

(66) QZSS のセンチメートル級測位補強サービスにおける遮蔽環境下での複数衛星の併用効果の検証

田村 悠太郎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: csyu22006@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

準天頂衛星システム (QZSS) の提供サービスであるセンチメートル級測位補強サービス (CLAS) は、国土交通省国土地理院が全国に整備している電子基準点のデータを利用して高精度補正情報を計算し、現在位置を正確に求めるためのセンチメートル級測位補強情報を QZSS 衛星から送信するサービスである。本研究では、CLAS を用いマルチパスの影響を受けやすい大学内の遮蔽環境下にて静止測位実験を行い、測位衛星の組み合わせを GPS/Galileo/QZSS, GPS/Galileo, GPS/QZSS, GPS に設定し、Fix 率, RMS 誤差, DOP 等の結果で評価を行った。Fix 率は全ての組み合わせで 80% 以上を示したが、ミス Fix 解の取得が全ての組み合わせの 2DRMSE, RMSE (標高) に影響した。

Key Words: GNSS, QZSS, CLAS, static positioning, accuracy

1. はじめに

近年、米国の GPS、ロシアの GLONASS、欧州連合 (EU) の Galileo、日本の QZSS といった衛星測位システムが整備され、複数種類の測位衛星や新たな周波数帯の信号が使用できるマルチ GNSS の利用が可能となった。

日本の衛星測位システムである準天頂衛星システム (QZSS: Quasi Zenith Satellite System)¹⁾ は、2018 年 11 月から 4 機体制で運用が開始された。2023 年末までに 3 機が追加で打ち上げられる予定であり、2024 年を目処に 7 機体制での運用開始が予定されている。QZSS には、大きく分けて 3 つのサービスがある。GPS と互換性のある測位信号により、GPS と一体で測位する衛星測位サービス、みちびきから補強情報を送信し高精度な測位を可能にする測位補強サービス、地震や津波といった災害などの危機管理情報について、みちびき経由で送信するメッセージサービスがある。本研究では、測位補強サービスの一つであるセンチメートル級測位補強サービス (CLAS: Centimeter Level Augmentation Service)²⁾ に着目した。

センチメートル級測位補強サービス (CLAS) とは、国土交通省国土地理院が全国に整備している電子基準点のデータを利用して高精度補正情報を計算し、現在位置を正確に求めるためのセンチメートル級測位補強情報を QZSS 衛星から送信するサービスである。CLAS が提供しているサービス範囲は日本国内 (沿岸部かつ離島周辺部も含む) である。全国のサービス範囲 12 網に分割し、網毎の補強情報をリアルタイムで生成して配信している。補強対象衛星は現在、QZSS, GPS, Galileo であり、補強対象衛星数は 17 機となっている。受信には、QZSS が送信する L6 信号を受信することが可能な専用の端末が必要となる。CLAS は、情報化施工や自動車の自動運転化といった様々な分野での活用が期待されている。

このようななか、杉山ら³⁾ は日本大学理工学部船橋キャンパス内の様々な環境下の観測点において CLAS による測位を用い、静止測位実験を行っている。実験結果では、遮蔽の少ない環境ほど精度が良好となったが、ミス Fix 解の発生による精度低下から測位解の特性や課題を報告している。また、宇野ら⁴⁾ は日本大学理工学部船橋

キャンパス内の様々な環境下の観測点においてキネマティック測位による実験を行っている。実験結果では、Galileo を併用した場合、十分に観測出来る地点では精度の向上は見られなかったが、マルチパス環境（遮蔽の多い環境）では高さ方向の誤差を低減することを報告している。このように、キネマティック測位方式では測位衛星の種類に着目した研究は報告されているが、CLAS に関しては測位衛星の種類に着目した研究は報告されておらず、マルチパス環境で行った研究もされていない。そこで本研究では、CLAS を用いる衛星測位システムに着目し、静止測位実験においてマルチパス環境下で様々な衛星測位システムの組み合わせを設定し、どの組み合わせが効果的であるか検証を行った。

2. 静止測位実験

(1) 実験概要

2022年5月に日本大学理工学部船橋キャンパスの図-1に示す観測地点（地点211：マルチパス環境）において、受信機とアンテナを設置し、組み合わせごとに1時間の観測を行った。観測時間は1時間であるが、30分後初期化を行い、1セットと2セットに分けて観測を行っている。実験の時間帯に関しては表-1に示す。異なる衛星の組み合わせを同時観測することが出来ないため、時間帯を分けて観測を行った。図-2に示す観測に使用したCLAS受信機は三菱電機社製AQLOC-Lightである。同機はGPS、QZSS、Galileoの電波信号を受信するとともに、センチメートル級測位補強情報をQZSSからのL6波を受信する。実験の組み合わせはGPS、GPS/QZSS、GPS/Galileo、GPS/QZSS/Galileoの4つとし、測位の取得間隔は1Hzとした。仰角マスクは15°に設定した。実験の状況を図-3に示す。受信機の設定はターミナルエミュレータソフト「Tera Term」を用いて、衛星測位システムの組み合わせや測位取得間隔等を設定した。

今回の実験で用いたAQLOC-Light (F/W VER: SF-F3-19-003-G)には「セミ・ダイナミック補正」の機能が搭載されているが、今回はオフにして実験を行った。測位データは今期座標にて取得を行い、国土地理院が提供している定常時地殻変動補正サイト POS2JGD⁹⁾で元期座標に変換することで、観測地点の座標と対応させている。観測地点（地点211）の座標は、平面直角座標系（IX系）にて表したものであり、周辺の電子基準点「千葉市川」、「白井」、「富里」、「千葉花見川」を用いた1級基準点測量である。また、標高は千葉県1級水準点F-35を既知点とした1級水準測量を行って求めた。求めた値を真値とし、値から実測値とのずれを求める際に用いる。

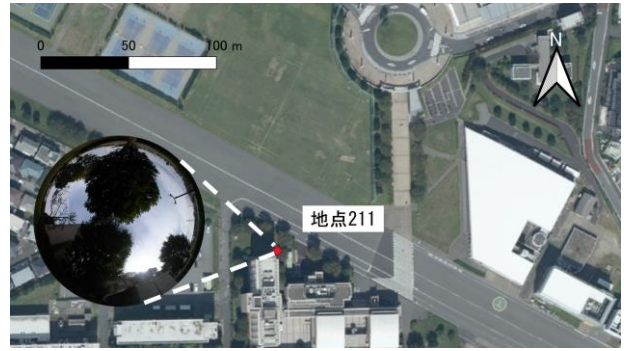


図-1 観測地点（地理院タイルを加工して作成）⁹⁾

表-1 観測時間帯

衛星の組み合わせ	1セット目	2セット目
GPS/Galileo/QZSS	13:20:34-13:52:32 (JST)	13:54:31-14:27:53 (JST)
GPS/Galileo	14:30:01-15:02:36 (JST)	15:04:01-15:38:07 (JST)
GPS/QZSS	15:40:31-16:15:34 (JST)	16:17:01-16:50:19 (JST)
GPS	16:53:31-17:20:30 (JST)	17:22:31-18:00:32 (JST)



図-2 CLAS受信機



図-3 実験状況

(2) 解析方法

NMEA フォーマットで形成されたデータから、Fix 率、2DRMSE、RMSE（標高）、平面分布図、観測衛星数、水平精度低下率（HDOP: Horizontal Dilution of Precision）、垂直精度低下率（VDOP: Vertical Dilution of Precision）を算出し、評価を行った。

(3) 実験結果

a) Fix 率

図-4 に各組み合わせの Fix 率を示す。図中の横軸の G は GPS, GJ は GPS/QZSS, GE は GPS/Galileo, GJE は GPS/QZSS/Galileo である。青色が1セット目, 赤色が2セット目を示す。遮蔽環境下であるが, Fix 率は全ての組み合わせで 80%以上を示した。なかでも, GPS/Galileo は1セット目が 98%, 2セット目は 96.8%を示し, 両セットとの差は1.2%となり, 安定して Fix 解を取得している。

b) 平面分布図

図-5 に各組み合わせの平面分布図を示す。緑色が1セット目, 青色が2セット目を示し, すべて Fix 解のみを抽出している。図の十字線は, 本研究で利用した基準点(地点 211)の座標の真値を示している。全ての組み合わせでミス Fix 解が発生していることが分かる。GPS は, 真値から大きく離れた地点にプロットがされており, 3m 程度のオフセットを持っている。GPS/QZSS も真値から離れた地点にプロットがされており, 0.4m から 1.2m 程度のオフセットを持っている。これらは遮蔽があることで衛星が減少したことが原因と考える。特に GPS は他の組み合わせに比べて, 元々の観測衛星が少ないと予想されるため, 遮蔽があることでより影響を与えていると考える。また GPS/Galileo と GPS/Galileo/QZSS にもミス Fix 解は発生しているが, ミス Fix 解が少ないため, GPS と GPS/QZSS に比べて, 良好である。

c) 2DRMSE, RMSE (標高)

図-6 に各組み合わせの 2DRMSE と RMSE (標高) を示す。1セット目と2セット目共に 2DRMSE と RMSE (標高) は GPS が両セット共に著しく大きな値を示し, GPS/Galileo が最も小さい値を示した。しかし, 全体的に値が大きいことから図-5 の平面分布図で示したとおり, ミス Fix 解の取得が精度に大きく影響を与えていると考える。

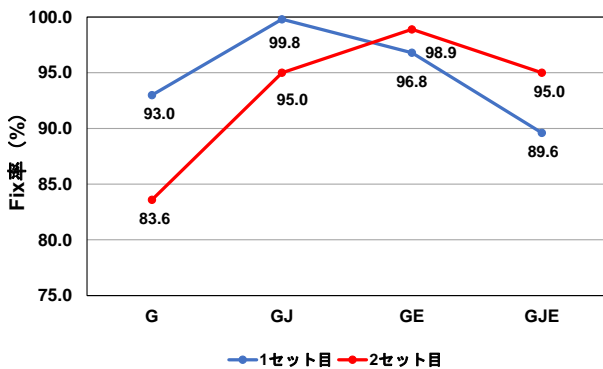
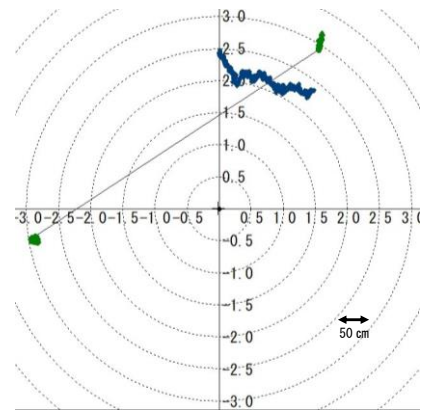
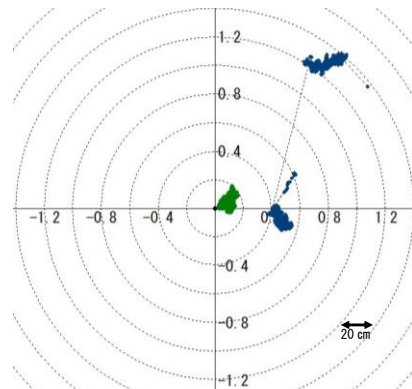


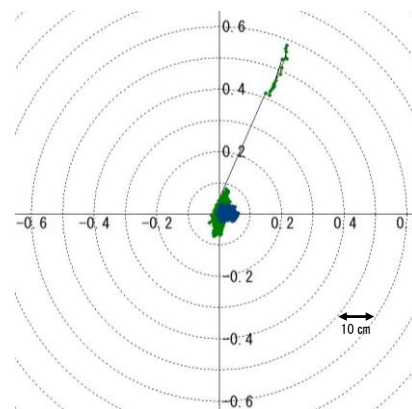
図-4 Fix 率



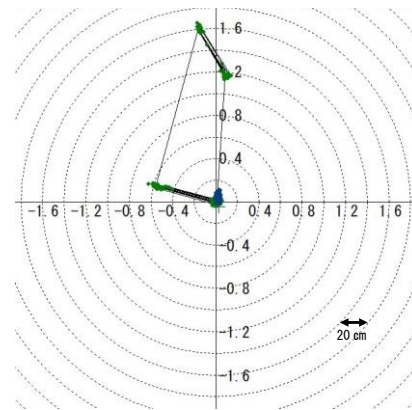
(a) GPS



(b) GPS/QZSS

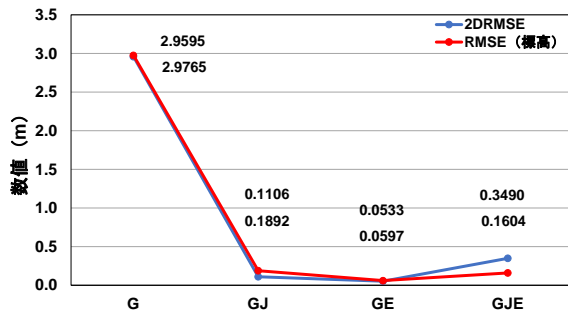


(c) GPS/Galileo

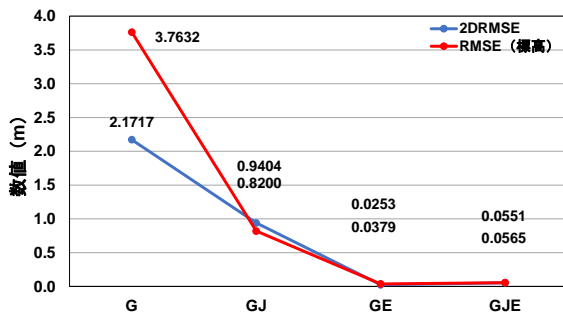


(d) GPS/Galileo/QZSS

図-5 平面分布図



(a) 1セット目



(b) 2セット目

図-6 2DRMS, RMSE (標高)

d) 観測衛星数と DOP

図-7 に各組み合わせの1セット目と2セット目を含めた観測衛星数の平均値と HDOP および VDOP の平均値を示す。DOP は衛星配置が精度劣化に与える指標で値が低いほど良好である。HDOP は水平方向を、VDOP は垂直方向 (標高) を示す。CLAS の観測可能衛星数は最大で 17 機であるが、GPS/Galileo/QZSS が観測した衛星は平均にすると 12 機程度となった。原因として本来観測される衛星が遮蔽により衛星が隠れたためだと考えられる。また本研究で利用した基準点 (地点 211) には、南側に建物があり、同方向に位置する QZSS はその遮蔽により、可視できる時間帯が限られているため、衛星数が減少している。これらは他の衛星も同じように考えられる。HDOP 及び VDOP は、GPS/QZSS がすべての組み合わせのなかで最も大きい値となった。これは観測衛星数で示したように衛星数の減少が影響を与えていると考える。しかし、Galileo を併用した GPS/Galileo/QZSS は、値が大きく下がり、衛星配置が良好である結果となった。このことから、観測衛星が少ない状態であっても Galileo の併用効果があると考えられる。

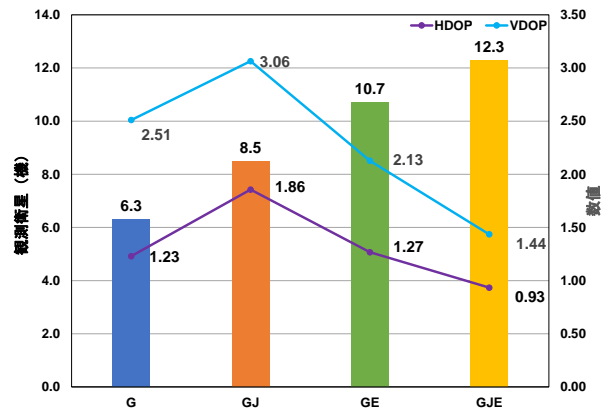


図-7 観測衛星数と DOP の平均値

3. おわりに

本研究では、CLAS を用いた遮蔽環境下での複数衛星の併用効果の検証を試みた。結果を以下にまとめる。

- Fix 率は全ての組み合わせで 80%以上を示した。なかでも、GPS/Galileo が安定して Fix 解を取得した。
- 全ての組み合わせでミス Fix 解が発生し、2DRMSE, RMSE (標高) に影響を与えたが Galileo を併用した GPS/Galileo と GPS/Galileo/QZSS が良好な値となった。
- 観測衛星数は、遮蔽によって全ての組み合わせが減少傾向で、DOP にも影響を与えたが Galileo の併用で値が良好となった。

以上の結果から、Galileo の併用効果があると考えられる。

本研究は、あくまでも 1 時間観測での結果である。今後は、長時間観測や他の遮蔽地点でも検証を続けていく予定である。

参考文献

- 1) 内閣府宇宙開発戦略推進事務局：みちびき (準天頂衛星システム) ,みちびきとは何か, <https://qzss.go.jp/overview/services/sv01_what.html?ref=top> (入手日:2022.6.10)
- 2) 内閣府宇宙開発戦略推進事務局：みちびき (準天頂衛星システム) ,センチメートル級測位補強サービス, <https://qzss.go.jp/overview/services/sv06_clas.html> (入手日:2022.6.10)
- 3) 定常時地殻変動補正サイト POS2JGD, <<https://position.s.gsi.go.jp/cdcs/>> (入手日:2022.6.10)
- 4) 国土地理院：地理院タイル, <<https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html>> (入手日:2022.6.10)
- 5) 杉山海, 佐田達典, 江守央：QZSS のセンチメートル級測位補強サービス CLAS を用いた静止測位実験と測位解の特性に関する基礎的検討, 応用測量論文集, Vol.31, pp.133-142, 2020.
- 6) 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 (土木情報学), Vol.75, No.2, I_78-I_86, 2019.