# (33) 高精度衛星測位におけるQZSSとGalileoの併用効果に関する実証的研究

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　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　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．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，遮蔽環境においてGNSS観測を行い，キネマティック測位におけるGPS，QZSSとGalileoの併用効果を検証した．GLONASS併用時の結果と比較することにより，GPS，QZSSにGalileoを併用することでの有意な精度への影響を示した．

***Key Words:*** *GNSS, Galileo, RTK, QZSS*

## 1．はじめに

従来，GNSSとして米国のGPS，ロシアのGLONASS，日本の準天頂衛星（QZSS）が知られているが，これらに加え，欧州連合のGalileo等のGNSSの整備，運用が進められている．

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年までに30機体制での完全運用が予定されている．Galileoの特徴としては，限定されたユーザー向けのコマーシャルサービス（CS）と一般ユーザー向けに無料で提供されるオープンサービス（OS）が存在する．

一方，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−」[1)]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，江守ら[2)]は，Galileoによる衛星測位の特性に関する研究を行い，GalileoをGPS，QZSSと組み合わせることによる測位精度の変化について報告している．しかし，周辺が建物等で囲まれた遮蔽環境下におけるGalileoとGPS，QZSSを併用した測位精度の評価についての研究は行っていない．そこで本研究では，様々な遮蔽環境で観測を行ったデータを用いて，現在すでに運用されているGLONASSと比較することにより，GPS及びQZSSと併用した際のGalileoの測位精度検証を実証的に行うこととする．

## 2．研究方法

### (1) 実験概要

本研究では，GPS，QZSSとGalileoを併用することで

精度向上の効果がみられるかを明らかにするために，様々な遮蔽環境下で GPS，QZSS 及び Galileo，GLONASS の観測を行った．実験概要を**表-1** に示す．**図-1** に各観測点の上空図を示す．

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 version5.6.0.0 および Trimble Business Center version1.4.8.0 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．

### ⑵ 解析概要

**表-2** に示すように解析を行った．

## 3．実験結果

### ⑴ 観測状況

**図-2** には，遮蔽の無い 102 における天空図の一例を示す．

**表-1** 実験概要

| | |
|---|---|
| 観測場所 | 日本大学理工学部船橋キャンパス |
| 観測地点と時間 | ①103・211[2018年10月08日12:00～翌日12:00（JST）] |
| | ②103・102[2018年10月11日12:00～翌日12:00（JST）] |
| | ③103・213[2018年10月12日12:00～翌日12:00（JST）] |
| データ取得間隔 | 1秒 |
| 使用機器 | Trimble NetR9 |

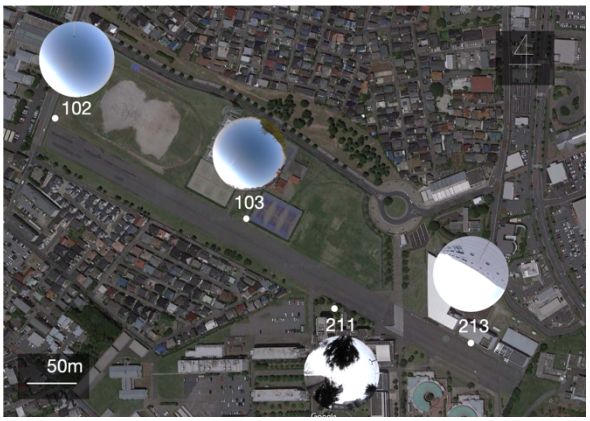



**図-1** 各観測点の上空図

**表-2** 解析概要

| | |
|---|---|
| 解析ソフト | RTKLIB |
| 比較パターン | GPS+QZSS，GPS+QZSS+Galileo，GPS+QZSS+GLONASS |
| 解析方法 | キネマティック測位<br>[基準局103，移動局102，211，213] |
| 評価指標 | Fix率，2drms，RMS誤差（標高） |
| 仰角マスク | 15° |

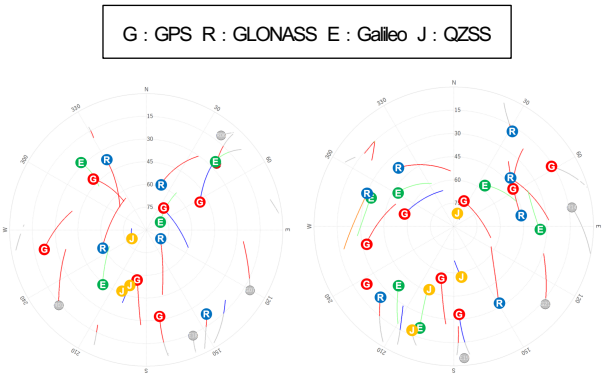



**図-2** 天空図（左図［2018 10/11 12:00～13:00 JST］，右図［2018 10/12 0:00～1:00 JST］）

GPS が最も多く観測できており，次いで GLONASS，Galileo の順に観測衛星数は多い．なお，QZSS は天頂付近で観測できている．

### ⑵ Fix 率

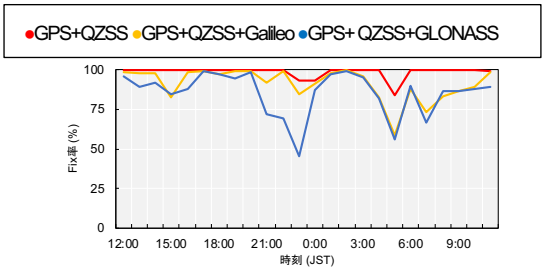
**図-3** には，各地点における 1 時間毎の平均 Fix 率を示す．

- 遮蔽の無い 102 では，GPS+QZSS で 100%に近い Fix 率となっているが，Galileo，GLONASS を併用することで，Fix 率は低下している．
- 211 においては，GPS+QZSS と GPS+QZSS+Galileo で，概ね同等の Fix 率を確保できている．一方で，GPS+QZSS に GLONASS を併用することで Fix 率は数 10%低下している．
- 213 においては，いずれの衛星の組み合わせも Fix 率が 25%以下の時間帯が多く，遮蔽が厳しい地点であることがわかる．GPS+QZSS+Galileo が，他の衛星の組み合わせに比べて Fix 率 50%以上低下している時間帯もあり，遮蔽物の影響を大きく受けていることが考えられる．

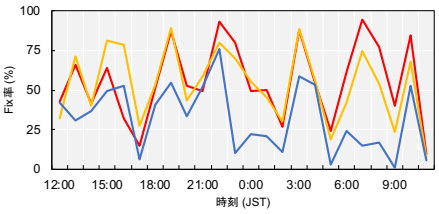
### ⑶ 2drms，RMS 誤差（標高）

**図-4**，**図-5** には Fix 解における 2drms，RMS 誤差（標高）を示す．

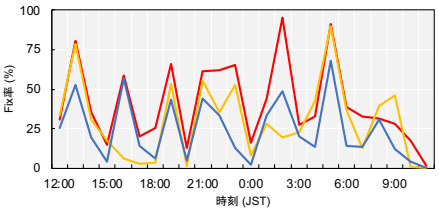
- 遮蔽の無い 102 では，GPS+QZSS に Galileo を併用することによる有意な精度への影響はみられない．
- 一方で，遮蔽のある 211 及び 213 においては，GPS+QZSS に Galileo を併用することで誤差が 5～10cm 程度小さくなっている場合が多く見られる．
- **図-5** より，GPS+QZSS+Galileo と GPS+QZSS+GLONASS を比較した場合，標高の RMS 誤差はあまり違いが見られない．しかし，**図-4** より GPS+QZSS+GLONASS で，2drms が 5cm 程度に収まっているのに対し，GPS+QZSS+Galileo で，2drms が 10cm 以上と大きくなっている場合がある．




(a) 102（遮蔽無し）

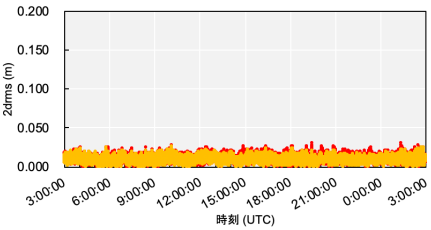



(b) 211（遮蔽あり）

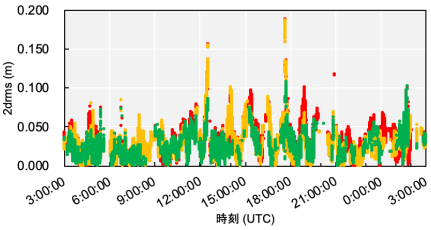



(c) 213（遮蔽あり）

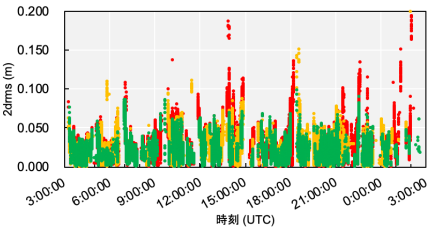
図-3 Fix 率




(a) 102（遮蔽無し）

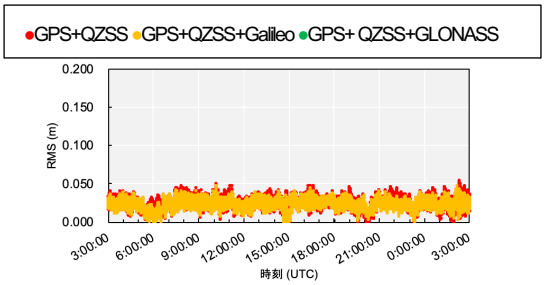



(b) 211（遮蔽あり）

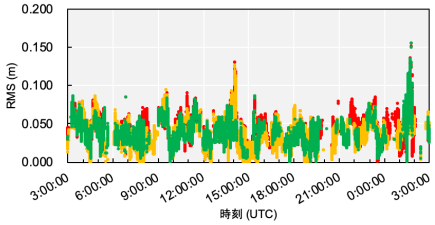



(c) 213（遮蔽あり）

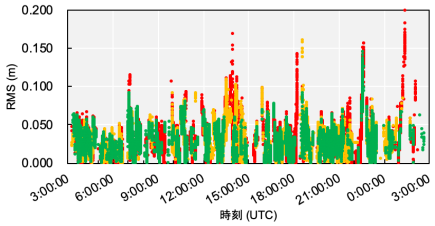
図-4 2drms




(a) 102（遮蔽無し）




(b) 211（遮蔽あり）




(c) 213（遮蔽あり）

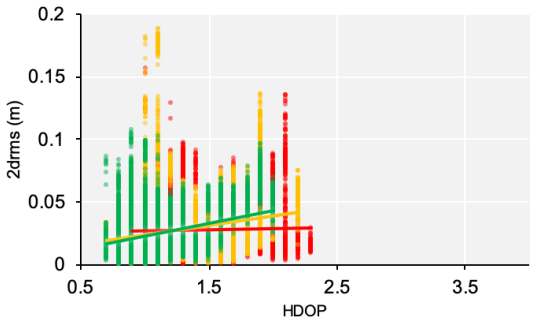
図-5 RMS 誤差（標高）

### (4) DOP に対する精度検証

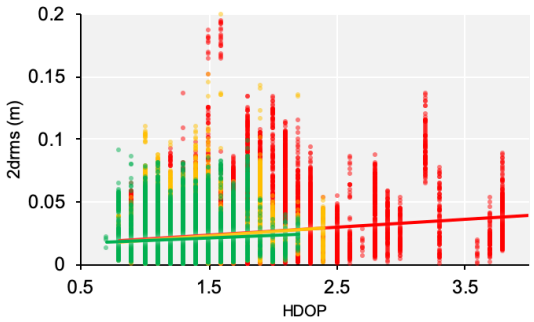
前節までに，GPS+QZSS に Galileo を併用することで遮蔽がある環境で誤差は小さくなると示した．しかし，遮蔽がある環境においては，時間帯によって GPS+ QZSS+ Galileo で Fix 率や精度にばらつきが生じることがわかった．ここで遮蔽のある環境において，Galileo 併用時，GLONASS 併用時で DOP に応じて精度に差異がみられるかを検証する．この DOP とは，衛星の幾何的配置が精度劣化に与える指標であり，水平方向の DOP は HDOP，鉛直方向の DOP は VDOP である．平面方向の精度検証として，HDOP と 2drms の関係を**図-6** に示す．高さ方向の精度検証として，VDOP と RMS 誤差(標高)の関係を**図-7** に示す．これらのグラフは，24 時間観測で得た Fix 解を，衛星の組み合わせ別に，1 秒毎の HDOP とそのときの 2drms，VDOP とそのときの RMS 誤差(標高)をプロットし，近似直線でその相関関係を表したものである．

**図-6** の 211 については，GPS+QZSS で HDOP の範囲が比較的小さく，安定した衛星配置であるが，それ以外については，Galileo や GLONASS を併用することで DOP の範囲が小さくなっていることがわかる．また，**図-7** の 211 については，GPS+QZSS+Galileo が他の衛星に比べ VDOP の範囲が小さくなっている．

・213 においては，近似直線は，GPS+ QZSS+Gaileo と GPS+QZSS+GLONASS ではほぼ重なっているため，

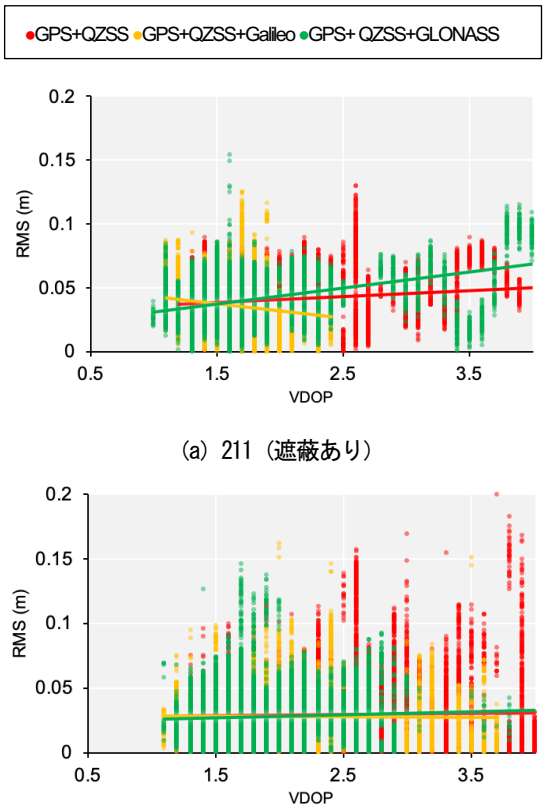



(a)211（遮蔽あり）




(b) 213（遮蔽あり）

図-6 HDOP と 2drms の関係




(a) 211（遮蔽あり）

(b) 213（遮蔽あり）

図-7 VDOP と RMS 誤差（標高）の関係

Galileo 衛星及び GLONASS 衛星は，ほぼ同じ効果を示しているといえる．

・211 については，図-6 では，GPS+QZSS に比べ，Galileo, GLONASS を併用することで近似直線の傾きが大きくなっている．一方で，図-7 では，図-6 と同様に GPS+QZSS+GLONASS の近似直線の傾きが大きいが，GPS+QZSS+Galileo は，GPS+QZSS に比べ近似直線の傾きが小さくなっている．このことは 211 において，GPS+QZSS で HDOP が比較的安定している平面方向に関しては，GPS，QZSS に Galileo，GLONASS を併用することでマルチパス等と思われる誤差に与える影響を大きく受けたが，高さ方向に関しては，Galileo を併用することによって，逆に誤差を低減する効果を得られることを示している．

## 4．おわりに

本研究では，様々な遮蔽環境下で GLONASS と比較した際の GPS，QZSS と Galileo の併用効果の検証を実証的に行った．その結果，以下のことが明らかになった．

・GPS，QZSS に Galileo を併用すると Fix 率が低下したが，GLONASS 併用時に比べると，Fix 率の低下は小さかった．
・遮蔽が無く，衛星が十分に観測できている環境では，GPS，QZSS に Galileo を併用することによる有意な精度への影響はみられなかった．
・遮蔽がある環境においては，GPS+QZSS に比べて Galileo を併用することにより，誤差が 5～10cm 程度小さくなった．
・DOP 値に対する精度検証により，Galileo の併用時は GLONASS 併用時に比べ，マルチパス等と思われる誤差に与える影響が小さく，高さ方向では，誤差を低減する効果がみられた．

以上のことから，GPS，QZSS に Galileo を併用することによる精度向上の効果は，遮蔽がある環境で大きいことがわかった．また，今後 Galileo の衛星数が増えると測位精度の向上が期待できる．

今後の課題として，Galileo 衛星数の増加に伴い測位精度に変化がみられるか検証を続けていく予定である．

### 参考文献

1) 国土地理院：マルチ GNSS 測量マニュアル−近代化 GPS：Galileo 等の活用−，
＜http://psgsv2.gsi.go.jp/koukyou/public/multignss/＞，
（入手 2018.5.15）．
2) 江守央，棟方洸貴，佐田達典：Galileo による衛星測位の特性に関する研究，応用測量論文集，pp.119-128，2017.