

(67) 高精度衛星測位における Galileo の利用方法に関する検討

宇野 敬太¹・佐田 達典²・江守 央³

¹学生会員 日本大学大学院 理工学研究科交通システム工学専攻
(〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1)
E-mail: cske19002@g.nihon-u.ac.jp

²正会員 日本大学教授 理工学部交通システム工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1)
E-mail: sada.tatsunori@nihon-u.ac.jp

³正会員 日本大学准教授 理工学部交通システム工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1)
E-mail: emori.hisashi@nihon-u.ac.jp

Galileo の初期サービスが 2016 年に開始され、日本においても Galileo を利用する際の利便性が高まっているため、今後 Galileo と GPS や QZSS との併用が進められていくことが予想される。本研究では、キネマティック測位における Galileo の利用方法の検討として、SNR を閾値として設定し測位に利用する衛星を選択することで、GPS、QZSS と Galileo を併用した際の測位精度への影響を検証した。SNR マスクを設定した場合、GPS、QZSS のみでは衛星数の不足が懸念されたが、Galileo を併用した場合には SNR マスクを設定することによる有意な Fix 率と精度への影響を示した。

Key Words: GNSS, Galileo, RTK, SNR

1. はじめに

従来、衛星測位システム GNSS として米国の GPS やロシアの GLONASS に加えて、日本の準天頂衛星 QZSS、欧州の Galileo 等の整備、運用が進められており、利用可能な衛星が増加傾向にある。

Galileo は欧州連合が整備する GNSS であり全世界に高精度の測位サービスを提供するが、GPS や QZSS 等と相互運用が可能であるとされている。Galileo は、2016 年 12 月に 18 機体制での初期サービスの運用開始宣言がされ、2020 年現在では 21 機体制で運用されている。Galileo の特徴としては、他の GNSS 比べて信号強度やマルチパス耐性が高い E5 信号を送信すること¹⁾などが知られている。

国土地理院は 2015 年に「マルチ GNSS 測量マニュアル (案) -近代化 GPS, Galileo 等の活用-」²⁾を発表した。このなかで各国の衛星測位システムの利用が可能となるため、複数の衛星系や新たな周波数帯の信号を利用することができる「マルチ GNSS」の手法は、これまで難しいとされていた都心のビル街や山間部等といった上空視界に制約がある場合においても、測量できる場所や時間の拡大が期待されている。また、Galileo の使用する信号

の E1, E5a 信号が GPS や QZSS の L1, L5 信号と同じ周波数帯であることなどから、GPS、QZSS との併用もさらに進められていくと考えられる。このようなことから、今後の日本で公共測量等に Galileo を利用する際の利便性が高まっている。

このようななか、著者ら³⁾は Galileo を GPS、QZSS と併用することによる効果について検証を行い、Galileo を併用することでマルチパスの影響が低減されたと報告している。しかし、Galileo を併用することで GPS、QZSS のときに比べ Fix 率が低下したことが課題として残っている。

2. 閾値の設定

誤差要因となるマルチパスの影響を受ける衛星を判別する指標の一つとして SNR(Signal Noise to Ratio)がある。マルチパスの電波には回折波と反射波があるが、多くの場合で SNR の低下が想定される。よって、SNR の低い衛星からの電波を測位に使用しないことで誤差要因を除去できる可能性がある。一方で、遮蔽物の影響などで測位に利用できる衛星が限定される場合、ある程度の衛星

数が確保されているという前提で衛星選択を行う必要がある。

本研究では、SNR を閾値として設定し、GPS、QZSS のみの場合と GPS、QZSS に Galileo を併用した場合を比較することで測位精度への影響を検証すること試みた。

3. 実験データの取得

実験データの取得については、日本大学理工学部船橋キャンパスのオープンスカイ環境やマルチパス等の影響等が懸念される環境でキネマティック測位を行った。実験環境は以下の通りである。

- ・周囲に遮蔽物のないオープンスカイ環境（静止データ）
- ・南側に建物や樹木等の遮蔽物が存在する環境（静止データ）
- ・建物や樹木等の遮蔽物が存在する環境（移動体データ）

使用した受信機は、Trimble Net R9 である。

4. 解析方法

実験データの解析には、RTKLIB ver. 2.4.3 b30 を利用した。信号強度に応じた測位精度への影響を評価するために解析条件として、仰角マスクを 15 度と標準な値に設定し、SNR マスクを 25, 30, 35...45dBHz と 5dBHz おきに变化させた。評価指標としては Fix 率と Fix 解の RMS を採用した。Fix 率は、(Fix 解が得られた観測時間/全観測時間)×100(%) と定義し、Fix 解は整数値バイアスが決定された測位解のことである。cm 級の高精度が要求される測量や情報化施工においては Fix 解を維持することは重要である。

各点の参照値の値は、平面直角座標系 (IX 系) における X 座標 (北方向)、Y 座標 (東方向) については、電子基準点「千葉市川」、「白井」、「富里」、「千葉花見川」を用いたスタティック測位による基線解析後、網平均計算を行い、算出した。参照値を求める際に使用した解析ソフトは、一般的な測量業務にも用いられている TOWISE version 5.6.0.0 および Trimble Business Center version 1.4.8.0 である。標高の参照値の算出は千葉県水準点成果 F-35 を既知点とした 1 級水準測量を行い求めた。

5. オープンスカイ環境での静止点測位

はじめに、周囲に遮蔽物のないオープンスカイ環境での静止点測位の評価を行った。基準局も同様にオープンスカイ環境に設置し、2018 年 10 月 11 日 3 時 (UTC) か

ら 24 時間分 (1Hz) のデータを取得した。実験状況を図-1 に示す。

解析結果を図-2、図-3、図-4 に示す。図-5 には平均使用衛星数を示すが、オープンスカイ環境下においては、測位に利用可能な衛星数が多くあるため、SNR の閾値の有無によらず良好な結果を得られた。SNR マスクを設定しない場合では、GPS+QZSS+Galileo で Fix 率が若干低下していることから、オープンスカイ環境では測位に利用する衛星を限定することが重要であると考えられる。また、SNR マスクを 45dBHz 以上にすることで使用衛星数が急激に減少していることから、マルチパスの影響が小さいオープンスカイ環境でも SNR マスクを過度に高くすることは避ける必要がある。



図-1 実験状況

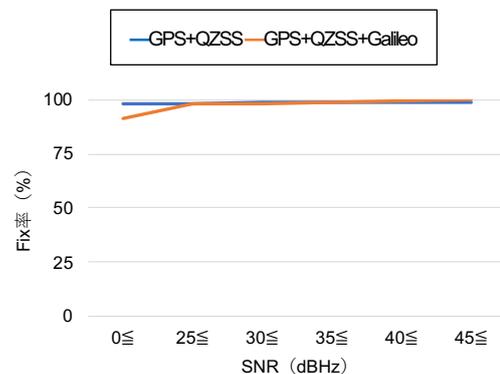


図-2 Fix 率

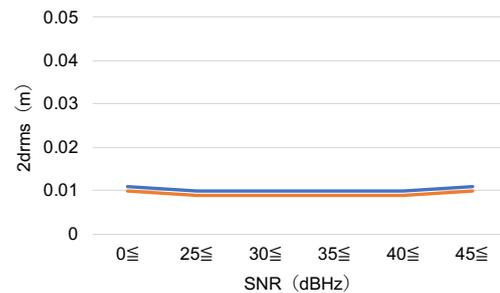


図-3 2drms

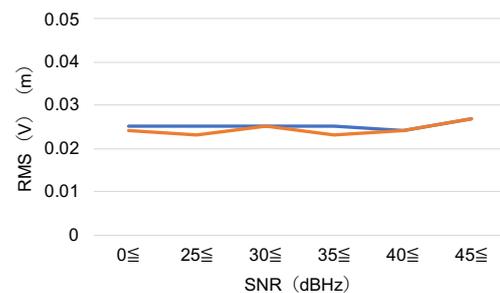


図-4 RMS (Vertical)

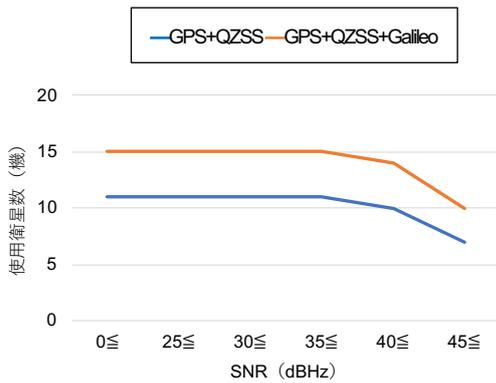


図-5 平均使用衛星数



図-6 実験状況と上空写真

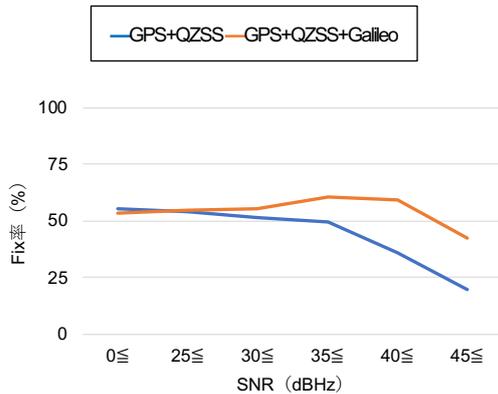


図-7 Fix率

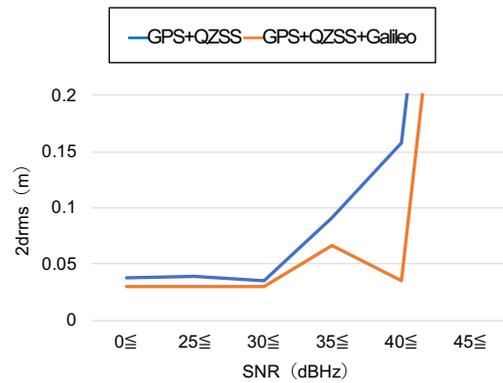


図-8 2drms

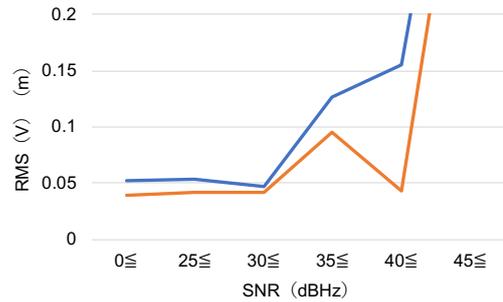


図-9 RMS (Vertical)

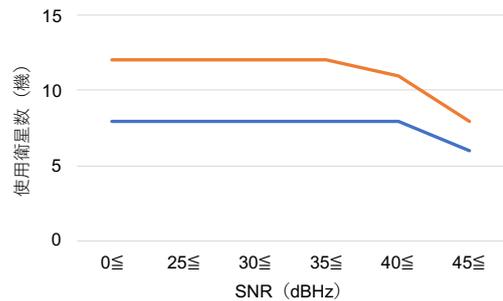


図-10 平均使用衛星数

6. 周囲に遮蔽物が存在する環境での静止点測位

遮蔽物がある環境では、測位に利用可能な衛星数を確保しつつ、誤差要因を含む衛星からの電波を排除することが重要である。周囲に建物や樹木等が存在する環境での静止点測位の評価を行った。基準局は5章と同じであり、2018年10月8日3時(UTC)から24時間分(1Hz)のデータを取得した。移動局の実験状況と上空写真を図-6に示す。

解析結果を図-7、図-8、図-9に示す。平均使用衛星数を図-10に示す。SNRマスクを設定しない状態では、Galileo併用の有無に関わらずFix率はほぼ変わらないが、SNRマスクが35-40dBHzのときGalileoを併用した場合でFix率が向上した。一方で、GPS+QZSSでSNRマスクを設定すると、35dBHz以上で大幅なFix率、測位精度の低下がみられた。GPS+QZSS+Galileoの場合では、SNRマ

スクを設定することによってSNRが低く誤差を含む衛星からの電波を適切に除去できたが、GPS+QZSSの場合では、遮蔽により十分な衛星数を確保できていない状況で衛星を取り除いてしまったため、Fix率や測位精度の低下につながったと考えられる。

7. 建物や樹木が存在する環境での移動体測位

最後に、移動体測位での評価を行った。基準局は5、6章と同じであり、2019年8月1日3時(UTC)から約20分(1Hz)のデータを取得した。図-11に示すような建物や樹木で囲まれた区間が多く存在する経路を周回した。

Fix率を図-12に、平均使用衛星数を図-13に示す。静

止点測位に比べ、移動体測位では遮蔽があるにも関わらずオープンスカイと同等の使用衛星数を確保している。したがって、GPS+QZSSで使用衛星数が10機以上確保されているSNRマスク35dBHz以下はGalileo併用による効果が現れていない。SNRマスクが40dBHz以上では、使用衛星数減少に伴いGalileo併用の場合でFix率向上の効果が得られている。SNRマスクが45dBHz以上ではGPS+QZSS+Galileoの場合でも使用衛星数が著しく減少するため、移動体においてもSNRマスク40dBHz付近が最適値であると考えられる。

測位結果の一例として、SNRマスク40dBHzの測位結果を図-14に示す。周囲に建物や樹木が存在する区間で、GPS+QZSS+GalileoがGPS+QZSSに比べ測位解の飛びやFloat解が減少していることがわかる。



図-11 実験経路

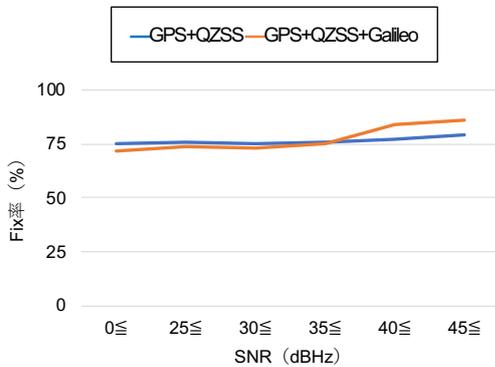


図-12 Fix率

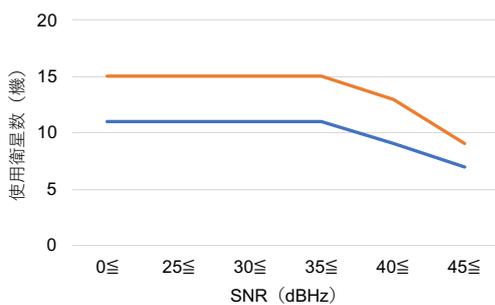


図-13 平均使用衛星数

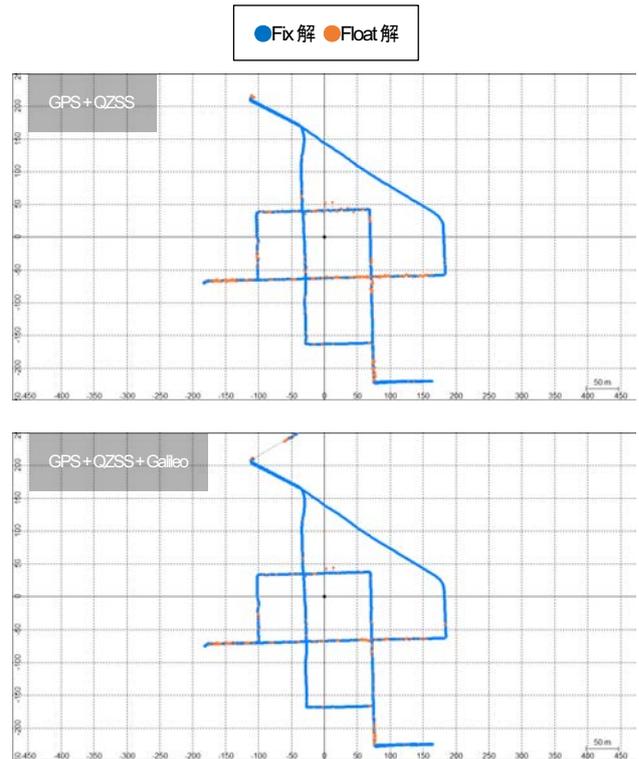


図-14 移動体測位結果 (SNR mask:40dBHz)

8. おわりに

本研究では、SNRを閾値として設定し、GPS、QZSSとGalileoを併用効果の検証を行った。

- ・オープンスカイ環境のようなGPS、QZSSのみでもSNRの値が高く測位に使用できる衛星が10機以上ある環境では、Galileoを併用する必要性が少ない。
- ・周囲に遮蔽物があるような環境では、GPS、QZSSのみであると、SNRが低く品質の悪い信号を除去することはできないが、Galileo併用した場合にはSNRマスクを40dBHzで設定してもFix率向上の効果が得られた。

今後の課題として、仰角や信号の種類の違いから最適な閾値を検討していく必要がある。

参考文献

- 1) Safoora Zaminpardaz, Peter J.G. Teunissen : Analysis of Galileo IOV + FOC signals and E5 RTK performance, GPS Solution, pp.1855-1870, 2017.
- 2) 国土地理院：マルチGNSS測量マニュアル(案)ー近代化GPS：Galileo等の活用ー, <<http://psgsv2.gsi.go.jp/koukyou/public/multignss/>>, (入手 2020.5.15) .
- 3) 宇野敬太, 佐田達典, 江守央：高精度衛星測位におけるGPS/QZSSとGalileoの併用効果に関する研究, 土木学会論文集F3, pp.78-86, 2019.