

# GNSSと他センサを融合した都市部 高精度測位に関する研究

自技会学術講演会2015  
久保信明、菊地錬(海洋大)

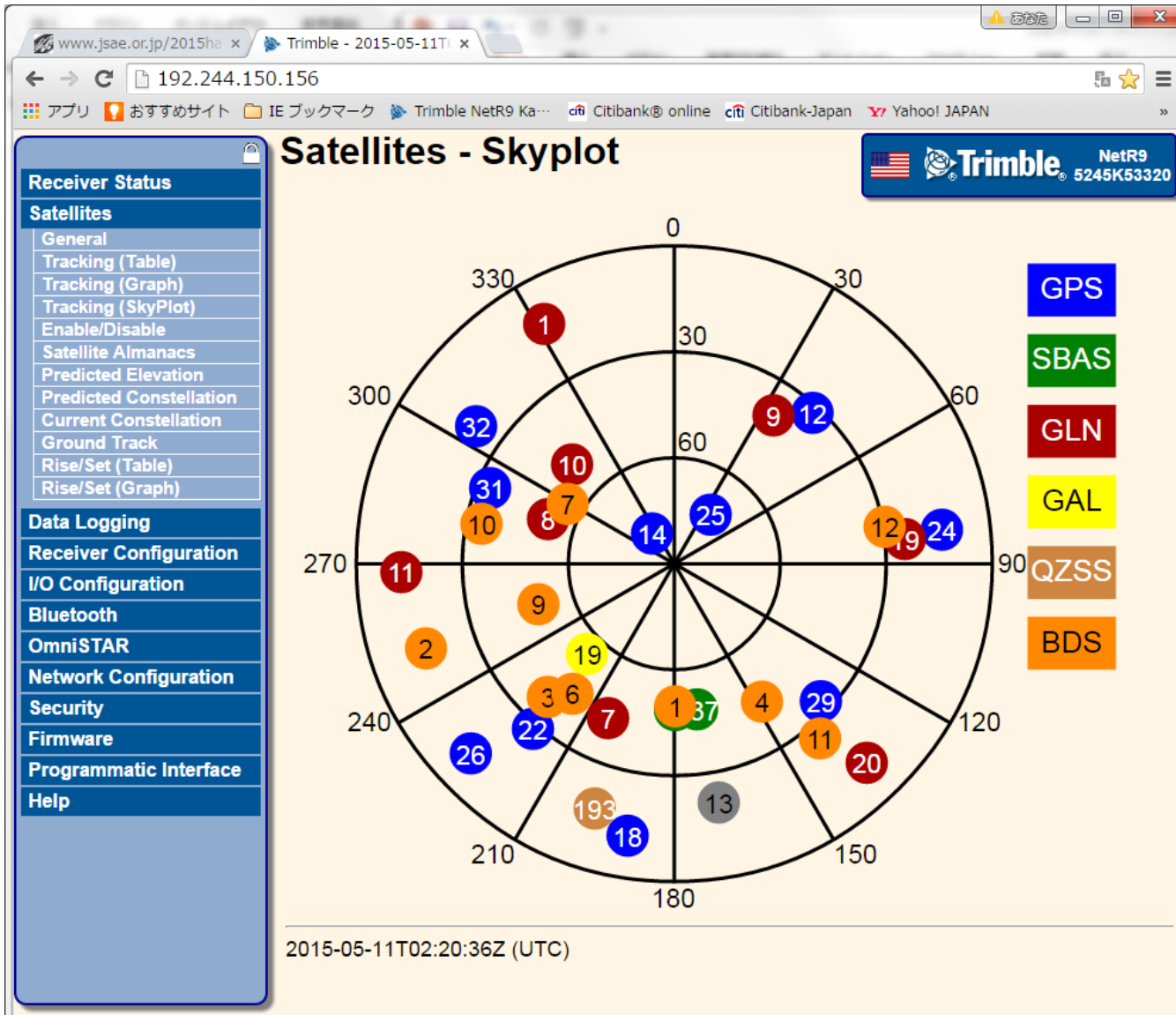
# 目次

- マルチGNSSと移動体測位の現状
  - 低コスト受信機と測量用受信機
- レファレンス位置の生成
- GNSSと他センサとの融合

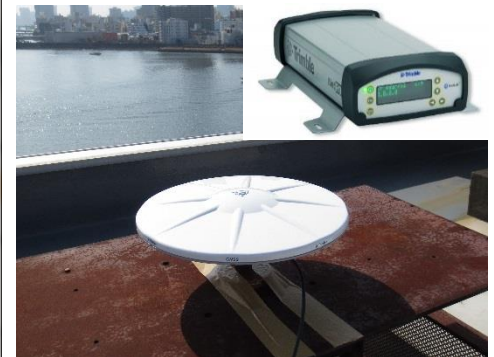
低コスト受信機(カーナビ用等)→コンシューマへの影響大  
測量用受信機→近未来の高精度測位用(搬送波ベース)に無視できない

# マルチGNSSの現状

## 海洋大研究室屋上設置の基準局



**GPS : 31**  
**GLO : 24**  
**BEI : 14+1**  
**GAL : 5**  
**QZS : 1**



GPS:31機中16機の衛星がⅡR-MまたはⅡF→市民用2周波が利用可能

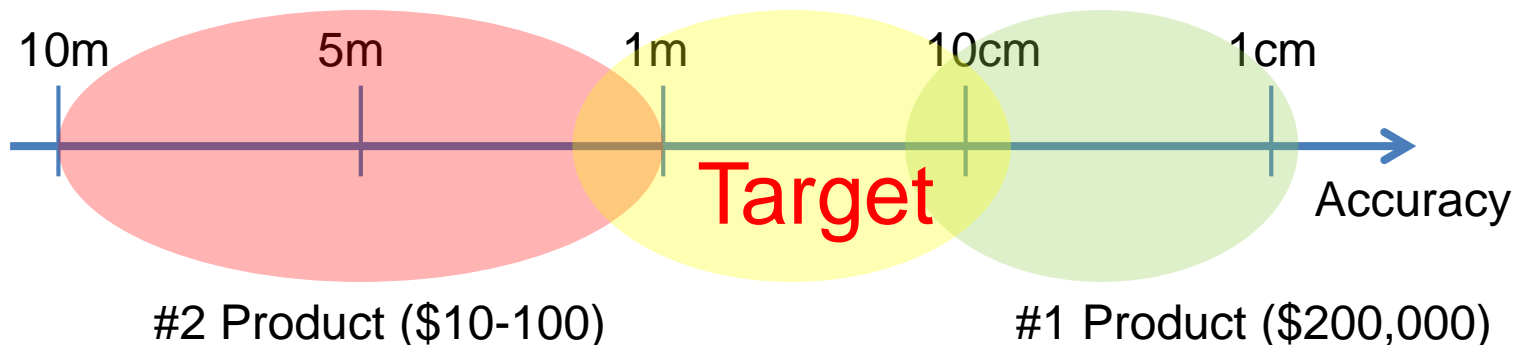
# 移動体測位現状

- 測量用GNSS+ Speed sensor + IMU

Reliable RTK still requires dual-frequency

Low cost

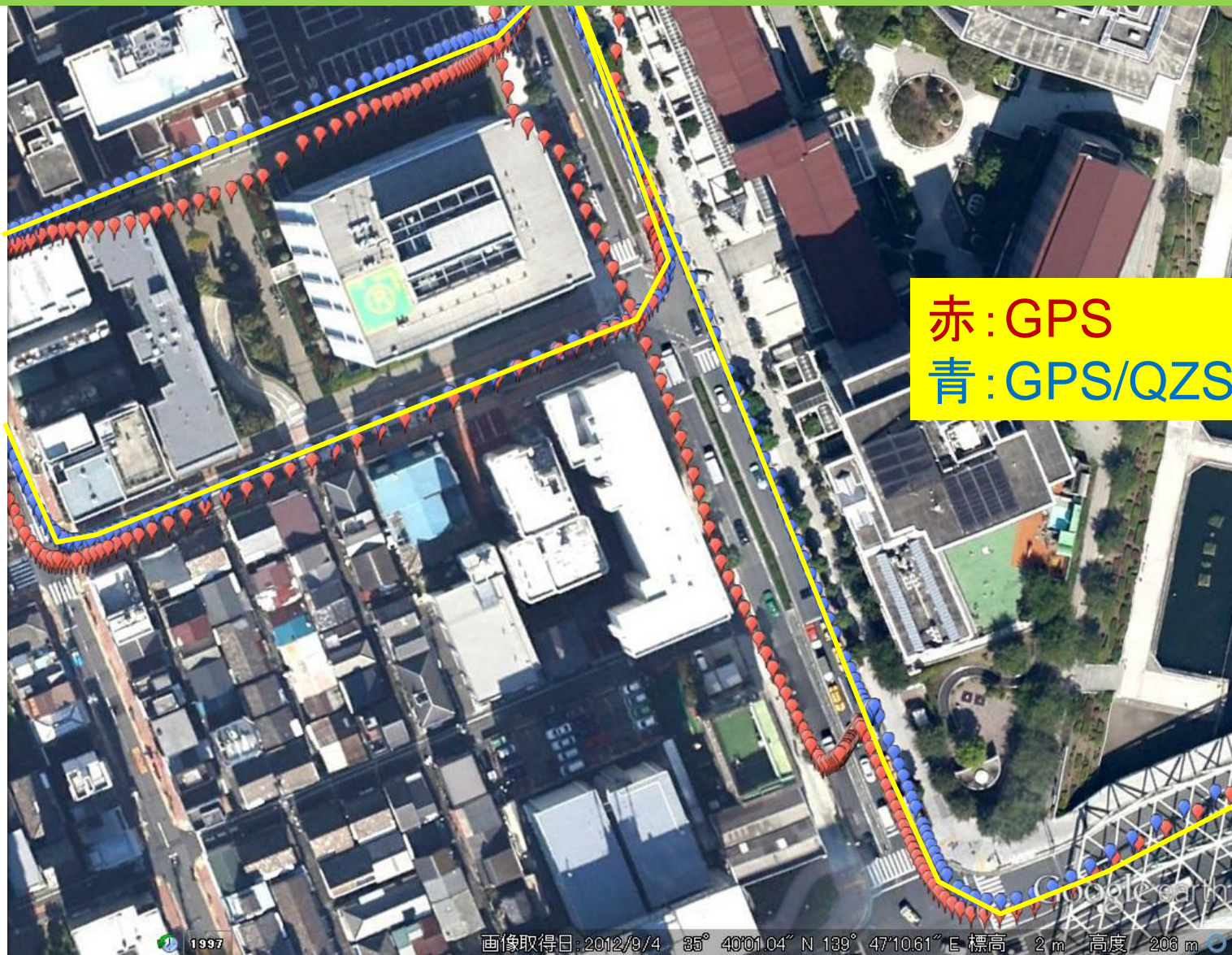
- Prospective accuracy in safety use for ITS like lane recognition is said decimeter level with continuous positions



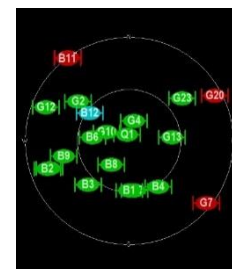
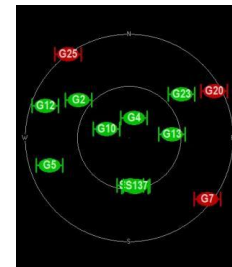
GNSSに求められる役割→長いトンネル及び高架下を除く場所での位置決定  
自動車はGNSSより独立したセンサが重要→自動車に限らない移動体への応用



# 既存のカーナビチップがマルチGNSSになると? 中央区佃島の狭い道路+高層マンション街

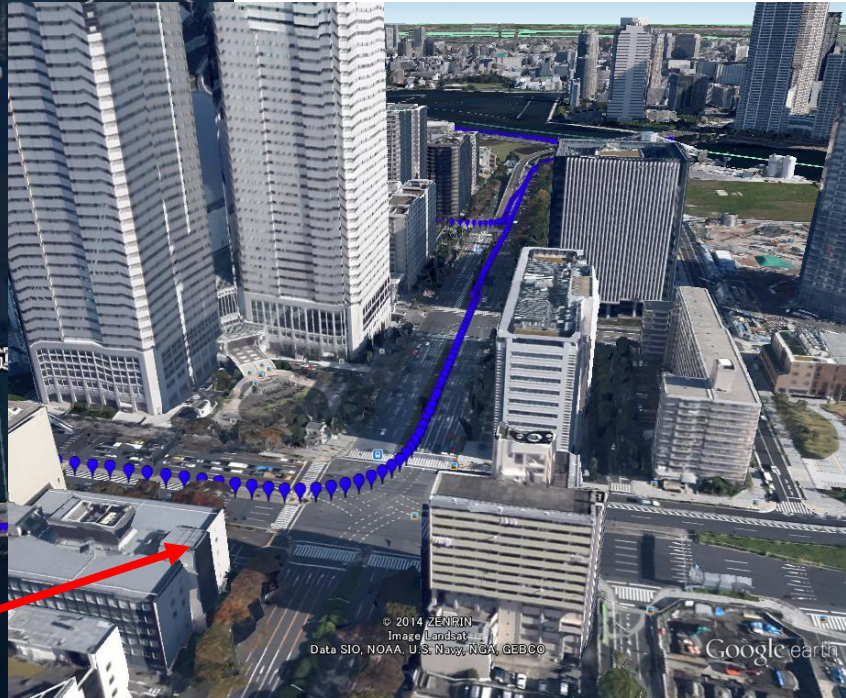
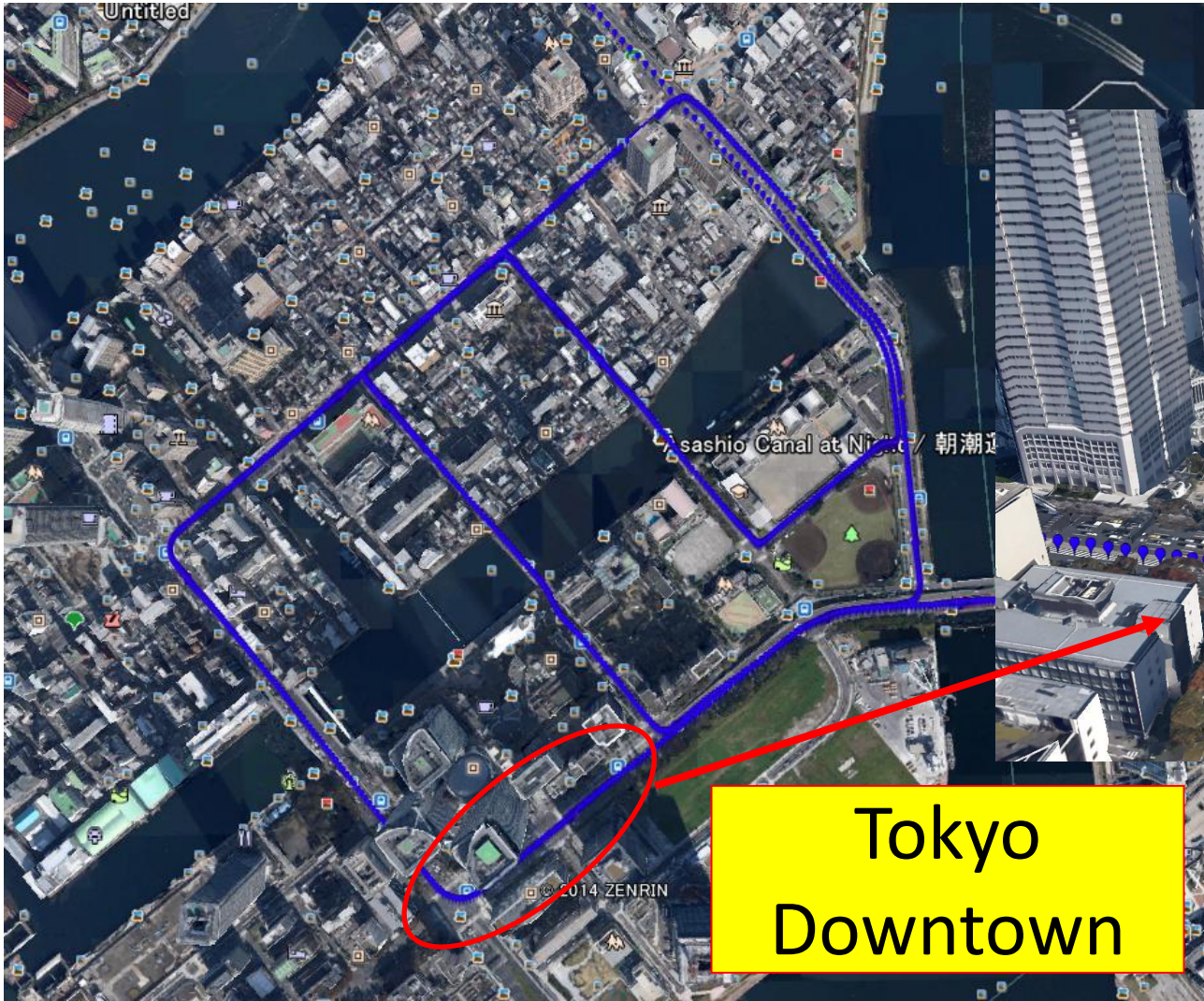


赤: GPS  
青: GPS/QZS/BeiDou





# コンシューマタイプ受信機での性能評価 1周波 GPS/QZS/BeiDou



Tokyo  
Downtown

Many skyscrapers...

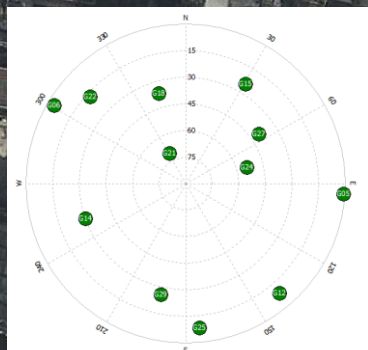
Google上ではあるが  
自身の走行車線に一致



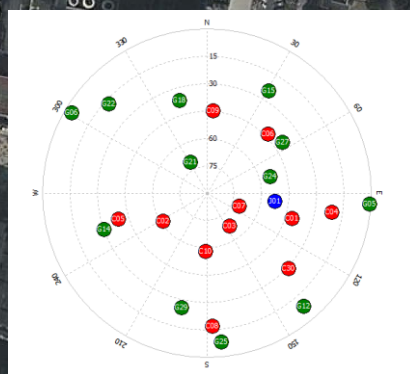
# コンシューマタイプ受信機での性能評価(海外都市部) 1周波 GPS/QZS/BeiDou

## Bangkok Downtown

高架下



- GPS
- GPS/QZS/BeiDou



マルチGNSSの効果は歴然。  
さらにスピードセンサ+IMUがあると？

# 実験1(測量用受信機+FOG)



Test	Test duration
1	2015/3/22 19:06 - 19:22
2	2015/3/23 10:14 - 10:37

## 使用機材

- 測量用受信機(多周波マルチGNSS対応)
- FOG(1軸ジャイロ)
- OBD2経由の車速センサ

## 解析条件

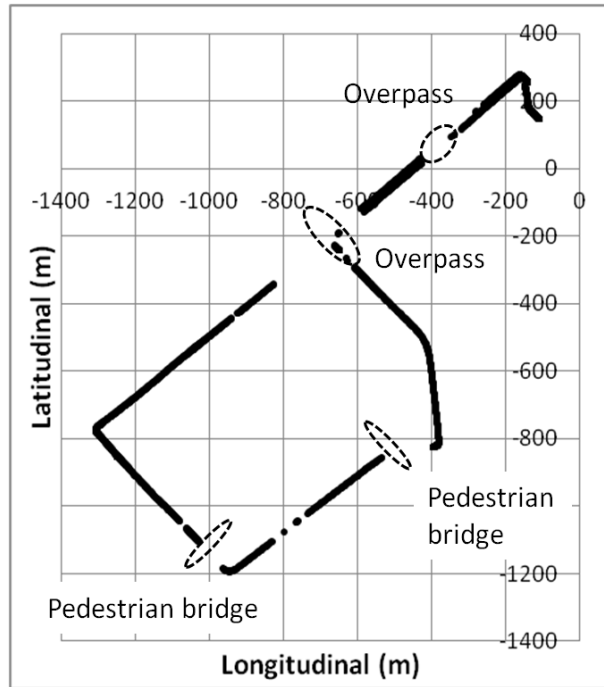
- マスク角15度
- HDOP<10
- 全ての観測値の最低信号強度は20dBHz
- 各衛星システムの2周波観測値を利用
- RTKにおいてはFloat解に速度情報を利用
- アンビギュイティ決定はLAMBDA法+Ratioテスト



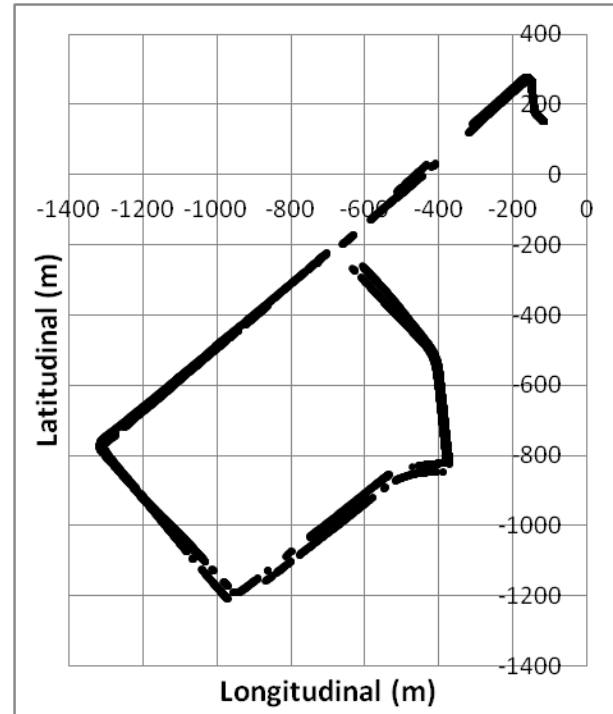


# 実験1 高精度GNSSの結果

Test 1



Test 2



Test 1 16分	G	GC	GCR
Differential GNSS	68.2%	93.4%	95.2%
RTK-GNSS	41.0%	82.1%	83.9%
平均衛星数	4.5	8.6	11.8

FIXできない最大間隔: 16秒

後処理で検証したミスFIXは  
両テストともに2-3回

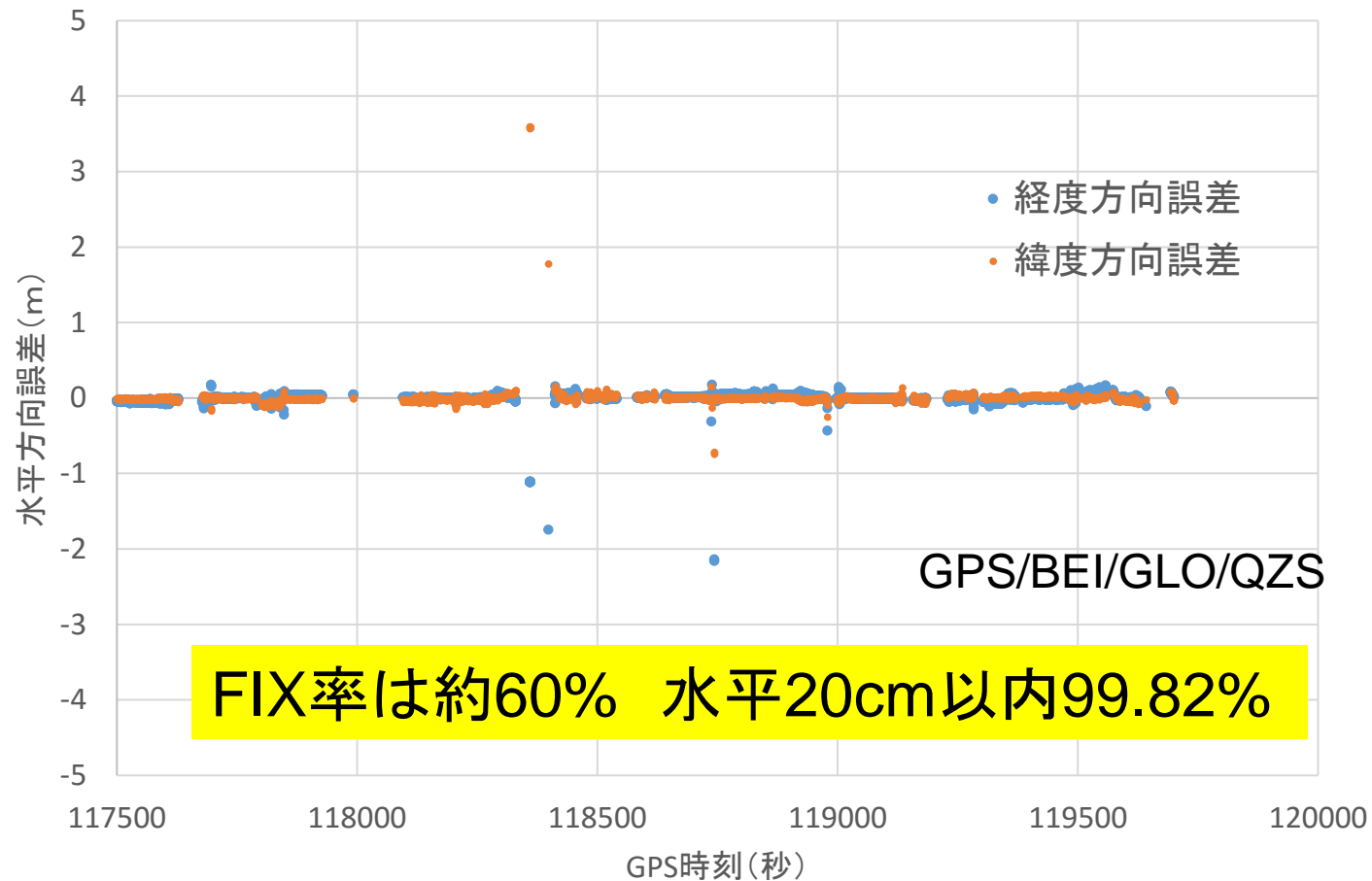
Test 2 23分	G	GJ	GJC	GJCR
Differential GNSS	60.8%	74.3%	93.0%	96.0%
RTK-GNSS	36.7%	53.5%	80.0%	81.7%
平均衛星数	5.0	9.3	12.5	

FIXできない最大間隔: 25秒

G:GPS J:QZS C:BeiDou R:GLONASS

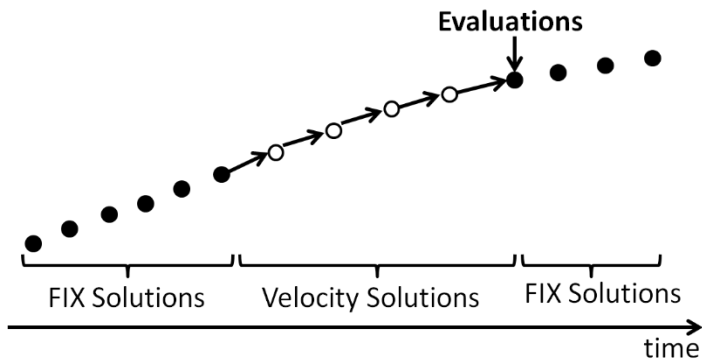
# レファレンス位置生成の観点より RTK-GNSSの誤差は?

10-20cmの水平誤差が担保されている別の解析データ(都市部)での比較結果

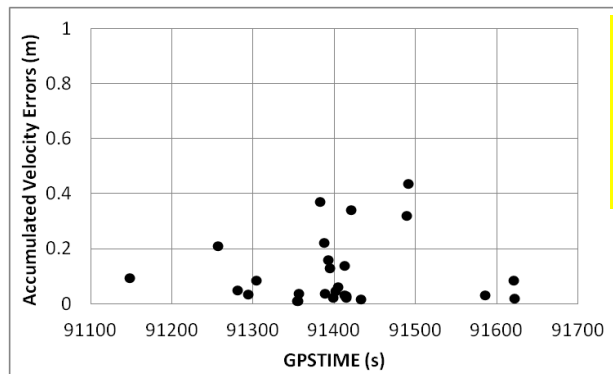
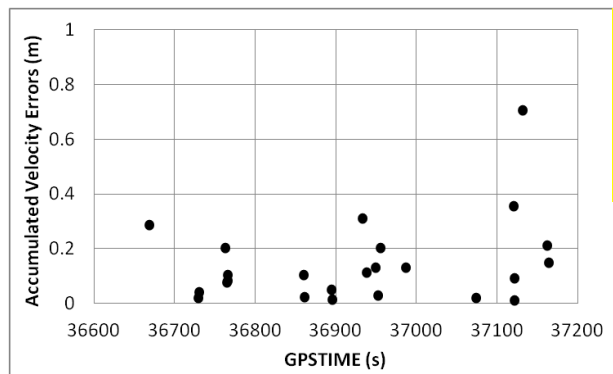


→我々の実験ではRTK-GNSS解を後処理でさらに増やし手動で生成  
(高架下の数秒数箇所のみ、FOG+車速で生成)

# GNSSドップラ周波数による 速度情報の積分結果

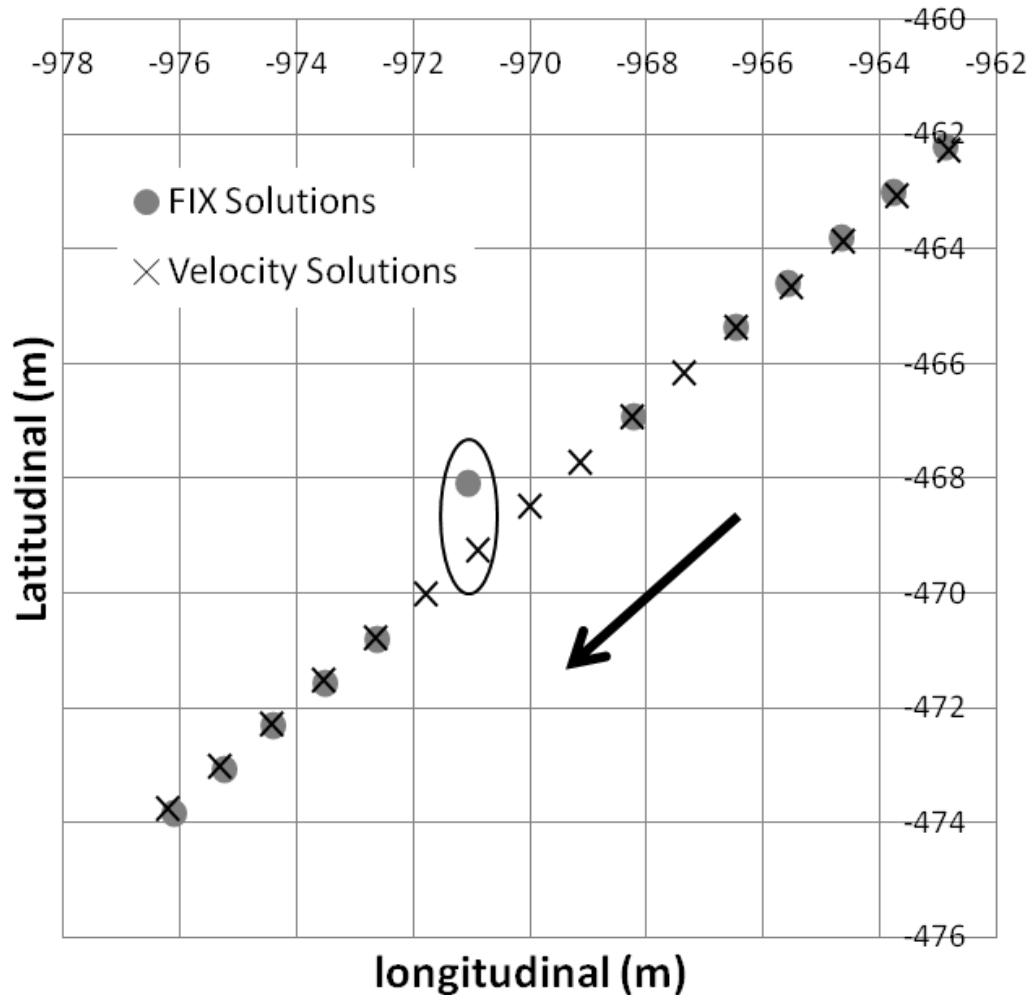


Test1、Test2ともに左図の通り、最後にFIXした位置から計算した速度ベクトルを積分し次にFIXした位置で評価した。左下図の赤の矢印の部分で評価





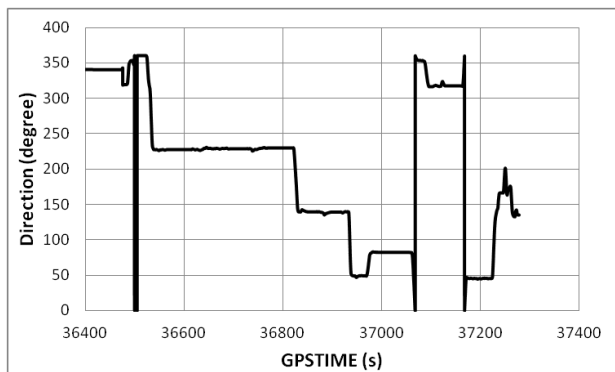
# 速度情報を ミスFIXの検知に利用



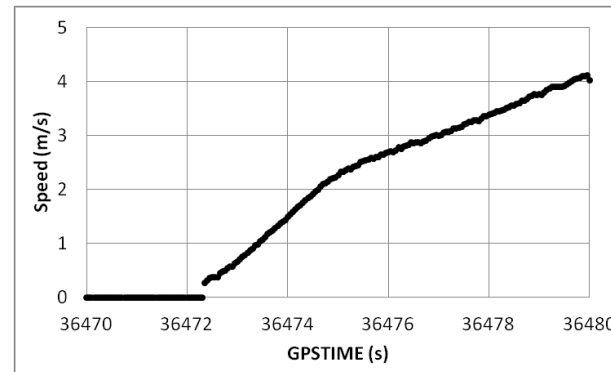
**ミスFIX箇所の拡大図**  
10Hzデータ  
FIX解と速度積分情報  
を鑑みて、1回のミスFIX  
箇所を容易に検知できた  
→FIX解の中でも信頼度  
を規定する必要があるか

# センサ (FOG+車速) のみでの位置結果

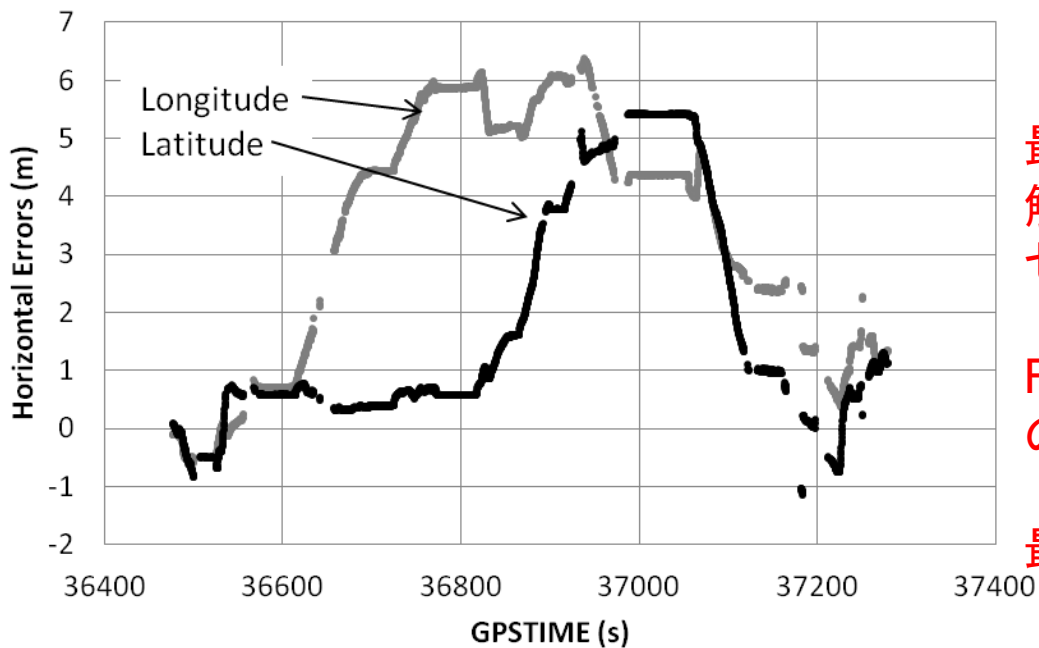
Test1



FOGデータ



車速データ(一部)

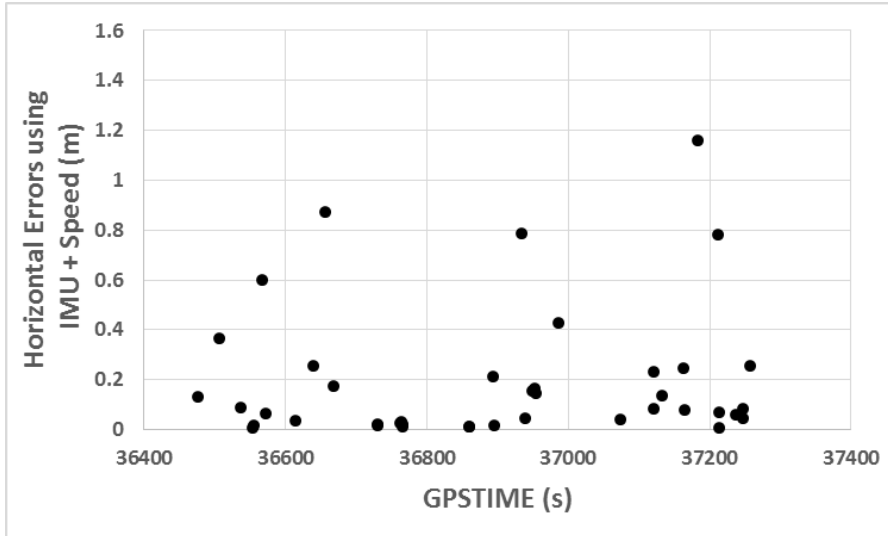


最初のエポックをFIX  
解の位置とし、あとは  
センサのみで計算

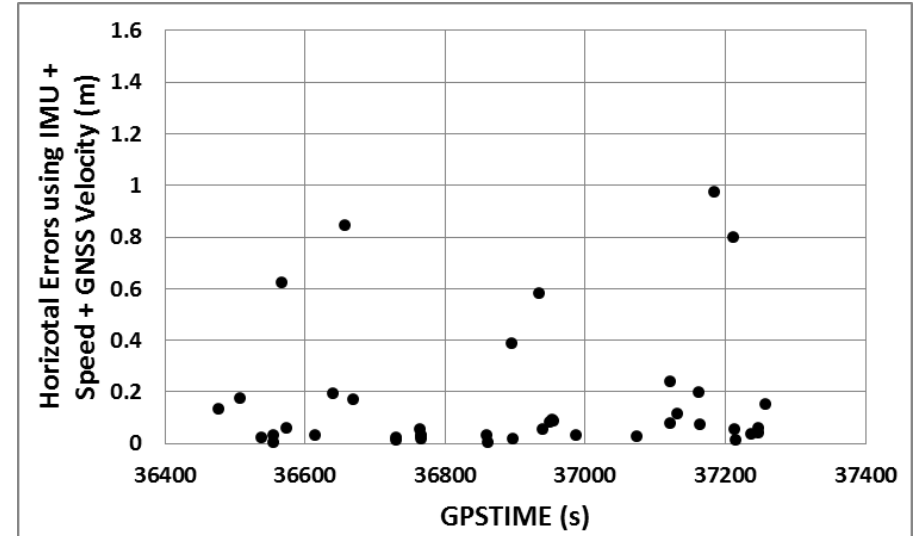
FOGは最初の停止時  
のバイアスのみ補正

最大6m程度の誤差

# GNSSとセンサとの統合結果(全時間)



RTK-GNSS+センサ



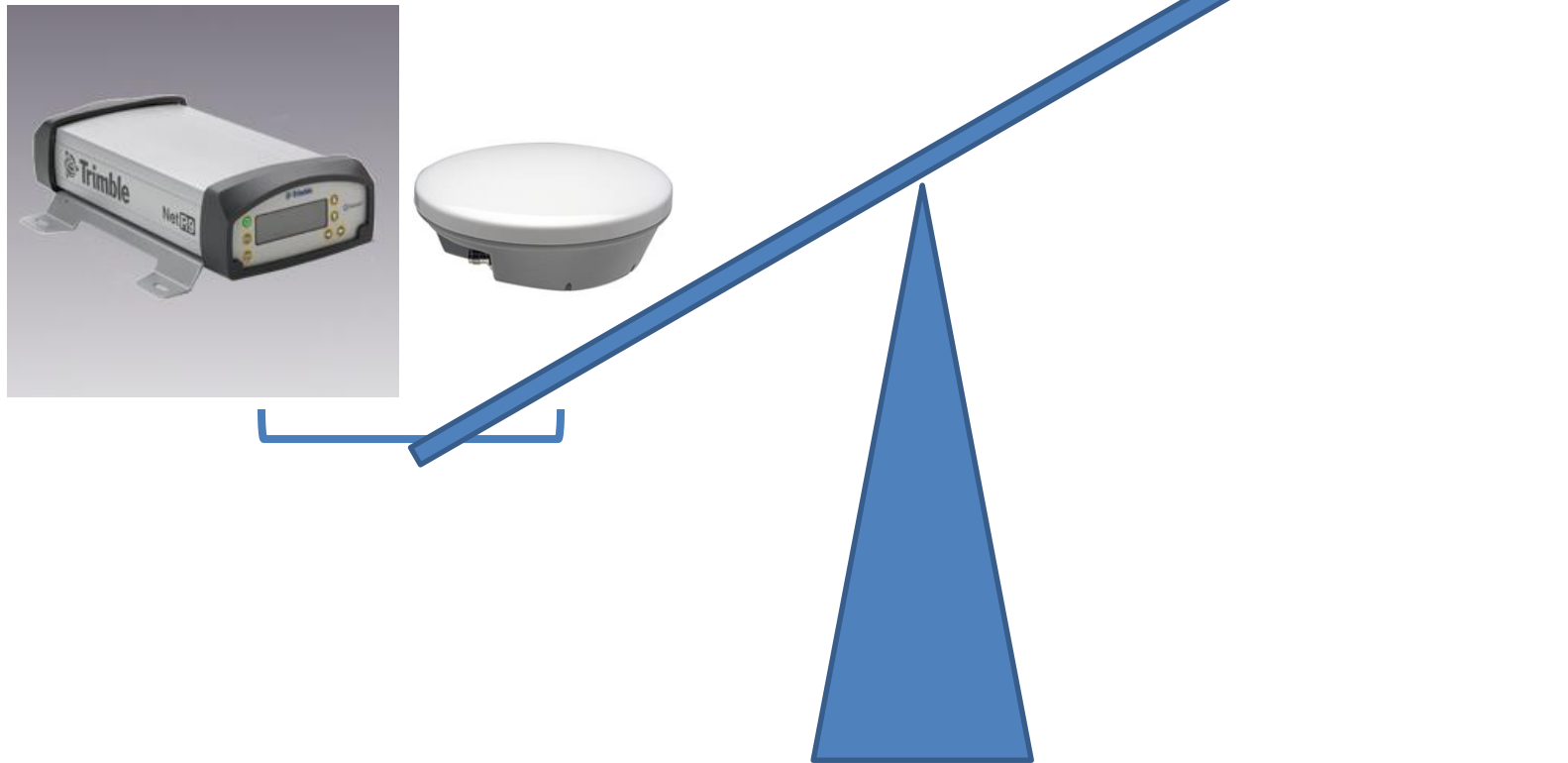
RTK-GNSS+GNSS速度+センサ

フィルタ等を利用しないシンプルなセンサによる補完性能を評価  
(ただしミスFIX検知にセンサ等は利用)

→通常都市部(高層ビルが続く場所を除く)でRTK-GNSSとFOGを利用すると  
水平1mのレファレンスは生成できる。別実験でのカルマンフィルタによる検証  
で水平50cm程度



# 現実としてコストは重要

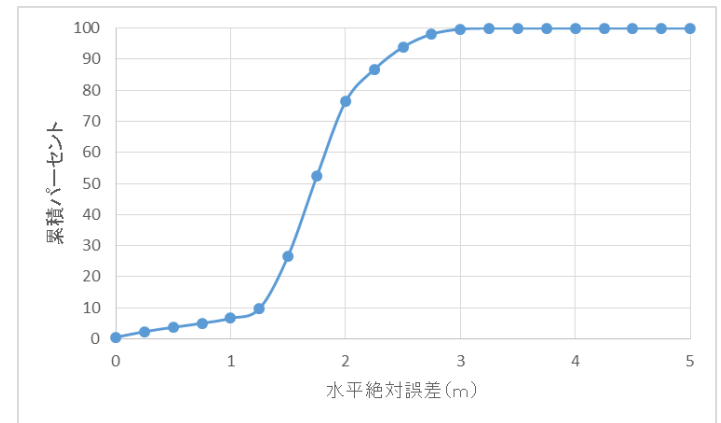
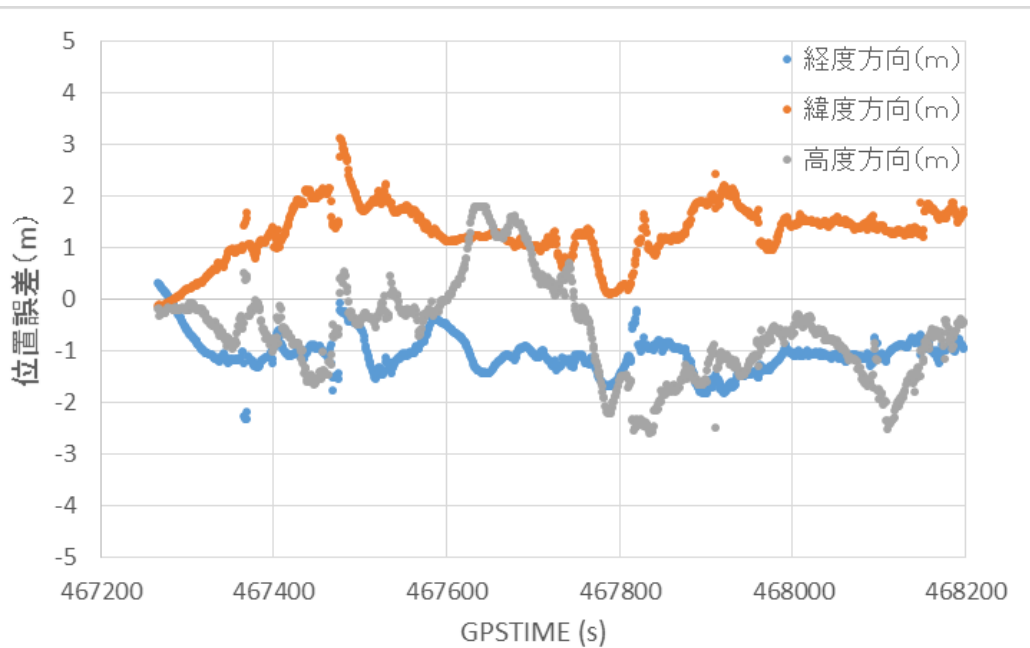


# 別データでの解析

- 2015年5月8日(金)
- 海洋大-月島周回(約16分)→同じ経路
- 測量受信機、1周波低コスト受信機、低コストIMU、車速センサで同時に取得
- レファレンス位置はRTK解より生成(マルチGNSSの効果で、FIX率が90%を越えており容易:数10cmは担保)

# 1周波低コスト受信機の性能

(NMEAの出力結果:1Hz:GPS/QZS/BEI)



最大水平誤差:3.13m

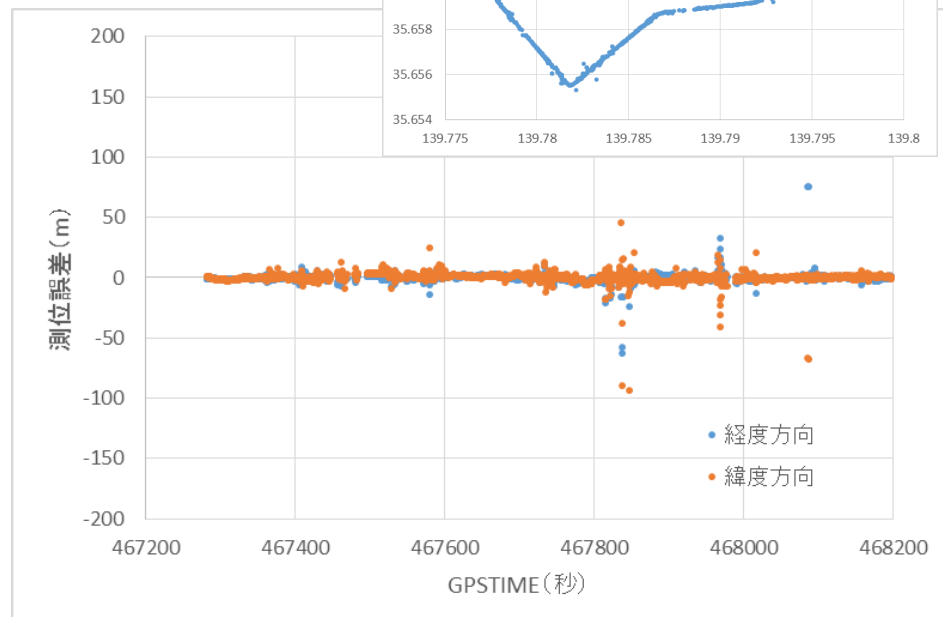
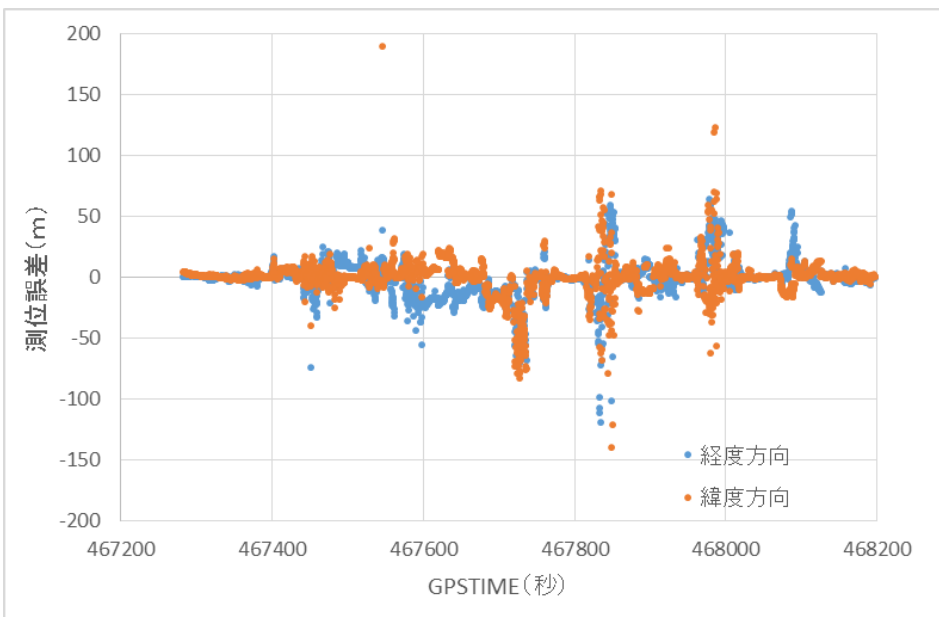
測位率は100%

一応中央区の通常都市部ではあるが、あたかもオープンスカイの単独測位のような測位結果を出力している→独自のフィルタとDR技術によるもの



# 受信機観測データでの結果

## GPS/QZS/BEIのDGNSS(擬似距離のみ利用)



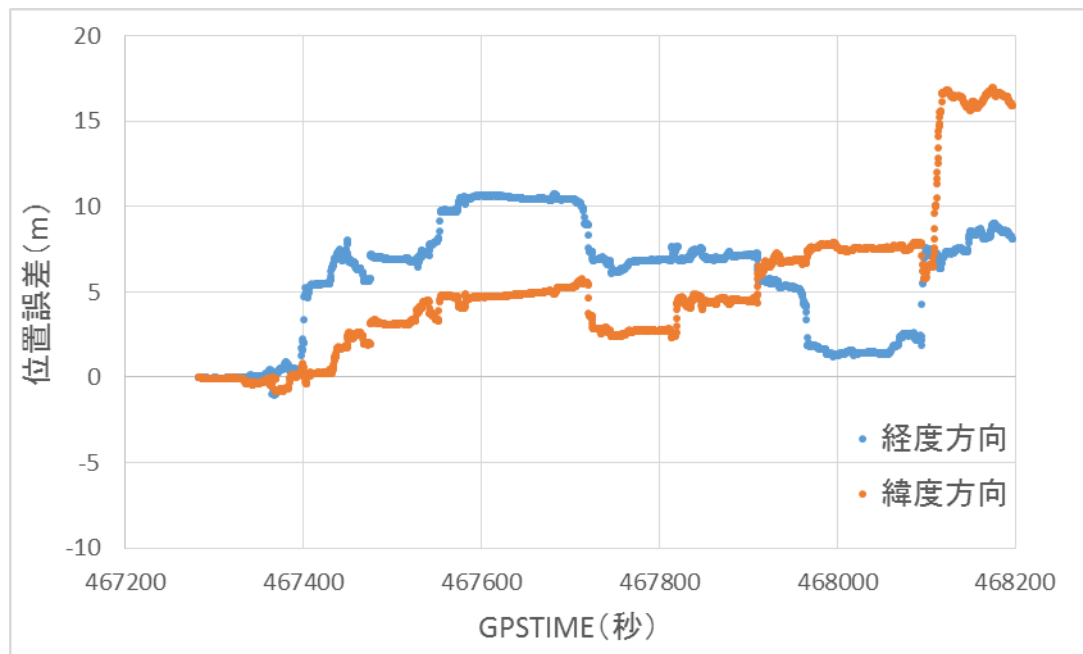
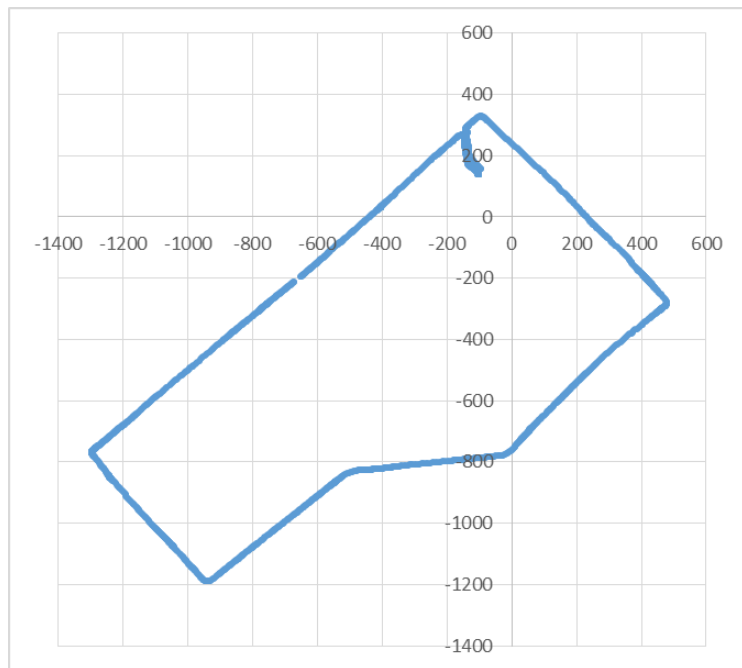
全観測データ利用  
測位率はほぼ100%  
水平標準偏差=20.1m

あるべき信号強度利用(厳しいチェック)  
測位率は約83%  
水平標準偏差=5.4m

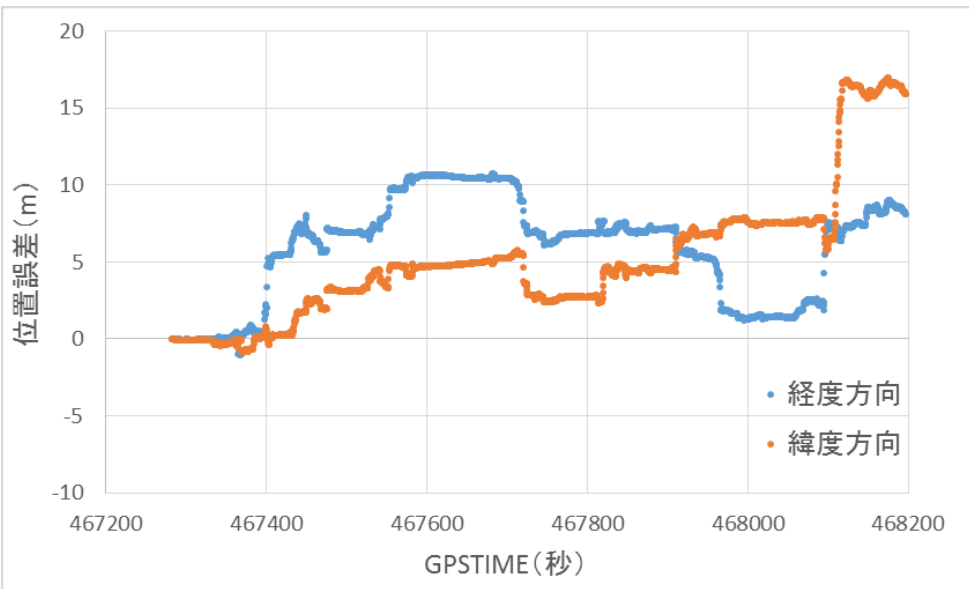
ドップラ周波数による速度情報やジャイロ、車速センサ情報を利用できることを考えると、測位率より絶対精度が極めて重要

# 受信機観測データの速度ベクトル積分結果

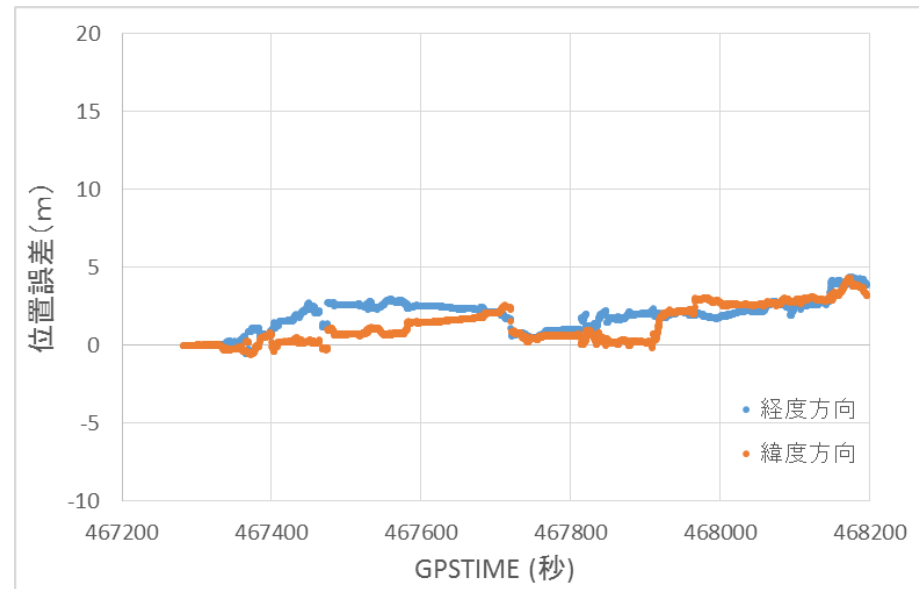
- 最初の位置のみRTK解を与えて、その後ドップラ周波数による速度ベクトルを積分。各エポックで水平位置を評価



# 受信機観測データの速度ベクトル積分結果



前スライドの従来手法



良質な衛星選択を行った場合

明らかにドップラ周波数による速度ベクトルの精度が向上し、その結果積分された位置結果も改善している



# カルマンフィルタ(ルースカップリング)

## 基本システム

$$\text{状態方程式: } \mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{F}\mathbf{x}_k + \mathbf{G}\mathbf{w}_k$$

$$\text{観測方程式: } \mathbf{y}_k = \mathbf{H}\mathbf{x}_k + \mathbf{v}_k$$

$x_k$  : 状態変数

$w_k$  : 状態雑音  $F$  : 状態遷移行列

$y_k$  : 観測値  $G$  : 状態雑音行列

$v_k$  : 観測雑音  $H$  : 観測行列

## 推定パラメータ

二次元平面内を運動する移動体が時刻  $t_k$  において

位置:  $x(k), y(k)$  速度:  $v_x(k), v_y(k)$  加速度:  $a_x(k), a_y(k)$

状態ベクトル:  $\mathbf{x}_k = [x(k), y(k), v_x(k), v_y(k), a_x(k), a_y(k)]^T$

## ニュートンの方程式によって

$$x(k+1) = x(k) + v_x(k)\Delta T + a_x(k)\Delta T^2 / 2.0$$

$$y(k+1) = y(k) + v_y(k)\Delta T + a_y(k)\Delta T^2 / 2.0$$

$$v_x(k+1) = v_x(k) + a_x(k)\Delta T$$

$$v_y(k+1) = v_y(k) + a_y(k)\Delta T$$



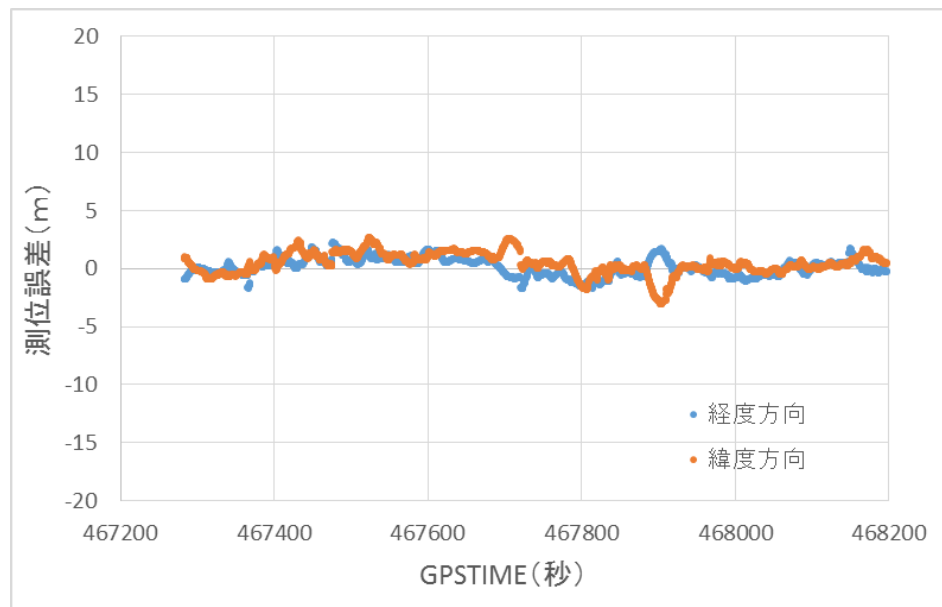
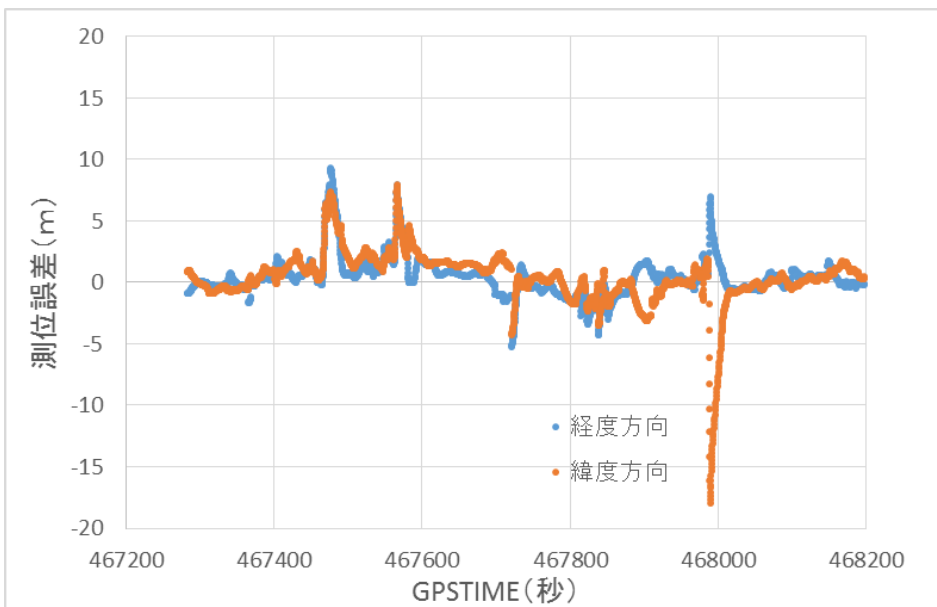
$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \Delta T & 0 & \Delta T^2 / 2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \Delta T & 0 & \Delta T^2 / 2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \Delta T & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \Delta T \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

## 観測量(緯度、経度のみ)

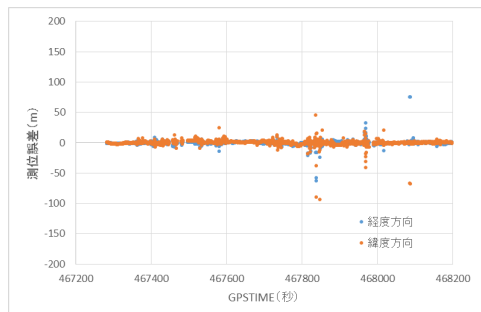
$$\mathbf{y}_k = [x(k), y(k), v_x(k), v_y(k)]^T \Rightarrow \mathbf{H} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

# 統合結果

(位置はDGNSSの結果 速度は前スライドの通り)

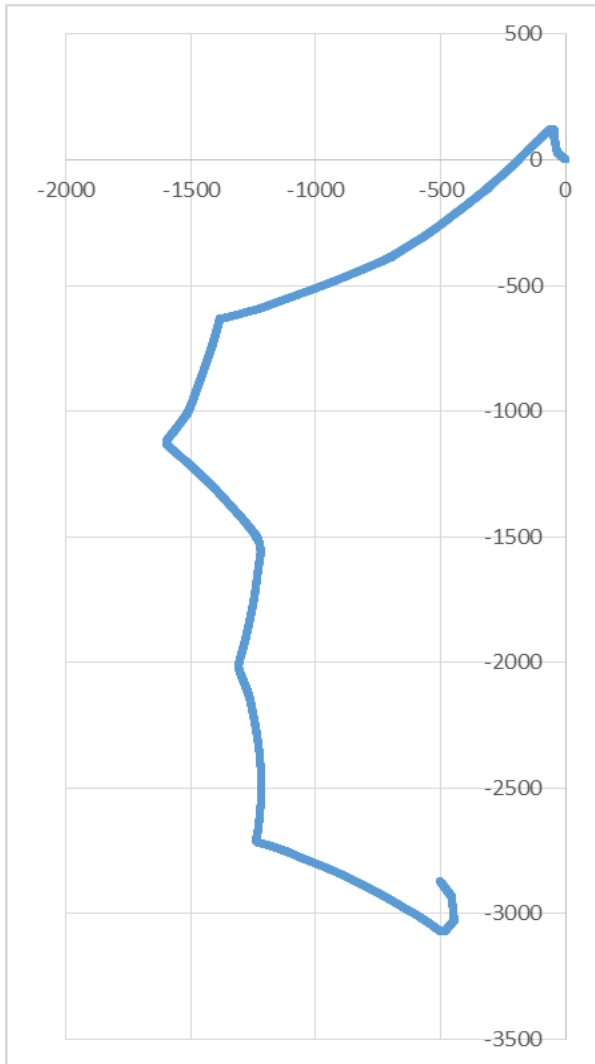


両結果をそのまま統合するとマルチパスによる  
の大きな飛び(以下図)にひっぱられる

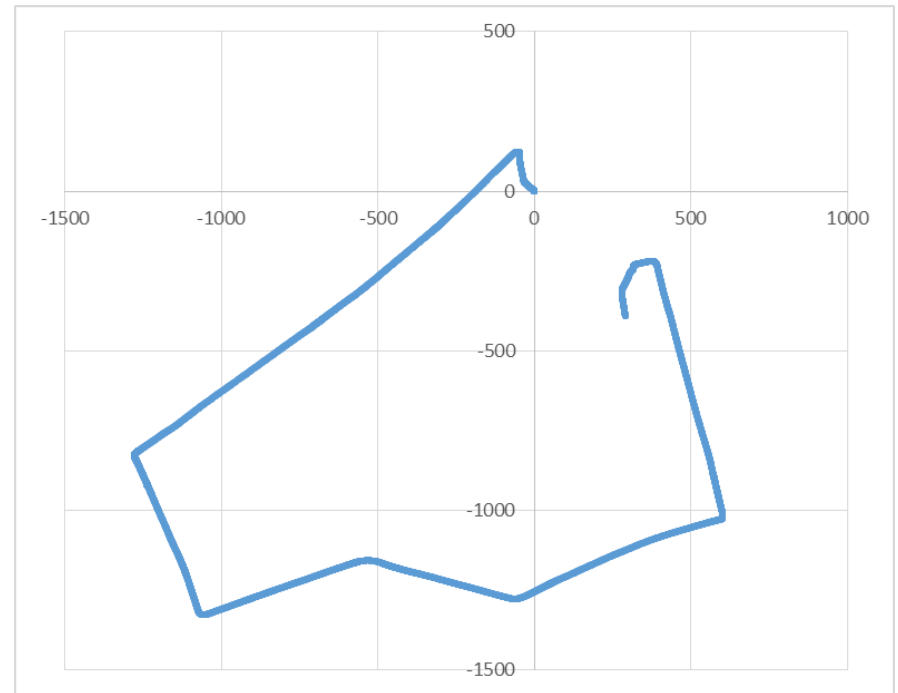


大きな飛びに対処した統合結果  
(フィルタ内での改善)

# 車速センサと低コストジャイロのみ

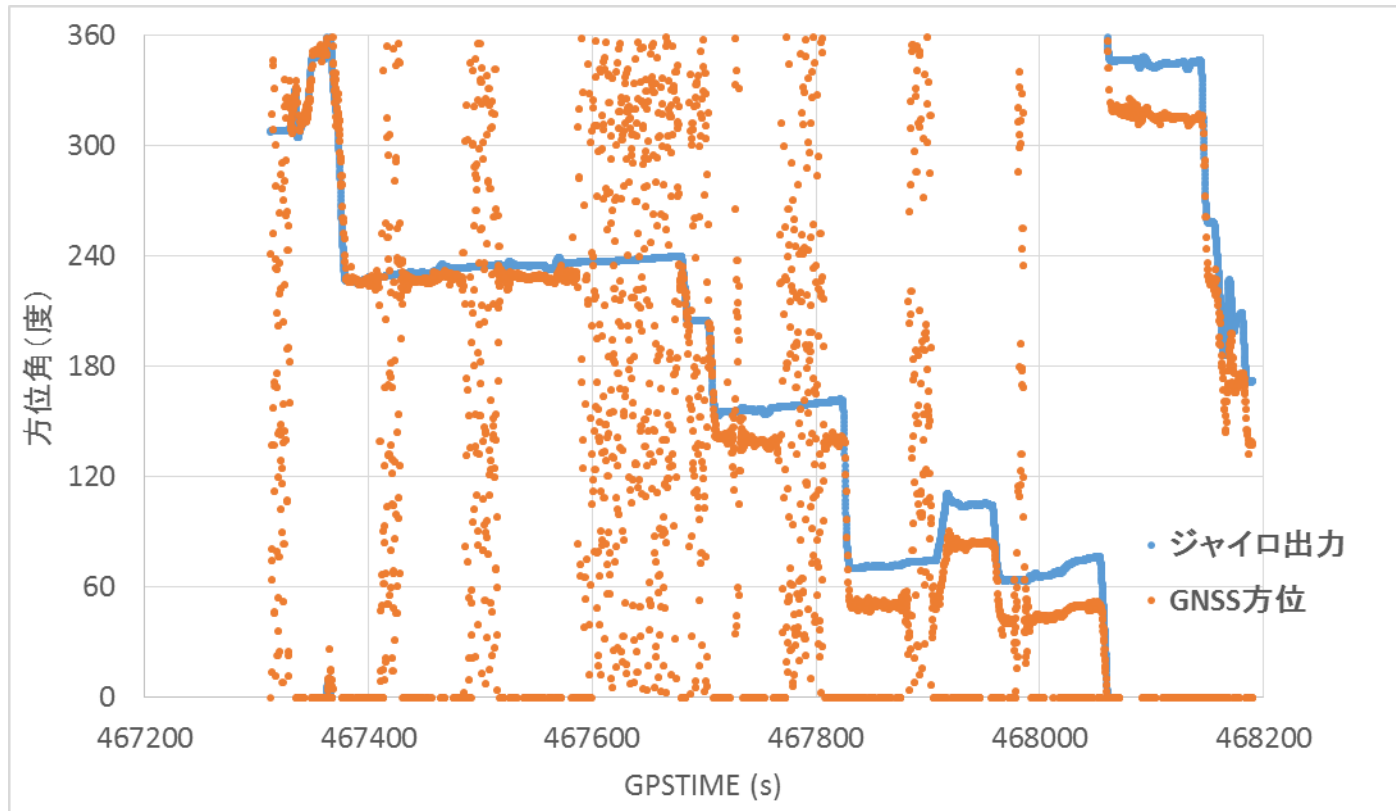


最初の方角→正しい値  
その後→そのまま位置計算



最初の方角→正しい値  
その後→停止時のジャイロオフセット  
修正をしてから位置計算

# GNSS由来の方位データで修正

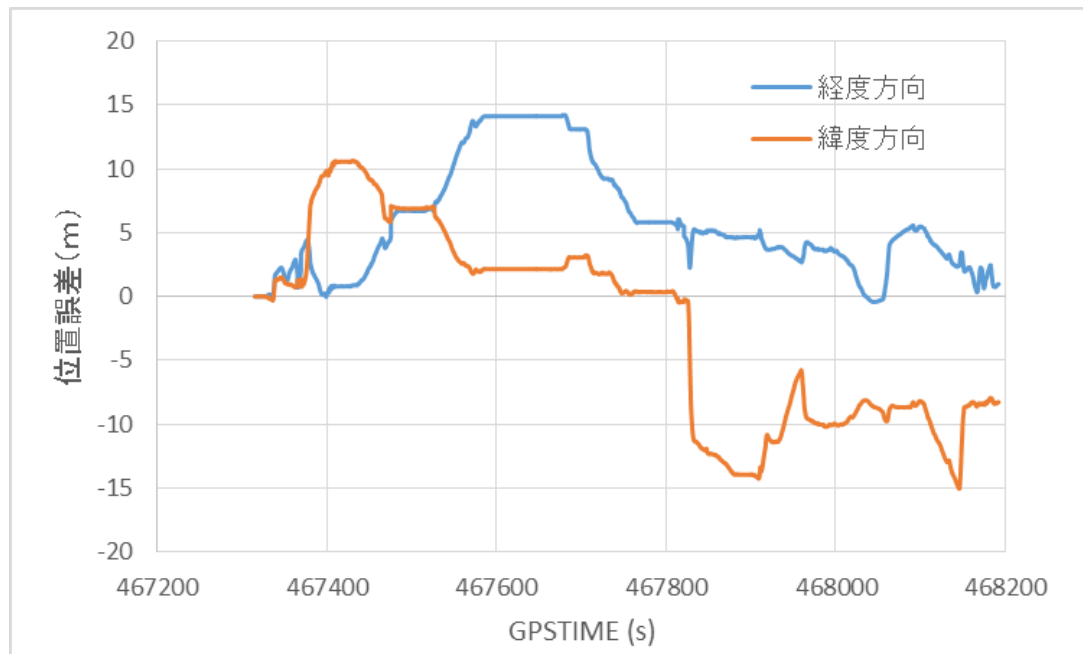
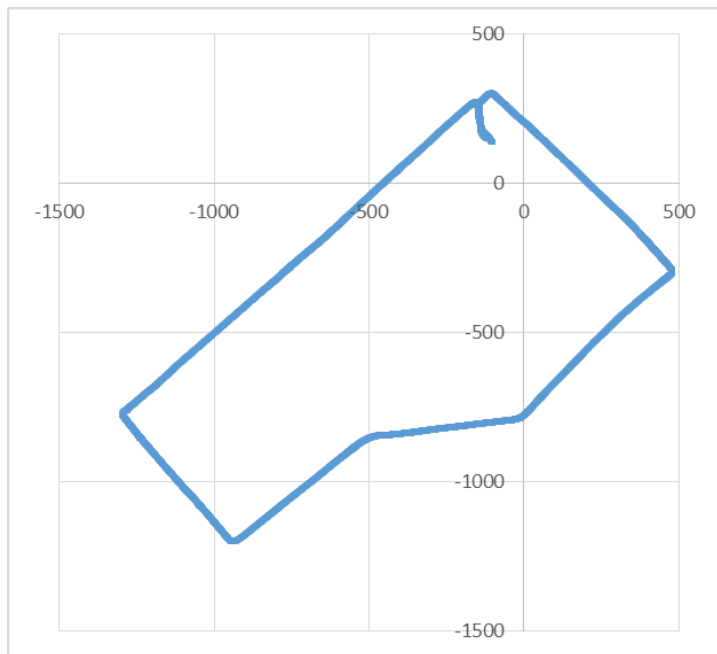


GNSS方位が利用できるのは、ある条件時のみ  
(例えば静止時はGNSSでは方位は出せない)



# 方位を修正した位置結果

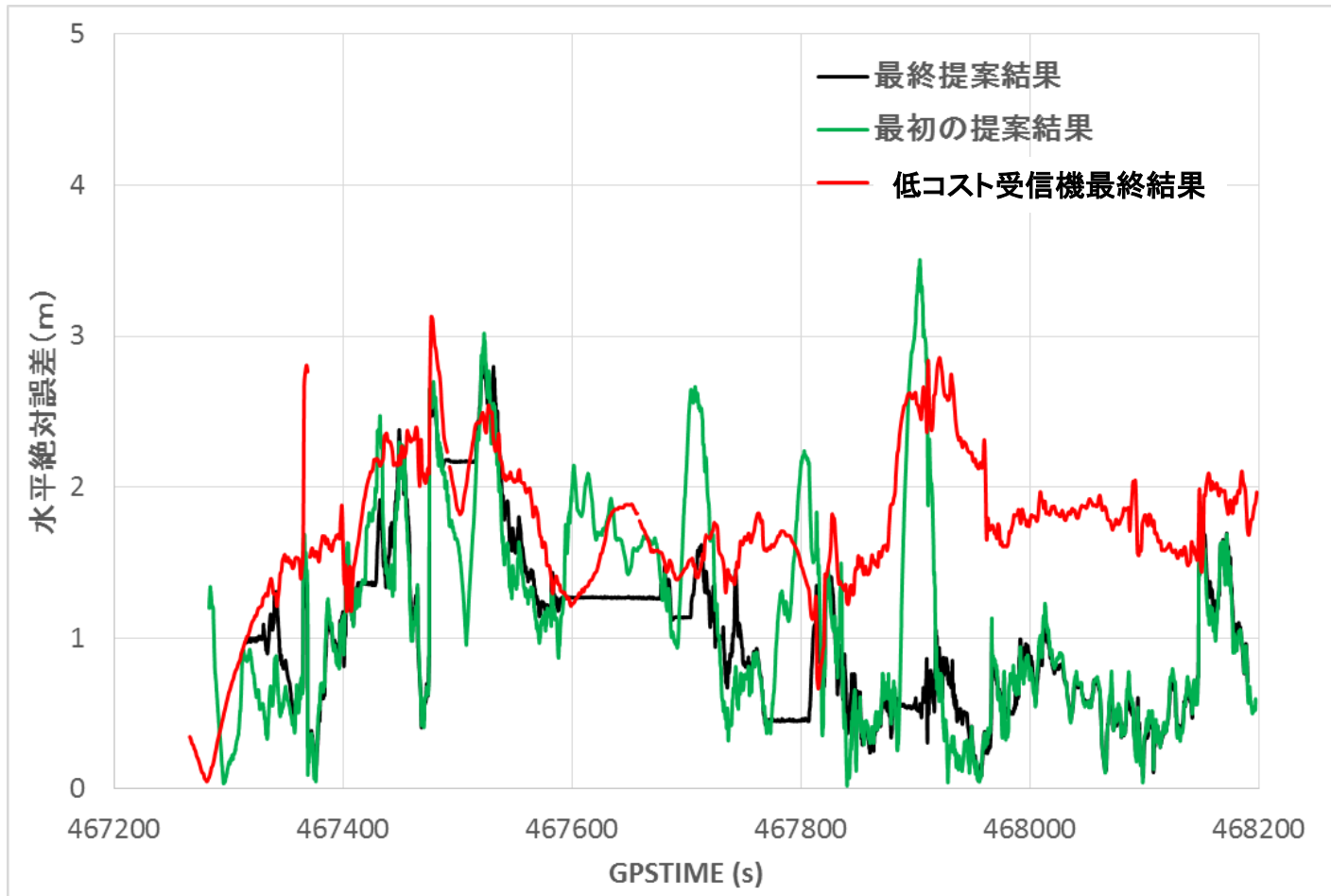
車速センサとジャイロのみ



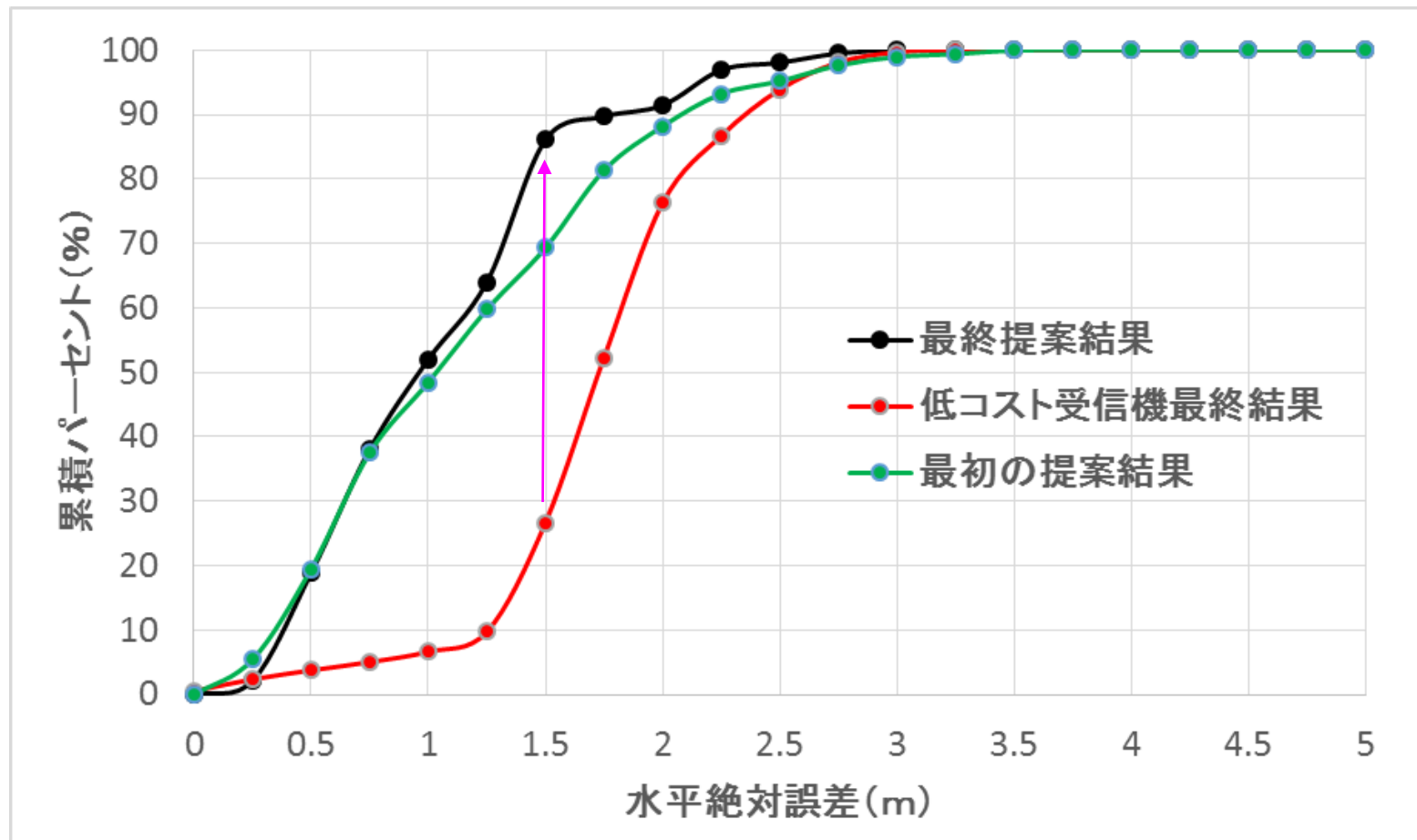
通常の都市部でGNSSが利用できない時間帯が数秒で数回あるような環境では、GNSS由来の速度ベクトル精度が既に良いため、低コストIMUや車速センサの情報による改善効果があまり期待できない(今後さらに調査)  
→超高層ビル街や長い時間の高架下ではもちろん改善する

# 車速データの利用

- 今回ジャイロの利用は行わず車速データまたはGNSSによる速度情報を利用→超低速時に強いマルチパスの影響を受けやすいため、速度情報を利用してフィルタ内を可変に



# 受信機出力結果と2つの提案手法比較



最大水平誤差は 最終→2.8m 最初の提案→3.4m 低コスト受信機最終→3.1m

# まとめと課題

- 測量級受信機とFOGを用いると、通常の都市部環境で数10cm以内の絶対位置レファレンスを生成できることがわかった(GNSSのoutageが2-3分程度未満が望ましい)
- 低コスト1周波受信機でも、GPS/QZS/BEIのようなマルチGNSS利用で、最大誤差を3m以内、1.5m以内を90%弱程度までもっていけることがわかった(数秒の高架下や陸橋ありの通常都市部)
- 他センサとの統合アルゴリズムの提案(今回ジャイロはあえて利用せず)
- 通常都市部で最大誤差をさらに低減させることと、高層ビル街で同手法が同様の効果を発揮できるかの検証→さらに搬送波位相ベースのRTK等がどの程度利用できるか検証



# ご清聴ありがとうございました

nkubo@kaiyodai.ac.jp

謝辞:

本実験を行うにあたり, FOGとスピードセンサのデータ取得に際して  
早稲田大学の鈴木太郎助教に大変お世話になりました. ここに感謝の意を表します.