

みちびきの測位補強信号の 現状と今後

日本航海学会 航法システム研究会 2021/10/23

東京海洋大学 久保信明

背景

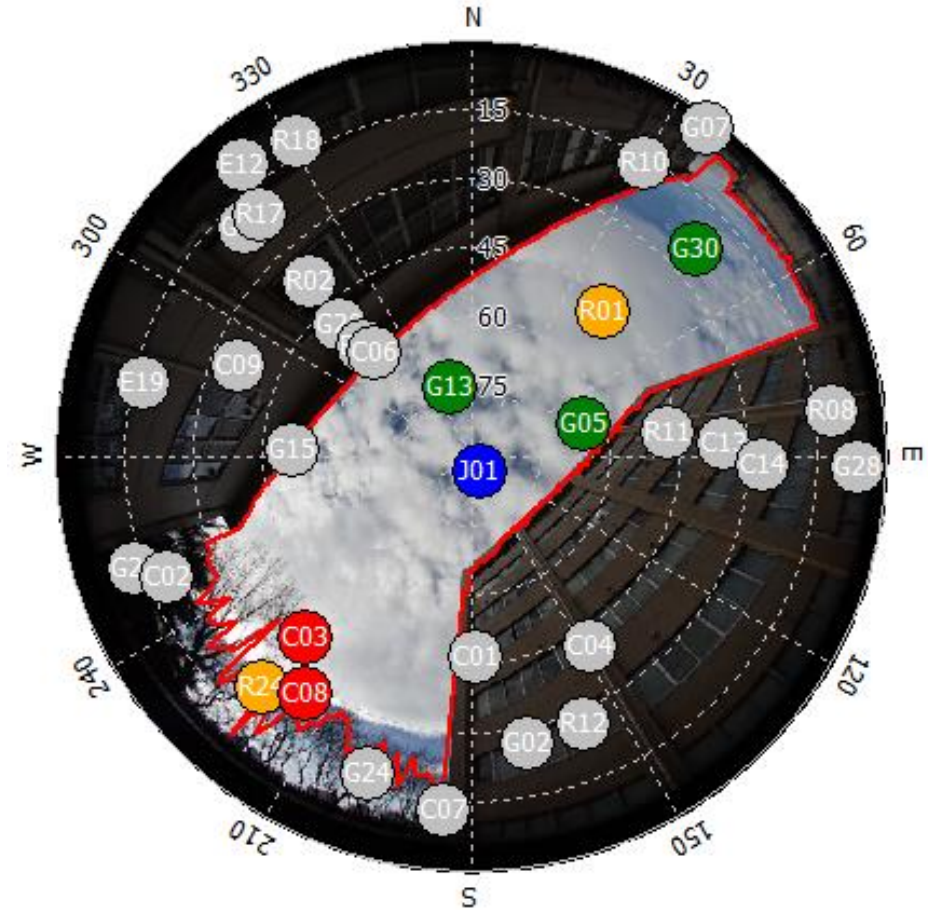
- 廉価版のRTKがここ1-2年で広く利用できるようになり、これまでの数mの測位精度からサブメータ級（1mを切る）、cm級の高精度測位への関心が一般社会でも浸透してきた
- みちびきの補正データは無料で利用できるもので検討してみたい。しかし、種類がいくつもありどのような仕組みで精度が改善されるのかよくわからない。どの受信機が対応しているか？実際のところどのくらいの性能か？開けた場所のみか？などの質問を受けることが多かった
- 上記の仕組みについて紹介します。実際にはそれぞれのサービスプロバイダからの説明が一番であり、本紹介は概要となります

発表概要

- まえがき
- みちびきの各種補正サービス
 1. SLASについて
 2. CLASについて
 3. MADOCA-PPPと将来技術開発
- 移動体（開けた場所）での簡易実験
- まとめ

測位補完と測位補強

- **測位補完**は、GPSに対して、利用できる衛星が増加することによる効果（特に日本付近でこの効果は大きい）
- **測位補強**は、測位誤差を補正する手法のことで、準天頂衛星よりサブメータ級とセンチメータ級の補正データがすでに放送されている（こちら今回発表中）



測位補完の1つの例

4種類の測位方式 (単独、DGNSS、RTK、PPP)

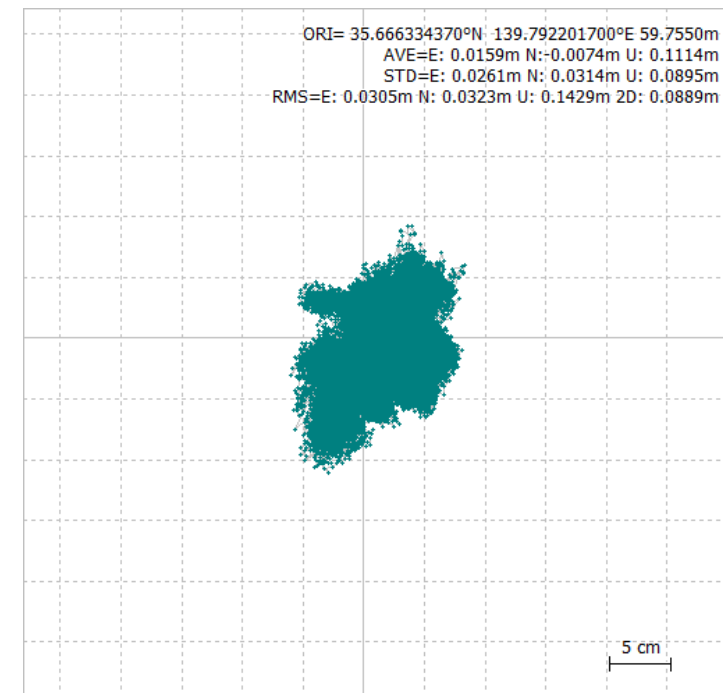
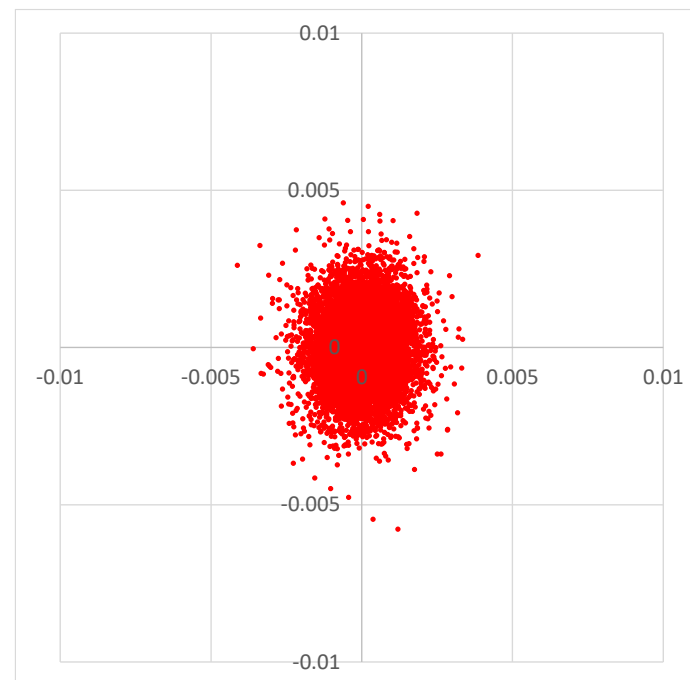
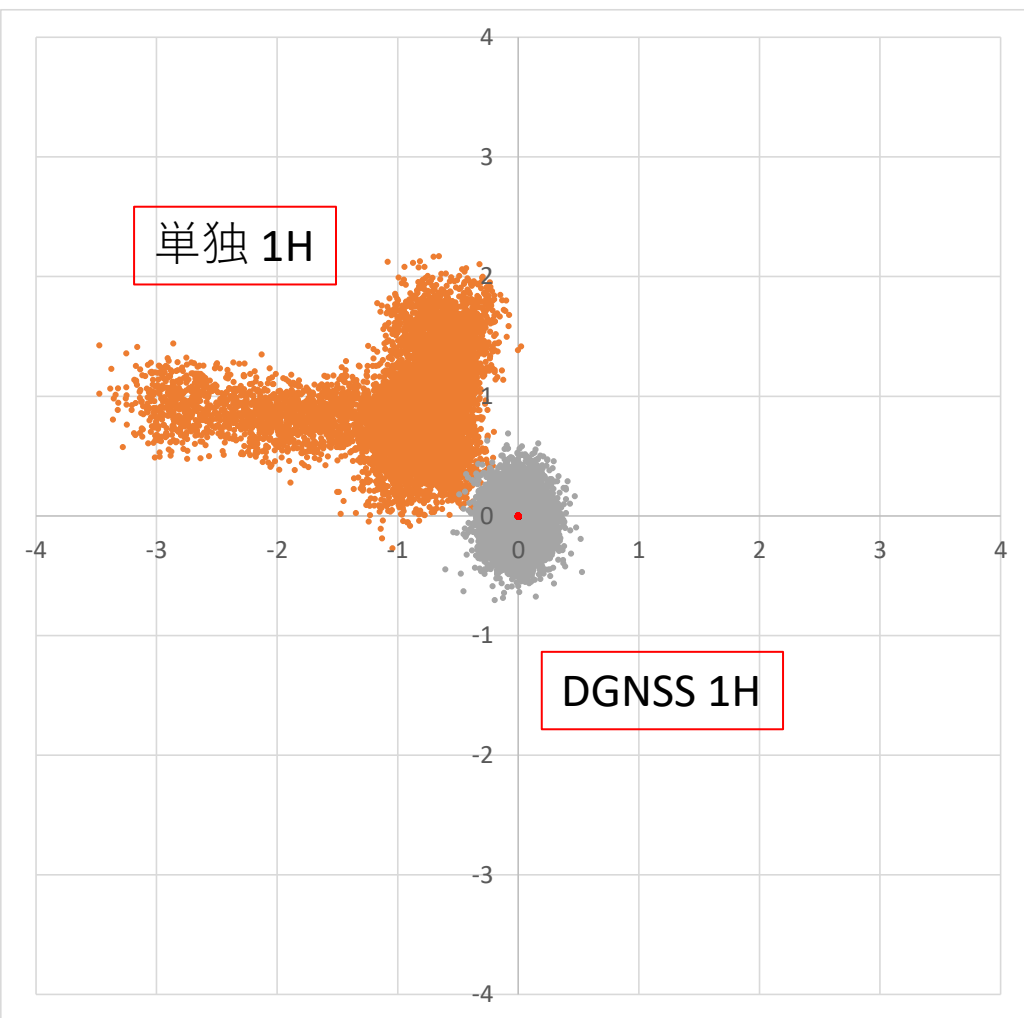
Accuracy (95%)

単独 : 1.36 m

DGNSS : 0.44 m

RTK : 0.003 m

PPP : 0.081 m



MADOCA-PPP (収束後) 24H

精度を高める手法

- 総じて、基準局の観測情報を利用することで精度を高めています。PPPも精密暦やクロックの生成の意味では基準局を利用

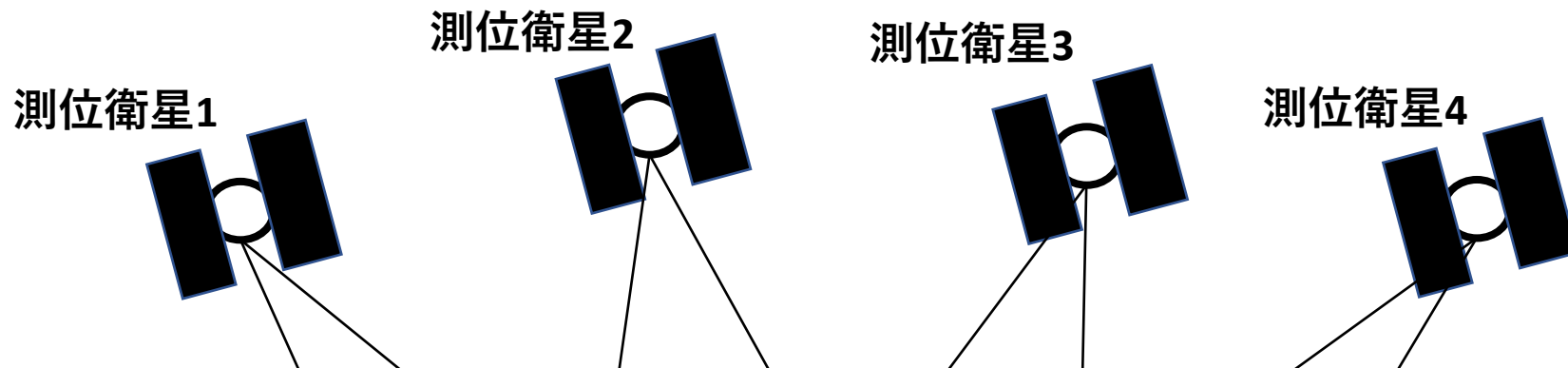
- 精度を高める手法のポイントは3つです

①ディファレンシャル方式と呼ばれ、基準局の補正データを、ユーザ側で利用する

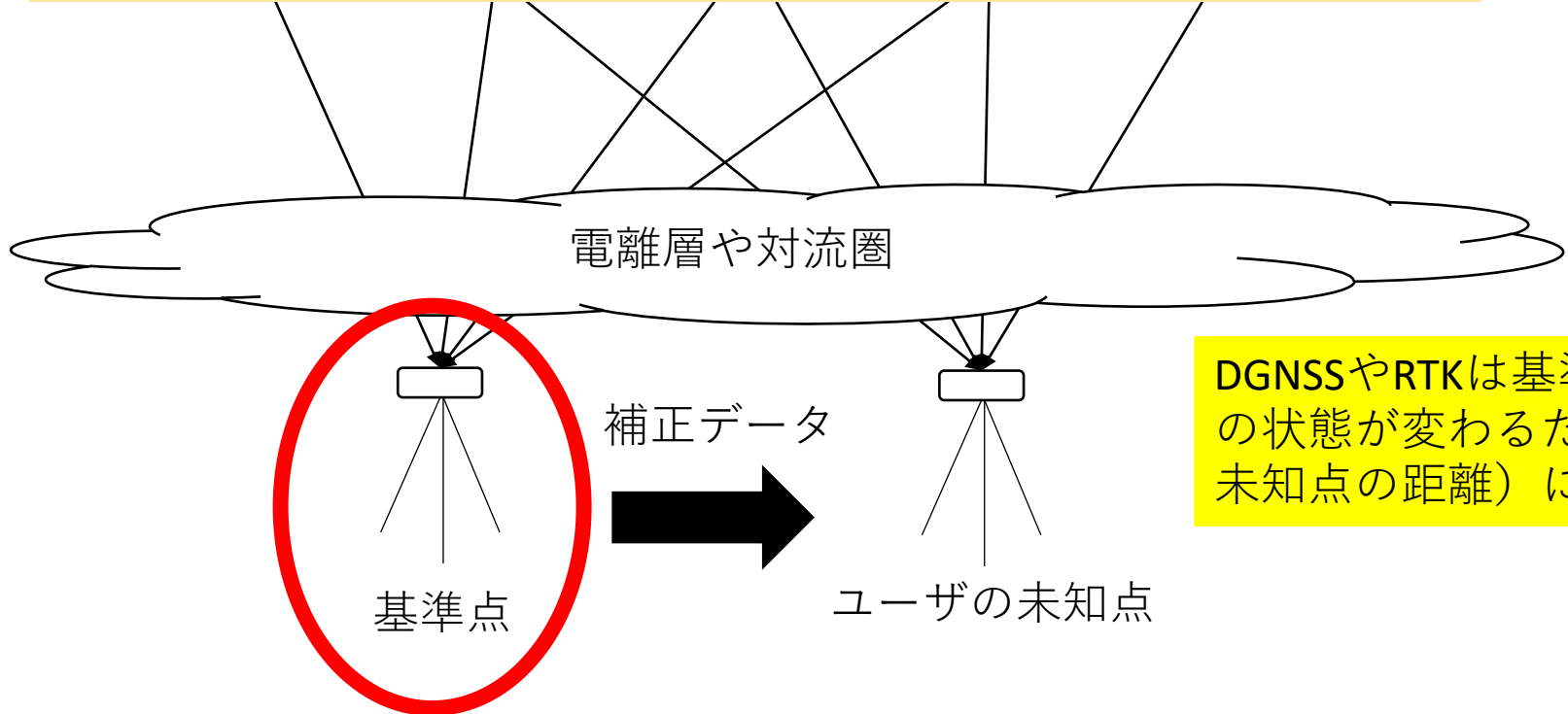
②PPPでは、補正データの割合は薄まり、受信機側ソフトで少し時間をかけて精度を向上させる

③ユーザ側の測位に利用する観測データを擬似距離（mレベル）ではなく、搬送波位相（mmレベル）とする





基本的な概念は、衛星の時計、衛星軌道暦、大気伝搬による誤差がGNSS利用者から数10kmないし数100kmまではほぼ同じであり、時間とともにゆっくり変化するという事実を利用したもの

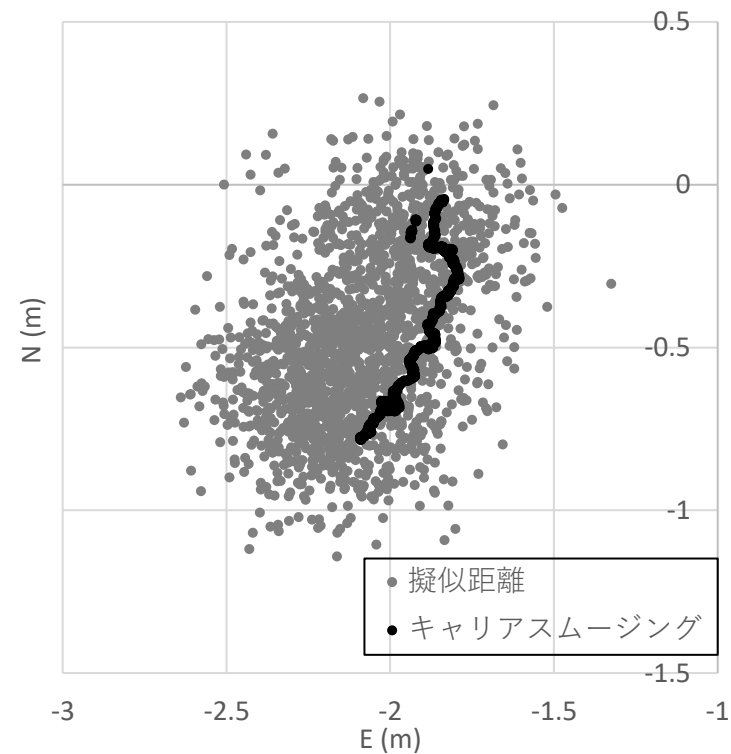
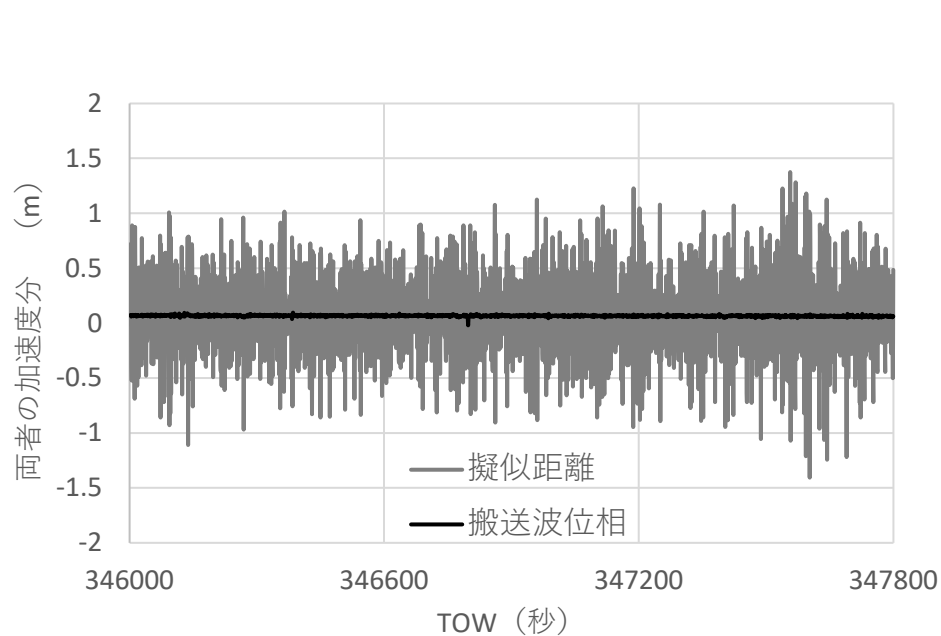


DGNSSやRTKは基準局が必要。大気圏の状態が変わるため、基線（基準点と未知点の距離）に限界がある

誤差要因

| | およその誤差 | 単独測位で低減 | DGNSSで低減 |
|------------|------------------------|---------|----------------------|
| 衛星位置誤差 | 1m | 困難 | できる (基線100km超は考慮) |
| 衛星時計誤差 | 1m | 困難 | できる |
| 電離層遅延量推定誤差 | 2 - 10m (天頂) × 傾斜係数 | ある程度できる | できる (基線に応じて劣化) |
| 対流圏遅延量推定誤差 | 約2m (天頂) × 傾斜係数 | ほぼできる | できる (基線に応じて劣化) |
| マルチパス誤差 | 通常1m前後 10m以上もある | できない | できない |
| 雑音 | 1m以内 | できない | できない |

擬似距離と搬送波位相



| 観測値 | オープンスカイ | マルチパス環境 |
|-------|-----------|--------------|
| 擬似距離 | 数10cmレベル | 1mから100mのときも |
| 搬送波位相 | 2-3 mmレベル | cmレベルまで |

極端なNLOSは除く。搬送波位相はサイクルスリップ（受信中断）が課題

みちびきの信号一覧
QZSSのサイトより

「IS-QZSSで検索」

SLAS

2周波SBAS

CLAS(L6D) / PPP(L6E)

PPP（測位技術実証）はブロックⅡ

| 信号名称 | 初号機 | 2~4号機 | | 信号内容 | 中心周波数 |
|-------|-------|-------|------------------|-------------------|------------|
| | 準天頂軌道 | 準天頂軌道 | 静止軌道 | | |
| | 1機 | 2機 | 1機 | | |
| L1C/A | ◎ | ◎ | ◎ | 衛星測位サービス | 1575.42MHz |
| L1C | ◎ | ◎ | ◎ | 衛星測位サービス | |
| L1S | ◎ | ◎ | ◎ | サブメーター級測位補強サービス | |
| | ◎ | ◎ | ◎ | 災害・危機管理 通報サービス | |
| L1SB | - | - | 2020年頃から 配信予定 | SBAS配信サービス | |
| L2C | ◎ | ◎ | ◎ | 衛星測位サービス | 1227.60MHz |
| L5 | ◎ | ◎ | ◎ | 衛星測位サービス | 1176.45MHz |
| L5S | - | ◎ | ◎ | 測位技術実証サービス | |
| L6 | ◎ | ◎ | ◎ | センチメートル級測位補強サービス | 1278.75MHz |
| Sバンド | - | - | ◎ | 衛星安否確認サービス | 2GHz帯 |

みちびき補正サービス

| | Accuracy (95%) 水平 | coverage |
|---------|----------------------|------------------|
| SLAS | 1.0 m | 日本列島上空 |
| CLAS | 6.0 cm | 日本列島上空 |
| 2周波SBAS | 約1.0 m | みちびきの信号が 届く範囲 |
| PPP | 約10 cm (no AR) | みちびきの信号が 届く範囲 |

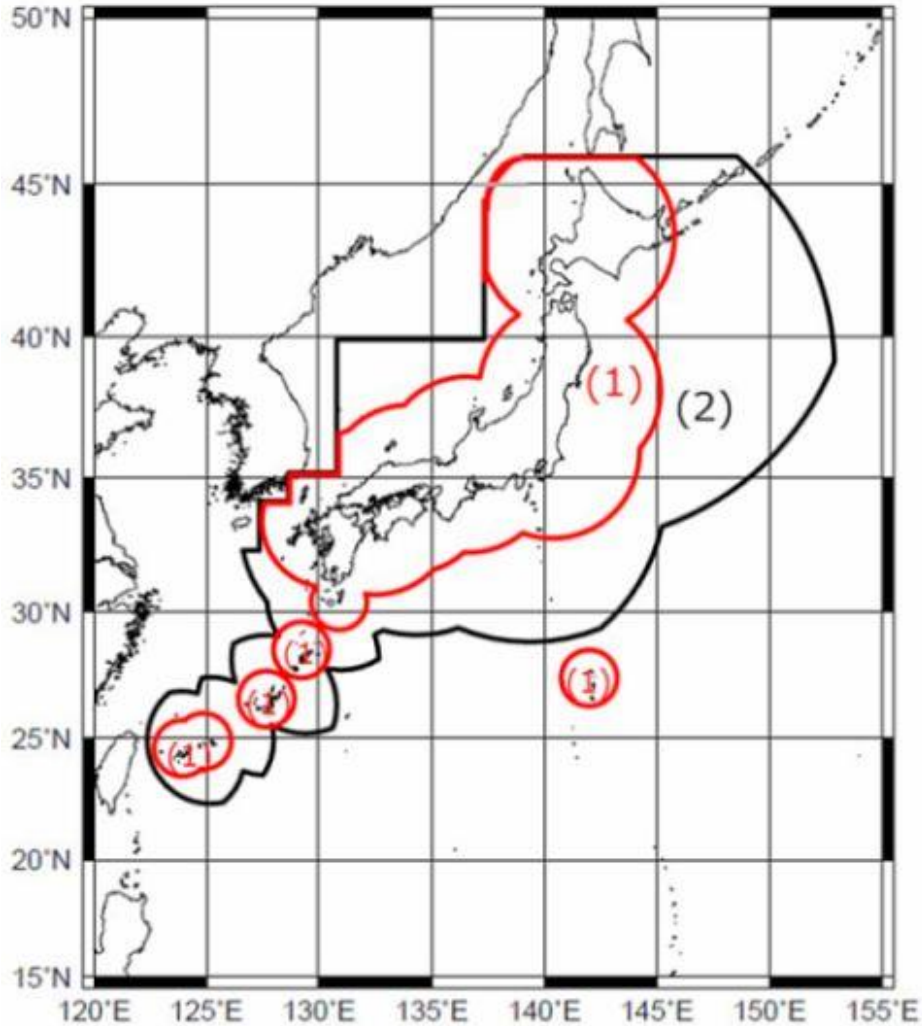
高度方向は1.5倍から2倍の精度

補正量と収束性及びメインとする観測値

| 誤差要因 | SLAS | CLAS | 2周波SBAS | PPP |
|-----------------|---------------|-------|---------|----------|
| 衛星位置誤差 | Not separated | ○ | ○ | ○ |
| 衛星時計誤差 | | ○ | ○ | ○ |
| 電離層分 | | ○ | | △ (次期) |
| 対流圏分 | | ○ | | |
| 収束性 | 瞬時 | 1分 | 瞬時? | 15 - 30分 |
| ユーザ側の メイン観測値 | 擬似距離 | 搬送波位相 | 擬似距離 | 搬送波位相 |

マルチパスやノイズはユーザ側に依存

SLAS (DGNSSと同様)



- 信号名：L1S
- 補正データビットレート：250bps
- 補正量の放送周期：30秒
- 基準局は北の札幌から南の石垣：15局
- 利用する測位衛星：GPSとみちびき
- 利用できる衛星数：14機

| 領域区分 | 測位誤差 | |
|-------|-------------------------------|-------------------------------|
| | 水平 | 垂直 |
| 領域(1) | 1.0m以下 (95%) (0.58m (RMS)) | 2.0m以下 (95%) (1.02m (RMS)) |
| 領域(2) | 2.0m以下 (95%) (1.16m (RMS)) | 3.0m以下 (95%) (1.53m (RMS)) |

仕様書より抜粋

$$PR_i^{corrected} = PR_i^{measured} + PRC_i$$

Formula 5.5-1

| | |
|--------------------|--------------------------------|
| $PR_i^{corrected}$ | : Corrected Pseudorange |
| $PR_i^{measured}$ | : Measured Pseudorange |
| PRC_i | : Pseudorange correction (PRC) |
| i | : PRN number |

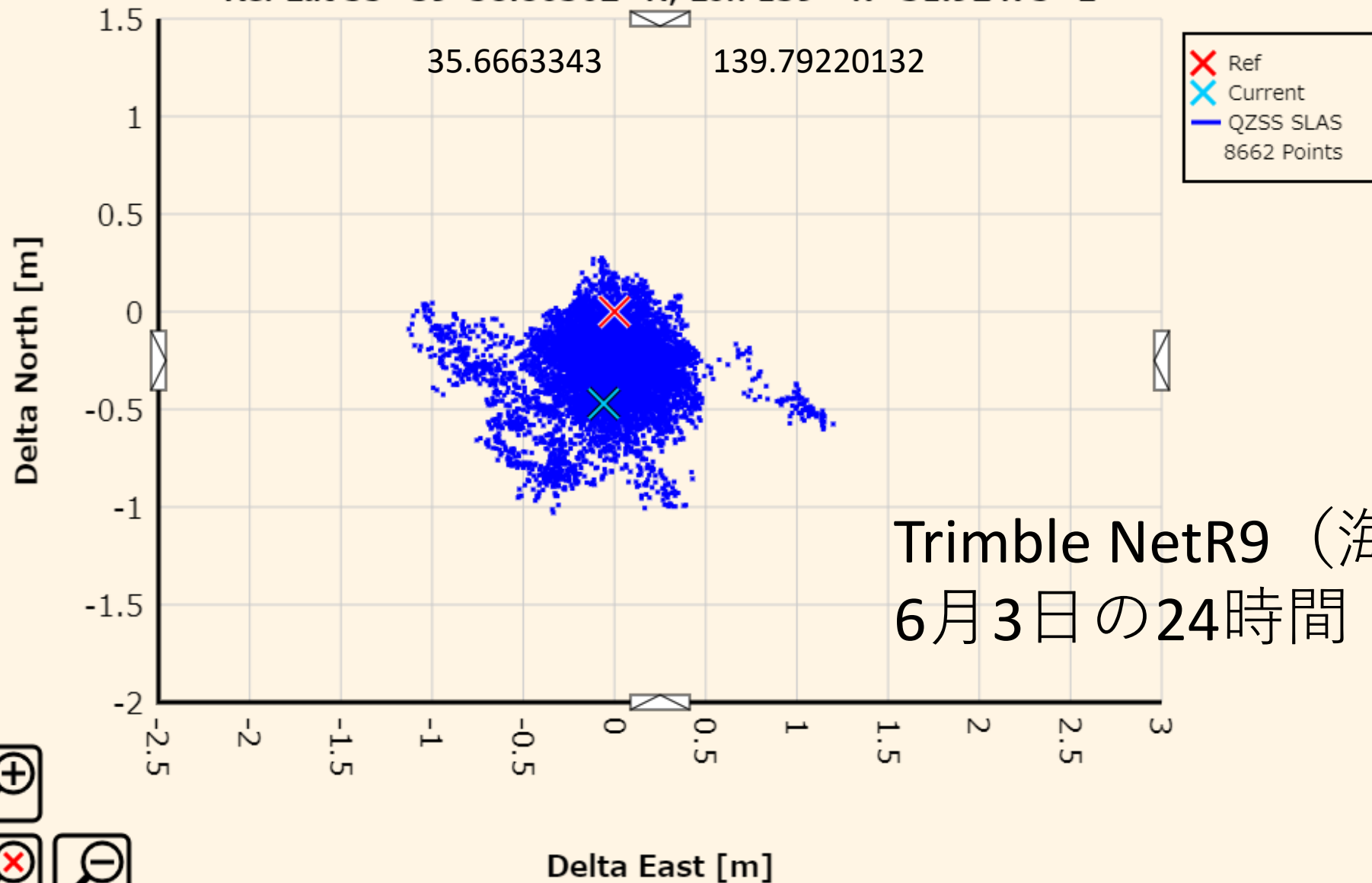
DGNSSと同様に基準局のPRCを送信するシンプルな補正情報

5.5.3.3. Differential ISB Correction

In SLAS which adopts Differential GNSS (DGNSS) using GPS and QZSS, following correction may be needed by combination of user receiver and base receiver (Monitoring station of Sub-meter Level Augmentation).

- i) Correction of Differential Inter System Bias (DISB) between GPS and QZSS.
- ii) Correction of bias to each satellite in GPS and QZSS in case that bias arises to each satellite in GPS and QZSS.

East/North: North $\sigma=0.202$ East $\sigma=0.276$, RMS(2D)=0.451 [m]
Ref Lat 35° 39' 58.80362" N, Lon 139° 47' 31.92475" E



Trimble NetR9 (海洋大)
6月3日の24時間

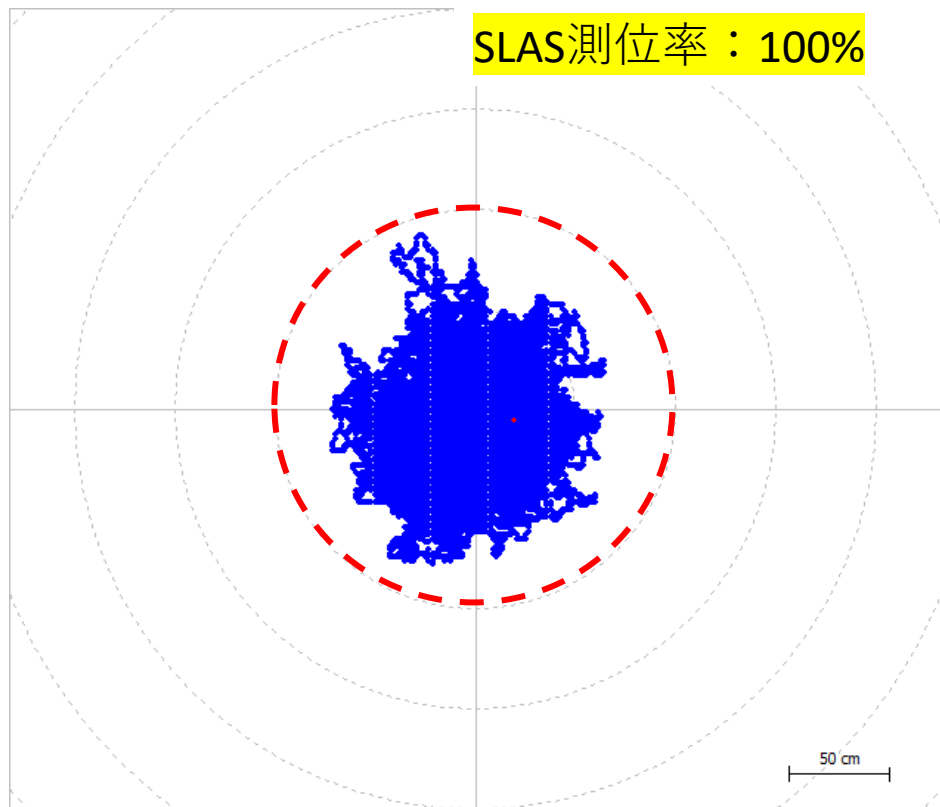


SLAS静止 (海洋大)

6月13日の24時間

トリンブルアンテナ + u-blox F9P受信機

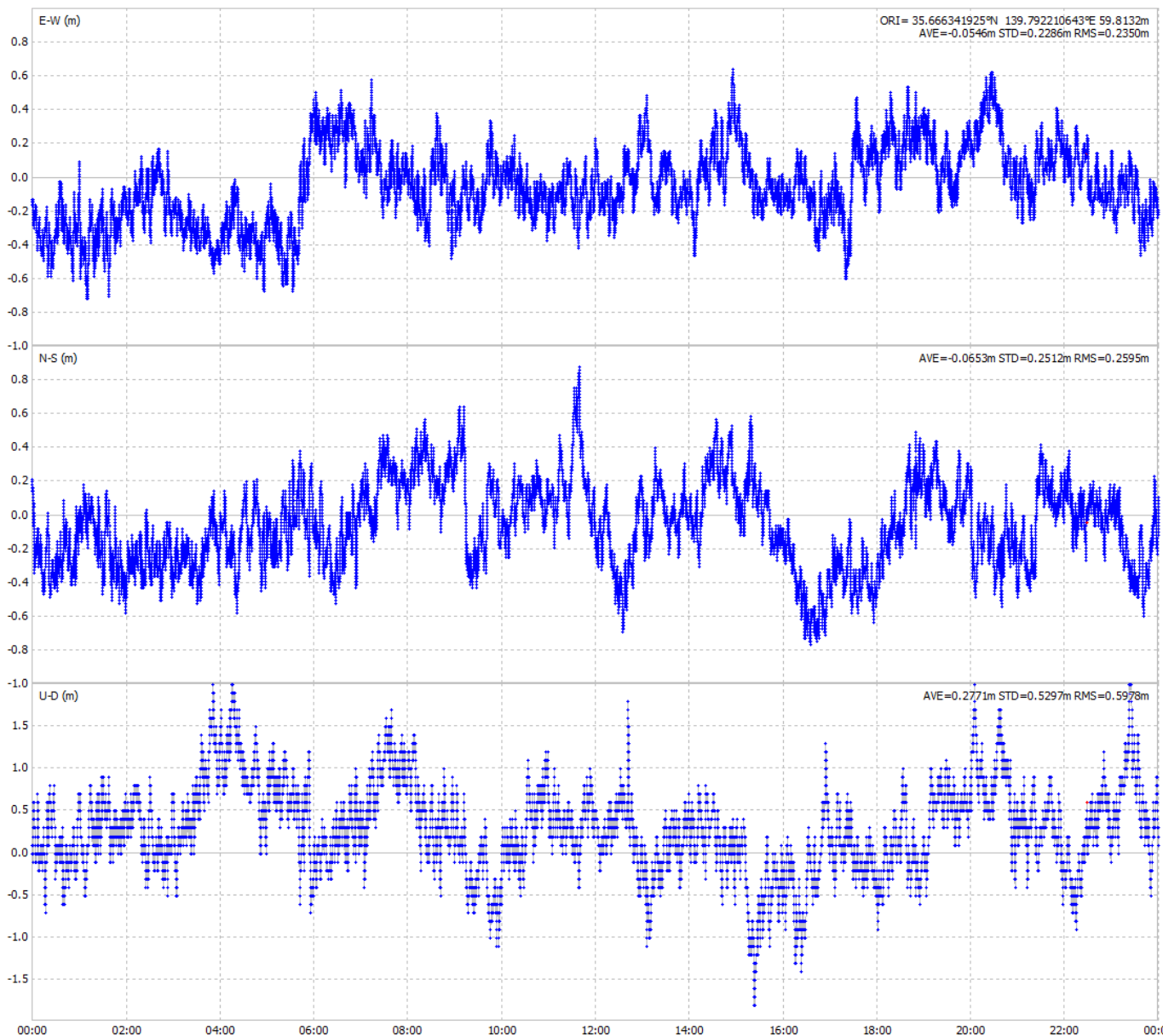
SLAS測位率: 100%



※赤点線が真値から1m
(公称水平精度 95%値)

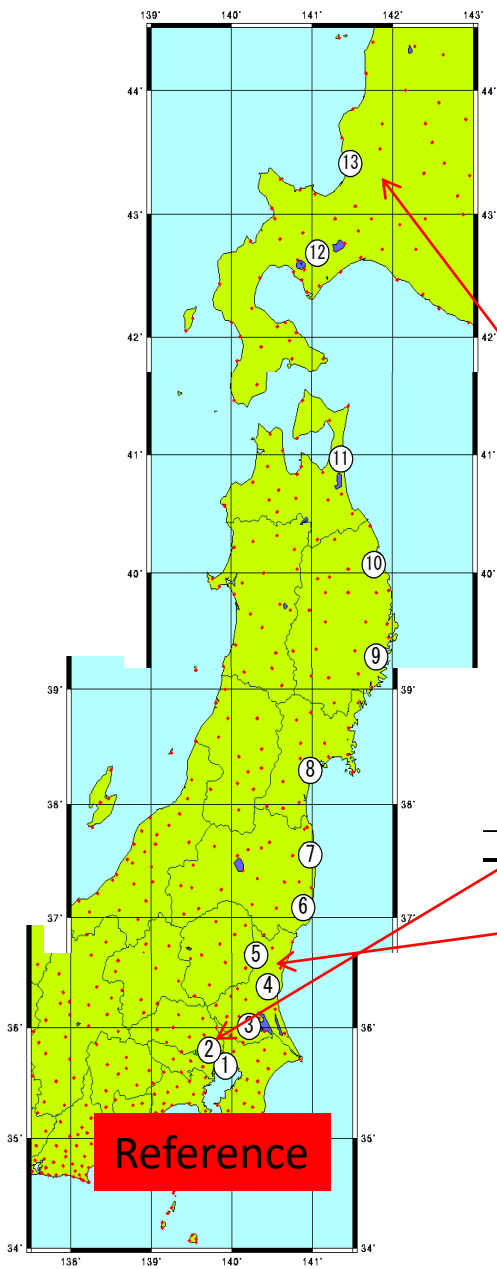
※真値はF3解より算出

Lat=35.66634193、Lon=139.79220106、Hight=59.81

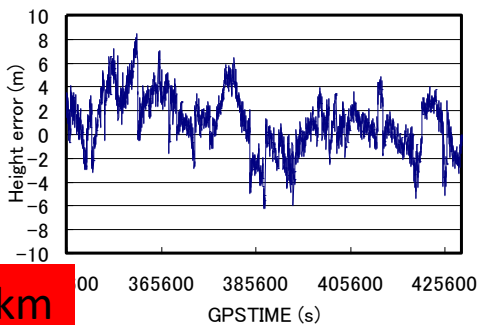
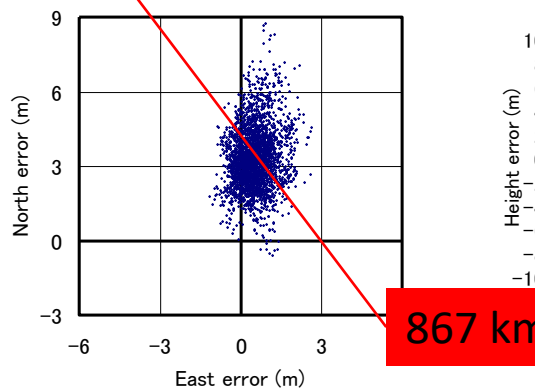
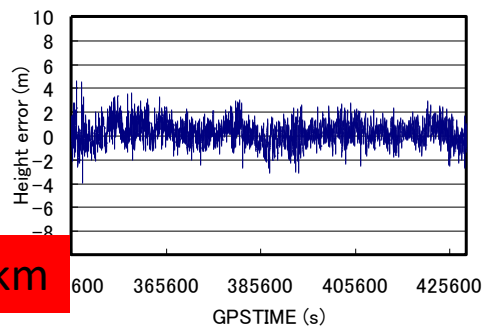
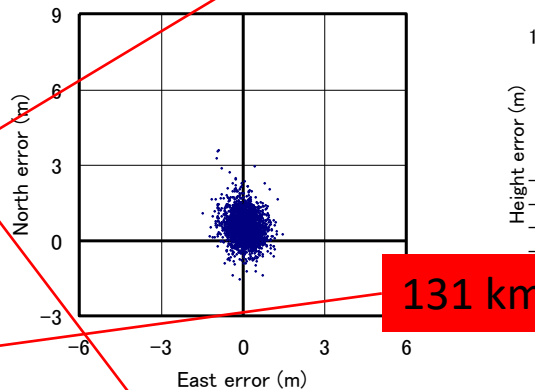
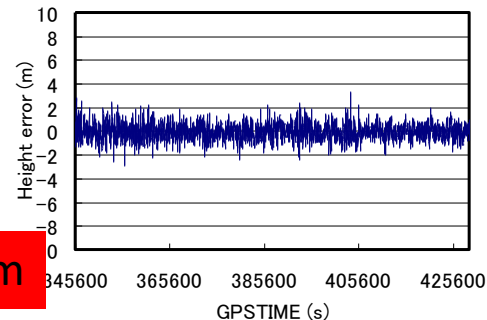
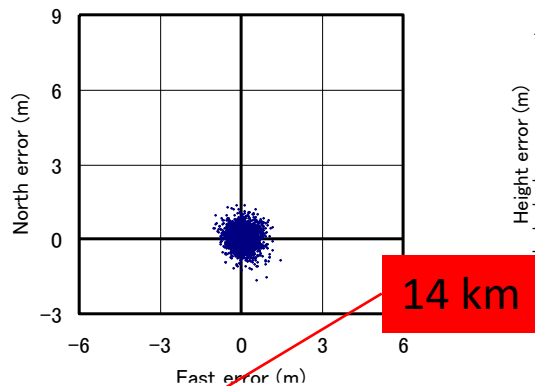


水平で20cm程度、高度方向で50cm程度の精度(標準偏差)

DGNSSの性能劣化（長基線）

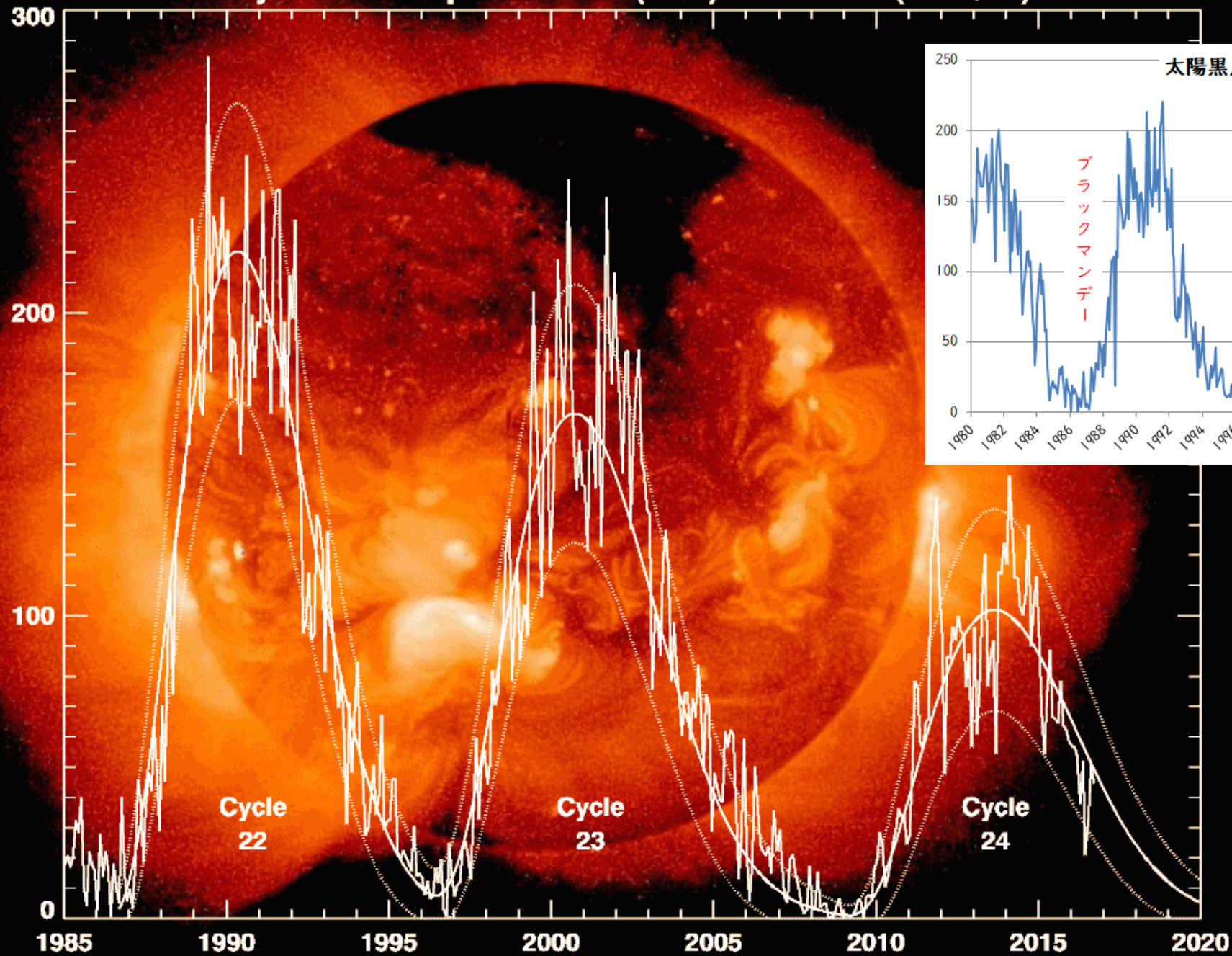


| number | name | type |
|--------|------|------|
| ① | 千葉市川 | 基準局 |
| ② | 足立 | 未知点 |
| ③ | 阿見 | 未知点 |
| ④ | 水戸 | 未知点 |
| ⑤ | 大田原 | 未知点 |
| ⑥ | いわき | 未知点 |
| ⑦ | 小高 | 未知点 |
| ⑧ | 利府 | 未知点 |
| ⑨ | 釜石 | 未知点 |
| ⑩ | 久慈 | 未知点 |
| ⑪ | 六ヶ所 | 未知点 |
| ⑫ | 大滝 | 未知点 |
| ⑬ | 厚田 | 未知点 |



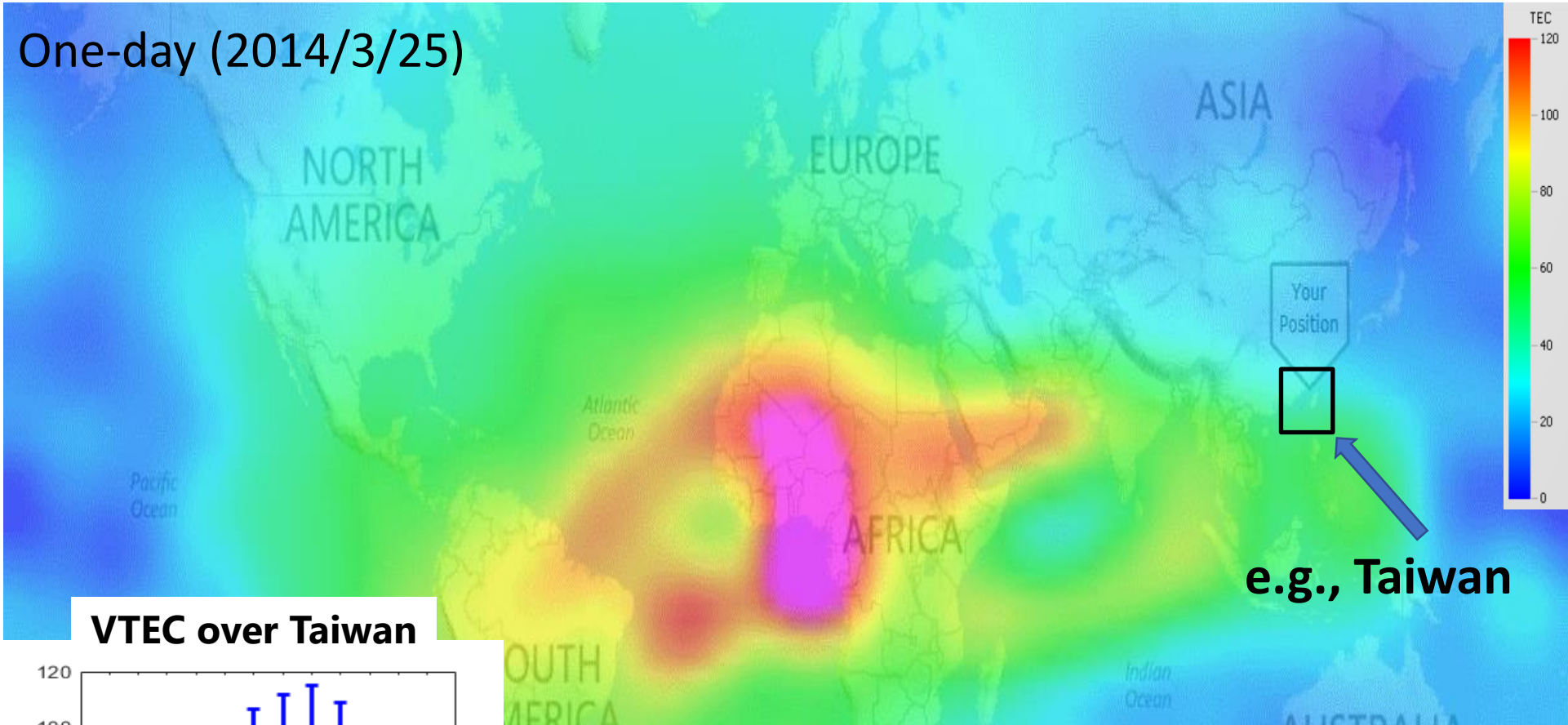
おそらく、基線が長くなると、電離層や対流圏の遅延量が変わってくる。また100kmも離れると同じ衛星でも仰角の差（傾斜係数）を無視できない。それら補正はユーザ側で対処する。特に対流圏は地上に近いので仰角の差が大きくなる

Cycle 24 Sunspot Number (V2.0) Prediction (2016/10)

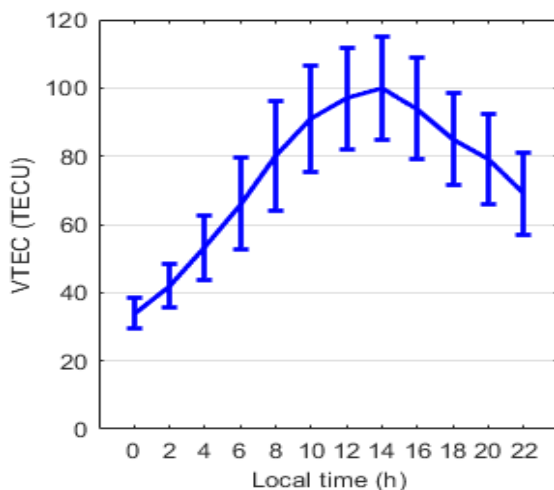


Worldwide VTEC

One-day (2014/3/25)

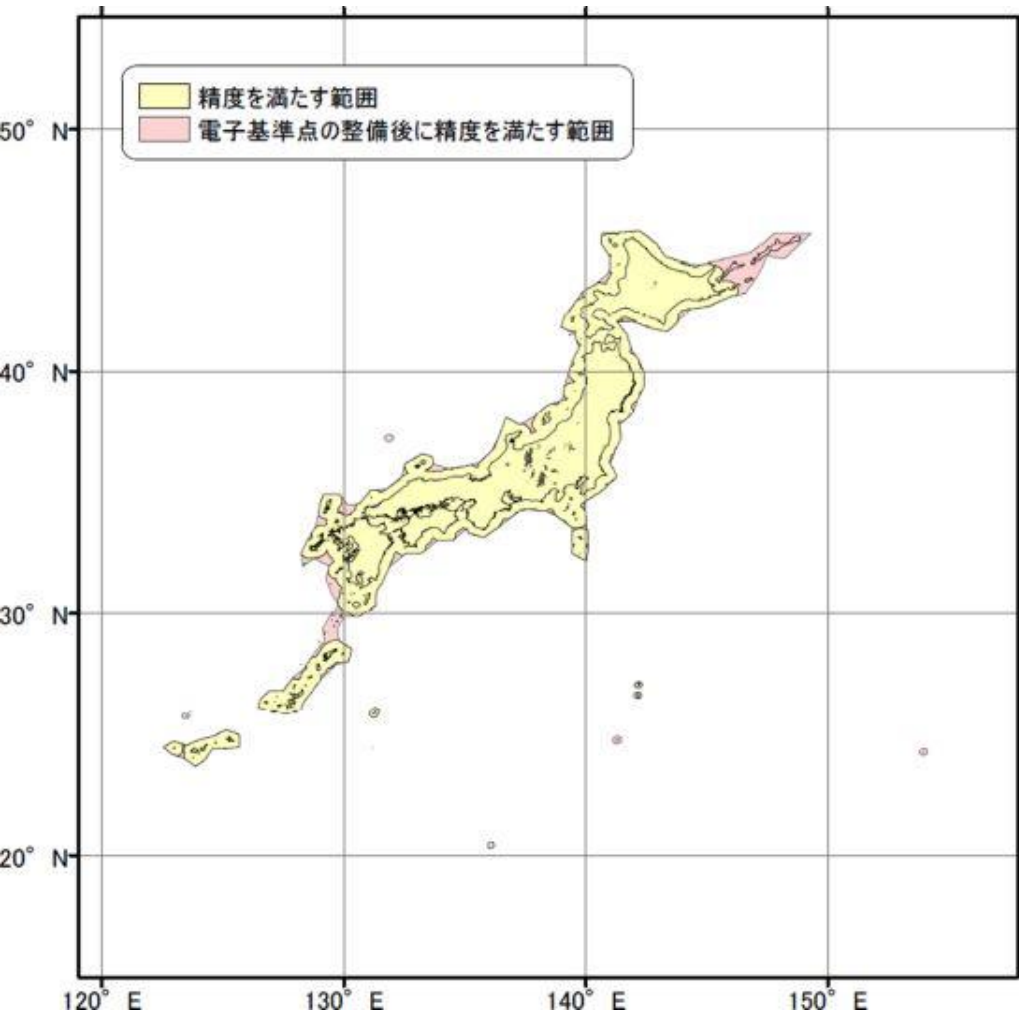


VTEC over Taiwan



1. VTEC changes with time and locations.
2. The mid-low latitude regions (range of equatorial anomaly) will suffer the largest ion. errors in the world near and after noon !!!!

CLAS (FKP及びCMASの流れ)



- 信号名：L6D (LEX)
- 補正データビットレート：2,000bps
- 補正量の放送周期：5秒から30秒
- 利用する国内電子基準点：300局？
- 利用する測位衛星：GPS/QZSS/GALILEO
- 利用する衛星数：最大17機

| 種別 | 測位誤差 | |
|-----|-------------------------------|--------------------------------|
| | 水平 | 垂直 |
| 静止 | ≤6cm (95%) (3.47cm (RMS)) | ≤12cm (95%) (6.13cm (RMS)) |
| 移動体 | ≤12cm (95%) (6.94cm (RMS)) | ≤24cm (95%) (12.25cm (RMS)) |

放送される補正データと更新周期

Table 4.1.1-1 Nominal Update Interval

| Message Name | Message Type ID Sub Type ID *1 | Nominal Update Interval [s] |
|--|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Compact SSR Mask | MT4073,1 | 30 |
| Compact SSR GNSS Orbit Correction | MT4073,2 | 30 |
| Compact SSR GNSS Clock Correction | MT4073,3 | 5 |
| Compact SSR GNSS Satellite Code Bias | MT4073,4 | 30 |
| Compact SSR GNSS Satellite Phase Bias | MT4073,5 | 30 |
| Compact SSR GNSS Satellite Code and Phase Bias | MT4073,6 | 30 |
| Compact SSR GNSS URA | MT4073,7 | 30 |
| Compact SSR STEC Correction | MT4073,8 | 30 |
| Compact SSR Gridded Correction | MT4073,9 | 30 |
| Compact SSR Service Information | MT4073,10 | (N/A) |
| Compact SSR GNSS Combined Correction | MT4073,11 | 5 or 30 |
| Compact SSR Atmospheric Correction | MT4073,12 | 30 |
| Null Message | (N/A) | (N/A) |

全国のNetwork IDは13個
電離層や対流圏はこの区分で放送

CLASの歴史

- 三菱電機が長年開発をしてきたもので、従来のRTK（1cmを切る）やNetwork RTK（1cm程度？）は通信容量が多いため国内全域のcm級測位を2kbpsでカバーすることは不可能でした
- そのような背景の中、CMASと呼ばれるSSR方式での補正データの放送を検討し検証実験を行っていた
- 現在のCLASはCMAS方式のサービスをみちびきより放送しているものであると想定され、年次改良されています
- **PPP-RTK**と呼ばれます

OSR方式とSSR方式

- OSR方式は観測データをそのまま補正值としてユーザに送信
- SSR方式は、**観測データに含まれる誤差要因の物理量を分けて**ユーザに放送
- SSRはState space representationの略で状態空間表現方式となります。誤差要因の性質を利用して、空間時間方向で圧縮されています。この圧縮が重要で大変
- **どの誤差要因を最低どのくらいの頻度で、どのくらいのResolutionで送らなければcm級（1cmではない）が実現できないか**
- 念のためOSRはObservation space representation

OSRとSSR

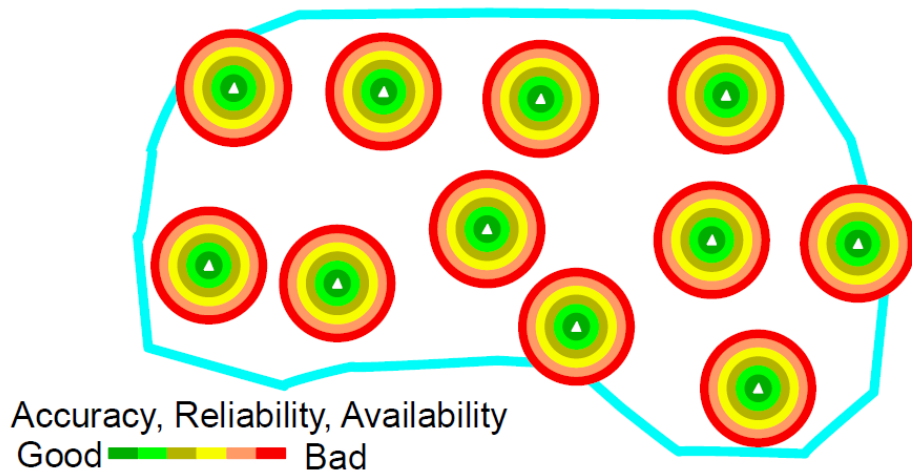
- OSR方式は、基準局で観測した観測値をそのまま補正データとして送信する（SLASも）。基準局の数だけ発信元がある。実際には、OSR方式でもVRSのような複数の基準局の観測値を利用して仮想的な基準局を生成することもある
- SSR方式は、**上記と異なり、複数の基準局で観測した観測値から、一度GNSSの誤差要因それぞれに分けて**、それら誤差要因を放送するため、ある基準局の観測値を送信するというだけでなく、あくまでもユーザの位置に適した誤差要因それぞれを放送している
- 例えば、MADOCA-PPPを見るとわかるように、衛星側の暦やクロックは日本中どこで利用しても同じなので、衛星ごとに1つの情報があればよい（厳密にCLASとMADOCA-PPPでの暦やクロック情報は異なるので詳細はサービスプロバイダーへ）

OSR方式のRTKとVRSの違い

- RTKは基本、1つの基準局に対して、ユーザはその基準局からの観測値で高精度測位を実現。基準局からの距離が離れると、当然電離層や対流圏の誤差は無視できなくなる
- VRSは例えば50kmの3つの基準局を利用することでユーザが利用できる範囲が広がる

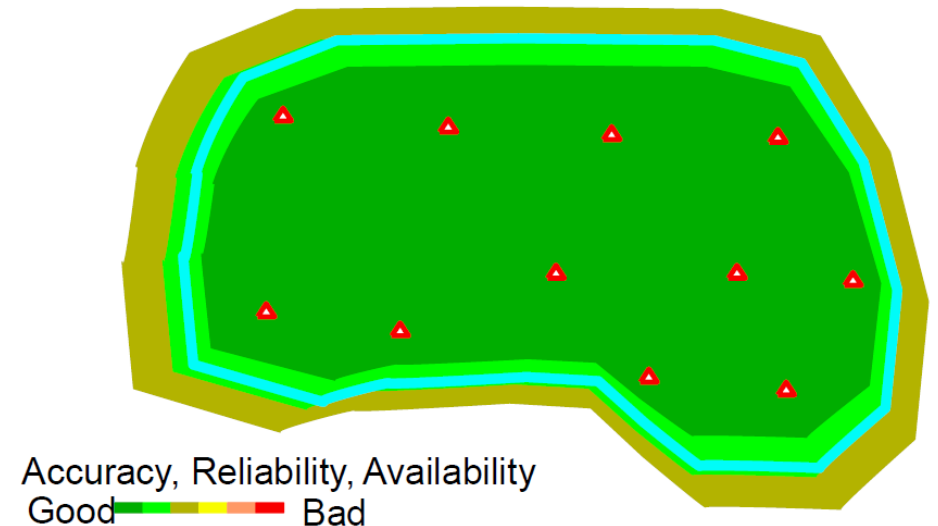
Network of Individual Reference Stations

To cover a large area with single reference stations to run RTK, we need multitude of points and still we have huge gaps between the points.



The Solution is Network RTK (NRTK)!

The same area is covered with much less number of points using the Network RTK concept. All the area is covered with no gaps.



CLAS静止 (海洋大)

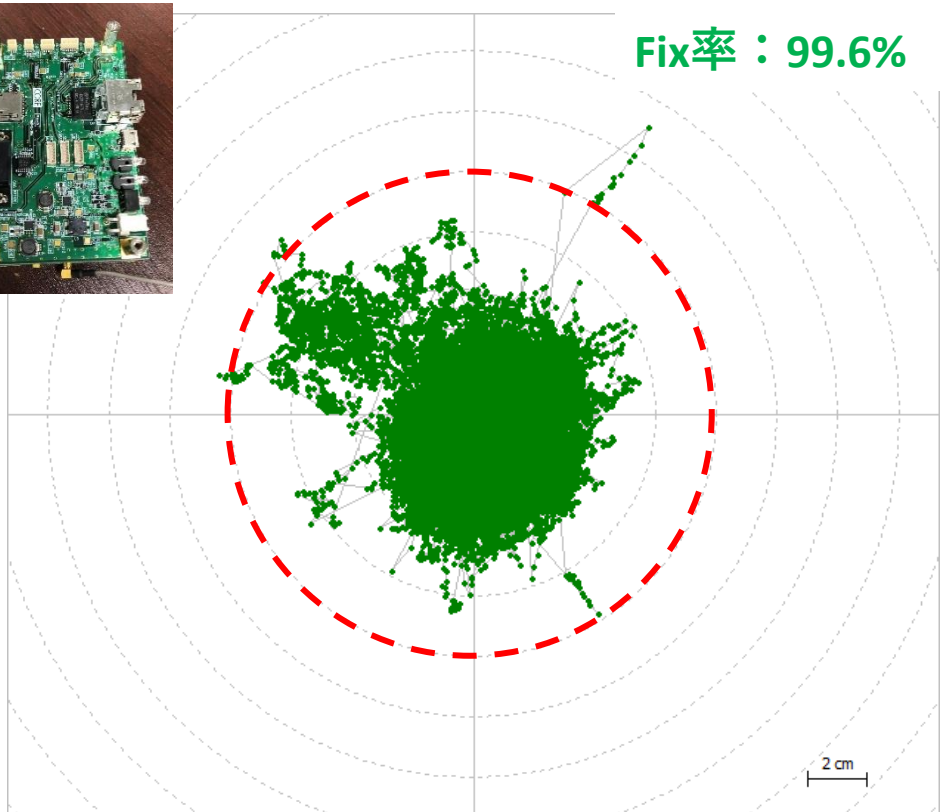
6月13日の24時間

※真値はF3解より算出

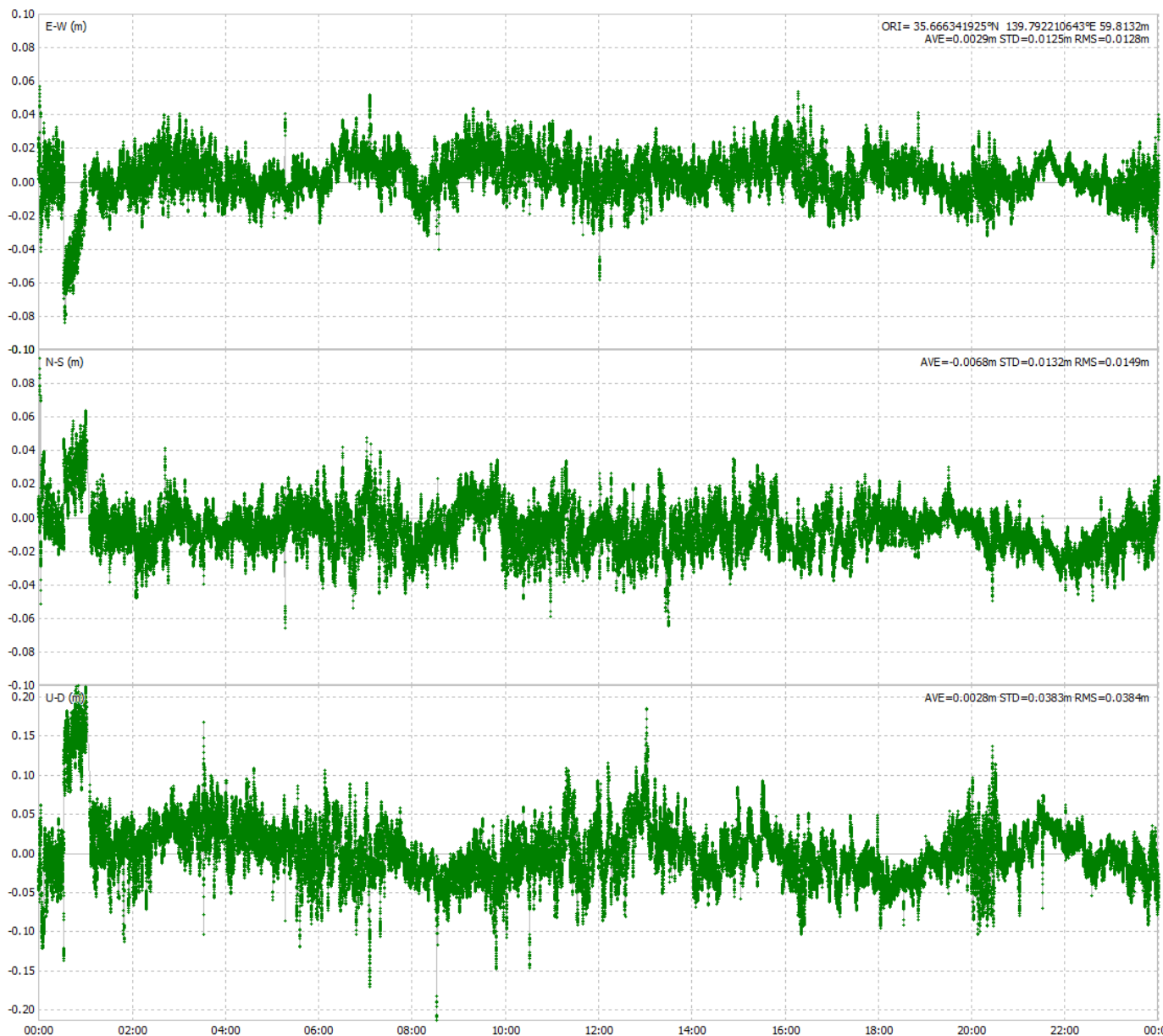
Lat=35.66634193、Lon=139.79220106、Hight=59.81

トポコンアンテナ + CORE AsteRx4受信機

Fix率 : 99.6%



※赤点線が真値から6cm
(公称水平精度 95%値)



水平で1cm程度、高度方向で4cm程度の精度(標準偏差)

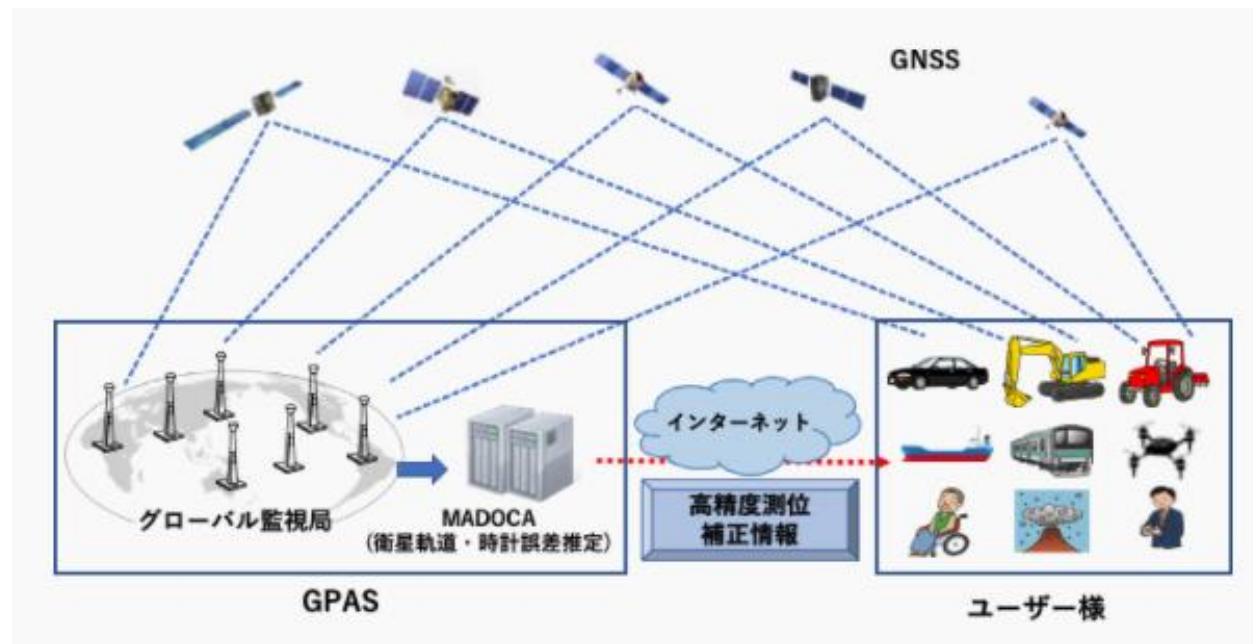
MADOCA-PPP (GPAS社が商用サービス開始)

GPASは、衛星測位のユーザーがセンチメートル級の高精度測位を行えるよう、インターネットを利用して測位補正情報を世界中に配信する事業を行います。測位補正情報は、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) が開発したMADOCA※技術を利用し生成しています。



測位補正情報のインターネットによる配信サービス

インターネットを通じて世界中どこでも・いつでもセンチメートル級の高精度な測位が可能となるサービスを提供します。



準天頂衛星のL6E信号からの技術実証用補正情報の配信につきましても引き続き実施

| product | Interval | RTCM Message | | | |
|---------------------|------------|--------------|------|---------|------|
| | Estimation | Provide | GPS | GLONASS | QZSS |
| Orbit correction | 30 | 1 | 1057 | 1063 | 1246 |
| Clock correction | 1 | 1 | 1058 | 1064 | 1247 |
| HR-Clock correction | 1 | 1 | 1062 | 1068 | 1251 |
| URA | 1 | 1 | 1061 | 1067 | 1250 |

対応衛星は現時点でGPS/QZSS/GLONASS

ベーシックサービス

提供プロダクト

リアルタイムSSR(FCBなし)

過去リアルタイムSSR(FCBなし)

提供方法

NTRIP

SFTP

FCB付きサービス

提供プロダクト

リアルタイムSSR(FCBあり)

過去リアルタイムSSR(FCBあり)

提供方法

NTRIP

SFTP

暦サービス

提供プロダクト

超速報暦/速報暦/最終暦

提供方法

個別にご相談をお受けします。

Fractional Cycle Bias
搬送波位相初期バイアス

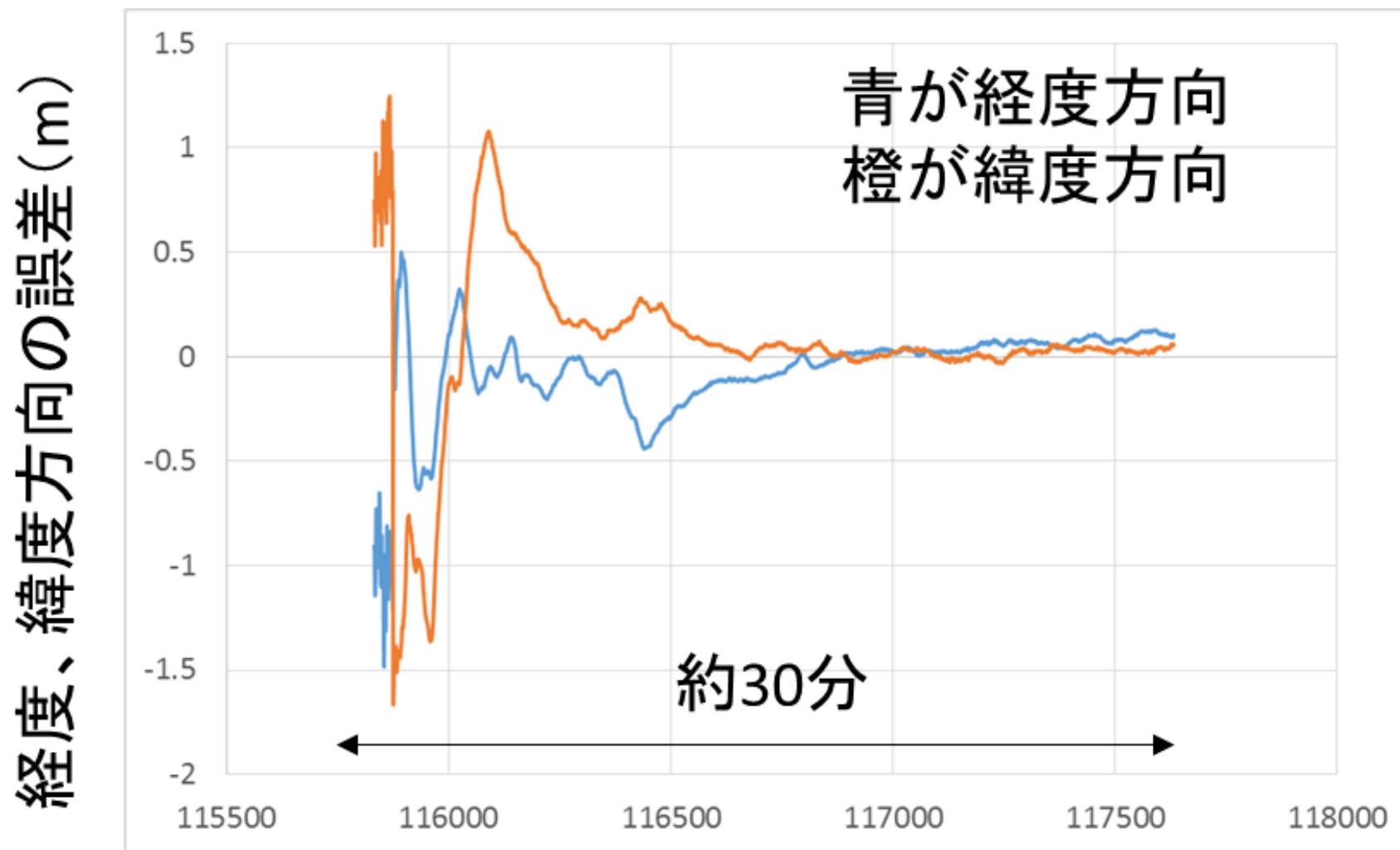
MADOCA-PPPについて

- みちびきの初号機が打ち上げられた2010年よりすでに実証実験がされており、私も2周波受信機 + アンテナ + SDR + ノートPCで実験をしていました
- 衛星から放送される信号はL6E経由で、CLASと同じく2,000bps。フォーマットもRTCM SSRベースで世界共通
- 当時よりすでに精密暦と精密クロックの精度はcm級で、長い時間をかけて改良がされてきた
- PPP (Precise Point Positioning) という技術自体、世界的にもよく知られている

PPPと相対測位の比較

| 項目 | | 精密単独測位(PPP) | 相対測位 | 備考 |
|-----------|-----------|---------------------------------|----------------------|-----|
| 基本観測量 | | ゼロ差搬送波位相 | 二重位相差 | |
| 使用衛星暦 | | 精密暦(軌道・時計) | 精密暦(軌道)、放送暦 | |
| 基準局 | | 不要 | 必要 | |
| 決定座標 | | 世界測地系による絶対座標 | 基準局相対座標 (基線ベクトル) | |
| 電離層遅延補正 | | 2周波による補正 | 2周波補正(長基線)、補正なし(短基線) | |
| 搬送波位相バイアス | | 実数値推定 | 整数化による精度向上 | |
| 測位精度 | kinematic | TBD | TBD | |
| | 短期static | TBD | TBD | 1H |
| | 長期static | 水平3mm、垂直6mm | 水平3mm,垂直6mm+基線長×1ppb | 24H |
| 応用分野 | | グローバル・ローカル地殻変動計測 GPS気象学、時刻同期 | 一般測位 ローカル地殻変動計測 | |

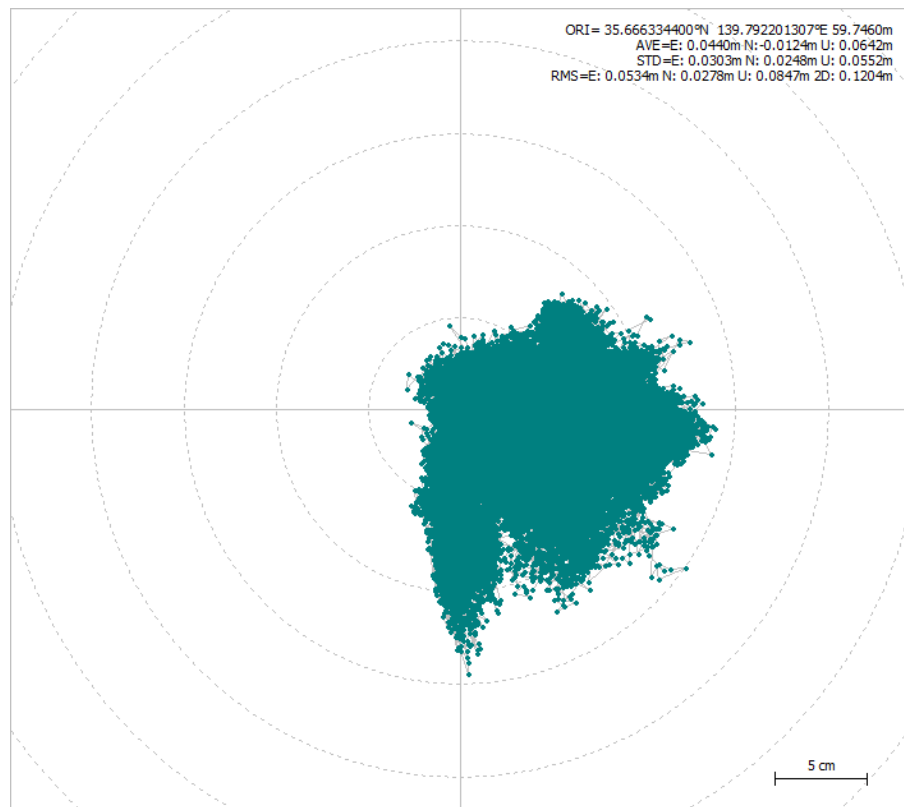
実際の静止点でのPPPの収束時間について



MADOCA-PPP静止 (海洋大)

6月13日の24時間

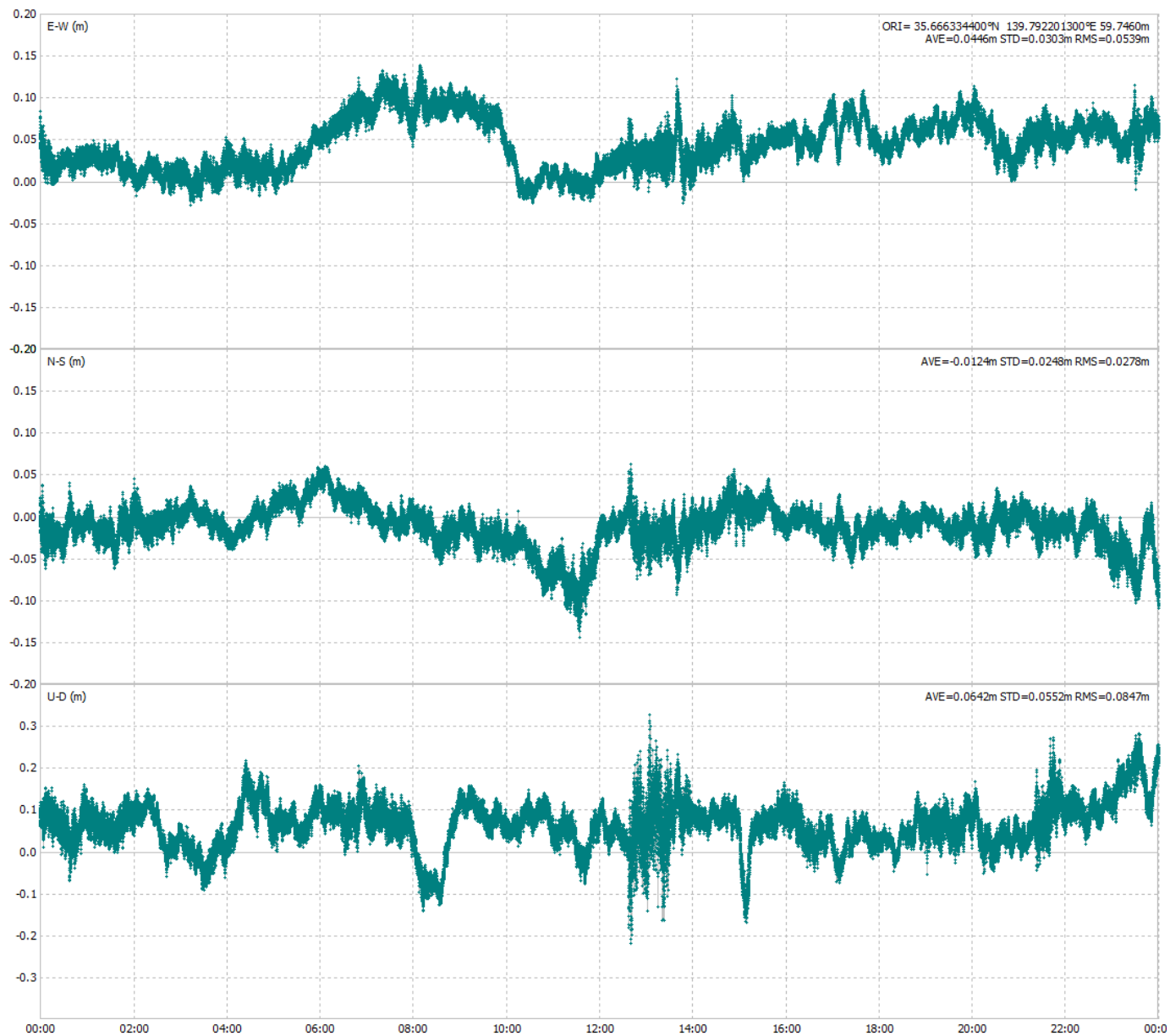
トリンブルアンテナ + u-blox F9P受信機



補正データはGPAS社のNtrip経由

※真値はF5解より算出

Lat=35.6663344、Lon=139.7922013、Hight=59.746

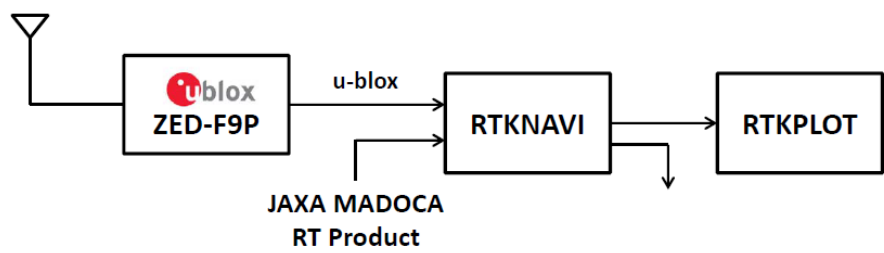
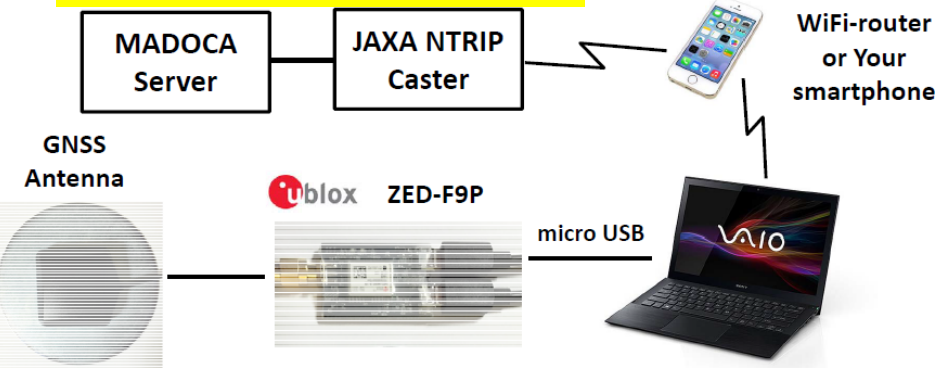


水平で3cm程度、高度方向で5cm程度の精度(標準偏差)

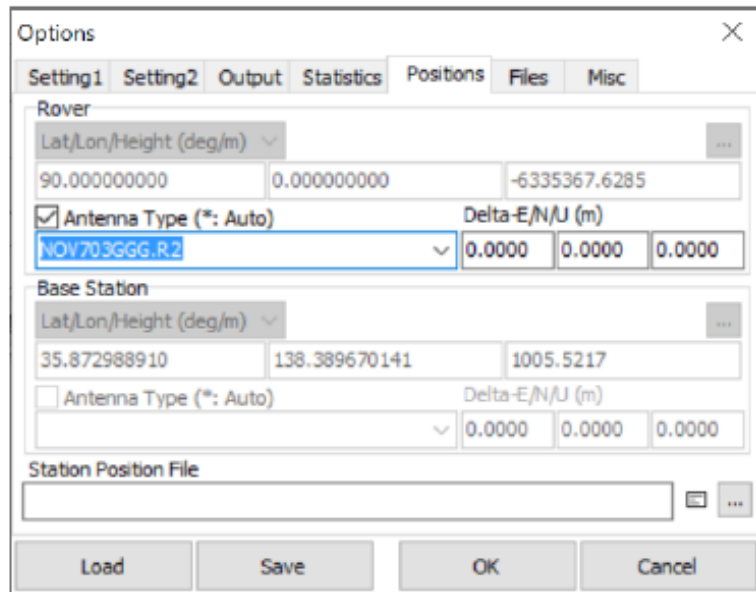
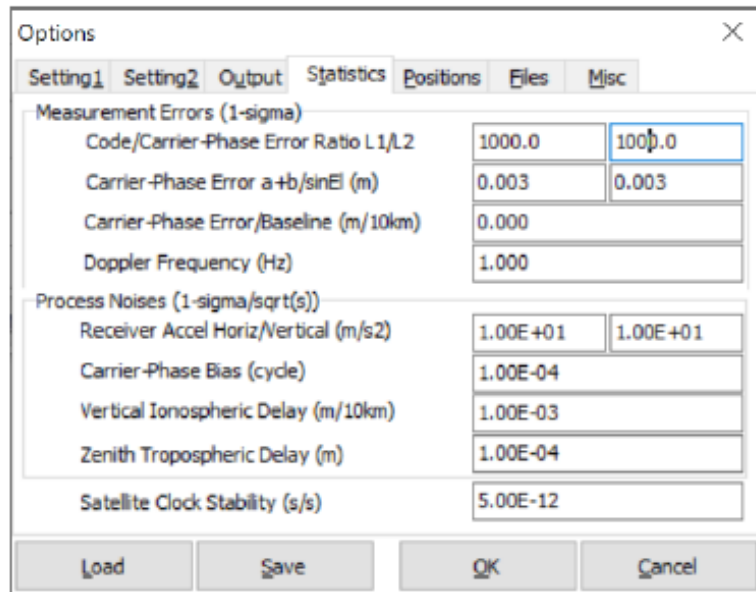
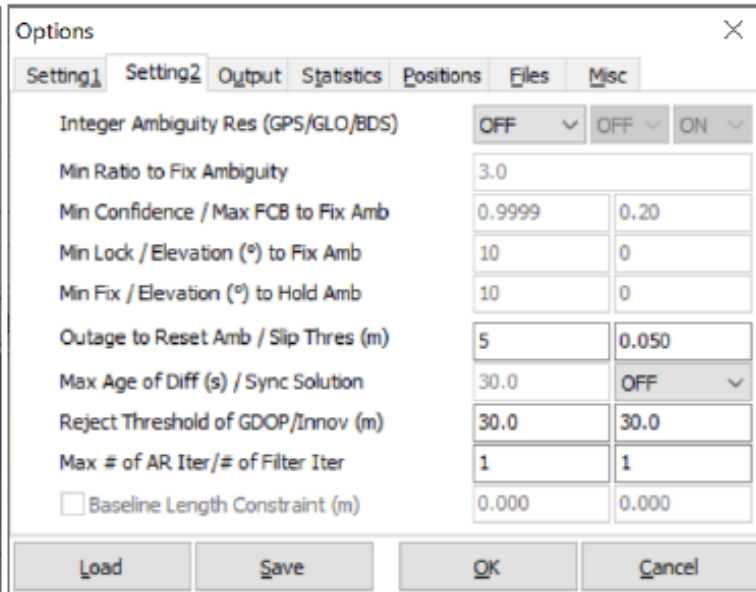
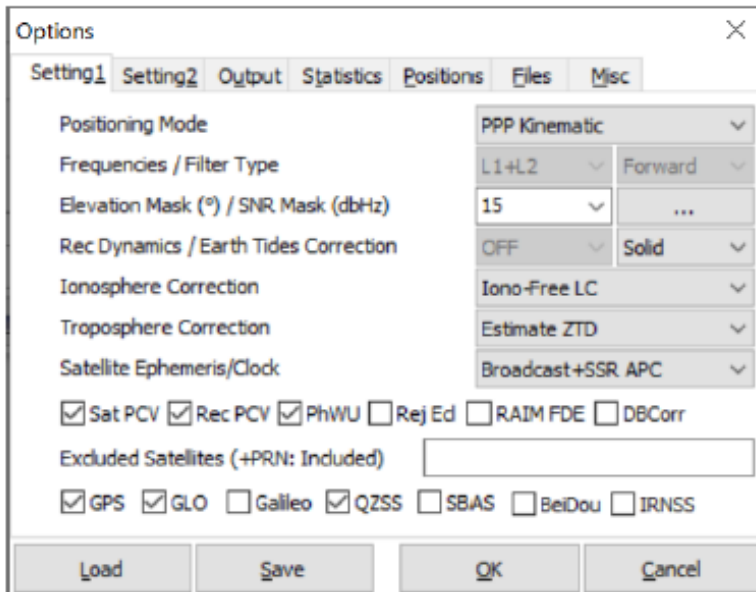
RTKNAVI PPP 設定画面

2019年の総合大会での高須様資料

GPASに変更されただけ



F9PとノートPC、スマホがあれば誰でもすぐに実験できます



海外基準点でのMADOCA-PPPの評価

- アンテナはTrimble製またはTopcon製
- 受信機はMSJ社のMJ-3008-GM4-QZS
- 期間は2019年4月から2021年5月まで
- 受信機の実出力するNMEAで評価
- 基準点の真値はTrimble Center Point RTX Post-ProcessingでMSJの観測データ(rtcm3)を利用してITRF2014座標系で計算しています（同時にRTKLIBのPPP-staticで24時間分計算し比較を行い、ほぼ同じ値であることを確認）
- 計算時にアンテナの種類を一応考慮

設置局（開始時期）

東京海洋大学（2019年4月）

チュラロンコン大学（タイ）（2019年8月）

フィリピン大学（2019年8月）

MJIT（マレーシア）（2019年10月）

Curtin大学（豪）（2019年10月）

インドネシア大学（2019年12月）

シンガポール（2020年9月）

ベトナム：（2021年4月以降）



各国統計値（2021年5月度）

| 国 | 都市 | 拠点 | 通称 | 水平精度[m] (95%値) | 垂直精度[m] (95%値) |
|---------|----------|----------|-----------|-------------------|-------------------|
| 日本 | 東京 | 東京海洋大学 | JP | 0.040584 | 0.030360 |
| フィリピン | マニラ | フィリピン大 | UP | 0.057034 | 0.068718 |
| タイ | バンコク | チュラロンコン大 | Thailand | 0.093141 | 0.027367 |
| マレーシア | クアラルンプール | MJIT | MJIT | 0.088248 | 0.095218 |
| インドネシア | ジャカルタ | インドネシア大 | Indonesia | 0.108635 | 0.084258 |
| オーストラリア | パース | Curtin大 | Curtin | 0.086629 | 0.017382 |
| シンガポール | シンガポール | 南洋理工大 | Singapore | | |

MADDOCA-PPPの今後 (5,6,7号機に向けた開発)

PPP-AR (アンビギュイティを解くこと)

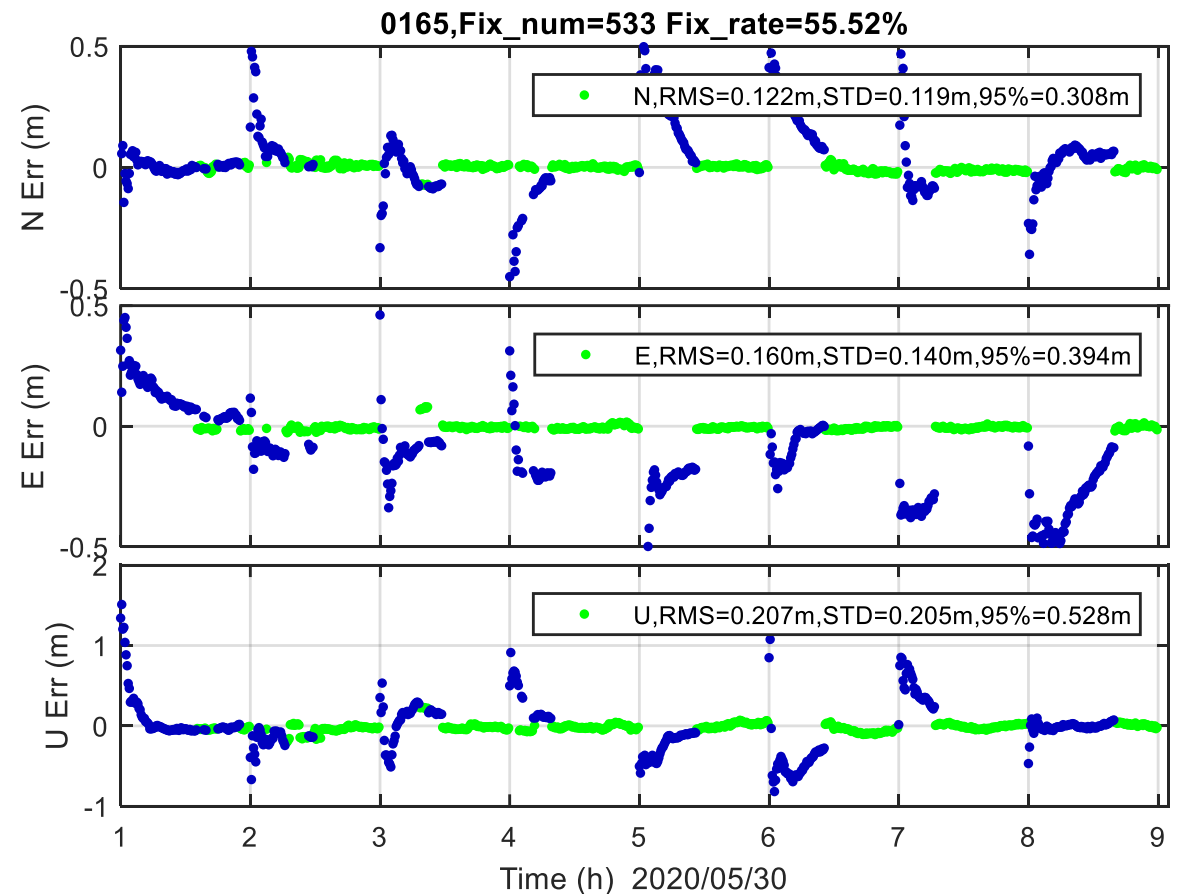
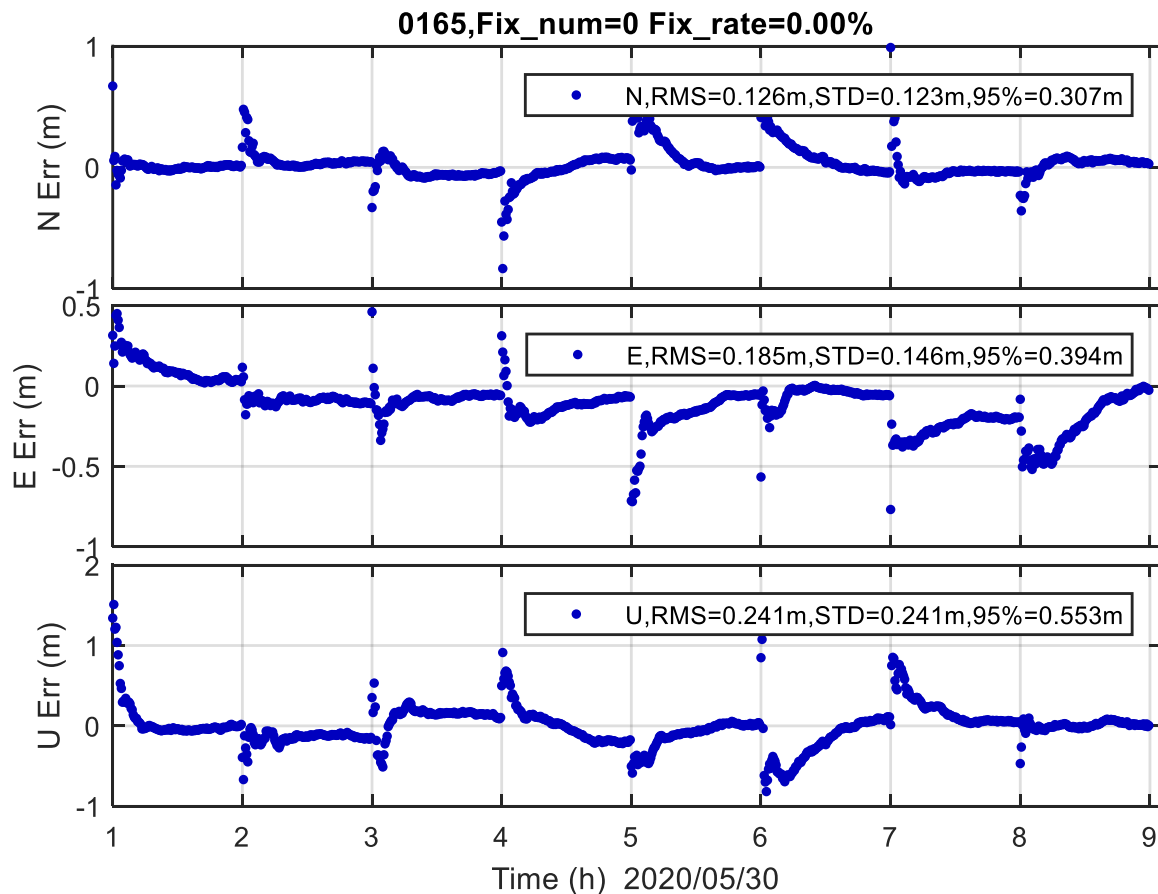
PPP-RTK (CLASのようになっていく)

Performance of MADOCA PPP-AR

AR : ambiguity resolution
アンビギュイティを解くことです

The figures below show the comparison of MADOCA regular PPP and PPP-AR.

The results are reinitialized every one-hour (blue: float; green: fix).

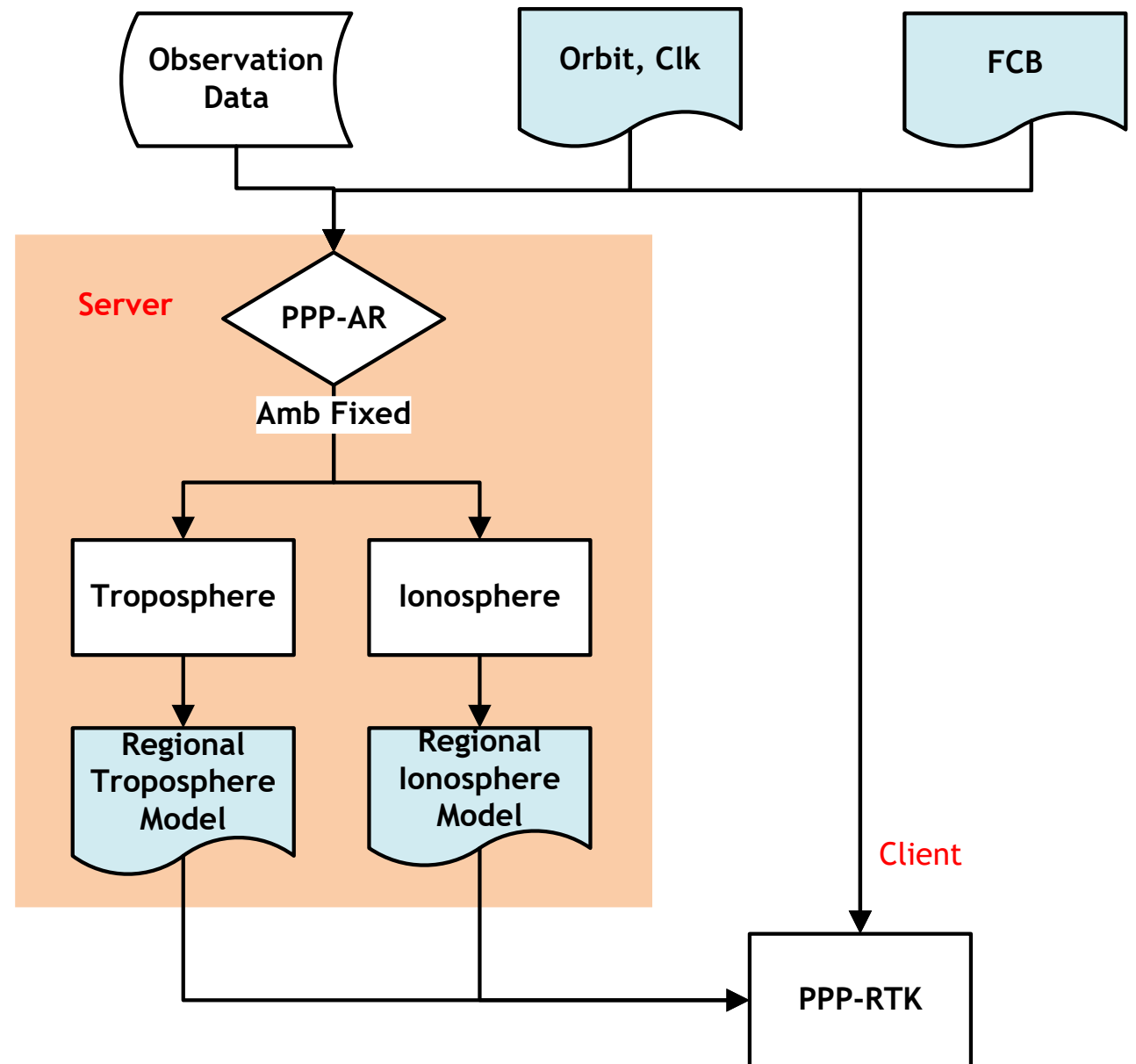


From MADOCA PPP-AR to PPP-RTK

With regional ionosphere and troposphere corrections, we can further fix the ambiguity within short time, which is also known as PPP-RTK.

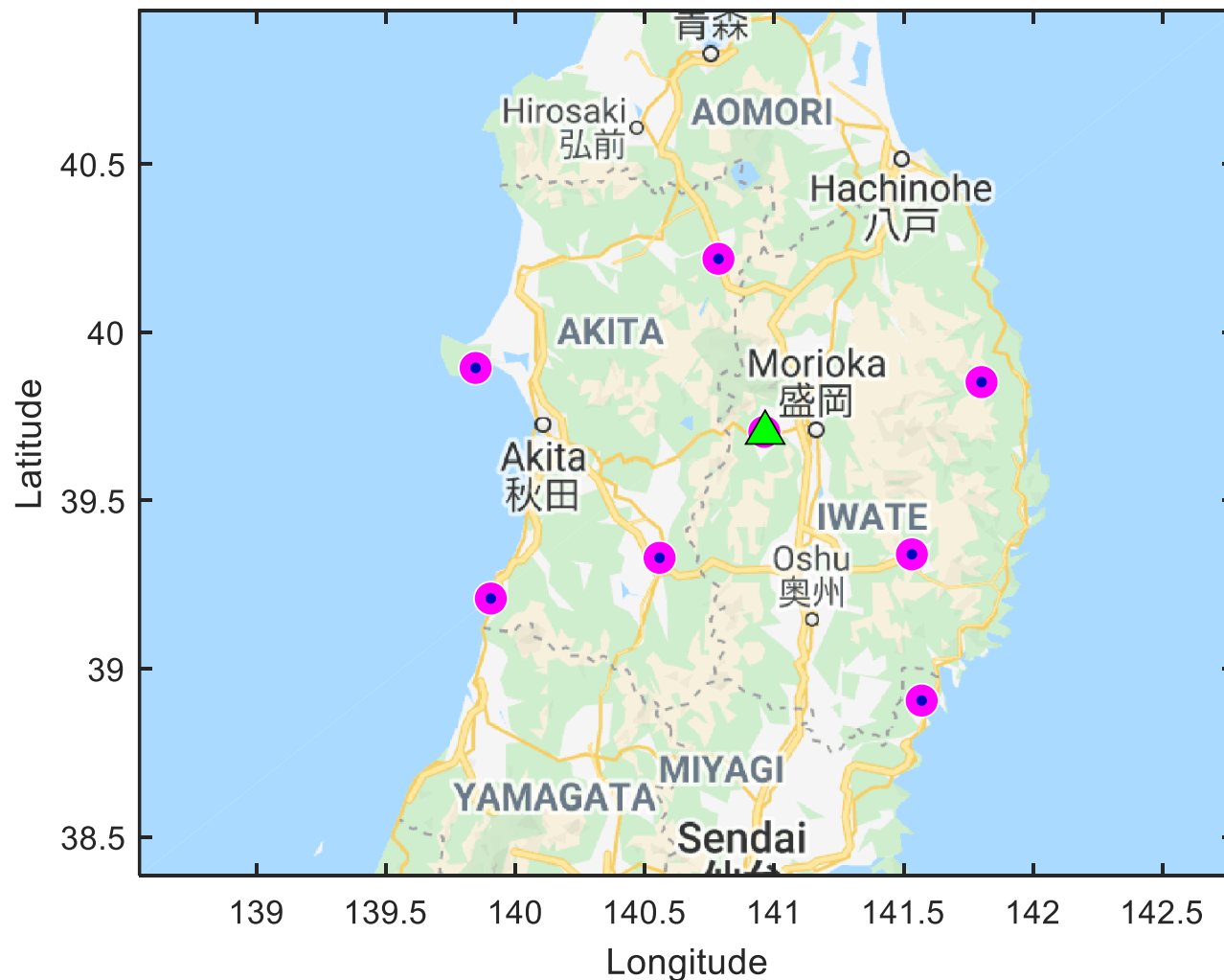
The flowchart of PPP-RTK is as:

Regionalな電離層遅延量の情報がポイント5, 6, 7号機に向けて開発が進行中
みちびきより放送される予定



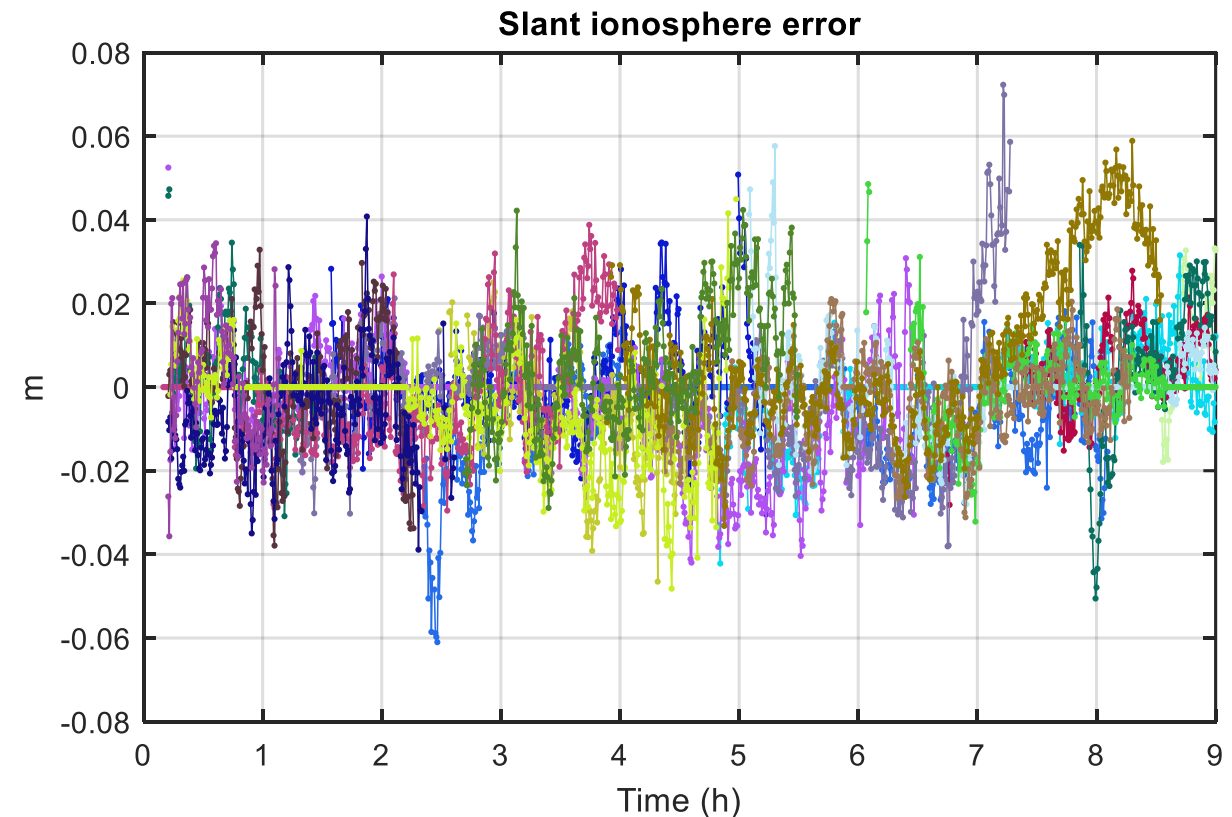
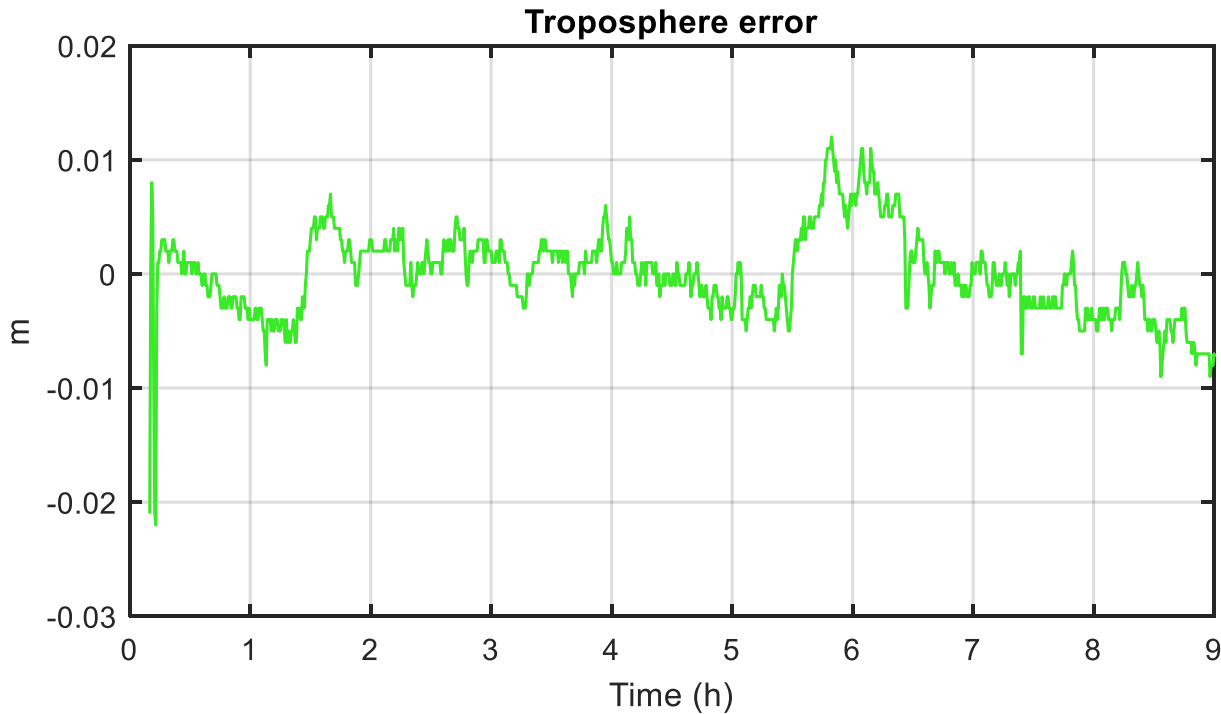
Experiment

We choose 7 GSI stations as reference station to generate troposphere and ionosphere correction (magenta circle), then validate the corrections on another station (green triangle).



Generation of regional troposphere and ionosphere correction

The figures below show the model error of troposphere and ionosphere, compared with the coordinate fixed PPP-AR, which is assumed as true result. (For ionosphere error, only the ambiguity fixed satellites are compared)

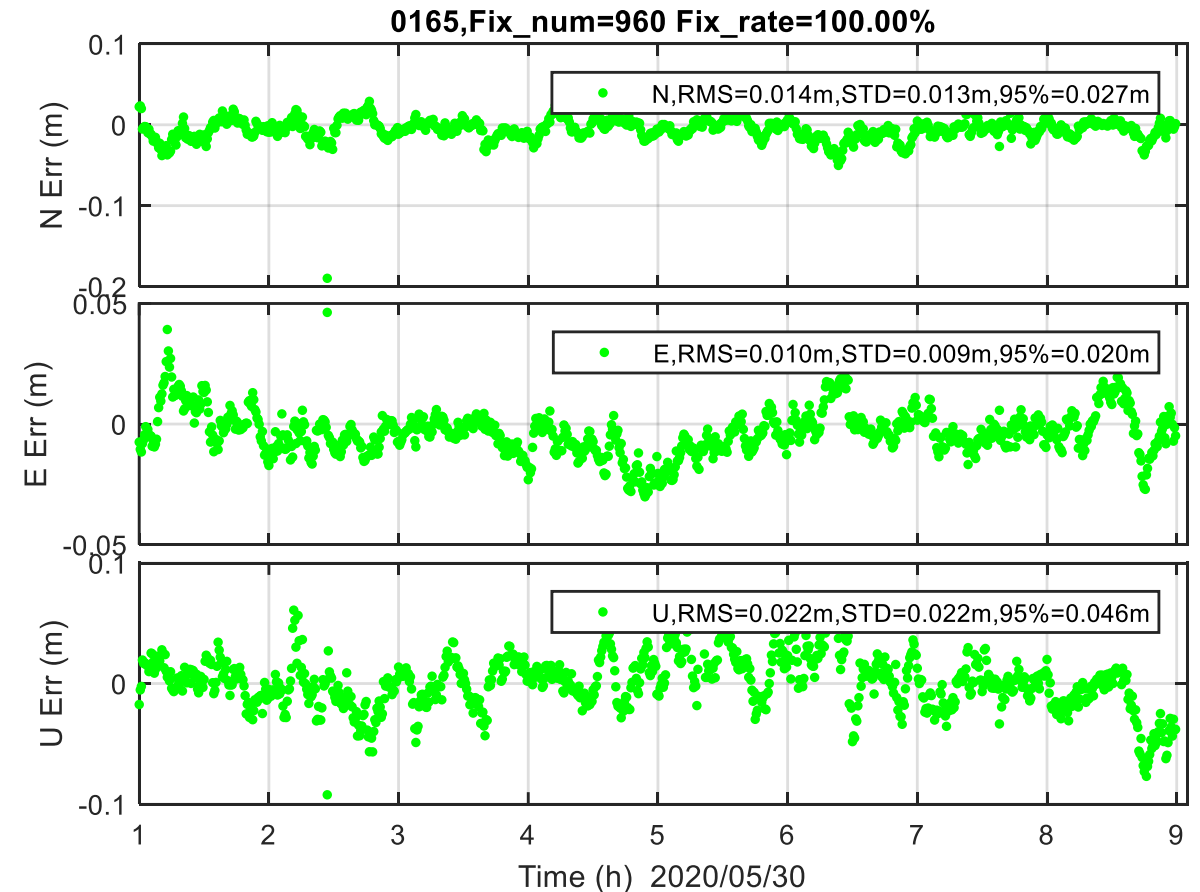
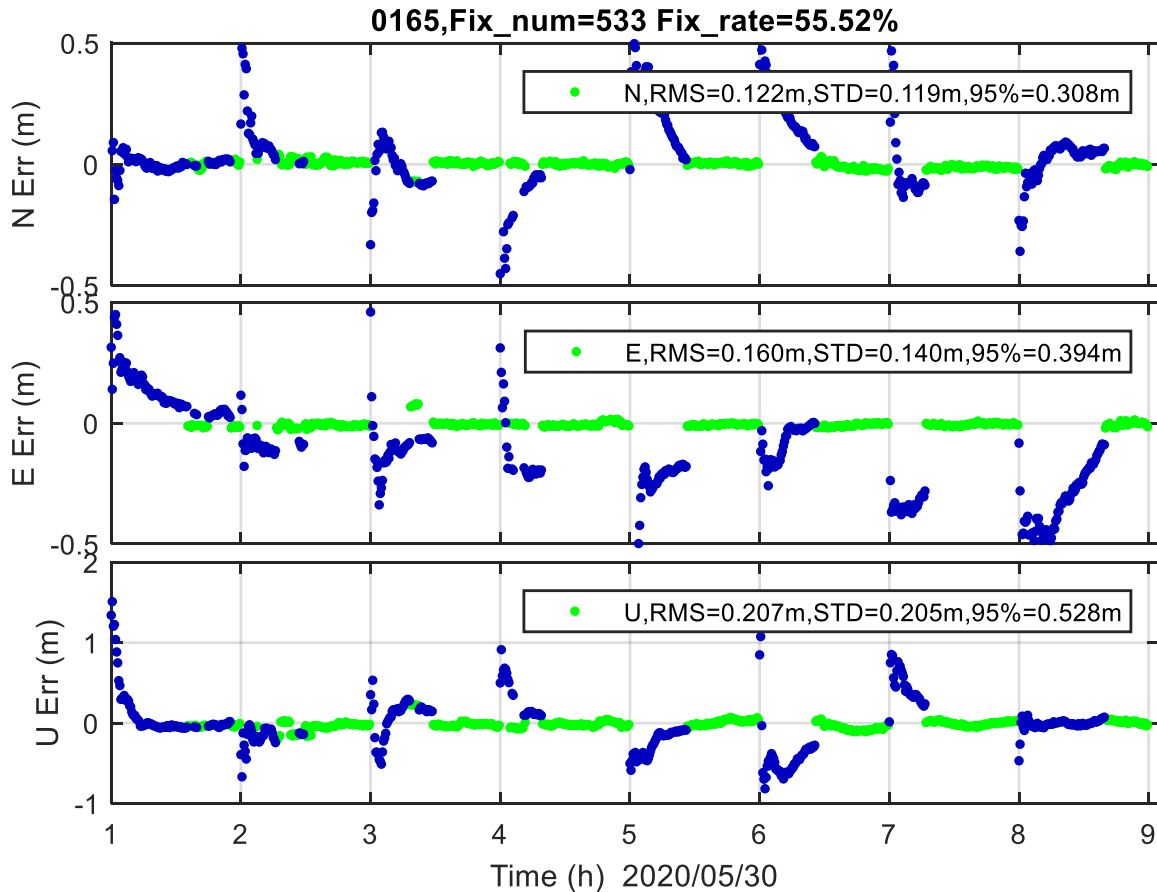


PPP-ARのFIX時のエポックより、対流圏と電離層を推定
それら値と、周囲の基準点で推定した対流圏、電離層の内挿値との差分

Performance of MADOCA PPP-RTK

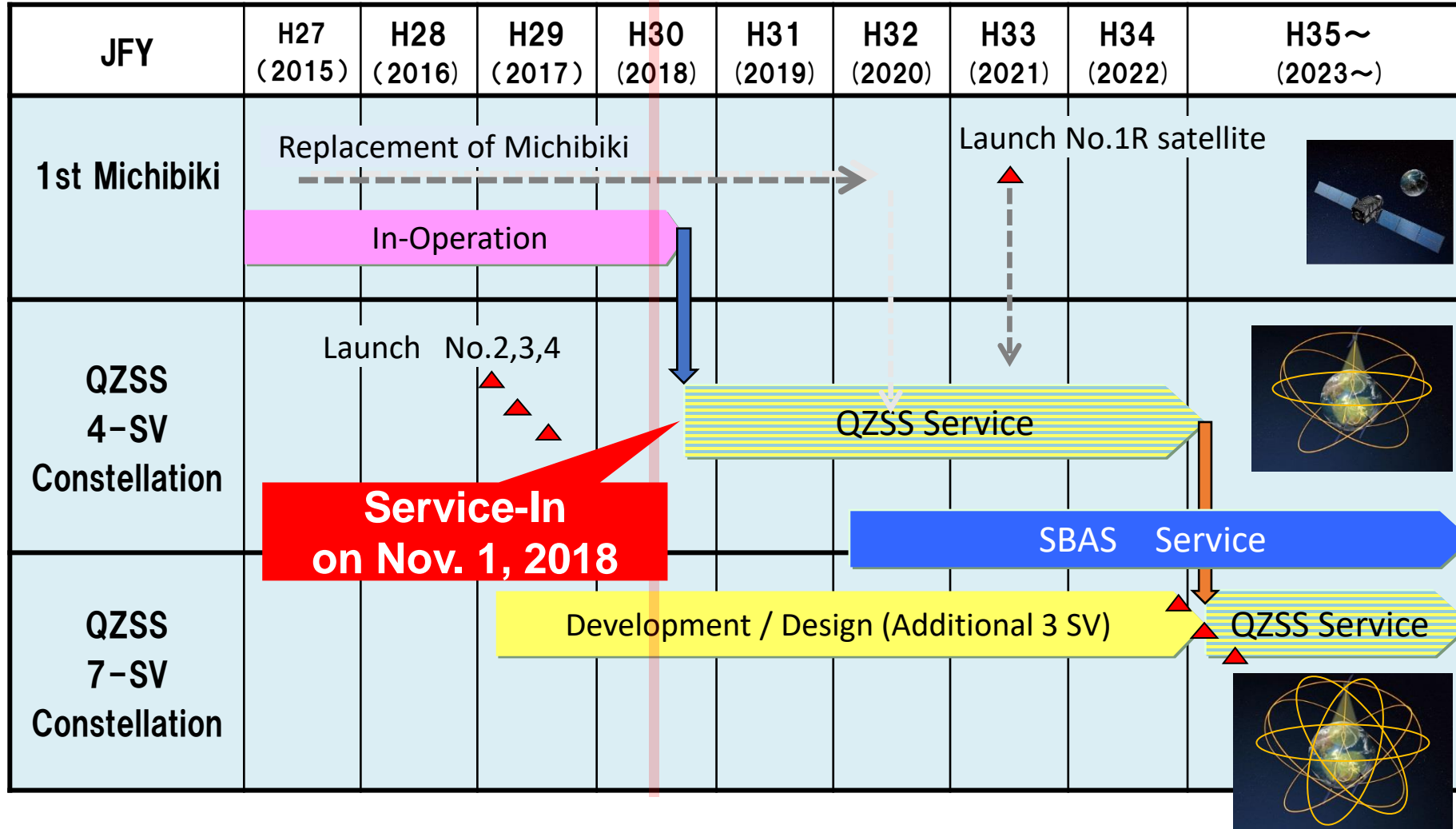
The figures below show the comparison of MADOCA PPP-AR and PPP-RTK.

The results are reinitialized every one-hour (blue: float; green: fix).



QZSS Overview -Development Status-

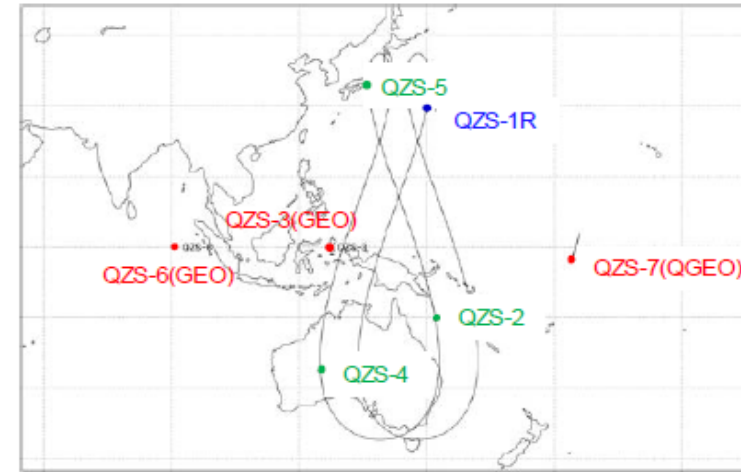
QZSS Program Schedule (Latest)



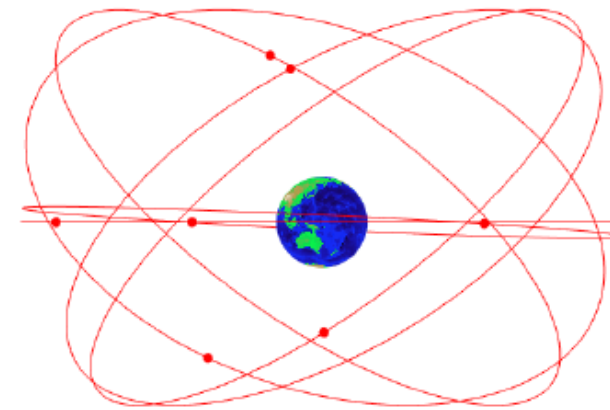
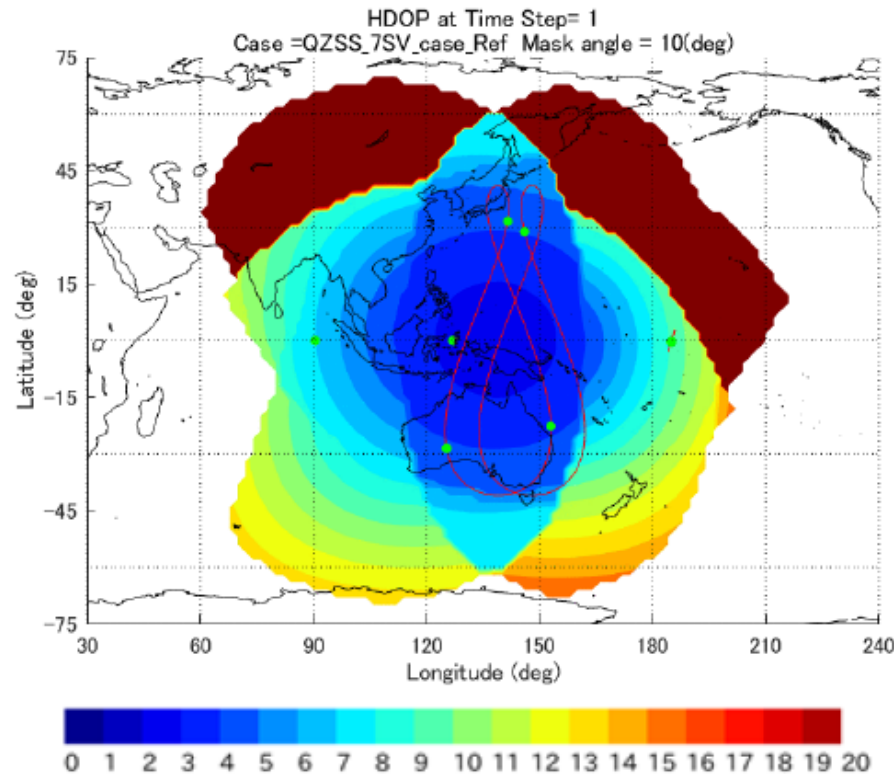
Next 3 constellations

準静止衛星の中心経度を、日本南西エリアの可視性を考慮、西経170度から175度に見直し

| 軌道 | 号機 | 中心経度 deg |
|-----------|--------------------------|-------------------|
| 静止軌道(2機) | 3号機, 6号機 | 127E、90.5E |
| 準天頂軌道(4機) | 初号機後継機, 2号機, 4号機, 5号機 | 148E(Q1R) 139E |
| 準静止軌道(1機) | 7号機 | 175W |



7-QZSS Ground Track

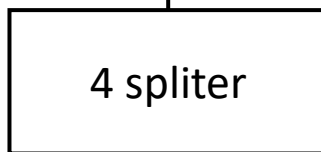


トラクターでの試験

岩城農場での簡易実験 RTK基準としてSLAS/CLAS/MADOCA



5mケーブル



浪江先生より
MADOCA-PPP

DC Truth

5mケーブル



F9P(SLAS用)
1Hz(途中から5Hz)



F9P(rawx)
5Hz

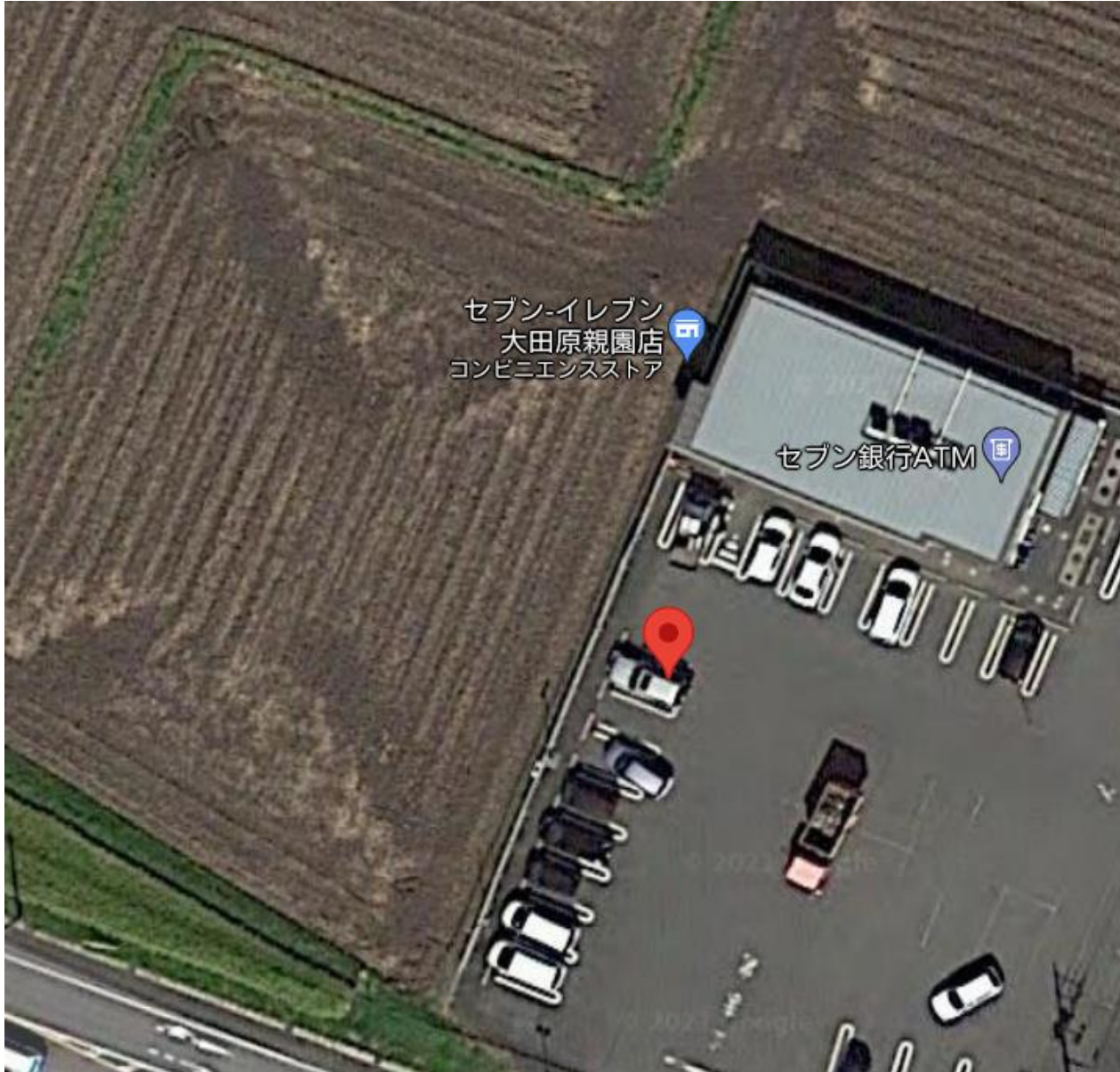


AsteRx4 5Hz



- 機器構成は上図の通り
- 普段の移動体実験と機器構成は大きく変わらないが、トラクターの天井に設置した際にはL6のC/N₀が低かった
- そのためボンネットに再設置したところ、L6のSNRは通常通りになった（コネクタも一部変更）

走行場所と基準局設置場所



赤印の箇所に駐車した車に基準点を設置
真値は電子基準点(大田原)とのRTKで決定(F3解使用)



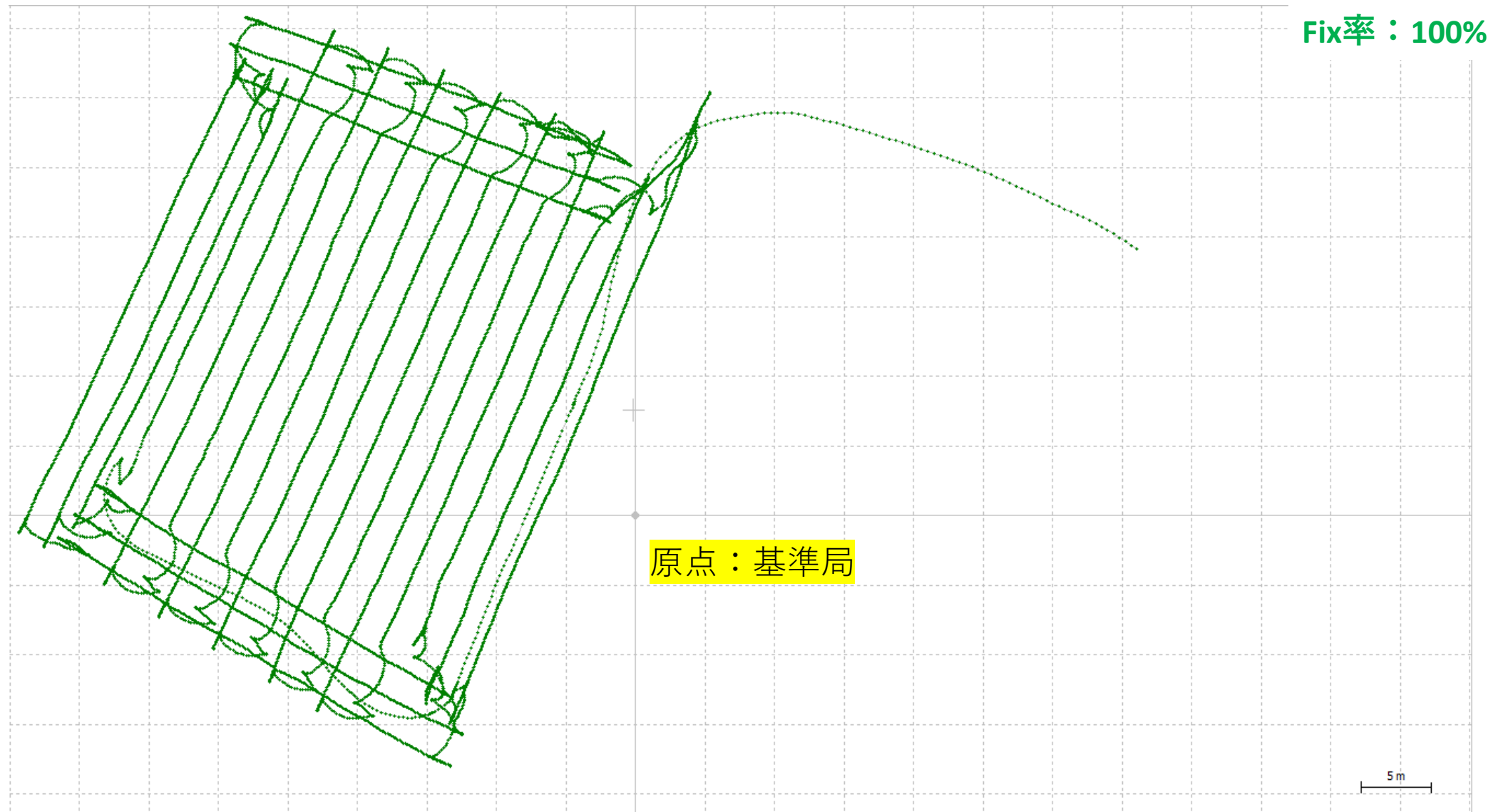
単独測位だと
ちょっと厳しい

確実に数10cmが
でると良い

SLASで△

CLAS/MADOCAは○

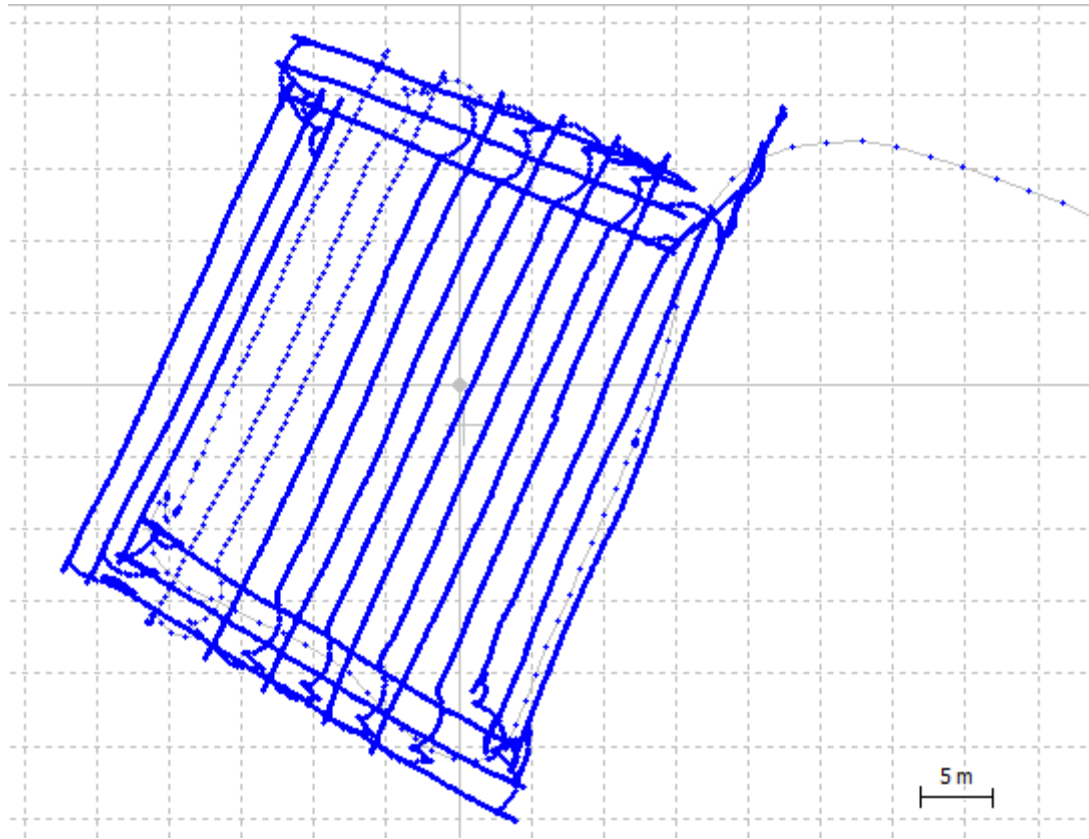
後処理RTK結果(リファレンス用)



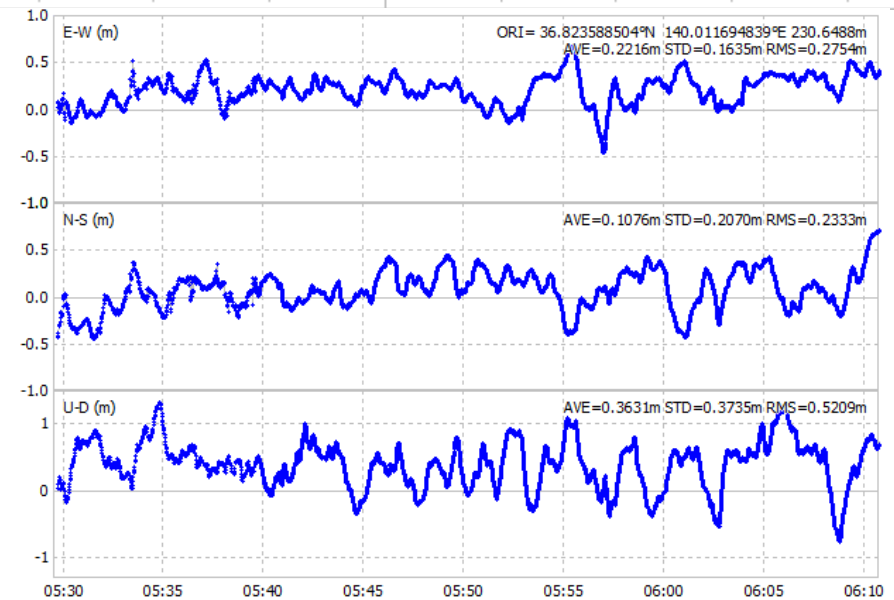
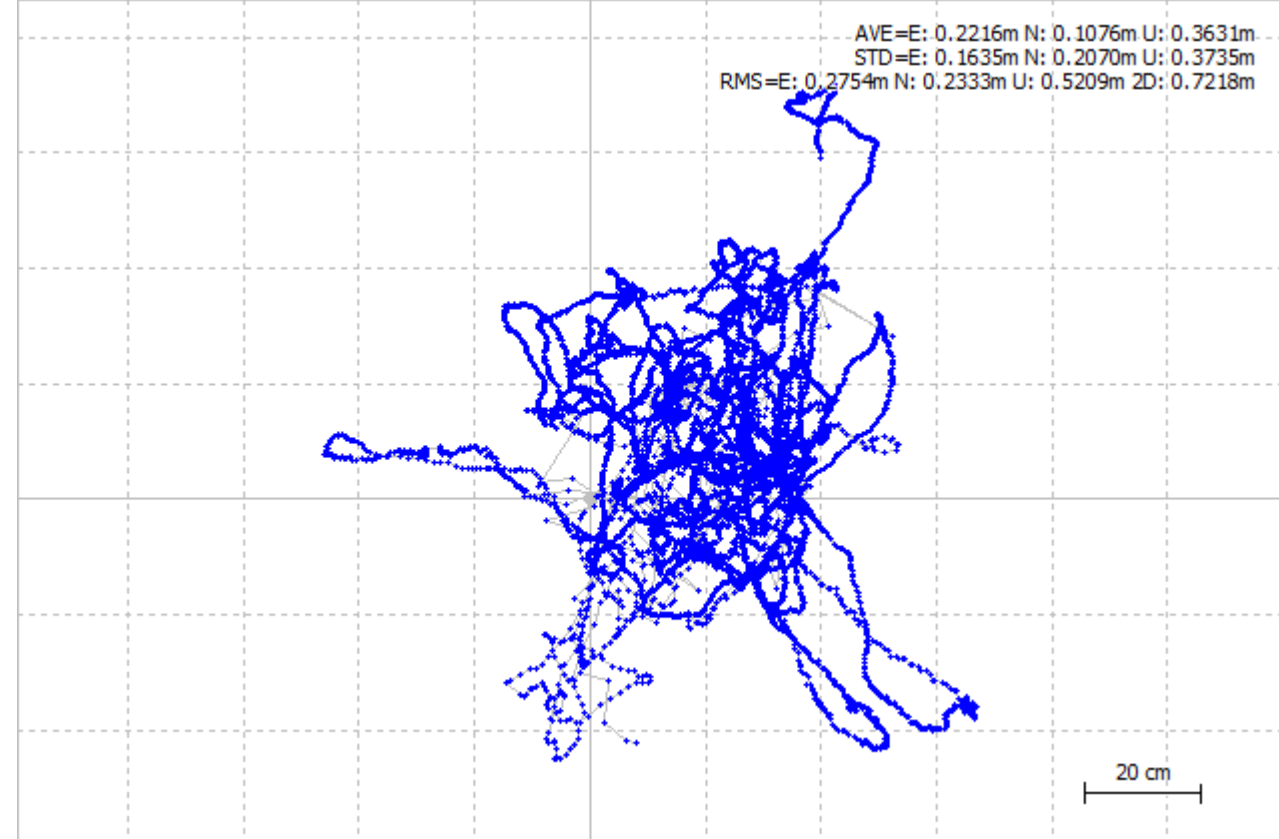
RTKLIB_b33でリファレンス位置を生成(解析条件：GQEB、15度、35dB、Fix and Hold)
解析時間：5時29分45秒～6時11分0秒(GPSTIME)

SLAS結果

(左がプロット、右が真値との差)

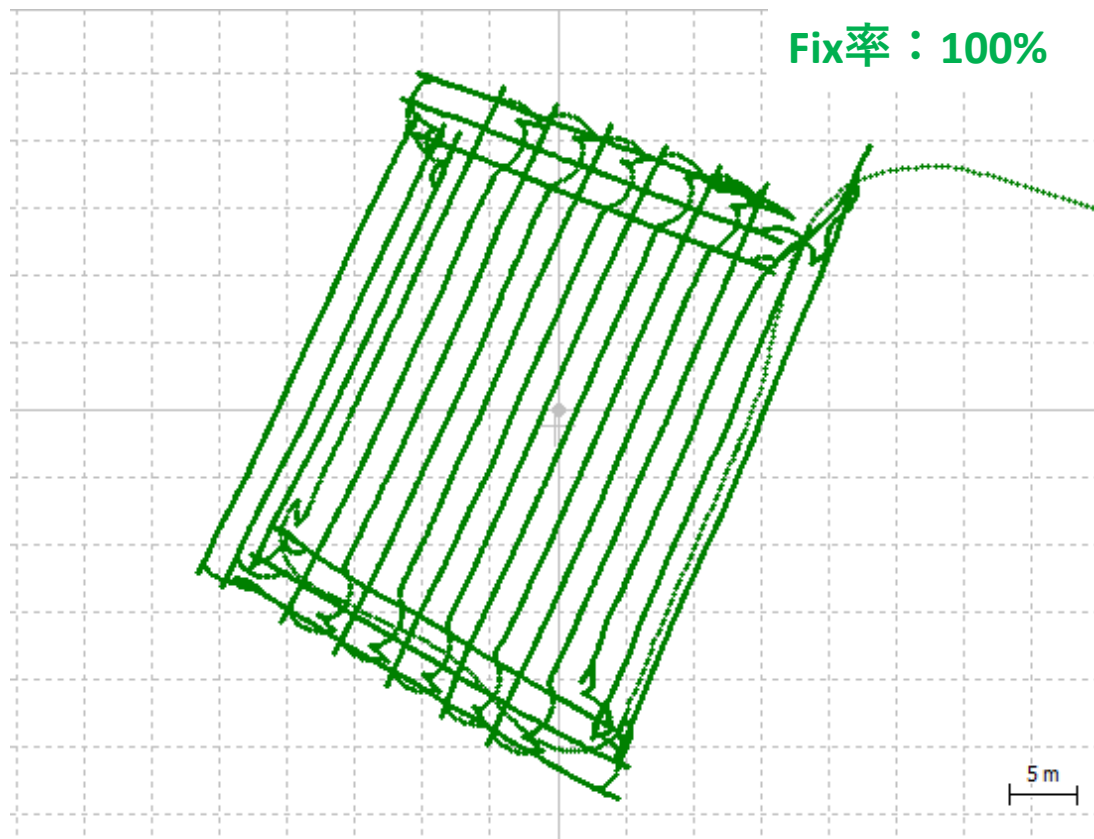


SLAS測位率100%
問題なくSLAS測位ができている

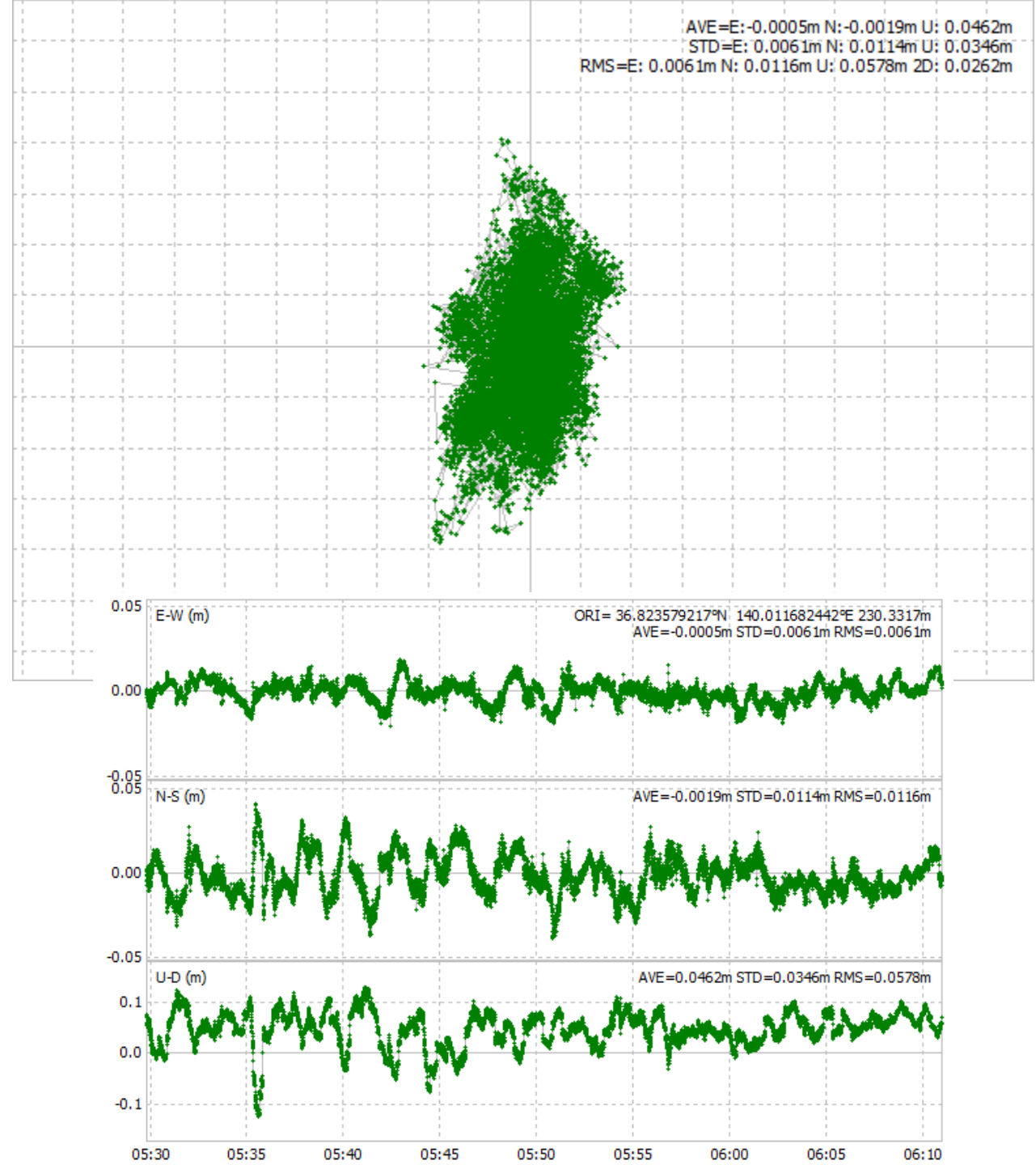


CLAS結果

(左がプロット、右が真値との差)

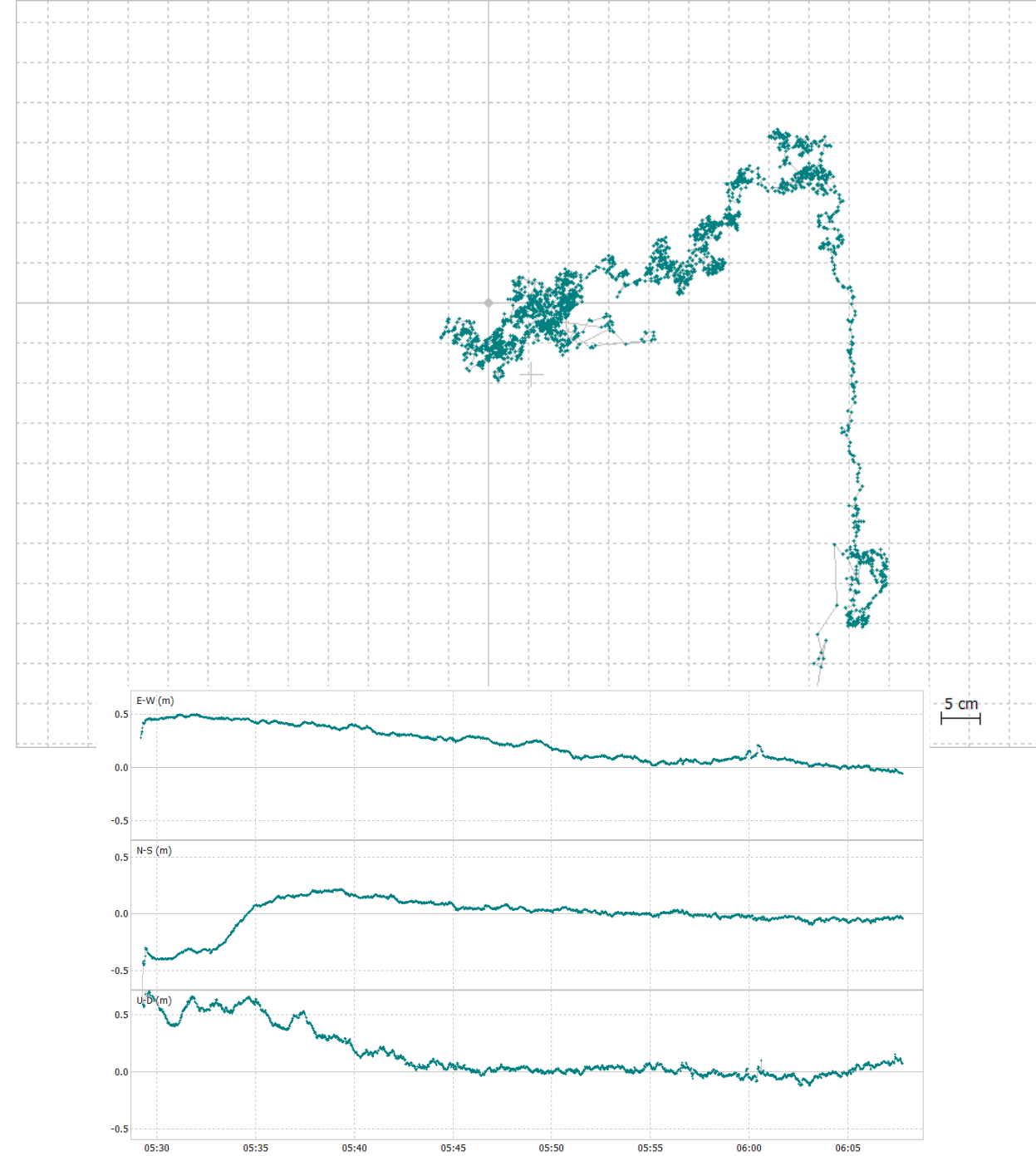
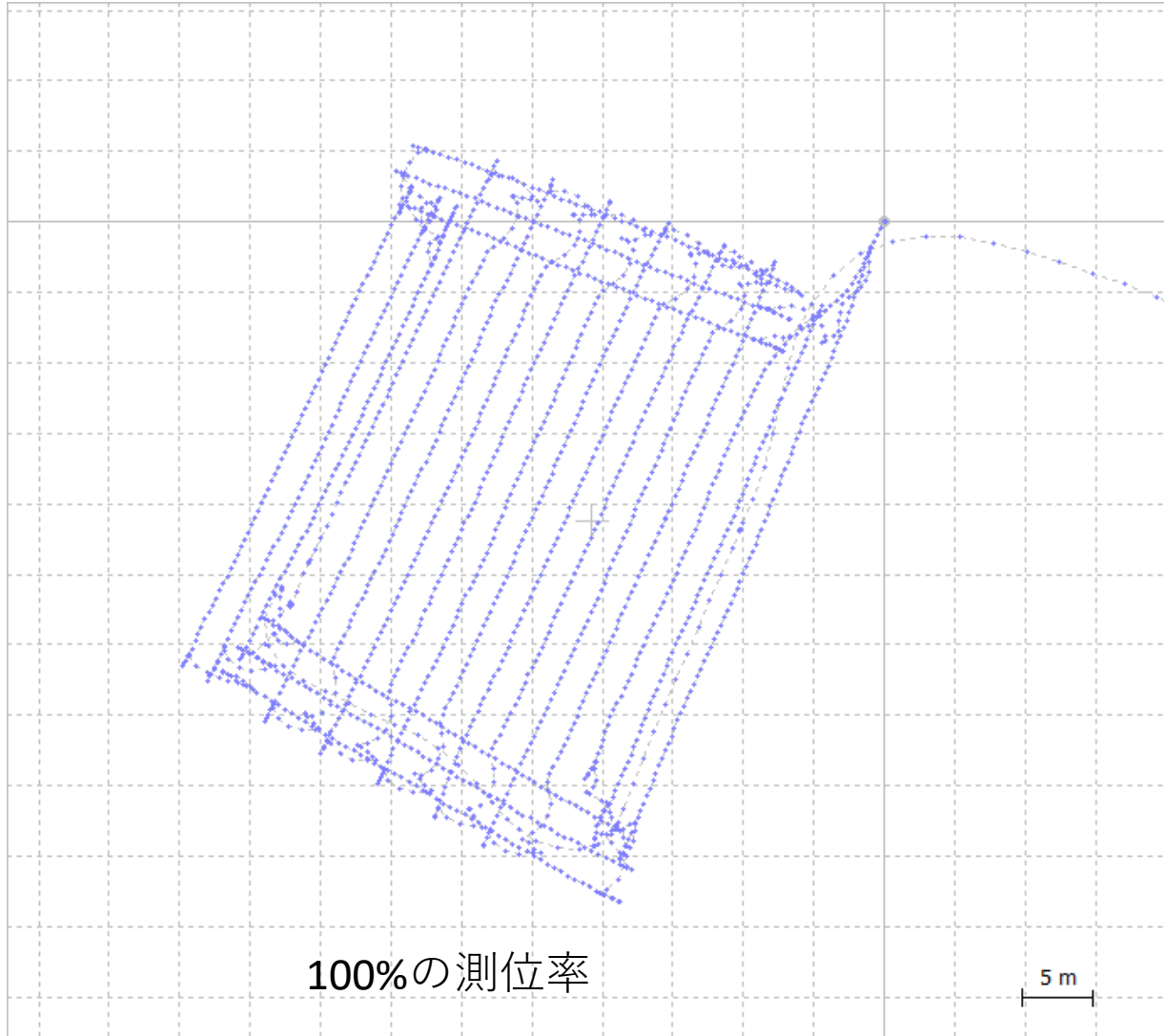


問題なくCLAS測位ができています

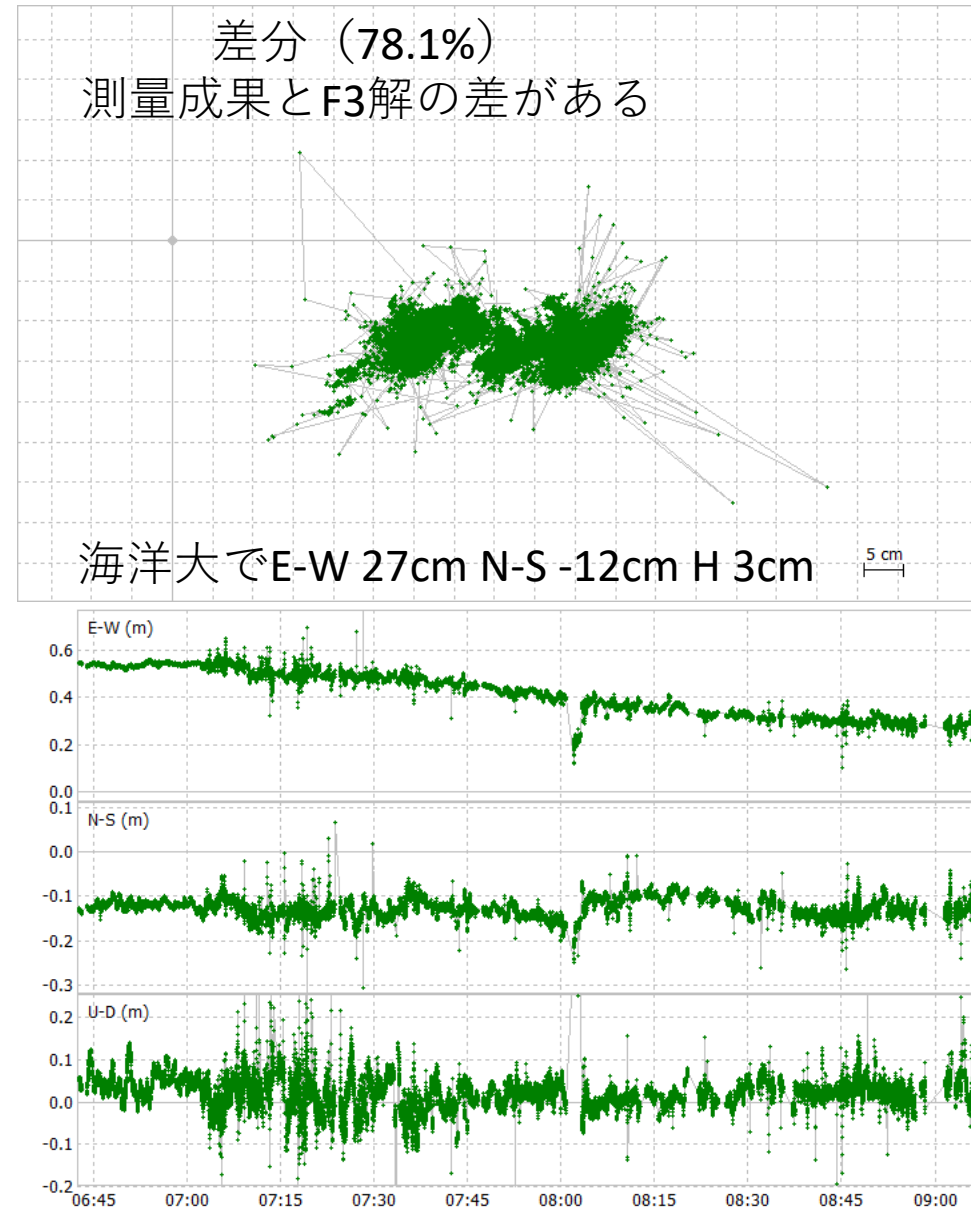
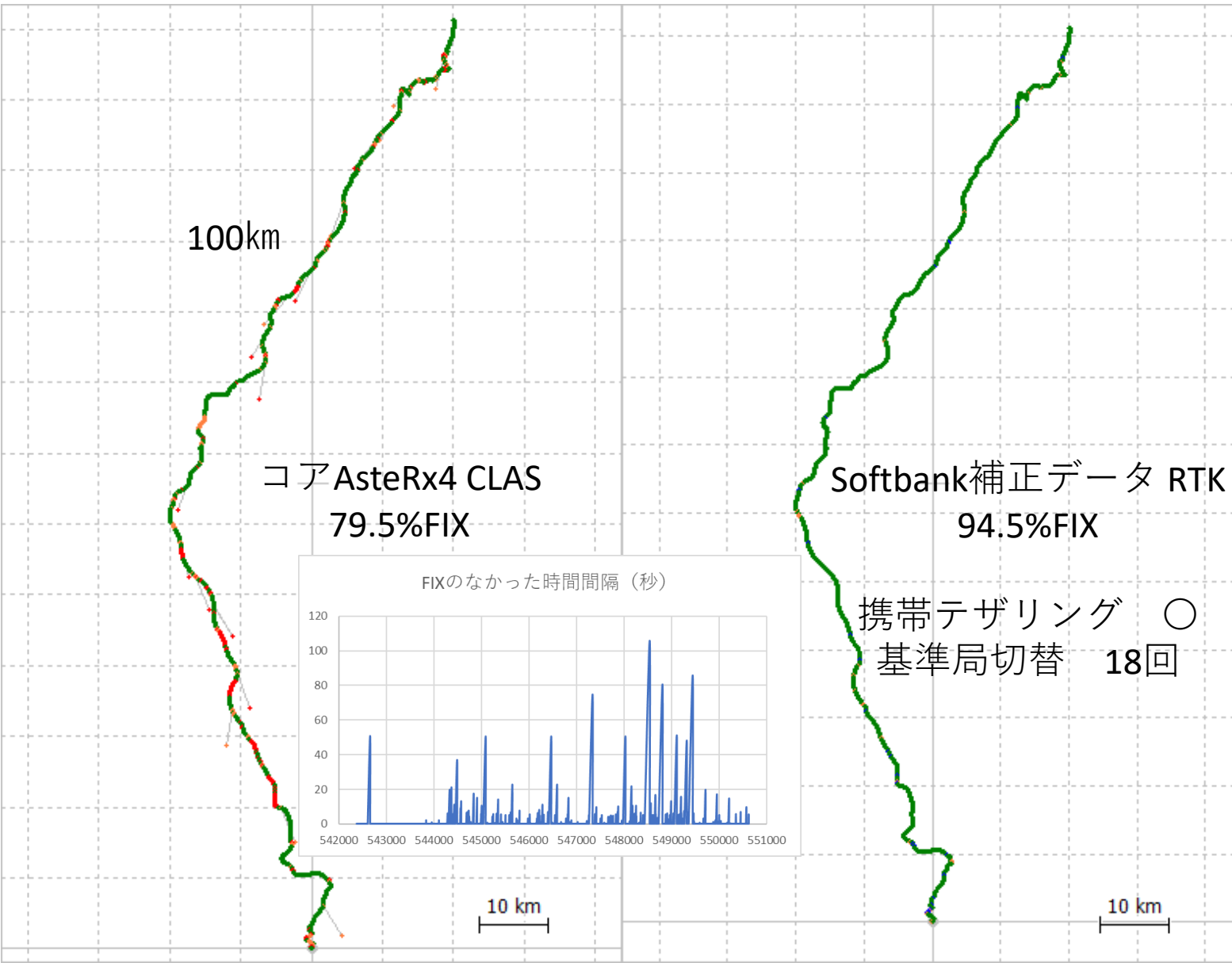


MADOCA-PPP結果

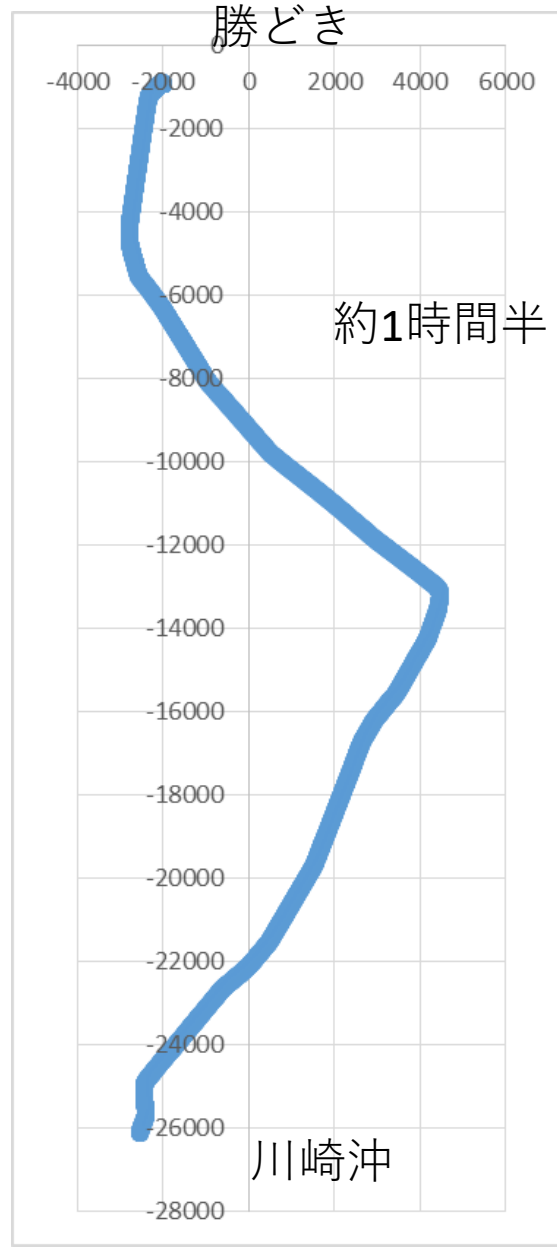
(左がプロット、右が真値との差)



東北道でのCLAS (矢板IC付近から箱崎JCT)

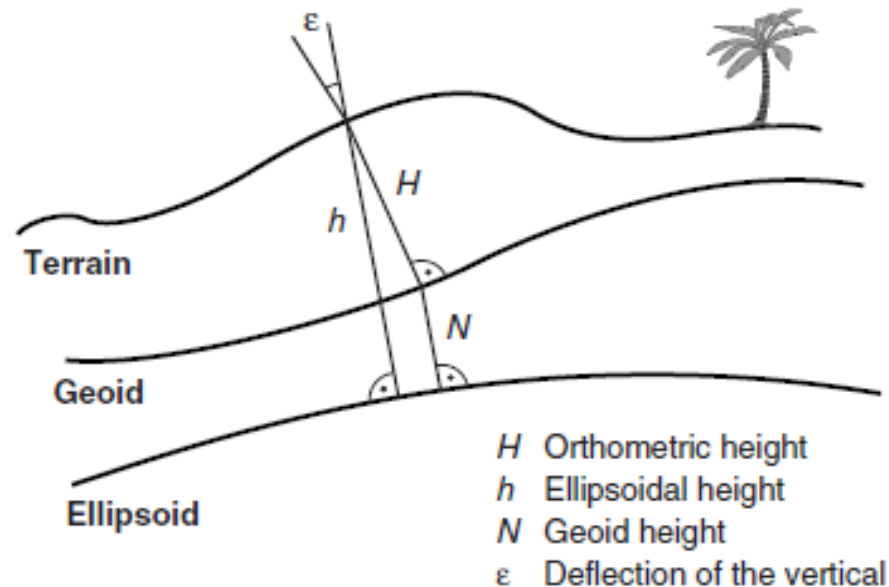


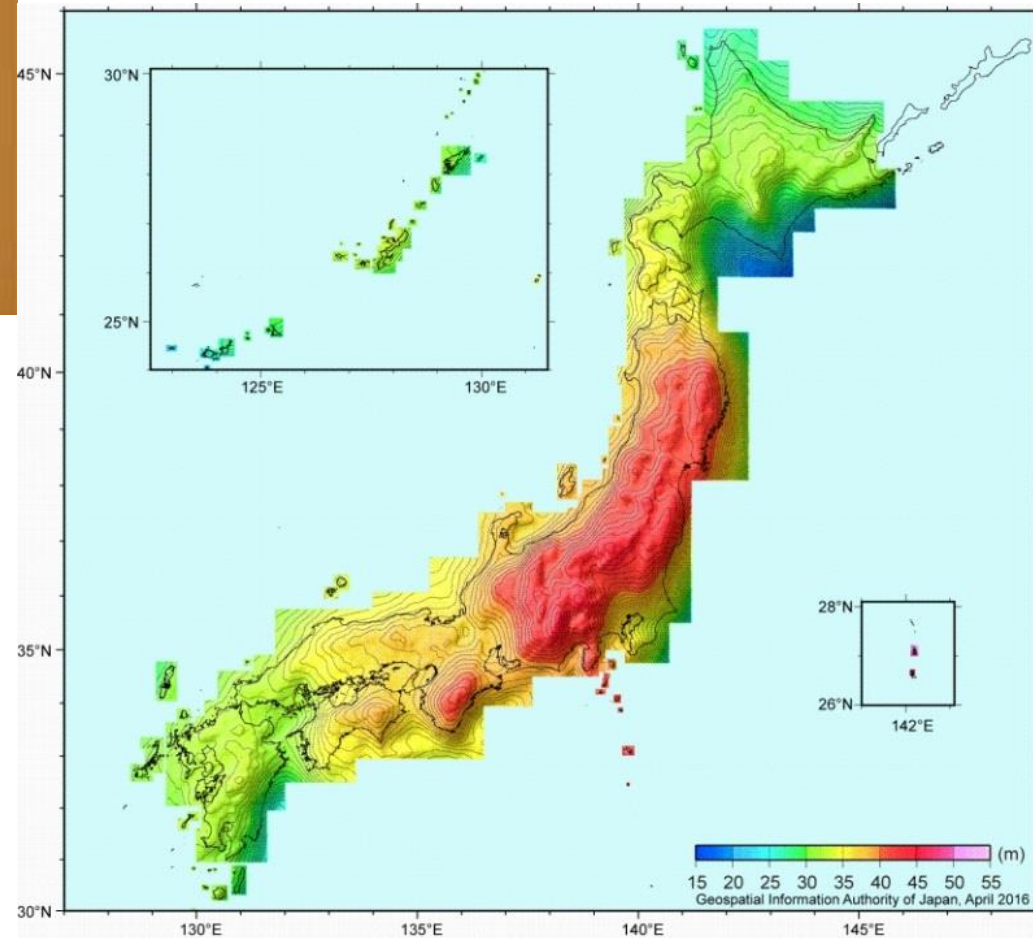
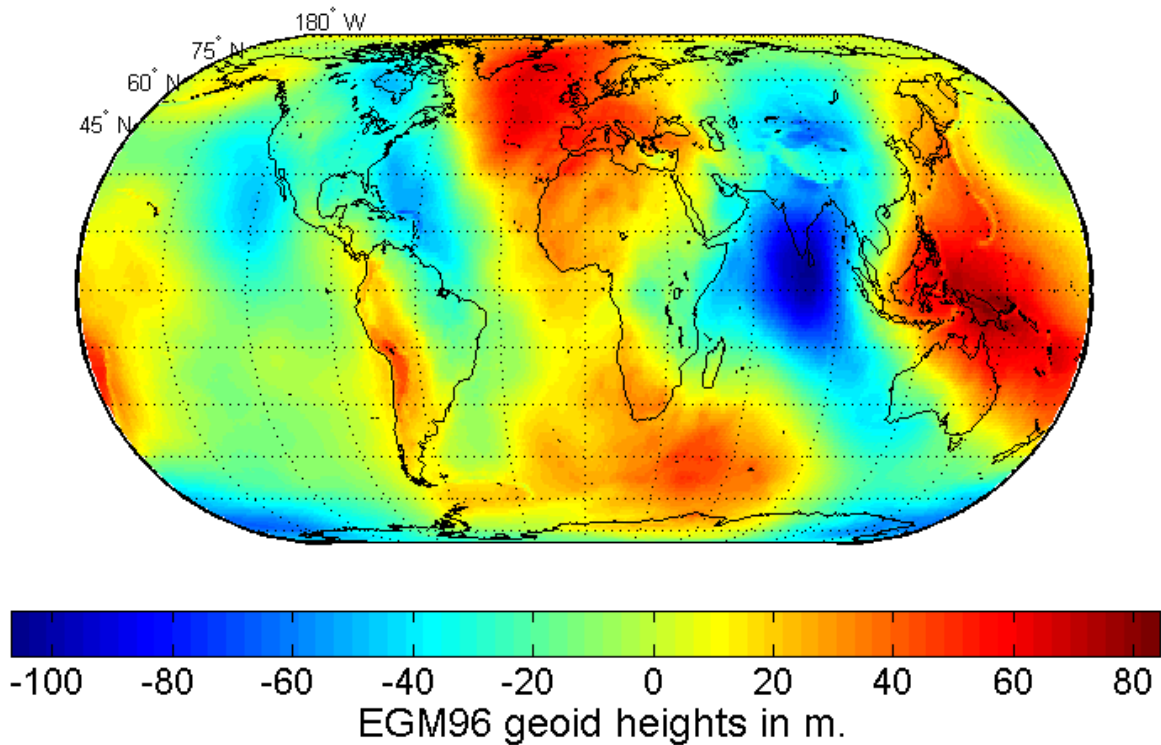
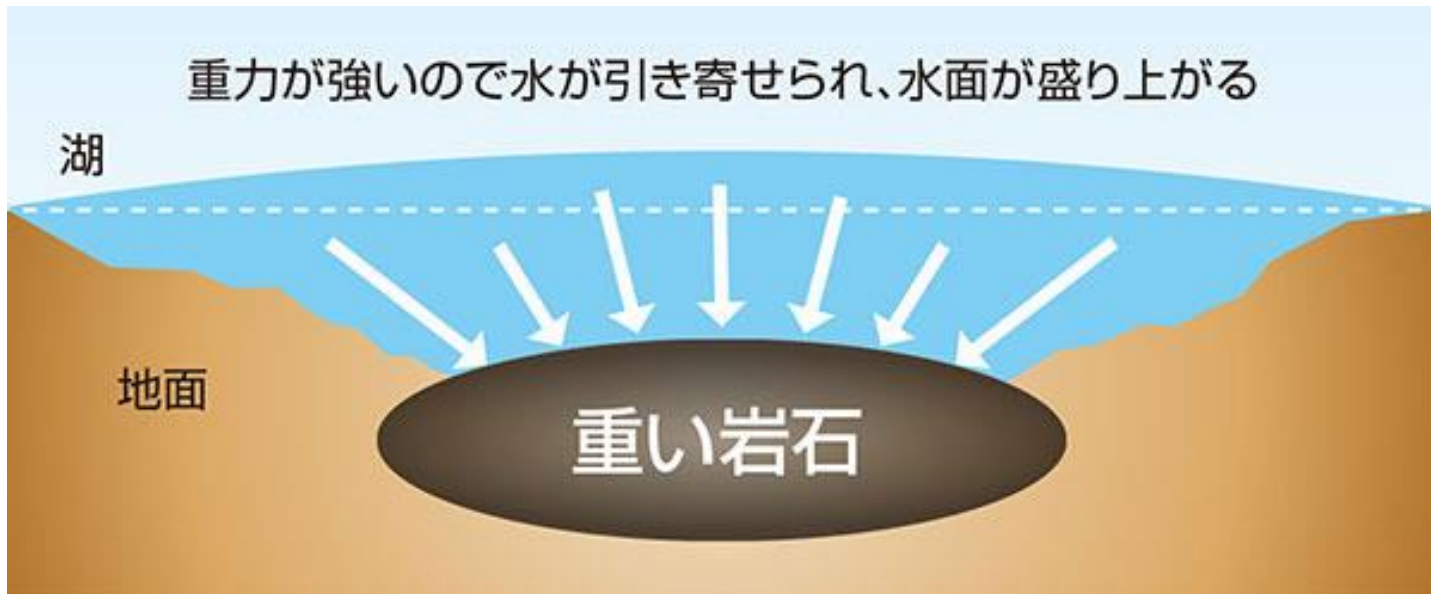
汐路丸でのRTK測位結果とジオイド



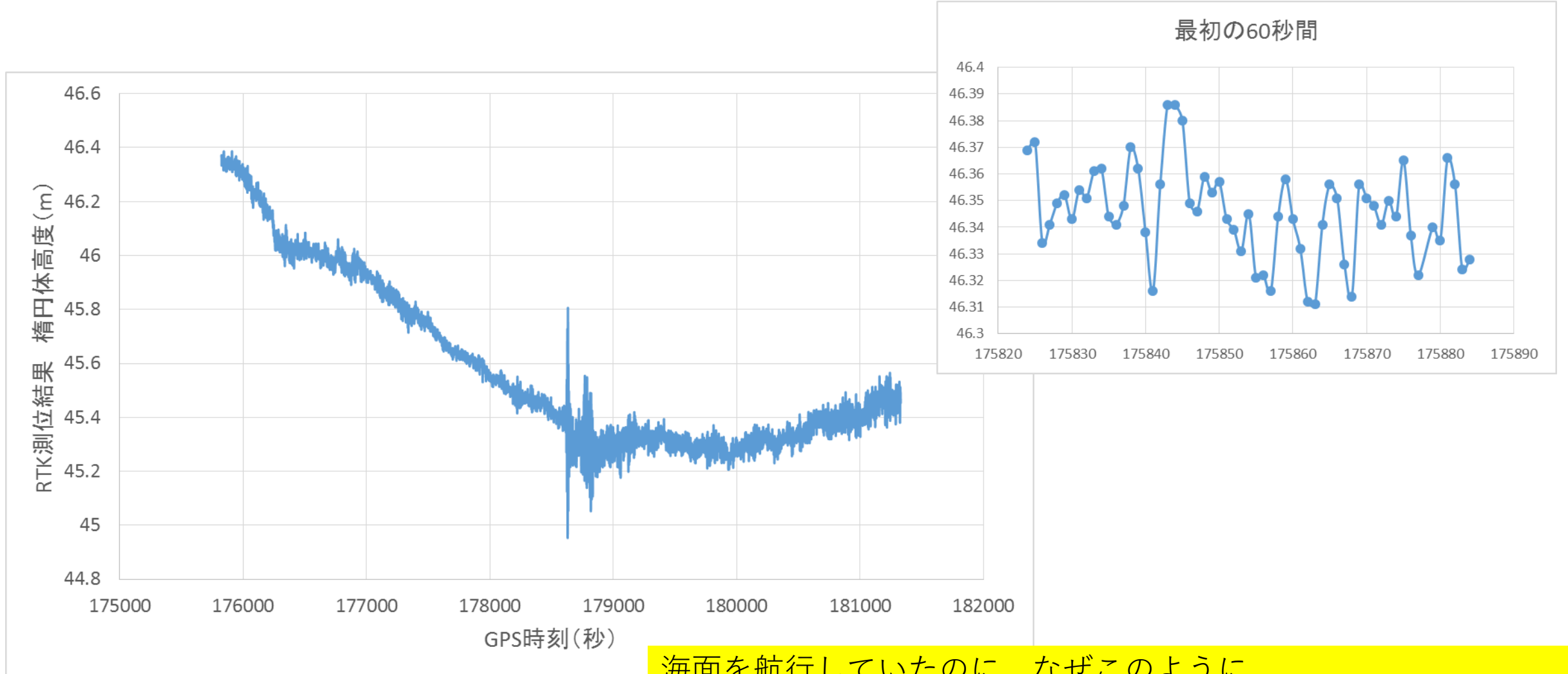
高度の定義（ジオイド）

- 平均海水面に全世界的にもっともよく一致する等ポテンシャル面は、**ジオイド**と呼ばれる。
- 地球の形状を表す楕円体の大きさは、ジオイドに最小二乗法の意味でもっともよく合うように定められている。





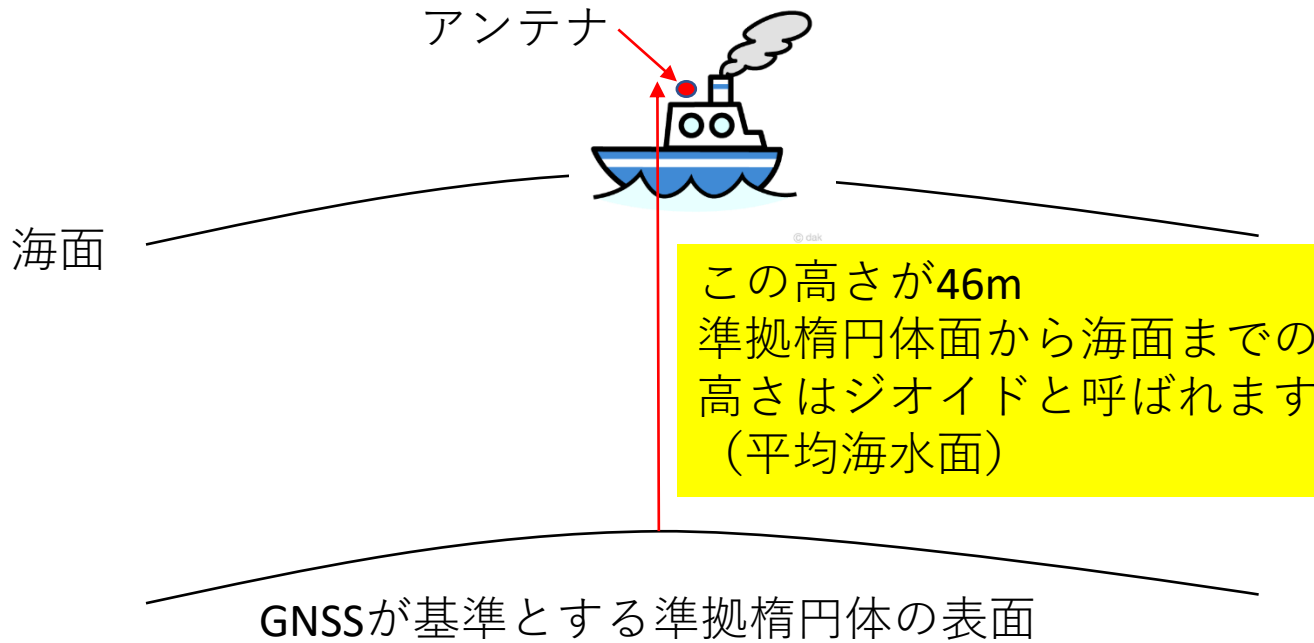
楕円体高度（GNSSのオリジナルの高度はこの高さです。標高ではありません）の結果



海面を航行していたのに、なぜこのように高度に変化があるのかを説明するのが課題です
(細かい揺れはまさに船のゆれ。1時間半での1m以上に及ぶ変化は?)

最初のエポックの結果

- 楕円体高度が46.37mだった
- 場所は35.65805553 139.7701012 (右)
- なぜ46m?



ジオイド高計算

トップページ ジオイド高について 操作方法 お問い合わせ

入力値

1点毎の計算 一括計算

座標値の入力方法 数値入力 地図上で選択

座標値の入力 地図上で確認

| | |
|----|-------------|
| 緯度 | 35.65805553 |
| 経度 | 139.7701012 |

入力単位選択 度分秒 十進法度単位

【緯度・経度の値の入力例(十進法度単位)】
緯度 36° 6' 13.5893" → 36.103774806
経度 140° 5' 16.2782" → 140.08785056
ddd mm ss.s → ddd.ddddd

計算実行

計算結果

入力値

| | | |
|-----------|--------------------------|---------------|
| 使用したパラメータ | 「日本のジオイド2011」 Ver.2.1 | |
| 緯度・経度 | 緯度 | 35.658055530 |
| | 経度 | 139.770101200 |

出力値

| | |
|-------|-----------|
| ジオイド高 | 36.4926 m |
|-------|-----------|

印刷

36.49m



46.37 m - 36.49 m = 9.88 mが海面から汐路丸に設置したアンテナまでの高さであろう (+ 潮汐の影響)

分析結果

東京/川崎

0時 1.28/1.20

| UTC時刻 | 緯度 | 経度 | 楕円体高度 | ジオイド高(m) | 標高(m) | 潮位(m) |
|---------|-----------|-----------|--------|----------|-------|------------|
| 0:50:00 | 35.658055 | 139.7701 | 46.350 | 36.49 | 9.86 | |
| 1:00:00 | 35.64066 | 139.76362 | 46.016 | 36.41 | 9.61 | 1.39/1.30 |
| 1:10:00 | 35.610756 | 139.76912 | 45.924 | 36.21 | 9.71 | |
| 1:20:00 | 35.584693 | 139.79132 | 45.681 | 35.99 | 9.69 | |
| 1:30:00 | 35.563365 | 139.82001 | 45.482 | 35.77 | 9.71 | 1.42/1.325 |
| 1:40:00 | 35.540442 | 139.83911 | 45.286 | 35.57 | 9.72 | |
| 1:50:00 | 35.513602 | 139.82011 | 45.329 | 35.57 | 9.76 | |
| 2:00:00 | 35.48539 | 139.80606 | 45.284 | 35.56 | 9.72 | 1.45/1.35 |
| 2:10:00 | 35.461364 | 139.78379 | 45.374 | 35.62 | 9.75 | |
| 2:20:00 | 35.436553 | 139.76563 | 45.466 | 35.67 | 9.80 | |

3時 1.44/1.34

船が海面に対して水平の姿勢であると仮定して

まとめ

- ユーザの視点から、SLAS/CLAS/MADOCA-PPPを紹介しました
- 実際の補正サービスの性能について、少なくとも（東京+周辺）で検証している結果からは良好でした
- 将来7機体制は2023年に配備される予定で、現CLASと同様のPPP-RTKサービスが海外でも利用可能となることが予想されます
- 他のユーザより、「低コストの受信機でこれら補正サービスを利用できるとありがたい」と聞くことが多いです
- 最後の実験でありましたユーザに適したソフトが出てくると、補正サービスもより生きてくると思いました
- 最後に海上での楕円体高度について