

実環境の列車におけるGNSS擬似距離誤差発生状況に関する調査

東京海洋大学 樋口 志樹

久保 信明

高須 知二

安田 明生

鉄道総合技術研究所 山本 春生

背景1

- 実鉄道路線で市販GNSS受信機を使って観測データを取得できた(2010年-2014年までの共同研究)
- 自動車、歩行者に比べて、実鉄道環境での列車走行時の観測データの報告が少ない
- 実列車で取得した実路線環境でのデータを利用して、擬似距離誤差の発生状況(特にマルチパス誤差)を調査することを目的とした
- 今後の鉄道環境でのGNSSの信頼性の把握に利用

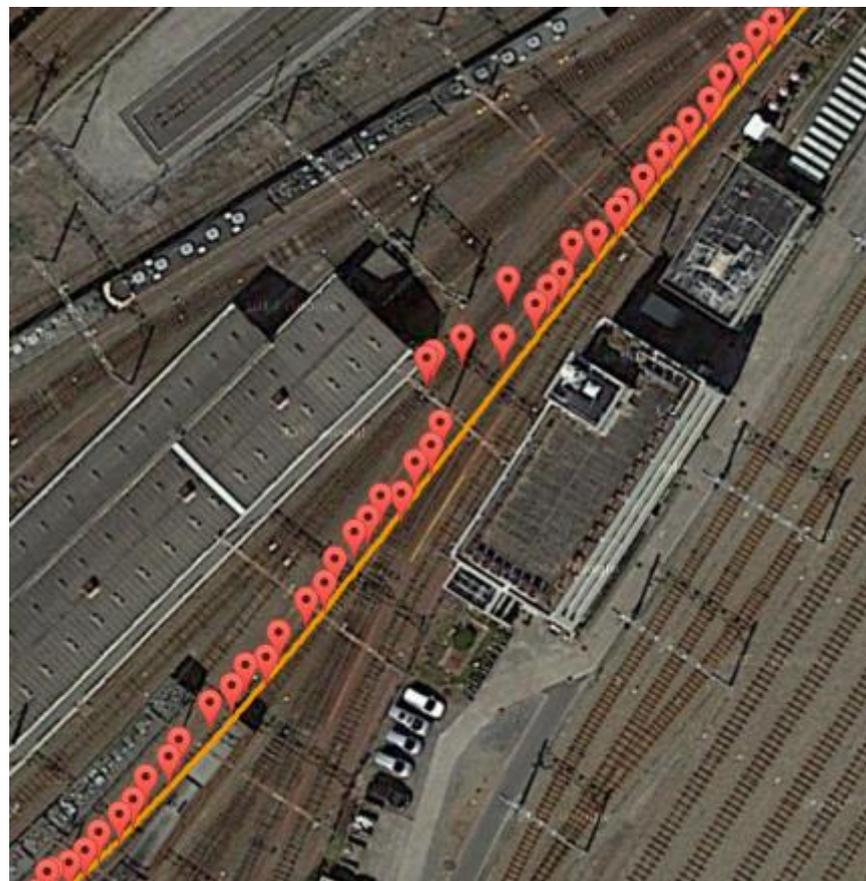
背景2

- 実路線上で測位を行った結果真値と大きくずれる箇所の調査を行った。
- この測位誤差を低減するためには、誤差の原因を検知する必要がある。



各衛星ごとの擬似距離
誤差の抽出を行った。

オレンジ:レファレンスによる軌跡
赤のマーカ:測位結果
地図:北上



吹田総合車両留置線周辺の上空写真

概要① 観測データ

- 使用するデータ

アンテナ NovAtel社 GPS-703-GGG

受信機 JAVAD社 Delta-G3T



在来線技術試験車U@tech

概要① 観測データ

- 使用するデータ

主な走行箇所

京都駅から
吹田駅までの

京都線

園部駅までの

嵯峨野線

近江舞子駅までの

湖西線

彦根駅までの

琵琶湖線

4路線は計171km

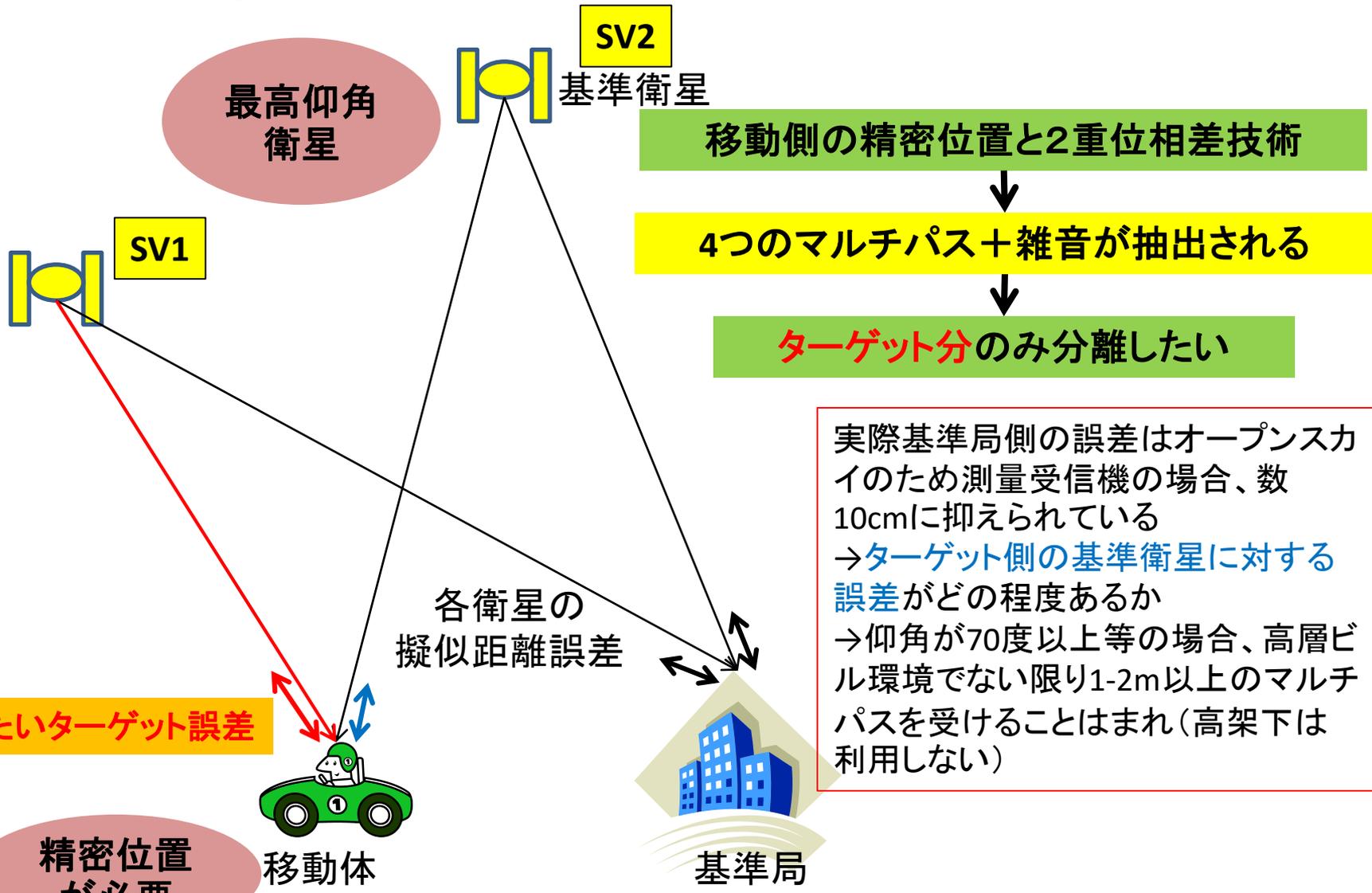
2012年12月(11日、12日、17日、24日 計4日間)

2013年2月(8日、17日、20日 計3日間)

列車によって取得した。



概要② 擬似距離誤差の抽出

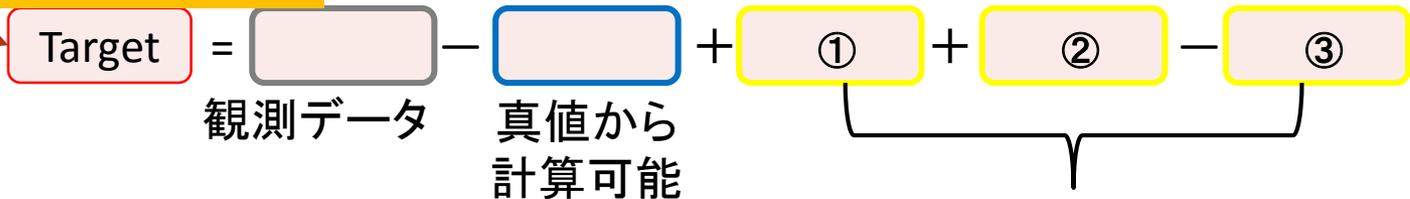


概要② 移動体の擬似距離誤差抽出

$$\begin{aligned}
 P_{rov_ref}^{sv1_sv2} &= (P_{rov}^{sv1} - P_{ref}^{sv1}) - (P_{rov}^{sv2} - P_{ref}^{sv2}) \\
 &= \rho_{rov}^{sv1} + c(dt_{sv1} - dT_{rov}) + \underbrace{ion_{rov}^{sv1} + tropo_{rov}^{sv1}}_{\text{電離層、対流圏}} + mp_{rov}^{sv1} + noise_{rov}^{sv1} \\
 &\quad - \left[\rho_{ref}^{sv1} + c(dt_{sv1} - dT_{ref}) + ion_{ref}^{sv1} + tropo_{ref}^{sv1} + mp_{ref}^{sv1} + noise_{ref}^{sv1} \right] \\
 &\quad - \left[\rho_{rov}^{sv2} + c(dt_{sv2} - dT_{rov}) + ion_{rov}^{sv2} + tropo_{rov}^{sv2} + mp_{rov}^{sv2} + noise_{rov}^{sv2} \right] \\
 &\quad + \left[\rho_{ref}^{sv2} + c(dt_{sv2} - dT_{ref}) + ion_{ref}^{sv2} + tropo_{ref}^{sv2} + mp_{ref}^{sv2} + noise_{ref}^{sv2} \right] \\
 &= \underbrace{\rho_{rov}^{sv1} - \rho_{ref}^{sv1} + \rho_{rov}^{sv2} - \rho_{ref}^{sv2}}_{\text{観測データ}} \\
 &\quad + \underbrace{(mp_{rov}^{sv1} + noise_{rov}^{sv1})}_{\text{①}} - \underbrace{(mp_{ref}^{sv1} + noise_{ref}^{sv1})}_{\text{②}} \\
 &\quad - \underbrace{(mp_{rov}^{sv2} + noise_{rov}^{sv2})}_{\text{③}} + \underbrace{(mp_{ref}^{sv2} + noise_{ref}^{sv2})}_{\text{④}}
 \end{aligned}$$

電離層、対流圏は数10km基線の二重位相差で10-20cm以内

抽出したいターゲット誤差



今回この部分は無視(大きくても1-2m)

レファレンスデータ

- RTKによる測位結果

レファレンス用GNSS受信機 NovAtel OEM628

基準局 各沿線11箇所の電子基準点 1Hzデータ

線路軌道 JR西日本のGIS 電子線路平面図データ

- 測位結果が得られない箇所に関して

車軸パルス、慣性センサ2台分の前後方向加速度に基づく走行距離により補間

*トンネル間、極端に衛星数が少ない場合や駅停車中に関してのデータは無い。

(但し駅を通過する場合は有り)

*各走行ごとにレファレンスデータは区切られている。

駅	緯度	経度	...
1	43-46.1	116-77.0	...
2	43-46.2	116-77.0	...
3	43-46.3	116-77.0	...
4	43-46.4	116-77.0	...
5	43-46.5	116-77.0	...
6	43-46.6	116-77.0	...
7	43-46.7	116-77.0	...
8	43-46.8	116-77.0	...
9	43-46.9	116-77.0	...
10	43-47.0	116-77.0	...
11	43-47.1	116-77.0	...
12	43-47.2	116-77.0	...
13	43-47.3	116-77.0	...
14	43-47.4	116-77.0	...
15	43-47.5	116-77.0	...
16	43-47.6	116-77.0	...
17	43-47.7	116-77.0	...
18	43-47.8	116-77.0	...
19	43-47.9	116-77.0	...
20	43-48.0	116-77.0	...
21	43-48.1	116-77.0	...
22	43-48.2	116-77.0	...
23	43-48.3	116-77.0	...
24	43-48.4	116-77.0	...
25	43-48.5	116-77.0	...

駅	方向	発
111	2月8日 試番	方向
112_02	本線 向一梅0208	上り
113_03	本線 梅一園0208	下り
114_04	横国 入0208-1	下り
115_05	横国 出0208-1	上り
116_06	本線 園一京0208	上り
117_07	本線 京一梅0208	下り
118_08	本線 梅一園0208	下り
119_09	本線 園一京0208-2	下り
120_10	横国 入0208-2	上り
121_11	本線 園一亀0208	上り
122_12	本線 亀一梅0208	上り
123_13	本線 梅一向0208	下り
124_14	横国 入0208-1	下り

鉄道総合技術研究所
山本様よりご提供

本手法での解析条件 (GPS+QZS利用)

最低信号強度	25dB-Hz
仰角マスク角	10度
擬似距離誤差算出時に 基準衛星	走行毎で一番仰角が高い 衛星を選択し固定 (かつ信号強度>43dB)
GDOP閾値	30以下
他の観測データチェック	なし
スムージング処理	なし

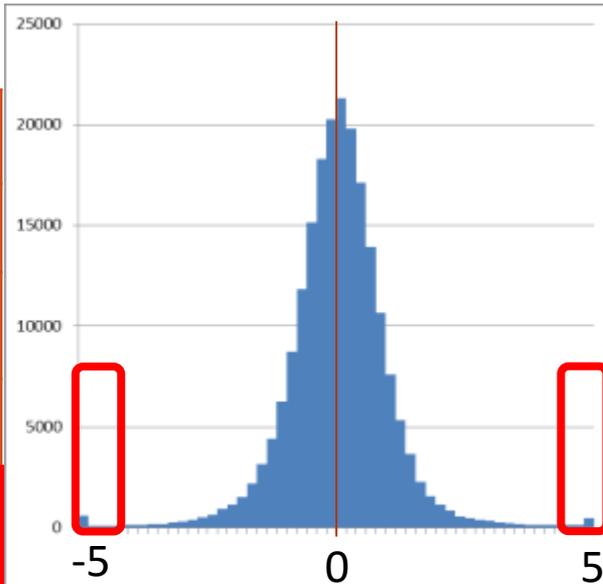
結果を各路線に区分け、擬似距離誤差分布を調査。駅舎に停止時データは含まれていない。ただし通過時のデータは含まれる。
擬似距離誤差算出とあわせて吹田基準でのDGPS/QZSも実施

各路線

※縦軸:頻度、横軸:データ区間(±5[m]、間隔0.2[m])

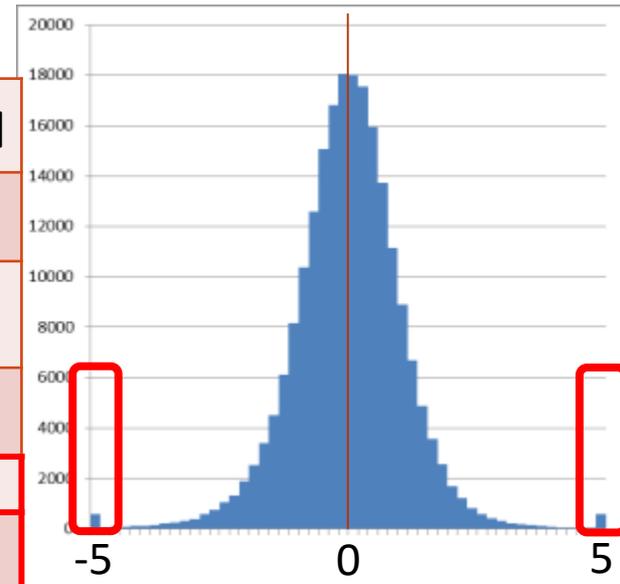
嵯峨野線

総走行時間	34138[s]
標本数	206876
標準偏差	1.16
平均	0.04[m]
-3σ	+3σ
-3.46	3.53



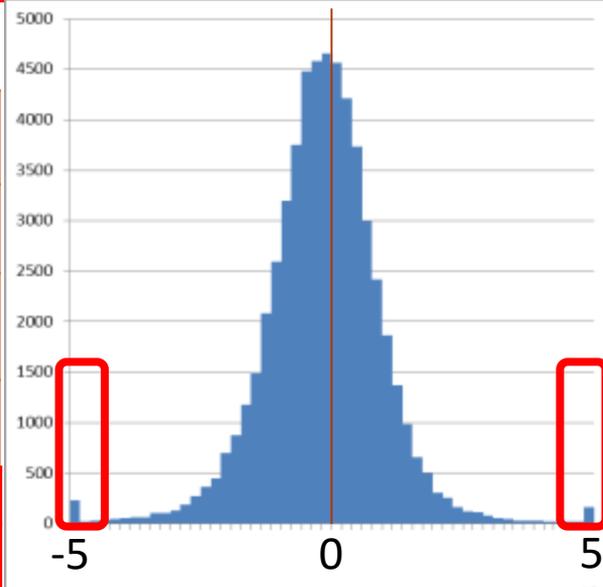
湖西線

総走行時間	43064[s]
標本数	215105
標準偏差	1.43
平均	0.01[m]
-3σ	+3σ
-4.29	4.30



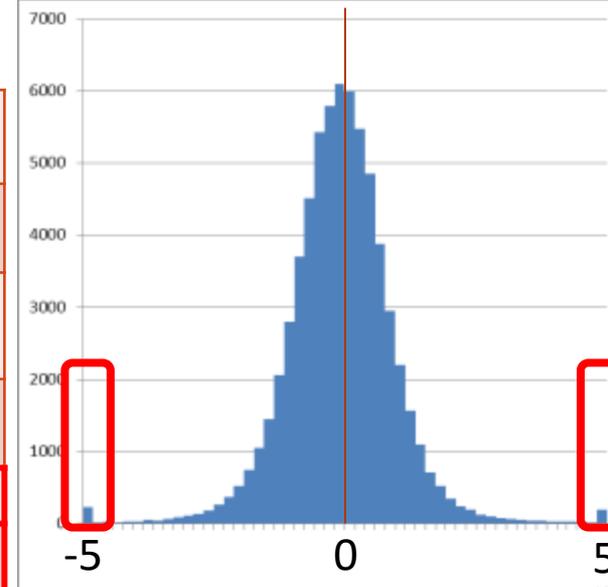
京都線

総走行時間	9318[s]
標本数	56501
標準偏差	1.32
平均	-0.17[m]
-3σ	+3σ
-4.12	3.78



琵琶湖線

総走行時間	10735[s]
標本数	6669
標準偏差	1.17
平均	-0.08[m]
-3σ	+3σ
-3.60	3.42

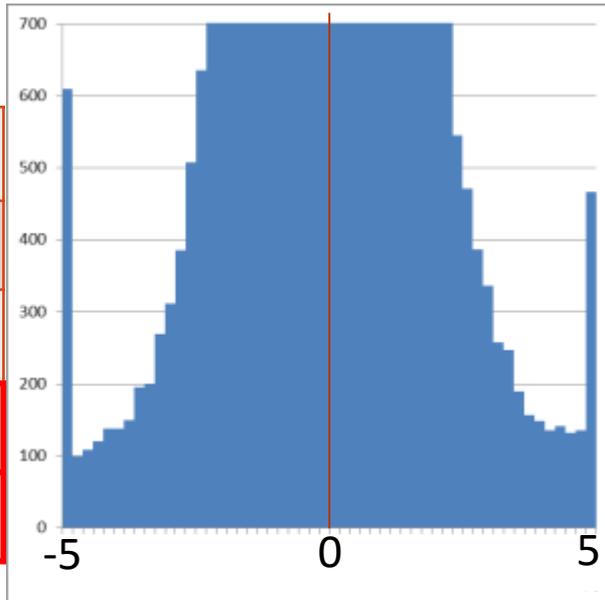


各路線

※縦軸:頻度、横軸:データ区間(±5[m]、間隔0.2[m])

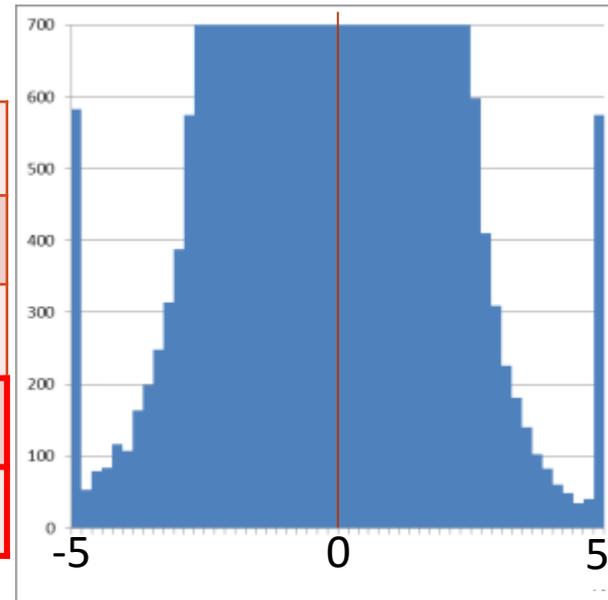
嵯峨野線

総走行時間	34138[s]
標本数	206876
標準偏差	1.16
最大	40.1[m]
最小	-24.6[m]



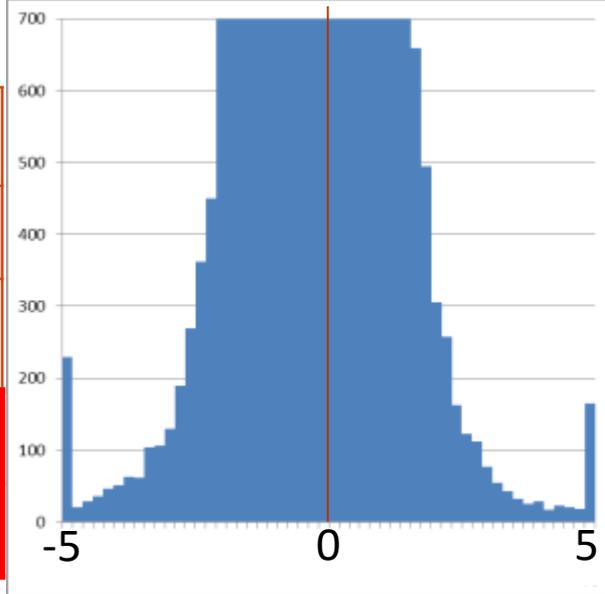
湖西線

総走行時間	43064
標本数	215105
標準偏差	1.43
最大	39.8[m]
最小	-53.3[m]



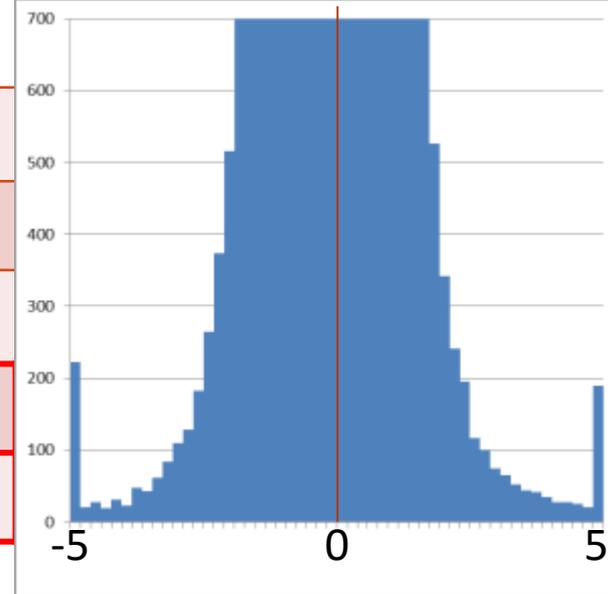
京都線

総走行時間	9318
標本数	56501
標準偏差	1.32
最大	49.8[m]
最小	-41.1[m]



琵琶湖線

総走行時間	10735
標本数	6669
標準偏差	1.17
最大	-25.5[m]
最小	17.9[m]



時系列で誤差を見ると

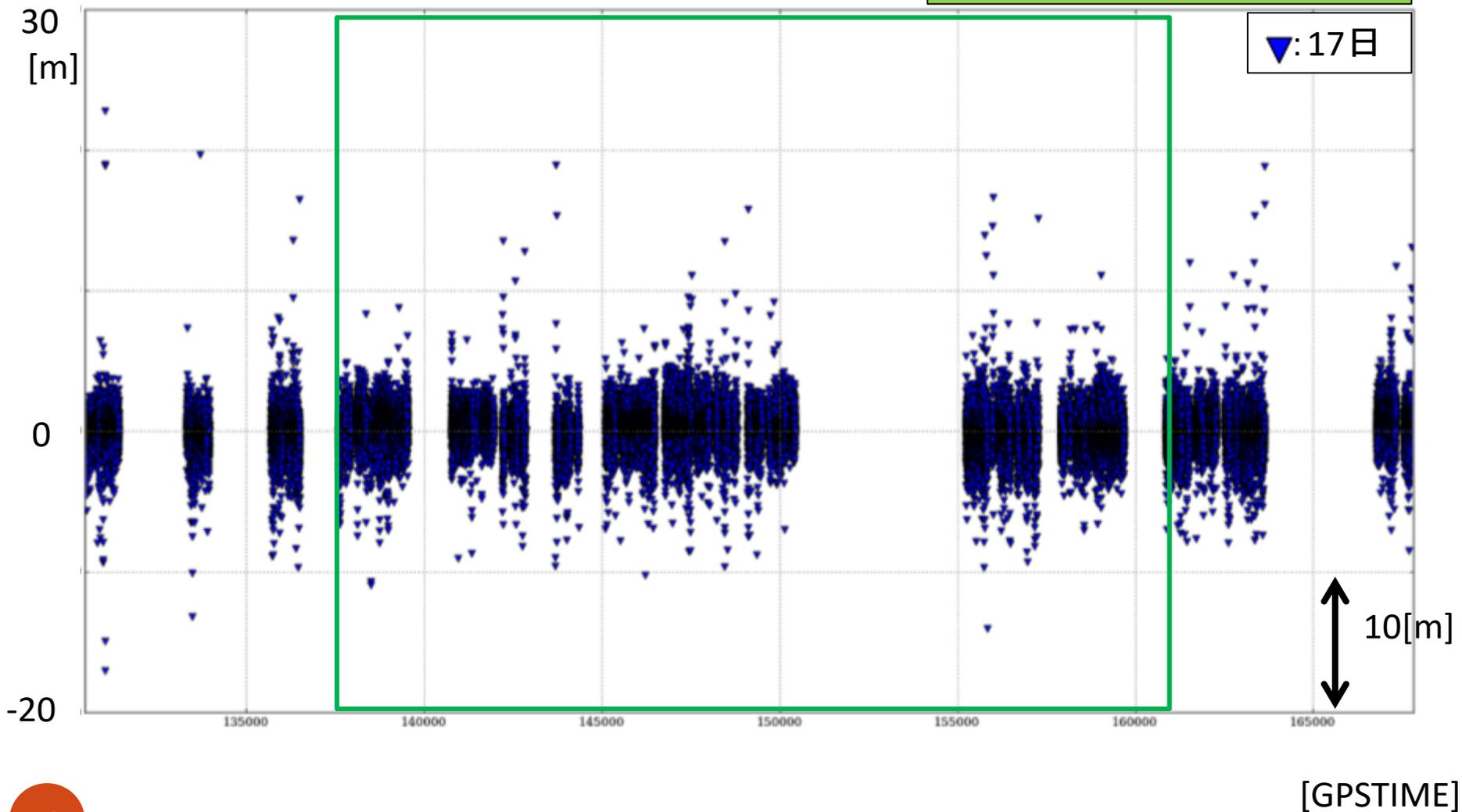
- 12月17日、12月24日
留置線(京都線)から京都駅を經由
京都駅-近江舞子駅を4往復(湖西線)
再度留置線へ戻る→**ほぼ湖西線**



	開始時刻	1往復目 京都駅 発時刻	2往復目 京都駅 発時刻	3往復目 京都駅 発時刻	4往復目 京都駅 発時刻	終了時刻
17日	21:13:59	23:11:57	0:54:45	2:24:40	4:45:59	7:37:06
24日	21:06:18	23:12:56	0:54:42	2:24:44	4:46:00	7:36:07

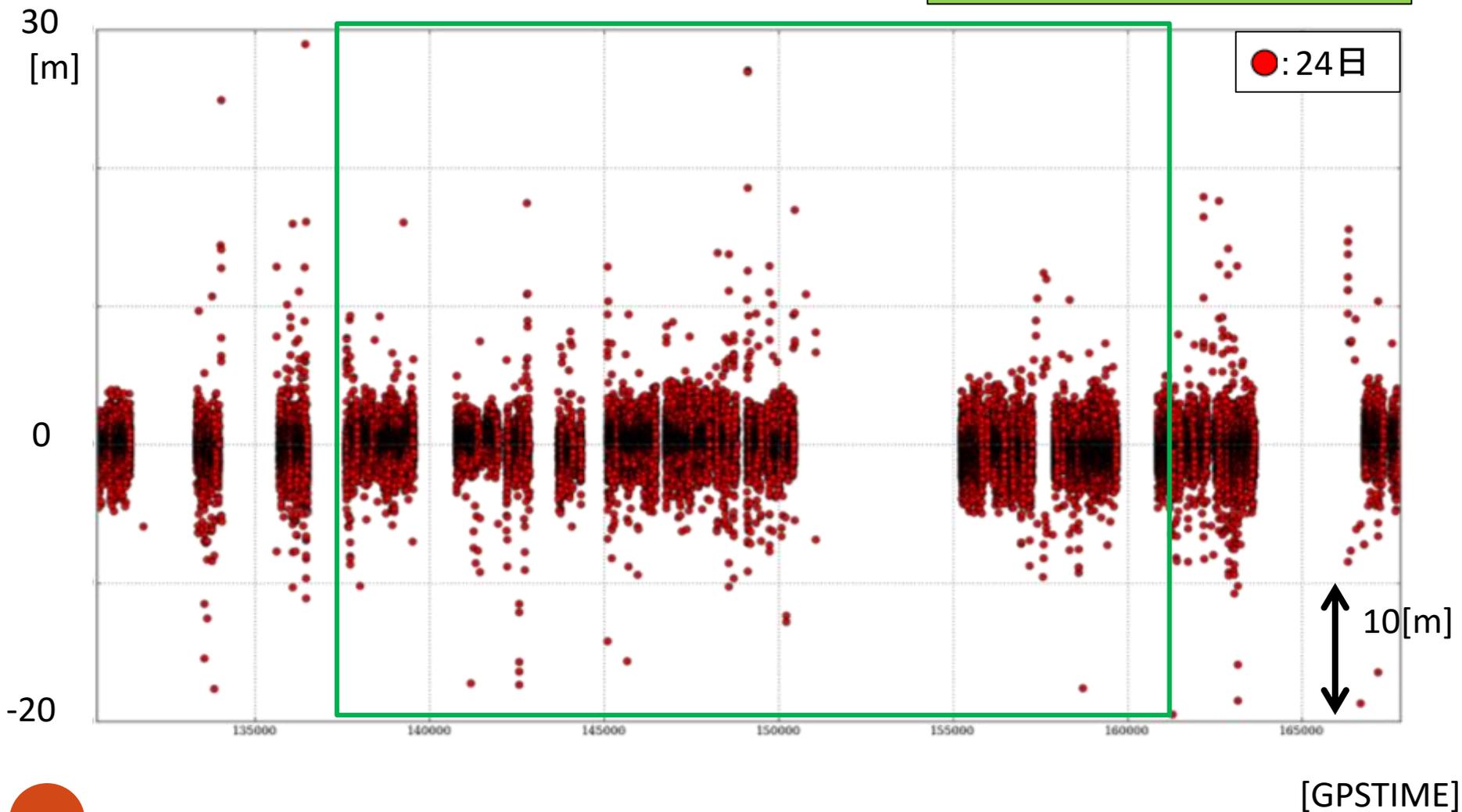
12月17日 全走行 時間軸で比較

緑枠内: 京都～近江舞子間



12月24日 全走行 時間軸で比較

緑枠内: 京都～近江舞子間



大きな誤差発生箇所

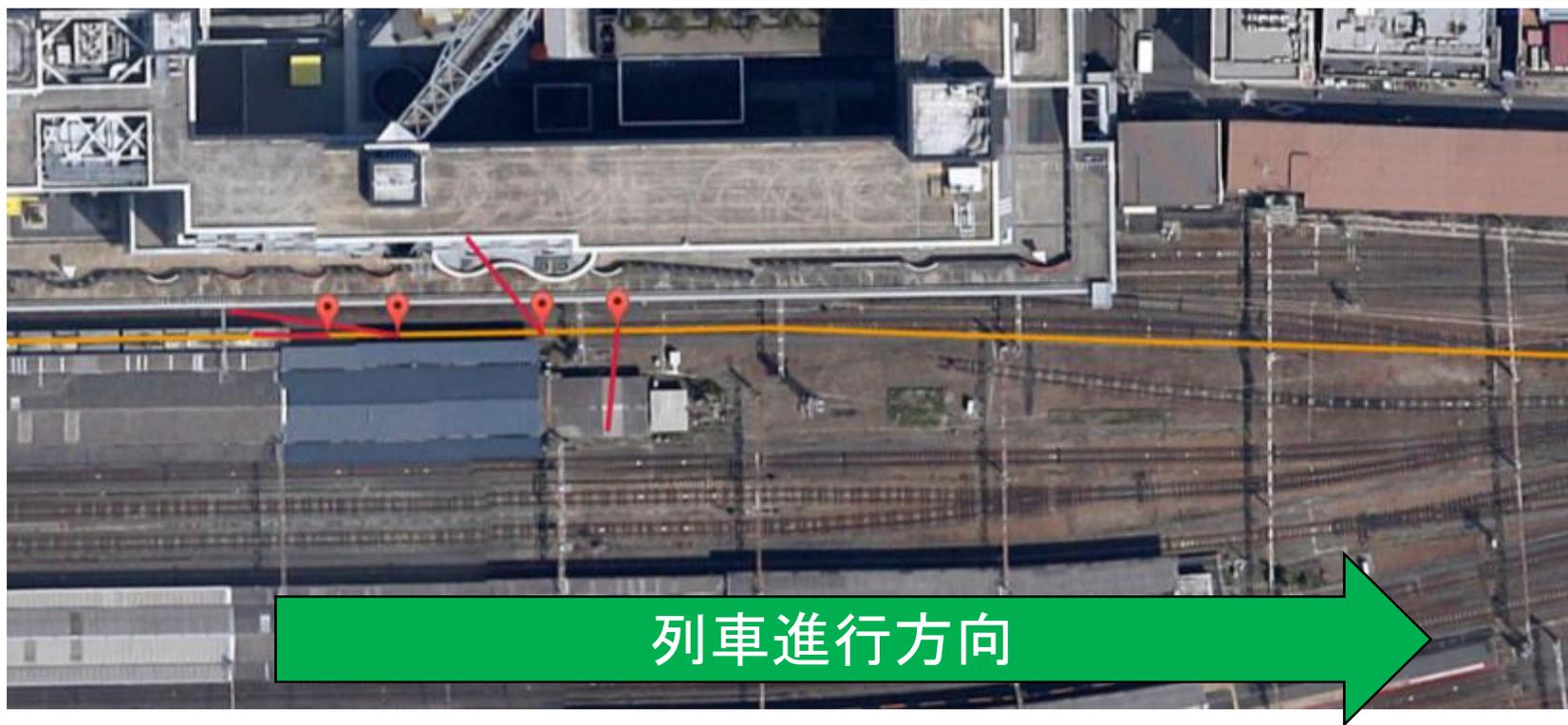
オレンジ:レファレンスによる軌跡
赤線:測位結果とレファレンスの距離差
地図:北上

12月17日 京都駅発～大津京駅
走行時京都駅上空からの航空写真

赤のマーカ:擬似距離誤差±5[m]
以上を表示

特に影響を受けていた衛星(41度/162度)

左からの場所	①	②	③	④
擬似距離誤差[m]	7.6	18.9	15.3	-7.9
実位置誤差[m]	8.3	19.4	14.0	11.5



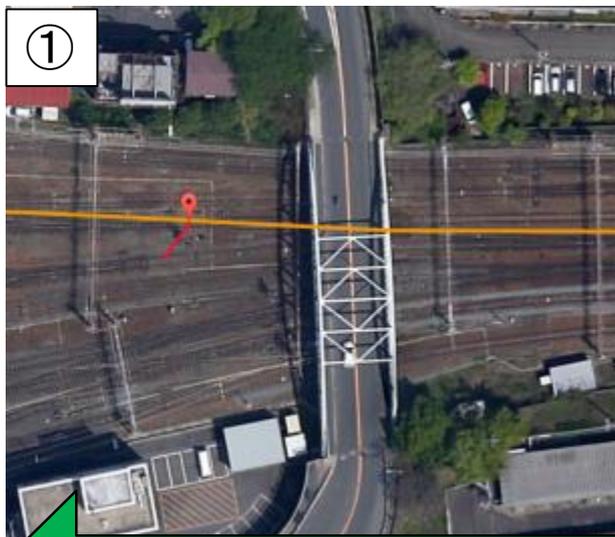
大きな誤差発生箇所

オレンジ:レファレンスによる軌跡
赤線:測位結果とレファレンスの距離差
地図:北上

12月17日 高架下通過後の航空写真

赤のマーカ-:擬似距離誤差±5[m]
以上を表示

	①	②
特に影響を受けていた衛星	(29度/47度)	(50度/205度) (50度/265度)
擬似距離誤差[m]	12.7	12.0 8.7
実位置誤差[m]	6.5	32.0



列車進行方向



列車進行方向

擬似距離誤差と測位誤差の比較

- 12月17日(京都線～湖西線)の全走行を総数として検証を行った。
- 測位誤差5[m]を超えるエポック数は全体の**1.0%**
- 擬似距離誤差±5[m]を超える衛星が1機でもあったエポック数は全体の**2.4%**
大きな擬似距離誤差の発生箇所が**特に駅周辺、高架付近で多い**



駅周辺(ホーム端50mまで)、高架付近(高架から50m)を取り除いた場合は全体の**1.2%**(測位誤差5[m]以上に関しては**0.3%**)

排除できなかった主な擬似距離誤差発生箇所

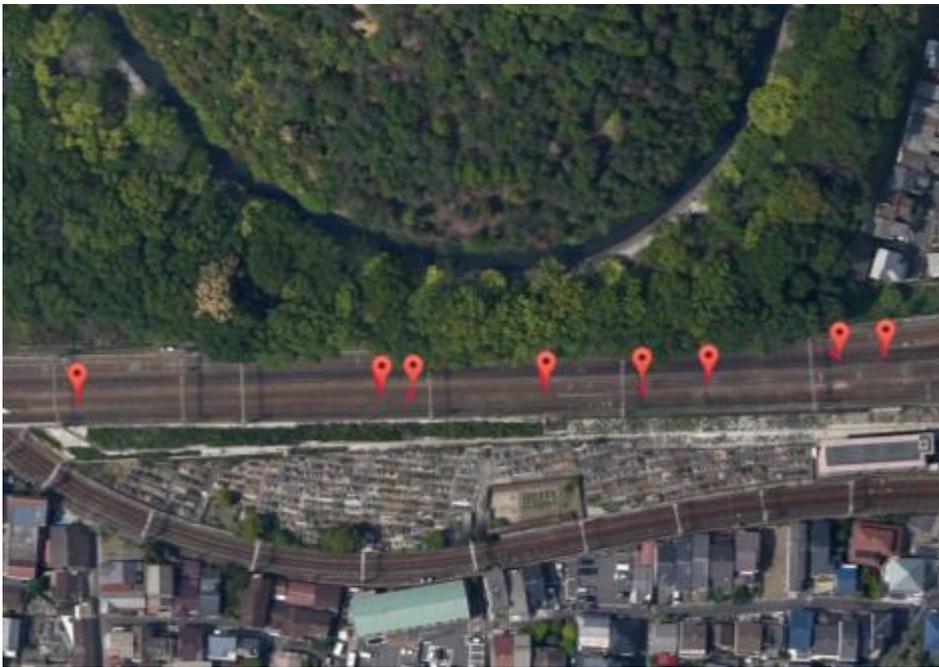
12月17日
(京都線～湖西線)全走行

赤線: 測位結果とレファレンスの距離差

地図: 北上

赤のマーカ: 擬似距離誤差 ± 5 [m]以上を表示

- 京都駅～山科駅 走行区間



- 蓮菜駅～志賀駅 走行区間



大きな擬似距離誤差発生場所は
高層な建造物付近以外で、山・森林付近を通過するとき発生していた

まとめ

- 今回受信機の出力する素の擬似距離誤差を観測し、実路線での誤差分布を明らかにした
- 全ての路線において平均誤差は数cmで $\pm 3\sigma$ で擬似大きく見積もって ± 5 [m]未満に収まる結果となった
- 実路線環境での擬似距離誤差発生箇所は駅、高架付近が半数を占める結果となった→残りの発生箇所について山や森付近以外について調査中(トンネル通過前)
- 共同研究で、大きな誤差を含む衛星検知に取り組んできた。その成果を利用すると大きな擬似距離誤差が低減できることを確認(ISGNSSで発表予定)

謝辞

- 本実験には、データ取得にJR西日本殿に多大なご協力をいただきました。また受信機につきましてはJAXA殿よりご協力頂きました。
- また、本実験の解析でを使用した、観測データ、レファレンスデータにつきましては、鉄道総合技術研究所山本春生様よりご提供頂きました。
- この場をお借りして感謝の意を表させていただきます。

排除できなかった 擬似距離誤差発生箇所

オレンジ:レファレンスによる軌跡
赤線:測位結果とレファレンスの距離差
地図:北上

12月17日 変電所付近電線真下
航空写真

赤のマーカ-:擬似距離誤差±5[m]
以上を表示

特に影響を受けていた衛星(41度/162度)

擬似距離誤差[m]	7.6
実位置誤差[m]	8.3



列車進行方向

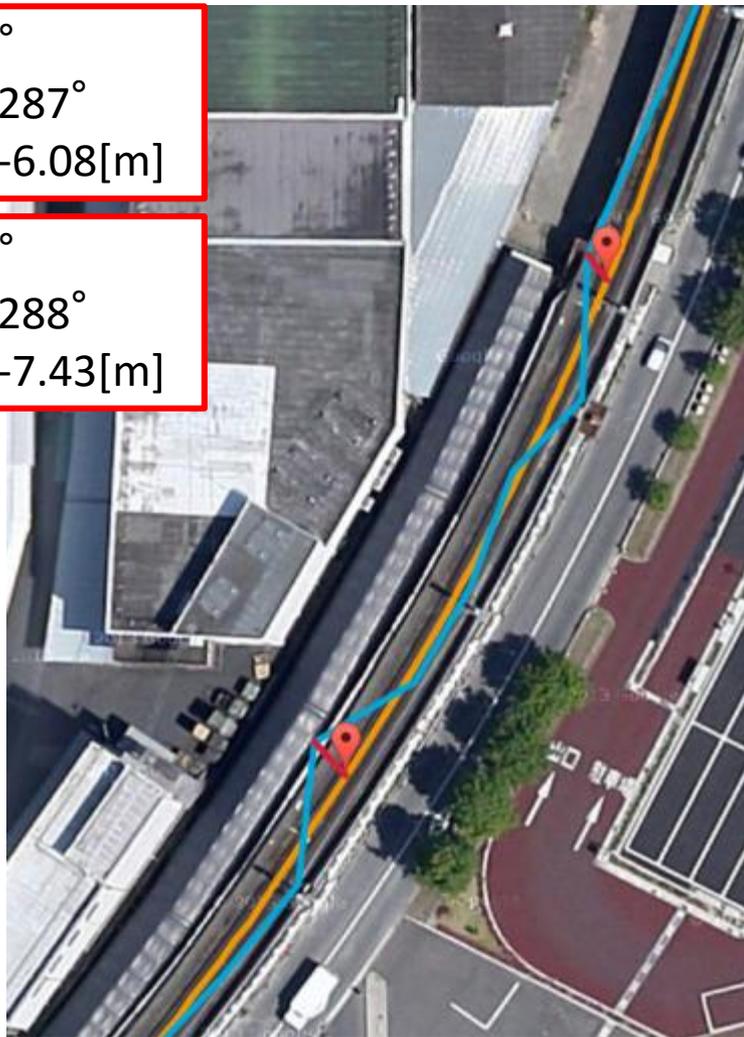
同ダイヤグラム

擬似距離誤差 ± 5 [m]以上を表示

2月17日 第2走行目

仰角: 30°
方位角: 287°
誤差値: -6.08 [m]

仰角: 30°
方位角: 288°
誤差値: -7.43 [m]



オレンジ: レファレンスによる軌跡
水色: 測位結果による軌跡
赤線: 測位結果と真値の距離差
地図: 北上

2月20日 第2走行目

仰角: 28°
方位角: 251°
誤差値: -6.33 [m]

