

海中作業実験船「かいよう」のGPS/NNSS 航法データ処理装置

松本 剛*¹ 大塚 清*¹ 門馬大和*¹

南太平洋海域で「かいよう」を用いた深海精密調査を実施するにあたり、当該海域において既存のNNSS航法装置と併せた複合精密測位を行うため、GPS航法装置を導入し、GPS、NNSS双方のデータを同時に取得・処理・記録するシステムを新たに開発した。また、「かいよう」上のシービーム装置にGPS測位による緯度・経度値を転送する機能を持たせ、GPSによる精密海底地形の実時間作画を可能とした。本装置を用いて測位精度を検定した結果、3衛星以上受信の状態では30m以内であること、また2衛星受信の状態でルビジウム発振器による時計信号を入力する場合でも、1時間程度はNNSSよりも良い精度で測位が可能であることが確認された。

キーワード：「かいよう」、GPS、NNSS

Processing System of GPS/NNSS Navigation Data on Board the Underwater Work Test Vessel "KAIYO"

Takeshi MATSUMOTO*² Kiyoshi OHTSUKA*²

Hiroyasu MOMMA*²

On the occasion of precise deep sea research in the Southern Pacific by use of KAIYO, the GPS navigation system was introduced and the positioning system with the functions of data acquisition, processing, and recording of both GPS and NNSS was developed for the purpose of hybrid navigation based on the two navigation systems. Since the system, in addition, transfers latitude and longitude values by GPS positioning to the Seabeam system, this system enables the observer to carry out the real-time contouring of Seabeam bathymetric data with GPS navigation. The result of the accuracy test of GPS by use of this system shows that (1) in the 3-satellites positioning mode the accuracy is within 30 m and that (2) in the 2-satellites mode with the aid of Rubidium frequency standard, the accuracy is better for about an hour than that by NNSS positioning.

Key word: KAIYO, GPS, NNSS

*¹ 深海研究部

*² Deep Sea Research Department

1. 序

海洋科学技術センターにおいては、昭和60年度より海中作業実験船「かいよう」を用いた深海精密調査を実施している。これは、基本的には「しんかい 2000」の潜航のための事前調査として実施されており、具体的には、

- ① シービームによる当該海域の地形確認を行う。
- ② ①をもとに、サイドスキャンソナー曳航体による微細地形調査を行う。
- ③ ②をもとに、カメラ曳航体による海底目視観察を行う。

という手順で行われている。これらの諸調査のため、十分な精度を持つ測位装置の使用が不可欠であることは言うまでもない。

建造当初より「かいよう」上で用いられてきた高精度航法装置は、LORAN-C (双曲線, $\rho-\rho$), DECCA, NNSS 及びマイクロ波による複合測位を行うための装置であった。これまでの深海精密調査は主として日本周辺に限定されており、近海ではLORAN-C, 沿岸ではDECCA又はマイクロ波を用いてシービーム測深に基づく地形図を表したり、また水中測位の基準として利用することによって、潜航調査のために役立ててきた。NNSSについては装備はされていたものの、実際には殆ど使用していなかった。

今般、南太平洋、北フィジー海盆において日仏共同によるリフト系調査を実施することとなり、潜水船「ノーティール」の調査の事前調査として「かいよう」を用いた海底地球科学・生物学的調査を行うこととなった。そのため、この海域においても利用可能な航法システムを整備する必要に迫られたため、世界全域で精度の良い測位が可能なGPS航法装置^{1), 2)}を導入し、また既存のNNSS航法装置の整備を行った。さらに、GPS衛星の打上げが大幅に遅れているために、現状ではGPS測位の可能な時間は1日のうち12時間弱となっており、当該海域においてシービームによる精密海底地形図を作成するためには、GPS, NNSS双方による複合測位を行う必要がある。そこで、それらのデータを同時に取得・処理・記録するシステムを新たに開発し、本調査において活用した。

本報告においては、この装置の説明を行うとと

もに、北フィジー海域調査の際に得られた記録の一部も併せて紹介する。

2. 装置の構成機器

本装置の構成機器を表1に示す。また、各構成機器間の接続及びデータ処理過程のブロックダイアグラムを図1に示す。GPS受信器はマグナヴォックス製MX 4400を採用した。また、NNSS受信器は従来より「かいよう」上に搭載されている同社製HX 1107を利用した。

GPS受信器のAポートからはNAVデータが随時出力され、またBポートからはNMEAデータが7秒毎に出力される。またNNSS受信器からは、推測位置情報及び最新のFIXに関する情報が10秒毎に出力される。GPSからのA, B両ポートのデータはRS-422シリアル出力され、またNNSSからのデータは、既存の航法装置を通してRS-232Cシリアル出力される。これらの情報は一旦シリアル-パラレルインターフェイスユニット(SPIARD)に集められる。SPIARD

表 1 装置の構成機器
Table 1 Equipments to construct the system

(イ) GPS受信機	MX 4 4 0 0 GPS	1 台
(ロ) 信号処理器		1 式
(i) 中央処理装置	PC-98XL-4	1 台
(ii) 高解像度ディスプレイ	M-5924	1 台
(iii) プリンター	VP-2550	1 台
(ハ) 信号変換器		1 式
(i) GP-1B インターフェイス		1 台
(ii) シリアルインターフェイス		1 台
(iii) パラレルインターフェイス		1 台
(iv) シリアル・パラレル・インターフェイス		1 台
(v) 数値データプロセッサ		1 台
(vi) BASIC コンパイラ		1 台
(vii) RS232Cケーブル		3 本
(viii) パラレルポート用ケーブル		1 本
(ニ) 磁気テープ装置 (ケーブルを含む)		1 式
① 磁気テープ装置		1 台
② GP-1B ケーブル		1 本

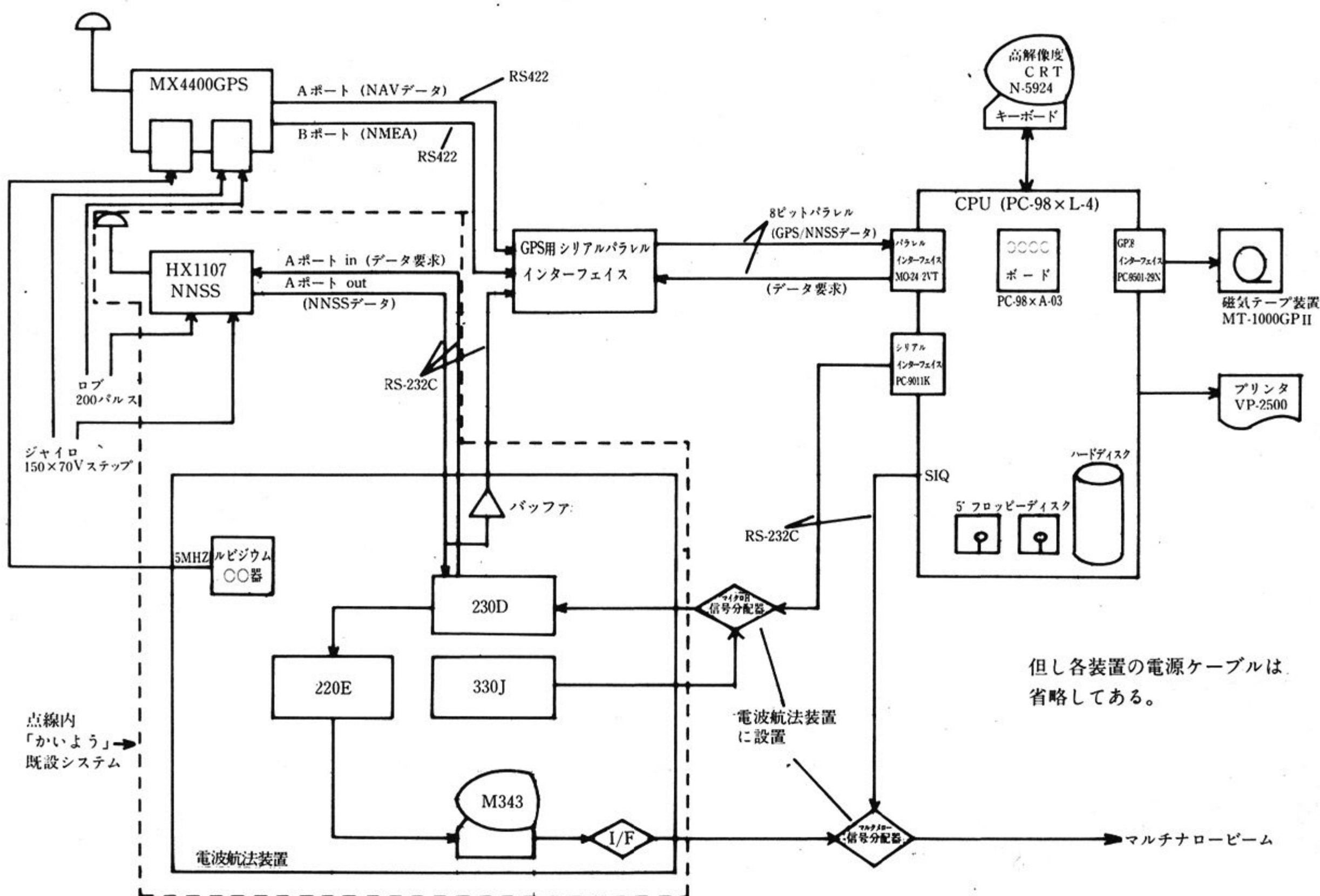


図1 構成機器のブロック図

Fig.1 Block diagram of the equipments to construct the system

はこれらのシリアルデータを8ビットパラレル変換し、処理装置であるところのパーソナルコンピュータPC-98XLに送る働きを持つ。またそれと同時に、緯度・経度情報、船速、船首方位情報等をこれらのデータ群より選び出し、表示する機能も併せ持つ。これは船橋に装備され、航海用として供される。

この他、GPS受信器本体には、基準クロックインターフェースが実装されており、ルビジウム発信器からの5MHzクロック信号の入力によって2衛星受信時においても2次元（緯度・経度）測位を可能とした。ルビジウム発信器は、既設航法装置に装備された ρ - ρ 航法用のものを利用した。また受信器には船速・船首方位入力インターフェースが実装され、ジャイロ・ログ信号によって、受信衛星数が1以下となった場合でも最新のFIXをもとにした推測航法が可能である。

3. ソフトウェア

3.1 基本仕様

本装置の運用のため、次に示す仕様に従いソフトウェアの開発を行った。ソフトウェア作成に当たっては、MS-DOS BASIC言語を使用した。ただし、高速処理のため、必要な箇所については、機械語を使用した。

- ① GPS及びNNSS航法装置からの全受信データを入力し、実時間処理を行う。
- ② 5MHzクロック信号の入力により、2衛星受信時においても2次元（緯度・経度）測位を可能とする。
- ③ 全受信データを2,400フィート磁気テープ及び5インチフロッピーディスクに格納する。
- ④ 受信データのうち指定する項目を画面に表示する。
- ⑤ 受信データのうち指定する項目をプリンターに印字する。
- ⑥ 緯度・経度の値をマルチナロービーム装置（シ

ービーム)に転送する。この際、GPS、NNS
Sいずれを転送するかは、切り替えスイッチに
より選択可能とする。

- ⑦ 緯度・経度の値を「かいよう」高精度航法装
置に転送し、GPS及びNNSの双方による測
位結果を「かいよう」のプロッター及びディス
プレイに表示する。

3.2 操作方法

3.2.1 システム起動

システム起動は、パーソナルコンピュータPC
-98XLの中央処理装置の電源投入操作により自
動的にプログラムが動作するオートブート方式に
よる。

3.2.2 初期画面

初期画面は、各パラメータの設定を促すための
メッセージより成る(図2)。ここで設定可能なパ
ラメータは、次のものである。

- ① 印字間隔(10-990秒/印字せず)
- ② フロッピーディスク格納間隔(10-990秒/
格納せず)
- ③ 磁気テープ格納を行うか否か
- ④ マルチナロービーム装置に転送するデータの
選択(GPS/NNS)
- ⑤ 測地系(WGS72/WGS84/TOKYO
DATUM)
- ⑥ 自動サンプリング開始・終了時刻設定(必要
に応じ)
- ⑦ 統一原点位置

これらの設定を終了した後、実行を開始するコ
マンドを入力する。

3.2.3 オペレーション(主画面)

主画面には、GPS及びNNSによる現在位
置(緯度・経度)、これを求めるための最新のF
IXに関する情報、現在の処理状況、初期画面上
で設定した各パラメータ値、及びエラーメッセ
ージを表示する(図3)。詳細は次のとおり。

① GPS 推測位置情報

現在時刻、位置、進行方向、対地速度、船首
方位、対水速度

② GPS FIX情報

時刻、位置、受信衛星数、HDOP

③ NNS 推測位置情報

現在時刻、位置、進行方向、対地速度、船首
方位、対水速度

④ NNS FIX情報

時刻、位置、受信衛星番号、衛星高度、反復
計算回数

⑤ 処理状況

GPSのFIXの可否、データ読込中、プリン
ト中、フロッピー書込中、磁気テープ書込中、
マルチナロー装置へ転速中、フロッピー残量
尚、画面は5秒毎に更新する。

3.2.4 オペレーション(XY画面)

XY画面は、主画面の一部を変更し、GPS及び
NNSによる現在位置(緯度・経度)をX,Y座標

```
SAT NAV SYSTEM START
**** PARAMETER ****
A: OPERATION START
B: PRINT INTERVAL      (10-990 OFF-0): 60 sec
C: FD SAVE INTERVAL    (10-990 OFF-0): 60 sec   FILE NAME-GPSDT
                                                NAVD ON
D: GPIB OUTPUT MODE      : OFF
E: 測地系(WGS72/WGS84/TOKYO DATUM) : WGS72
F: AUTO TIMER            : OFF   START-XX:XX:XX
                                END  -XX:XX:XX
G: X Y MODE              : ORG   X   36° 00.000
                                ORG   Y  138° 30.000
項目を 指定して下さい (A-G) :
```

図2 初期画面

Fig.2 Display in the initial state of operation

(統一原点をもとにする)に変換した値を表示する (図4)。

3.2.5 オペレーション

(アルマナックモード)

オペレーション中、函数キーにより、衛星の軌道要素等の最新のデータを含んだアルマナックの

表示を行う (図5)。アルマナックデータはスクロールにより全データの表示が可能である。

3.2.6 キー操作

函数キーの操作により、各画面、モードの変更、各パラメータの再設定、緊急印字等を行うことが可能である。またHELPキーにより、各函数キー

DATE 87/09/27	PRINT	INTERVAL : 60 sec	START TIME XX:XX:XX
TIME 16:04:22	FD SAVE	INTERVAL : 60 sec	END TIME XX:XX:XX
FILE GPSDT1	GPIB	MODE : OFF	ORG X 36° 00.000 N
NAVD ON	DATUM	: WGS72	ORG Y 138° 30.000 E
<<<GPS>>>			
DATE (1987/07/06)	UTC (00:09:38)	ALM ()	FIX time - 00:09:37
DR: LAT 35° 38.048, N	HDOP -0006		NAV Mode
LON 139° 46.431, E	NO. of Sat. -3		
FX: LAT 35° 38.048, N	Ang. of Tr. -019 (deg)	Set -082 (deg)	
LON 139° 46.431, E	OG Speed -00.0 (kt)	Drift -00.0 (kt)	
GR: LAT 35° 38.048, N	Heading -000 (deg)		
LON 139° 46.431, E	LOG Speed -00.0 (kt)		
<<<NNSS>>>			
GMT (1:33: 8)			
DR: LAT 35° 4.069 N		LAST FIX:Time 16:49:16	
LON 139° 10.997 E		LAT 33° 59.665 S	
Speed - 0.7 (kt)		LON 139° 39.229 E	
Course - 33 (deg)		Sat No. - 200	
Set - 0 (deg)		Elevation - 54 (deg)	
Drift - 0.0 (kt)		Iteration - 10	
INDICATOR RD** SV** PR** RS1** RS2** GPIB** FD. *****			
P:			

図3 オペレーション (主画面)
Fig.3 Data display in ordinary operation mode

DATE 87/09/ 2	PRINT	INTERVAL : 60 sec	START TIME XX:XX:XX
TIME 16:10:19	FD SAVE	INTERVAL : 60 sec	END TIME XX:XX:XX
FILE GPSDT	GPIB	MODE : OFF	ORG X 36° 00.000 N
NAVD ON	DATUM	: WGS72	ORG Y 138° 30.000 E
<<<GPS>>>			
DATE (1987/07/06)	UTC (00:09:38)	ALM ()	FIX time - 00:09:37
DR: LAT 35° 38.048, N	HDOP -0006		NAV Mode
LON 139° 46.431, E	NO. of Sat. -3		
FX: LAT 35° 38.048, N	Ang. of Tr. -019 (deg)	Set -082 (deg)	
LON 139° 46.431, E	OG Speed -00.0 (kt)	Drift -00.0 (kt)	
X -39839.38	Heading -000 (deg)		
Y 99999.90	LOG Speed -00.0 (kt)		
<<<NNSS>>>			
GMT (1:33: 8)			
DR: LAT 35° 4.069 N		LAST FIX:Time 56:49:16	
LON 139° 10.997 E		x -103190.99	
Speed - 0.7 (kt)		y 62280.88	
Course - 33 (deg)		Sat No. - 200	
Set - 0 (deg)		Elevation - 54 (deg)	
Drift - 0.0 (kt)		Iteration - 10	
INDICATOR RD** SV** PR** RS1** RS2** GPIB** FD. *****			
P:			

図4 オペレーション (XY画面)
Fig.4 Data display in XY mode

の機能説明を表示する（図6）。

3.2.7 システムの停止

STOPキーにより行う。これにより初期画面に戻る。

3.2.8 衛星の飛来予報

ハードディスクに格納されたアルマナックデータを利用して、GPS衛星の飛来予報を行い、任意の場所での飛来時刻、衛星位置、HDOP値等を表示・印字する機能を持つ。

DATE 87/09/ 2	PRINT	INTERVAL : 60 sec	START TIME XX:XX:XX
TIME 16:21:58	FD SAVE	INTERVAL : 60 sec	END TIME XX:XX:XX
FILE GPSDT	GPIB	MODE : OFF	ORG X 36° 00. 000 N
NAVD ON	DATUM	: WGS72	ORG Y 138° 30. 000 E

(((GPS)))

DATE (1987/07/06)	UTC (00:09:38)	ALM ()	FIX time - 00:09:37
DR: LAT 35° 38. 048, N	HDOP -0006		NAV Mode
LON 139° 46. 431, E	NO. of Sat. -3		
FX: LAT 35° 38. 048, N	Ang. of Tr. -019 (deg)	Set -082 (deg)	
LON 139° 46. 431, E	OG Speed -00. 0 (kt)	Drift -00. 0 (kt)	
GR: LAT 35° 38. 048, N	Heading -000 (deg)		
LON 139° 46. 431, E	LOG Speed -00. 0 (kt)		

102	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
103	03	5A	C2	48	6C	24	FD	CD	00	A1	0E	13	55	A3	23	69	4D	B6	D7	76	DC	FF	FF	F5
104	04	4A	06	48	6A	82	FD	CA	E2	A1	0C	B2	56	CE	36	8B	40	E6	CB	7A	4F	00	00	00
105	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
106	06	28	92	48	74	14	FD	F7	00	A1	0D	68	FF	A9	81	55	02	A0	76	10	F5	AB	FF	55
107	07	6D	14	48	78	CD	FD	FD	DC	A1	0D	26	02	00	C2	18	3A	CE	57	20	75	00	00	00
108	08	2A	12	48	6A	76	FD	CC	00	A1	0E	F7	56	C0	54	EC	4C	6C	AF	AF	2A	5E	EC	00
109	09	69	82	48	71	DF	FD	F3	00	A1	0C	7F	FF	85	38	2F	5F	9A	7F	3E	41	04	00	5F

INDICATOR	RD**	SV**	PR**	RS1**	RS2**	GPIB**	FD. *****
-----------	------	------	------	-------	-------	--------	-----------

P:

図5 オペレーション（アルマナックモード）

Fig.5 Data display in Almanac mode

DATE 87/09/ 2	PRINT	INTERVAL : 60 sec	START TIME XX:XX:XX
TIME 16:35:38	FD SAVE	INTERVAL : 60 sec	END TIME XX:XX:XX
FILE GPSDT	GPIB	MODE : OFF	ORG X 36° 00. 000 N
NAVD ON	DATUM	: WGS72	ORG Y 138° 30. 000 E
<<<GPS>>>			
DATE (1987/07/06)	UTC (00:09:38)	ALM ()	FIX time - 00:09:37
DR: LAT 35° 38. 048, N	HDOP -0006		NAV Mode
LON 139° 46. 431, E	NO. of Sat. -3		
FX: LAT 35° 38. 048, N	Ang. of Tr. -019 (deg)	Set -082 (deg)	
LON 139° 46. 431, E	OG Speed -00. 0 (kt)	Drift -00. 0 (kt)	
GR: LAT 35° 38. 048, N	Heading -000 (deg)		
LON 139° 46. 431, E	LOG Speed -00. 0 (kt)		
<<<NNSS>>>			
GMT (1:33: 8)			
DR: LAT 35° 4. 069 N	PF1: OPERATION MODE '1'	:	終了時間 延長
LON 139° 10. 997 E	PF2: X, Y MODE '2'	:	終了時間 短縮
Speed - 0	PF3: ALMANIAC MODE 'P, p'	:	印字時間 間隔
Course - 3	PF4: TEST MODE 'S, s'	:	FD収録時間 間隔
Set -	PF5: 印字中止 'W'	:	測地系 変換
Drift - 0	PF6: FD収録中止 'B'	:	GPIB 出力
	PF7: 終了時間無効	HELP:	KEY 操作目録 表示
	PF8: 緊急印字	CLR:	KEY 操作目録 消去
	PF10: XY原点変更	STOP:	OPERATION END
INDICATOR RD** SV**			
P:			

図6 函数キー機能

Fig.6 Display in "HELP" mode

GPS/NNSS MT FORMAT

NNSS data

HEADER	SPACE	ID (NNSS)	NNSS FIX POSITION	NNSS FIX QUALITY	SPACE	NNSS DR	TERMINATOR
%		{ F *	(21)	(78)		(42)	C L R F

F : FIX

GPS-NMEA data

ID GPS-NMEA	VTG	GDP	GGA	ZDA	GLL	VDR	VHW	HSC	XTR	TERMINATOR
{ V I	(20)	(33)	(42)	(25)	(26)	(19)	(21)	(11)	(12)	C L R F

V : VALID
I : INVALID

GPS-NAV data

ID	1st record	TERMINATOR	2nd record	n-th record	TERMINATOR
eg. 1	(variable record length)	C L R F			C L R F

Code : HEX ASCII (NNSS data) and ASCII (others)
Density :1600 BPI

図8 磁気テープ記録フォーマット
Fig.8 Format of recording to magnetic tape

可能となった。これについても、切換えスイッチにより、従来の出力又は今回の出力を選択する方式とした。また、PC上で、シービーム出力のデータの種類としてGPS、NNSSいずれかを選択することが可能であり、したがって、NNSSを選択する場合は2通りの方法があることになる。

4. GPS、NNSSデータの比較検討

今回開発した装置の測位精度を評価するため、前述のリフト系調査航海の途中、フィジー国のスバ港に停泊している62年12月14日から16日の間、両航法装置のデータを取得した。

図9には、GPSの3衛星以上受信時の位置記録を示す。固定点となるべき位置は、4衛星受信時にはNE-SW方向の分布を示し、3衛星受信時にはE-W方向を示すが、これは衛星配置によるものと思われる。しかしそれでもバラツキはほぼ30m以内に収まっている。

図10には比較のため同時期のNNSS-FIX測位結果を示す。バラツキはほぼ0.1nm以内であり、従来言われている性能³⁾とほぼ同じである。これらの図より、GPSの測位精度がNNSSに比べ遥かに優れていることがわかる。

図11には同期間の2衛星測位（3衛星受信直後の）の結果を示す。用いた時計（「かいよう」高精度航法装置用ルビジウム周波数標準）のドリフトに従い、見掛け上東方にドリフトすることが示されている。ドリフト量は時間と共に増大するが、3衛星受信状態終了後約1.5時間以内であれば、NNSSの測位精度よりは良いことがこの図からわかる。

以上の結果は、船上測位の際のGPS/NNSS選択基準を決定する上で参考となる。調査終了後、シービームデータ及び測位データをもとに精密地形図を作成したが、その際使用した船位データは、GPSデータと海流補正済NNSSデータとの結合

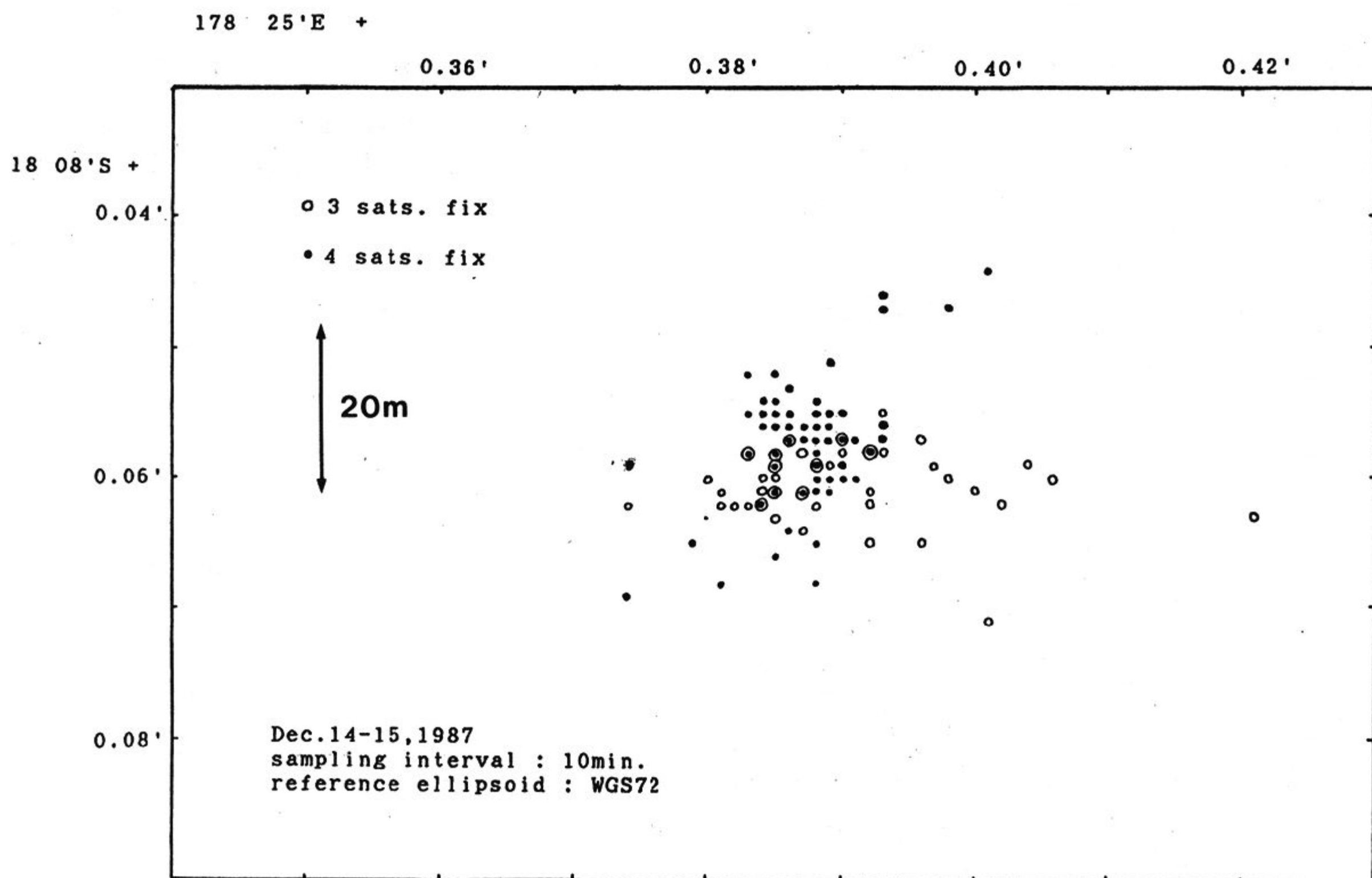


図9 スバ停泊中のGPS測位記録（3衛星以上）
Fig.9 Record of GPS fix at Suva (with 3 or more satellites)

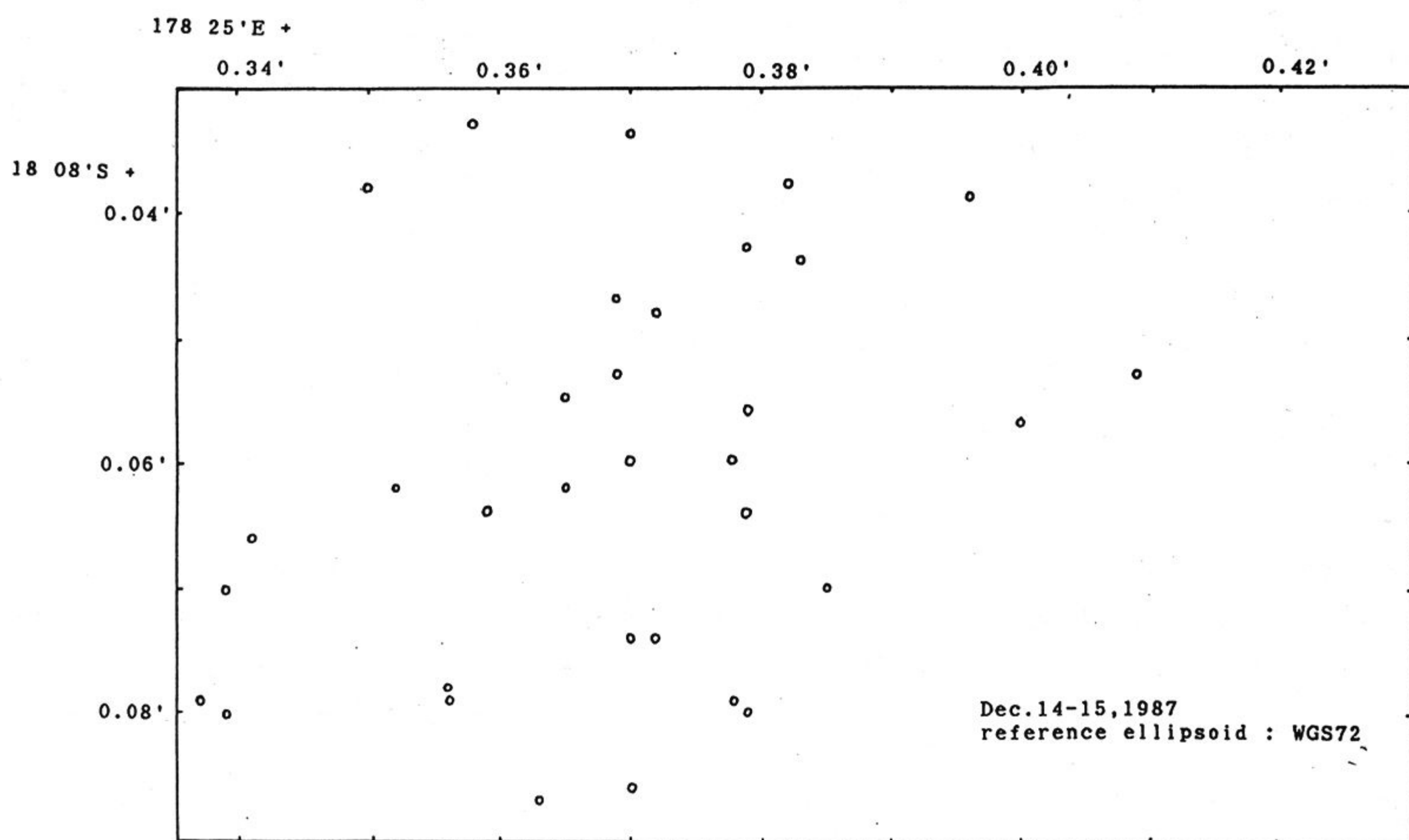


図10 スバ停泊中のNNSS測位記録
Fig.10 Record of NNSS positioning at Suva

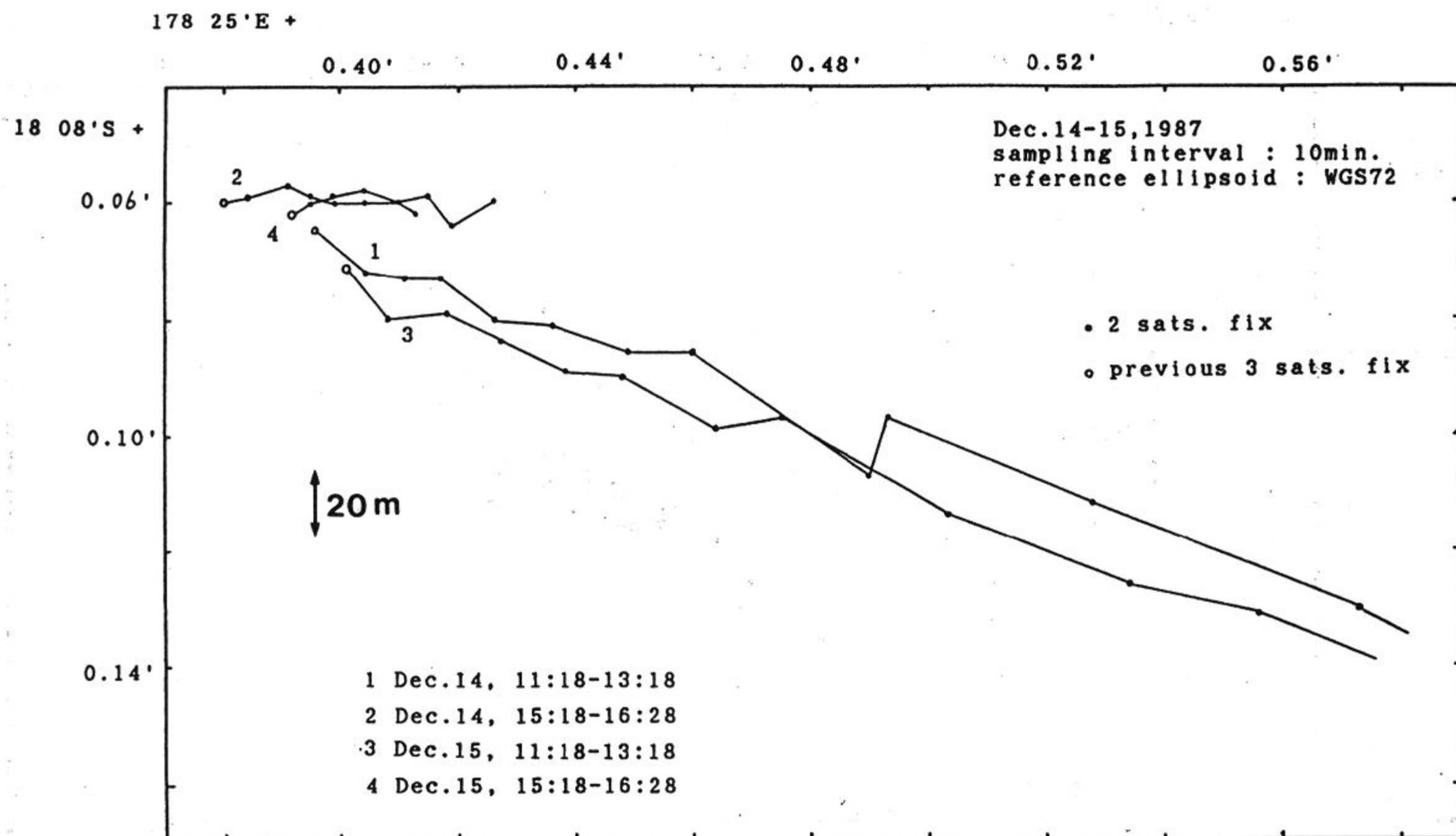


図 11 スバ停泊中のGPS 2 衛星測位記録
Fig.11 Record of GPS fix with 2 satellites at Suva

によった。選択基準は、

GPS 3 衛星以上受信 (HDOP<40) :	GPS
GPS 2 衛星受信 3 衛星の後 :	GPS
GPS 2 衛星受信 3 衛星の前 :	NNSS
その他 :	NNSS

5. おわりに

GPS 受信機及びデータ処理装置の導入により、世界全域での高精度測位が可能となり、事前調査、精密地形図作成に今後大きく貢献することが期待される。本装置は更に、受信機から出力される全データを記録する方式であるため、陸上局からの衛星の追跡により再決定された軌道要素や電離層・地球大気補正值を用いて船位を再計算することも可能である。また、同一システムを複数台導入することによって、トランスロケーションによる高精度測位を行うことにも発展させることができる。今後さらに改良を加え、またデータ処理技術の開発にも応用して行きたい。

本装置の開発は、科学技術庁の昭和62年度科学技術振興調整費による「南太平洋における海洋プ

レート形成域の解明に関する研究」の一環として実施された。開発を行うに当たり、海上保安庁水路部担当官とも情報を交換し、また仏国海洋開発研究所 (IFREMER) での調査を行い、開発方針を決定した。関係者に謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 村田一郎：GPS による測位法，月刊地球，6，pp. 429-435，(1984)
- 2) GPS-人工衛星による精密測位システム，日本測地学会編，日本測量協会，東京，263pp，(1986)
- 3) 藤本博巳，角田忠一，我如古康弘：NNSS による位置はどの位信用できるか，測地学会誌，26，pp，172-179，(1980)

(原稿受理 1988年11月25日)