

みちびき利用の次世代高精度衛星測位 CLAS と MADOCA-PPP の測位性能

受信機1台でセンチメートル級測位が可能なみちびきの補強サービス

岡 本 修

近年の低価格なマルチバンド RTK 受信機の台頭は、大手キャリアの RTK 基準局情報の配信サービスへの新規参入を促し、RTK 測位の利用環境は急速に整備された。一方で、近年頻発する豪雨や地震等の大規模災害では、堅固と思われていた通信インフラがダメージを受け、基準局情報の配信をモバイルデータ通信に頼る RTK 測位の利用は不安を生んだ。特に災害調査や斜面崩壊監視等、社会インフラに関わる利用では重大な問題である。これらの問題を解決するのが「みちびき」である。みちびきは日本が独自に運用管理する衛星測位システムで、無料放送される補強信号サービスを利用することで、受信機1台だけで高精度測位を可能にした。本稿では、この補強サービスで利用できる CLAS および MADOCA-PPP 対応の受信機を使用して測位性能を評価した結果を紹介する。

キーワード：社会インフラ，維持管理，衛星測位，GNSS，CLAS，MADOCA，PPP，RTK

1. はじめに

近年のユーブックス社 F9P やセプテントリオ社 mosaic 等の低価格なマルチバンド RTK 受信機の台頭は、ソフトバンクや NTT ドコモといった大手キャリアが提供する RTK 基準局情報の配信サービスにより、その利用環境が急速に整備され、日本全土で利用できる環境が整いはじめた。利用環境の整備により社会インフラへの RTK 測位の応用が期待される。現在、日本では様々な応用分野で RTK 測位の利用が模索されているが、これらサービスがモバイルデータ通信で成り立っていることが問題となる。近年頻発している豪雨や地震等の大規模災害では、堅固と思われていた通信インフラがダメージを受け、その利用に支障が生じた。肝心なときに測位が継続できずダウンしてしまつては社会インフラへの応用は難しい。

このような問題を解決するのが、日本が独自に打ち上げて運用管理する衛星測位システム「みちびき」である。運用中の4機の衛星からは、他の GNSS と同様の測距信号の他にみちびき独自の補強信号が放送されている。この補強信号に対応する受信機では、モバイルデータ通信に頼らず受信機1台だけでセンチメートル級の CLAS や MADOCA-PPP が可能となる。対応受信機が必要となるが、独自の補強信号の受信には契約不要で無料放送となり、RTK 測位のようにモバイルデータ通信に頼る必要がない。災害に強く社会イン

フラに適用できる高精度衛星測位である。

このみちびきの補強サービスは、試験運用を経て2018年11月1日より放送が開始された。また、2020年11月30日には、CLASの対象衛星が最大17機に拡大する等、衛星を運用する関係者や対応受信機メーカーの努力で日々進化している。導入当初は、RTK 受信機のローコスト化の波に押され、注目されたものの普及が進まなかった。そのため、みちびきの補強信号サービスの効果は、世界に誇る先進的なサービスであるにも関わらず、その測位性能はあまり知られていない。本稿では、CLAS、MADOCA-PPP に対応した受信機を使用して、互いの比較から測位性能を評価した結果を報告する。

2. CLAS・MADOCA の概要

測位性能を評価するみちびきの補強信号サービスは、CLAS (Centimeter Level Augmentation Service；センチメートル級測位補強サービス) および MADOCA (Multi-GNSS Advanced Demonstration tool for Orbit and Clock Analysis；精密軌道・クロック推定ソフトウェア) である。それぞれの概要を表1に示す。

CLAS は、PPP-RTK (Precise Point Positioning - RTK) に分類される測位方式に必要なみちびきの補強信号サービスの名称である。測位精度 6.9 cm (水平

表一 補強信号サービス (CLAS, MADOCA) の概要

補強サービス	CLAS	MADOCA
放送信号	QZSS (L6D)	QZSS (L6E)
bit rate	2,000 bps	2,000 bps
対象衛星	GPS (L1/L2), QZSS (L1/L2), Galileo (E1/E5)	GPS (L1/L2), QZSS (L1/L2), GLONASS (G1/G2)
測位精度 (水平, 移動体)	6.9 cm (RMS)	10 cm
整数値アンビギュ イティの決定	あり (Fix 解あり)	なし (Float 解のみ)
初期化時間	1 分	15 ~ 30 分
補強対象衛星数	最大 17 衛星	制限なし
サービス地域	日本全土	日本および周辺海域(ア ジア, オセアニア地域) (GPAS によるインター ネット配信では全世界)
備考		GPAS によるインター ネット商用配信あり



写真一 受信機の外観 (前面と背面)

表二 マゼランシステムジャパン社の受信機の仕様

型式	MJ-3021-GM4-QZS-EVK
外形寸法	134 × 90 × 44 mm
重量	約 330 g
電源電圧, 消費電力	DC4 ~ 16 V, 3.5 W 以下
入出力ポート	RS232C × 2
最大更新レート	50 Hz
受信衛星システム (信号)	GPS (L1/L2), QZSS (L1/L2/L6), GLONASS (G1/G2), Galileo (E1/E5), BeiDou (B1/B2)
対応測位方式	単独測位, RTK, CLAS (PPP-RTK), MADOCA-PPP

方向 RMS), 初期化時間 1 分で Fix 解が得られる一方で, サービス対象地域は日本全土とその沿岸地域に限られる。現在, GPS/QZSS/Galileo に対応している。

MADOCA は, PPP (Precise Point Positioning ; 精密単独測位) に分類される測位方式に必要な補強信号を生成するための精密軌道・クロック推定ソフトウェアを指す。MADOCA-PPP は, MADOCA が生成する補強信号を使った PPP 測位となる。測位精度 10 cm (水平方向), 初期化時間は 15 ~ 30 分と CLAS に比べて大幅に時間を要する一方, みちびきが受信できる日本周辺海域およびアジア・オセアニア地域の広範囲がサービス対象地域となる特長を持つ。CLAS とは違い終始 Float 解となるため, 収束後も CLAS には見られない時間とともに変化するバイアス成分が残る。しかし, CLAS 同様に搬送波を使った測位であることからコードを使った測位 (コードディファレンシャル等) に比較して分解能が高く, 例えば数 cm の微小なアンテナ移動でも測位結果が追従する。現在, GPS/QZSS/GLONASS に対応している。

3. 受信機と機器構成

測位性能の評価実験では, CLAS と MADOCA-PPP の両方に対応し, RTK 測位も可能なマゼランシステムジャパン社のマルチバンド GNSS 受信機 MJ-3021-GM4-QZS-EVK (以後, MSJ 受信機) を使用する。アンテナは同社のマルチバンド対応 GNSS アンテナ MJ-3009-GM4-ANT+ を使用した。MSJ 受信機の外観



写真二 アンテナの外観 (表面と裏面)

を写真一, 仕様を表二に, アンテナを写真二に示す。CLAS/MADOCA-PPP/RTK の変更は, 接続した PC からのコマンド送信で実行できる。同社は次年度以降に現在の受信モジュールのチップ化を計画しており, 小型化, 省電力化, ローコスト化がさらに進む予定である。

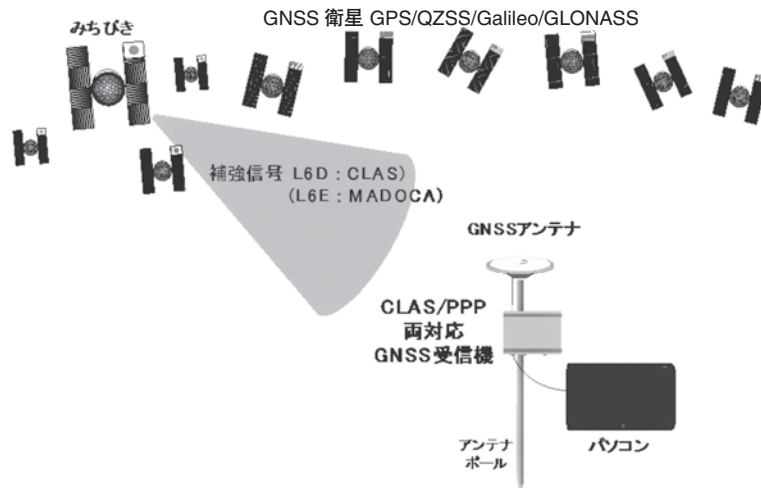
実験は, 図一の機器構成で実施した。みちびきからの補強信号サービスを受信するだけで CLAS や MADOCA-PPP を利用できるように, 受信機とアンテナのみのシンプルな機器構成となる。受信機の設定は仰角マスクを 10 度 (デフォルト), ダイナミックモードの設定を Automotive (デフォルト) とした。

4. 評価実験の結果

(1) 定点における測位精度

(a) 実験環境の概要

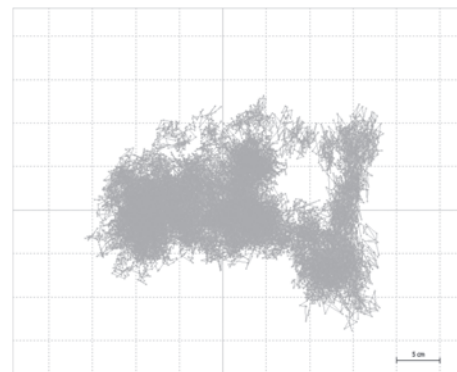
定点における測位結果のばらつきを評価する。写真一三に示すように周囲に障害物のない 3 階建建造物の屋上にアンテナを固定設置した。1 Hz で連続観測



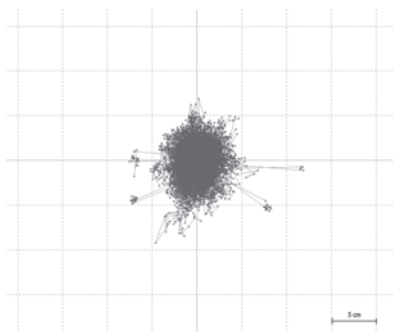
図一 評価実験の機器構成



写真一 3 定点の観測環境



図一 3 MADOCA-PPPの定点における測位結果(1 Hz, 8時間, 1マス5 cm)



図一 2 CLAS の定点における測位結果 (1 Hz, 8時間, 1マス5 cm)

した測位結果のうち、初期化が十分に完了した後の8時間の測位結果を比較した。

(b) CLAS の測位結果

図一 2 に CLAS の定点測位の結果を示す。CLAS は Fix 率 100% で 36 mm (水平 RMS) となった。測位結果には測位値の飛びが幾つか見られるが、Fix 解のため測位結果が楕円形状に集まることが確認できる。

(c) MADOCA-PPP の測位結果

図一 3 に MADOCA-PPP の定点測位の結果を示す。MADOCA-PPP は、測位結果が南北方向に 300 mm 程度、東西方向に 350 mm 程度の範囲に測位結果がばらついた。Float 解のみとなる MADOCA-PPP では、時間帯でばらつき中心が移動することで誤差範囲が広



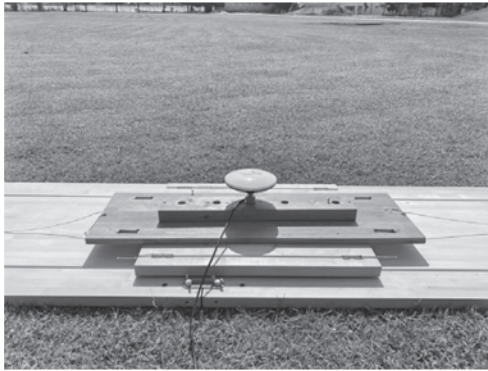
写真一 4 スライドレール周囲の環境 (20 往復, 障害物の無い校庭)

がる様子が見て取れる。ごく短時間の観測では、この誤差範囲が広がることを見逃す可能性が高いため、PPP 測位の精度評価では注意が必要である。

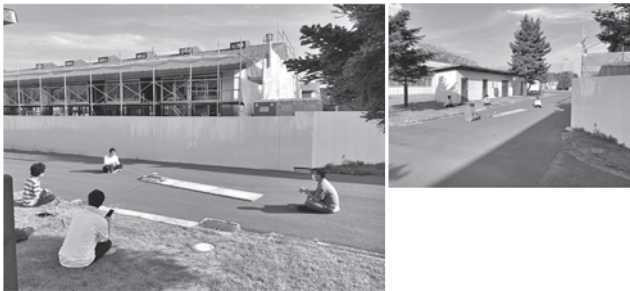
(2) 移動時の測位精度

(a) 実験環境の概要

2.5 m 程度の直線軌道を有するスライドレール上にアンテナを搭載した台車を往復運動させて、その再現性から移動体の測位精度を評価する。写真一 4 に示すように周囲に障害物の無い校庭にスライドレールを



写真一五 スライドレールのアンテナ台車



写真一六 スライドレール周囲の環境 (20 往復, 障害物周辺)

設置して、写真一五に示すアンテナを搭載した台車を20往復させた。2.5 mの直線軌道を片道10秒(時速約1 km)で移動し、端で10秒静止の後、元の位置への移動を繰り返す。測位結果の軌跡のぶれ幅から移動体の測位精度を評価した。実験では、周囲に障害物の無い校庭の他、写真一六に示すように周囲に構造物や樹木がある場所でも実施し、その影響を確認した。

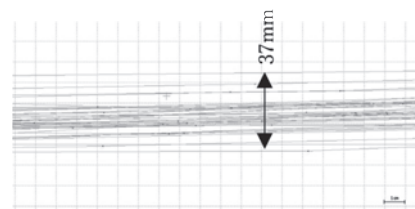
(b) CLASの測位結果

図一四にCLASの障害物の無い校庭でのスライド

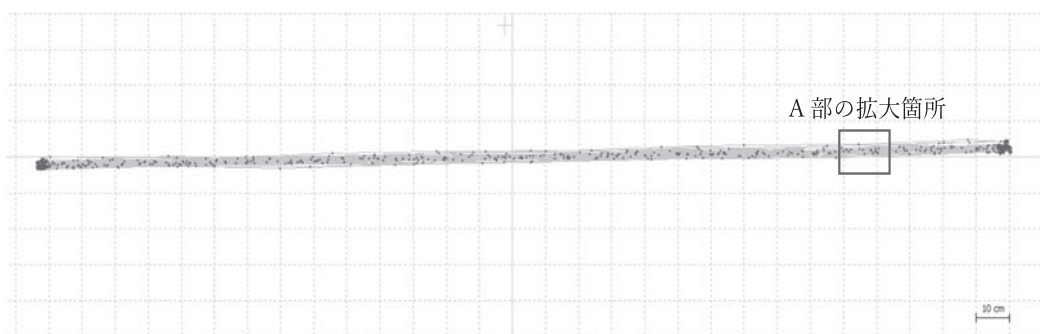
レール20往復時の軌跡を示す。ぶれ幅が一番大きい部分で37 mmとなった。また、図一五にCLASの障害物周辺におけるスライドレール20往復時の軌跡を示す。ぶれ幅が一番大きい部分は67 mmとなった。誤差が大きくなった要因は、障害物の無い校庭に比較して障害物周辺での観測衛星数は5機前後減少しており、遮蔽等で衛星数が制限されたことが原因と考えられる。

(C) MADOCA-PPPの測位結果

図一六にMADOCA-PPPの障害物の無い校庭でのスライドレール20往復時の軌跡を示す。ぶれ幅が一番大きい部分は47 mmとなり前述図一四のCLASの結果に近い結果が得られた。この実験は約14分間で、MADOCA-PPPで気になるバイアス成分の変化が短時間で少ないことが要因と考えられる。アンテナ移動に伴う測位結果の追従性も良く、搬送波測位の特長を確認できる結果となった。図一七にMADOCA-PPPの障害物周辺におけるスライドレール20往復時の軌跡を示す。ぶれ幅が一番大きい部分で105 mmとなった。観測衛星数を確認したところ、障害物の無い校庭のときと比較して10機前後も減少しており、CLAS同様に遮蔽等で衛星数が制限されたことが要因と考えられる。CLASとMADOCAでは補正対象衛星システムが異なるが、今回の障害物周辺の実験場所ではGLONASSのほうが衛星数の減少が多かったことが推察される。ぶれ幅は大きいものの、破綻無くアンテナ移動に伴う測位結果の追従性も良いことが確認できた。

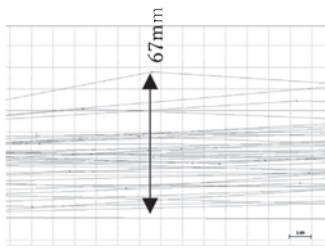


(b) A部の拡大

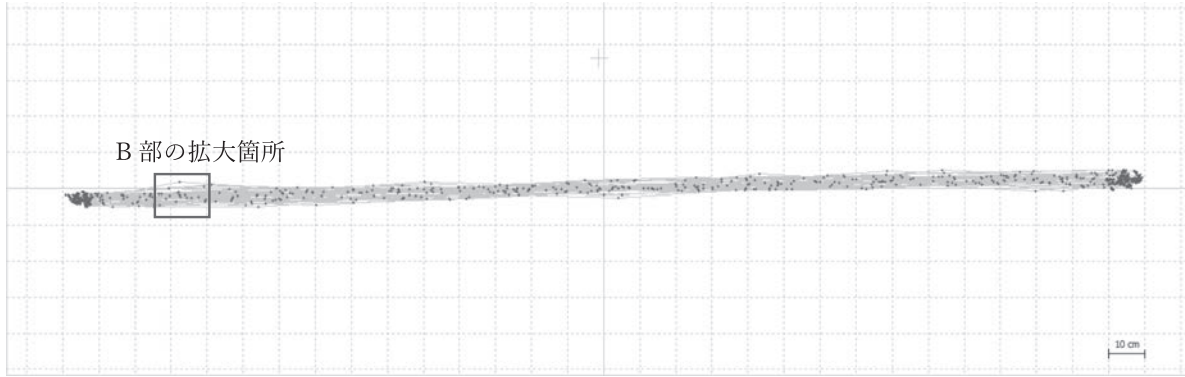


(a) スライドレールの軌跡 (全体)

図一四 CLASの移動時の測位精度 (スライドレール20往復, 障害物の無い校庭)

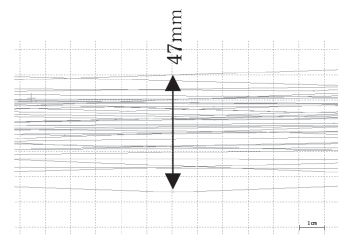


(b) B部の拡大

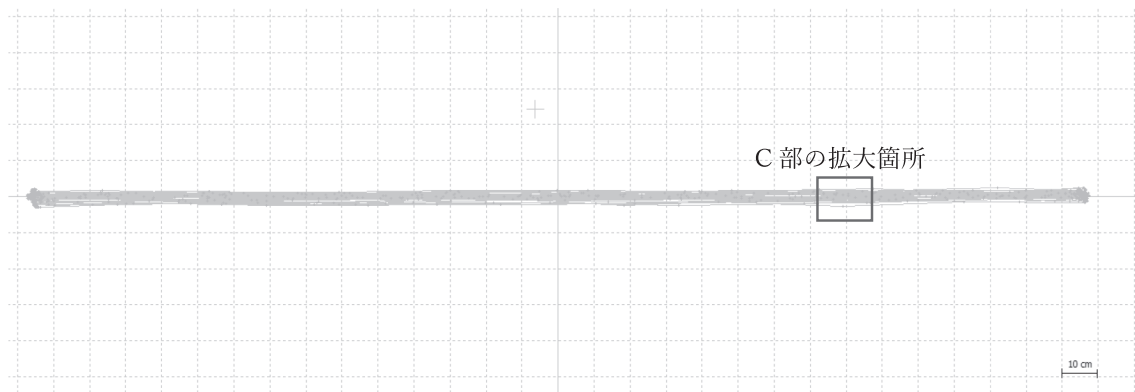


(a) スライドレールの軌跡 (全体)

図一五 CLASの移動時の測位精度 (スライドレール20往復, 障害物周辺)



(b) C部の拡大



(a) スライドレールの軌跡 (全体)

図一六 MADOCA-PPPの移動時の測位精度 (スライドレール20往復, 障害物の無い校庭)

(3) 構造物周囲の道路を周回したときの測位性能

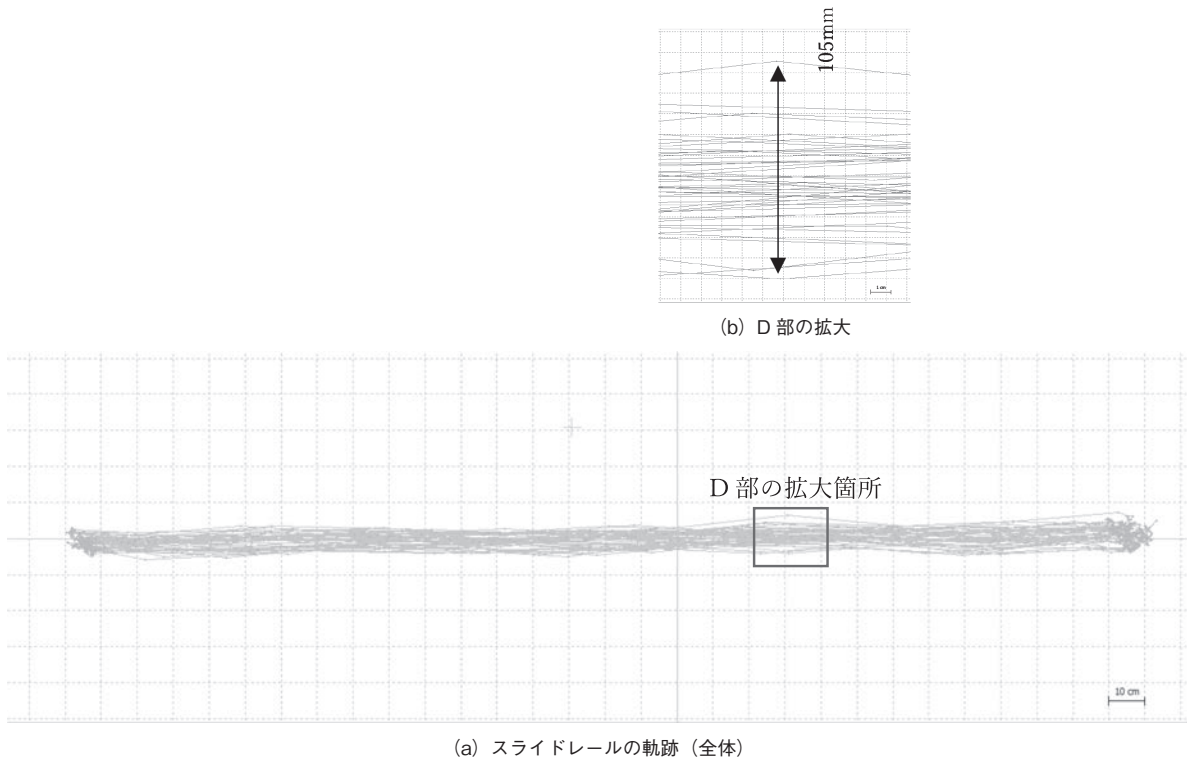
(a) 実験環境の概要

写真一七に示すように平屋の構造物周囲の道路を周回するときの測位性能を評価する。測位結果の移動に伴う追従性やルートの再現性、CLASではFix解の維持性能も評価する。この実験ではスタートの場所から時計回りに3周する。構造物の西側と南側を囲むように植樹されていて、西側は3階建の構造物が迫って

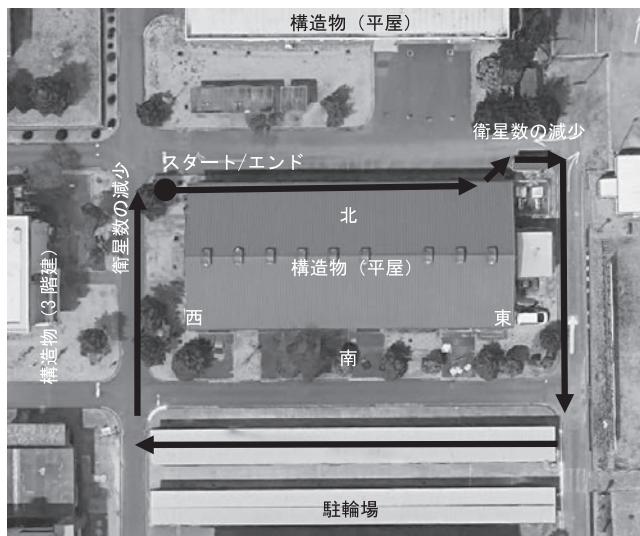
おり厳しい実験環境となる。

(b) CLASの測位結果

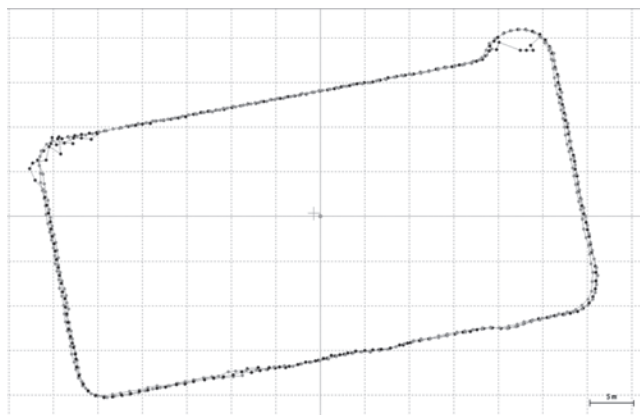
この実験では測位解の種類 (Fix, Float, 単独測位) や追従性, 周回毎の再現性を評価する。図一八に構造物周囲の道路を3周した際のCLASの軌跡を示す。各周回の測位解の種類を確認するため, 図一九に各周回の軌跡と解の種類を示す。①のスタートから始まり時計回りに周回して⑫のエンドで終了する。1周目



図一七 MADOCA-PPPの移動時の測位精度 (スライドレール 20 往復, 障害物周辺)



写真一七 構造物周囲の道路を周回する実験ルート

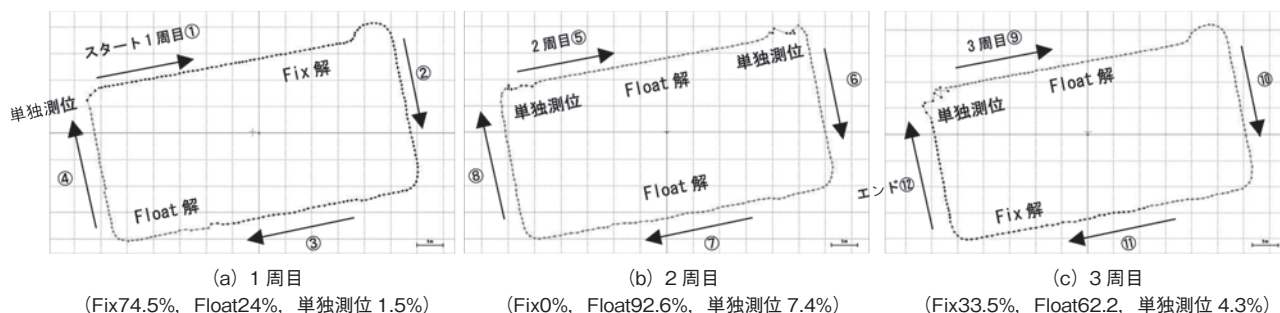


図一八 CLAS での構造物周囲の道路の周回 (時計回り 3 周, 1マス 5m)

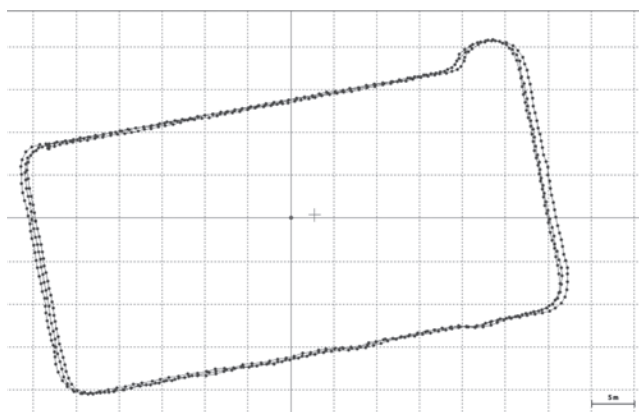
は、①～③の途中までは Fix 解を維持するが、Float 解に落ちて西側の④に進む。④の最後で単独測位になるが、観測データを確認すると、受信感度が大きく落ちており測位計算に利用する衛星数が7機を切る状況になり、衛星数不足から単独測位に移行していた。2周目は、単独測位から Float 解になるものの、⑤の最後でまた単独測位に落ち、⑥で再び Float 解に復帰するものの、⑦、⑧でも Fix 解へ移行できず、⑧の最後で1周目と同様に衛星数不足から単独測位に落ちた。3周目は、⑨、⑩と Float 解であるものの、⑪の途中で Fix 解に移行でき、⑫エンドの手前まで Fix 解を維持した。最後は衛星数不足から単独測位に落ちて終了となった。各周回の軌跡の重なりや追従性は、Float 解であっても破綻することなく、この縮尺の範囲では問題はないが、単独測位まで落ちてしまうとルートをトレースできないことが確認できた。

(C) MADOCA-PPP の測位結果

図一十に構造物周囲の道路を3周した際の MADOCA-PPP の軌跡を示す。各周回の軌跡は重なっておらず、バイアス成分が周回毎に変化して東西方向にずれている。通常、初期化時間として30分程度を待つところ、本実験は、15分程度で開始したため、解が収束し切れていないと推察される。ただし、衛星数が4機まで減少する場所でも単独測位にならず Float 解を維持できた。軌跡はがたつきがなくスムーズで、CLAS の測位結果に見られた単独測位に落ちた



図一9 CLAS での構造物周囲の道路の周回 (時計回り3周)



図一10 MADOCA-PPP での構造物周囲の道路の周回 (時計回り3周 (収束15分:未収束), 1マス5m)

際の測位値の暴れも見られない。このようなシームレスな測位結果は Float 解を維持する PPP の特長の一つである。収束後であれば、この縮尺の範囲では追従性に問題ないと予想されるが、センチメートルレベルで観察すれば定点測位で見えていたバイアス成分の影響があると推察される。

5. おわりに

本稿では、CLAS、MADOCA-PPP の測位性能を評価した。CLAS では、周囲の障害物がある観測環境でも破綻せずに測位精度を維持できることを確認した。また、周囲の障害物で上空が半分程度遮蔽される厳しい観測環境では、衛星数不足から単独測位に落ちる一面も見られた。今後、補強対象の衛星システムが増えることで改善が期待される。MADOCA-PPP は、ア

ンテナの数 cm の微小な動きに測位結果がよく追従するという搬送波測位の特長を確認できた。また、障害物周辺では観測衛星数が減少しても単独測位となりづらく、CLAS に比較して Float 解を維持できることも確認できた。一方で、収束後もバイアス成分の変化により測位結果のばらつき中心が移動してしまう影響を確認できた。収束時間が30分以上かかること、時間とともに変化するバイアス成分が残ることは、今回の評価試験のように目まぐるしく変化する観測環境で再現性を求める場合には厳しい評価となった。しかし、PPP の利用が想定される海上や開空制限のない大規模農場のような観測環境では、大きな問題とならない場合も多く、MADOCA-PPP の特長である日本周辺海域の広範囲をカバーできる利点を活かした応用が期待される。

みちびきの補強サービスが抱える問題点は、補強信号の帯域制限が厳しいことである。日本全土と周辺海域を全てカバーするという高い目標を実現している。今後さらなる測位性能の向上や受信機の小型省電力化、コストダウンが進み、次世代の主流となることが期待される。

JICMA

[筆者紹介]

岡本 修 (おかもと おさむ)
(独)国立高等専門学校機構 茨城工業高等専門学校
国際創造工学科 機械・制御系
教授

