

## (68) 準天頂衛星システムと他の衛星測位システムとの組み合わせによる測位精度の評価

照井 理仁<sup>1</sup>・佐田 達典<sup>2</sup>・江守 央<sup>3</sup>

<sup>1</sup>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: csri20012@g.nihon-u.ac.jp

<sup>2</sup>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

<sup>3</sup>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

現在、我が国が国内における衛星測位の精度を向上させることを目的として、整備を進めている衛星測位システムが、準天頂衛星システムである。本研究は、その準天頂衛星システムと他の衛星測位システムの併用に基づく測位精度の検証を行ったもので、衛星測位により取得された観測データに対し、衛星測位システムの組み合わせごとの解析を行い、比較することでどのように衛星測位システムを組み合わせれば、最も効率よく精度の高い測位となるのかを検証した。最終的には、準天頂衛星システムは GPS との組み合わせが最も有効であると評価した。

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

### 1. はじめに

日本の準天頂衛星システム（以下、QZSS と表記）は、単独による衛星測位ではなく、他の衛星測位システム（以下、GNSS と表記）と併用することによって、衛星測位の精度を向上させるものである<sup>1)</sup>。他の GNSS としては、米国の GPS が広く一般に知られており、他にも複数の GNSS が運用されている。

QZSS とは、準天頂軌道の衛星が主体となって構成されている日本の衛星測位システムのことである。2010年9月11日に初号機が打ち上げられ、その後2011年9月の閣議において「4機体制を整備し、7機体制を目指す」ことが決定された。追加の3機（準天頂軌道2機、静止軌道1機）が2017年度に打ち上げられ、2018年11月から4機体制での運用を開始した。また、2015年1月に策定された新たな「宇宙基本計画」においては、「2023年度をめどに持続測位可能な7機体制での運用を開始する」と決定されている<sup>2)</sup>。

GNSS の併用の効果に関する研究の一つとしては、斉藤ら<sup>3)</sup>の研究がある。この研究では、単一の GNSS による衛星測位では山岳部や建物近傍等、遮蔽物の影響およ

び時間帯によって測位精度の低下が見られ、それを防ぐ GNSS の併用方法（組み合わせ）を求めめるため、複数の GNSS の組み合わせに対して検討を行ったものであるが、QZSS を対象とはしていなかった。

本研究では、QZSS を主体とし、そこへ他の GNSS を組み合わせた際の測位精度がどのように変化するかを定量的に比較することで、最も安定し、かつ、高精度な衛星測位を実現できるような GNSS の組み合わせ方がどういったものであるのか、検証および評価を行うことを目的とした。したがって、QZSS を有効に活用できるような GNSS の利用に主眼を置いたものとなる。

### 2. 研究方法

#### (1) 実験の概要

先述の研究では、静止測位の実験を対象としていたが、本研究においては、GNSS を利用した歩行による移動測位の実験を行った。実験場所は、日本大学理工学部船橋キャンパス構内である。図-1において矢印で示した経路に従って歩行することで移動測位を行った。



図-1 移動測位実験の経路（地理院地図より作製）



図-2 Trimble NetR9 と GNSS アンテナ  
(出典：株式会社ニコン・トリンプル)

移動測位実験は、測位の傾向を捉えるため、2019年6月18日、2019年7月20日、2019年7月24日、2019年8月1日の計4回実施した。経路の設定を行う上で考慮した点は、南北方向と東西方向の通路を通ることで、方角による電波遮蔽の影響の差異を対象にでき、かつ、建物や樹木等、異なる遮蔽物の影響も対象にできるようにしたことである。

実験に使用した GNSS 受信機は Trimble NetR9 であり、図-2 は、Trimble NetR9 (図左) と基準局用の GNSS アンテナ (図右) の例である。大学キャンパス構内の測量基準点の一つである 103 地点を基準局として、GNSS 受信機と GNSS アンテナを設置し、もう一つの GNSS 受信機と移動用の GNSS アンテナを持って歩行する実験者を移動局として移動測位を行った。

## (2) 解析方法

衛星測位実験によって得られた観測データに対し、RTK LIB に含まれる後処理基線解析ソフトウェア RTK POST を利用して解析を行った。RTK LIB とは、東京海洋大学高須知二氏によって作成された一般向けプログラムであり、本研究では RTK LIB ver. 24.3 を使用した。RTK POST は、基線解析によって、移動局の緯度、経度、標高を算出するものである。

表-1 GNSS の組み合わせパターン

組み合わせ数	使用する GNSS
単一	J/G/R/E/C
2 種類	J-G/J-R/J-E/J-C
3 種類	J-G-R/J-G-E/J-G-C/J-R-E/J-R-C/J-E-C
4 種類	J-G-R-E/J-G-R-C/J-G-E-C/J-R-E-C
全種類	J-G-R-E-C

本研究で対象とする GNSS は、QZSS の他、アメリカの GPS、ロシアの GLONASS、欧州の Galileo、中国の BeiDou の 5 種類である。これらの GNSS それぞれの単一および QZSS を必ず含むような 2-5 種類の GNSS の組み合わせパターンの計 20 通りについて測位精度の評価を行った。その組み合わせを表-1 に示す。J は QZSS、G は GPS、R は GLONASS、E は Galileo、C は BeiDou を指し、- (ハイフン) が組み合わせを示す。以下、これに従う。

GNSS の組み合わせごとに測位解を解析したのち、それぞれの解析結果に対して、以下に示す 3 種類の評価指標を算出することにより、各 GNSS 単一とその組み合わせによる測位精度の傾向と特性を明らかにする。そして、それらを比較することで、GNSS の組み合わせを評価する。

### a) Fix 割合

衛星測位によって取得される測位解には、測位誤差がそれぞれ、数 cm 程度となる Fix (厳密) 解、10cm-数 m 程度の Float (非厳密) 解、および 10m 程度の単独測位解の 3 種類がある。本研究では、すべての測位解のうちに含まれる Fix 解の割合を Fix 割合と定め、評価指標の一つとした。したがって、単純にはこの割合が増加するほど、測位精度が向上していることになる。

### b) 平均観測可能衛星数

観測可能衛星数とは、測位地点から観測できる衛星の機数のことである。衛星測位を行うためには最低 4 機の衛星が観測可能でなければならず、その機数が増えるほどその測位精度は安定、向上する傾向がある。しかしながら、衛星配置や建物等による遮蔽の状況なども関わってくるため、単により多くの衛星が観測できれば、精度が向上するというわけではない。本研究では、観測可能衛星数に対し、測位解を取得していた時間全体の平均値を平均観測可能衛星数と定める。

### c) 観測データ数

本研究においては、測位解を毎秒一つ取得する設定として衛星測位実験を行ったが、衛星が送信する電波が遮蔽されたり、測位に必要な機数の衛星が観測できなかった

たりする場合などには測位解が得られなくなる。よって、衛星測位を行っている間に取得した測位解の個数を観測データ数と定め、これについても評価指標とした。その理由の一つとしては、本研究で実施した移動測位においては、測位解の取得数を想定しない場合、先述の Fix 解を取得できないが、Float 解は取得できている解析結果より、極僅かの Fix 解のみを取得している解析結果の方が、表面上 Fix 割合が高くなり、その GNSS の組み合わせが高精度であるかのように見誤る可能性があるためである。

### 3. 解析結果

#### (1) GNSS の組み合わせごとの Fix 割合

対象とした GNSS の単一および組み合わせの計 20 通りに対する Fix 割合についてのグラフを図-3 に示す。この値は計 4 回行った実験の結果の平均値である。赤色となっている箇所は、最も Fix 割合が高くなった GNSS の組み合わせである。

#### (2) GNSS の組み合わせごとの 平均観測可能衛星数

対象とした GNSS の単一および組み合わせの計 20 通りの衛星測位の解析結果に対する平均観測可能衛星数についてのグラフを図-4 に示す。この値は計 4 回行った実験の結果の平均値である。赤色となっている箇所は、最も平均観測可能衛星数が多くなった GNSS の組み合わせである。

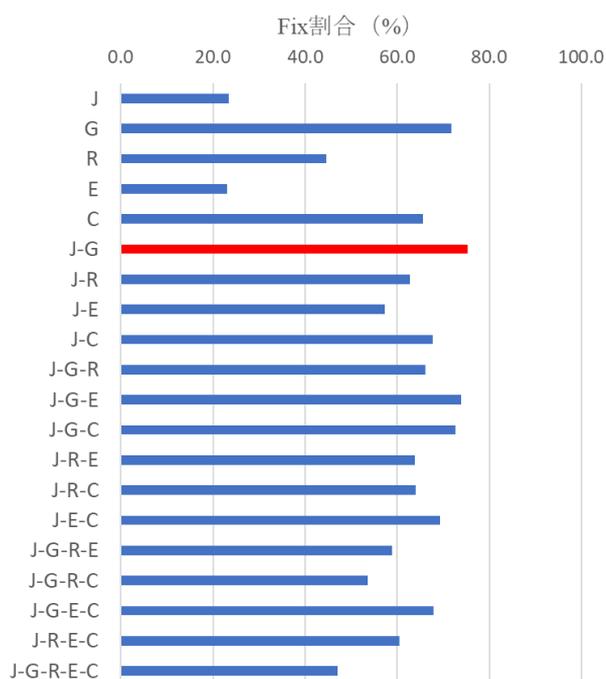


図-3 GNSS の組み合わせパターンごとの Fix 割合

#### (3) GNSS の組み合わせごとの 観測データ数

対象とした GNSS の単一および組み合わせの計 20 通りの衛星測位の解析結果に対する平均観測可能衛星数についてのグラフを図-5 に示す。この値は計 4 回行った実験の結果の平均値である。赤色となっている箇所は、最も観測データ数が多くなった GNSS の組み合わせである。

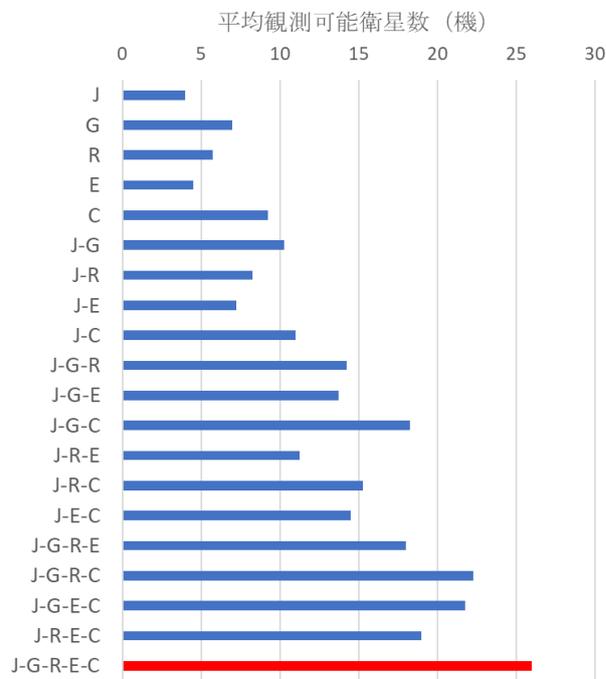


図-4 GNSS の組み合わせパターンごとの 平均観測可能衛星数

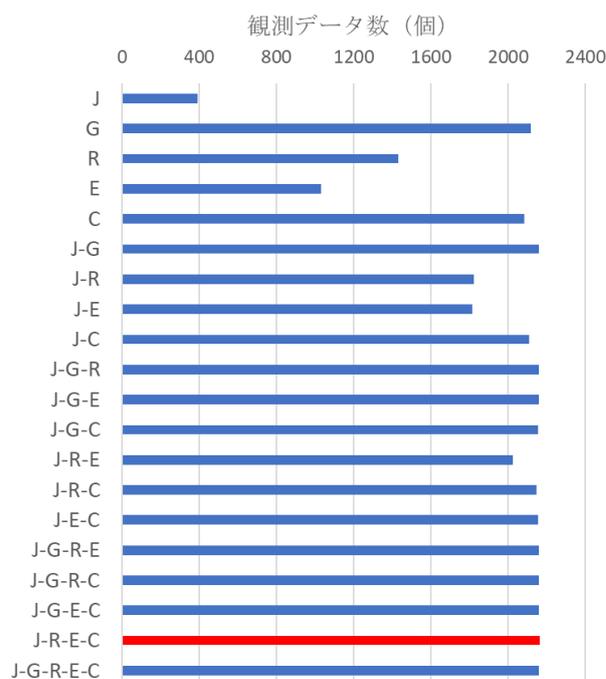


図-5 GNSS の組み合わせパターンごとの 観測データ数

## 4. 評価指標の検証

GNSS の組み合わせ数に着目しながら、まずは Fix 割合について比較すると、どの GNSS の組み合わせ数でも、高いものと低いもの間には、10~15%程度の差異が生じている。組み合わせの種類による差異も存在するが、全体的には、3種類のGNSSの組み合わせが最もFix割合が向上しており、4種類以上のGNSS組み合わせでも、次第に低下する傾向である。ここから、測位に利用するGNSSの数を闇雲に増加させても、Fix解の取得は増加しないといえる。最も高いFix割合となっていた組み合わせはJ-Gであった。

次に、平均観測可能衛星数については、当然ながら、衛星測位に利用するGNSSを増やす、すなわち、より多くの種類のGNSSを組み合わせるようにすれば、増加することが容易に想像でき、その通りとなっている。しかしながら、それぞれのGNSSの単一による平均観測可能衛星数を単純に加算するだけでは、それらのGNSSの組み合わせにおける平均観測可能衛星数が得られる訳ではなかった。例えば、5種類すべてのGNSSの組み合わせによる平均観測可能衛星数の26機は、5種類それぞれのGNSS単一の結果を加算した値である31機とは、平均値の算出に伴う誤差を鑑みても、明らかに異なるものといえる。

さらに、観測データ数に関しては、4回の測位実験の総時間の平均がおよそ37分間であり、ここから、毎秒滞りなく観測データを取得できた場合、観測データ数は2220個となる。この値と比較すると、単一や2種類のGNSSの組み合わせでは、2000個を下回るものも存在するが、3種類以上のGNSSを組み合わせるようになると、すべてで2000個を超え、組み合わせごとの差異も小さく近似した値となる。最も観測データ数が大きくなった(2220個に近かった)組み合わせは、J-G-R-Eの2163個であるが、同水準といえる観測データ数を取得できている組み合わせは他にも複数存在しており、それらに比べて特段有意な差が生じているとは判断できない。

## 5. 総合評価

本研究の結論としては、3つの評価指標も併せて考慮し、総合的に測位精度の優位性を評価した結果として、J-Gが最も優れたGNSSの組み合わせであると判断する。その主な理由としては、まず、Fix割合が最も高いこと、

そして、使用できる衛星の数が必然的に少なくなってしまう2種類のGNSSの組み合わせでありながらも、より多くの種類のGNSSを組み合わせた測位と同水準の十分な観測データ数を実現していることが挙げられ、特に高効率なGNSSの組み合わせといえるためである。

このような結果が得られた要因の一つは、測位に使用するGNSSが2種類に限定されることで、同一の衛星からの長時間の信号受信が行われ、安定した測位が可能となるためであるため、さらに、QZSSそのものがGPSとの併用を前提とし、GPS互換となるよう設計、運用されている<sup>2)</sup>ことも深く影響しているためとも考えられる。

## 6. おわりに

本研究では、最終的にFix割合を主体として、GNSSの組み合わせによる測位精度を評価することとなった。

今後の課題としては、まずは遮蔽等の環境ごとの測位精度の現れ方について、GNSSの組み合わせによる変化を検証することが必要であると考えられる。これによって、より厳しい測位環境においても精度が低下しないような衛星測位システムの組み合わせ方を詳細に知ることができ、より実用面で生かせる結果が得られる。

もう一つには、GNSSの利用において、測量等の精密な測位精度が必要とされる場面では、Fix解のみを用いるが、カーナビゲーション、位置情報サービスなど、それほど精緻な測位結果でなくとも十分な分野では、Float解の測位精度も意味を持つと考えられる。特に、都市部など遮蔽の多い環境下では、Float解の取得が増加するため、GNSSの組み合わせ方によって、このFloat解の精度に変化が生じるかどうか、また変化が生じる場合、その測位精度を高めるようなGNSSの組み合わせについて検証することで、そういった分野に生かされると想定できる。

## 参考文献

- 1) 内閣府：みちびきとは、  
<[https://qzss.go.jp/overview/services/sv01\\_what.html](https://qzss.go.jp/overview/services/sv01_what.html)>,  
(入手2020.7.9).
- 2) 内閣府：みちびきの必要性、  
<[https://qzss.go.jp/overview/services/sv02\\_why.html](https://qzss.go.jp/overview/services/sv02_why.html)>,  
(入手2020.7.9).
- 3) 斎藤飛雄, 佐田達典, 江守央：複数の衛星測位システムを併用した搬送波位相測位に関する研究, 第60回日本大学理工学部学術講演会予稿集, pp.344-345, 2016.