

P6 GPS 相対測位精度に及ぼす衛星仰角と SNR 閾値の影響に関する基礎的検討

Effects of satellite elevation and SNR on the accuracy of differential positioning by GPS

○中西慶¹・劉ウェン²・山崎文雄²

Kei Nakanishi, Wen Liu and Fumio Yamazaki

Abstract : The accuracy of differential GPS positioning methods was evaluated by setting thresholds on satellite elevation and signal-to-noise ratios (SNR). GPS measurements were carried out at several points in Chiba Prefecture Fire Academy and Chiba City Fire Academy. GPS data recorded by GEONET Chiba-Midori station was used as the reference of differential positioning. The standard deviation and the fix rate changed by setting the thresholds on the satellite elevation and the SNR of L1 and L2 bands, and the most suitable values with highest accuracy were found to depend on the circumstance of the observation points. The accuracy on the horizontal and vertical distances was evaluated comparing with the result of field measurement and building drawings.

Keyword : GPS, threshold, Signals to Noise ratio, elevation, Fix ratio, standard deviation

1. はじめに

GPS は、米国が位置測位のために開発したシステムで、測位衛星からの信号を受信することで、地上、海上、空さらには宇宙空間でもリアルタイムで位置情報を得ることができる。その用途は、当初の軍事利用から、民間でも様々な分野への活用が広がってきた。ほかの地図情報と重ね合わせることで防災にも利用され、船舶や列車の位置情報を知らせることに役立つ。また、道路・地図情報とともに自動車の自動運転開発に欠かせないものとなっている。

その際、このような GNSS 測位に求められるのは、あらゆる場所で高精度な位置測位を可能とすることである。衛星測位では、上空の衛星から出されるマイクロ波を利用するため、上空が遮られる場所では測位が困難になる。さらに、マルチパスや上空の電離層や対流圏の影響を受けて、精度が限定されることも考えられる。これら、様々な誤差要因を取り除き、高精度の測位を目指した多くの研究がなされている。また、単独の受信機での測位では、数 m から数十 m ほどの位置精度であるが、搬送波を用いた相対測位では、数 cm オーダーの精度での測位が可能となる。

そこで本研究では、高精度の位置測位に向けた基礎的検討として、観測データに使用するかどうかの閾値を設定し、測位精度の向上を検討する。閾値により精度の悪い衛星からの信号を取り除くことで、測位精度の向上が期待される。今回は測位精度の指標として、測位点ごとの標準偏差の平均と Fix 率を用いた。これに加えて、実際に現地で計測した距離との比較も行い、測位結果が正しいものであるか確認を行った。

2. 使用機器及びソフトウェア

使用したアンテナは NovAtel 社製の GPS-702-GG、

¹学生会員 千葉大学大学院 工学研究科 建築・都市科学専攻
(所在地 〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町1-33)

(連絡先 Tel:090-6104-1165 E-mail:acca2156@chiba-u.jp)

²正会員 千葉大学大学院 工学研究科 建築・都市科学専攻

受信機は STARBOX であり、GPS と GLONASS の 2 衛星及び L1, L2 帯の 2 周波観測が可能である。今回は、GPS 衛星の L1, L2 帯を用いた測位を行った。

解析に用いたソフトウェアは、高須知二氏が開発した RTKLIB ver. 2.4.2 である²⁾。このソフトウェアでは、受信機単独での測位解析とともに、別に設けた基準点を用いた相対測位も可能である。そこで本研究では、対象地域に近接する GEONET の測位情報を基準点として用いた相対測位を行った。

3. 閾値による精度向上の検討

本研究では、測位した衛星の仰角と SN 比 (信号対雑音比: Signal to Noise Ratio) の 2 つに閾値を設定し、精度向上の検討を試みた。仰角は、受信機から見た衛星の地平線からの高度を示す。一般的に低い仰角の衛星から受け取る信号は、電離層や対流圏の影響を多く受けやすく、精度が悪いとされている。SN 比は、衛星からの信号の強度を示す値で、大きいほど優れた信号であることを表す。SN 比低下の要因としては、受信機内部回路での誤差等が挙げられる。

また、測位精度の指標として用いた Fix 解とは、解析の際に未知数として残る整数値アンビギュイティを整数に固定し、誤差をより小さくした解である。相対測位において Fix できなかった解は Float 解と呼ばれ、整数値アンビギュイティが観測時間ごとに値の変化する実数となり、測位結果にはアンビギュイティの決定誤差が含まれる。そのため誤差は Fix 解より大きくなる。測位解全体における Fix 解の割合が、Fix 率である。

標準偏差は、位置測位の誤差の範囲を示す。測位結果から位置を求める際に、十分な数の衛星が得られなかったり、遮蔽等外部の環境による影響を受けて、多少の誤差が含まれることが考えられる。標準偏差が大きい測位点では、正しい位置から必ずしもずれているわけではないが、大きいほど不確かな情報であるといえる。そのため、本研究では標準偏差が大きいものほど精度が悪いと判断した。

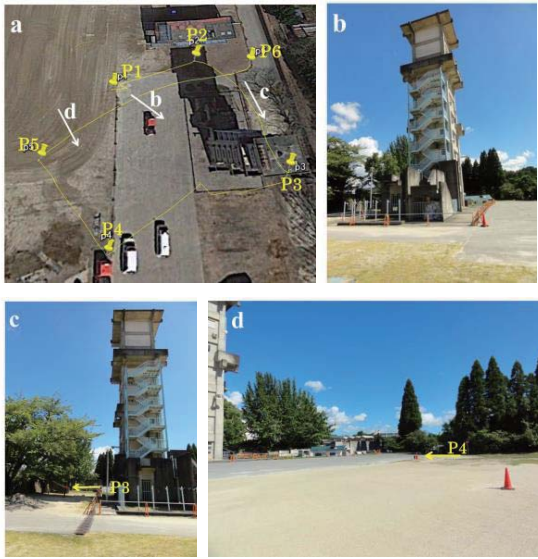


Fig. 1 Positioning points at Chiba Prefecture Fire Academy **a**, and ground photos near points **b** to **d**

閾値設定による精度向上の検討の例として、2015年8月5日に千葉県消防局で測位した結果を示す。Fig. 1(a)に示す敷地内において、P1–P6の位置で10分ほど静止した相対測位を行った。基準点として GEONET 千葉緑の 1Hz サンプリングデータを用いた。基線長は約 4.8km である。周りの様子を Fig. 1(b)-(d)に示す。P1–P6 の中で、周りを木々に囲まれあまり測位環境が良くない P3 と、周囲に何もなくて環境が良かったが Fix 率が低くなく、精度があまり良くなかった P4 において、閾値による精度向上の検討を行った。

まず P3 において、閾値を設定したことで標準偏差と Fix 率が変化した様子を Fig. 2 に示す。閾値なしと仰角の閾値が 10° の場合は、すべてにおいて Fix 率が低く、Fix 解をほとんど特定できていない。標準偏差もほとんどの場合で高い。これは測位誤差をもたらす精度の悪い衛星を含んで解析を行ってしまっているためと考

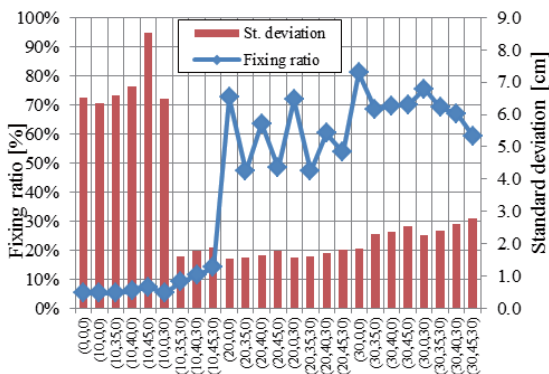


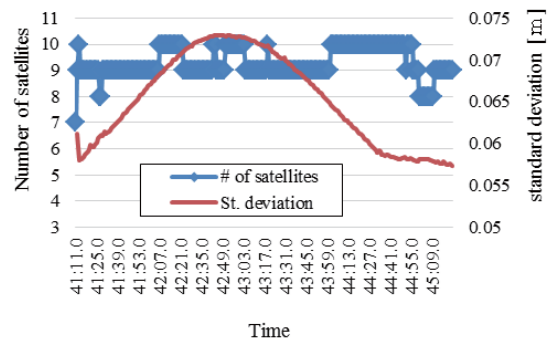
Fig. 2 The difference of the Fix ratio and the standard deviation based on the threshold at Point.3 in Chiba Prefecture Fire Academy. The label of the abscissa indicates the threshold values: satellite elevation [°], SNR of L1 and L2 bands [dB].

えられる。仰角の閾値を上げることで Fix 率、標準偏差ともに改善された。

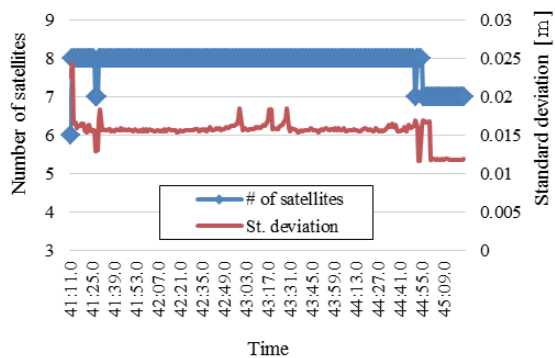
仰角の閾値が 0° と 10° の時に L1 帯と L2 帯の SN 比に閾値を設定することで、Fix 率は少しだけ改善し、標準偏差は仰角 10° 、L1 帯 SN 比 35dB、L2 帯 SN 比 30dB を超えたところで大きく改善につながっている。しかし、この閾値より小さい値の閾値設定では、閾値を大きくしていくと、標準偏差が劣化する傾向にある。すべての閾値設定の結果を照らし合わせると、仰角 10° 、L1 帯 SN 比 35dB、L2 帯 SN 比 30dB 以上の閾値において、精度の悪い衛星を取り除けた可能性が高い。

仰角の閾値が 20° の場合は、L1 帯 SN 比が 0dB または 40dB の時に Fix 率が高くなっている。標準偏差も総じて低く、精度は良好と言える。標準偏差では L1 帯、L2 帯ともに値を大きくすることで劣化につながっている。L1 帯 SN 比の閾値は、設定しない場合が最も Fix 率が高く、標準偏差も小さい。環境の悪い状況にあつて衛星数が限られるため、SN 比にも閾値を設定してしまうと精度劣化につながると考えられる。L2 帯の SN 比に関しても同様で、閾値を設定して必要以上に衛星を取り除くことで、精度劣化につながることが確認された。

仰角の閾値が 30° の場合は、SN 比の閾値がない場合で一番 Fix 率が高く、標準偏差も低い。SN 比の閾値を大きくしていくと Fix 率は低下する。これは、仰角



(a) Without using the thresholds



(b) Using the thresholds

Fig. 3 Time transition of the number of satellites and the standard deviation at Point3 in Chiba Pref. Fire Academy.

の閾値を 30° に設定することで精度の悪い衛星をほぼすべて取り除くことができたためであると思われる。標準偏差の値は仰角 20° の場合に比べて劣化しているので、必要以上に閾値が高く設定されていることも考えられる。

以上の結果より、この測位地点において最も精度が良いとみなせる仰角 20° 、SN 比は L1 帯 0dB、L2 帯 0dB の閾値設定をした場合と、閾値設定をしなかった場合の衛星数と測位誤差の標準偏差の時間推移の様子を Fig. 3 に示す。これより標準偏差は、閾値によって使用できる衛星数が減ることで平均的に劣化する。閾値ありの場合では、閾値なしに比べて標準偏差が平均的に小さいことが確認できる。

Fig. 3(a)の閾値なしの場合では、衛星数は7-10機捕捉できており問題は無い。しかし、標準偏差は平均的に高い。さらに、衛星数の変化とは関係なく、標準偏差の増幅が見られる。捕捉した衛星の中に誤差を含む衛星が存在したため、その衛星の影響で標準偏差が劣化し、Fix 解が定まらなかったと考えられる。

仰角に閾値を設定した Fig. 3(b)の場合では、標準偏差は低いまま安定した。衛星数が変化することによる標準偏差の劣化も見られた。ところが観測時間の真ん中あたりで、衛星数が安定しているのに関わらず、若干の標準偏差の劣化が見られた。受信機内の誤差や衛星信号の劣化、マルチパスなどの影響によるものではないかと考えられる。これを改善するためには、今後、更なる検討の必要がある。

測位環境が悪い P3 においては、SN 比、仰角の閾値設定により標準偏差と Fix 率どちらに対しても悪影響を及ぼす衛星を取り除くことができ、閾値の効果が高いといえる。

次に P4 において、閾値を設定したことにより標準偏差と Fix 率が変化した様子を Fig. 4 に示す。ここでも閾値を設定しなかった図中一番左の場合と比べて、すべての閾値を設定した場合において Fix 率が高く検出された。仰角の閾値においては、大きくしていく程 Fix 率が良化し、標準偏差も同じく改善することが確認された。今回は、仰角の閾値設定のみの場合と比べて、SN 比の閾値を設定した場合に大きく Fix 率が向上している。仰角のみに閾値を設定した場合では、 20° の時には Fix 率があまり良化しないが標準偏差は劣化しており、 30° の時には Fix 率が大きく良化したものの標準偏差も大きく劣化し、あまり有効でない。

SN 比の閾値設定は、標準偏差を大幅に劣化させることなく、Fix 率を大幅に良化させることが出来るので有効であると言える。周りに視界を遮る建物などの遮蔽物が少ないことから、精度劣化に対しては、悪い影響を及ぼす衛星信号の影響よりマルチパスなどによる影響が大きいのではないかと考えられる。L1 帯の

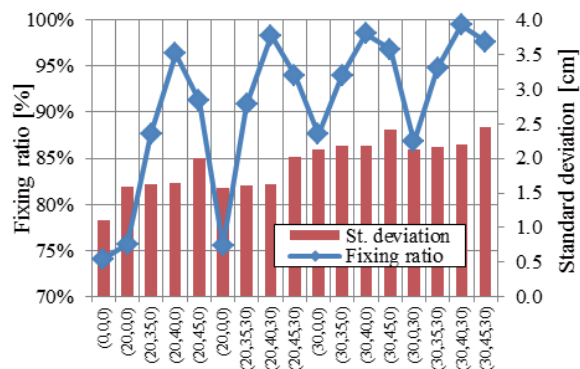


Fig. 4 The difference of the Fix ratio and the standard deviation based on the threshold at Point 4 in Chiba Prefecture Fire Academy. The label of the abscissa indicates the threshold values: satellite elevation [$^\circ$], SNR of L1 and L2 bands [dB].

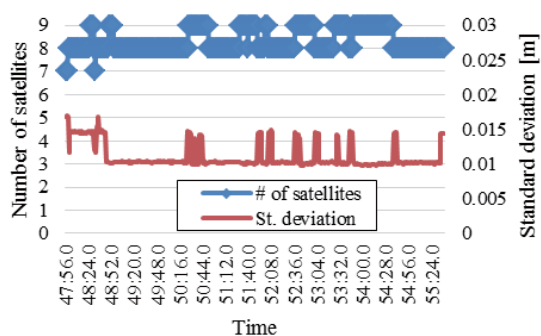
SN 比の閾値設定では、40dB の時に最も良い精度となっている。45dB の時は Fix 率が劣化するとともに、標準偏差も大きく劣化しているので、測位の際に必要な精度の良い衛星まで取り除いてしまっていると思われる。L2 帯 SN 比では、すべての場合において閾値を設定することで Fix 率の向上につながっている。標準偏差を劣化させることもない。よって L2 帯の閾値設定は有効であったと考えられる。

以上の結果を踏まえて今回も、最も精度が良いと思われる仰角 20° 、L1 帯 SN 比 40dB、L2 帯 SN 比 30dB の閾値を設定した場合と閾値を設定しなかった場合で衛星数と標準偏差の時間推移の比較を行った。

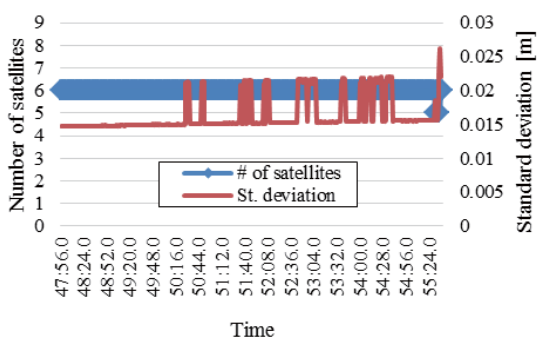
Fig. 5(a)に閾値なしの場合を示す。この時は標準偏差は安定して低く、衛星数の変化による影響で若干大きくなる程度である。衛星補足数も7-9機と十分多い。

一方で Fig. 5(b)に閾値を設定した場合を示す。全体的に標準偏差が若干高いことが確認される。衛星数が少ないことで、測位計算の確実性が薄れてしまっていると考えられる。また、衛星数が変化する時にも標準偏差が大きくなり、測位精度は悪くなっているが、衛星数が安定しているのに関わらず、標準偏差が大きくなる箇所がいくつも見られる。衛星数が5-6機と少なかったことだけでなく、他の要因によっても標準偏差が劣化することがあると言える。

閾値設定により精度の悪い衛星からの信号を取り除くことで、精度向上につながることは Fix 率の向上からも確認できた。精度劣化につながった原因として考えられるのは、使用衛星数が5-6機と少なかったことで、平均的標準偏差の値が大きくなってしまったことである。この課題を解決する手段として、準天頂衛星や GLONASS 等を用いてマルチ GNSS を可能とし、使用衛星数を増やすことが考えられる。この課題を解決した上で、閾値を用いることでより一層の精度向上が期待できる。



(a) Without using the thresholds



(b) Using the thresholds

Fig. 5 Time transition of the number of satellites and the standard deviation at Point4 in Chiba Prefecture Fire Academy.

4. 測位距離の比較による精度の検討

閾値を用いた GPS による相対測位精度の検証を行うため、実際に巻尺で測った距離や建物図面との比較を行った。2015年12月25日に千葉市消防局にて8箇所におけるGPS測位の結果を用いた。基準点としてGEONET千葉緑の1Hzサンプリングデータを用いた。基線長は約5.1kmである。

Fig. 6(a)に示す敷地内において、P1-P8の位置で7分ほど静止した測位を行った。測位の様子を**Fig. 6(b)**に示す。これらの点で天空率が悪い場合には低い仰角の閾値を設定するなど、各点ごとに閾値を定め、精度を高めた7分ほどのデータの平均である。P1とP2では建物屋上における測位を行った。

GPS測位で得られた8点の位置情報から、国土地理院の測量計算サイト³⁾を用いて各点間の距離を算出したものをGPS値とした。垂直方向では、P1とP2で得られた測位結果の標高平均と、P4とP7の標高平均の差の値をGPS値とした。それらの結果を、巻尺で測った距離と図面における建物高さを比較したものを**Table 1, 2**に示す。水平・垂直距離の両方において、数cmほどの誤差で収まり、GPS相対測位の精度は良好であったといえる。

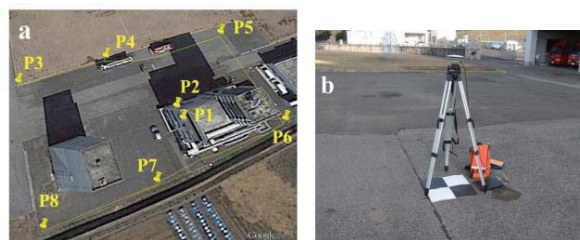


Fig. 6 Measurement points at Chiba City Fire Academy **a**, and the installation of the GPS antenna **b**

Table 1 Comparison of the horizontal distance between points [m]

Points	GPS	Measurement	Difference
3-4	25.88	25.55	0.33
4-5	37.84	37.80	0.04
5-6	34.41	34.49	-0.08
6-7	36.62	36.60	0.02
7-8	25.86	25.83	0.03
8-3	40.34	40.30	0.04

Table 2 Comparison of the height [m]

GPS	Drawing	Difference
17.34	17.50	-0.16

5. まとめ

本研究では、GPSによる相対測位の精度とその向上を検討した。観測データに閾値を設定することで、測位精度に与える影響をFix率や標準偏差の変化として確認した。捕捉衛星数が限られている場合には、閾値設定により衛星数を限定させすぎると、標準偏差が大きくなり誤差につながる。十分な数の衛星を捕捉した状態で、閾値を用いることで精度向上が見込めると考えられる。また、実際の測量結果や建築図面と比較することで、GPS測位で得られた水平・垂直距離が良い精度であることを確認した。

今後は他の対象地域においても引き続き精度評価を行い、閾値の設定方法を検討して、より汎用性のある観測データの条件設定を試みたいと考えている。さらに、複数のGNSSの利用により衛星の取捨選択の幅が広がると思われるので、今後はマルチGNSSに対応した測位を行いたいと考えている。

参考文献

- 土屋淳, 辻宏道: 新・GPS 測量の基礎, 日本測量協会, 2002.
- RTKLIB: http://www.rtklib.com/rtklib_document.htm (2016/3/26 閲覧)
- 国土地理院 測量計算サイト: <http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/surveycalc/main.html> (2016/3/26 閲覧)
- 周天宇, 中西恒夫, 久住憲嗣, 福田晃: GPS/QZSS 測位の精度改善のための一手法, 電子情報通信学会技術研究報告, No.112(482), pp.25-30, 2013
- 杉本末雄・柴崎亮介: GPS ハンドブック, 朝倉書店, 2010.