

GPSの測位精度—Ⅹ

南北両半球の定点における同時測定

青島 隆, 久野 俊行, 合田 政次, 中根 重勝

Accuracies of Position Fixes Obtained by GPS—Ⅹ Simultaneous Observation at Fixed Stations in the Northern and Southern Hemispheres

Takashi AOSHIMA, Toshiyuki KUNO,

Masaji GODA and Shigekatsu NAKANE

In order to evaluate the positioning accuracy of GPS, we have analyzed position fixes by means of simultaneous observations at two fixed stations in the Northern and Southern Hemispheres in autumn for the past three years. We were able to receive positioning signals from 16 satellites in 1991, 19 in 1992 and 23~24 in 1993. In the result, Position Dilution of Precision (PDOP) improved, and then the proportion of high-level position fixes by 3D (three-dimensional positioning) increased. The error of position fixes were about 40m~60m through the past three years, so we may consider this system is nearing completion.

Key words : GPS global positioning system

PDOP position dilution of precision

北半球 Northern Hemisphere; 南半球 Southern Hemisphere

著者らは、これまで衛星航法システム NAVSTAR/GPS(以下 GPS と記す)の国内外における定点観測での測位精度について評価を行ってきた。^{1,2,3)}

本報では、より離れた2地点における測位精度の評価を行った。すなわち、過去3年間の遠洋航海における南半球の寄港地と、北半球の1地点で同時期に測定を行い、測位精度の評価を行ったので報告する。

測定方法および資料

本学部練習船鶴洋丸が、1991年~1993年の遠洋航海で寄港したオークランド港と、それと同時期に本学部航法科学研究室で測定を行った。評価のための基準位置の緯度・経度を、アンテナ位置から海図より求め、これを測地系 WGS-84⁴⁾に変換した。港名、測定年と測定場所の略記号、測定年月日、及び基準位置を Table 1 に示した。

使用したGPS受信機は、両地点とも日本無線(株)製 JLR-4000F である。測定にあたって、GPS位置をこれまでと同様^{1,2,3)}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た。受信機とパソコン(NEC PC-9801)

を接続し、受信機から出力される緯度・経度などのデータを、1分間隔でフロッピーディスクに記録した。

結果および考察

1. 測定衛星番号と衛星数

測定した衛星番号と衛星数を Table 2 に示した。両地点において、位置の測定に使用した衛星の個数は年々増加している。また衛星は、両地点でほとんど同じ番号のものであったが、A93で3番衛星のみ観測されなかった。これは'93年に衛星数が24個に増加したため、南半球ではその配置上PDOP(幾何学的精度を示す係数)の値が大きくなり、測位に使用されなかったものと考えられる。また、両地点とも全データの、基準位置からの緯度方向の偏位(変緯、以下 D. lat と記す)と経度方向の偏位(東西距、以下 Dep と記す)のいずれかが標準偏差の3倍以上となるものを棄却した。そして4衛星による三次元測位(以下3Dと記す)と、3衛星による二次元測位(以下2Dと記す)に分け、測定データ数、棄却データ数、及び使用したデータ数の割合を Table 3 に示した。既報^{1,2,3)}では、偏位が数海里に及ぶため除外した

Table 1 Observation positions (WGS-84)

Station		Year	Date	Latitude	Longitude
Harbor	Code				
Nagasaki	N91	1991	27th Nov.~30th Nov.	32° 47. 163' N	129° 51. 935' E
Nagasaki	N92	1992	17th Nov.~18th Nov.	32° 47. 163' N	129° 51. 935' E
Nagasaki	N93	1993	23rd Nov.~27th Nov.	32° 47. 163' N	129° 51. 935' E
Auckland	A91	1991	26th Nov.~29th Nov.	36° 50. 354' S	174° 45. 930' E
Auckland	A92	1992	20th Nov.~24th Nov.	36° 50. 556' S	174° 46. 151' E
Auckland	A93	1993	22nd Nov.~26th Nov.	36° 50. 573' S	174° 46. 076' E

データがあったが, 今回はその様なデータはなく, 棄却されたデータ中, 最大でも0.4海里であった。また棄却したデータ数も減少したために, 3Dの使用率はN91での96.4%を除き, その他では98%を越えていた。測定データ数に占める2Dの割合は, 年と共に減少しN93では0となった。一方,

Table 2 The No. of satellites

Code	No. of satellites	Total
N91	2, 3, 6, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24,	16
N92	2, 3, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 28,	19
N93	1, 2, 3, 4, 5, 7, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 31	24
A91	2, 3, 6, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24,	16
A92	2, 3, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 28,	19
A93	1, 2, 4, 5, 7, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 31	23

Table 3 The number of data and the ratio of used data

Code	Number of data			Percentage of used data (%)
	Dimension	Observation(%)	Rejected Used	
N91	2 D	578(20.4)	19 559	96.7
	3 D	2262(79.6)	81 2181	96.4
	Total	2840	100 2740	96.5
N92	2 D	7(0.5)	0 7	100.0
	3 D	1515(99.5)	24 1491	98.4
	Total	1522	24 1498	98.4
N93	2 D	nil	- nil	-
	3 D	3208(100.0)	43 3165	98.4
	Total	3208	43 3165	98.4
A91	2 D	294(8.2)	6 288	98.0
	3 D	3274(91.8)	56 3218	98.3
	Total	3568	62 3506	98.3
A92	2 D	129(3.1)	0 129	100.0
	3 D	4008(96.9)	63 3945	98.4
	Total	4137	63 4074	98.5
A93	2 D	4(0.1)	0 4	100.0
	3 D	3410(99.9)	66 3344	98.1
	Total	3414	66 3348	98.1

2D : Two-dimensional positioning ; 3D : Three-dimensional positioning.

Table 4 The mean values and standard deviations of D. lat, Dep and Distance for each level(unit in meter)

Code	Dimension	Level	No. of Data	Percentage (%)	D. lat		Dep		Distance	
					Mean	SD	Mean	SD	Mean	Direction
N91	2 D	H	543	19.8	2.7	34.7	40.0	25.9	40.1	86.1°
		M	13	0.5	16.5	21.9	100.8	17.3	102.1	80.7°
		L	3	0.1	5.0	-	77.5	-	77.7	86.3°
	3 D	H	1950	71.2	5.6	28.8	43.0	31.7	43.4	82.6°
		M	157	5.7	10.5	39.2	41.6	40.1	42.9	75.8°
		L	74	2.7	2.8	43.7	50.1	43.2	50.2	86.8°
Total		2740	100.0	5.4	31.3	43.0	31.7	43.3	82.8°	
N92	2 D	H	7	0.5	-17.4	-	27.5	-	32.5	122.3°
	3 D	H	1474	98.4	9.1	25.7	47.7	26.8	48.6	79.2°
		M	14	0.9	-14.7	31.6	37.5	25.5	40.3	111.4°
		L	3	0.2	-67.3	-	28.2	-	73.0	157.3°
Total		1498	100.0	8.6	26.2	47.5	26.8	48.3	79.7°	
N93	3 D	H	3165	100.0	5.9	28.8	46.4	25.1	46.8	82.8°
A91	2 D	H	287	8.2	25.2	39.0	41.7	28.5	48.7	58.9°
		M	1	-	0.2	-	43.4	-	43.4	89.7°
	3 D	H	3129	89.2	15.4	31.3	46.9	23.0	49.4	71.8°
		M	47	1.3	17.4	28.1	47.7	35.7	50.8	70.0°
		L	42	1.2	9.2	44.2	53.0	22.3	53.8	80.2°
Total		3506	100.0	16.1	32.5	46.4	23.9	49.1	70.9°	
A92	2 D	H	128	3.1	-14.5	60.7	33.3	46.0	36.3	113.5°
		M	1	-	-131.5	-	-13.9	-	132.2	186.0°
	3 D	H	3889	95.5	-1.1	34.8	39.6	23.1	39.6	91.6°
		M	55	1.4	8.0	54.2	24.3	30.1	25.6	71.8°
		L	1	-	20.4	-	51.3	-	55.2	68.3°
Total		4074	100.0	-1.0	35.8	39.4	24.0	39.4	91.5°	
A93	2 D	H	1	-	172.4	-	109.4	-	204.2	32.4°
		M	3	0.1	-66.5	-	56.1	-	87.0	139.8°
	3 D	H	3318	99.1	26.2	32.5	57.8	24.4	63.5	65.6°
		M	21	0.6	31.0	82.0	67.9	33.5	74.6	65.5°
		L	5	0.2	7.2	-	49.5	-	50.0	81.7°
Total		3348	100.0	26.2	33.3	57.8	24.5	63.5	65.6°	

2D : Two-dimensional positioning; 3D : Three-dimensional positioning; H : High; M : Middle; L : Low; (+):Northerly or Easterly; (-):Southerly or Westerly; SD : Standard deviation.

3 D の割合は、N91では79.6%であったが、N93では100%、A93でもほぼ100%になった。

2. 測位精度

測位結果の D.lat と Dep について、それぞれの平均値と標準偏差を求めた。さらに基準位置から平均位置までの距離 (以下 Dist と記す) と方向 (以下 Dir と記す) を求め、それらの計算結果を Table 4 に示した。先に述べたように、両地点とも 3 D の割合が増加しているが、特に 3 D の中でも H レベル (PDOP ≤ 5) の占める割合は、オークランドで 89.2%から99.1%へ、長崎では71.2%から100%へと著しく向上し、受信された信号のほとんどが 3 D の H レベルによるものであった。従って 3 D の H レベルについて Table 4 と同様にそれらを PDOP 別にしたものを Table 5 に示した。また各年度別に PDOP 1~5 について基準位置を原点とし、

それぞれの平均位置を中心とする1σの誤差楕円を Fig.1~3 に示した。

PDOP が 2 の場合の占める割合は、長崎で'91年に44.0%であったのが'92年 72.8%、'93年 81.8%に、オークランドでは'91年 41.5%から'92年 56.9%、'93年 69.9%へと増加した。PDOP の値が 3 の場合と合わせると、長崎では81.1%から94.7%に、オークランドでは82.4%から91.4%に増加し、H レベル中 PDOP 2 及び 3 での測位がそのほとんどを占めていた。この場合の Dir は長崎で78.6°~88.6°、オークランドで63.2°~94.8°であった。また、Dist は長崎で平均値41m~50m、オークランドで39m~65mであった。また、Dist は PDOP 別でみると長崎で最大値62.3m、最小値32.5mであり、オークランドでそれぞれ65.2mと26.6mであった。オークランドのほうがややばらつきが大きいのは、基準位置が係留中の船舶であるため、潮汐や風による多少の船体移動が影

Table 5 The mean values and standard deviations of D. lat, Dep and Distance for each level (unit in meter)

Code	P DOP	No. of Data	Percentage (%)	D. lat		Dep		Distance	
				Mean	SD	Mean	SD	Mean	Direction
N91	1	11	0.6	16.4	—	60.1	—	62.3	74.7°
	2	858	44.0	9.1	24.3	45.3	26.5	46.2	78.6°
	3	724	37.1	1.0	27.4	40.8	34.2	40.8	88.6°
	4	293	15.0	8.5	38.1	43.8	37.8	44.6	79.0°
	5	64	3.3	-4.5	42.0	32.2	34.9	32.5	98.0°
	Total	1950	100.0	5.6	28.8	43.0	31.7	43.4	82.6°
N92	1	48	3.3	8.6	13.9	50.7	30.5	51.4	80.4°
	2	1073	72.8	9.8	25.4	49.3	26.6	50.3	78.8°
	3	297	20.1	6.6	26.3	42.2	26.1	42.7	81.1°
	4	38	2.6	7.4	35.2	43.1	23.7	43.7	80.3°
	5	18	1.2	12.3	—	43.7	—	45.4	74.3°
	Total	1474	100.0	9.1	25.7	47.7	26.8	48.6	79.2°
N93	1	155	4.9	8.6	23.4	46.9	24.5	47.7	79.6°
	2	2588	81.8	5.9	28.6	46.4	24.6	46.8	82.8°
	3	410	12.9	4.3	32.2	46.1	28.6	46.3	84.7°
	4	12	0.4	19.5	—	38.6	—	43.2	63.2°
	5	0	—	—	—	—	—	—	—
	Total	3165	100.0	5.9	28.8	46.4	25.1	46.8	82.8°
A91	1	12	0.4	-6.1	—	53.0	—	53.3	96.6°
	2	1229	41.5	13.7	25.9	48.8	22.1	50.7	74.3°
	3	1280	40.9	15.0	34.2	47.1	23.8	49.4	72.3°
	4	427	13.7	19.9	36.0	42.5	22.9	46.9	64.9°
	5	111	3.5	23.7	33.2	39.0	19.9	45.6	58.7°
	Total	3129	100.0	15.4	31.3	46.9	23.0	49.4	71.8°
A92	1	2	0.1	33.3	—	49.8	—	59.9	56.2°
	2	2212	56.9	-3.3	32.3	39.1	21.9	39.2	94.8°
	3	1208	31.1	0.6	36.0	40.7	24.4	40.7	89.2°
	4	414	10.6	4.6	39.0	41.6	24.6	41.9	83.7°
	5	53	1.3	8.7	57.6	25.1	27.0	26.6	70.9°
	Total	3889	100.0	-1.1	34.8	39.6	23.1	39.6	91.6°
A93	1	8	0.2	9.2	—	58.7	—	59.4	81.1°
	2	2319	69.9	25.9	29.3	58.1	23.2	63.6	66.0°
	3	712	21.5	29.4	37.8	58.2	27.3	65.2	63.2°
	4	244	7.4	22.1	38.6	54.1	24.9	58.4	67.8°
	5	35	1.0	10.2	56.3	54.3	31.7	55.2	79.4°
	Total	3318	100.0	26.2	32.5	57.8	24.4	63.5	65.6°

2 D : Two-dimensional positioning; 3 D : Three-dimensional positioning; H : High; M : Middle; Low; (+) : Northerly or Easterly; (-) : Southerly or Westerly; S D : Standard deviation.

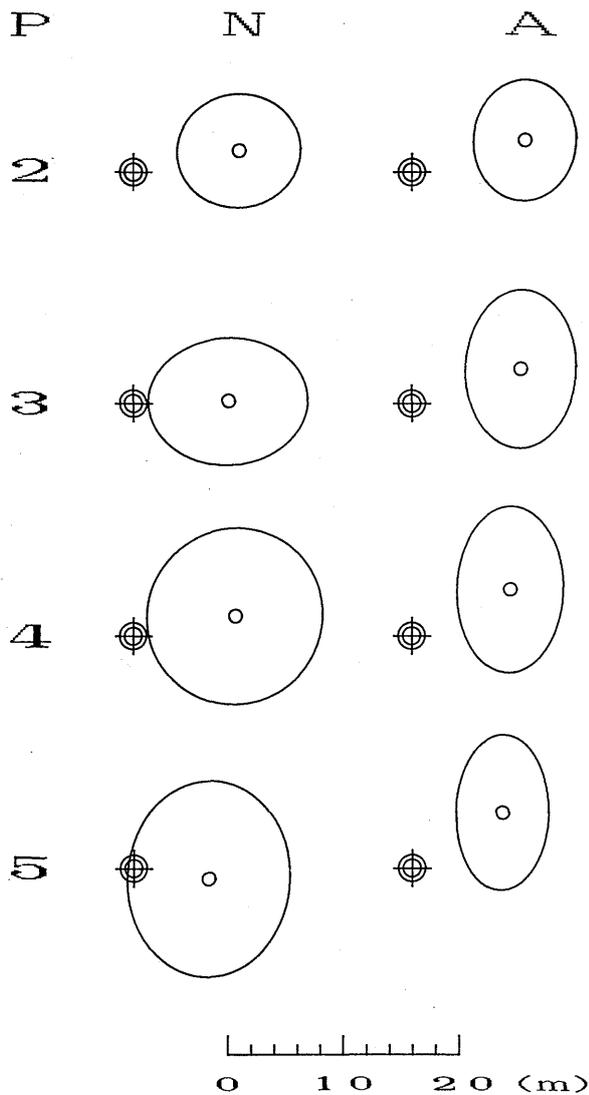


Fig. 1. The mean position and error ellipses of 1σ in 1991.

N : Nagasaki A : Auckland P : PDOP
 ⊕ : Observation position ○ : Mean position

響したことから考えられる。しかし両地とも最大値と最小値の差は約30m~40m程度であり, D.lat, Dep の標準偏差も30m前後にすぎない。このように衛星の個数が増加したことで, PDOP が2~3で90%以上測位できるようになったので, 以前のような大きな誤差を表示する場合が著しく減少し, 本システムはより安定したものとなってきている。

ま と め

GPS システムについて, 南北両半球での緯度差約70°に及ぶ遠隔地において同時測定を行い, その精度を求めた結果, 両地ともに安定した信号が受信できた。'93年現在における測位誤差は平均で約40m~60m前後である。よって, 一般の航海においては無視し得る誤差しかなく, 水深測量や海底障害物回避等の場合にも有効に利用できると考えられる。現時

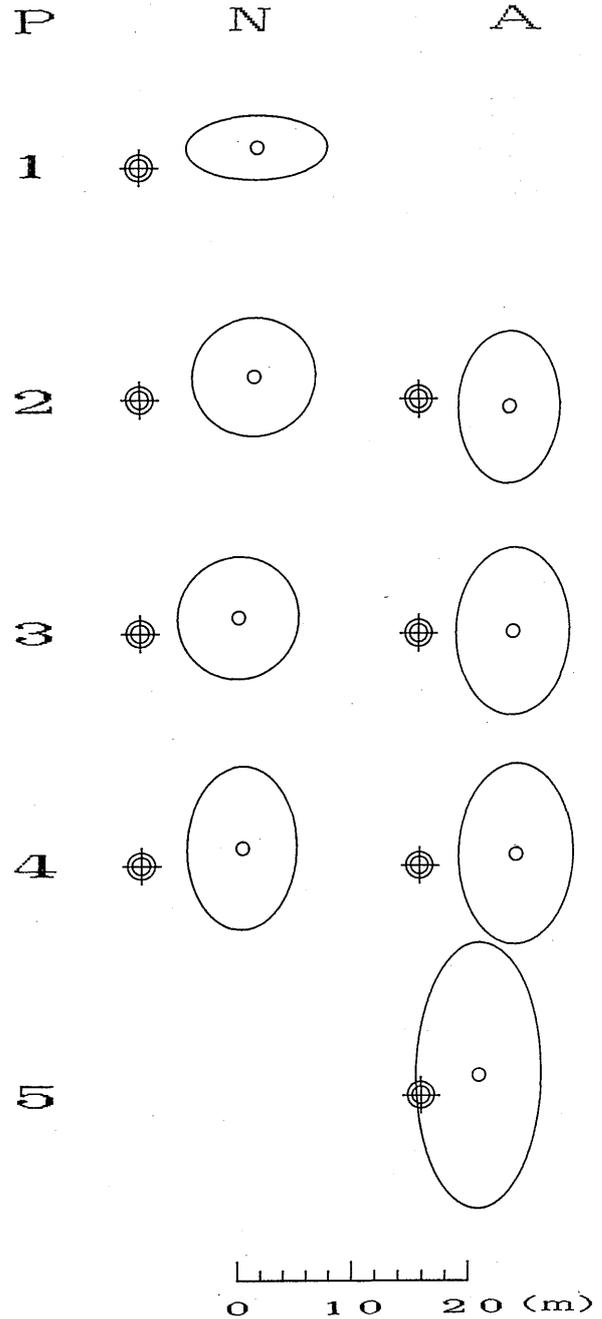


Fig. 2. The mean position and error ellipses of 1σ in 1992.

N : Nagasaki A : Auckland P : PDOP
 ⊕ : Observation position ○ : Mean position

点では正式な運用開始は発表されていないものの, 衛星の個数は既に当初の計画数に達しており, 本システムは概ね完成したものと言えよう。しかし, その運営は米国が管理しているため, 選択利用性 (SA ; Selective Availability)⁵⁾の解除や実施に関する情報は不明な点が多い。従って, 今後も引き続き測定を行ない精度の変化に注意する必要がある。

最後に, 本研究に際し, 測定に御協力頂いた鶴洋丸船長秋重祐章助教授および乗組員各位に深甚の謝意を表す。

参考文献

- 1) 合田政次, 久野俊行, 中根重勝: GPS の定点における測位精度, 日本航海学会誌 航海, 102, 27-33 (1989).
- 2) 合田政次, 久野俊行, 中根重勝: GPS の測位精度-VII 陸上定点における測定 (2), 本誌, 69, 43-48 (1991).
- 3) 久野俊行, 合田政次, 中根重勝: GPS の測位精度-VIII 海外の定点における測定 (2), 本誌, 70, 19-28 (1991).
- 4) 木村小一: 船の科学, 1, 船舶技術協会, 東京, (1988), pp.104-108.
- 5) 木村小一: 船の科学, 9, 船舶技術協会, 東京, (1988), pp.81-85.

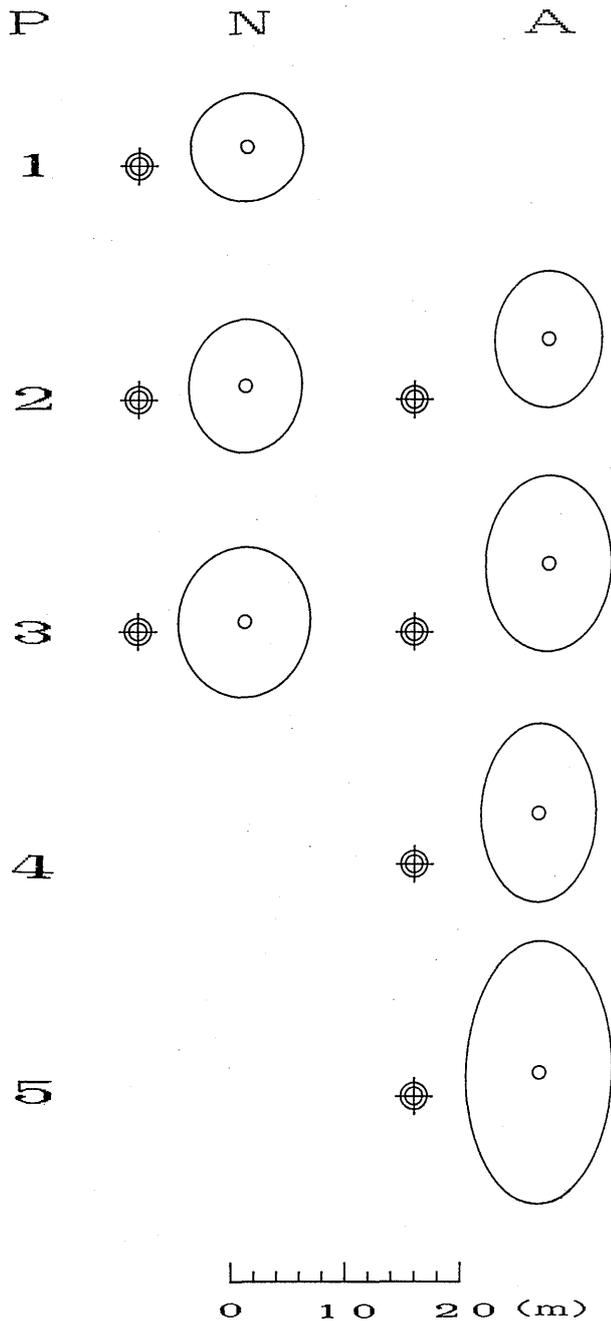


Fig. 3. The mean position and error ellipses of 1σ in 1993.
 N : Nagasaki A : Auckland P : PDOP
 ⊕ : Observation position ○ : Mean position