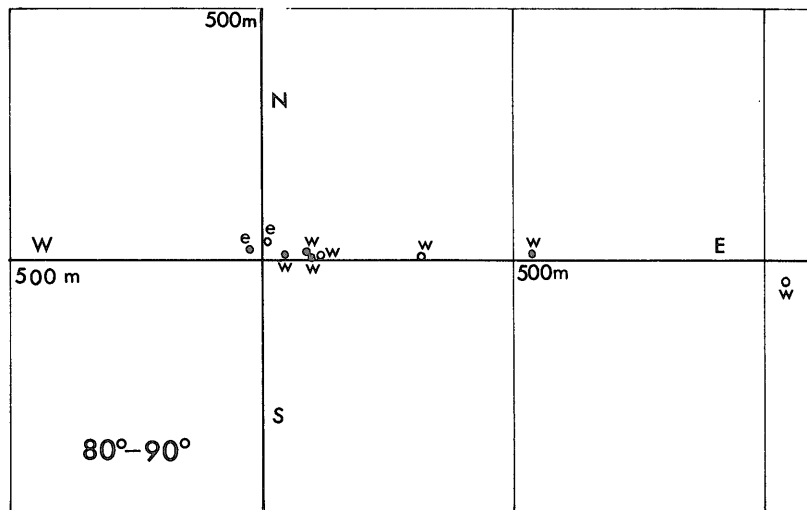
第10図 h



第10図 i



第10図 j



第10図 k

地系の変換)ができる (植田, 1974). 結果は,

$$\Delta\phi = \frac{1}{(\rho+h)} \{ \sin\phi(\cos\lambda\Delta X + \sin\lambda\Delta Y) - \cos\phi\Delta Z \\ + \sin\phi\cos\phi[v\bar{e}\Delta a/a + (\nu\bar{e} + \rho/\bar{e})\Delta f] \}$$

$$\Delta\lambda = \frac{\sin\lambda\Delta X - \cos\lambda\Delta Y}{(\nu+h)\cos\phi}$$

$$\Delta h = -\cos\phi(\cos\lambda\Delta X + \sin\lambda\Delta Y) - \sin\phi\Delta Z \\ - a\Delta a/\nu + \nu\bar{e}\sin^2\phi\Delta f$$

ここで,  $\phi, \lambda, h$  は, 緯度 (北を+とする), 経度 (東を+), 楕円体に対する高さ  $\Delta$  を付した量はそのずれで

あり, 離心率  $e, \bar{e}, \nu, \rho$  はそれぞれ

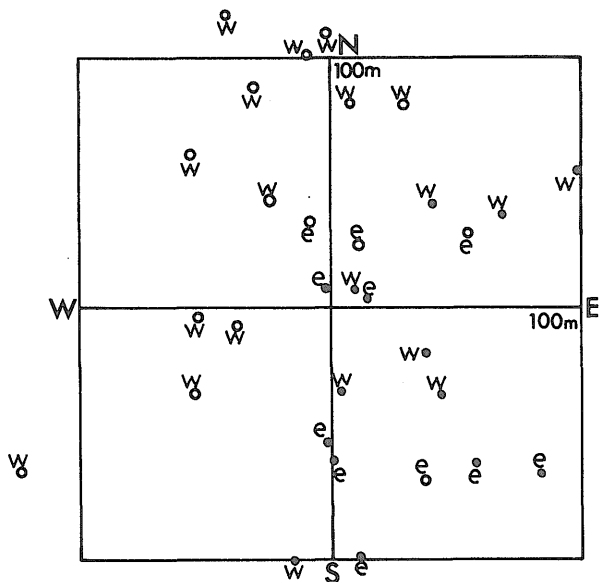
$$e^2 = f(2-f), \bar{e}^2 = 1-e^2 = (1-f)^2$$

$$\nu = a/(1-e^2\sin^2\phi)^{\frac{1}{2}}$$

$$\rho = a(1-e^2)/(1-e^2\sin^2\phi)^{\frac{3}{2}}$$

で与えられる.

上のパラメータを与えて計算した船橋港での Tokyo datum の NWL-8D に対する緯度, 経度のずれ(理論値)を実測値との比較したのが第7表である. なお実測値は Tokyo datum をもとにした船のアンテナの位置の測量結果,



a.  $-10^\circ$

第11図 7月の測位結果—衛星仰角別にみた平均値のまわりの分布  
 黒丸●は Geometry が N, 白丸○は S を表わし、添えてある英字は Geometry の E と W を表わす。

W

e

e

緯度  $35^\circ 40' . 7654N$ , 経度  $139^\circ 59' . 3482E$

と 2月・7月の NNSS の両データの平均値,

緯度  $35^\circ 40' . 9602N$ , 経度  $139^\circ 59' . 1351E$

との差として計算したものである。

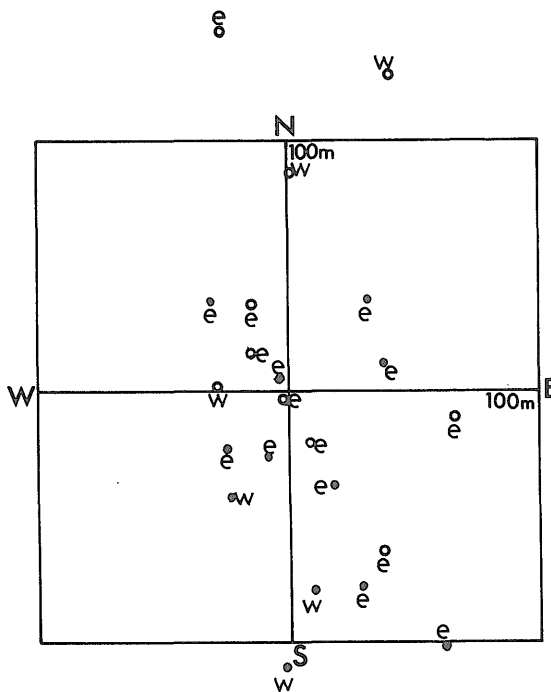
ずれの理論値と実測値の間には、緯度  $0' . 0067$ , 経度  $-0' . 0067$  の開きがある。

NNSS の緯度・経度の平均値の誤差が標準偏差にして  $0' . 001$  程度であることを考えるとこの開きは有意である。おそらく、 $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$  の値の不正確さによるものと思われる。これらの定数が90%の確度で15mの精度できめられたものであることを考えると、10m程度の誤差があることはやむをえない(植田, 1974)。

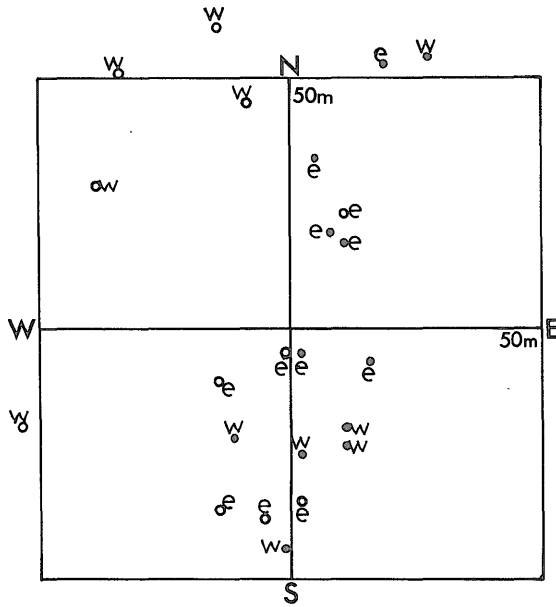
付言すると東京データムによる測量は次の手続によって行われている。船橋港を含む地域はすでに千葉県企業庁京葉建設事務所により第 I X 原点系で測量が行われている。その標点 2カ所は船の位置から約200m離れている。

この2点を基準点とし角観測は1秒読取のものを、距離測定は光波測距儀 CUBITAPE DM-60, 誤差士  $(4 \pm \sqrt{\text{測定距離}/100,000})$  mm を用いてアンテナの位置を求めている(磯ほか, 1976)。

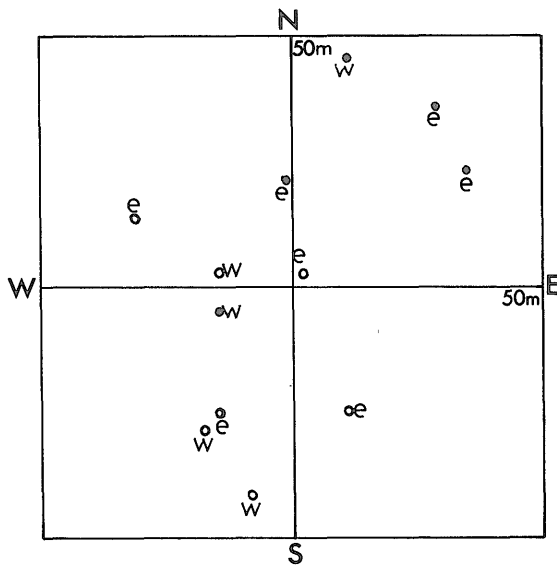
緯度, 経度とも  $0' . 001$  の精度は船のアンテナの位置



b.  $10-15^\circ$



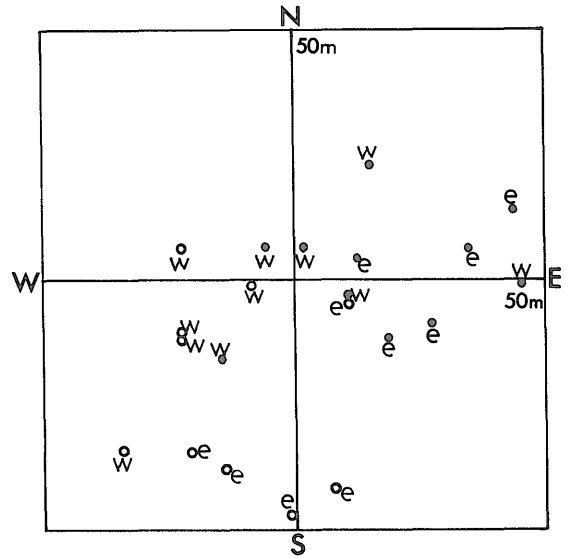
c. 15-20°



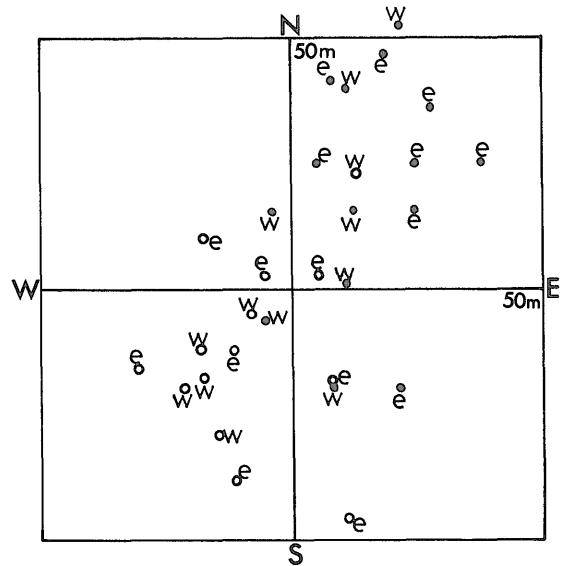
e. 25-30°

の不確かさよりは高い精度である。

#### 4. 2船の NNSS 測位の比較



d. 20-25°

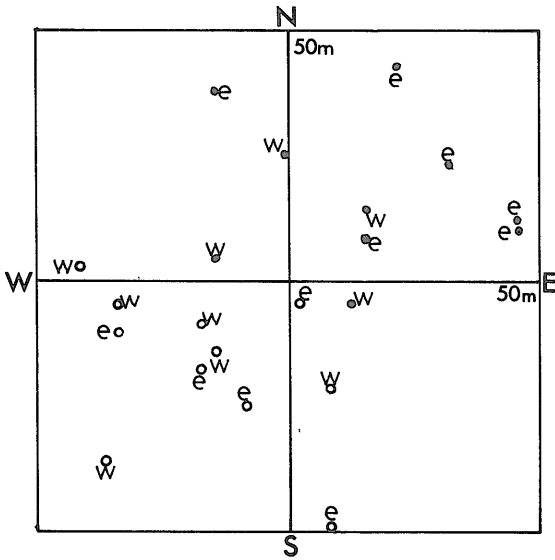


f. 30-40°

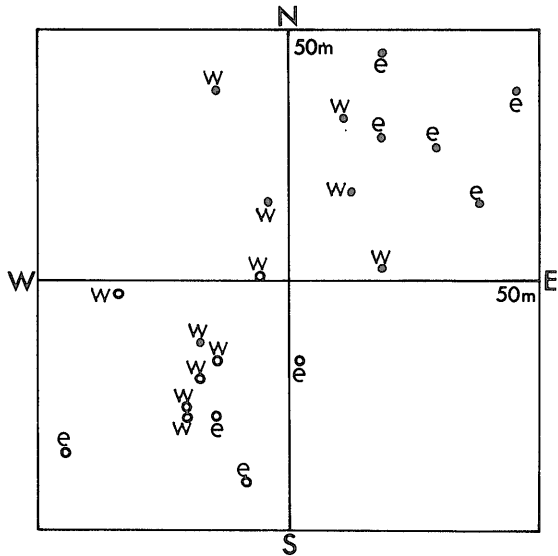
1974年12月2日に白嶺丸と東京大学海洋研究所の白鳳丸がほぼ平行して航走しながら NNSSにより同時に測位を行った。

NNSS のシステムは共に Magnavox 社の製品で、システムとプログラムは多少違うが受信機は同一である。この海域は水深が深く両船とも速度センサーと方位センサーに電磁ログとジャイロコンパスを用いている。

白鳳丸からレーダーにより白嶺丸を測りそれにより得た白嶺丸の位置と、白嶺丸が独自に測った NNSSによる位置を比較したものが第8表である。また第15図に位置



g. 40-50°



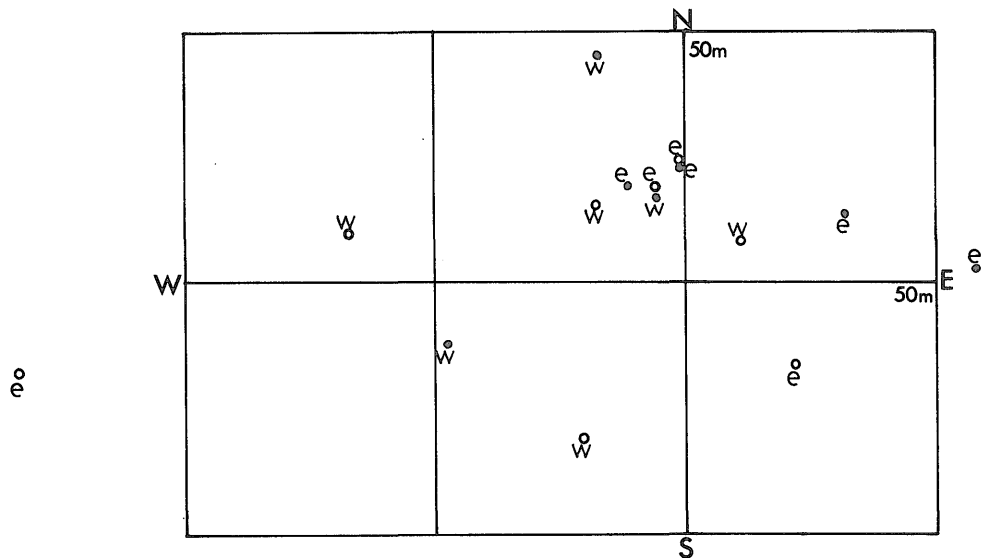
h. 50-60°

を示す。白丸は白鳳丸 HH が自船の位置を NNSS で決めた上でレーダーで白嶺丸の位置を決めたもの。黒丸は白嶺丸が独自に NNSS で測位したものである。

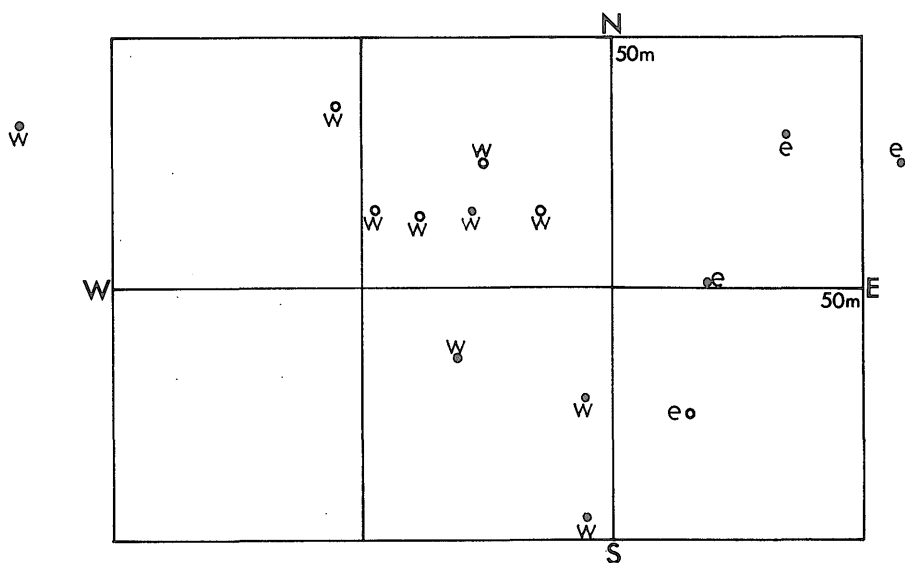
レーダーによる位置と NNSS のアンテナ間の位置には多少ずれが予想されるが、船の長さ 87m を超えることはないから、大きく見積っても 0.05nm であろう。また最後の 2 回の場合をのぞいてレーダーの精度は、この白丸・黒丸間の距離より良いと考えられる。したがってこの距離が、両船の NNSS の位置の誤差の和を表している

と考えてよい。4 番目の場合は位置決定の時刻が両船で違っているの、一定速度で白嶺丸が移動したとして同時刻の位置を比較していること、また 2 番目の場合は衛星仰角が 4.4° とかなり低くよいデータといえないことを考えると、良好なデータの場合には 0.1 nm 程度の精度で位置が決定されることになる。

岸壁での受信結果にくらべ精度が落ちるが、さらに精度のよい速度センサーを用いることができれば、位置の精度もさらに向上すると思われる。



i. 60-70°



j. 70-80°

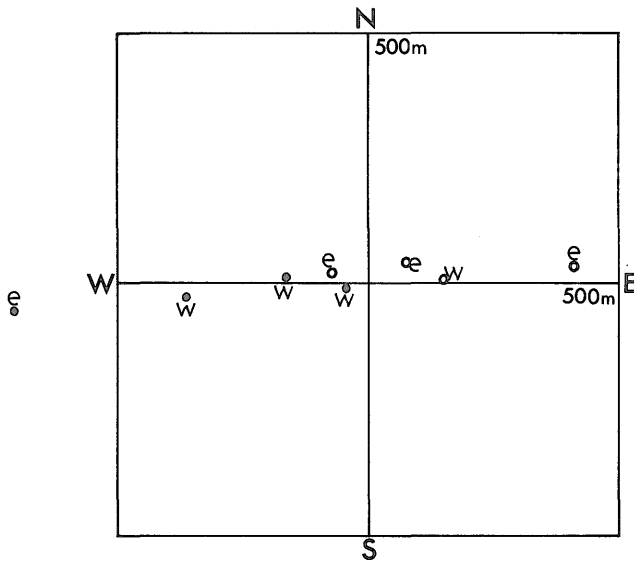
第6表 準拋楕円体の定数

測地系	長軸半径 a	偏平率 f
Tokyo datum	6,377,397m	1/299.15
NWL-8D	6,378,145m	1/298.25

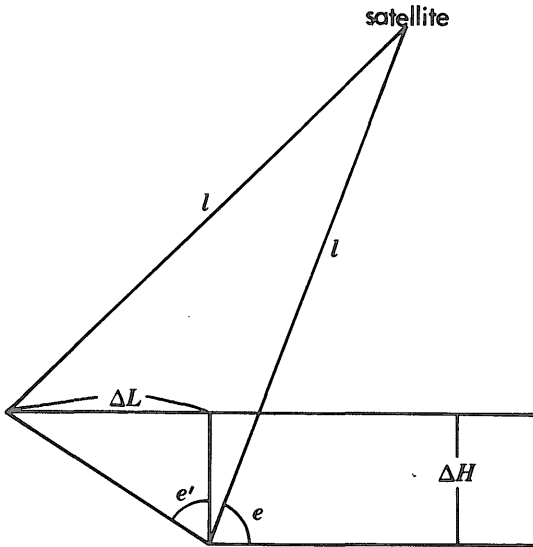
第7表 船橋港での緯度・経度のずれ ([Tokyo datum]-[NWL-8D]), 理論値と実測値の比較

	緯度	経度	直距離	方向
理論値	-0'.1881 (=-349.0m)	0'.2064 (=311.0m)	467.5m	138.3°
実測値	-0'.1948 (=-361.4m)	0'.2131 (=321.1m)	483.4m	138.4°
理論値- 実測値	0'.0067 (=12.4m)	-0'.0067 (=-10.1m)	16.0m	320.8°

方向は北から時計まわりにはかったもの



k. 80-90°



第12図 ジオイド高の誤差と経度の誤差の関係

## 5. 航行中の受信状況

### 5.1 一つの衛星の出現

本システムで受信している NNSSの人工衛星は現在6個ある。すべて北極と南極を通過するいわゆる極軌道であり、しかも円形軌道で地球からの高さは約1,100 kmである。衛星番号は30190など上2桁は30である。衛星の軌道の相対位置は割合開いているが、30140と30180のように近いものもある。また年ごと軌道が動き、例えば

30120では地球の自転向きに7.8°/year ずれてゆく。そのため軌道の相対位置も次第に変わってゆく。30100は不良衛星である。衛星は約1h50mで地球を一周する。地球上には4局の人工衛星追跡局があり、ここでは人工衛星を追跡して諸種の軌道の定数などを決め、人工衛星から放送する航行メッセージを12hごとに人工衛星の記憶装置に注入する。航行メッセージは16hぶん与える。推測航法の項で後述するように航行メッセージ自体も注入されたときより時間が経つほど精度が悪くなる。受信の途中でメッセージが変わることがあり、プリンターにMESSAGE CHANGEと打出す。

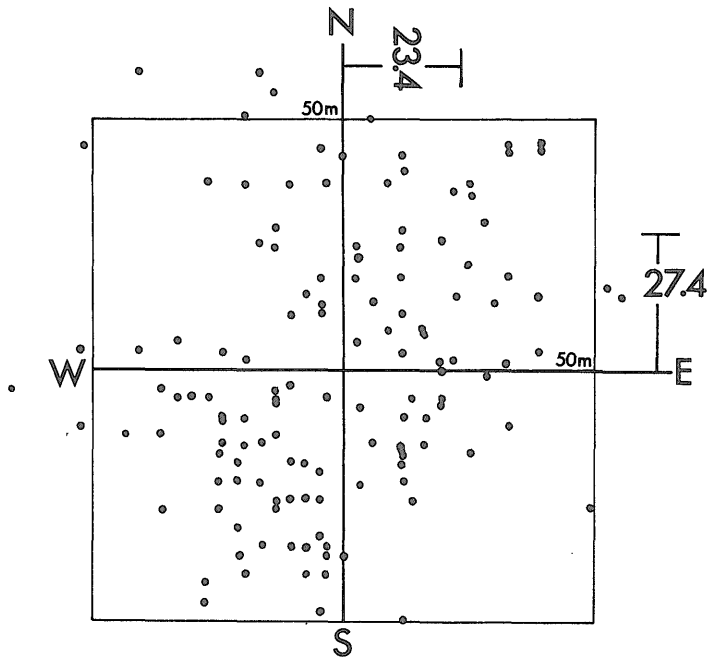
人工衛星の周期はすでに述べたように約1h50mである。これはある受信点で1h50mごとに必ず同じ衛星が出るということではない。受信点は地球の自転と共に1時間に経度15°, 1日約360°廻るからである。

どの衛星も必ず受信できるのは北極と南極であり、高緯度の方が赤道よりも受信頻度が多くなる。

ある人工衛星の出現の例をみてみよう。人工衛星の出現の予測はアラート(Alert)というプログラムで計算され、その命令はALRTである。

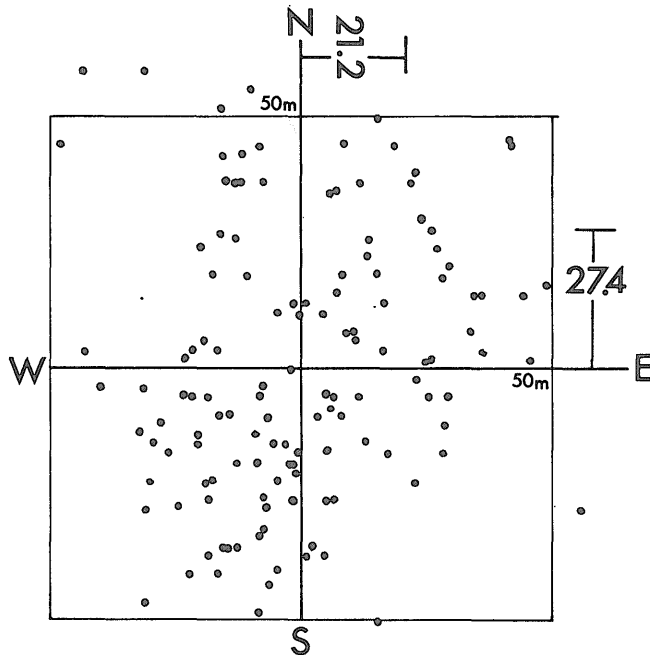
ALRTの入力は受信直後の衛星については軌道定数等がそのまま使えるので簡単である。第9表はアラートを実行した例とその説明である。計算した衛星は30130、計算した日は255d(1974年8月25日)であり、場所は120°N, 160°W(ハワイ島の南西)である。



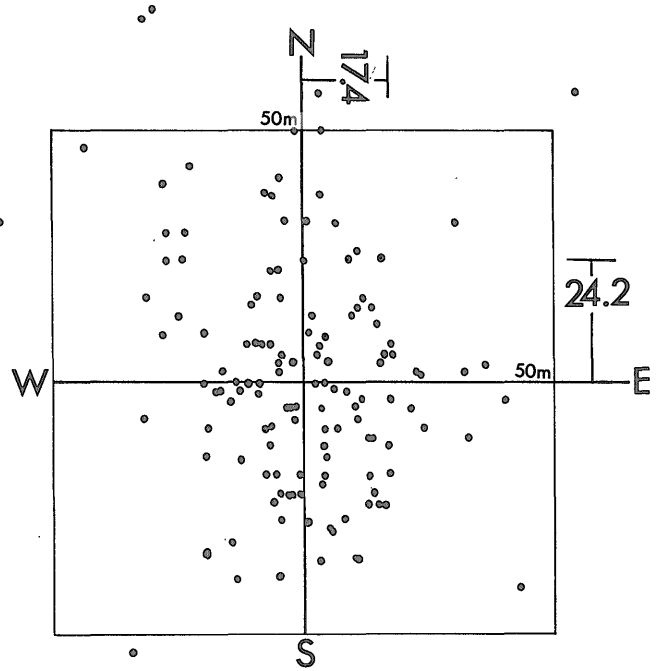


a. Feb. A 36.1 数字は標準偏差 (第1表参照)

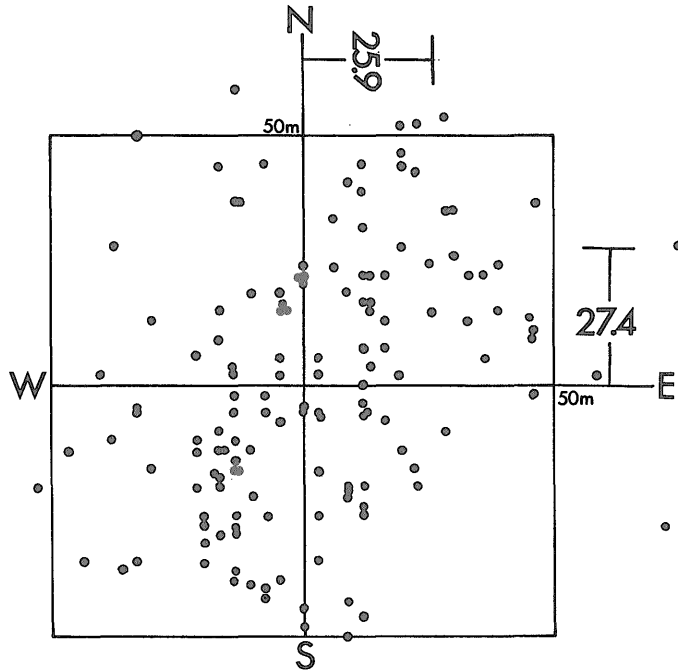
第13図 アップデート条件を満たす2月のデータの平均値のまわりの分布



b. Feb. B 34.7

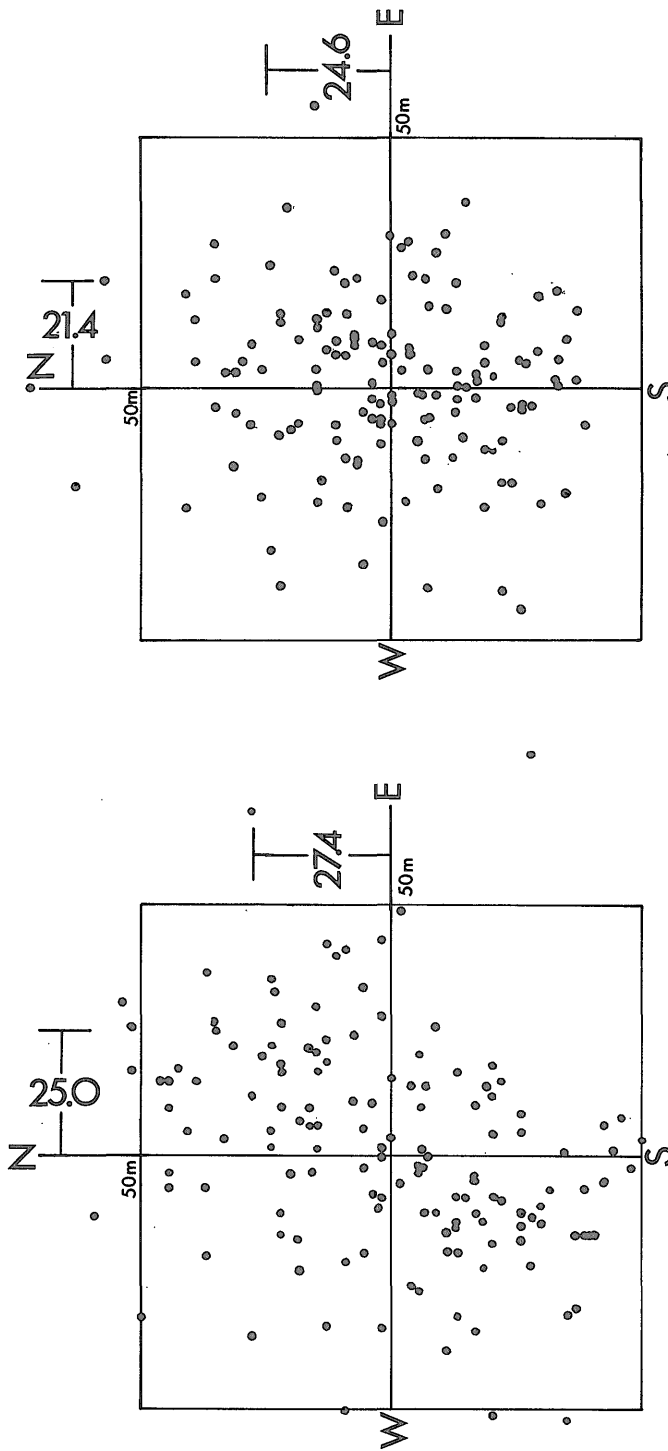


c. Feb. c 29.8



○ a. July A 37.7 数字は第6図に同じ.

第14図 アップデート条件を満たす7月データの平均値のまわりの分布



c. July C 32.6

b. July B 37.1

第8表

TIME	HAKUHO NNSS	HAKUREI NNSS	SAT.	ELEV.	RADAR
0950	26°58.139'N 137°51.560'E	26°57.742'N 137°51.672'E	30190	8.3°	.35nm 180°
1008	26°57.799'N 137°48.054'E	26°57.364'N 137°48.345'E	30120	4.4°	.34nm 175°
1308	26°59.752'N 137°35.771'E	26°59.635'N 137°36.071'E	30180	56°	.3nm 85°
1458	26°59.007'N 137°34.321'E	26°59.085'N 137°34.220'E (TIME=1502)	30180	15°	.42nm 350°
1628	26°58.463'N 137°29.871'E	26°58.866'N 137°20.731'E	30130	52°	8.3nm 273°
1710	26°56.691'N 137°28.401'E	26°58.806'N 137°14.157'E	30140 30140	12°	13.0nm 280°

第9表 アラートの実行例

ALRT  
ADAY  
255  
0255  
ALAT  
1200.N  
012 00.000N  
ALON  
16000.W  
160 00.000W

DAY	RISE	ELEV	TCA	GEOM	SAT	H
0255	072600	4.3	073200	N-S	30130	5A1
0255	090800	78	091800	N-E	"	5A2
0255	105800	6.6	110400	N-E	"	5A3
0255	203600	43	204600	S-E	"	5P1
0255	222400	17	223200	S-W	"	5P2
0256	082000	30	082900	N-E	"	6A1
0256	100700	24	101600	N-W	"	6A1
0256	194900	15	195700	S-E	"	6P1
0256	213400	48	214400	S-W	"	6P2
0257	073400	9.5	074100	N-E	"	7A1
0257	091700	68	092700	N-W	"	7A2
0257	190500	1.1	190800	S-E	"	7P1
0257	204500	64	205500	S-E	"	7P2
0257	223400	10	224100	S-W	"	7P3
0258	082900	44	083800	N-E	"	8A1

- ・表の右端は説明のために入れたものであり、それ以外はプリンター  
の打出しそのままである。
- ・右端Mは手動で入れた命令とデータである。
- ・H欄のDAYは日、RISEは衛星出現時刻、ELEVは最大仰角、  
TCAは最大仰角時刻、GEOMは衛星の飛行方向と通過方向、  
SATは衛星番号でここではすべて30130。
- ・255 dayは1974年8月25日。

表の右端は説明に入れた欄で中央と左はプリンターで  
打ったそのままである。右端のMは手動で入力したも  
ので、まずALRTと打って命令する。プリンターは  
ADAYと打ってC/R、L/F(carriage return, line feed)  
する。次いで255(日)と打って日を入れたことを確認し

M  
M  
M  
M

ALATを打つ。さらに緯度を1200N(12°00'.000Nのこ  
と)と打つ。以下表のように緯度経度を入れると計算を  
開始する。

DAYは日、RISEは人工衛星が水平線から出現する時  
刻、ELEVはelevationで衛星の最大仰角、TCAはtime  
of the closest approachで最大仰角の時刻、GEOMはgeo-  
metryで衛星の飛行方向と通過方向を示す。

N-Eは衛星が北向きに受信点の東側を通過したこ  
とを表す。SATは衛星番号でこの例では30130である。

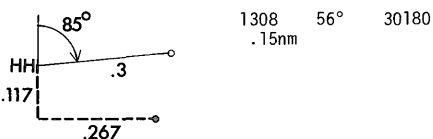
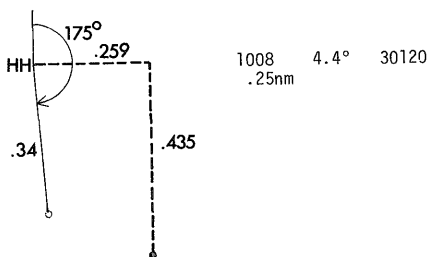
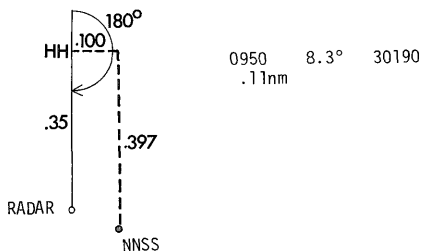
計算を止める時には電算機のレジスター表示の4番を  
onにすると1回計算して終る。

終了後再びoffに戻す。アラートのプログラムを実行  
することは電算機の集録状態に影響しない(磁気テープ  
のダンプのように集録機能を止め電算機を専用にするプ  
ログラムもあるので注意を要する)。

この衛星の出現状態を見る。255日の5A1は仰角4.3°  
でRISEからTCAまでは6minである。5A2では78°  
で10min、7P1では1.1°で3minである。このように  
仰角が大きいかほど時間は長い。比例関係はない。仰角  
10°以上の使える衛星(10°以下だと後述するようにデ  
ータを採用しない)は衛星が出てから入るまでの時間は  
15-20min程度である。

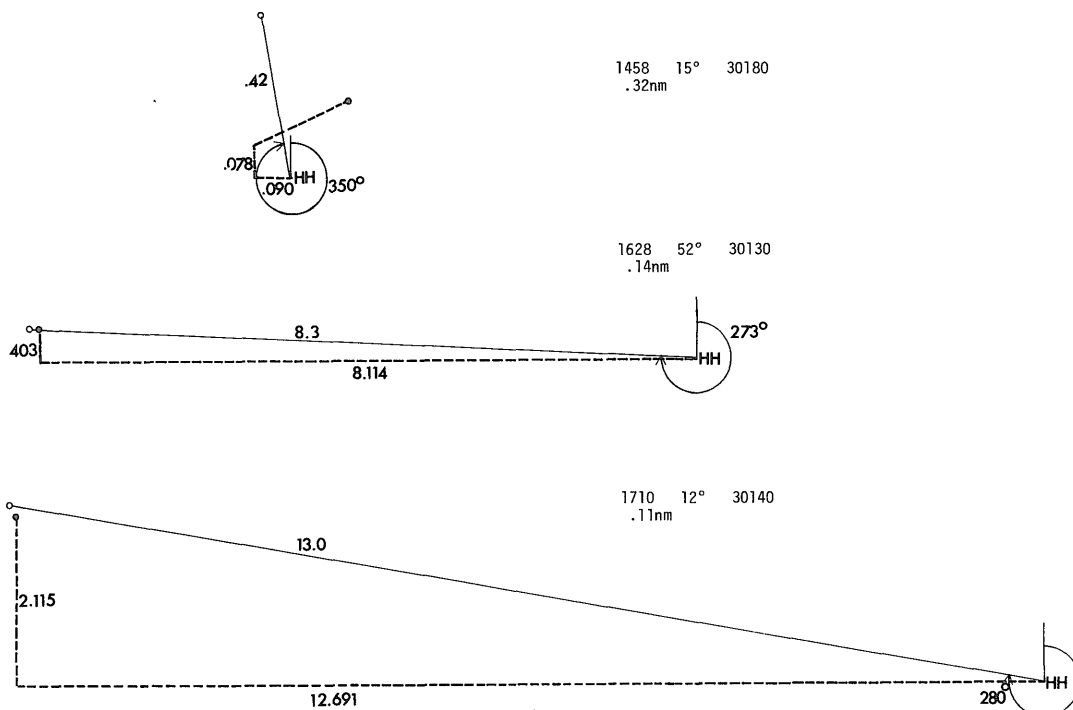
5A1と5A2の最大仰角時刻TCAの差は1h46m、5A2  
と5A3のTCAの差は1h46m、6A1と6A2のTCAの  
差は1h47mである。これらは人工衛星30130が地球をほ  
ぼ一周する時間である。

5A1、5A2、5A3はすべて北向きに衛星が飛び、これに  
続く5P1、5P2は南向きに衛星が飛んでいる。これは地  
球が自転して半周して、地球の反対側で受信するため



第15図 a 白嶺丸の位置

HH は白鳳丸の位置、距離の単位はマイル。白丸は白鳳丸のレーダーによるもの、黒丸は白嶺丸のNNSS で位置を出したもの。図の右の数値は位置を決めた時刻、最大仰角、人工衛星番号、白丸と黒丸の距離の順



第15図 b

ある。このように周期 1h46 m ということはある受信点で 1h46m 待てば同じ衛星が受信できるということではなく、受信点が地球と共に自転してしまう。従って 5A1, 5A2, 5A3 の 5A グループと次の 5P グループ、さらに続く 6A グループ等は TCA の平均時刻が地球の半周すなわち約 12h ずつ遅れる。一つのグループ内では太陽が東から出ると同じように始めは受信点の東を通り、次第に仰角 ELEV が高くなって西を通るようになり次第に小さくなる。5A グループでみれば 5A1 から E 側 4.3°, E 側 78°, W 側 6.6° という値を示している。

衛星の高度は約 1,100 km なので電波の到達範囲は地球の中心角が約 60° である。

そして衛星は極軌道であるから、極から 30° 以内すなわち 60°N および S 以上の高緯度では毎回の周期ごとに受信される。このアラートは 12°N の位置なので、A グループと P グループの間は約 8-9h の間受信できない時間帯になる。その間は 5 コある衛星の他のものを利用するわけである。衛星相互の間では同期はとれていないのでそれらの出現はランダムである。

## 5.2 更新 update について

人工衛星の電波の受信が終ると位置を計算する。この

位置を衛星測位 satellite fix またはサト・フィクス (Sat fix) という。位置は衛星の最大仰角の近傍の時刻で求められる。従って計算が終った時刻はサト・フィクスの時刻より10分ぐらい後になる。

サト・フィクスをしても必ずしもその位置の信頼性が高いとは限らない。データを検討して正しいと評価されて後に推測航法 dead reckoningに出した位置をサト・フィクスの位置に入れ換える。この入れ換えをアップ・デート update または更新という。更新は電算機で自動的に更新する auto update と手動で更新する manual update がある。

自動更新のための条件は次の7つの判定基準のすべてを満たすことである。

1. 位置の収束計算の繰返しが5回以下であること。
2. 衛星の最大仰角が15°以上70°以下
3. ドブラ偏移の対象性
4. すべてのドブラー計数値がある誤差範囲内にあること。

5. インターフェース・ユニット (model 200) のパネルにある UPDATE のスイッチは AUTO と MANがあるが、このスイッチが AUTO 側に入っていること

6. 最小変化値 minimum variance であること。

7. 電離層の屈折が補正されていること、である。

自動更新しなかったサト・フィクスの中でも実際の航行中には上記項目に準じたよさそうなデータを手動更新している。このとき1. 収束計算回数5回以内、2. 15° < 最大仰角 < 70°, 3. 電離層屈折 (400 MHz と 150 MHz の屈折率の違いを使うため2チャンネルとも正常で処理過程が正常であればよい) の3つの基準を満たすことは手動更新の条件としている。手動更新の命令は UPDT である。

人工衛星は南北方向に飛ぶため判定基準2の仰角の条件を満たさなくても高い仰角については緯度の精度はよい。これを利用するのに緯度のデータだけを更新する命令 ULAT がある。しかし実用上これを使うことは余りない。

第10表 229dのサト・フィクス

TIME h m	PT h m	LAT (N)	LON (E)	FIX	ITER	ELEV	FREQ	SAT NO.	ALONG	CROSS	RADIAL
01 38	—	33-45.650	157-19.392	N	10	4.5	21.6	30199	-1.108	2.231	2.491
02 32	2 44	33-45.172	157-32.724	A	3	44	26.3	30130	-1.132	3.211	3.404
02 52	20	33-45.024	157-36.987	A	3	25	27.4	30140	-0.571	0.198	0.604
03 30	38	33-44.574	157-45.816	A	3	26	26.2	30120	-0.193	-0.064	0.203
04 34	1 04	33-43.679	158-00.933	A	3	39	26.4	30140	-0.154	-0.030	0.157
05 16	42	33-42.678	158-10.942	A	3	39	26.0	30120	0.010	0.441	0.441
07 24	2 08	33-38.789	158-39.263	A	3	29	27.4	30190	0.363	1.944	1.977
08 16	52	33-36.447	158-54.761	M	5	9.1	25.2	30180	0.203	0.592	0.625
09 00	44	33-35.302	159-05.905	A	3	29	27.2	30190	0.039	-0.668	0.669
10 00	—	33-34.692	159-19.561	N	3	80	26.3	30180	-1.493	-0.425	1.552
10 56	1 56	33-34.769	159-34.714	M	3	66	26.6	30199	-0.864	-1.156	1.443
11 50	54	33-36.149	159-47.711	M	3	12	26.7	30180	-0.638	-1.548	1.674
12 44	—	32-10.490	156-20.308	N	5	20	899.0	30130	-182.3	90.0	203.3
14 28	2 38	33-38.159	160-25.026	M	3	38	26.5	30130	-0.095	2.164	2.166
14 48	—	33-38.307	160-30.820	N	5	28	27.3	30140	0.916	0.414	1.005
15 24	56	33-37.778	160-39.254	A	3	31	26.5	30130	0.973	1.369	1.680
16 30	1 06	33-37.730	160-55.070	A	3	37	26.6	30140	-0.496	-0.326	0.594
17 08	38	33-38.143	161-04.158	A	3	34	26.9	30120	-0.530	-0.910	1.053
18 28	1 20	33-38.471	161-23.591	A	3	17	26.9	30190	-0.119	-0.317	0.339
20 14	1 46	33-39.714	161-48.923	A	3	60	27.5	30190	-0.034	-1.279	1.280
21 00	—	33-39.520	161-59.943	N	10	7.9	25.3	30199	0.144	-0.672	0.687
21 18	1 04	33-39.483	162-04.434	A	3	46	26.9	30180	0.341	-0.956	1.015
23 56	2 38	33-34.617	162-37.650	M	3	14	26.9	30130	1.953	4.417	4.830

TIME: サト・フィクスの時間で GMT を表す。

PT: 前回の更新から次の更新までの経過時間。

LAT(N): 北緯で度と分で表し、分以下は小数を用いて秒は使わない。

LON(E): 東経

FIX: サト・フィクスの更新を表し、Aは自動更新、Mは手動更新、Nは非更新を示す。

ITER: 収束計算繰返回数

ELEV: 最大仰角、単位は度

FREQ: 受信機の基準周波数と人工衛星の送信周波数の差で単位は ppb (Parts per billion)

SAT NO: 人工衛星番号

ALONG: コース沿いの方向のSアップデートの誤差で単位は NM

CROSS: コースの垂直方向のSアップデートの誤差

RADIAL: 前2者の自乗和平方根で誤差の絶対値

5.3 サト・フィクスの実例

人工衛星測位の例として 229d (1974年 8月17日) の例を第10表に掲げる。

この日はシャツキー海膨付近を通過した日で、エアガンを曳きながら約12ノットで終日東向きに走った。人工衛星電波を受信しサト・フィクスした回数は 23 回である。

このうち自動更新Aは13回、手動更新M 5 回、更新しないものNは 5 回である。

更新は18回で平均の経過時間 PT は 1h20m である。しかし最大の PT は 2h44m, 最小は20mである。受信と計算時間が約20mなので20m以下ということはほとんどない。

自動更新の間隔の最も長いものは0900から1524までの 6h24m に及び平均の間隔 24h/13回 = 1h51m の 3.5倍になる。

このようなときが手動更新を必要とするばあいである。この間では表のように手動更新を 3 回行っている。S アップデートの誤差については推測航法の節で議論する予定である。

5.4 サト・フィクスの統計

千葉港 (35°N, 140°E) からホノルル (21°N, 158°W) までの約 3600NMの間を約12日間で航海した。この間船の航走状態や緯度に余り変化がなかった。

この間のサト・フィクスの数を第11表に示す。またこの平均回数や平均の時間間隔を第12表に示す。

第11表 千葉—ホノルル間のサト・フィクス

day	A	M	N	R
226	2	6	3	11
227	11	7	12	30
228	19	2	5	26
229	13	5	5	23
230	16	4	10	30
231	7	11	10	28
232	16	3	4	23
233	18	1	2	21
234	10	4	10	24
235	13	4	4	21
236	16	0	8	24
237	15	0	7	22
238	1	—	—	1

・ day : ジュリアン暦, 226日は 8月14日。 A : 自動更新, M : 手動更新, N : 更新せず, R : サト・フィクスの数。  
 ・ 226日千葉出港の日と 238日ホノルル入港の日は統計から除く。  
 ・ 229日のサト・フィクスの内容は別表に示す。

第12表 11日間の平均

	A	M	N	R	備考
総数	154	41	77	272	11日間
平均回数	14.0	3.73	7.0	24.73	1日あたり
比率(%)	56.6	15.1	28.3	100	
平均間隔	1h 21m			58m	

・ 227-237 d の間の11日の平均と比率  
 ・ 受信点の緯度範囲は 35°-21°N

第13表 サト・フィクスの平均

	A	M	N	R
平均回数	10.15	5.69	6.54	22.38
比率(%)	45.4	25.4	29.2	100
平均間隔	1h 31m			1h 04m

・ 265-279 d の中の13日間  
 ・ 受信点は 06°-10°N, 164°-171°W の海域

平均のサト・フィクスの回数は 1日 24.73 回であるから平均時間間隔は58mごとになる。極ではすべての衛星が通過するので 1日に約80回通る。これは 2つの衛星が近い時刻に通過する場合もあるのでサト・フィクスはもっと少ないが、24.73回は1/2ぐらいかもしれない。

24.73回のうち自動・手動で更新するものは 71.7% で 17.7回でありこの平均時間間隔は 1h24m, 標準偏差は46mである。

サト・フィクスの平均回数は24.73回であるが、最大と最小は30回が 2日と21回が 2日である。バラツキを示す標準偏差は3.2回であり13%になる。

他のサト・フィクスの統計は 06°-10°N, 164°-171°W の海域で13日間の例があり結果だけを示すと第13表のようである。千葉—ホノルル間のデータに比べてサト・フィクスは22.38回に減り更新の平均時間も 1h31m に延びてともに10%ぐらい変わっているのは低緯度になったためであろう。

6. 推測航法の誤差

6.1 速度センサー

サト・フィクスにより位置を更新すると次に更新するまでの間は速度と方位のセンサーから位置を積算してゆく。これが推測航法 dead reckoning である。推測航法には上記の速度と方位のセンサーを用いる方法と、水平の 2成分の加速度を積分し速度を求める慣性航法があり、ここでは前者を用いている。方位のセンサーはジャイロコンパスである。

速度のセンサーはドプラ・ソナーと EM ログ Electro

Magnetic Logging がある。ドブラ・ソナーは海底の超音波の反射波のドブラ・シフトを用いて対地速度を進行方向 (along) と垂直方向 (cross) を2成分で求める方法であり、水深約200mまで有効である。このように海底の反射波を使うのはボトム・ロック bottom lock といわれる。海が深くなると水中の適当な散乱層による反射波を使い、これはウォーター・トラック water track といわれる。また EMログも対水速度の測定に用いられる。ウォータートラックでも EMログでも海流による補正が必要である。海流は流向 WH と流速 WS の2つで、手動で電算機に入れられ、推測位置を求める。

しかしドブラ・ソナーがボトム・ロックになると自動的に除かれ、CRT モニターからも消える。WH と WS はサト・フィクスを更新したときにその位置と推測位置の違いから計算してあらためて手動で電算機に入れる。

この過程はオン・ラインになってはいない。

6.2 軌道情報の誤差

衛星から送信されてくる軌道情報はメッセージの中の

25 word で、そのうちケプラー常数 8 W をふくむ 17W は衛星につき不変のもの、8 W は可変のものである。衛星は 12h ごとに 16h ぶんの航行メッセージを管制局から注入される。注入されたとき受信側に表れる誤差は 200 フィート 61m とされるが、時間が経過すると誤差はふえ 12h たつと 50 フィート増す。経過時間 tp により誤差  $\sigma_s$  は

$$\sigma_s(\text{feet}) = 200 + 50 \text{ tp}/12$$

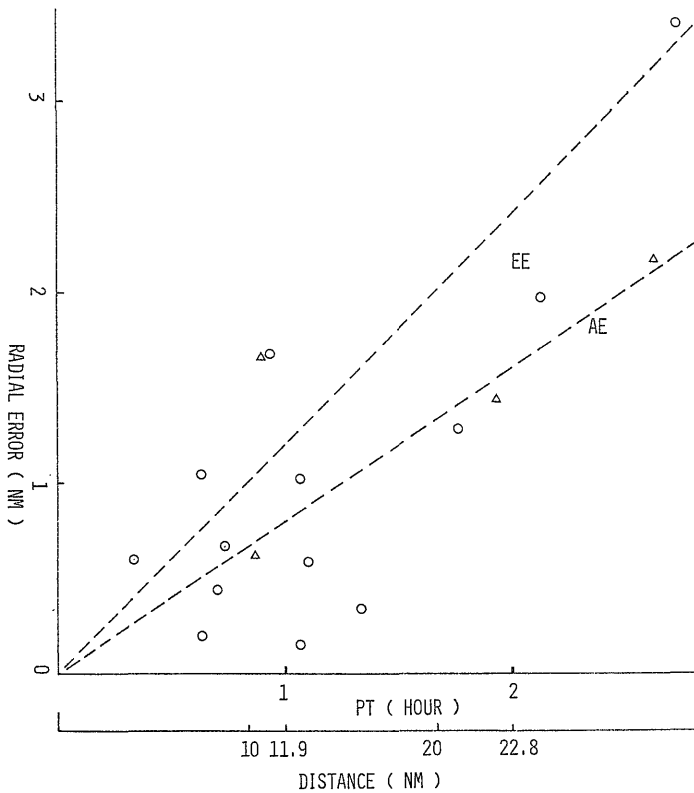
である。

6.3 推測航法の誤差

位置を更新した後ボトムロックで走った距離を DBL, ウォータートラックの距離を DWT とすると推測航法の誤差  $\sigma_{DR}$  は

$$\sigma_{DR} = \sigma_s + 0.005 \text{ DBL} + 0.1 \text{ DWT}$$

である。すなわち距離の 0.5% および 10% でウォーター・トラックの誤差の割合は、20倍も大きい。EM ログはドブラ・ソナーのウォーター・トラックよりさらに少し悪いと予想されている。ここで EM ログによる推測航法



ヨコ軸はサト・フィクスの更新の間の経過時間、PT および距離 (NM)、タテ軸は直距離誤差 (NM)。229 d の 18 のデータで、丸〇は自動更新、三角形△手動更新、破線 EE はメーカーの推定による 10% の誤差、AE は実測の平均による 6.5% の誤差。

第16図 推測航法の直距離誤差



の誤差を検討する。

サト・フィクスと推測航法の違いはSアップデートとして示される。Along は航行方向の誤差で推測航法の方がサト・フィクスより遅れたときに+、Cross は右舷側が+、Radial は誤差の直距離であり単位はいずれもNMである。

前述の 229d のサト・フィクスの誤差をみる。

この日船はシャッキー海膨あたりをエアガンを曳航して平均11.9ノットで東向きに走ったことは既述のとおりで、一日中測定条件はほとんど変わっていない。12h44mのサト・フィクスは周波数のズレが899 ppbで平均27 ppb (ppb: parts per billion) の30倍以上であり、直距離誤差も203 NMである。これは送信側にメッセージ・チェンジがあり受信側の原因ではない(位置を計算するときに緯度、経度、周波数の3つを未知数として最小自乗法的に係数を決めてCマトリクスと呼ぶ方程式を立てるために、もし測定値が不確かだと実際上周波数に変化がなくても計算上は周波数の誤差が表れる)。

更新から次の更新までの経過時間PTに対する直距離誤差 radial error の関係は第16図のとおりである。このデータによると誤差の平均は

$$\text{error (NM)} = 0.8 t \text{ (min)}$$

あるいは

$$\text{error (NM)} = 0.067 D \text{ (NM)}$$

である。従って航行距離Dの6.7%である。

仕様のいう10%よりは小さく、もし10%とすれば過半

数が誤差範囲内に入る。すなわち10%という値は平均よりやや大きく見積った妥当な値といえよう。

#### 6.4 進航方向と直交方向

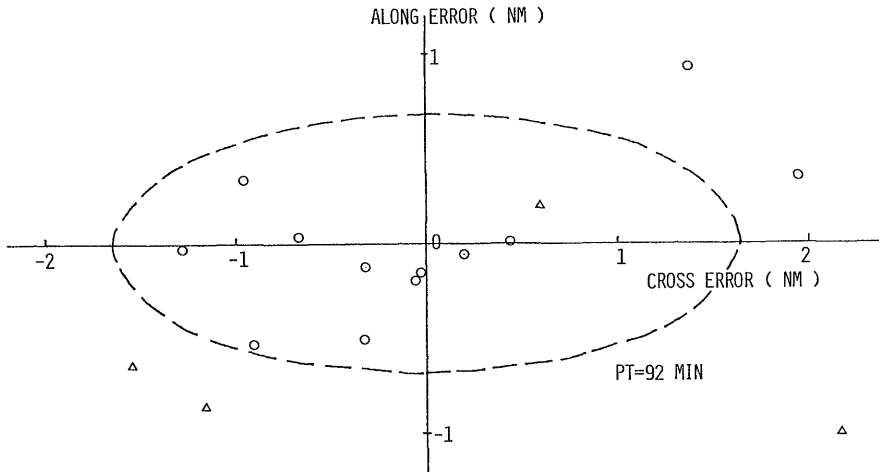
進航方向の誤差 Along error を NMを単位としてタテ軸に、直交方向の誤差 cross error をヨコ軸に表したものが第17図である。丸印と三角形印がそれぞれ自動と手動更新であることは前図と同じである。この図では誤差の大きい2つの更新値は表示してないが計算には用いている。18コの更新したサト・フィクスの自乗平均 rms は進航方向が0.68 NM、直交方向が1.60 NM であり、経過時間の rms は1h31.7mである。従って距離は18.2NM走っているので誤差はそれぞれ3.7%および8.8%となる。

従って推測航法の誤差は直交方向の方が進航方向の2.4倍大きい。誤差範囲は円ではなく進行方向に約1/2.4につぶれた楕円になる。

直交方向の誤差は船全体の横ずれによるものとジャイロコンパスの誤差に基づくものとある。横ずれは対地速度の測定によって補正できる。後者は横ずれによる誤差よりは少ないと見積られている。

#### 7. 結 言

人工衛星測量が公開されて10年余り、日本で本格的な実用段階に入って5年余りになる。その間に海上における測量の中心的方法として急速な発展をとげ、特に広域の海洋地質調査には欠かせない技術になりつつある。



ヨコ軸は直交方向で右舷側を+にNMを単位で示し、タテ軸は進航方向で進航方向を+にし推測航法の誤差を表示している。破線のダ円は rms の誤差で、経過時間 1 h 32.7 m における誤差範囲である。ダ円のヨコ方向はタテ方向の2.4倍である。

第17図 推測航法の進航方向と直交方向の誤差

本文では人工衛星測量装置を用いて位置測定とデータ集録を行う立場を主眼にして装置の概要や測定結果、測地系の関係、測定の誤差等と述べた。

これらの成果は海上の測量の実情の把握に止まらず、よりよき測量の方法、精度を上げる方法、測地系の即時変換、測量成果の再解析 post analysis, データ集録と利用法の向上などに反映されるものである。

#### 文 献

CHUJO, J. and MURAKAMI, F. (1975) Cruising and positioning by NNSS. *Cruise Report, Geol. Surv. Japan*, no. 4, p. 10-17.

THOMAS, A. S., Jr. (1968) The Navy Navigation Satellite System. *Description and Status Journal of the Institute of Navigation*, vol. 15, no. 3.

植田義夫 (1974) NNSS とその測地系について. 水路要報, vol. 95, p. 31-37.

内野孝雄・川鍋元二 (1973) NNSS 受信機の試験結果について. 水路要報, vol. 94, p. 33-39.

磯 巳代次・橋本知昌 (1976) 光波測距儀 Cubitape DM-60 による実験. 地質ニュース, no. 259, p. 26-30.

(受付: 1976年2月12日; 受理: 1976年8月6日)