

RTKLIBの利用例の紹介と 高精度測位チャレンジについて

測位航法学会全国大会セミナー 5月18日 13時から16時

担当 久保信明、尾関友啓（東京海洋大学）

事前紹介文

- RTKLIBやその他高精度測位演算ソフトを利用されている会員の皆様との交流の場を持てればと思いました。最初にRTKLIBを利用したアプリケーションやRTK演算部の改良方法の一例を紹介します。その後、秋のシンポジウムを見据えて若手の方々の高精度測位チャレンジについて紹介します。データセットを公開し、皆様の測位ソフトで精度等を競うものです。
- このセミナーでは、**1時間ほど自由な議論の時間**をもうけますので参加者の皆様より、RTKLIBまたは同様の測位ソフトの利用で困っている点などありましたら、可能な範囲で共有頂けるとありがたいです。どのような内容でもかいません。

RTKLIB

- 海洋大の産学連携研究員で15年以上在籍された高須様が開発したオープンソースの高精度測位用プログラムです
- 受信機の観測データがあれば、単独測位、DGNSS、RTK、PPPを自ら試すことができます。CLASLIB（三菱電機）も国内で利用できます
- **このRTKLIBのベースの部分は、高須様が開発されたもので今後もGitHub上で公開されます**
- ベースに付加して、企業の技術者や研究者は改良を継続しています。公開されることは少なく、`rtklibexplorer`が知られている程度です
- 測位航法学会として、RTKLIBをベースに測位プログラムを自分で改良する機運を高めることができればと考えました

今日の内容

- 授業での利用例 (30分)
- RTKPOSTに別手法を組み込んだ例 (40分)
 - 速度推定値を利用したややスムーズな解
 - 上記を利用したRTKのFIX率の向上
- RTKNAVIに別手法を組み込んだ例 (40分)
 - 静止悪環境でのRTKの例
- 高精度測位チャレンジの紹介 (秋のシンポジウム) (10分)
- フリーディスカッション (残り時間で)

授業での利用例

- RTKLIBのインストール
 - RTKNAVIでのRTKとGNSSコンパス（デモ）
- RTKPOSTでのRTK（降水量や1年を通じた結果）

RTKLIBのダウンロードと展開

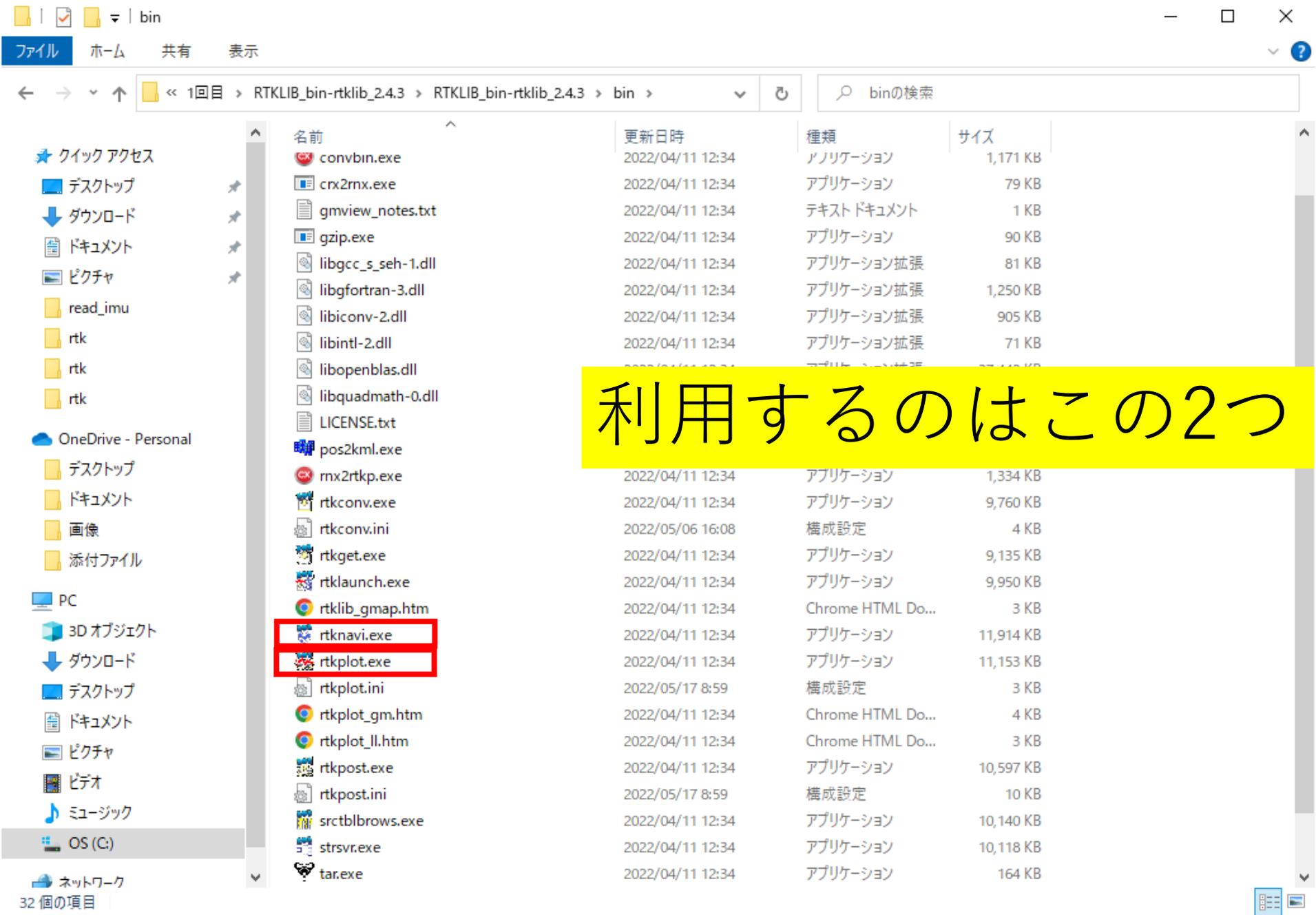
https://github.com/tomojitakasu/RTKLIB_bin/tree/rtklib_2.4.3

このサイトの緑色のCodeのところでdownload zipをクリックし自身のPCに展開してください

現在2.4.3b34になっていると思います。

展開ができれば終わりです

OSはWindowsを利用してください



利用するのはこの2つ

名前	更新日時	種類	サイズ
convbin.exe	2022/04/11 12:34	アプリケーション	1,171 KB
crx2mx.exe	2022/04/11 12:34	アプリケーション	79 KB
gmview_notes.txt	2022/04/11 12:34	テキストドキュメント	1 KB
gzip.exe	2022/04/11 12:34	アプリケーション	90 KB
libgcc_s_seh-1.dll	2022/04/11 12:34	アプリケーション拡張	81 KB
libgfortran-3.dll	2022/04/11 12:34	アプリケーション拡張	1,250 KB
libiconv-2.dll	2022/04/11 12:34	アプリケーション拡張	905 KB
libintl-2.dll	2022/04/11 12:34	アプリケーション拡張	71 KB
libopenblas.dll	2022/04/11 12:34	アプリケーション拡張	37,418 KB
libquadmath-0.dll	2022/04/11 12:34	アプリケーション拡張	1,250 KB
LICENSE.txt			
pos2kml.exe	2022/04/11 12:34	アプリケーション	1,334 KB
mx2rtkp.exe	2022/04/11 12:34	アプリケーション	9,760 KB
rtkconv.exe	2022/04/11 12:34	アプリケーション	9,135 KB
rtkconv.ini	2022/05/06 16:08	構成設定	4 KB
rtkget.exe	2022/04/11 12:34	アプリケーション	9,950 KB
rtklaunch.exe	2022/04/11 12:34	アプリケーション	3 KB
rtklib_gmap.htm	2022/04/11 12:34	Chrome HTML Do...	11,914 KB
rtknavi.exe	2022/04/11 12:34	アプリケーション	11,153 KB
rtkplot.exe	2022/04/11 12:34	アプリケーション	3 KB
rtkplot.ini	2022/05/17 8:59	構成設定	4 KB
rtkplot_gm.htm	2022/04/11 12:34	Chrome HTML Do...	3 KB
rtkplot_ll.htm	2022/04/11 12:34	Chrome HTML Do...	10,597 KB
rtkpost.exe	2022/04/11 12:34	アプリケーション	10 KB
rtkpost.ini	2022/05/17 8:59	構成設定	10 KB
srctblbrows.exe	2022/04/11 12:34	アプリケーション	10,140 KB
strsvr.exe	2022/04/11 12:34	アプリケーション	10,118 KB
tar.exe	2022/04/11 12:34	アプリケーション	164 KB

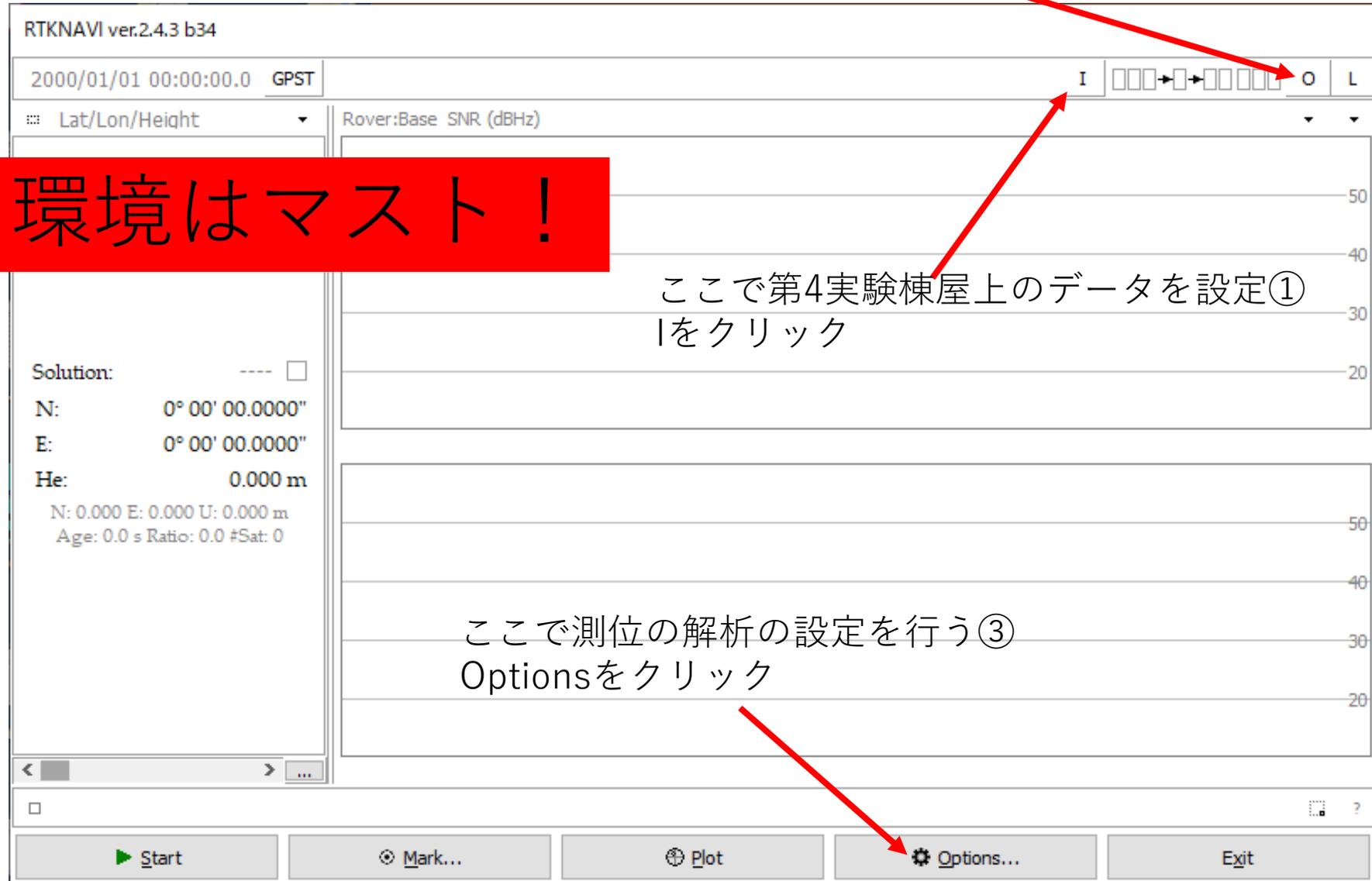
RTKの方法 RTKNAVIを開く

ここで出力結果を保存する②
Oをクリック

ネット環境はマスト！

ここで第4実験棟屋上のデータを設定①
Iをクリック

ここで測位の解析の設定を行う③
Optionsをクリック



①データ入力画面

Input Streams

Input Stream	Type	Opt	Cmd	Format	Opt
<input checked="" type="checkbox"/> (1) Rover	NTRIP Client	...	...	u-blox	...
<input checked="" type="checkbox"/> (2) Base Station	NTRIP Client	...	...	u-blox	...
<input type="checkbox"/> (3) Correction	NTRIP Client	...	...	RTCM 3	...

Transmit NMEA GPGGA to Base Station
OFF 0.000000000 0.000000000 0.000

Reset Cmd Max Baseline 10 km

Input File Paths
 ...
 ...
 ...

Time x1 + 0 s 64bit

NTRIP Client Options

NTRIP Caster Host	Port	
153.121.59.53	2101	
Mountpoint	User-ID	Password
SGP01	gspase	.....

String

NTRIP Client Options

NTRIP Caster Host	Port	
153.121.59.53	2101	
Mountpoint	User-ID	Password
ECJ02	gspase	.....

String

今回Roverの測定の対象となるほうは5Hzでデータがでています

②出力結果の保存の設定

Output Streams ✕

Output Stream	Type	Option	Format
<input checked="" type="checkbox"/> (4) Solution 1	File	...	Lat/Lon/Height
<input type="checkbox"/> (5) Solution 2	Serial	...	Lat/Lon/Height

Output File Paths

C:\Users\%nkubo\Desktop\test1	...
	...

Time-Tag Swap Intv H ? OK Cancel

③ Optionsの設定

Options

Setting1 Setting2 Output Statistics Positions Files Misc

Positioning Mode Kinematic

Frequencies / Filter Type L1 Forward

Elevation Mask (°) / SNR Mask (dbHz) 15 ...

Rec Dynamics / Earth Tides Correction OFF OFF

Ionosphere Correction Broadcast

Troposphere Correction Saastamoinen

Satellite Ephemeris/Clock Broadcast

Sat PCV Rec PCV PhWU Rej Ed RAIM FDE DBCorr

Excluded Satellites (+PRN: Included)

GPS GLO Galileo QZSS SBAS BeiDou IRNSS

Load Save OK Cancel

Kinematicを選択

GPS, GLONASS, Galileo, QZSS, BDS 全てをチェック

Options

Setting1 Setting2 Output Statistics Positions Files Misc

Integer Ambiguity Res (GPS/GLO/BDS) Instanta ON ON

Min Ratio to Fix Ambiguity 3.0

Min Confidence / Max FCB to Fix Amb 0.9999 0.20

Min Lock / Elevation (°) to Fix Amb 0 0

Min Fix / Elevation (°) to Hold Amb 10 0

Outage to Reset Amb / Slip Thres (m) 5 0.050

Max Age of Diff (s) / Sync Solution 30.0 OFF

Reject Threshold of GDOP/Innov (m) 30.0 30.0

Max # of AR Iter/# of Filter Iter 1 1

Baseline Length Constraint (m) 0.000 0.000

Load Save OK Cancel

Options

Setting1 Setting2 Output Statistics Positions Files Misc

Solution Format Lat/Lon/Height

Output Header / Output Processing Options OFF OFF

Time Format / # of Decimals ww ssss GPST 3

Latitude Longitude Format / Field Separator ddd.dddddd

Output Single if Sol Outage / Max Sol Std (m) OFF 0

Datum / Height WGS84 Ellipsoidal

Geoid Model Internal

Solution for Static Mode All

NMEA Interval (s) RMC/GGA, GSA/GSV 0 0

Output Solution Status / Output Debug Trace OFF OFF

Load Save OK Cancel

Options

Setting1 Setting2 Output Statistics Positions Files Misc

Measurement Errors (1-sigma)

Code/Carrier-Phase Error Ratio L1/L2 100.0 100.0

Carrier-Phase Error a+b/sinE1 (m) 0.003 0.003

Carrier-Phase Error/Baseline (m/10km) 0.000

Doppler Frequency (Hz) 1.000

Process Noises (1-sigma/sqrt(s))

Receiver Accel Horiz/Vertical (m/s²) 1.00E+01 1.00E+01

Carrier-Phase Bias (cycle) 1.00E-04

Vertical Ionospheric Delay (m/10km) 1.00E-03

Zenith Tropospheric Delay (m) 1.00E-04

Satellite Clock Stability (s/s) 5.00E-12

Load Save OK Cancel

Options

Setting1 Setting2 Output Statistics Positions Files Misc

Rover

Lat/Lon/Height (deg/m) ...

90.000000000 0.000000000 -6335367.6285

Antenna Type (*: Auto) Delta-E/N/U (m)

0.0000 0.0000 0.0000

Base Station

Lat/Lon/Height (deg/m) ...

35.666334250 139.792201810 59.9000

Antenna Type (*: Auto) Delta-E/N/U (m)

0.0000 0.0000 0.0000

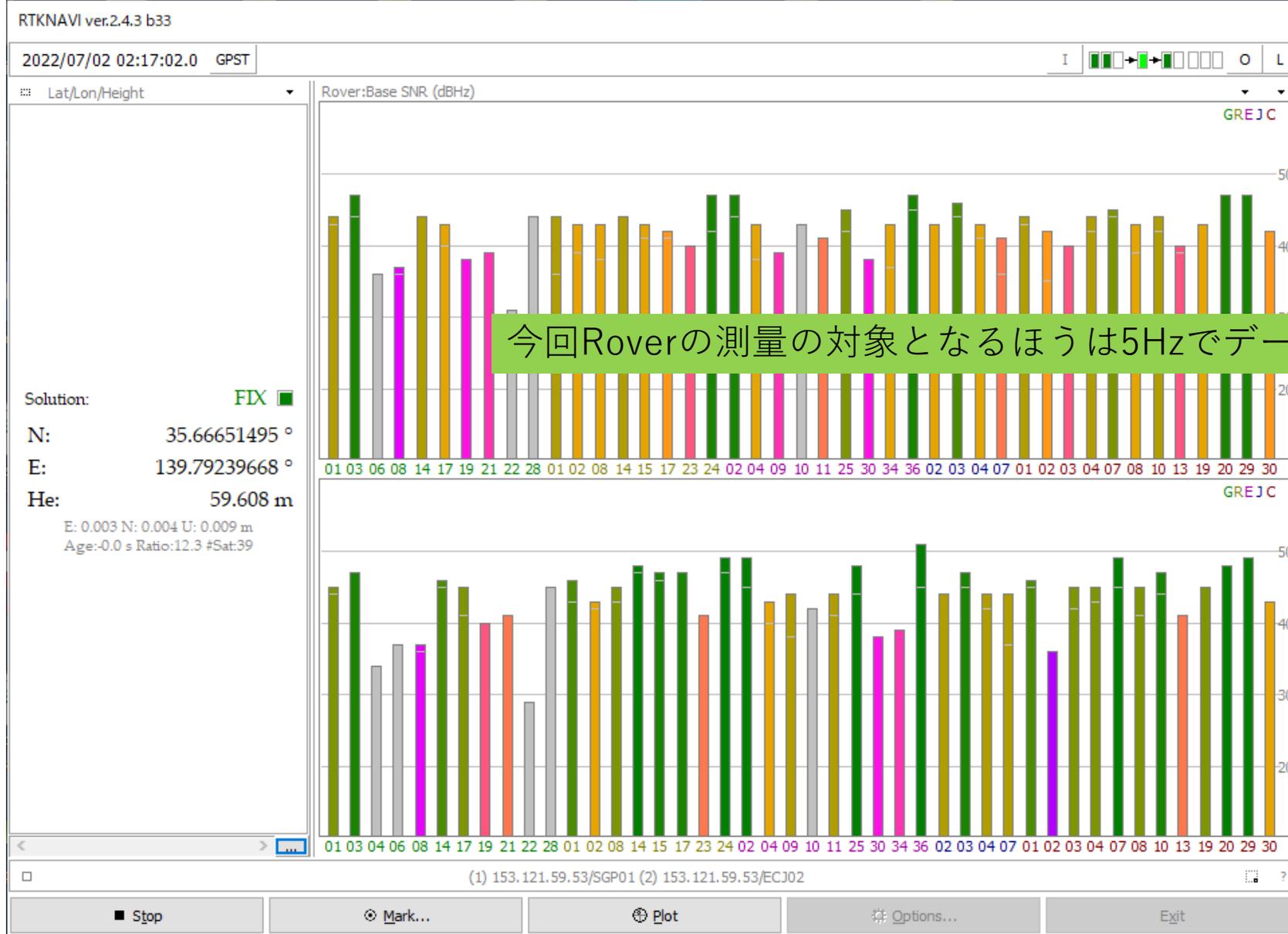
Station Position File

Load Save OK Cancel

Instantaneous

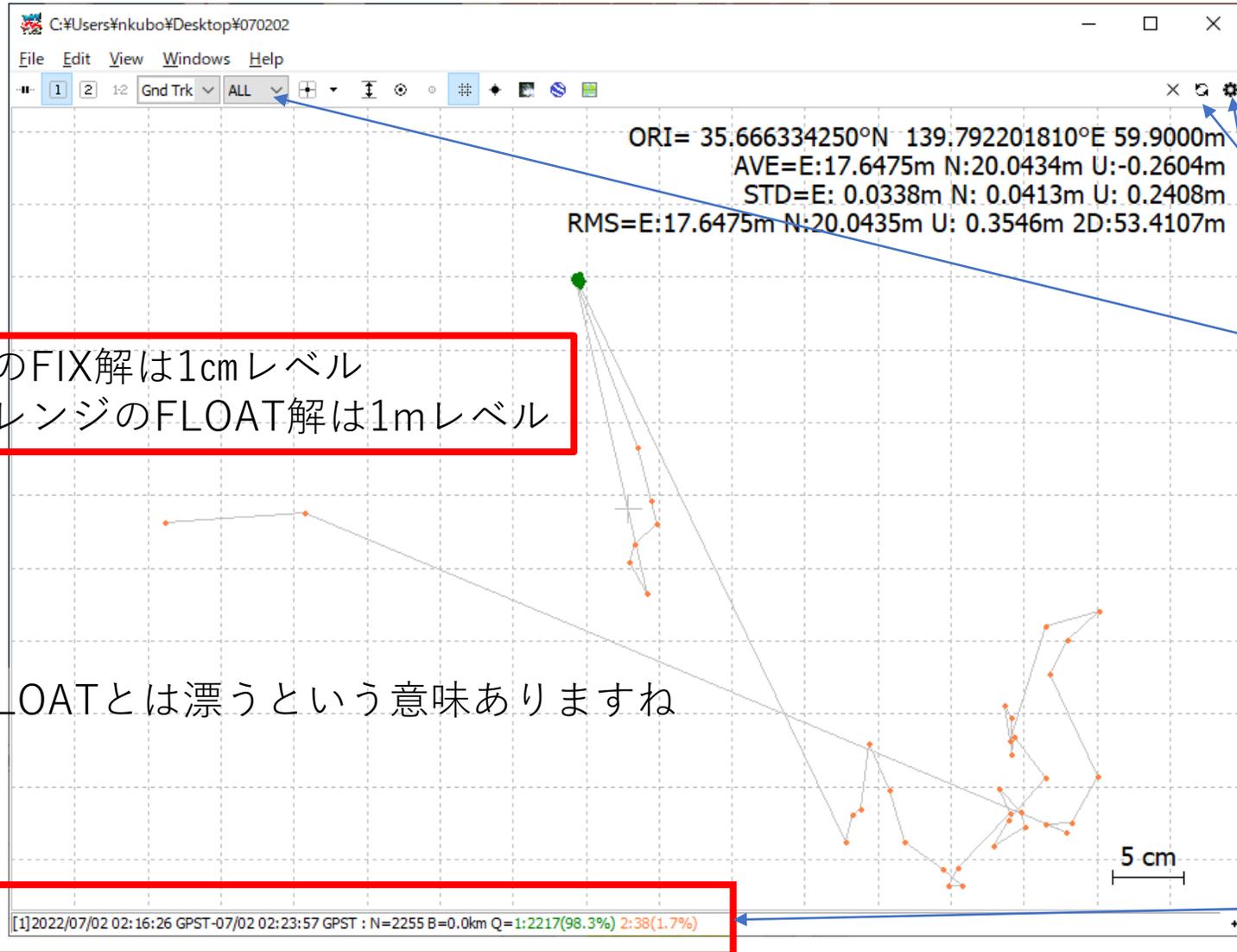
Setting2からPositionsまでの設定です。ほぼデフォルトです。
この設定通りになっていることを確認してください

基準局の精密位置は必ず入力！



このSTARTをクリックすると、少し時間経過し（1分程度）このような画面になります。
左のSolutionが緑のFIXとなってから、10分以上経過したあと、STOPをクリック

STOP後、出力ファイルをRTKPLOTで開きます



私はこんな感じになりました。
ここから以下の変更を必ず実施！

ALLではなくQ=1にする

この設定を開き、Coordinate Originを
Average Posにする。その後、必ず
画面を再度Refreshします

取得した時間はここに記載あります！
UTCに気を付けて（JSTは+9H）

緑のFIX解は1cmレベル
オレンジのFLOAT解は1mレベル

FLOATとは漂うという意味ありますね

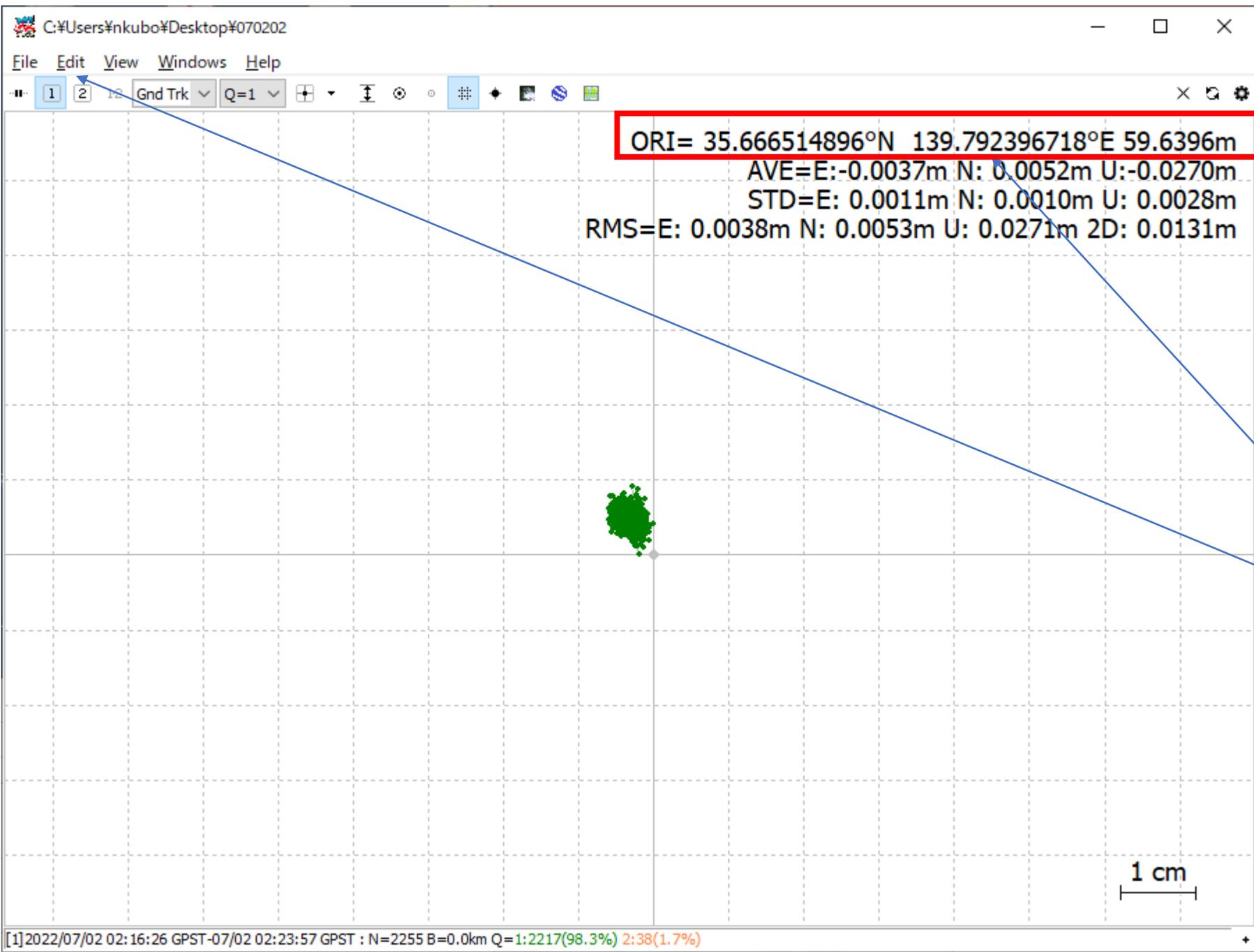
Optionsの画面

Options

Time Format	h:m:s GPST	Error Bar/Circle	OFF	Mark Color 1 (1-6)	
Lat/Lon Format	ddd.ddddd	Direction Arrow	OFF	Mark Color 2 (1-6)	
Show Statistics	ON	Graph Label	ON	Line Color	
Cycle-Slip	OFF	Grid/Grid Label	Grid	Text Color	
Parity Unknown	OFF	Compass	OFF	Grid Color	
Ephemeris	OFF	Scale	ON	Background Color	
Elevation Mask (°)	15	Auto Fit	ON	Plot Style	Mark/Line
Elev Mask Pattern	OFF	Y-Range (+/-)	5	Mark Size	3
Hide Low Satellite	OFF	RT Buffer Size	10800	Font	Tahoma 14pt
Max NSAT/DOP	30	<input type="checkbox"/> Time Sync Port	10071	Animation Interval	10
Max Multipath	10	Coordinate Origin	Average Pt	Update Cycle (ms)	100
Receiver Position	Single Solut	Lat/Lon/Hgt	35.666334250 139.792201810 59.9000		
Satellite System	<input checked="" type="checkbox"/> GPS <input checked="" type="checkbox"/> GLO <input checked="" type="checkbox"/> GAL <input checked="" type="checkbox"/> QZS <input type="checkbox"/> SBS <input checked="" type="checkbox"/> BDS <input type="checkbox"/> IRN	QC Cmd	teqc +qc +sym +l -rep -plot		
Excluded Sats (+Sn: Included)	28	RINEX Opt			
		TLE Data			
		TLE Sat No			
		API Key for GMView			

OK Cancel

22



こうなりました。
 この値がこの図の原点です。
 しかし、緑のRTKの結果の
 中心から少しずれています。
これは最初のオレンジ色の
 FLOAT解が混ざっている
 ためです。なので、Editの
 Time Spanで私は開始時刻を
 1分遅らせました。

Time Span/Interval

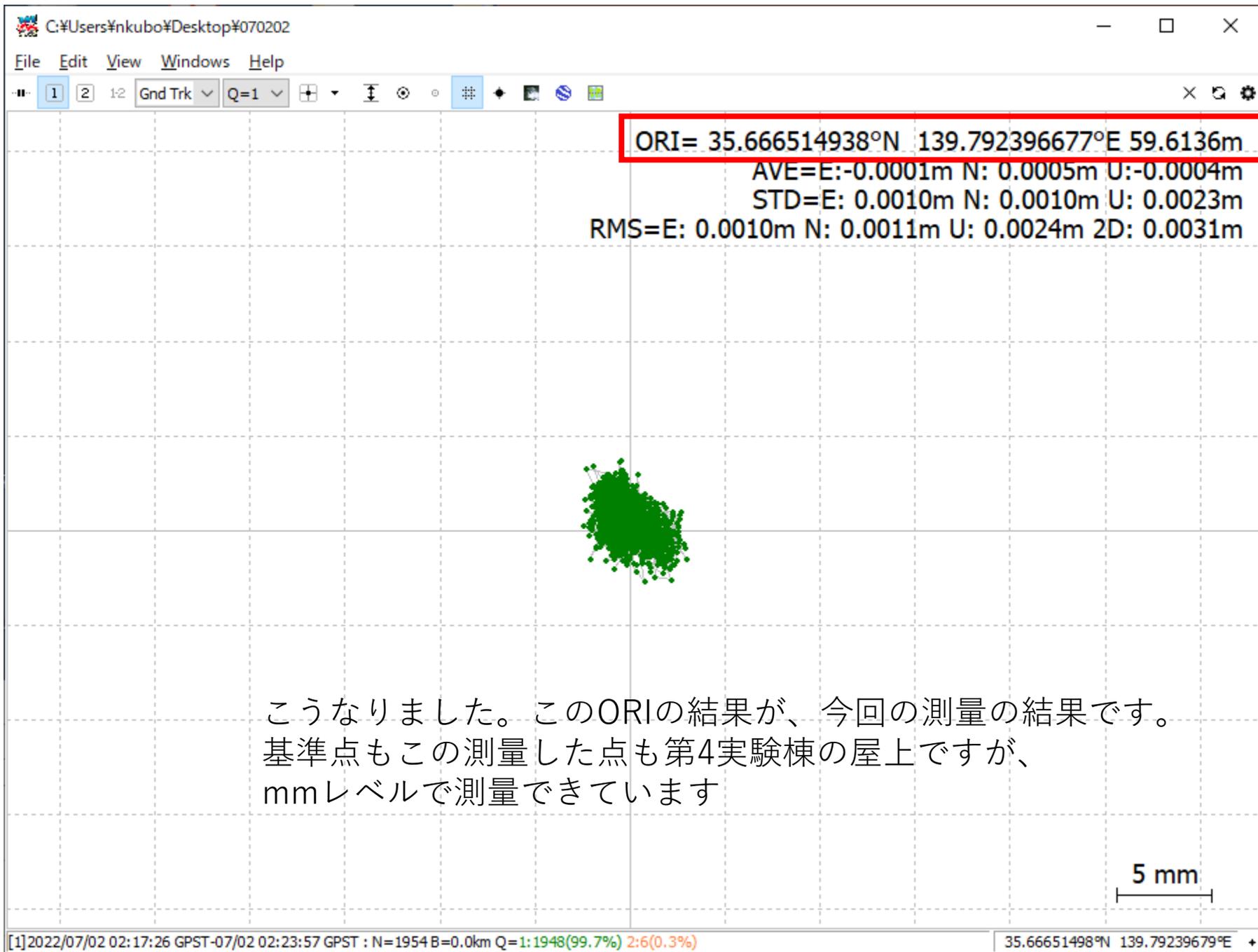
Time Start (GPST) 2022/07/02 02:17:26 ?

Time End (GPST) 2022/07/02 02:23:57 ?

Interval (s) 0

OK Cancel

2:16:26-->2:17:26



GNSSコンパス



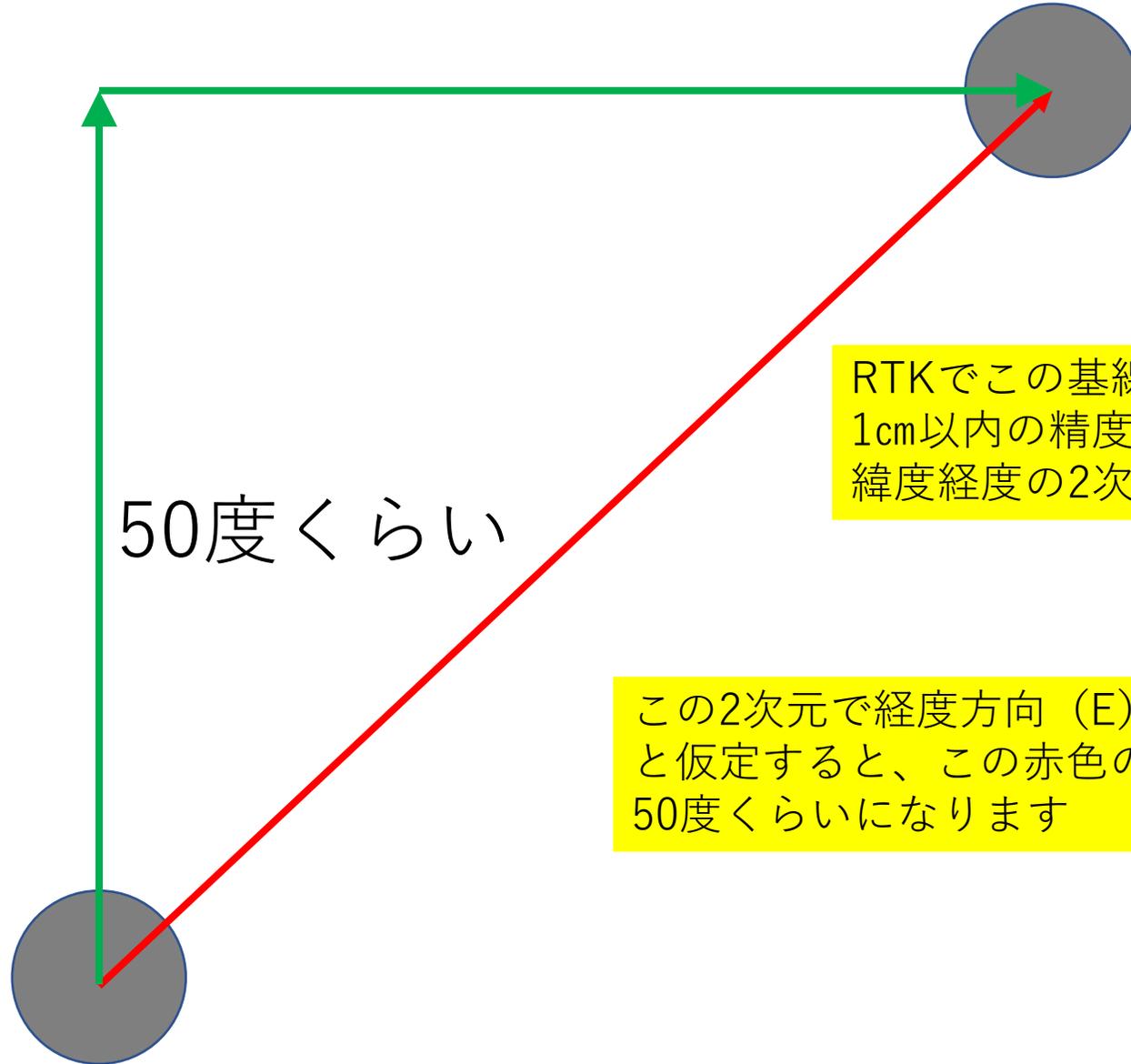
みなさんもこのような製品を船等で見たことがあると思います。もし見たことがない人は今後注意して船の上部を見てみてください

アンテナが2つ設置されていて、両者で移動しながらのRTKを行うことで、精密な方位を求めることができます。原理は前回のRTKと同じです

今回のイメージ

方位を求めたい側の
アンテナ

基準アンテナ



50度くらい

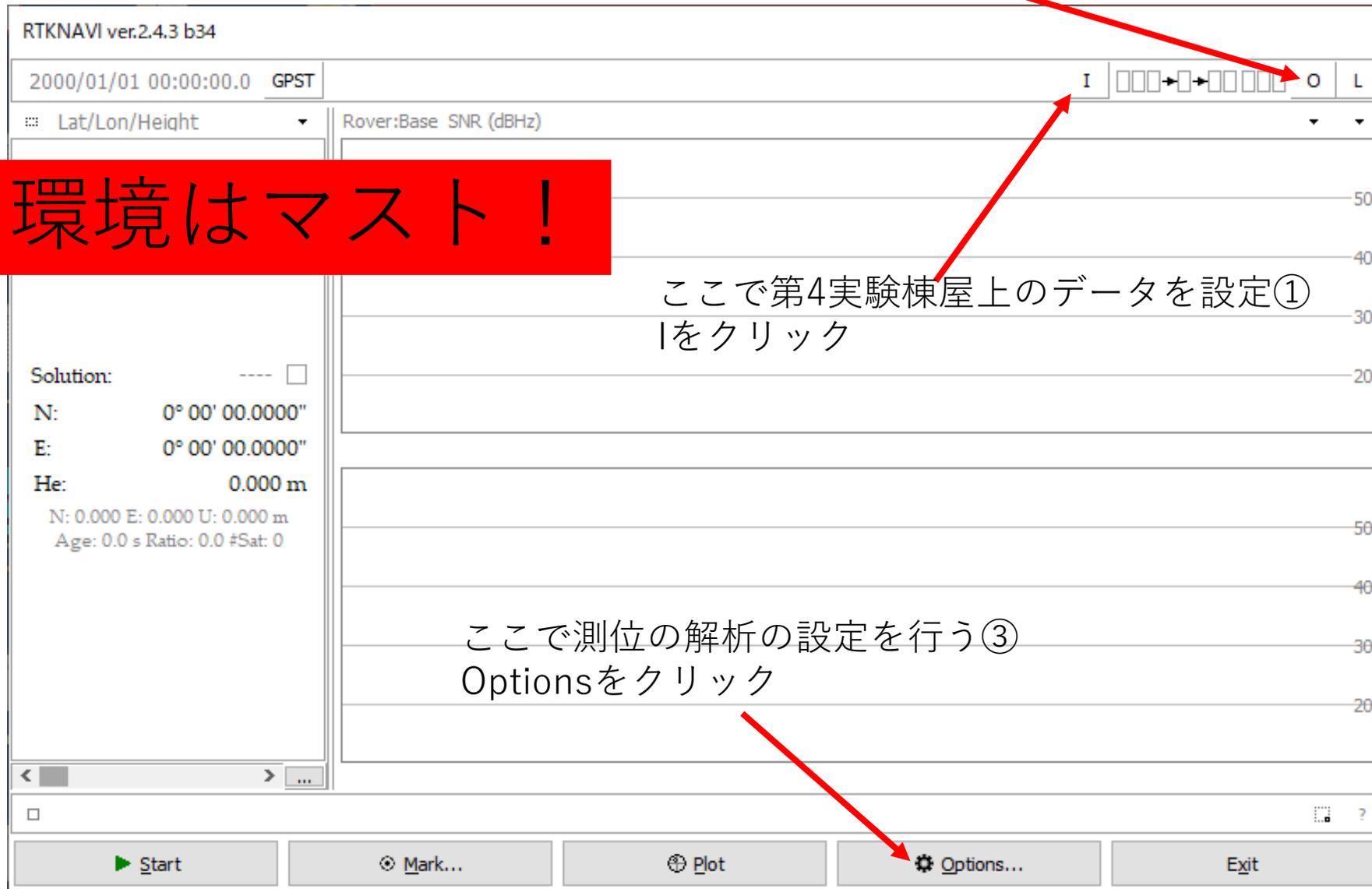
RTKでこの基線ベクトルが3次元で
1cm以内の精度で推定できる。その情報を
緯度経度の2次元で確認し、方位を決定

この2次元で経度方向 (E) を左、緯度方向 (N) を上
と仮定すると、この赤色の基線ベクトルの方位は
50度くらいになります

GNSSコンパスの方法 RTKNAVIを開く

ここで出力結果を保存する②
Oをクリック

ネット環境はマスト！



ここで第4実験棟屋上のデータを設定①
Iをクリック

ここで測位の解析の設定を行う③
Optionsをクリック

①データ入力画面

Input Streams

Input Stream	Type	Opt	Cmd	Format	Opt
<input checked="" type="checkbox"/> (1) Rover	NTRIP Client	...	...	u-blox	...
<input checked="" type="checkbox"/> (2) Base Station	NTRIP Client	...	...	u-blox	...
<input type="checkbox"/> (3) Correction	NTRIP Client	...	...	RTCM 3	...

Transmit NMEA GPGGA to Base Station
OFF 0.000000000 0.000000000 0.000

Reset Cmd Max Baseline 10 km

Input File Paths
 ...
 ...
 ...

Time x1 + 0 s 64bit

OK Cancel

NTRIP Client Options

NTRIP Caster Host	Port	
153.121.59.53	2101	
Mountpoint	User-ID	Password
SGP01	gspase	.....

String

Ntrip... OK Cancel

NTRIP Client Options

NTRIP Caster Host	Port	
153.121.59.53	2101	
Mountpoint	User-ID	Password
ECJ02	gspase	.....

String

Ntrip... OK Cancel

方位を求めたい側は1Hzでデータがでています

②出力結果の保存の設定

注意してください！

Output Streams

Output Stream	Type	Option	Format
<input checked="" type="checkbox"/> (4) Solution 1	File	...	E/N/U-Baseline
<input type="checkbox"/> (5) Solution 2	Serial	...	Lat/Lon/Height

Output File Paths

C:\Users\nkubo\Desktop\%m%d%h ...

Time-Tag Swap Intv 24 H ?

OK Cancel

③Optionsの設定

Options

Setting1 Setting2 Output Statistics Positions Files Misc

Positioning Mode Moving-Base

Frequencies / Filter Type L1 Forward

Elevation Mask (°) / SNR Mask (dbHz) 15 ...

Rec Dynamics / Earth Tides Correction OFF OFF

Ionosphere Correction Broadcast

Troposphere Correction Saastamoinen

Satellite Ephemeris/Clock Broadcast

Sat PCV Rec PCV PhWU Rej Ed RAIM FDE DBCorr

Excluded Satellites (+PRN: Included)

GPS GLO Galileo QZSS SBAS BeiDou IRNSS

Load Save OK Cancel

Moving-Baseを選択

動いている2つのアンテナの基線をRTKで推定するという意味です

GPS, GLONASS, Galileo, QZSS, BDS 全てをチェック

Options

Setting1 Setting2 Output Statistics Positions Files Misc

Integer Ambiguity Res (GPS/GLO/BDS) Instanta ON ON

Min Ratio to Fix Ambiguity 3.0

Min Confidence / Max FCB to Fix Amb 0.9999 0.20

Min Lock / Elevation (°) to Fix Amb 0 0

Min Fix / Elevation (°) to Hold Amb 10 0

Outage to Reset Amb / Slip Thres (m) 5 0.050

Max Age of Diff (s) / Sync Solution 30.0 OFF

Reject Threshold of GDOP/Innov (m) 30.0 30.0

Max # of AR Iter/# of Filter Iter 1 1

Baseline Length Constraint (m) 0.000 0.000

Load Save OK Cancel

Options

Setting1 Setting2 Output Statistics Positions Files Misc

Solution Format Lat/Lon/Height

Output Header / Output Processing Options OFF OFF

Time Format / # of Decimals ww ssss GPST 3

Latitude Longitude Format / Field Separator ddd.ddddddd

Output Single if Sol Outage / Max Sol Std (m) OFF 0

Datum / Height WGS84 Ellipsoidal

Geoid Model Internal

Solution for Static Mode All

NMEA Interval (s) RMC/GGA, GSA/GSV 0 0

Output Solution Status / Output Debug Trace OFF OFF

Load Save OK Cancel

Options

Setting1 Setting2 Output Statistics Positions Files Misc

Measurement Errors (1-sigma)

Code/Carrier-Phase Error Ratio L1/L2 100.0 100.0

Carrier-Phase Error a+b/sinE1 (m) 0.003 0.003

Carrier-Phase Error/Baseline (m/10km) 0.000

Doppler Frequency (Hz) 1.000

Process Noises (1-sigma/sqrt(s))

Receiver Accel Horiz/Vertical (m/s²) 1.00E+01 1.00E+01

Carrier-Phase Bias (cycle) 1.00E-04

Vertical Ionospheric Delay (m/10km) 1.00E-03

Zenith Tropospheric Delay (m) 1.00E-04

Satellite Clock Stability (s/s) 5.00E-12

Load Save OK Cancel

Instantaneous

Setting2からPositionsまでの設定です。ほぼデフォルトです。
この設定通りになっていることを確認してください

今回基準局の精密位置は入力しません。それは動いているからです！
今回の実験では停止していますが、このMoving-Baseは移動体の方位を
求めるためのものです

Pitch/Yaw/Length-Baseline

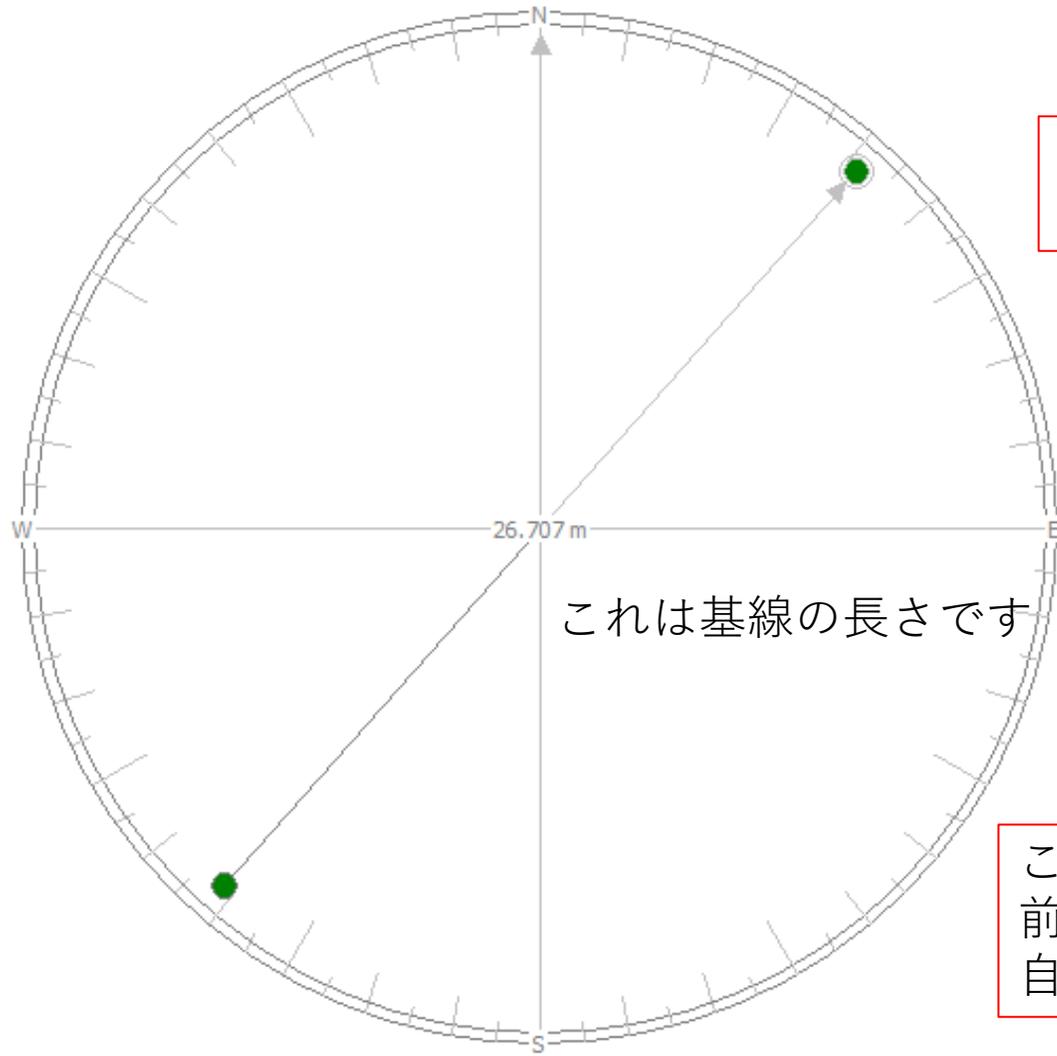
Baseline

ここをクリックして
この画面にしてください

ここをクリックして
この画面にしてください

Solution: **FIX**
P: -0.610 °
Y: 41.344 °
L: 26.707 m
E: 0.003 N: 0.004 U: 0.011 m
Age: 0.0 s Ratio:10.5 #Sat:33

上から
ピッチ (Pitch)
方位 (Yaw)
長さ (Length)



この状態で5分以上取得
前回と同じくFLOAT解は
自身で省いてください

STOP後、出力ファイルをエクセルにコピー

The screenshot shows the Microsoft Excel interface with a data table. The table has 18 rows and 15 columns. The columns are labeled as follows: A: % GPST, B: e-baseline(m), C: n-baseline(m), D: u-baseline(m), E: Q ns, F: sde(m), G: sdn(m), H: sdu(m), I: sden(m), J: sdnu(m), K: sdue(m), L: age(s), M: ratio. The data in the table is as follows:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	% GPST	e-baseline(m)	n-baseline(m)	u-baseline(m)	Q ns	sde(m)	sdn(m)	sdu(m)	sdn(m)	sdnu(m)	sdue(m)	age(s)	ratio		
2	2218 96634.000	17.6428	20.0471	-0.2784	1 28	0.0031	0.0044	0.0114	0.0011	-0.0053	-0.0010	1.00	43.9		
3	2218 96635.000	17.6431	20.0446	-0.2765	1 28	0.0031	0.0044	0.0114	0.0011	-0.0053	-0.0010	1.00	63.0		
4	2218 96636.000	17.6435	20.0459	-0.2778	1 29	0.0031	0.0044	0.0110	0.0011	-0.0051	-0.0015	1.00	26.4		
5	2218 96637.000	17.6432	20.0468	-0.2810	1 29	0.0031	0.0044	0.0110	0.0011	-0.0051	-0.0015	1.00	41.3		
6	2218 96638.000	17.6441	20.0439	-0.2756	1 29	0.0031	0.0044	0.0110	0.0011	-0.0051	-0.0015	1.00	53.8		
7	2218 96639.000	17.6433	20.0465	-0.2790	1 29	0.0031	0.0044	0.0110	0.0011	-0.0051	-0.0015	1.00	32.1		
8	2218 96640.000	17.6445	20.0447	-0.2789	1 29	0.0031	0.0044	0.0110	0.0011	-0.0051	-0.0015	1.00	34.0		
9	2218 96641.000	17.6435	20.0464	-0.2756	1 29	0.0031	0.0044	0.0110	0.0011	-0.0051	-0.0015	1.00	28.2		
10	2218 96642.000	17.6447	20.0456	-0.2778	1 29	0.0031	0.0044	0.0110	0.0011	-0.0051	-0.0015	1.00	32.5		
11	2218 96643.000	17.6438	20.0473	-0.2784	1 29	0.0031	0.0044	0.0114	0.0011	-0.0053	-0.0010	1.00	45.7		
12	2218 96644.000	17.6436	20.0467	-0.2810	1 29	0.0031	0.0044	0.0110	0.0011	-0.0051	-0.0015	1.00	27.8		
13	2218 96645.000	17.6437	20.0465	-0.2783	1 29	0.0031	0.0044	0.0110	0.0011	-0.0051	-0.0015	1.00	37.4		
14	2218 96646.000	17.6435	20.0465	-0.2790	1 29	0.0031	0.0044	0.0110	0.0011	-0.0051	-0.0015	1.00	29.3		
15	2218 96647.000	17.6429	20.0448	-0.2798	1 29	0.0031	0.0044	0.0110	0.0011	-0.0051	-0.0015	1.00	48.2		
16	2218 96648.000	17.6439	20.0454	-0.2792	1 29	0.0031	0.0044	0.0110	0.0011	-0.0051	-0.0015	1.00	39.7		
17	2218 96649.000	17.6439	20.0468	-0.2832	1 29	0.0031	0.0044	0.0110	0.0011	-0.0051	-0.0015	1.00	36.9		
18	2218 96650.000	17.6432	20.0459	-0.2822	1 29	0.0031	0.0044	0.0110	0.0011	-0.0051	-0.0015	1.00	36.6		

The cell at row 8, column N is highlighted with a green border. The status bar at the bottom shows '準備完了' (Ready) and 'アクセシビリティ: 利用不可' (Accessibility: Not available).

最初の行を削除し、データの区切り位置でそれぞれの列にデータを格納します

The screenshot shows the Microsoft Excel interface with the 'Data' ribbon selected. The data table is as follows:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	2218	96634	17.6428	20.0471	-0.2784	1	28	0.0031	0.0044	0.0114	0.0011	-0.0053	-0.001	1	43.9
2	2218	96635	17.6431	20.0446	-0.2765	1	28	0.0031	0.0044	0.0114	0.0011	-0.0053	-0.001	1	63
3	2218	96636	17.6435	20.0459	-0.2778	1	29	0.0031	0.0044	0.011	0.0011	-0.0051	-0.0015	1	26.4
4	2218	96637	17.6432	20.0468	-0.281	1	29	0.0031	0.0044	0.011	0.0011	-0.0051	-0.0015	1	41.3
5	2218	96638	17.6441	20.0439	-0.2756	1	29	0.0031	0.0044	0.011	0.0011	-0.0051	-0.0015	1	53.8
6	2218	96639	17.6433	20.0465	-0.279	1	29	0.0031	0.0044	0.011	0.0011	-0.0051	-0.0015	1	32.1
7	2218	96640	17.6445	20.0447	-0.2789	1	29	0.0031	0.0044	0.011	0.0011	-0.0051	-0.0015	1	34
8	2218	96641	17.6435	20.0464	-0.2756	1	29	0.0031	0.0044	0.011	0.0011	-0.0051	-0.0015	1	28.2
9	2218	96642	17.6447	20.0456	-0.2778	1	29	0.0031	0.0044	0.011	0.0011	-0.0051	-0.0015	1	32.5
10	2218	96643	17.6438	20.0473	-0.2784	1	29	0.0031	0.0044	0.0114	0.0011	-0.0053	-0.001	1	45.7
11	2218	96644	17.6436	20.0467	-0.281	1	29	0.0031	0.0044	0.011	0.0011	-0.0051	-0.0015	1	27.8
12	2218	96645	17.6437	20.0465	-0.2783	1	29	0.0031	0.0044	0.011	0.0011	-0.0051	-0.0015	1	37.4
13	2218	96646	17.6435	20.0465	-0.279	1	29	0.0031	0.0044	0.011	0.0011	-0.0051	-0.0015	1	29.3
14	2218	96647	17.6429	20.0448	-0.2798	1	29	0.0031	0.0044	0.011	0.0011	-0.0051	-0.0015	1	48.2
15	2218	96648	17.6439	20.0454	-0.2792	1	29	0.0031	0.0044	0.011	0.0011	-0.0051	-0.0015	1	39.7
16	2218	96649	17.6439	20.0468	-0.2832	1	29	0.0031	0.0044	0.011	0.0011	-0.0051	-0.0015	1	36.9
17	2218	96650	17.6432	20.0459	-0.2822	1	29	0.0031	0.0044	0.011	0.0011	-0.0051	-0.0015	1	36.6
18	2218	96651	17.6445	20.0456	-0.2808	1	29	0.0031	0.0044	0.011	0.0011	-0.0051	-0.0015	1	30.9

このCとDがそれぞれ、経度と緯度方向の基線の長さです。この2つの値から方位を自分で計算します。

計算したものの

071102 検索 (Alt+Q) 久保信明

ファイル ホーム 挿入 描画 ページレイアウト 数式 データ 校閲 表示 ヘルプ Acrobat コメント 共有

貼り付け クリップボード フォント 配置 数値 スタイル セル 編集 分析

自動保存 更新あり Office の更新プログラムをインストールする準備はできていますが、最初にいくつかのアプリを開く必要があります。 今すぐ更新

E1 : $=\text{ATAN}(C1/D1)*180/\text{PI}()$

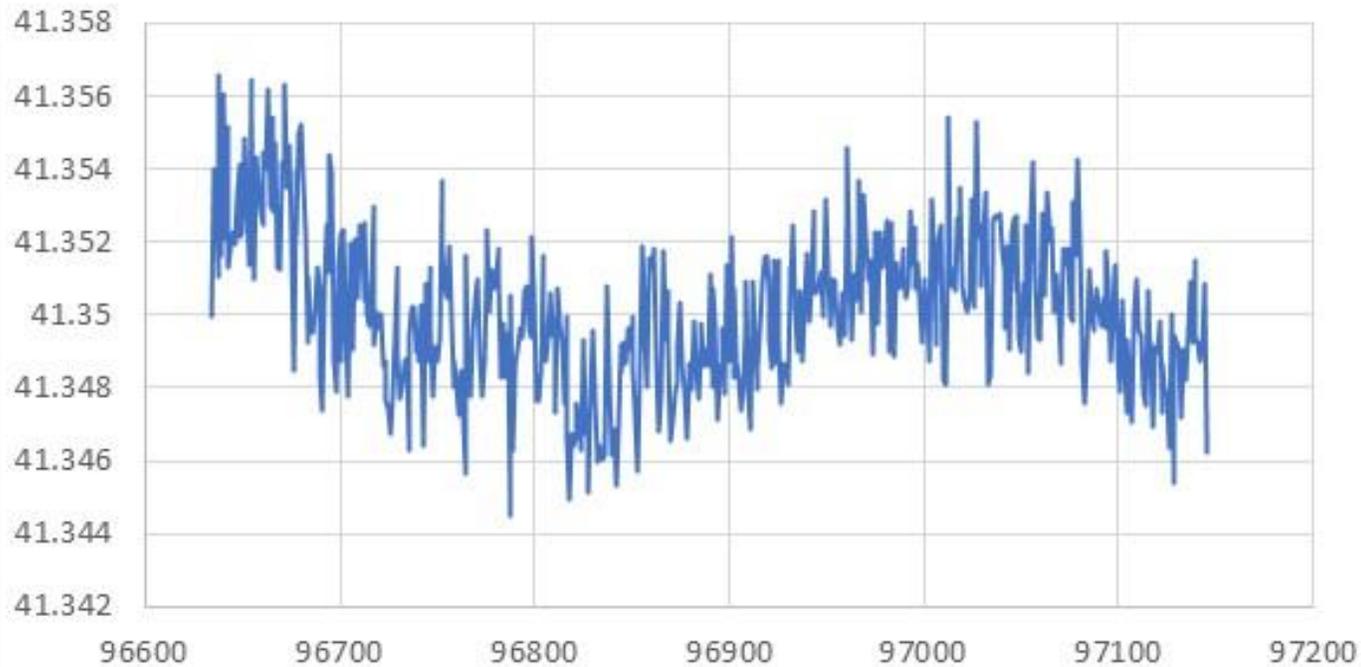
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	2218	96634	17.6428	20.0471	41.34995	-0.2784	1	28	0.0031	0.0044	0.0114	0.0011	-0.0053	-0.001	1
2	2218	96635	17.6431	20.0446	41.35398	-0.2765	1	28	0.0031	0.0044	0.0114	0.0011	-0.0053	-0.001	1
3	2218	96636	17.6435	20.0459	41.35278	-0.2778	1	29	0.0031	0.0044	0.011	0.0011	-0.0051	-0.0015	1
4	2218	96637	17.6432	20.0468	41.35102	-0.281	1	29	0.0031	0.0044	0.011	0.0011	-0.0051	-0.0015	1
5	2218	96638	17.6441	20.0439	41.35658	-0.2756	1	29	0.0031	0.0044	0.011	0.0011	-0.0051	-0.0015	1
6	2218	96639	17.6433	20.0465	41.35161	-0.279	1	29	0.0031	0.0044	0.011	0.0011	-0.0051	-0.0015	1
7	2218	96640	17.6445	20.0447	41.35609	-0.2789	1	29	0.0031	0.0044	0.011	0.0011	-0.0051	-0.0015	1
8	2218	96641	17.6435	20.0464	41.35207	-0.2756	1	29	0.0031	0.0044	0.011	0.0011	-0.0051	-0.0015	1
9	2218	96642	17.6447	20.0456	41.35514	-0.2778	1	29	0.0031	0.0044	0.011	0.0011	-0.0051	-0.0015	1
10	2218	96643	17.6438	20.0473	41.35128	-0.2784	1	29	0.0031	0.0044	0.0114	0.0011	-0.0053	-0.001	1
11	2218	96644	17.6436	20.0467	41.35181	-0.281	1	29	0.0031	0.0044	0.011	0.0011	-0.0051	-0.0015	1
12	2218	96645	17.6437	20.0465	41.35225	-0.2783	1	29	0.0031	0.0044	0.011	0.0011	-0.0051	-0.0015	1
13	2218	96646	17.6435	20.0465	41.35193	-0.279	1	29	0.0031	0.0044	0.011	0.0011	-0.0051	-0.0015	1
14	2218	96647	17.6429	20.0448	41.35338	-0.2798	1	29	0.0031	0.0044	0.011	0.0011	-0.0051	-0.0015	1
15	2218	96648	17.6439	20.0454	41.35414	-0.2792	1	29	0.0031	0.0044	0.011	0.0011	-0.0051	-0.0015	1
16	2218	96649	17.6439	20.0468	41.35215	-0.2832	1	29	0.0031	0.0044	0.011	0.0011	-0.0051	-0.0015	1
17	2218	96650	17.6432	20.0459	41.3523	-0.2822	1	29	0.0031	0.0044	0.011	0.0011	-0.0051	-0.0015	1
18	2218	96651	17.6445	20.0456	41.35482	-0.2808	1	29	0.0031	0.0044	0.011	0.0011	-0.0051	-0.0015	1

071102 準備完了 アクセシビリティ: 利用不可 平均: 41.35015988 データの個数: 512 合計: 21171.28186 100%

私はEの列に計算しました。
41.35度くらいになっています

横軸をB列、縦軸をE列とし図示化

GNSSコンパスでの方位



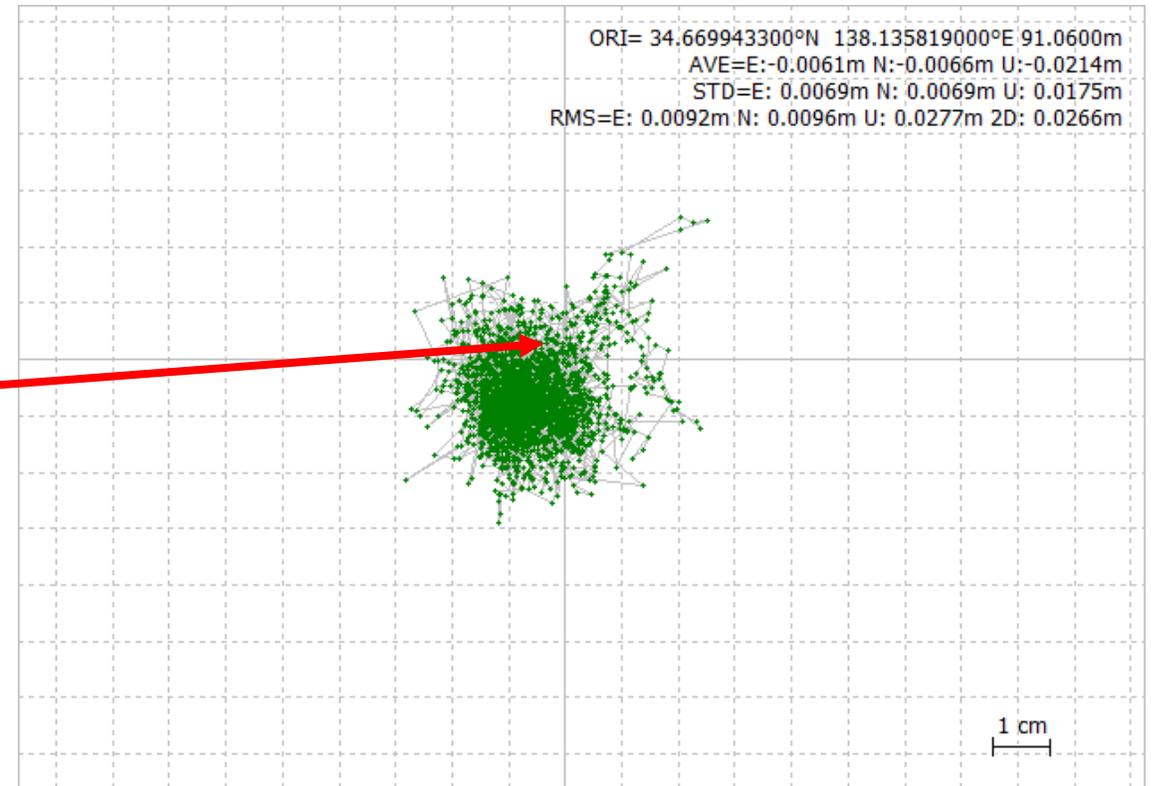
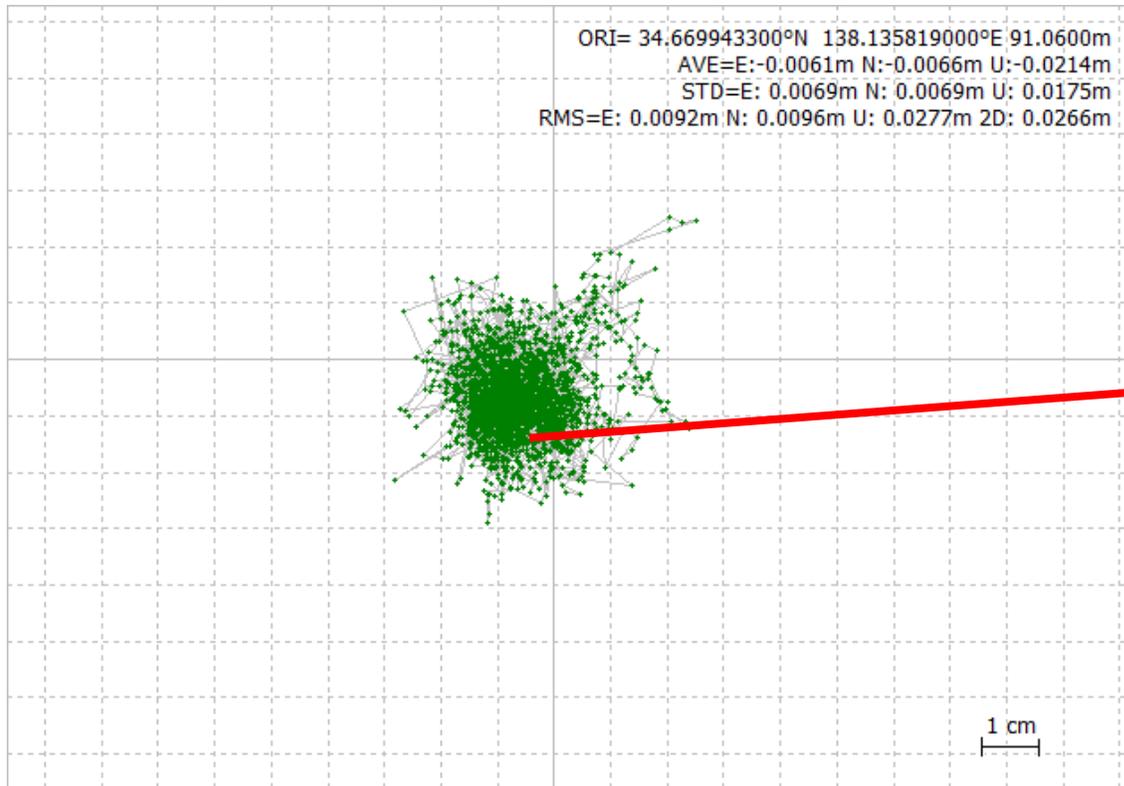
平均値：41.35度

標準偏差：0.002度

この平均値と標準偏差は
かならずこの図といっしょに
PPTに記載してください。
あと開始時刻と終了時刻も秒単位で。
例えばUTCで
05:23:20~ 05:28:20

精度がかなりよいですが、これは
26mも離れているためです！1mだと
これよりも精度は確実に劣化します
→次スライド（参考資料）

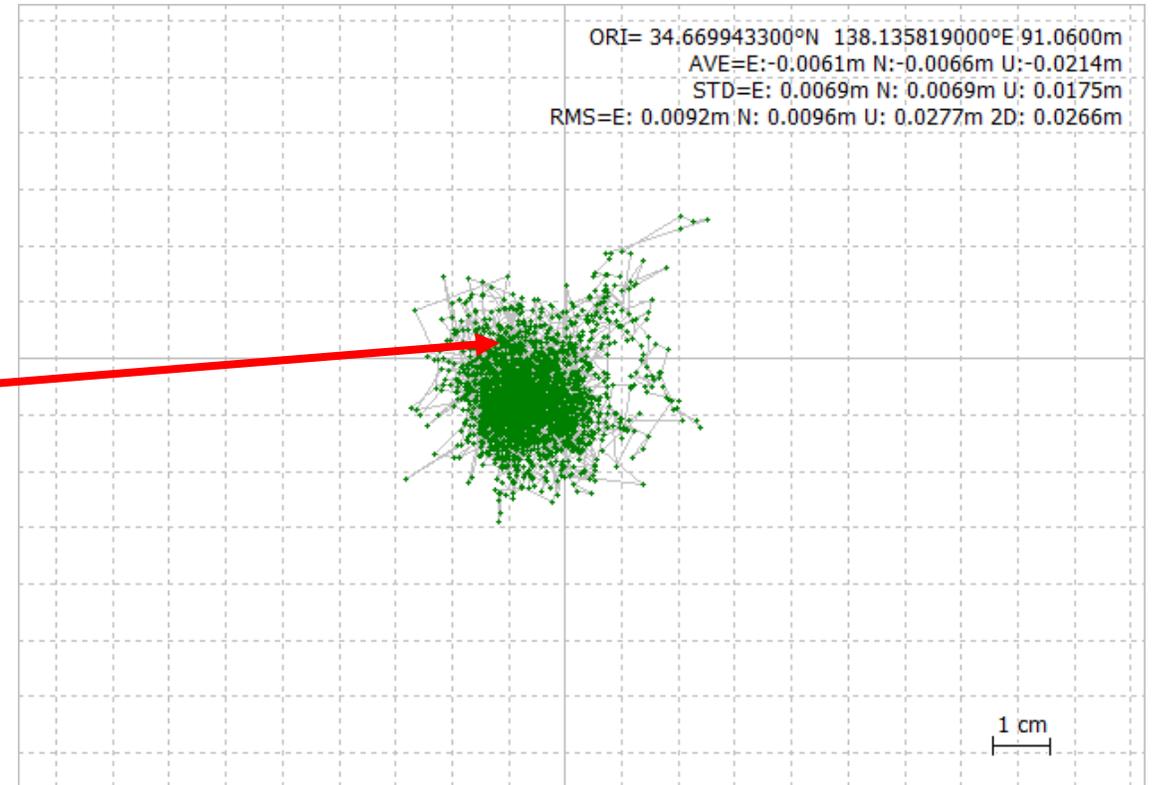
2つのRTKの位置から方位を推定？



2つのアンテナ位置が1cmの精度で求まっているので、1mも離せば1度未満の精度で方位を決定できそう

GNSSコンパスのイメージ

2つのRTKの位置から推定するのではなく、片方の基準となる位置は単独測位等で求めた位置とし、その位置を基準としてもう一方へのRTKの基線ベクトルを求めます。そのベクトルから方位とピッチングが求められます。

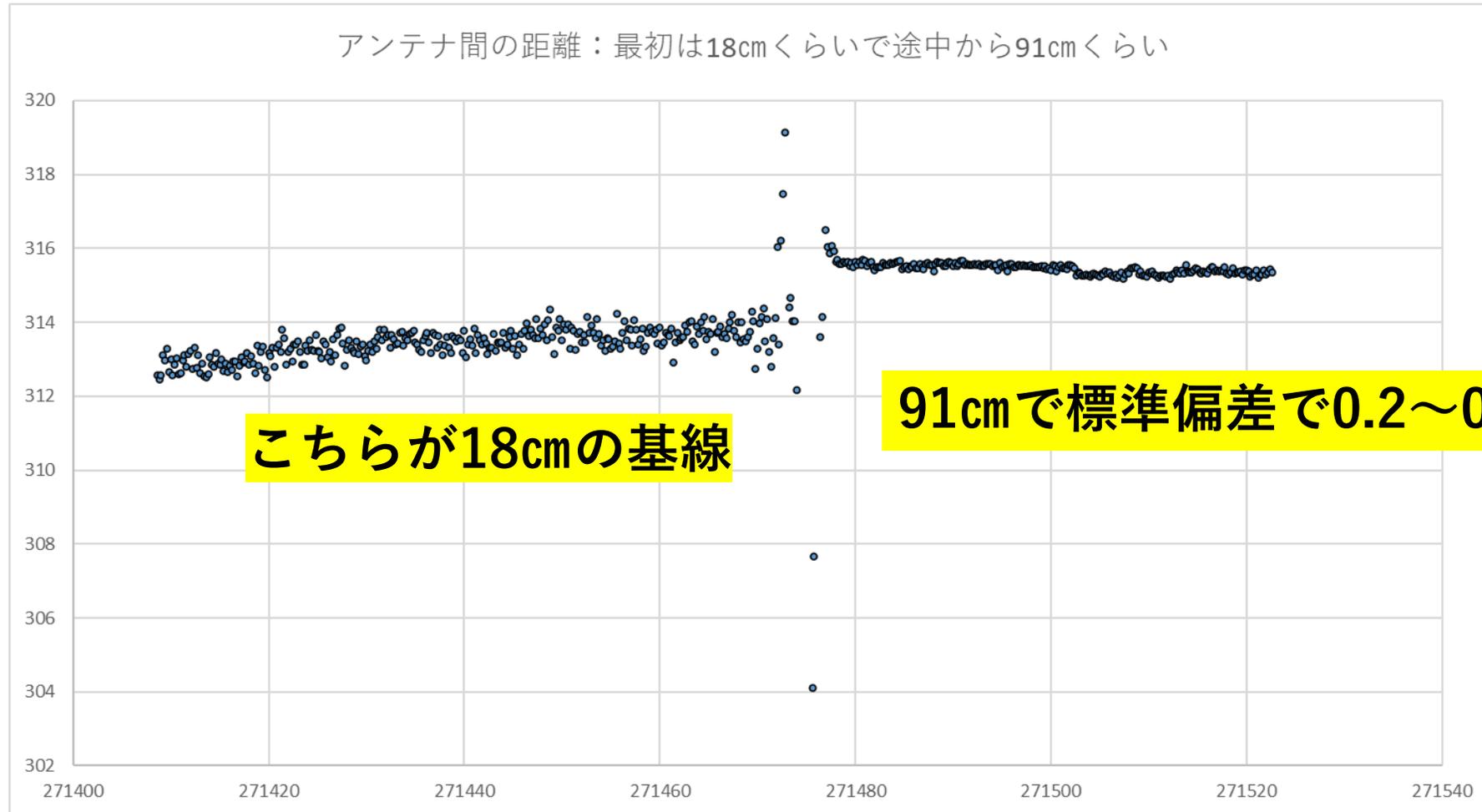


外部からの補正データは必要なく、2つのアンテナ間の観測データをやりとりしてこの基線でRTKを行います

実験



アンテナ間を離れたほうが精度がよい



RTKPOSTでの課題（対流圏の影響）

- 次に、**2021年7月か8月のいつの日のデータでもよい**ので2つの日を選んでください。1つは雨量がなかった日（--と表示）で、もう1つは雨量が**1時間で5mm以上**あった日です（みなさんの出身地付近のデータであればOK）。雨量の有無は気象庁のHP（次スライド）で可能です。
- その2つの日のRTKをこれまで同様に実施し、FIX率を比較します。もともと夏場は湿度が高いこともあり対流圏遅延量が大きくなるため、RTKのFIX率は下がる傾向（下がらないときもある）です。雨が降ったときにFIX率がどうなるかを調査するものです。
- 最後に、2022年1月1日のFIX率と、今回の2つのFIX率を比較します

<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>

こちらが気象庁のHPです

1つ目：24時間全てー

2つ目：24時間で1mm以上の時間帯がある

ホーム > 各種データ・資料 > 過去の気象データ検索 > 1時間ごとの値

1時間ごとの値

一覧表

グラフ

見出しの固定

前年 前月 前日 翌日 翌月 翌年

日ごとの値 1時間ごとの値 1

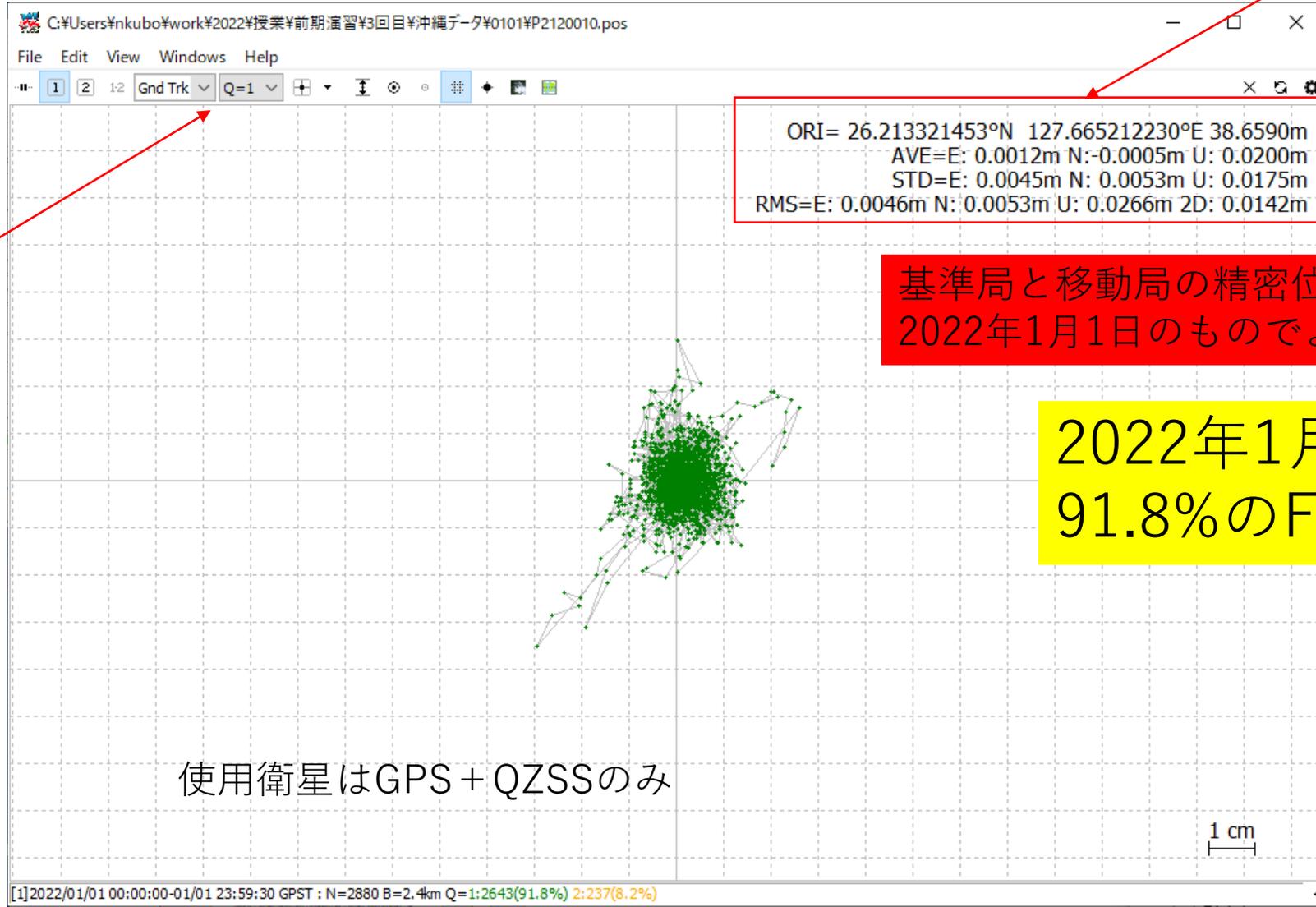
東京 2021年7月1日 (1時間ごとの値)

時	気圧(hPa)		降水量 (mm)	気温 (°C)	露点 温度 (°C)	蒸気圧 (hPa)	湿度 (%)	風向・風速(m/s)		日照 時間 (h)	全天 日射量 (MJ/m ²)	雪(cm)		天気	雲量	視程 (km)
	現地	海面						風速	風向			降雪	積雪			
1	1011.9	1014.7	0.0	20.9	20.4	24.0	97	1.3	北東			×	×			
2	1011.3	1014.1	0.0	21.3	20.1	23.6	93	3.0	南東			×	×			
3	1010.7	1013.5	1.5	20.6	20.4	24.0	99	0.9	北			×	×	●	10	5.00
4	1011.7	1014.5	2.0	20.8	20.8	24.6	100	3.6	南東		0.00	×	×			
5	1011.8	1014.6	3.5	20.4	20.4	24.0	100	1.8	南東	0.0	0.00	×	×			
6	1012.0	1014.8	5.0	20.4	20.4	24.0	100	2.1	南南東	0.0	0.02	×	×	●	10	5.00
7	1012.0	1014.8	6.5	20.5	20.5	24.1	100	1.6	東北東	0.0	0.04	×	×			
8	1012.0	1014.8	9.0	20.5	20.5	24.1	100	1.7	東北東	0.0	0.05	×	×			
9	1011.9	1014.7	13.5	20.6	20.6	24.3	100	2.1	南東	0.0	0.05	×	×	●	10	3.00
10	1010.2	1013.0	12.0	20.5	20.3	23.9	99	4.0	東	0.0	0.11	×	×			

那覇と那覇Pの例

Optionでフォント大きくできます
Font Tahomaのところ

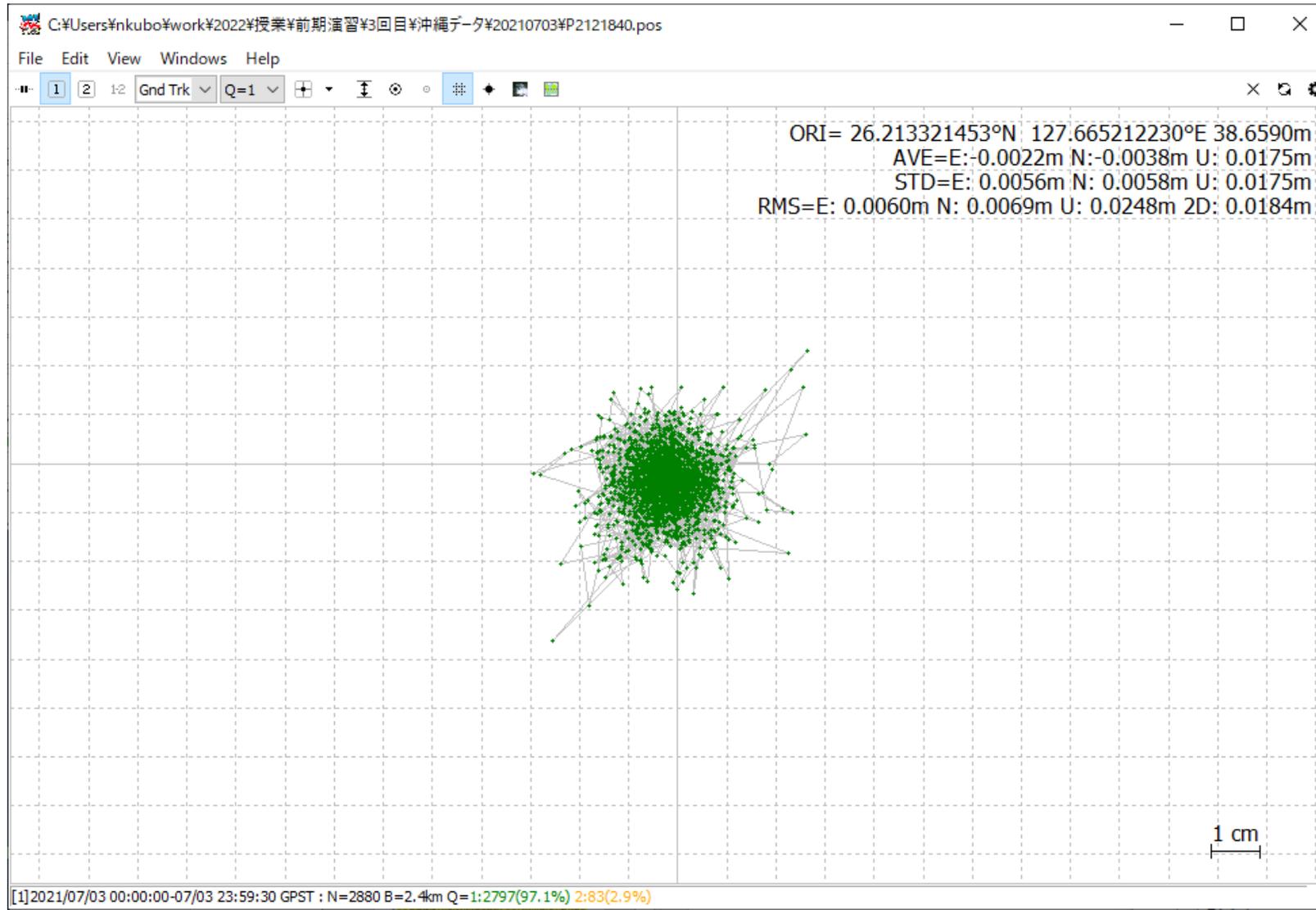
Q = 1 の指定



基準局と移動局の精密位置は、すべてこの
2022年1月1日のものでよいです！

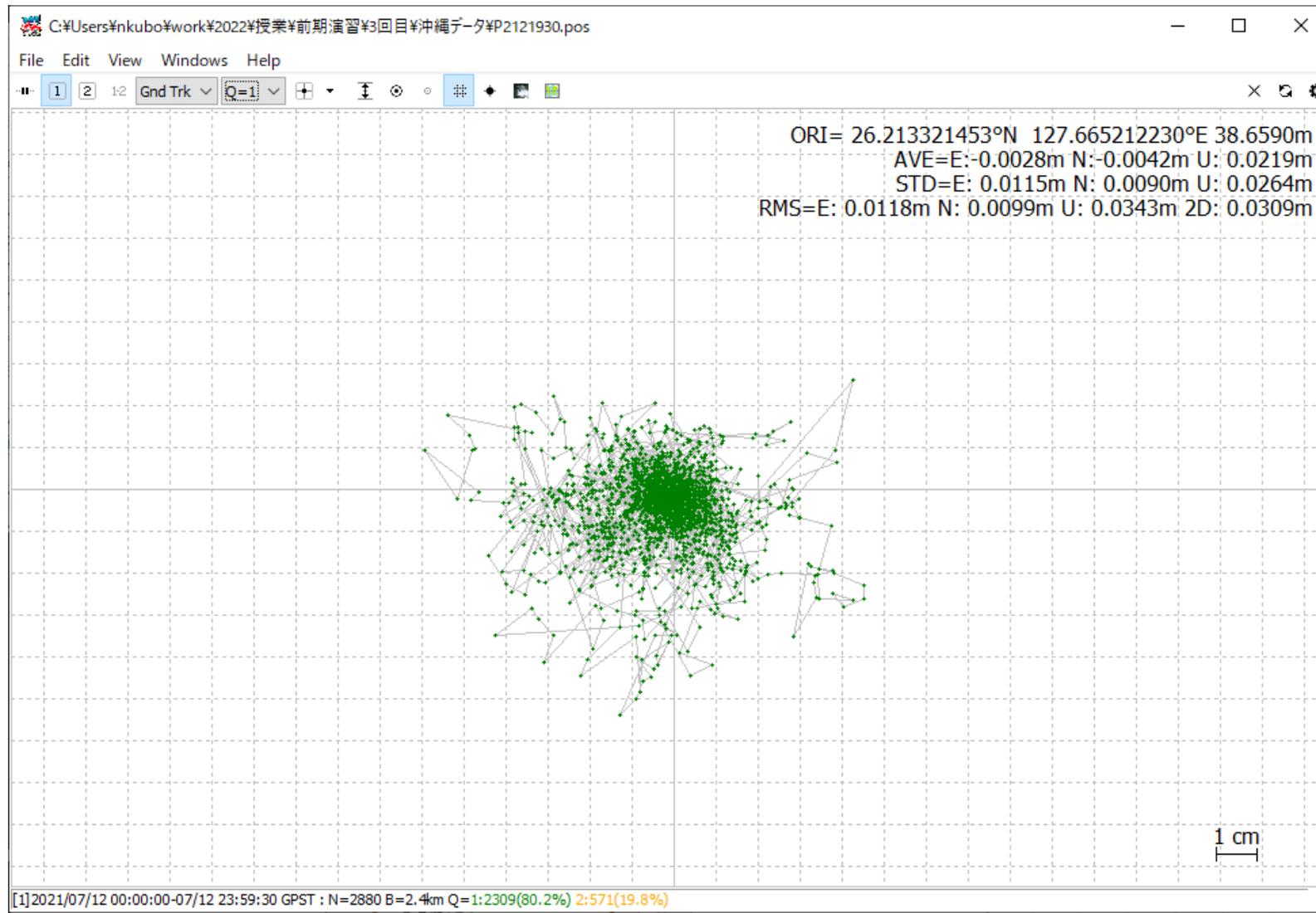
2022年1月1日
91.8%のFIX (Q=1)

2021年7月3日 (降水量0)



97.1%のFIX

2021年7月12日 (降水量多い日)



80.2%のFIX

まとめ

那覇→P那覇	1時間の最大降水量	FIX率
2022年1月1日	0mm	91.8%
2021年7月3日	0mm	97.1%
2021年7月12日	14.0mm	80.2%

この情報は必ず同じように明記すること！

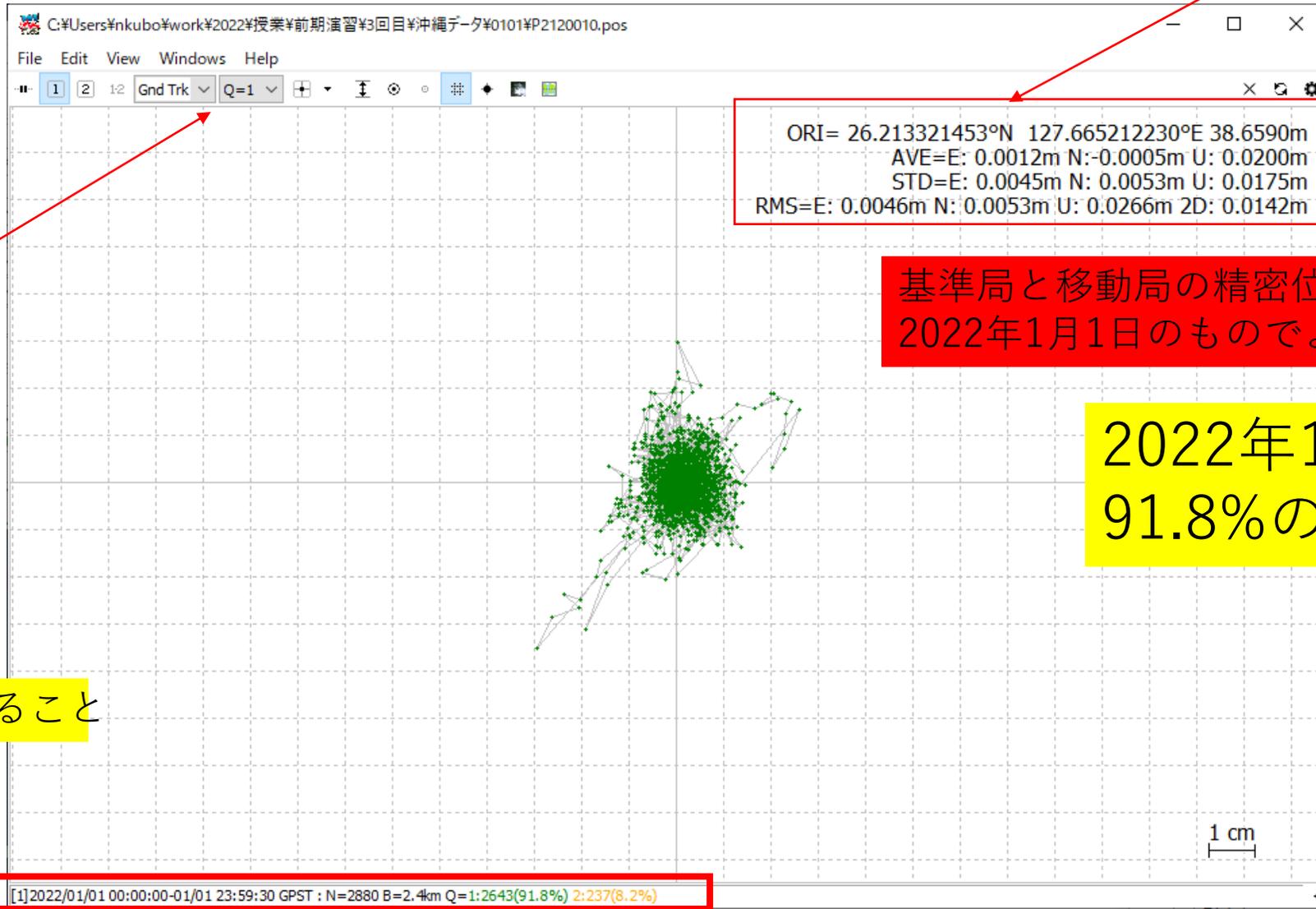
RTKPOSTでの課題（季節変動の有無）

- みなさんの設定した基準局及び移動局において、今回は12か月分の変動を見ることにします。RTKの測位結果に季節変動があるのかないのかをざっとですが調査します
- 2021年度の12か月とします
- すでに2021年度の7, 8月のどちらかは終わっていると思うので、その月は計算しなくてよいです
- 2021年1月から12月まで降雨のない日のGEONETでデータを収集し、RTKPOSTでRTKを行います。基本は月始めの1日としてください
- そして各月のFIX率をグラフにします。各月の水平プロット図は12枚分貼り付けてください

那覇と那覇Pの例

Optionでフォント大きくできます
Font Tahomaのところ

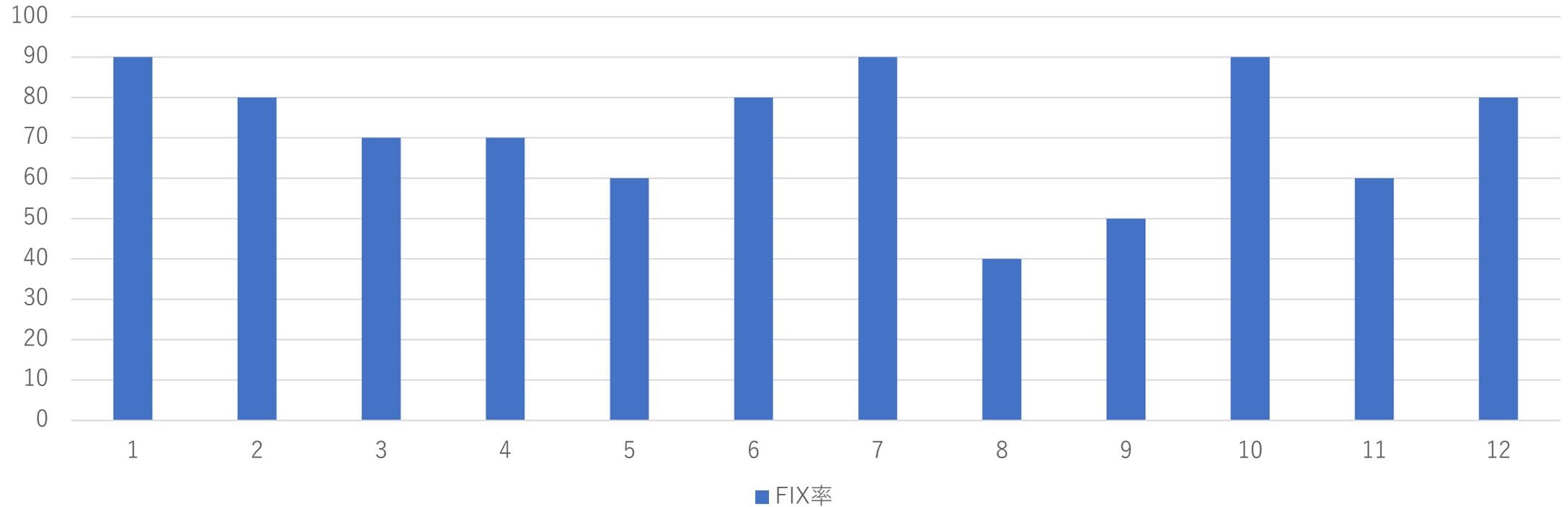
Q = 1 の指定



この情報も含めること

12か月分のFIX率グラフ

2021年度のFIX率（%）の変動（基準局名と移動局名）



使用衛星はGPS + QZSSのみ

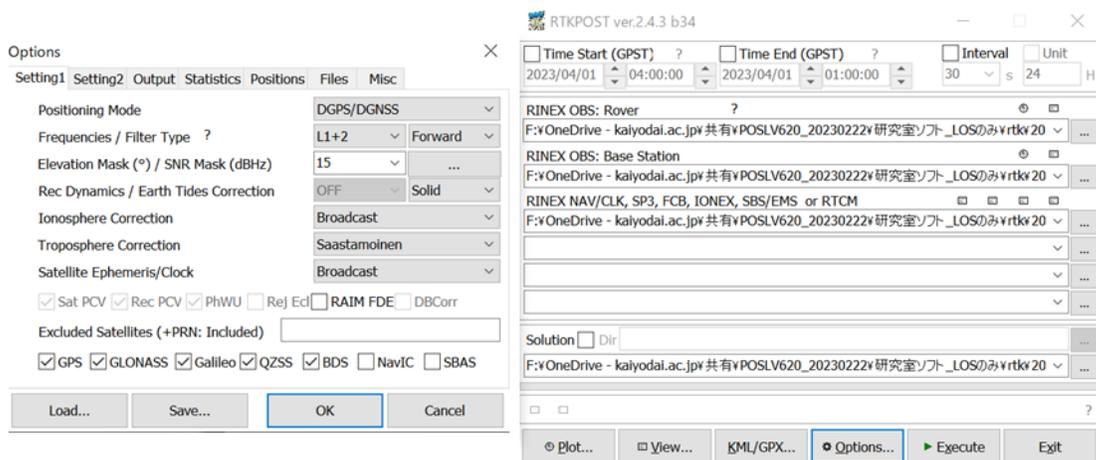
那覇と那覇Pでの例（2021年度）

RTKPOSTに別手法を組み込んだ例

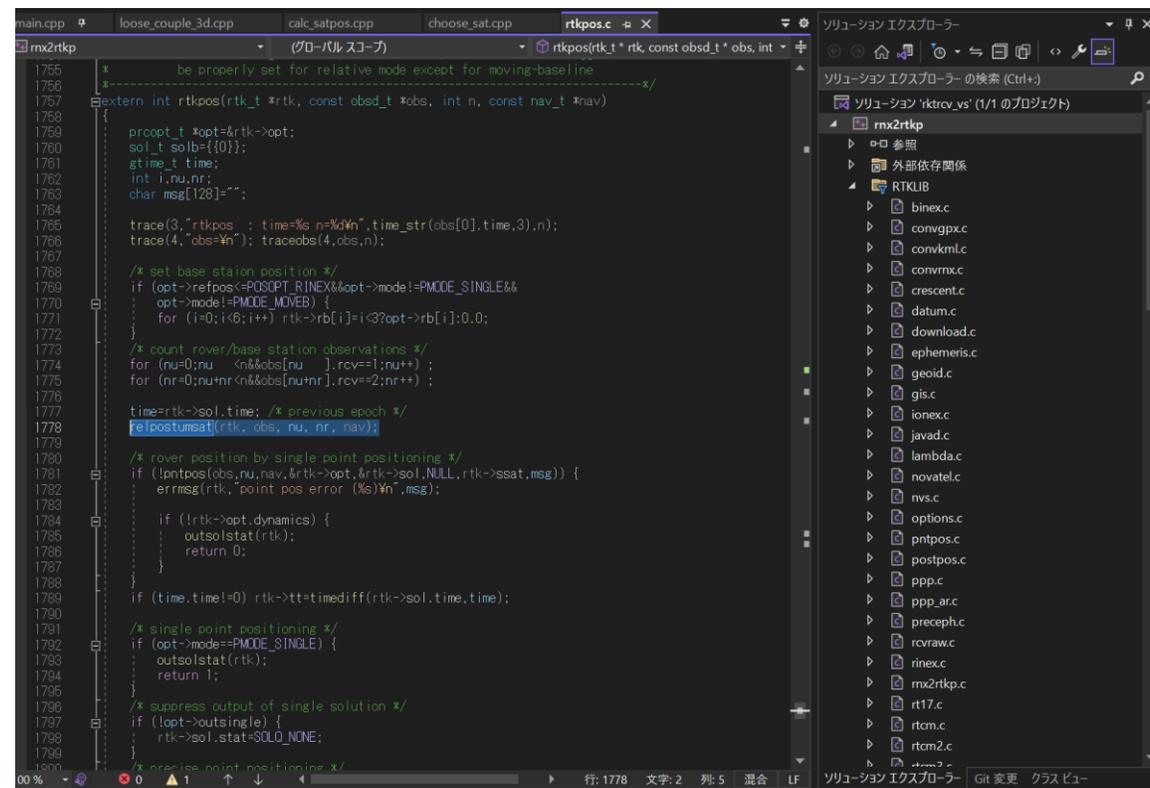
- 尾関君担当

RTKPOSTへの組み込み

- RTKPOST(GUI版), rnx2rtkp(CUI版)は汎用的な解析ソフト
- 特に移動体(自動車)で性能を出すためにはOptionsのチューニングが必要&一部ソースの改良
→これまで研究室で培ってきた技術を組み込む
- rtkpos.cのrtkpos内で呼び出しているrelposを研究室で開発してきたソースを移植

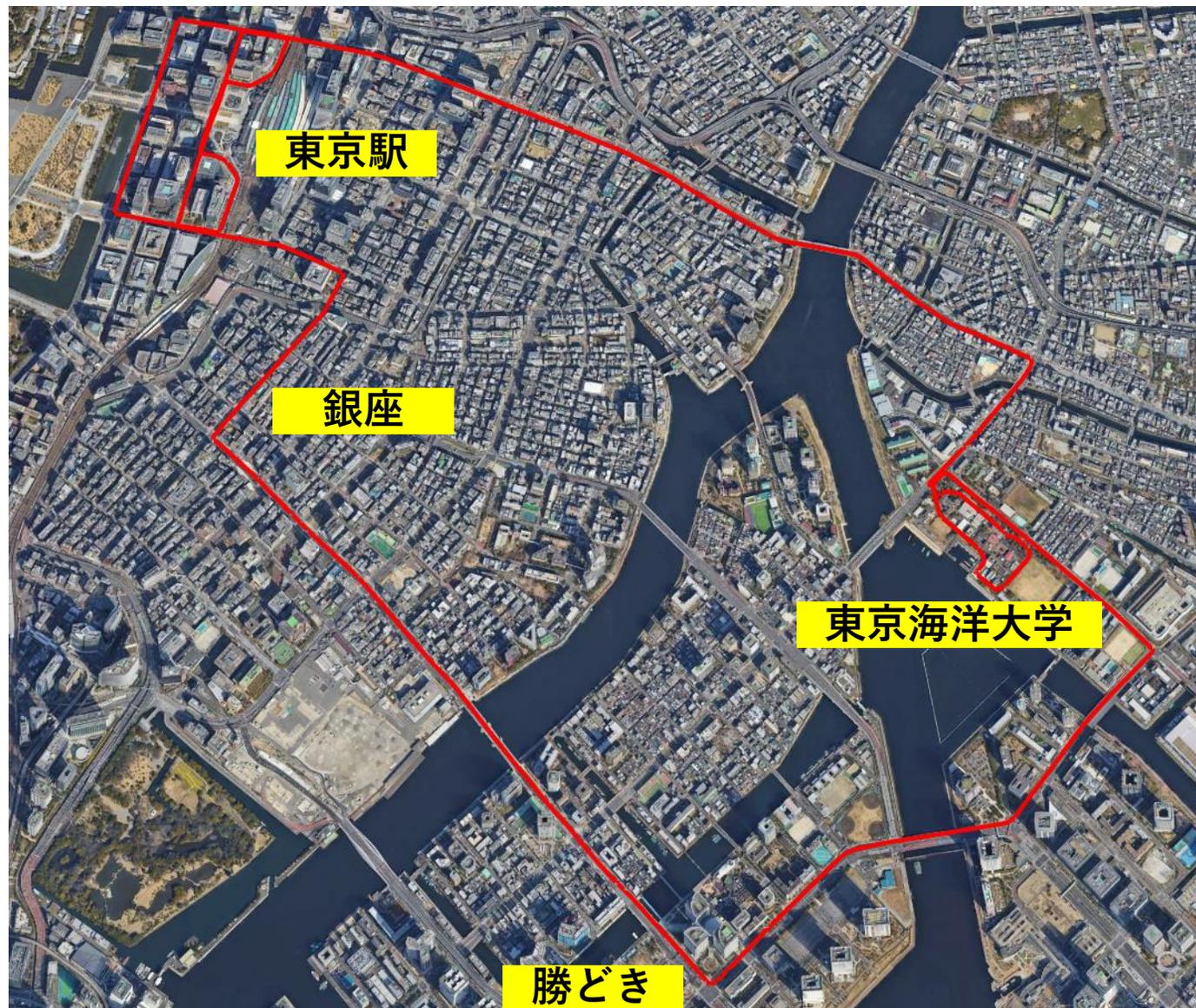


GUI版(Windows)

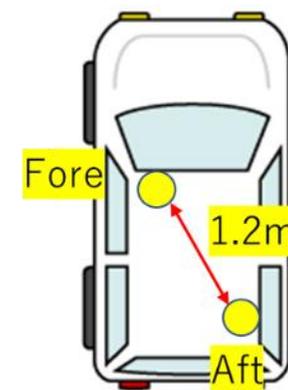
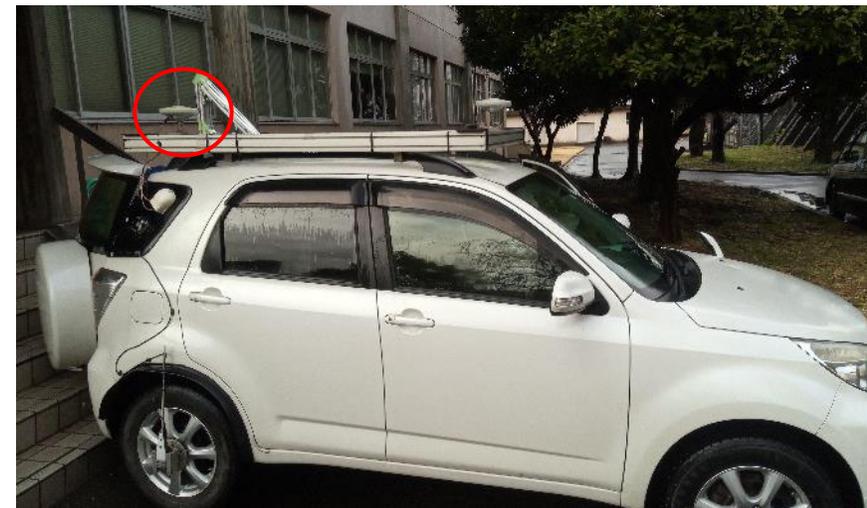


CUI版

使用データ



日時：2月22日9時58分～10時58分
POSLV620,F9P,X5,NetR9を設置



リファレンスデータについて

- POSLV620を使用
Trimble社のGNSS受信機+FOG+DMIで構成
- 今回使用するデータでは、丸の内付近で最大2分程度Fix解が得られない区間が存在
→GNSS OUTAGEがリファレンスの精度を決める必要な指標
- MEMSを使用している220,420と比べると、GNSS OUTAGEに強い
(加速度の精度が格段に良い)
- 普段研究室で使用しているPOSLVXの場合、高層ビル街では推定誤差(SD)が大きく、
リファレンスとして信用できるかは注意が必要



PERFORMANCE SPECIFICATIONS - WITH GNSS*

POSLV	220 PP	220 IARTK	220 DGPS	410/420 PP	410/420 IARTK	410/420 DGPS	610/620 PP	610/620 IARTK	610/620 DGPS
X,Y Position (m)	0.020	0.020	0.300	0.020	0.020	0.300	0.020	0.020	0.300
Z Position (m)	0.030	0.030	0.500	0.030	0.030	0.500	0.030	0.030	0.500
Roll & Pitch (deg)	0.015	0.020	0.020	0.008	0.015	0.015	0.0025	0.005	0.005
True Heading (deg)	0.025	0.050	0.050	0.020	0.020	0.020	0.015	0.020	0.020

PERFORMANCE SPECIFICATIONS - GNSS OUTAGE, 60 SECONDS*

POSLV	220 PP	220 IARTK	220 DGPS	410/420 PP	410/420 IARTK	410/420 DGPS	610/620 PP	610/620 IARTK	610/620 DGPS
X,Y Position (m)	0.240	0.690	0.880	0.120	0.340	0.450	0.100	0.280	0.410
Z Position (m)	0.130	0.350	0.610	0.100	0.270	0.560	0.070	0.100	0.510
Roll & Pitch (deg)	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.0025	0.005	0.005
True Heading (deg)	0.030	0.070	0.070	0.020	0.030	0.030	0.015	0.020	0.020

POSLVX

PERFORMANCE SPECIFICATIONS* (RMS ERROR)

No GNSS outages, standard road vehicle dynamics

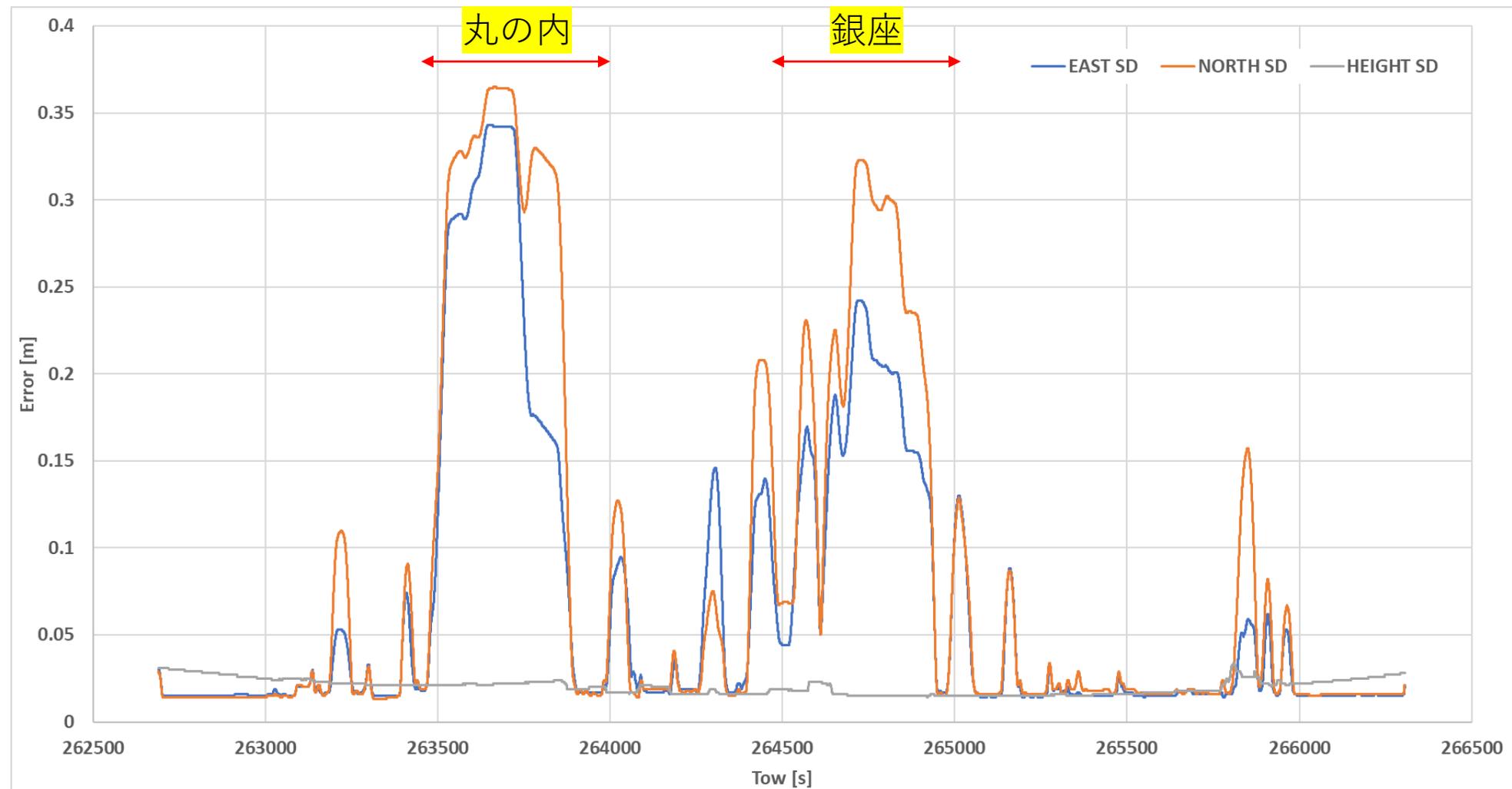
	SPS	DGPS	RTK	Post-Processed
Position (m)	1.5 H	0.1 H	0.02 H	0.02 H
	3.0 V	0.5 V	0.05 V	0.05 V
Roll & Pitch (deg)	0.04	0.03	0.03	0.025
True Heading [§] (deg)	0.12	0.09	0.09	0.06

1 km or 1 minute GNSS outage, standard road vehicle dynamics[§]

	SPS	DGPS	RTK	Post-Processed
Position (m)	2.0 H	2.0 H	1.0 H	0.80 H
	5.0 V	3.0 V	2.0 V	0.20 V
Roll & Pitch (deg)	0.09	0.09	0.09	0.05
True Heading [§] (deg)	0.35	0.35	0.30	0.20

※610と620の違いは、GNSSアンテナの数(方位精度向上及び初期化時間の短縮に貢献)

リファレンスデータについて



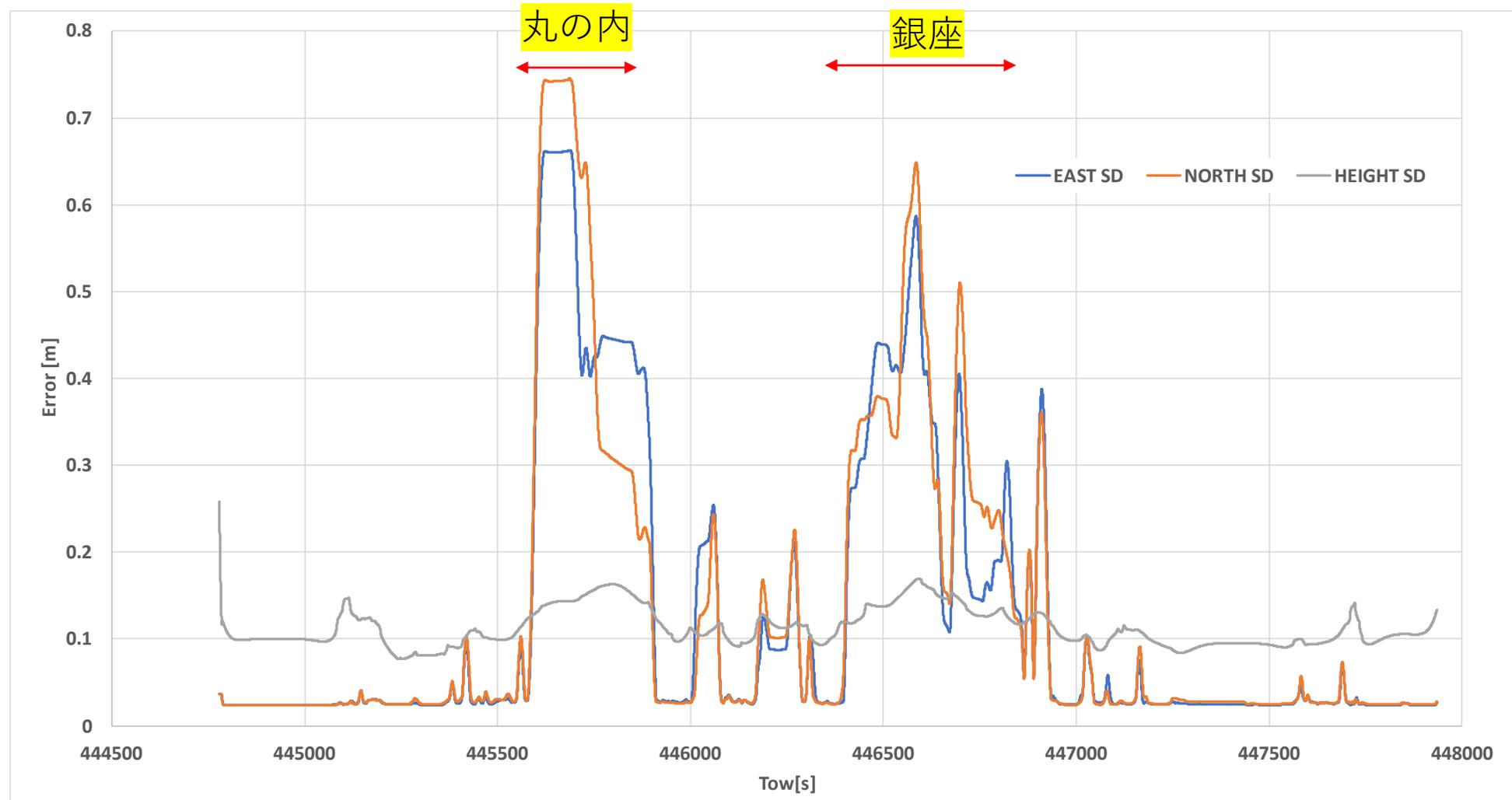
POSLV620で取得したデータをPosPacで処理

PosPac自身が推定した測位解の誤差(SD)を時系列表示

PosPac処理時のFix率は60%、測位環境が厳しい丸の内、銀座付近でSDが大きい

高度方向のみSDが非常に小さい

POSLVXの場合



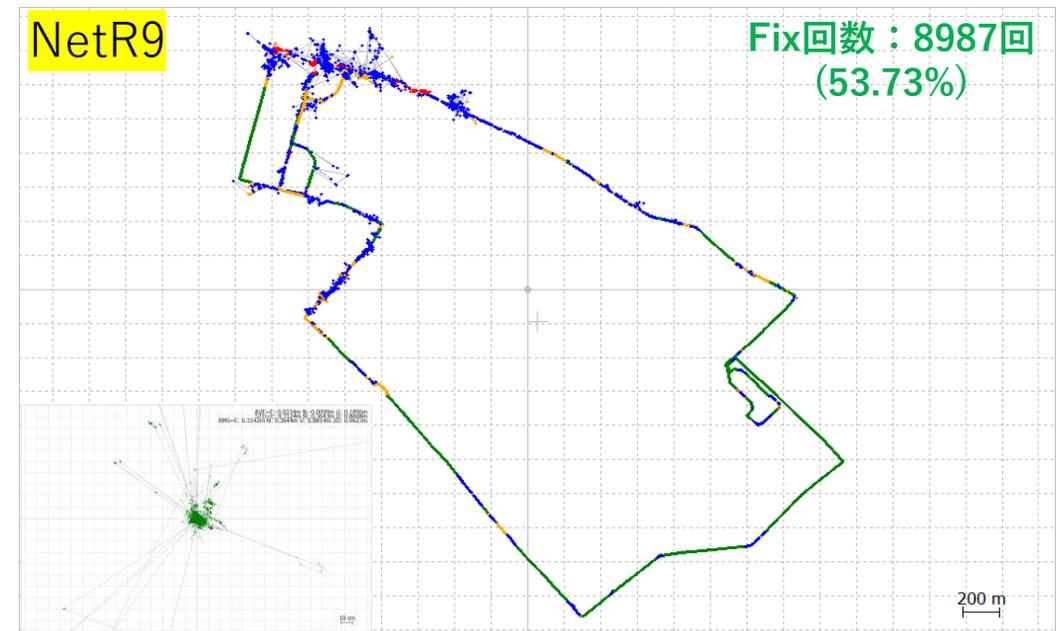
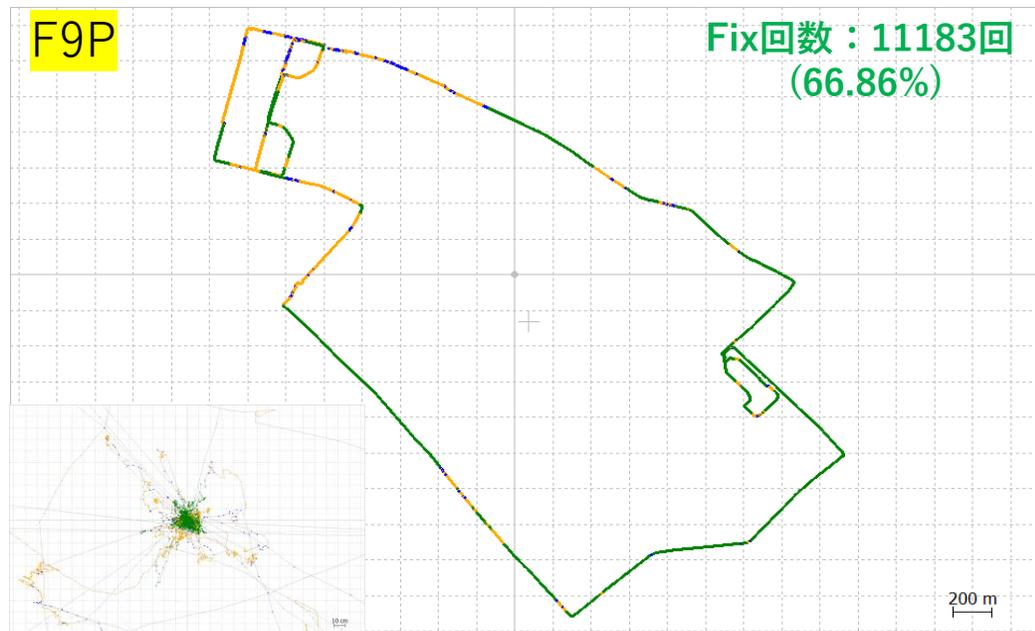
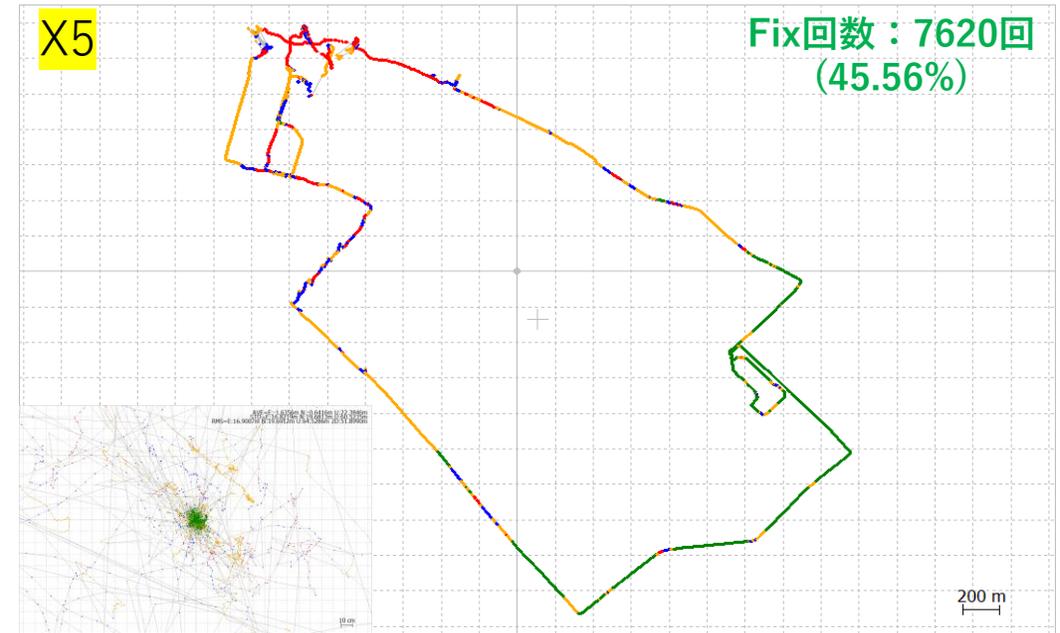
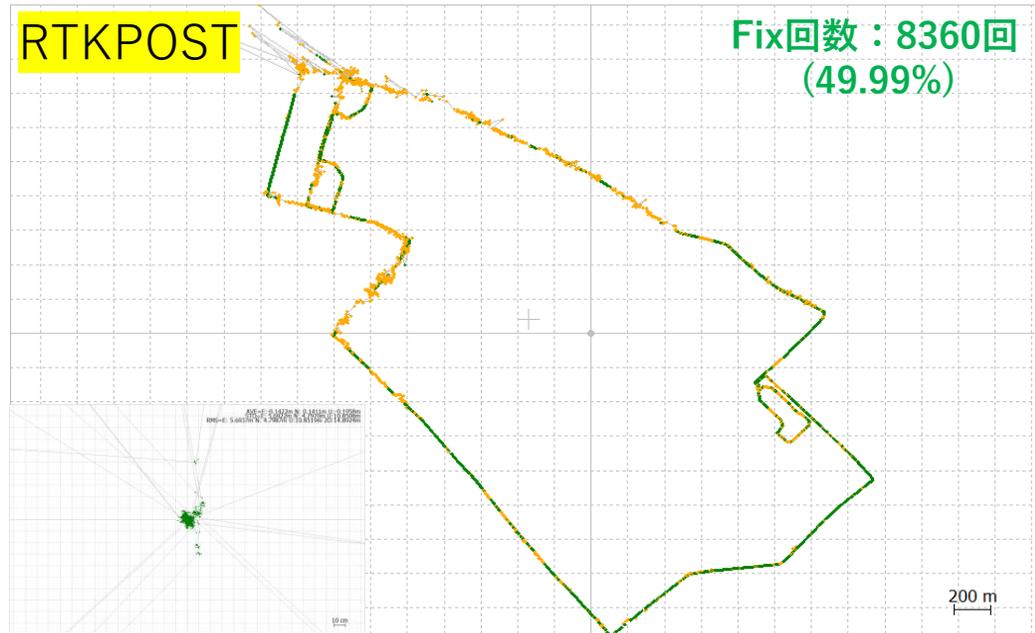
別日に取得したPOSLVXでの処理結果

丸の内付近で0.7m程度の水平誤差が出ており、MEMSとFOGの差が分かりやすい
逆にそれ以外の区間では大きな差は無いように見える(当然DOPの違いもある)

高度方向に関しては、全区間で明らかに620のほうが良い
(FOGを使用することで拘束を強くかけられるため?)

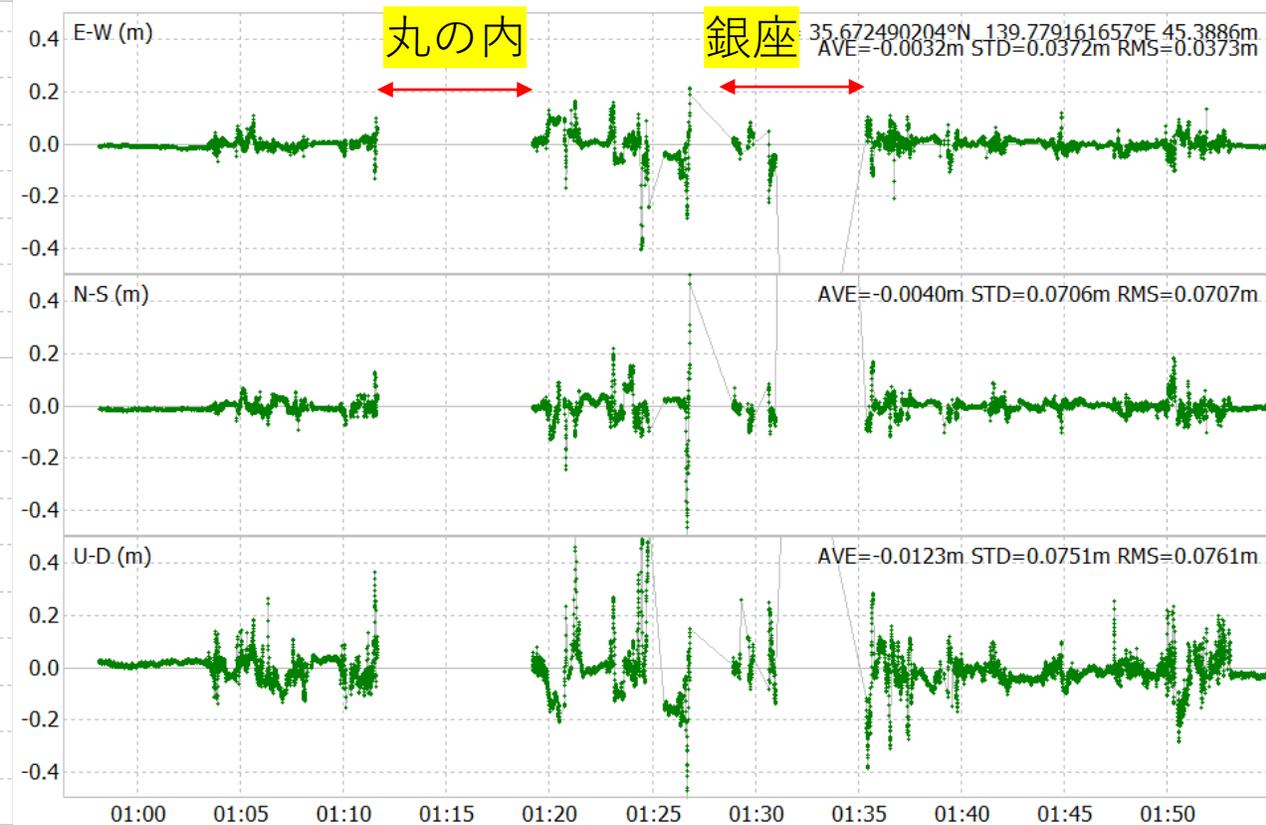
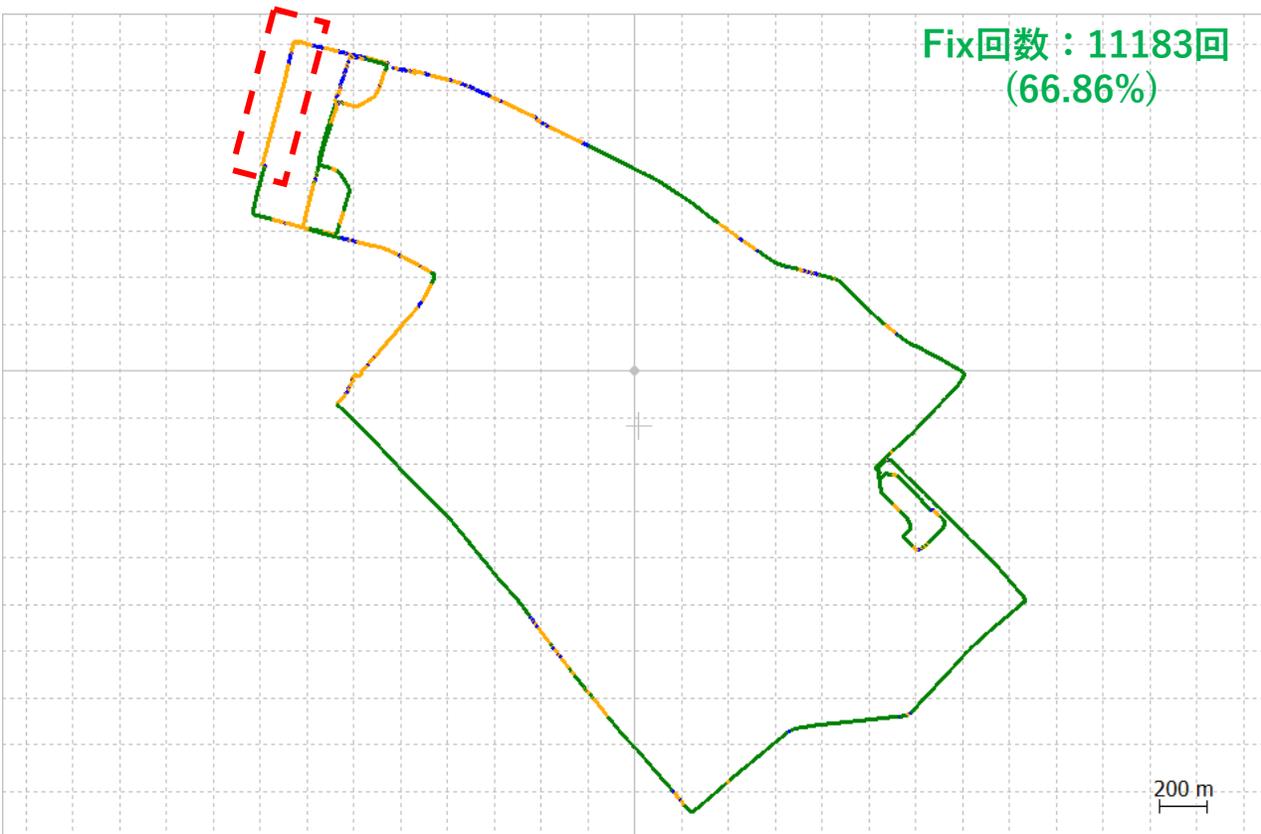
各種RTK結果

※RTKPOST：移動局、観測局共にF9Pの観測データで解析、X5：基準局はNetR9



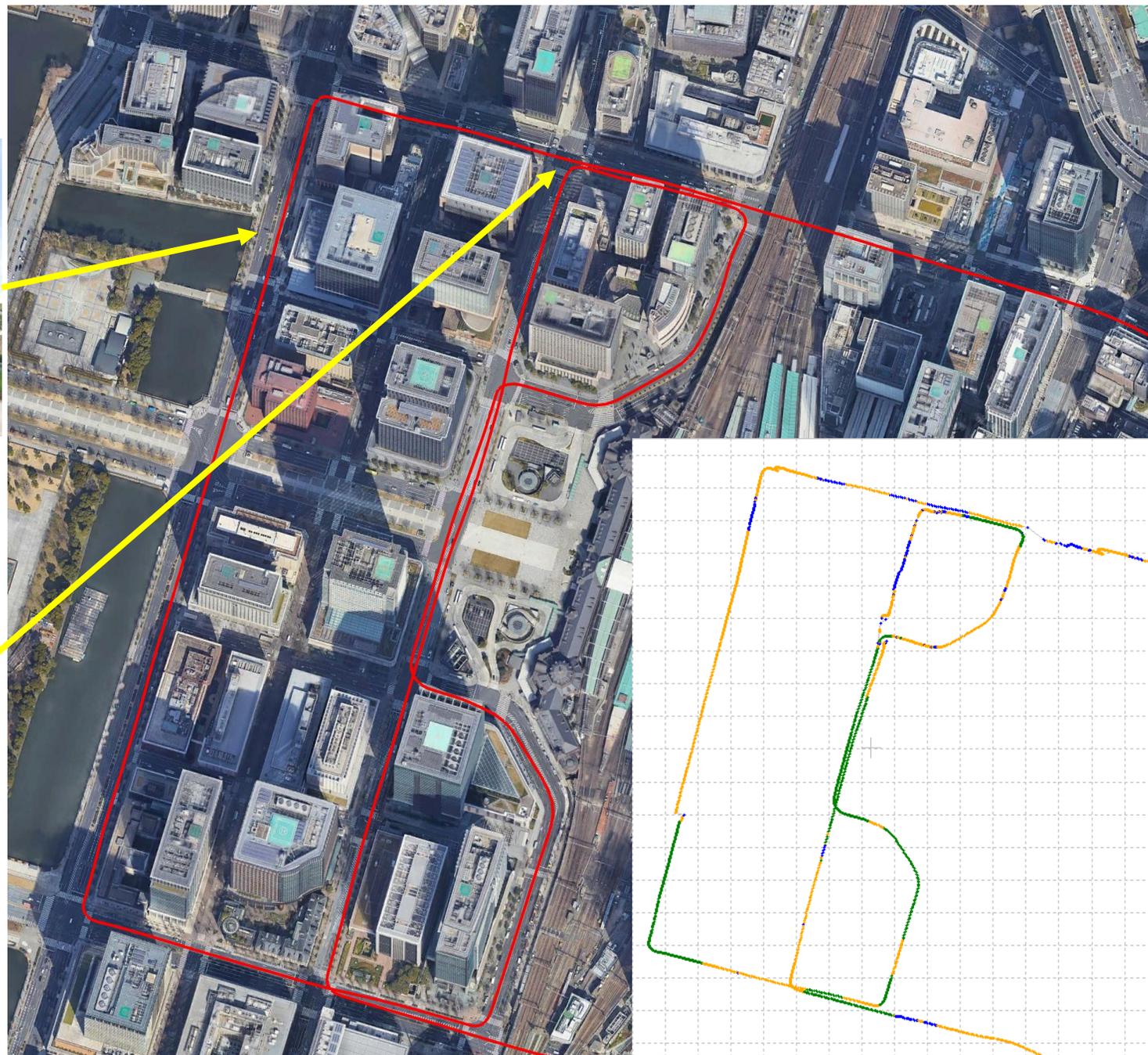
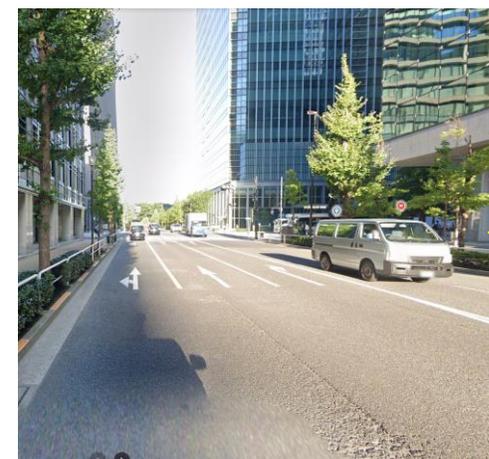
Fix率はFix回数/測位時間で定義(アンビギュティ決定の回数が不明なため)

F9P内蔵エンジンでのRTK結果

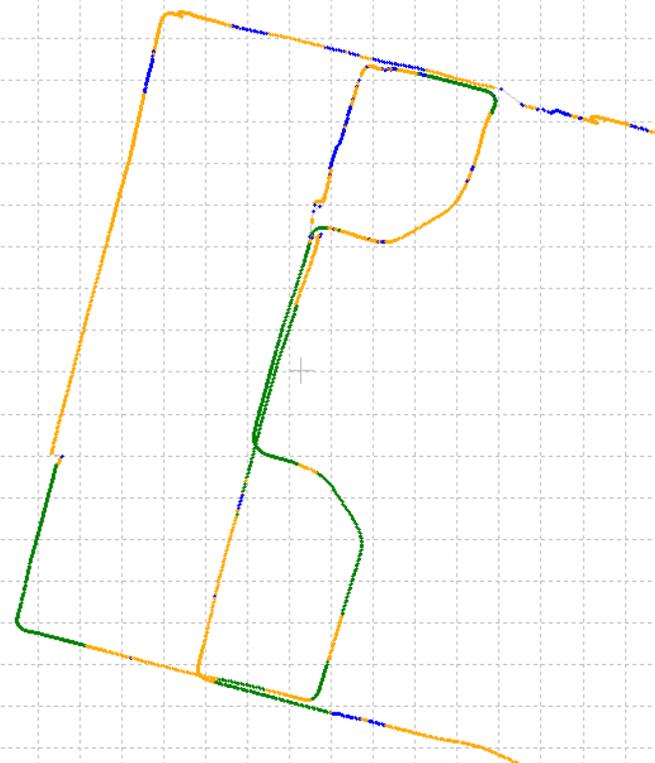


過去の実験の経験から、このコースにおけるF9Pでの標準的なFix率(DOPにより多少変動する)丸の内付近でFloat解に落ちた後に、Fix解がなかなか得られていない(F9Pのバグ)丸の内及び銀座付近では、当然Fix解が得られていない

丸の内でのバグ



Float解の精度が極端に悪くなると、Fix解への復帰が遅くなるケースを多く確認している



RTKPOST(b34)のチューニングについて

Integer Ambiguity Resについて

Instantaneous : 1エポックでAR(1エポックごとに初期化)

Continuous : 1エポック前推定したアンビギュイティの推定値と誤差共分散を使用してAR

Fix and Hold : Continuousで推定したアンビギュイティのうち、
一定条件を満たしたアンビギュイティをHOLDする(事実上固定値として扱う)

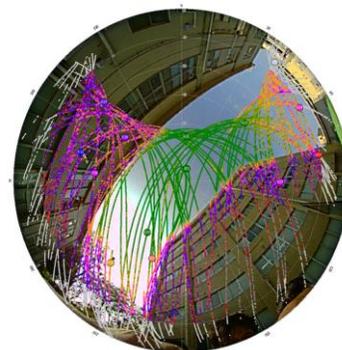
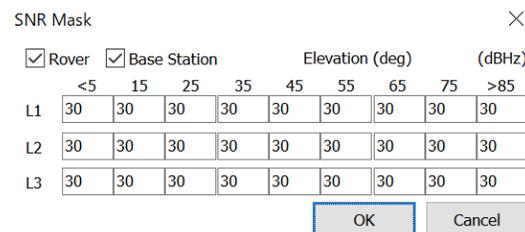
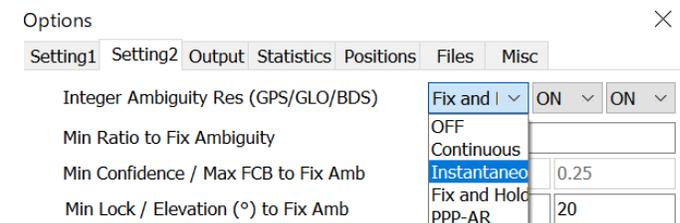
移動体ではInstantaneous、静止体ではFix and Holdが性能が良い傾向にある

(移動体は測位環境が頻繁に変化するのに対して、静止体はサイクルスリップを除けば比較的安定的)

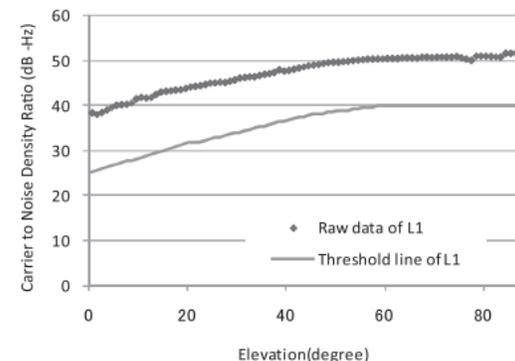
SNRマスクについて

SNRが高い信号ほどマルチパス誤差の少ない傾向(高層ビル街における静止体では例外も)

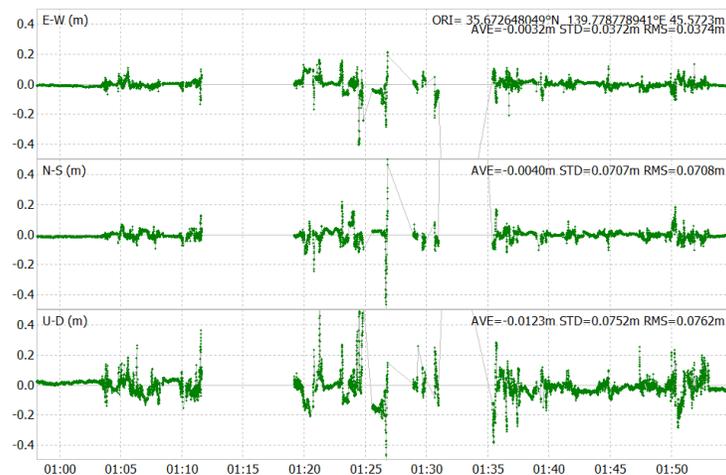
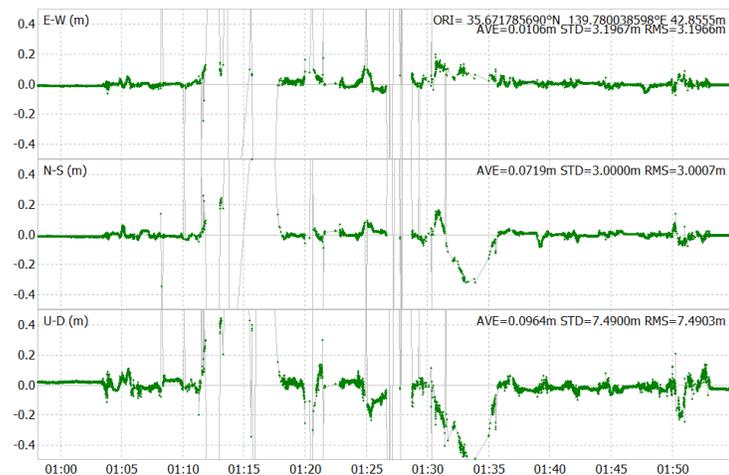
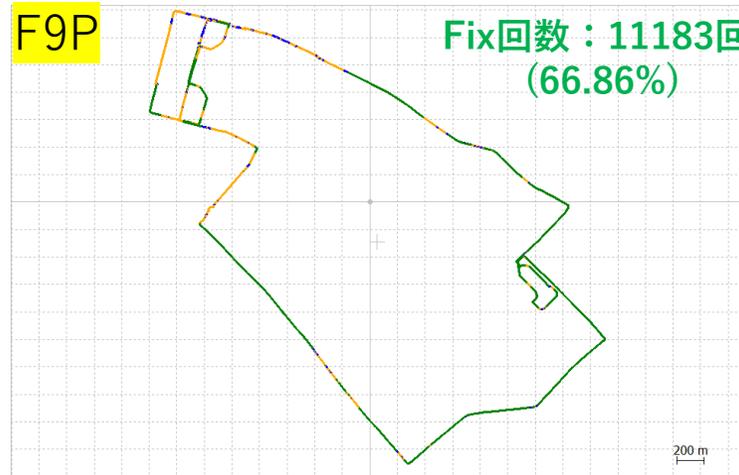
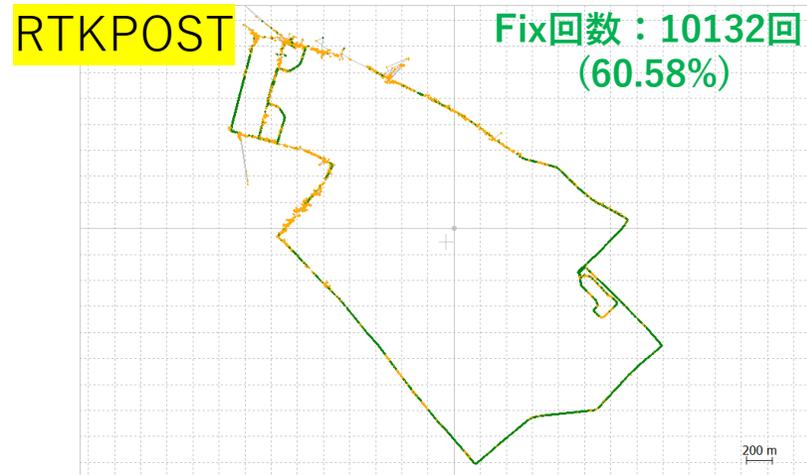
SNRマスク	30dB	31dB	32dB	33dB	34dB	35dB	36dB	37dB	38dB	39dB
Fix回数	7001回	7282回	7587回	7911回	8348回	8916回	9451回	9801回	10214回	10572回



SNR=...45...40...35...30...25 <25



RTKPOST(チューニング後)



Options

Setting1 Setting2 Output Statistics Positions Files Misc

Positioning Mode Kinematic

Frequencies / Filter Type ? L1+2 Forward

Elevation Mask (°) / SNR Mask (dBHz) 15 ...

Rec Dynamics / Earth Tides Correction OFF OFF

Ionosphere Correction Broadcast

Troposphere Correction Saastamoinen

Satellite Ephemeris/Clock Broadcast

Sat PCV Rec PCV PhWU Rej Ecl RAIM FDE DBCorr

Excluded Satellites (+PRN: Included)

GPS GLONASS Galileo QZSS BDS NavIC SBAS

Load... Save... OK Cancel

Options

Setting1 Setting2 Output Statistics Positions Files Misc

SNR Mask

Rover Base Station Elevation (deg) (dBHz)

	<5	15	25	35	45	55	65	75	>85
L1	40	40	40	40	40	40	40	40	40
L2	40	40	40	40	40	40	40	40	40
L3	40	40	40	40	40	40	40	40	40

OK Cancel

Options

Setting1 Setting2 Output Statistics Positions Files Misc

Integer Ambiguity Res (GPS/GLO/BDS) Instanta ON ON

Min Ratio to Fix Ambiguity 3

Min Confidence / Max FCB to Fix Amb 0.9999 0.25

Min Lock / Elevation (°) to Fix Amb 10 20

Min Fix / Elevation (°) to Hold Amb 20 20

Outage to Reset Amb/Slip Thres (m) 5 0.050

Max Age of Diff (s) / Sync Solution 30.0 ON

Reject Threshold of GDOP/Innov (m) 30.0 30.0

Max # of AR Iter/# of Filter Iter 1 1

Baseline Length Constraint (m) 0.000 0.000

Load... Save... OK Cancel

Options

Setting1 Setting2 Output Statistics Positions Files Misc

Measurement Errors (1-sigma)

Code/Carrier-Phase Error Ratio L1/L2	100.0	100.0
Carrier-Phase Error a+b/sinE (m)	0.003	0.003
Carrier-Phase Error/Baseline (m/10km)	0.000	
Doppler Frequency (Hz)	10.000	

Process Noises (1-sigma/sqrt(s))

Receiver Accel Horiz/Vertical (m/s2)	1.00E+01	1.00E+01
Carrier-Phase Bias (cycle)	1.00E-04	
Vertical Ionospheric Delay (m/10km)	1.00E-03	
Zenith Tropospheric Delay (m)	1.00E-04	
Satellite Clock Stability (s/s)	5.00E-12	

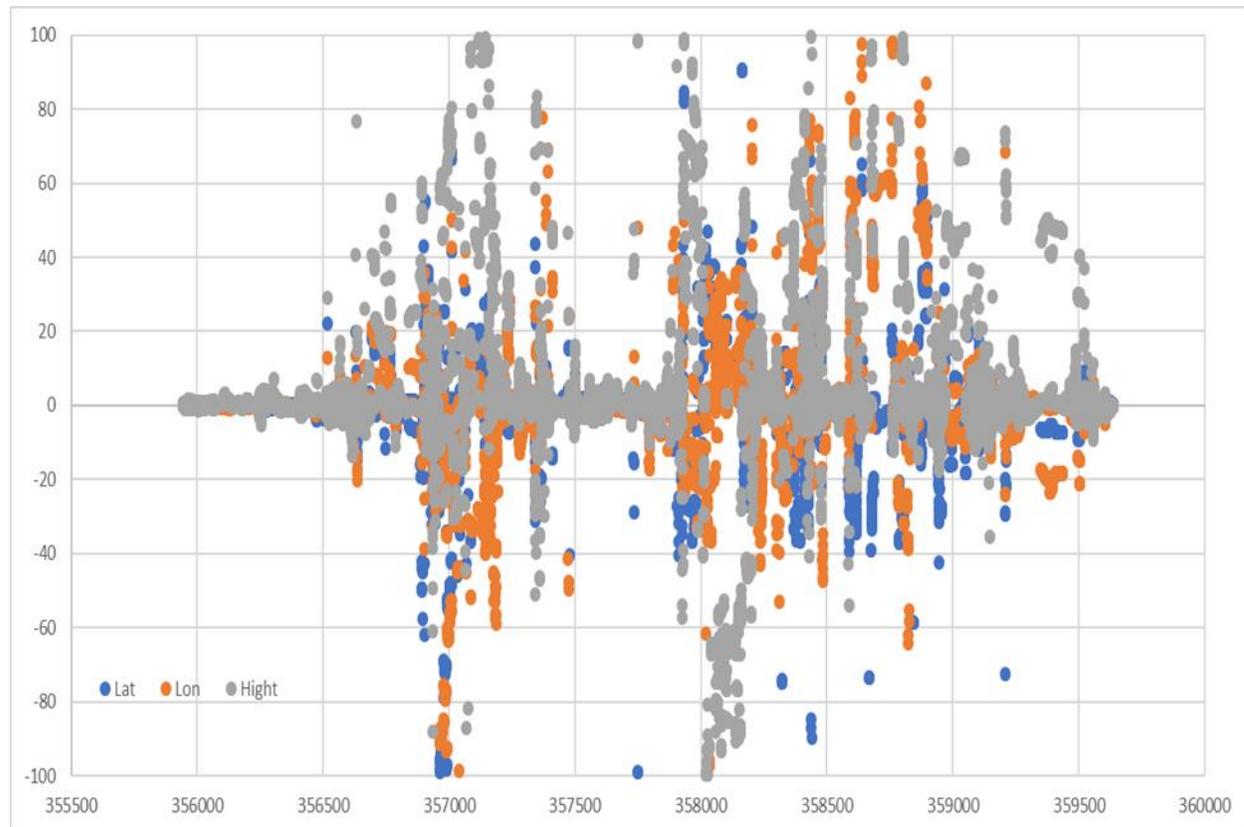
Load... Save... OK Cancel

F9Pと比べると、Fix回数が少なくミスFixが多い印象

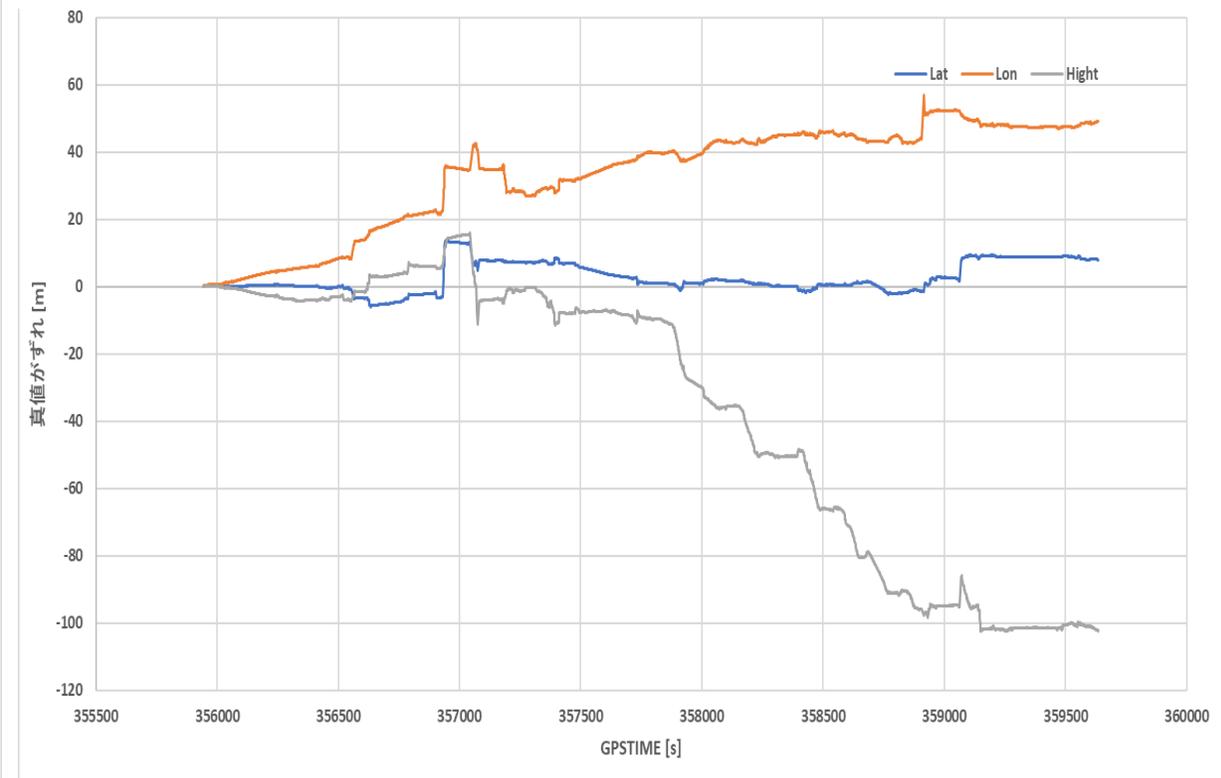
※あくまで解析の一例で、もう少し時間をかければよい結果が得られる可能性も
例えば特定の衛星排除(マルチパス誤差を強く受けている)

速度推定値を利用したややスムーズな解

DGNSS測位結果



初期位置のみDGNSSを使用し、
ドップラー周波数より推定した速度を積分



丸の内のようなマルチパス環境では擬似距離より、搬送波位相のほうがより信用できる

速度推定値を利用したややスムーズな解

- DGNSSとドップラー速度をカルマンフィルタを用いてカップリング

- 基本システム

$$\begin{aligned} \text{状態方程式: } & x_{k+1} = Fx_k + Gw_k & x_k & : \text{状態ベクトル} & F & : \text{状態遷移行列} \\ \text{観測方程式: } & y_k = Hx_k + R_k & w_k & : \text{状態雑音} & G & : \text{状態雑音行列} \\ & & y_k & : \text{観測ベクトル} & H & : \text{観測行列} \\ & & R_k & : \text{観測雑音} & & \end{aligned}$$

- パラメータ設定

時刻 t_k における移動体の状態を以下のように定義

位置： $(X(k), Y(k), Z(k))$ 、速度： $(V_x(k), V_y(k), V_z(k))$ 、加速度： $(a_x(k), a_y(k), a_z(k))$

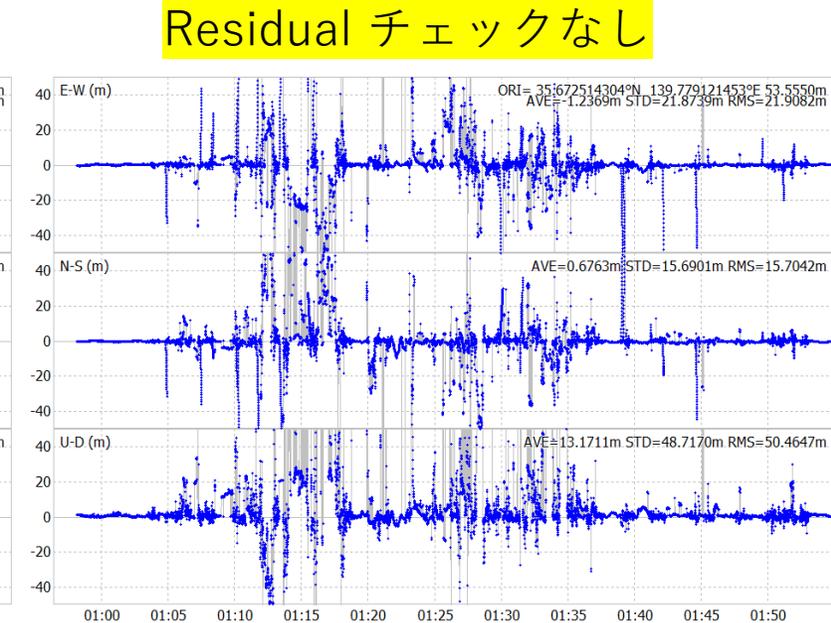
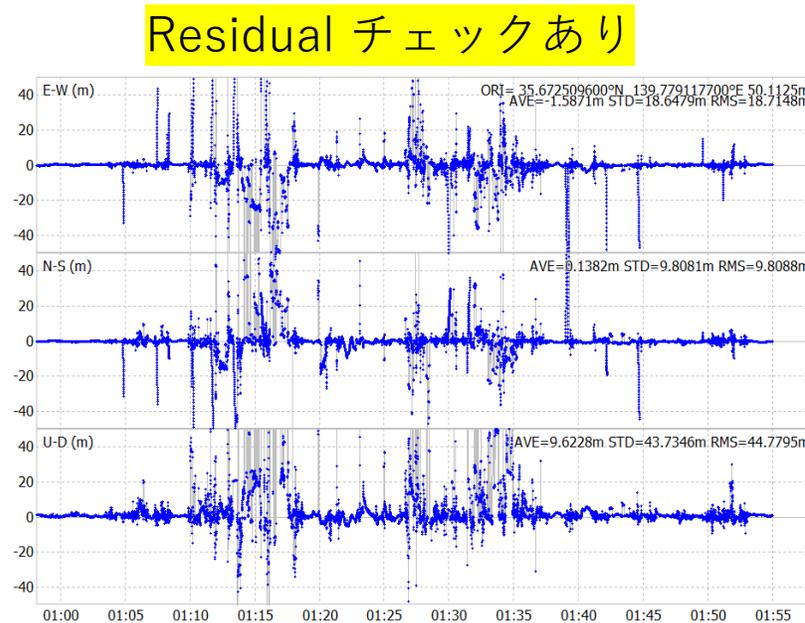
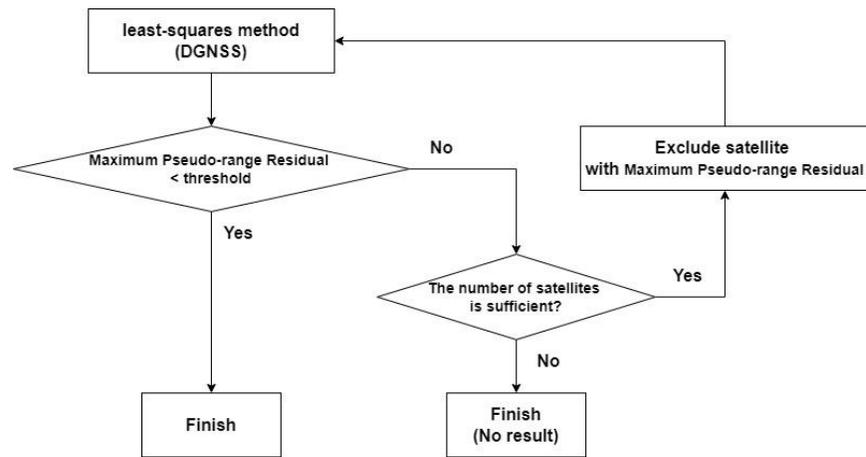
状態ベクトル： $x_k = [X(k), Y(k), Z(k), V_x(k), V_y(k), V_z(k), a_x(k), a_y(k), a_z(k)]^T$

観測ベクトル： $y_k = [X_{obs}(k), Y_{obs}(k), Z_{obs}(k), V_{x_{obs}}(k), V_{y_{obs}}(k), V_{z_{obs}}(k)]^T$

観測雑音： $R_k = [20^2, 20^2, 20^2, 20^2, 0.05^2, 0.05^2, 0.05^2]^T$

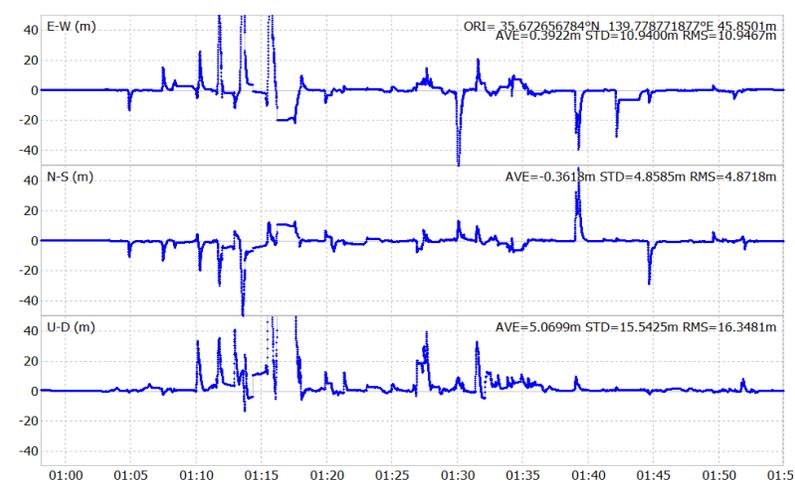
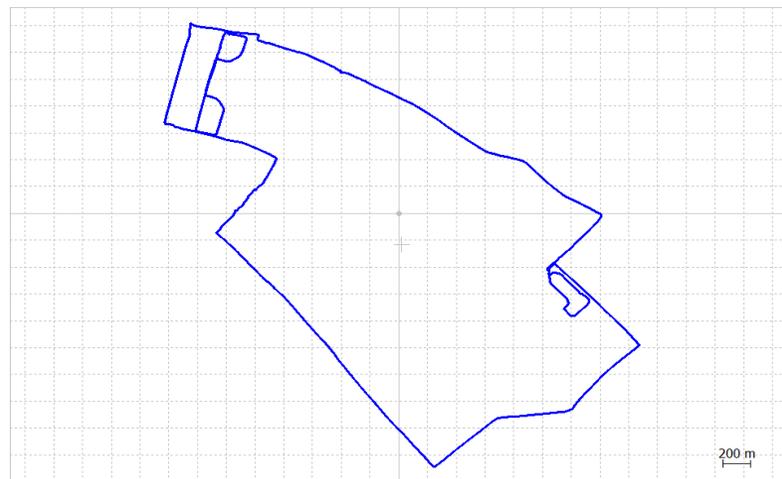
DGNSS測位解の向上

- カップリング観測値(コード測位結果 & ドップラー速度)が良いと、カップリング結果も向上
→DGNSS測位結果の向上が必要
- マルチパス環境下でのコード測位の精度向上方法を多くある(ex. SNRマスク,適切な重みづけ…)
→事後残差が大きい観測値を測位演算から排除する手法はかなり効果的(Residual チェック)
- 以下の比較はResidual チェックを5回したときの誤差比較
丸の内のようなマルチパス環境では観測した衛星の半分がNLOSという状況もあり得るので、5回以上でも効果○

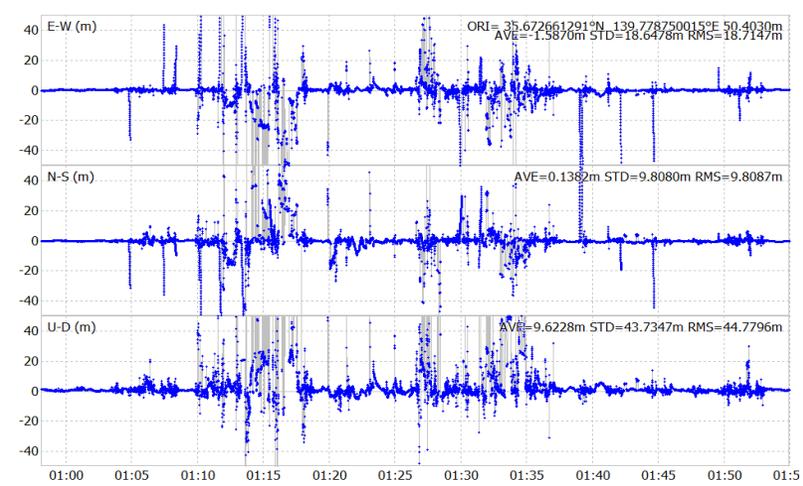
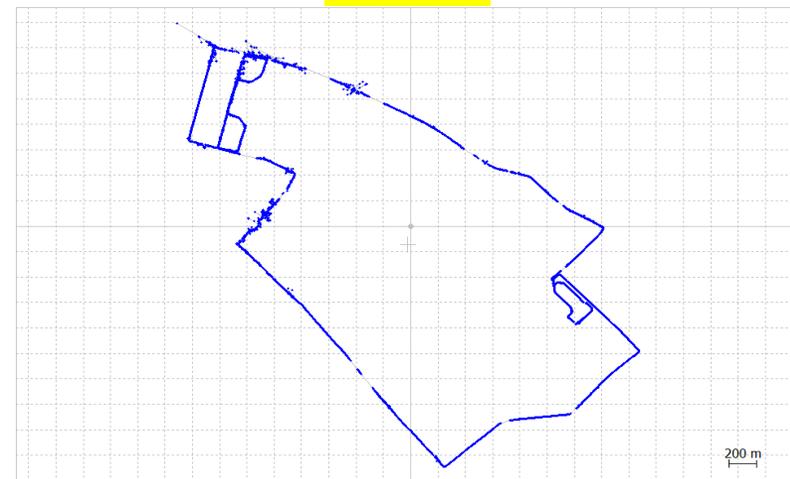


カップリング結果

カップリング後



DGNSS



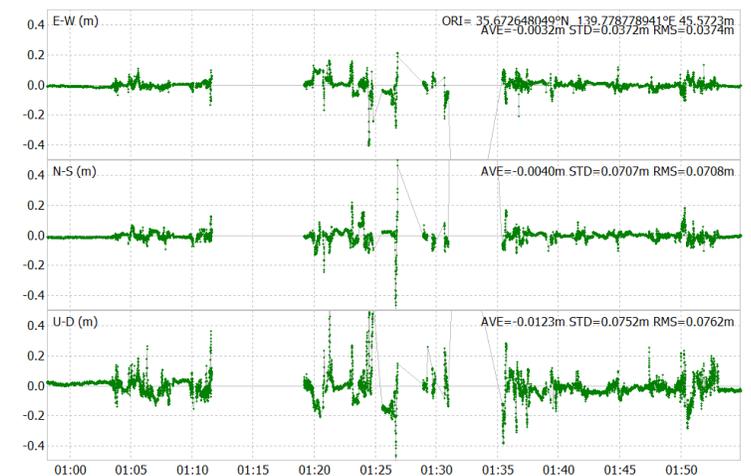
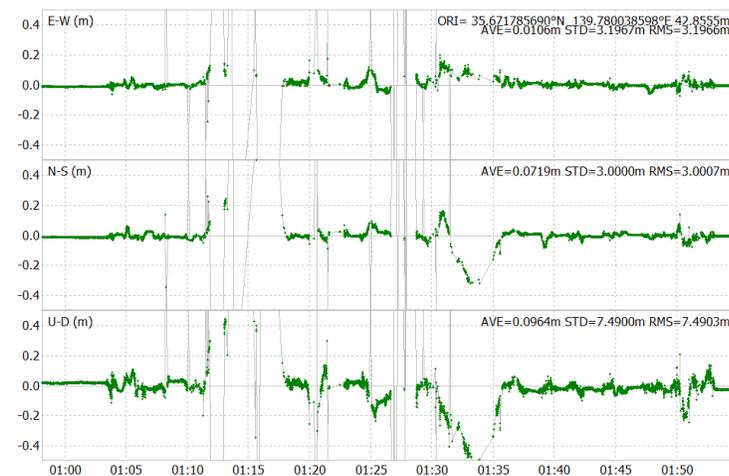
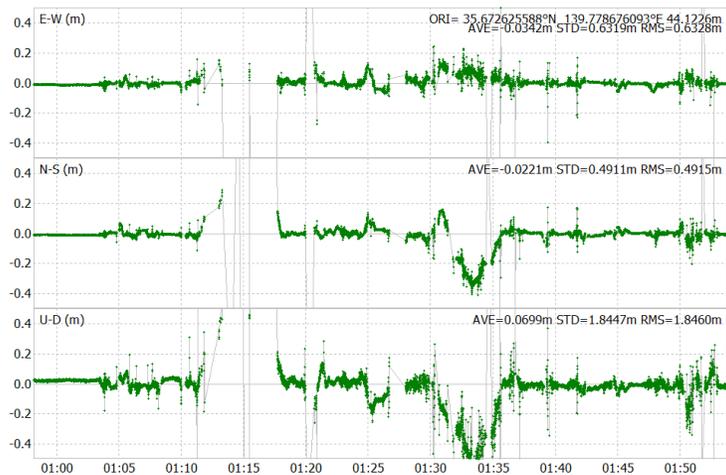
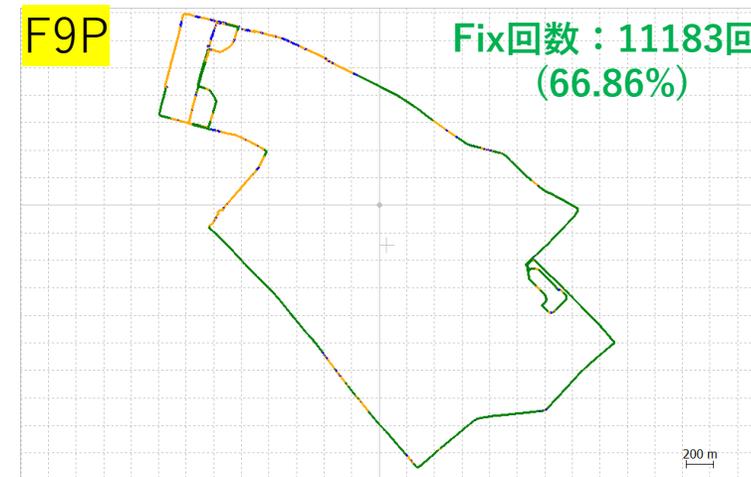
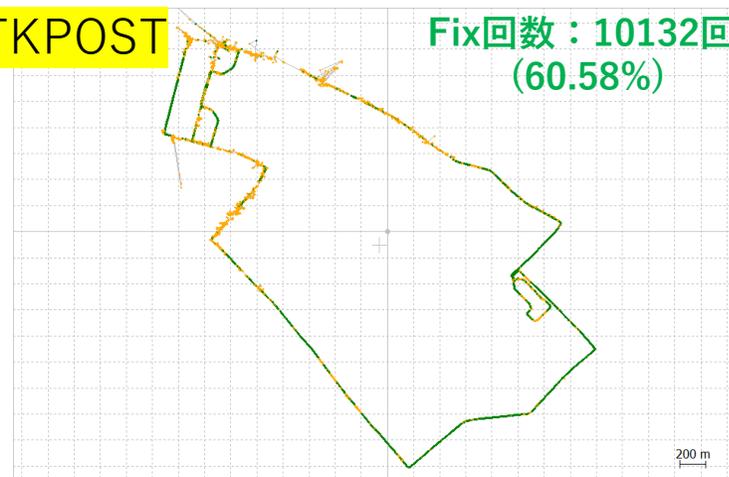
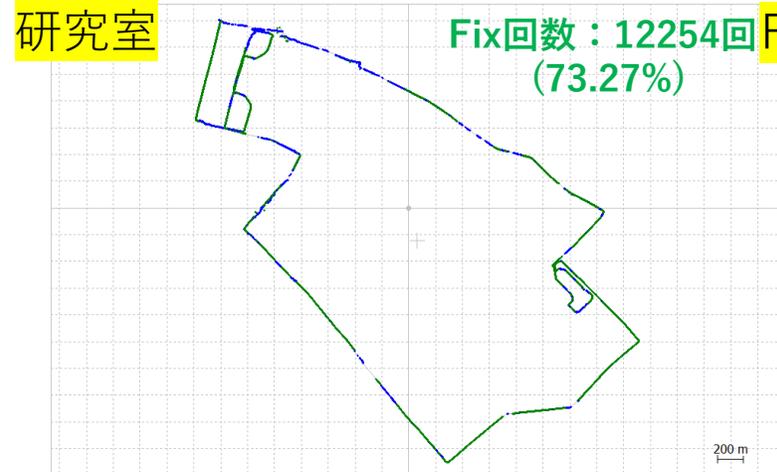
今回のカップリングはカルマンフィルタを単純に使用しただけなので、工夫の次第で性能向上が期待できる
例えば、停止時においてドップラー速度をより信用する(コード測位誤差は速度と相関)
過去情報を利用したカップリング(1エポックのみの情報でのカップリングではない)

研究室RTK

今回組み込んだソースは、L1+L2に対応したInstantaneousのRTKプログラム
マスク10度、最低信号レベル35dB
(リアルタイムでの動作を前提としたプログラムなので、Forward処理のみ対応)
ただし前エポックで推定したFixとドップラー速度を用いて、Float解の精度を向上させている
(擬似的なContinuous)

既存のRTKPOSTから以下の2点変更している

- 衛星システムごとのPartial Ambiguityを採用
観測できた衛星全てを用いてARを行う(Full Ambiguity)はマルチパス環境下では上手く機能しない
そこで一部の衛星のみAR行う(Partial Ambiguity)が性能向上の鍵であり、
ARに使用する衛星サブセットの選び方の手法が多く提案されている
(例えば、Ambiguityの事後共分散値より選ぶ)
- Chi - Square Testによる測位解排除をしない
RTKPOSTでは測位解の妥当性を検討するためにChi - Square Testを用いているが、
マルチパス環境下ではマルチパス誤差の大きい観測値が多数混在するため、Chi - Square Testをパスしない
例えばRTK+INS統合の場合、できる限りGNSSの測位解はある方が良いので、Chi - Square Testを×



Instantaneousを採用しているためミスFixはF9Pより多い傾向だが、Fix回数は多い
特に丸の内でF9PがFixしない現象は発生していない

最後に

- ・現状のRTKPOSTでもチューニング次第では性能は出る(特にb34版)
- ・現時点ではCUI版でのみ完成
- ・RTKPOSTに組み込んだ研究室版のソースはF9Pに最低限の対抗ができるレベル
→工夫できる個所はたくさんある
Ex. Fix and Holdの使用
- ・今回はFix率を中心に評価したが、移動体のより詳しい評価(例えば1サイクルレベルでのミスFix検知)はリファレンスが重要となってくる

補足（研究室版で最低信号レベルを変えると）

SNRマスク	30dB	31dB	32dB	33dB	34dB	35dB	36dB	37dB	38dB	39dB
Fix回数	12628回	12666回	12720回	12813回	12939回	12950回	13167回	13139回	12941回	12351回

衛星の組み合わせの多用

GQER→GQEB→GQB→GQE→GQ（2周波）

上記組み合わせでRatioを超えない場合、順番に関数を実行。

もともとはGLONASSの有無で分けていた。

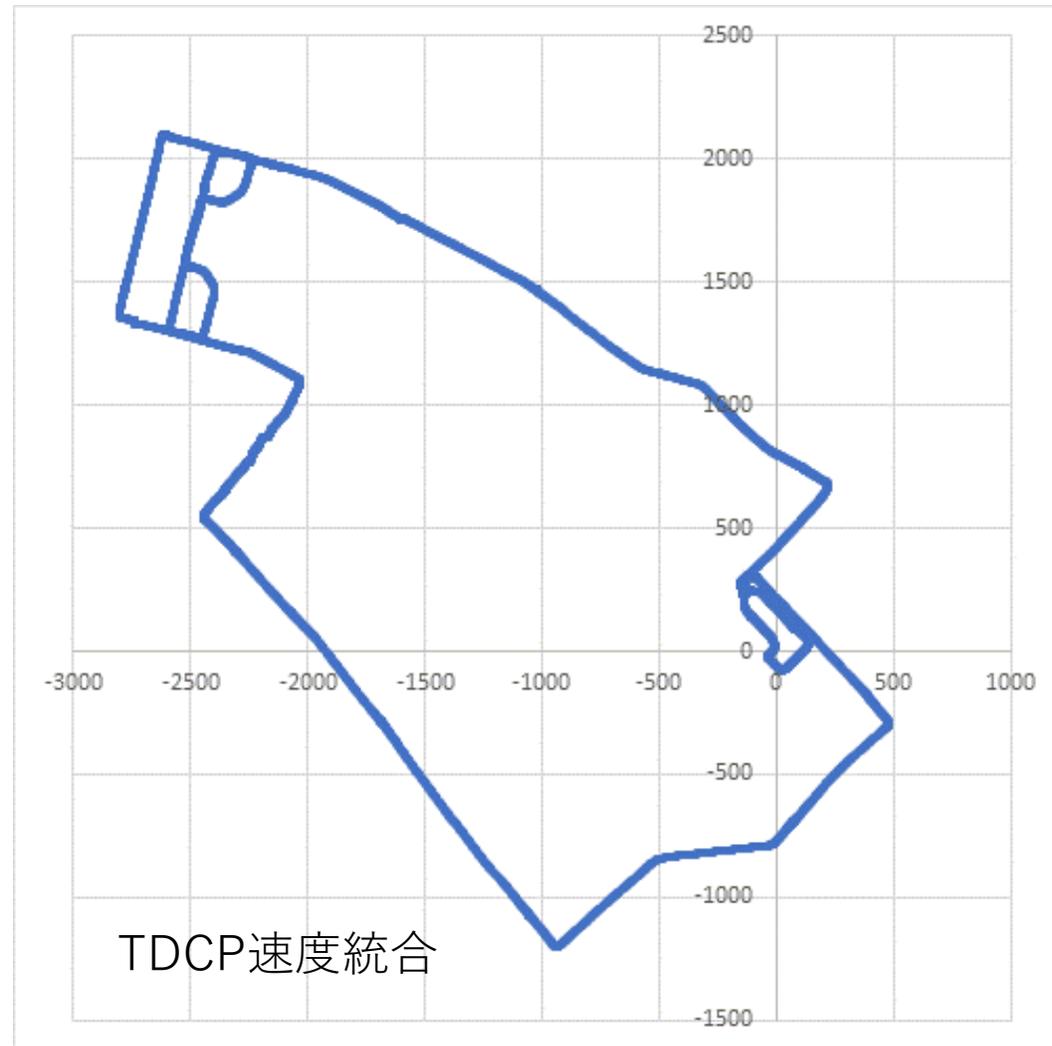
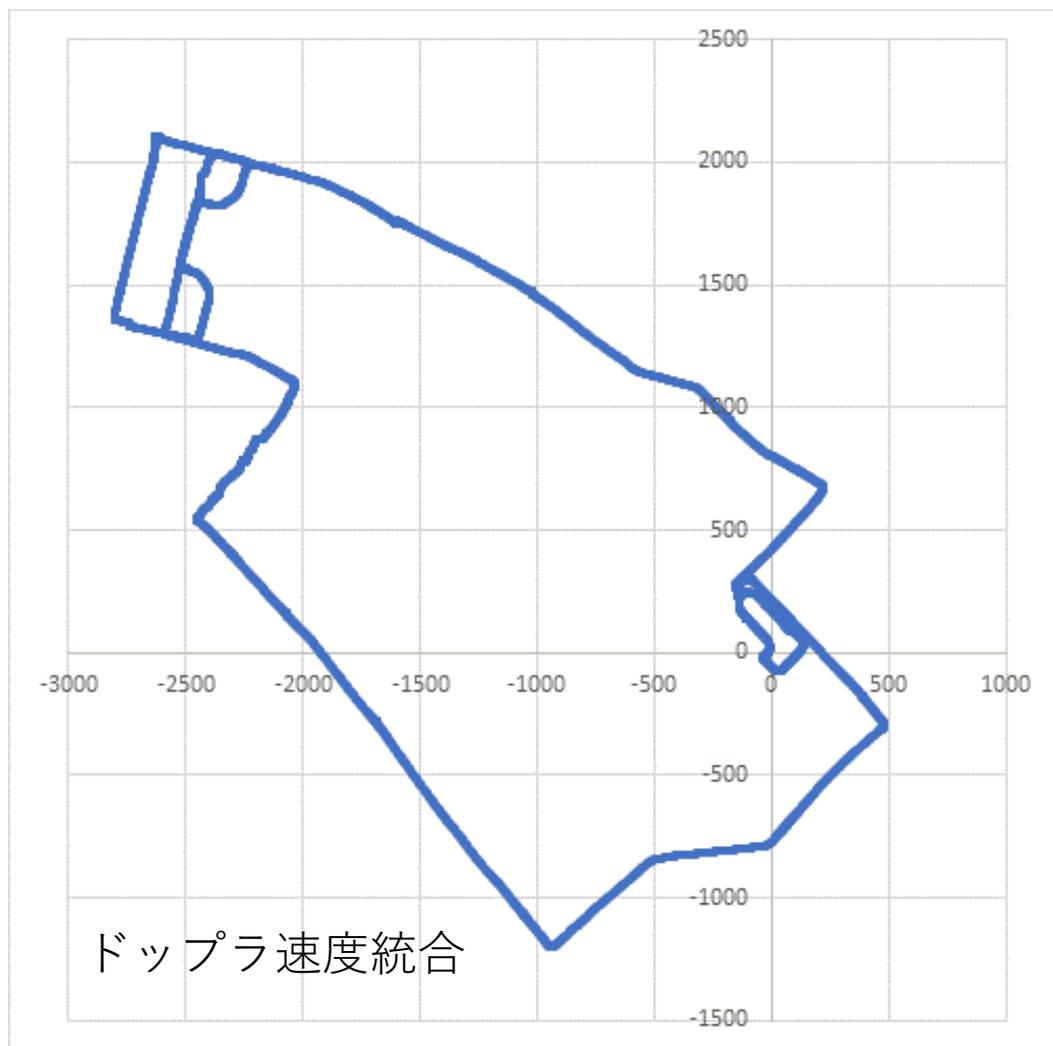
もっと効率的に実施できるはず。

Partial Ambiguity（論文）の性能もみているが結局何回までみるかなど決定しなければならない部分はあるだろう。

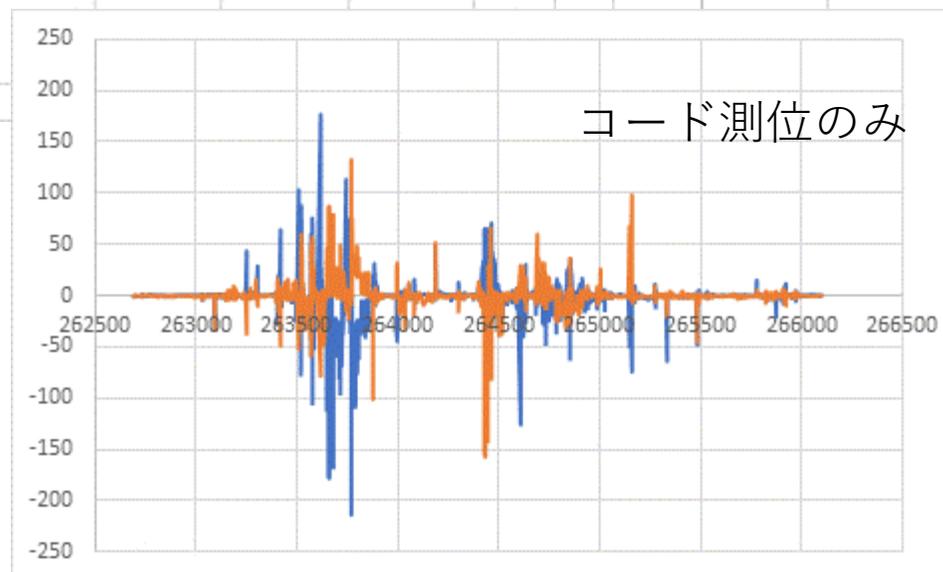
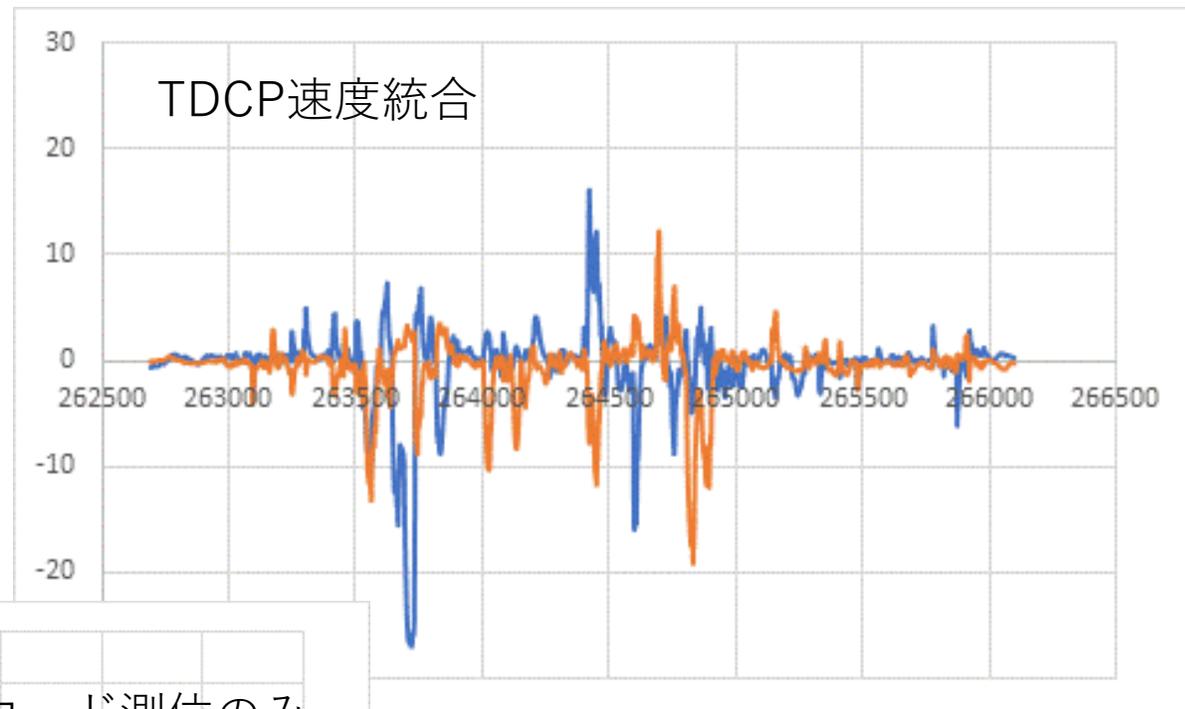
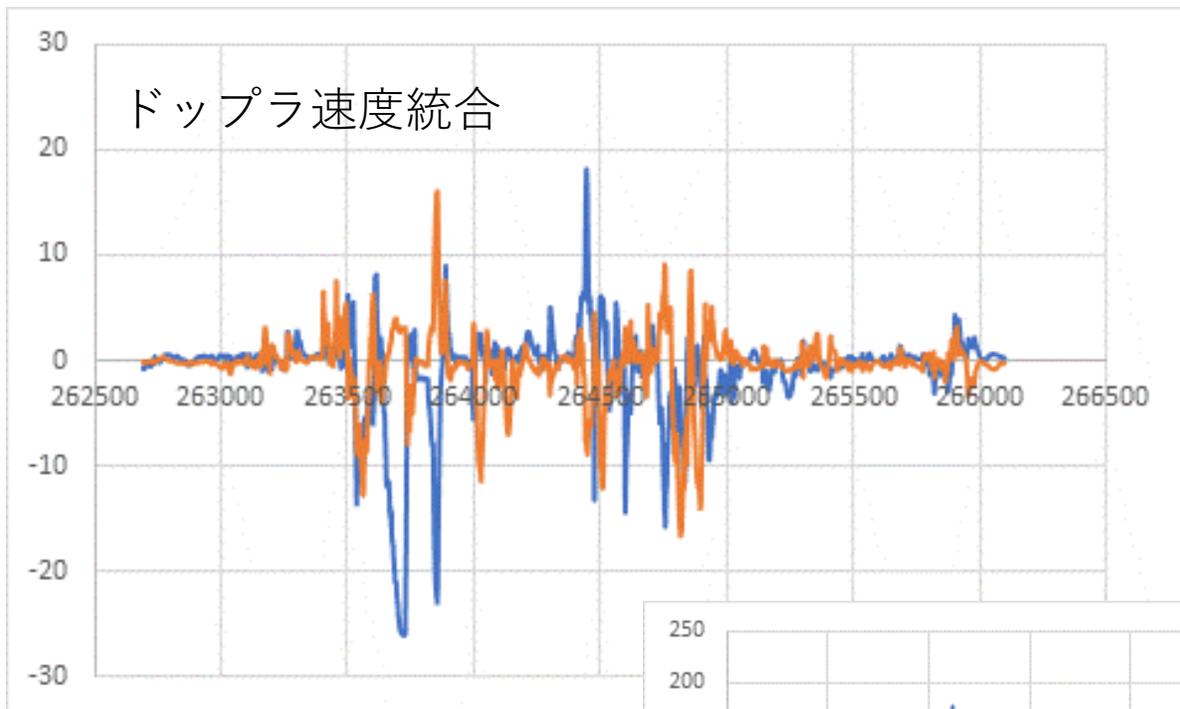
補足（コード測位でのスムーズな位置）

- 式はさきほどのスライド（尾関君説明）の通りです
- コード測位の位置とその時刻での速度ベクトルを重みをつけて統合しているだけです。統合の場合測位ができていない場所でもデッドレコングが入ります（10秒程度まで）
- 重みの付け方によって精度が多少変わります。たとえば、速度ベクトルの積分精度の最大誤差（経過時間との兼ね合いも）を予測できる場合、ある閾値以上のコード測位の位置は信頼できないと判定できます
- 現在重みは可変にしていますが、受信機の振舞を知る必要
- ドップラ周波数による速度とTDCPによる速度についても、受信機の観測データによって精度が異なります。F9Pは両方で差が大きく、NetR9やノバテルでは少ないです
- このコードベースの統合結果はRTKでも利用できます（今回は利用していません）

コード + 速度統合測位 軌跡の比較

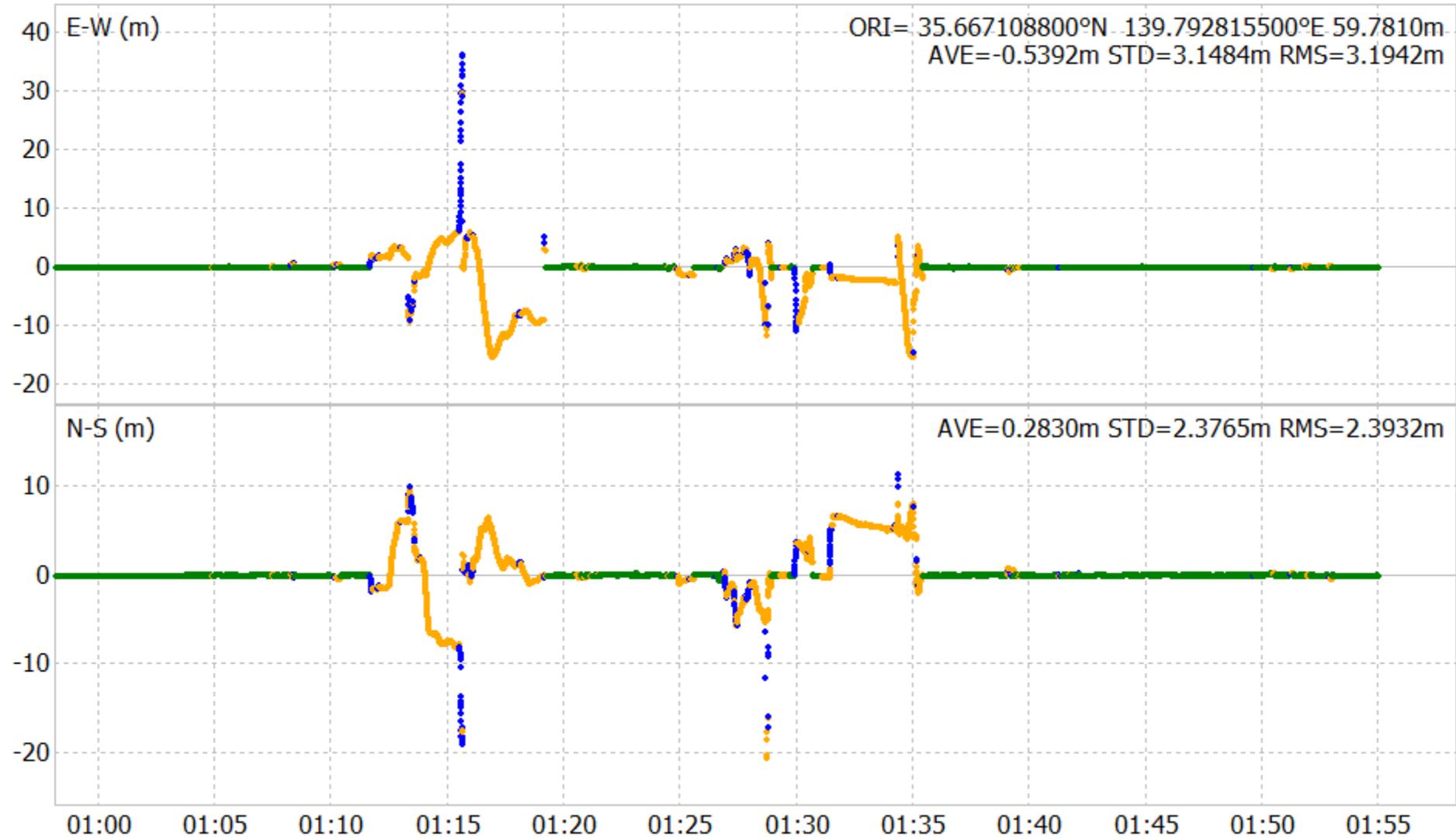


コード + 速度統合測位 時系列の比較

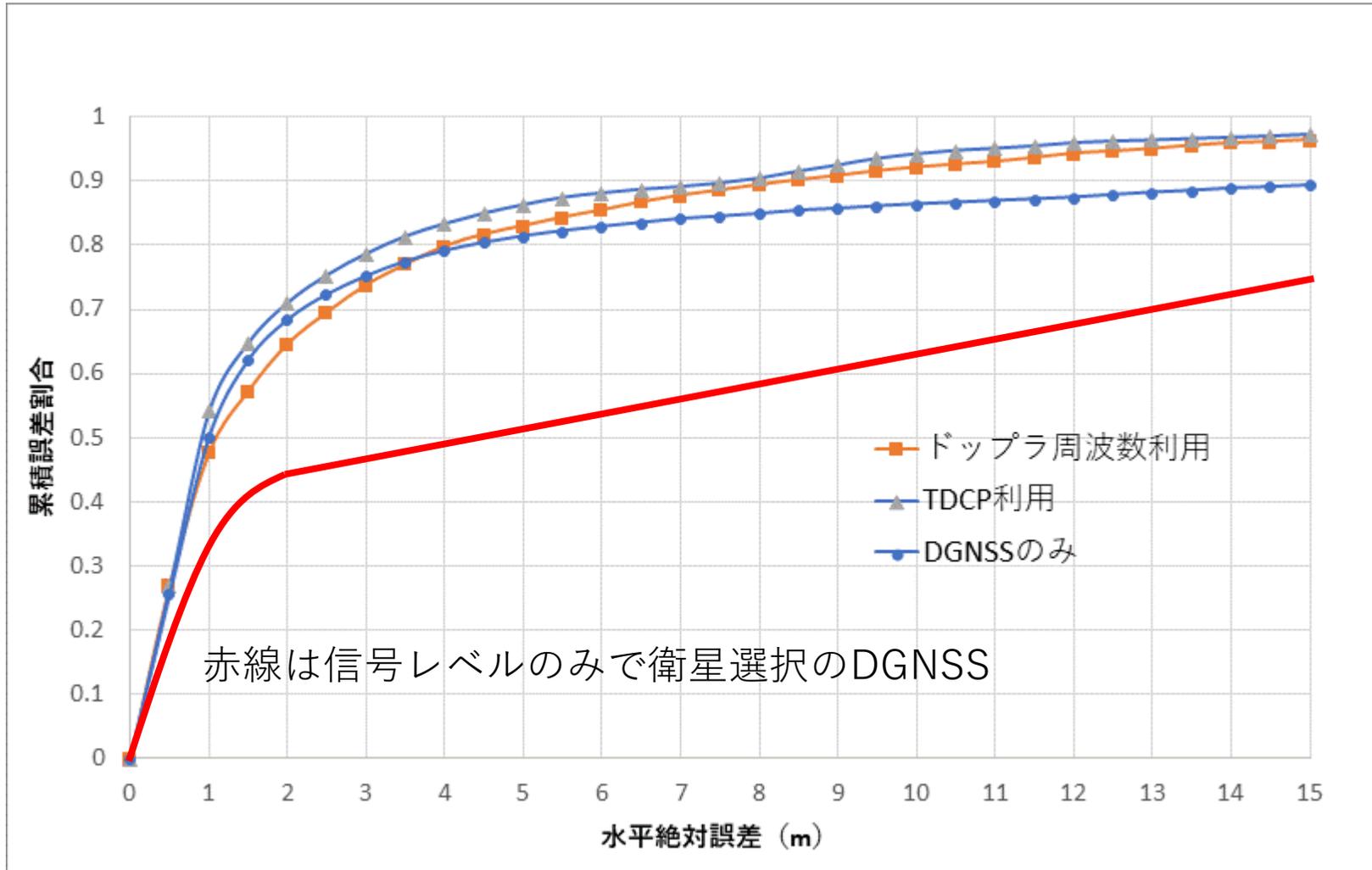


コード測位のみは前述の通り
搬送波位相ロックしている衛星利用
最大残差での衛星可否判断があります。
そのためこれでも良いほうです。

念のためu-blox F9Pの結果



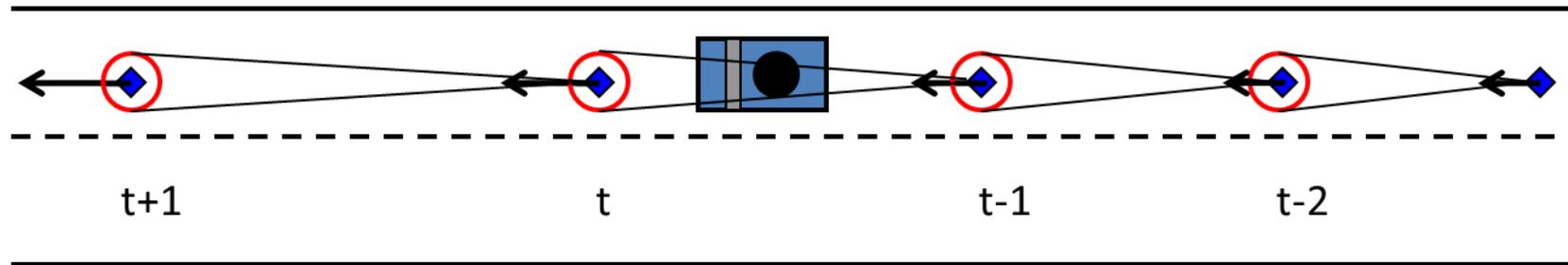
水平誤差の累積図



	DGNSS	ドップラ	TDCP
90%値	16.1m	8.4m	7.6m
95%値	33.9m	12.9m	10.6m
99%値	99.5m	24.9m	20.6m
1.5m以内割合	62.1%	57.3%	64.9%

補足 (RTKでの速度ベクトル利用)

- 最初の信頼できるFIX解は必ず必要
- 一度FIXすると、それ以降のFLOAT解はFIX解に速度ベクトルを足した値とする



$$\text{Expected Position (t)} = \text{Previous Fix Position(t-1)} + (\text{Velocity(t)} + \text{Velocity(t-1)})/2$$

Interval = 1.0 sec

通常のFLOAT解と比較して、大きくそのFLOAT解の精度を向上させることができる。擬似距離によるFLOAT解の精度は都市部では厳しい。上記の手法では10cm以内としている。解の探索範囲も狭まり、その範囲内に解がある場合ほぼ確実に正しいFIX解を求めることができる。→根本としてはF9Pのように搬送波位相によるFLOAT解の実装が課題

[Advantage of velocity measurements on instantaneous RTK positioning](#)

N Kubo - GPS solutions, 2009

RTKNAVIに別手法を組み込んだ例

- 壁にアンテナを設置するなど、固定点でのモニタリング用
- 市販受信機でも安定してFIX解を得ることが困難な環境
- RTKNAVIのrelpos関数部分にRTKコア（研究室用）を移植

Contents

1. Background and Motivation
2. Improved AR in Challenging Environments
3. Test and Results
4. Antenna Comparison
5. Summary

Background

Over the past few years, the number of applications using the RTK-GNSS has increased owing to an increase in the demand for low-cost GNSS receivers with high accuracy.

These pictures show typical cases of construction sites. In such an area, the environment can be extremely complex, and several users abandon RTK-GNSS and rely on surveys considering total stations (TSs).

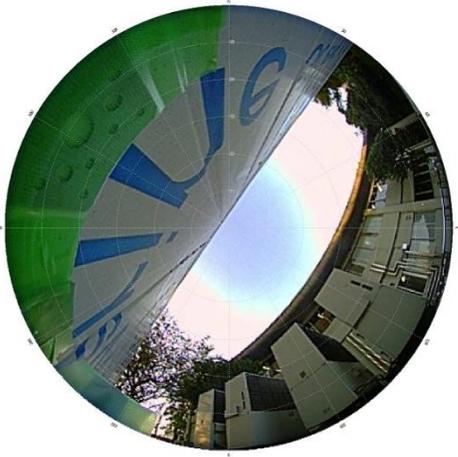
However, surveying with TSs is expensive and becomes critical to remotely monitor changes at construction sites using RTK-GNSS to reduce the cost and workload of operators. This study aims to describe a method for RTK-GNSS in a challenging environment.



Good balance between GNSS and conventional Total Station

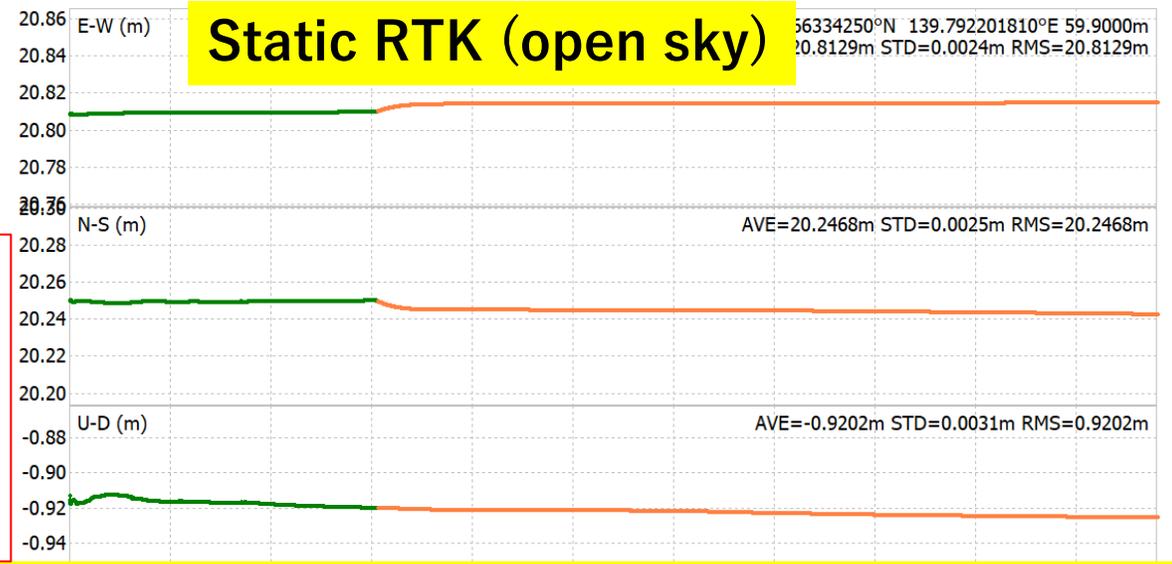
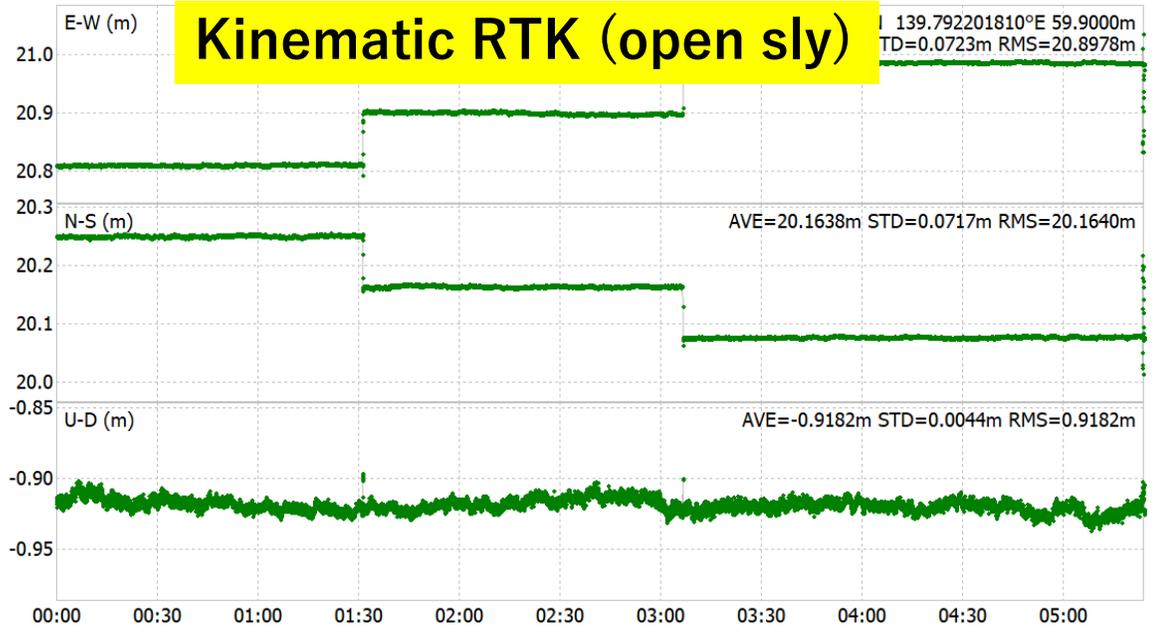
Target situation

- 1. Almost static condition
- 2. Slow displacement
- 3. Earthquake



If we set static RTK mode, it can't track even small displacement. We can't use static RTK continuously for monitoring.

If the commercial receiver can provide reasonable RTK-GNSS, we use the receiver. Our target is the environments these receivers can't provide RTK-GNSS.

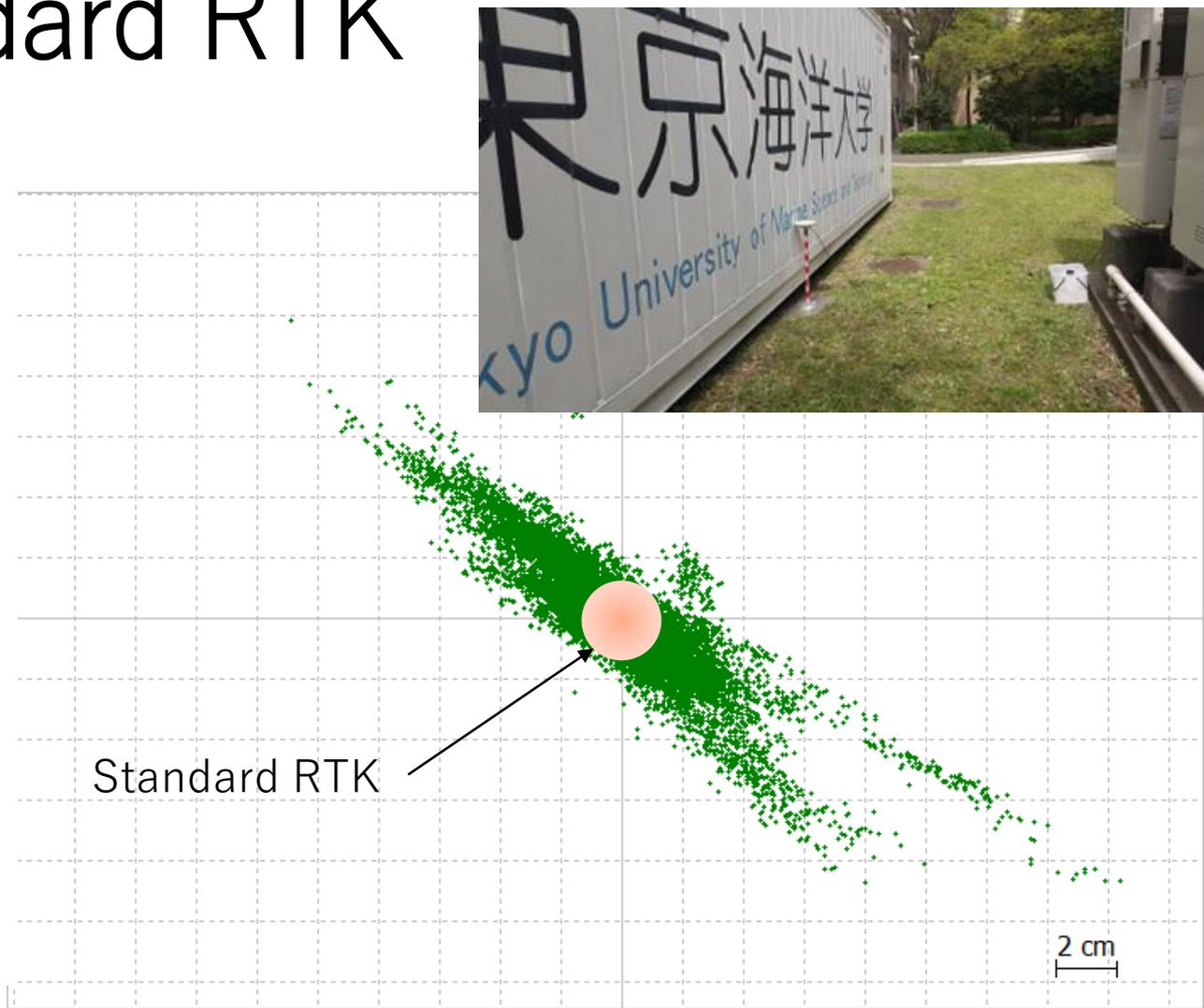
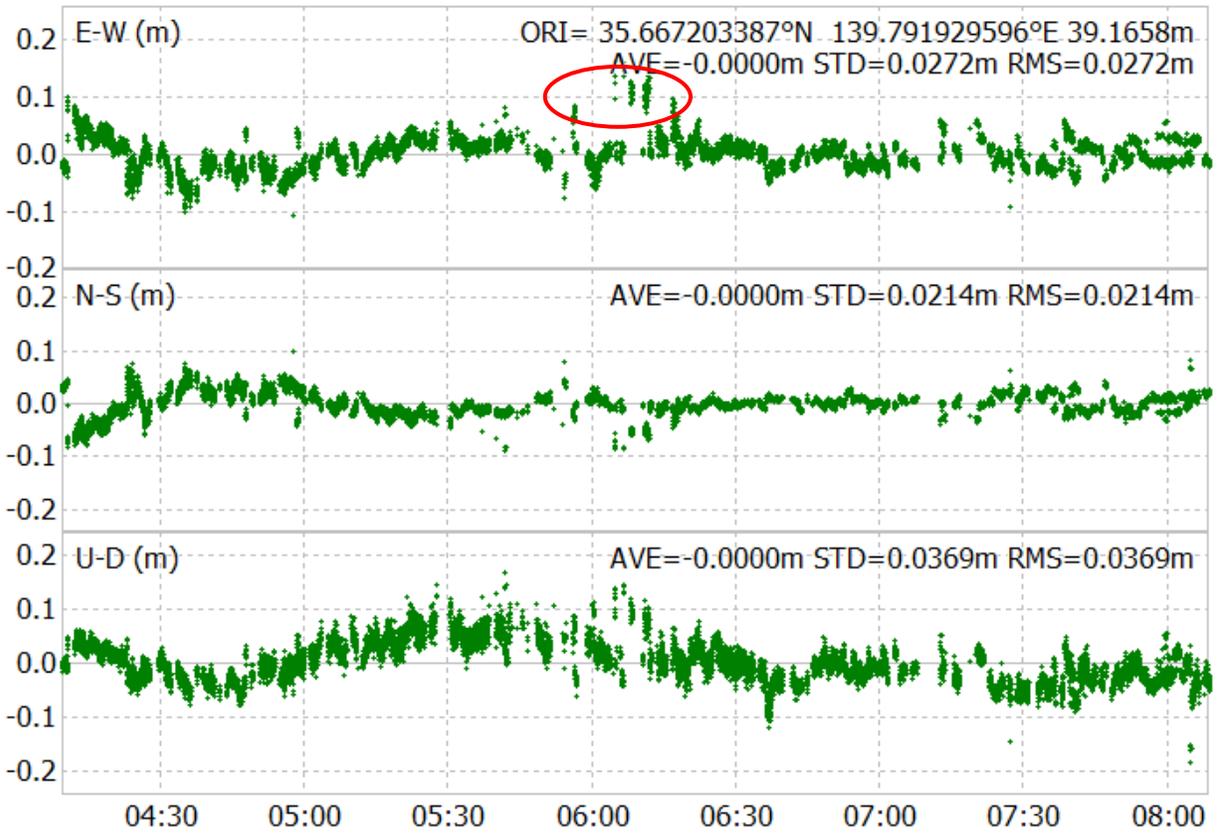


Static RTK is not sensitive to small displacement.

Target cost

1. Most of companies considers that official survey and field monitoring applications are different.
2. They still use survey grade GNSS receiver for official survey.
3. With the advent of low-cost multi-GNSS/multi-frequencies receiver, **they started to use them for many applications of cm-level monitoring.**
4. Since they use many receivers, low price is a must (less than approx. \$500-1,000 U.S. from my prediction).

Accuracy is not like standard RTK



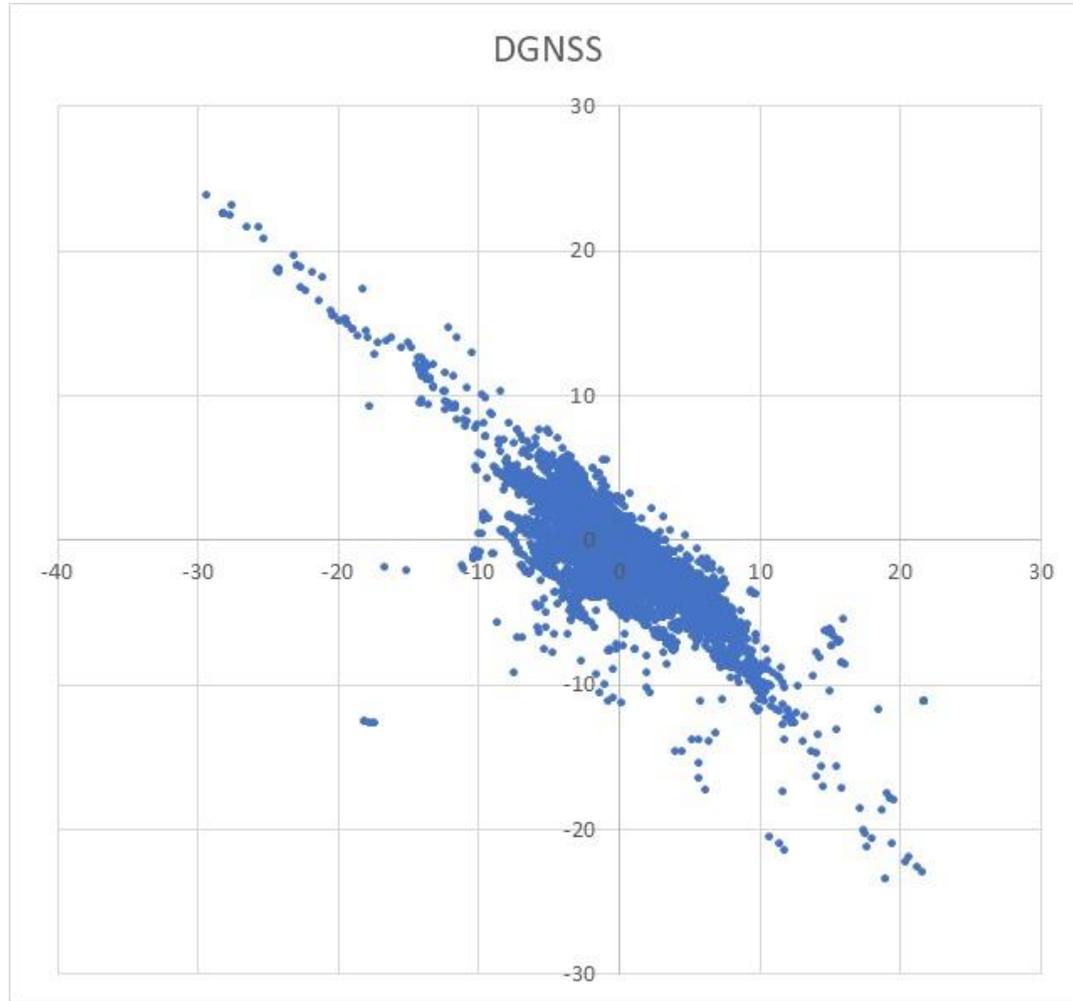
It is not required to output 1 Hz. It depends on the applications. In most cases, smoothing of 1 hour or more is possible.

TS was used to evaluate the accuracy of RTK-GNSS on the wall



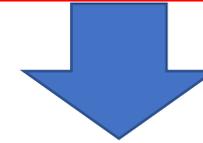
There was approximately 1 cm deviation in Horizontal and Vertical.

Difficulties in RTK-GNSS



Very harsh environment (4 hours)

Due to bad DOP and multipath,
1. Difficult to find correct ambiguities.
2. Difficult to fix ambiguities continuously.

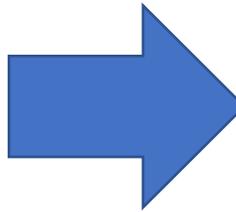
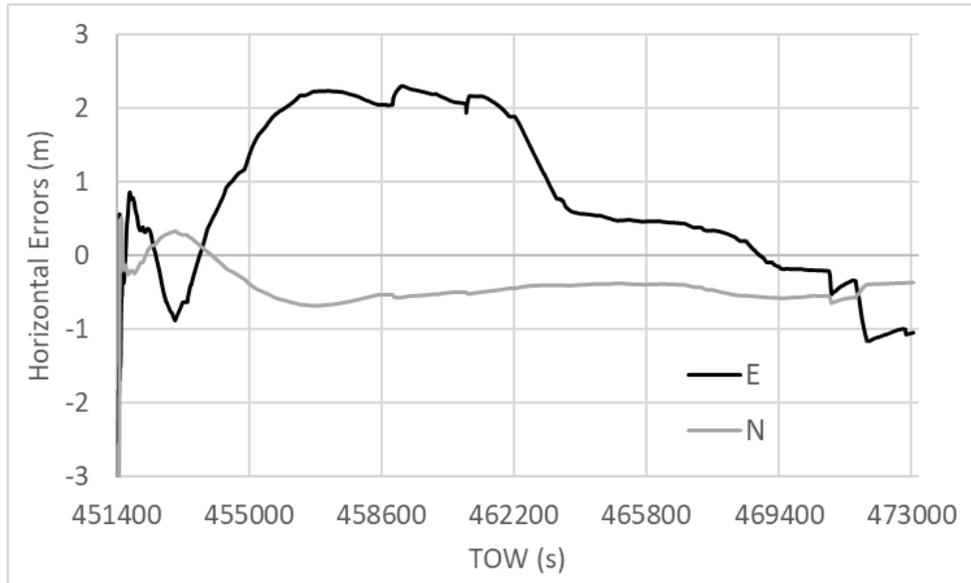


Once we could find correct ambiguities, Hold mode and TDCP/Doppler are available for continuous RTK. **We used combinations of these two methods for continuous RTK-GNSS.**

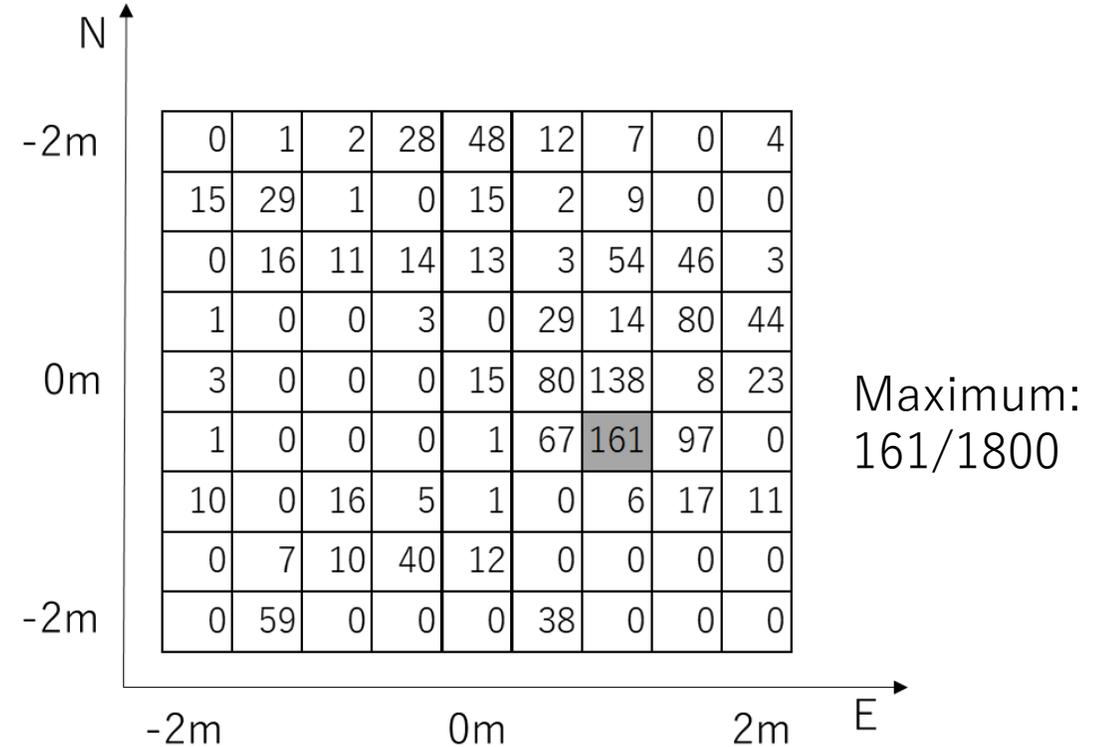
In this presentation, we focus on finding initial correct ambiguities.

Method to resolve initial ambiguities in harsh environments

We often could not get the first correct FIX for more than a few hours in harsh environments.



We set up 3D grids for float solutions. Then, count scores based on Ratio test. (not single epoch but 10-30 min. data)

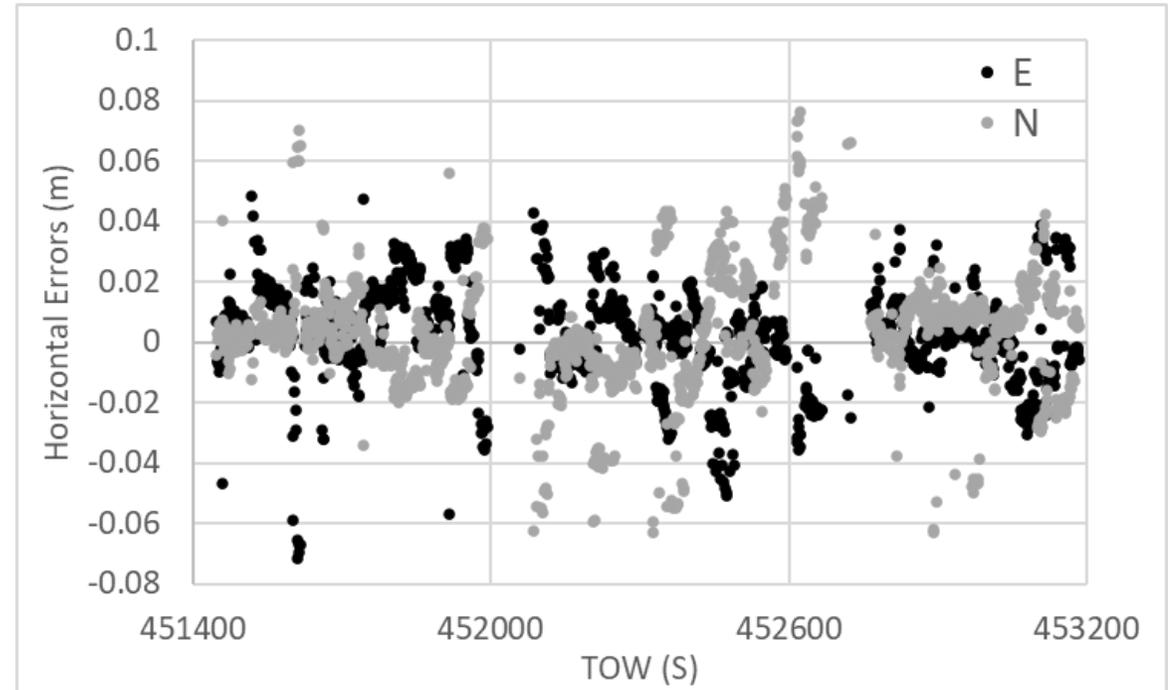
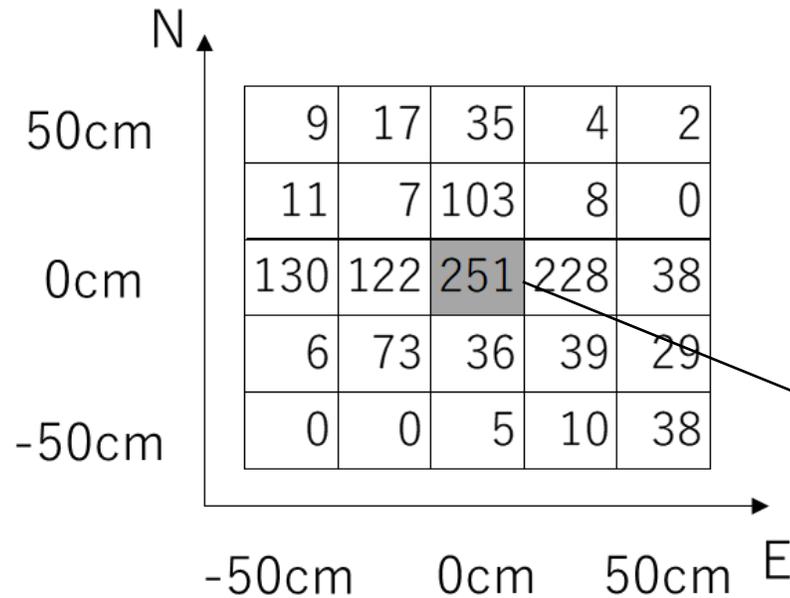


Most of RTK engines try to fix ambiguities using Kalman filter or similar filtering method in time series. However, it doesn't work well... (sequential estimator)

This is the case of 30 min.

The position with highest score was regarded as FIX position.

First search : $\pm 2\text{m}$
Second search : $\pm 0.5\text{m}$

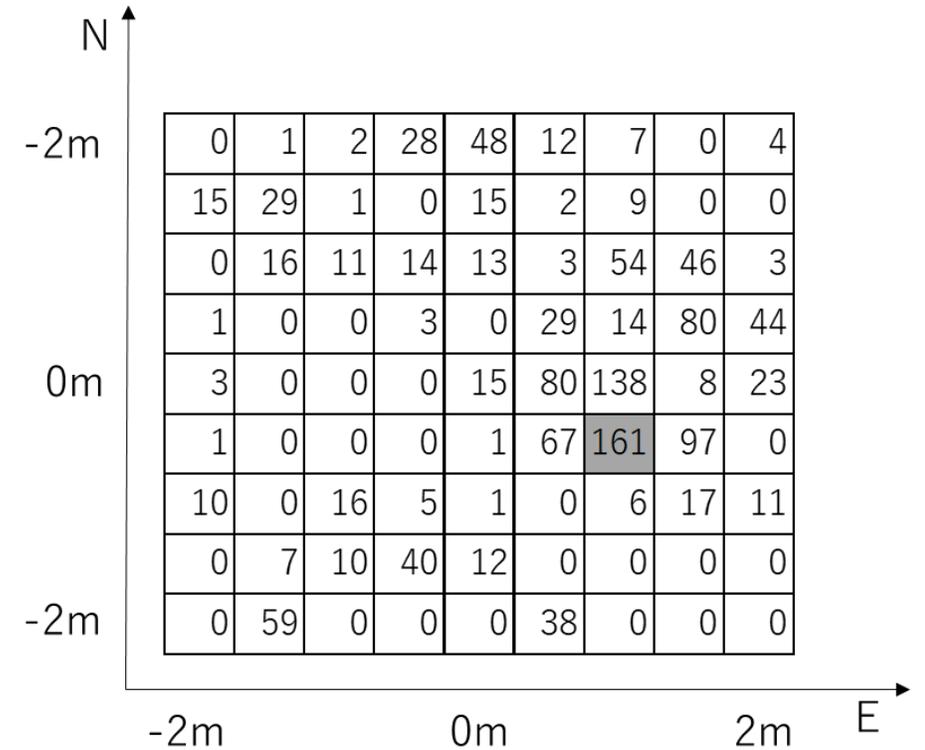


251 epoch's solutions passed Ratio test.
These all results were shown here.
Initial position was determined by averaging these positions.

Future Task : We have to discuss more from a theoretical point of view

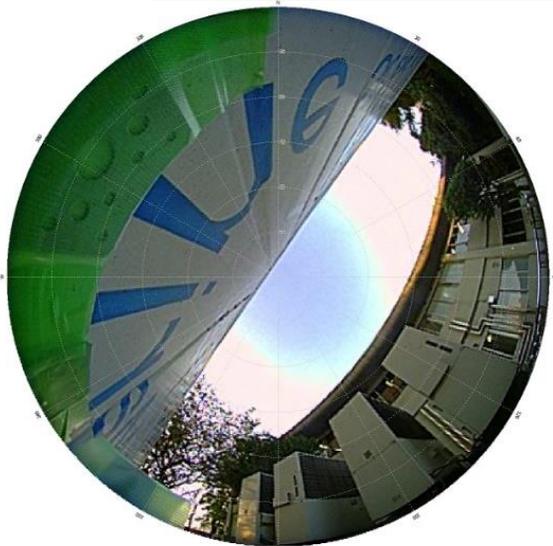
How can we determine the center position?

1. **Static RTK mode** was used to determine the center position of Grids.
2. Averaging DGNSS might be also used.
3. During this step, the antenna should be **stationary**.
4. If there is large errors in static RTK mode, we can't find the correct fix position.
5. The **least duration** will be discussed later.
6. Errors due to DOP should also be considered (basically errors spreads in the direction of the wall).



Unknown correct fix position has to be included in those grids.

Test and results

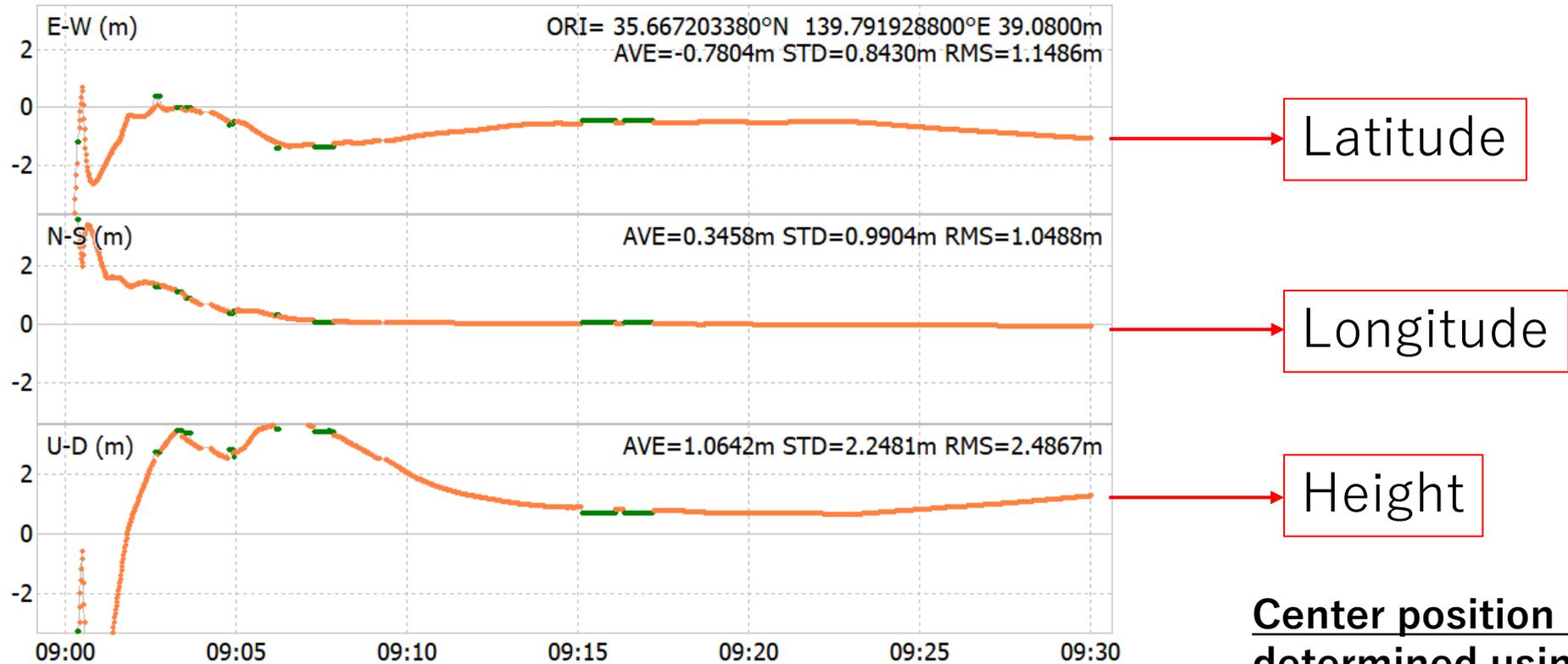


	Configurations
Location	Etchujima campus in TUMSAT
Time	24 hours, November in 2022
Receiver	u-blox F9P for rover/base
Antenna	AMO patch antenna for rover/base

	Analysis Settings
GNSS	GPS/QZSS/GALILEO/BDS/GLONASS
Frequency	L1 and L2
C/N ₀	35 dB-Hz or more
Mask angle	30 degrees
Max. PDOP	20

Commercial receiver can't provide reasonable RTK-GNSS.

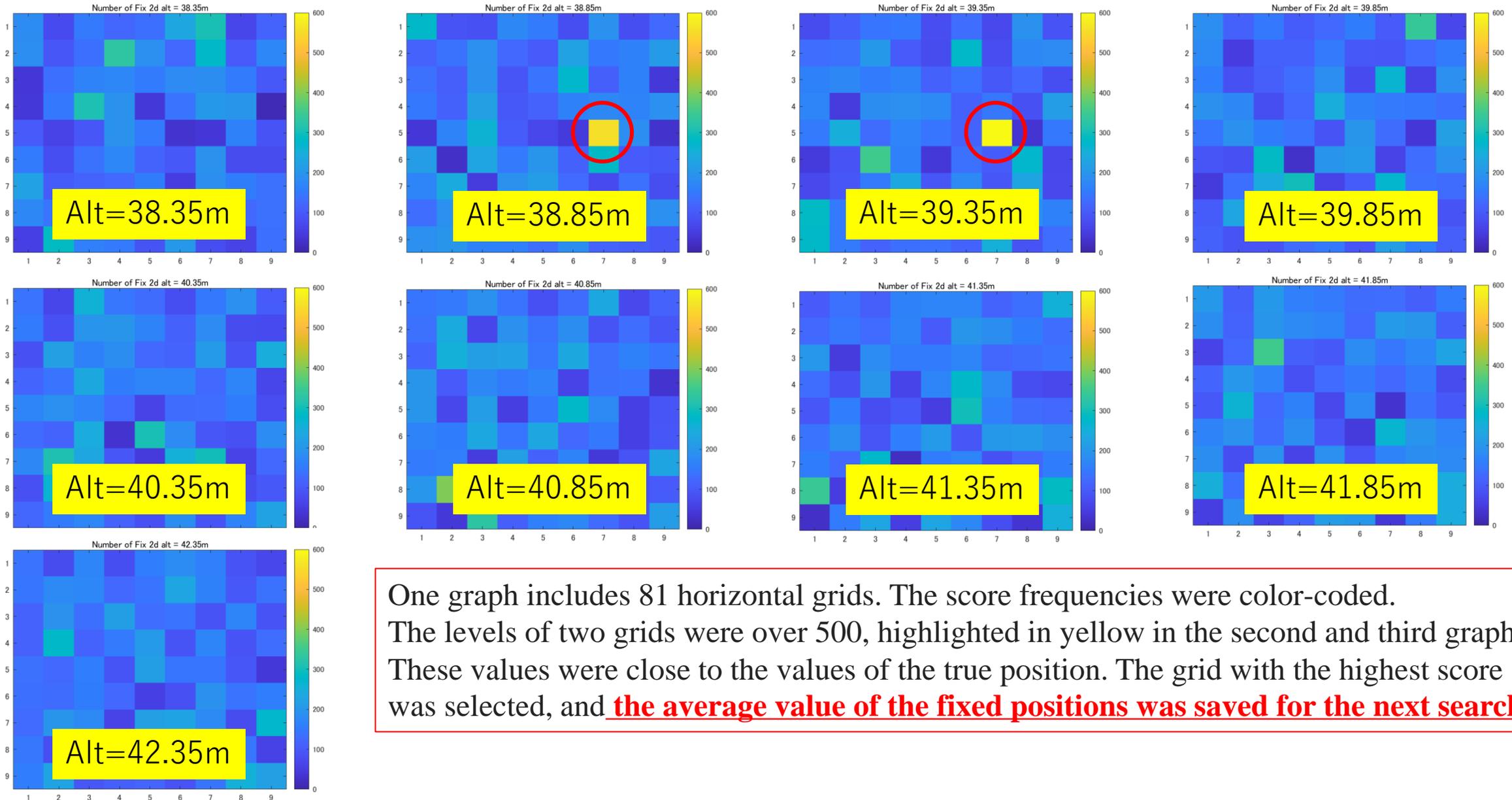
1. Determining the center position of Grids



Center position of the Grid was determined using the position after 30 min. of static RTK mode.

There were some wrong fixes (static RTK mode).

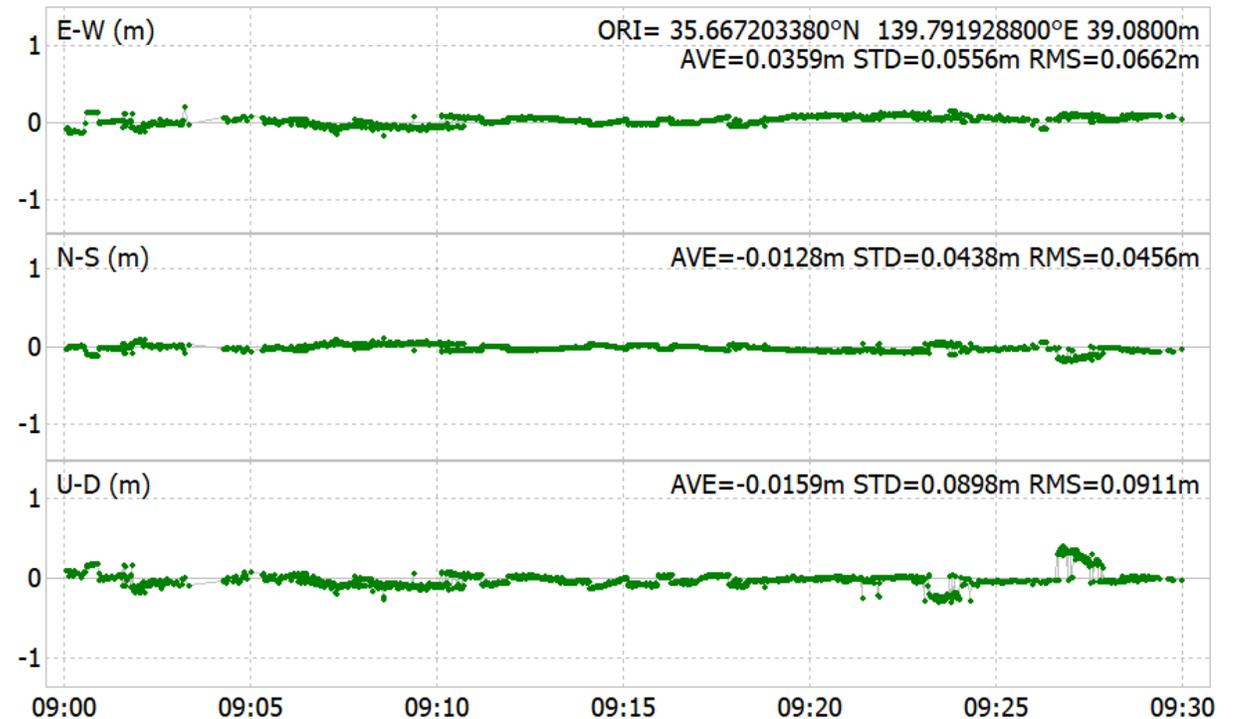
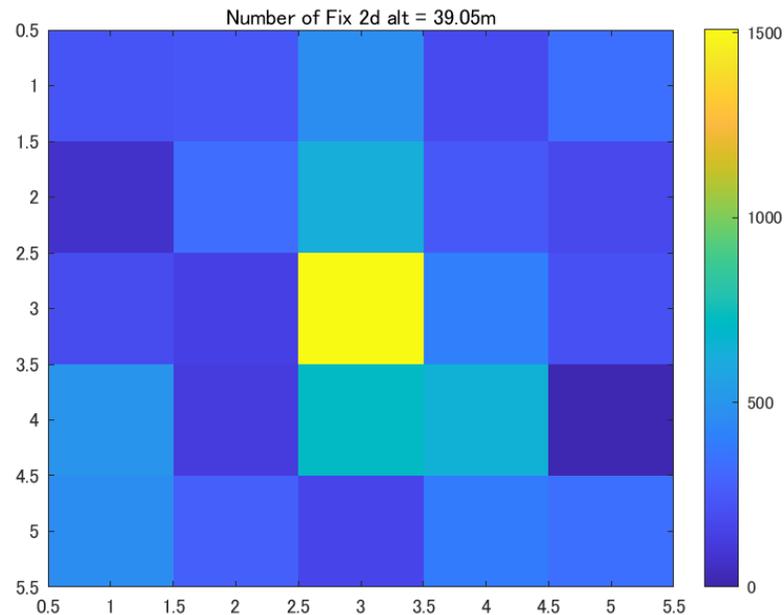
2. 1st Search ($\pm 2\text{m}$, spacing 0.5m , 729 grids)



One graph includes 81 horizontal grids. The score frequencies were color-coded. The levels of two grids were over 500, highlighted in yellow in the second and third graphs. These values were close to the values of the true position. The grid with the highest score was selected, and **the average value of the fixed positions was saved for the next search.**

3. 2nd search ($\pm 0.5\text{m}$, spacing 0.25m , 125 grids)

The second center position was set using the previous result.



The number of fix was 1510 out of 1800, and the fix rate was $\sim 83.9\%$.

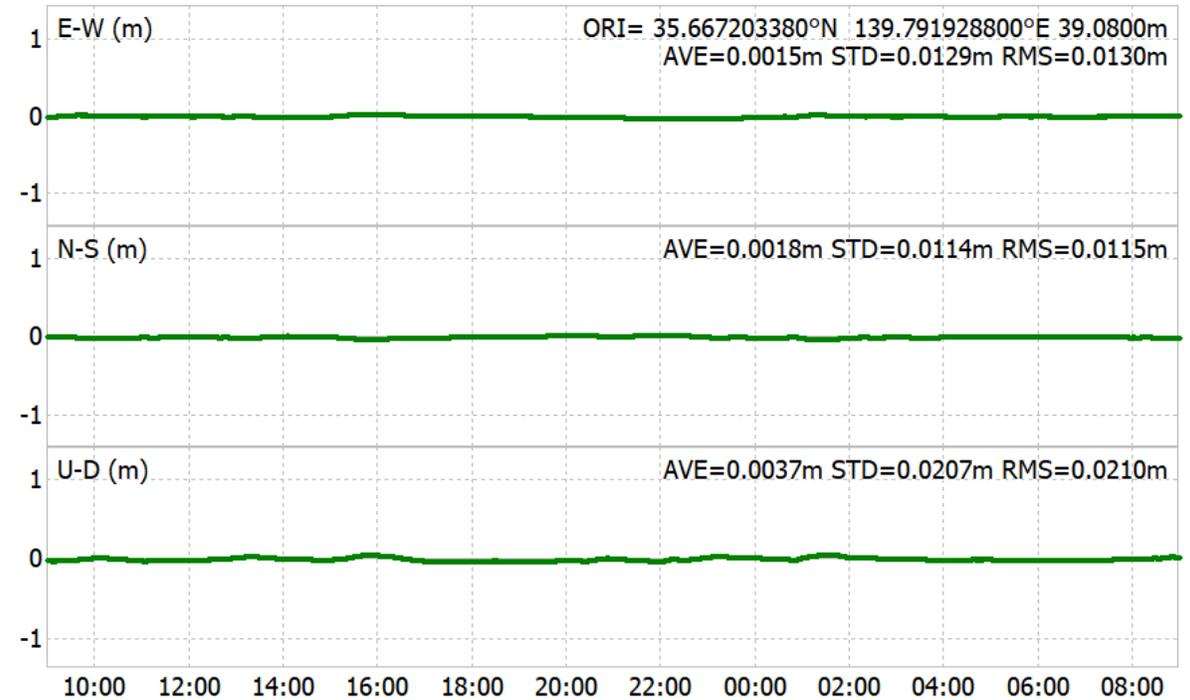
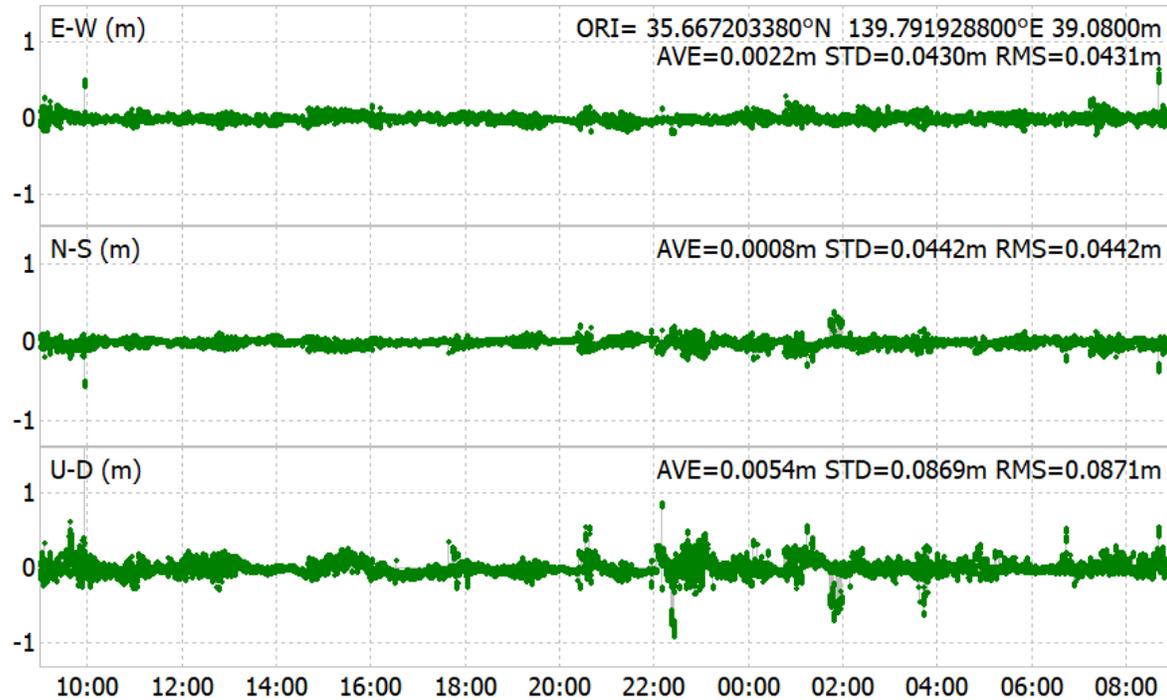
The average position was within a few centimeters of the true position.

The horizontal standard deviation was 7.1 cm, and its altitude was 9.0 cm.

As the fix rate was sufficiently high and the standard deviation was within 10 cm,

we stopped the search, and **this average position was set for the continuous processing of the RTK-GNSS**

24 hours results after setting the initial position



Left figure shows the 24-h RTK-GNSS after setting the correct initial position. The fix rate was 96%. In addition, these results were generally smoothed for 1 h. Smoothing for 1 h is allowed for a few applications, i.e., monitoring slow-moving embankments.

Right figure shows the RTK-GNSS **smoothed** for 24 h. The standard deviations of the horizontal dimension and altitude were ~1.7 and ~2.1 cm.

Minimum duration

It is important to determine how long the initial position should be analyzed. A shorter duration was better for this application. However, the shorter the duration of the initial position, the worse the accuracy of the initial position is.

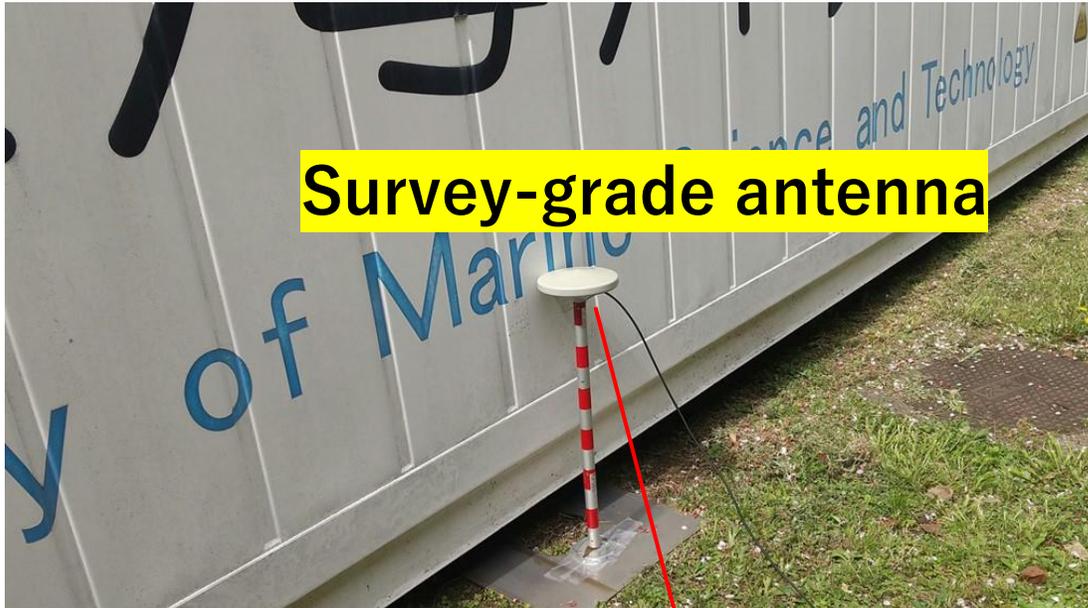
The remaining 23 test results were shown in right table. Except for these **three cases**, we determined the correct position. We could not determine the correct position in these three cases because the accuracy of the static RTK-GNSS was poor. Table lists errors related to longitude, latitude, and altitude after **30 min** in the static RTK-GNSS to achieve the initial position.

In the case of 20 min. : 4 outliers

In the case of 10 min. : 7 outliers

UTC	3D Errors in 30 min (m)		
	Longitude	Latitude	Altitude
9:00–9:30	-1.0	0.0	1.3
10:00–10:30	0.2	0.1	0.2
11:00–11:30	0.0	0.0	0.0
12:00–12:30	0.4	-0.1	0.4
13:00–13:30	-0.8	0.7	-1.0
14:00–14:30	-0.8	0.1	-0.4
15:00–15:30	0.3	0.1	-0.4
16:00–16:30	-0.8	0.6	-0.8
17:00–17:30	-0.2	0.4	0.5
18:00–18:30	0.2	0.1	0.1
19:00–19:30	0.2	0.2	2.5
20:00–20:30	0.2	0.1	-0.2
21:00–21:30	-0.5	0.4	1.2
22:00–22:30	-1.0	0.3	1.3
23:00–23:30	-0.2	0.0	0.2
0:00–0:30	1.0	0.5	5.2
1:00–1:30	-0.5	-2.0	15.5
2:00–2:30	0.4	0.3	0.0
3:00–3:30	-0.4	0.1	1.7
4:00–4:30	0.1	0.0	0.5
5:00–5:30	0.7	-0.4	1.4
6:00–6:30	0.8	-0.3	0.1
7:00–7:30	-8.3	1.6	1.5
8:00–8:30	0.8	-0.1	0.5

Commercial receivers and survey grade antenna



Time : 4/6/2023 3:00-7:00 (UTC)

Satellite visibility was bad during this period.

Base stations were set as same receiver respectively.

Low-cost



Survey-grade

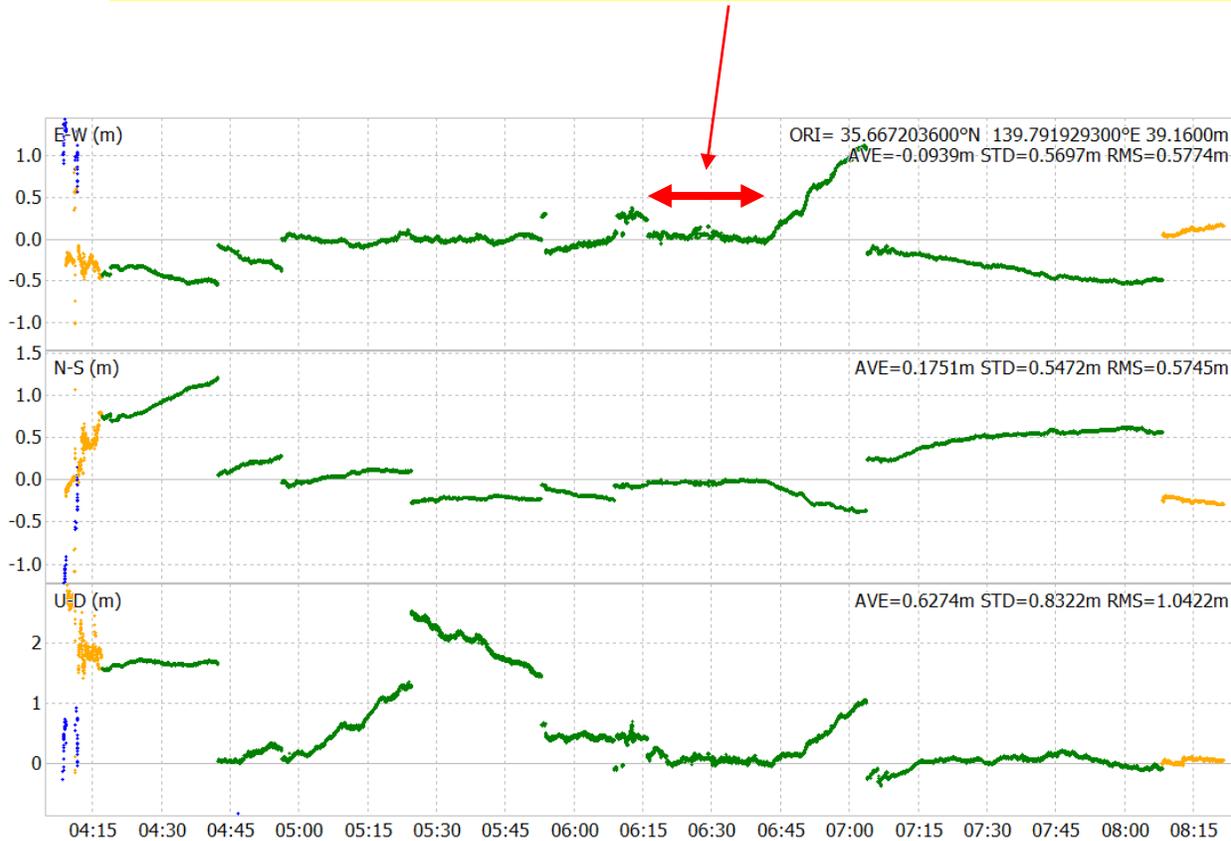


3 types of positions were evaluated simultaneously in real time.

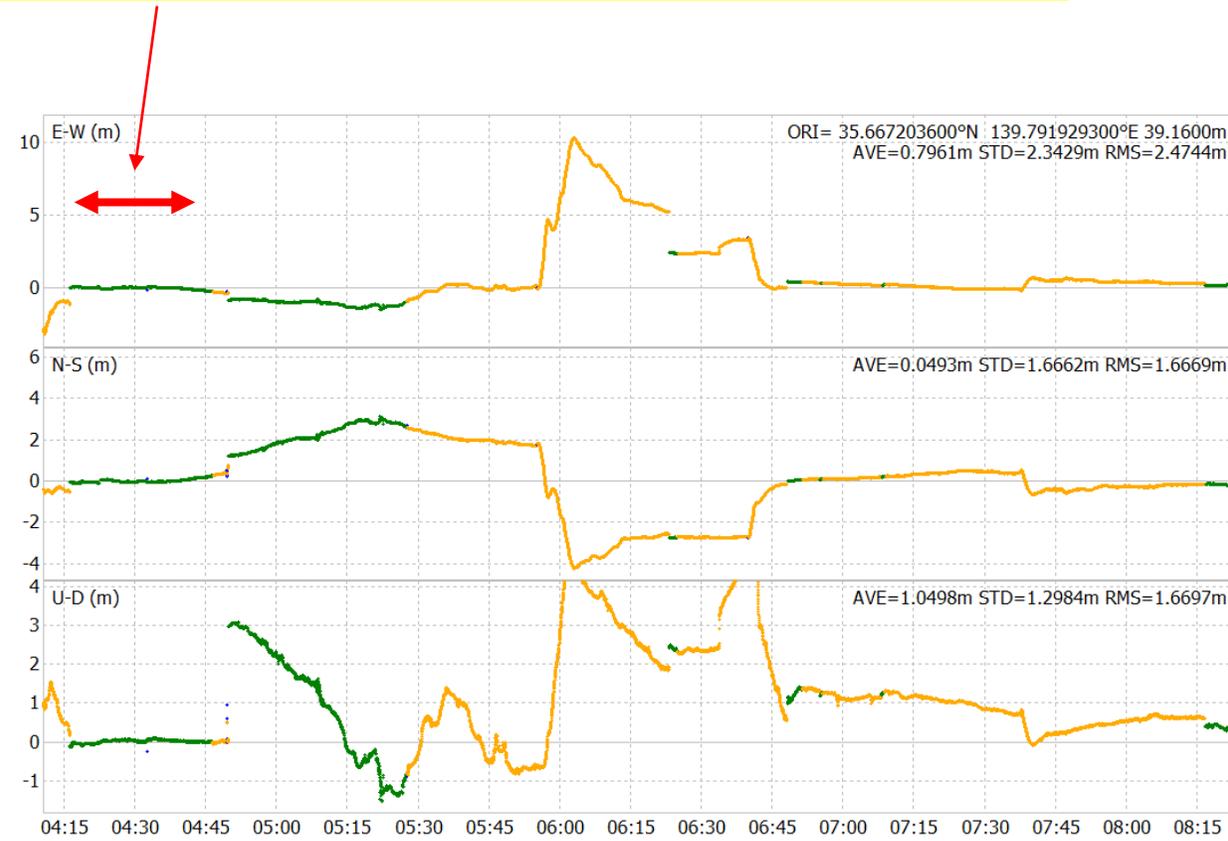
1. RTK engine using low-cost receiver
2. RTK engine using survey-grade receiver
3. Our engine using low-cost receiver
(**modified RTKNAVI in Note PC**)

Two commercial receiver's RTK engine

Approx. 25 min. were within 10 cm in ENU compared to true positions.



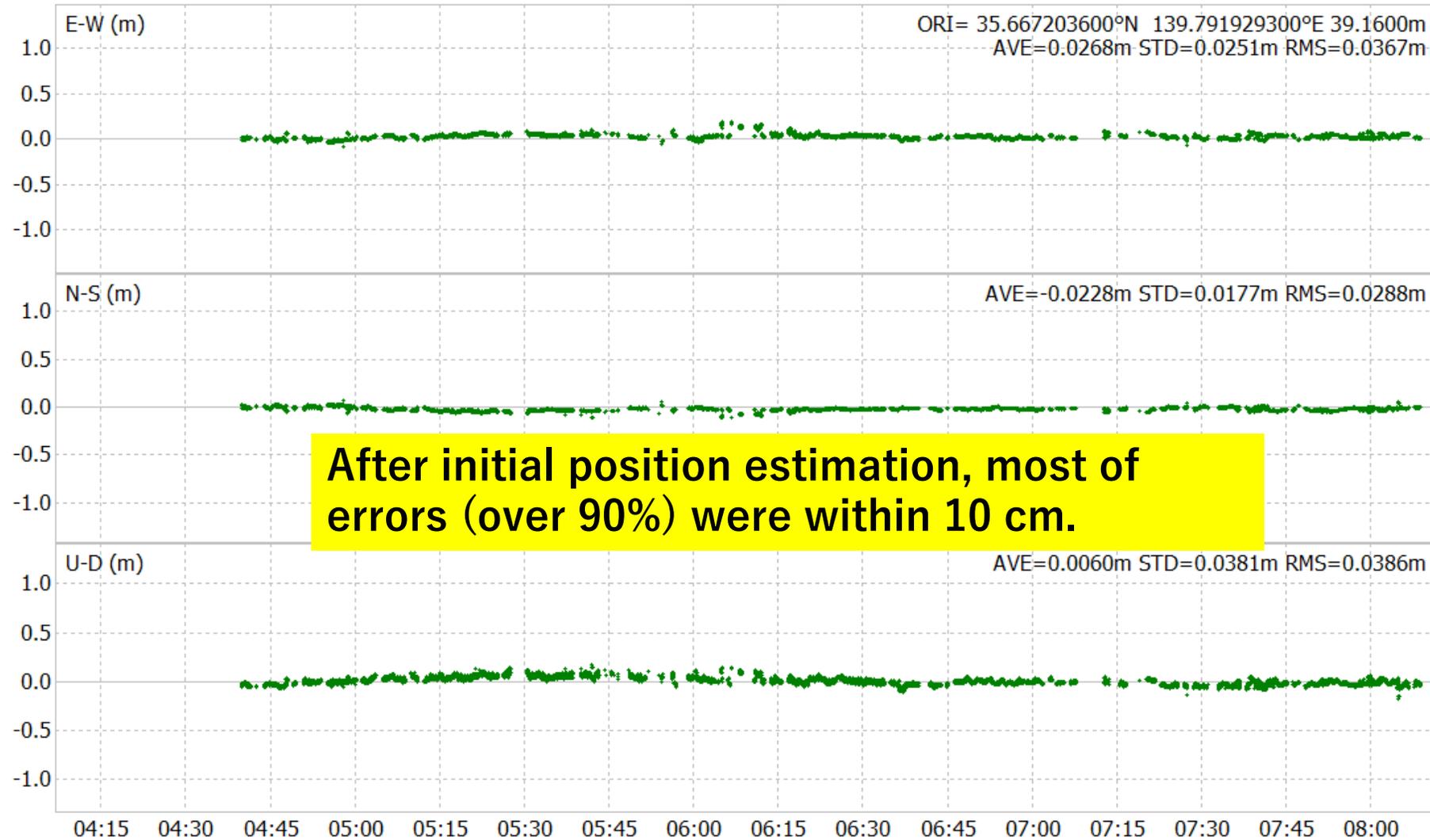
Survey-grade receiver's engine



Low-cost receiver's engine

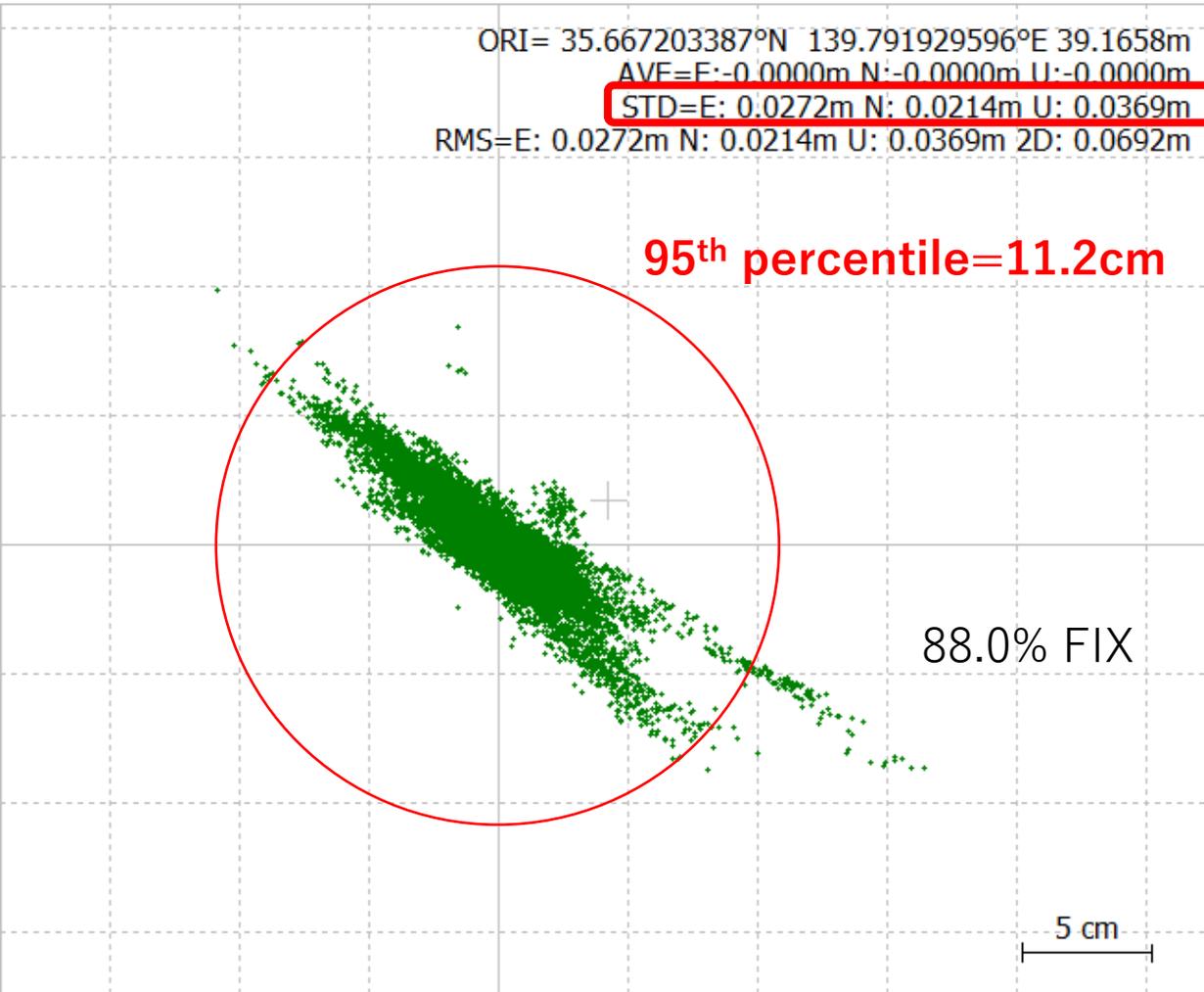
Big issue : Many large wrong fixes positions.

Our engine using low-cost receiver

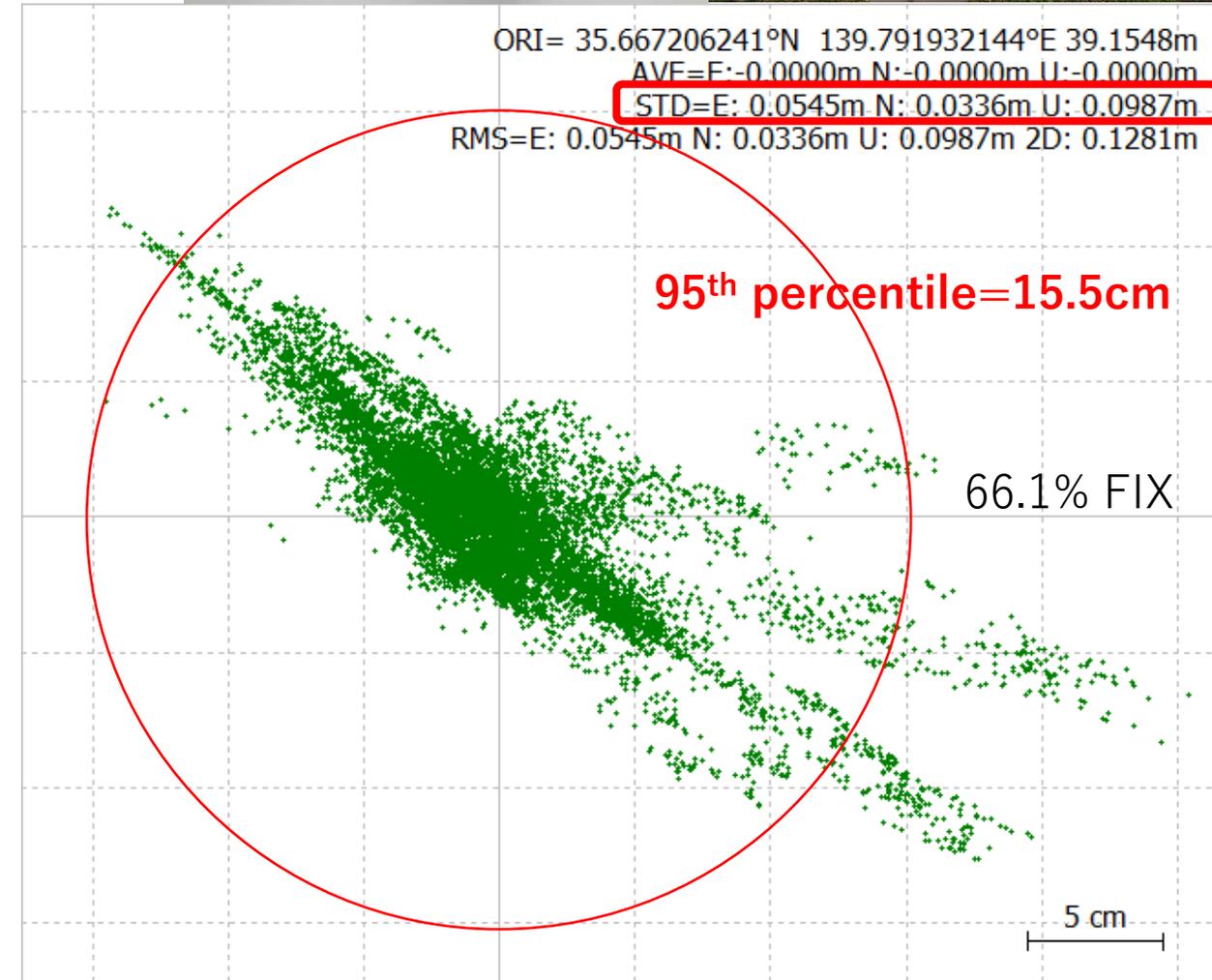


Antenna comparison in RTK (Survey-grade and Patch)

Time : 4/10/2023 2:00-6:00 (UTC)



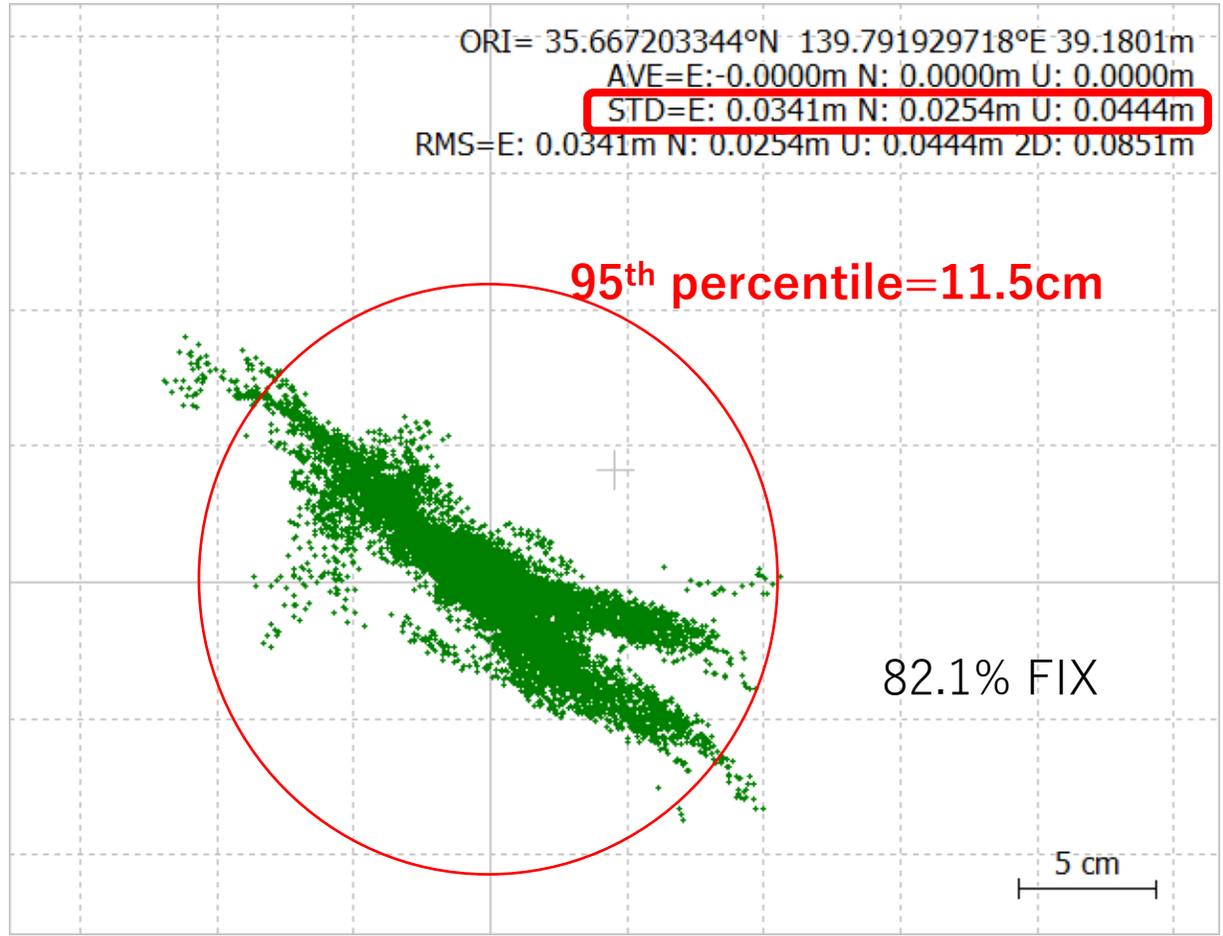
RTK-GNSS of Survey-grade antenna



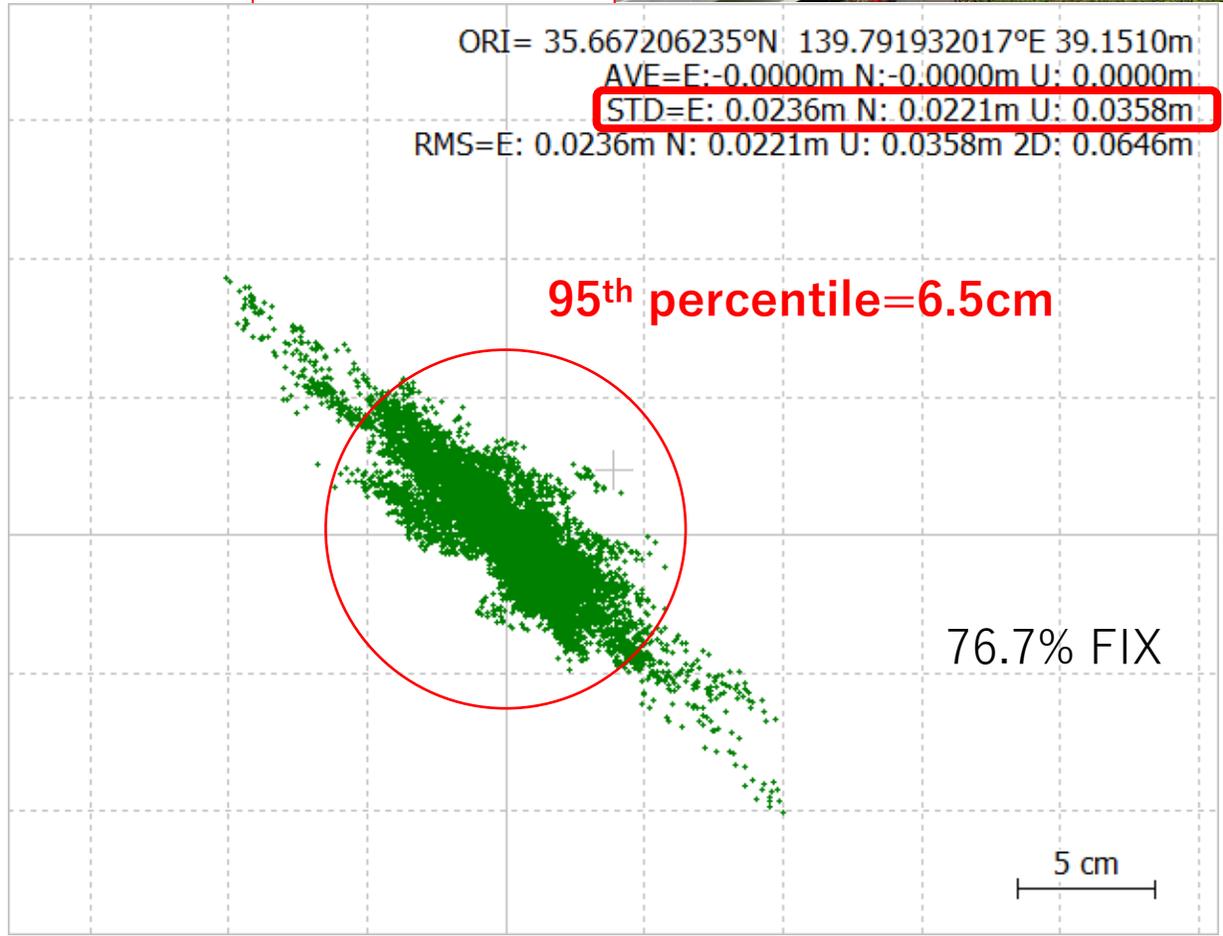
RTK-GNSS of Patch antenna

Antenna comparison in RTK (Survey-grade and Helical)

Time : 4/11/2023 3:00-7:00 (UTC)



RTK-GNSS of Survey-grade antenna



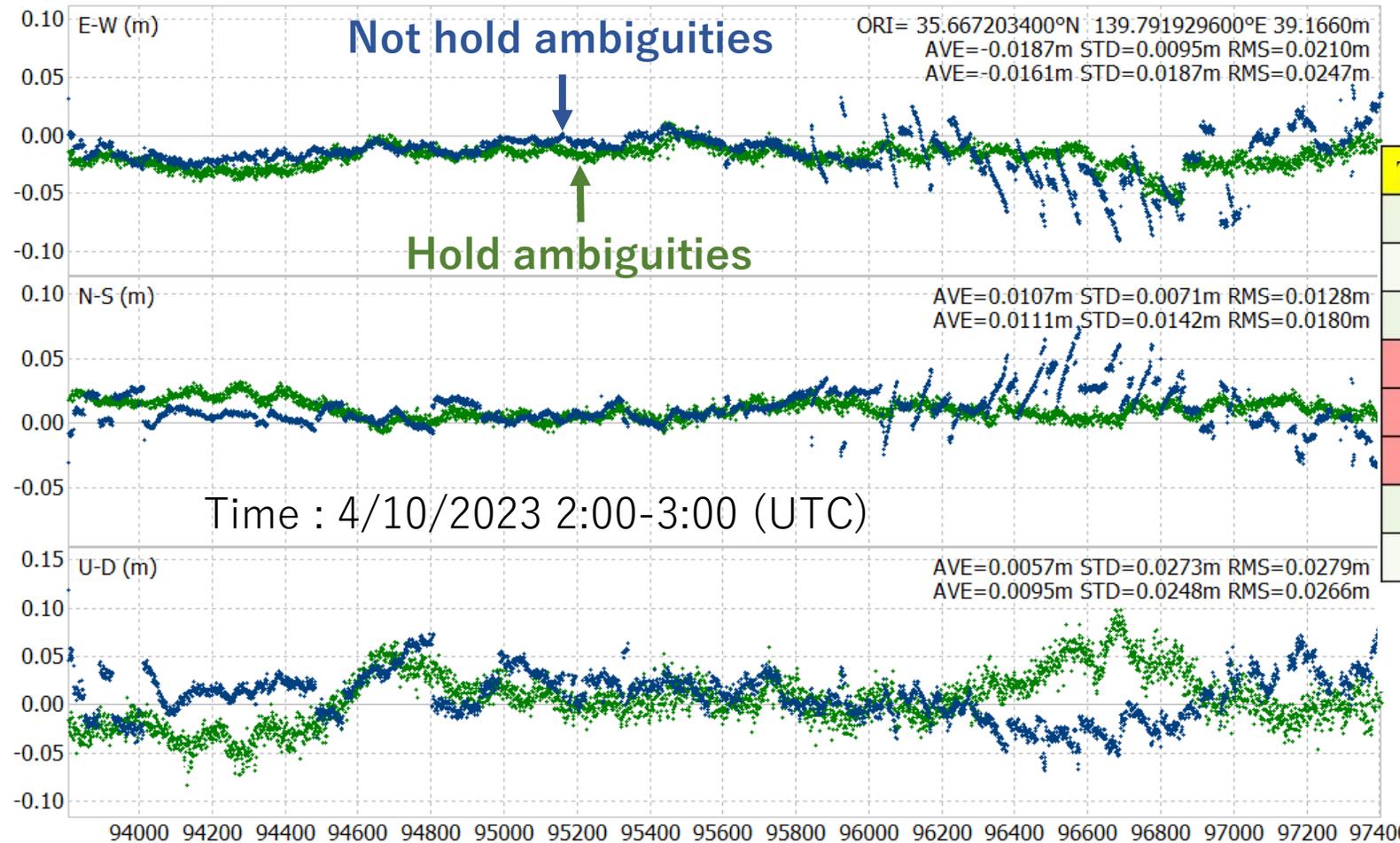
RTK-GNSS of Helical antenna

Summary

1. We introduced an improved initial integer ambiguity resolution in an extremely severe environment.
2. Verification based on actual data confirmed the effectiveness of the proposed method(1cm after 1h smoothing).
3. Antenna comparison was conducted (low-cost helical antenna was better).
4. It will promote the use of RTK-GNSSs in confined spaces, which were ignored by civil engineers previously.

Future work : We have to investigate if our proposed method is optimal or not from a theoretical point of view.

How to generate fixed positions continuously after initial correct AR (case of HOLD mode)



Example of holding ambiguities

TIME	Ratio	SV3	SV10	SV15	SV19	SV26	SV30
1	2.5	○	○	○	○	○	○
2	2.7	○	○	○	○	○	○
3	6.2	○	○	○	○	○	○
4	2.9	○	○	○	×	×	○
5	2.7	○	○	○	×	×	○
6	2.5	○	○	○	×	×	○
7	3.9	○	○	○	×	○	×
8	4.2	○	○	○	×	○	×

○ : Carrier phase is valid
 × : Carrier phase is not valid

Velocity use for RTK-GNSS:

Kubo, N. Advantage of velocity measurements on instantaneous RTK positioning. *GPS Solut* **13**, 271–280 (2009). <https://doi.org/10.1007/s10291-009-0120-9>

ソリューション エクスプローラー

ソリューション エクスプローラー の検索 (Ctrl+ 🔍)

- preceph.c
- qzslex.c
- rcvlex.c
- rcvraw.c
- rinex.c
- rt17.c
- rtcm.c
- rtcm2.c
- rtcm3.c
- rtcm3e.c
- rtkcmn.c
- rtklib.h
- rtkpos.c**
- rtkrcv.c
- rtksvr.c
- sbas.c
- septentrio.c
- skytraq.c
- solution.c
- src.pro
- ss2.c
- stream.c
- streamsvr.c
- tersus.c

ソリューション... クラスヒ... プロパテ... Git 変更

```
1877 *
1878 * be properly set for relative mode except for moving-baselin
1879 *
1880 extern int rtkpos(rtk_t *rtk, const obsd_t *obs, int n, const nav_t *n
1881 {
1882     prcopt_t *opt=&rtk->opt;
1883     sol_t solb={{0}};
1884     gtime_t time;
1885     int i, nu, nr;
1886     char msg[128]="";
1887
1888     trace(3, "rtkpos : time=%s n=%d\n", time_str(obs[0].time, 3), n);
1889     trace(4, "obs=%n"); traceobs(4, obs, n);
1890     /*trace(5, "nav=%n"); tracenav(5, nav);*/
1891
1892     /* set base staion position */
1893     if (opt->refpos<=POSOPT_RINEX&&opt->mode!=PMODE_SINGLE&&
1894         opt->mode!=PMODE_MOVEB) {
1895         for (i=0; i<6; i++) rtk->rb[i]=i<3?opt->rb[i]:0.0;
1896     }
1897     /* count rover/base station observations */
1898     for (nu=0; nu <n&&obs[nu].rcv==1; nu++);
1899     for (nr=0; nu+nr<n&&obs[nu+nr].rcv==2; nr++);
1900
1901     time=rtk->sol.time; /* previous epoch */
1902     relposkubo(rtk, obs, nu, nr, nav);
1903
1904     /* rover position by single point positioning */
1905     if (!pntpos(obs, nu, nav, &rtk->opt, &rtk->sol, NULL, rtk->ssat, msg)) {
1906         errmsg(rtk, "point pos error (%s)\n", msg);
1907
1908         if (!rtk->opt.dynamics) {
1909             outsolstat(rtk);
1910             return 0;
1911         }
1912     }
```

relpos × → ×

Aa AB * 現在のドキュメント

90 % 問題は見つかりませんでした 行: 1896 文字: 6 混合 CRLF

出力

出力元(S):

ソリューション エクスプローラー

ソリューション エクスプローラー の検索 (Ctrl+)

- preceph.c
- qzslex.c
- rcvlex.c
- rcvraw.c
- rinex.c
- rt17.c
- rtcm.c
- rtcm2.c
- rtcm3.c
- rtcm3e.c
- rtkcmn.c
- rtklib.h
- rtkpos.c**
- rtkrcv.c
- rtksvr.c
- sbas.c
- septentrio.c
- skytraq.c
- solution.c
- src.pro
- ss2.c
- stream.c
- streamsvr.c
- tersus.c

ソリューション... クラスビ... プロパテ... Git 変更

```
1948     }
1949     for (i=0;i<6;i++) rtk->rb[i]=solb.rr[i];
1950
1951     /* time-synchronized position of base station */
1952     for (i=0;i<3;i++) rtk->rb[i]+=rtk->rb[i+3]*rtk->sol.age;
1953
1954     else {
1955         rtk->sol.age=(float)timediff(obs[0].time,obs[nu].time);
1956
1957         if (fabs(rtk->sol.age)>opt->maxtdiff) {
1958             errmsg(rtk,"age of differential error (age=%.1f)¥n",rtk->sol.age);
1959             outsolstat(rtk);
1960             return 1;
1961         }
1962     }
1963     /* relative potitioning */
1964     //relpos(rtk,obs,nu,nr,nav);
1965     relposkuboResult(rtk,obs,nu,nr,nav);
1966
1967     outsolstat(rtk);
1968
1969     return 1;
1970 }
1971
```

90 % 問題は見つかりませんでした 行: 1967 文字: 21 混合 CRLF

出力

出力元(S):

ナビゲーション ツールボックス プロパティ

ソリューション エクスプローラー (Solution Explorer) showing a file tree for a project. The files listed include:

- calc_satpos_next.cpp
- calc_satpos_prev.cpp
- calc_tropo.cpp
- calc_velocity.cpp
- check_cn.cpp
- choose_sat.cpp
- choose_sat_dual.cpp
- choose_sat_rtk.cpp
- global.h
- global_extern.h
- least_square.cpp
- main.cpp
- matinv.cpp
- minv.cpp
- newton.cpp
- read_data.cpp
- read_rinex_nav.cpp
- read_rinex_obs302.cpp
- rinex_time.cpp
- set_initial_value.cpp
- trans_coordinate.cpp
- trans_xyz_llh.cpp
- w_inv.cpp

```
main.cpp
400 }
401
402
403 extern int relposkubo(rtk_t *rtk, const obsd_t *obs, int nu, int nr, const nav_t *nav)
404 {
405
406
407
408     int i=0, iter=0; //読み込み回数
409     int rcvn; //rcvn=1 (基準側) rcvn=0 (移動側)
410     int pos=1; //?
411     int rover_kaisu=0;
412     int min_sat = 6;
413     double trange[PRN]={0}, stock_cn1[RCVN][PRN]={0};
414     static int SATn_moto=0, SVn_moto[PRN]={0};
415     double ratio_gqeb = 0, ratio_gqer = 0, ratio_gqebr = 0;
416     static double max[6] = { 0 };
417
418     for (i=0; i<3; i++) PreSolFlag[i]=Sol_flag[i];
419
420
421
422     SetRKTLibtoKubo(rtk, obs, nu, nr, nav);
423
424     //if (((int)DGPSTIME) == 267071)
425     //{
426     //    int a = 0;
427     //    a++;
428     //}
429
430
431
432     if (SATn[0]==0 || SATn[1]==0) return 0;
433     if (GPSTIME==0 || DGPSTIME==0) return 0;
```

90 % 問題は見つかりませんでした 行: 559 文字: 24 列: 31 混合 CRLF

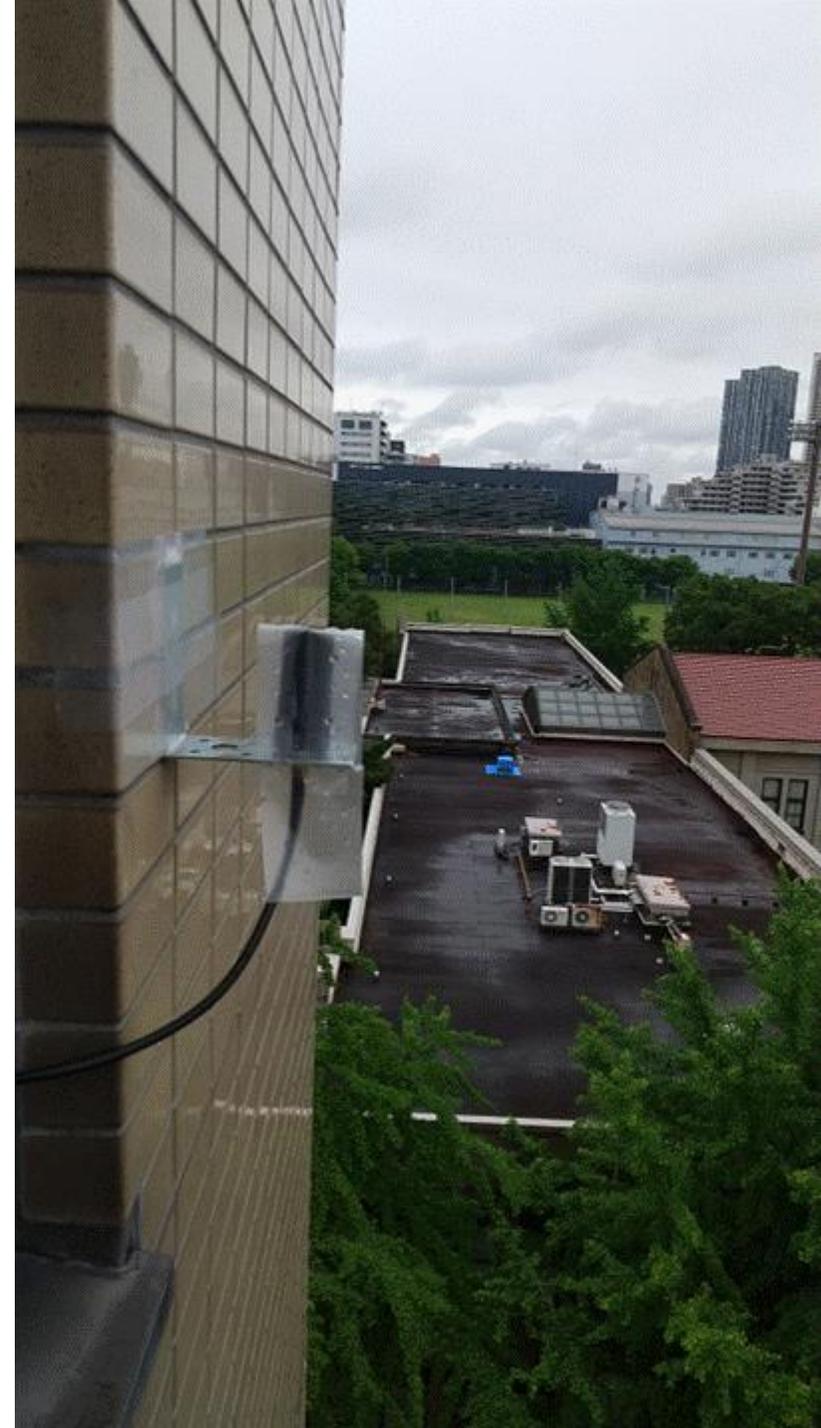
出力 (Output) window showing the output source (出力元(S):) and various icons for output management.

RTKLIBへのRTKコアの組み込み

- relposの測位演算部分以外はRTKLIBをできるだけそのまま利用
- GPS時刻等一部変数のやりとり
- データのやりとり（航法データと観測データ）→RTKLIBで観測データを読み込むタイミングでそのままやりとり
- 衛星番号の変更
- 測位演算の実施
- 演算終了後、結果のやりとり

実際のRTKNAVIでの確認

- 基準局は第4実験棟5階
- 移動側は壁にへリカルアンテナを設置
(2号館6階)
- RTKNAVIで確認
- 5月4日から6日にかけて取得
- RTKNAVIとRTKコアを組み込んだもので比較 (利用衛星、マスク角、最低信号レベル等の解析条件は同じ)



産学・地域連携推進機構

東京海洋大学
越中島キャンパス

越中島会館

Google

2丁目



2023/05/04 01:49:02.0 GPST

I O L

☰ Lat/Lon/Height ▾

Rover:Base SYS SNR (dBHz) ▾ ▾

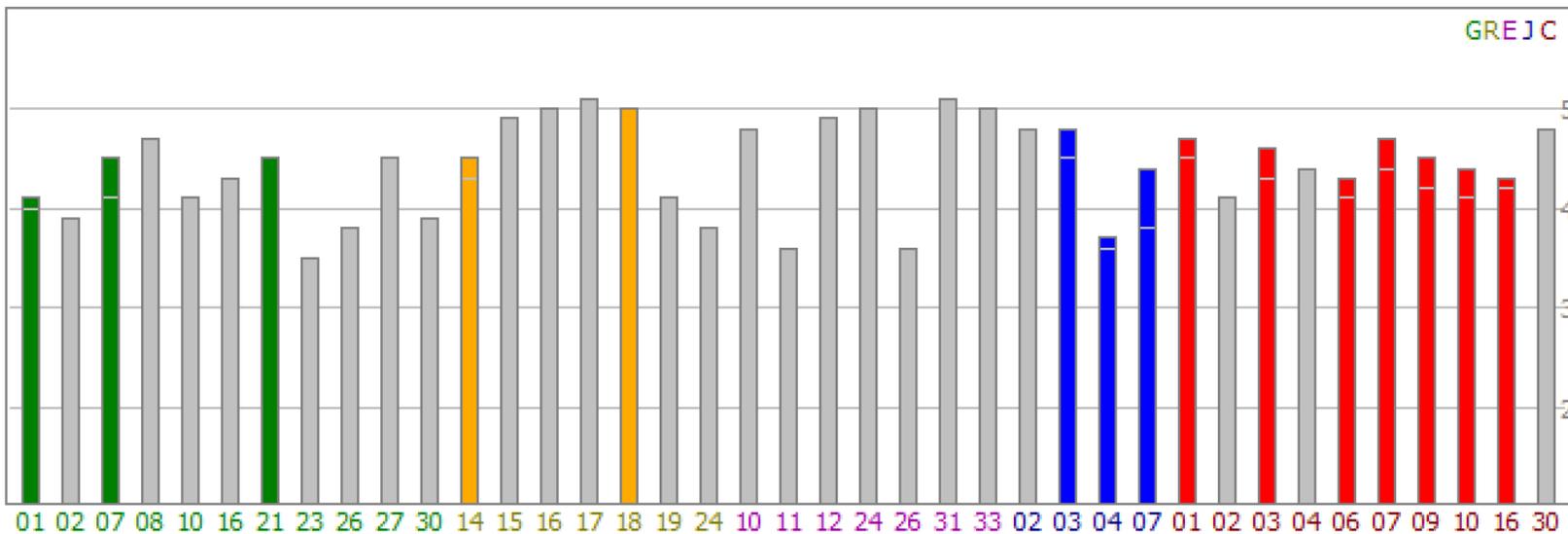
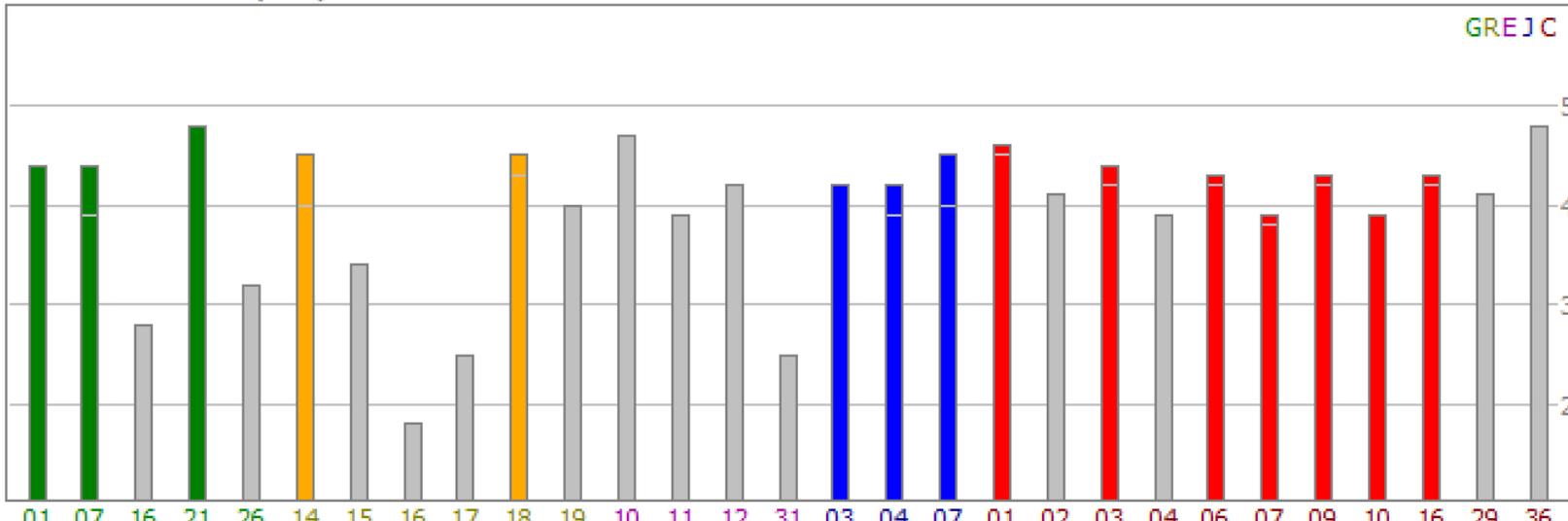
Solution (S): FIX

N: 35.66710884 °

E: 139.79281552 °

He: 59.781 m

E: 0.001 N: 0.001 U: 0.001 m
Age:-0.0 s Ratio:999.9 #Sat:15



< > ...

(1) 153.121.59.53/ECJ12 (2) 153.121.59.53/ECJ02

☰ ?

■ Stop

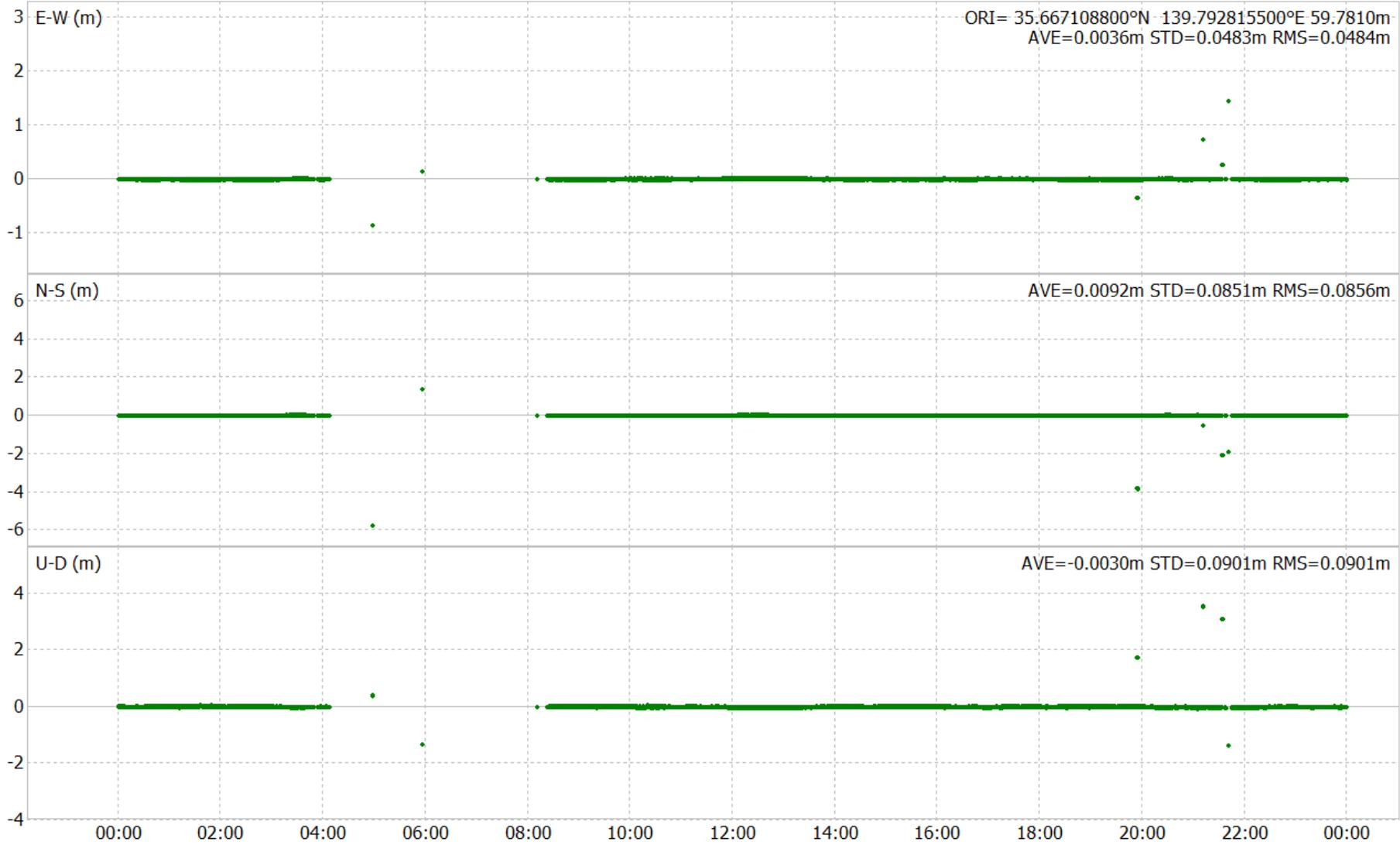
⊙ Mark...

⊕ Plot

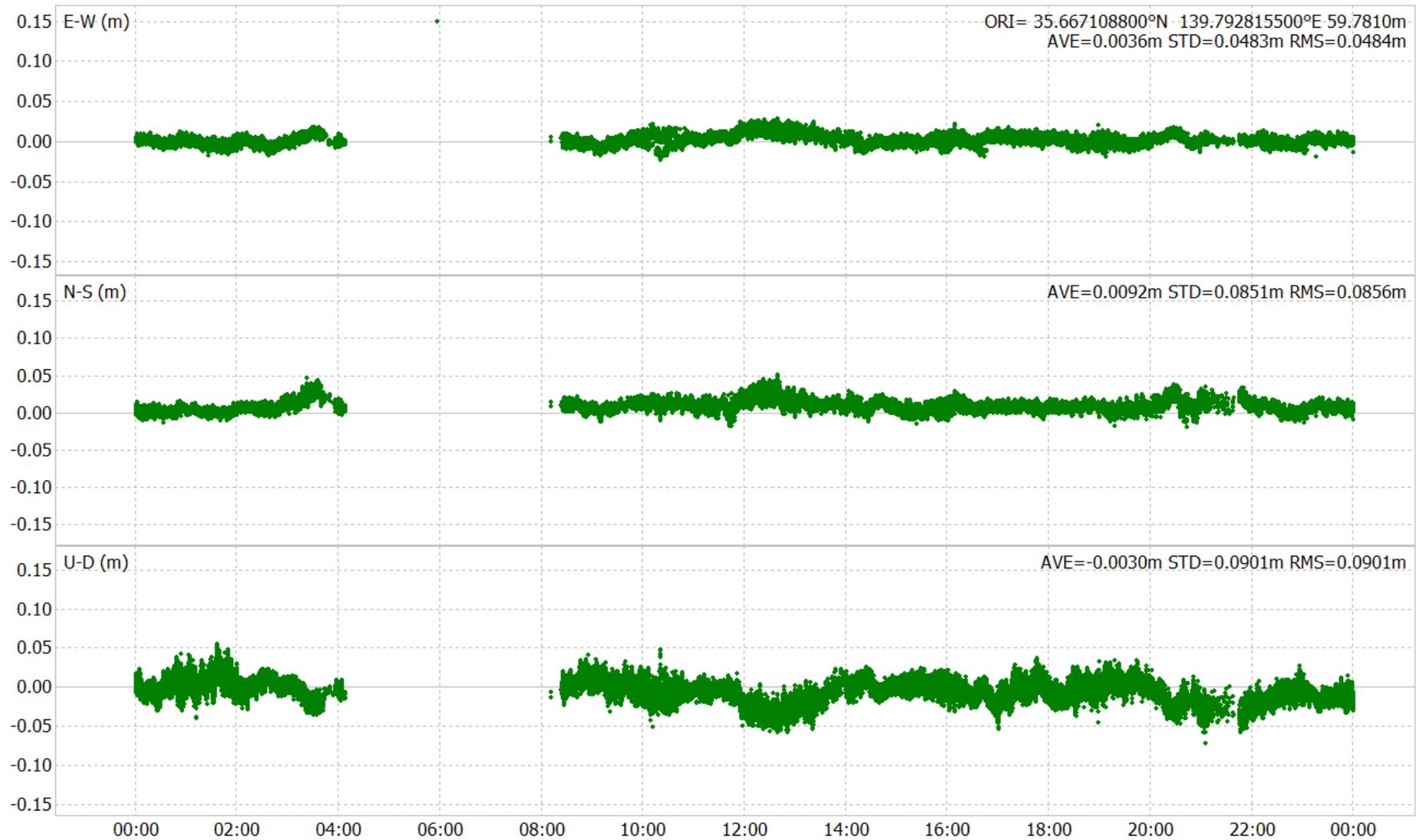
⚙ Options...

Exit

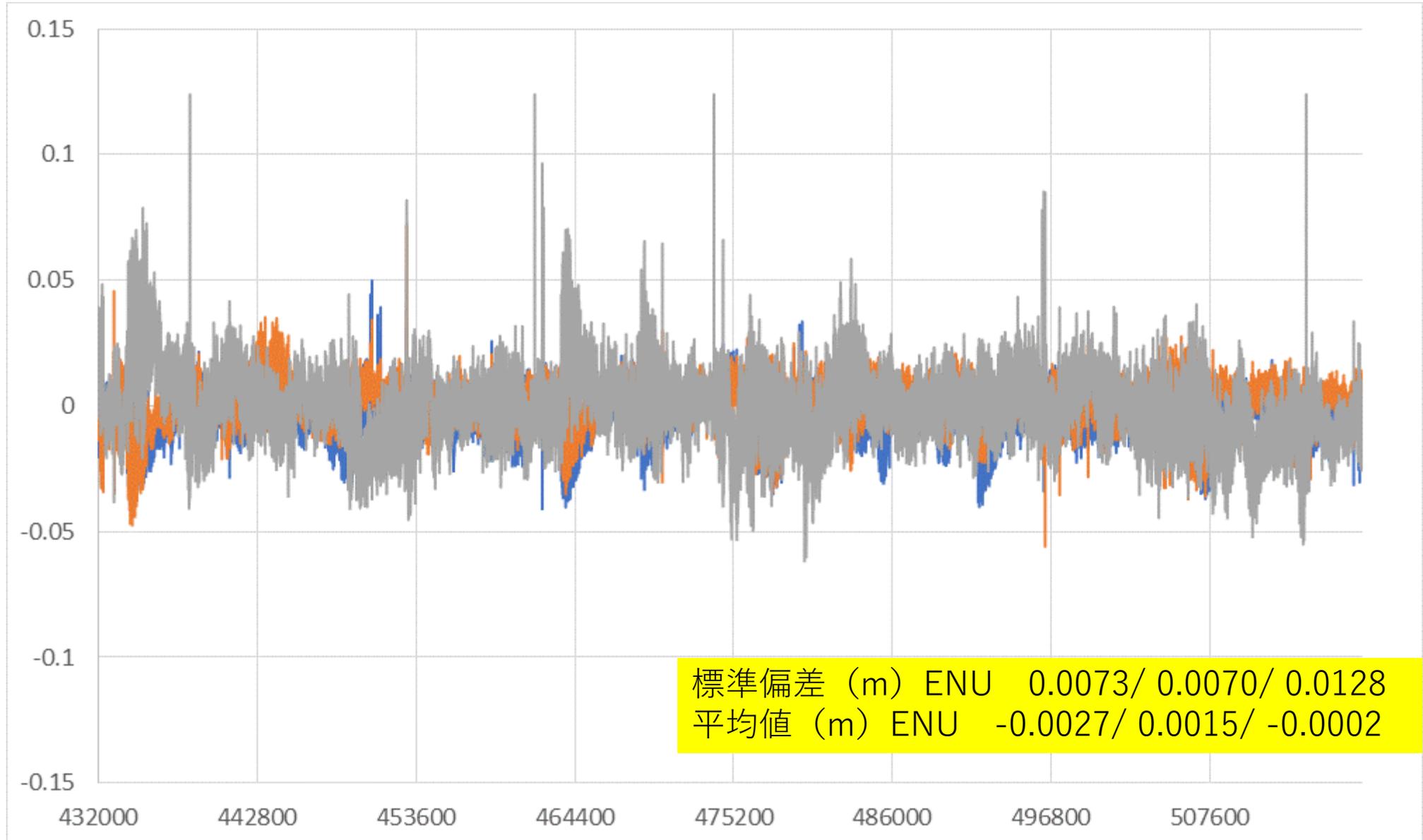
5月5日の24時間の結果 (63.5%)



拡大図

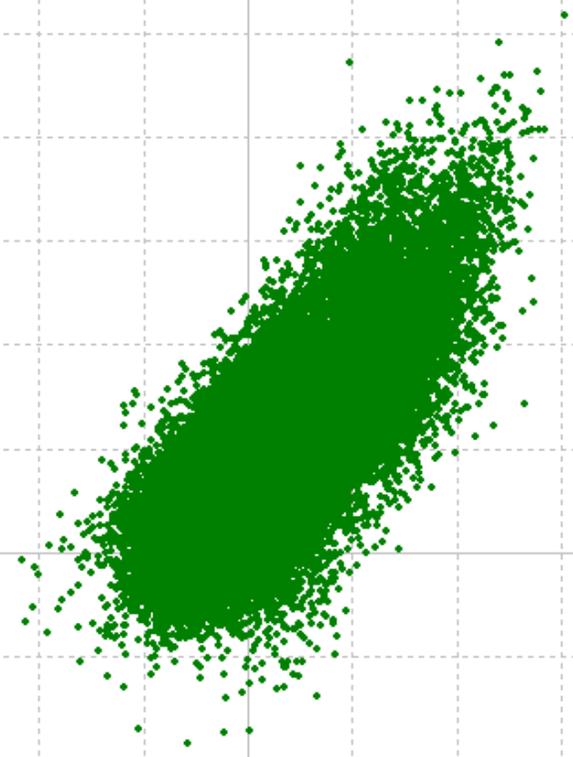


RTKNAVIにRTKコアを組み込んだ結果 (100%)



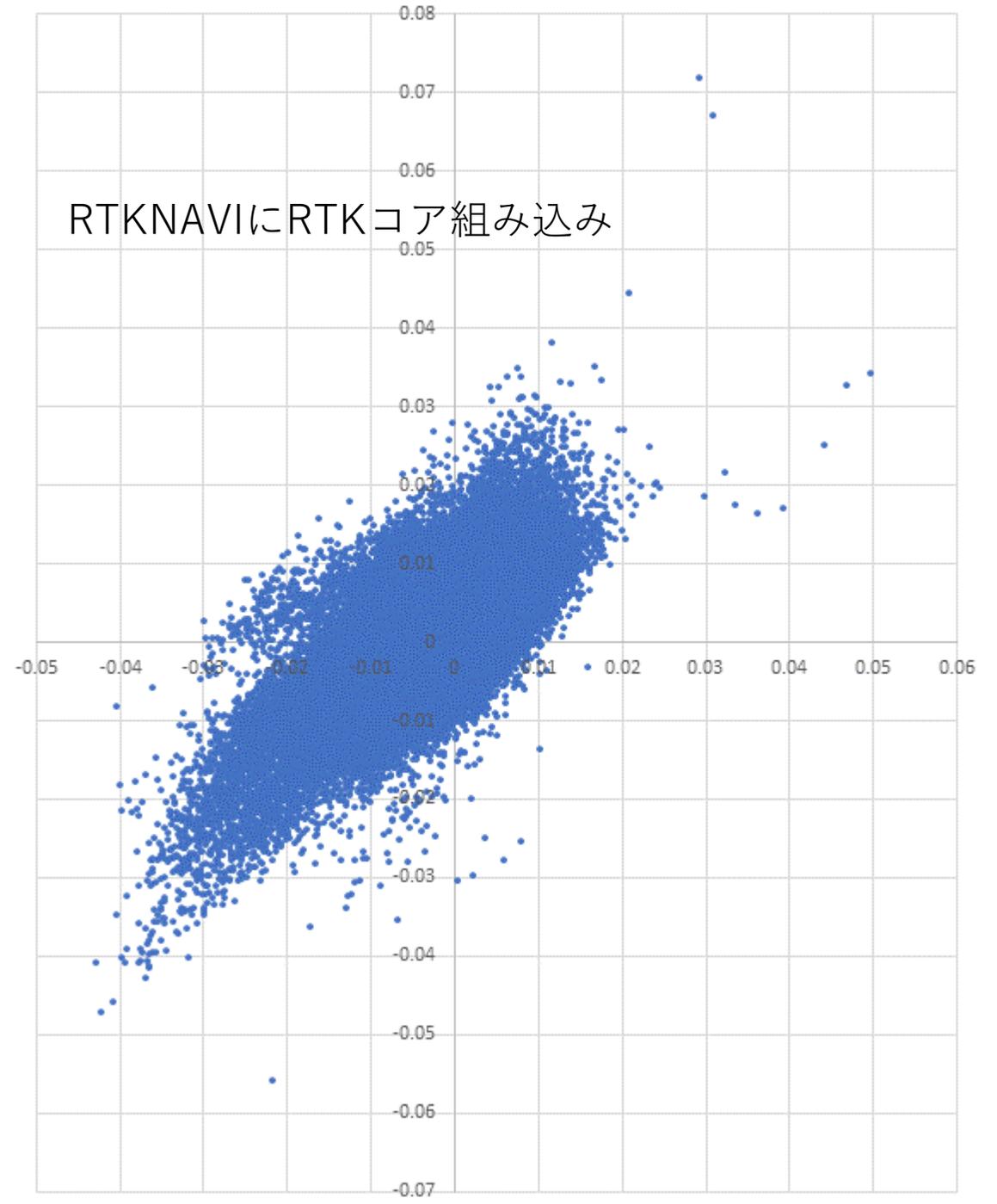
ORI= 35.667108800°N 139.792815500°E 59.781
AVE=E: 0.0036m N: 0.0092m U:-0.003
STD=E: 0.0483m N: 0.0851m U: 0.090
RMS=E: 0.0484m N: 0.0856m U: 0.0901m 2D: 0.196

RTKNAVIそのまま



1 cm

RTKNAVIにRTKコア組み込み



高精度測位チャレンジの紹介

- Googleのスマホチャレンジと同様のことを、代表的な市販のGNSS受信機の観測データを利用して行う
- 例えば、u-blox社、セプテントリオ社、トリンブル社等
- 高層ビル街、中層ビル街、住宅街、オープンスカイ等でレファレンス位置を出せるシステムと合わせてこれらGNSS受信機の観測データを取得（名城大の目黒先生、千葉工大の鈴木先生と企画）
- 観測データをWEB上に公開し、測位結果を提出頂き、レファレンス位置との誤差が小さい方を表彰する（秋のGNSSシンポジウム）
- RTKだけでなくPPPやCLASも視野にいれる

レファレンスを得るために

- Applanix社 (Trimble) のPOSLV/POSLVX
- ノバテル社のSPAN
- または、FOGを購入し、高解像の速度センサとの統合を自前で
行う→後処理でよいので、統合ソフトの開発（こういう開発も
大事か）がキー
- レファレンスがあると、衛星ごとのマルチパス誤差を詳細に分
析したり、もしcm級の精度があれば逆にアンビギュイティを求
めることも可能。移動体の高精度測位ソフト開発には欠かせない存在

以降のスライドはレファレンスシステムの結果例
丸の内で確実に20-30cmを出すには1000万超必要

GNSS/IMU/Odometer (Applanix POS LVX)



PERFORMANCE SPECIFICATIONS⁴ (RMS ERROR)

No GNSS outages, standard road vehicle dynamics

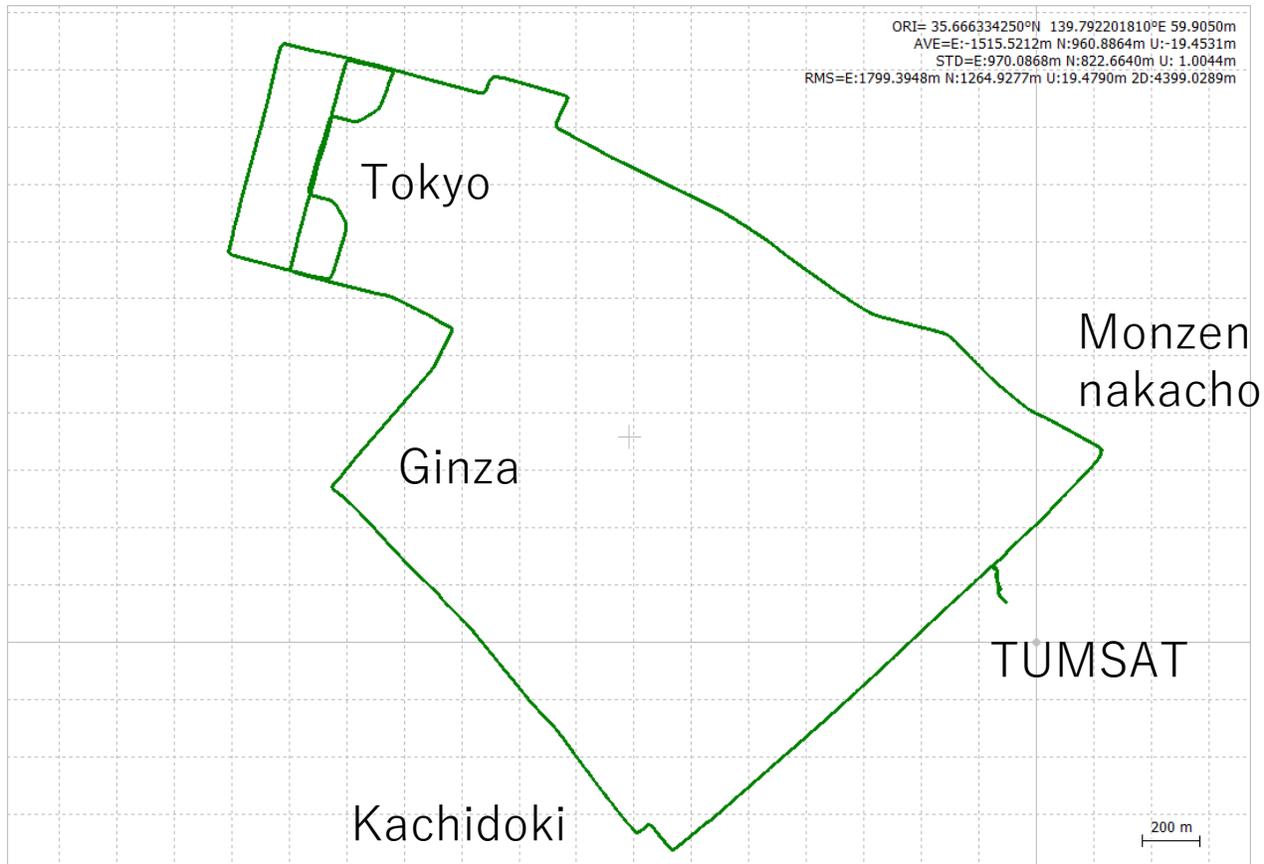
	SPS	SBAS	RTK	Post-Processed ⁸
Position (m)	1.5 H	0.1 H	0.02 H	0.02 H
	3.0 V	0.5 V	0.03 V	0.03 V
Velocity	0.01	0.01	0.01	0.005
Roll & Pitch (deg)	0.04	0.03	0.03	0.025
True Heading ⁵ (deg)	0.12	0.09	0.09	0.06

1 km or 1 minute GNSS outage, standard road vehicle dynamics⁶

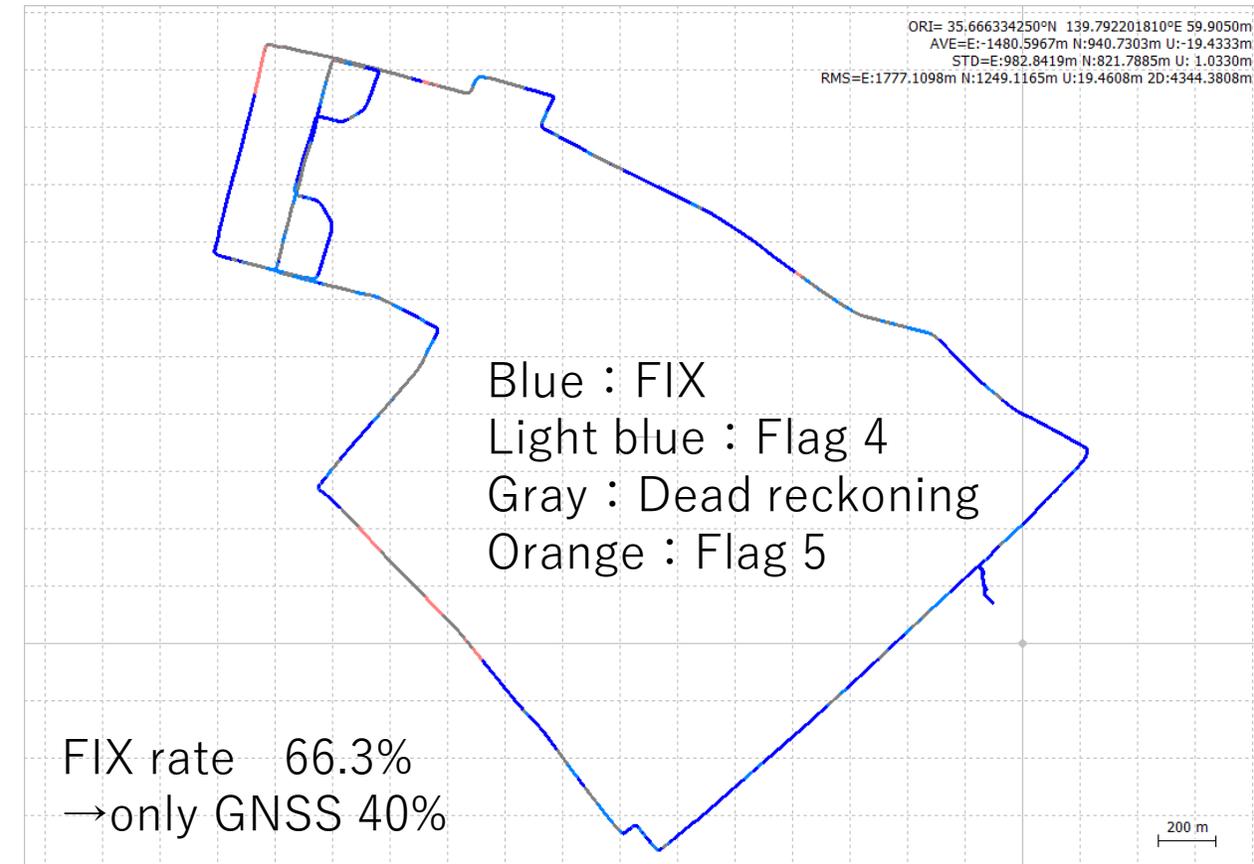
	SPS	SBAS	RTK	Post-Processed ⁸
Position (m)	2.0 H	2.0 H	1.0 H	0.80 H
	5.0 V	3.0 V	2.0 V	0.20 V
Roll & Pitch (deg)	0.09	0.09	0.09	0.05
True Heading ⁵ (deg)	0.35	0.35	0.30	0.20

Integration performance (dense urban case)

Post-processed



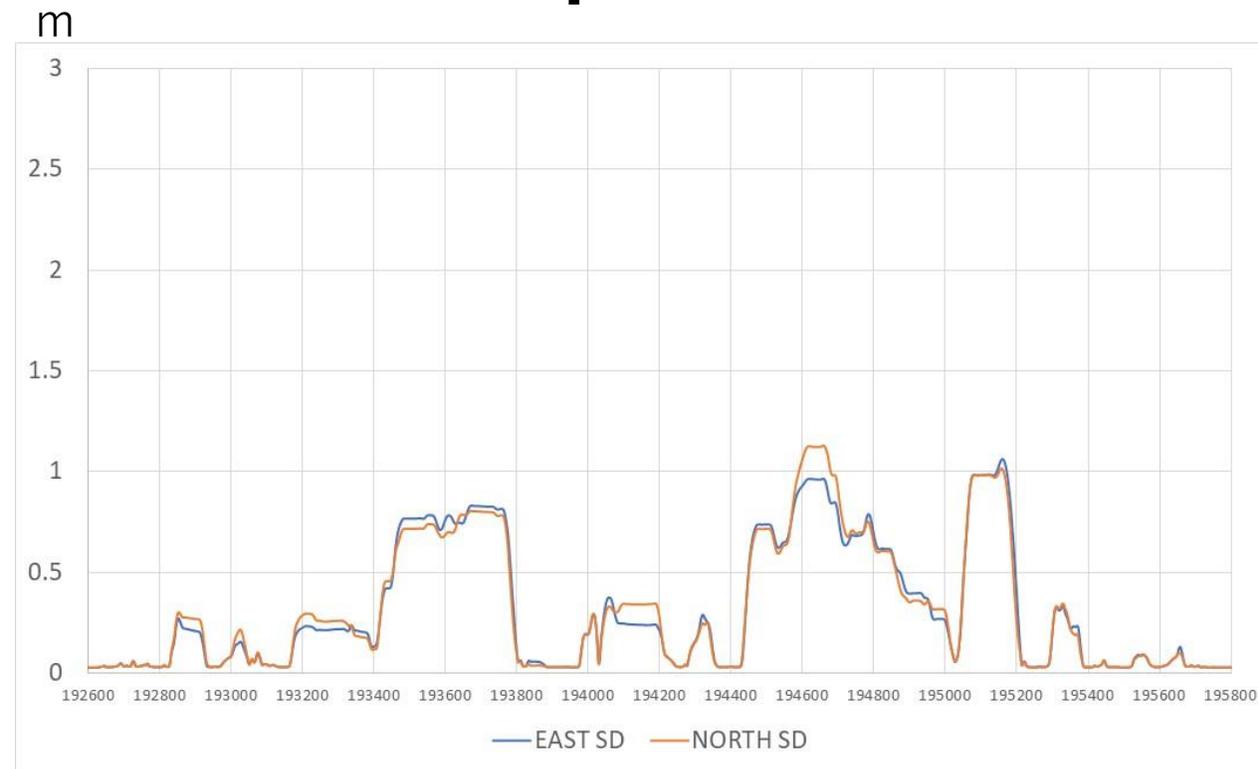
Real-time



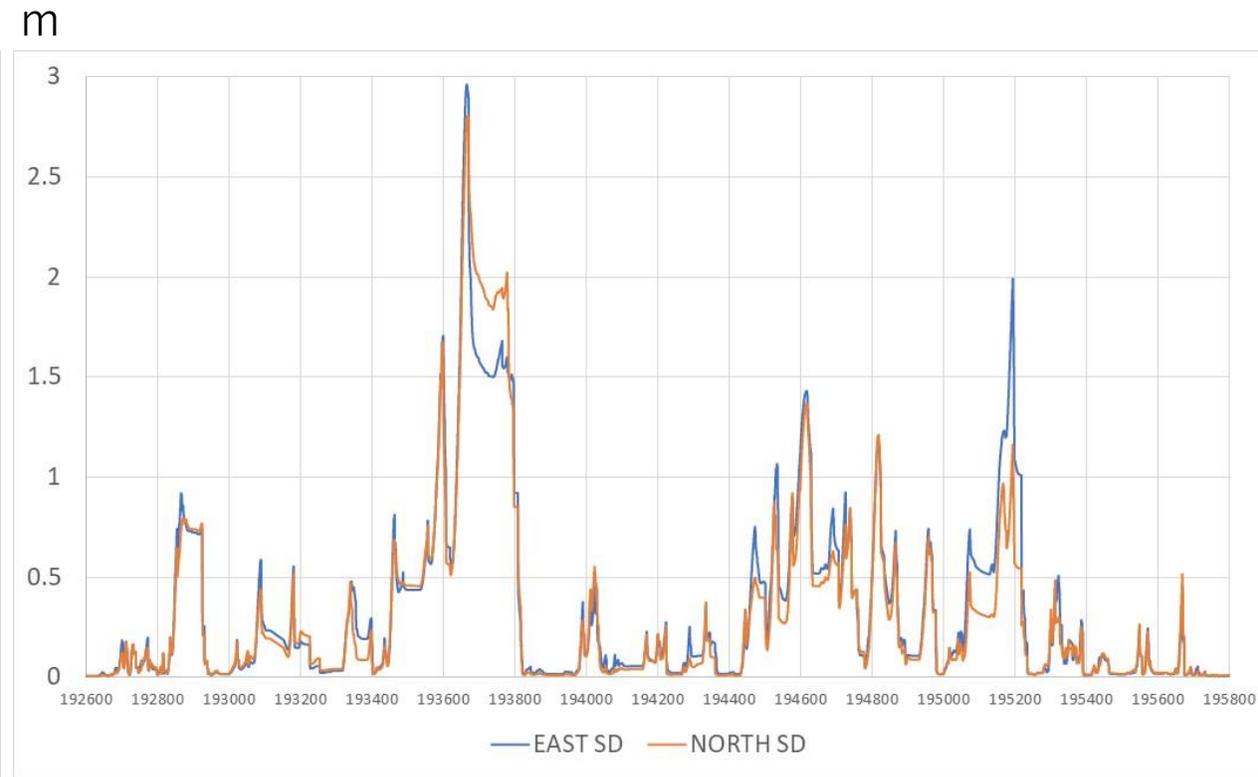
FIX rate is improved by integrating GNSS with IMU/Odometer.

Horizontal RMS values for post-processed, real-time)

Post-processed

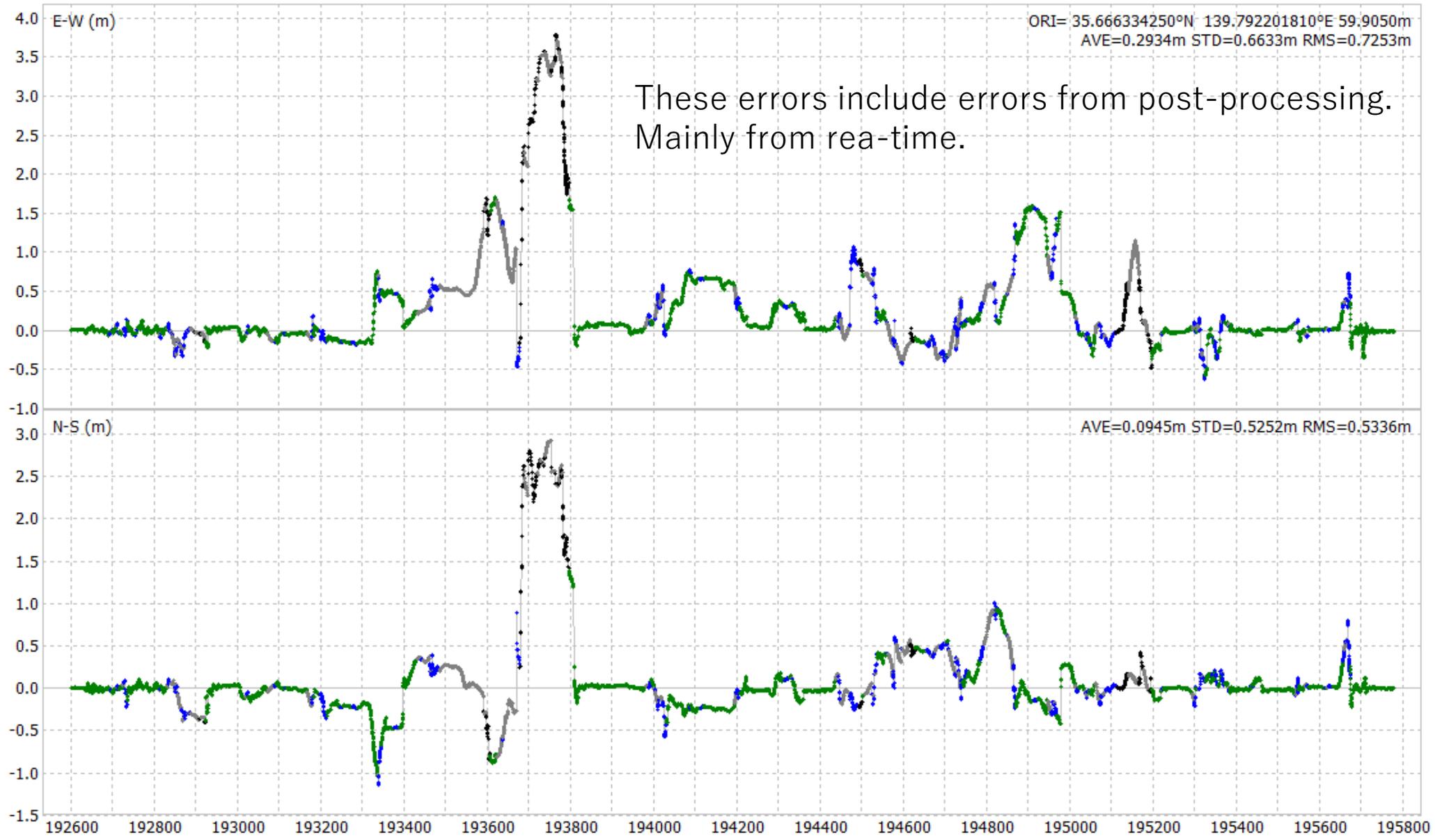


Real-time



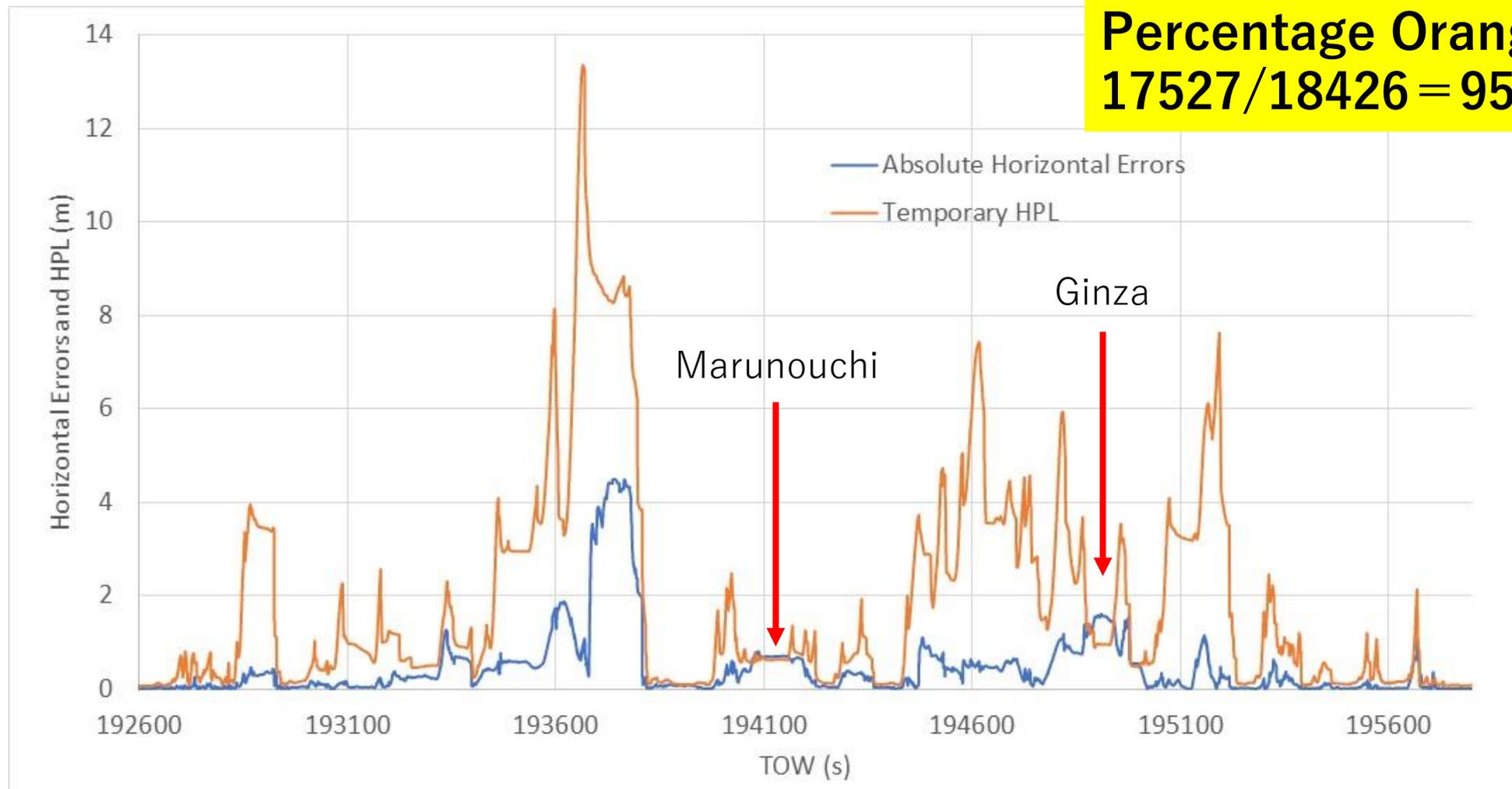
Relatively large error (normally 60-70cm in maximum)

Actual difference : Post processed and Real-time



PL = Post-RMS + Real-time RMS × 3

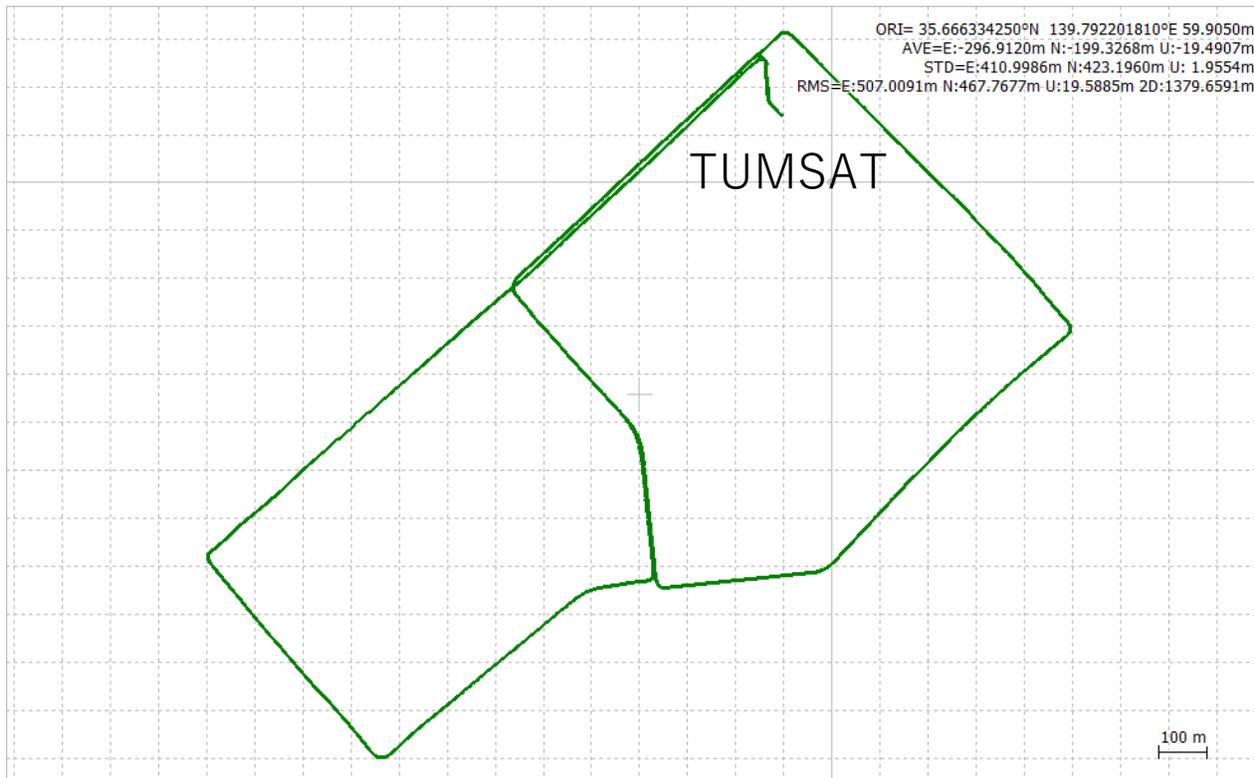
Generated a temporary protection level.
Orange : Protection level, Blue : Actual errors



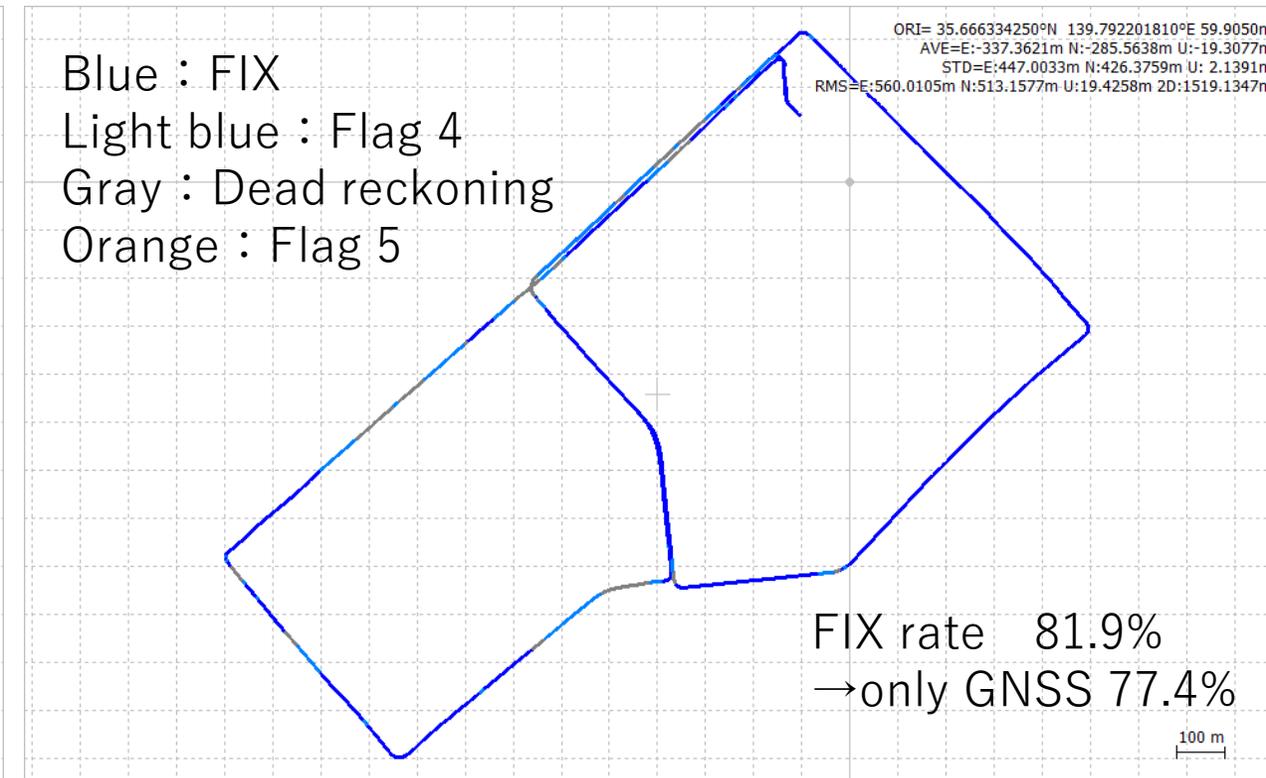
Percentage Orange > Blue
 $17527/18426 = 95.1\%$

Integration performance (semi urban case)

Post-processed



Real-time

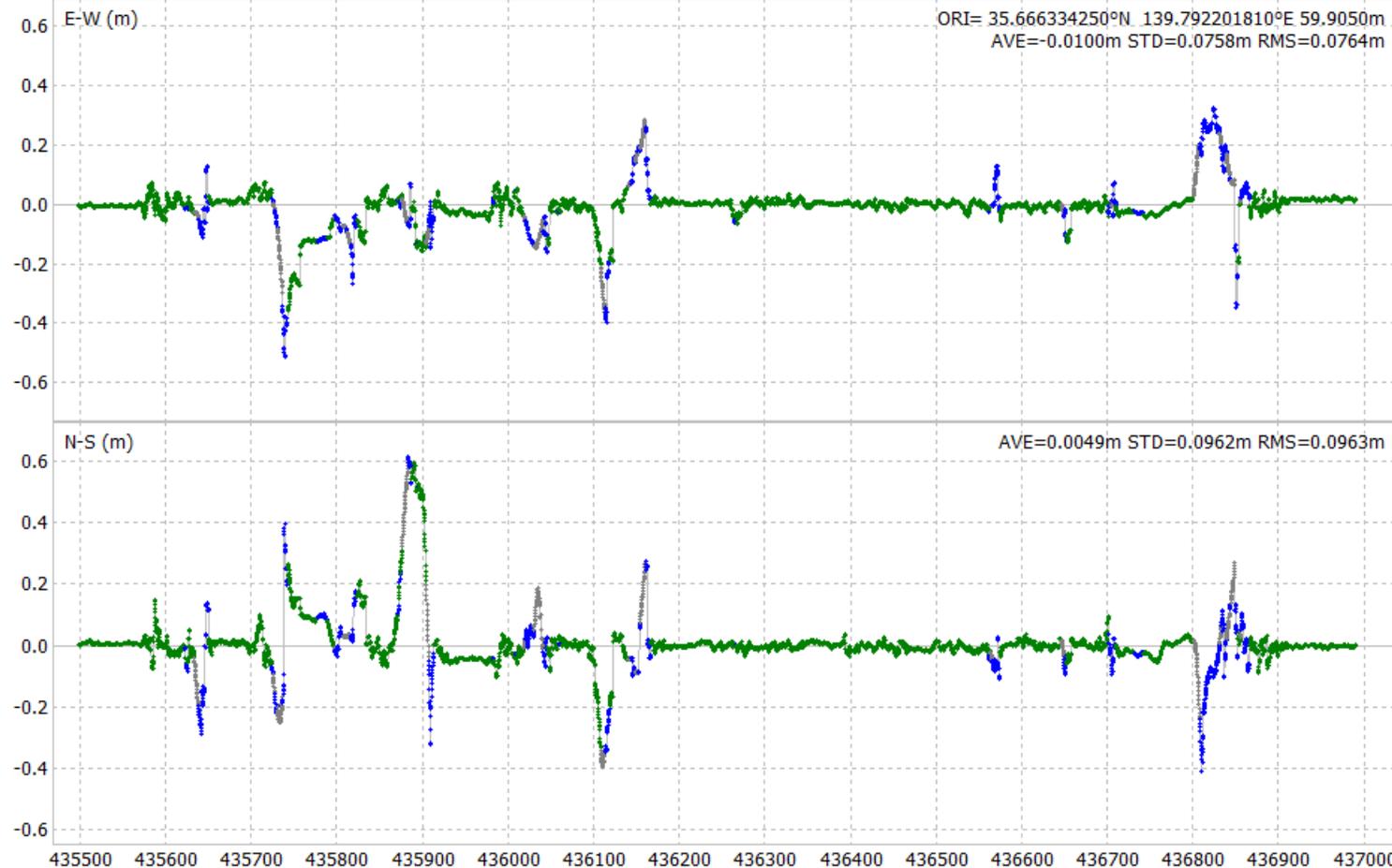


Actual difference : Post processed and Real-time

AVE=E:-0.0100m N: 0.0049m U:-0.0206m
STD=E: 0.0758m N: 0.0962m U: 0.0587m
RMS=E: 0.0764m N: 0.0963m U: 0.0622m 2D: 0.2458m

R=50cm

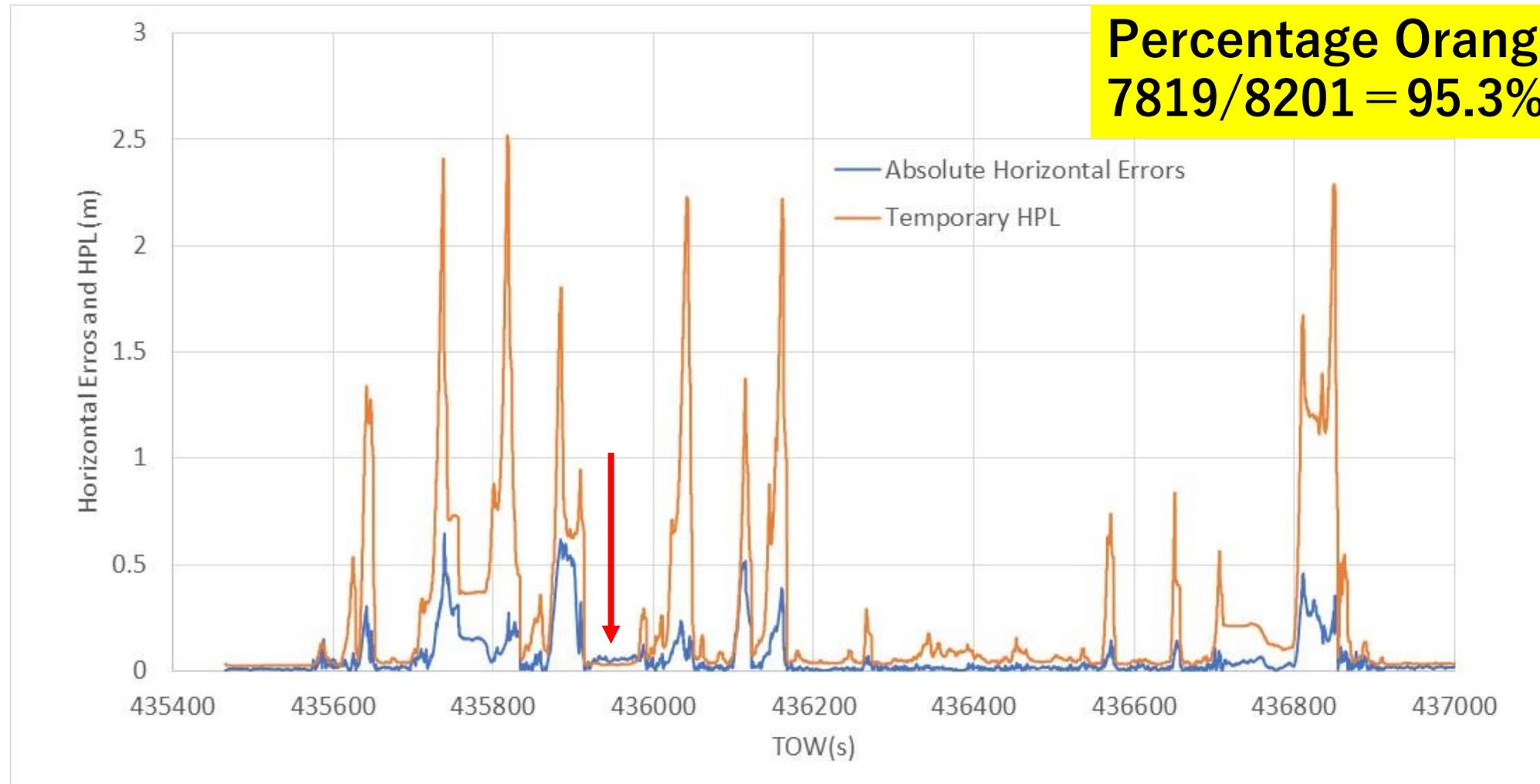
20 cm



Accuracy is different from the results of dense urban.

PL = Post-RMS + Real-time RMS × 3

Generated a temporary protection level.
Orange : Protection level, Blue : Actual errors



Features of each sensor

GNSS
IMU/Odometer } Integration

Good and bad of each sensor

	GNSS			External sensors	
	RTK	Velocity	DGNSS	Odometer	IMU
Position	○	-	△	-	-
Velocity	○	○	×	○	×
Direction	△	△	×	-	△

フリーディスカッション

- 今日の内容の質疑（RTKPOSTは公開）
- 高精度測位チャレンジに対するご意見
- 今回RTKの結果を紹介しましたが、PPPやCLASの精度向上につながる取り組みも重要
- RTKLIBをベースにした改良の方法
- FGOの利用（過去情報の利用）
- RTKLIBの根幹であるRTK/PPP等のアルゴリズム/ソースを詳細に説明したわかりやすい教科書
- IMUや速度センサとの統合
- その他こういう機能があったほうがよい等