



# GNSSの概要と今後の展望

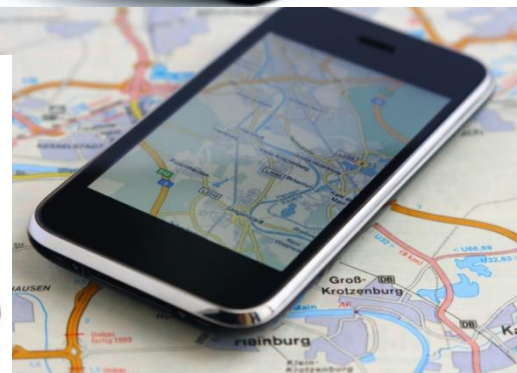
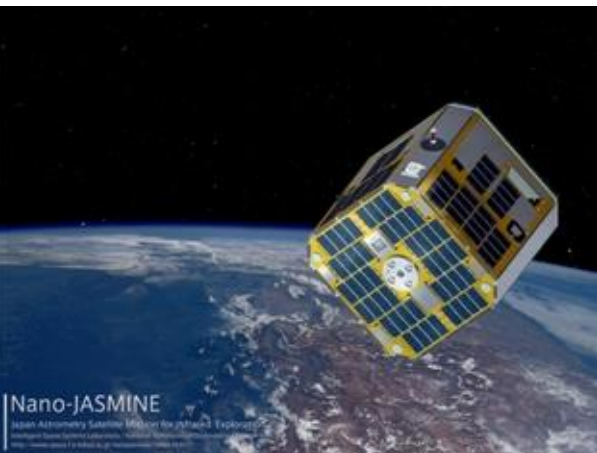
GNSS測位セミナー 未来の位置がわかる

東京海洋大学 海洋工学系  
久保信明

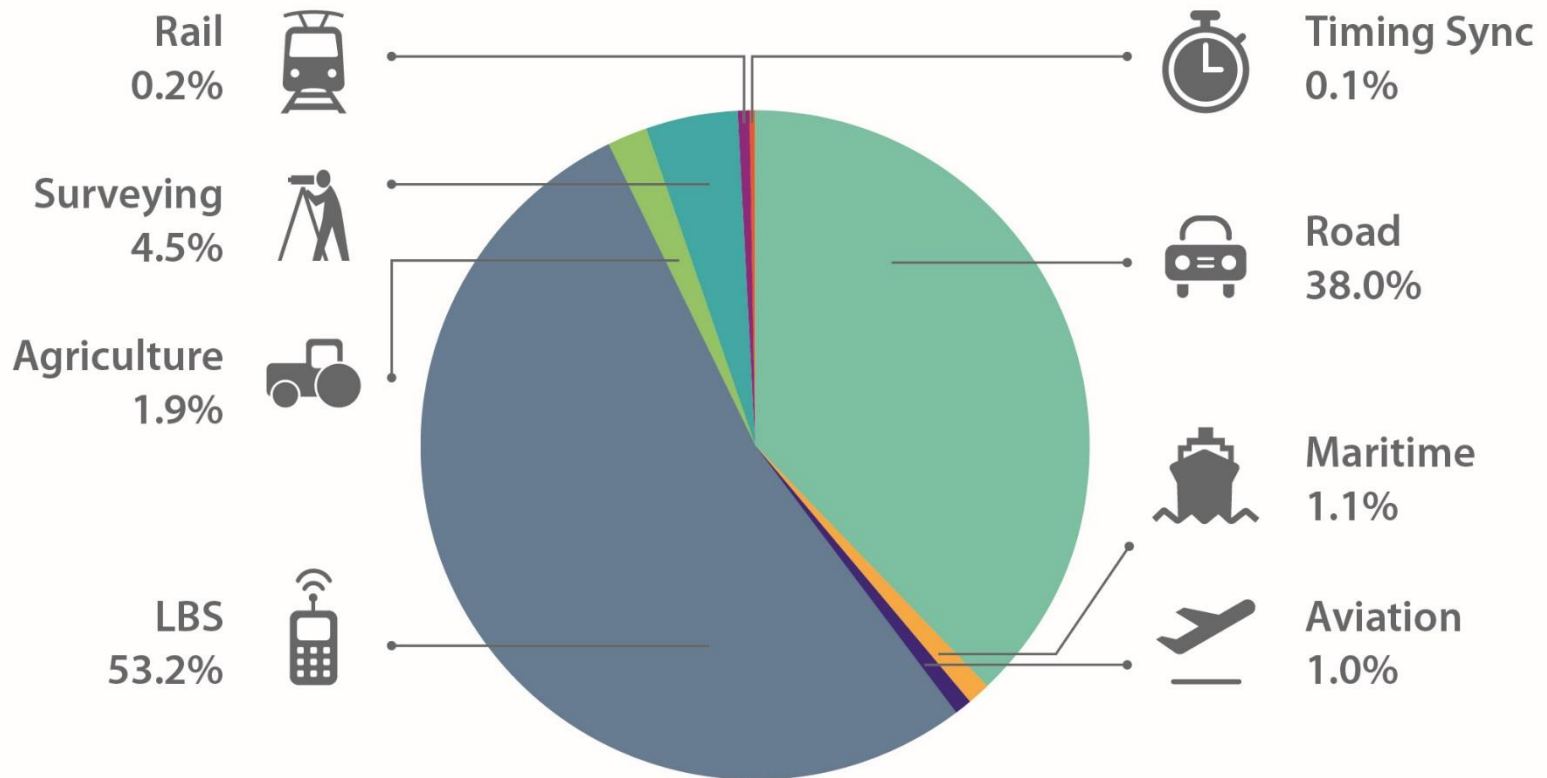
# 目次

- マルチGNSS測位の現状(40分)
  - 低コスト受信機と測量用受信機の観点
- 衛星測位でのシミュレーションとは(25分)
- 3D地図を利用したシミュレーション(25分)

# 衛星測位の広がり



# 2013-2023の累積収入割合予想 (GNSSマーケット)



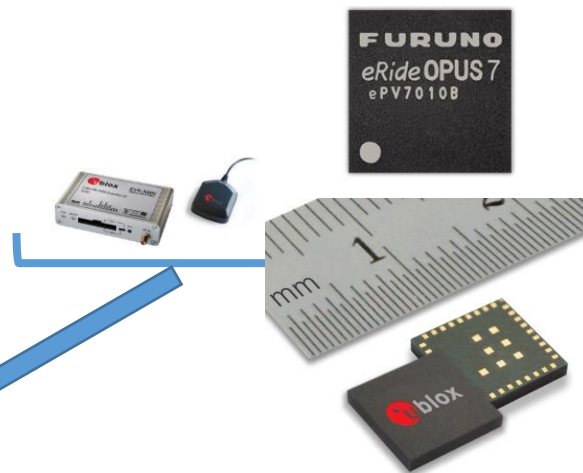
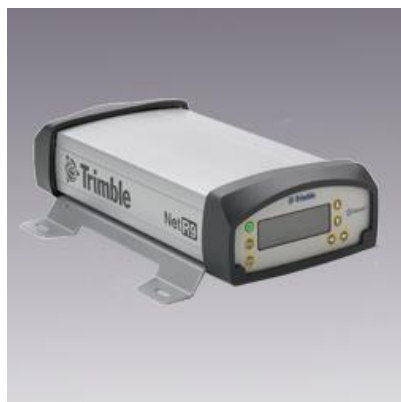
European GNSS Agencyによる  
(GPS WORLD April 2015)

# 各グループでの収入Top10 (GNSSマーケット)

Component manufacturers		System integrators		Value-added service providers	
Qualcomm	USA	Toyota	JP	Google	USA
Trimble Navigation	USA	Garmin	USA	Pioneer	JP
Broadcom	USA	General Motors	USA	Denso	JP
CSR	UK	Volkswagen	DE	Clarion	JP
Laird	UK	Ford	USA	Here Global	NL
Furuno Electric	JP	Apple	USA	Tomtom	NL
Rockwell Collins	USA	Samsung Electronics	KR	Microsoft	USA
Texas Instruments	USA	Nissan	JP	Jeppesen Sanderson	USA
Cobham	UK	China First Automob.	CN	Trimble Navigation	USA
Hexagon	SE	Honda	JP	Telenav	USA

European GNSS Agencyによる  
(GPS WORLD April 2015)

# 現実としてコストは重要



市販製品の99%以上は  
低コストGNSSチップ

測量受信機と比較して  
極めて低コスト

測量受信機ユーザは現在  
でもまれ→個人で購入して  
いたらすごい！

# 海外メーカーのWEBサイト

The screenshot shows the Trimble website's 'Products by Industry' page. The URL is [http://www.trimble.com/Our\\_Product/](http://www.trimble.com/Our_Product/). The page features the Trimble logo with the tagline 'Transforming the way the world works'. Navigation links include Dealer Locator, Service Provider Locator, Trimble Worldwide, and Partners. A search bar is present. The main navigation menu includes Industries, Products, Investors, Support & Training, Careers, and About. The breadcrumb trail is 'Home > Product Types'. The 'Products by Industry' section is divided into three columns:

- Agriculture**
  - Connected Farm
    - Connected Farm
  - Guidance & Steering
    - Displays
    - Steering Systems
    - Correction Services
    - GPS/GNSS Systems
- Construction & Operations**
  - Alignment Planning
    - Road Alignments
    - Freight & Passenger Rail Alignments
    - High Speed Rail Alignments
  - Building Design, Construction & Operation
    - Architecture
    - Structures
    - MEP Trades
    - General Contractors
- Geospatial**
  - Engineering & Survey
    - 2D Laser Scanning

The screenshot shows the u-blox website's 'Wireless & positioning solutions' page. The URL is <http://www.u-blox.com/en/>. The page features the u-blox logo and navigation links for Products, Support, Technology, Markets, Company, and Investor Relations. The main content area is titled 'Wireless & positioning solutions' and includes the text 'Modules, chips, and software for industrial, automotive and consumer devices' and 'locate, communicate, accelerate'. A banner image shows two cyclists on a mountain trail. Below the main content, there is a 'Hot News' section with links to 'u-blox' ODIN-V2 awarded for Internet of Things innovation', 'u-blox joins M2M Alliance', 'u-blox joins CAR 2 CAR Communication Consortium', and 'ALL PRESS RELEASES'. At the bottom, there are three columns: 'Internet of Things that Really Matter', 'Our products', and 'Quick links'.



# 国内メーカーのWEBサイト

**FURUNO**

お問合せ サイトマップ ENGLISH 中

ホーム 企業情報 研究開発 製品情報 IR情報 採用情報 ニュース

安全な航行のために  
For Deepsea Vessels

ニュース

- 2015年5月22日 「第64回定時株主総会招集ご通知」等の一部修正について
- 2015年5月22日 「平成27年2月期決算短信」の一部訂正について
- 2015年5月19日 今治海事展「リシップ 2015」に出展
- 2015年4月30日 「第64回定時株主総会招集ご通知」を掲載しました
- 2015年4月29日 アジア最大規模の医療機器展示会「CMEF Spring 2015」に出展

トピックス

- 2015年4月20日 「フルノグループの紛争鉱物への対応」を助しました
- 2015年4月10日 兵庫県の海外向けPR動画で当社が紹介されました
- 2015年3月1日 2016年新卒採用エントリーを開設しました

重要なお知らせ

**FURUNO DIGEST**  
フルノダイジェスト  
事業・技術・歴史・未来

フルノのテクノロジー  
技術紹介

Environmental Activities  
環境・社会貢献活動

類似品に

**JRC** 日本無線株式会社

サイト内検索 English

ホーム 製品情報 IR情報 企業情報 採用情報 ニュース お問い合わせ

製品情報

製品情報 文字サイズ 小 中 大

Marine	船用電子機器	無線通信	航行支援	漁労支援
Marine	海洋版 GIS	先端ナビゲートシステム		
Solution	官公庁向けソリューション	無線ソリューション	放送機器	
Land	音響システム (議会・会議・同時通訳)		シミュレータ (モーションベース)	
Land	業務用無線機	ワイヤレス IP ネットワーク	無線 LAN	
	GPS 受信機	非破壊探査装置	通信モジュール	
	ITS	SAW デバイス	移動体通信機器用測定器	

比較して頂くとわかるように、GPS/GNSSが会社のメインプロダクトかそうでないかという違いが国外と国内で見られる。またNavigationは歴史的にみるとMarineからきている

# 自律的な移動プラットフォーム



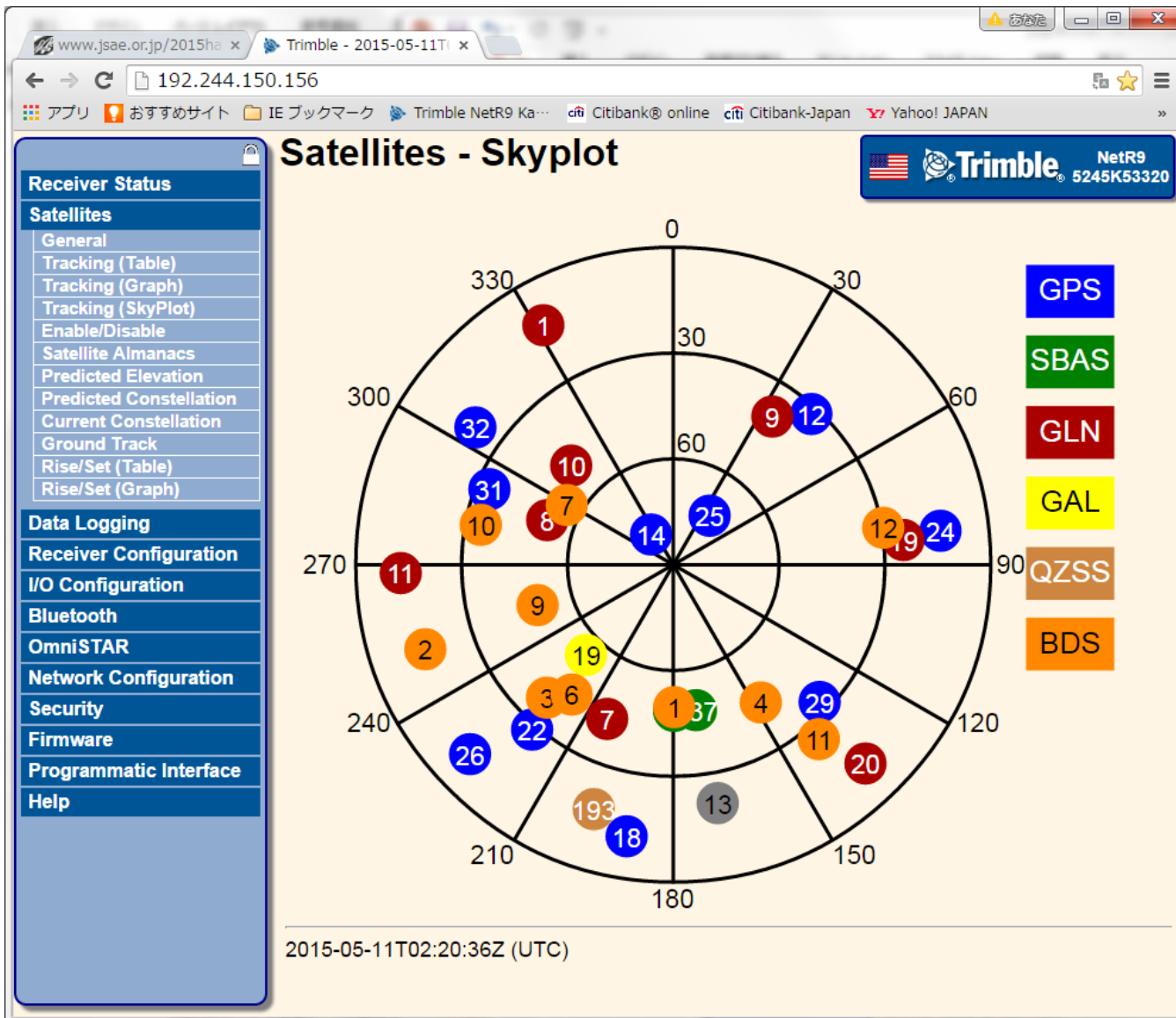
自動車の場合、どこまでいっても独立センサが重要  
GNSSがどのように貢献できるかがポイント

# マルチGNSS測位の現状

-低コスト受信機と測量用受信機の観点-

# なぜマルチがGNSSの前につくのか

## 海洋大研究室屋上設置の基準局



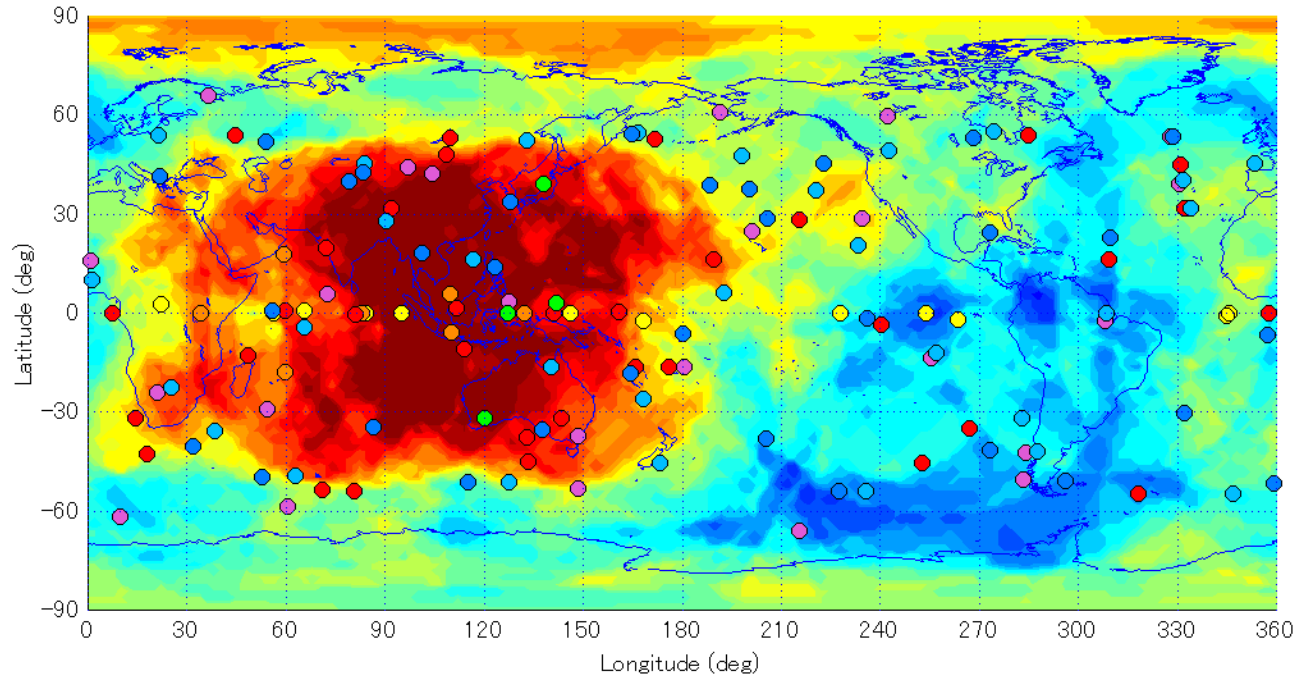
**GPS : 31**  
**GLO : 24**  
**BEI : 14+1**  
**GAL : 5**  
**QZS : 1**



# New GNSS Era : many more satellites

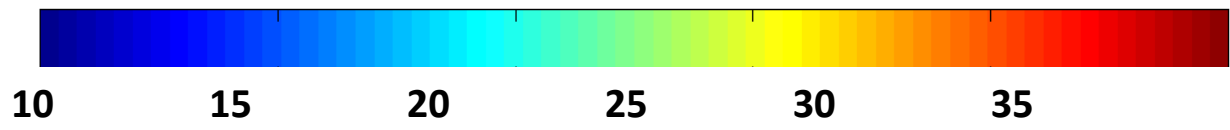
-アジアの時代-

Visible satellite number (mask angle 30 degrees) 24 hours Disp.



2020:

- GPS(32)+
- Glonass(24)+
- Galileo(30)+
- BeiDou(35)+
- QZSS(4)+
- IRNSS(7)+
- SBAS(13)



これもシミュレーションの1つのアウトプットで有用

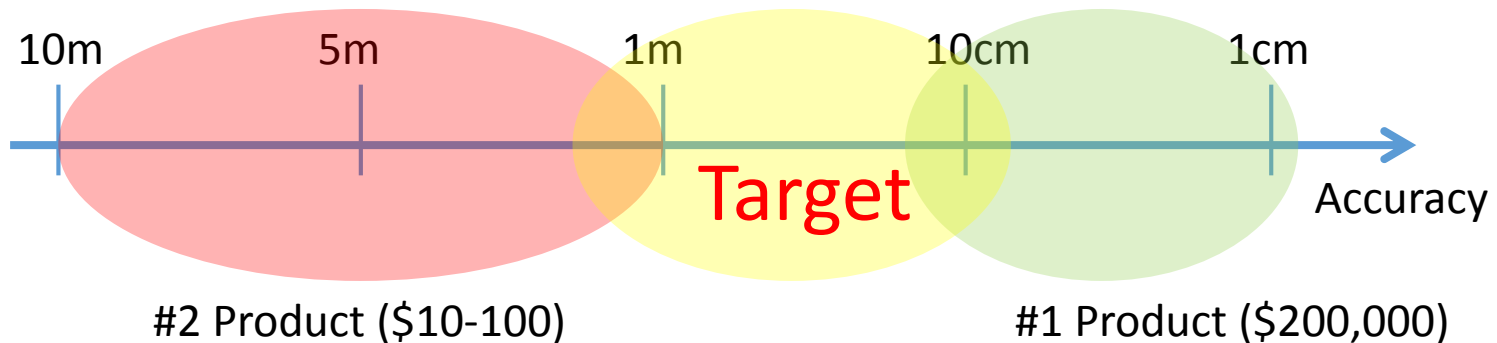
# 移動体測位現状

- 測量用GNSS + Speed sensor + IMU

Reliable RTK still requires dual-frequency

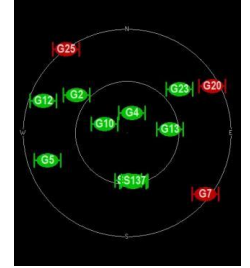
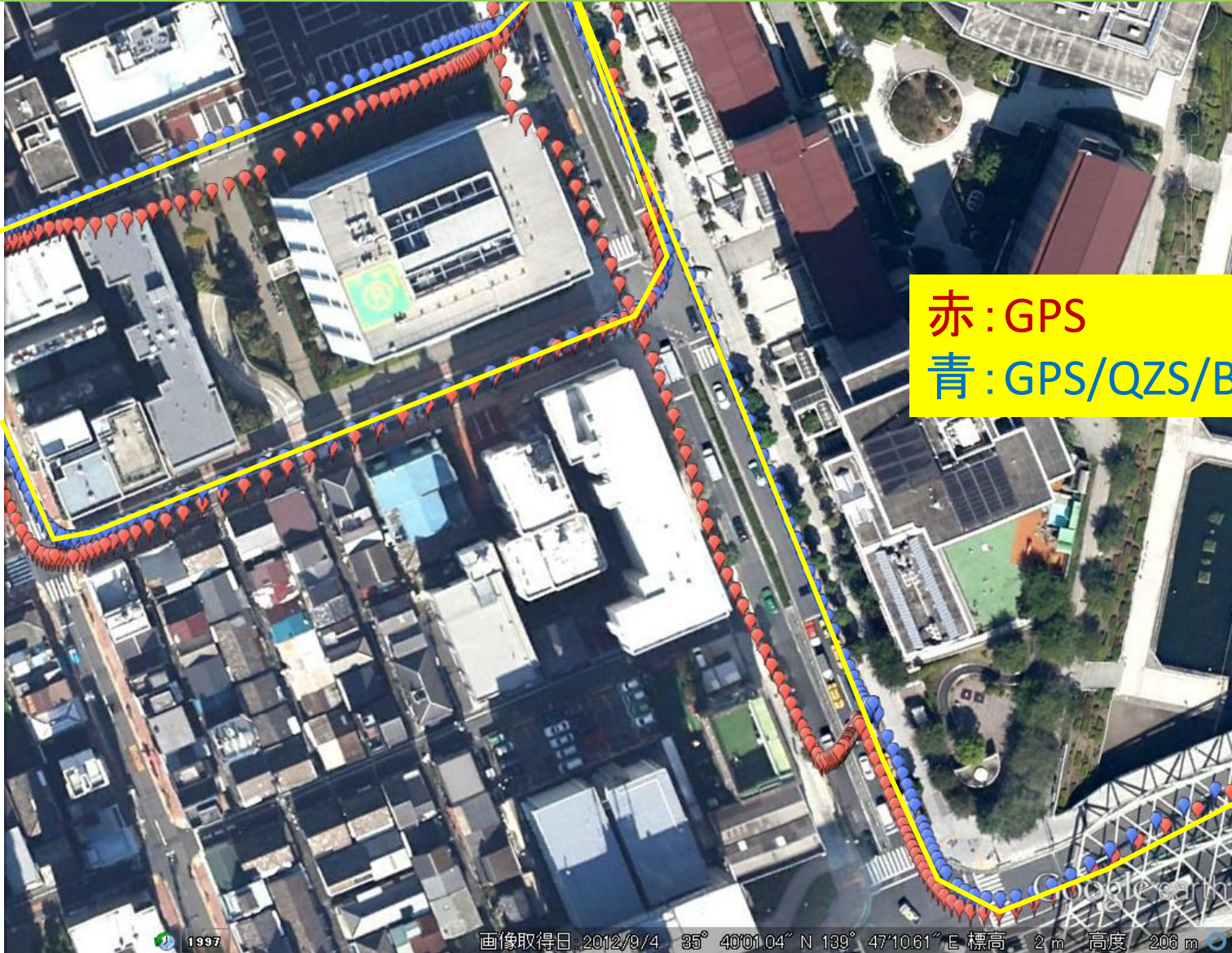
Low cost

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

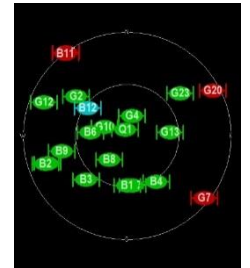


GNSSに求められる役割→長いトンネル及び高架下を除く場所での位置決定  
自動車はGNSSより独立したセンサが重要→自動車に限らない移動体への応用

# 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



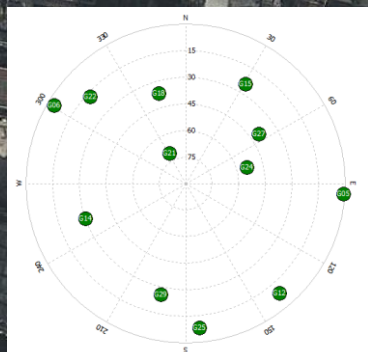
赤 : GPS  
青 : GPS/QZS/BeiDou



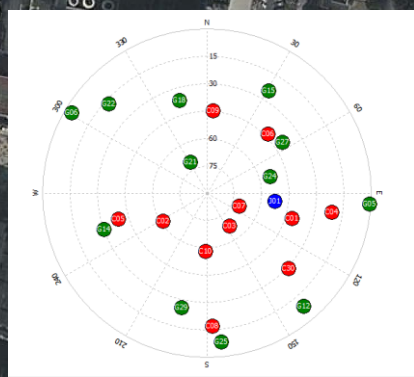
# コンシューマタイプ受信機での性能評価 1周波 GPS/QZS/BeiDou

## Bangkok Downtown

Under elevated train



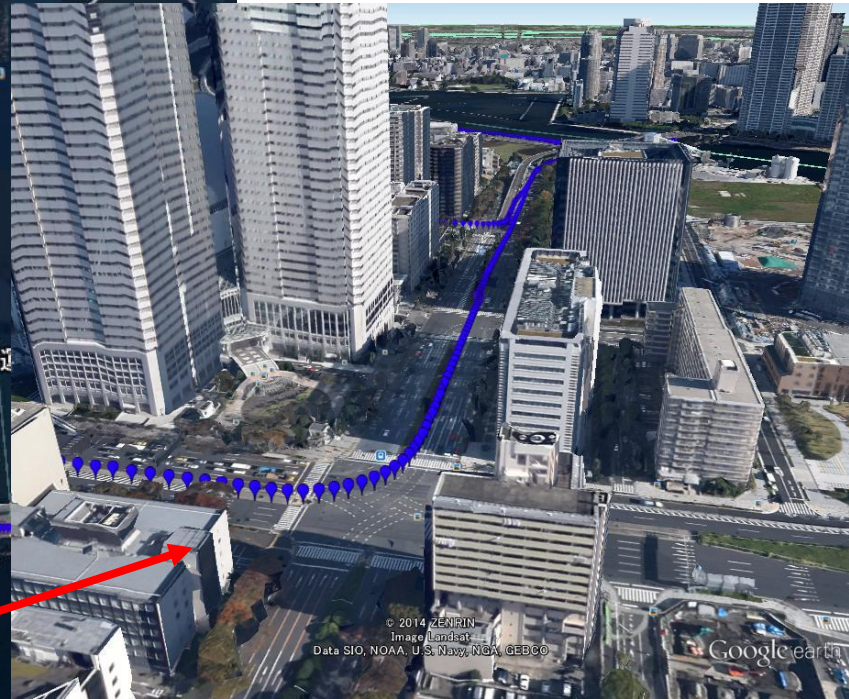
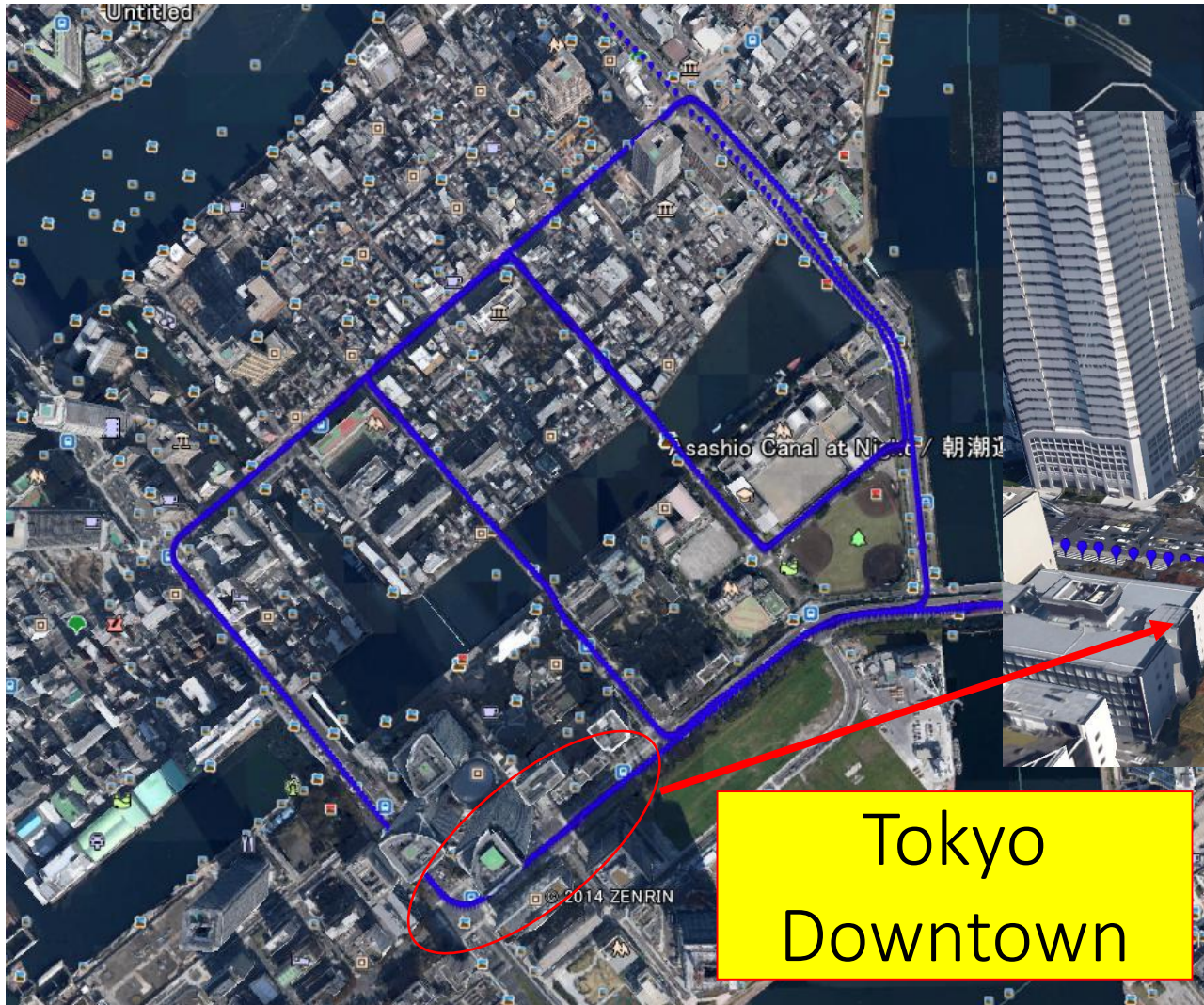
- GPS
- GPS/QZS/BeiDou



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？



# 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



# Multi-GNSS RTKのテスト (CORSデータ利用)

Test	Schedule
1 <sup>st</sup>	2014/8/13 13:07–13:32
2 <sup>nd</sup>	2014/8/13 17:26–17:52
3 <sup>rd</sup>	2014/8/13 22:26–22:50
4 <sup>th</sup>	2014/8/14 8:36–9:02
5 <sup>th</sup>	2014/8/14 12:07–12:35

\* GPS/QZS/GLONASS/GALILEO/BeiDou are entirely used in this test

\* Trimble SPS855 receiver was used

\* RTK : Trimble and Laboratory engine

# Multi-GNSS RTKの結果

## Multi-GNSS RTK (Trimble engine)

	Average NUS	Fix rate
Test 1	12.3	58.7%
Test 2	12.3	75.4%
Test 3	13.6	65.5%
Test 4	12.4	60.0%
Test 5	14.2	70.5%

## GPS VS. Multi-GNSS RTK (Trimble engine)

Test 5	Average NUS	Fix rate
GPS	5.8	26.8%
Multi-GNSS	14.2	70.5%

## FIX rate comparison between GNSS combinations (Laboratory engine)

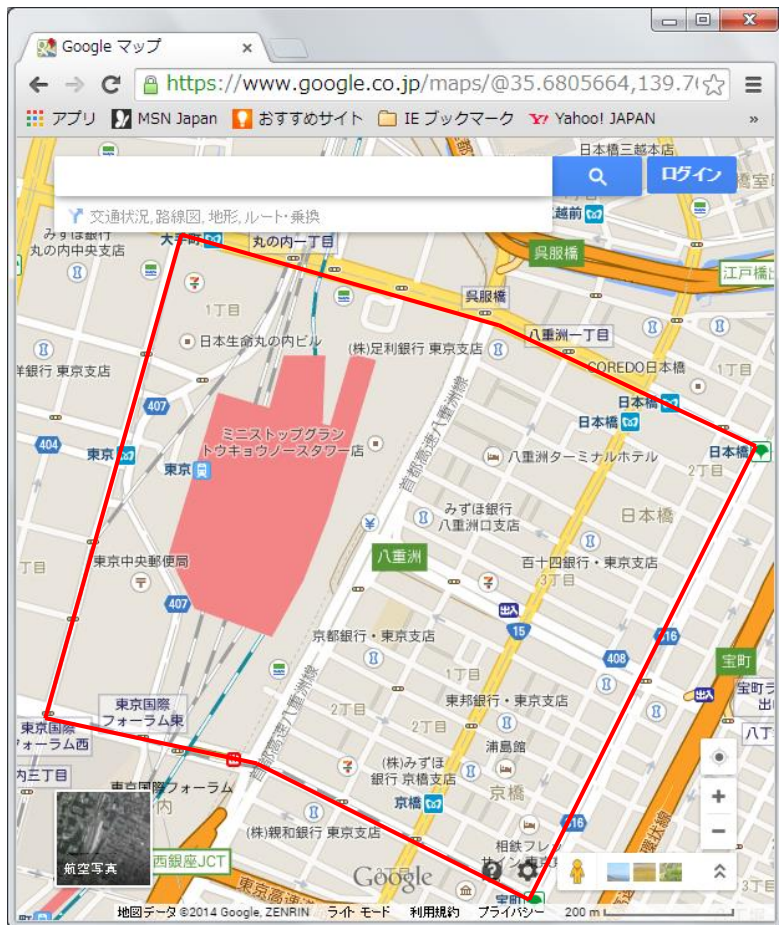
Test 3	G	GJ	GC	GR	GJC	GJCR
RTK FIX rate	48.2%	58.2%	55.5%	55.4%	64.7%	65.9%
Velocity output	67.0%	80.3%	86.5%	82.4%	91.5%	94.7%

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

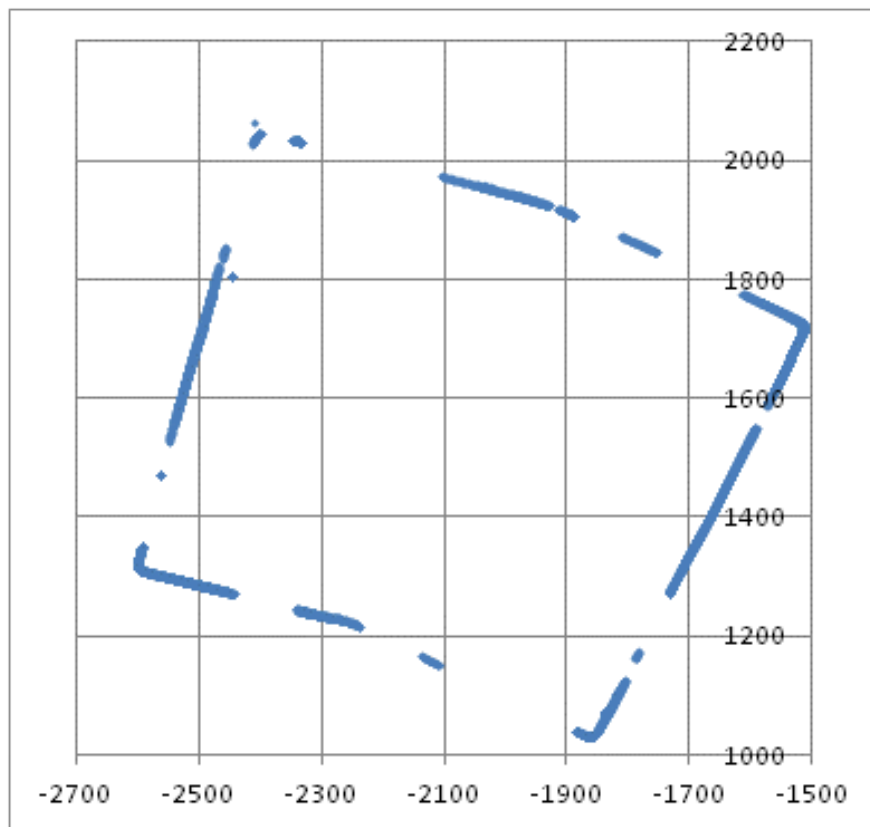
The reason for small contribution of BeiDou/GLONASS to RTK was just due to **the shortage of high elevation** those satellites

# 丸の内周辺のみのRTK

2014年10月26日13時10分-14時40分 5周回 昼食停止時間除く



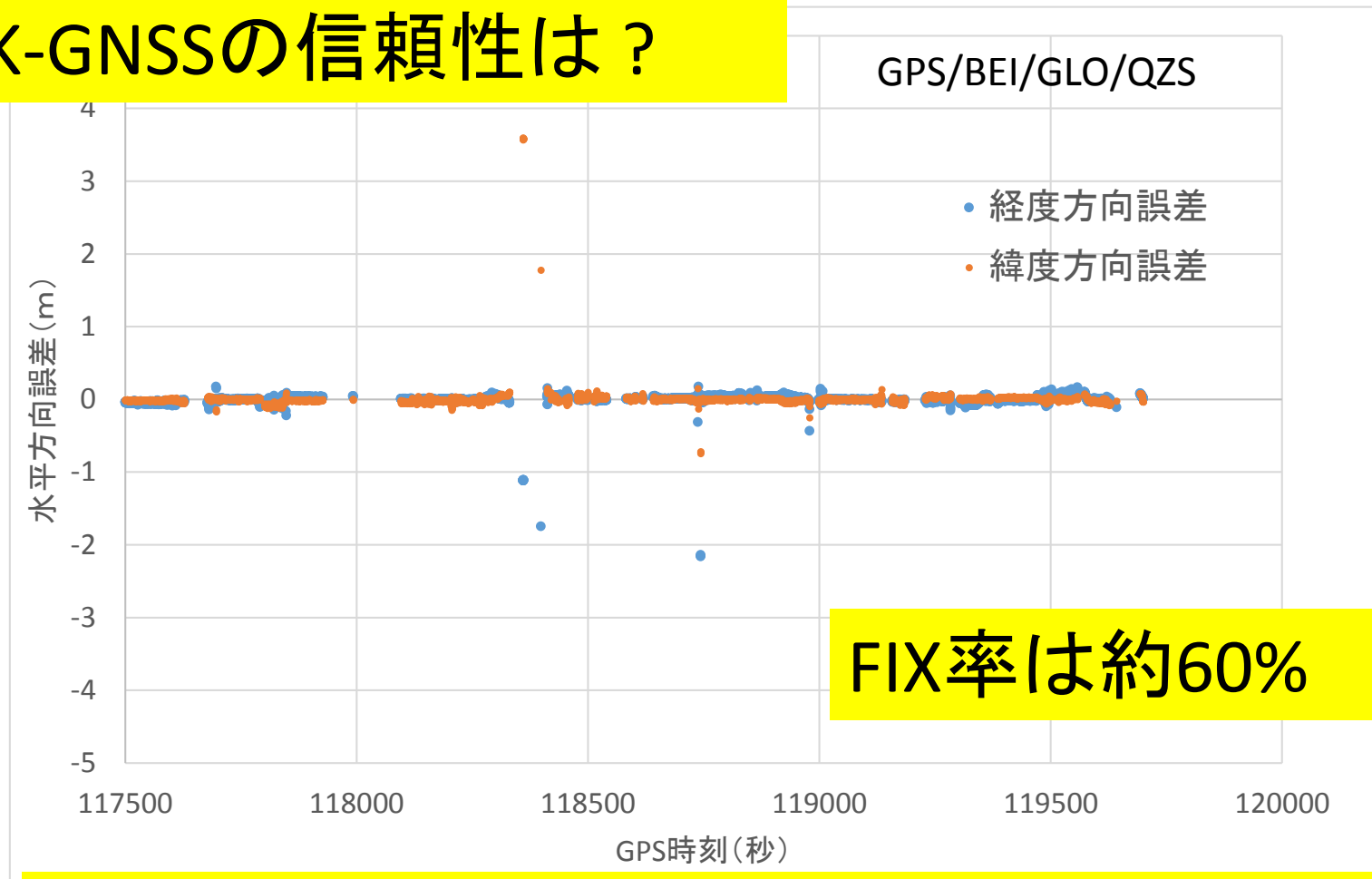
**FIX率は41.2%**



**5周回分の水平位置**

# RTK-GNSSのレファレンス解との誤差 (DenseUrbanでの移動体)

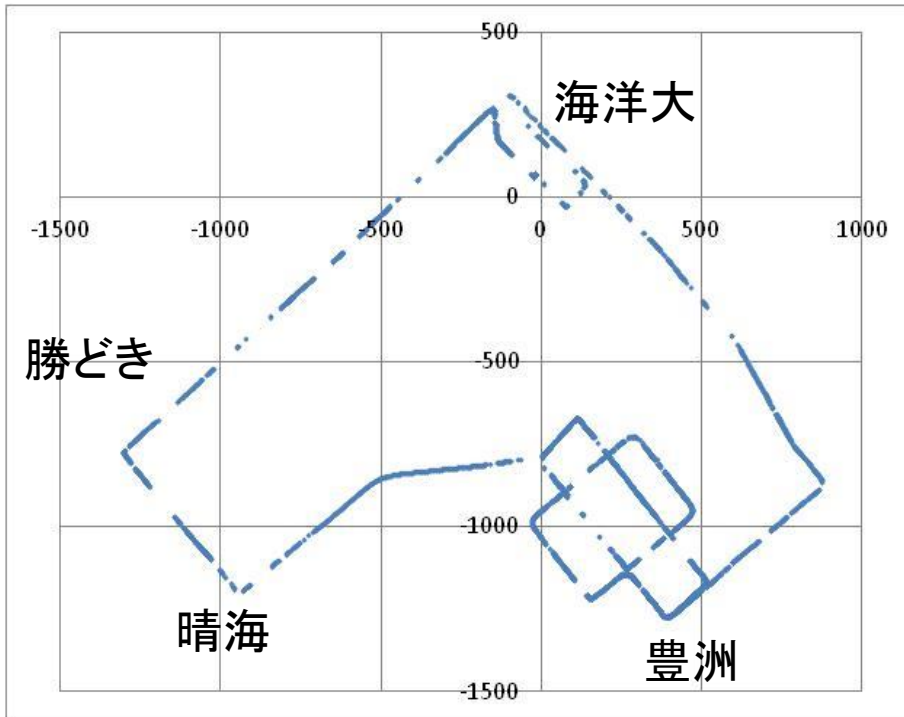
## RTK-GNSSの信頼性は？



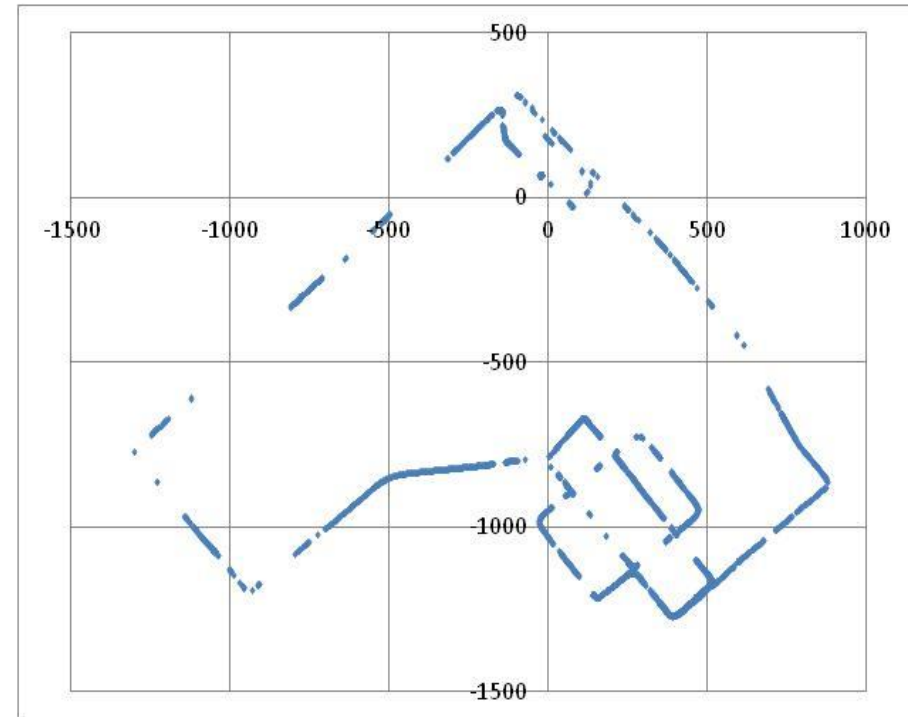
水平50cm以内は99.88% 水平20cm以内でも99.82%

# 高仰角に滞在することのメリット

開始直後はPRN193とPRN2が天頂付近→ただし1時間後にはPRN2は63度へ



GPS+QZS 65.0%のFIX

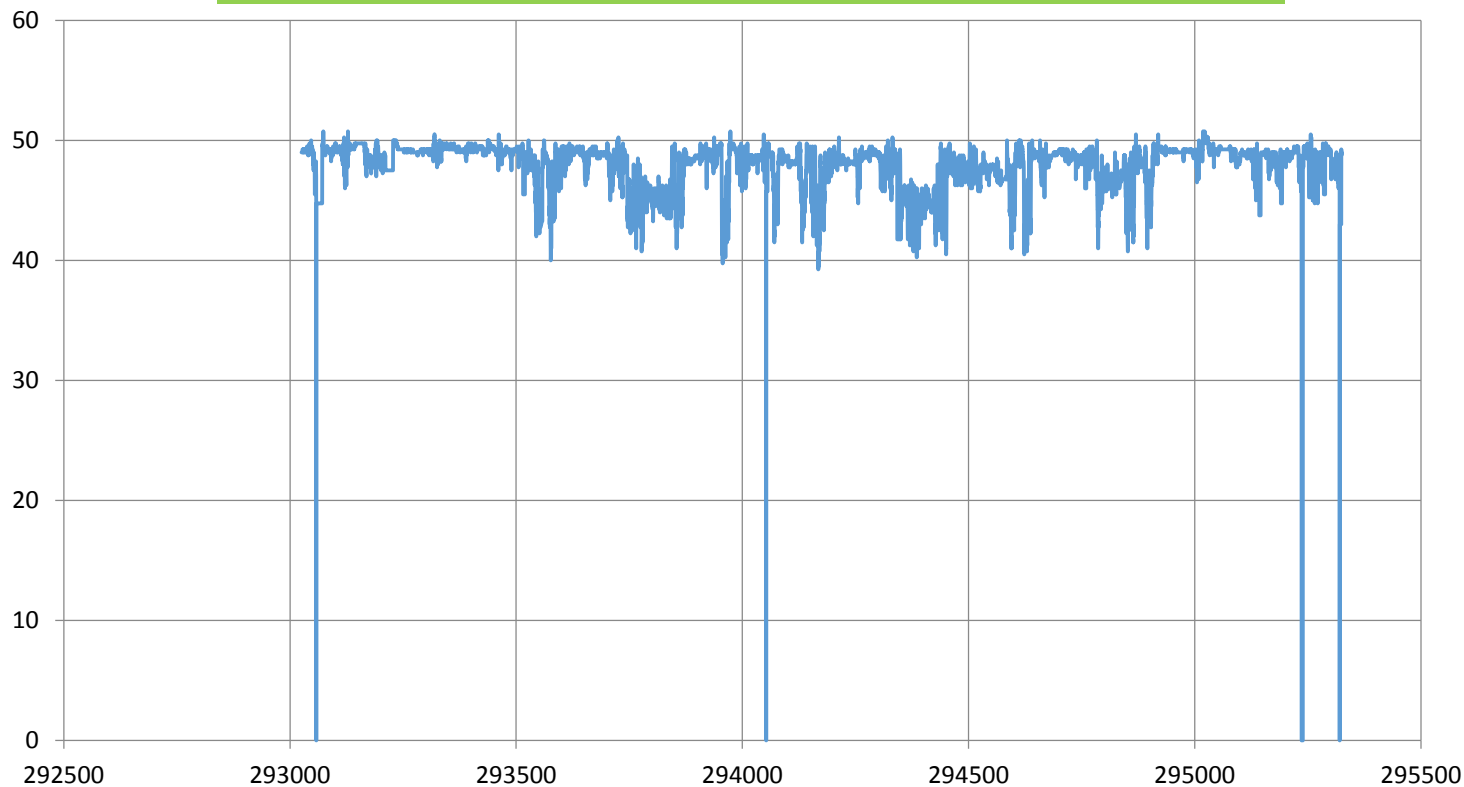


GPS 56.0%のFIX

QZS: 88度→85度 PRN2: 83度→63度

# このときのQZSの信号強度は？

高架下走行は10回程度。ただし高架下停止はない

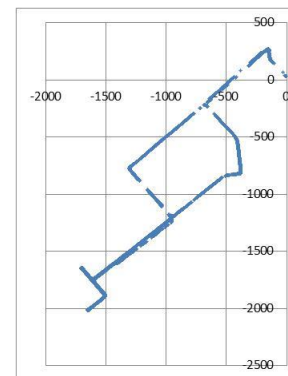


基本40dBHz以上では信号品質に大きな問題はない

→ロバストな補正データ伝送という意味で重要

# 受信機による違いと考察

- 2014年3月3日 15時台の30分
- 場所は晴海と月島周回で車両移動体で取得
- GPSの衛星配置は良くない
- アンテナはC社、分岐してA社とB社を接続



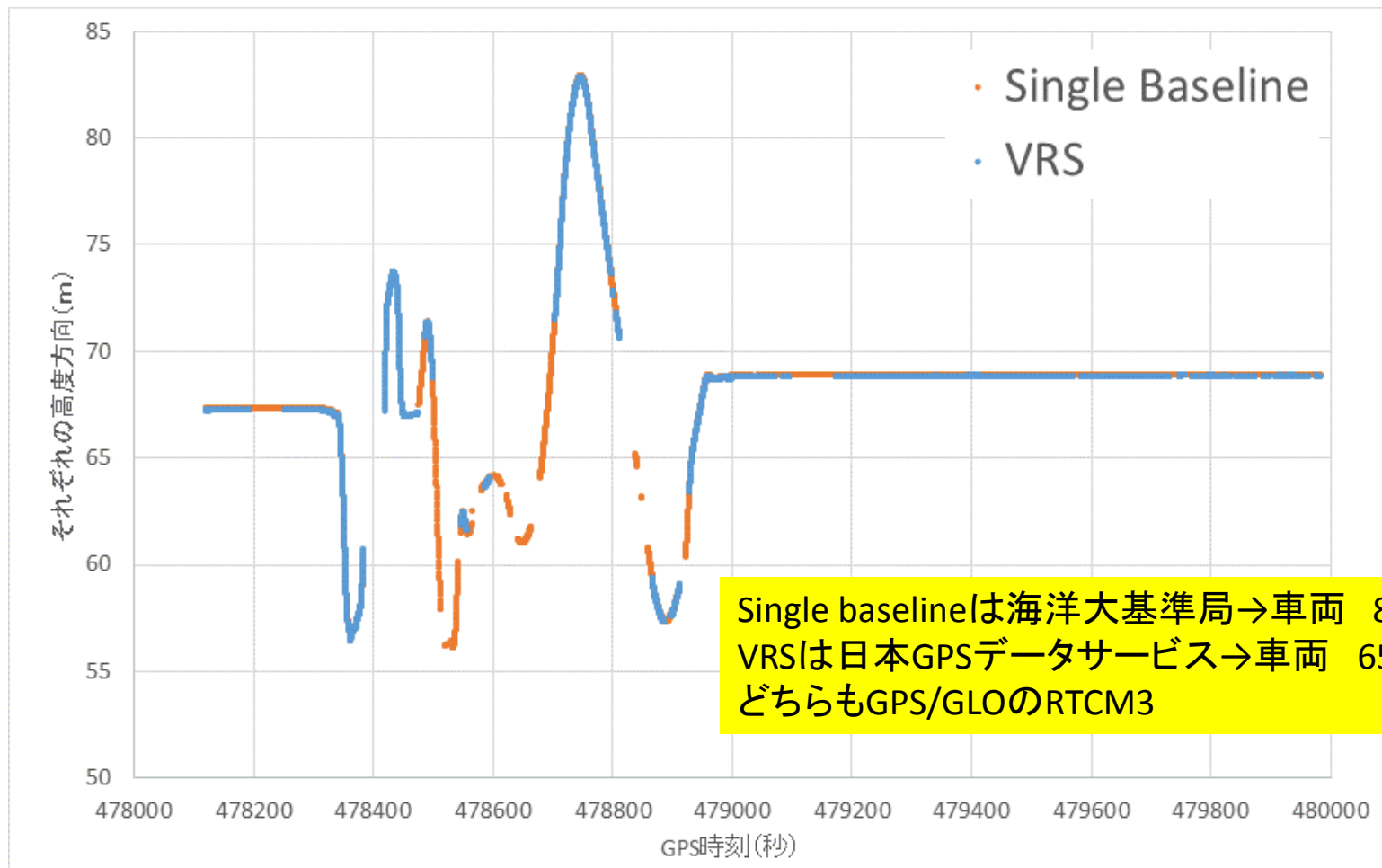
	平均可視衛星数	GPS/BeiDou/QZS 平均利用衛星数	GPS+BeiDou FIX率
A社	9.04	4.96 / 3.83 / 0.25	73.3%
B社	10.62	5.36 / 4.79 / 0.47	63.8%

解析エンジンはLab.のもので、条件は全く同じ  
利用衛星の定義: 2周波の搬送波位相観測データの有無



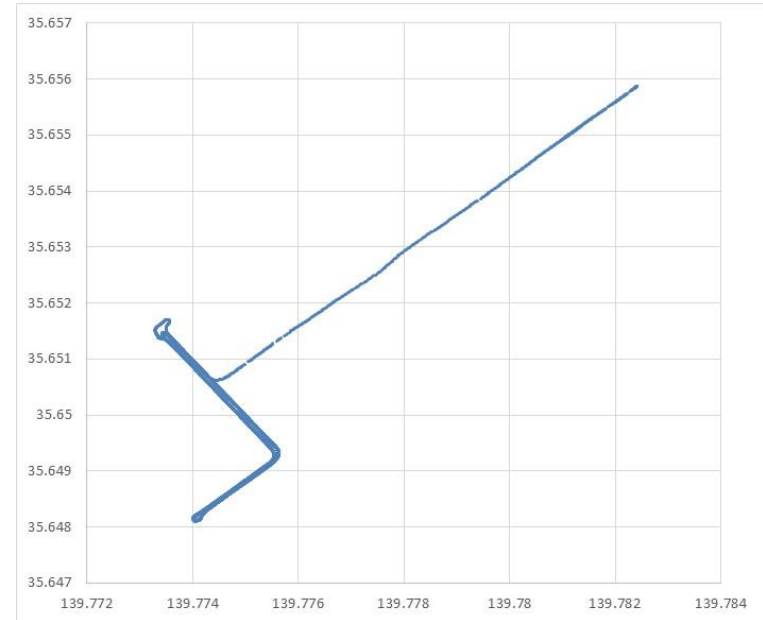
# 基線長の影響 (VRSとSingle Baseline)

(2014/10/24 22時頃 成田空港から東関東自動車道を10km走行しPAへ  
Single Baselineの基線長は51.5kmから44.8km)



# PPP (高精度単独測位) の性能

- 30 minutes static and 15 minutes kinematic
- Trimble SPS855+RTX (PPP) option
- Comparison with RTK results
- Omni-star was used
- Open Sky

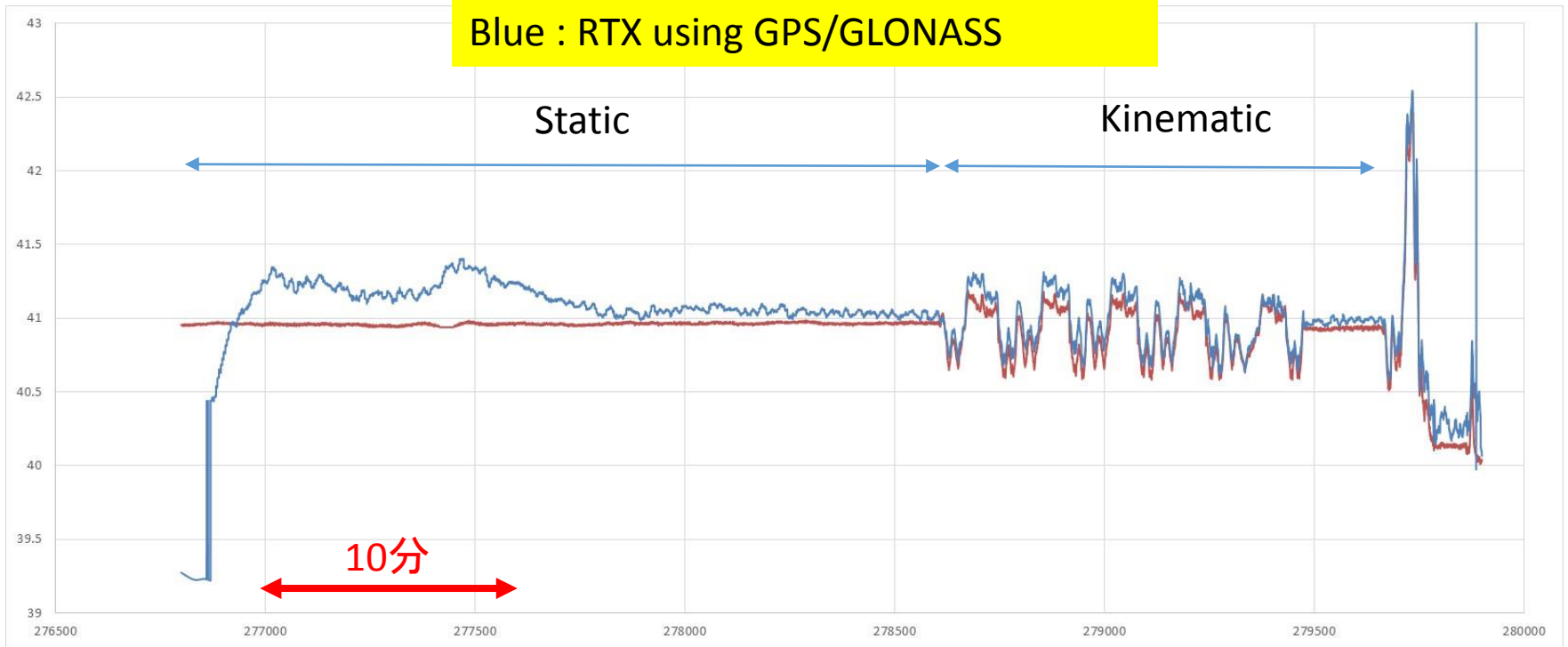


Horizontal plots at Harumi Area

# Altitude Comparison between RTK and RTX (PPP)

Red : RTK-GNSS

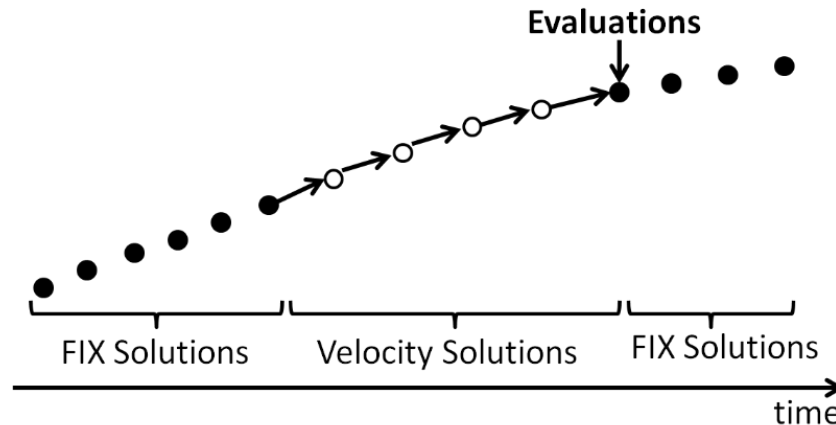
Blue : RTX using GPS/GLONASS



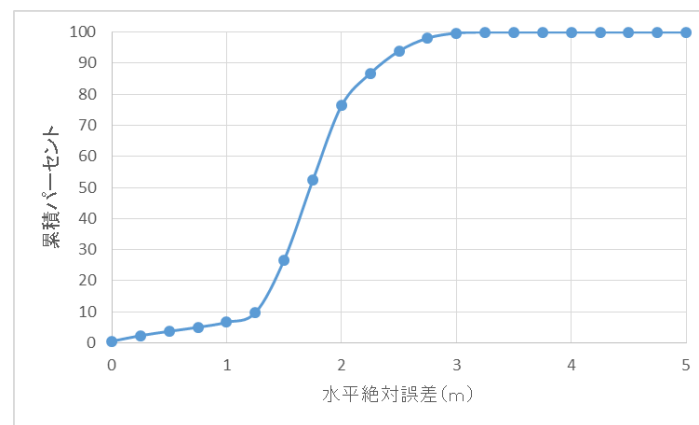
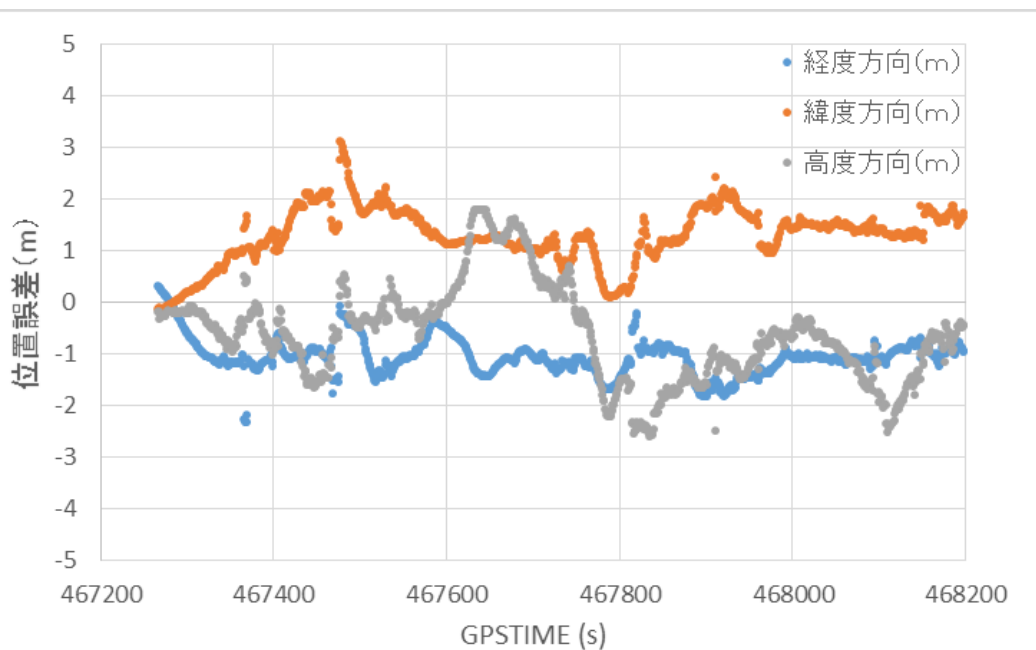
受信機電源投入後、すぐに静止衛星の補正データをデコード開始し、15分程度で10cm以内に収束。30分後に移動を開始した後もオープンスカイである限りにおいて水平10cm以内の精度を維持していた

# 海洋大周辺での低コストマルチGNSS 受信機の性能

- 2015年5月8日(金)
- 海洋大-月島周回(約16分)
- 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測量受信機のRTK解より生成(マ  
ルチGNSS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)



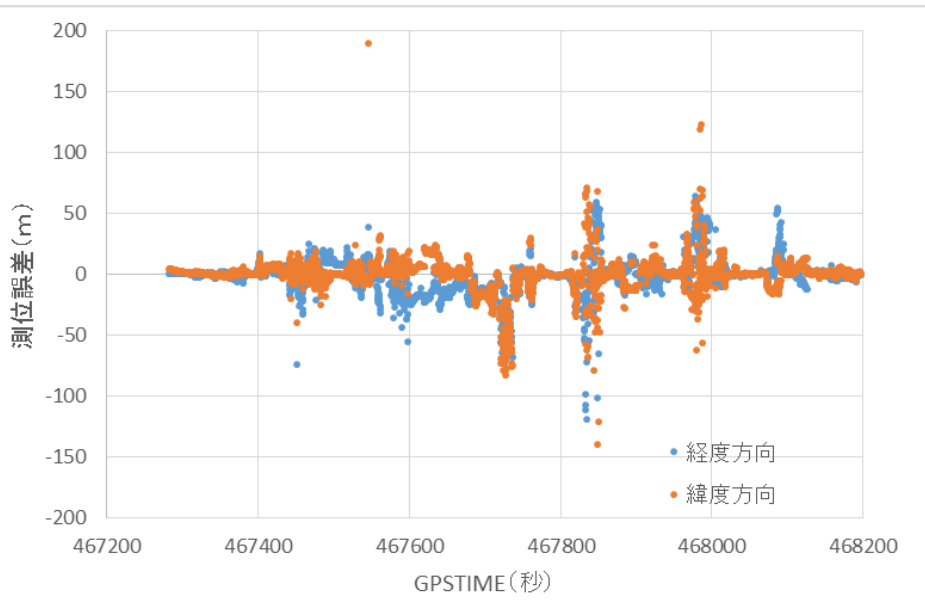
最大水平誤差:3.13m

測位率は100%

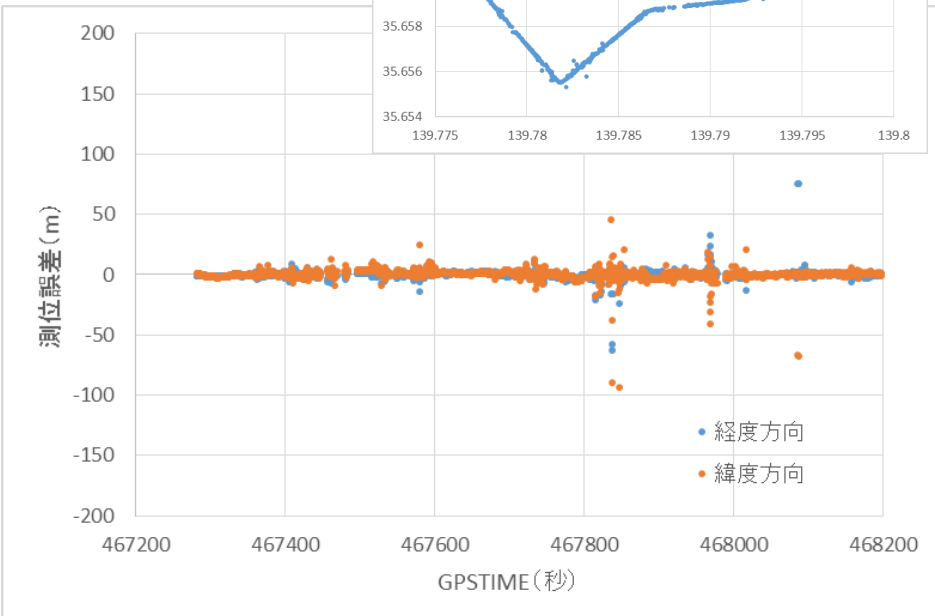
一応中央区の通常都市部ではあるが、あたかもオープンスカイの単独測位のような測位結果を出力している→独自のフィルタとDR技術によるもの

# 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

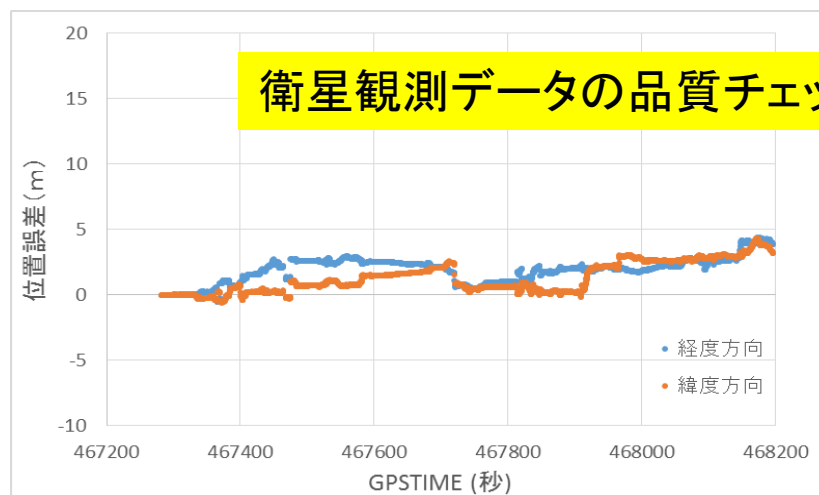
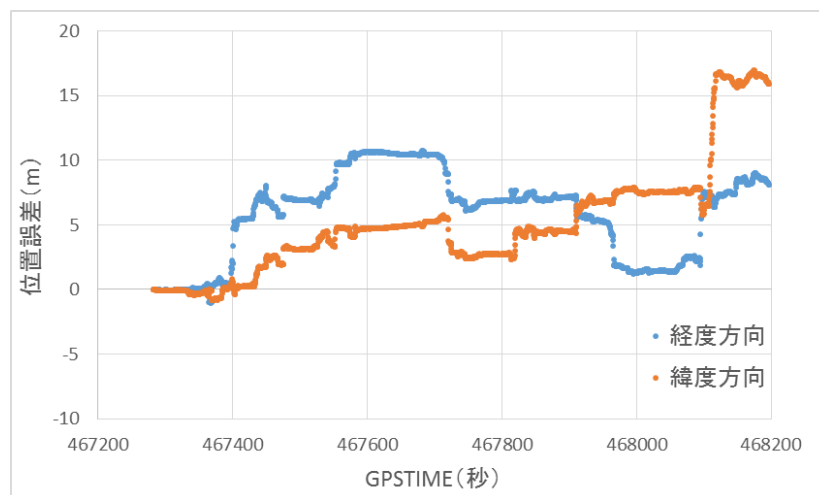
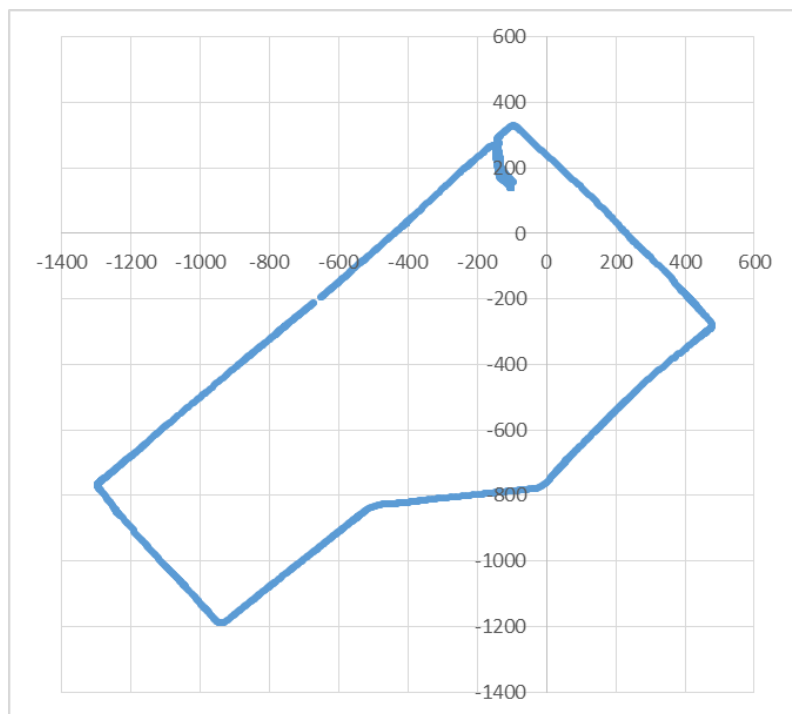


あるべき信号強度利用(厳しいチェック)  
測位率は約83%  
水平標準偏差=5.4m

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



# カルマンフィルタ(ルースカップリング)

## • 基本システム

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

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

$\mathbf{x}_k$  : 状態変数

$\mathbf{w}_k$  : 状態雑音  $\mathbf{F}$  : 状態遷移行列

$\mathbf{y}_k$  : 観測値  $\mathbf{G}$  : 状態雑音行列

$\mathbf{v}_k$  : 観測雑音  $\mathbf{H}$  : 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

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

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

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

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



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

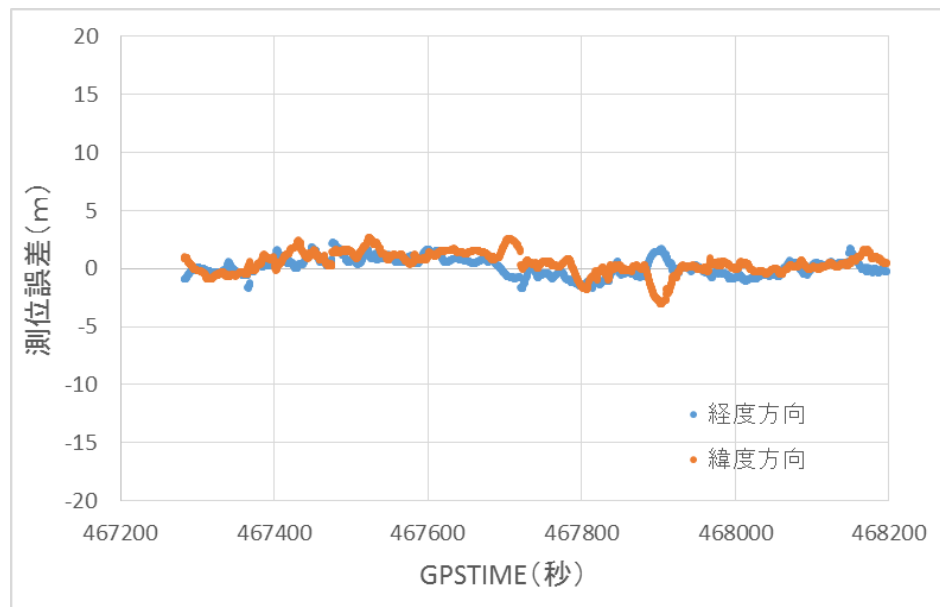
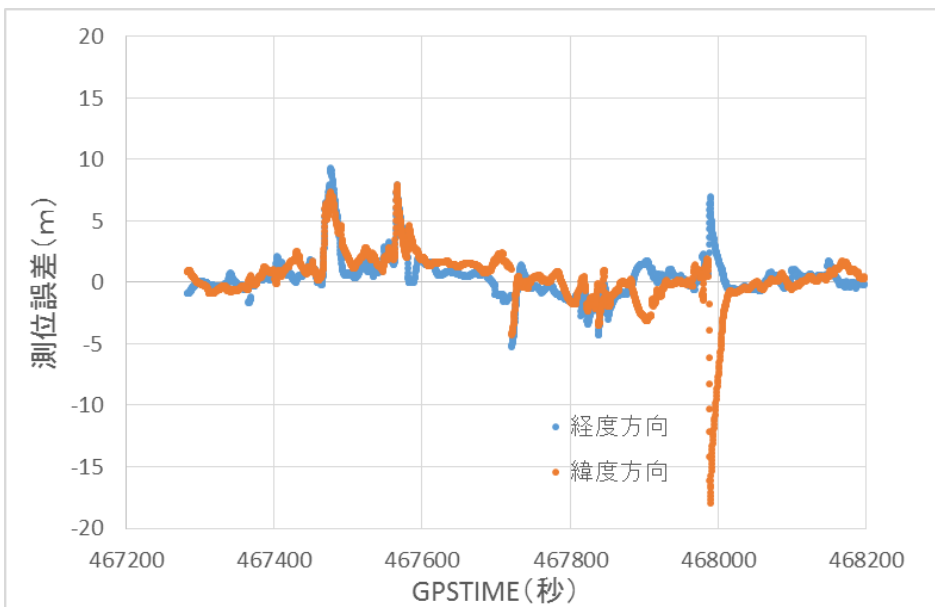
## ★ 観測量(緯度、経度のみ)

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

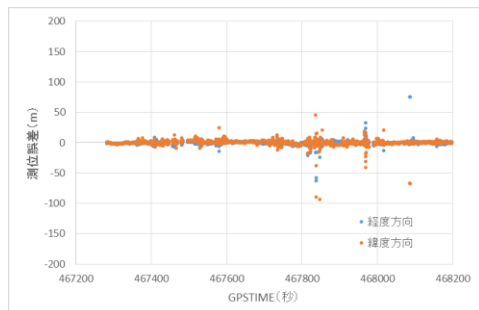


# 統合結果

(位置はDGNSSの結果 速度は前スライドの通り)



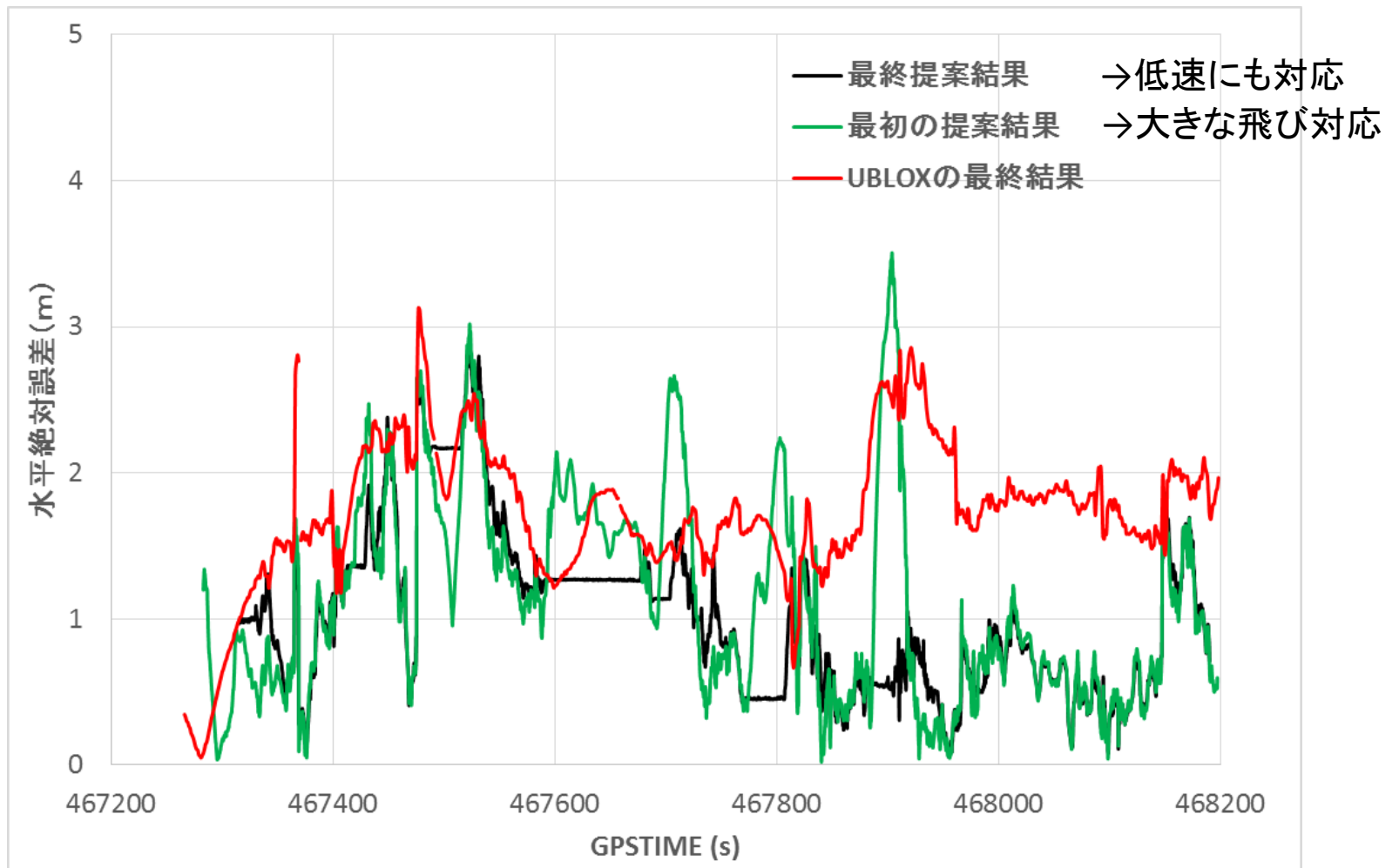
両結果をそのまま統合するとマルチパスによる  
の大きな飛び(以下図)にひっぱられる



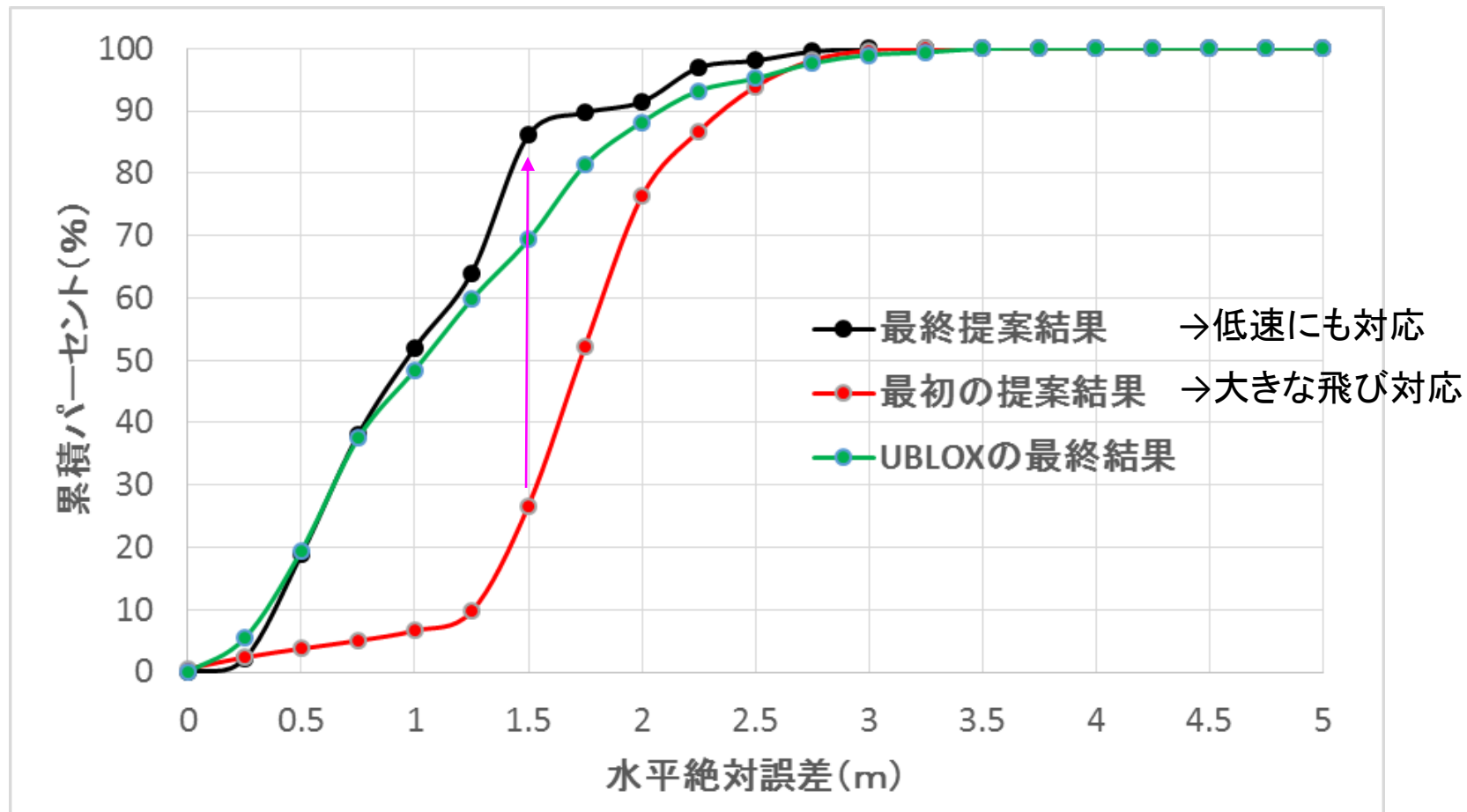
大きな飛びに対処した統合結果  
(フィルタ内での改善)

# 速度情報の利用

- 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

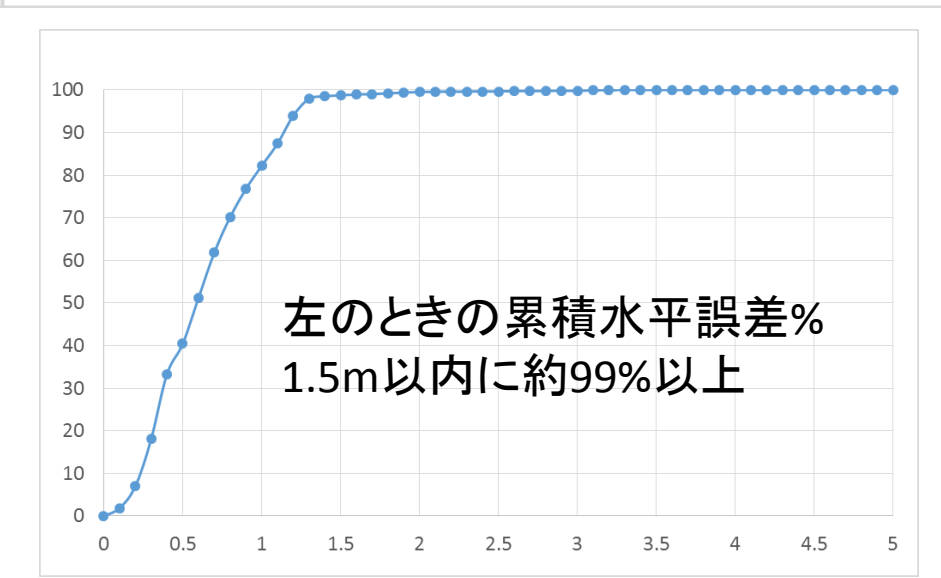
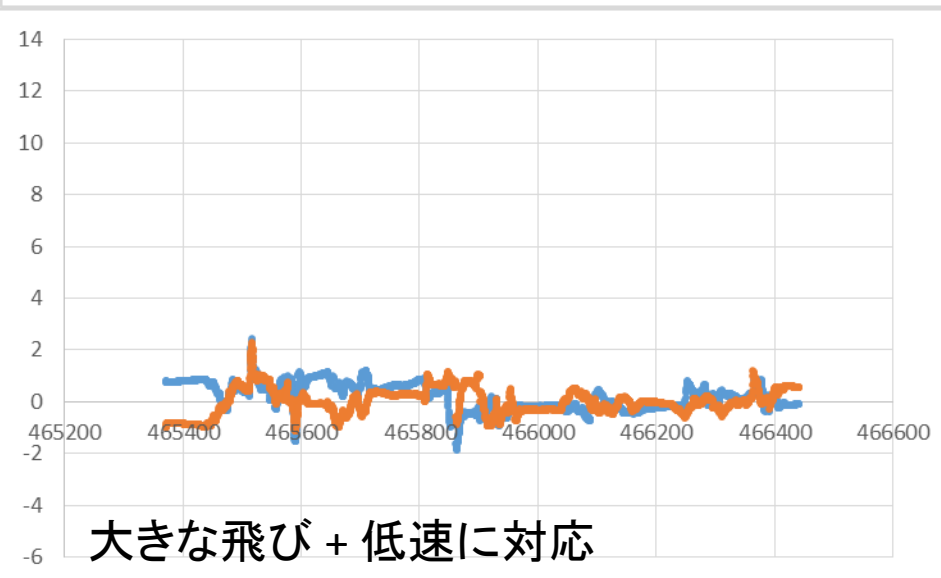
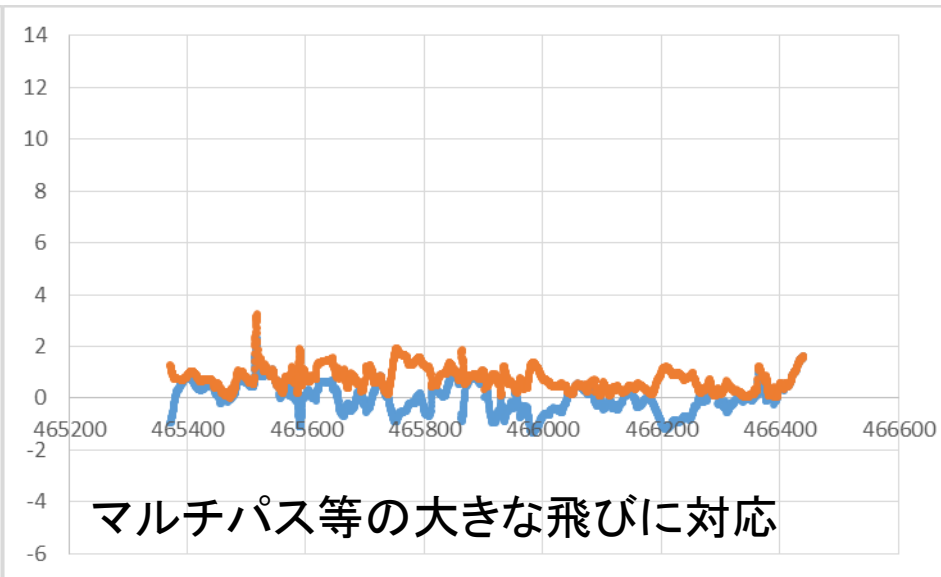
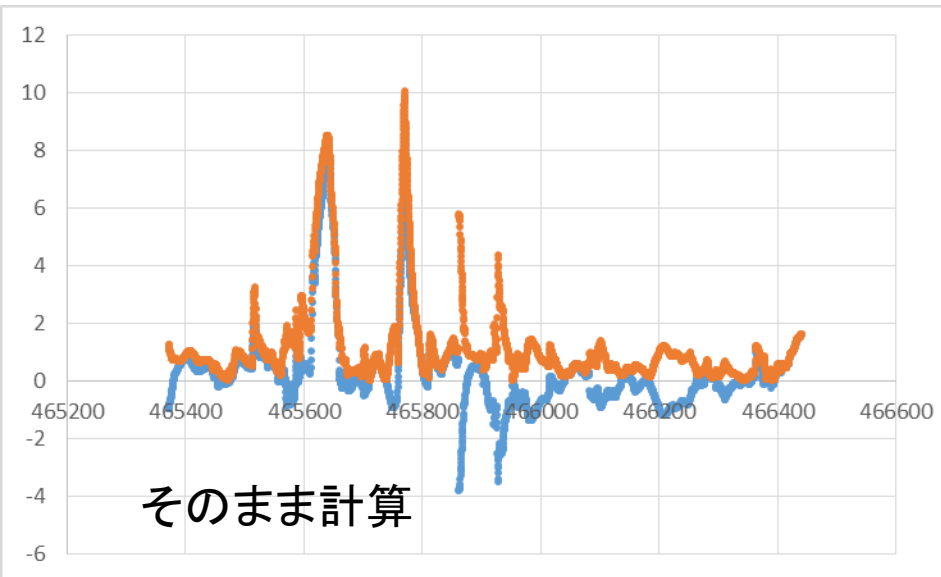


# 受信機出力結果と提案手法比較



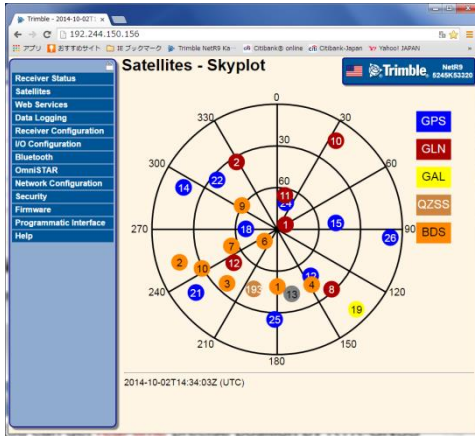
最大水平誤差は 最終:2.8m 最初の提案:3.4m UBLOX最終:3.1m

# 同経路で別の日時での結果 (低コスト受信機観測データのためのルースカップリング)



# 大学間でのCORSネットワーク

CORS(Continuously Operating Reference Stations)



observation data via the Internet

Tokyo (Univ. of Tokyo, Keio Univ., TUMSAT)  
Bangkok (Thailand), Manila (Philippine)

What you can do ?

You can get **real-time** precise position by RTK-GNSS



Rover



Communication Link



Reference

# 大学間ネットワークでの実験例



Ntrip Browser ver.2.4.2

File Edit View Help

153.121.59.53:2101 STR CAS NET SRC MAP

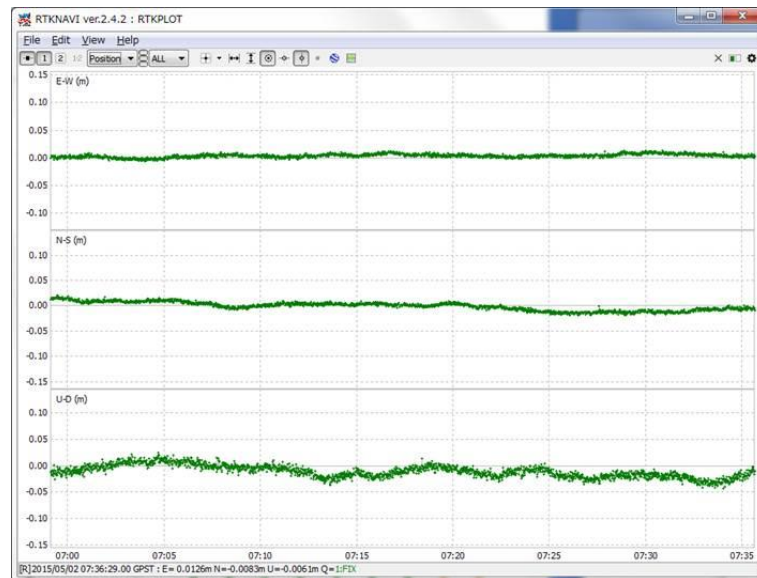
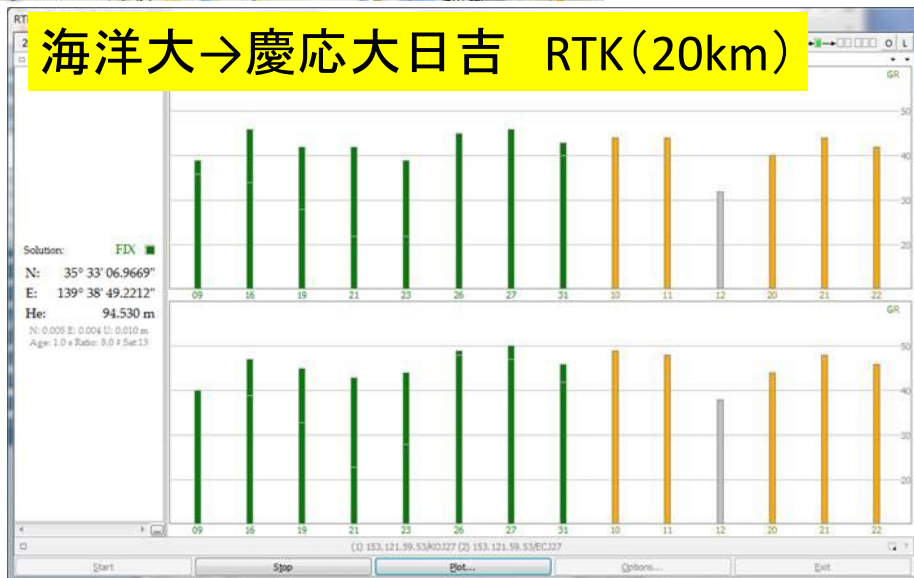
Mountpoint	ID	Format	Format-Details	Ca	Nav-System	Netw
ECJ22	Kaiyodai Etchujima	RAW	BINEX	2	GPS+GLO+GAL	GSPAS
ECJ27	Kaiyodai Etchujima	RTCM 3.2	1004(1),1012(1),1019(60),1020(60)	2	GPS+GLO	GSPAS
KOJ22	Keiodai Hiyoshi	RAW	BINEX	2	GPS+GLO+GAL	GSPAS
KOJ27	Keiodai Hiyoshi	RTCM 3.2	1004(1),1012(1),1019(60),1020(60)	2	GPS+GLO	GSPAS
KMB12	UTokyo Komaba	RAW	NovAtel OEMV Raw	2	GPS+GLO+SBAI	GSPAS
KMB17	UTokyo Komaba	RTCM 3.2	1004(1),1012(1),1019(60),1020(60)	2	GPS+GLO	GSPAS

source table received

3大学で運用するサーバでNtrip配信中

3大学設置の基準局の連携によって都内を中心に高精度測位の実証環境が整備。それを利用した新しいサービス創出のために実験環境をオープンに

海洋大→慶応大日吉 RTK(20km)



企業の方を含めて様々な人に高精度測位実験の環境を整える

# 海洋大基準点を利用したRTK

## 海洋大-新宿往復

Base Line Length : Maximum 12km

Severe environment  
So many high building

Marunouchi  
area

POS MODE

Rate of POS

Single

97.0%

DGNSS

95.0%

RTK

81.6%

Base Station

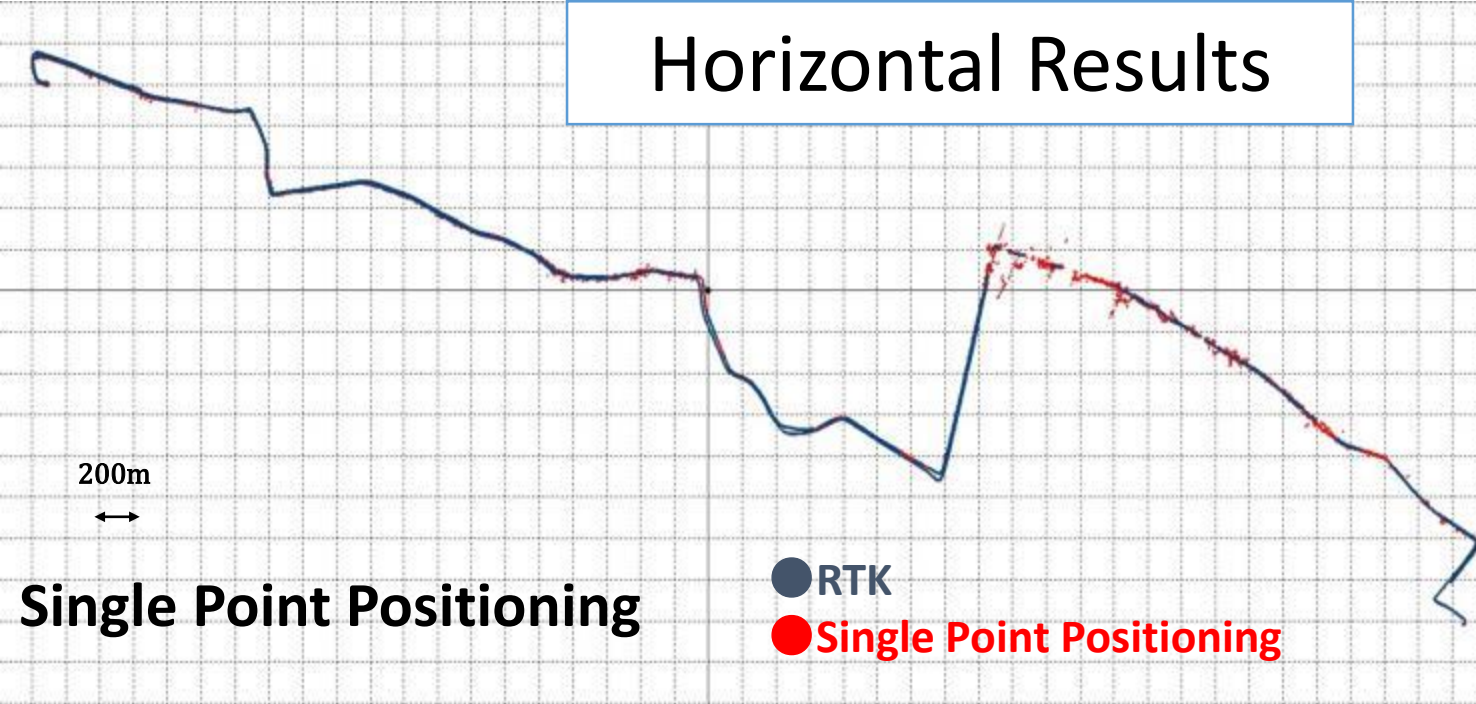
Google earth

Shinjuku

Route 20

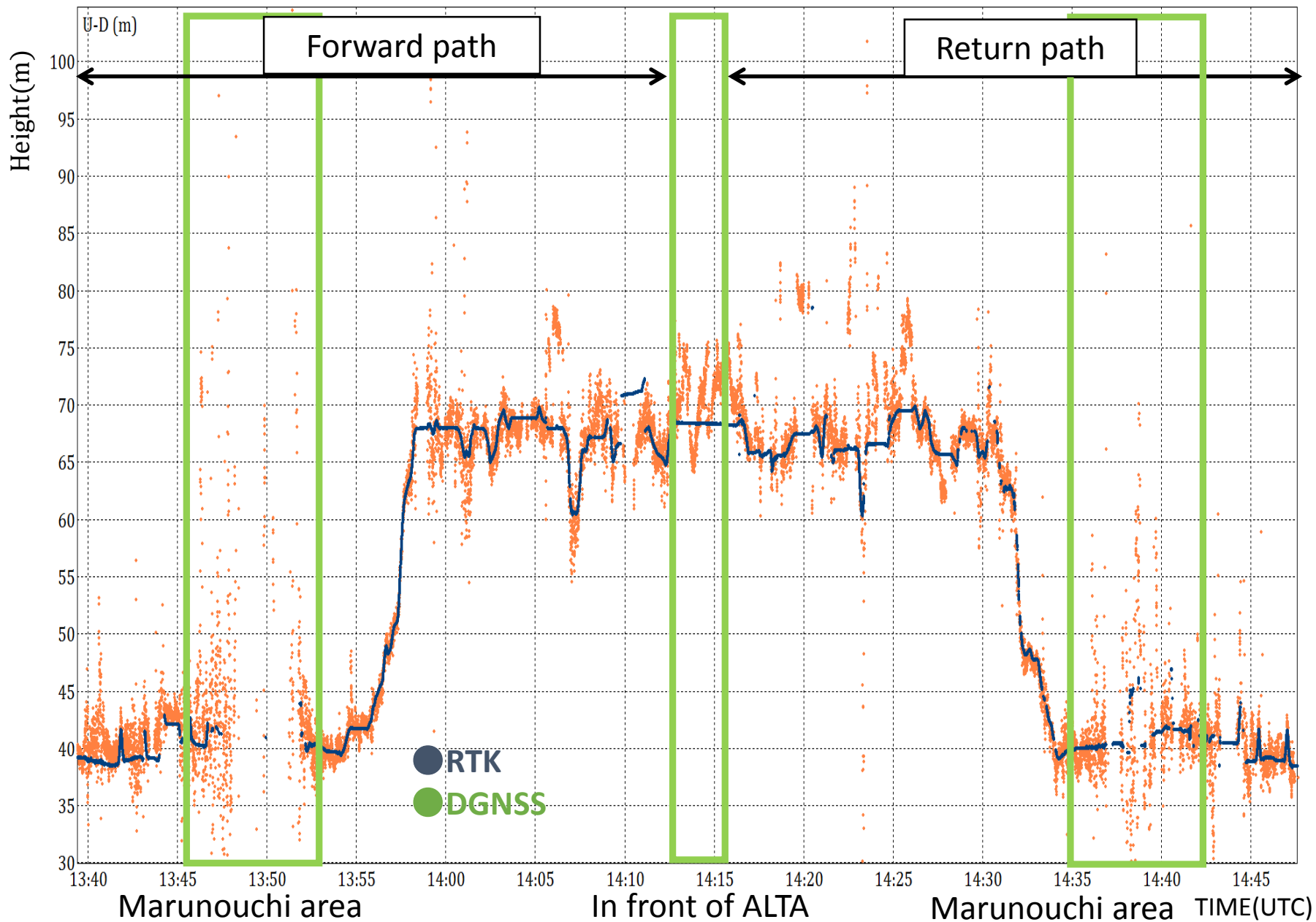
TUMSAT

# Horizontal Results



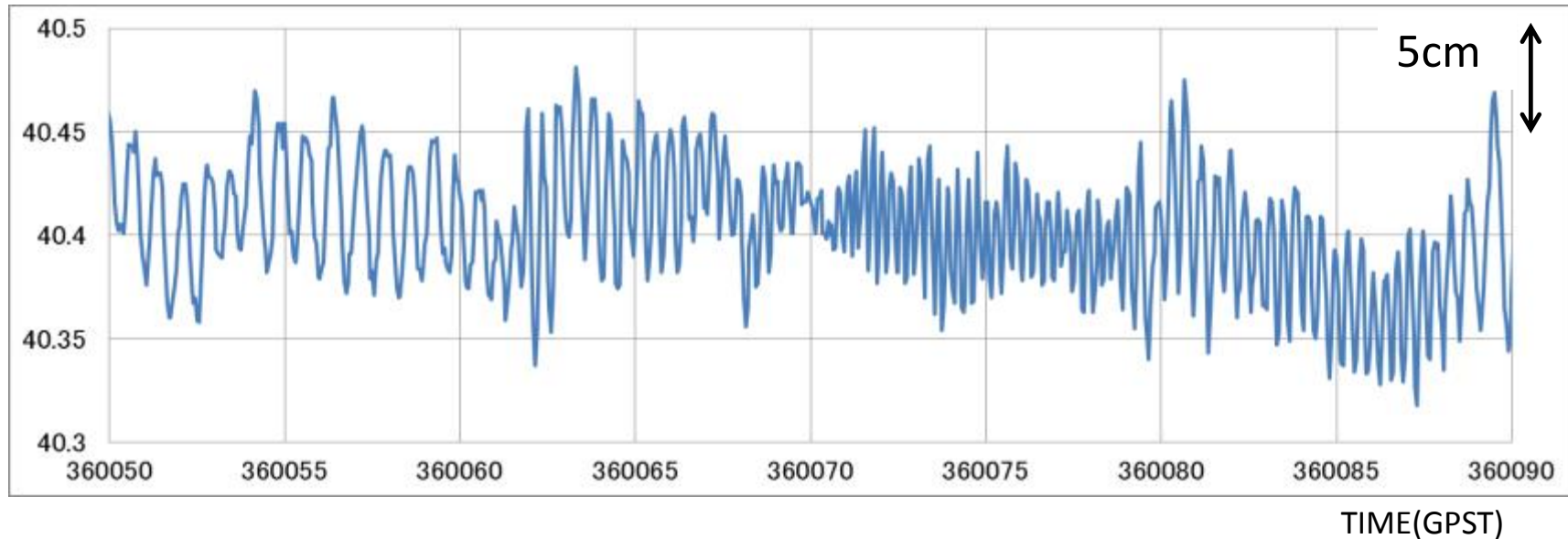


# U-D Results



# Another Experiment

Height(m)



## ➤ Applications

- ❑ Checking the status of the road pavement
- ❑ Verification of land subsidence

# まとめと課題

- 測量受信機を用いると、通常都市部で60-90%程度のFIX率（信頼性も高くミスFIXは数えるほど）
- 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（GNSSのoutageが2-3分程度）
- 低コスト1周波受信機のGPS/QZS/BEIのようなマルチGNSS利用で、最大誤差を3m程度、1.5m以内を90%弱程度までもっていきける（数秒の高架下や陸橋ありの通常都市部）
  
- 通常都市部で最大誤差をさらに低減させる
- 高層ビル街で同手法が同様の効果を発揮できるか検証
- やや開けた環境での確実性や信頼性の検討