NNSS の定点における測位精度—I.

—— 1 周波処理と 2 周波処理の比較を中心に ——

樽 美 幸 雄*・和 気 博 嗣*・上 原 雅**

Accuracies of Position Fixes obtained by Navy Navigation
Satellite System at a Fixed Station—I.

—— Comparison of Accuracies between Fixes by Single
Channel and Dual Channel Methods, and Others ——

Yukio TARUMI, Hirotugu WAKE,
and Masaru KANBARA

Abstract

The satellite navigation set (TOSNAV-705 S) has been installed in Kobe University of Mercantile Marine since the end of March, 1977.

This set has the following characteristics; 400 MHz/150 MHz with dual channel, selectable five calculating modes and selectable auto-calculative function.

Besides, this set has a function, called "Up-date position", which means the position recognized as an available position for renewing former one.

Position data, in which 1155 data are selected as "Up-dated position" out of 2126 data obtained, have been gathered since 8th April in 1977, and the results obtained so far are summarized as follows;

(A) Applying the single channel method (400 MHz only), the positional error is highly correlated with the variation of ionosphere with time, but applying the dual channel method, no particular relation is recognized between them.

(B) With the dual channel method, as well known, the ionospheric correction is very effective at higher elevation angle, especially over 70 degrees. Even the position data obtained when the elevation angle are from 75 to 79 degrees, accuracies seem as sufficient as other "Up-date position" data.

1. は じ め に

昭和 52 年 3 月末に神戸商船大学に NNSS 測位装置 (東芝製 TOSNAV-705 S) が設置された。この装置の主な特徴は、

- (1) 400 MHz/150 MHz の 2 周波方式である。
- (2) ショートドップラー方式を基本としている。
- (3) 5 種の測位モードを有し、目的に応じて自由に選択できる。(表 1)
- (4) 自動再計算機能を有し、測位精度に関する 3 種のパラメータ (アンテナ高さ, 船速, 針路) を変更して再計算できる。

* 正会員 神戸商船大学 (神戸市東灘区深江南町 5 丁目 1 番 1 号)

** 学生会員 同上

表 1 測位モードの種類と内容

測位モード	処理順序	推測位置の入力	ドップラーの方式	電離層補正
1		OFF-LINE	ショート	有
2		——〃——	1 分	有
3	1	——〃——	ショート	有
	2	——〃——	1 分	有
4	1	——〃——	ショート	有
	2	——〃——	ショート	無
5		ON-LINE	ショート	有

表 2 エラーメッセージの種類

エラーメッセージ	内 容
01	最接近点通過後の2分以後に有妨なドップラーデータなし
02	最接近点通過前の2分以前に有妨なドップラーデータなし
04	衛星最大仰角が15度未満
08	衛星最大仰角が75度以上
16	推測位値との偏差過大(放射状距離で0.5マイル以上)

などがある。また本装置において Up-Dated Position (良好な位置でこの位置をもって船位を更新し得るという意味) として採用される範囲は次の様に設定されている。

(1) 最大仰角が15度以上75度未満であること。

(2) 有効なドップラーデータが3個以上あり最接近点通過前(後)2分以前(後)に有効なドップラーデータが存在すること。

(3) 推測位置からの偏位が放射状距離で0.5海里未満であること。

そしてもしこれらの基準が1つでも満たされない場合は No Up-Date Position となり、表2に示すように関連するエラーメッセージが印字される。われわれはこの受信装置を使って 400 MHz/150 MHz の2周波処理と、400 MHz-1 周波処理との比較検討を行ない、さらに有効ドップラーのデータ数と偏位量との関係についても詳細な分析を行なったので、それらの結果について報告する。

2. データ

昭和52年4月8日から同年7月30日までの113日間(機器の故障、停電などのため合計約6日間のデータが採れなかった)、実質は107日間、2,126個のデータについて分析を行なった。そのうち Up-Date データは1,155個あり、全体に対する割合は54.3%であった。

表3はデータの取得間隔(すなわちデータとしてとり得る衛星通過の待ち時間で分単位)と1日の取得回数を整理したものである。また、表4は No Up-Date となったデータの個数をエラー番号別に整理したものである。これをみると ERR.04 で棄却されたものが一番多く単独エラーでも381個、他のエラー番号と複合したデータを加えると568個で No Up-Date データ全体の58.5%にも達している。次に多いのが ERR.02, 01 である。反対に少ない方をみでみると、ERR.16 は単独エラーでは9個、総計でも68個しかなかった。

3. 2周波処理と1周波処理の比較

3.1 電離層補正

表 3 データの取得間隔

	データ数	*取得間隔		**1日の取得回数	
		平均	最大値	平均	最大値
全データ	2126	73.0	386	19.8	29
UP-DATE データ	1155	133.8	1296	10.8	20

(単位: * 分/1個, ** 回)

表 4(a) No Up-Date データの種類別個数

01	87				
02	135	0			
04	381	88	63		
08	106	21	5		
16	9	2	24	5	5
エラー番号	単 独	01	02	04	08

表 4(b) その他の複合エラーとその個数

エラー番号	内 容	個数
07	01+02+04	17
21	01+04+16	6
22	02+04+16	3
23	01+02+04+16	5
25	01+08+16	7
26	02+08+16	2

表 4(c) エラー番号別の総計

エラー番号	個 数
01	233
02	254
04	568
08	146
16	68

地球上層(上空 85 km~1,000 km 付近)の大気を構成している分子や原子は太陽の輻射線のうち紫外線やX線領域の波長によって電離させられいわゆる電離層を構成する。電離層の電離の度合はその高さ, 時間帯, 季節, 緯度, 太陽の黒点の活動状況により変化する。そしてその単位は電子密度によって表わされる⁽¹⁾。それゆえにこの電離層を通過しようとする光, 電波はその影響を受け反射, 屈折などの現象が生ずる。NNSS は地上高約 1,100 km を運動する人工衛星からの電波のドップラー効果を利用して高精度な位置の線を求め受信点の位置を求めるというシステムである。故に衛星からの電波は電離層を通過する際その影響を受け屈折するため衛星とアンテナ位置との距離に誤差が生ずる。この誤差はドップラーシフトに加算され最終的には位置の誤差として現われる。このためこのシステムでは 400 MHz, 150 MHz の 2 周波を使って次式によりこの誤差を検出し補正している。

$$3/8 f_{HR} - f_{LR} = -55/24 \varepsilon f_H \dots\dots\dots (1)$$

$$\begin{cases} f_{HR}; & \text{高い方の受信周波数} \\ f_{LR}; & \text{低い方の受信周波数} \\ f_H; & \text{高い方の送信周波数} \end{cases}$$

3.2 総合的比較

表 5 は全データおよび Up-Date データの緯度, 経度, 放射状距離について 1 周波処理, 2 周波処理別に整理したものである。これを見ると全データおよび Up-Date データの 1 周波処理の場合, 標準偏差は緯度方向より

表 5 データの整理

—— 1 周波処理と 2 周波処理の比較 ——

		全 データ		UP-DATE データ	
データ数		2126		1155	
処 理 別		1 周波処理	2 周波処理	1 周波処理	2 周波処理
緯度	平均	34°43'127	34°43'125	34°43'153	34°43'148
	標準偏差	0'5730 (1059.4 m)	0'5403 (998.9 m)	0'0387 (71.3 m)	0'0302 (55.8 m)
経度	平均	135°17'496	135°17'492	135°17'399	135°17'391
	標準偏差	1'5888 (2417.4 m)	1'5461 (2352.4 m)	0'1068 (162.3 m)	0'0251 (38.1 m)
放射状距離	平均	*0.280 (517.7 m)	0.222 (410.4 m)	0.071 (131.3 m)	0.020 (37.0 m)
	標準偏差	0.6330 (1170.3 m)	0.6256 (1156.6 m)	0.0503 (93.0 m)	0.0307 (56.9 m)

(* 単位海里)

図1 Up-Date データの分布

図2 中緯度地域における衛星高度 (1000 km) の電子密度の日変化 (1963年夏 Alouette I)

図3 時間帯による放射状距離の平均値と標準偏差 (昼夜別)

図4 時間帯による放射状距離の平均値と標準偏差 (時間別)

も経度方向の方が大きい。2周波処理で Up-Date されたものは緯度方向、経度方向ともに同程度の値となっている。図1は2周波処理で Up-Date されたデータをプロットしたものであるがこの状況がよく表われている。

3.2.1 海図上記載位置との関係

受信位置を海図上 (海図 No. 101, 神戸港東部, 縮尺 1/11,000) で求めると $34^{\circ}42'955\text{N}$, $135^{\circ}17'573\text{E}$ である。2周波処理を行った Up-Date データの平均位置は $34^{\circ}43'148\text{N}$, $135^{\circ}17'391\text{E}$ であり海図上の位置の北西 452 m の所となる。ここで WGS-72 系と東京系の測地系の違いを補正すると (補正值^{(2),(3)}; 緯度 = $-11''42$ (-0.190), 経度 = $+10''54$ ($+0.176$)) NNSS で求めた平均位置は $34^{\circ}42'958\text{N}$, $135^{\circ}17'567\text{E}$ となり海図上での測定位置に比して 0.003 海里 (約 5 m) 北, 0.005 海里 (約 10 m) 西, すなわち直線距離にしてわずかに約 11 m の隔たりしかないということになる。しかも上記の値はあくまで数字の上での差であり, 海図上での位置測定誤差あるいは NNSS の測位誤差の中に埋没してしまう程度の差量と考えられるので実際上は両者はよく一致しているとみてよい。

3.3 時間帯による比較

電離層の電離の状況は昼夜によって異なる。図2は中緯度地域における衛星高度 (1,000 km) の電子密度の日変化を示したものである⁽⁴⁾。これを見ると日出とともに太陽の輻射線により電離の度合いが促進され地方時で13時

付近でピークに達し、以後太陽が西に傾き水平線に没すると電離していたものの再結合が増して来る様子があらわれている。

図3は日出時、昼間、日没時、夜間別に放射状距離の平均値、標準偏差の変化をみたものである。ここでいう日出没時とは受信点における電離層(F層もしくはF₂層)の平均高さにおけるものであり⁵⁾、(ちなみにこの4カ月間の日出時は0304~0420 J.S.T., 日没時は1940~2055 J.S.T.) 前後1時間をとっている。図4はさらに時間帯を細分したものである。電離層補正のない1周波処理の方をみると図3の電子密度の日変化とよく似た変化を示している。すなわち日出以後は平均値、標準偏差ともに徐々に大きくなり J.S.T. の13時~19時でピークに達し、日没以後はまた小さくなり日出時が最小となっている。一方2周波処理の方をみると時間帯による顕著な差はみうけられない。それでも強いて言えば日出時付近では他に比して幾分値が小さくなっていることが指摘できる。

図5は緯度と経度の標準偏差の変化を示したグラフであるが、1周波処理の場合、緯度に比して経度の方がばらつきが大きく、特に昼間は全体の位置の偏位に経度の成分が大きく寄与しているとみてよい。一方2周波処理されたものをみると1周波処理の場合とは逆にむしろ経度方向のばらつきが小さい。これは電離層補正がよくなされた結果であろう。図6は同一データの2周波処理と1周波処理の差の平均を緯度、経度別に表わしたものであるが、補正される量は経度の方が大きく、しかも電子密度の日変化とよく合致している。

3.4 最大仰角による比較

図7は最大仰角により区分したデータ数と Up-Date データ 1,155 個に対する割合を表わしたものである。最大仰角が15度未満、75度以上のものは他のエラーが複合していないものすなわち ERR.04 あるいは ERR.08 によって No Up-Date となったデータである。最大仰角が20度未満、70度以上のものについては5度間隔に区分し、20度~70度のものについては10度間隔に区切っている。これを見ると最大仰角が低いものほどデータ数が多く、Up-Date データのみでは20度~29度の範囲のものが最も多いが、No Up-Date データを加えると10度~19度が最高となっている。

最大仰角が低いと十分なドップラーデータが得られず、反対に高すぎると位置の線の交角が小さくなり決定位置の精度が低下する。故に前述したように本装置では15度以上75度未満を Up-Date の基準としている。しかしこの基準は各メーカーによって異なり必ずしも一定していないようである。

図8は最大仰角別の放射状距離の平均値と標準偏差の変化を表わしたグラフである。1周波処理の方を見ると15度未満、70度以上において平均値、標準偏差とも大きく、特に70度以上では急激に大きくなっている。一方2周波処理された方をみると70度未満はほぼ均一に補正されており、70度以上のものについては、やはり平均値、標準偏差ともに急増する傾向はあるが補正の度合いも大きいため15度未満のものとはほぼ対称となる程度に改善されている。このグラフでもう1つ目に付くことは1周波処理、2周波処理とも75度~79度での値が70度~74度で

図6 時間帯による2周波処理と1周波処理の差の平均値

図5 時間帯による緯度と経度の標準偏差

図7 最大仰角とデータ数

図 8 最大仰角による放射状距離の平均値と標準偏差

し続ける。この場合衛星が北から出現することを考えると、六甲山系にさえぎられ約8度の仰角に達するまで衛星電波は到来せず、しかもさらに2分毎に発せられる衛星のメッセージ同期信号を受信するまではデータの取込みは行なわれない。したがって実際には仰角8度以上の効果で影響を受けるとみられ、かなり衛星データの取込みが遅れるという状況が考えられる。一方衛星が南から出現する場合にはこうした効果は考えられず、この差が経度の標準偏差および放射状距離の平均値の差として結果的に表われているものと思われる。

衛星の東側通過と西側通過について比較してみると1周波処理したものにして2周波処理したものはいずれも値が小さく、補正されている様子が表われている。しかし、東、西については顕著な差は認められない。

表 6 昇降方位及び通過側による比較

	データ数	平均位置		*標準偏差		*放射状距離	
		緯度	経度	緯度	経度	平均	標準偏差
北—南	566	34°43'146 (34°43'153)	135°17'391 (135°17'397)	0'0322 (0'0405)	0'0223 (0'0984)	0'021 (0'082)	0'0321 (0'0505)
南—北	589	34°43'151 (34°43'153)	135°17'391 (135°17'401)	0'0278 (0'0367)	0'0189 (0'0760)	0'019 (0'061)	0'0291 (0'0501)
東側通過	566	34°43'147 (34°43'147)	135°17'391 (135°17'321)	0'0337 (0'0377)	0'0226 (0'0588)	0'021 (0'071)	0'0332 (0'0384)
西側通過	589	34°43'149 (34°43'158)	13°51'391 (13°51'474)	0'0263 (0'0387)	0'0185 (0'0640)	0'019 (0'071)	0'0281 (0'0485)

() 内は1周波処理による値 *単位: 海里

4. 有効なドップラーデータの個数と偏位量の関係

4.1 Up-Date の基準

本装置では最接近点を中心としてその2分以前、2分以降に有効なドップラーデータがあるかないかを Up-Date の基準としており、有効ドップラーデータの数に関してはこの2つだけで Up-Date, No Up-Date の判定がなされている。確かに最接近点を中心としてそれ以前、以後いずれか一方の有効なドップラーデータが他方に

の値と比較し同程度もしくはむしろ小さくなっている点である。データ数の関係で一概には言えないが2周波処理されたデータで75度~79度のデータは15度~74度の Up-Date データに比しても精度上何ら劣る所がないという結果になっている。

3.5 衛星の昇降方位および通過側による比較

表6は衛星が昇って来る方向および通過する側についてデータを整理したものである。昇って来る方向が南か北かによって比較してみると、2周波処理されたものについては両者の間に有意差は認められないが1周波処理では衛星が北から昇る場合の方が南から昇る時に比して経度の標準偏差と放射状距離の平均値が大きくなり、有意水準1%で有意差が認められた。この原因を考えると受信地の北側には六甲山系(仰角約8度)が存在し、他の3方向(東, 西, 南)には遮蔽物はない。また本装置においては衛星が昇って来る場合仰角約2.5度で受信開始し、水平線に沈む場合は電波水平線に沈むまで受信

比して著しく少ない場合は位置決定に際し十分な精度が期待できない。しかしさらに NNSS は多くの位置の線（本装置では最高 40 本）から最小 2 乗法により受信位置を決定するシステムである。したがって一般的には位置の線が多いほど、すなわちドップラーデータが多いほど決定位置の精度は向上する。故に有効ドップラーのデータ数に関しては、最接近点を中心としてその前後の有効ドップラーデータの対称性を評価するとともに有効データの総数も考慮に入れる方がより合理的と考えられる。そこで再び各エラー別によるデータの出現回数を見ると表 4 に示したように ERR.01 (87 個), ERR.02 (135 個) によって No Up-Date となるデータが非常に多い。しかしこれらのデータの中にも精度的に見て捨てるに惜しいと思われるデータが多くみうけられる。

4.2 Up-Date データ, ERR.01, 02 のデータの分布

有効ドップラーのデータ数の対称性と総数の要素を考慮するために

最接近点以前の有効ドップラーのデータ数……A 個

最接近点以後の有効ドップラーのデータ数……B 個

とし

$$X = \frac{A+B}{2} + \sqrt{A \cdot B} \dots\dots\dots (2)$$

というものを考える。ここで $(A+B)/2$ は相加平均で総数を表わす指標であり、 $\sqrt{A \cdot B}$ は相乗平均で対称性を表わす指標であると考えられる。本装置についていえば、ショートドップラー方式で最大 16 分間のデータを採用するため、有効なデータ数は最高 40 個となり、 $(A+B)/2$, $\sqrt{A \cdot B}$ の最大値はともに 20 となる。

図 9 は以上のように考えた指標 X を横軸にとり、縦軸に平均位置 ($34^{\circ}43'148\text{N}$, $135^{\circ}17'391\text{E}$) からの放射状距離をとり各データについてプロットしたものである。ここで使用したデータは全 Up-Date データ (1,155 個) と ERR.01, 02 で棄却されたデータ (222 個) から 46 番衛星(注)のデータ 56 個を除いた 1,318 個である。46 番

図 9 ドップラー数と偏位量(放射状距離)の関係 (相関図)

表 7 衛星番号による比較

衛星番号	データ数	平均位置		標準偏差		放射状距離 (標準偏差)	
12	265	$34^{\circ}43'145$	$135^{\circ}17'389$	* $0'0158$	** $0'0153$	$0'017$	$0'0147$
13	170	$34^{\circ}43'148$	$135^{\circ}17'392$	$0'0144$	$0'0137$	$0'017$	$0'0147$
14	201	$34^{\circ}43'144$	$135^{\circ}17'388$	$0'0335$	$0'0318$	$0'022$	$0'0363$
19	247	$34^{\circ}43'152$	$135^{\circ}17'394$	$0'0278$	$0'0235$	$0'017$	$0'0319$
20	222	$34^{\circ}43'150$	$135^{\circ}17'392$	$0'0142$	$0'0120$	$0'016$	$0'0138$
TOTAL	1105	$34^{\circ}43'148$	$135^{\circ}17'391$	$0'0227$	$0'0206$	$0'018$	$0'0246$
46	50	$34^{\circ}43'157$	$135^{\circ}17'390$	$0'0973$	$0'0209$	$0'070$	$0'0916$

* 緯度方向 ** 経度方向 (単位: 海里)

(注) 46番衛星 詳細は不明であるが米国海軍が何らかの目的で打ち上げたもので5月下旬から電波を送信し始めテスト信号を送信していたが6月19日から46番衛星として出現、8月22日まで続いた。その後同様にテスト信号を送信していたが9月上旬頃からテスト信号も受信できなくなった。

衛星を除いた理由は表7をみれば明らかなように緯度の標準偏差が他の衛星に比べて非常に悪く、これを他の衛星のデータと同様に取扱うのは不適当と考えたからである。またプロットしたデータは Up-Date データが 113 個, ERR.01, 02 がオーバースケールした 16 個を除く 197 個である。この図をみればわかるように $X=6\sim 20$ 付近で ERR.01, 02 のデータでじゅうぶん精度があると見られるデータが多く存在する。

4.3 回帰曲線と新しい基準の設定

ここで図9に示したプロット回帰曲線として

$$Y = AX^m \dots\dots\dots (3)$$

の形を考え A および m を求めるとそれぞれ、 $A=1.6027$, $m=-1.4306$ が求まりそれを実線で示す。またこの回帰曲線の相関係数を求めてみると 0.38 であり決して良い相関を示しているとは言えない。この理由は $X=8\sim 13$ 付近で Y のばらつきが非常に大きくなっているためと考えられる。そこで各回帰係数の上の 95% の信頼限界値を求めると $A=2.352$, $m=-1.3134$ が得られこれを破線で示す。(図10)

4.1 で述べたように現状の基準を用いれば No Up-Date として扱われるものの中にも多分に精度的に見て良好なデータが含まれている。そこでわれわれはより合理的な Up-Date の基準として前述の指標 X を用いることを考えた。そしてこの新しい指標 X で表わした Up-Date データの判定基準の値を何らかの形で具体的に求めたい。そのためには図10における縦軸の量、すなわち平均値からの偏位量を實際上いくら位に押えられるかを推定し、合理的に一つの値を決定すれば先に求めた破線との交点として新しい基準 X が一意的に求まる。

平均値からの偏位量は一体どの程度になるのか？、この量を推定するためにわれわれはより現実的な値として 46番目衛星をも含めた全 Up-Date データの放射状距離の標準偏差を用いた。チェビシェフの不等式に関する定理によれば、いかなる分布でも分布の平均値を $\bar{Y}$, その標準偏差を σ とするとき

$$|Y_i - \bar{Y}| \geq \lambda \sigma \dots\dots\dots (4)$$

となるような Y_i の度数 f_i の和は、総数 N の $1/\lambda^2$ 倍より大きくはない⁽⁶⁾。ここで一応 $\lambda=2$ ととれば (4) 式により $Y_i \geq 0.0814$ となり Up-Date データでは平均位置からの放射状距離が 0.0814 海里以上となる度数とデータ総数との割合は 25% を越えないことになる。したがってこの Y に対する X は図から 12.95 となる。参考までに 46 番衛星を除く Up-Date データについても $\lambda=2$ に対する値を求めてみると同様に $Y_i \geq 0.0672$, $X=14.98$ が求まる。

図11は $X=12.95$ ($Y=0.0814$), $X=14.98$ ($Y=0.0672$) を新しい基準とした場合、各 X, Y によって区切られる象限のデータ数を求めたものである。 $X=12.95$ の場合は ERR.01, 02 から新たに Up-Date となるものは

図10 ドップラー数と偏位量(放射状距離)の関係(回帰曲線)

図11 $X=12.95$, $Y=0.0814$ によって区切られる各象限のデータ数

表 8 既設の判定基準と新しい判定基準によるデータの比較

分類	UP-DATE データ数	平均位置		*標準偏差		*放射状距離	
		緯度	経度	緯度	経度	平均	標準偏差
1	1105	34°43'148	135°17'391	0'0227	0'0206	0'018	0'0246
2	1195	34°43'148	135°17'391	0'0223	0'0212	0'018	0'0238
3	1163	34°43'148	135°17'392	0'0221	0'0176	0'018	0'0232
4	1155	34°43'148	135°17'391	0'0302	0'0206	0'020	0'0307

分類: 1 46番衛星を除く UP-DATE データ

(*単位: 海里)

2 $X \geq 12.95$ のデータ3 $X \geq 14.98$ のデータ

4 46番衛星も含む全 UP-DATE データ

92 個であり、反対に Up-Date データから除かれるものは 2 個である。また $X \geq 12.95$ で新たに Up-Date されるデータのうち精度的に良好であると思われるデータは 92 個中 84 個でその割合は 91.3% である。 $X=14.98$ の場合には Up-Date として新たに加えられるデータは 64 個、反対に棄却される Up-Date データは 6 個となり、新たに加わったデータのうち精度的に良好なデータの割合は 95.3% となる。

表 8 はこれらの新しい設定基準により Up-Date されるデータについて再び各平均値、標準偏差を求め比較したものである。これをみると経度方向の標準偏差の値が少し大きくなっているが他にはほとんど変化がみられないという結果が得られる。故にこの新しい基準設定により今まで棄却されていたデータのうちに精度的にじゅうぶんなデータが新たに Up-Date され、現状では No Up-Date とされたもののうち実際上は Up-Date データとして用い得るという点で意義があると思われる。なおここで X の値を細かく求めてはいるが、実際上はことさら細かい値を求める必要はなく、判定基準としての X の値を 13 とか 15 というふうに定めてやればよい。ただし X の値をあまり大きくとると、現在 Up-Date データに含まれている良好なデータが新しい基準では No Up-Date となり具合が悪い。

5. ま と め

以上のように種々分析したものを要約すると

- (1) 昭和 52 年 4 月 8 日から 113 日間に収集したデータ 2,126 個について分析を行った。
- (2) そのうち Up-Date データは 1,155 個ありこれは全体の 54.3% に相当する。
- (3) Up-Date データの平均位置は 34°43'148 N, 135°17'391 E であり、測地系の変換を施せば海図上の位置とよく一致する。
- (4) 1 周波処理では時間帯による電離層の電子密度の変化と偏位量の相関は高いが、2 周波処理では従来言われている以上に補正されて時間帯別による顕著な差は認められない。
- (5) 2 周波処理されたものは最大仰角で特に 70 度以上が補正される度合いが高い。また 75 度～79 度のものはデータ数との関係で一概には断定できないが他の Up-Date データと比しても精度上はじゅうぶんであると言える。
- (6) 今までの有効ドップラーのデータ数に関する判定基準にさらにデータの総数の要素を加えた指標で基準で判定する方がより合理的であろうと考える。またそれにより Up-Date されるデータ数も増す。実際的には $X=(A+B)/2+\sqrt{A \cdot B}$ を指標とし 13～15 の値で設定すれば精度的にもじゅうぶんなデータが得られ、かつ今まで棄却されていたデータの少なくとも 1/3 程度は Up-Date となり有意義と考えられる。

参 考 文 献

- (1) 木村小一, 奈須英臣: 電離層屈折による NNSS 測位誤差の一計算法, 日本航海学会論文集第 52 号, 昭

和 49 年 12 月

- (2) 進士晃: 測地系変換図 (海図 6019 号) の刊行, 航海第 50 号, 昭和 51 年 11 月
- (3) 樽美幸雄: 回転楕円体上の位置表示について, 航海第 54 号, 昭和 52 年 2 月
- (4) 田尾一彦: 電離圏, 電波研究所季報 Vol. 15, No. 78, 1969. 5
- (5) 岩永道臣, 樽美幸雄: 天文航法 (上巻) 成山堂
- (6) 稲葉三男, 北川敏男: 統計学通論, 共立出版, 昭和 46
- (7) 木村小一: 衛星航法, 海文堂, 1977
- (8) 前田憲一, 後藤三男: 電波伝播, 岩波全書

質 疑 応 答

質問; 佐々木成二 使用された NNSS 測位装置のアンテナの設置状態とその位置付近の環境状態はどうなっているか?

回答; アンテナは校舎の屋上に据え付けられ, アンテナの先までの高さは海拔 22 m で, 周囲には遮蔽されるものはありません。また環境は北側に六甲山系 (仰角は約 8 度) が連なっていますが他の 3 方向は開けています。

質問; 平岩節 位置の線の方向, 交角のばらばらなものによって出された位置について 3 方向の標準偏差を計算しておられるが, それぞれの意味をお伺いしたい。

回答; 今回のわれわれのテーマは標題の通りであり, 定点における NNSS の精度を総体的に確認し, 特に 2 周波処理と 1 周波処理を精度の上で比較することにあります。従ってその比較をする指標として通常用いる手段としてのその平均値と標準偏差をとりあげました。

また NNSS の場合, 衛星の最大仰角などによってドップラーデータ (位置の線の本数) と位置の線の交角は異なって来ますが, Up-Date データとして出力されたものは本文で述べたようにある基準以上のものに限られており, 繰返し計算の後に算出される位置はある条件内の本数, 交角をもつと考えられます。また計算された位置について緯度方向, 経度方向および放射状距離の 3 つの要素に分けて分析したのは NNSS の測位原理上緯度方向と経度方向の精度が異なるということがあり, またそれらを組合せた平面上に分布する実際の放射状距離についても比較の要素とする必要があると考えたからであります。なお緯度方向, 経度方向に関する今回のわれわれのデータの分布については正規確率紙による検定ではほぼ直線上に乗りこれらの分布をガウス分布とみなして全く差し支えないと思います。