

マルチGNSSの評価と DGNSSの可能性に関する研究

海洋科学技術研究科
海運ロジスティクス専攻
土倉 弘子

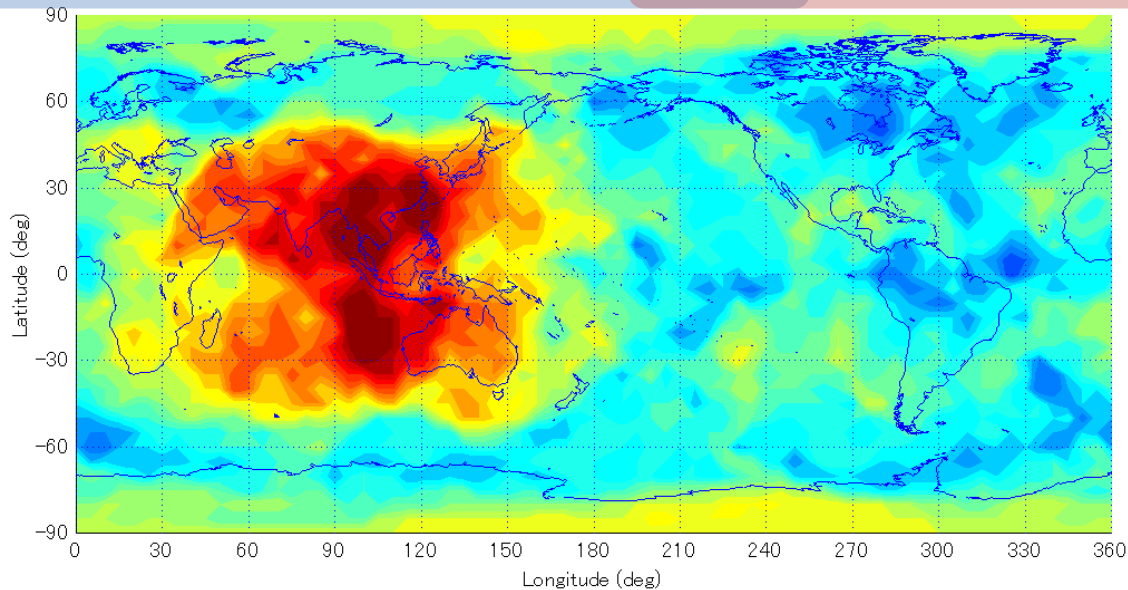
マルチGNSS

2020年

衛星数予想

マルチGNSS = GNSS + RNSS

GPS + GLONASS + Galileo + BeiDou + IRNSS + QZSS



可視衛星数 (仰角 > 30度)

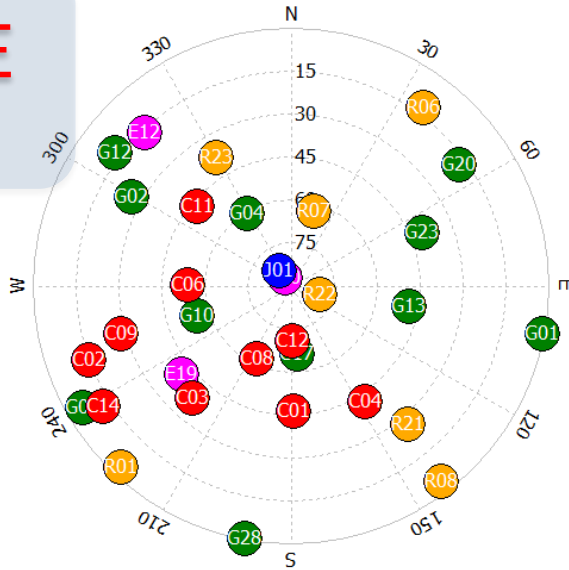


マルチGNSS

2013年現在

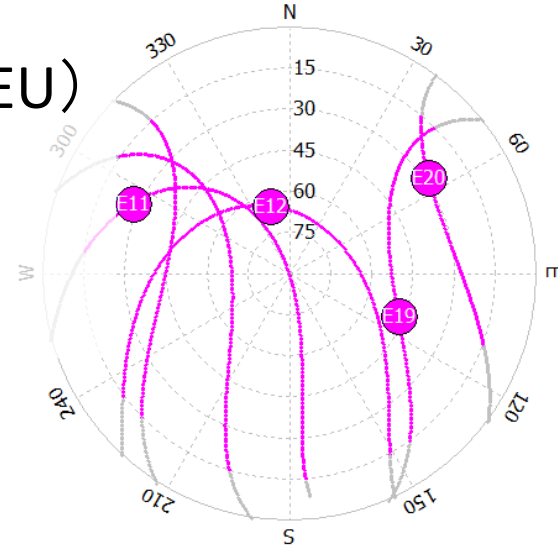
4/1 5:00 (JST)

- :GPS
- :QZSS
- :BeiDou
- :Galileo
- :GLONASS



Galileo (EU)
2011年～

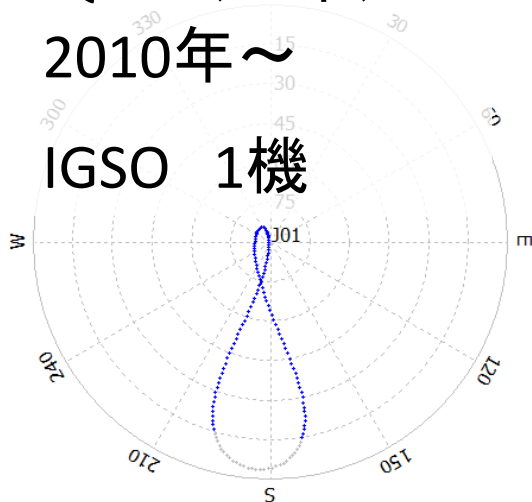
MEO 4機



QZSS (日本)

2010年～

IGSO 1機



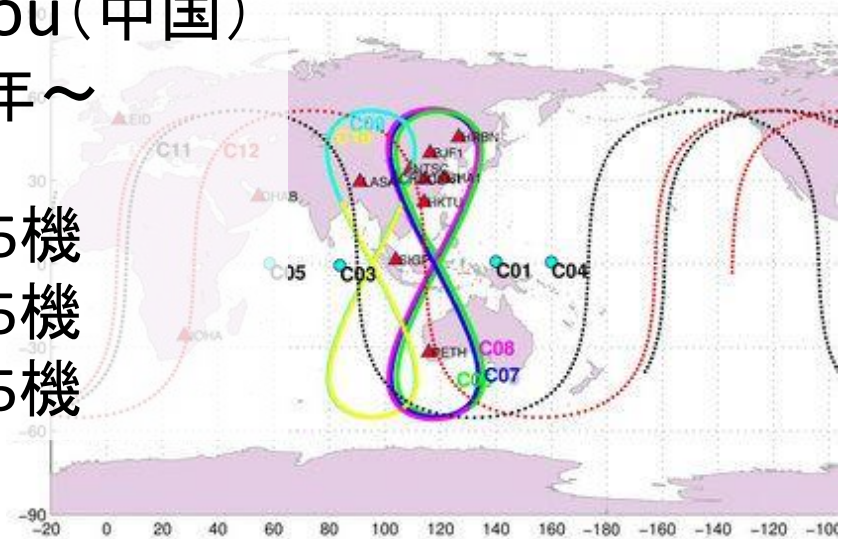
BeiDou (中国)

2012年～

IGSO 5機

GEO 5機

MEO 5機

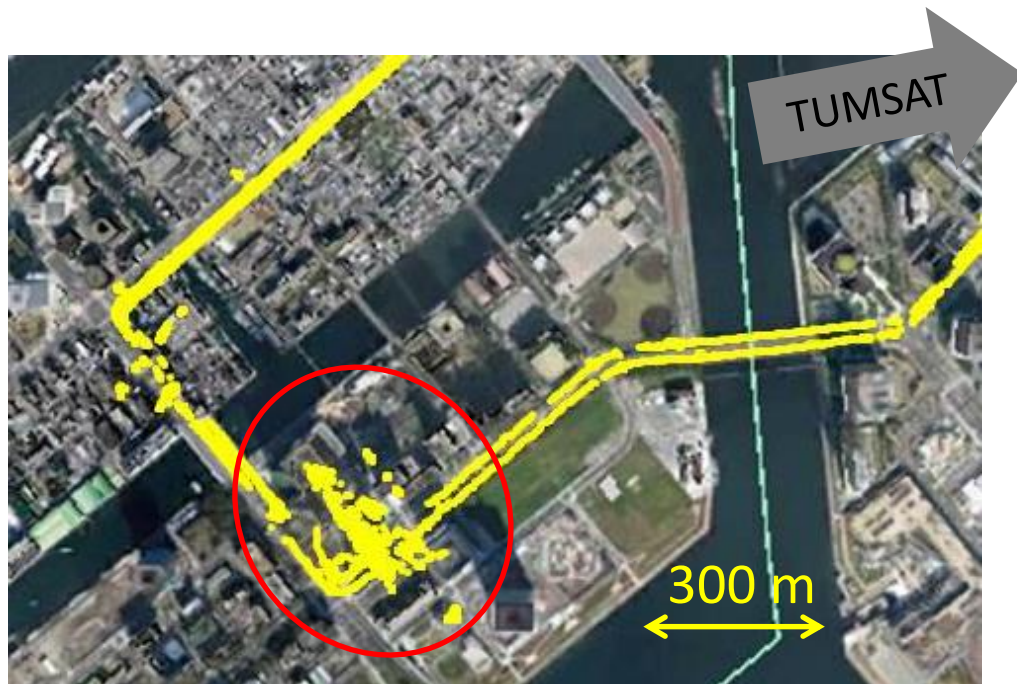


現在までの主な研究内容

- RNSS(国産衛星)による地域的測位
- GPS近代化による新たな周波数帯信号(L5帯信号)のマルチパス特性の評価
(文部科学省宇宙利用促進による電子航法研究所殿からの委託研究)
- GLONASSとGPSによる複合測位のマルチパス推定と除去のための手法提案と評価
- マルチGNSSによる高精度測位(DGNSS)

問題点

GPS + QZSS による高精度測位



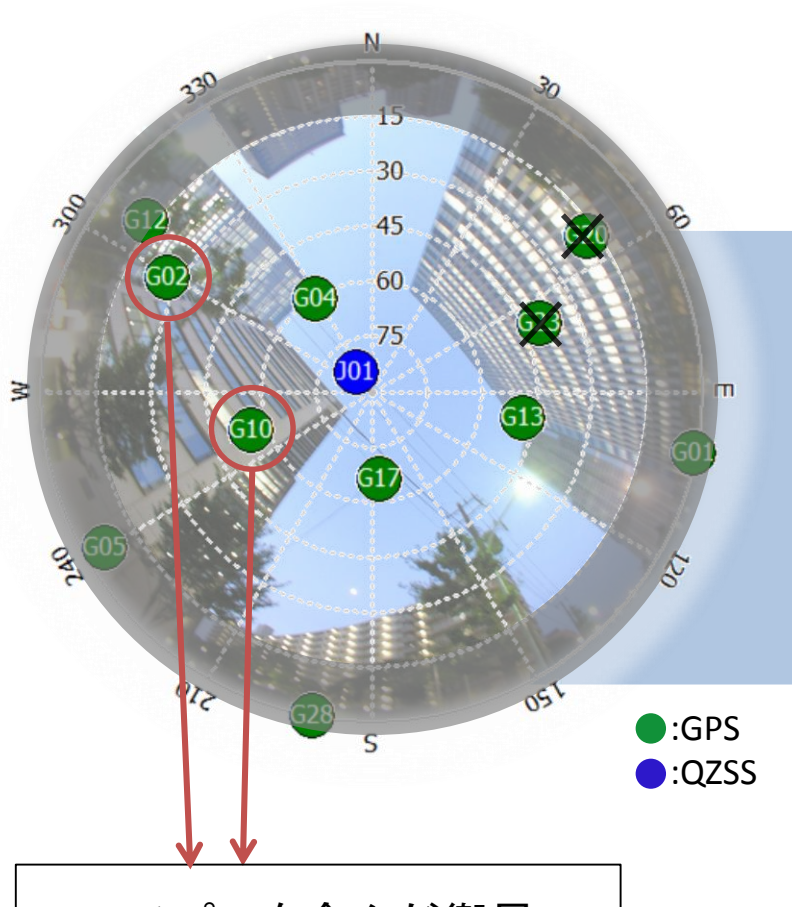
都市部におけるディファレンシャルGPS測位誤差の主な原因

- 厳しいマルチパス環境
- 上空の遮蔽による可視衛星の減少

背景と目的

測位誤差原因(マルチパス)

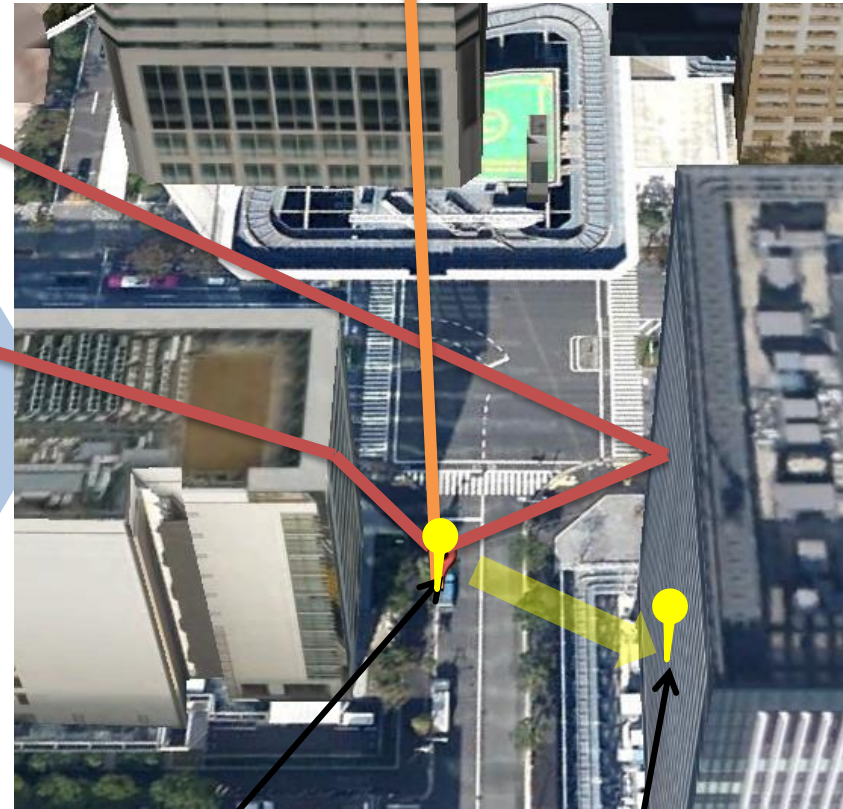
高仰角衛星による直接波



マルチパスを含んだ衛星
(NLOS – no line of sight)

反射波

回折波



真値

誤った測位解

背景と目的

測位誤差原因(マルチパス)

高仰角衛星による直接波

反射波

観測値の品質チェックによる衛星選択

⇒ 測位精度の向上

⇔ 測位率の低下

●:GPS
●:QZSS

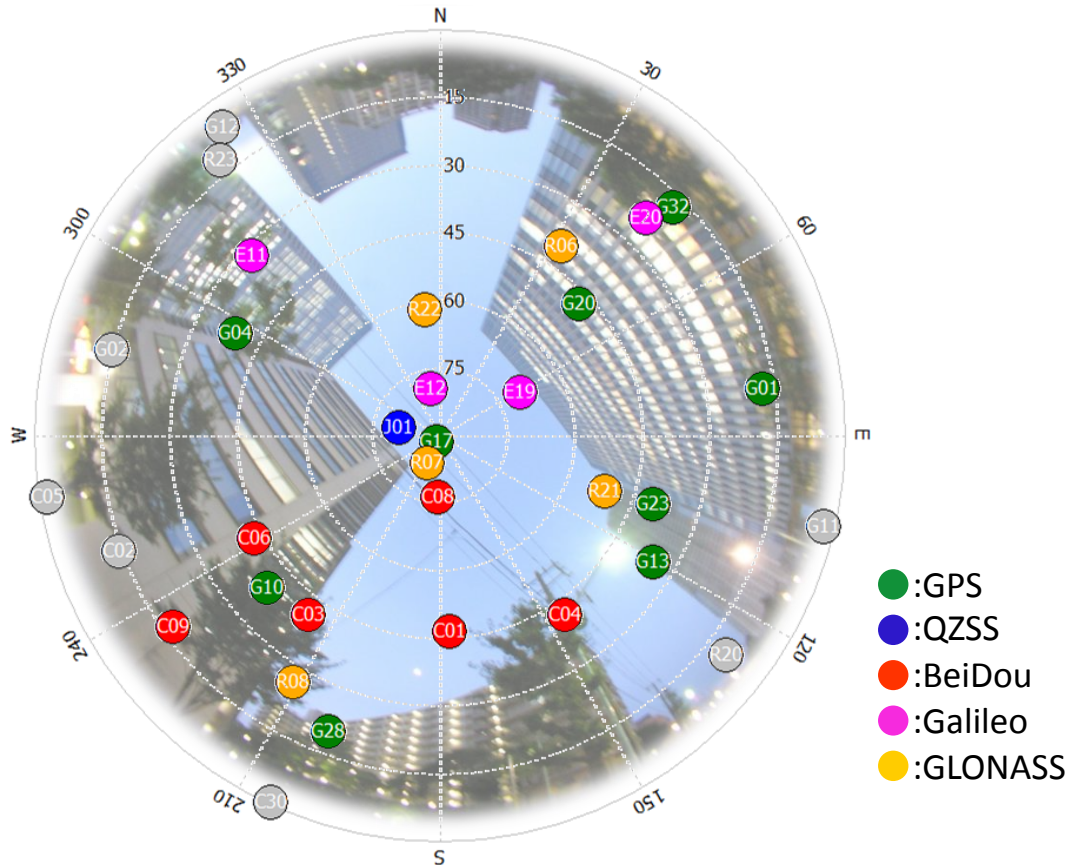
マルチパスを含んだ衛星
(NLOS – no line of sight)

真値

誤った測位解

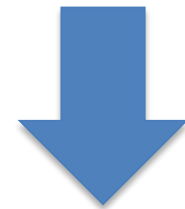
背景と目的

マルチGNSSによる効果



直接波

2 GPS

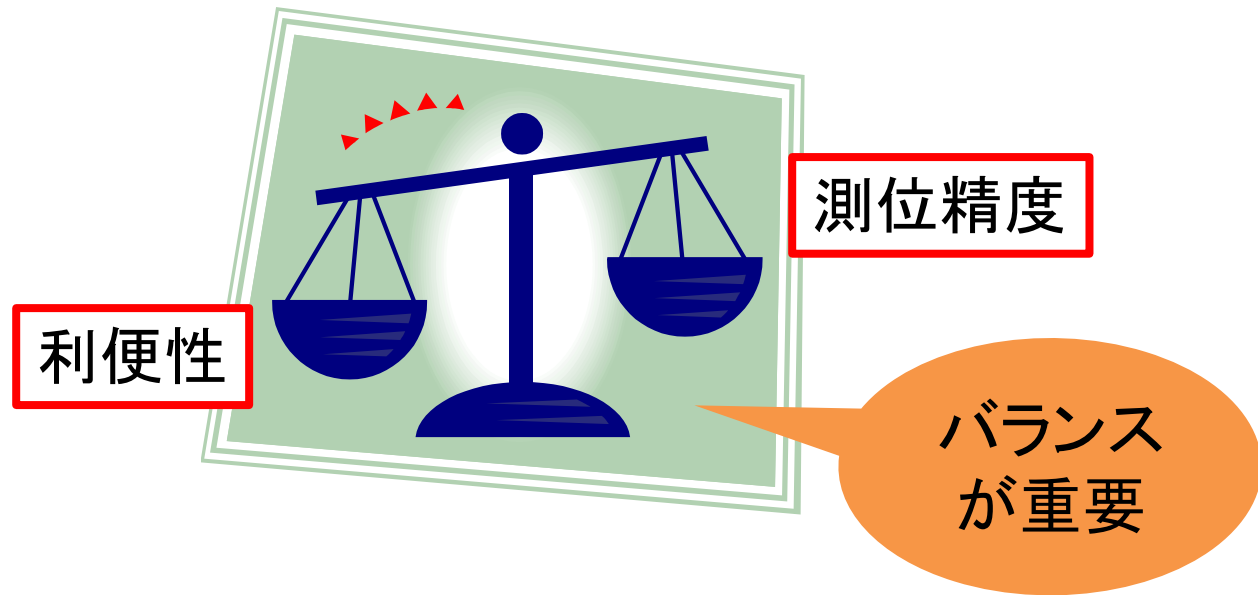


10 GNSS

品質チェックによる衛星選択が容易に
精度と利便性の向上

目的

マルチGNSSによる測位精度と利便性である測位率の向上への影響について調査する

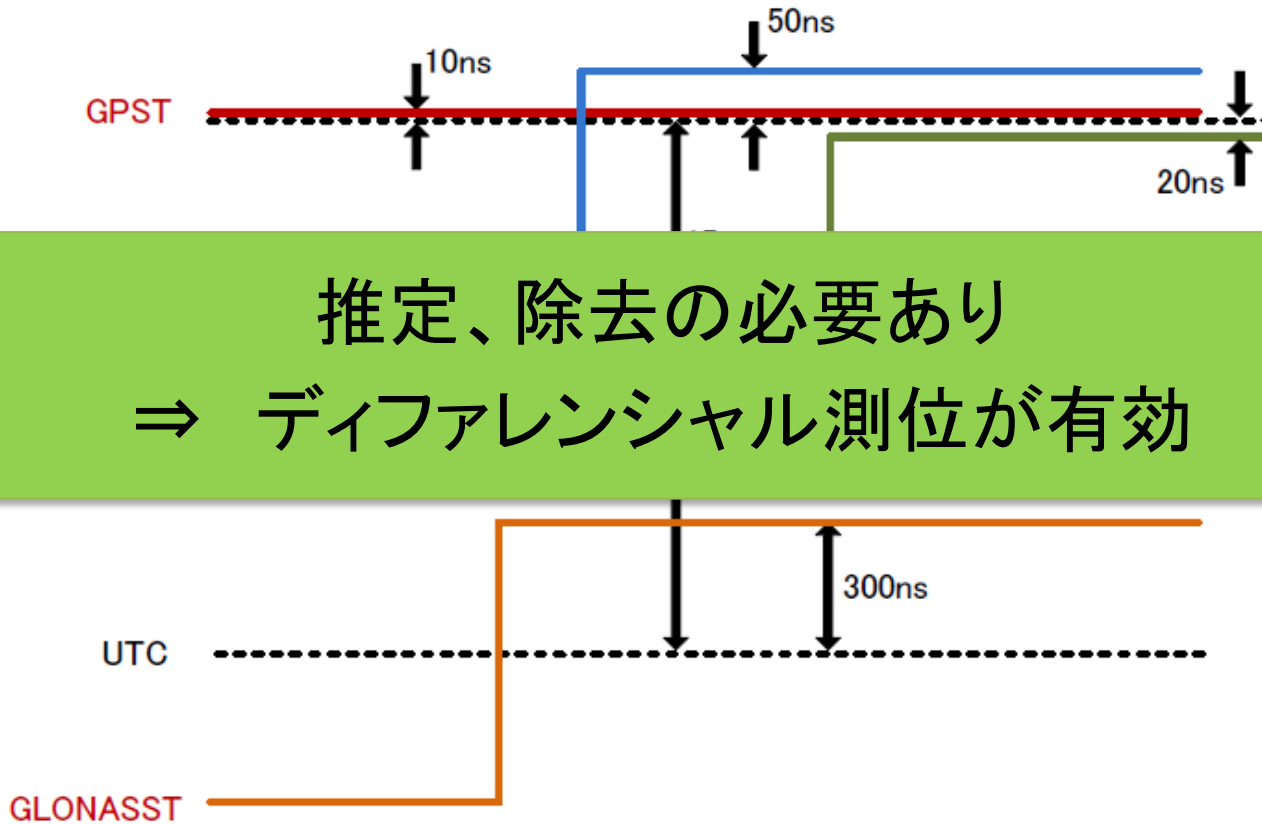


マルチGNSSのための衛星選択と誤差低減手法の評価

発表概要

- マルチGNSSによる高精度測位(DGNSS)
 - 高精度測位 (DGNSS)
 - 衛星選択と誤差低減手法
 - 信号強度
 - 擬似距離残差
 - 気圧センサーによる高度誤差
 - 実験と結果
- 結論

マルチGNSSシステム間時刻オフセット



推定、除去の必要あり
⇒ ディファレンシャル測位が有効

IS-QZSS 準天頂衛星システムユーザーインターフェース仕様書より

ディファレンシャル測位 (DGNSS)



SV1

$$P^{ref} = \rho^{ref} + c \cdot (dt^{ref} - dT) + ion + tropo + noise^{ref}$$

$$P^{rov} = \rho^{rov} + c \cdot (dt^{rov} - dT) + ion + tropo + noise^{rov}$$

P : 擬似距離 (観測値)

ρ : 衛星-受信機間の幾何距離

c : 光速

dt : 受信機時計誤差

dT : 衛星時計誤差

ion : 電離層遅延

$Tropo$: 対流圏遅延

$noise$: その他の誤差

P_{SV1}^{ref}

P_{SV1}^{rov}

SV1 に対する補正值

SV1 に対する補正值



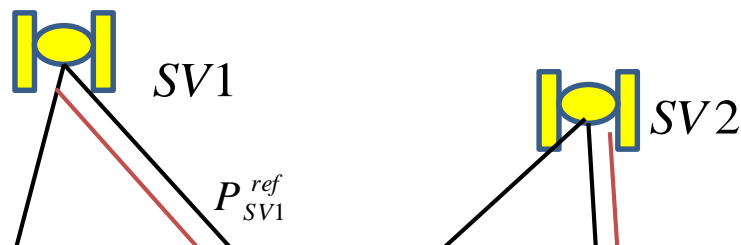
移動局



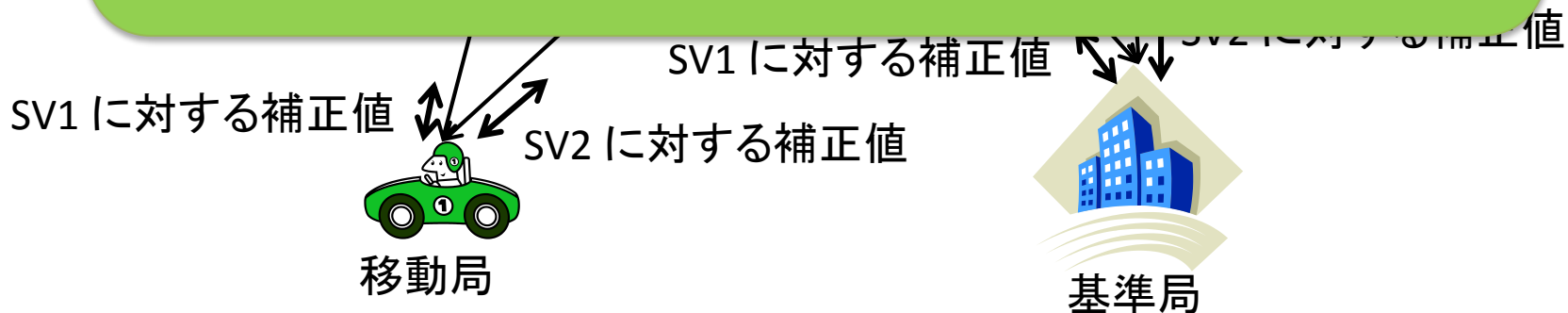
基準局

同じ衛星に対する補正值

ディファレンシャル測位 (DGNSS)



システム間時刻オフセットは補正值に含まれる
⇒ 自動的に相殺される
マルチGNSSに有効的



衛星選択と誤差低減手法

手法① 信号強度による検定

手法② 擬似距離残差による検定

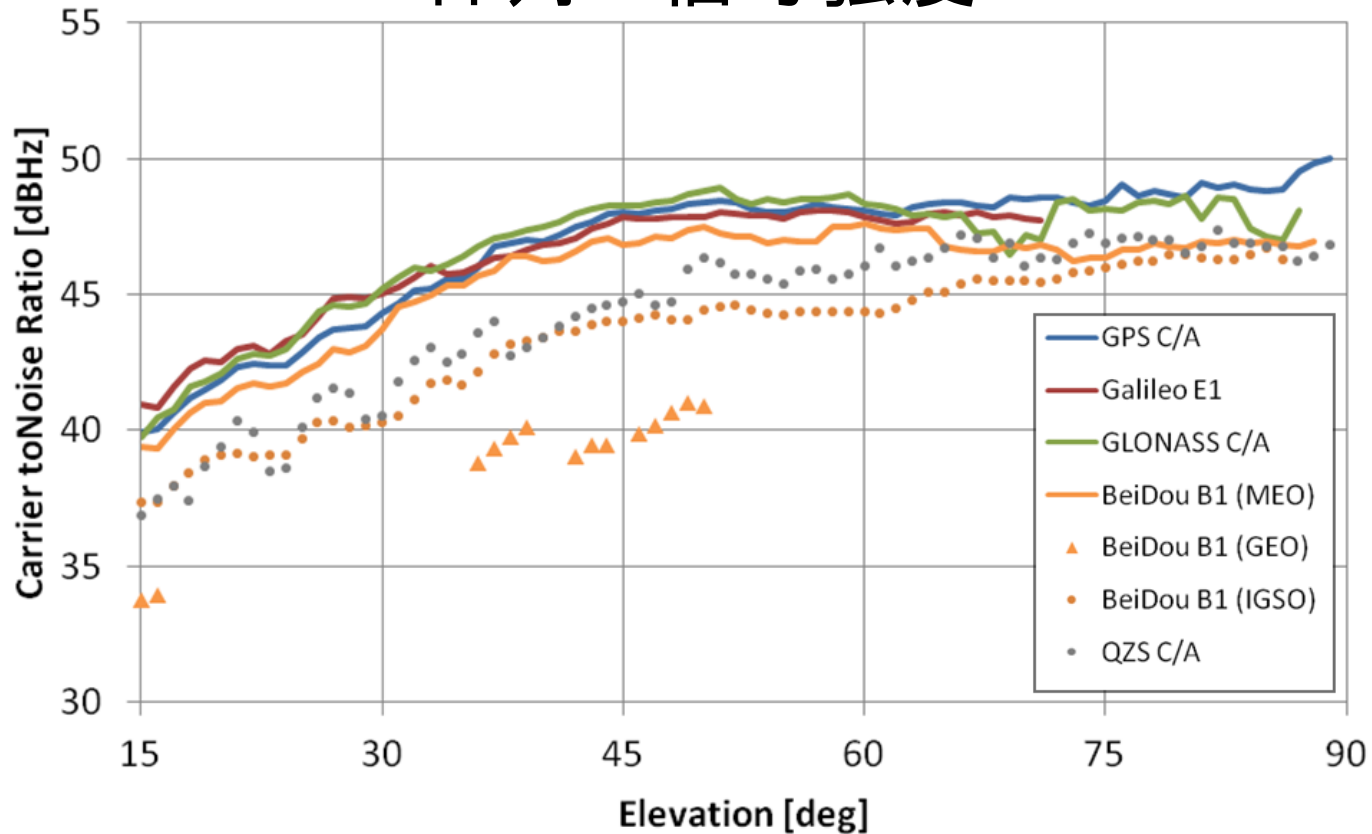
⇒ 観測値の品質チェックによる衛星選択

手法③ 気圧高度計による誤差検定

⇒ 信頼性のない測位解の排除

手法① 信号強度による検定

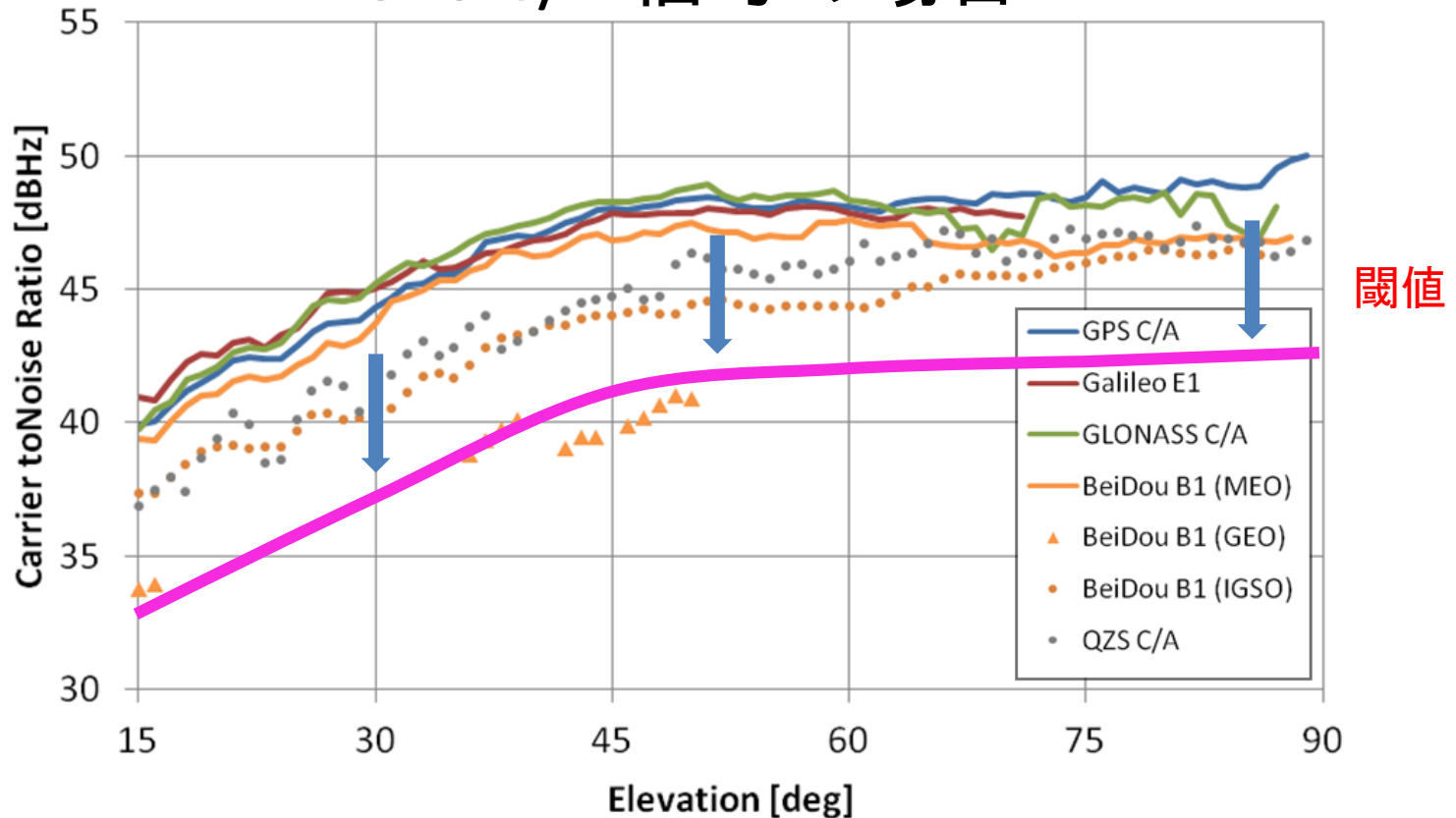
仰角 - 信号強度



仰角依存のあるべき信号強度が予測できる

手法① 信号強度による検定

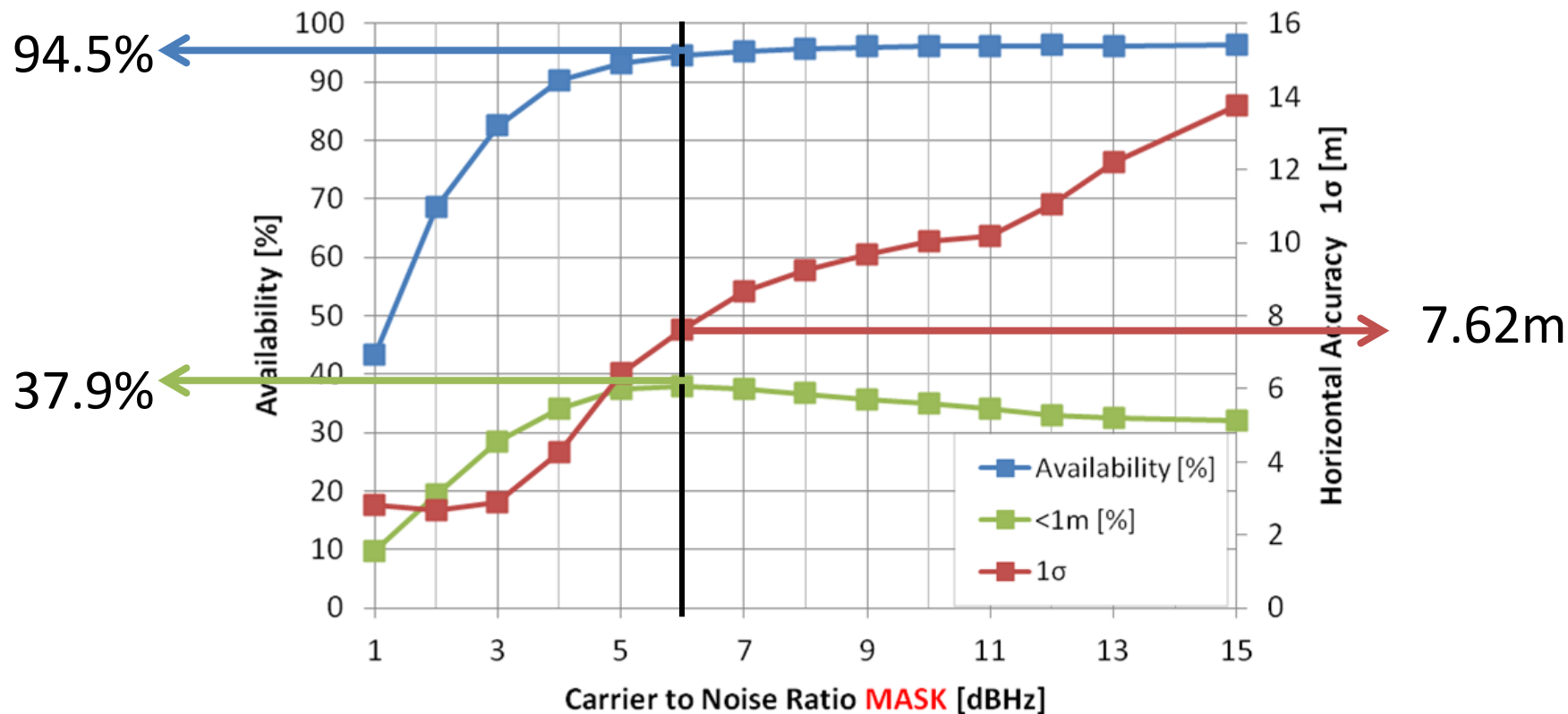
GPS C/A 信号の場合



マルチパス誤差を含んだ衛星は信号強度が低下
⇒ マルチパス誤差を含んだ衛星の排除

手法① 信号強度による検定

閾値を変化させたときの利便性と水平精度



閾値は 6dBHz と設定

手法② 擬似距離残差による検定

- ・マルチパス誤差を含んだ衛星は擬似距離品質が劣化
- ・最小二乗法により擬似距離残差が得られる

擬似距離残差が大きい衛星 ⇒ 測位誤差

Step 1. $|\text{擬似距離残差}| > \text{閾値}$

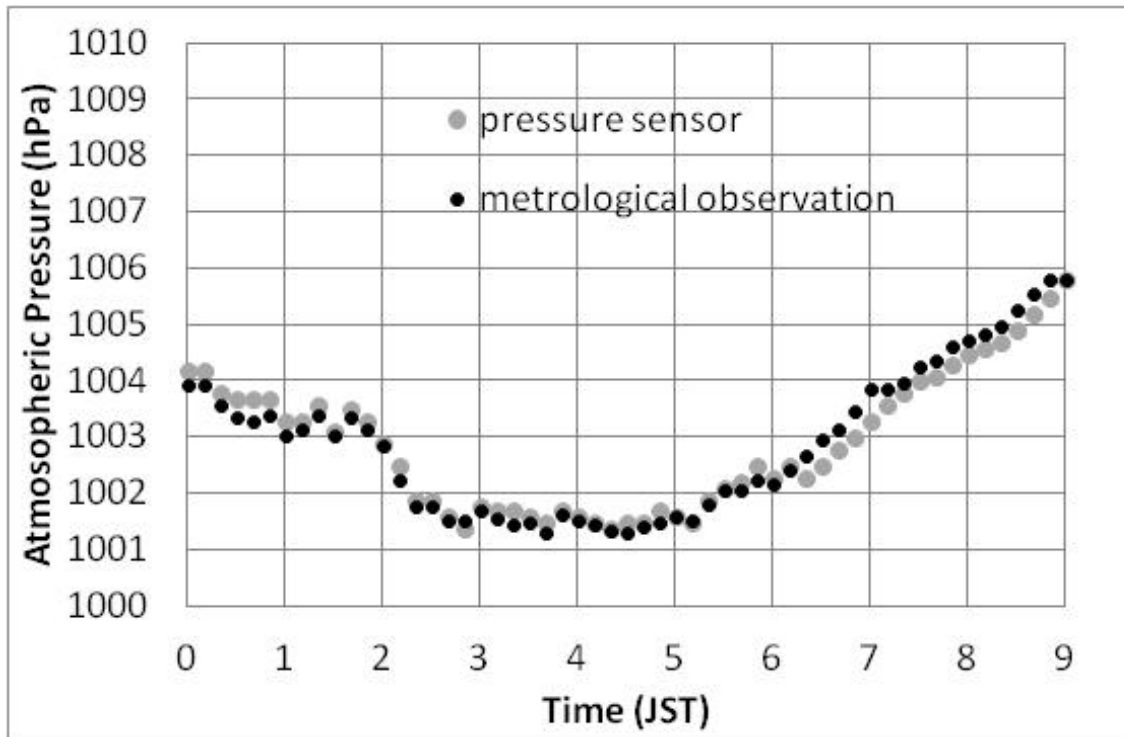
Step 2. 最大擬似距離残差を持つ衛星を排除



マルチパス誤差を含んだ衛星の排除

手法③ 気圧高度計による誤差検定

気圧高度計と気象観測値による気圧比較(静止点)



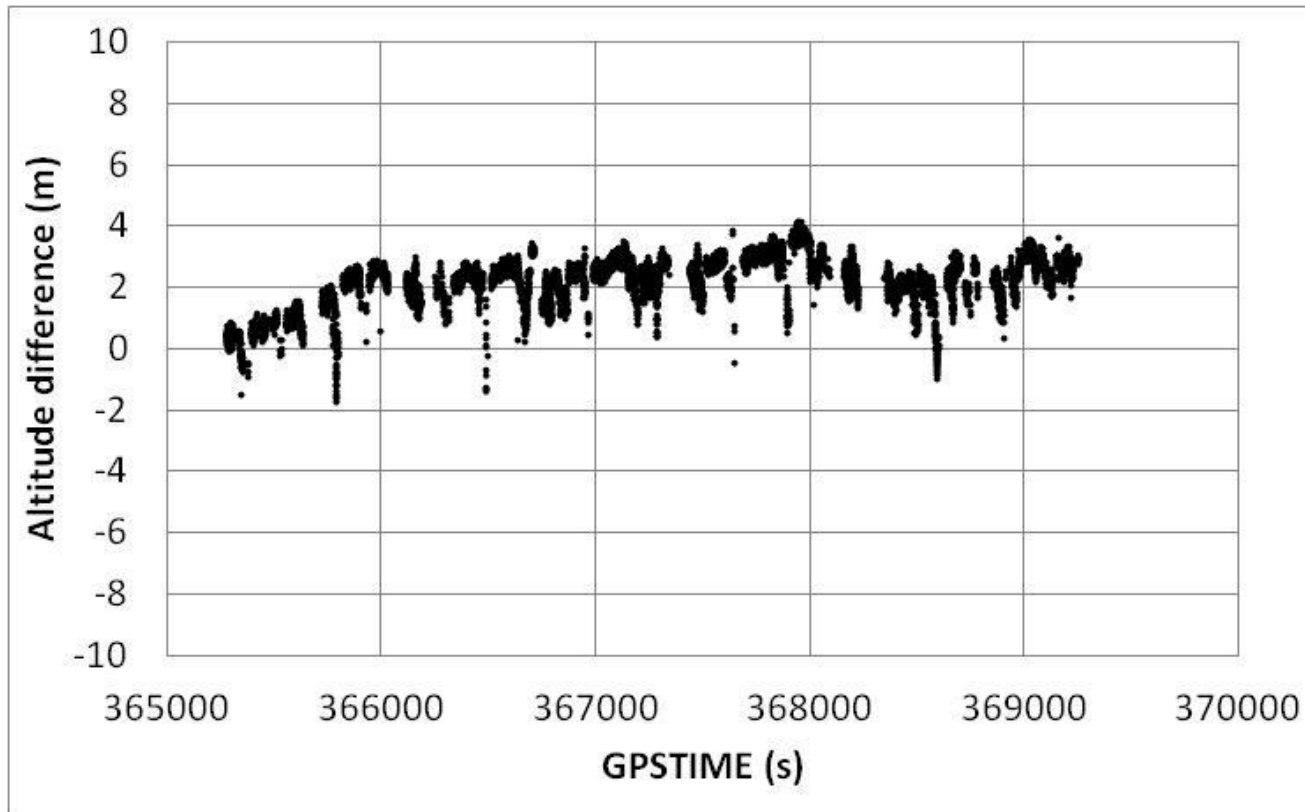
気象観測値と気圧
高度計間の気圧差
標準偏差
0.24 hPa
↓
およそ2m

1/6/2014

安価な気圧高度計により高度を **2m** の精度で求めることができる

手法③ 気圧高度計による誤差検定

気圧高度計とRTK-GPS測位解による高度差(70分移動体)



1/6/2014

高度誤差が大きい測位解は信頼に値しない ⇒ 排除

実験と結果

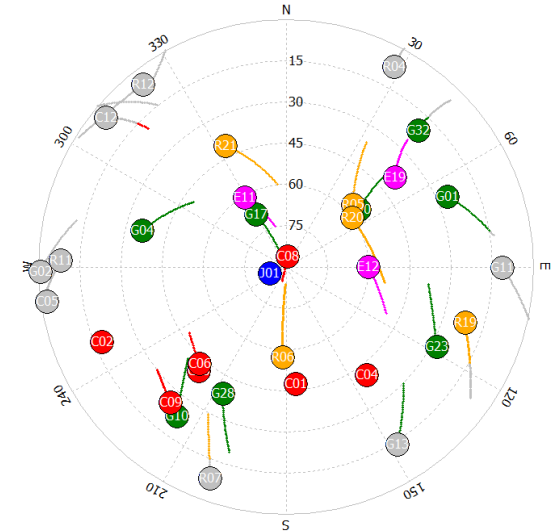
- Differential-GNSS
(GPS, QZSS, Galileo, BeiDou and GLONASS)
- 基準局と移動局の距離 < 2km
- 11/26/2013: 42 分間 5Hz
- 名古屋駅周辺 (マルチパス環境)
- Trimble NetR9 (擬似距離スムージングなし)
- マスク: 仰角 (> 15 deg), HDOP (< 10)

実験軌跡

自動車走行コース(黒線)、基準局(緑)、高架下(青ポイント)

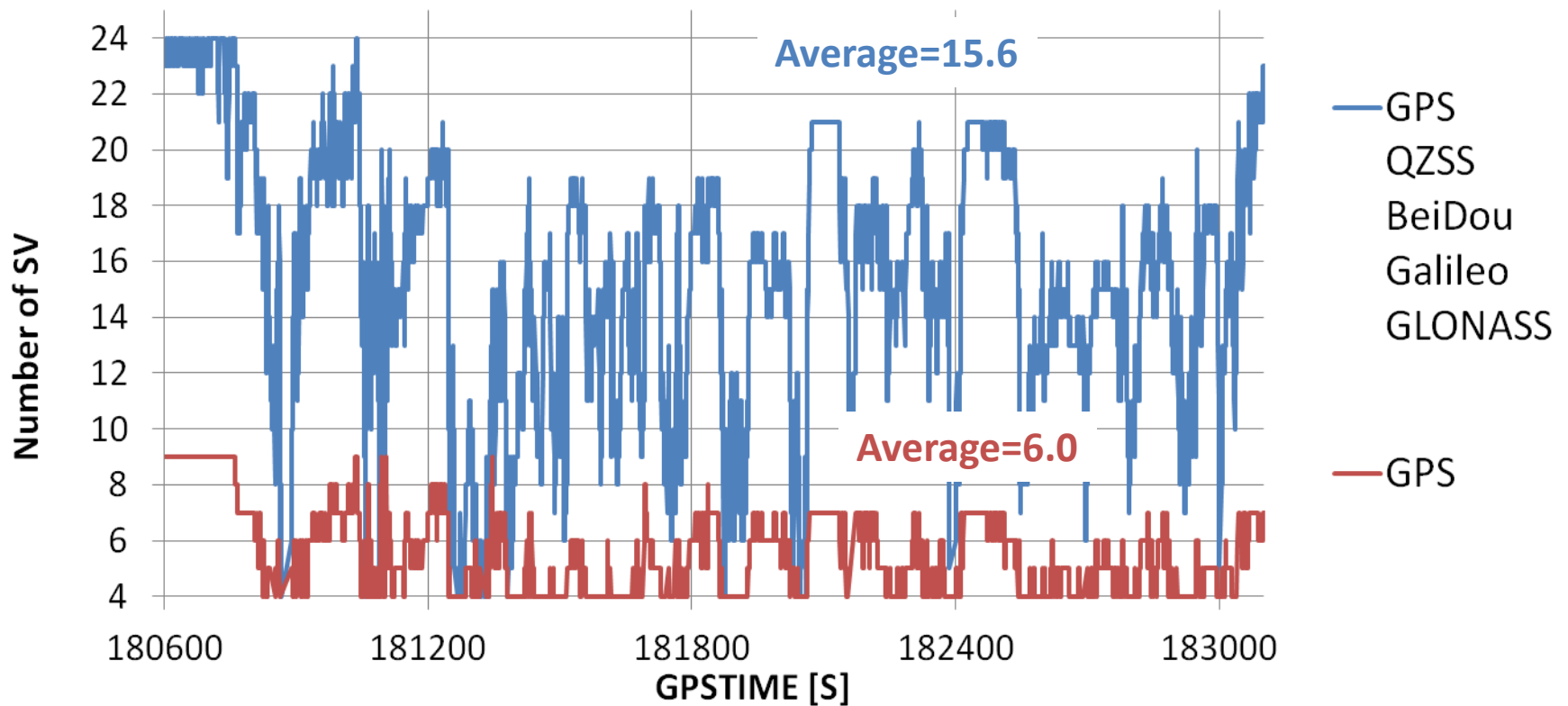


4か所(青ポイント)は高架下により直接波の受信不可(約5%)



マルチGNSSの影響

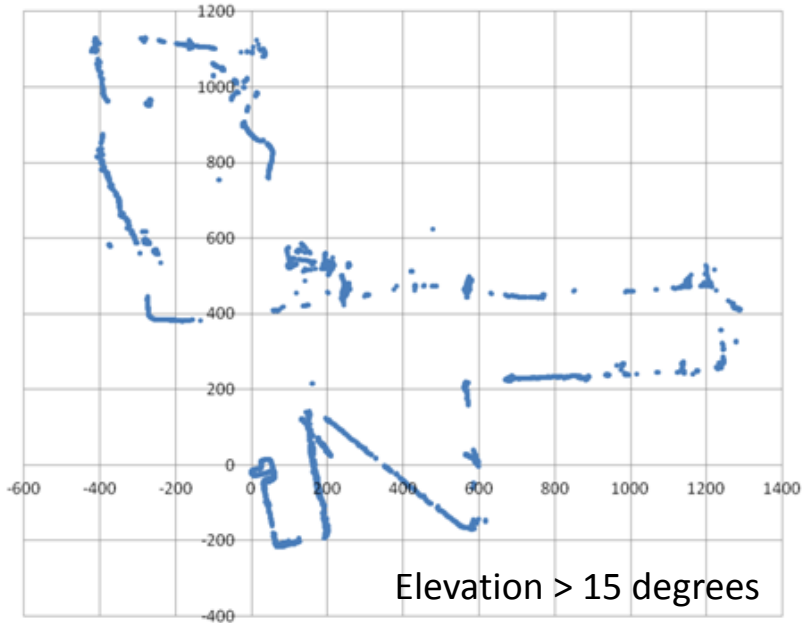
使用衛星数 GPSとマルチGNSS



手法適用前

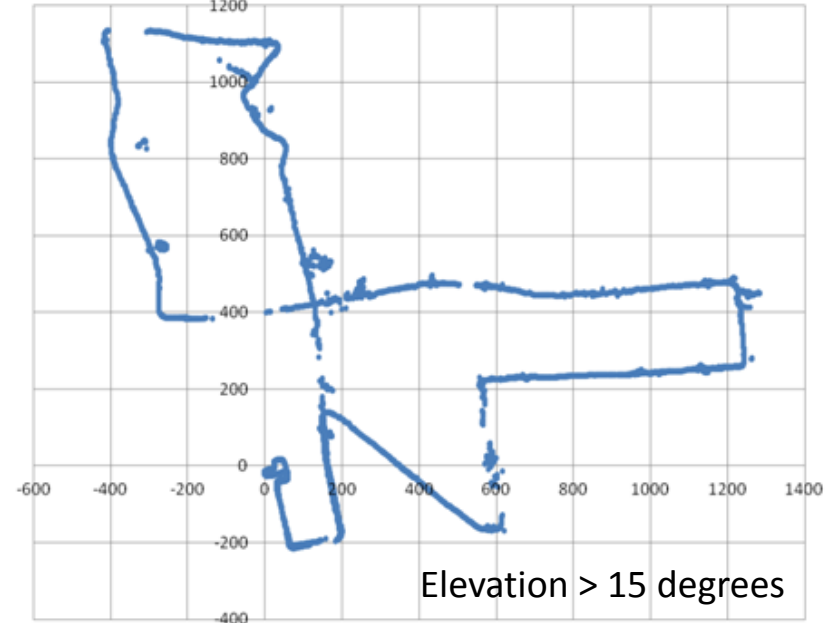
マルチGNSSの影響

Differential GPS



GPS Elevation >	Availability [%]	Number of SV average	Horizontal Accuracy 1 σ [m]
15 degree	76.0	6.0	30.72

Differential Multi-GNSS



Multi-GNSS Elevation >	Availability [%]	Number of SV average	Horizontal Accuracy 1 σ [m]
15 degree	96.3	15.7	13.98

手法適用前

衛星選択と誤差低減手法の評価

手法① 信号強度による検定

受信信号強度 < あるべき信号強度 - 6dBHz ⇒ 衛星排除

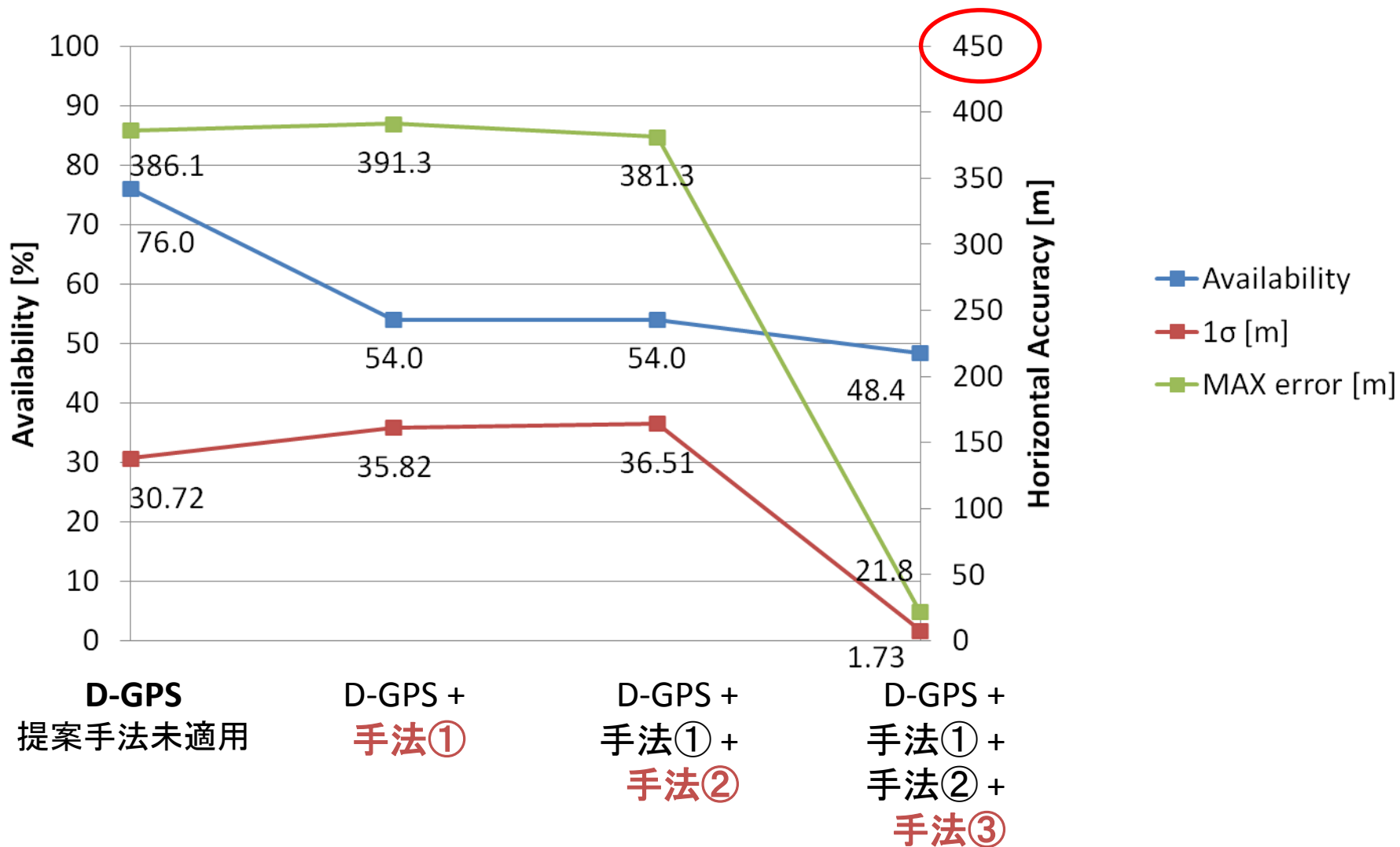
手法② 擬似距離残差による検定

| 最大擬似距離残差 | > 1m ⇒ 衛星排除

手法③ 気圧高度計による誤差検定

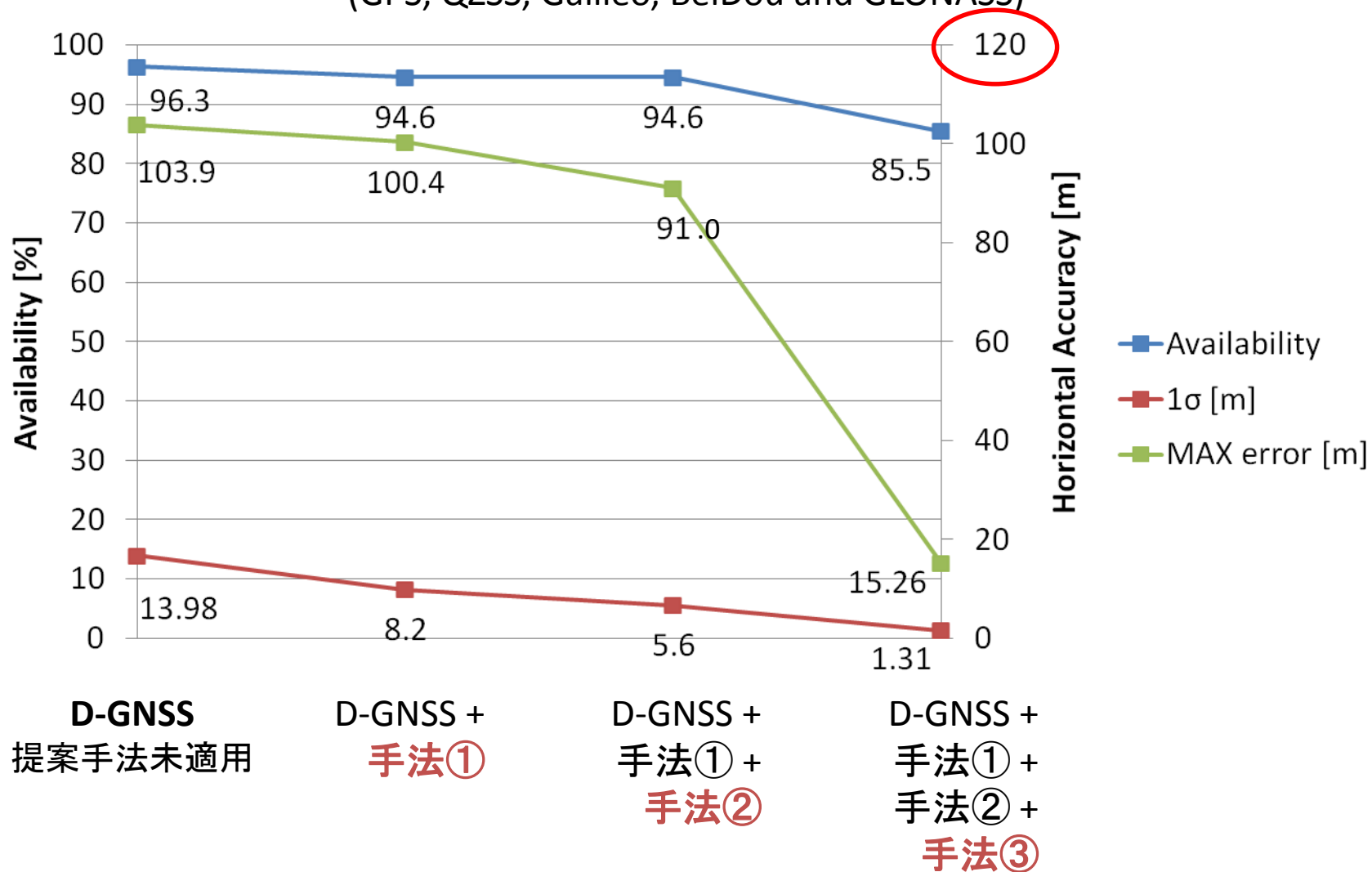
| DGNSS - 気圧高度計 | > 10m ⇒ 測位解排除

提案手法の評価 D-GPS

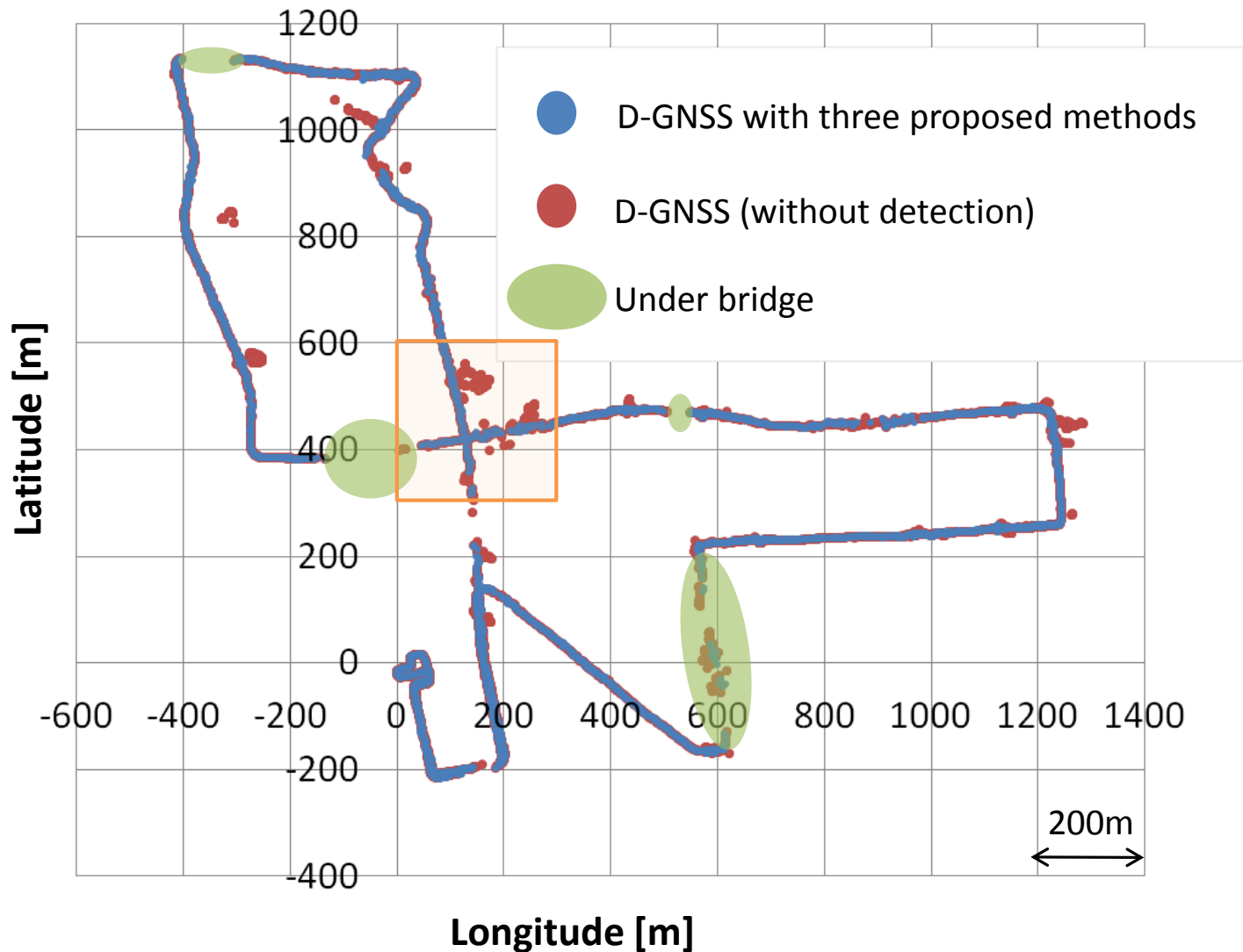


提案手法の評価 D-GNSS

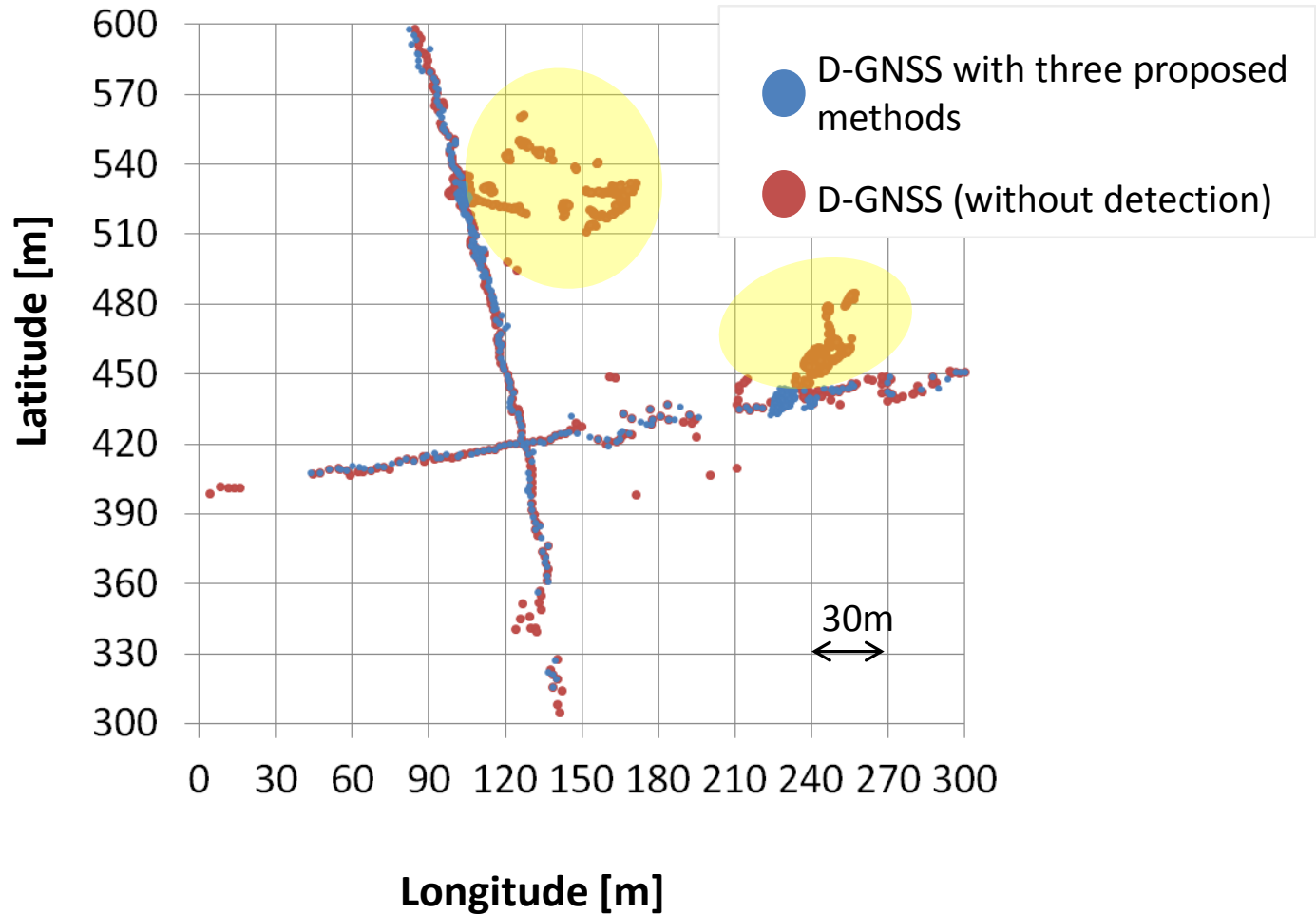
(GPS, QZSS, Galileo, BeiDou and GLONASS)



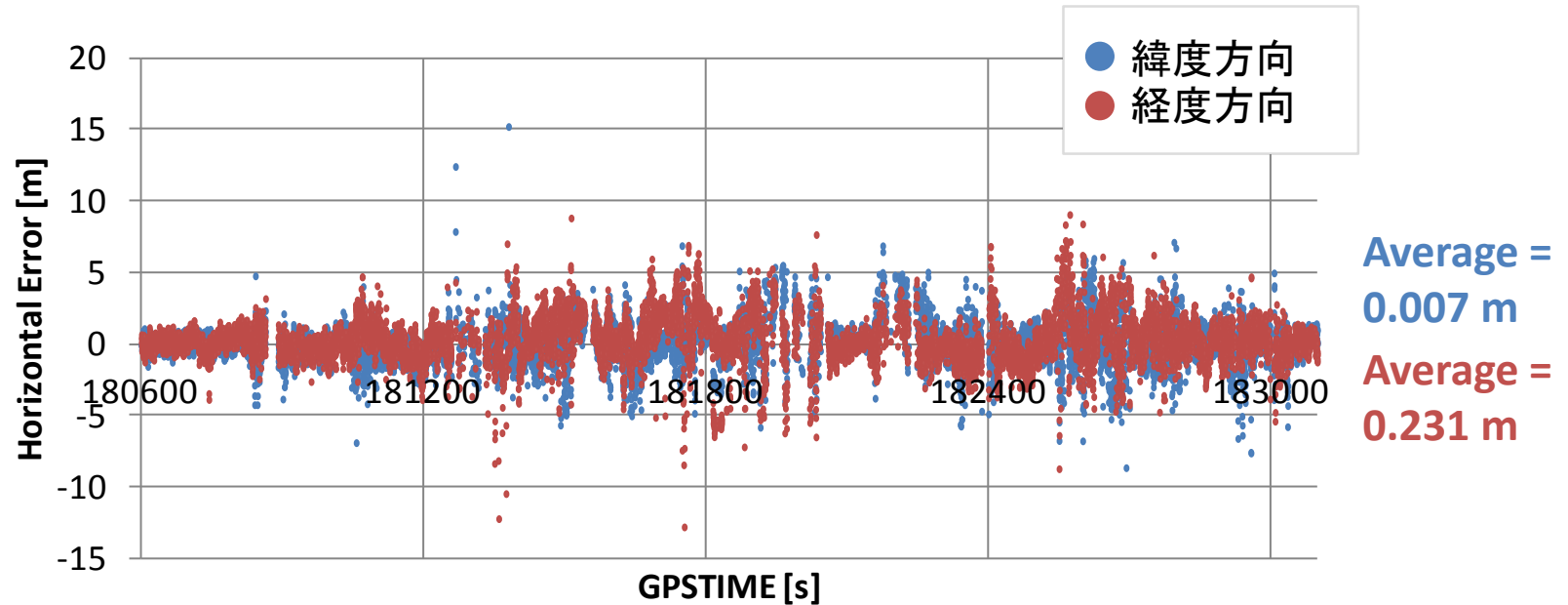
提案手法の評価



提案手法の評価 (拡大)



水平精度



- バイアス誤差は取り除けている
- スムージングの必要性

結論

現時点においても...

- 提案手法により100mを超えた最大誤差を15mまで抑えることができた。
- 都市部において水平精度はマルチGNSSを利用することにより、利便性48%から85%、水平精度は1.7mから1.3m(1 σ)まで精度の向上ができた。

今後の可能性

- ドップラ周波数や搬送波を用いることにより精度を向上させることができる

Thank you for your attention !

Acknowledgements

The authors would like to thank the Electronic Navigation Research Institute and Toyota Central R&D Labs for the experimental data.

背景と目的

修士1年目

課題: 日本国内の測位は米国のGPSへ全面的に依存



目標: RNSS(国産衛星)による
堅牢性の高い地域的測位の検証

修士2年目

課題: 都市部におけるGPS測位⇒精度と利便性が低下



目標: マルチGNSSによる高精度測位(DGNSS)
測位誤差低減、利便性向上のための衛星選択手法の検証

背景と目的

GNSS

全地球衛星測位システム

GPS

GLONASS

Galileo

•

•

•

BeiDou

RNSS

地域航法衛星システム

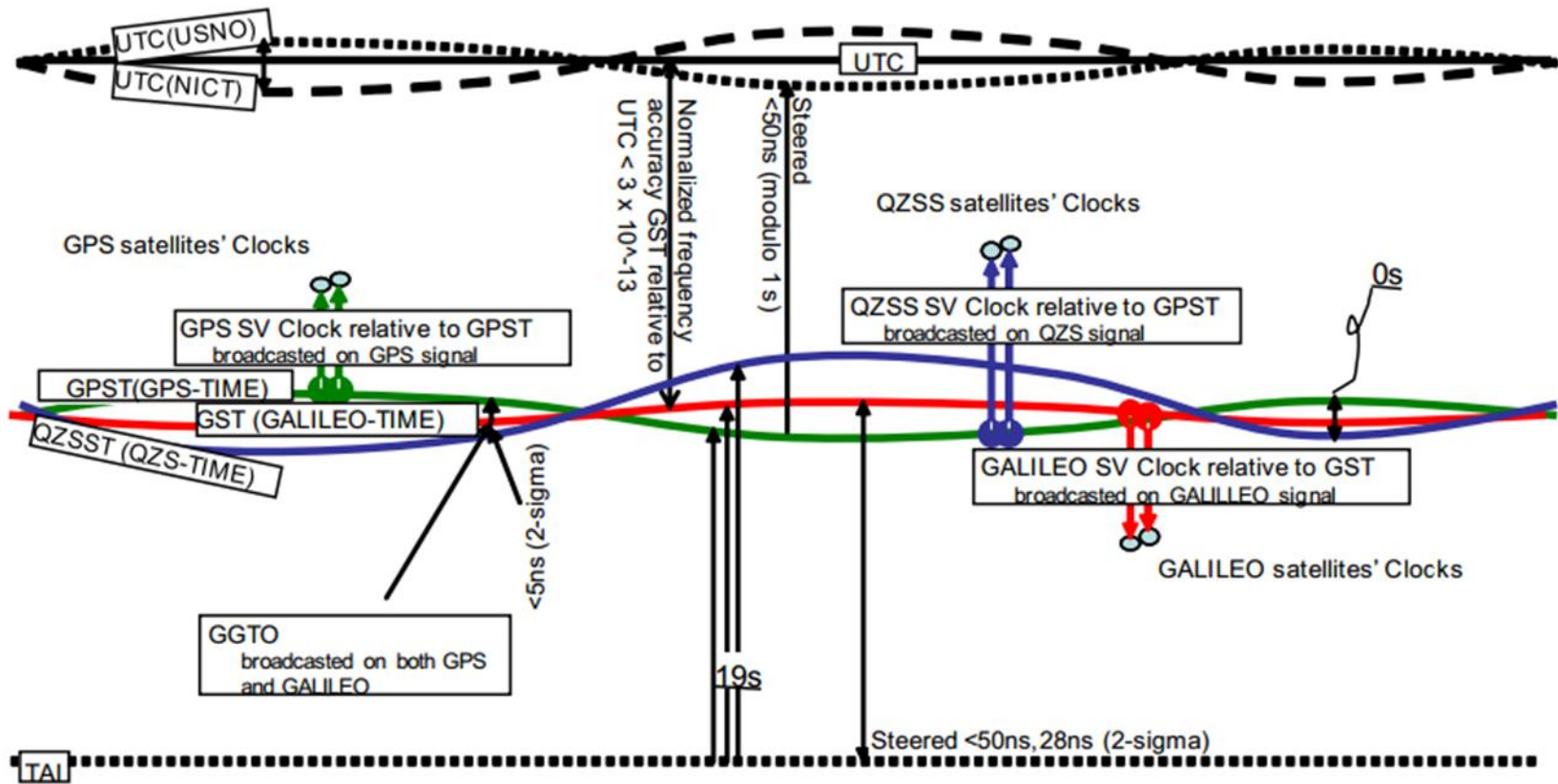
QZSS

IRNSS

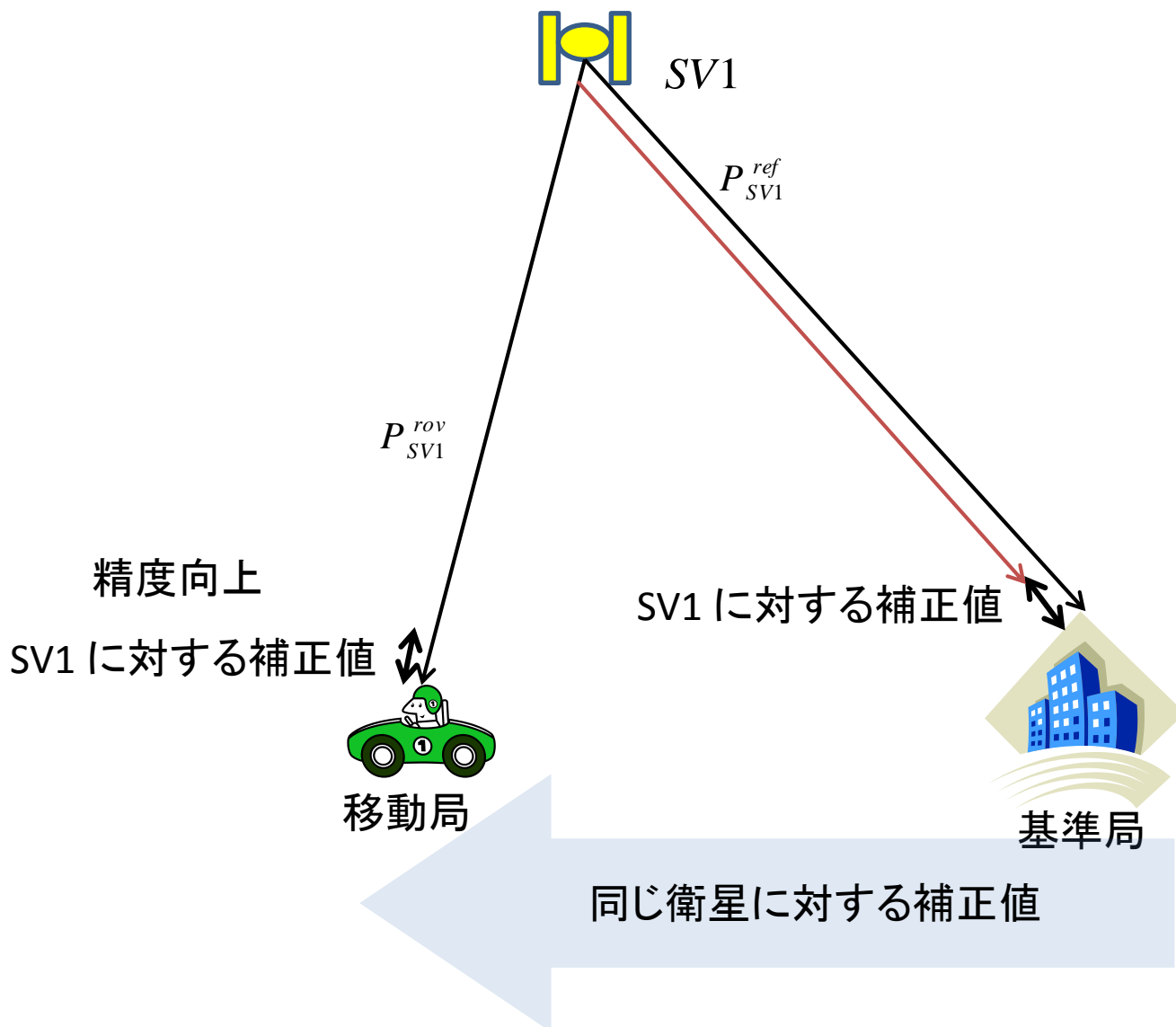
•

•

•



ディファレンシャル測位 (DGNSS)



Differential GNSS for multi-GNSS

Same satellite system is always used between reference and rover station.

Correction data includes same system time difference.

System time differences are canceled.



Differential positioning is straightforward for Multi-GNSS.