

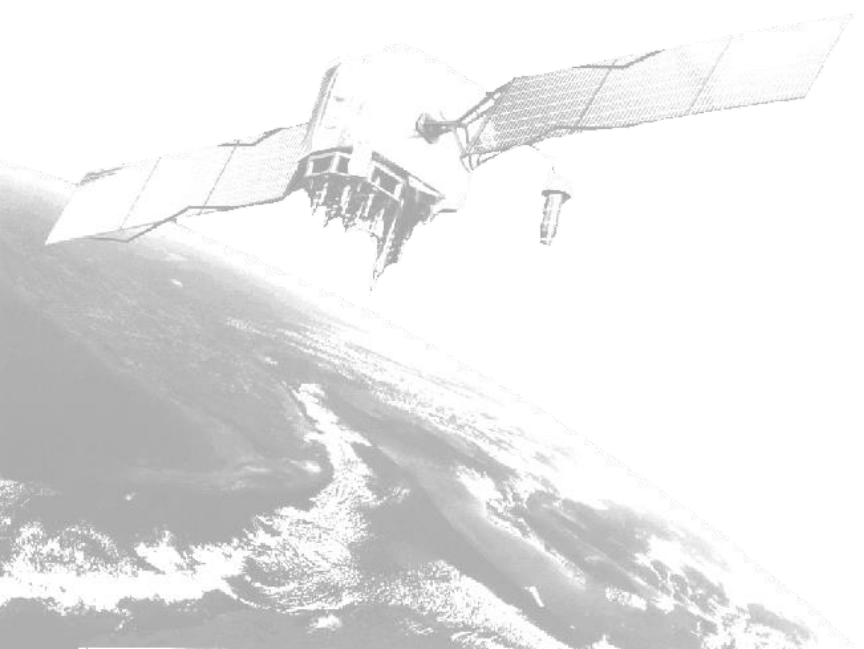


GNSS/INS複合測位における 信頼度指標の算出に関する研究

海運ロジスティクス専攻

1455003

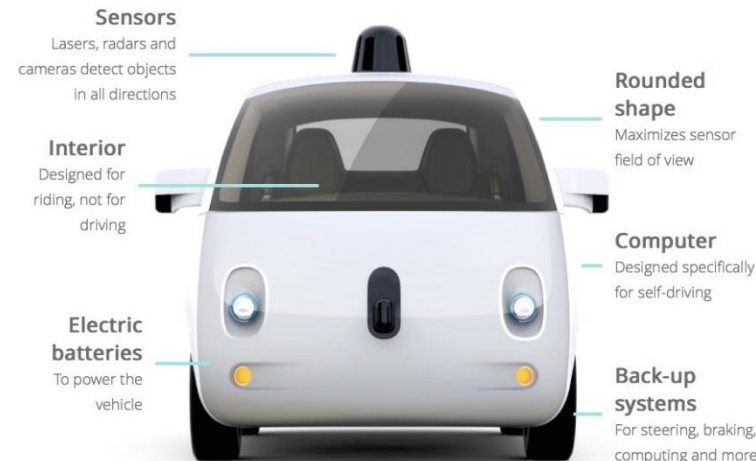
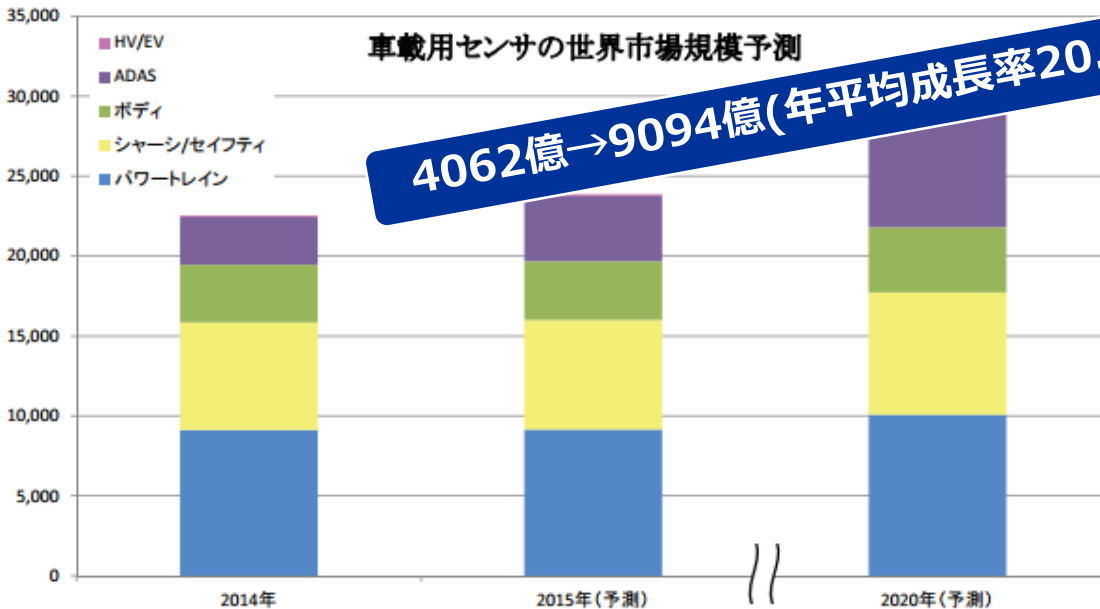
菊地 錬



背景

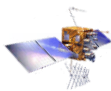
- 安全や利便性向上のための先進運転支援システム(ADAS : Advanced Driver Assistance Systems)や自動運転技術が急速な成長を遂げている。
 - ーレーダ,カメラ等の計測システムによって実現。
 - ー絶対位置が得られるGNSS情報は補助的な情報に留まる。
- 位置情報に基づく自動車の安全システムにとって、高精度な測位だけでなく、測位結果の信頼性も重要な問題となる。

(単位:億円)



Google 自動運転車

背景



- GNSSの測位精度は測位環境に依存。
特に都市部ではGNSS衛星の電波がビル等により頻繁に遮蔽され、測位精度が大きく劣化。
—衛星数の減少, **マルチパス**

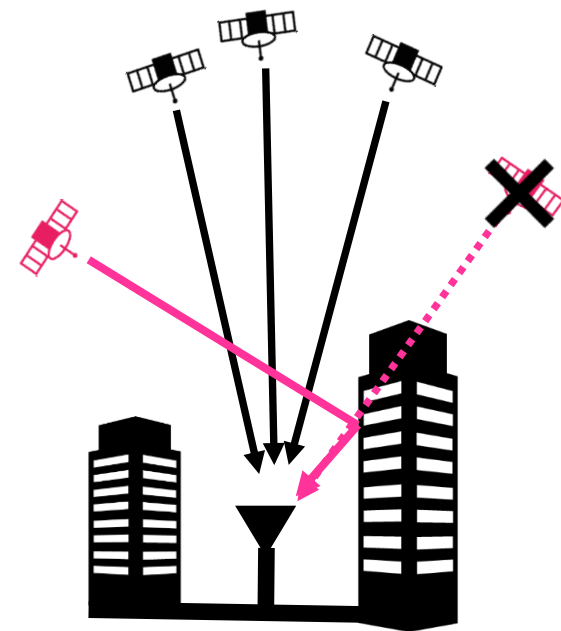
- GNSS/INS複合測位
 - ・ GNSS情報で, INSのセンサバイアスを推定・補正
 - ・ INSの高い連続性でGNSS測位解の欠損を補う

◆ GNSS

- ・ 測位衛星の信号を受信することによって位置や速度を算出。
- ・ 精度は環境に依存。
- ・ **電波が遮断されると活用できない。**

◆ INS

- ・ 加速度センサ・ジャイロによる加速度・角速度を用いて、位置や速度を算出する。
- ・ 外部からの信号を必要としない。
- ・ **センサのバイアス等により誤差は蓄積。**



目的

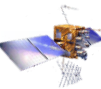
GNSS
INS(車載センサ) } **統合**

信頼度指標の算出

都市部におけるセンサの良し悪し

	GNSS			車載センサ	
	RTK	Doppler	DGNSS	車速	IMU
位置	○	-	×	-	-
速度	○	○	×	○	×
方位	△	△	×	-	△

インテグリティモニタリング



インテグリティ(完全性)

航法システムに誤りがないことを保証し、航法に使用すべきでない場合に警報を与える能力のこと。

性能要件として、インテグリティが満たされている確率を定義。

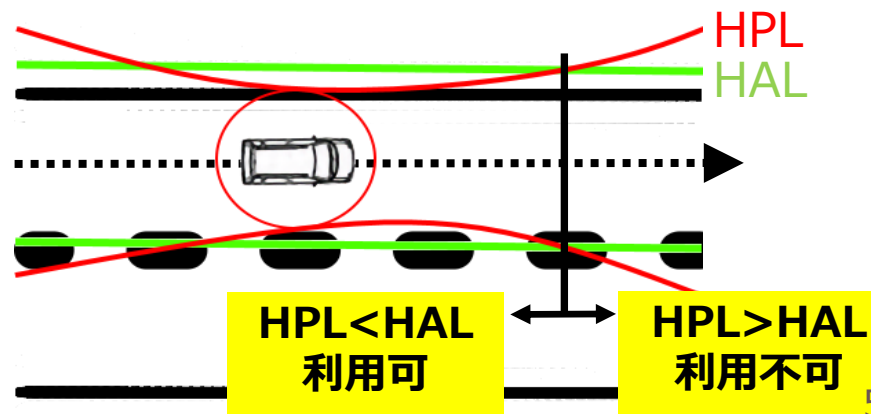
ユーザ位置における測位誤差の信頼限界を定める。

信頼限界は保護レベル(PL:Protection Level)と呼ばれる。

→水平保護レベル(**HPL:Horizontal PL**)

鉛直保護レベル(VPL:Vertical PL)

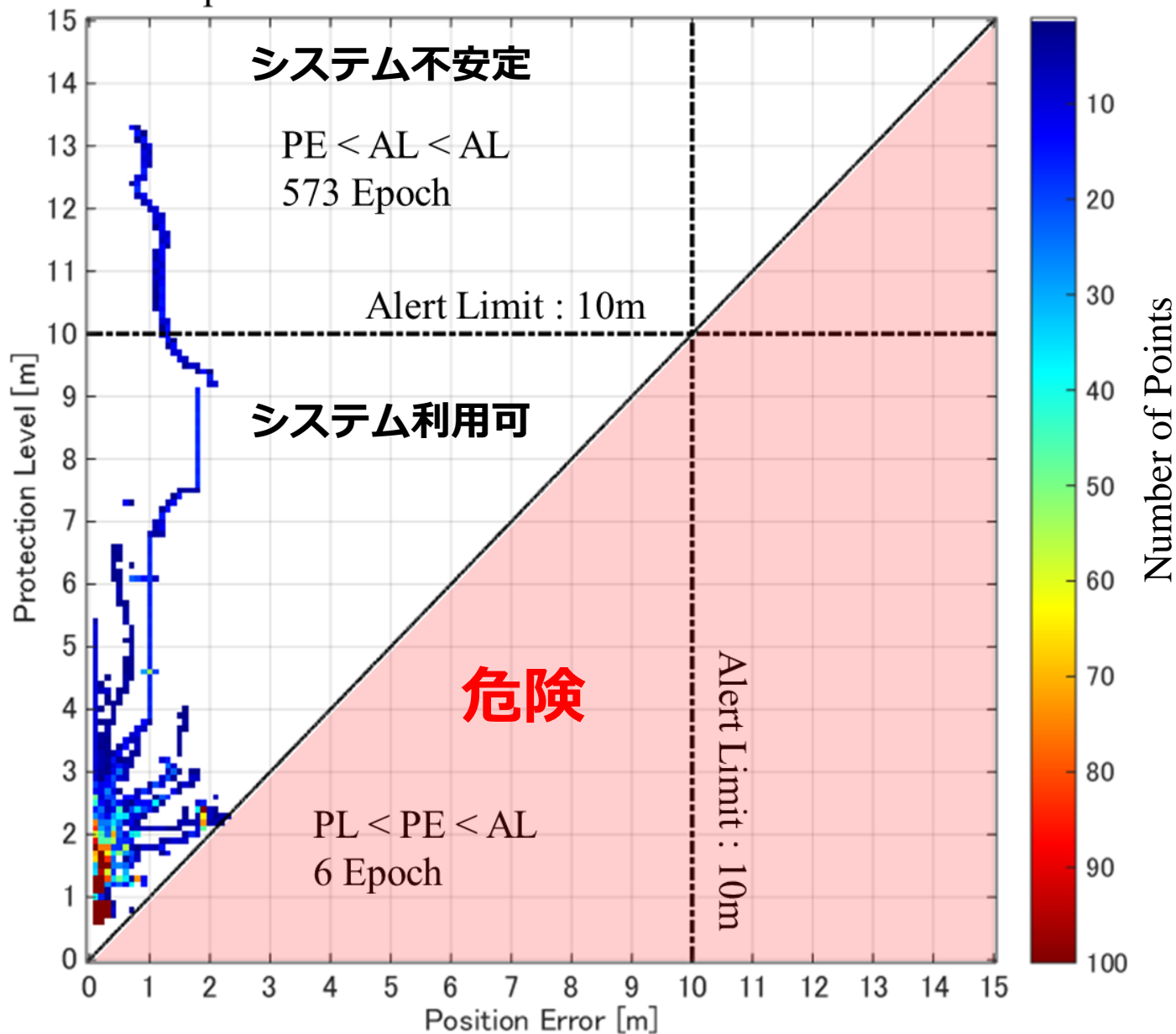
保護レベルを警報限界(AL:Alert Limit)と比較し、システムが使用可能かどうか判断する。



スタンフォードチャート (インテグリティの確認)

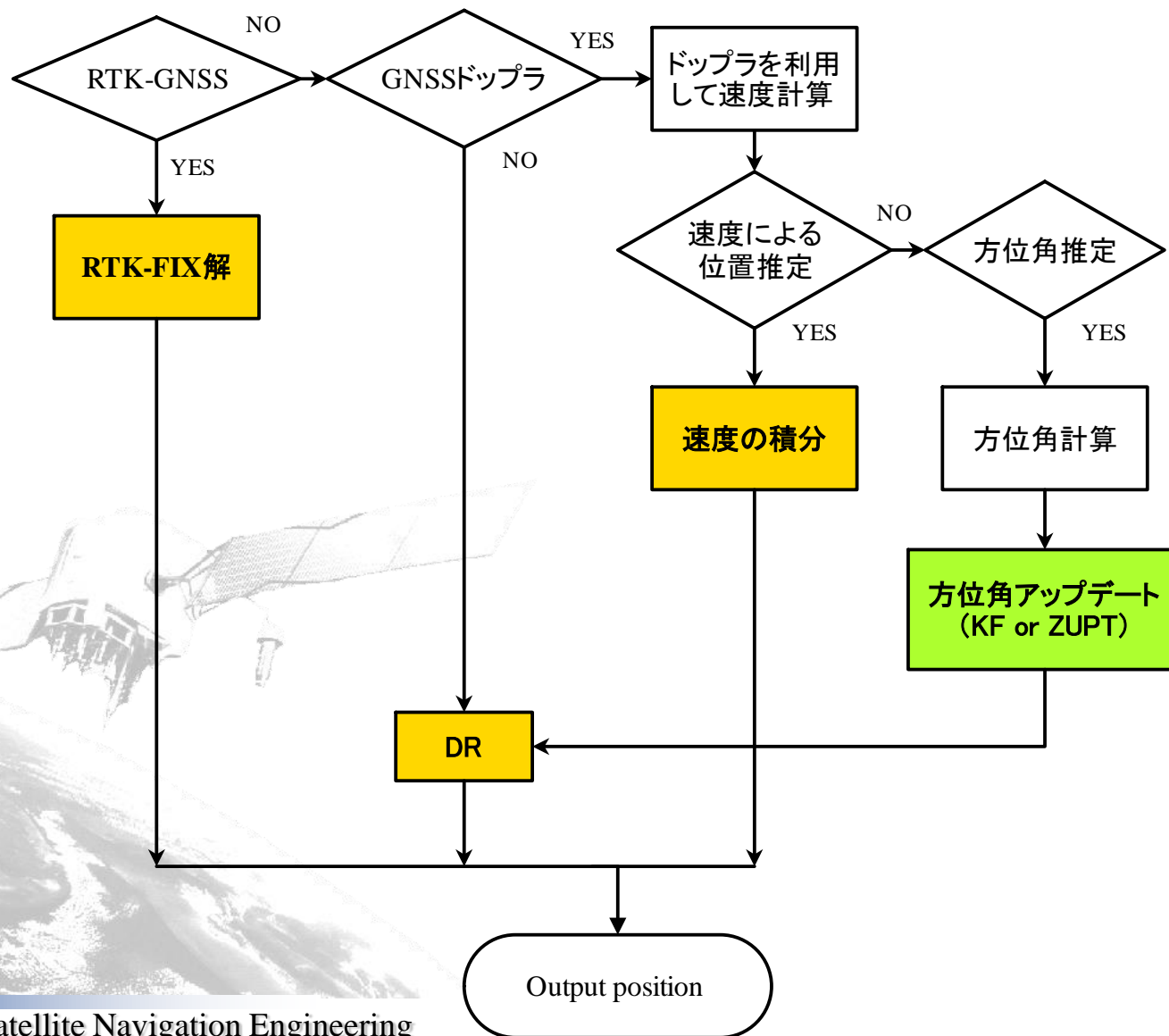
- ✓ 保護レベル—99.9%の確率で保証される測位誤差範囲を算出

Total Epoch : 19320



優先順位

RTK解 > GNSSドップラ由来の自車速度 > 車載センサ



RTK-GNSS

搬送波の波数を推定することでcm精度で位置を決定。
解が求まってしまえばその解の信頼性は高い。
1エポックで解を求める。

- 信号強度のチェック—マルチパス衛星の排除
- 短基線の二重差観測モデル(電離層, 対流圏遅延項消去)

$$L = \rho + c(dt - dT) - I + T + \lambda N + \varepsilon_L, \quad P = \rho + c(dt - dT) + I + T + \varepsilon_P$$

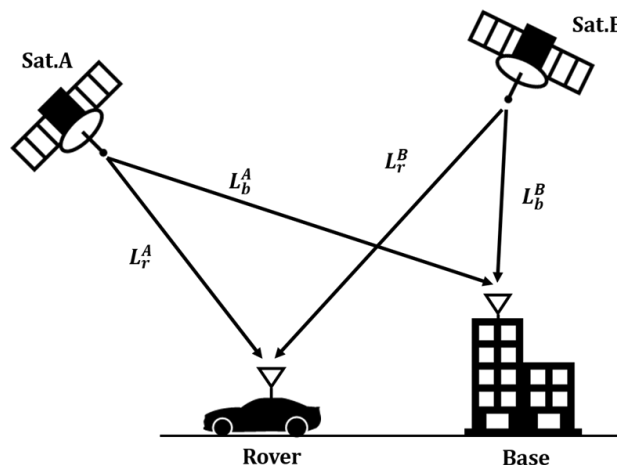
$$L_{rb}^{AB} = \rho_{rb}^{AB} + \lambda n_{rb}^{AB} + \varepsilon_{rb}^{AB}$$

$$P_{rb}^{AB} = \rho_{rb}^{AB} + \varepsilon_{rb}^{AB}$$

二重差は衛星システム毎に生成 → **GPS/QZS、BeiDou**

- FLOAT解→ドップラによる支援—有用性の増加
- Ratioテストの閾値は3

$$\frac{\|\hat{a} - \check{a}_2\|_{Q\hat{a}}^2}{\|\hat{a} - \check{a}\|_{Q\hat{a}}^2} > \beta$$



品質チェック

二重差生成

FLOAT解の算出

AR-LAMBDA法

Ratioテスト

FIX解の算出

GNSSドップラ

「GNSS衛星の速度」と「衛星と自車との間の相対速度」により
自車の3次元速度ベクトルが得られる。

$$D_i = \frac{f}{c} \cdot (V_{S_i} - V_{u_i} + s)$$

$$R_i = \frac{1}{r_i} \cdot (P_{S_i}^x - P_u^x, \quad P_{S_i}^y - P_u^y, \quad P_{S_i}^z - P_u^z)$$

$$V_{S_i} = R_i \cdot (V_{S_i}^x, \quad V_{S_i}^y, \quad V_{S_i}^z)^T$$

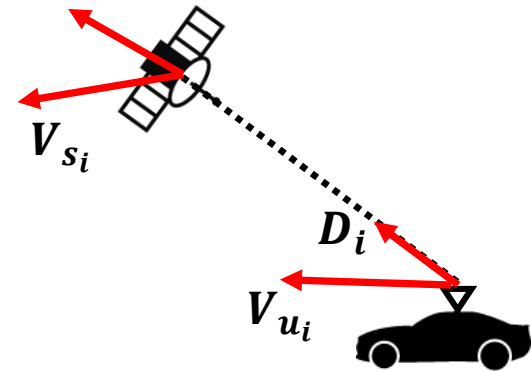
$$V_{u_i} = R_i \cdot (V_u^x, \quad V_u^y, \quad V_u^z)^T$$

衛星位置 $P_{S_i}^{(c)}$ はエフェメリスを用いて計算。

時刻 t_{k-1} と t_{k+1} の衛星位置を求め差分をとることで衛星の速度 V_{S_i} を計算。

視線ベクトル R_i は利用者位置が少し変わっても変化しない。

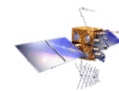
V_{u_i} の3成分とクロックオフセットを含めた未知数が4つになるため4衛星必要。



- それぞれの速度成分を積算することで位置を推定。
- マルチパスの影響が少ない。

$$\begin{aligned} x_t &= x_{t-1} + V_{x_t} \cdot \Delta t \\ y_t &= y_{t-1} + V_{y_t} \cdot \Delta t \end{aligned}$$

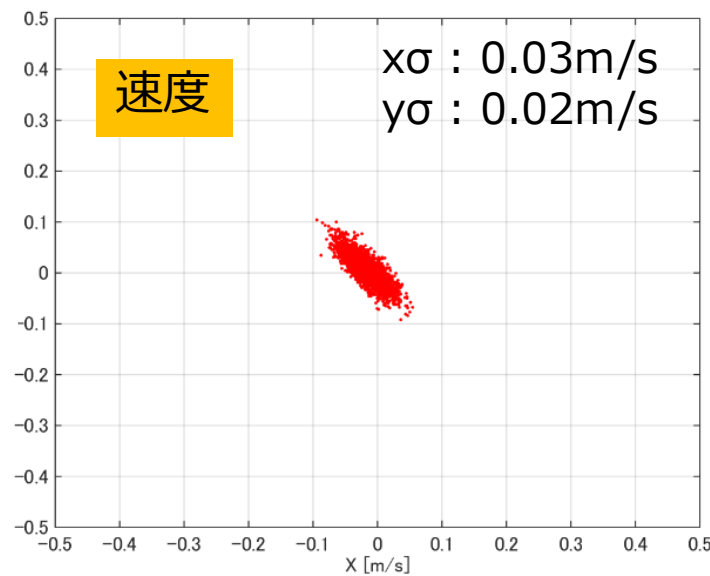
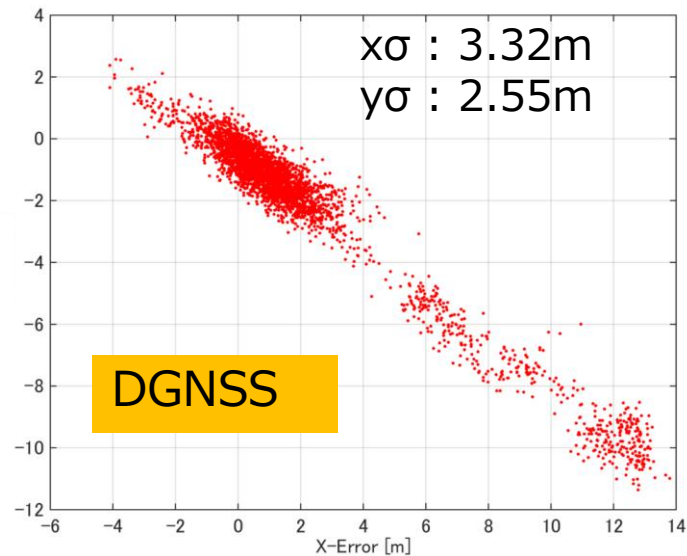
GNSS ドップラ



60分1Hz

回折波

反射波



方位角の推定

- GNSSドップラから求めた速度ベクトルから方位角を推定.

$$\psi_t = \tan^{-1} \left(\frac{V_{Et}}{V_{Nt}} \right)$$

- 精度はユーザの**速度**と**衛星配置**に依存.

$$\psi_{GNSS} = \psi + v$$

v : 雑音

- $V_{SS} > 0.5$ [m/s]
- $|V_{GNSS} - V_{SS}| < 1.5$ [m/s]
- $HDOP < 2.5$

- IMUヨーレートとの統合 (カルマンフィルタ)

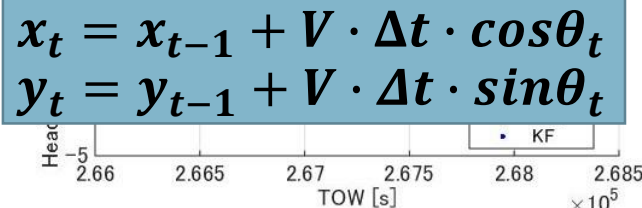
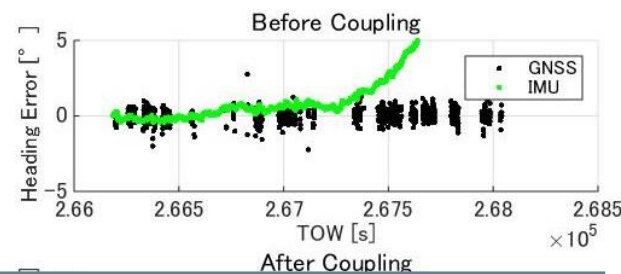
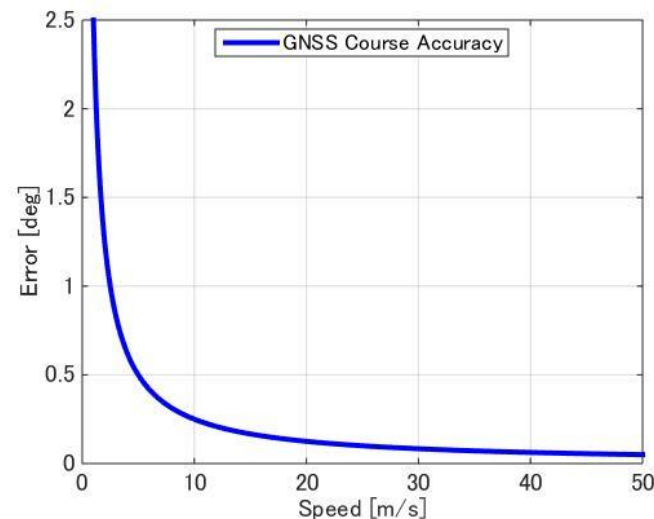
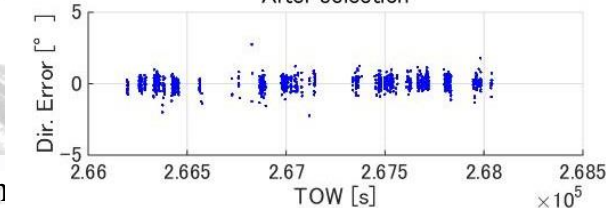
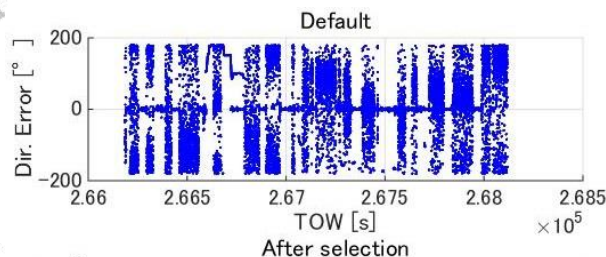
$$x_k = F_k x_{k-1} + G_k w_k$$

$$y_k = H_k x_k + v_k$$

$$x = (\psi_{GNSS}, \omega_{yaw})^T$$

$$F = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R = \begin{bmatrix} \sigma_{v_{GNSS}}^2 / v & 0 \\ 0 & \sigma_{\omega_{yaw}}^2 \end{bmatrix}$$

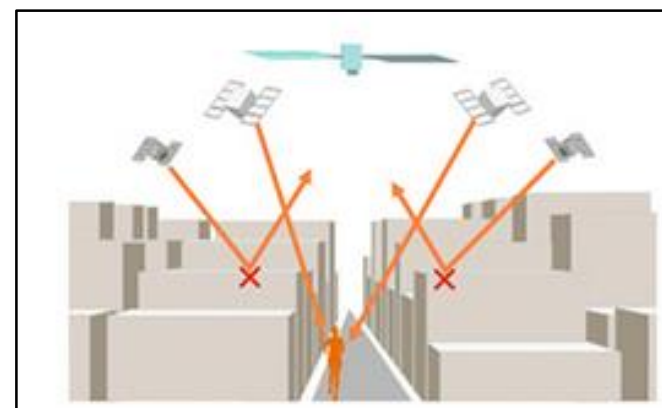


$$x_t = x_{t-1} + V \cdot \Delta t \cdot \cos \theta_t$$

$$y_t = y_{t-1} + V \cdot \Delta t \cdot \sin \theta_t$$

信頼度指標の算出

- マルチパスの影響を受けにくい測位手法にした。
- 衛星配置による測位誤差の評価。 → $HDOP \cdot \sigma$
- 都市部では進行方向の横方向に誤差が広がる。



$$\left(\frac{x}{\sigma_x}\right)^2 - 2\rho_{xy} \frac{xy}{\sigma_x \sigma_y} + \left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2 = (1 - \rho_{xy}^2) C$$

$$P = 1 - \exp(-C/2) \longrightarrow \begin{array}{l} 99\% \text{確率楕円} \\ C=9.21 \end{array}$$

誤差楕円のパラメータ

$$a = \sqrt{C\alpha_1} \quad b = \sqrt{C\alpha_2}$$

$$\theta = \text{atan}^2(v_{y1}, v_{x1})$$

$$R(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}$$

$$HPL_t^{RTK} = b_p + a \cdot \sigma_{RTKH}$$

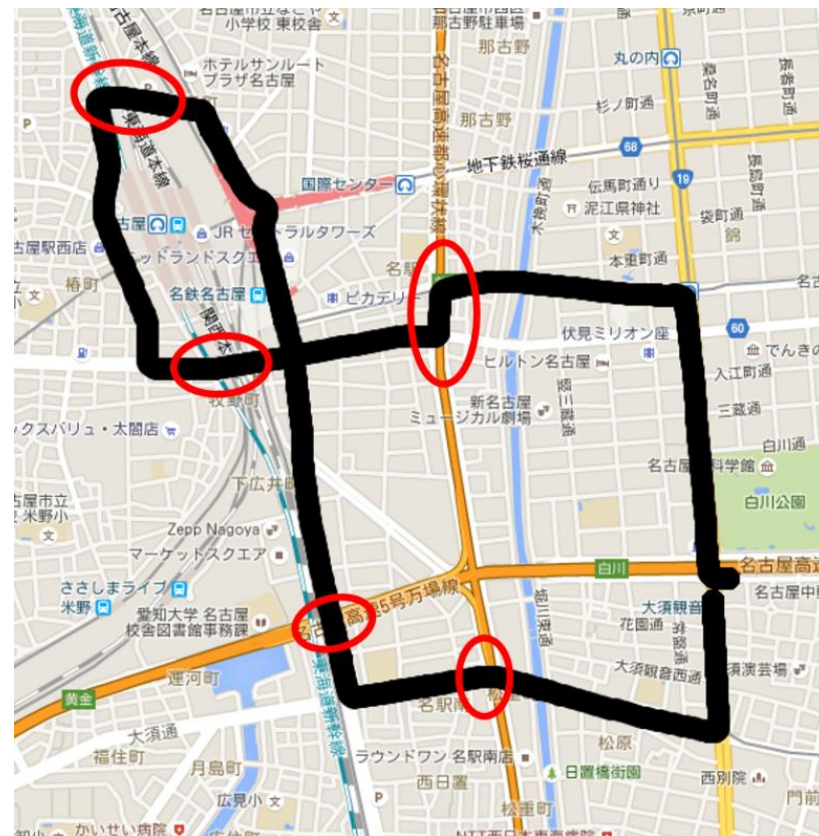
$$HPL_t^{GV} = b_p + (HPL_{t-1}) + a \cdot \sigma_{GVH}$$

$$HPL_t^{DR} = b_p + (HPL_{t-1}) + a \cdot \sigma_{DRH}$$

b_p : POS/LVの誤差

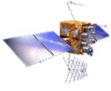
実験

- 日時：2014年11月19日
- 場所：名古屋市
- 時間：約30分10Hz(19320エポック)
- GNSS：NetR9/Zephyr2(Trimble)
- IMU：ADIS16445(Analog Devices)
- 速度センサ：車速パルス
- 真値：POS/LV(Applanix)

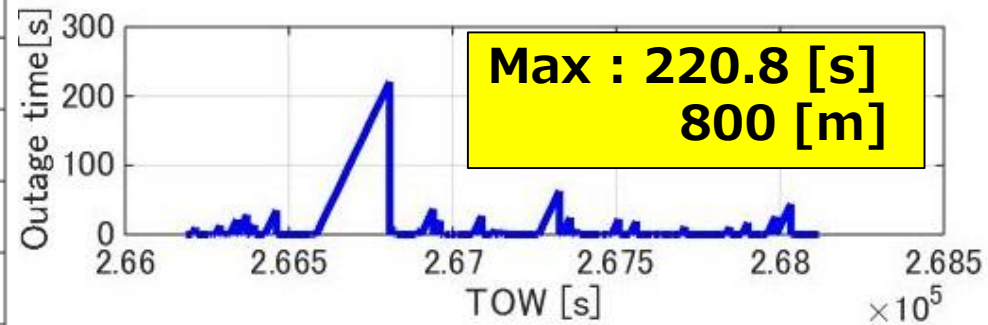
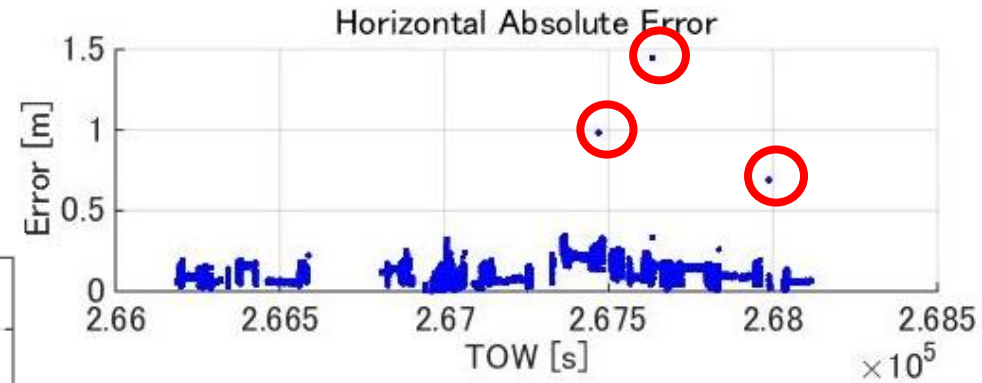
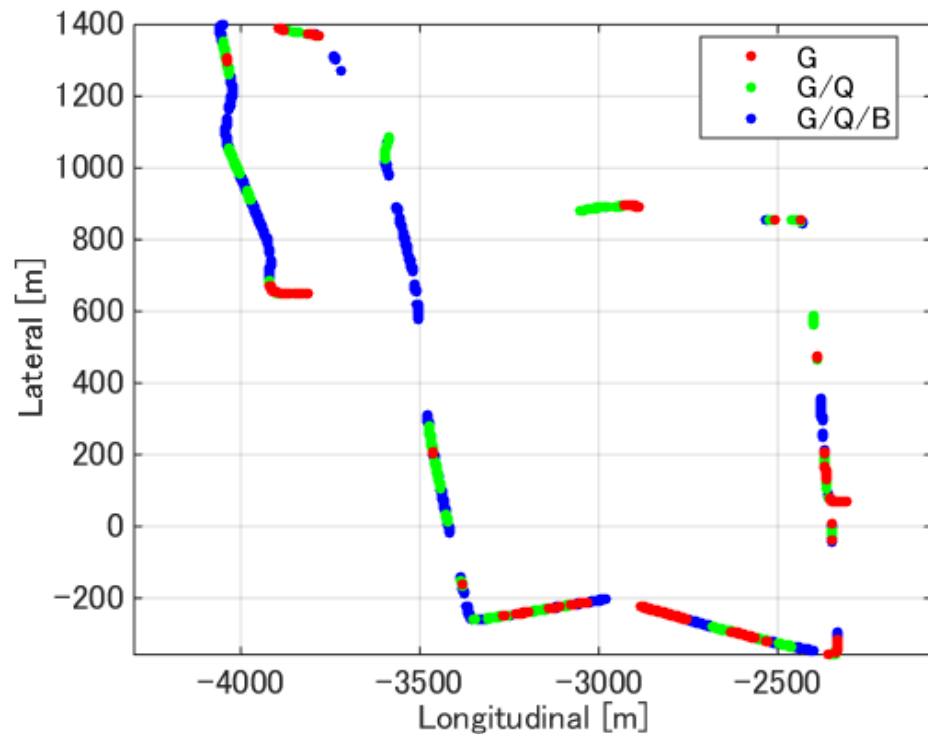


Google Maps

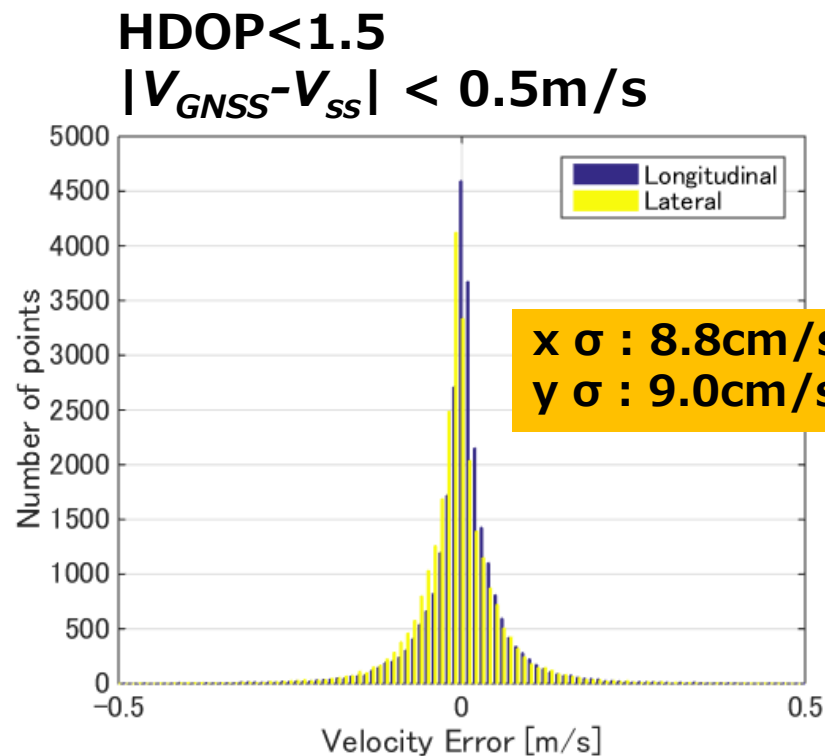
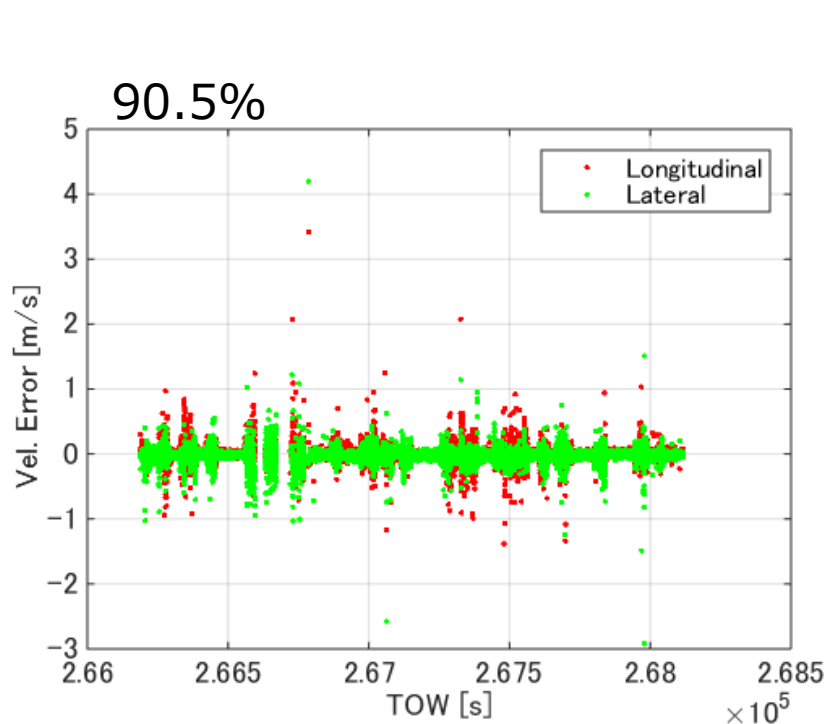
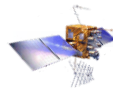
RTK-GNSS



Sys.	FIX Rate [%]
G	25.8
G/Q	37.3 (+11.5)
G/Q/B	57.4 (+20.1)

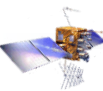


GNSSドップラ

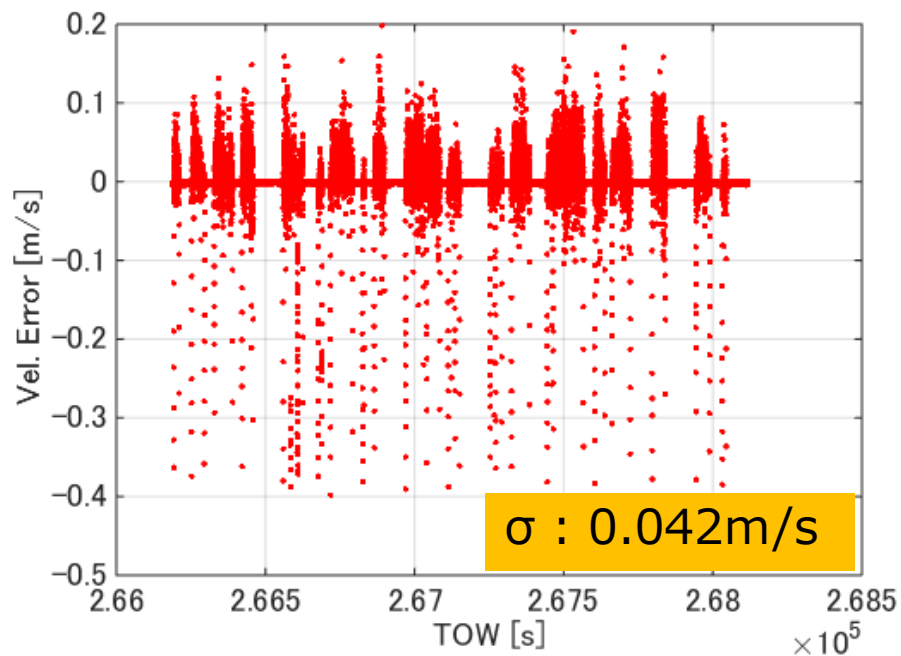


誤差がノイズライクになるためこのまま速度を積分したとしても誤差の蓄積は少ない特徴がある。

INS

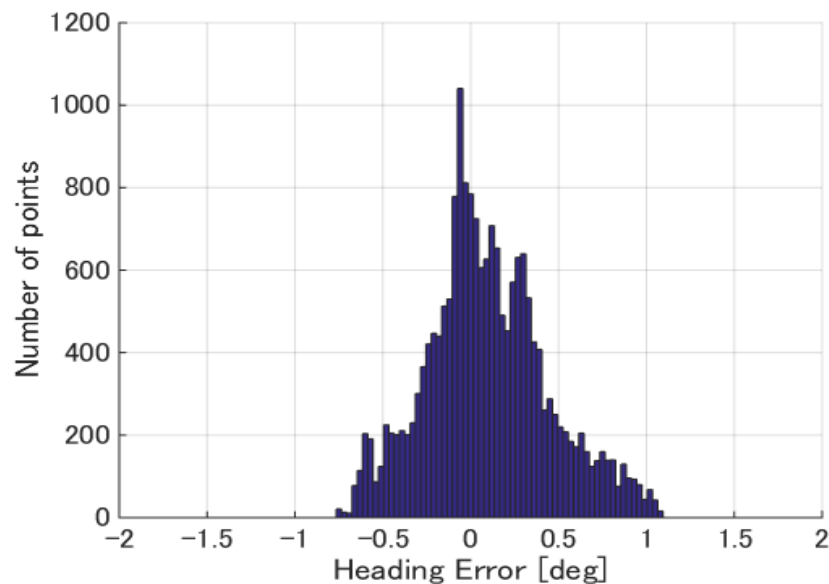
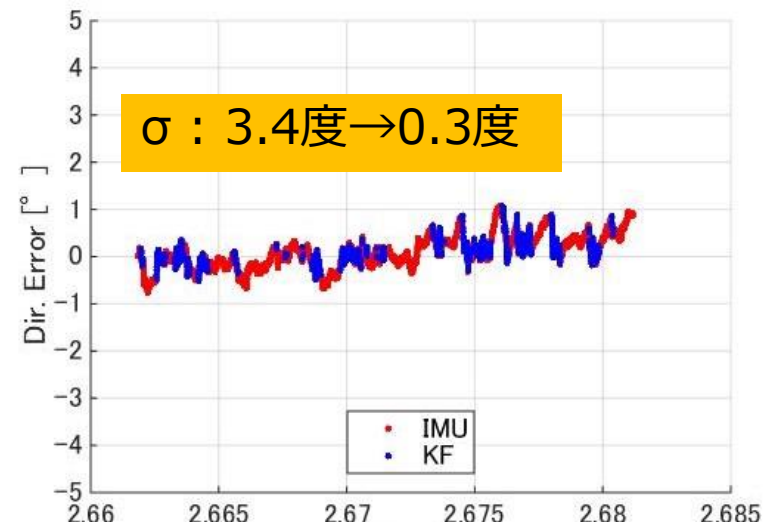


速度センサ

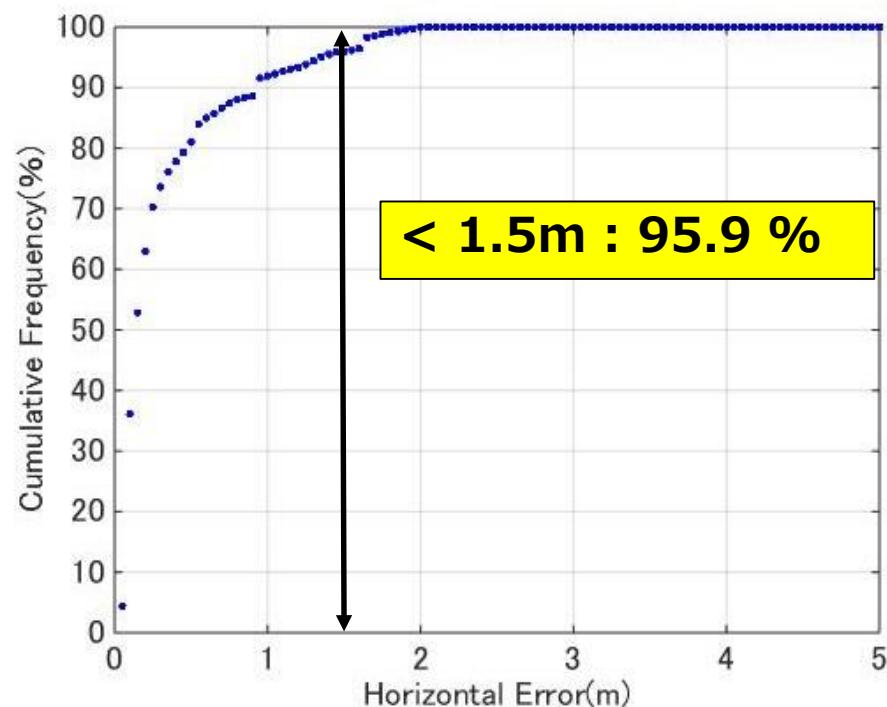
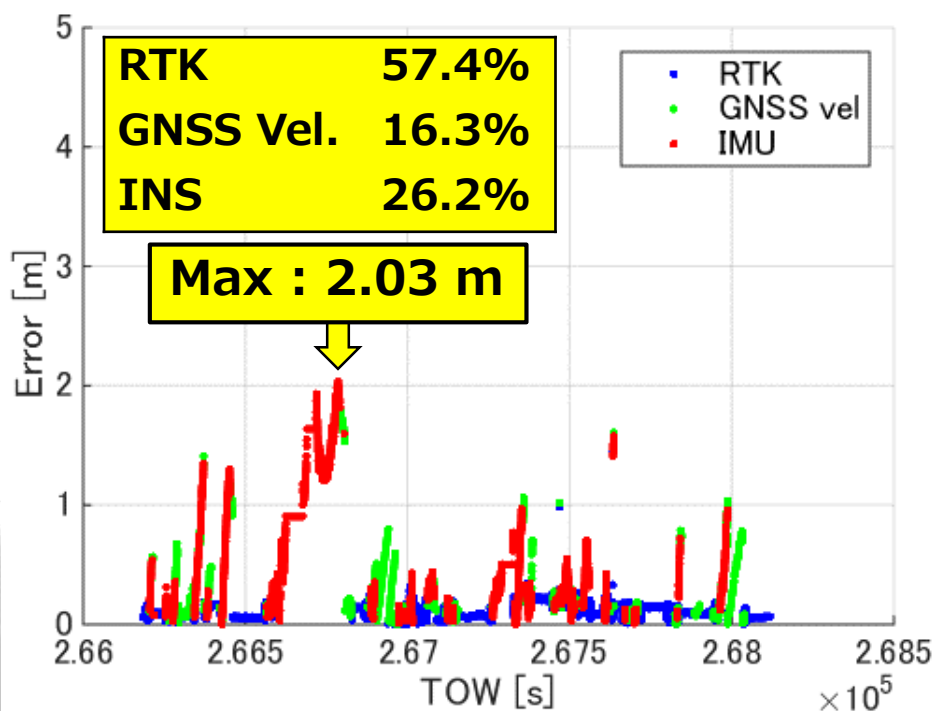
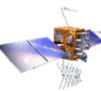


低速域 (35cm/s) が出力されない。
位置推定にはあまり影響がない。

方位

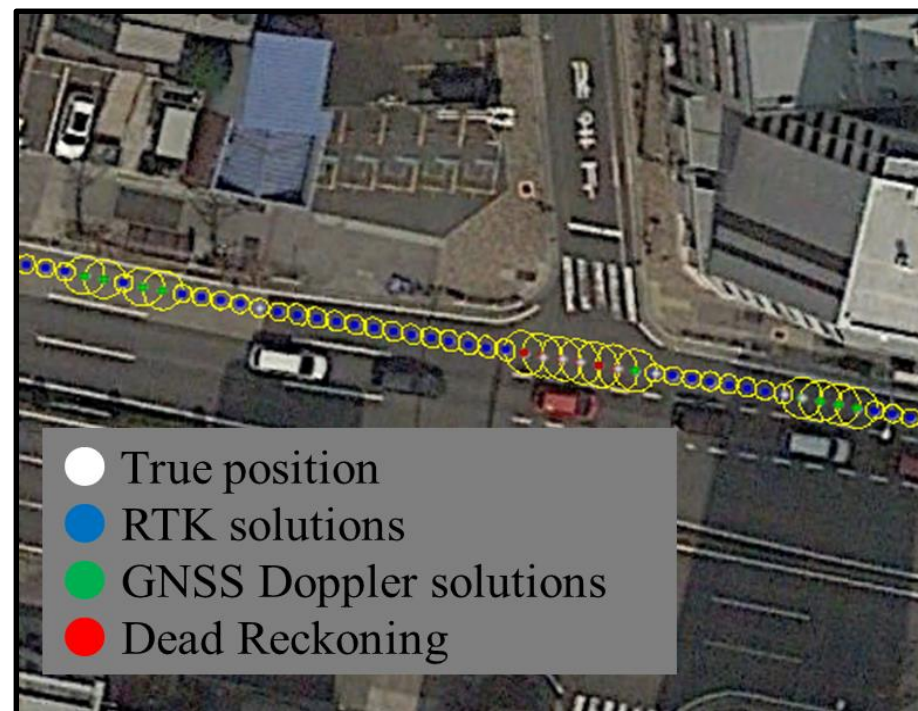
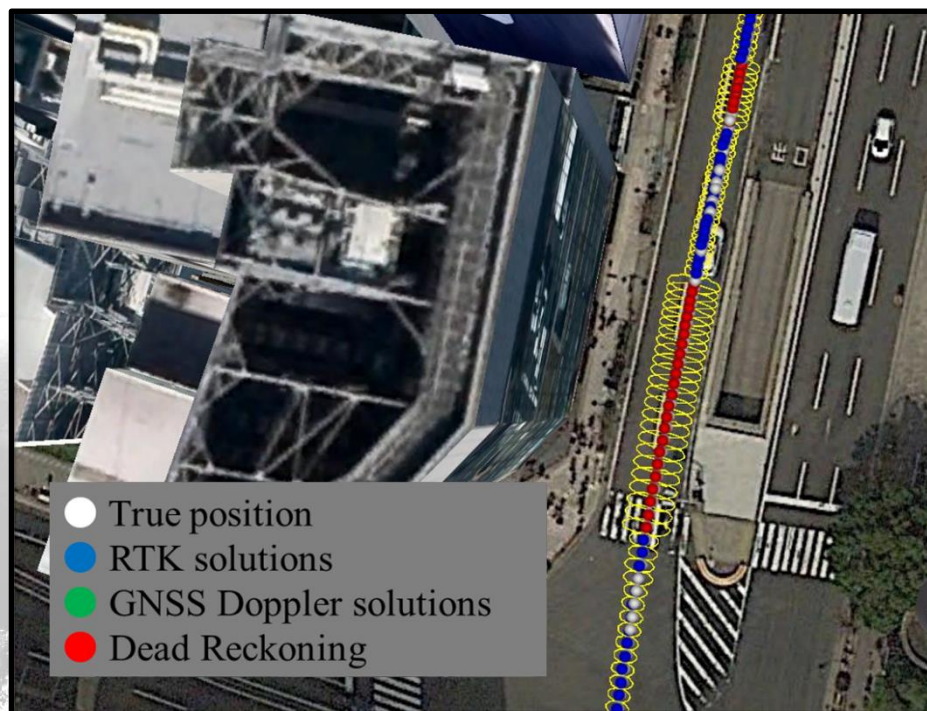


複合測位結果



信頼度

パラメータ	値
RTK-GNSS 誤差 [m]	0.025
GNSS-velocity 誤差 [m/.1s]	0.02
INS誤差 [m/.1s]	0.03



GoogleEarth

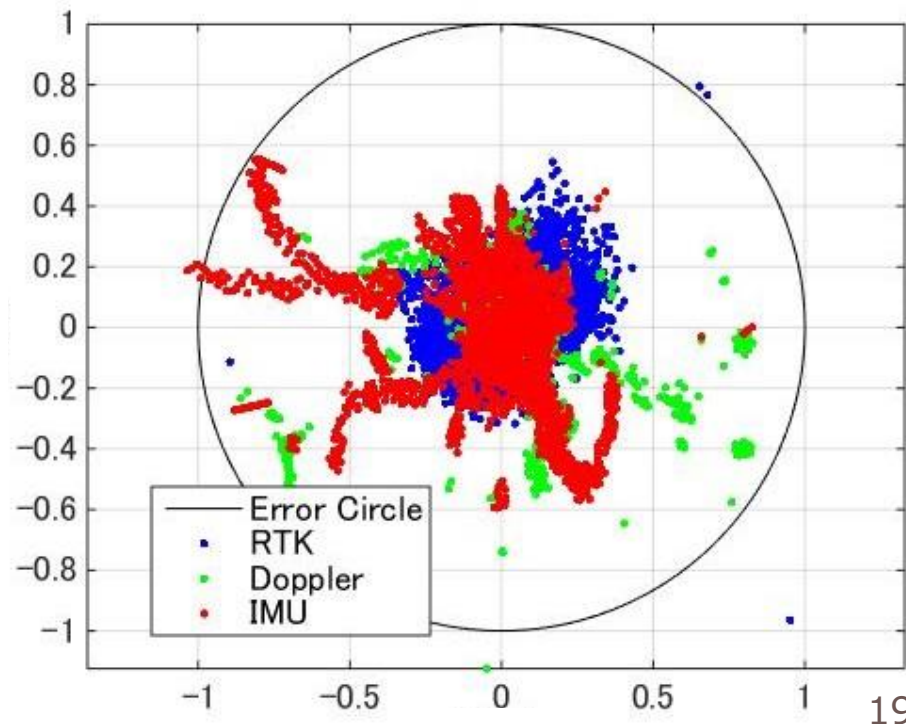
信頼度

真値が誤差楕円内に入った確率

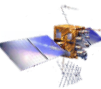
確率楕円	RTK	GNSS vel.	INS	全体
0.99	99.9 %	99.6 %	98.1 %	99.3 %
0.999	99.9 %	99.9 %	99.9%	99.9 %

- 測位解を中心に誤差楕円を描写。真値が誤差楕円内に入ったか確認。
- 99%確率楕円—IMUのバイアスが原因。
- ミスFIXをオーバーバウンドすることができない。

単位円に変換し誤差の分布を表示



まとめ



- ルーズカップリング方式GNSS/INS複合測位を実施/評価した。マルチGNSSの利用によりコンスタントに観測値が入ることで、低コストIMUを用いても高精度に位置推定が可能となる。

有用性	100%まで向上
誤差	<1.0m 91.8 %
	<1.5m 95.9 %
	<2.0m 99.9 %

- シンプルな手法で測位の信頼度指標を算出/評価した。設定した確率通りの結果となったことより有用性を確認した。

ご清聴ありがとうございました。

謝辞

実験データの取得及びレファレンス位置を提供して頂いた株式会社デンソー殿に深く感謝いたします。

