

GPS 搬送波相対測位における 標準偏差と Fix 率向上のための基礎的検討

中西 慶¹・劉 ウェン²・山崎 文雄³

¹非会員 千葉大学 大学院工学研究科 大学院生 (〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町 1-33)

E-mail:acca2156@chiba-u.ac.jp

²正会員 千葉大学 大学院工学研究科 助教

E-mail:wen.liu@chiba-u.jp

³正会員 千葉大学 大学院工学研究科 教授

E-mail:fumio.yamazaki@faculty.chiba-u.jp

GPS 搬送波を用いた相対測位では、コードを用いた単独測位や相対測位と比べて高精度の位置測位が可能となる。その精度は数 mm から数 cm と言われ、高精度な測位を必要とする建設事業や農業などの現場において活用されている。本研究では、測位精度に影響を与えると思われる標準偏差と Fix 率を向上させるために、如何なる手段が有効であるのかの検討を行った。検討の対象として、筆者らが測位を行った 47 地点の解析結果を用いた。それぞれの地点で測位環境や観測時間が異なるため、環境や時間によっても標準偏差と Fix 率に影響を与えるかどうかの検討も行った。その結果、信号強度の弱い衛星を解析から取り除くことで、標準偏差と Fix 率の向上につながることが確認できた。今後、有効な衛星選択除去の手法を検討し、より良い手法の確立を目指していきたいと考える。

Key Words : *Global Navigation Satellite Systems, Standard Deviation, Fixing Ratio, Environment, Removal*

1. はじめに

GPS (Global Positioning Systems) は、測位衛星からの受信電波を受信者側が利用することで位置測位を可能とするシステムである¹⁾。単独の受信機による測位は、即時性と低コストの特徴から、携帯端末やカーナビゲーション等に用いられている。しかしその測位誤差は数十 m と大きいのが、他アプリケーションと併用して用いられることで実用可能な精度を保っている²⁾。

正確な測位を必要とし、なおかつ即時性を必要としない測量や学術研究の場合は、受信機とは異なる地点に設置された基準点からのデータを併用する相対測位が行われる。基準点と受信機の衛星信号データの差をとることで、電離層や対流圏の影響による誤差、衛星や受信機の時計誤差を取り除くことができ、単独測位と比べてより高精度な測位が可能となる。とくに、搬送波を用いた相対測位では、1 波長が L1 帯で 17cm (1575.42MHz)、L2 帯で 19 cm (1227.60MHz) である正弦波の位相を読み取り位置を決定するため、数 mm から数 cm オーダーでの測位が可能となる³⁾。

しかし、搬送波を用いた相対測位では、整数値バイアスの決定をいかに効率的に行うかという課題がある。搬

送波の位相は、専用の受信機を用いれば得ることができ、得られた 0 から 2π までの位相のみでは波数の 2π の整数倍部分が特定できないため、これを別途特定する必要がある。この 2π の整数倍部分の特定が、整数値バイアスの決定と呼ばれ、様々な研究がなされている。

整数値バイアスの決定は、幾何学的な手法で解を得るため、衛星の配置に大きく影響を受ける。衛星の幾何学的配置が測位精度に与える影響をまとめ、衛星選択のアルゴリズムを提案した研究⁴⁾や、一部の整数値バイアスの決定に成功した観測データを用いて、すべての観測データを整数値バイアスの決定に導く研究⁵⁾などがある。

整数値バイアスが決定できた解は Fix 解と呼ばれる。Fix 解は求めたい測位地点とほぼ一致するため、Fix 解を得ることで測位精度は向上する。また、マルチパスや雑音の乱入、強度の低い信号など外部からの影響による誤差範囲を示す値を標準偏差としている⁶⁾。全測位解に対する Fix 解の割合である Fix 率と標準偏差は、ともに測位精度に大きく影響すると考えられる。そこで本研究では、標準偏差と Fix 率向上のために有効な手法を確立することを目的とする。その第一歩として、これまで筆者らが測位を行った地点において、どのような手法によって Fix 率と標準偏差が向上するのかの検討を行う。

2. 観測手法と観測データ

2015-16年において、表-1 に示す計 47 地点で GPS 搬送波相対測位を行った。観測に用いたアンテナは、NovAtel 社製の GPS-702-GG、受信機は NovAtel 社製の STARBOX/OEM615 内蔵モデルである。今回の観測では L1 と L2 の 2 周波で観測された GPS 信号を使用した。基準点情報として、日本 GPS データサービス(株)より購入した GEONET (GNSS Earth Observation Network System) の

1Hz サンプリングデータを使用した⁷⁾。

解析には RTKLIB ver2.4.2 を使用し⁸⁾、仰角 15° 以上の天空に位置する衛星を用いて解析を行った。

Fix 率は高いほど、標準偏差は小さいほど優れていると判断した。環境は、周囲の様子より建物に囲まれた B (Building)、周囲が開けた O (Open)、木陰の T (shade of Tree) の 3 つに区分した。平均衛星数は、設定仰角以上の天空に含まれる衛星数の観測時間平均である。番号 1 から 5 を除くすべての地点で静止観測を行った。

表-1 GPS 観測データ

番号	観測場所		観測日	観測時間 [分秒"]	基準局 (GEONETNo.)	基線長 [km]	周囲の様子	環境	精度評価								
									FIX 率	標準偏差 [m]	平均衛星数 [機]						
1	千葉大学 工学部裏	①	2015/5/14	150"	千葉花見川 (950225)	5.8		B	100.0%	0.022	5.0						
2		②		228"								5.8		B	88.7%	0.076	4.4
3	千葉大学 陸上競技場	①	2015/7/13	550"	千葉花見川 (950225)	5.8		B	36.3%	0.053	6.4						
4		②		929"								5.8		O	68.0%	0.019	7.2
5		③		633"								5.8		O	100.0%	0.009	8.0
6	千葉県消防局	P1	2015/8/5	4'10"	千葉緑 (93025)	4.8		O	100.0%	0.012	8.3						
7		P2		4'19"				4.8		O	97.3%	0.001	8.0				
8		P3		4'12"				4.8		T	29.8%	0.025	7.9				
9		P4		9'24"				4.8		O	70.7%	0.016	8.0				
10		P5		5'17"				4.8		O	87.4%	0.012	8.8				
11		P6		5'22"				4.8		T	73.9%	0.019	7.4				
12	千葉市消防局	P1	2015/8/6	4'22"	千葉緑 (93025)	5.1		O	0.0%	0.019	7.1						
13		P2		5'23"				5.1		O	0.0%	0.020	7.3				
14		P3		3'39"				5.1		B	16.4%	0.017	5.5				
15		P4		6'7"				5.1		O	0.0%	0.270	8.2				
16		P5		6'6"				5.1		O	13.8%	0.020	7.9				
17	宮城県名取市 関上	P1	2015/8/9	8'39"	仙台太白 (111185)	4.5		O	100.0%	0.012	7.9						
18		P2		6'24"				4.5		O	34.8%	0.051	8.9				
19		P3		4'12"				4.5		O	95.3%	0.014	9.0				
20	宮城県亘理町		2015/8/9	11'26"	亘理町 (950179)	0.0		O	61.7%	0.020	10.0						

番号	観測場所		観測日	観測時間 [分秒"]	基準局 (GEONETNo.)	基線長 [km]	周囲の様子	環境	精度評価		
									FIX 率	標準偏差 [m]	平均衛星数 [機]
21	宮城県 七ヶ浜町	P1	2015/8/9	732"	利府 (940037)	16.7		O	61.7%	0.011	8.5
22		P2		527"		16.7		O	100.0%	0.001	6.0
23		P3		438"		16.3		O	100.0%	0.001	7.9
24		P4		613"		16.6		B	100.0%	0.001	6.0
25	宮城県東松島市矢本		2015/8/10	1028"	矢本 (960549)	0.0		O	100.0%	0.001	7.9
26	宮城県女川町	P1	2015/8/10	12'10"	女川 (940036)	0.8		O	100.0%	0.001	10.2
27		P2		8'27"		0.9		O	100.0%	0.001	10.0
28		P3		59"		0.7		O	79.4%	0.011	11.0
29		P4		5'16"		0.9		O	100.0%	0.001	8.0
30		P5		6'17"		1.2		O	100.0%	0.001	8.0
31		P6		8'22"		0.0		O	100.0%	0.001	8.0
32	千葉市消防局	P1	2015/12/25	48"	千葉緑 (93025)	5.1		O	89.9%	0.019	7.0
33		P2		4'23"		5.1		O	5.3%	0.047	7.8
34		P3		4'14"		5.1		O	100.0%	0.009	8.0
35		P4		3'18"		5.1		O	49.5%	0.015	7.7
36		P5		9'55"		5.1		O	100.0%	0.009	8.0
37		P6		3'18"		5.1		B	93.4%	0.010	7.0
38		P7		6'51"		5.1		O	79.8%	0.011	7.2
39		P8		4'45"		5.1		O	90.2%	0.010	7.1
40	熊本県益城町役場		2016/7/3	5'4"	熊本 (950465)	7.5		O	0.0%	0.053	8.0
41	KiK-net 益城		2016/7/3	5'22"	熊本 (950466)	7.2		O	0.0%	0.052	7.8
42	GEONET 長陽		2016/7/3	5'10"	長陽 (960701)	0.0		T	6.1%	0.050	8.9
43	西原村役場		2016/7/3	5'33"	長陽 (960702)	9.6		O	61.3%	0.015	7.9
44	GEONET 熊本		2016/7/4	5'12"	熊本 (950465)	0.0		O	0.0%	0.057	6.4
45	K-NET 熊本		2016/7/4	59"	熊本 (950466)	5.6		O	100.0%	0.001	8.0
46	益城町体育館		2016/7/4	55"	熊本 (950467)	8.3		O	81.0%	0.010	7.2
47	益城町宮園		2016/7/4	5'18"	熊本 (950468)	7.5		O	46.6%	0.033	7.1

観測の際は、図-1 に示す通り受信機にパソコンとアンテナを接続した観測機器を使用した。また、静止観測地点では、アンテナを三脚などに固定し地上から 1m 程度離すことにより、地面からのマルチパスの影響を軽減させ、標準偏差の優劣がより環境や観測時間、基線長に準ずるよう配慮した。

基準局である GEONET の観測当日の緯度、経度、高度データは、国土地理院の電子基準点データ提供サービスより得た。これらを用いて大まかな基線長を算出した。



図-1 観測機器(左)と観測の様子(右)

3. 観測データの分類

(1) 環境による分類

図-2, 3 は、観測した全地点データの標準偏差と平均衛星数, Fix 率に関してまとめ、それらを観測地点周囲の環境に従って建物 B (Building), 開放 O (Open), 木陰 T (shade of Tree) の 3 つに分類したものである。

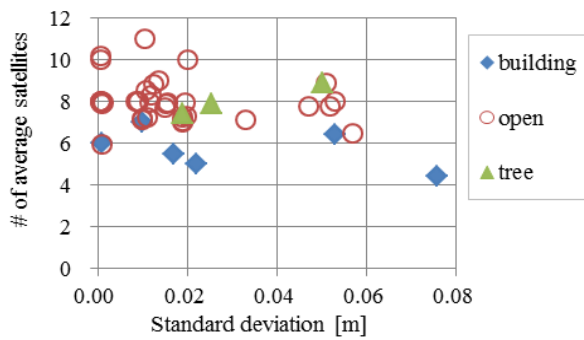


図-2 標準偏差と平均衛星数の関係(環境分類)

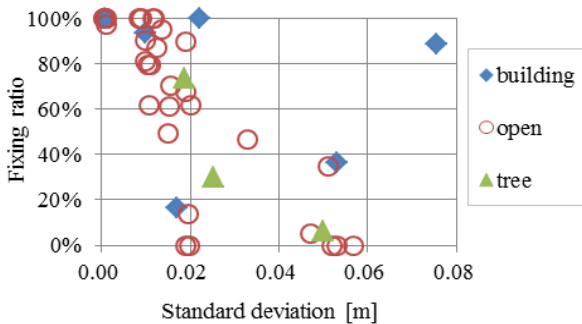


図-3 標準偏差とFix率の関係(環境分類)

建物環境では開放、木陰環境と比べて平均衛星数が少なく、標準偏差と Fix 率が正常な開放環境と比べて劣る。また、一部の開放、木陰環境でも標準偏差と Fix 率が劣る地点がある。

これらの地点では、一定数以上の衛星数があるため、衛星配置や衛星数不足の影響による劣化とは考えにくい。解析に用いた衛星信号の中に、精度の低い衛星が一定数含まれており、その影響を受けたと考えられる。そこで、精度の悪い衛星を何らかの方法で切り離して解析を行う必要がある。切り離しの検討については 4. で述べる。

(2) 観測時間による分類

図-4, 5 に、観測データの観測時間による分類を示す。観測時間の区分けは、凡例に示す通りである。観測の効率性を重視したため、平均的な観測時間は 5 分に設定した。そのため、3 分以下と 7 分以上の観測データ数は若干少なくなっている。

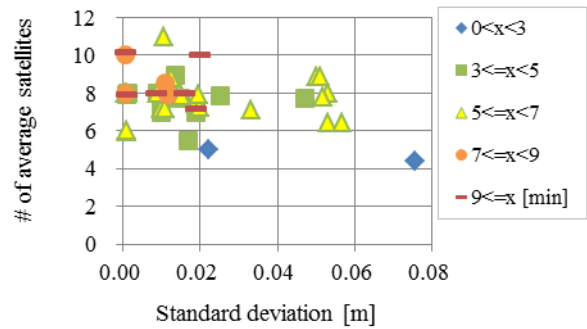


図-4 標準偏差と平均衛星数の関係(観測時間分類)

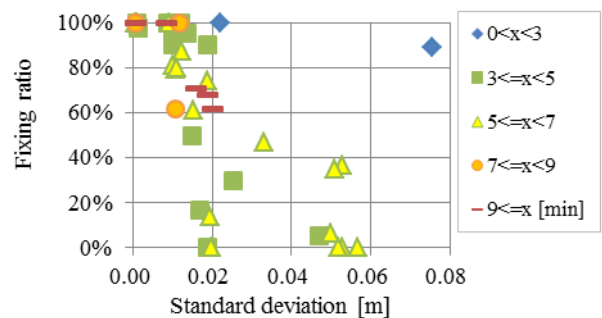


図-5 標準偏差とFix率の関係(観測時間分類)

3 分未満の観測では Fix 率は優れるが、標準偏差が他観測時間帯と比べて最も劣る。3 分以上 7 分未満の中には Fix 率が劣る地点も多くみられる。時間経過に伴う衛星の位置変化により、整数値バイアスの決定が上手くいかなかったことが原因として考えられる。観測時間が 7 分を過ぎると Fix 率、標準偏差ともに他時間帯と比べて最も優れる。

今回の観測結果から、安定して優れた Fix 率と標準偏差が得るためには7分以上の観測を行うことが有効であると考えられる。

(3) 基線長による分類

図-6, 7 は基線長の長短に従い分類したものである。日本において密に配置されている GEONET を基準局としたため、基線長は最長でも 16.7km 程であった。よって、実際の基線長の長短の基準とは異なるが、本研究においては 0 から 4km までを短基線長、8km 以上を長基線長として区分けした。

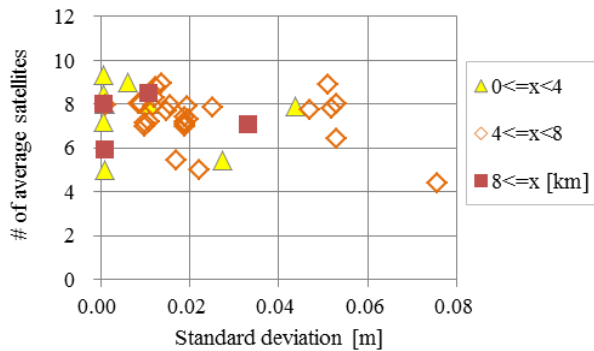


図-6 標準偏差と平均衛星数の関係(基線長分類)

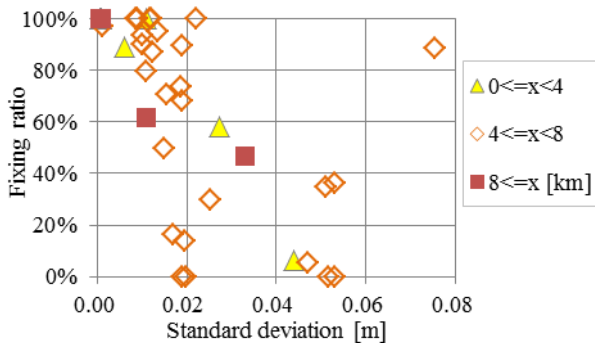


図-7 標準偏差と Fix 率の関係(基線長分類)

一般的に短基線長では、受信機と基準局間での電離層や対流圏のズレが少なく、最終的な測位精度における誤差は少なくなるといわれる。ところが、今回の観測データにおいては、短基線長にもかかわらず Fix 率と標準偏差がともに劣る地点が見られ、逆に長基線長では Fix 率と標準偏差がともに優れる地点が多く見られた。

これより、今回の基線長の範囲では基線長の長短は Fix 率と標準偏差に影響を与えないと考えられる。どの程度の長さの基線長で Fix 率や標準偏差に影響が及ぶのかまたは影響を及ぼさないのかどうかは、今後勉強と検討をしていく必要がある。

4. 標準偏差と Fix 率向上のための補正

(1) 高仰角設定による衛星の切り離し

3.(1)に示した衛星の切り離しを行う検討として、より高い仰角を設定し、地上や低い建物からはね返ったマルチパスや建物により回折して受信された信号の影響を排除する手法が考えられる。この手法では、一律に切り離しができるため効率性が高い。一方で、精度の高い衛星信号も切り離してしまう可能性が高いため、無暗に設定すると劣化につながる危険性がある。そこで、周囲の環境に配慮して高仰角設定を行うか否かとどの程度の値にするかを判断する必要がある。

図-8 では、B, O, T 環境分類をした全観測データにおいて、仰角を 15° から 20° に設定し直して解析を行った結果を示す。中抜き記号が高仰角設定前(今回は仰角 15° 以上)、中塗り記号が高仰角設定後(同 20° 以上)の解析結果を示す。

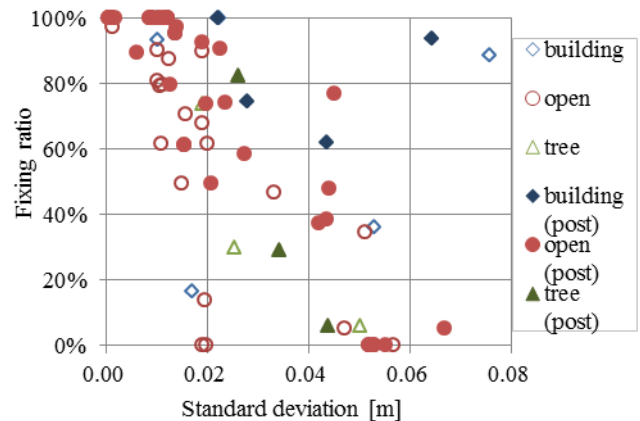


図-8 高仰角設定による衛星の切り離し前後の比較

建物環境では補正前に Fix 率と標準偏差が大きく劣っていた地点において向上が見られた。建物に囲まれると、開放環境と比べてより高い仰角の衛星信号でも精度が悪くなる可能性が高くなるため、高仰角設定によって一律に衛星の切り離しを行うことは有効であると考えられる。

一方で、開放と森林環境においては向上している地点はほぼなく、変化が見られなかったか、もしくは主に標準偏差に関して劣化が見られた。精度の良い有効な衛星信号も切り離してしまったためと考えられる。開放と森林環境においては別手法により補正を行う必要があると考える。

そこで、高仰角設定によってもあまり変化の見られなかった開放、木陰環境の中で、特に標準偏差と Fix 率が劣る 12 地点に対して別手法により補正を行った。

