

CLARCS を用いた測位精度の実験的解析、評価について

Experimental analysis and evaluation of positioning accuracy using CLARCS

中川 豊[†], 松村 大輝[†], 東野 武史[†], 岡田 実[†],

[†] 奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科

Yutaka Nakagawa[†], Taiki Matsumura[†], Takeshi Higashino[†] and Minoru Okada[†]

[†] Nara Institute of Science and Technology

Graduate School of Advanced Science and Technology

Abstract CLARCS generates the RTK corrections using a virtual reference point from the L6 signal of Michibiki's CLAS (Centimeter-Level Augmentation Service) and distributes them over the Internet. CLARCS can be used with any RTK receiver and does not require a CLAS compatible receiver. When we obtained the positioning accuracy with CLARCS, we obtained an accuracy close to that of kinematic positioning using a reference station.

キーワード: 準天頂衛星, ネットワーク型 RTK, CLAS, CLARCS

1 はじめに

局地的な気象予測には衛星測位の誤差要因の1つである対流圏遅延の高精度かつ迅速な推定が重要であると考えられる。しかし後処理で使用する精密暦(最終暦)を基にした対流圏遅延の推定をリアルタイムでの気象予測に用いることはできない。ネットワーク型 RTK では衛星、電離層および対流圏の誤差要因を補強情報としてリアルタイムで配信されている。ネットワーク型 RTK の測位精度を解析、評価することで対流圏遅延の高精度かつ迅速な推定につなげることを目標とし、その前のステップとしてネットワーク型 RTK の VRS (Virtual Reference Station) 方式である、CLARCS (CLAS-based RTK Correction System) を使用した測位精度の解析、評価を行った。

2 CLAS と CLARCS の原理

2.1 CLAS

CLAS (Centimeter Level Augmentation Service) は図 1 に示すとおり、2018 年 11 月 1 日にサービスが開始された準天頂衛星システム (QZSS) みちびきのセンチメートル級測位補強サービス [1] である。日本全国約 1,300 か所に配置された電子基準点の GNSS 観測データから衛星測位での誤差要因である衛星時計誤差、衛星軌道、衛星信号バイアス、電離層遅延誤差、対流圏遅延誤差等を推定し補正情報を生成する。さらに異常監視とインテグレーション情報を付加した補強情報として準天頂衛星の L6 帯の周波数で放送している。補強情報のメッセージ規格は RTCM で用いられていると同様の SSR(State Space Representation) 方式が採用されている。CLAS のサービス性能は表 1(2023 年 1 月 25 日現在) に示すとおりである。なお CLAS は L6 信号を受信できる受信機とデコーダが必要であり、測位方式は PPP-RTK である。

2.2 CLARCS

CLARCS[2] は図 2 に示すように、CLAS の L6 信号から、仮想基準局地点の RTK 補正値を生成し、インターネット経由で配信するサービスである。CLARCS は、ハイエンドな CLAS 対応の受信機は不要で、RTK 受信機が 1 台あれば、高精度な測位が可能である。ユーザーに必要なのは図 2 の右側の赤色の破線

表1 CLAS の主な仕様

項目	仕様
補強対象の GNSS 信号	GPS : L1C/A, L1C, L2P, L2C, L5
	QZSS : L1C/A, L1C, L2C, L5
	Galileo : L1B,E5a
サービスエリア	日本及び近海
位置精度 (オープンスカイ 5%)	静止体 : 水平 6cm/ 垂直 12cm
	移動体 : 水平 12cm/垂直 24cm
初期化時間 (95%)	60 秒以下

で囲まれた機器だけである (図 2 の ①,②,③ は機器の構成の例を示す)。ユーザは仮想基準点周り (約 10km 半径以内) にて、無限数の RTK 受信機で cm 級測位が可能となる。補強データは OSR(Observation-space Representation) 方式が採用されている。測位方式は PPP-RTK である。仮想基準点座標基準で 3.4cmRMS の精度を実現。精度達成までの時間は 1 分以内である [3]。以下に CLAS データを基にした CLARCS の処理のフローを述べる。

- 電子基準点が配信する測位衛星の観測データ (搬送波の位相) を用い、CLAS データセンターが衛星の誤差と電離層・対流圏誤差の補正值を計算し、みちびきから放送する。
- CLAS 専用受信機で、コード単独測位を行い、ユーザ近傍の仮想点座標を取得する。
- CLAS と測位衛星の軌道情報から仮想点上の RTK 補正值 (測位衛星からの観測データ) を求める。
- 専用受信機の搬送波受信結果と仮想点の RTK 補正值を用いて RTK 測位する。

Overview of CLAS (Centimeter Level Augmentation Service)

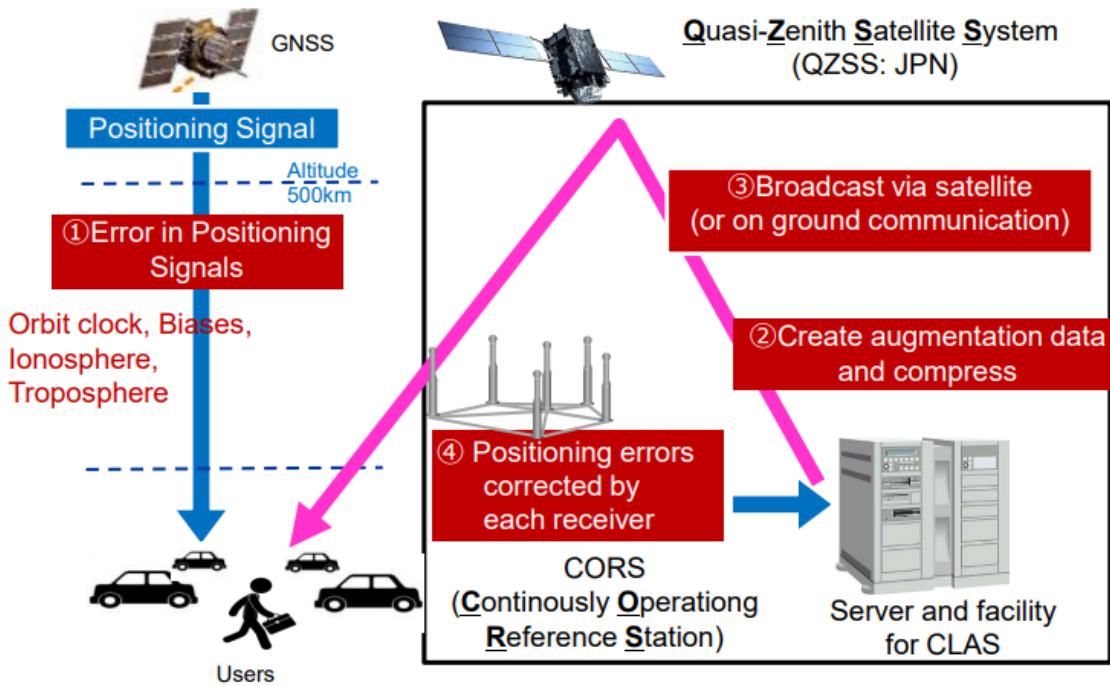


図1 CLAS の構成 [2]

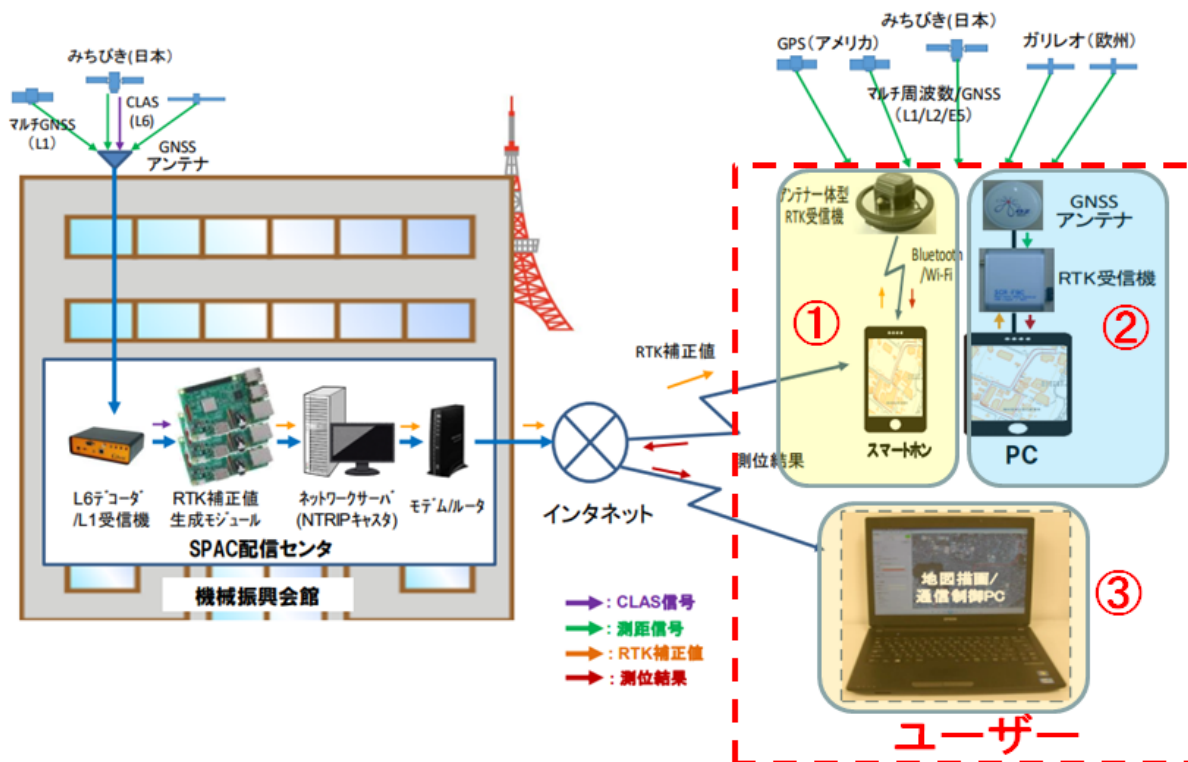


図2 CLARCS の構成 [3], 一部改編

3 測位精度の比較に使用した測位方式

3.1 単独測位

単独測位は単一の受信機のデータを使って測位を行う方式であり以下の計算手順による。

1. 衛星・受信機間の距離 (擬似距離) をコードにより測定する。
 2. 衛星の位置を計算する。
 3. 衛星の時計誤差を計算する。
 4. 衛星位置を中心とする複数の球の交点として受信機の位置を求める。
- 誤差は約 10~20m 程度である。

3.2 ネットワーク型 RTK 測位

高い測位精度を実現する RTK 測位では、移動局近傍に基準局の設置が必要であり、自営系の基準局を設置する場合は、受信機は基準局用と移動局用の 2 台が必要である。本報告において、比較の対象とした仮想基準点を使用する CLARCS は VRS (Virtual Reference Station) のひとつであり、仮想基準点の設置場所に依存する補強データがネットワーク経由でユーザに配信される。必要となる設備は、移動局の受信機のみでよく、移動局と基準局の距離による測位精度の低下も発生しない。

3.3 Kinematic 測位

座標が既知の基準局で観測した搬送波位相と座標が未知の移動局で観測した搬送波位相を使用して、基準局からの相対的な座標を求めるのが kinematic 測位である。観測データとして、単独測位で用いられる擬似距離 (コード) に加えて搬送波位相を使用し、基準局での観測値が補正データとして利用できることからセンチメー

ターオーダの測位精度を達成する。

4 実験方法

表 2 実験諸元

項目	内容
実験実施日	2022 年 8 月 23 日および 9 月 26 日
実験状況	屋外の徒歩による移動
場所	大学構内
受信機	U-blox F9P
アンテナ	全天候型 2 周波対応

表 3 測位モード

項目	測位モード	基準局
実験実施日	単独測位	なし
実験状況	ネットワーク RTK 測位 (CLARCS)	仮想基準点
場所	kinematic 測位	実基準局

表 4 設定値

element	value
obs start time(a)	2022/8/23 06:37:02 (GPST)
obs end time(a)	2022/8/23 06:45:14 (GPST)
obs start time(b)	2022/9/26 05:34:21 (GPST)
obs end time(b)	2022/9/26 05:37:35 (GPST)
frequency	L1+L2
elevation mask	20.0 deg
tide corroration	on
ionos option	Iono-Free LC
tropo option	Estimate ZTD
ephemeris	Broadcast
navi system	GPS, GLONASS, Galileo, QZSS
ref base position(lat)	34.73211595 deg
ref base position(lon)	135.7341747 deg
ref base position (ellipsoidal height)	191.8915(m)

表 2 に実験の諸元を示す。機材は L1/L2 周波数帯対応の GNSS 受信機、アンテナおよびデータロギング用 PC である。CLARCS からの補強情報はネットワーク経由で取得する。表 3 に実験モードの種類を示す。同じ移動条件と経路で単独測位と CLARCS、および実基準局を利用する RTK(Real Time Kinematic) 測位との精度を比較する。奈良先端科学技術大学院大学 (奈良県生駒市高山町 8916 番地の 5) 構内の徒歩による移動体測位を行い、受信機による測位結果、後処理で使用する観測データ、航法メッセージ、および CLARCS 補強データ等を収集した。都市部においては、建物の影響により衛星視界の遮断やマルチパスにより測位精度が劣化するばかりではなく、測位そのものがない場合が発生する。衛星視界による測位性能の劣化がアプリケーションへの展開における根本的な阻害要因となっている。これに対してオープンスカイの状態とは、移動中に衛星信号が遮られることが少ないことを意味する。以上に挙げた 2 つの状態を仮定し、建物の近くを周回するルート A(図 3) と遮蔽物が少ないルート B(図 5) を設定した。測位解析のソフトウェアは RTKLIB[4] を

使用した。4に後処理解析時の各種設定値を示す。仮想基準点と実基準局の座標は両者ともに表4に示す座標値に設定した。

5 移動体測位と後処理解析の結果

図3は、ルートAにおける移動体の軌跡を示す。図中のa、b、cはそれぞれ単独測位、CLARCSおよびkinematic測位である。図4はルートAにおける3次元移動体測位結果である。各測位とも上からE-W(東西)、N-S(北南)およびU-D(上下)方向の軌跡を示している。図5は、ルートBにおける移動体の軌跡を示す。図中のa、b、cはそれぞれ単独測位、CLARCSおよびkinematic測位である。図6はルートBにおける3次元移動体測位結果である。各測位とも上からE-W(東西)、N-S(北南)およびU-D(上下)方向の軌跡を示している。図7~10、および表5に測位モード別の誤差を示す。図3,4はルートAであり、図5,6はルートBである。移動方向は共に反時計周りであった。本稿では誤差をkinematic測位解からの距離と定義する。平面直角座標系の誤差を2次元誤差(2D error)と表し、ecef座標系の誤差を3次元誤差(3D error)と表す。



図3 移動体測位: ルートA

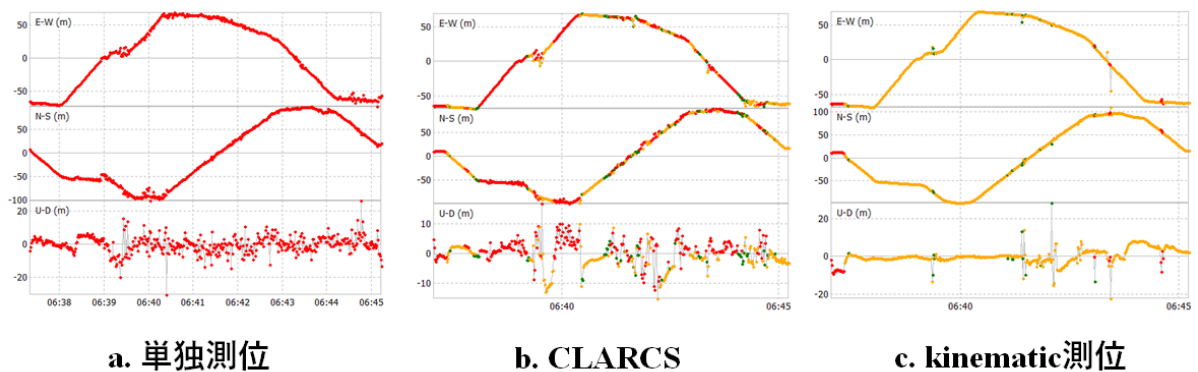
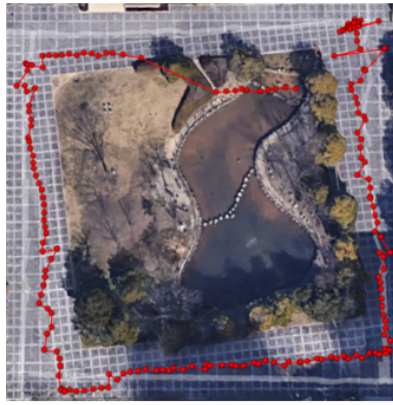
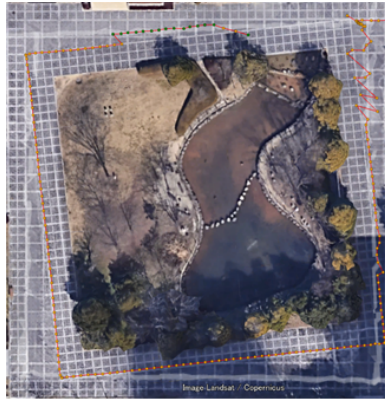


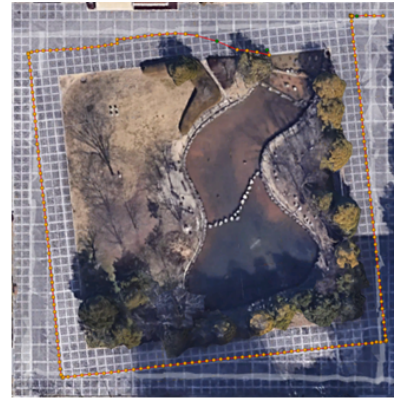
図4 3次元移動体測位: ルートA



a. 単独測位

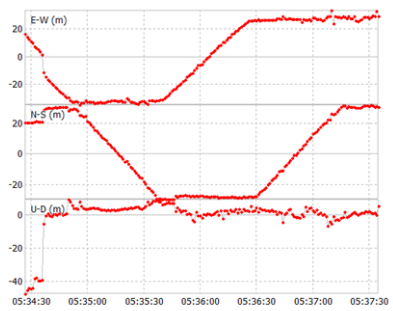


b. CLARCS

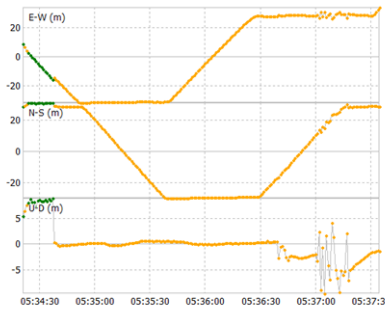


c. kinematic測位

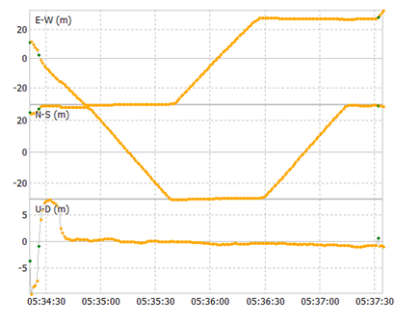
図5 移動体測位: ルート B



a. 単独測位



b. CLARCS



c. kinematic測位

図6 3次元移動体測位: ルート B

図7と図8にそれぞれルートAおよびルートBの2次元誤差を示す。

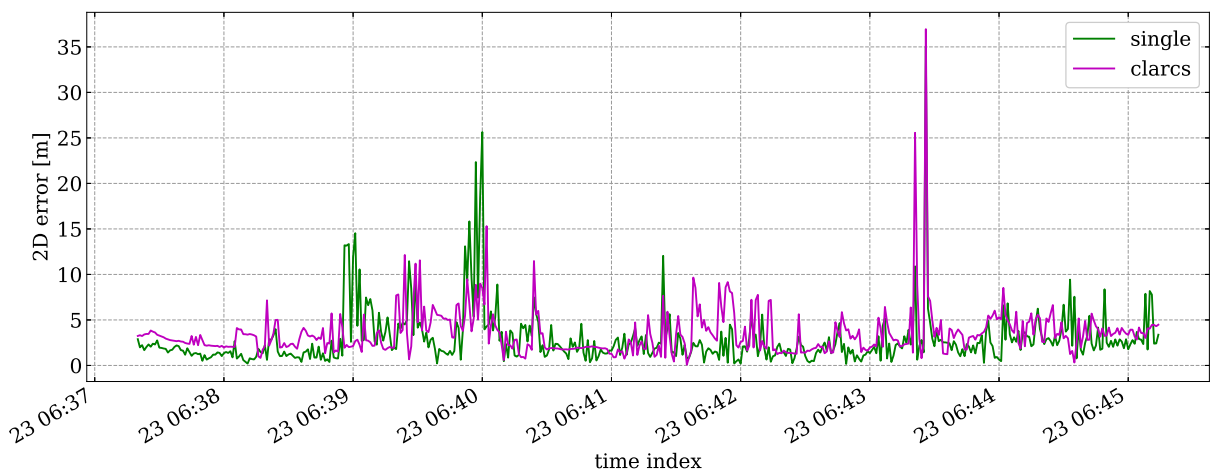


図7 2次元誤差: ルート A

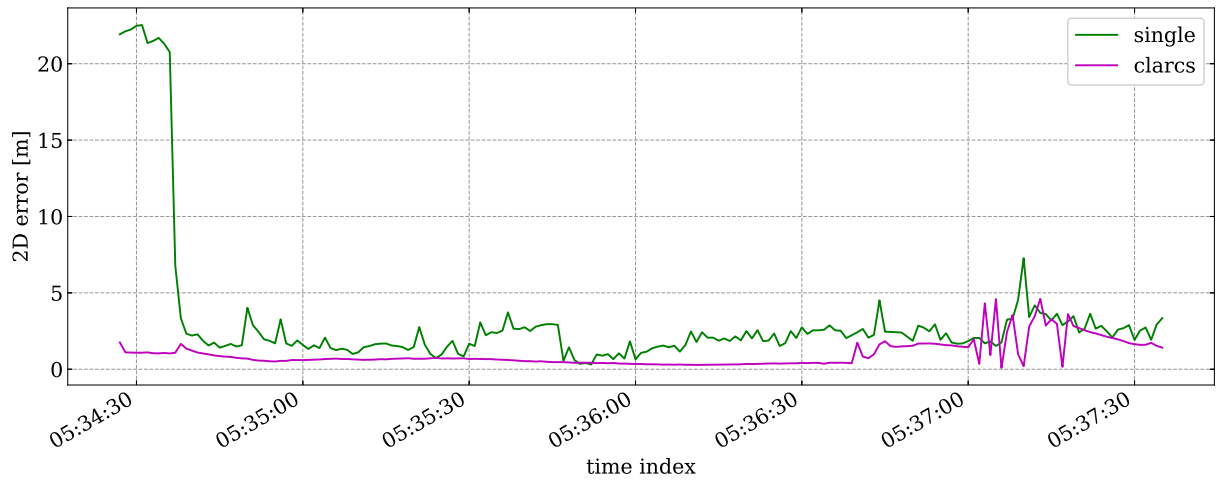


図8 2次元誤差: ルート B

図9 と図10 にそれぞれルート A およびルート B の3次元誤差を示す。

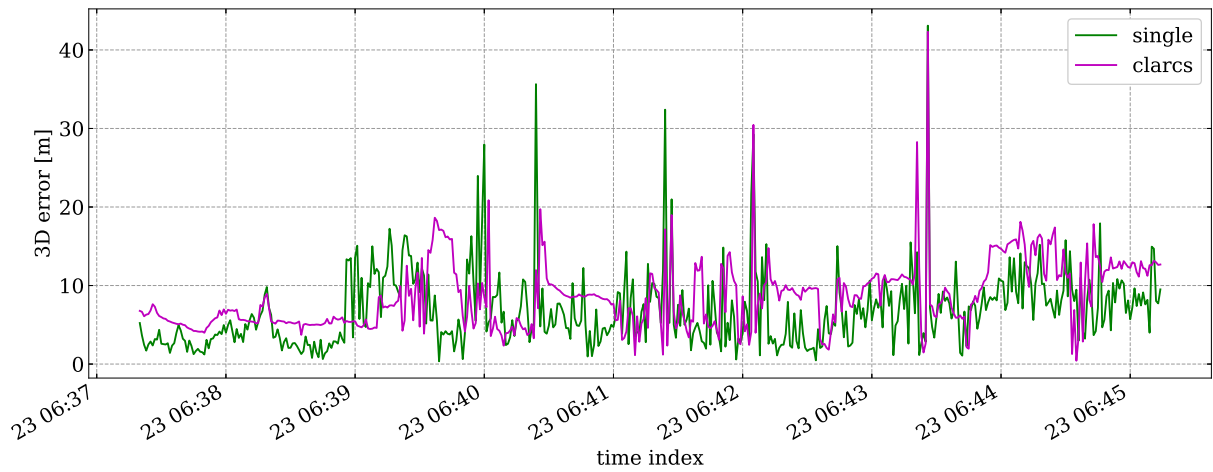


図9 3次元誤差 (ルート A)

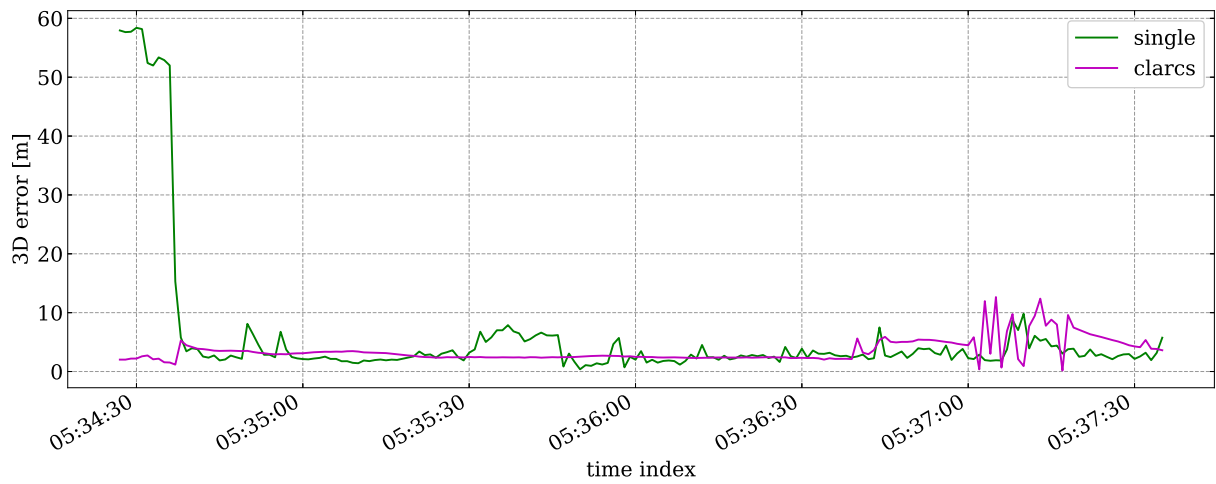


図10 3次元誤差 (ルート B)

表5 に誤差の一覧を示す。単独測位と CLARCS を時間平均値で比べるとルート A については CLARCS

の方が誤差が大きかったが、ルート B では CLARCS の優位性が示された。

表 5 誤差 (時間平均値 (m))

ルート	誤差	単独測位	CLARCS
A	2 次元	2.860537	3.526317
B		3.179518	0.996524
A	3 次元	6.765576	8.576376
B		6.017261	3.524230

6 まとめと今後の課題

CLARCS の測位精度の評価に関する報告がほとんどないため、本研究では CLARCS の精度を評価することにした。その結果、当初の想定のとおり単独測位より精度はよく、kinematic 測位と同程度の精度が確認できたが、図 4 および図 6 から、水平方向の変動に比べて上下方向の変動が大きいことが判明した。移動中に障害物があると、衛星配置の悪さやマルチパスの影響により、精度を出すことが困難になる場合があることを確認した。オープンスカイに近い場合、CLARCS の上下方向が揺らぐことがあったが、kinematic 測位では見られなかった。CLARCS の補強信号は衛星要因のほか、電離層および対流圏遅延の要因を統合して配信しているため、誤作増大の直接的原因の特定は困難であった。現状 CLARCS では補強情報のうち対流圏遅延を抽出できないため今後は CLAS を用いた対流圏遅延について検討する予定である。

7 謝辞

本報告における CLARCS を用いた実証実験は、高精度衛星測位サービス利用促進協議会 (QBIC) の協力のもとで実施しました。

参考文献

- [1] Takeyasu Sakai and Satoshi Kogure. The latest status of quasi-zenith satellite system (qzss) and its future expansion. In *32nd International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+ 2019)*, Miami, FL, 2019.
- [2] 齋藤雅行, 浅里幸起, 三神泉. Clas/rtk 補強情報配信技術. 測位航法学会 GPS/GNSS シンポジウム, pp. 129–132, 2019.
- [3] 牧野秀夫, 前田義信, 高橋昌, 阿達透, 小林真, 若月大輔, 井筒潤, 杉田暁, 福井弘道. 準天頂衛星のセンチメートル級補強サービスを用いた歩行者移動経路の高精度測位に関する実証実験. 電子情報通信学会技術研究報告; 信学技報, Vol. 121, No. 418, pp. 71–76, 2022.
- [4] Tomoji Takasu and Akio Yasuda. Development of the low-cost rtk-gps receiver with an open source program package rtklib. Vol. 1. International Convention Center Jeju Korea, 2009.