

準天頂衛星システム サブメータ級測位補強サービスにおける システム間バイアスの推定

北村光教，渡邊浩志，坂井丈泰

電子航法研究所

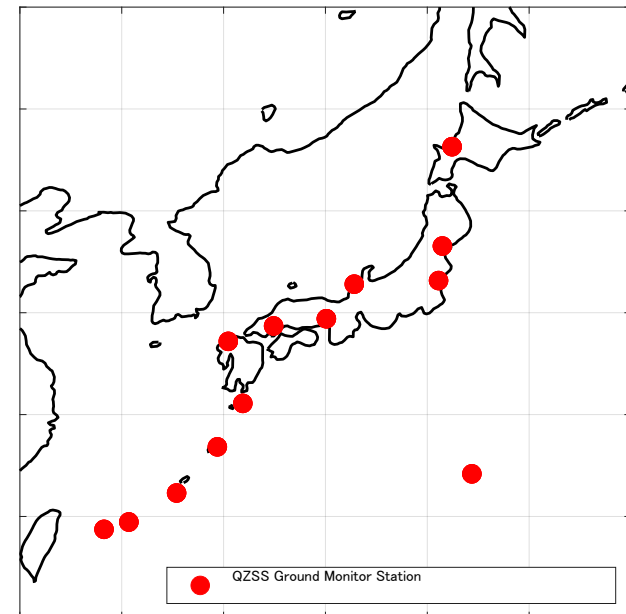
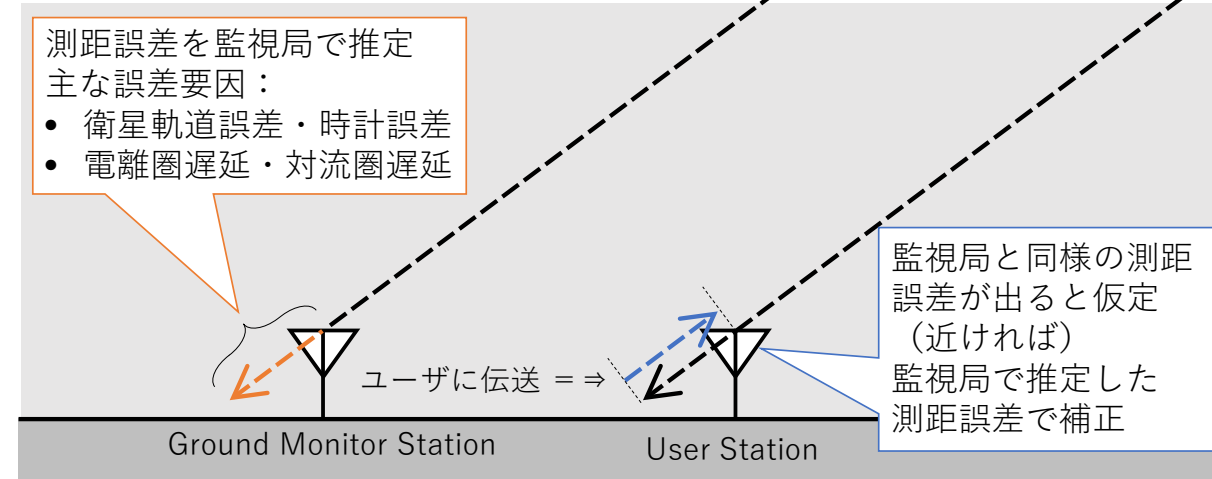
2020/09/04 測位技術振興会 第2回研究発表講演会

準天頂衛星システム (QZSS)

- 測位サービス：
GPS同様に測位衛星として利用可能
- 補強サービス：
GPS・QZSS等を用いた測位の高精度化

サブメータ級測位補強サービス (SLAS)

- 補強方式：
 - コードDGPS (擬似距離ドメイン補正)
 - 監視局で衛星毎に擬似距離誤差を推定
 - ユーザ局に伝送して補正
 - 測位精度の向上が期待
- 補強対象：
 - GPSのL1-C/A信号
 - QZSSのL1-C/A信号
- 監視局：13局
ユーザ位置に最も近い監視局で生成された補強情報を使う



補強システムにおける準天頂衛星の課題

- 補強システムの特徴：
 - 補正できる： 衛星側と信号の伝播経路上の誤差
 - **補正できない**： ユーザ受信機の周辺と内部の誤差
- ユーザ受信機**内部の誤差**：システム間バイアス (**ISB**: Inter System Bias)
 - 受信機内部の回路やフィルタ特性の差によって生じるGNSS間のバイアス誤差
- ISBの特徴：
 - 通常GNSSの組み合わせに対して**1つのほぼ静的な値**
 - ISB推定方法①：GSILIB等を用いて、ゼロ基線解析
 - **高精度** (ミリメートル級～センチメートル級) のバイアス推定精度
 - ISBがほぼ存在しない**理想的な受信機が必要**
 - SLASでそこまで高精度なバイアス推定は不要
 - ISB推定方法②：測位計算時に未知数 x として推定する。
 - $x=[X,Y,Z,CLK,ISB_{QZSS}]$
 - 測位に最低限**必要な衛星数が増加**
 - 一部の受信機 (Trimble NetR9等) で、なぜかQZSS 3号機だけ異なるISB
 - **推定方法①②で推定出来ない**
- **[提案] 衛星毎に異なるISBを持つ場合に対応する簡易なISB推定方法**

提案手法

- 仮定

- SLASは，SIS及び伝播経路上の誤差をほぼ正確に補正する
 - 衛星軌道誤差，衛星時計誤差，電離圏遅延誤差，対流圏遅延誤差など
- ISB以外のユーザ側の誤差はゼロ平均
 - マルチパス誤差，ノイズ
- ISBは長期的に安定（月単位）

- 手法

- SLASを用いた測位の未知数 x を変更
- 未知数 $x = [\text{CLK}, \text{ISB}_{Q1}, \text{ISB}_{Q2}, \text{ISB}_{Q3}, \text{ISB}_{Q4}]^T$
 - 受信機座標： 既知
 - CLK： 受信機時計誤差（SLASの仮想時刻系）
 - $\text{ISB}_{Q1\sim4}$ ： QZSS 1～4号機の擬似距離がTに対してそれぞれ持つバイアス誤差（受信機内部で発生）

- 長時間 $\text{ISB}_{Q1} \sim \text{ISB}_{Q4}$ を推定→それぞれ平均する

評価実験

● 実験局：神戸中央局（電子基準点）

- 局番号： 950356
- 受信機： Trimble NetR9
- アンテナ： TRM59800.80 GSI
- 観測周期： 1Hz
- 局座標： F3解
- 環境： オープンスカイ
- 平滑化： 100秒間のキャリアスムージング

● SLAS監視局：神戸局

- 実験局との距離：約12km
- 距離で精度劣化するDGPSの特性上十分に近い
(300kmで95%誤差約1m)

● 実験期間：2020年2月1日～2月7日

- 衛星毎のISB（ $ISB_{01-GPS} \sim ISB_{04-GPS}$ ）を推定
- ISBを適用した測位を実施して効果を検証



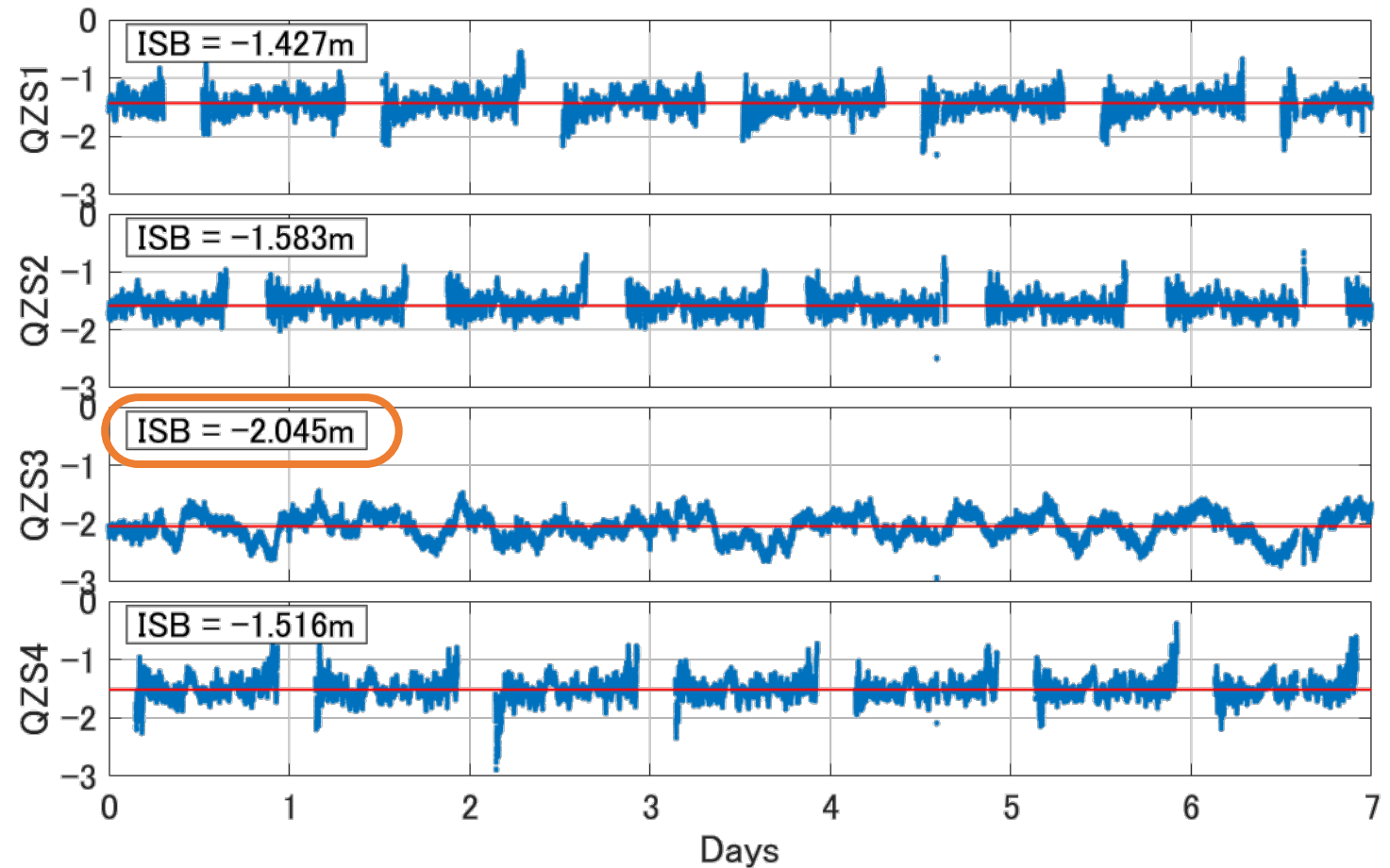
実験局の天空画像
(オープンスカイ)



SLAS監視局と実験局の位置

実験結果（QZSS衛星毎のISB推定値）

- 7日間の衛星毎のISBを推定して平均
 $x = [\text{CLK}, \text{ISB}_{Q1}, \text{ISB}_{Q2}, \text{ISB}_{Q3}, \text{ISB}_{Q4}]$
- 3号機だけ大きなISB値
 - 約50cm
- 仮にISB推定方法②（単一の未知数として測位する）で推定するとおよそ1～4号機の平均（-1.64m）になる



7日間のQZSS衛星毎のISB推定結果

→ 3号機の擬似距離に常にバイアス誤差

測位結果① (従来手法)

- **ISBを全く考慮しない場合**
(最も基本的なSLAS測位)
 - 測位の未知数 $x=[X, Y, Z, CLK]$
- GPS – QZSS間のISBの影響で
南方向と上方向にバイアス
ばらつきも大きい

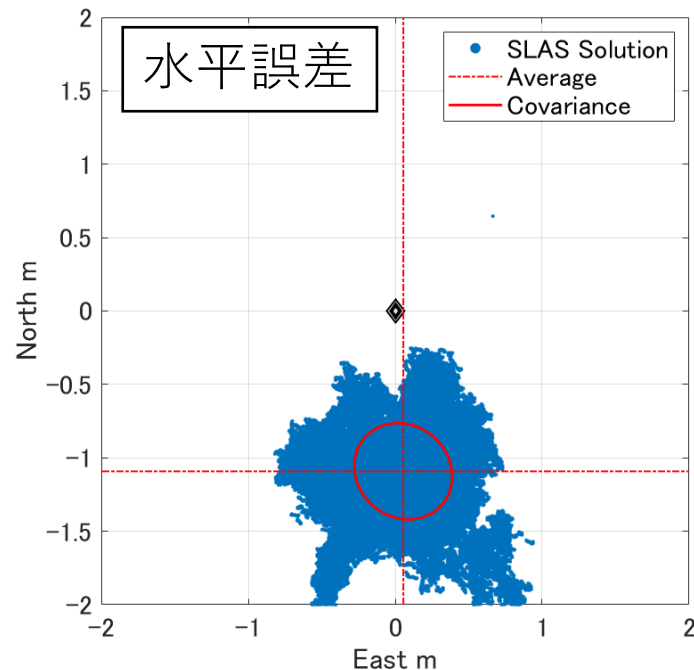
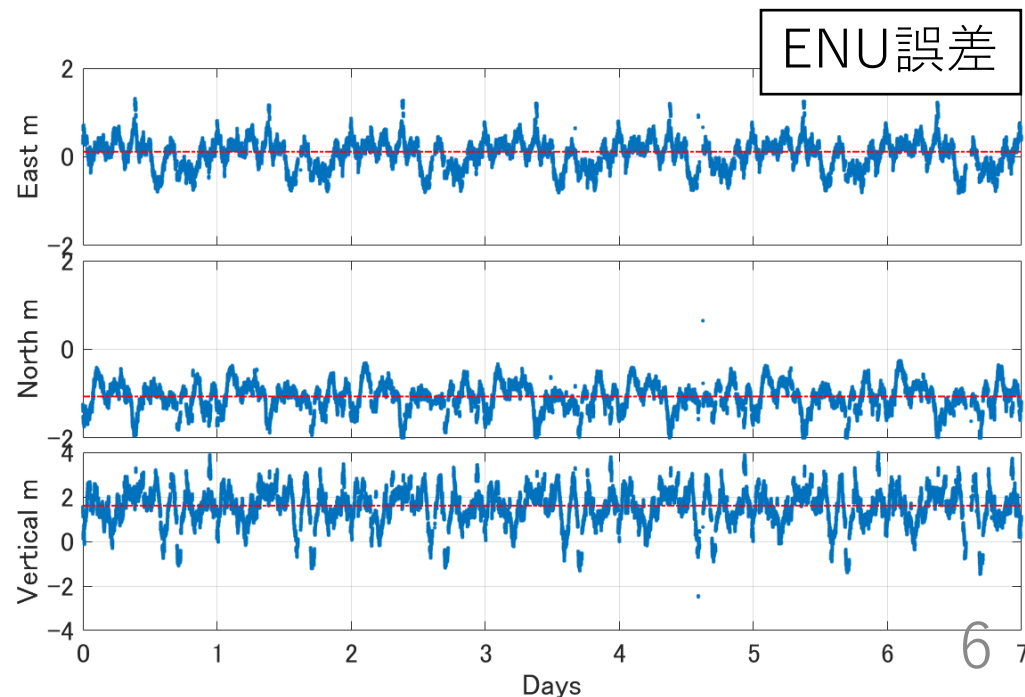


表 測位結果①の誤差

	East	North	Horizontal	Vertical
STD m	0.336	0.330	0.350	0.822
AVG m	0.115	-1.062	—	1.607
RMS m	0.340	1.140	1.190	1.753



測位結果②（従来手法）

- **測位中に単一の未知数として推定**

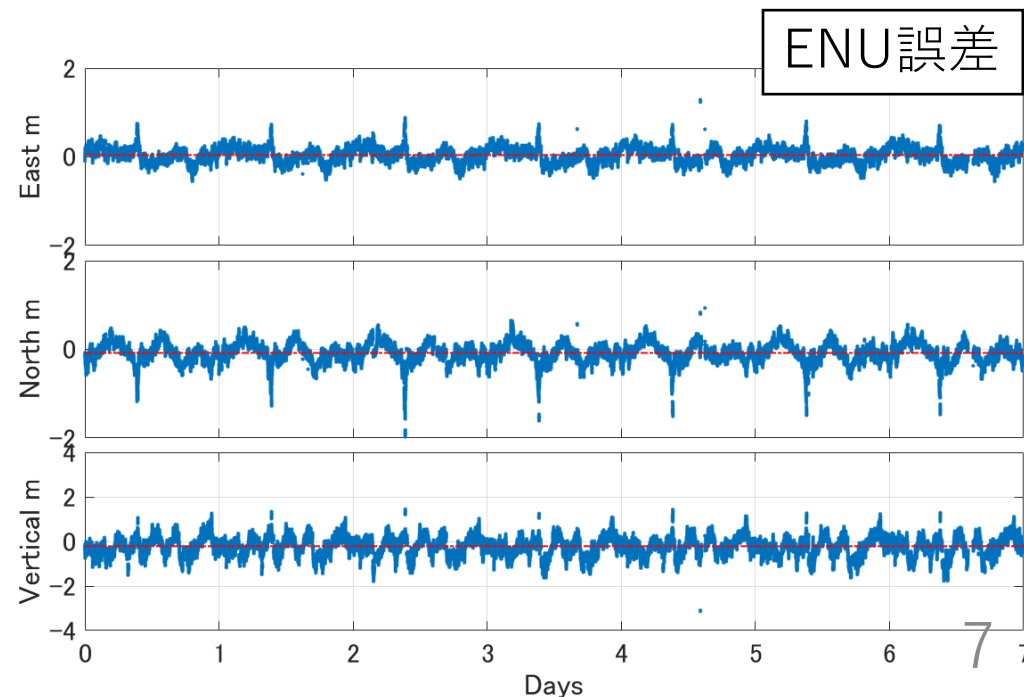
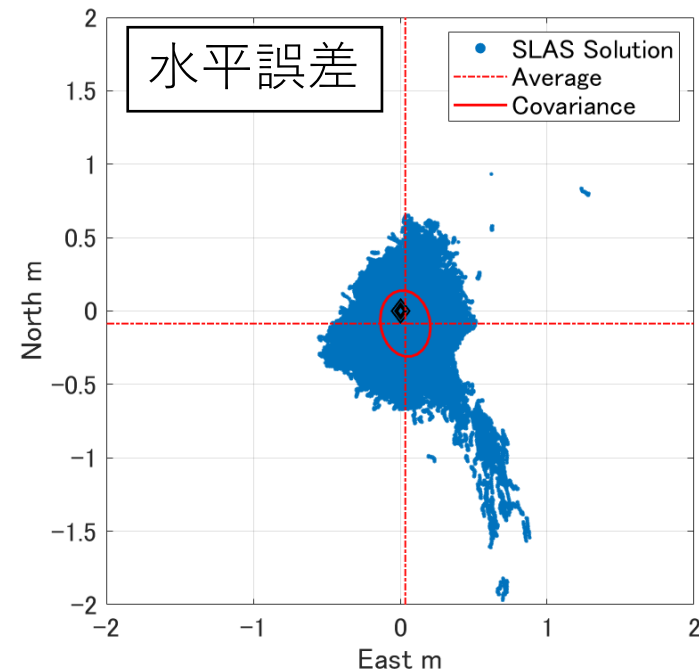
- 未知数 $x=[X, Y, Z, CLK, ISB_{QZSS-GPS}]$
- GPS – QZSS間のISBを単一の未知数として推定

- **バイアス誤差が大きく低減**

- 未知数が増えるので衛星の偏り（DOPの増大）の影響が顕著に
スパイク状の誤差が目立つ

表 測位結果②の誤差

	East	North	Horizontal	Vertical
STD m	0.171	0.226	0.227	0.423
AVG m	0.043	-0.080	—	-0.214
RMS m	0.175	0.241	0.298	0.484



測位結果③ (提案手法)

- 事前に推定した $ISB_{01} \sim ISB_{04}$ で QZSS1~4号機の擬似距離を補正
 - 未知数 $x=[X, Y, Z, CLK]$
- **南北, 上下方向の誤差が低減**
- 未知数が増えないので **スパイク状誤差が少ない**

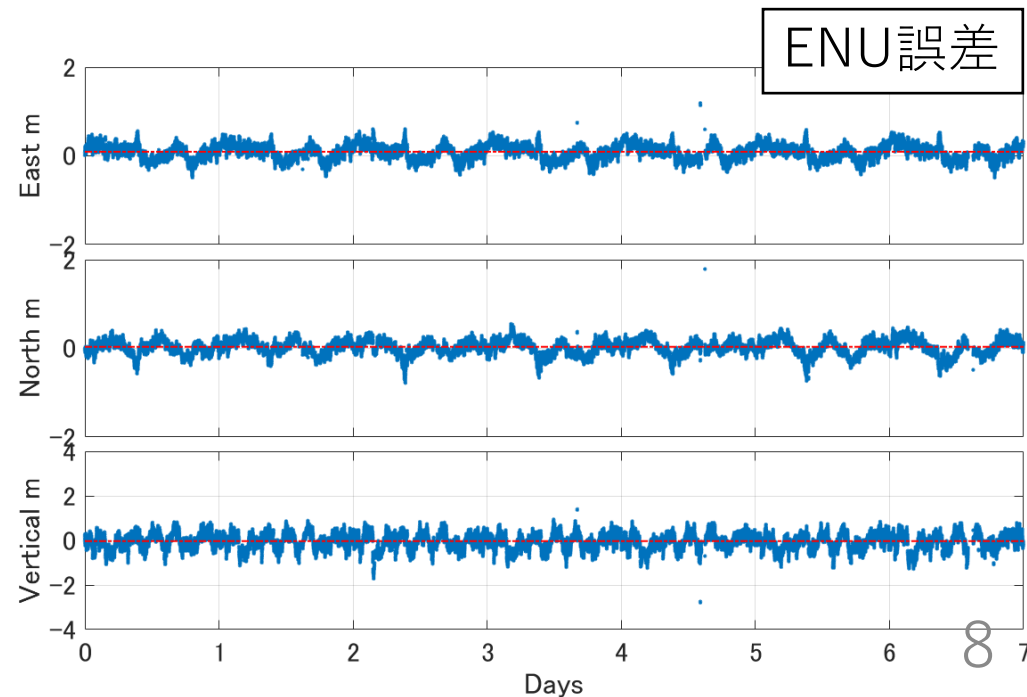
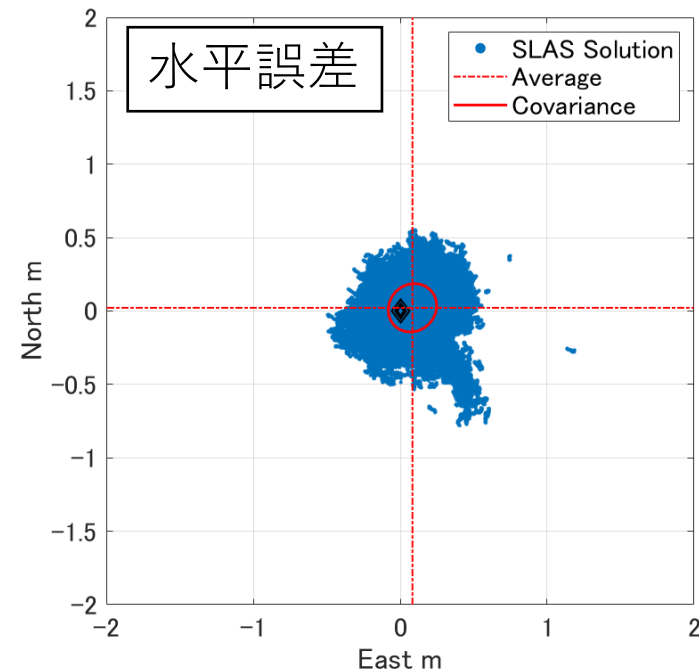


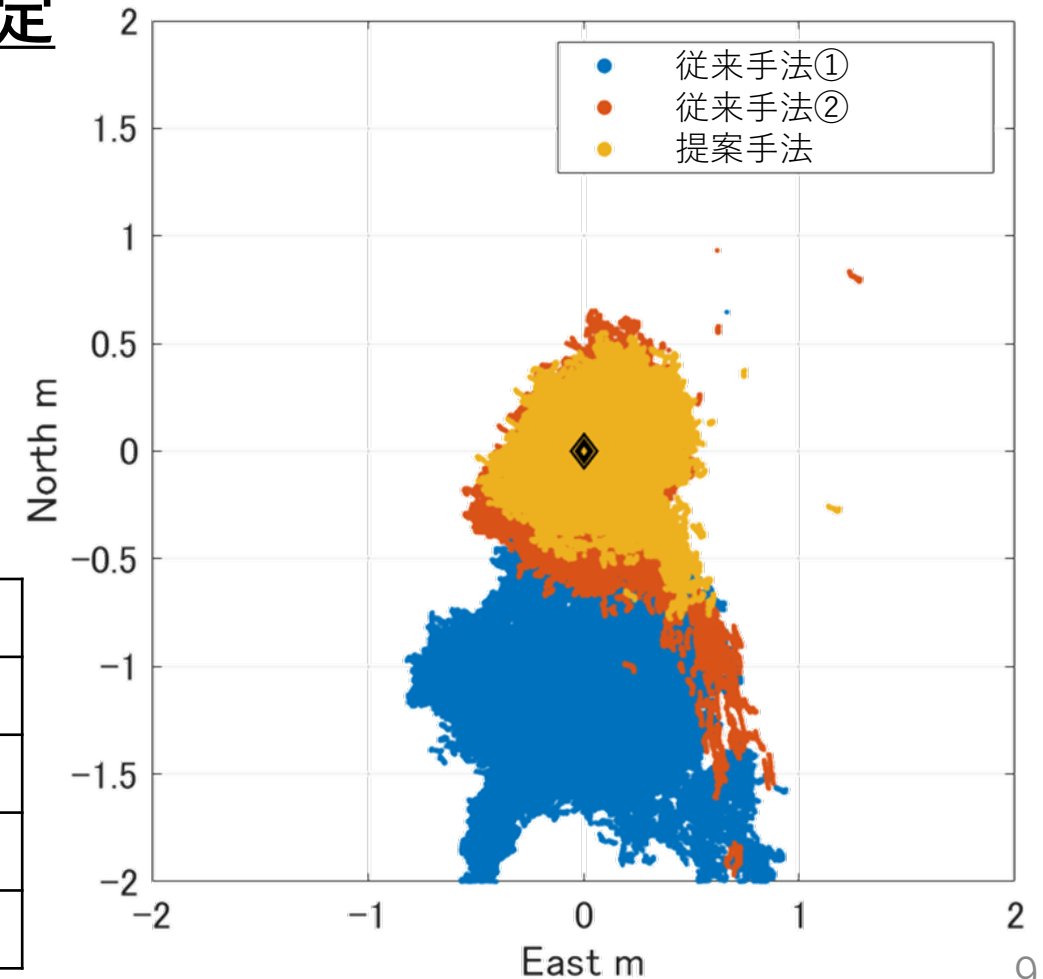
表 測位結果③の誤差

	East	North	Horizontal	Vertical
STD m	0.166	0.166	0.173	0.351
AVG m	0.093	0.034	—	-0.029
RMS m	0.185	0.167	0.250	0.355

測位結果まとめ

- **[従来手法①] ISBを全く補正しない場合**
 - 1m近いバイアス誤差が発生（受信機特性による）
- **[従来手法②] ISBを単一の値として測位中に推定**
 - 3号機にバイアス誤差
 - 衛星1機減と同様の状態に（スパイク誤差）
- **[提案手法] ISBを衛星毎に推定**
 - 測位精度の向上
 - 事前推定なのでスパイク誤差減

	STD m		RMS m	
	Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical
ISB補正なし	0.35	0.82	1.19	1.75
単一のISB推定	0.22	0.42	0.30	0.48
衛星毎のISB推定	0.17	0.35	0.25	0.36



まとめ

- SLAS測位における簡易なISB推定方法を提案
 - [従来手法] 高精度版：
 - 理想的な受信機をリファレンスにゼロ基線解析等でキャリブレーション
 - 手間がかかるわりに，そこまでの精度はSLASでは不要
 - [従来手法] 簡易版：
 - 単一の未知数としてISBを推定
 - 3号機にバイアス誤差（受信機特性による）
 - 未知数増加によってスパイク誤差が出やすい
 - [提案手法] SLAS補強メッセージを用いて推定：
 - 受信機座標を既知として，衛星毎に未知数として事前に推定
 - 受信機単独で簡易に推定可能
 - 受信機特性によっては効果的
 - ISBが大きな受信機
 - ISBがQZSS衛星毎に異なる受信機
- 課題：
 - 長期評価（今回，ISBが長期変動しない前提だった）
 - 受信機座標は既知でなくても良いはずなので，リアルタイム推定も可能か（今回は事前推定）
 - マルチパスが多い環境ではどうか（今回はオープンスカイ環境）
 - 他のGNSS受信機ではどうか（今回はTrimble NetR9で評価）
 - 今回推定したISBは他の補強システム（DGPS等）で利用可能か
 - SLASの監視局でISBが補正されている，もしくは十分に小さければ可能なはず