

GPS の測位精度 - III 同型受信機による同時測定

久野俊行, 合田政次, 中根重勝, 趙乙濟*

Accuracies of Position Fixes Obtained by GPS—III Simultaneous observation with two identical GPS receivers

Toshiyuki KUNO, Masaji GODA, Shigekatu NAKANE and Eul Je Jo

In order to study the differences between two GPS receivers of the same type, simultaneous measurements were taken at same station from 13th to 14th January, 1988.

We received positioning signals from 7 satellites, and the usable time of each receiver was about 9 hours.

The combination and the number of satellites on positioning varied between two receivers.

The distance between the fixed position of the two receivers was under 10 m.

There was little practical difference between the two receivers in the case of the same combinations of satellites.

Different combinations of satellites accounted for 28% of the total time and the average and standard deviations were larger than for the same combinations of satellites.

GPS受信機の誤差を把握するため、同型式の受信機2台を使用して、1988年1月13日から14日にかけて、一昼夜の同時観測を行った。

その結果、7個の衛星からの信号が受信でき、利用可能な時間は両受信機共に約9時間であった。測位に利用する衛星の組み合わせや衛星の数が、受信機によって異なることがあった。

平均位置間の距離は、同じ組み合わせの場合ほぼ10m以下であり、実用上は両受信機に差はなかった。しかし、異なる組み合わせは全体の28%を占め、同じ組み合わせの場合より平均値、標準偏差ともに差が大きかった。

Key words : 同時測定 simultaneous observation ; 測位時間 usable time ; 2次元測位 two-dimensional positioning ; 3次元測位 three-dimensional positioning ; PDOP position dilution of precision

著者らは、これまで、衛星航法システム NAVSTAR/GPS (以下 GPS と略す) の陸上定点での測位精度について評価を行ってきた。^{1,2)} その場合、受信機 (日本無線(株)製 JLR-4000) による誤差は取扱い説

* 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

明書によると30m RMS (C/Aコード)であり, 二定点における同時測定²⁾では, 測位誤差に比較して受信機自体による誤差は微小と考えられるので考慮しないものとしてきた。しかしながら, 本学部練習船長崎丸で, アンテナを270cm離して2本設置し, 同一型式の受信機2台で測定した時, 衛星の組み合わせが一部異なる事例がみられた。従って, 同一型式の受信機でもそれ自体の誤差が異なることも考えられるので, 受信機の違いによる誤差がどの程度であるかを把握しておく必要がある。本研究では, 同一型式の受信機を2台(以下各々の受信機をAおよびBと記す)を使用し, 同一地点において同時に連続測定し, その精度について評価を行ったので, その結果について報告する。

測定方法および資料

測定は昭和63年1月13日14時15分~翌14日14時14分までの一昼夜, 長崎港柳ふ頭北側岸壁に係留中の本学部練習船長崎丸で行った。測定結果はプリンター(NKG-22)により1分間隔で記録したが, 視界内にある各衛星の方位角および仰角は3分間隔で筆記した。柳ふ頭北側岸壁はほぼ東西に造られており, 測定時の長崎丸の船首方向は280度であった。受信機Aのアンテナはレーダーマスト最上部にあるハンドレールに船首尾線から左舷側正横方向に135cm離して固定してある。受信機Bのアンテナはそれと対称の位置に仮設したので, 両アンテナの間隔は270cmであった。基準位置はAのアンテナの位置(Lat 32°42.103'N, Long 129°50.870'E)を海図(No.202 長崎港 1/10000)から求め, これをWGS-72測地系に変換したもの(Lat 32°42.300'N, Long 129°50.727'E)を用いた。受信機の使用モードは前回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た。

結果および考察

1 測位時間

今回は, 前回までの6個の衛星に加えて8号衛星も受信できた。従って, 測位時間が長くなり, 約9時間測位できた。測位中の時間経過に伴う各衛星の高度の変化と, 測位に使用した衛星の組み合わせをFig. 1に示す。ただし, 14日の朝, 受信機Bでは測位開始か

ら40分間測定ができなかったが, 電源の再投入により機能を回復するというトラブルがあった。受信機Bのトラブルを除けば, 両受信機に測位時間の差は見られなかった。

両受信機とも前述のごとく, 最適衛星選択モードに設定して測定を行ったが, Fig. 1に見られるように13日の15時頃, 受信機Aでは衛星の組み合わせが3・6・9・12(衛星の組み合わせを表わす番号。以下同様に番号のみを記す), (PDOP 5)で三次元測位(以下3Dと記す)であるが, 受信機Bでは3・6・12(PDOP 3)で二次元測位(以下2Dと記す)である。その時の衛星の配置状態を表わしたがFig. 2である。中心を受信点の天頂として, 円周に衛星の方位を, また, 円周から中心に向かって衛星の仰角を示してある。Bでは, 14時55分~15時25分の間9号衛星を受信はしているが, 測位に用いていない。その間12号衛星を用い2Dの位置を算出している。一方Aではその間両者を用いて3Dの良好な位置が求められている。この様にAでは3Dであり, Bでは2Dと言う場合が14日の08時30分~09時頃にも見られたが, 逆のケース, すなわちAでは2Dであり, Bでは3Dというケースは見られなかった。この結果, 受信機Aでは, 2Dで7時間13分, 3Dで1時間46分, 受信機Bでは, 2Dで7時間12分, 3Dで46分の測位時間であった。3DはAでも22%にすぎず, ことにBでは10%のみで高精度の測位ができる機会が著しく少なかった。また一チャンネルの受信機では, 使用する衛星が切換わる場合には取込みと計算のため測位の中断が発生することがある。³⁾ 今回の測定でも, Aでは1分間の中断が1回あったのみであるが, Bでは1分間の中断が2回, 4分間の中断が1回あり, その他に同じ組み合わせでの測位中にも1分間と, 17分間の中断が各1回あった。1分間の中断については, 前述³⁾の測定と同じ理由が考えられるが, AとBでは回数に差があることと, Bの4分および17分にわたる中断は受信機における何らかのトラブルが考えられるので, 後日工場で点検したが, 異常なく原因は不明である。

2 両受信機による測位結果の比較

全データより受信レベル不明のデータ(A10個, B8個)を除き, さらに観測点からの変緯, 東西距(以下D.lat, Depと記す)が標準偏差の3倍(3 σ)以上のデータ(A26個, B17個)を棄却した。また, B

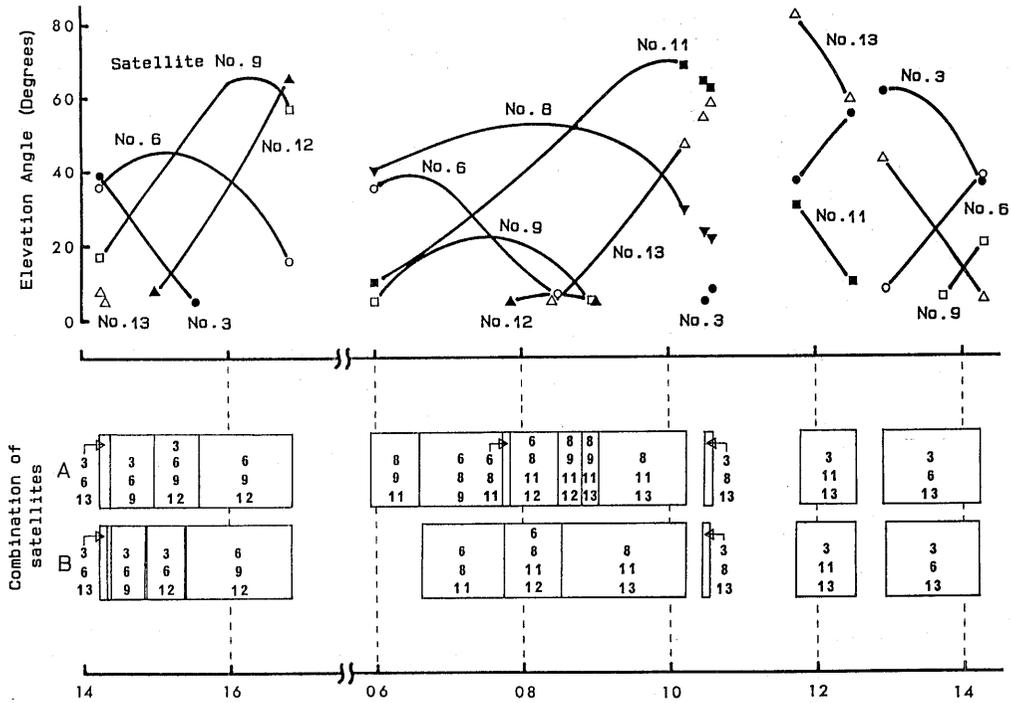


Fig. 1. Elevation angle of satellites and the combinations of satellites observed from 13th to 14th Jan. 1988.
 A, B : each receiver.
 Arabic numerals in quadrangles are satellite numbers.

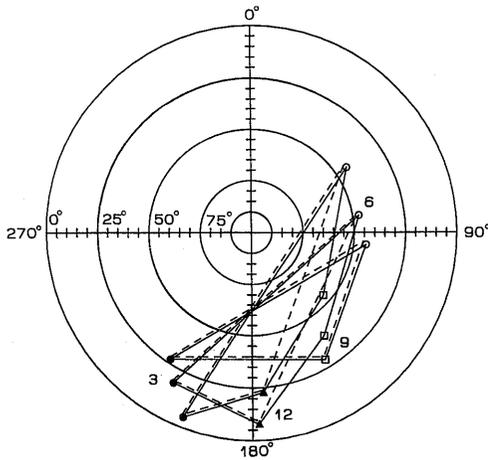


Fig. 2. The arrangement of satellites at about 15h 15m, 13th Jan. 1988.
 Full line : combination of satellites as fixed by receiver A.
 Broken line : combination of satellites as fixed by receiver B.
 Arabic numerals (3, 6, 9, 12) are satellite numbers.
 Center of the circle is zenith.

では位置が1.8~2.1海里もずれていた6個を除き、AではBで測位されなかった14日朝6時から40分間のデータ(41個)を除外して、A476個、B457個について検討した。受信機AとBでの衛星の組み合わせはFig. 1にみられるように時間経過に従って変化する。そこで両受信機で測定した時間幅を同じにして、組み合わせが同じ場合と異なる場合に分けて、データ数、PD OPおよびD.latとDepの平均値と標準偏差を求めたものをTable 1に示す。また、観測点を原点として同時間帯において、同じ組み合わせ毎の平均位置と、その点を中心とする1σの誤差楕円をFig. 3に示し、異なる組み合わせのそれらをFig. 4に示した。なお組み合わせによるデータ数の合計は、上記A476個、B457個と一致しないが、これは、例えば3・6・13の場合A、Bとも始めは14時15分で、終りは14時23分と14時21分であるが、時間幅を同一にするためAの14時21分以後の2分間のデータは棄却したからである。

Table 1. The mean values and standard deviations of D. lat and Dep by combination of satellites with two receivers. (unit in meter)

	Combination Satellite No.	Range of PDOP	No. of Date	D. lat		Dep		
				Mean	S. D.	Mean	S. D.	
A	3・6・13	2	82	65.7	53.4	64.3	29.7	
	3・6・9	2	22	49.7	35.4	101.7	51.1	
	6・9・12	8→20	73	39.6	55.2	138.9	153.8	
	6・8・11・12	4	39	31.8	18.5	44.6	26.7	
	8・11・13	9→19	60	222.6	126.3	235.6	104.1	
	3・11・13	19→9	27	61.7	59.9	95.2	102.7	
	Total		303	73.6	108.0	102.2	131.7	
	3・6・9・12	5→8	26	52.7	23.2	65.2	46.5	
	6・8・9	5→2	62	1.5	33.1	117.3	38.3	
	8・9・11・12	4	16	24.3	30.0	39.7	27.0	
	8・9・11・13	5	13	22.8	21.6	37.0	33.9	
	Total		117	16.8	36.6	86.2	51.3	
	B	3・6・13	2	82	57.4	49.1	69.3	24.5
		3・6・9	2	29	31.9	97.4	173.4	182.7
6・9・12		8→20	75	31.4	54.6	152.4	146.0	
6・8・11・12		4	40	38.0	15.7	47.9	30.9	
8・11・13		9→19	64	227.7	121.8	243.3	102.7	
3・11・13		19→9	15	74.1	69.3	98.2	128.6	
Total			305	75.3	111.7	125.1	137.6	
3・6・12		3	26	83.3	38.9	91.0	52.2	
6・8・11		5→2	63	18.5	43.4	95.5	37.4	
8・11・13		8→9	15	206.2	77.3	151.2	27.5	
8・11・13		9	13	236.5	91.7	186.9	48.2	
Total			117	81.2	98.9	111.8	52.4	

S.D. : standard deviation

その結果, 同じ組み合わせは7組あり, このうち3Dは1組だけであった。また3・8・13についてはデータ数が少ないので除外した。異なる組み合わせは4組で, このうちAでは3Dで, Bでは2Dが3組, 両受信機ともに2Dの場合が1組あった。以下, 同じ組み合わせの場合と異なる組み合わせの場合について記す。なお, 本報では受信機間の差を検討することが目的であったので, 個々の受信機による測定位置の, 観測点からの偏位については考慮しないものとした。

2. 1 同じ組み合わせの場合

D.lat は3・6・9ではAの方がBより17.8m, 3・11・13ではBの方がAより12.4m大きい, その他はいずれも10m未満の差にすぎない。DepについてはBの方が3・6・9で71.7m, 6・9・12で13.5m大きい, その他は10m未満である。これらの平均位置間の距離は, 3・6・9が74m, 6・9・12が16m, 3・

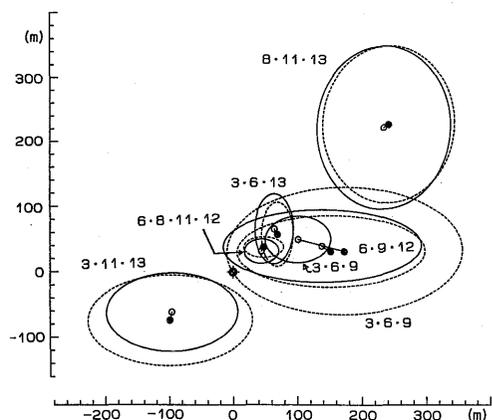


Fig. 3. The mean position and error ellipses of 1σ for the same combination of satellites as observed by the two receivers at the same time.

⊗ : observation position ; ○ : mean position of receiver A ; ● : mean position of receiver B
Full line ellipses : receiver A
Broken line ellipses : receiver B

11・13が12mであるが、その他はいずれも10m未満であった。上記10m以上の差がある組み合わせは全体の約22%であるが、特に差が大きかった3・6・9は約6%にすぎない。

誤差楕円の形状は両受信機ともほぼ同じであり、3・6・13と8・11・13でD.latが大きく縦長の楕円、その他はDepが大きく横長の楕円である。楕円の面積は3・6・9と3・11・13でBの場合が大きく、特に3・6・9ではその差が著しいが、その他の場合はほぼ等しい。従って、実用上は両受信機間に差はないものとみなせる。

Bで3・6・9のDepが大きくなったのは、Depの誤差が3σ以下ではあるが約540mにおよぶ14時35分から41分までのデータ7個が含まれていたが、Aでは同時間帯のデータは3σ以上で棄却されたことによる。

この様な、測定値の急な変化は、電離層のじょう乱などの異常現象による影響が考えられる。⁴⁾ただし、山川電波観測所の電離層情報によれば、この間、大きな電離層のじょう乱はみられなかったが、13時から15時の間のF2層臨界周波数が、13日には14日よりも4.5~0.8MHz低く、1月の中央値よりも0.7~1.6MHz低かった*1ことが測定値急変の一因と考えられる。

2. 2 異なる組み合わせの場合

組み合わせが異なる場合は全体の約28%であった。個々の場合について見ると、Aでは3・6・9・12の3Dで測定し、そのPDOPは5~8であった時、Bでは3・6・12の2Dで、PDOPは3であった。この場合のD.lat、Depは、Bの方がやや大きいとともに横長の形状で、平均位置間の距離は約40mであった。

7時頃、Aでは6・8・9で測定し、Bでは6・8・11で測定した。この時の9号衛星と11号衛星の方位角と仰角は、313度の20度と301度の23度で、PDOPはともに5から2に変化し、2DのHレベルであった。楕円の形状は、Aが横長、Bが縦長であるが、緯度軸の方向に約10mの差がみられたものの、経度方向のそれはほぼ同じ大きさで平均位置間の距離は約30mであった。しかし、実用上ほとんど問題ないものとみなせよう。

また8時30分頃から9時頃までAでは8・9・11・12と8・9・11・13の3Dで、PDOP4~5のHレベルで測定したが、Bでは8・11・13の2Dで、しかもPDOP8~9のMレベルであった。この状況は全体の約7%にすぎないが、D.latは180~214m、Depは112~150mもBが大きく、平均位置間の距離も210~260m離れていた。楕円の形状は8・9・11・13で横長であったほかは縦長であった。この場合にも緯度方向の差の方が大きく、約47mと70mであり、いずれもBの方が大きかった。経度方向の差は8・9・11・13で約14mBの方が大きかったが、8・9・11・12ではほぼ同じであった。

この様に組み合わせが異なることの一因として、仮設したアンテナが垂直でなく受信感度に差が生ずることが考えられる。

また、選択した衛星の配置状態によって、測位には一定の誤差傾向があり、⁵⁾誤差楕円の形状も選択した

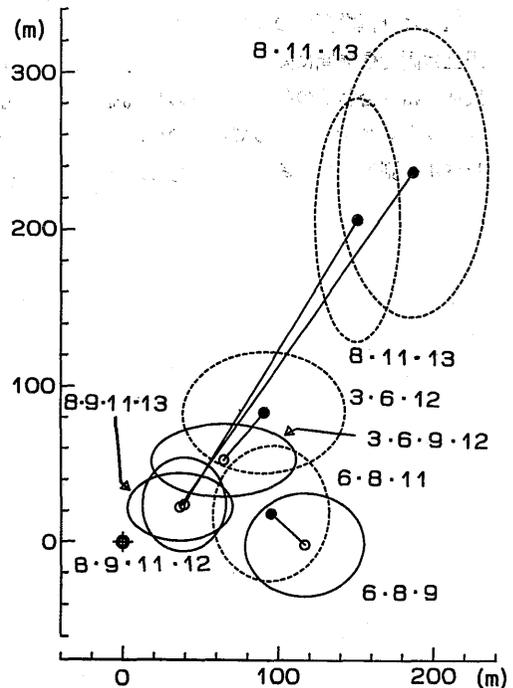


Fig. 4. The mean position and error ellipses of 1σ for different combinations of satellites as observed by the two receivers at the same time.

⊙ : observation position ; ○ : mean position of receiver A ; ● : mean position of receiver B
Full line ellipses : receiver A
Broken line ellipses : receiver B

* 1 GPSの測地利用および応用に関するシンポジウム集録 岩井 登, 他1名 (1987): GPS測位における電離層観測網の活用

衛星の配置状態によって縦長あるいは横長になると推測できる。

なお、本学部の屋上にも練習船と同じ様な状態でレーダーマストが設置されている。そこでレーダーマストの正横 85 cm の位置と、その位置から東西に 180 cm, 360 cm の位置にアンテナを移動させて各一昼夜の測定を行った結果、測位に使用する衛星の組み合わせおよび測位結果に差がみられた。従って練習船の場合にもアンテナ位置の違いによる反射波の影響の変化などが考えられる。

ま と め

受信機の誤差を把握するために、同型式の GPS 受信機 2 台を使用して、一昼夜の同時測定を行った結果、いずれも受信できた衛星数は 7 個であり、測位時間とともに約 9 時間で差はなかった。

受信状態は、測位に使用する衛星の組み合わせが同じ場合と異なる場合があり、同じ組み合わせの場合は、平均値および標準偏差の差はほぼ 10 m 以下にすぎず、実用上は両受信機間に差はないものと見なせた。しかし異なる組み合わせの割合は全体の 28% をしめ、一方が 3D の H レベルで測位しているのに、他方は 2D の M レベルで測定している場合さえあり、その場合平均

値、標準偏差ともに受信機による差が大きくなった。このような結果の原因としては、測定後工場で受信機の点検を行ったが異常はなかったため、仮設アンテナで測定したことが一因と考えられる。

本研究に際し、測定に御協力いただいた長崎丸船長 矢田殖朗教授をはじめ乗組員各位、受信機 (JLR-4000) およびプリンター (NKG-22) を使用させて頂いた日本無線(株)長崎営業所の各位、電離層情報を提供して下さった山川電波観測所吹留重登氏に深甚の謝意を表する。

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) 木村小一 (1986): 船の科学, 5, 87-91, 東京, 船舶技術協会
- 4) 木村小一 (1986): 船の科学, 6, 76-82, 東京, 船舶技術協会
- 5) 奥田邦晴 (1987): 船舶用 GPS 受信装置の測位精度について, 日本航海学会誌 航海, 94, 39-43