

GPS の測位精度—IV

三定点における測定

合田 政次, 久野 俊行, 中根 重勝, 趙 乙济*

Accuracies of Position Fixes Obtained by GPS-IV
The Observation at Three Fixed StationsMasaji GODA, Toshiyuki KUNO, Shigekatu NAKANE
and Eul Je Jo

ABSTRACT

We measured the usable time and took position fixes from three fixed stations in our country in order to evaluate the positioning accuracy of GPS, first, by the difference in the time of the year and, second, by the difference in location between the stations.

In the case of the former, the time zone of position fixes varied with the time of the year and there were a little differences of the accuracies of position fixes except 3H (three-dimensional high level positioning).

In the case of the latter, there were not obvious locality differences in 3D (three-dimensional positioning). But the positioning errors and number of data varied on each level in 2D (two-dimensional positioning), although the positioning errors were smaller than 0.1 nautical mile. The standard deviations of Dep. (departure) were larger than that of D. lat. (difference of latitude), and varied widely to the east and the west. But we observed that the standard deviations were smaller than 100 meters.

Key words: GPS global positioning system; 測位精度 accuracy of position fixes; 地域差 locality difference

著者らは、これまで衛星航法システム GPS の陸上定点（長崎）での測位精度について評価を行ってきた^{1,2)}。その結果、二次元測位の L レベル（以下 2L と記す）でも測位誤差（平均偏位±標準偏差）は 300m 程度であり、大洋航行中の船舶の測位には十分利用できるものであった。また、同一型式の受信機間でも、受信する衛星の組み合わせが異なる場合と同じ場合とがあり、前者の割合は全体の約 28% をしめ、平均位置間の距離も最大で約 300m の差がみられた。しかし、後者の場合にはほとんど差はみられず受信機間の差はないものとみなせた³⁾。

本研究では、長崎での時期の違いによる測位精度

の差、並びに国内の他の二定点での測定をもとに場所の違いによる測位精度の差について検討を行った結果について報告する。

測定方法および資料

測定は 1988 年 1 月 13 日～14 日（以下 C 1 と記す）と同年 8 月 13 日～15 日（以下 C 8 と記す）の 2 回、長崎港柳ふ頭に係留中の本学部練習船長崎丸（1 月測定）および鶴洋丸（8 月測定）で行った。また、同年 5 月の長崎丸の練習航海における寄港地 2 港、函館港（5 月 28 日～30 日）と浜田港（6 月 1 日～2

* 大韓民国注文津水産高等学校, 大韓民国江原道溟州郡注文津邑橋項里

Table 1. Observation positions (WGS-84)

	Latitude	Longitude
A	41°47.068'N	140°43.564'E
B	34°53.434'N	132°03.718'E
C 1	32°42.300'N	129°50.727'E
C 8	32°42.316'N	129°50.700'E

A: Hakodate; B: Hamada; C1: Nagasaki (Jan.)
C8: Nagasaki (Aug.)

日)においても実施した。各港での基準位置は両船のアンテナ位置を海図から求めたものを測地系 WGS-84に変換⁹⁾して用いた。各観測点の基準位置を Table 1 に示す。

使用した受信機は日本無線㈱製 JLR-4000 であり、その性能については既に記述した¹⁾。

受信機の使用モードは、これまでと同様に航法モード、最適衛星選択モードおよび L レベルモードに設定して全レベルについて測定を行った。

この間、受信機とパーソナルコンピュータ (NEC PC-9801) を接続し、受信機から出力されるデータを 1 分間隔でフロッピーディスクに記録した。これらのデータを用いて測位精度の評価を行った。

結果および考察

1 測位時間

現段階では衛星数が 7 個のみであるため、1 日のうち測位できる時間が限定される。各測点で二次元測位 (以下 2 D と記す) および三次元測位 (以下 3 D と記す) が可能であった時間 (測位時間) について、各レベルごとの測位時間とその割合を Table 2 に示す。

1.1 長崎における測位時間の時期による変化

3 D と 2 D の測位時間は C 1 が約 9 時間、C 8 が約 6 時間 30 分で、C 1 の方が約 2 時間 30 分長くなった。このように、8 月の測位時間が 1 月より著しく短かったのは、1 月には衛星の数が 7 個であったが、以前から不良といわれていた 8 号の衛星⁹⁾が、6 月初旬より受信できなくなって、衛星数が 6 個に減ったためであると考えられる。しかし、2 D と 3 D との割合は C 1 が 80% と 20% であるが、C 8 では 3 D が 5% 減少している。このことは、8 号衛星が不良でもそれを受信して、3 D の測定がなされたこともあると考えられる。

レベル毎の割合は、2 D の H レベル (以下 2 H と記す、他の場合も同様に記す) では C 8 が C 1 より 5% 減少し、2 M では約 10% 増加している。しかし、

Table 2. The usable time and the ratio of each level on 2D and 3D

		2 D				3 D				Total			
		H	M	L	T	H	M	L	T	H	M	L	T
A	Time (h-m)	2-25	2-38	2-07	7-10	1-08	0-16	0-15	1-39	3-33	2-54	2-22	8-49
	Percentage (%)	27	30	24	81	13	3	3	19	40	33	27	100
B	Time (h-m)	2-36	1-10	2-55	6-41	1-06	0-35	0-05	1-46	3-42	1-45	3-00	8-27
	Percentage (%)	31	14	34	79	13	17	1	21	44	21	35	100
C 1	Time (h-m)	3-24	1-21	2-29	7-14	1-21	0-22	0-06	1-49	4-45	1-43	2-35	9-03
	Percentage (%)	38	15	27	80	15	4	1	20	53	19	28	100
C 8	Time (h-m)	2-12	1-39	1-48	5-39	0-20	0-26	0-13	0-59	2-52	2-05	2-01	6-38
	Percentage (%)	33	25	27	85	5	7	3	15	38	32	30	100

A: Hakodate; B: Hamada; C1: Nagasaki (Jan.); C8: Nagasaki (Aug.)

2D: two-dimensional positioning; 3D: three-dimensional positioning

H: high level; M: middle level; L: low level; T: total

Table 3. The usable time of each level on 2D and 3D

Observation area	Date	2D (h-m)	3D (h-m)	Total (h-m)
1	May 24	8-15	0-21	8-36
2	May 30	7-06	1-36	8-42
3	Jun. 3	6-13	1-54	8-07

- 1: off the coast of Sioyazaki
 2: off the port of Akita
 3: the vicinity of the Iki channel
 2D: two-dimensional positioning
 3D: three-dimensional positioning

2 Lではほぼ同じである。3 DでもC 8のHレベルがC 1より10%減少し、3 Mと3 Lは2~3%増加している。全体ではLレベルはほぼ同じであるが、MレベルではC 1よりC 8が13%増加している反面、その分がHレベルで減少している。8号衛星は、水晶発振器を使用していたから、発振器の安定度が低く不良といわれていたが、それが受信不能となつてからHレベルの比率が減少している。これは8号衛星を含む測位結果が必ずしも低精度のものばかりではなかったことを示している。

1.2 各測点での測位時間の比較

Table 2 に示したように函館 (以下A点と記す) と浜田 (以下B点と記す) の两点では22分の差にすぎないが、C 8点ではA点より2時間あまり少なく

なっている。その原因としては前述したように8月には8号の衛星が受信できず、衛星数の減少によるものである。Table 3 は、東京から函館、函館から日本海沿岸を浜田を経て長崎まで航行する間の各1日間の測位時間を表わしたもので、各海域と陸上定点を総合してみると、緯度が高くなれば測位時間が長くなる傾向がみられる。これは現段階では、衛星数が少なく各軌道上の配置がアンバランス⁶⁾であることによるものである。

2 測位精度

A点とC 8点における1日分と2日分の測位結果を比較したものをTable 4 に示す。その結果、両測点ともデータ数の多少にかかわらず、東西距に10数メートルの差がみられるほかは、いずれも数メートルの差にすぎない。従つて、各測点とも1日分のデータについて、基準位置からの変緯 (以下D. lat と記す)、東西距 (以下Dep と記す) の平均値および標準偏差を求めた。

D. lat またはDep のいずれかが標準偏差の3倍 (3σ) 以上であったデータは棄却したが、各測点における棄却されたデータ数とその比率をTable 5 に示す。各測点とも比率は2~5%で、その大きさは0.1海里以上であり、棄却されたデータのうち最大値は1.4海里であった。

Table 4. Comparison between the data of one day's measurement and those of two days' measurement in Hakodate and Nagasaki (unit in meter)

	Dimension	No. of Date	D. lat		Dep	
			Mean	SD	Mean	SD
A	2 D	421	-7.3	35.7	35.0	67.0
	3 D	99	-0.9	16.4	44.1	18.6
	Total	520	-6.0	32.9	36.7	60.9
A	2 D	868	-11.8	39.4	19.6	68.7
	3 D	176	0.9	13.9	32.6	22.8
	Total	1,044	-9.7	36.7	21.8	63.5
C 8	2 D	333	12.7	43.6	-4.3	64.1
	3 D	54	45.7	16.3	-8.9	39.8
	Total	387	17.3	42.4	-4.9	61.2
C 8	2 D	687	10.4	51.2	-12.7	77.5
	3 D	95	51.5	16.5	-10.7	39.4
	Total	782	15.4	50.2	-12.4	74.0

A: Hakodate; C8: Nagasaki (Aug.)

1: one day's measurement; 2: two days' measurement; SD: standard deviation

Table 5. The number of data and the ratio rejected by over 3σ in four different observation positions

	Demension	No. of Data			Percentage (%)
		Total	Rejected	Used	
A	2 D	430	9	421	2
	3 D	99	0	99	0
	Total	529	9	520	2
B	2 D	401	12	389	3
	3 D	106	2	104	2
	Total	507	14	493	3
C 1	2 D	434	26	408	6
	3 D	109	0	109	0
	Total	543	26	517	5
C 8	2 D	339	6	333	2
	3 D	59	5	54	8
	Total	398	11	387	3

A: Hakodate; B: Hamada; C1: Nagasaki (Jan.)

C8: Nagasaki (Aug.)

2D: two-dimensional positioning

3D: three-dimensional positioning

2.1 C 1点とC 8点における測位精度 (C点における異なる時期の測位精度)

2 Dと3 Dのレベル毎のデータ数とD. latとDepの平均値及び標準偏差を示したものがTable 6である。また、観測点を原点として各レベルの平均位置と、その点を中心とする 1σ の誤差楕円を図示したものがFig. 1である。平均位置は2 HのC 1ではENE方向に約94m, C 8はNNE方向に約31m, 3 Hではほぼ等距離ながらC 1ではNE, C 8はNNWへ偏位している。2 Mでは両点ともほぼ東偏しているが距離に差があり, C 1の約147mに対しC 8では約21mである。3 Mでは2 Hとほぼ同様な傾向を示している。また, 2 LではC 1が東偏し, C 8は反対に西偏しているが, 3 Lではともに北偏の傾向がみられる。C 1では3 L以外はDepの方がD. latより大きく, C 8では2 M, 2 Lを除けばD. latの方が大きい。偏位距離は3 Hでは両測点ともほぼ同じであるが, それ以外ではいずれもC 1の方が著しく大きい。

標準偏差についてC 1とC 8比較すると, いずれ

Table 6. The mean values and standard deviations of D. lat, Dep and Distance for each level on 2D and 3D (unit in meter)

	Dimension	Level	No. of Data	D. lat		Dep		Distance	
				Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
C 1	2 D	H	197	33.7	55.8	88.0	46.2	94.2	72.4
		M	77	6.4	127.2	146.6	148.2	146.7	195.3
		L	134	79.0	149.3	124.6	181.7	147.5	235.2
		Total	408	43.4	111.9	111.1	128.4	119.3	170.3
	3 D	H	81	26.7	22.2	43.5	30.0	51.0	37.3
		M	22	55.2	24.0	59.1	51.7	80.9	57.0
		L	6	76.6	51.9	42.1	135.8	87.4	145.4
Total	109	35.2	28.8	46.6	45.6	58.4	53.9		
Total	517	41.7	100.3	97.5	118.9	106.0	155.6		
C 8	2 D	H	132	29.6	21.8	8.8	30.4	30.9	37.4
		M	98	-2.1	49.7	21.1	71.7	21.2	87.2
		L	103	5.2	50.8	-45.3	68.9	45.6	85.6
		Total	333	12.7	43.6	-4.3	64.1	13.4	77.5
	3 D	H	20	44.7	5.7	-27.1	12.7	52.3	13.9
		M	26	44.0	18.5	2.5	25.5	44.1	31.5
		L	8	53.6	24.9	-0.5	87.7	53.6	91.2
Total	54	45.7	16.3	-8.9	39.8	46.6	43.0		
Total	387	17.3	42.4	-4.9	61.2	18.0	74.5		

C1: Nagasaki (Jan.); C8: Nagasaki (Aug.)

H: high; M: middle; L: low; SD: standard deviation

もC1の方が大きく、ほぼ2倍に及んでいる。また、C1の2Hを除けば両点ともDepの標準偏差の方がD.latのそれよりも大きく、全般に東西方向のばらつきが著しい。

測位誤差は、C1では3H、3Mおよび2Hで88~167mの範囲であり、いずれも0.1海里未満であるが、その他は2Lが最大で約383mにおよんでいる。しかし、C8の場合は3H、3Mおよび2Hともに約70mにすぎず、最大の3Lでも約145mであり、いずれも0.1海里未満である。

このようにほぼ同一定点においても、時期の違いにより測位誤差に大きな変化がみられたことについて検討するため、両測点で共通する組み合わせの各衛星の軌跡と測位時間を調べたものがFig. 2, 3である。

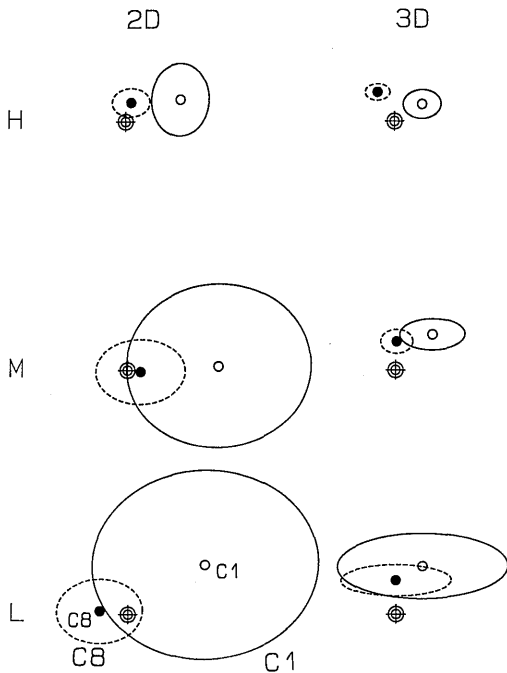


Fig. 1. The mean position and error ellipses (1 σ).
 2D:two-dimensional positioning
 3D:three-dimensional positioning
 H: high level; M: middle level; L: low level
 C1: Nagasaki (Jan. 1988); C8: Nagasaki (Aug. 1988)
 ⊕: observation position

る。両測点間で測位時間帯に大きな差があり、C1ではすべて昼間(6時~17時)であるのに対し、C8では夕方と夜間である。しかし、その間の衛星の高度と方位角にはほとんど差がない。また測位に用いられた衛星の組み合わせについて、データ数の多いものの測位誤差を求めたのがTable 7である。一例として2Dの3・6・13のHレベル、6・9・12のM、Lレベルおよび3Dの3・6・9・12の各レベルによる測位時間帯のほぼ中間を取り、各衛星の配置を示したものがFig. 4~7である。これらの結果から、衛星の組み合わせが同じ場合の配置に差は無く、測位結果に影響する原因として考えられるのは、測定時刻が昼間か夜間かということのみである。従って、C1での測定では昼間のため電離層の電子密度が高く、電波の伝搬経路上の屈折が大きくなることが主因と考えられる。しかし、この点については、更に周年にわたる定点測定を行い、確認する必要がある。

2.2 三定点における測位精度の比較

前項と同様に、2Dと3Dのレベル毎のデータ数

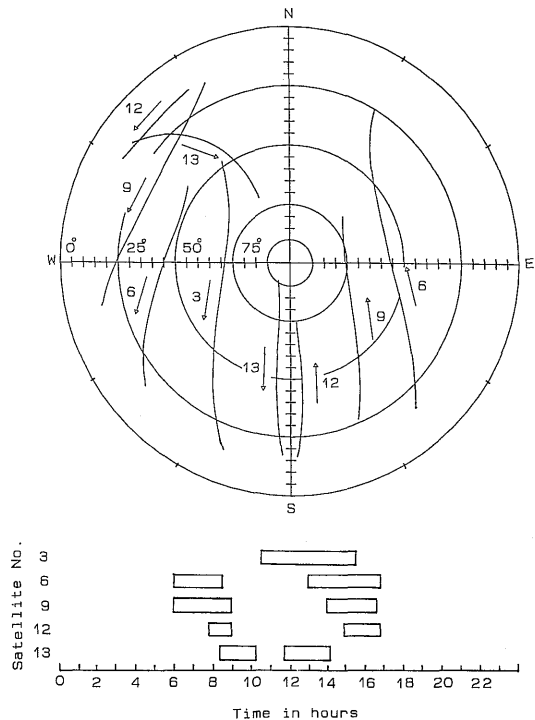


Fig. 2. The tracks and the usable time of each satellite in Nagasaki (Jan.). Arabic numerals (3, 6, 9, 12, 13) show satellite numbers. Center of the circle is zenith.

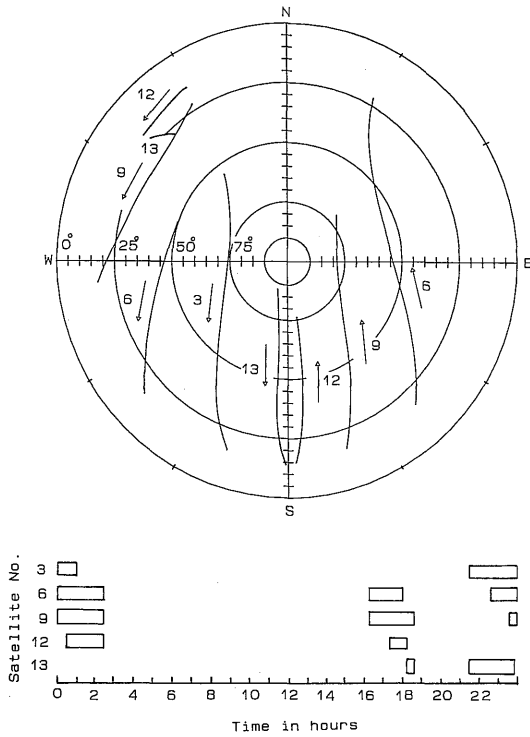


Fig. 3. The tracks and the usable time of each satellite in Nagasaki (Aug.). Arabic numerals (3, 6, 9, 12, 13) show satellite numbers. Center of the circle is zenith.

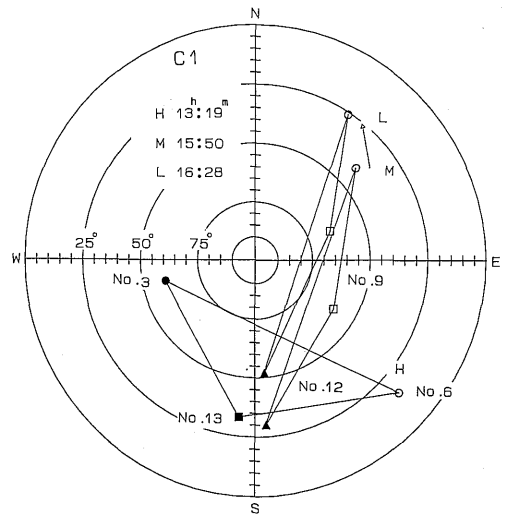


Fig. 4. The arrangement of combinations of satellites for each level on 2D. C1: Nagasaki (Jan. 1988) H: high level; M: middle level; L: low level Each number shows satellite number. Center of the circle is zenith.

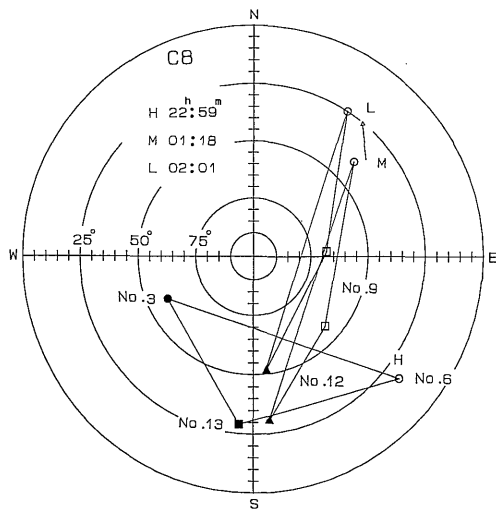


Fig. 5. The arrangement of combinations of satellites for each level on 2D. C8: Nagasaki (Aug. 1988) H: high level; M: middle level; L: low level Each number shows satellite number. Center of the circle is zenith.

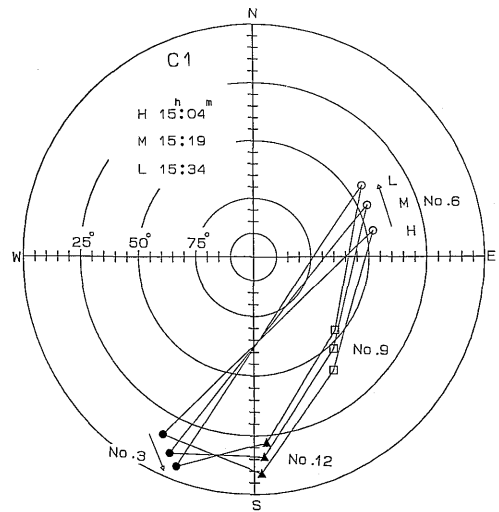


Fig. 6. The arrangement of combinations of satellites for each level on 3D. C1: Nagasaki (Jan. 1988) H: high level; M: middle level; L: low level Each number shows satellite number. Center of the circle is zenith.

Table 7. The mean values and standard deviations on D. lat, Dep and Distance by combinations of satellites for each level on 2D and 3D (unit in meter)

Dimension	Level	Combination Satellite No.	No. of Date	D. lat		Dep		Distance		
				Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	
C 1	2 D	High 3 · 6 · 13	88	59.2	56.8	59.1	33.1	83.7	65.7	
			29	53.1	36.0	98.2	45.7	111.6	58.2	
		Middle 6 · 9 · 12	26	37.6	58.6	161.9	146.9	166.2	158.2	
			12	-51.5	41.4	-94.3	72.8	107.4	83.7	
	Low 6 · 9 · 12	3 · 11 · 13	48	34.9	53.2	124.5	155.7	129.3	164.5	
			29	-72.7	63.0	-99.0	113.8	122.8	130.1	
	3 D	High	3 · 6 · 9 · 12	9	43.6	18.8	62.0	35.5	75.8	40.2
		Middle	3 · 6 · 9 · 12	22	55.2	24.0	59.1	51.7	80.9	57.0
		Low	3 · 6 · 9 · 12	6	76.6	51.9	42.1	135.8	87.4	145.4
C 8	2 D	High 3 · 6 · 13	59	15.9	9.6	-12.2	12.0	20.0	15.4	
			38	57.0	8.6	0.2	5.9	57.0	10.4	
		Middle 6 · 9 · 12	30	58.0	12.7	-15.1	40.6	59.9	42.5	
			11	-38.3	9.2	-113.9	20.1	120.2	22.1	
	Low 6 · 9 · 12	3 · 11 · 13	50	48.2	20.1	-5.3	48.9	48.5	52.9	
			41	-50.1	22.7	-110.1	34.6	121.0	41.4	
	3 D	High	3 · 6 · 9 · 12	7	47.8	2.0	-15.7	5.9	50.3	6.2
		Middle	3 · 6 · 9 · 12	21	51.3	6.3	0.4	28.1	51.3	28.8
		Low	3 · 6 · 9 · 12	4	62.0	34.1	-4.2	133.8	62.1	138.1

C1: Nagasaki (Jan.); C8: Nagasaki (Aug.); SD: standard deviation

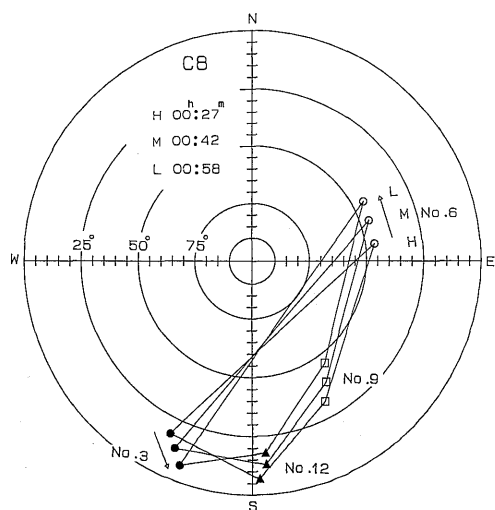


Fig. 7. The arrangement of combinations of satellites for each level on 3D.
C8: Nagasaki (Aug. 1988)
H: high level; M: middle level; L: low level
Each number shows satellite number.
Center of the circle is zenith.

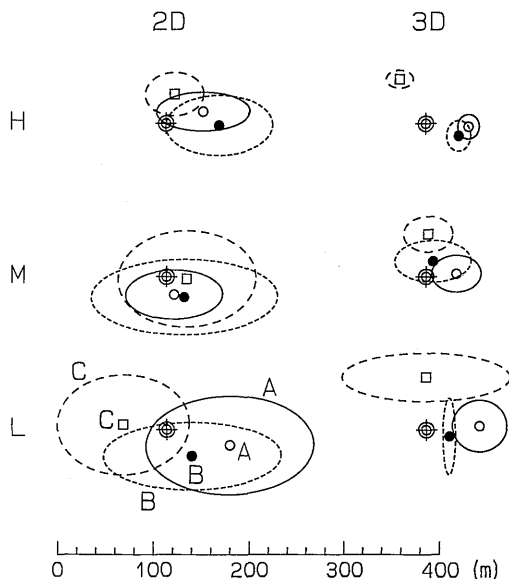


Fig. 8. The mean position and error ellipses (1σ).
2D:two-dimensional positioning
3D:three-dimensional positioning
H: high level; M: middle level; L: low level
A: Hakodate; B: Hamada; C: Nagasaki
⊗: observation position

と D. lat と Dep の平均値および標準偏差を Table 8 に示した。また, 各観測点を原点として, 各レベルの平均位置とその点を中心とする 1σ の誤差楕円を図示したものが Fig. 8 である。なお, 長崎では 2 回の測定を行ったが, 測定時期が A, B 両点でのそれに近い 8 月の測定を C 点の結果とした。

各測点の次元別, レベル別の平均偏位と標準偏差を個々に見ると, 条件によってばらつきはあるが, 全般的には次のような傾向がみられる。

(1) A, B 両点では平均位置が ENE~SE へ約 30~50m 偏位し, C 点では 3 D の場合には他の点よりデータ数が少なくなり, NNW~NNE 方向へ同程度

偏位する傾向がみられる。これは, 6 月初旬より 8 号衛星の信号を受信できなくなったことが影響しているものと考えられる。

(2) 各測点とも, 同じレベルで比べると Dep の標準偏差は 2 D が 3 D の 2 倍またはそれ以上であるが, D. lat の標準偏差は 50m 以下であり, 南北方向のばらつきは小さい。

(3) 全般的には Dep の標準偏差の方が D. lat のそれよりも大きく, 東西方向にばらつき, 誤差楕円は横長の形状を示している。しかし, 最も大きい B 点の 2 D の場合でも Dep の標準偏差は 100m 以下である。マクロな見方をすれば, いずれの場合も 68% 誤

Table 8. The mean values and standard deviations of D. lat, Dep and Distance for each level on 2D and 3D (unit in meter)

Dimension	Level	No. of Data	D. lat		Dep		Distance		
			Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	
A	2 D	H	143	12.0	19.6	38.6	48.5	40.4	52.3
		M	156	-18.3	25.3	7.8	50.5	19.9	56.5
		L	122	-15.7	49.8	65.5	87.5	67.5	100.7
		Total	421	-7.3	35.7	35.0	67.0	35.8	75.9
	3 D	H	68	-3.0	12.4	44.5	11.2	44.6	16.7
		M	16	3.3	19.0	31.5	25.7	31.7	32.0
		L	15	4.2	26.2	55.4	28.3	55.5	38.6
		Total	99	-0.9	16.4	44.1	18.6	44.1	24.8
	Total		520	-6.0	32.9	36.7	60.9	37.2	69.2
	B	2 D	H	156	-2.0	30.4	55.2	55.5	55.2
M			58	-20.9	38.9	18.4	96.7	27.8	104.2
L			175	-26.7	34.1	26.0	92.4	37.3	98.5
Total			389	-15.9	35.3	36.6	81.7	39.9	89.0
3 D		H	66	-12.3	15.5	34.3	12.6	36.4	20.0
		M	34	16.1	21.5	7.1	39.6	17.6	45.1
		L	4	-6.6	38.7	23.5	6.6	24.4	39.3
		Total	104	-2.8	22.8	25.0	27.7	25.2	35.9
Total			493	-13.2	33.5	34.1	73.8	36.6	81.0
C		2 D	H	132	29.6	21.8	8.8	30.4	30.9
	M		98	-2.1	49.7	21.1	71.7	21.2	87.2
	L		103	5.2	50.8	-45.3	68.9	45.6	85.6
	Total		333	12.7	43.6	-4.3	64.1	13.4	77.5
	3 D	H	20	44.7	5.7	-27.1	12.7	52.3	13.9
		M	26	44.0	18.5	2.5	25.5	44.1	31.5
		L	8	53.6	24.9	-0.5	87.7	53.6	91.2
		Total	54	45.7	16.3	-8.9	39.8	46.6	43.0
	Total		387	17.3	42.4	-4.9	61.2	18.0	74.5

A: Hakodate; B: Hamada; C: Nagasaki

H: high; M: middle; L: low; SD: standard deviation

差界は長半径が0.1海里以下の楕円となる。

(4) 3Dの測位精度には明らかな地域差は認められないが、2Dでは測点によって2Mや2Lのデータ数に著しい差がある。これは、地理位置の変化により、同じ組み合わせでも僅かながら高度と方位角に差があり、PDOP値が変化することによるものと考えられる。

ま と め

長崎における1月と8月のほぼ同じ定点での測定と、函館および浜田において測定を行った結果、1日の測位時間は函館では約8時間50分、浜田では約8時間30分、そして長崎では1月が約9時間、8月が約6時間30分で、8月には1月より約2時間半減少している。これは受信できた衛星数は6月までは7個であったが、長崎での8月の測定では8号衛星の信号が受信できなくなって、衛星数が6個に減ったためである。

各測点で多少の差がでたのは、全体の衛星数が少ないことと軌道上の配置の関係で、測点の緯度と測定時期により測定可能な時間が変化し、さらに測点の地形による影響を受けるためと考えられる。

今回試験的に高安定発振器を装着して、2衛星による二次元の測位を行ったが、Hレベルでは2Lとほぼ同じ精度であったので、これを利用すれば測位時間は約3時間半長くなる。なお、2衛星による測位精度の評価は今後の課題としたい。

長崎における1月と8月の測定結果は、3H以外の各レベルでは、いずれも1月の測定の方が測位誤差が大きく、測定時刻の違いによる電離層の電子密

度の相違が影響するものと考えられる。

3Dでは各測点ともほぼ同程度の誤差で、顕著な地域差は認められなかった。2Dでは各レベルとも測位誤差は0.1海里以下であったが、その大きさやデータ数にはかなりの変動が見られ、定性的な傾向は把握できなかった。

従って今後の課題として、定期的に数個所の測点で測定を行い、時期による精度の変化やPDOP値と衛星の配置による測位誤差の傾向などを確認することが必要である。

本研究にあたり、測定に御協力いただいた長崎丸船長矢田殖朗教授、並びに鶴洋丸船長秋重祐章助教授および両船の乗組員各位に深甚の謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 合田政次 他2名(1987) : GPSの測位精度—I, 陸上定点における測定, 本誌62, 33-40
- 2) 合田政次 他2名(1988) : GPSの測位精度—II, 二定点における同時測定, 本誌63, 55-63
- 3) 久野俊行 他3名(1988) : GPSの測位精度—III, 同型受信機による同時測定, 本誌64, 17-22
- 4) 木村小一(1988) : 船の科学, 1, 104-108, 東京, 船舶技術協会
- 5) 木村小一(1987) : 造船技術, 5, 41-79, 東京, (株)ジャパン・インダストリアル・パブリッシング
- 6) 日本測地学会編(1986) : GPS—人工衛星による精密測位システム—, 69-88, 東京, 日本測量協会