準天頂衛星の補正データを利用した新しい測位方法の検討

情報通信工学研究室
海事システム工学科 1821058 柳澤亘
指導教員 久保信明 教授

研究背景

日本の準天頂衛星「みちびき」について

2010年 初号機打ち上げ
2018年11月 4機体制での運用開始
2023年度 7機体制で運用予定

2021年10月26日に初号機後継機が打ち上げ

日本のほぼ天頂を通る軌道(準天頂軌道)の衛星が主体となって構成されている日本の衛星測位システム(英名:QZSS)

みちびきより放送される情報は日本での測位精度向上に大きく貢献

出典：内閣府 みちびき(準天頂衛星システム)

研究背景

GNSS LAB
Navigation for people Tumsat

従来の測位手法

○RTK(Real Time Kinematic)
精度はcm級、収束時間は瞬時だが、基準局が近くにないと精度は悪くなる
ただし、日本は全域に基準局があるのでどこでも利用可能
→GEONETと呼ばれる

○PPP(高精度単独測位) … みちびきを利用した測位手法
精度はcm級、海外利用可能だが、収束時間が長い
※ただし、海外で利用できるのは準天頂衛星の可視エリア

⇩

高精度で収束が早く、海外でも利用できる
手法はないのか？

近年注目されているのがPPP-RTKという新しい測位手法である
現在の準天頂衛星の補正方式であるCLASもその1つ

PPP-RTKについて

RTK、PPP、PPP-RTKを比較すると以下のようになる。

	RTK	PPP	PPP-RTK
基準局	必要	必要なし	必要なし
サービスエリア	日本国内	場所は問わない	場所は問わない
収束時間	瞬時	15~30分	1分以内
収束精度	1cm	約10cm	約1cm

PPP-RTKはRTKとPPPのいいとこ取りをしたような方式
PPPと同じく少ない補正情報なので衛星経由でも可能
CLAS（準天頂衛星から放送）はPPP-RTKの1つ

PPP-RTKについて

PPP-RTKはRTKやPPPと比べるとどう測位方式が違うのか。

主な誤差	RTK	PPP	PPP-RTK
時計	二重差	精密クロック	精密クロック
軌道	エフェメリス	精密暦	精密暦
電離層遅延	二重差	二周波線形結合	SSR
対流圏遅延	二重差	モデル+推定	SSR
アンビギュイティ	Fix	Float	Fix

PPP-RTKの特徴は電離層・対流圏遅延の補正にSSR(State space representation)を利用していること。

SSRを生成するには、サービスを提供する範囲内のGNSS観測データが必要。

→日本では、観測局としてGEONET（国土地理院の電子基準点）を利用可能。

本研究の目的

- PPP-RTKの1つであるCLASは放送側はブラックボックスに近いため深いレベルの研究ができない
- 日本には地理院基準局のデータが公開されているため、研究室レベルでもCLASのような補正情報を生成することは可能
- ポスドクの支援を受けソフトウエアを開発し、本研究で評価をしてみた
- CLASと同じようなソフトを開発することで、補正データ生成側の研究を今後可能とする

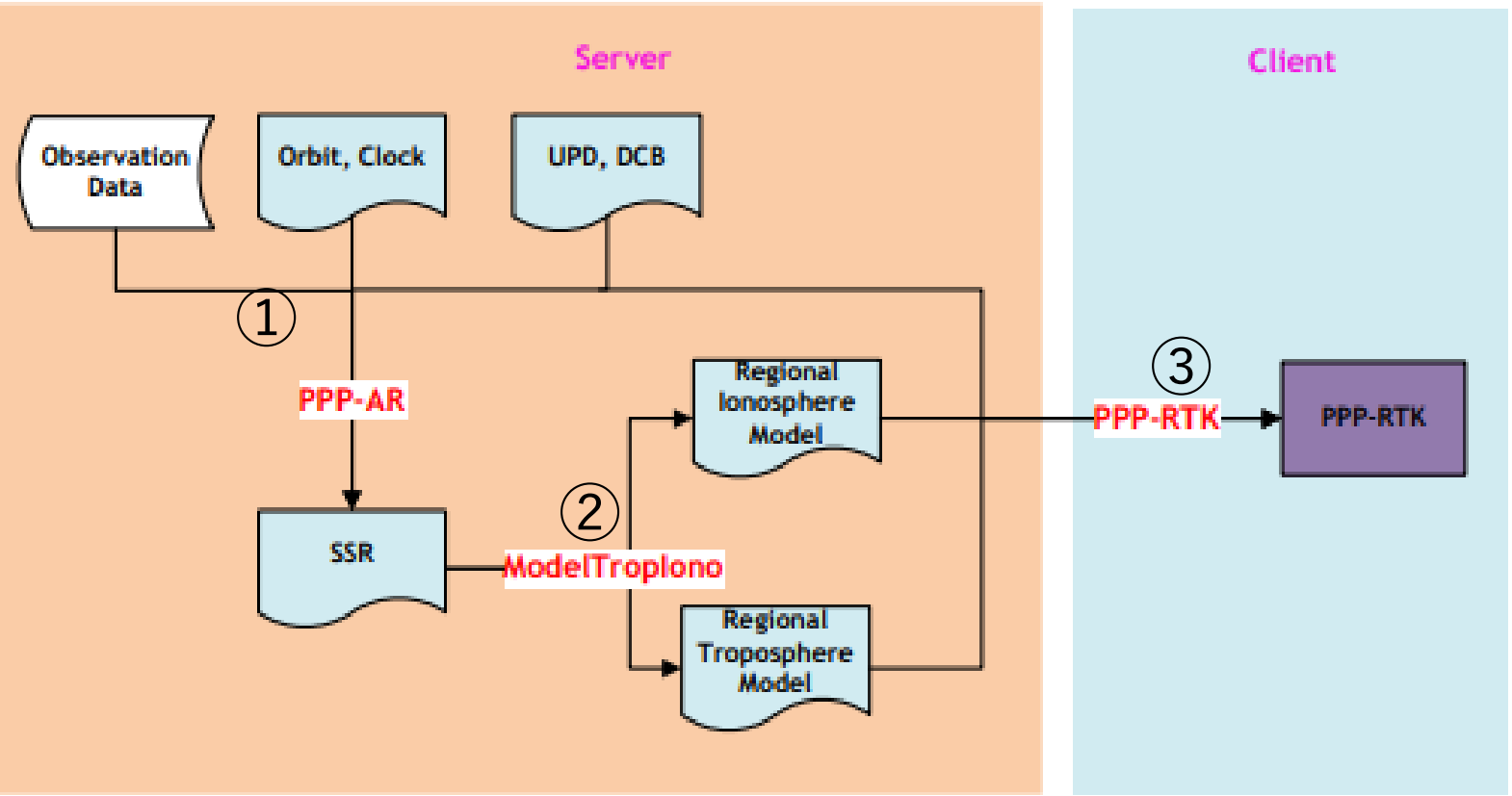
開発したソフトのフローチャート

GNSS LAB
Navigation for people Tumsat

　今回使用したPPP-RTKソフトはDr. Yize Zhangがメインで開発。フローチャートは図のとおり。

①観測点（電子基準点）の電離層・対流圏遅延量を推定
②設定したグリッド上の電離層・対流圏遅延量を推定
③ユーザ側で精密暦とクロックを利用し、ユーザ位置での遅延量（電離層、対流圏）を推定し、PPP-RTKを実施

精密暦とクロックは世界中で放送されている（フリー）



評価実験の概要

GNSS LAB Navigation for people Tumsat

〇目的

精密暦とクロックとして、**CNES（フランス国立宇宙センター）、MADOCA（準天頂衛星）**を用いて、国内全域でのPPP-RTKの性能調査

〇期間

2021年1月～2021年10月の各月1日分

〇場所

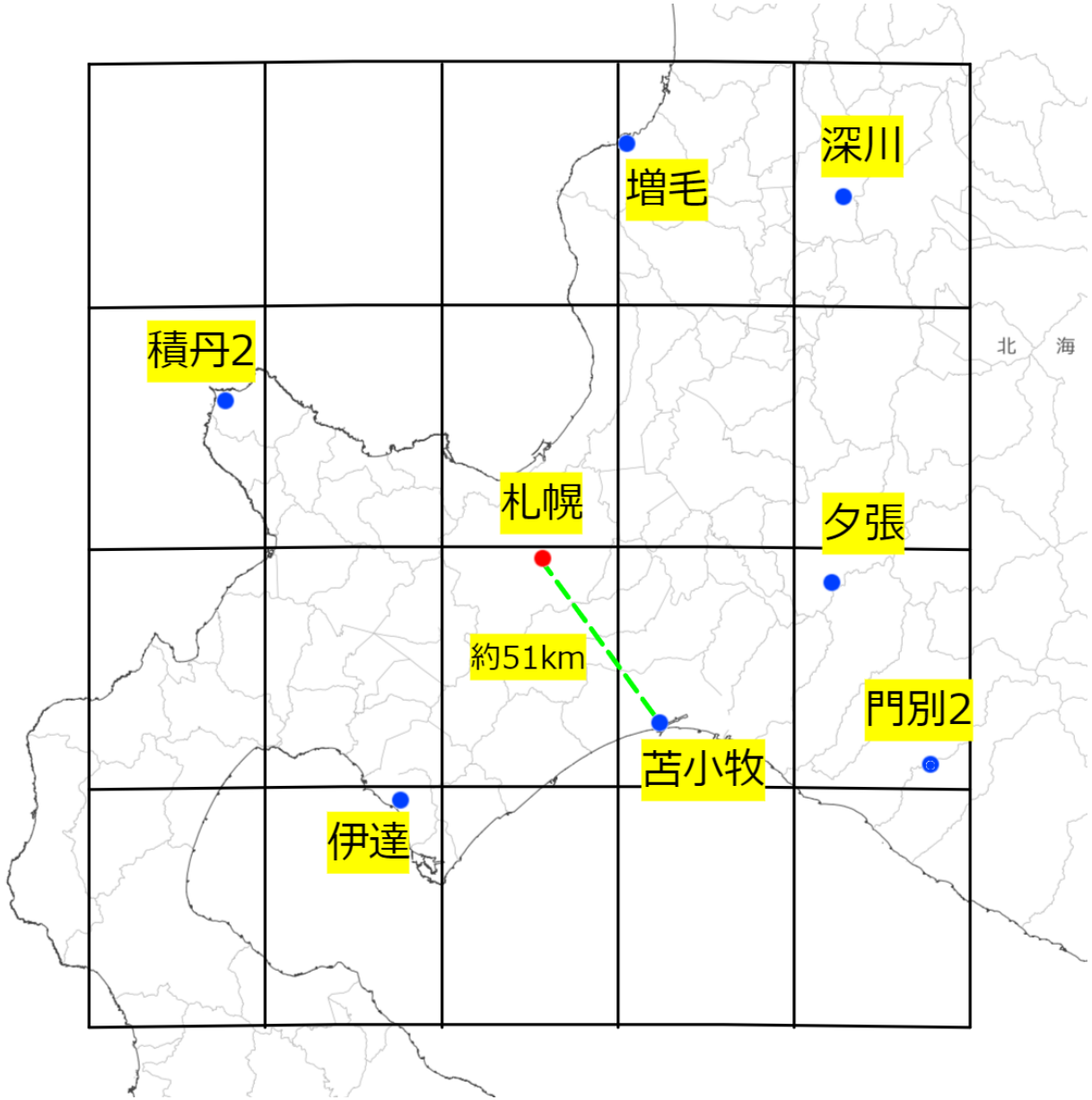
北海道、東北、関東、中部、近畿、中国、四国、九州、沖縄の9地域
(各地域の1局をユーザー局としてPPP-RTKを実施し評価)

〇精密暦とクロックについて

今回PPP-AR及びPPP-RTKを実行する際の精密暦とクロックのデータはCNESとMADOCAを利用

※使用衛星はCNESはGPSとGalileo、MADOCAがGPSのみ
→GLONASSやGALILEO、BDSは現在開発中

北海道地方



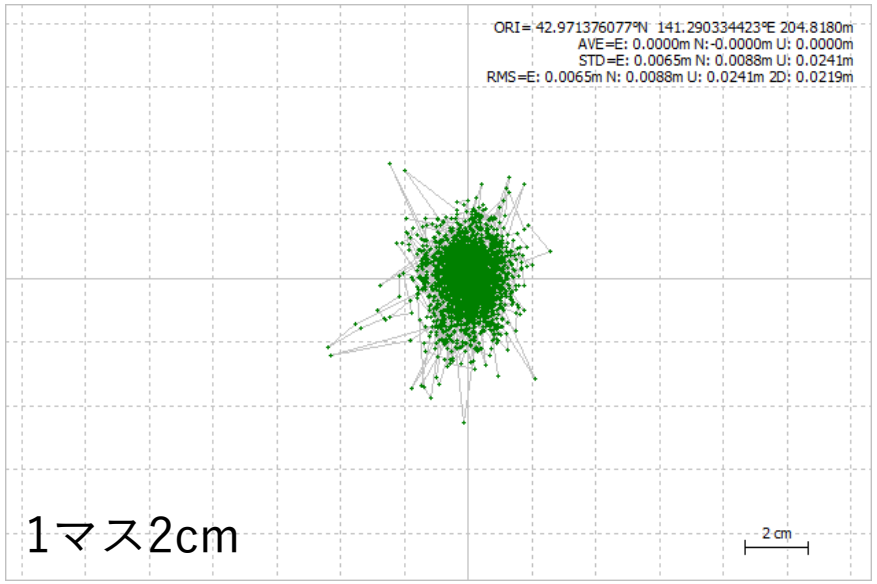
- ユーザー局想定：札幌
- 観測局：深川、夕張、門別2、増毛、苫小牧、伊達、積丹2

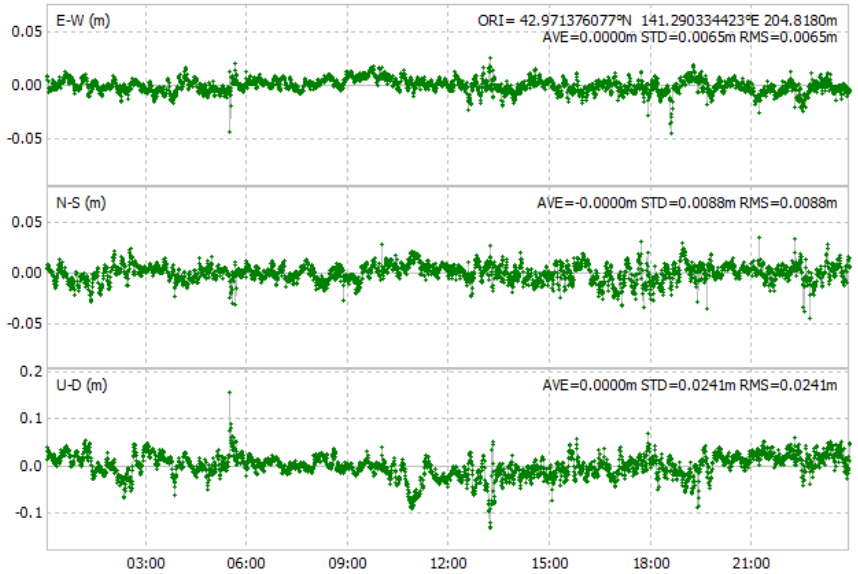
グリッド：黒線の交点

札幌周辺の7局の観測データより
精密な電離層、対流圏の情報を生成
精密暦とクロック、そして上記のグリッド
情報より内挿し、札幌でのPPP-RTKを実施
札幌局でどのくらいの性能がでるか？

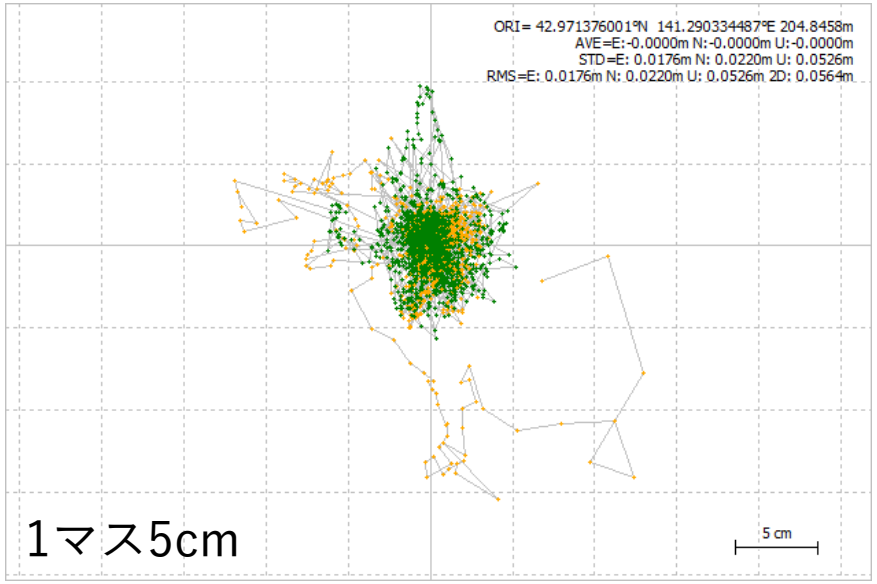
北海道地方　CNES＋SSRでの結果

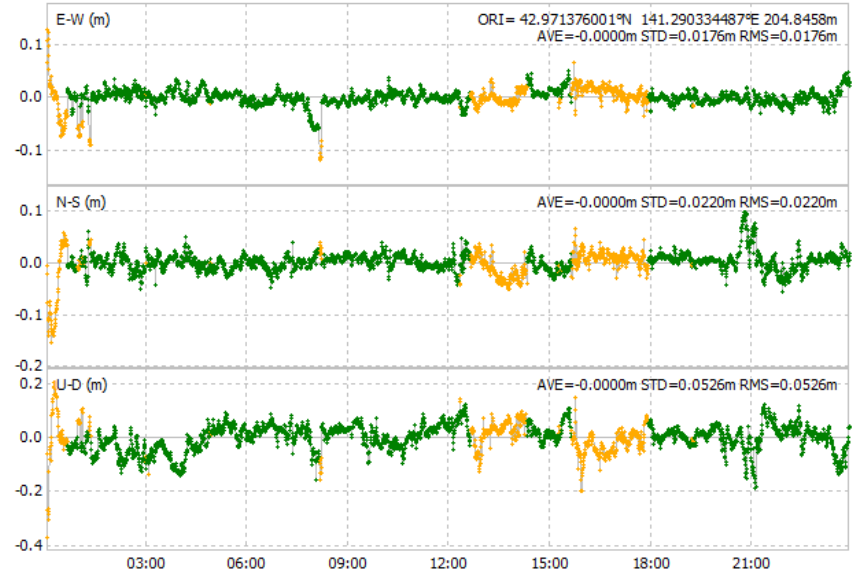
Best
Fix率:100%
2021/1/11





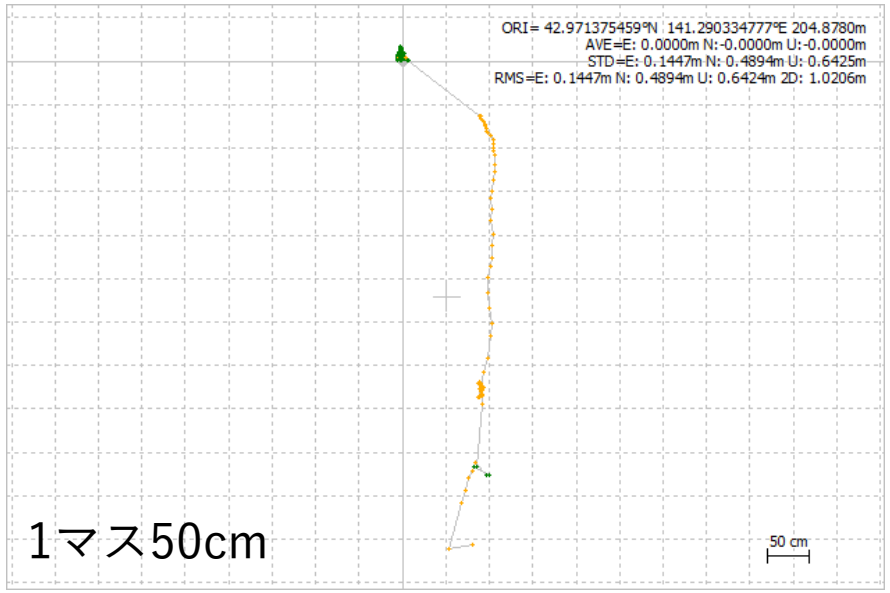
Worst
Fix率:79.3%
2021/10/6

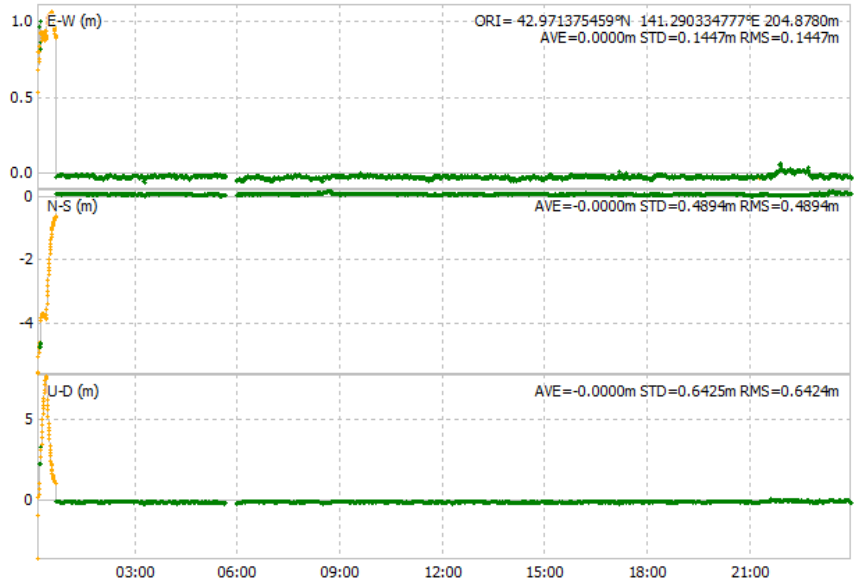




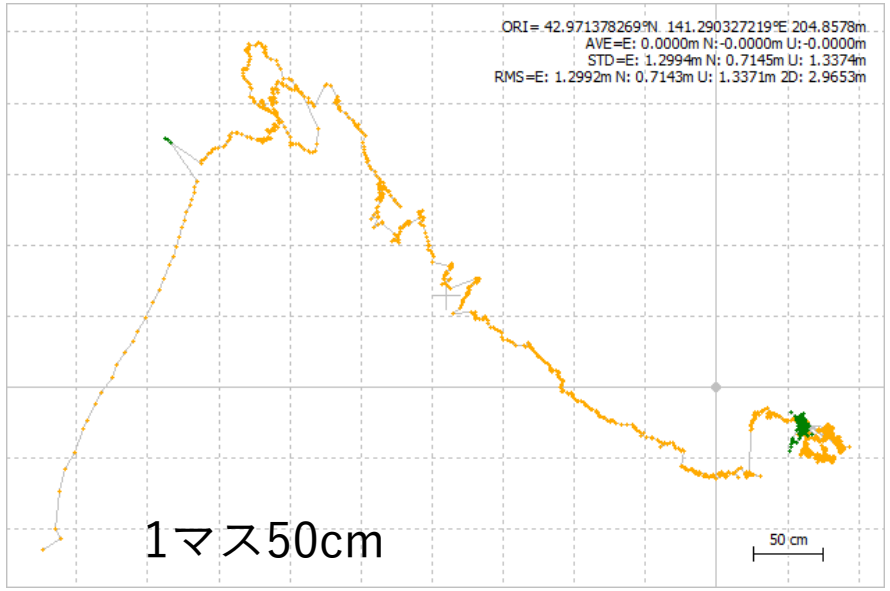
北海道地方　MADOCA＋SSRでの結果

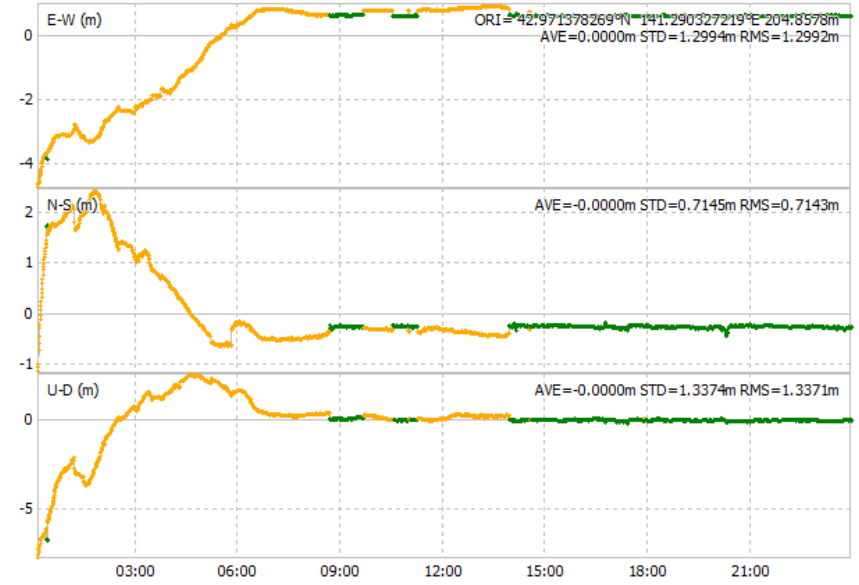
Best
Fix率:97.7%
2021/2/4



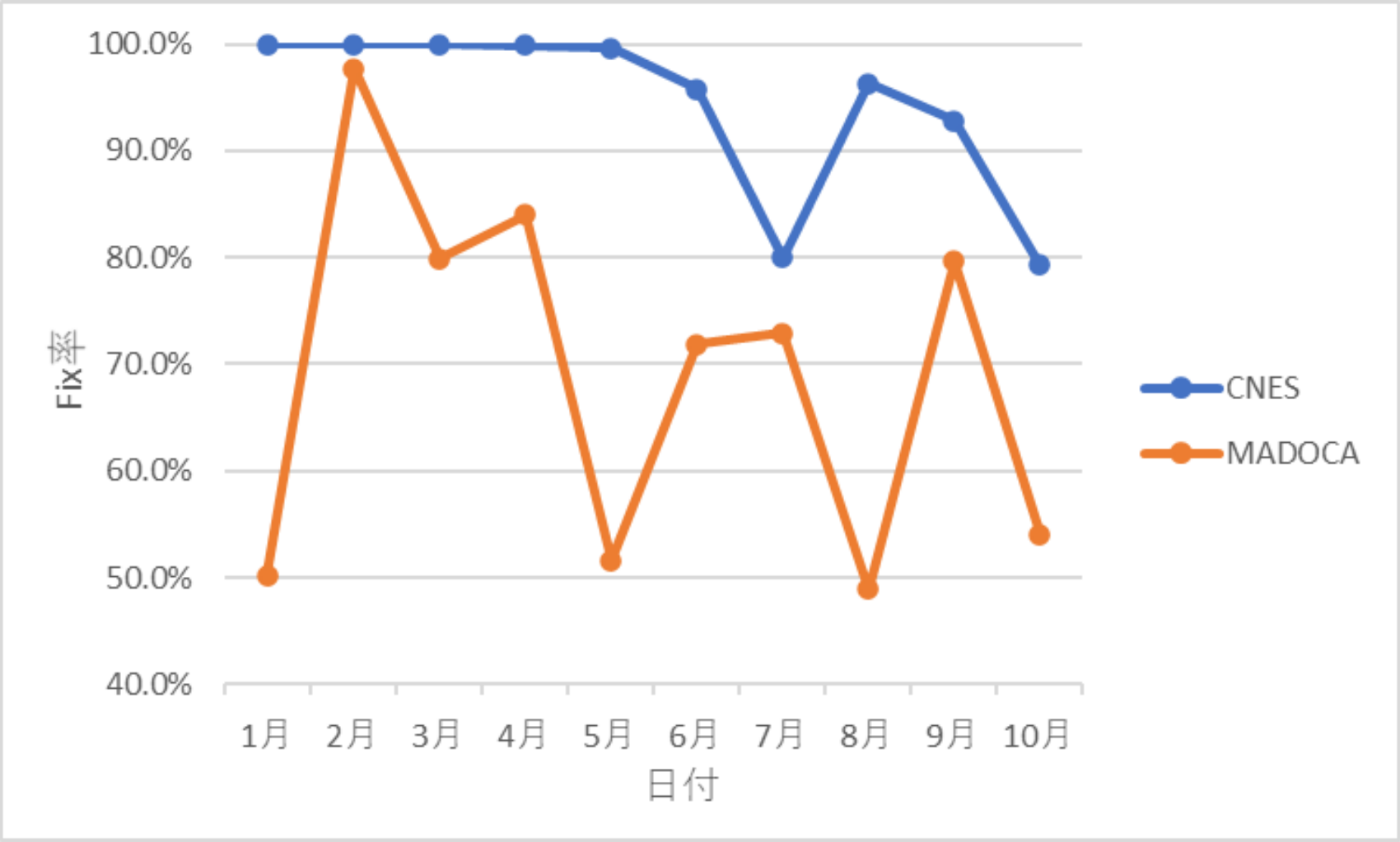


Worst
Fix率:48.9%
2021/8/3





北海道地方　FIX率での比較



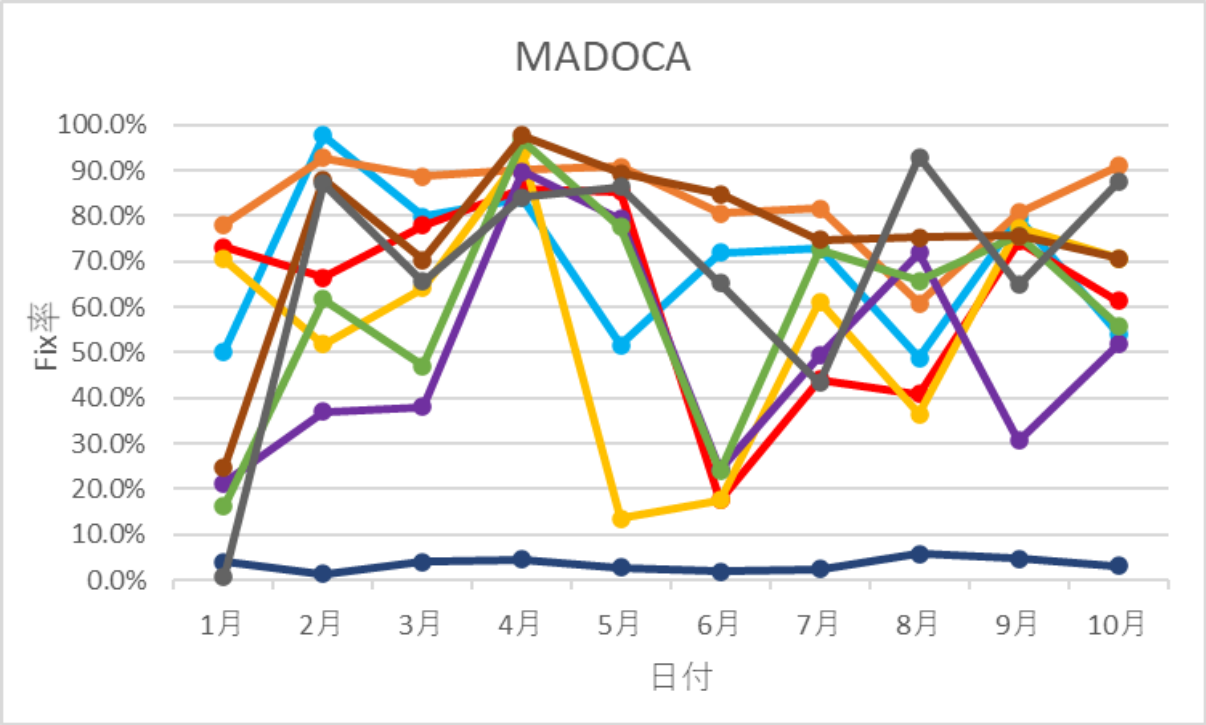
CNESは比較的高いFIX率。MADOCAはGPSのみなので変動が大きい

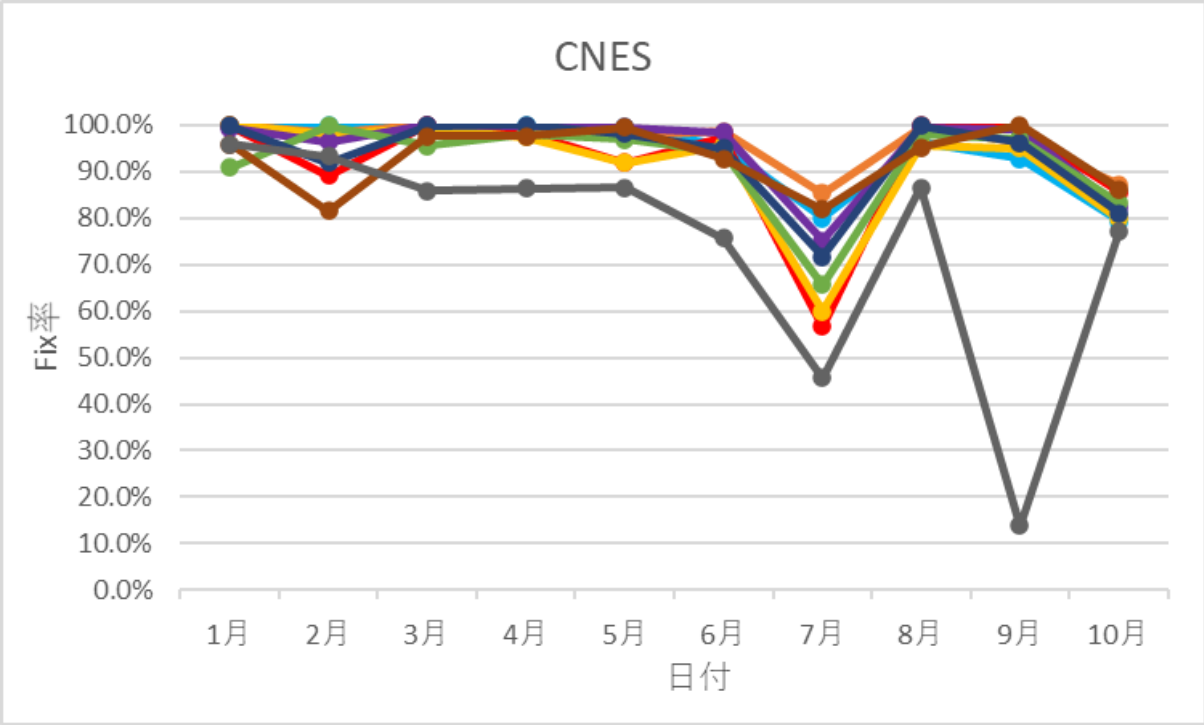
そのほかの地域

　他の地域のユーザー局と主変の観測局の数は以下のように設定した。また、グリッドの設定も先ほどの北海道のようにユーザー局・観測局を囲むように設定し、性能を評価した。

	ユーザー局名	観測局数
・東北	仙台	8局
・関東	東京海洋大学	9局
・中部	長野	7局
・近畿	大阪A	8局
・中国	広島１	7局
・四国	高知	8局
・九州	牧園	8局
・沖縄	渡嘉敷	7局

そのほかの地域のFIX率





北海道　東北　関東　中部　近畿
中国　四国　九州　沖縄

- CNESはMADOCAと比較するとFIX率は高い（利用衛星が多い）
- CNESでの沖縄は低い傾向（電離層推定が難しいか）
- CNESの7月の劣化分はその日だけであった
- MADOCAは全般的に安定しておらずGPSのみでは性能がでないことがわかる

収束時間での評価（海洋大局をユーザとして）

実験の概要

〇目的

CNES、MADOCAを用いたPPP-RTKの収束時間の比較

〇期間

2021年7月15日1:00:00~23:59:59(JST)

〇場所

関東地方

〇方法

東京海洋大学第四実験棟で取得したデータ(1Hz)を用いてCNESは10分データで138回、MADOCAは1時間データで23回PPP-RTKを実施

→収束までの平均時間を検証

※ユーザー局と観測局及びグリッドは関東の精度評価のときと同じ

収束時間

○CNESの結果

~10s	10~15s	15~20s	20s~25s	25s~30s	30s~
5	28	47	43	14	1

収束までの平均時間は19.08s

○MADOCAの結果

~100s	100s~200s	200s~400s	400s~600s	600s~1500s	1500s~
15	1	1	2	3	1

収束までの平均時間は274.04s

まとめ

・CNESの結果はGPS＋GALILEOで精度・収束時間でPPP-RTKのよさが十分にでた
・世界中全ての地域に密に基準点を設置するより、このPPP-RTK方式で、それほど密でなくとも基準点を設置することでcm級の測位が可能
・MADOCAの結果はCNESと比較するとあまりよくない結果となった。GPSのみで性能を出すのは難しいと予想
・特に四国の結果については調査中

CNES、MADOCAともに利用衛星が開発したソフトの仕様で限られているため
さらに利用できる衛星を追加できるよう開発を継続する。
そして、補正データを生成する側の評価を自前で行えるようになることを目指す。