

ロバストな測位

低コスト受信機と測量級受信機の融合

GPS/GNSSシンポジウム 2016/10/27

久保信明（東京海洋大学）

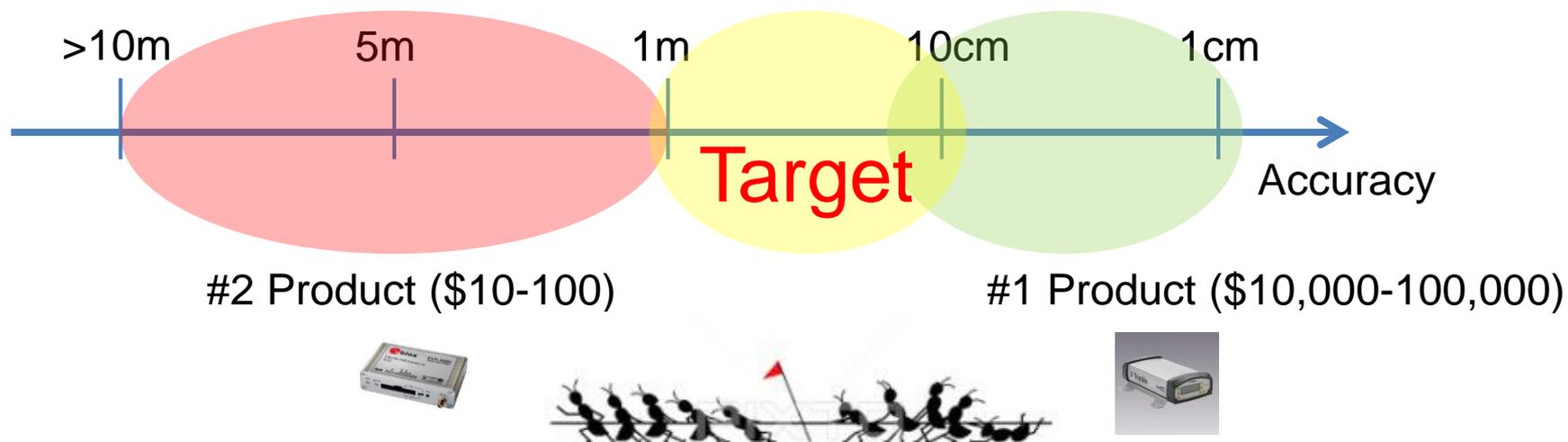
概要

- 都市部移動体測位の現状
- GNSSとIMU/Speedの統合
- 搬送波位相測位少し
- 大きなマルチパス誤差の検知

発表内容は研究室学生の成果物です
一部共同研究等の内容も含みます

移動体測位現状(衛星測位)

- RTK-GNSS (PPPやコード測位) + 車速センサ + IMU
- レーン検知等で期待される水平精度は50cm~1m程度。
かつ信頼性も問われる



30-50cmの水平精度(最大)で100%の利便性

車々間通信

できれば歩行者とも、、、



信頼度のイメージ

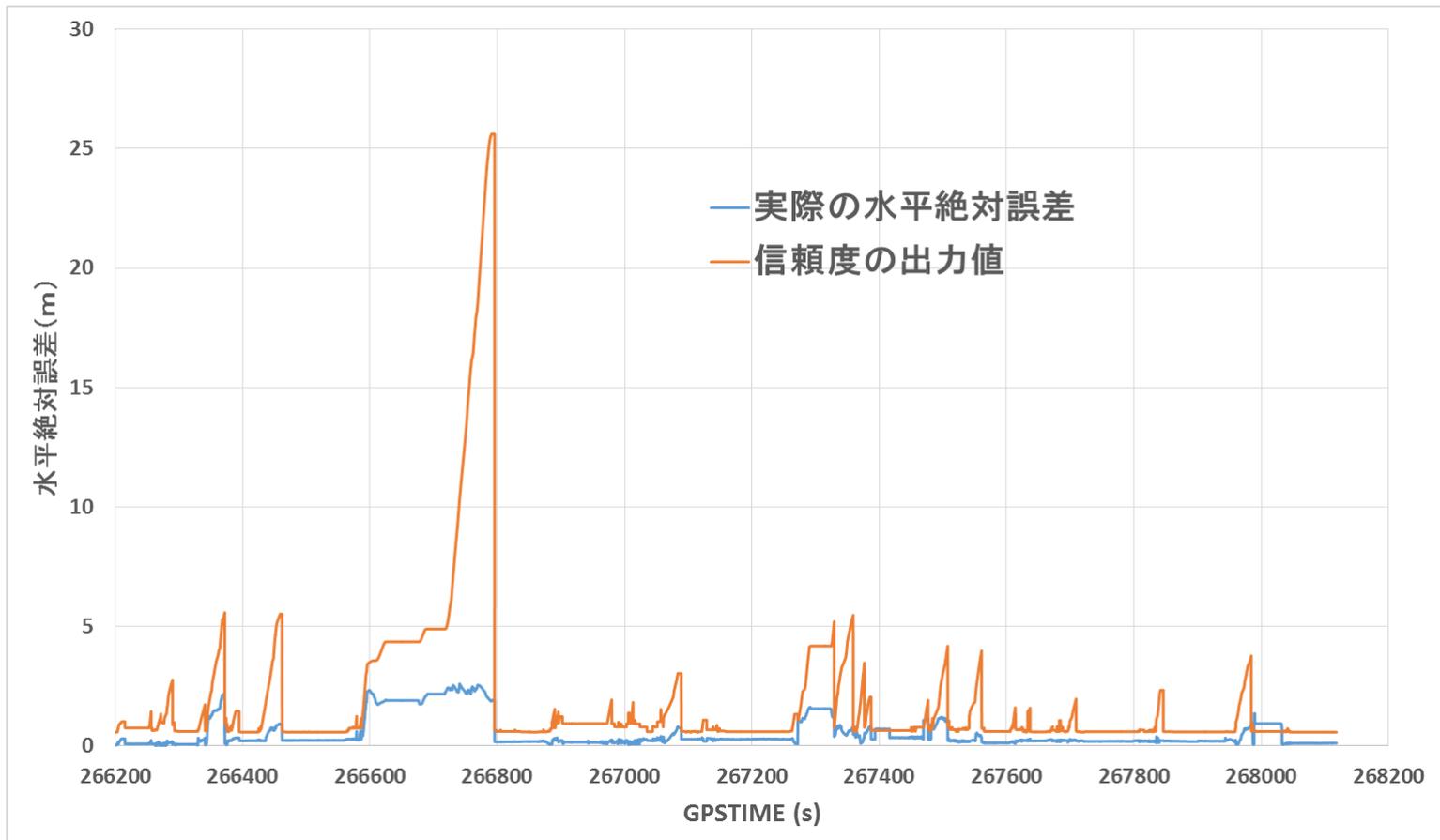
- POSLV
- RTK
- Doppler
- IMU

都市部での信頼度(実データ)
GNSS/IMU/Speed統合

Gray Buildings © 2008 ZENRIN

Google earth

都市部でのGNSS/IMU/Speed統合 による信頼度計算



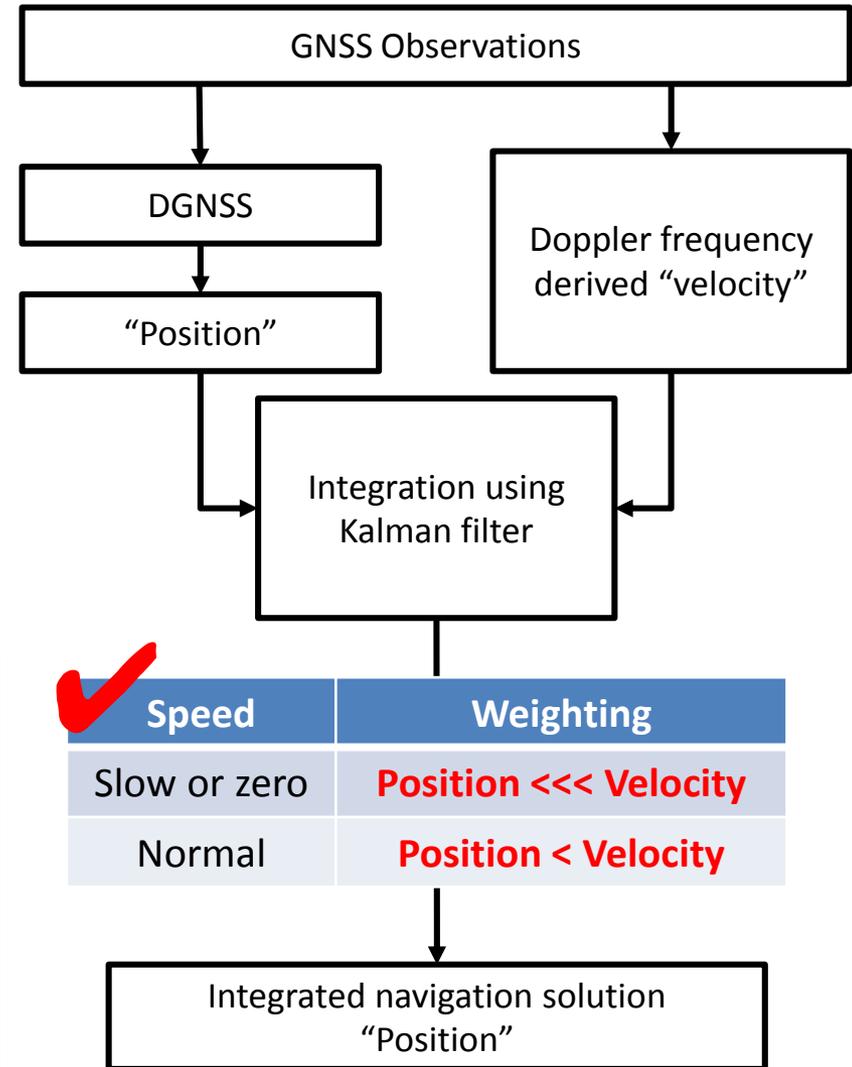
[ION2015] Kinematic Car Test



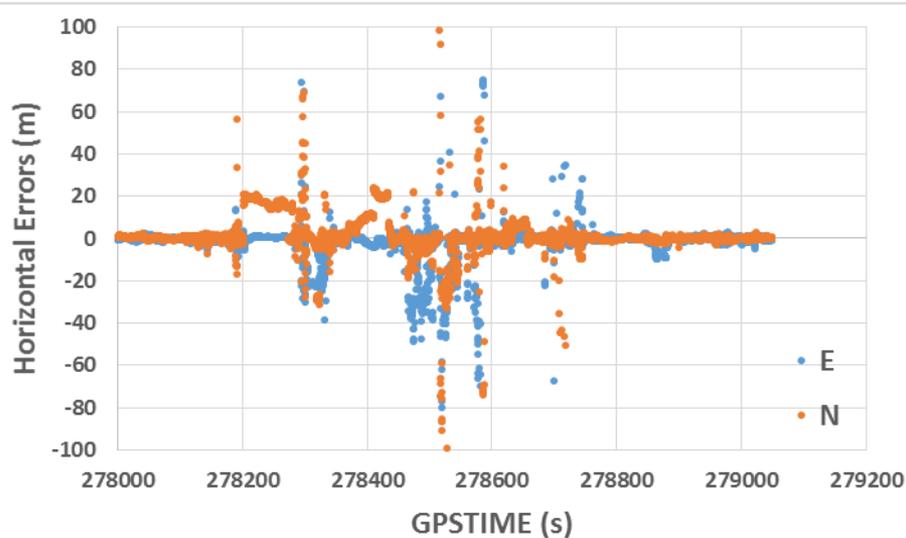
Test route

Test configuration

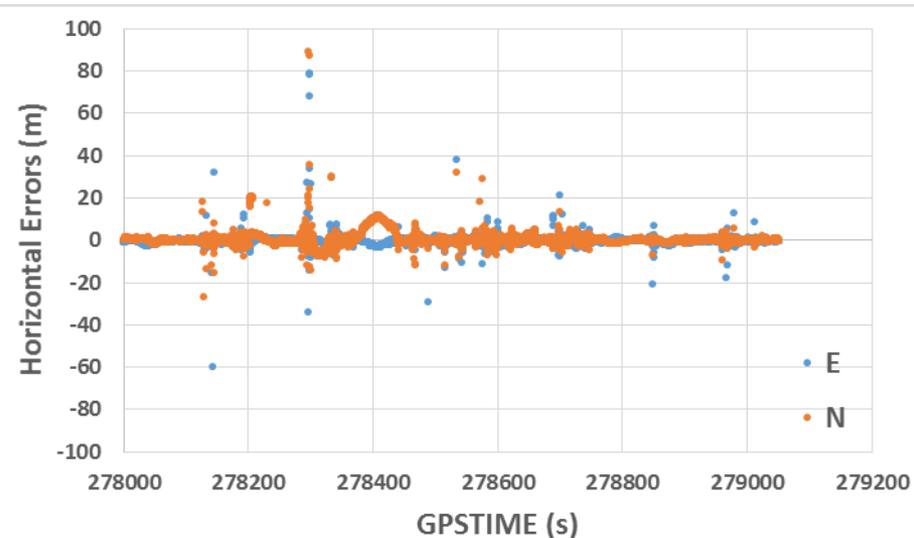
- Tokyo, August 2015
- Single frequency GNSS receiver (ublox M8T)
- GPS/BEI/QZS (DGNSS)
- 20 minutes with 5Hz (3 times for same route)
- Reference positions : POSLV
- Normal urban areas except for several high-rise buildings



信号レベルのチェック有無でのコード測位比較



信号レベルチェックなし

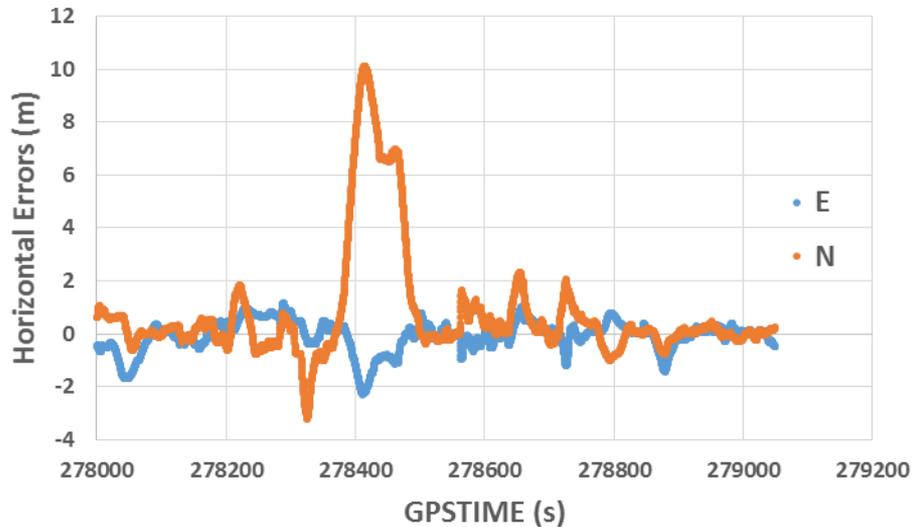


信号レベルチェックあり

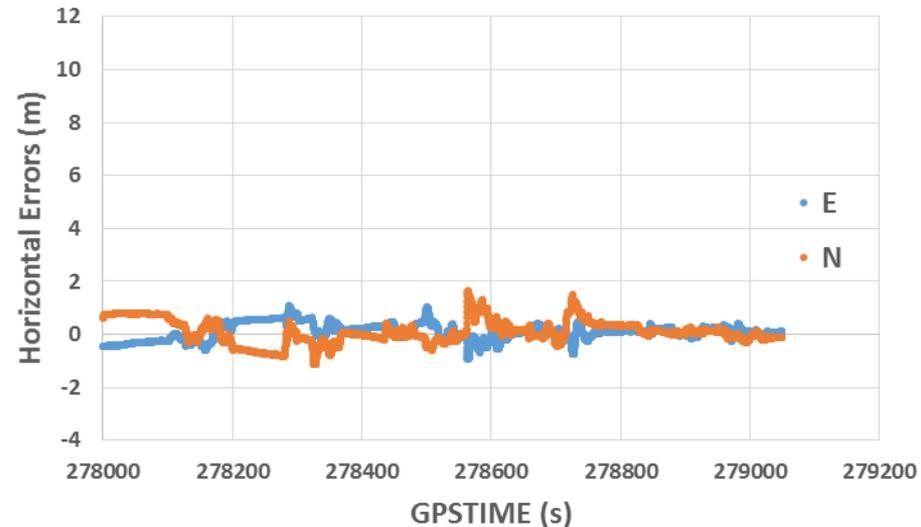
- We need to reduce the large jumps probably due to NLOS satellite as much as possible before coupling.
- C/N_0 based satellite selection is effective to some degree.
- Usually, “7-8 dB” is set as a gap between normal and threshold.

コード測位結果とドップラ由来の速度との カップリング結果

都市部の移動体コード測位では、停止時に強いマルチパスの影響を受けやすい！



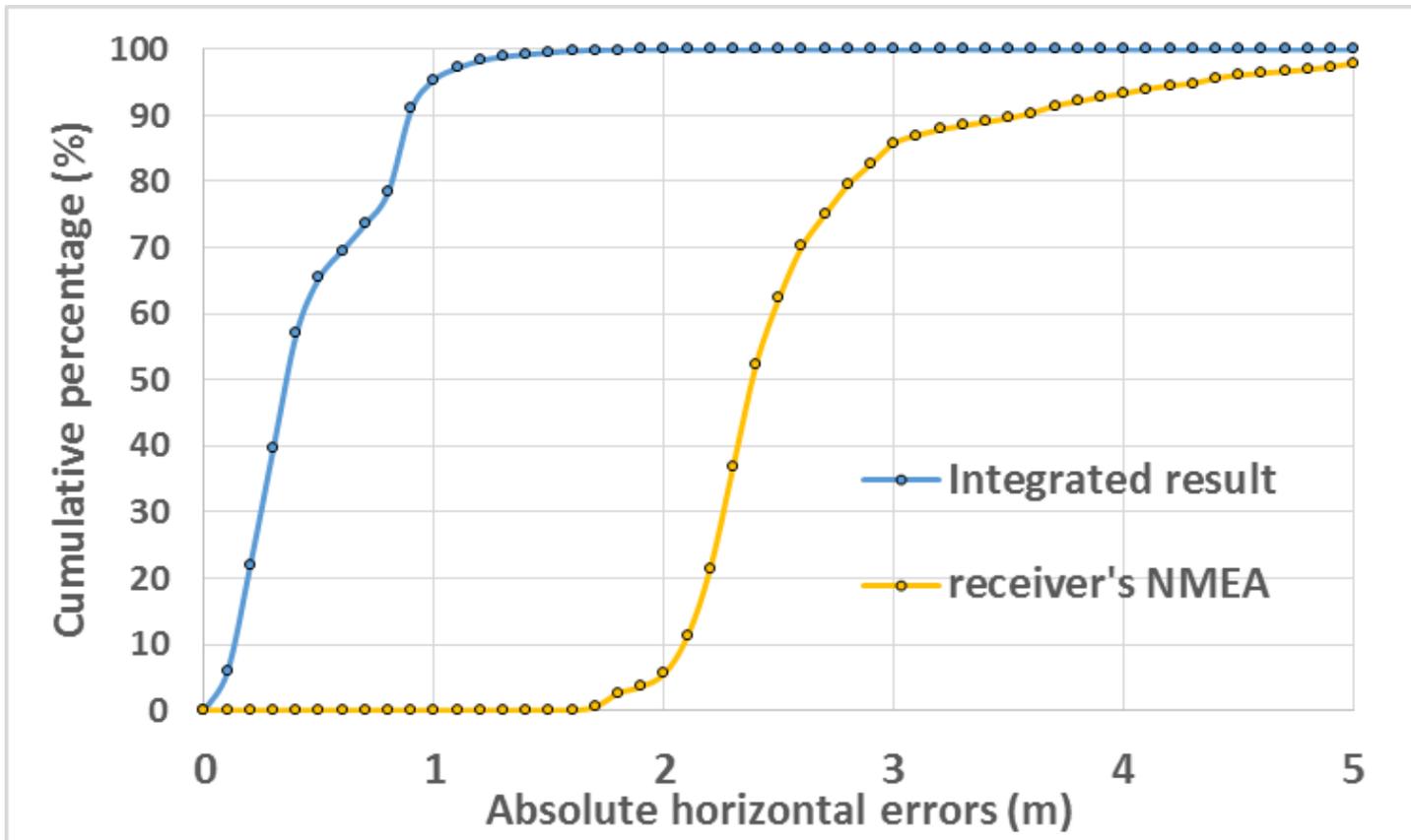
速度を考慮しない統合



速度を考慮した統合
(超低速時はドップラ由来速度を信用)

- The normal weighting for “positioning / velocity” is “5m / 0.05m/s”.
- “Speed consideration” means we heavily rely on velocity when the car speed is very slow or zero.

水平誤差の累積度数頻度での比較



	Maximum error	% less than 1.5 m
Speed consideration	1.86 m	99.5 %
Receiver's NMEA	5.31 m	0 %

← (No differential correction)

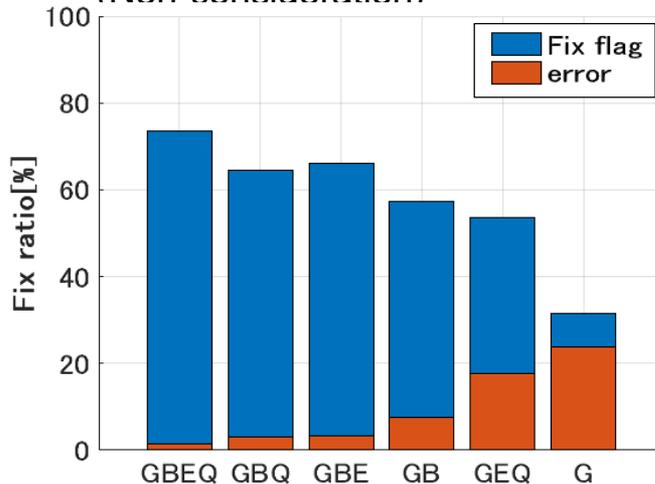
Results of other 2 tests were almost same.

新たな実験(マルチの低コスト受信機が利用可能)

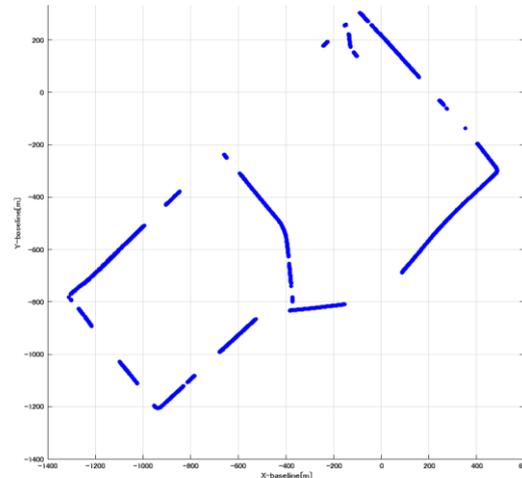
Result [RTK-GNSS (GPS/QZS/BeiDou/Galileo)]

	Fix rate	H_error>50cm
RTKLIB 2.4.2 b9 (best setting)	4456/6740 =66.1[%]	39 epochs (max 89.4 m)
Laboratory RTK engine	4987/6740 =74.0[%]	91 epochs (max 5.3 m)
+More than 10 satellites	3521/6740 =52.2[%]	0 epochs

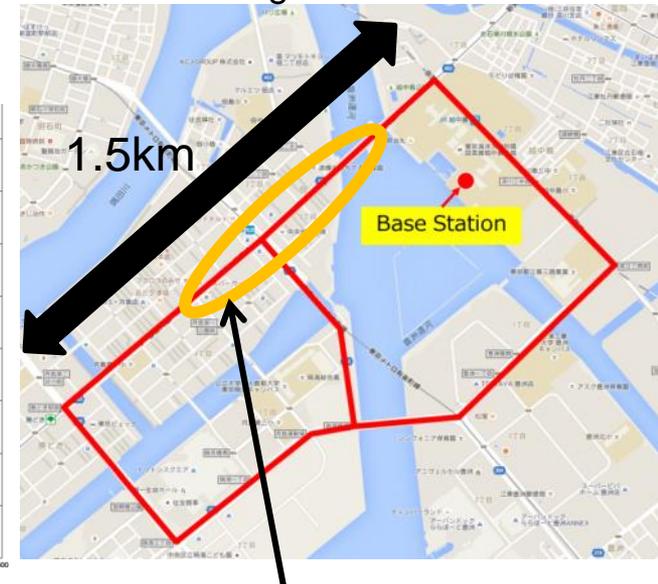
- ◆ Every system combination of this experiment (Non-consideration)



- ◆ Horizontal distribution of this experiment (More than 10 satellites)

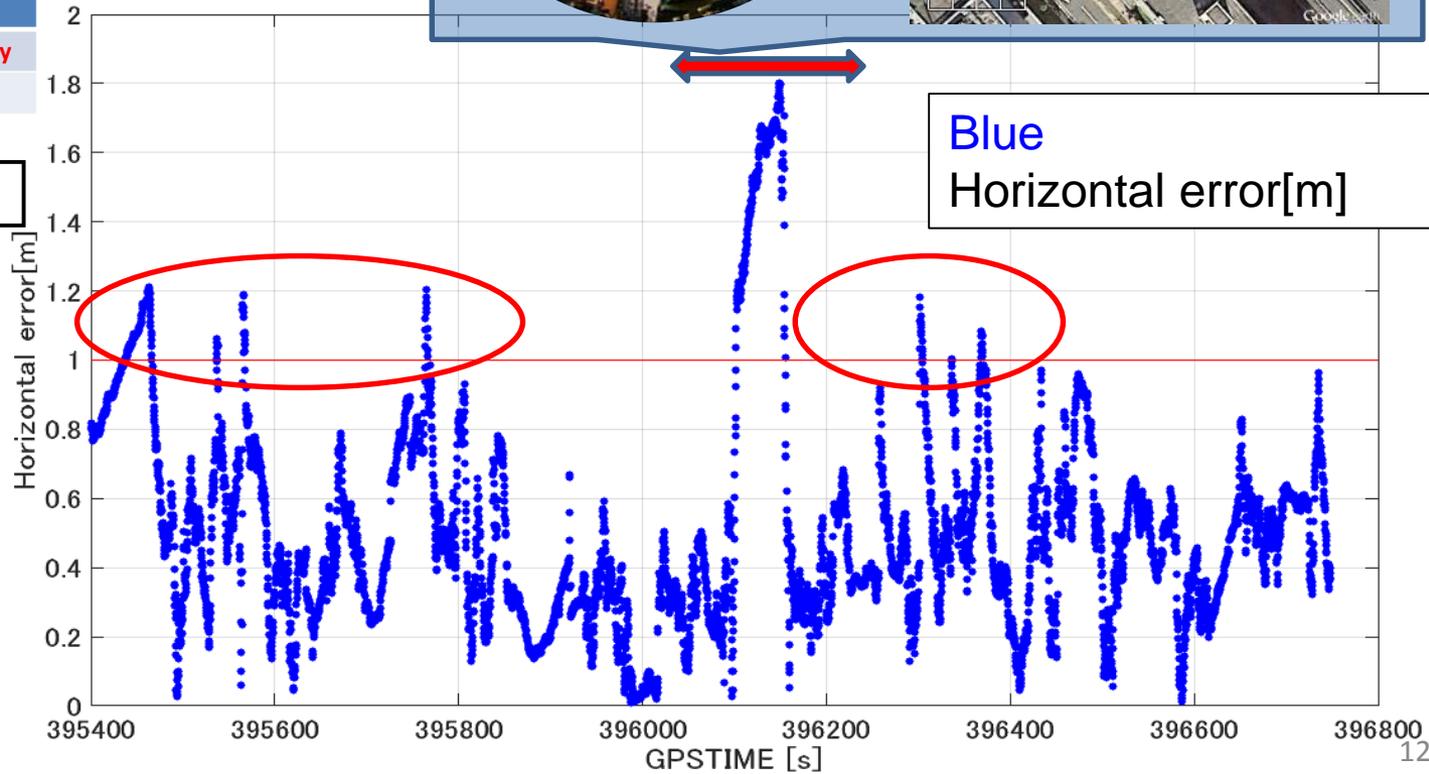
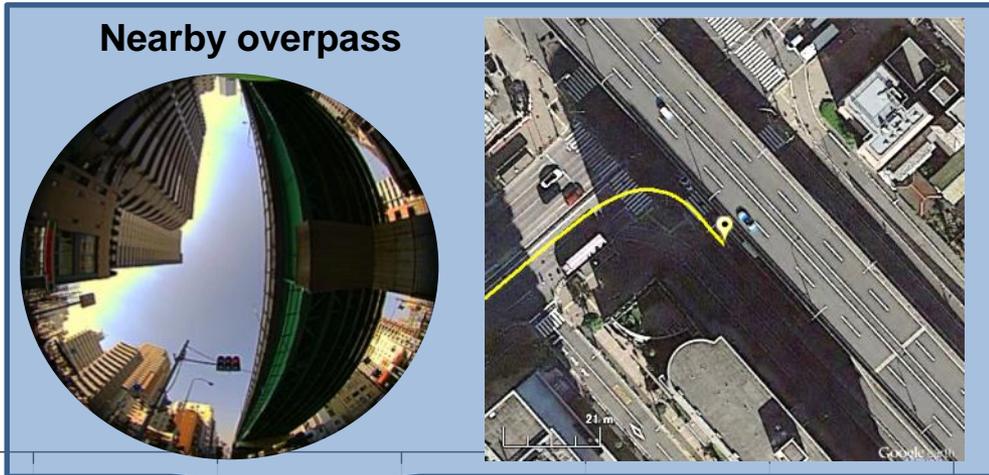
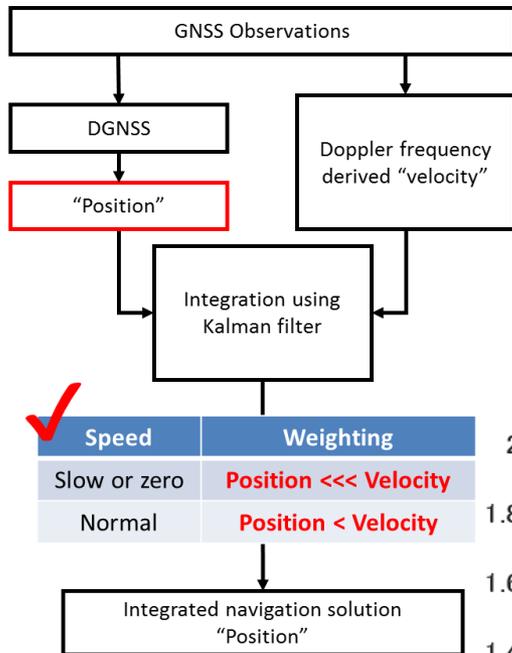


- Route image

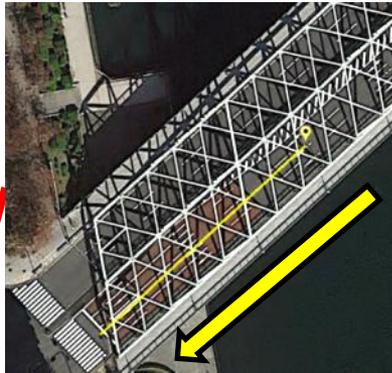


It was dotted with fix solutions, but they included a big error.

Previous method (Code and Doppler)



RTK-GNSSとコード測位を カップリングすると？ (ION2016)

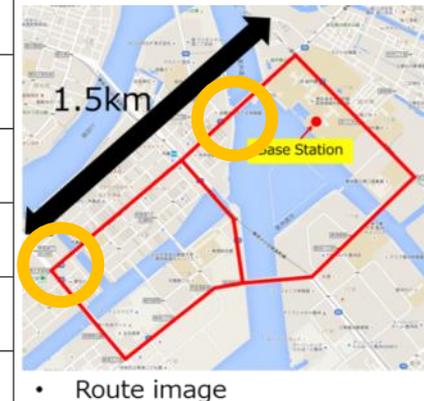
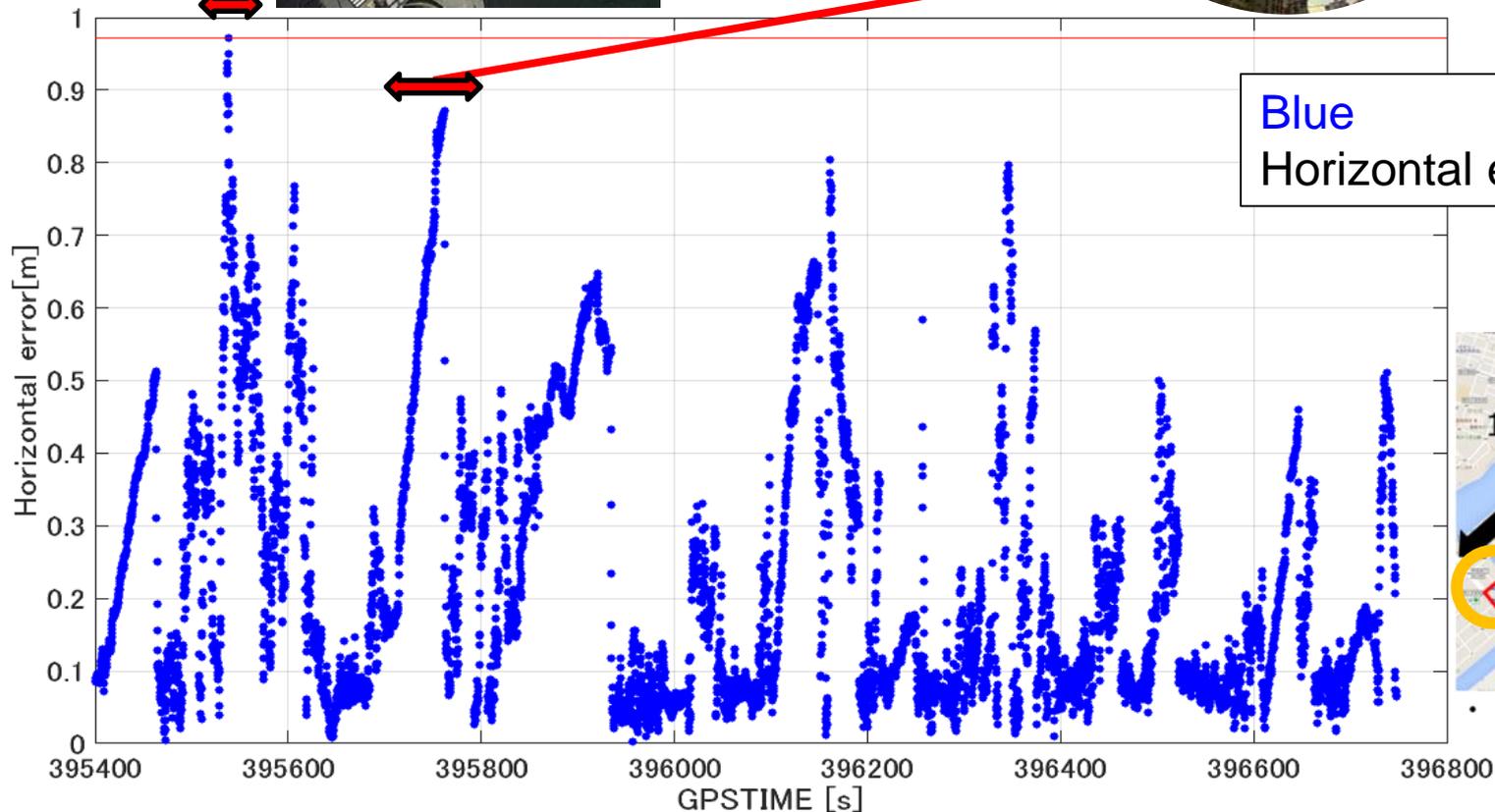


Through
the truss bridge

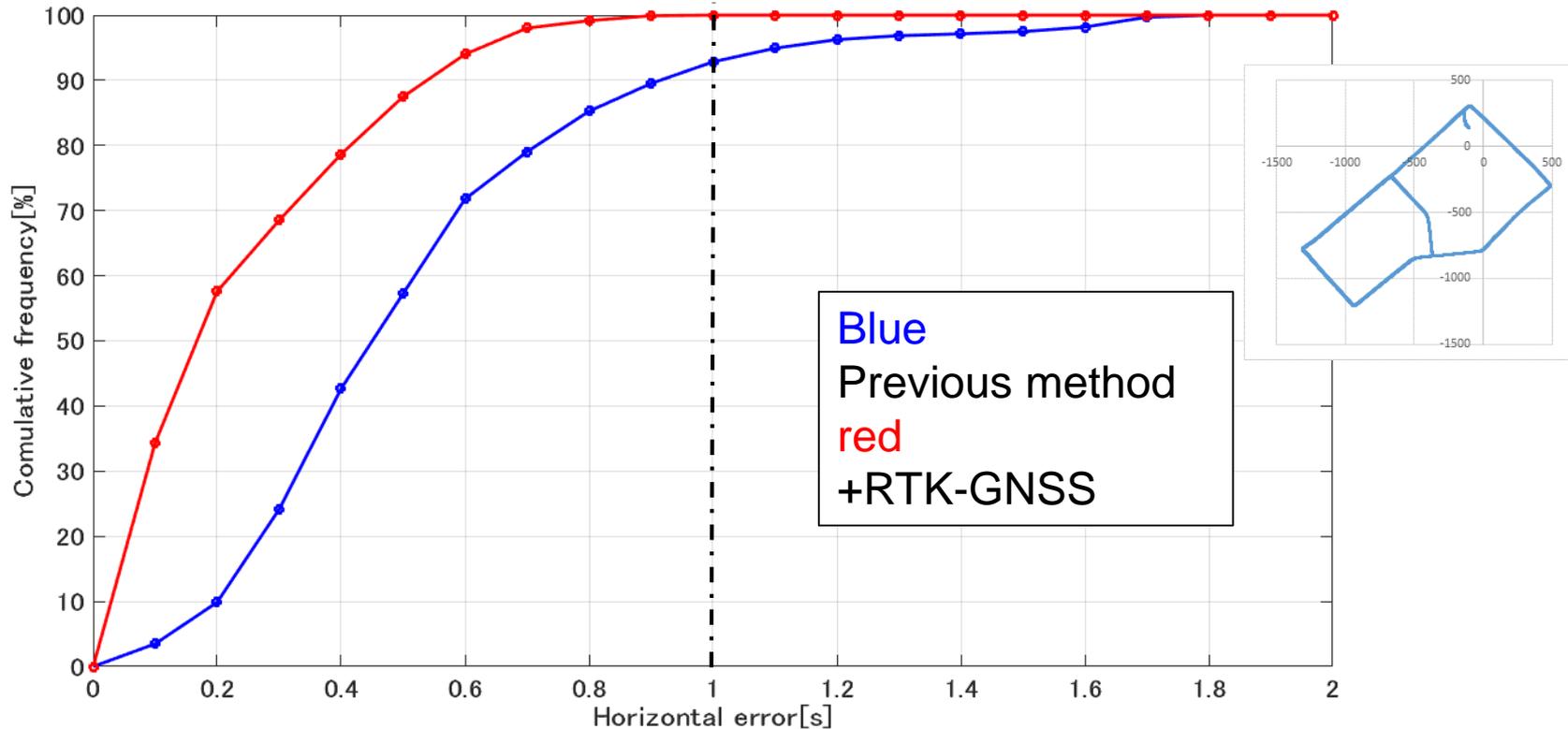


stop
at a red light

Sky image



Result [Cumulative distribution]



	Max horizontal error	% less than 1.0 m
Previous method	1.80 m	92.8 %
+RTK-GNSS	0.97 m	100 %

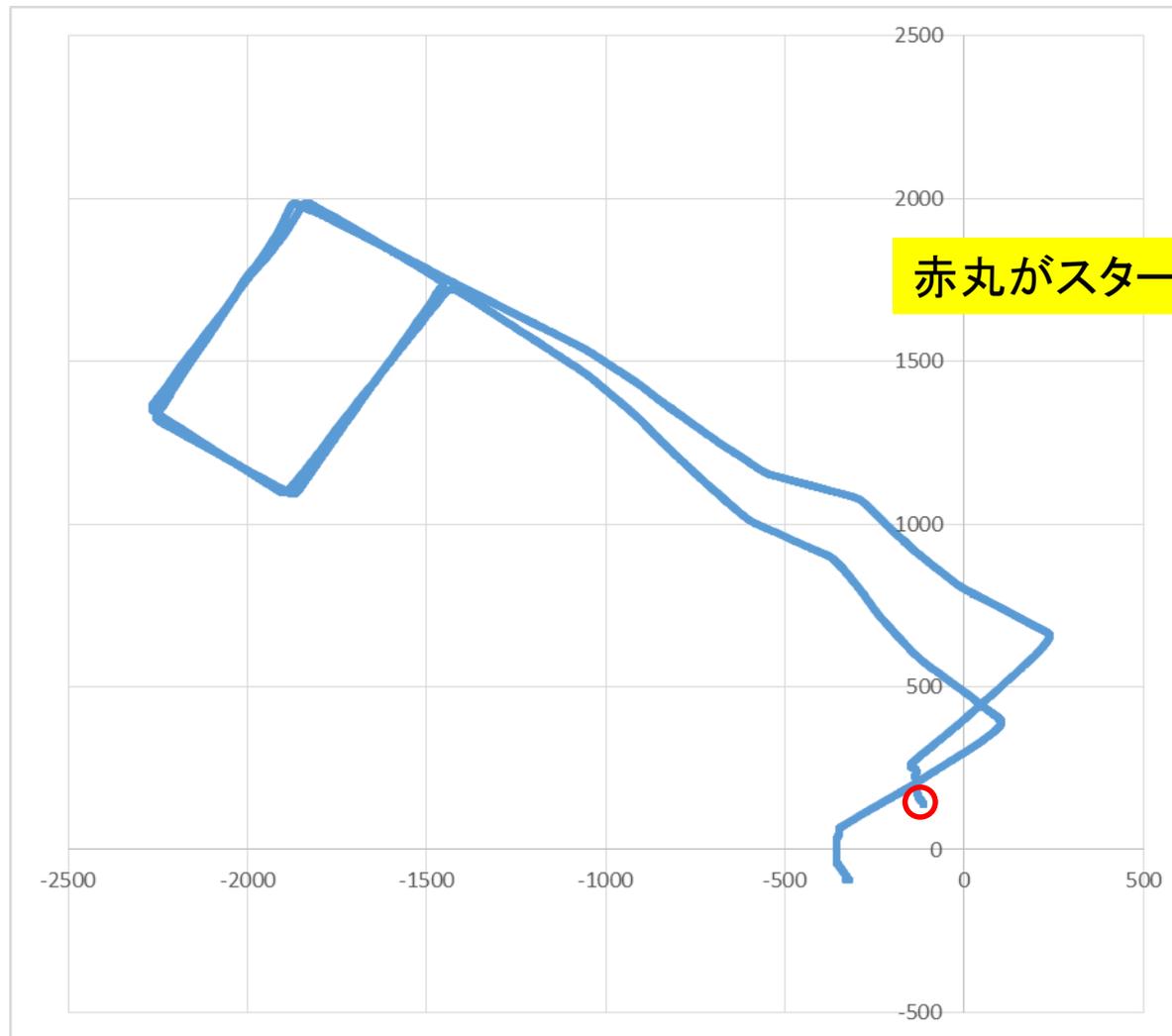
衛星測位(コード測位)と IMU/Speedセンサの統合

実験概要(八重洲付近)

- 海洋大から八重洲付近の高層ビル街→最近の八重洲付近は新宿等と比べても厳しい環境
- 低コスト受信機(GBQ利用)
- IMUもコンシューマレベルのMEMS
- 速度パルスは車両より(4パルス)
- 月島データ(高架下はいくつか存在するが、数秒なのでGNSSのみの維持が可能)と異なり、屋外とはいえGNSSだけで位置を継続することは無理
- POSLVとの比較
- 約50分の走行結果

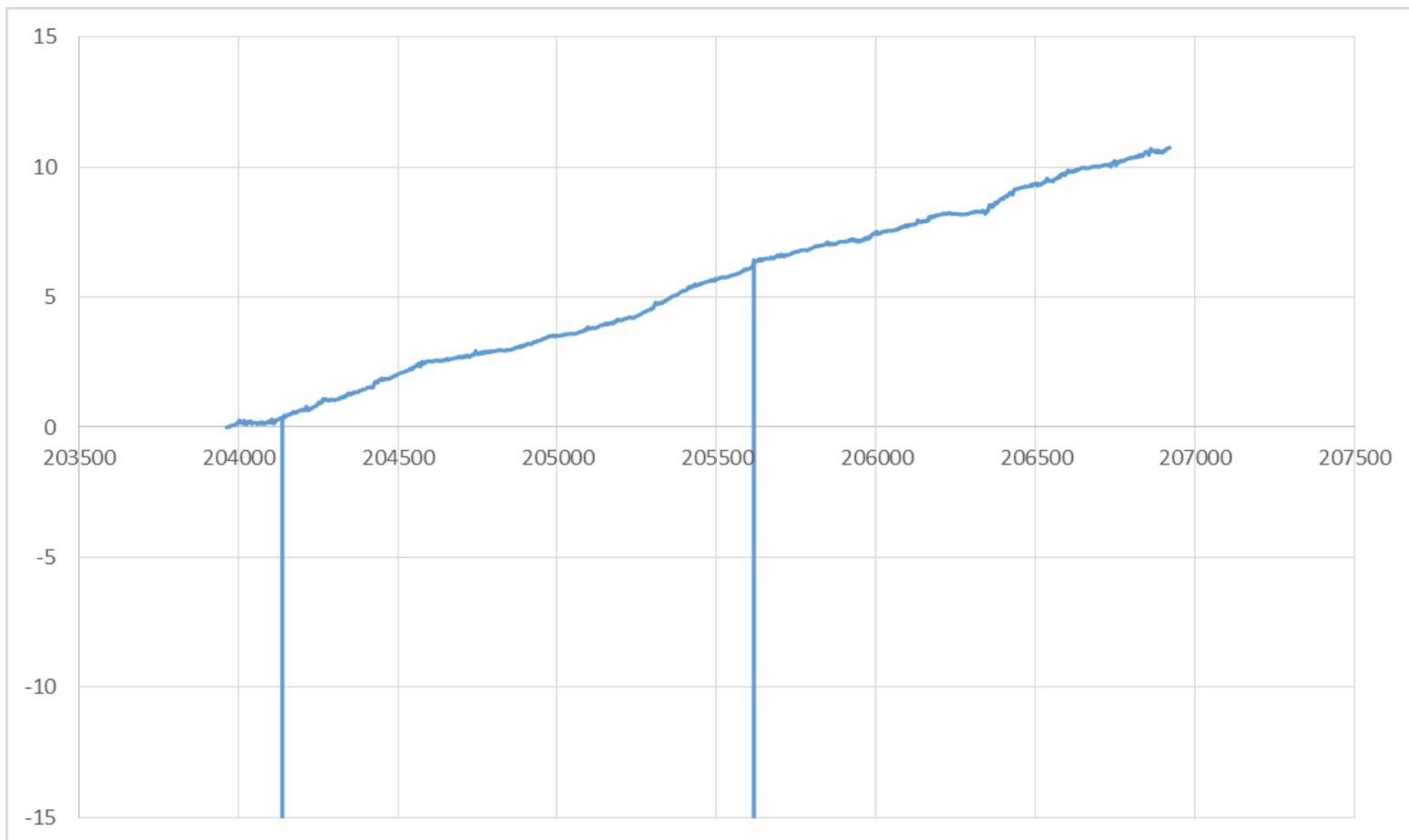
IMUと速度パルスのみでの結果

- IMUの絶対方位と最初の位置は真値

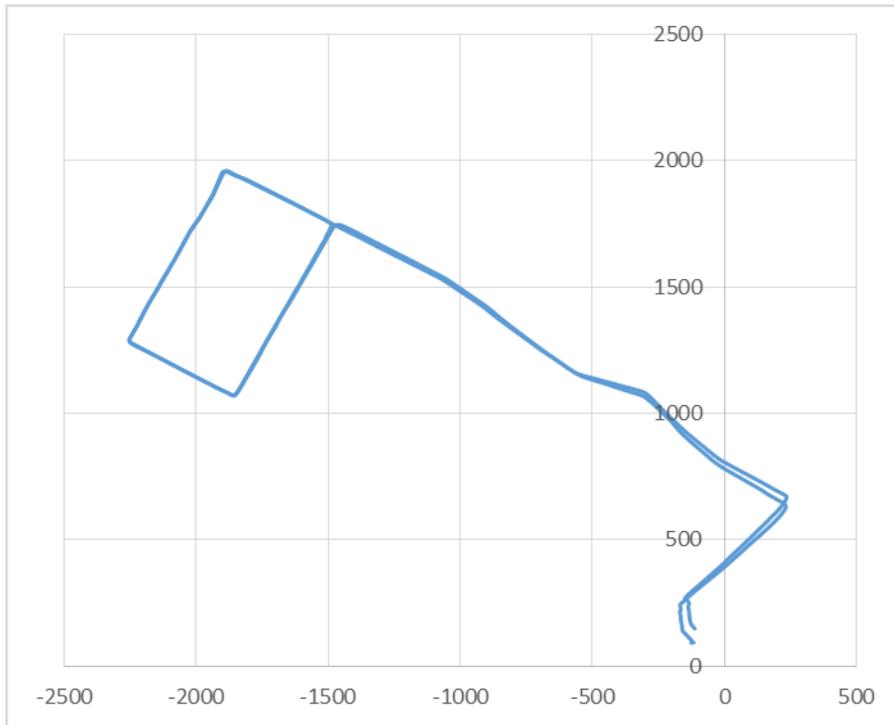


方位の誤差を見ると

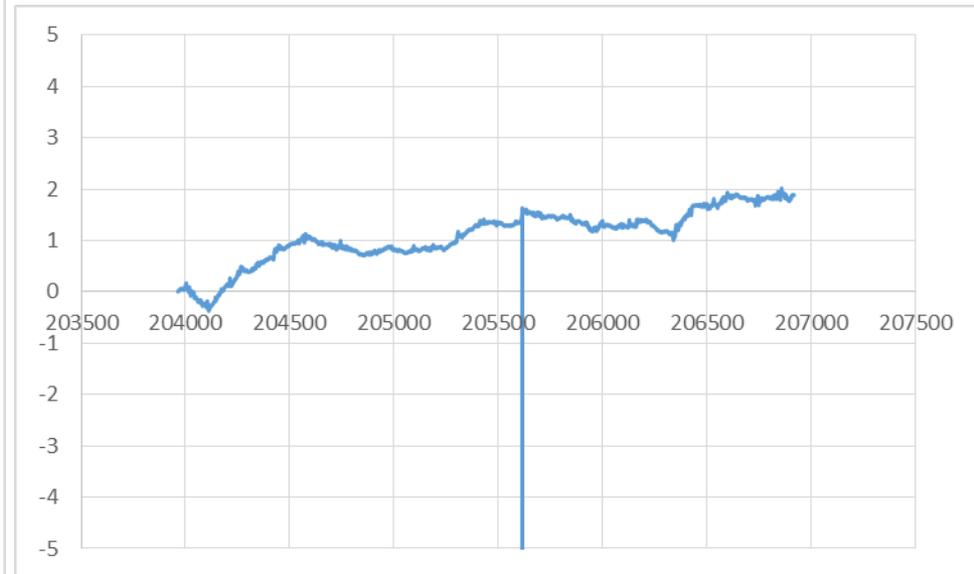
POSLVと車両IMUの方位の差(度)



停止時のIMUのずれを補正すると(ZUPT)

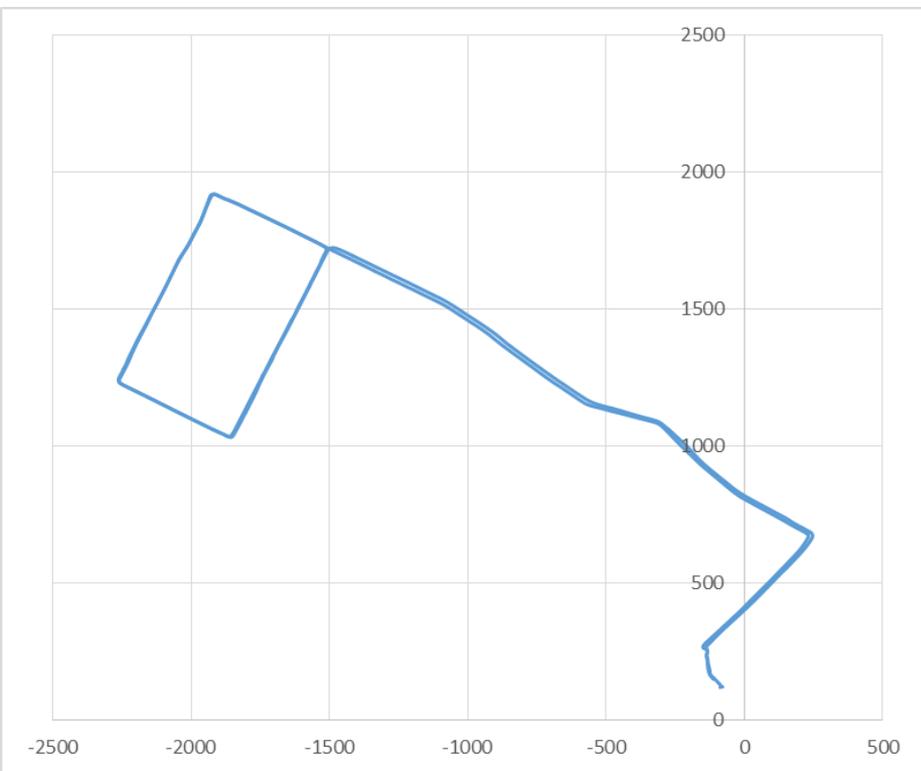


水平位置プロット(m)

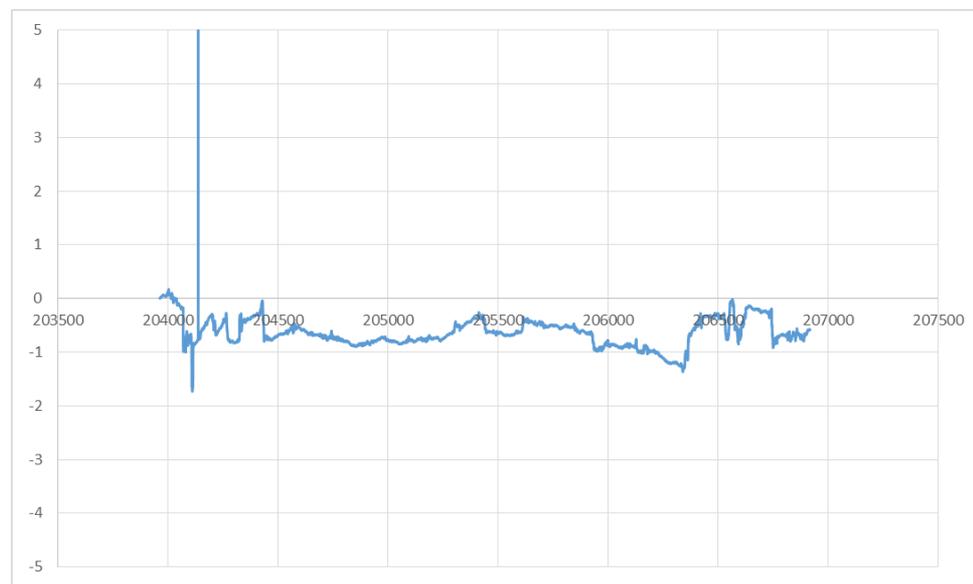


POSLVとIMUの方位差(度)

さらにGNSS方位(ドップラ速度ベクトル)で補正すると



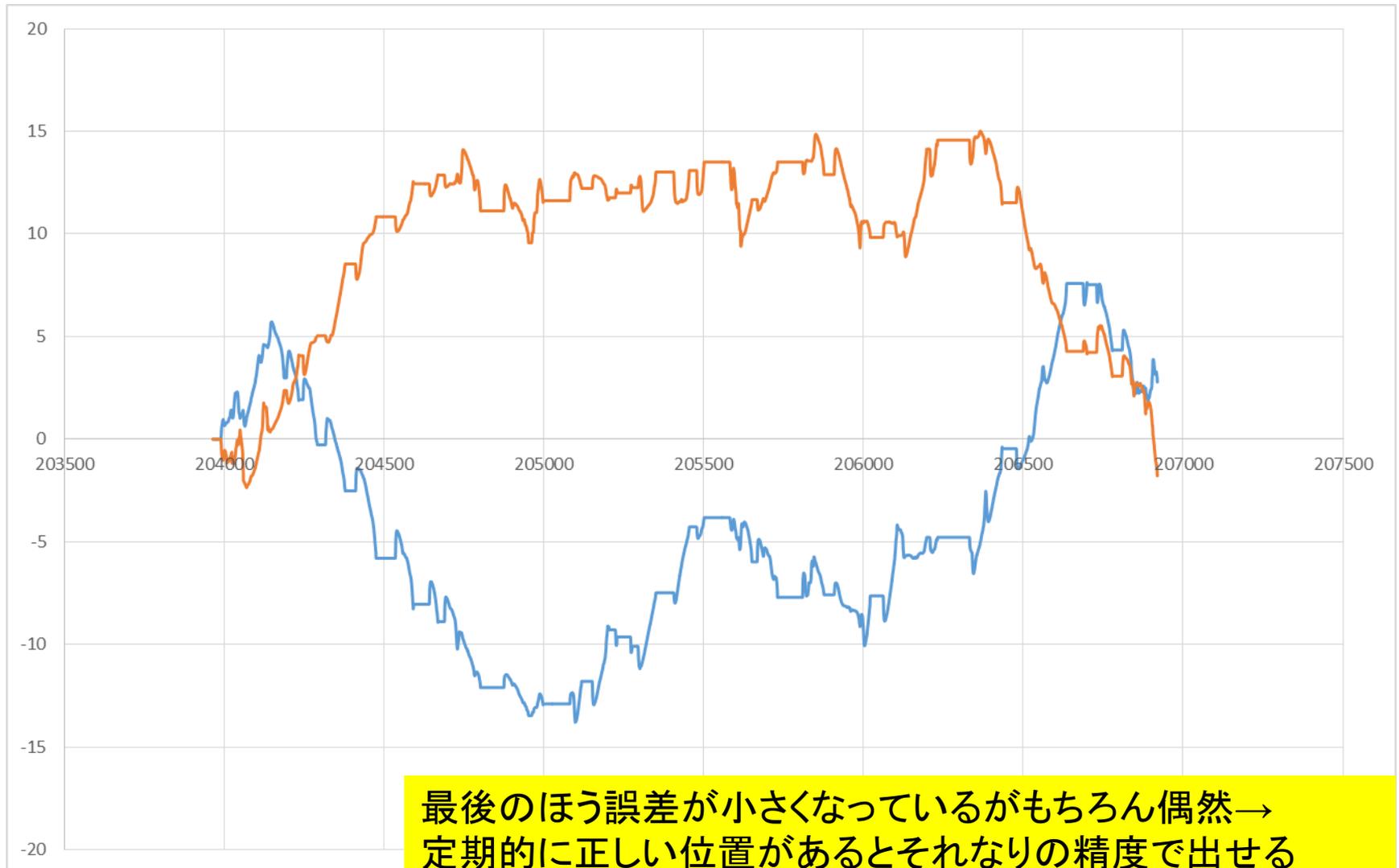
水平位置プロット(m)



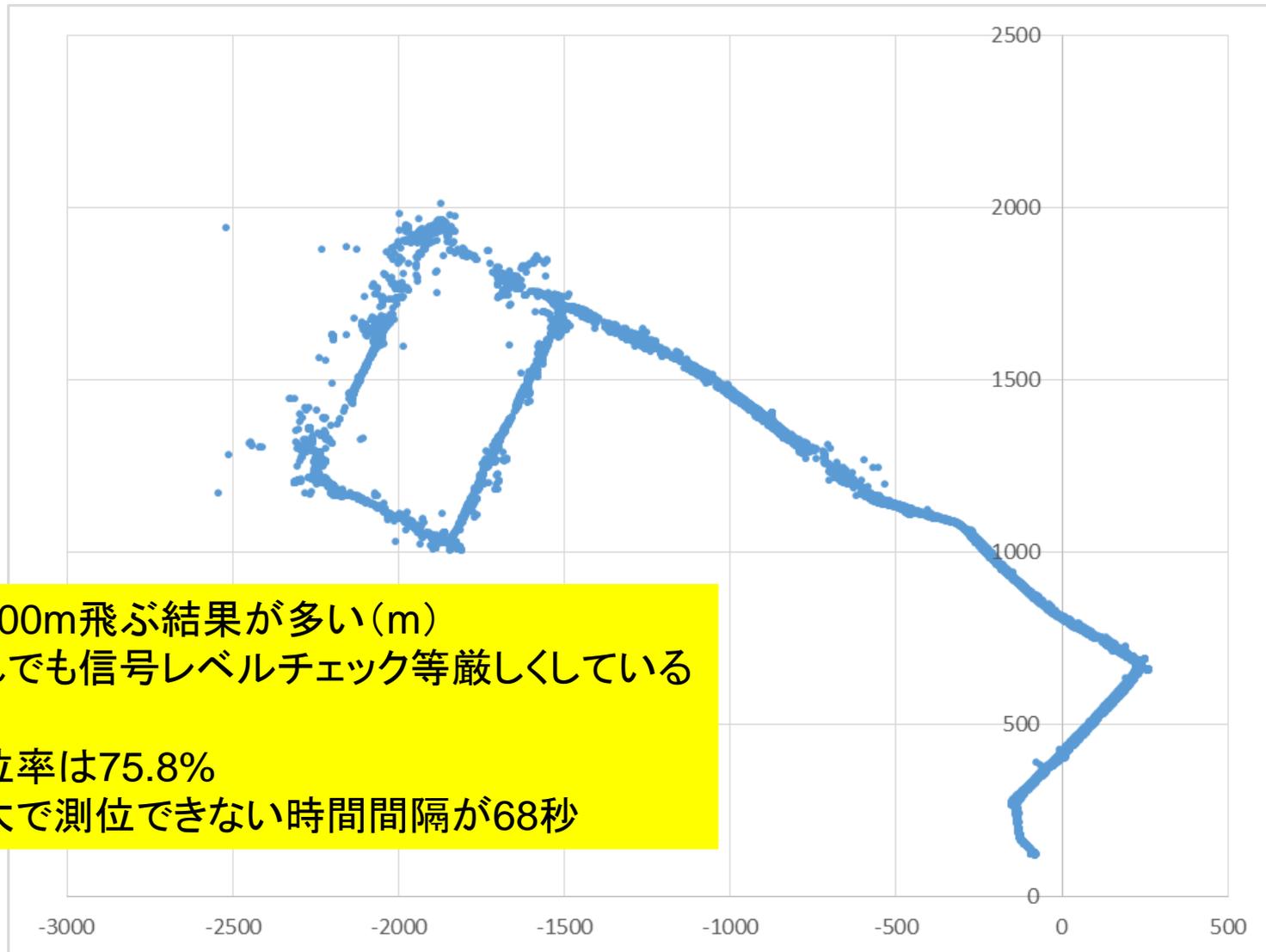
POSLVとIMUの方位差(度)

下のほうのバイアスはPOSLV側

さきほどの結果を経度、緯度方向の誤差(m)で

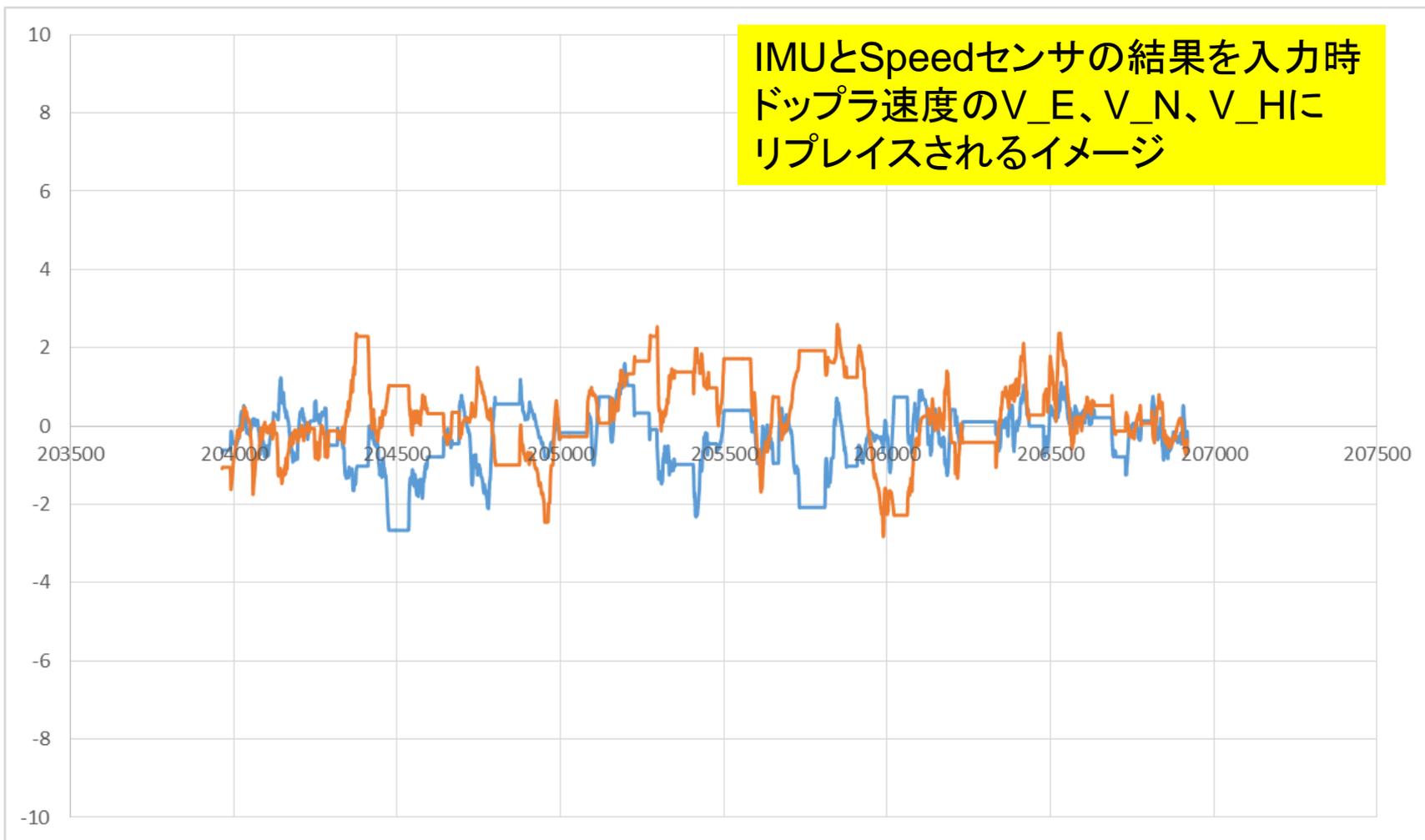


コード測位の結果 (DGNS)



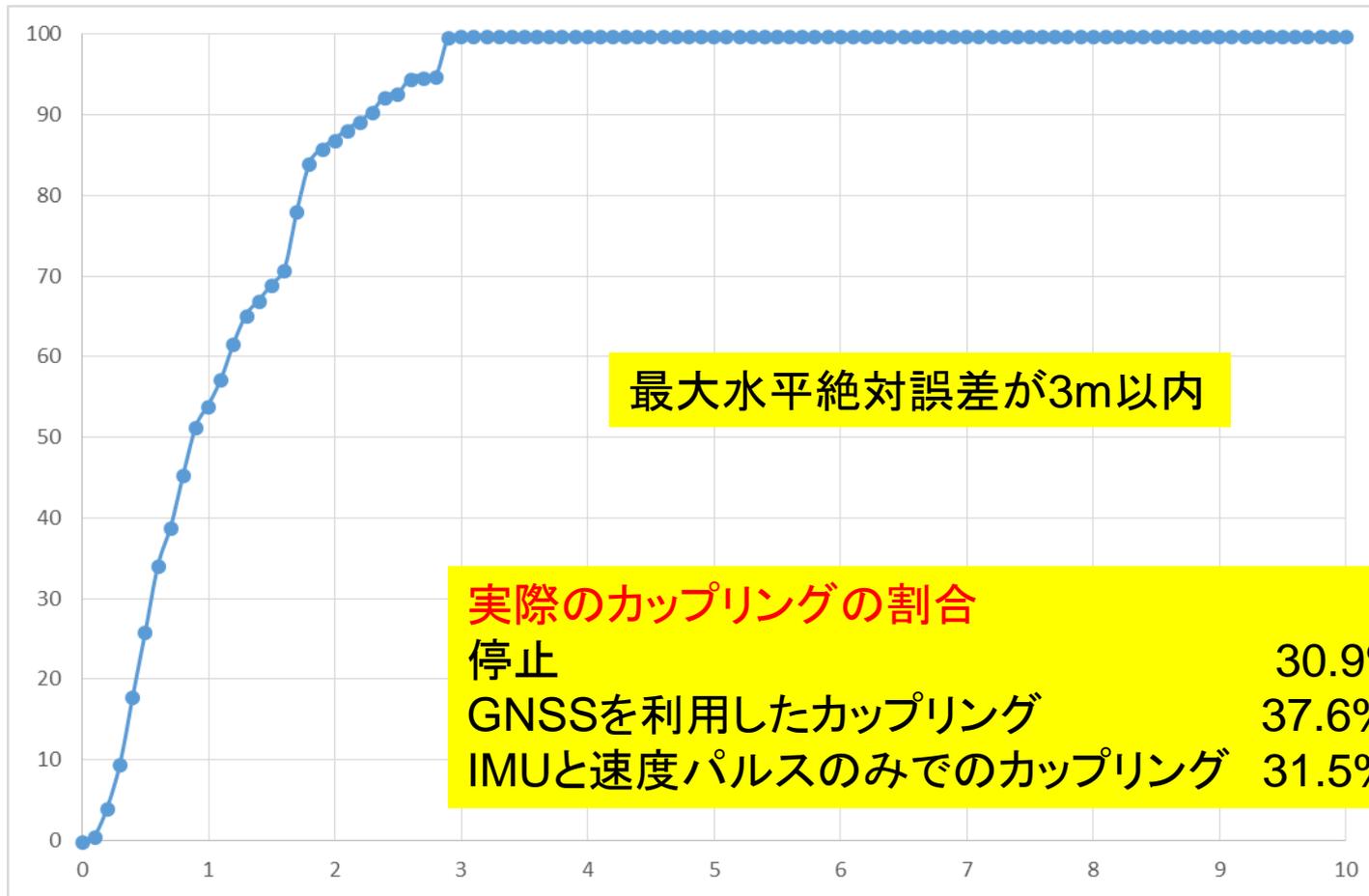
最初のほうで述べた月島と同じカップリングをすると

IMUとSpeedセンサの結果を入力時
ドップラ速度のV_E、V_N、V_Hに
リプレイスされるイメージ



経度、緯度方向のPOSLVとの差(m)

水平絶対誤差の累積度数確率(%)



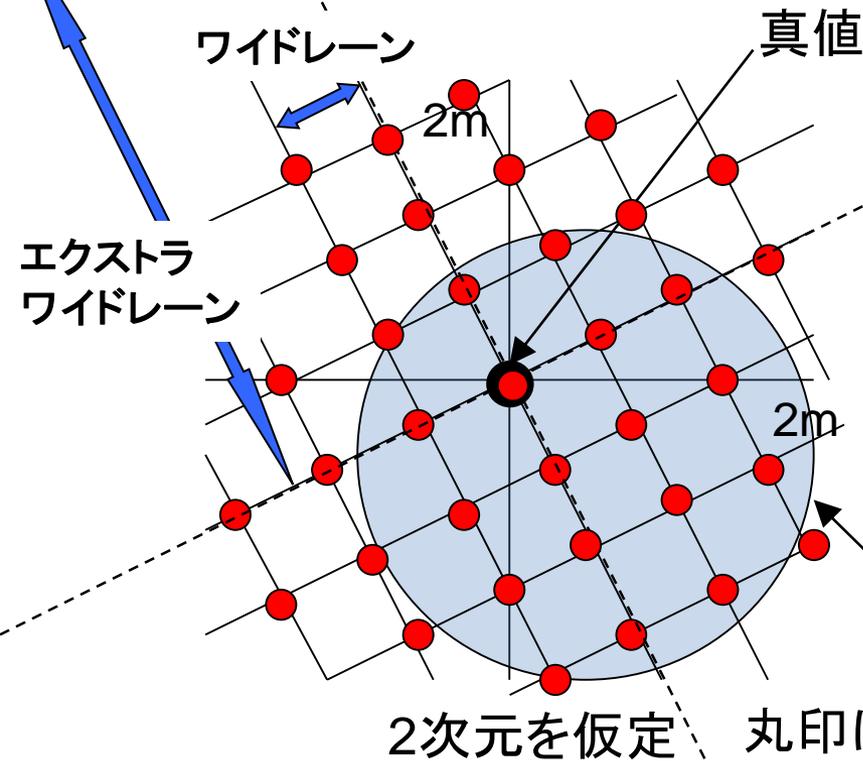
ここまでのまとめ(低コストのみ)

- 水平精度が偏りなく2-3mで評価するには、**なんらかの補正データは必須**
- MEMSの精度次第。今回実験で利用したレベルであれば、高層ビル街でもコード測位とのカップリングで**最大水平絶対誤差3m**程度に入りそう
- ただし、**トンネルや傾斜のある高架下道路等**は別
- 月島、勝どき、晴海トリトンコースでは、低コストGNSSだけで**最大水平絶対誤差1m**台はいけそう(検証実験多数)
- RTKは有用(**誤差を1m前後から50cm以内にもってくる**)、最後はGNSSが利用できない場面での**IMU等の使い方が全て**

まだ最大水平誤差50cmに入っていないではないか？

搬送波位相の線形結合 (RTK)

- RTK測位を実施するには、搬送波位相の整数値アンビギュイティを決定する必要があり、決定すると精度 (1cm、5cm、15cm) が飛躍的向上



アンビギュイティを解く際に、擬似距離測位結果に強く依存。GNSS/IMU/Speed統合結果が2-3mに入っているとEWLはそのまま解ける。精度は15cm程度

・波長(左図の格子点同士の間隔)について
L1-L2(約86cm)→ワイドレーン
L2-L5(約5.8m)→extraワイドレーン

通常の擬似距離測位による誤差分布

丸印は任意の整数値アンビギュイティによる解²⁶

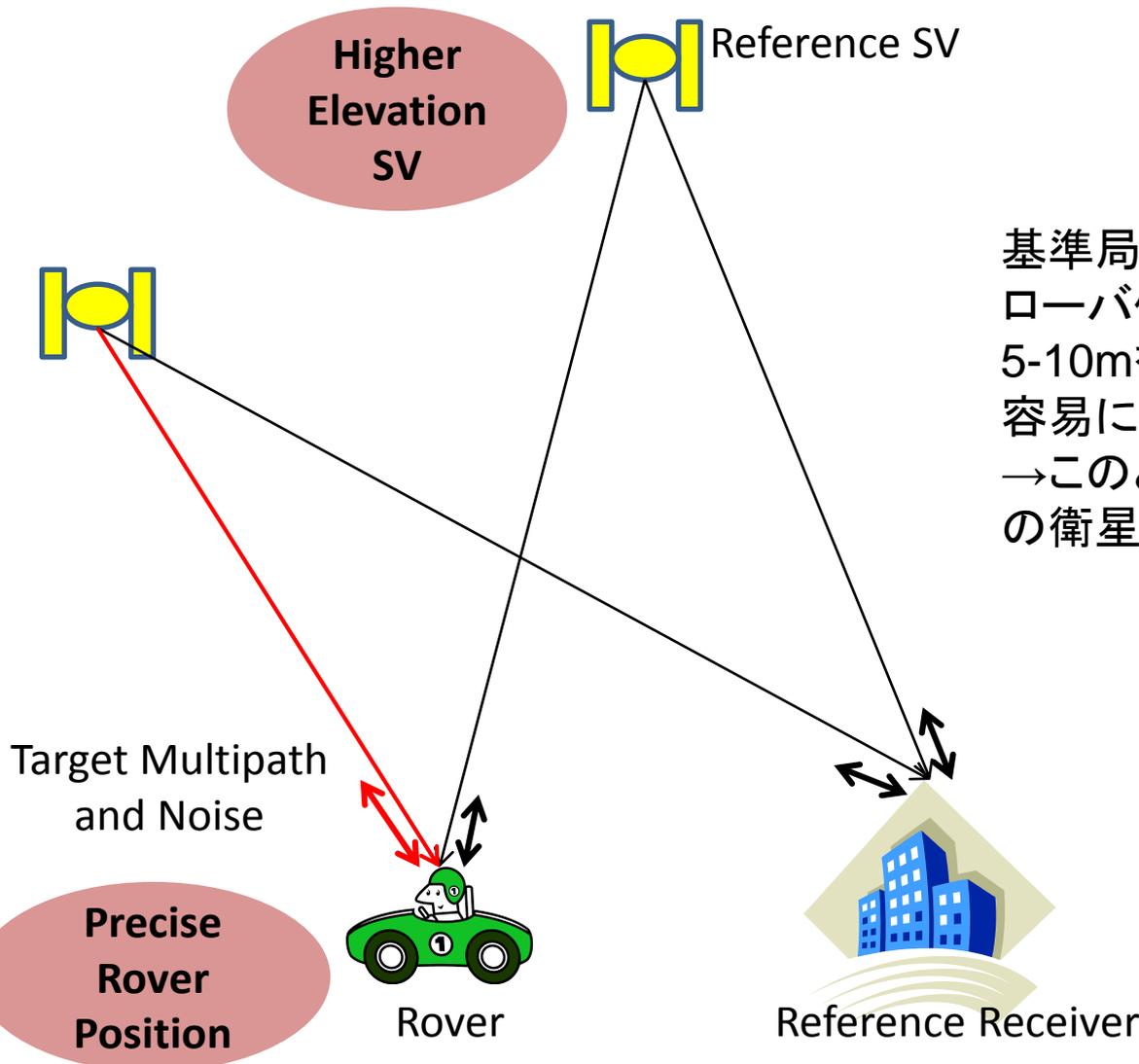
月島データで試すと

- ワイドレーンのみ試してみた
- もともと市販測量受信機のGBQREで90%程度のFIX率のコース
- GBQのみで数回テスト
- 結果は

2周波の通常LAMBDAで80-90%程度
ワイドレーン(LAMBDA)で90%を確実に越える

2-3mの誤差が確実に50cmに入ってくる！

2-3mの位置で自身の位置がわかると、大きなマルチパス誤差 (NLOS) がわかる

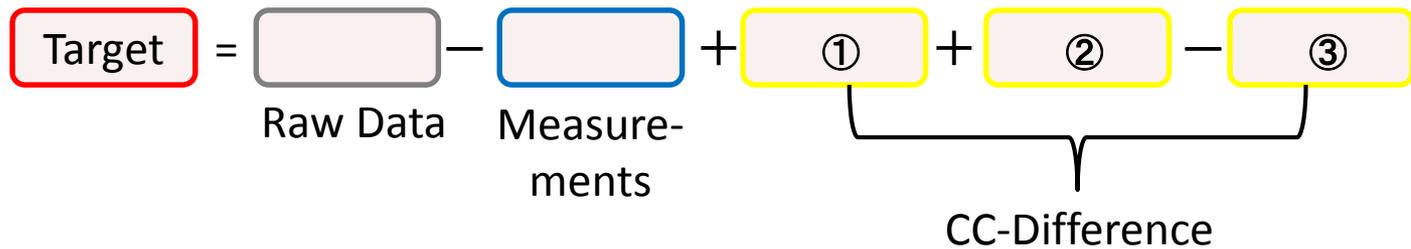


基準局からの補正データが必要ですが、ローバ側の位置が2-3mで担保されると5-10mを越えるようなマルチパス誤差は容易にわかる
→このとき準天頂衛星のような高仰角の衛星が役に立つ

二重位相差技術でマルチパス誤差を分離

$$\begin{aligned}
 P_{rov_ref}^{sv1_sv2} &= (P_{rov}^{sv1} - P_{ref}^{sv1}) - (P_{rov}^{sv2} - P_{ref}^{sv2}) \\
 &= \rho_{rov}^{sv1} + c(dt_{sv1} - dT_{rov}) + \cancel{ion_{rov}^{sv1}} + \cancel{tropo_{rov}^{sv1}} + mp_{rov}^{sv1} + noise_{rov}^{sv1} \\
 &\quad - \left[\rho_{ref}^{sv1} + c(dt_{sv1} - dT_{ref}) + \cancel{ion_{ref}^{sv1}} + \cancel{tropo_{ref}^{sv1}} + mp_{ref}^{sv1} + noise_{ref}^{sv1} \right] \\
 &\quad - \left[\rho_{rov}^{sv2} + c(dt_{sv2} - dT_{rov}) + \cancel{ion_{rov}^{sv2}} + \cancel{tropo_{rov}^{sv2}} + mp_{rov}^{sv2} + noise_{rov}^{sv2} \right] \\
 &\quad + \left[\rho_{ref}^{sv2} + c(dt_{sv2} - dT_{ref}) + \cancel{ion_{ref}^{sv2}} + \cancel{tropo_{ref}^{sv2}} + mp_{ref}^{sv2} + noise_{ref}^{sv2} \right] \\
 &= \rho_{rov}^{sv1} - \rho_{ref}^{sv1} + \rho_{rov}^{sv2} - \rho_{ref}^{sv2} \\
 &\quad + (mp_{rov}^{sv1} + noise_{rov}^{sv1}) - (mp_{ref}^{sv1} + noise_{ref}^{sv1}) \text{ ①} \\
 &\quad - (mp_{rov}^{sv2} + noise_{rov}^{sv2}) + (mp_{ref}^{sv2} + noise_{ref}^{sv2}) \text{ ②} \text{ ③}
 \end{aligned}$$

基準局側のマルチパスは小さい
 移動側も仰角80度を越えてくると
 車道だと小さい(高架下はもともと×)



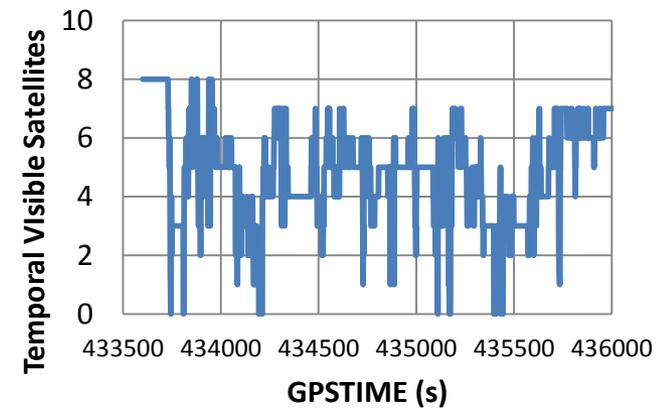
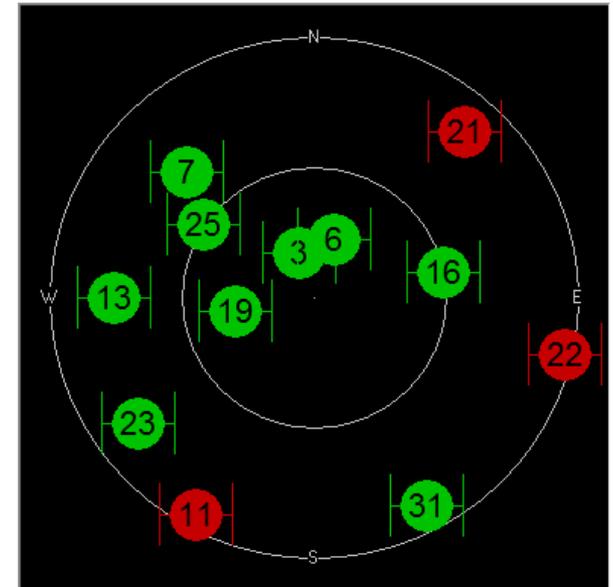
sv1 : Target SV sv2 : Reference SV (Max Elevation)

高層ビル街での実験例



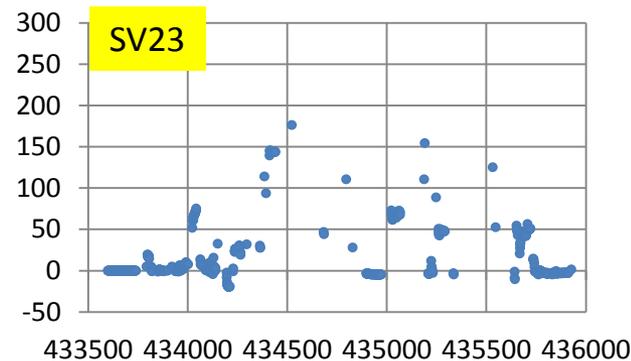
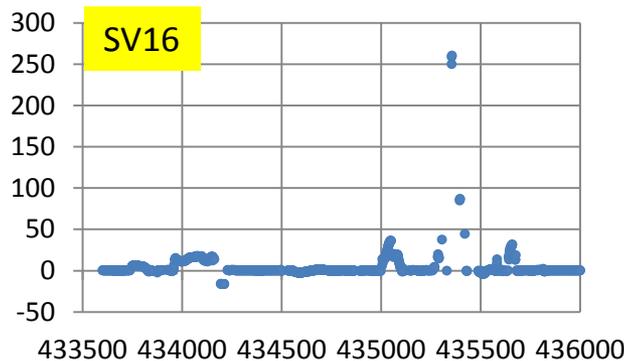
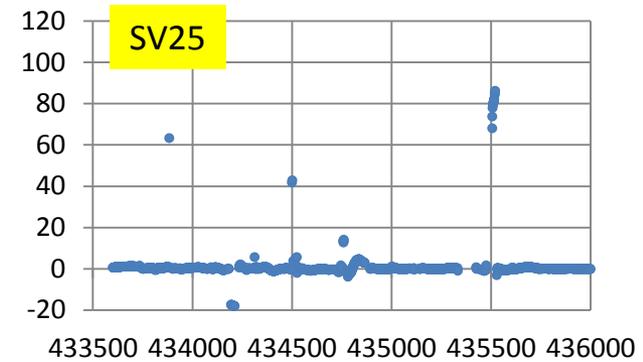
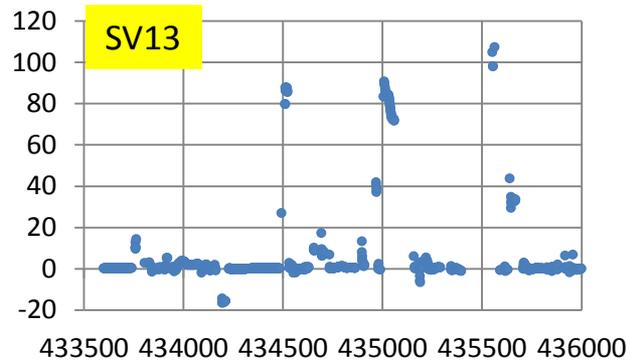
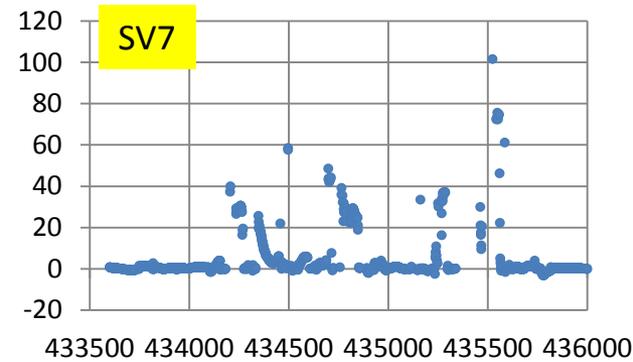
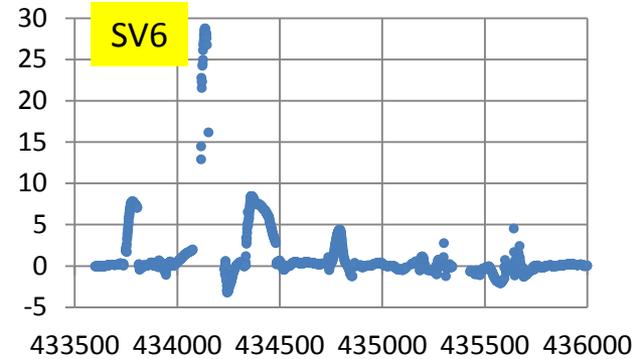
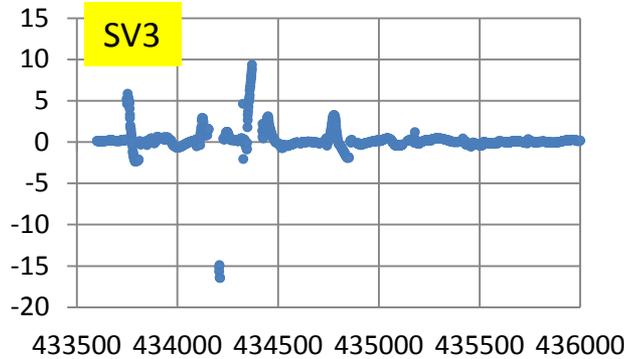
Test Route by **POSLV**

200m



推定した車両側のマルチパス誤差

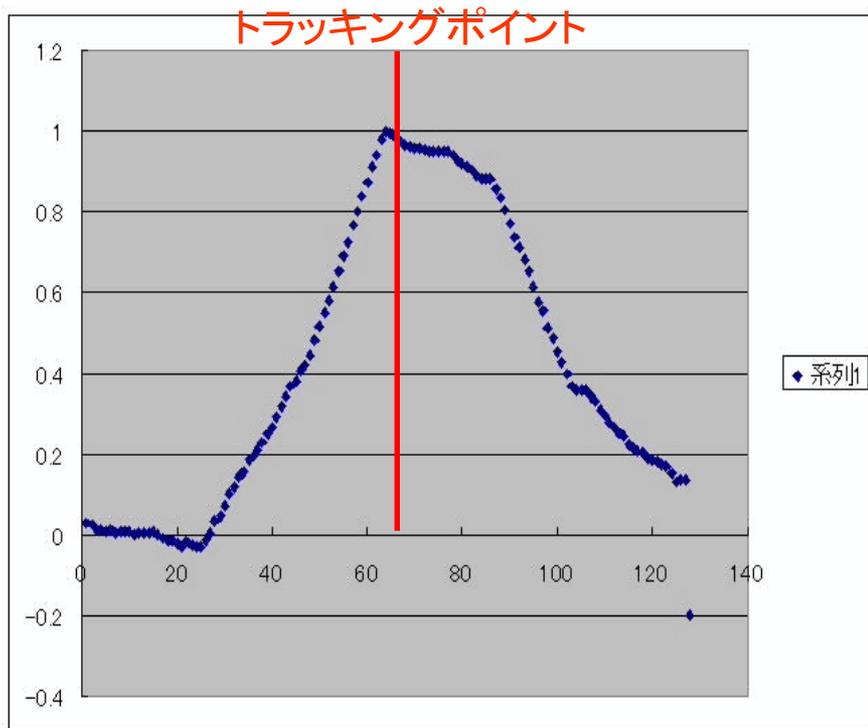
NLOSがいたるところに散見される！



丸の内でのGPS相関波形

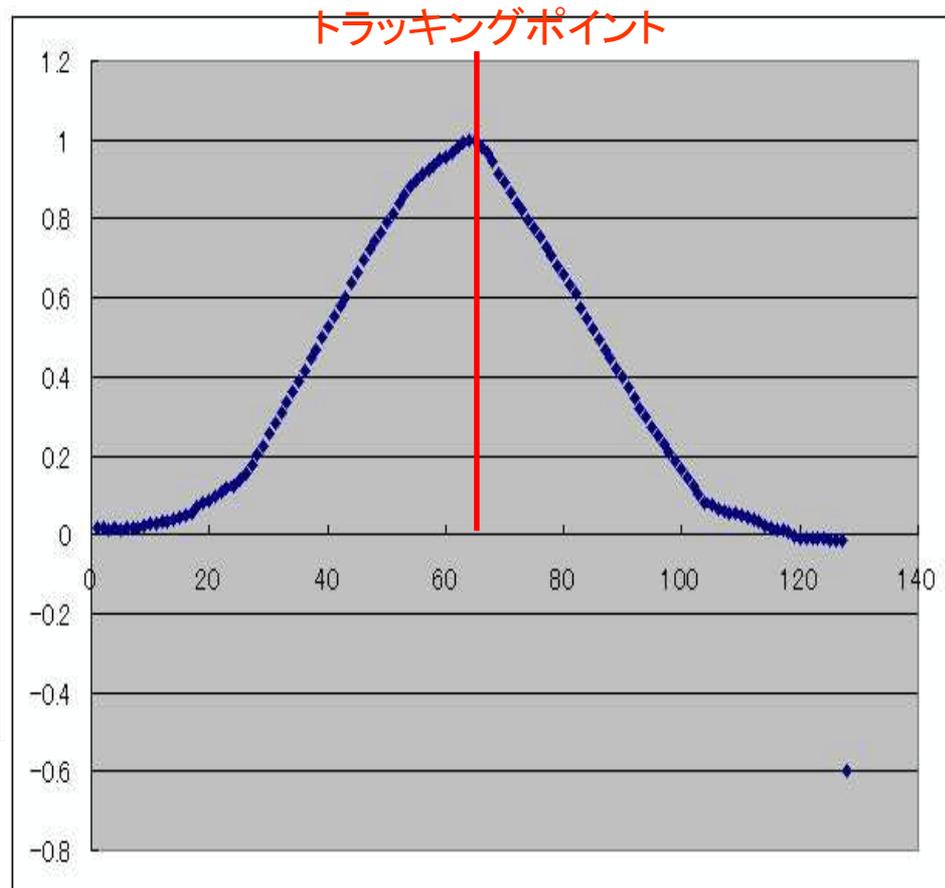
ほとんどの場合、低速または停止時にとんでもないNLOSを受信

反射波の位相が変化
受信電力が直接波を上回る

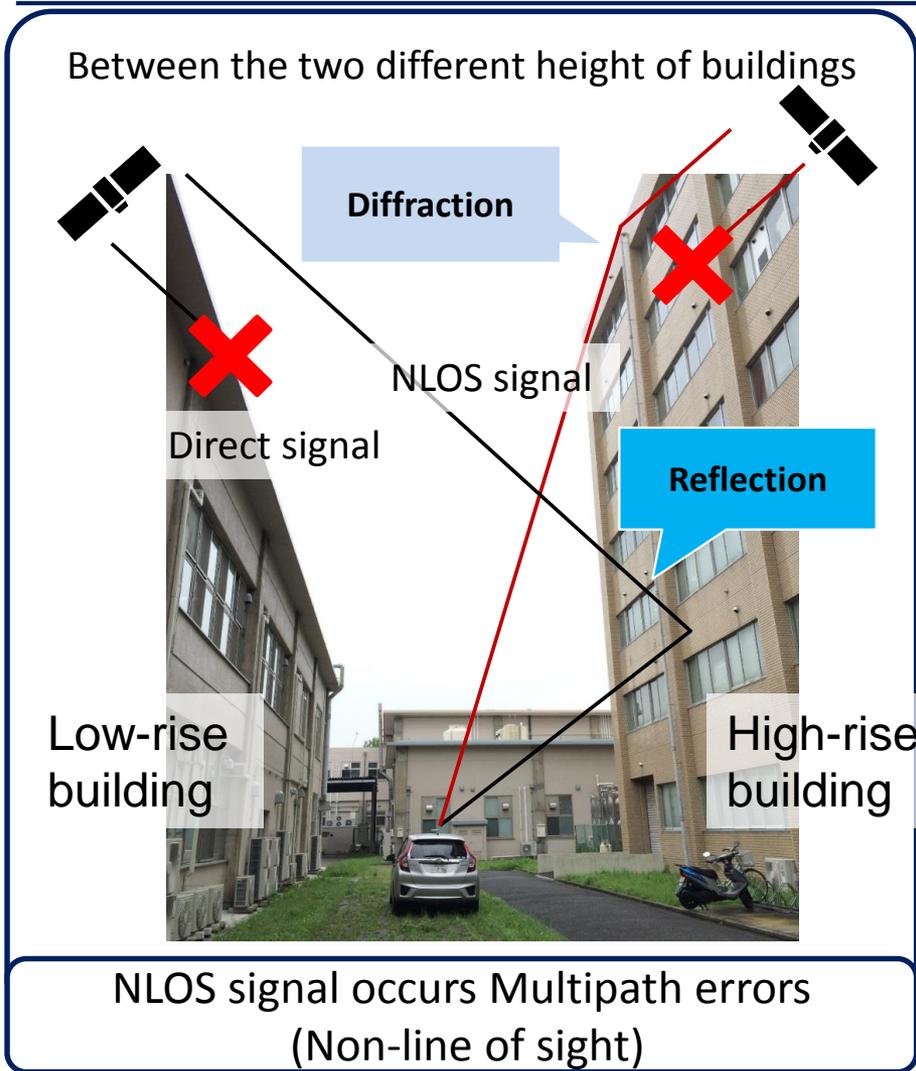


古野電気製SQM受信機

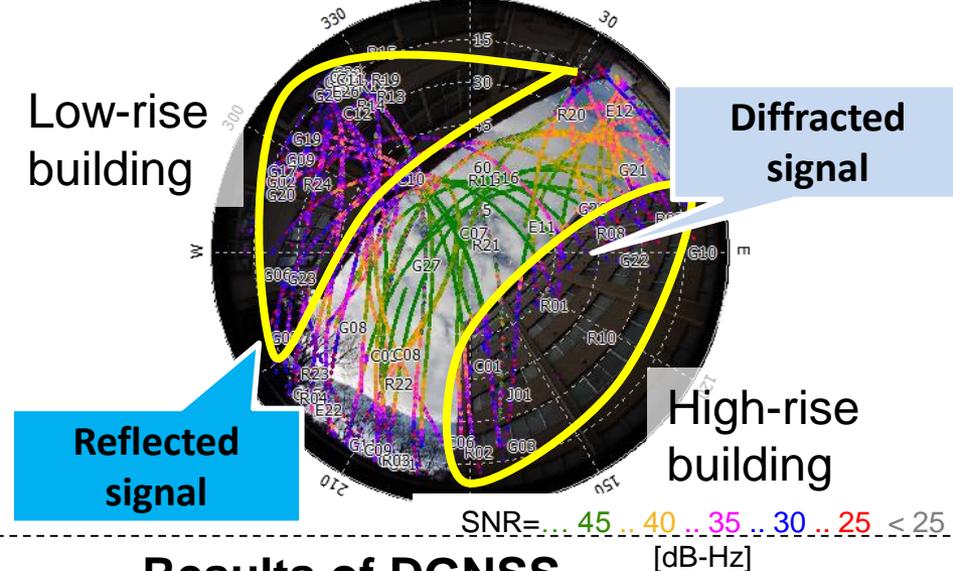
反射波を中心にトラッキング
直接波の相関が負の方向に現れる



Two types of multipath effects by NLOS satellites

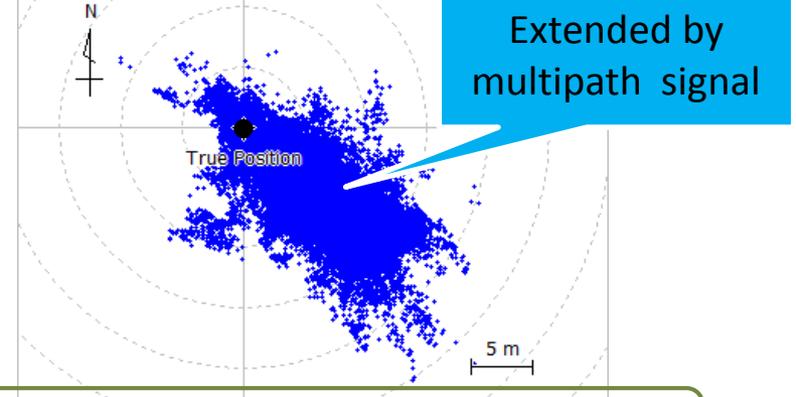


Signal strength with skyplot



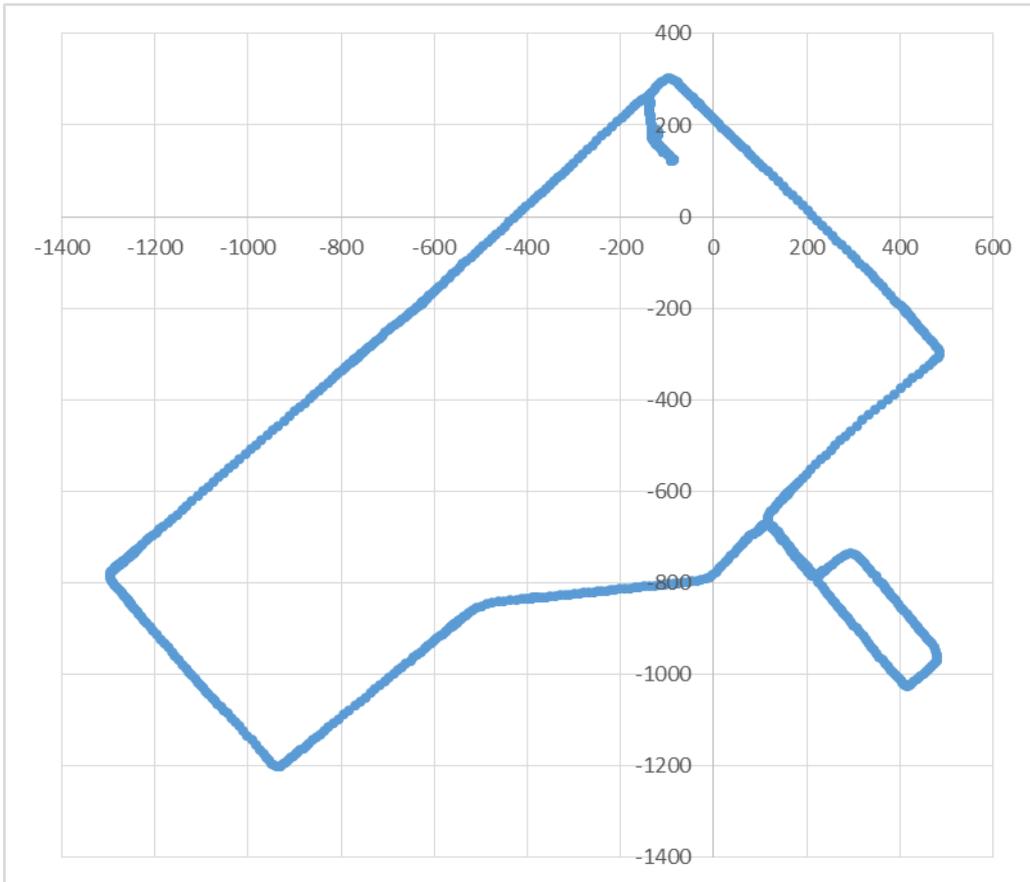
Results of DGNSS

12hours DGNSS solution



Mitigate the multipath errors by satellite selection methods

月島+豊洲コースで実験

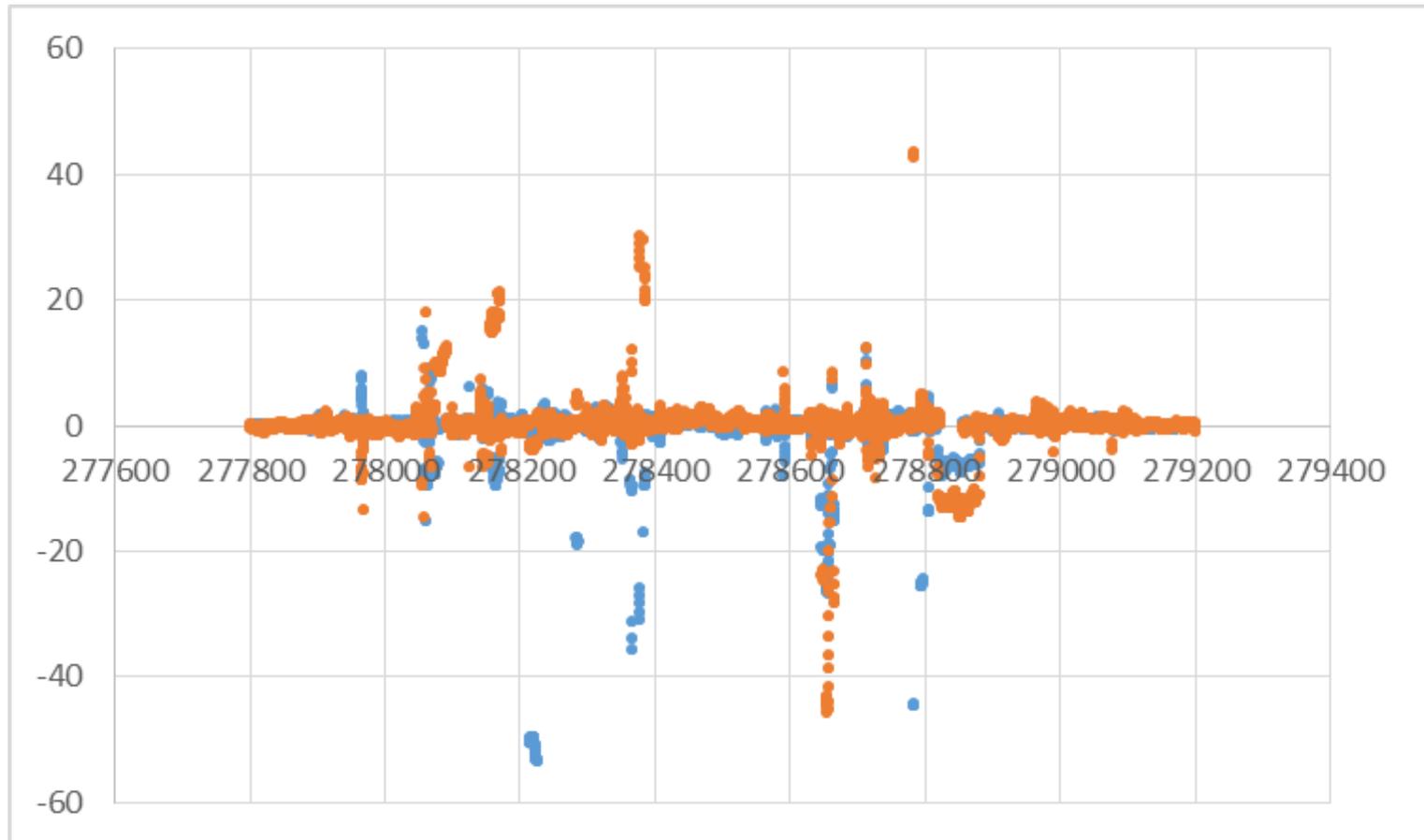


テストコース

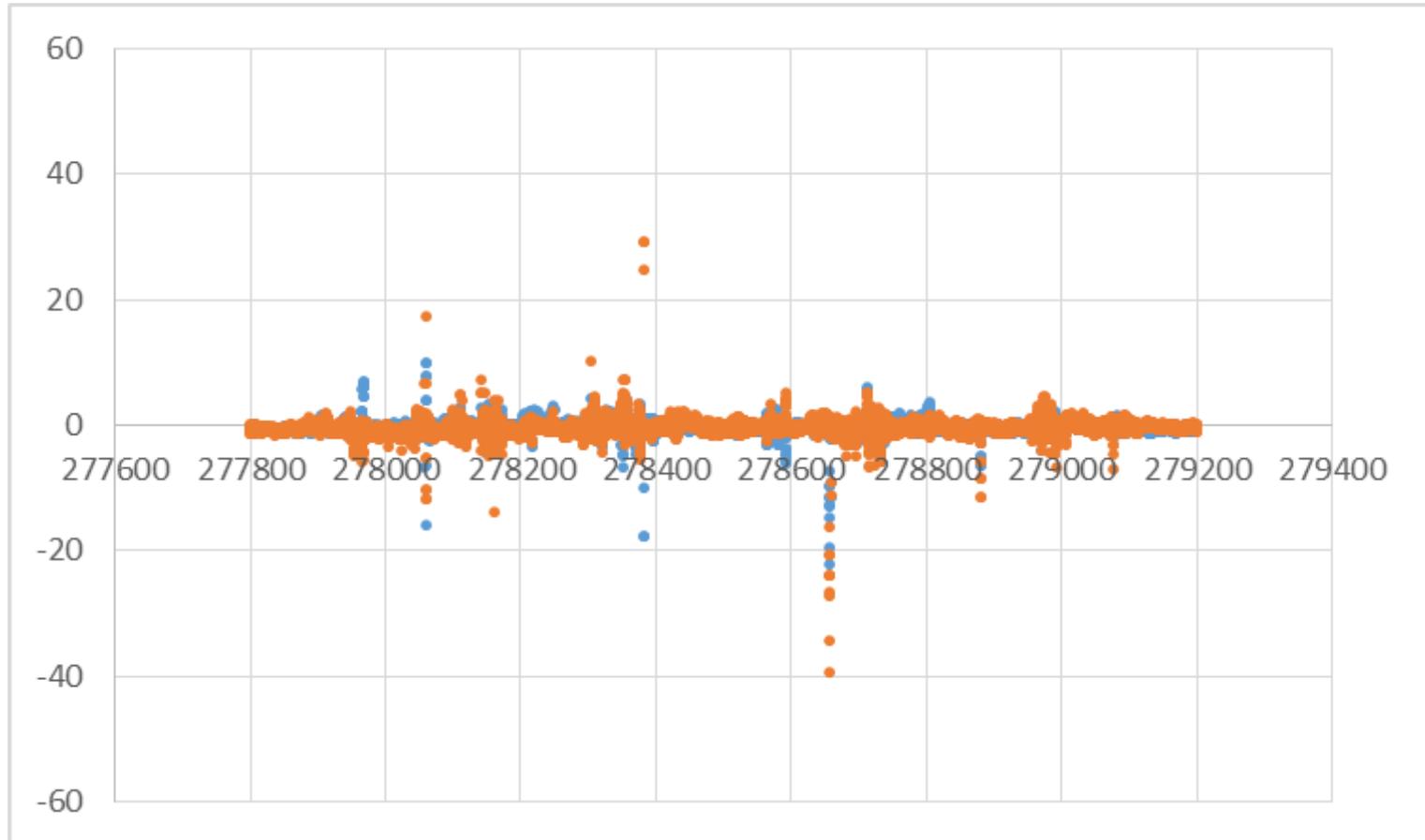
- 測量級受信機 GBQ利用
- 約25分
- レファレンスはPOSLV
- 豊洲高層ビル街2周
- コードDGNSSを評価
- QZS:83度、B8:78度

	解析概要
1	DGNSSそのまま
2	あるべき信号強度
3	提案手法
4	提案手法+基準衛星チェック
5	搬送波位相チェック

DGNSS (ノーマル)

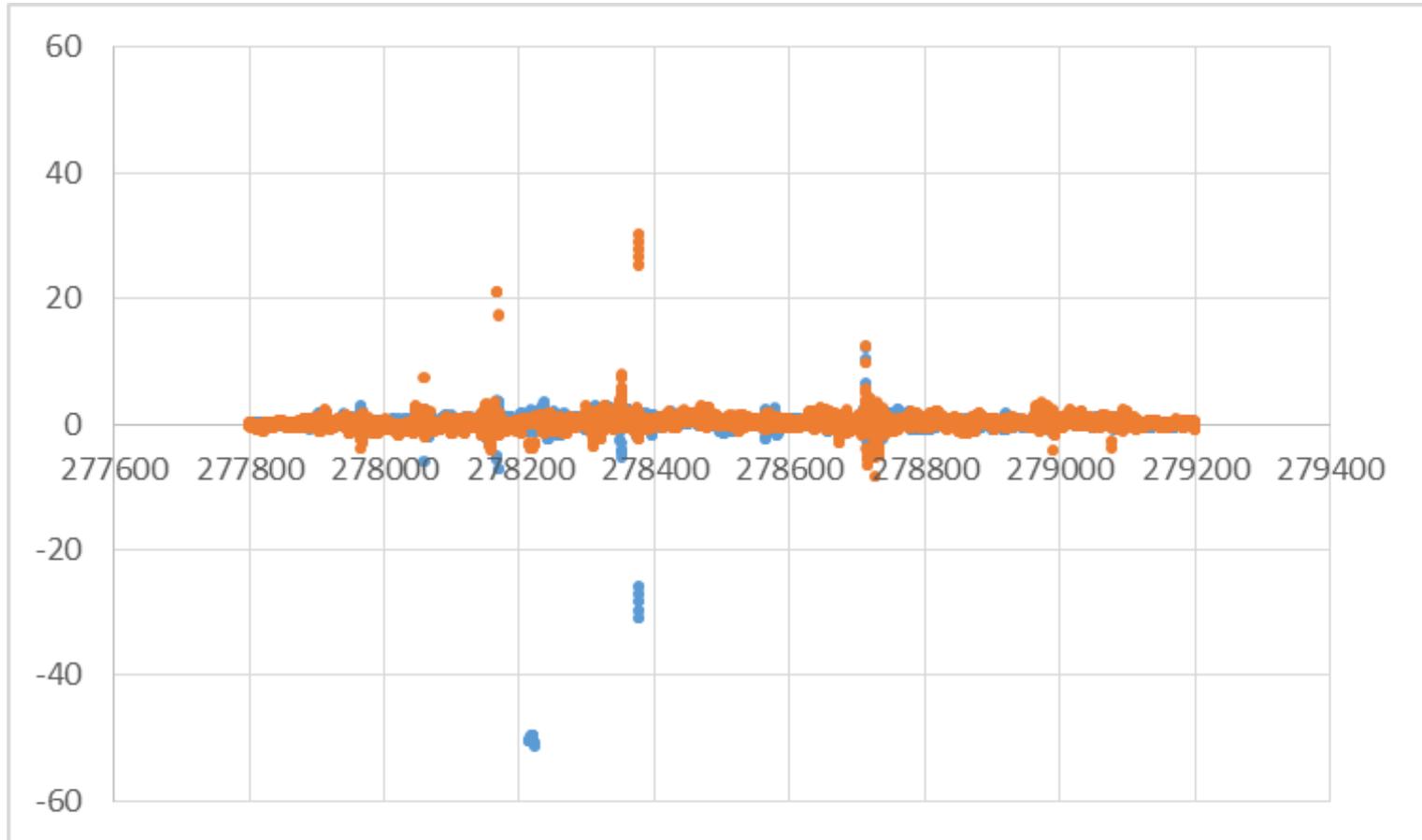


DGNSS+あるべき信号レベル

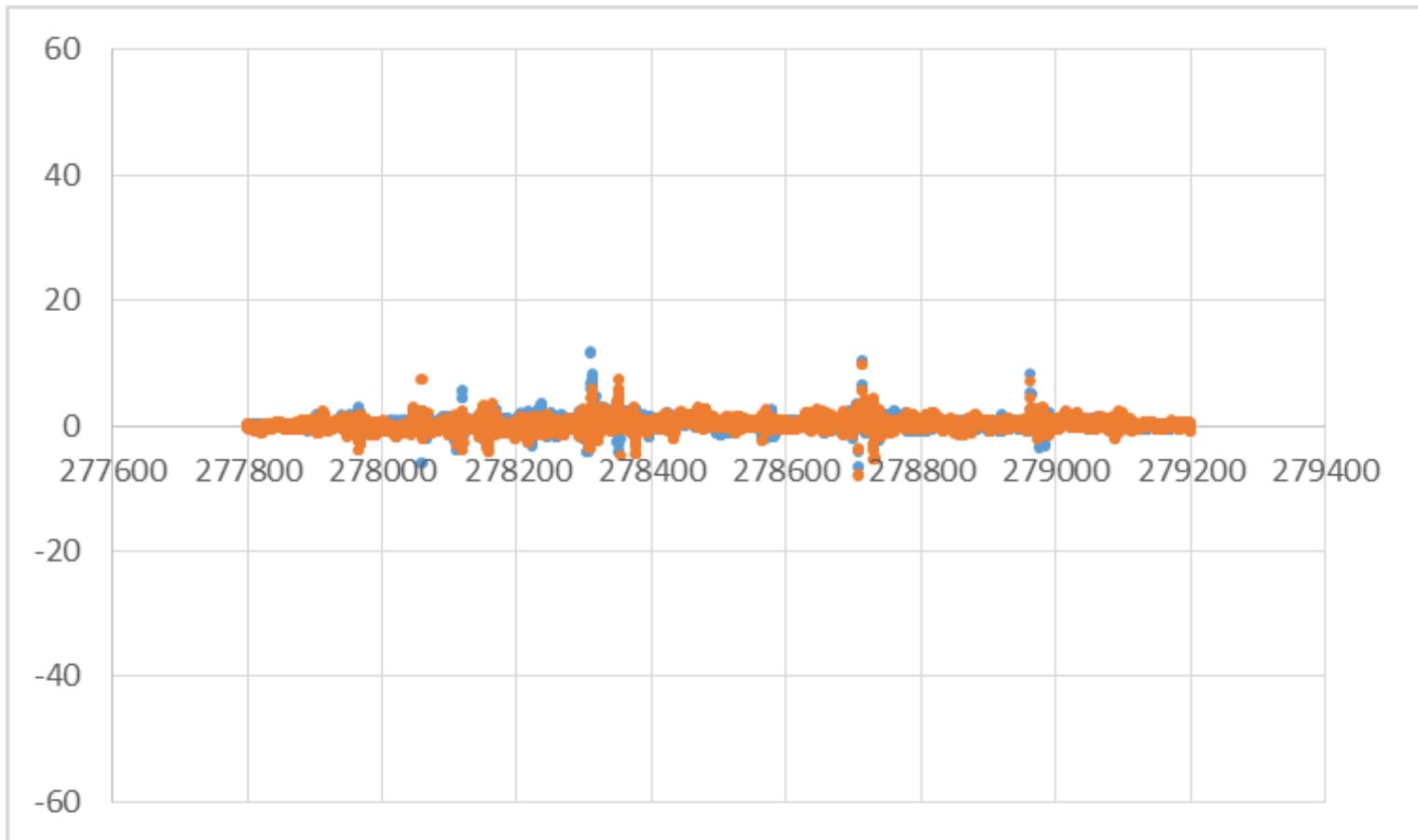


本来あるべき信号レベル—実際の信号レベル > 8dBHz

DGNSS+MPチェック



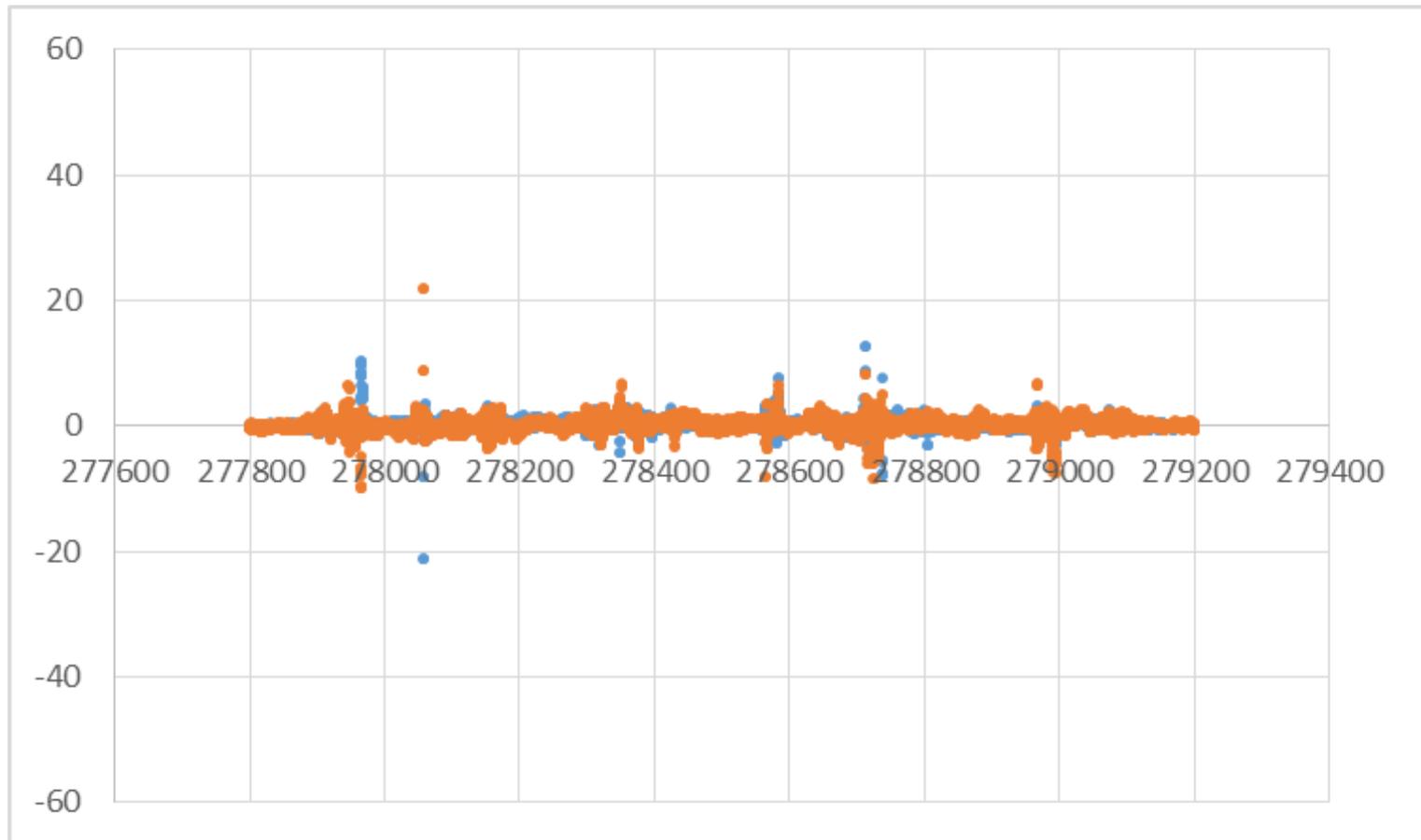
DGNSS+MPチェック+ 基準衛星がないときは捨てる



DGNSS+

搬送波位相をチェックすると？

L1/L2 B1/B2帯の搬送波位相の有無のみ付加



結果をまとめると

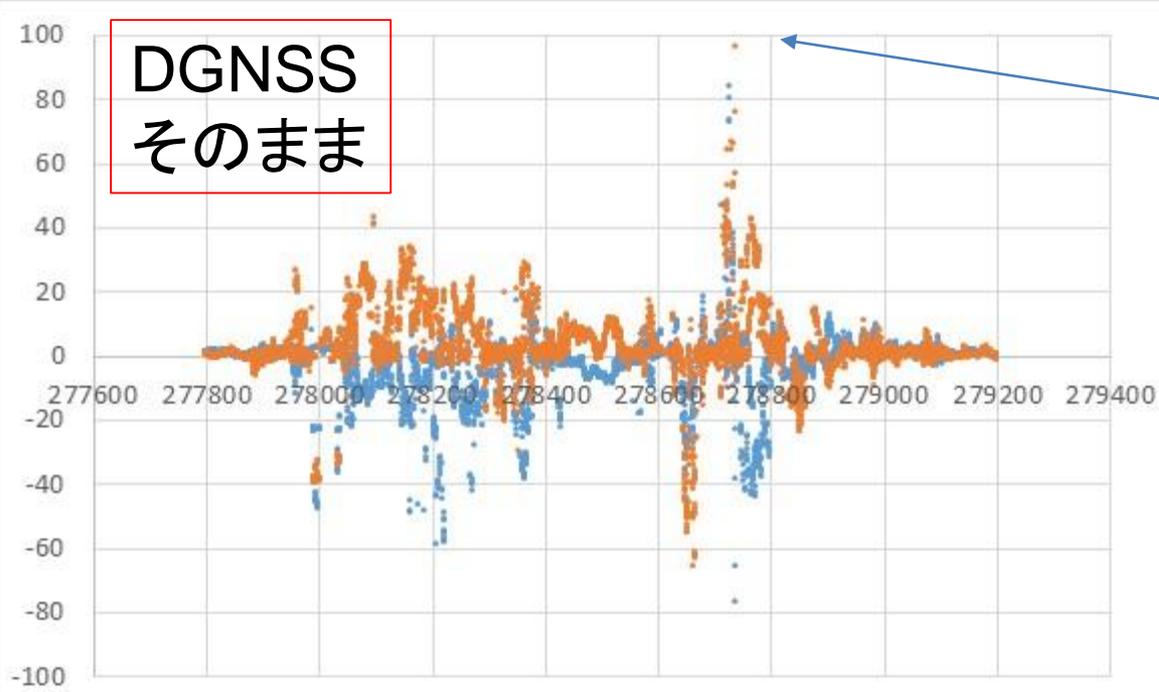
	水平標準偏差	99%値 (水平絶対誤差)	測位率(%)
DGNSSそのまま	5.40m	48.60m	99.7%
あるべき信号強度	1.53m	4.36m	93.4%
MPチェック	3.06m	3.94m	99.7%
MPチェック＋ 基準衛星チェック	1.08m	3.66m	93.8%
搬送波位相チェック (L1+L2)	1.25m	3.97m	97.0%

これは測量級受信機→低コスト受信機だと？

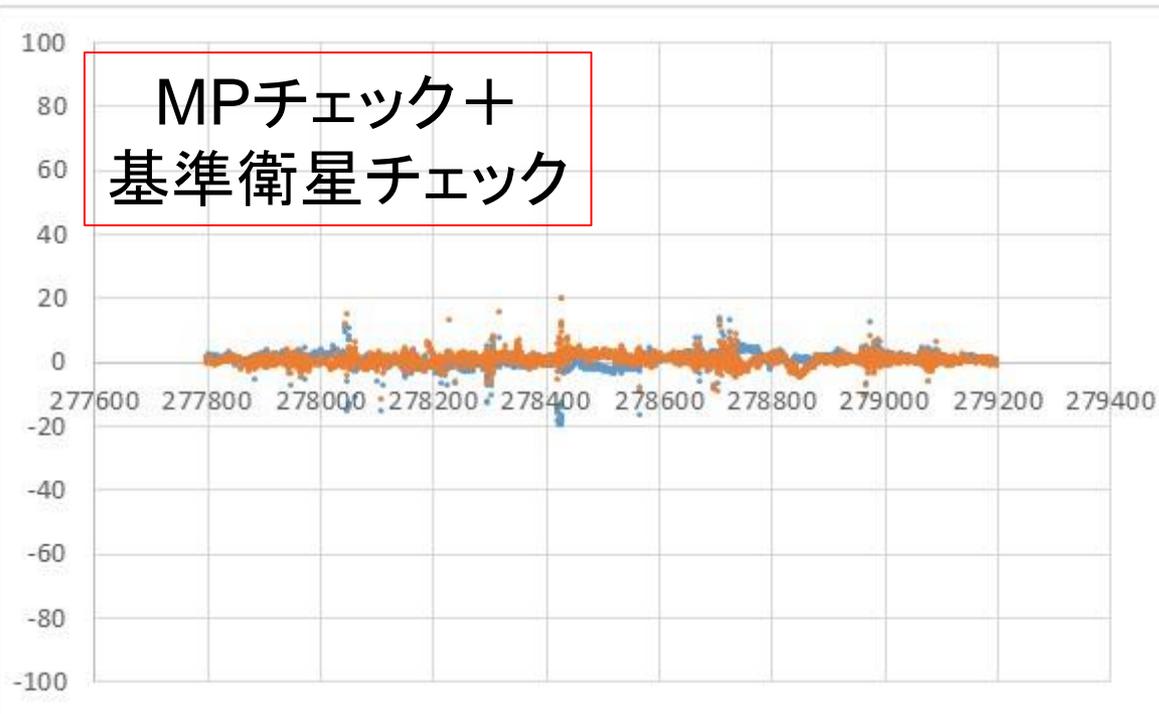
低コスト受信機

	水平標準偏差	99%値 (水平絶対誤差)	測位率(%)
DGNSSそのまま	14.48m	56.75m	99.8%
あるべき信号強度	3.00m	12.03m	95.8%
MPチェック	3.17m	14.08m	99.6%
MPチェック+ 基準衛星チェック	2.48m	7.38m	96.0%
搬送波位相チェック (Only L1)	9.04m	40.95m	99.6%

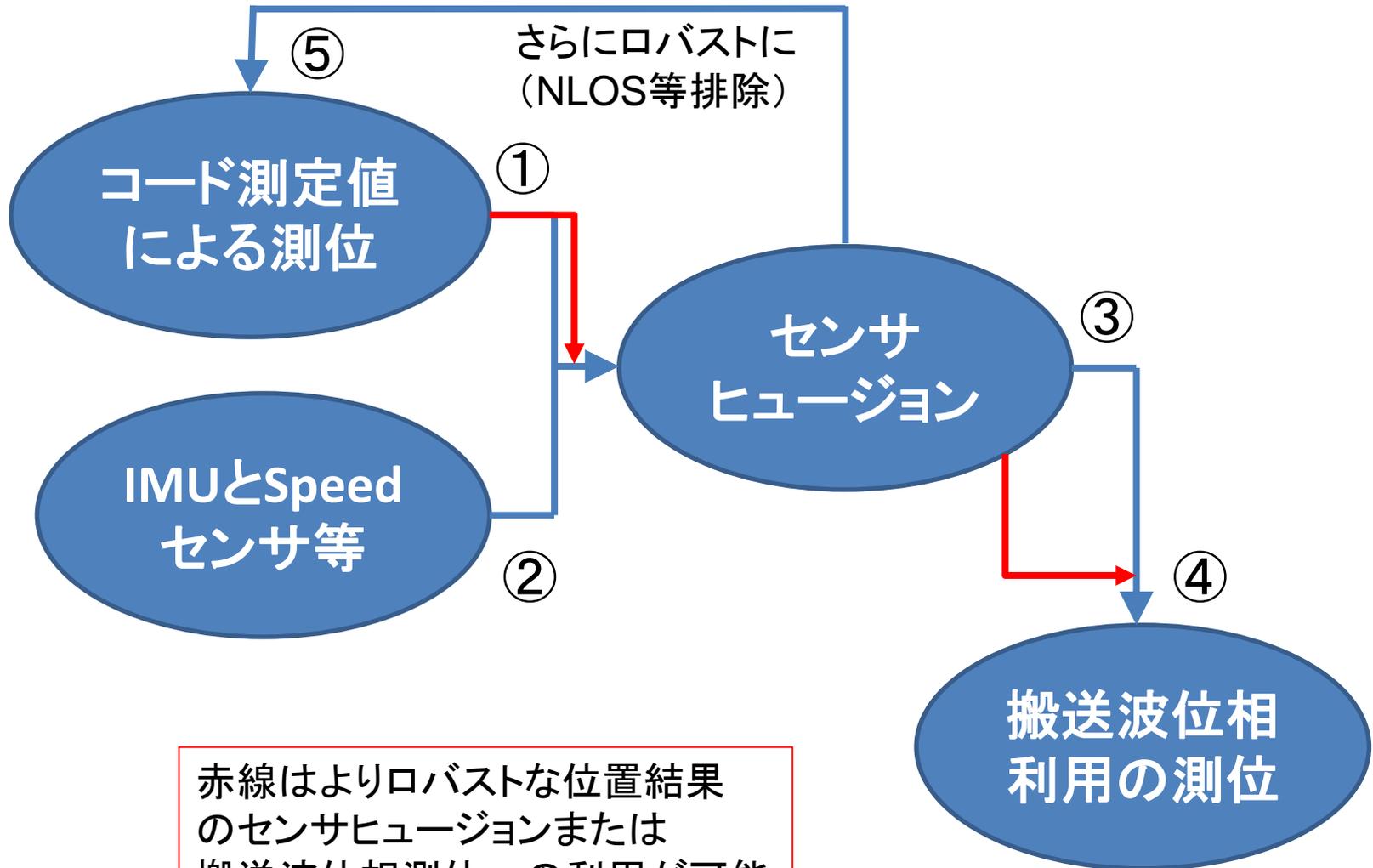
3.45m / 8.28m / 96.0%



実際は100mを
超えています



ロバストな位置推定（発表まとめ）



赤線はよりロバストな位置結果のセンサヒュージヨンまたは搬送波位相測位への利用が可能

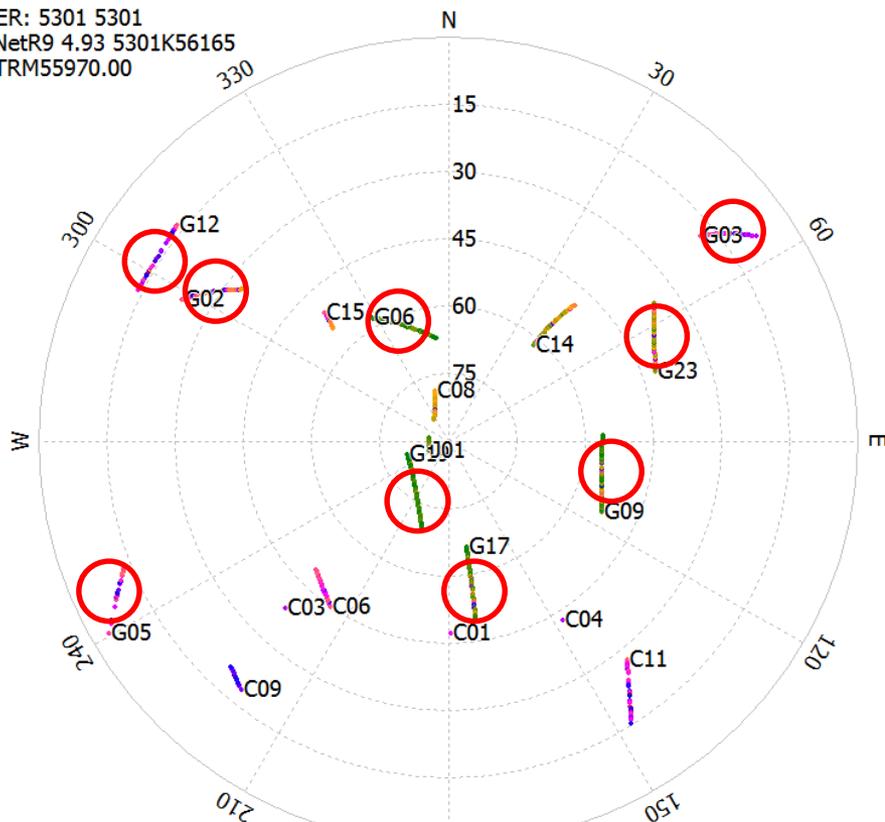
まとめ

- 本発表は補正データ有りの結果
- 補正データをどうするか
- マップマッチングとダイナミック地図の存在
- GNSS位置結果のリアルタイム性(予測)
- GNSSとIMUやSpeedセンサとの補完は○
- アルゴリズム内での判断
- 受信機での判断
- 信頼度

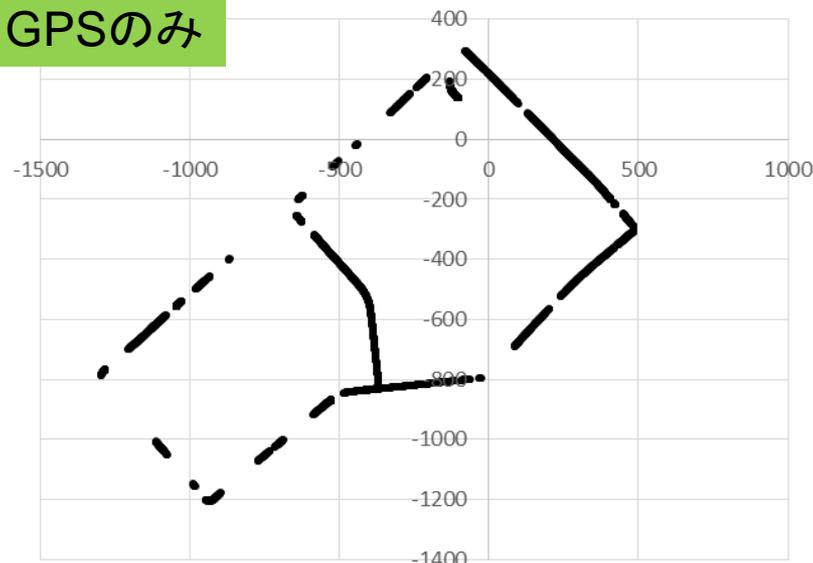
準天頂衛星のRTK測位への寄与

(海洋大周辺通常都市部の車両走行: 測量級受信機)

MARKER: 5301 5301
REC: NetR9 4.93 5301K56165
ANT: TRM55970.00



GPSのみ



GPS+QZS



利用衛星	FIX率
GPS	44.95%
GPS/QZS	79.67%
GPS/QZS/BEI	91.84%

天頂付近であるとはいえ、1機で都内で35%も向上！