

(77) QZSS のセンチメートル級測位補強サービスにおける移動体での測位精度検証

山田 真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: csma21012@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

QZSS が提供するセンチメートル級測位補強サービス (CLAS) は、ユーザー単独での測位でありながら、短時間で高精度な解を取得できる PPP-RTK 測位という測位方式となっている。そのため、CLAS は移動体での利用に適しているといえる。本研究では、CLAS と RTK 測位による移動測位実験を行い、双方のデータを比較し、CLAS の精度を検証した。検証の結果、CLAS の Fix 率は約 65.0%~100%、RTK 測位の Fix 率は約 65.0%~80.0%となり、変動は大きいものの、CLAS は RTK 測位より Fix 率が高い傾向にあった。また、測位解に大きな水平誤差を持つものが少ないこと、Float 解の安定性が高いことを CLAS の特徴として確認した。これらのことから、CLAS は移動体での測位に優位であるといえる。

Key Words: QZSS, CLAS, PPP-RTK, kinematic positioning

1. はじめに

現在、内閣府が掲げる「宇宙基本計画」や、国土交通省が進める「i-Construction」の下で、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) を用いて取得した測位データを、建設、交通、物流などの分野に活用する動きが進んでいる。

QZSS は、主に米国の GPS (Global Positioning System) 衛星を補完する機能を持つが、QZSS 独自の機能も存在する。その一つが、QZSS を用いた PPP-RTK (Precise Point Positioning Real Time Kinematic) 測位である「センチメートル級測位補強サービス (CLAS: Centimeter Level Augmentation Service)」であり、2018 年から運用されている。CLAS は、QZSS 衛星から補強情報を L6 信号にて配信するサービスである。CLAS の特徴として、RTK 測位で必要となる基準局の設置や、ネットワーク型 RTK 測位の利用時に必要な地上系の通信環境やサービスの利用料金が不要である点、また初期捕捉時間 (TTFF: Time To First Fix) が 60 秒 (95%値) と短い点などが挙げられる。CLAS は、このような利用時の手軽さが特徴であること

から、移動体での利用に適しているといえる。実際に、CLAS はドローンや除雪車両、自動運転車といった移動体での活用、実証事業が進んでいる。

このようななか、佐田ら²⁾は 2018 年 12 月に、CLAS による移動測位実験 (場所: 日本大学理工学部船橋キャンパス内) を行っているが、結果として Fix 率が 0%~100%と非常に不安定であったこと、高速での移動時に測位精度が低下することを報告している。また、Narnie と Kubo³⁾は 2019 年から 2020 年にかけて、CLAS による移動測位実験 (場所: 防衛大学校キャンパス内、東京都江東区内の公道) を行っている。CLAS の Fix 率は 7.9%~82.4%と、時期や走行ルートにより変動幅が大きい⁴⁾が、公道での実験では、RTK 測位との比較から CLAS の測位精度 (RMS Error) は良好であったと報告している。

なお、これらの既存文献の実験実施時は、CLAS の補強対象衛星数が最大 11 機であった。補強対象衛星数は、2020 年 11 月に最大 17 機へ拡大⁴⁾されているため、測位精度や安定性が向上している可能性がある。そこで本研究では、CLAS の補強対象衛星数が最大 17 機の環境の下で移動測位実験を行い、CLAS の測位精度を検証する。

2. 実験方法

(1) 実験概要

移動体での CLAS 利用時における測位精度を検証するために、CLAS および RTK 測位（比較用）による自動車での移動実験を、日本大学理工学部船橋キャンパス内にて行った。表-1 に実験のスケジュール、図-1 に実験時の写真を示す。移動実験は、図-2 のように大学構内を周回する3つのルート（地形は概ね平坦）を設定し、それぞれを時計回り、反時計回りに走行した。走行速度は、時速 15km/h 前後である。また、時間帯を分けて、計3回の実験を行った。

(2) 使用した受信機と解析ソフトに関して

a) CLAS

実験に使用した CLAS 用の受信機は、三菱電機株式会社製の AQLOC-Light (F/W VER: SF-F3-19-003 G) である。受信機の主な設定項目は表-2 のように設定した。

なお、受信機搭載の「セミ・ダイナミック補正」の機能は OFF としたが、RTK 測位で得た測位解と整合させるため、後処理で元期座標に変換した。

b) RTK 測位

比較用の RTK 測位で使用した受信機は、Trimble NetR9 である。測位データの基線解析は、後処理基線解析用のアプリケーションプログラム「RTKPOST ver. 2.4.3 b33」を用いて行った。CLAS と条件を揃えるため、基線解析時の設定（仰角マスク、使用した衛星測位システム、測位解の出力周期）は CLAS と同様とした。

(3) アンテナの設置に関して

本実験では、2 種類の受信機を使用したため、2 つのアンテナを実験用車両のルーフに設置した。図-3 はアンテナの設置状況である。

また、RTK 測位用の基準局は、大学構内に設置されている基準点 203（オープンスカイ）に設置した。表-3 は、基準点の座標（元期座標）である。X 座標、Y 座標に関しては、平面直角座標系 IX 系にて示したものであり、電子基準点を含めた GNSS 観測と TS 観測で求めた。また、標高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。

表-1 実験スケジュール

実験内容	実施日時 (JST)
1 回目	2021 年 5 月 29 日 11:27:00~11:47:02
2 回目	2021 年 5 月 29 日 13:30:00~13:49:57
3 回目	2021 年 5 月 29 日 16:08:00~16:27:36



図-1 実験の様子



図-2 走行ルート (Google Earth Pro より作成)

表-2 受信機の設定 (CLAS)

設定項目	設定内容
使用した衛星測位システム	QZSS, GPS, Galileo
仰角マスク	15°
セミ・ダイナミック補正	OFF
INS の使用	OFF
測位解の出力周期	10Hz

表-3 基準局（基準点 203）の座標

X 座標(m)	Y 座標(m)	標高(m)
-30243.8434	20018.6114	28.0992

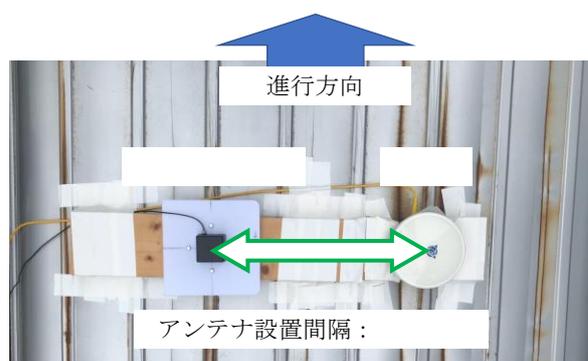


図-3 アンテナの設置状況

(4) 解析方法

a) 測位解の構成

CLAS の精度を評価するための指標として、解種 (Fix 解, Float 解, 単独測位解, 未測位) 別で示した測位解の構成 (Fix 率など) を用いる。CLAS と RTK 測位で測位解の構成を比較することで、CLAS の特徴を示す。

b) 2 点の座標の比較

CLAS で取得した測位解の誤差を示すために、RTK 測位で取得した Fix 解をみなし真値として算出した 2 アンテナ間の較差 (以下、CLAS 水平較差と表記する) を算出し、CLAS の精度評価に用いる。較差を算出するために、CLAS および RTK 測位で得た測位解 (世界測地系) を平面直角座標系 IX 系の X 座標、Y 座標に変換している。

みなし真値 (RTK 測位で取得した Fix 解) が正確であると仮定すれば、CLAS 水平較差とアンテナ設置間隔 (0.447m) の差は、CLAS で取得した測位解に含まれる水平誤差を表すことになるが、実際にはみなし真値も誤差を含む可能性がある。また、CLAS の測位解がプロットされた方角に関しては考慮していない (例えば、CLAS の測位解でみなし真値から北に 10cm の誤差を持つ解と、南に 10cm の誤差を持つ解が存在したとき、それらは同一の大きさの誤差を持つと判定される。CLAS のアンテナが、実際にはみなし真値から南に 5cm の位置にあるとすれば、誤差の大きさは北にずれた解がより大きいはずである)。そのため、CLAS 水平較差とアンテナ設置間隔の差は、CLAS の水平誤差を正確に表現するものではない。ここでは、ひとつの参考として示す。

c) Google Earth による表示

測位データ (NMEA 0183) を KML (Keyhole Markup Language) に変換し、Google Earth 上にプロットすることで、視覚的に測位解の挙動を評価した。

3. 実験結果

(1) 測位解の構成

図-4 および図-5 は、CLAS と RTK 測位にて取得した測位解の構成図である。図中の赤字は、同時に取得した CLAS と RTK 測位の Fix 率を比較したときに、低い値となった側の Fix 率を示している。

両図を比較すると、RTK 測位の Fix 率は約 65.0%~80.0%で安定しているが、CLAS の Fix 率は約 65.0%~100%となり、変動の幅が大きいことが分かる。また、各実験回 (時間帯) ごとに見ると、RTK 測位は 1 回目の走行実験時で Fix 率が全体的に高く、2 回目、3 回目と回を重ねる (時間帯を変更する) ごとに Fix 率が下がっているが、CLAS の Fix 率には、時間帯による Fix 率の変動は見られない。このように、CLAS と RTK 測位では異なる

傾向を示したものの、Fix 率の値そのものを比較すると、「1 回目時計ルート 2」を除く全ての実験回で、CLAS の Fix 率が RTK 測位の Fix 率を上回る結果となった。

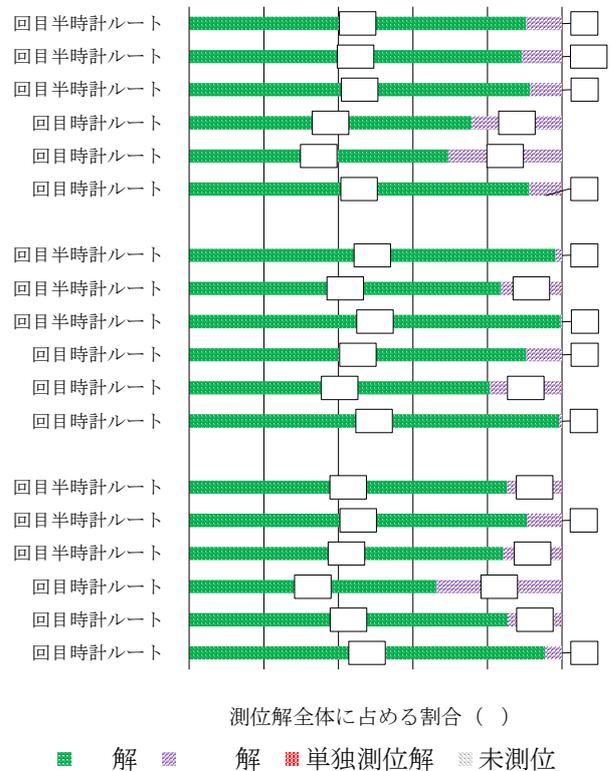


図-4 測位解の構成 (CLAS)

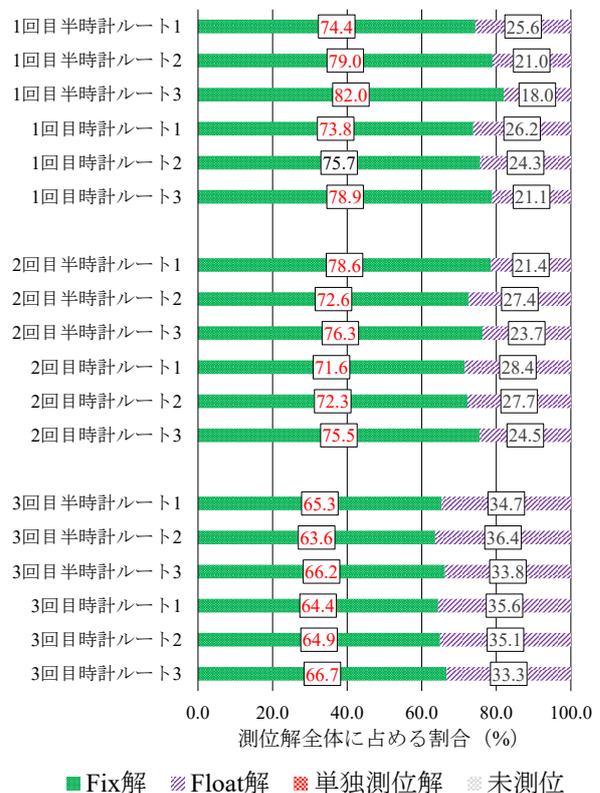


図-5 測位解の構成 (RTK 測位)

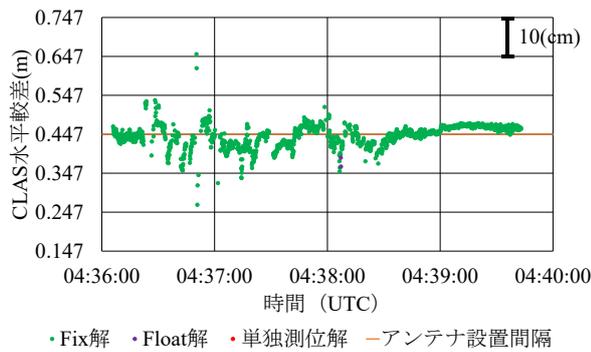


図-6 CLAS 水平較差 (2回目半時計ルート3)

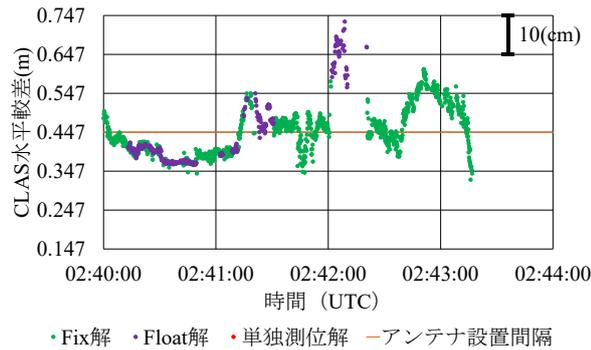


図-7 CLAS 水平較差 (1回目時計ルート2)

(2) CLAS 水平較差

図-6 および図-7 は、CLAS 水平較差の時系列変動図である。ここでは、代表して CLAS の Fix 率が最も高かった「2回目半時計ルート3」、および CLAS の Fix 率が低く RTK 測位の Fix 率を下回った「1回目時計ルート2」の結果を示している。なお、第2章第4節b項にも記載した通り、この CLAS 水平較差は CLAS の測位解に含まれる水平誤差を正確に表現したものではない。

各図を見ると、CLAS 水平較差は概ねアンテナ設置間隔から±10cm以内に収まっていることがわかる。また、図-7を見ると、Float解に関しても概ねFix解と同様な傾向となっているが、一部で20cm近くの水平誤差を含む可能性のある解が存在する。

(3) Google Earth による評価

ここでは、Google Earth に取得した測位解をプロットし、測位解の挙動を評価する。図-8はCLAS、図-9はRTK測位の結果(1回目反時計ルート1)である。プロットの色は解の種類を示し、緑がFix解、オレンジがFloat解である。図-8、図-9で表示している箇所は、南北に建物が存在する箇所である。建物により測位信号が遮断、劣化する可能性があり、衛星測位環境としては厳しい環境といえる。

両図を比較すると、CLASは遮蔽環境下においてもFix解を取得しやすいこと、またRTK測位よりFloat解の安定性が高いことがわかる。



図-8 CLASでの測位解 (Google Earth Pro より作成)

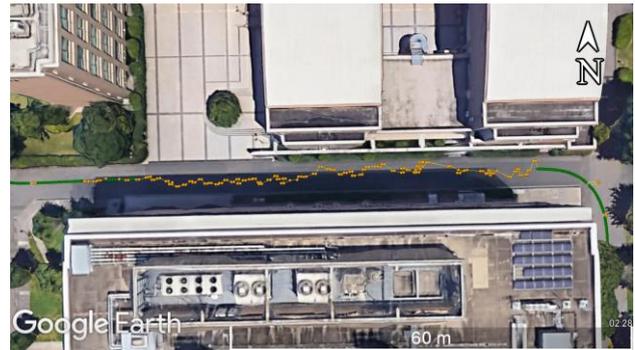


図-9 RTK測位での測位解 (Google Earth Pro より作成)

4. 考察とまとめ

実験の結果、CLASはRTK測位と比較し、Fix率が高く、Float解の安定性が高いという結果となった。また、みなし真値(RTK測位のFix解)と比較した結果、CLASの測位解に大きな水平誤差を持つものは少なかった。これらのことから、CLASは移動体での利用に優位であるといえる。

参考文献

- 1) 内閣府宇宙開発戦略推進事務局：センチメートル級測位補強サービス、
<<https://qzss.go.jp/technical/system/l6.html>>、
(入手 2021.6.11)。
- 2) 佐田達典, 永田大輝, 江守央：準天頂衛星システムのセンチメートル級測位補強サービスを用いた静止及び移動測位実験, 応用測量論文集, Vol.30, pp.165-174, 2019.
- 3) Namie, H., Kubo, N: Performance Evaluation of Centimeter-Level Augmentation Positioning L6-CLAS/MADDOCA at the Beginning of Official Operation of QZSS, *IEEE Journal of Industry Applications*, Vol.10 No.1, pp.27-35, 2021.
- 4) 内閣府宇宙開発戦略推進事務局：CLAS：補強対象衛星数の拡大について、
<https://qzss.go.jp/overview/information/clas_201117.html>、
(入手 2021.6.11)。