

(80) 遮蔽環境での準天頂衛星システムと他の GNSS 併用時の測位精度比較

照井 理仁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: csri20012@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

現在、日本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、整備が進められ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時の測位精度について、天空方向の衛星電波遮蔽物の大小による比較を行ったものである。衛星測位により取得された測位解に対し、衛星測位システムの併用パターンごとの評価指標を算出することで、どのような併用パターンが遮蔽環境下での測位精度低下を小さくするのか検証した。その結果、最も測位精度の低下を防げる併用方法は、準天頂衛星システムと GPS、BeiDou の 3 種類の併用であると評価した。

Key Words: GNSS, QZSS, kinematic positioning, walking positioning, radio-wave shielding

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¹⁾。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²⁾。

GNSS の併用の効果に関する研究の一つとしては、斉藤ら³⁾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

び時間帯による測位精度の低下を防げる GNSS の併用方法を求めるため、複数の GNSS の併用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 に他の GNSS を併用した際の測位精度に関して、併用パターンごとに測位解の取得傾向を比較することで、最も高精度で安定した衛星測位を実現できる GNSS の併用パターンを検証・評価することを目的とした。したがって、QZSS を有効に活用できる他の GNSS との併用に主眼を置いている。

2. 研究方法

(1) 実験の概要

斉藤ら³⁾の研究では静止測位の実験を対象としていたが、本研究においては移動している際の衛星測位の精度について検証するために、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。移動測位実験は、あらかじめ設定した経路に従う形式で、2020 年 10 月 30 日、11 月 6 日、11 月 30 日の 3 日間で計 8 回実施した。



図-1 移動測位実験の経路（地理院地図より作製）



図-2 実験経路の天空状況抜粋
(左2枚：天空開放，中2枚：東西遮蔽，右2枚：南北遮蔽)

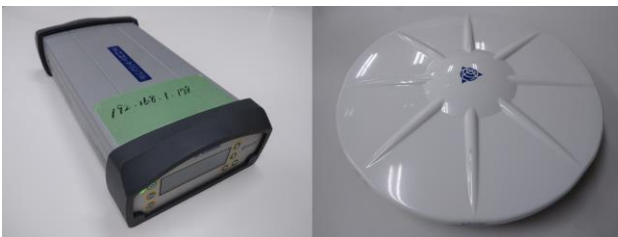


図-3 実験に使用した機材
(左：Trimble NetR9・GNSS受信機，右：GNSSアンテナ)

移動経路の概要は、図-1にて矢印で示した方向およびこれとは反対方向に進行する2種類であり、特色としては、構内には建物や樹木等、異なった種類の遮蔽物が存在しており、さらに南北方向と東西方向とほとんど一致した方角の通路となっている。図-2に上空状況を抜粋し、図-1での位置を番号で対応させ示した。

実験に使用したGNSS受信機はTrimble NetR9であり、図-3は、Trimble NetR9（図左）と基準局用のGNSSアンテナ（図右）の例である。測位方式は基準局と移動局を

表-1 研究対象としたGNSSの併用パターン
(J：QZSS，G：GPS，R：GLONASS，E：Galileo，C：BeiDou)

GNSSの併用数	GNSSの併用パターン
2	J-G / J-R / J-E / J-C
3	J-G-R / J-G-E / J-G-C J-R-E / J-R-C / J-E-C

用いるキネマティック測位で、大学キャンパス構内の天空に遮蔽物が存在しない測量基準点である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

衛星測位実験から得られた衛星データに対し、本研究では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。この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、使用したものはRTK LIB ver. 2.4.3である。RTK POSTでは基線解析により移動局の緯度、経度、標高等の算出を行い、この結果から後述する測位精度の評価指標の求めた。

本実験で衛星データを取得した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について、表-1に示す2種類および3種類のGNSSの併用パターン計10通りについて研究の対象とした。

これらのGNSSの併用パターンごとに測位解を解析し、次に示す2種類の評価指標を算出することにする。そして、それらを比較することで、測位精度が高いと考えられる併用方法を判断する。

a) Fix率

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。Fix率とは、衛星測位の総時間に対するFix解を取得した時間の比率のことである。

同等の測位解の取得状況であれば、Fix率が高い方が測位精度は優れると判断できる。

b) 測位解取得率（解取得率）

本研究の実験では、一秒ごとに測位解を取得する設定にて衛星測位を行った。しかし、衛星の電波遮蔽や測位に必要な数の衛星が観測できない場合などにおいては測位解が得られなくなる。よって、衛星測位の総時間に対する測位解を取得していた時間の比率を測位解取得率

(以下、解取得率とする)として算出した。その理由としては、実用上、Float解を含む測位解全体の取得数が多い方が有効であると考えていることによる。

実験データの解析にあたり、筆者らの以前の研究⁴⁾では、実験全体の測位結果を用いて精度の比較を行ったため、測位精度が高くなる天空が開けた開放地点での測位と、電波遮蔽やマルチパス等により測位精度が低下しやすい遮蔽地点での測位の双方を同時に取り扱っていた。しかし、実際の都市部などでの衛星測位の利用を考えると、遮蔽がある地点での安定した精度の測位が行えることが重要となるため、本研究では実験地点の内、測位が不安定になる遮蔽地点（天空率：約30～50%程度）と、測位が行いやすい開放地点（天空率：約90%前後）における測位結果それぞれの解析を行い、遮蔽が増加した場合の測位状況の低下について比較することとした。

3. 解析結果

評価指標に関して実験データから遮蔽地点と開放地点それぞれにおけるFix率と解取得率について算出した結果を以下の図表に示す。

まず、対象とした10通りのGNSSの併用パターンごとに計8回の実験の平均値を算出した結果を表-2に示す。表中の赤字はそれぞれの評価指標において最高値となったものである。ただし、開放地点での解取得率については多くの併用パターンにおいて同値または近似する結果となったため、最高値を赤字としていない。

続いて、遮蔽地点におけるGNSSの併用パターンごとのFix率、解取得率の算出結果を図-4に、開放地点におけるGNSSの併用パターンごとのFix率、解取得率の算出結果を図-5にそれぞれ示した。

表-2 GNSSの併用パターンごとの遮蔽地点及び開放地点でのFix率・解取得率の結果

GNSSの 併用パターン	遮蔽地点		開放地点	
	Fix率(%)	解取得率(%)	Fix率(%)	解取得率(%)
J-G	50.1	96.7	98.0	99.9
J-R	20.0	79.7	89.2	99.8
J-E	28.0	81.7	90.8	99.8
J-C	45.7	90.0	96.5	98.9
J-G-R	44.1	99.0	95.2	99.9
J-G-E	52.8	99.0	97.1	99.9
J-G-C	55.3	98.7	95.1	99.9
J-R-E	38.5	97.2	96.1	99.8
J-R-C	44.3	97.3	93.3	99.9
J-E-C	51.6	97.6	95.4	99.9

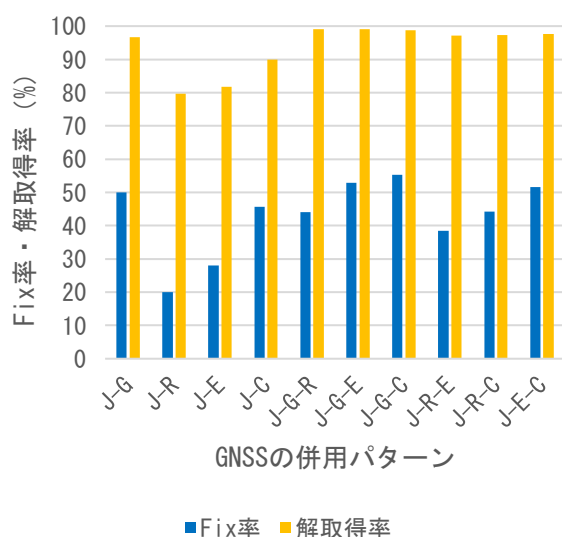


図-4 遮蔽地点におけるFix率・解取得率

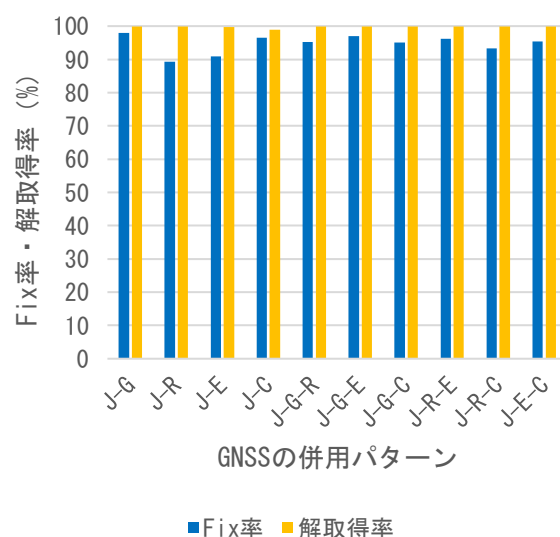


図-5 開放地点におけるFix率・解取得率

4. 測位状況の比較

まず Fix 率について確認すると、遮蔽地点における最高値は J-G-C の 55.3%で、開放地点での最高値は J-G の 98.0%であった。

次に解取得率も同様に確認する。遮蔽地点での最高値は J-G-R と J-G-E が同値で 99.0%である。開放地点に関しては、J-C の 98.9%を除きすべてが 100%に極めて近い結果で、測位解が未取得となる時間がほとんど存在しなかったことになる。開放地点での結果について補足すると、全 8 回の実験結果の内 7 回で、すべての GNSS の併用パターンが 100%となっており、実質的には併用パターンごとの差は存在しないと判断した。

より詳細に実験全体と遮蔽地点での結果を比較するため、遮蔽地点と開放地点での Fix 率と解取得率それぞれの差を算出したものを表-3および図-6にまとめる。これらの差異の結果から、対象とした 10通りの GNSS の併用

表-3 遮蔽地点と開放地点での Fix 率・解取得率の差

GNSSの 併用パターン	開放地点と遮蔽地点の差	
	Fix率(%)	解取得率(%)
J-G	47.9	3.2
J-R	69.3	20.1
J-E	62.9	18.1
J-C	50.8	8.9
J-G-R	51.1	0.8
J-G-E	44.2	0.9
J-G-C	39.7	1.2
J-R-E	57.7	2.6
J-R-C	49.0	2.6
J-E-C	43.8	2.3

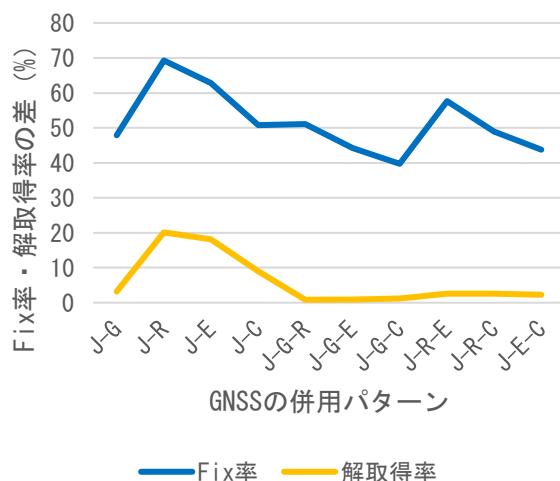


図-6 遮蔽地点と開放地点での Fix 率・解取得率の差

パターンの中で、開放地点に対する遮蔽地点での Fix 率の低下度合いに関して、J-G-C (39.7%低下) が最も小さく、同様に解取得率の低下度合いでは、J-G-R (0.8%低下) が最も小さい結果である。ただし、解取得率の低下度合いは、Fix 率の低下度合いに比べて併用パターン間での差異が小さく、J-G-E や J-G-C も 1%程度の低下であり J-G-R と同水準といえる。

5. 測位精度の評価

本研究では、遮蔽地点における評価指標の結果と、遮蔽地点での開放地点に対する評価指標の低下度合いから、遮蔽環境下でも測位精度が最も低下しにくい GNSS の併用方法は J-G-C であると評価した。加えて、J-G-E、J-E-C の 3 種類の GNSS の併用も遮蔽地点で測位精度が低下しにくい併用方法であるといえる。

全体の結果から、電波遮蔽が想定できる場合は QZSS に GLONASS 以外の 2 種類の GNSS を併用することが測位精度の低下防止に有効である一方で、遮蔽物が無いか一部のみに存在するような場合は、QZSS に GPS のみを併用した方がよいと考えられる。

6. おわりに

本研究では、遮蔽環境での移動測位に関して測位精度低下を防ぐ GNSS の併用方法について検証した。

今後の課題としては、より詳細に細分化した遮蔽環境を対象に検証していくことが挙げられる。これによって、具体的な測位環境での GNSS の併用方法を明らかにし、より実用的な QZSS の利用時における最適な GNSS の併用方法を求めていく予定である。

参考文献

- 1) 内閣府：みちびきとは、
<https://qzss.go.jp/overview/services/sv01_what.html>,
(入手 2021.6.11).
- 2) 内閣府：みちびきの必要性,
<https://qzss.go.jp/overview/services/sv02_why.html>,
(入手 2021.6.11).
- 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.
- 4) 照井理仁, 佐田達典, 江守 央：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, 土木情報学シンポジウム講演集 vol.45, pp.269-272, 土木学会, 2020.