(67) MMSにおけるGNSSの複数衛星系併用による3次元点群データの比較検証

田村　悠太郎[1]・山口　裕哉[2]・岡本　直樹[3]・岩上　弘明[4]
佐田　達典[5]・江守　央[6]

[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 (Corresponding Author)

[2]正会員　朝日航洋株式会社　（〒350-1165 埼玉県川越市南台 3-14-4）
E-mail: yuya-yamaguchi@aeroasahi.co.jp

[3]正会員　朝日航洋株式会社　（〒350-1165 埼玉県川越市南台 3-14-4）
E-mail: naoki-okamoto@aeroasahi.co.jp

[4]正会員　株式会社ニコン・トリンブル　（〒144-0035 東京都大田区南蒲田 2-16-2）
E-mail: Iwakami.hiroaki@nikon-trimble.net

[5]正会員　日本大学　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@g.nihon-u.ac.jp

[6]正会員　日本大学　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@g.nihon-u.ac.jp

ダイナミックマップの基盤である高精度3次元地図は，MMS（Mobile Mapping System）を用いて計測される．MMSは，GNSSの測位精度やIMUのドリフト蓄積誤差よって計測精度が劣化する課題がある．本研究では，複数衛星系（GPS，QZSS，GLONASS，Galileo，Beidou）の組み合わせが，計測された3次元点群データに及ぼす影響を比較検証した．計測実験にはCP（Check Point）を設置し，点群データとの比較に用いた．結果として，QZSSを併用することにより，基準値からの較差が大きくなり，計測精度に影響を与えてしまう可能性を示した．

Key Words: *MMS，GNSS，IMU，3D Point Cloud Data，MultiGNSS*

1. はじめに

近年，我が国では自動車の自動運転レベルが引き上げられ，公道での自動運転に向けた整備が進められつつある．このようななか，現在開発が進められているのが，高精度3次元地図にさまざまな交通情報などを付加したダイナミックマップ[1)]である．ダイナミックマップとは，移動体間で発信や交換される情報の動的情報，観測時点における実際の渋滞状況などの準動的情報，道路工事や交通規制情報などの準静的情報，道路や道路上の構造物，車線，路面情報などの静的情報の4つで構成される．基盤となる高精度3次元地図は，カメラ，レーザスキャナなどの3次元計測器，GNSS（Global Navigation Satellite System）のアンテナや受信機，IMU（Inertial Measurement Unit）といった慣性計測装置が搭載された MMS（Mobile Mapping System）を用いて計測される．MMSは，道路を走行しながら3次元の空間情報を点群データとして計測する．レーザスキャナは点群データを取得できるが，相対座標で算出されるため，座標系に準じた観測地点の情報を得ることができない．GNSS/IMUはレーザスキャナの位置を絶対座標で与えることができるため，観測地点の点群データを絶対座標に変換して取得できる．このようななか2015年に国土地理院は，マルチGNSS測量マニュアル（案）－近代化GPS，Galileo等の活用－[2)]を発行した．公共測量作業規程の準則で使用可能な GPS，QZSS，GLONASS に加えて，新たにGalileoについて規定した．GNSS/IMUでの規定はされていないが，Galileoが加わることによって，使用

可能衛星が増加することで精度向上や測量可能な場所，時間帯の拡大が期待される．

既存研究として，高野瀬ら [3]は，都市部環境下で適用可能なGNSS/IMUに関する報告をしている．低コスト GNSS/IMU システムと高価な GNSS/IMU システムとの走行軌跡の比較を行っているが，測位衛星については触れられていない．また岡本ら [4]は，複数衛星の併用による MMS の計測精度の検証を報告している．平地部，山間部，都市部に分けて衛星の併用効果の検証を行った．その結果，平地部のような上空視界の遮蔽がなく，十分な受信衛星がある場合には，衛星数の増減による計測精度に与える影響は少ないが，都市部のような上空視界が遮蔽されている箇所では，QZSS が天頂付近にあることで BeiDou や Galileo を併用し衛星数を増加させると同等に精度改善が見込まれることを報告している．しかしながら，有用性のある複数衛星系の組み合わせは提言はされていない．本研究では，複数衛星系（GPS，QZSS，GLONASS，Galileo，Beidou）の組み合わせが，計測された 3 次元点群データに及ぼす影響を比較し，最適な衛星系の組み合わせの提言へつなげることを目的にする．

2. MMS 計測実験

(1) 実験概要

実験は 2022 年 9 月 7 日に日本大学理工学部船橋キャンパスにて実施した．MMS の計測走行経路は，**図-1** に示すように，キャンパス内を周回するように左周り，右回りを設定し，**表-1** の実験スケジュールに示した通り，左周り，右周りのそれぞれ合計 2 周走行を行った．実験実施時の衛星配置は**図-2** に示す．

(2) 使用機材

本計測実験で走行した MMS の車両を**図-3** に示す．MMS の車両には，レーザスキャナ，GNSS/IMU ユニットが搭載されており，車両デッキに格納されている．GNSS/IMU ユニットは，Applanix 製 POS/LV420[7]（AP60）を用いた．GNSS アンテナは Trimble 社製 Zephyr Model 2 を用いた．また，基線解析を行うため，キャンパス内にある基準点に基準局を設置した．

(3) 衛星測位システムの組み合わせ

本研究では，衛星測位システムの組み合わせを 6 パターンに設定した．**表-2** に衛星測位システムの組み合わせを示す．組み合わせは，現在，公共測量作業規程の準則で決められている GPS，QZSS，GLONASS 衛星に加え，マルチ GNSS 測量マニュアルで追加された Galileo 衛星を主に設定した．またそれらの衛星に加え，中国の Beidou 衛星も含め，6 パターン設定した．以下本文では，GPS を G，QZSS を J，GLONASS を R，Galileo を E，Beidou を C と略す．



図-1 走行経路（地理院タイル [5] を加工し作成）

表-1 実験スケジュール

ルート	実施時間帯（実施日：2022年9月7日）
左回り	04：10：18～04：15：38（UTC）
右回り	04：19：04～04：23：50（UTC）

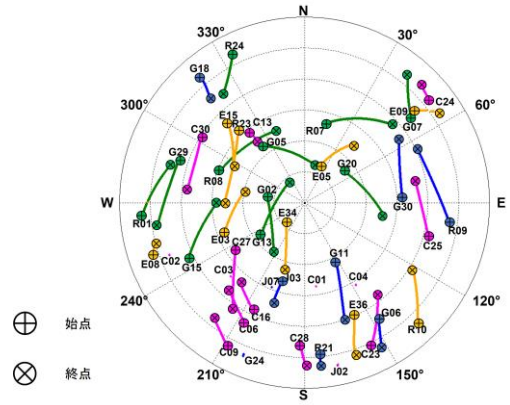


図-2 衛星配置（G：GPS，J：QZSS，R：GLONASS，E：Galileo，C：Beidou）
（RTKPLOT ver.2.4.3 b33[6] を用いて作成した図を加工し作成）



図-3 MMS 車両

表-2 衛星測位システムの組み合わせ

No.	衛星の組み合わせ
①	GPS（G）
②	GPS/QZSS（GJ）
③	GPS/QZSS/GLONASS（GJR）
④	GPS/QZSS/Beidou（GJC）
⑤	GPS/QZSS/Galileo（GJE）
⑥	GPS/QZSS/GLONASS/Galileo/Beidou（GJREC）

(4) 解析方法

計測実験で観測されたデータは GNSS/IMU（POS/LV）から Raw データとして算出される．算出されたデータと基準局で観測した GNSS データにより，解析ソフトウェア POSPacMMS8.8[8]（以下，POSPac と示す）を用いて基線解析を行った．

GNSS/IMU から算出される Raw データは GNSS データと IMU データである．データの取得間隔は，GNSS データが 1Hz，IMU データが 200Hz である．今回用いた GNSS/IMU ユニットは Loose coupling 方式である．GNSS データはリファレンスとして機能し，主に IMU で計測を行った．Loose coupling は GNSS の受信環境に関わらず位置を推定できる．また IMU で推定された慣性航法結果と GNSS の測位結果と比較し，大きな差異がある場合にはマルチパスがあると判断し，GNSS 受信機が出力する測位結果を用いない．

POSPac を用いて行った基線解析では，後処理キネマティック処理を行っており，1 点の基準局を用いた Single Base 処理を用いた．その後 All Processing 処理により，基線解析された GNSS 測位と慣性航法測位が統合され，Forward 処理（時間の通常の方向の処理）と Backward 処理（時間の逆方向の処理）を統合することでデータを算出した．基線解析時に設定した仰角マスクは 15 度である．基線解析後，衛星の組み合わせごとに走行軌跡データを算出し，走行軌跡データからレーザスキャナで計測した 3 次元点群データに座標変換（平面直角座標 9 系）を行った．

3 次元点群データでは，精度を比較するために，走行経路の 4 つの地点に CP（Check Point）を設置した．**図-4** に CP の設置地点を示す．CP の設置地点の特徴として，CP1 は，建物が遮蔽となっている．CP2 は車両旋回後であり，樹木が遮蔽となっている．CP3 も CP2 と同様，車両旋回後であり，樹木が遮蔽となっている．CP4 は空は開けているが，高低差がある区間となっている．

CP の座標と衛星の組み合わせごとの CP の 3 次元点群データを比較する．比較方法は，CP の座標と CP の 3 次元点群データの座標との較差を算出し，衛星の組み合わせごとに比較する．

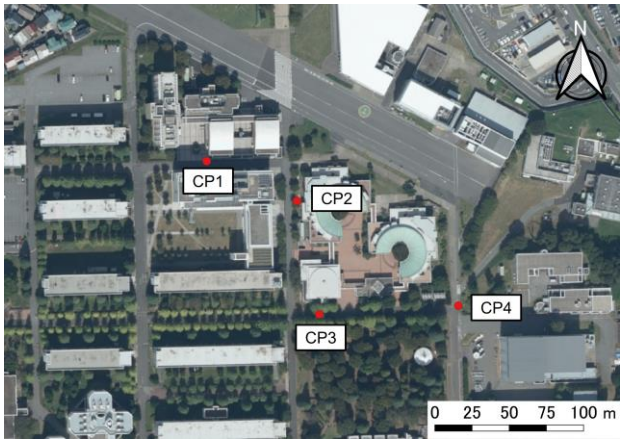


図-4 CP 設置地点（地理院タイル[5] を加工し作成）

3. 座標較差の比較

図-5 から**図-8** に各 CP の地点の衛星組み合わせの較差を示す．青色が Y 方向，赤色が X 方向，緑色が Z 方向を示す．

CP1 では，Y，X，Z 方向共に全ての組み合わせで ±0.05（m）以下になった．G は，CP1 と座標がほぼ等しく，較差がほとんどなかった．GJ，GJR，GJC，GJE，GJREC では，X 方向及び Z 方向で+0.02（m）から+0.03（m）程度の較差があった．Z 方向は，QZSS を併用することで，較差が生じている．

CP2 では，全ての組み合わせで Y 方向で-0.03（m）か-0.05（m）程度，X 方向で-0.01（m）から+0.02 程度，Z 方向は，+0.03（m）から+0.08（m）程度の較差があった．CP1 と同様に較差が小さかったのは G である．特に Z 方向では，G が+0.05（m）以下と小さい値になったが，それ以外の GJ，GJR，GJC，GJE，GJREC は+0.05（m）を超える結果となった．要因としては，MMS 車両の旋回や樹木などの遮蔽による測位精度の劣化が考えられる．また，QZSS の併用により，較差が大きくなっているのが分かる．GLONASS や Beidou を併用することで，若干の較差の値の改善は見られるが，+0.05（m）から+0.06（m）程度較差がある．

CP3 は，全ての組み合わせで X 方向は-0.10（m）以上と大きな較差があった．系統誤差にみられるが，これはレーザスキャナで計測した点群側に要因があると推察する．CP4 の地点は空は開けているが，鋼板型のグレーチング上に設置しているため，点群のノイズが関係していると考える．

CP4 は，全ての組み合わせで Y 方向で-0.04（m）から-0.05（m）程度，X 方向で+0.01（m）から+0.04（m）程度，Z 方向で+0.01（m）から+0.03（m）程度の較差があった．CP1 や CP2 同様に G の較差が最も小さいといえる．GJ，GJR，GJC，GJE，GJREC を比べると，較差に大きな違いはない．

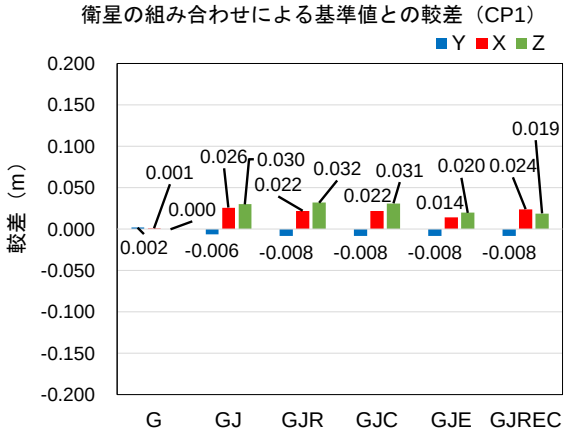


図-5 CP1

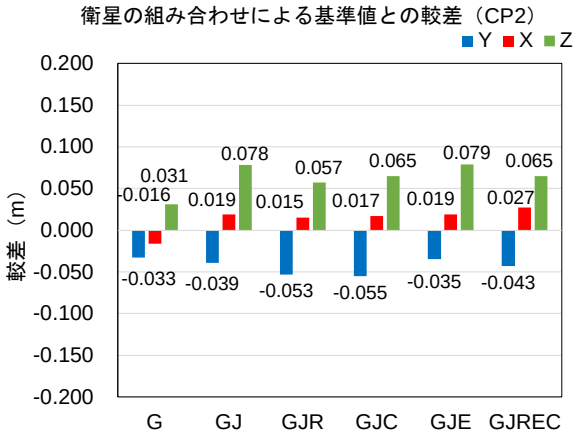


図-6　CP2

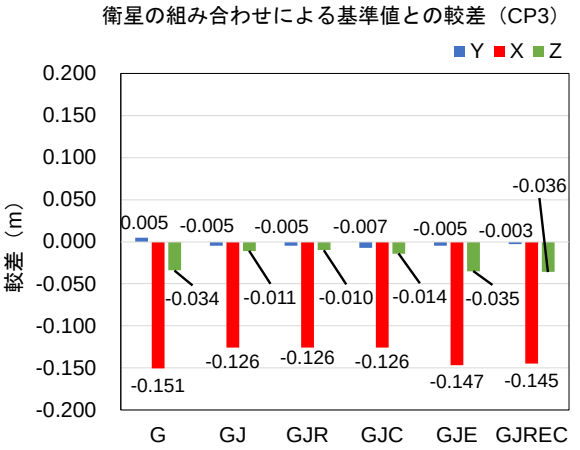


図-7　CP3

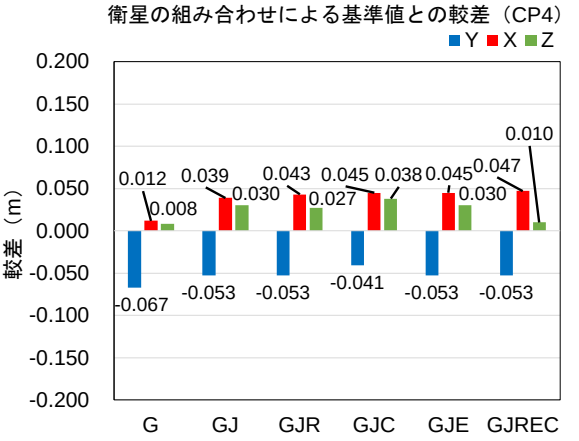


図-8　CP4

4. おわりに

(1)　本研究の結果のまとめ

本研究では，MMS が走行する経路に CP を 4 箇所に設置し、複数衛星系（GPS，QZSS，GLONASS，Galileo，Beidou）の組み合わせ 6 つのパターンに設定し，各組み合わせの CP の 3 次元点群データと比較検証を行った．本研究の結果は，大学構内で計測した場合であり，全ての事例で同じ傾向がみられるとは限らない．留意した上で，本研究の結果をまとめると，QZSS の併用により，較差変化する傾向があった．CP2 では，QZSS を併用することで Z 方向の較差が大きくなった．QZSS に GLONASS や Beidou を併用することで較差は小さくなったが，大きな改善はされていない．QZSS 衛星は，南北方向に位置するため，建物等で遮蔽されると計測精度に影響を与えてしまう可能性がある．

(2)課題と今後の展望

本研究で得られた課題を以下に挙げる．

・CP 設置地点の改善

本研究では，CP を 4 箇所に設置したが，遮蔽がある地点であった．CP 設置地点は，マンホールやグレーチングといった反射素材であるため，ノイズの影響が受けやすい．また，空が開けている環境等の検証も必要と考える．それらを踏まえて，CP の設置する地点を留意する必要があると考える．

・GLONASS，Beidou の併用

本研究の結果では，QZSS 併用することで，較差が大きくなった．GLONASS や Beidou を併用することで，較差が小さくなったため，QZSS を含まない組み合わせでも検証が必要と考える．

以上の課題を留意して，今回と同様の実験を複数回行い，衛星の組み合わせによる影響を評価し，最適な条件を提言していきたい．

参考文献

1) ダイナミックマップの概念/定義および SIP-adus における取組に関する報告第 30 回 SIP 自動走行システム推進委員会資料, <https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/iinkai/jidousoukou_30/siryo30-2-1-1.pdf>（入手日 2023.1.20）.
2) 国土地理院：マルチ GNSS 測量－近代化 GPS，Galileo 等の活用－，<https://psgsv2.gsi.go.jp/koukyou/public/multignss/multi_gnss_manual.pdf>（入手日 2023.1.20）.
3) 高野瀬碧輝，渥美喜規，滝川叶夢，目黒淳一：都市部環境下で適用可能な GNSS/IMU に関する研究，自動車技術会論文集，Vol.51，No.4，July 2020.
4) 岡本直樹，白石宗一郎，山口裕哉，岩上弘明，笹野拓海，佐田達典：複数の衛星測位システムによる MMS の計測精度の検証，日本写真測量学会秋季学術講演会発表論文集，pp.57-60，2021.
5) 国土地理院：地理院タイル，<https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html>（入手日 2023.1.20）.
6) T.TAKASU：RTKLIB:An Open Source Program Package for GNSS Positioning, <https://rtklib.com/>,（入手日 2023.1.20）.
7) Applanix:POSLV420, <https://www.applanix.com/downloads/products/specs/POS-LV-Datasheet.pdf>,（入手日 2023.1.20）.
8) Applanix:POSPacMMS8.8, <https://www.applanix.com/downloads/products/specs/POSPac_MMS_8_Infosheet.pdf>,（入手日 2023.1.20）.