

# 高精度測位の現状とこれから

測位航法学会シンポジウム2014

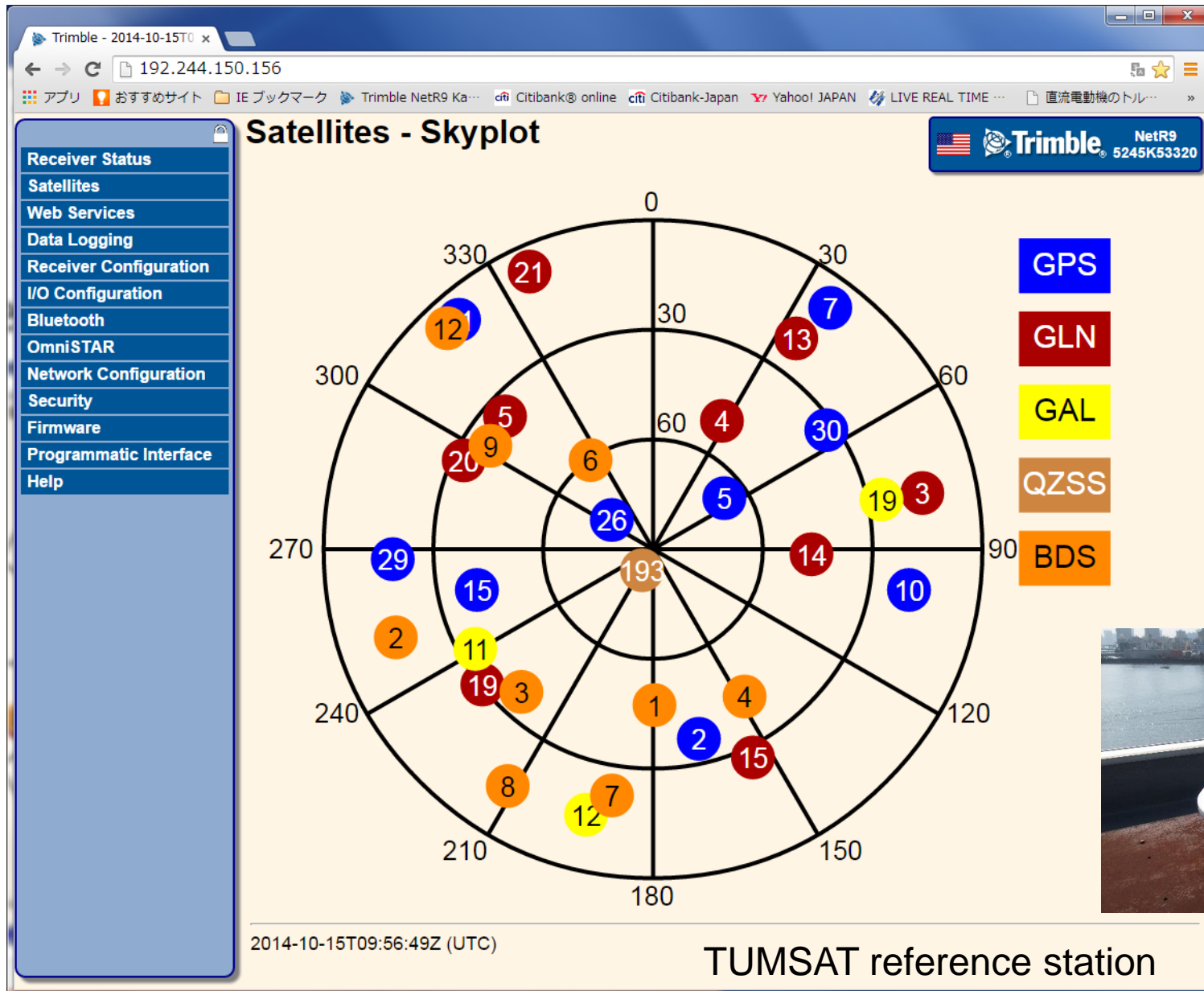
10月28日-30日

久保信明（東京海洋大学）

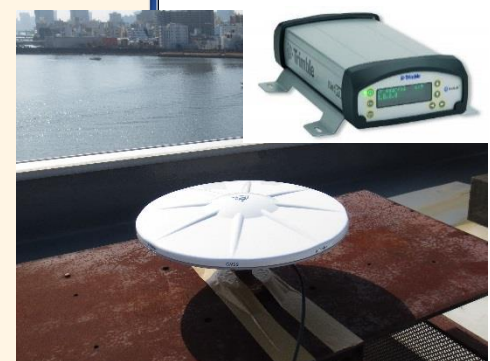
# Contents

- 高精度測位の現状とこれから  
    コンシューマ及びサーベイ受信機
- 補正データ(課題)
- 低コスト受信機によるRTK
- まとめ

# Current GNSS Constellation



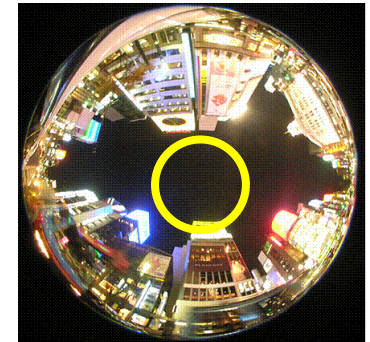
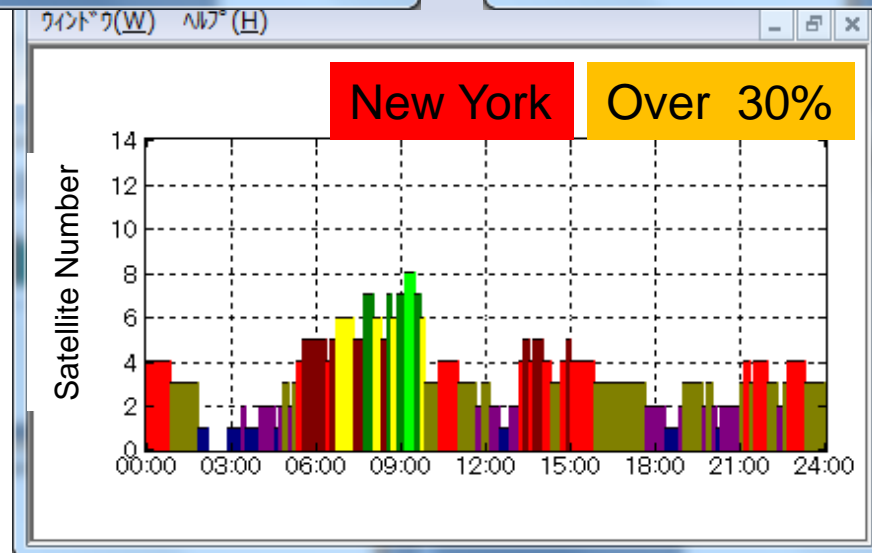
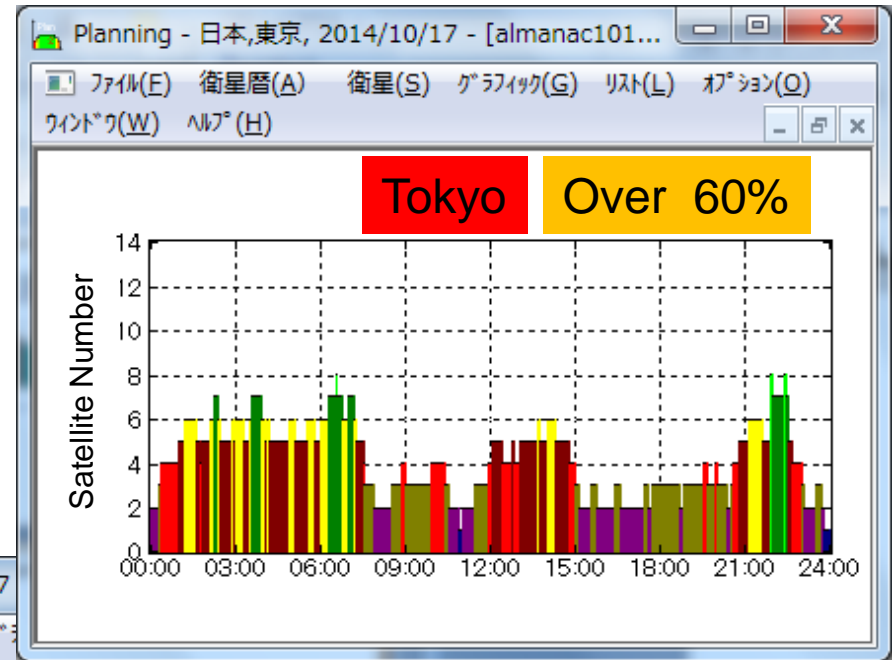
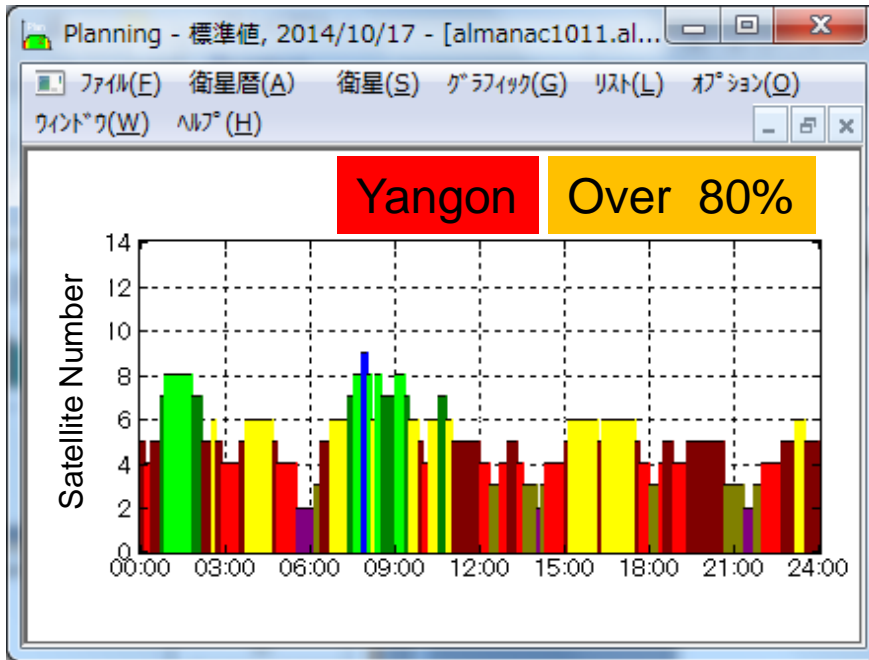
**GPS : 32**  
**GLO : 23**  
**BEI : 14**  
**GAL : 3**  
**QZS : 1**



TUMSAT reference station

# 1-day number of visible satellites with all SVs

(Yangon, Tokyo, New York **mask=60**)



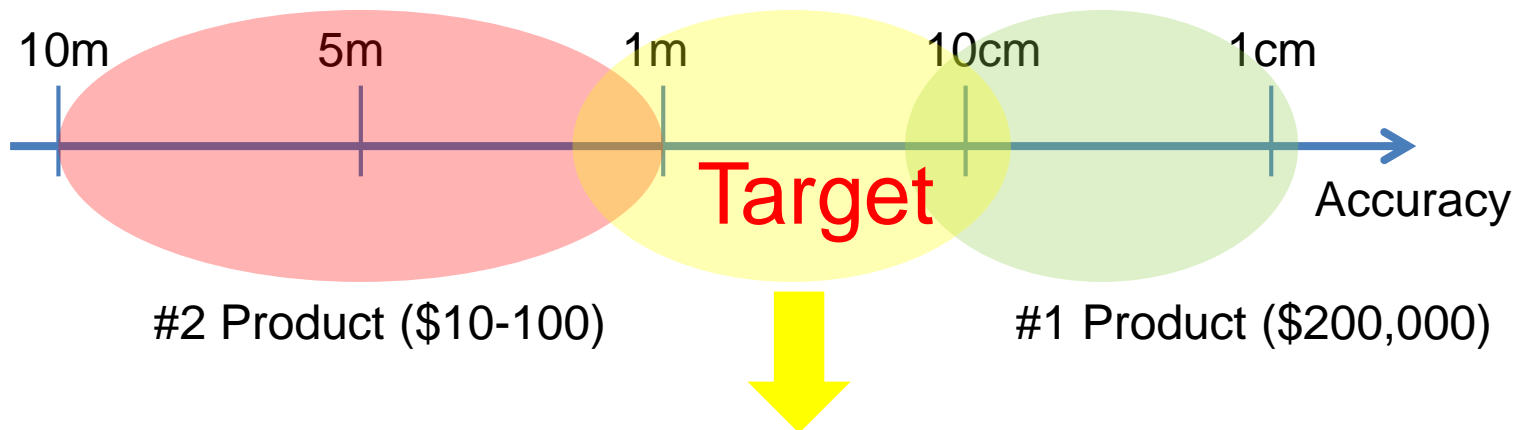
# 移動体測位現状

- Survey-grade GNSS + Speed sensor + IMU

Reliable RTK still requires dual-frequency

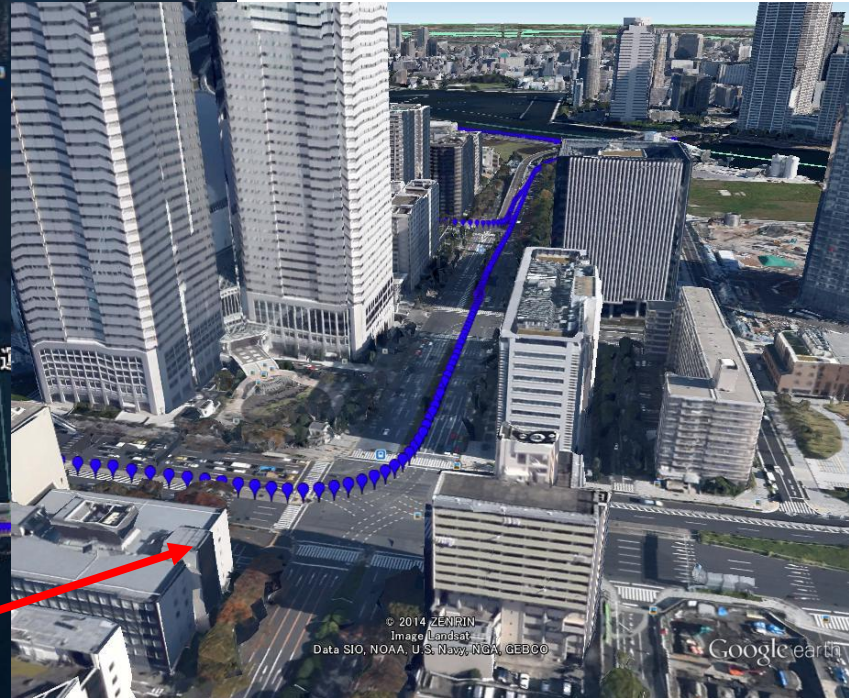
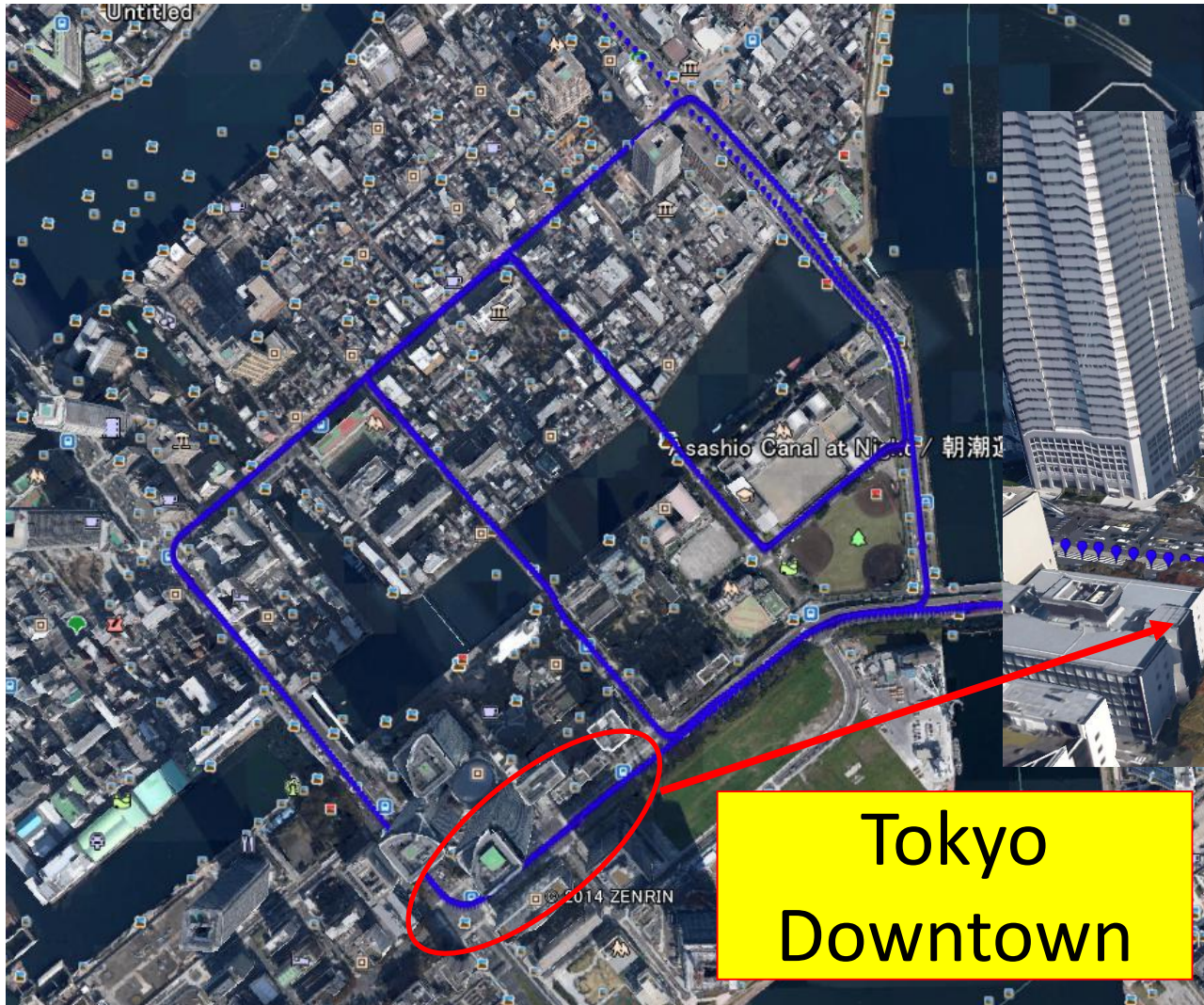
Low cost

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



0.5m horizontal error and 100% availability

# Performance of low-cost receiver with single-frequency GPS/QZS/BeiDou

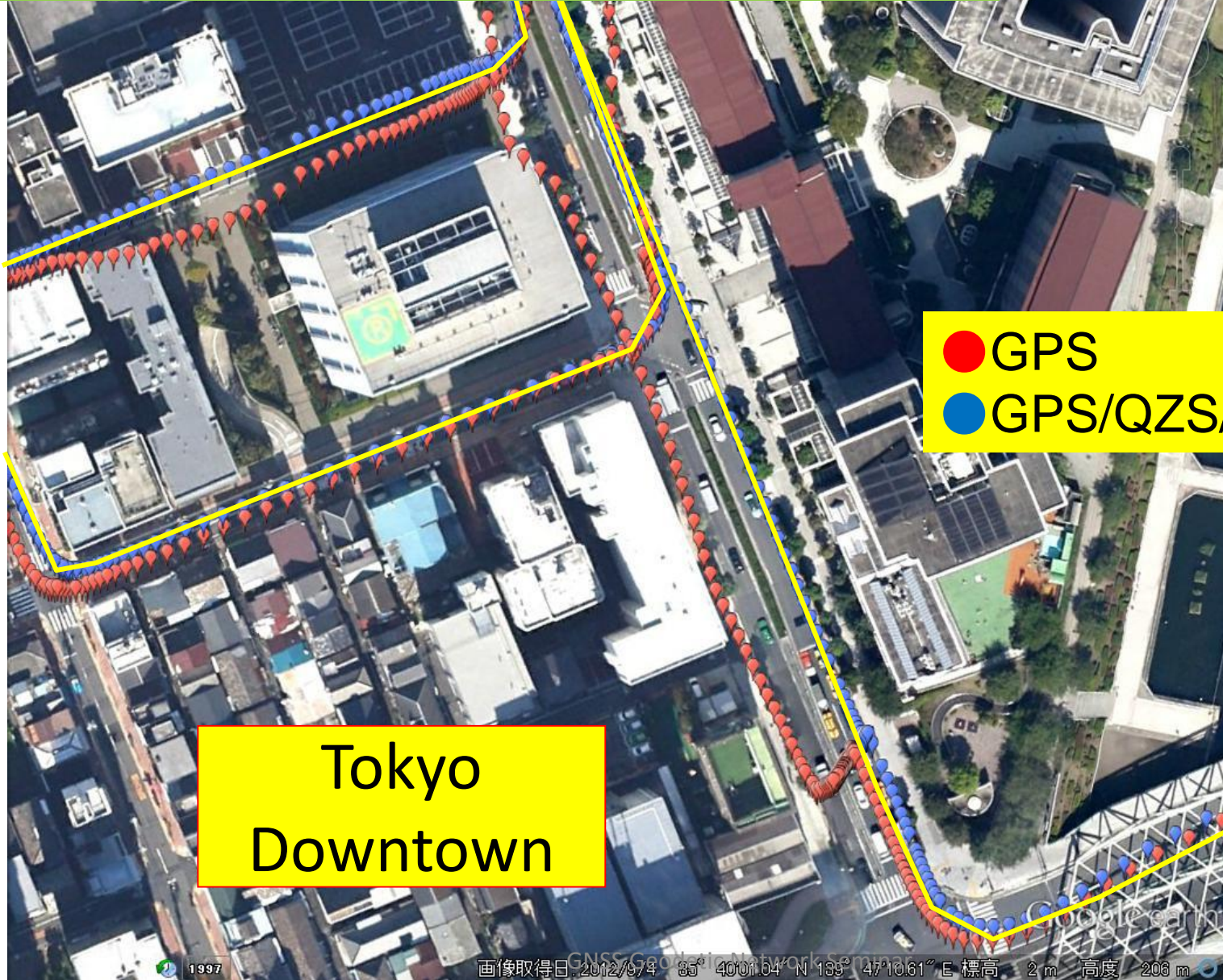


Tokyo  
Downtown

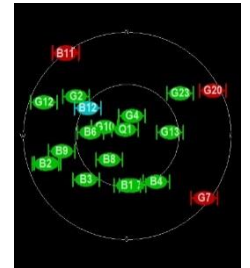
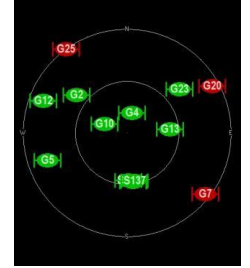
Many skyscrapers...

Google上ではあるが  
自身の走行車線に一致

# Low-cost receiver comparison (GPS or GPS/QZS/BEI of same receiver)



● GPS  
● GPS/QZS/BeiDou



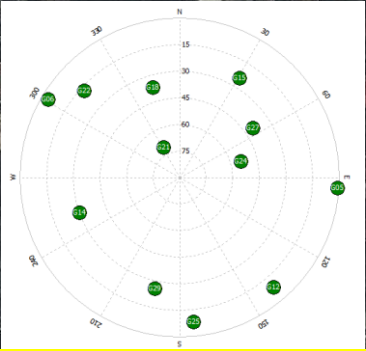
マルチGNSS  
の効果は歴然

Tokyo  
Downtown

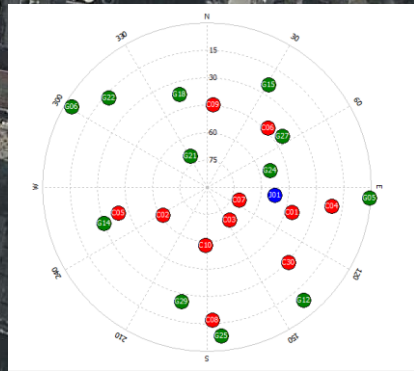
# Low-cost receiver comparison (GPS or GPS/QZS/BEI of same receiver)

## Bangkok Downtown

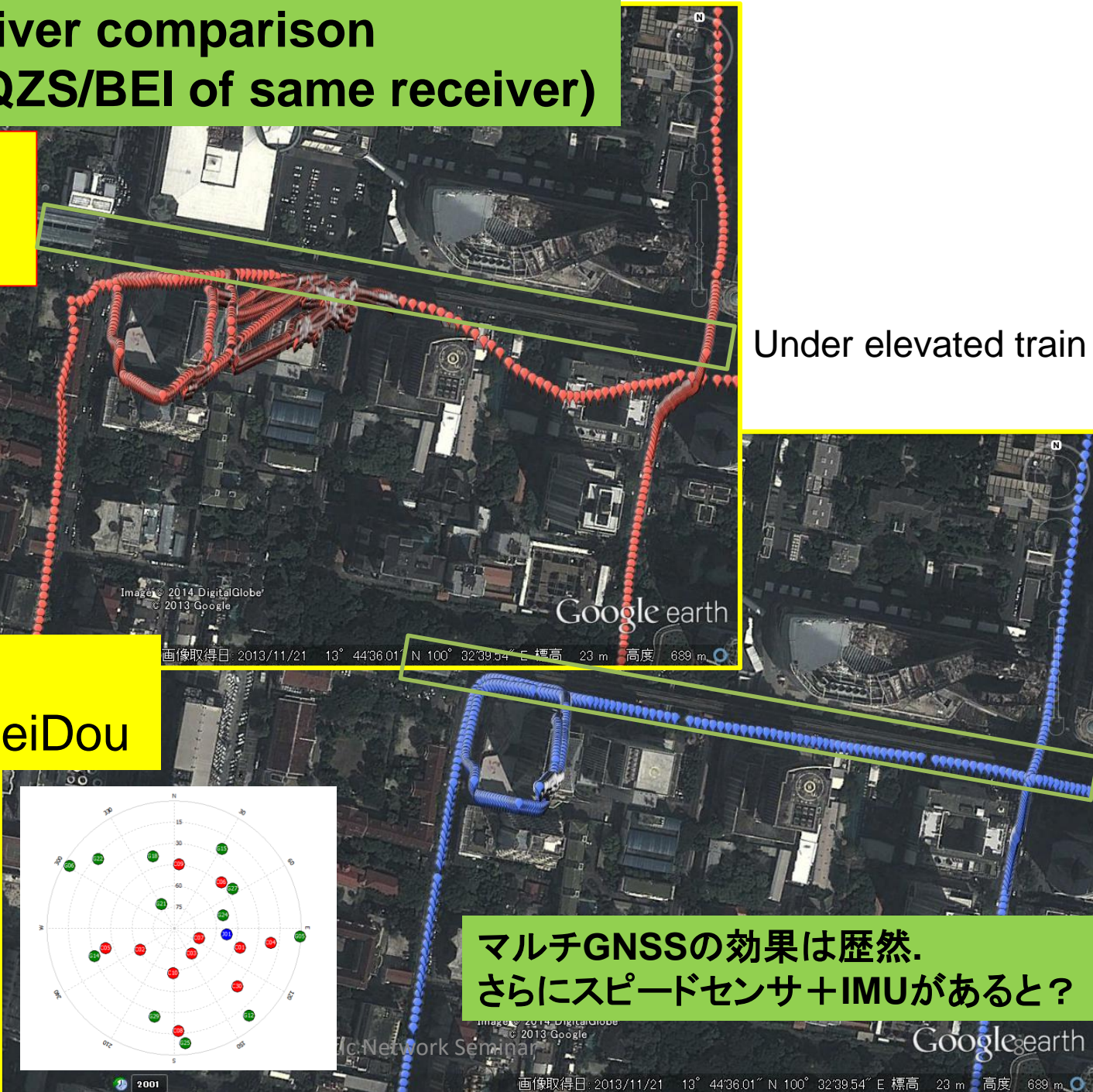
Under elevated train



- GPS
- GPS/QZS/BeiDou



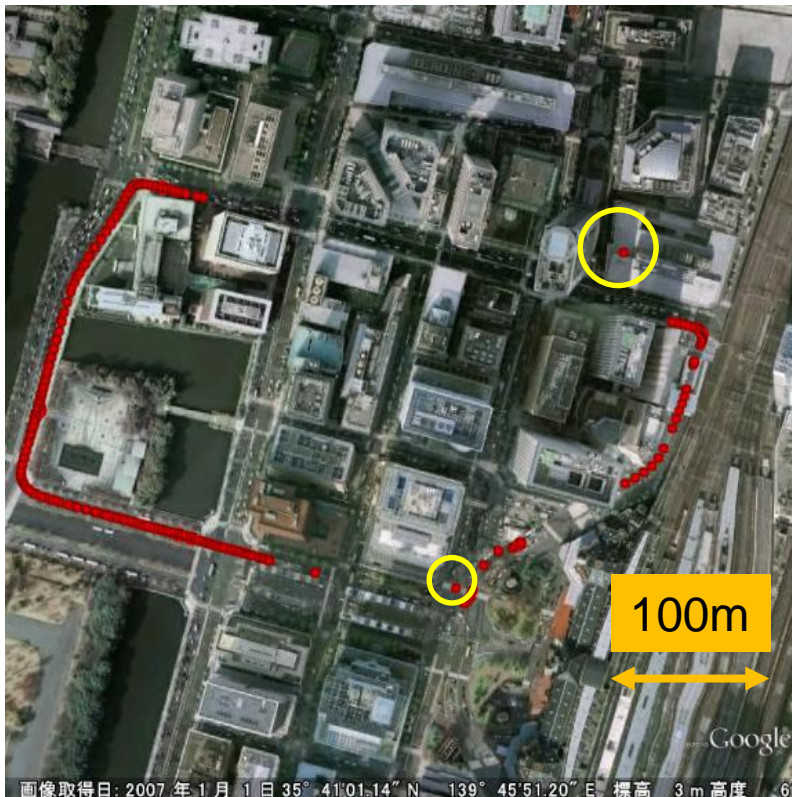
マルチGNSSの効果は歴然。  
さらにスピードセンサ+IMUがあると？





# Challenge in RTK

- Reliability as well as availability of RTK are quite important for future commercial users



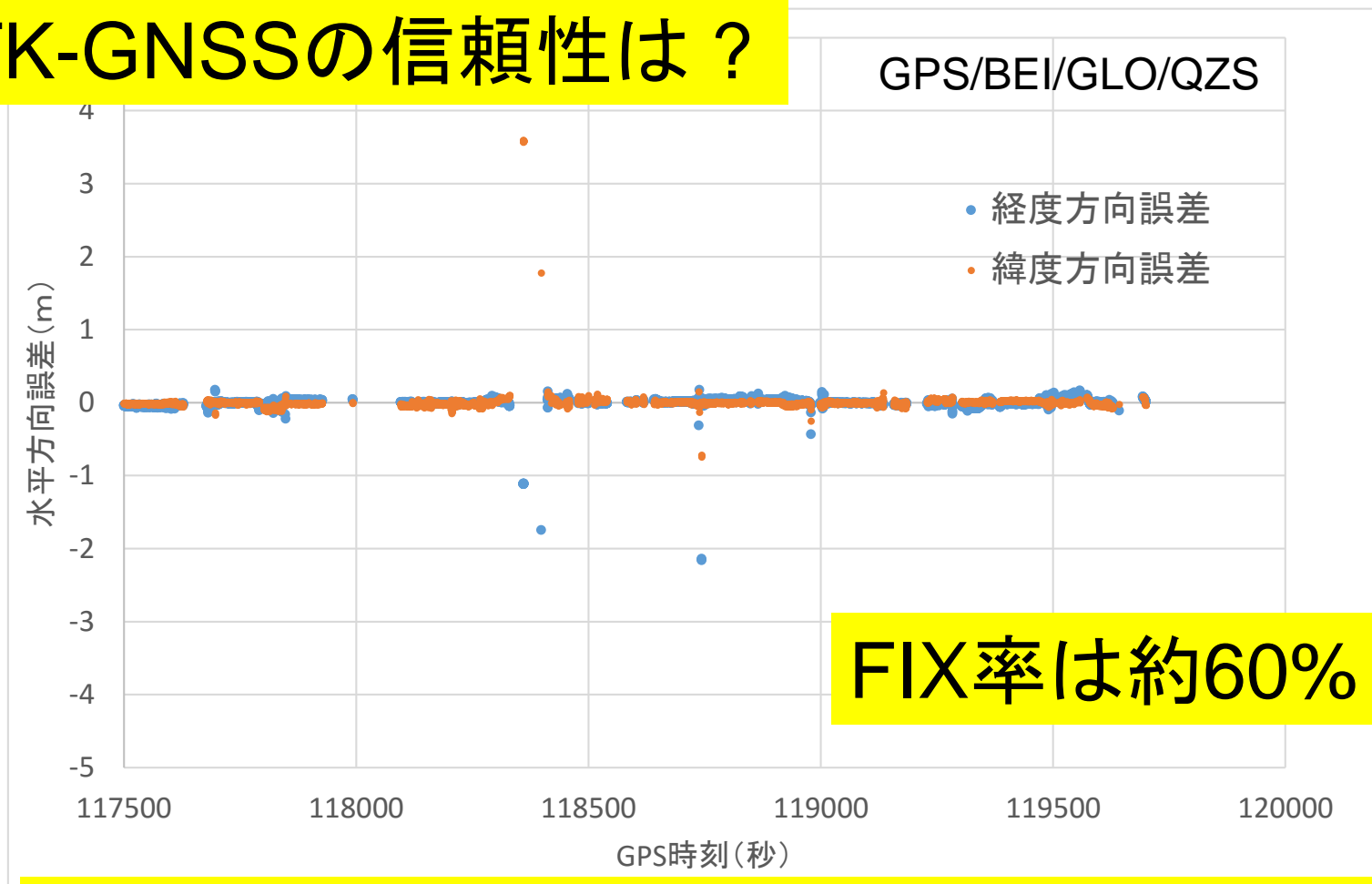
RTK-GPS example in dense urban areas (Marunouchi Tokyo)

Both reliability and availability were not enough...

We need to know the current power of RTK-GNSS exactly...

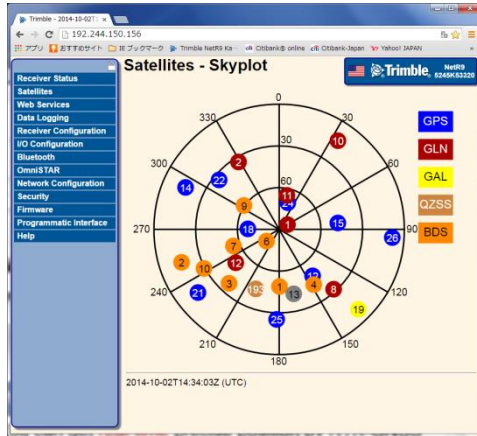
# RTK-GNSSのレファレンス解との誤差 (DenseUrbanでの移動体)

RTK-GNSSの信頼性は？



水平50cm以内は99.88% 水平20cm以内でも99.82%

# We provide **local-area** CORS network (collaboration between universities)



CORS(Continuously Operating Reference Stations)

observation data via the Internet

Tokyo(Univ. of Tokyo, Keio Univ., TUMSAT)  
Bangkok(Thailand), Jakarta(Indonesia)

What you can do ?

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



Rover



Communication Link



Reference



# Multi-GNSS RTK Test using Car

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

# Summary of Test Results

## 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%

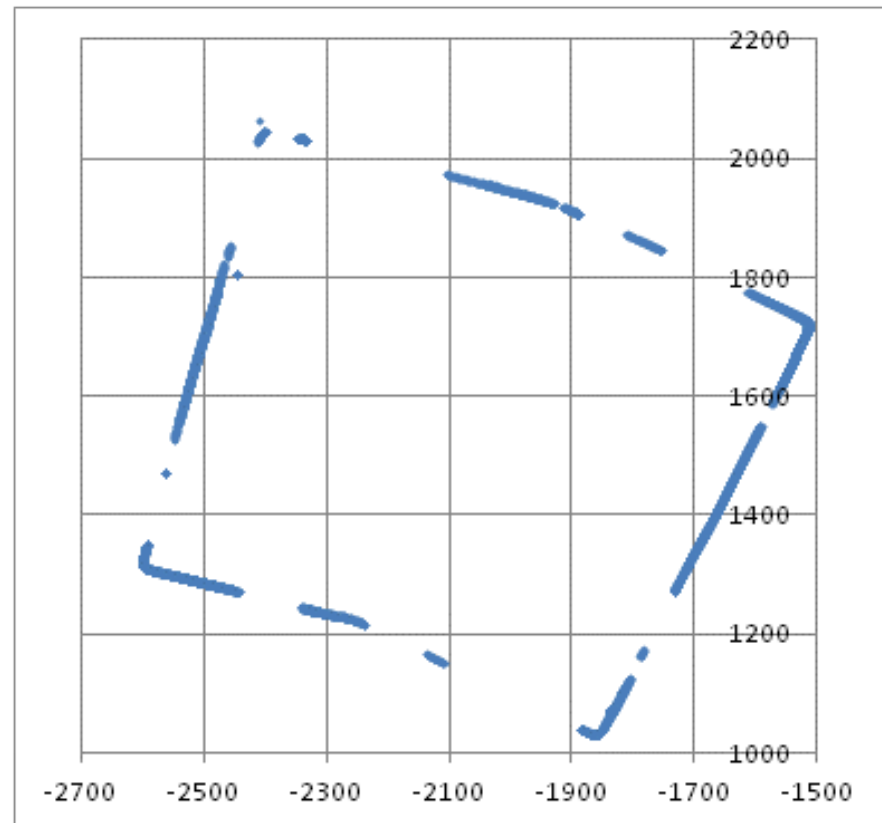
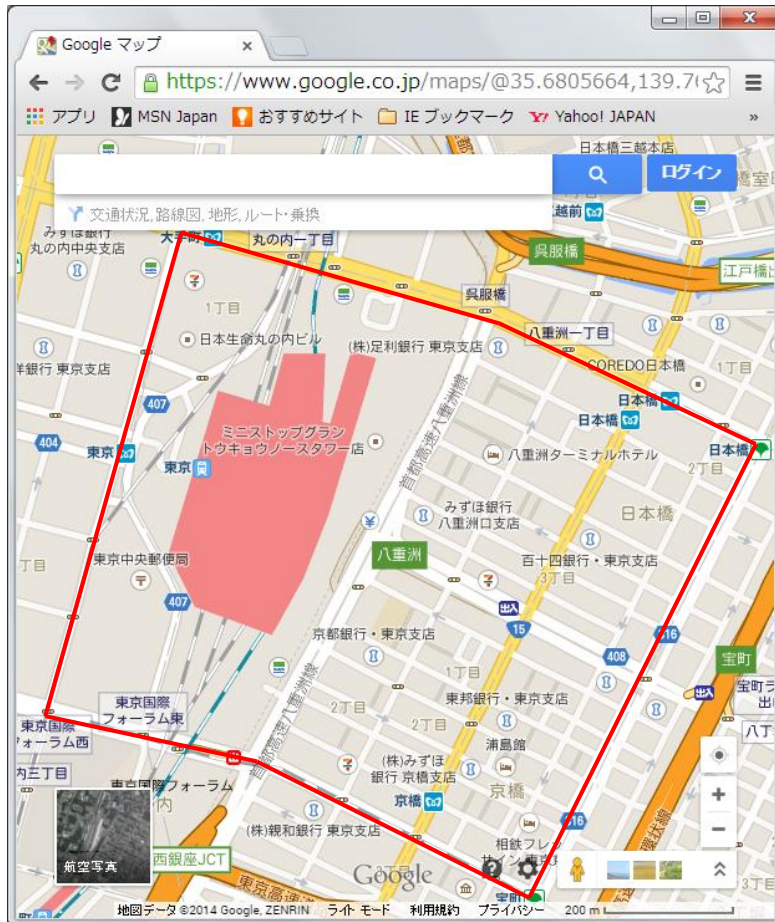
G:GPS J:QZSS C:BeiDou R:GLONASS

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

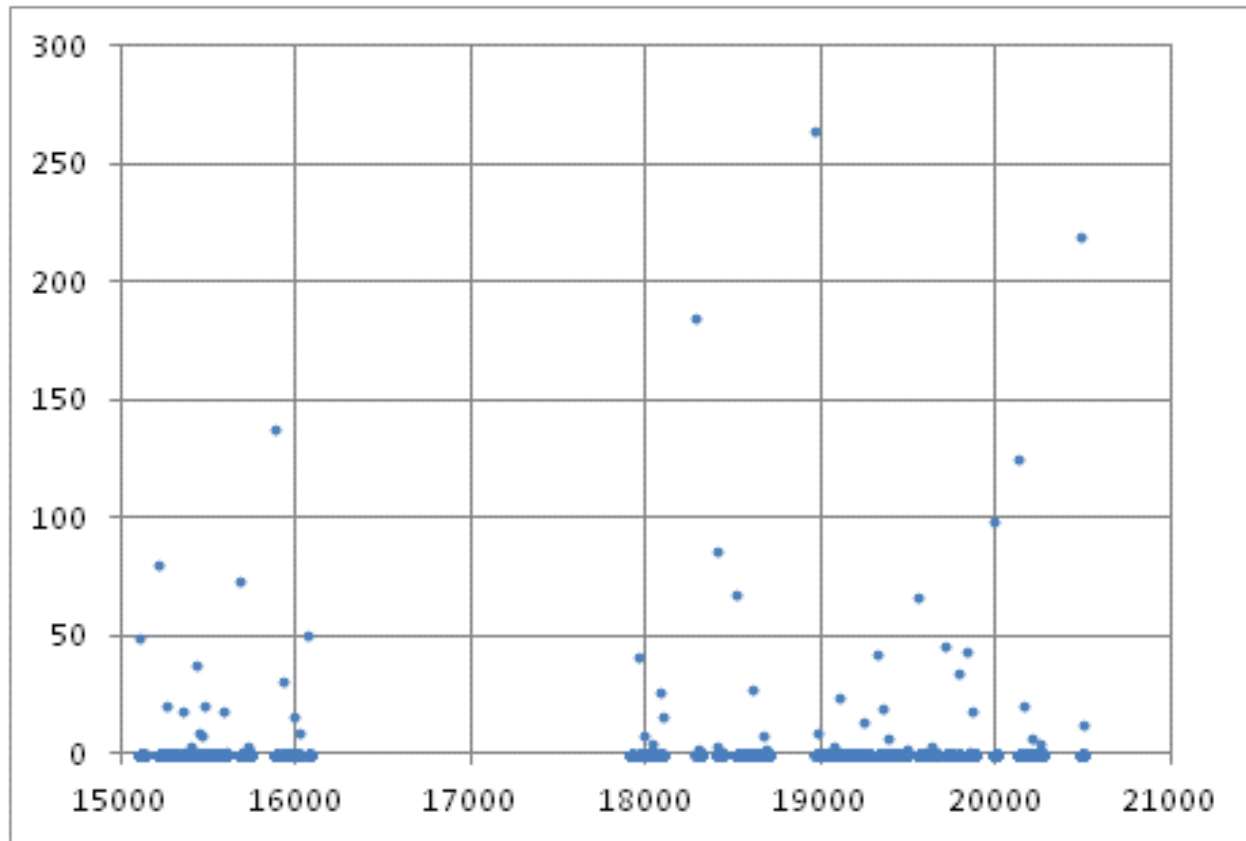
**FIX率は41.2%**



**5周回分の水平位置**

# FIX解のない時間間隔

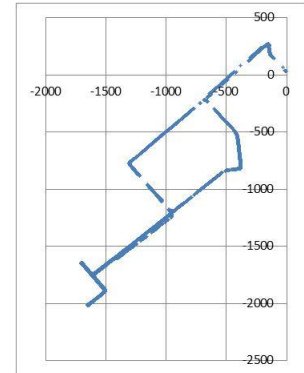
平均時速17.3km/h→単純に最大間隔の264秒に換算すると1271m(実際は922m)



補正データのLatencyは最大から45秒、17秒、11秒の3回が問題であとはほぼ1、2秒以内 データリンクはE-mobile

# 受信機による違い

- 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 平均可視衛星数	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%

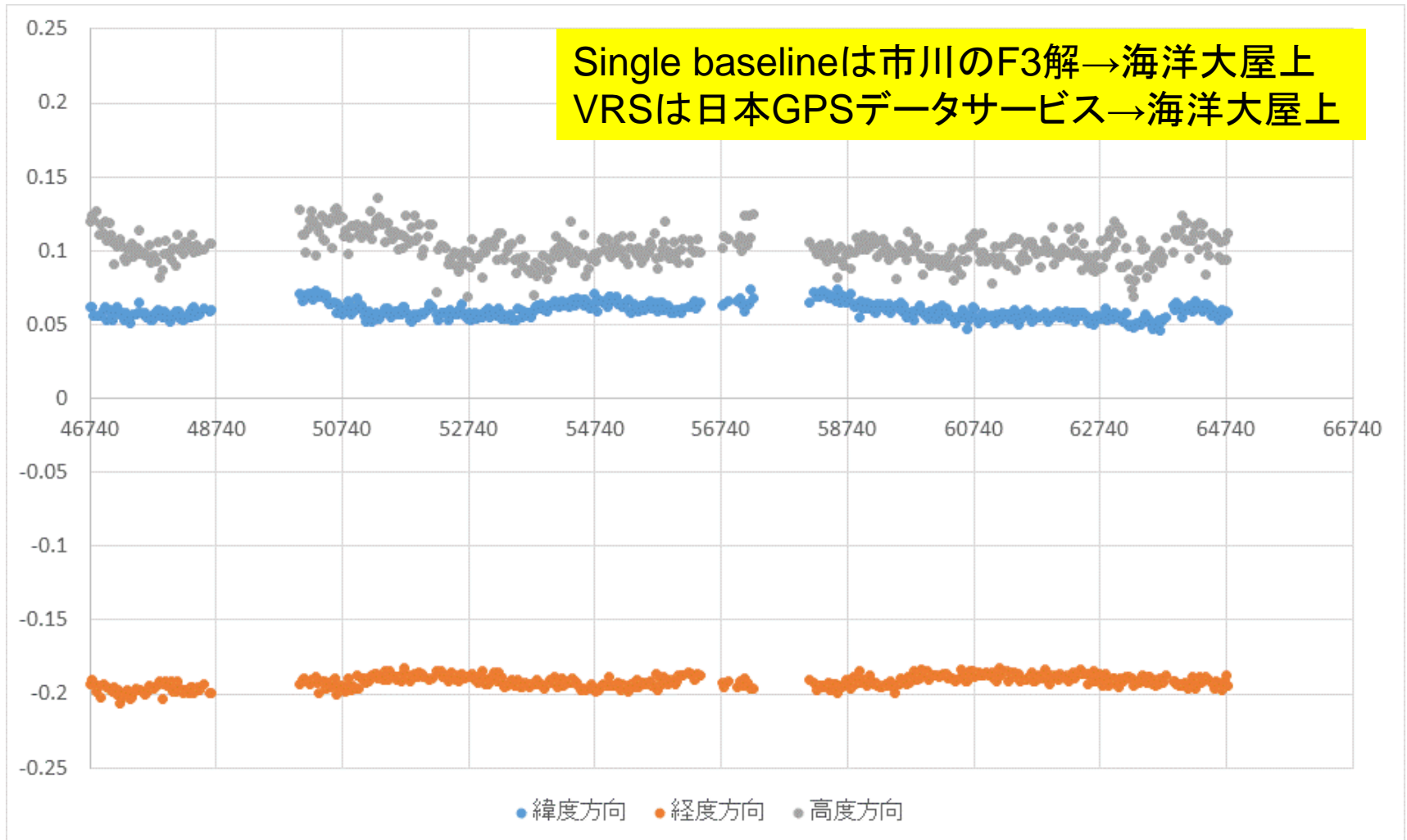
解析エンジンはLab.のもので、条件は全く同じ



# VRSとSingle Baselineの差

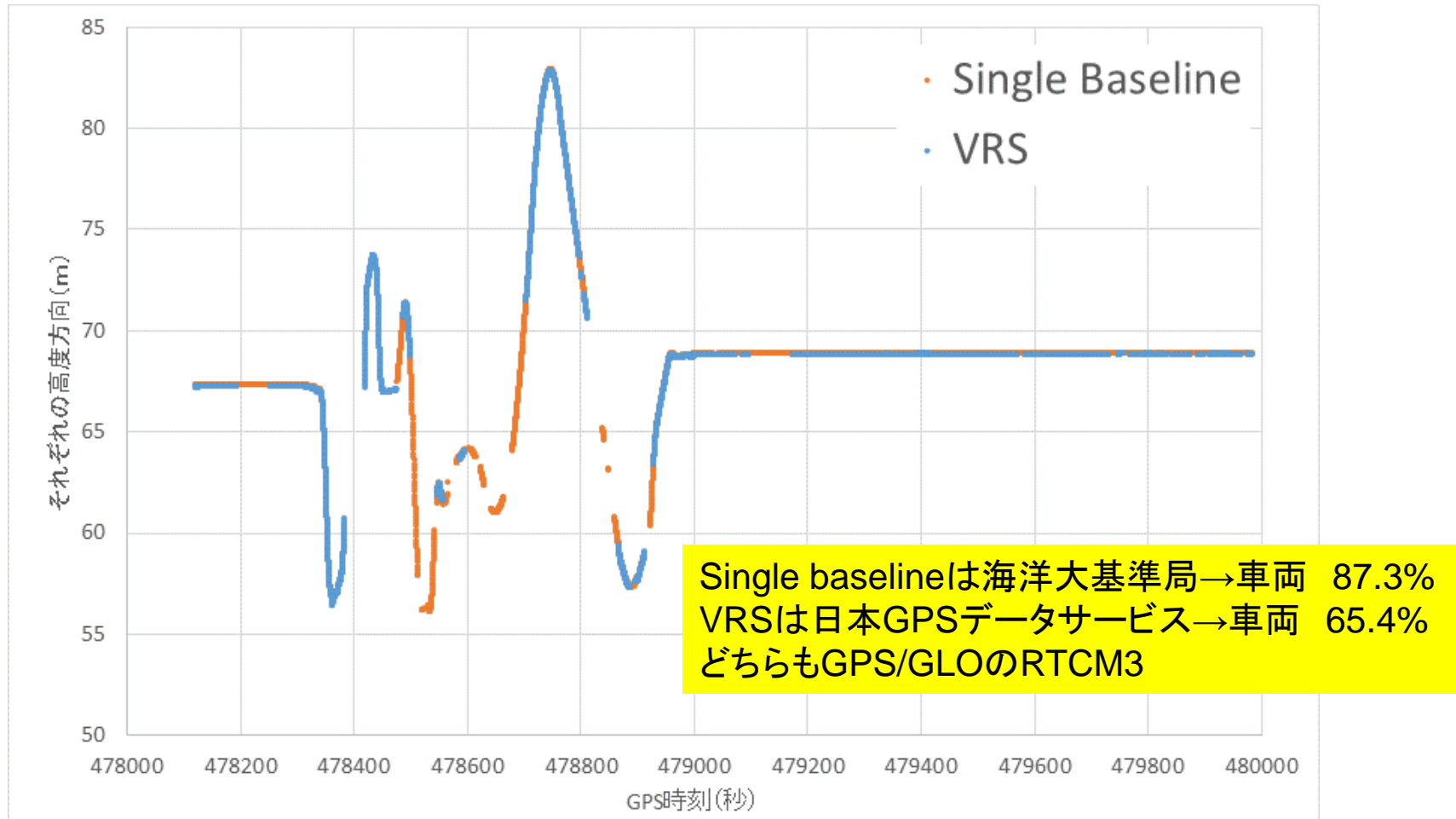
(2014/10/12 12:00-18:00 海洋大屋上)

各方向の誤差(m)

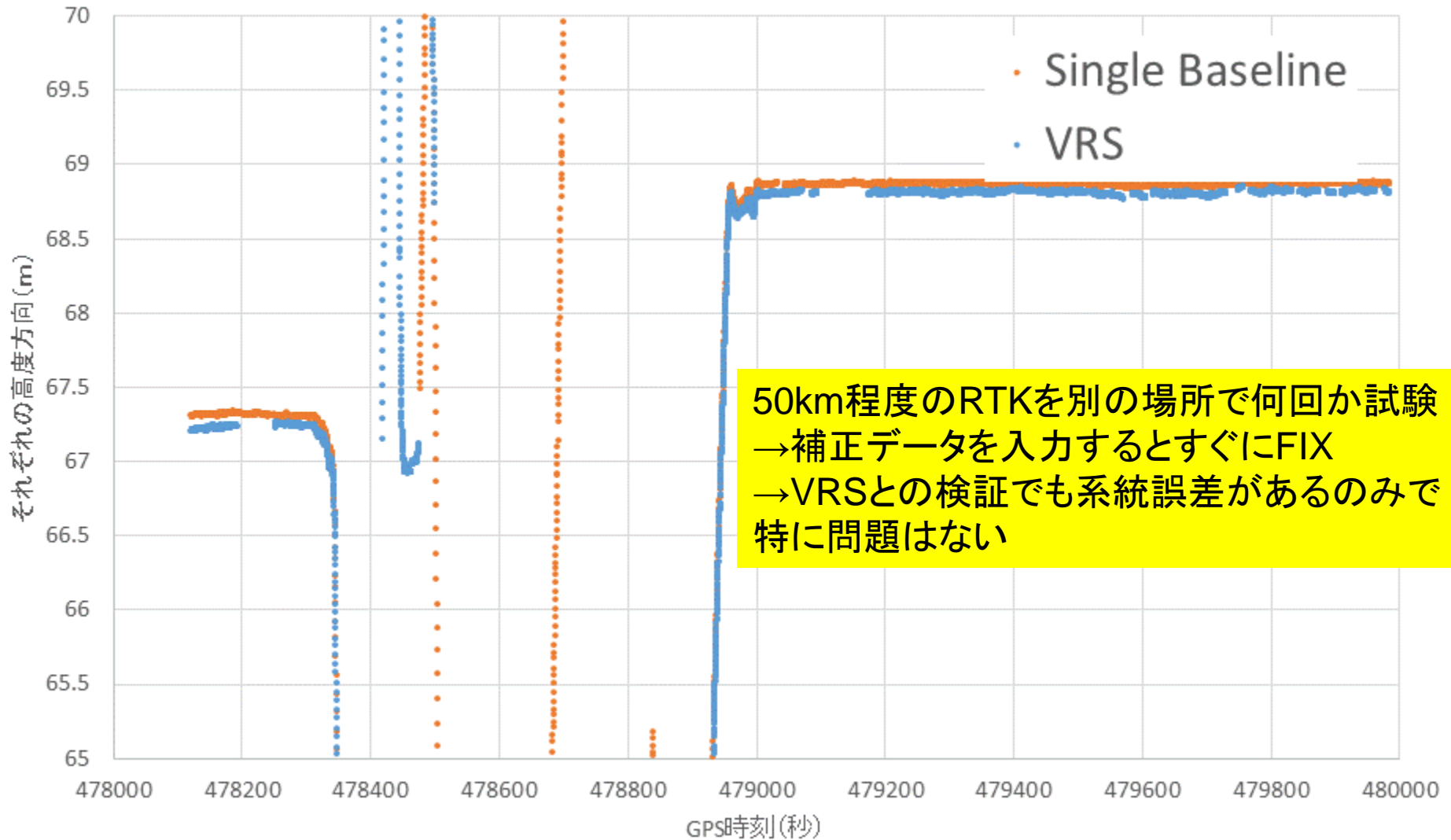


# 基線長の影響 (VRSとSingleBaseline)

(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)

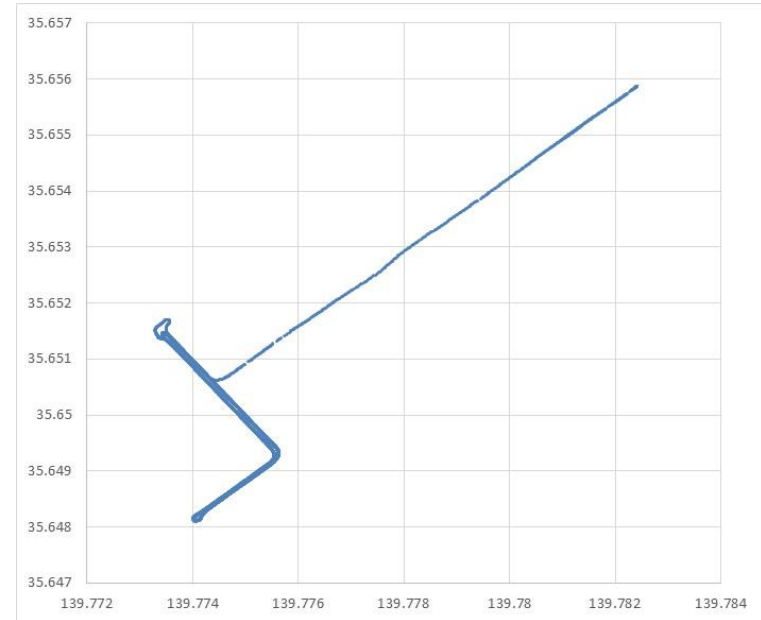


# 拡大



# Precise Point Positioning Test using commercial service

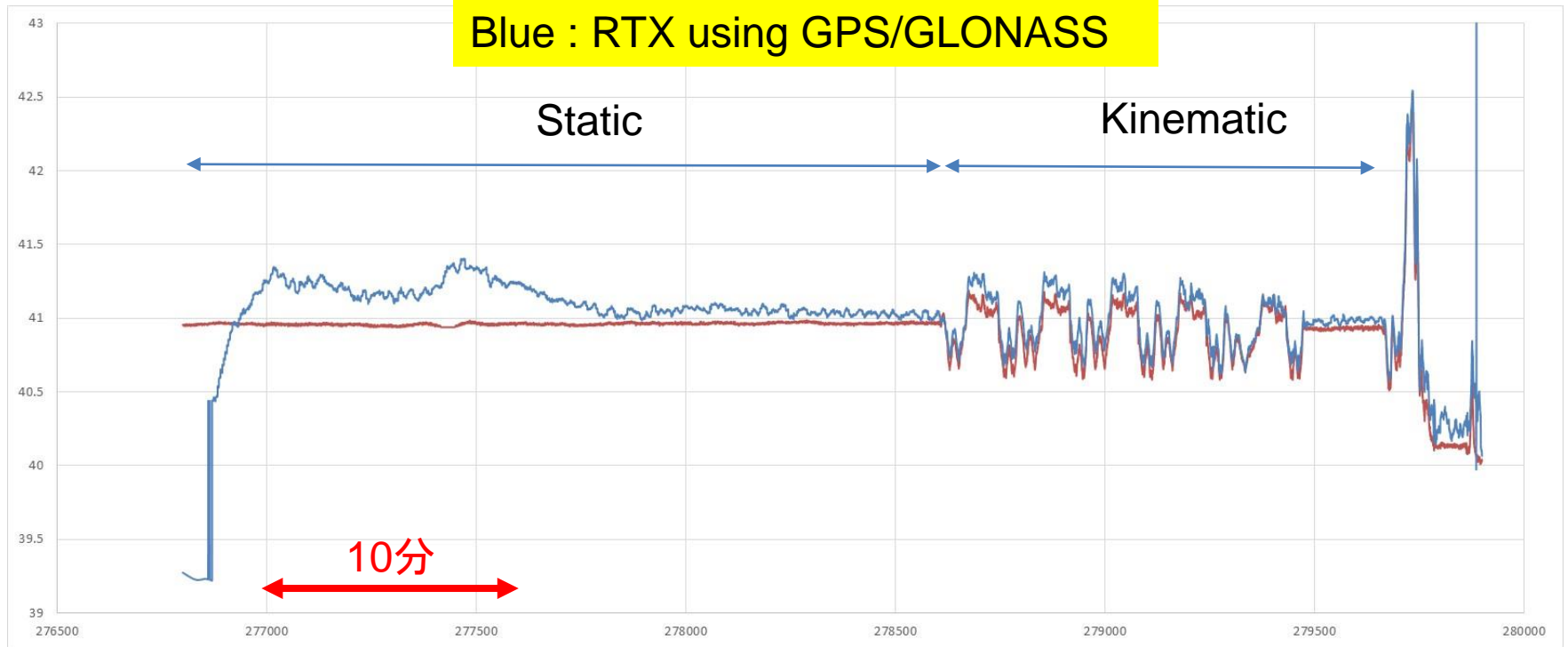
- 30 minutes static and 15 minutes kinematic
- Trimble SPS855+RTX (PPP) option
- Comparison with RTK results
- Omni-star was used
- Open Sky



Horizontal plots at Harumi Area

# Altitude Comparison between RTK and RTX (PPP)

Red : RTK-GNSS  
Blue : RTX using GPS/GLONASS



The accuracy was maintained within several centi-meters after 15 minutes of power on. Small bias (about 10cm) was deduced from other reason.

# 実験結果の現状（主に車両）

	精度	収束	Open	Semi	Urban
PPP	-10cm	約15分	○	困難	困難
RTK	-1cm	瞬時	○	70-90%	-50%
1周波	1-3m	瞬時	○	○	○

IMUやスピードセンサとの融合を前提に考えるべき

# 基線長と補正データ

- 最近の測量受信機では、50km程度まで関東での実験結果では瞬時FIXする模様。精度はカタログ通り
- 3周波になるとさらに延ばせる可能性→昔のFM放送でのDGPSサービスのRTK版も考えられる
- これまでの結果はローカルな基準局によるインターネット回線経由またはVRSの結果。本格的にユーザ目線にたつて、RTKやPPPの補正データ配信をどうするか考える時期
- RTKの場合、途中で基準点情報が変わることも考慮しなければならない(スムーズな利用基準点の以降。VRSも同様)

周囲の環境	補正サービス
サービスが必要とされない地域	特に何もしない
周囲に何もなく広い大地	PPP
田舎でビルのない場所 1-2階建てのみ	PPPまたはRTK
少し中層ビルがでてくる場所	RTK
中層ビル街	RTK+センサ
高層ビル街	RTK+高精度センサ

# 低コスト受信機によるRTK

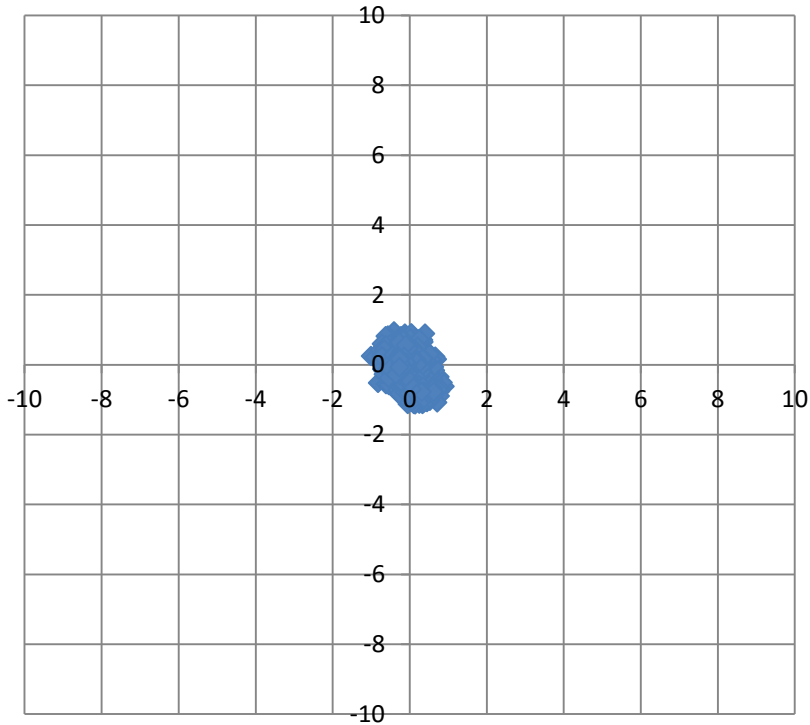
ソフトウェア受信機での評価

搬送波位相の性質

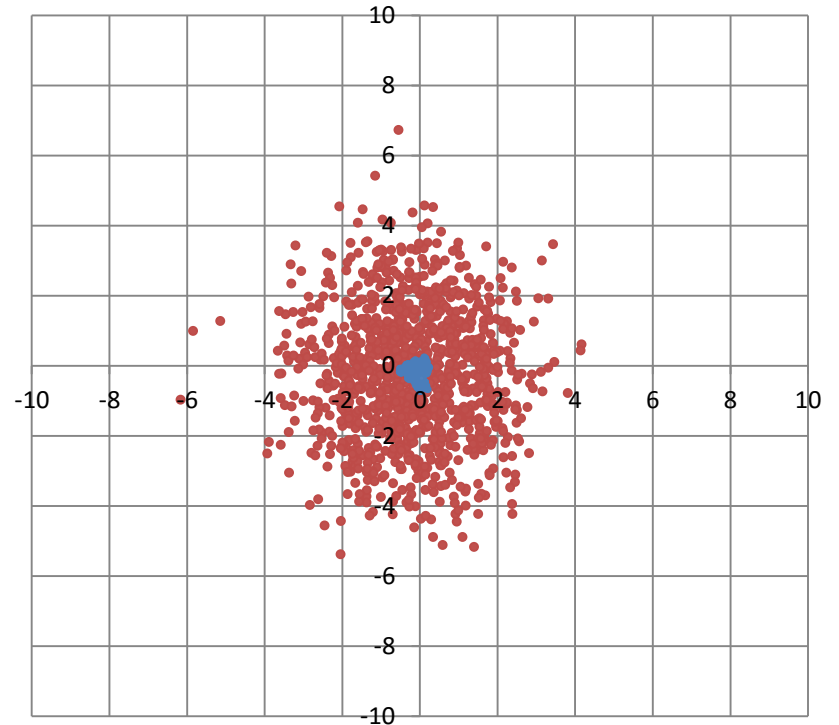
1周波と2周波で性能が異なるのは



# 同一アンテナDGPS



UBLOX

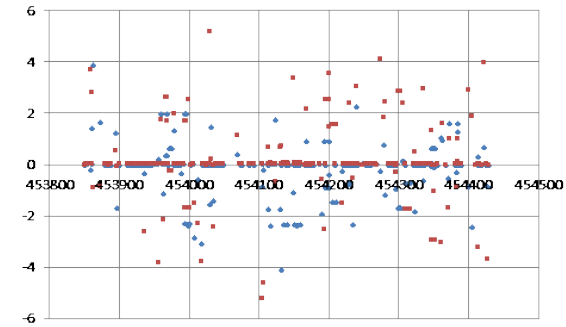
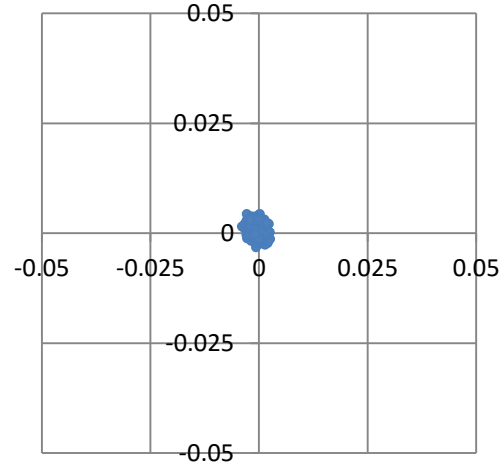
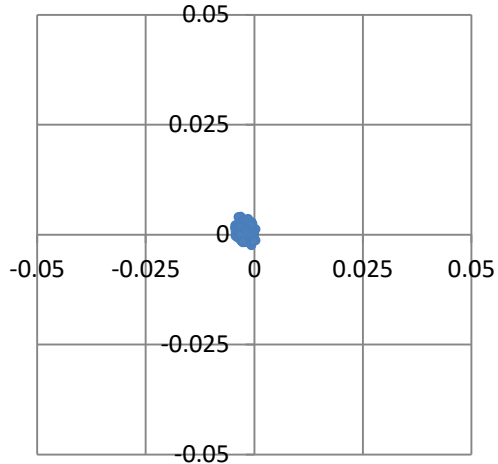


ソフト受信機 (CSなしとCS100秒)

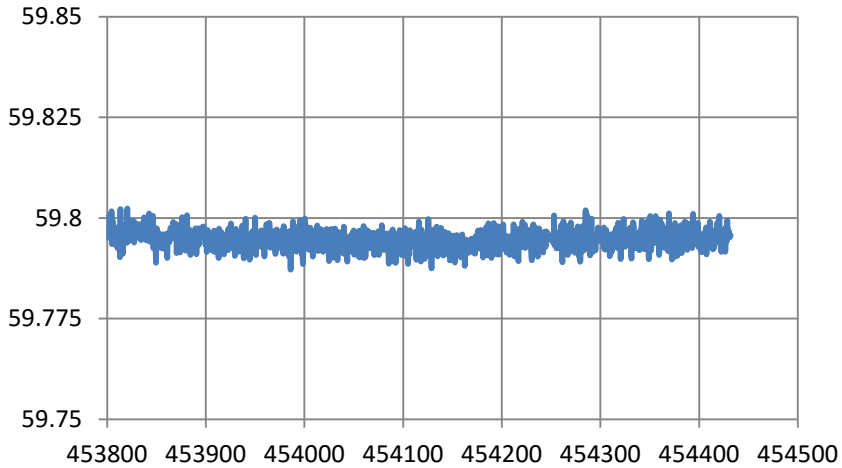
基準側はJAVAD、使用衛星は8衛星で合わせた

# 同一アンテナRTK

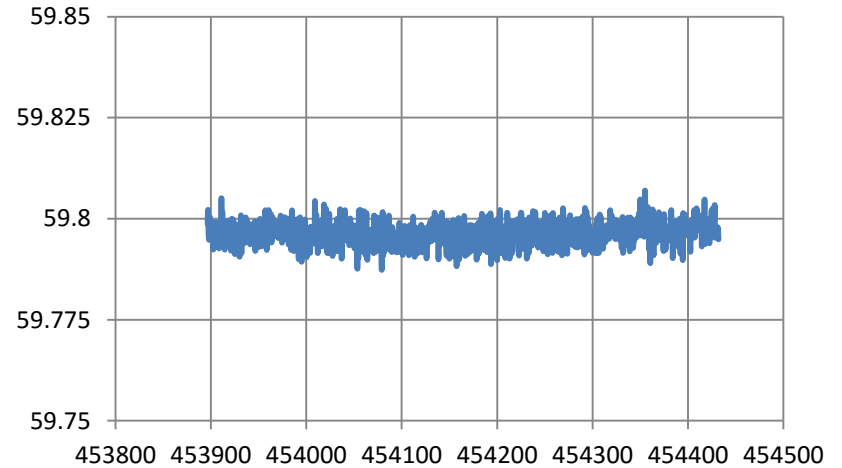
(瞬時AR, Ratio>3)



ソフト受信機 (CSなし)

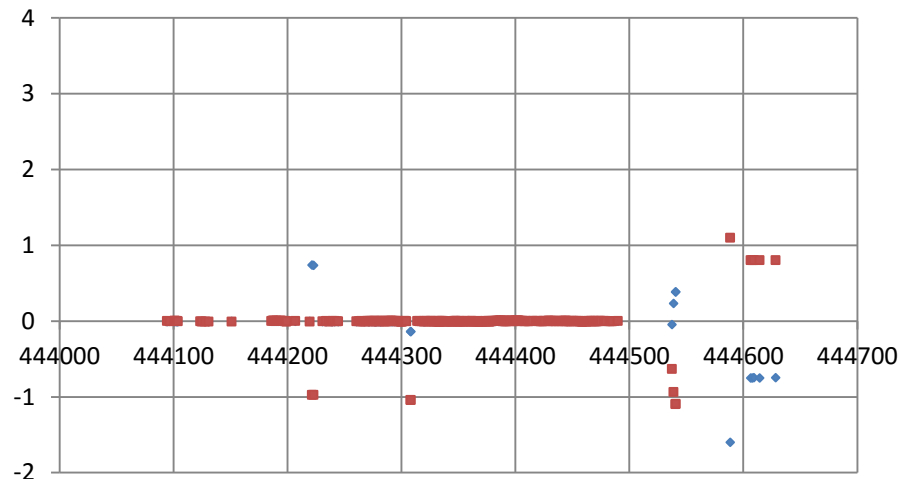
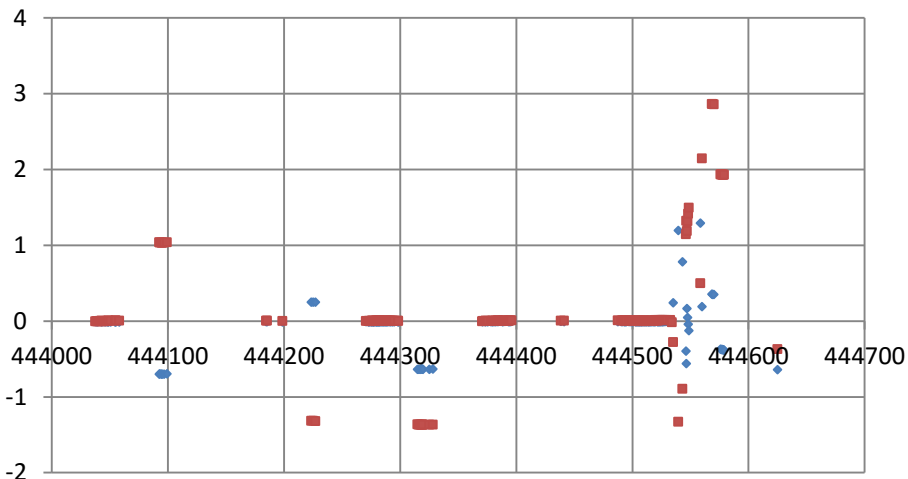
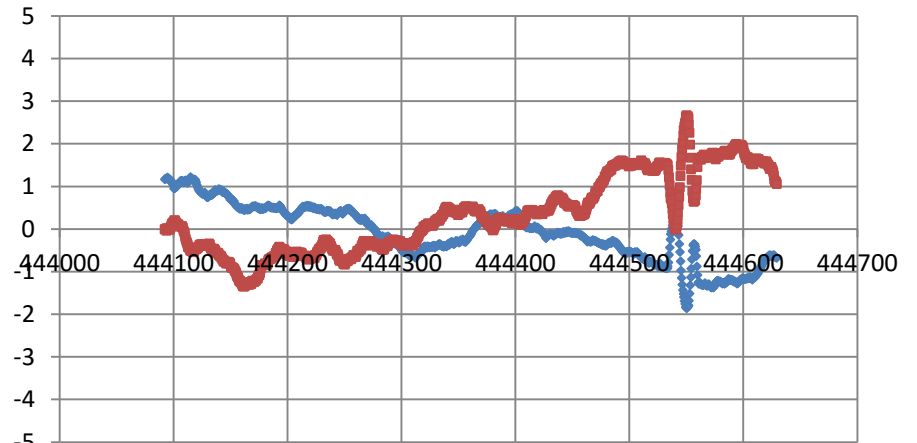
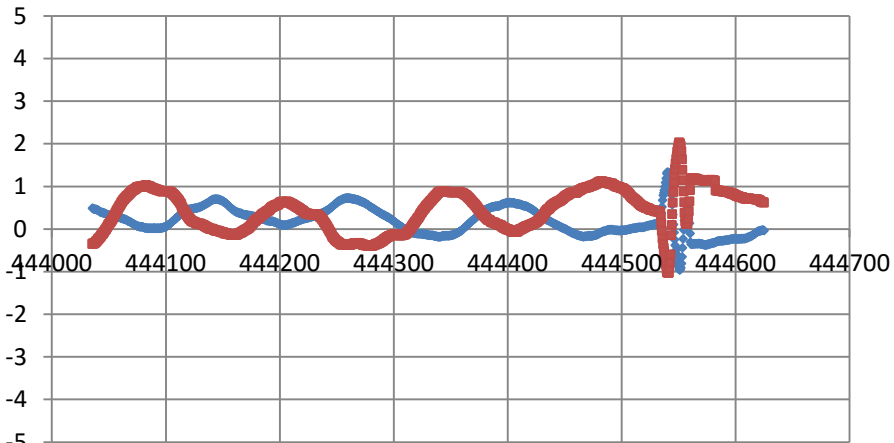


UBLOX  
96%FIX ミス1回



ソフト受信機 (CS100秒)  
100%FIX ミスなし

# 約220m基線長DGPS、RTK (8機のうち1衛星だけ利用衛星が異なる)



UBLOX CS100秒  
16.6%FIX ミス39回

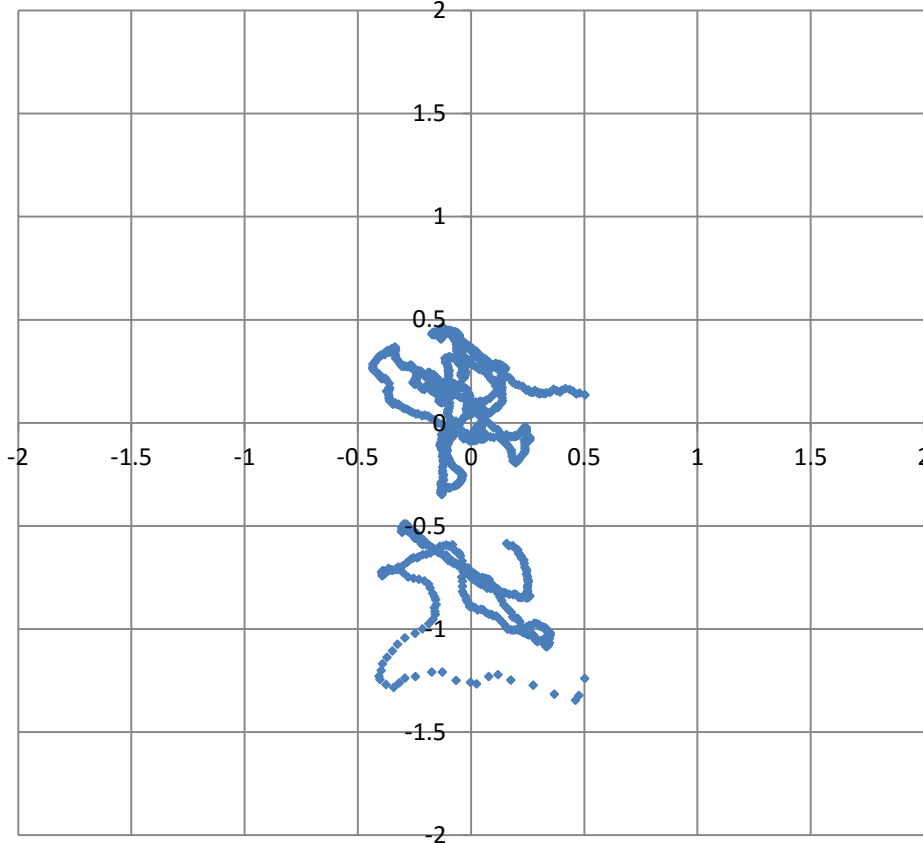
基準側はJAVAD

ソフト受信機 CS100秒  
33.6%FIX ミス13回

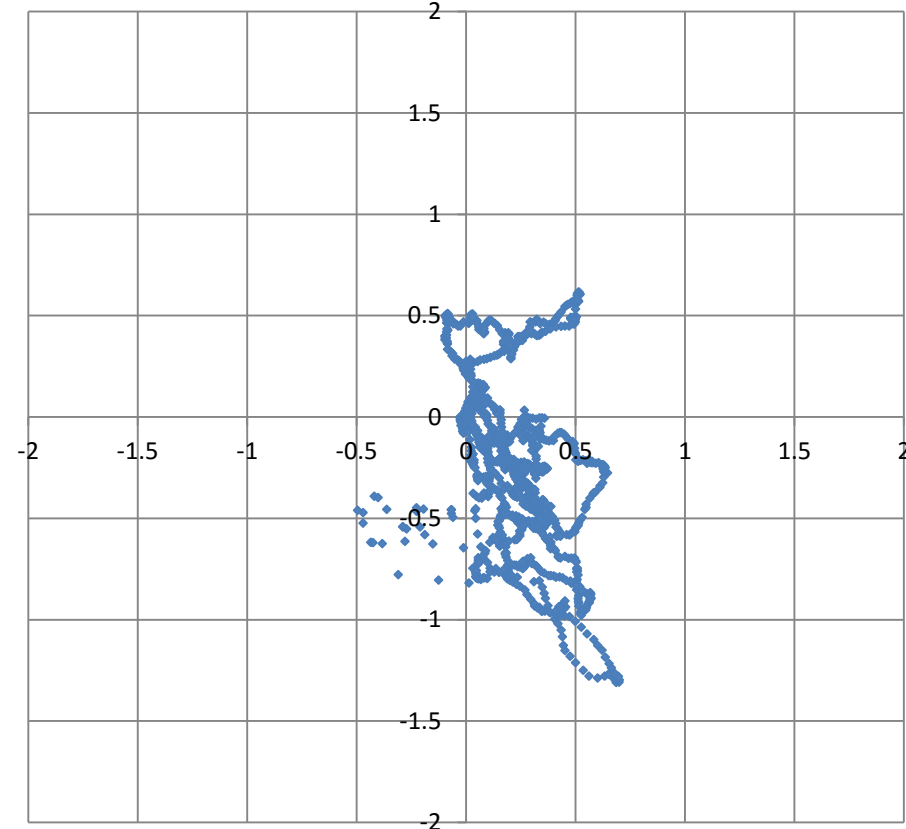
# GPSのL2Cを5機取得できる時間帯が存在

約200mの短基線データ  
基準側はJAVAD

L1-C/A 5機でのDGPS(UBLOX)



L1-C/A 5機でのDGPS(ソフト受信機)

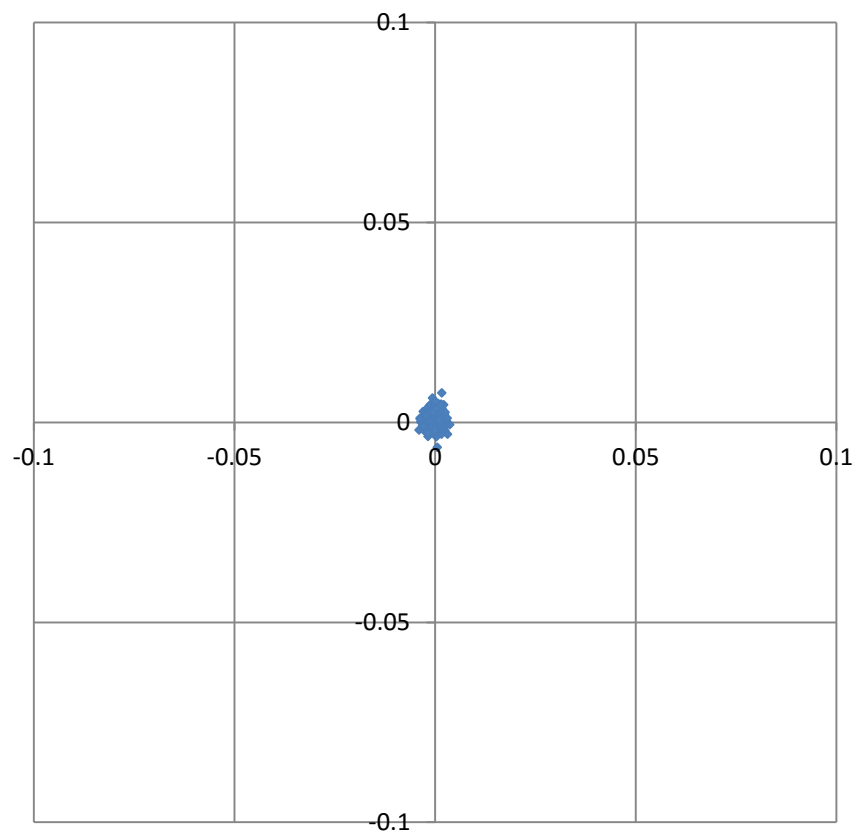


1回もFIXせずでミスFIX多数

1周波で衛星配置が完全でないと、5機でのFIXは困難→RTKLIBでも同様

50/1400のみFIXでミスFIXも多数

# L1-C/A+L2C 5機での2周波RTK(ソフト受信機)

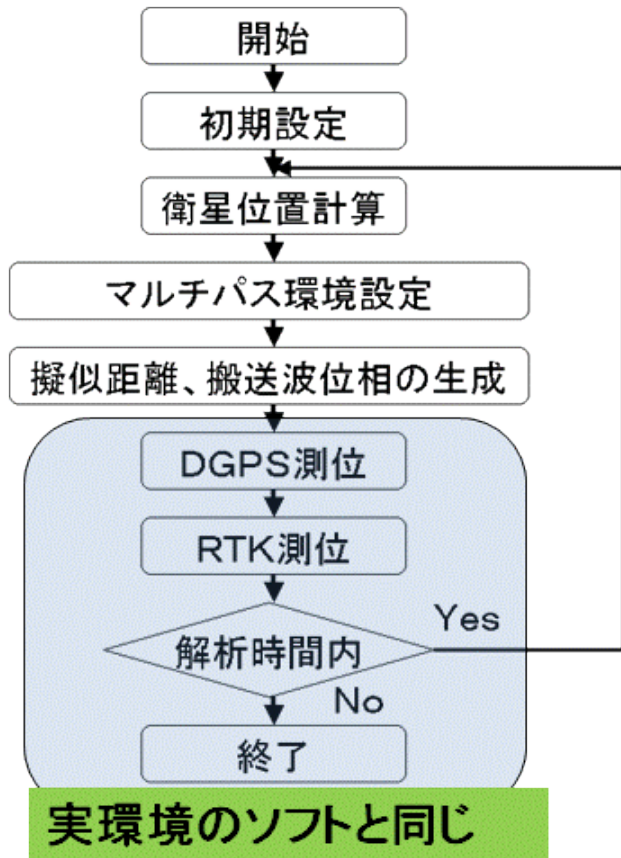


809/1400 FIXでミスFIXはゼロ  
+L2Cの搬送波の効果は大

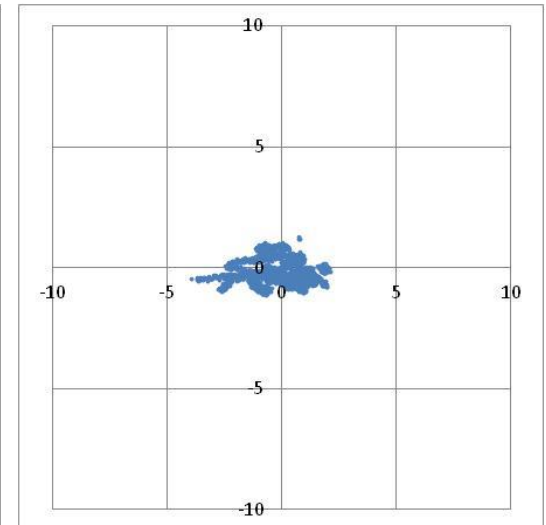
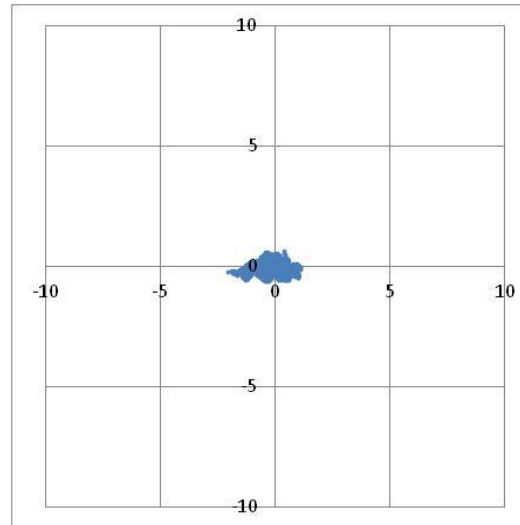
# 1周波と2周波での性能差は？

## 擬似距離の精度は重要か？

- ようはAR手法+テストで擬似距離のノイズとバイアスをどの程度まで許容できるか→シミュレーションで検討

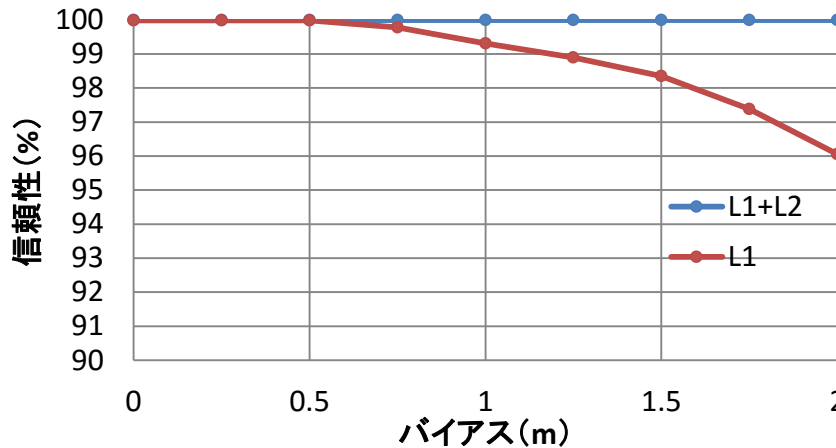


- 左が処理フローで、観測データ生成以外は全て実験の解析で利用したソフトと同一である
- 左のマルチパス設定において、今回は擬似距離にバイアスを常に1機に与えた
- 観測データの雑音は、実データに近い仰角に応じた信号強度より白色で与えた



# 信頼性と利便性での比較結果

マスク15度 信頼性 (FIX解が正しい)



- 本結果より、実験解析結果と同様の傾向が見られた。マルチパスによるバイアスは本来SIN波のようになるが、今回は固定バイアスで計算しているため実環境より厳しくはなる

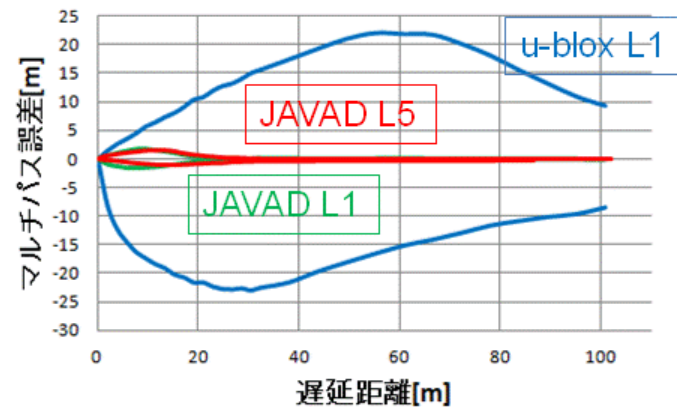
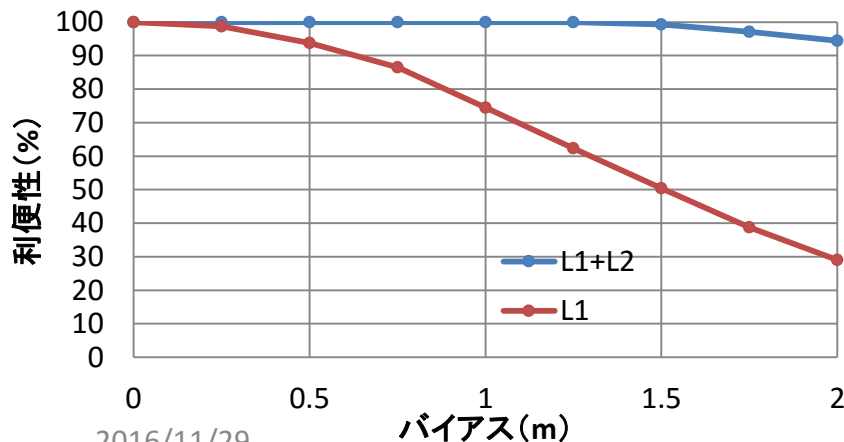
- L1-RTKで99%以上の信頼性

→ オープンスカイ: マルチパス1m程度  
 → 利便性は少しバイアスで劣化していく

- 2周波で99%以上の信頼性

→ オープンスカイ: マルチパス2mでもOK  
 → 利便性は2m程度まで大きな劣化なし

マスク15度 利便性 (Ratio>3)



# まとめ

- 現状のマルチGNSSの性能を評価
- マルチGNSSはコンシューマ受信機だけでなくRTKの性能向上に大きく寄与
- RTKやPPPについていうと、都市部では高仰角衛星の数が重要
- 今回の結果はローカルな補正データによるもの。広域で高精度な測位サービスを提供できる方法を提案する時期。またその評価も重要
- 1周波RTKについては、擬似距離の精度を向上させるか、衛星数を十分に確保できるかが重要

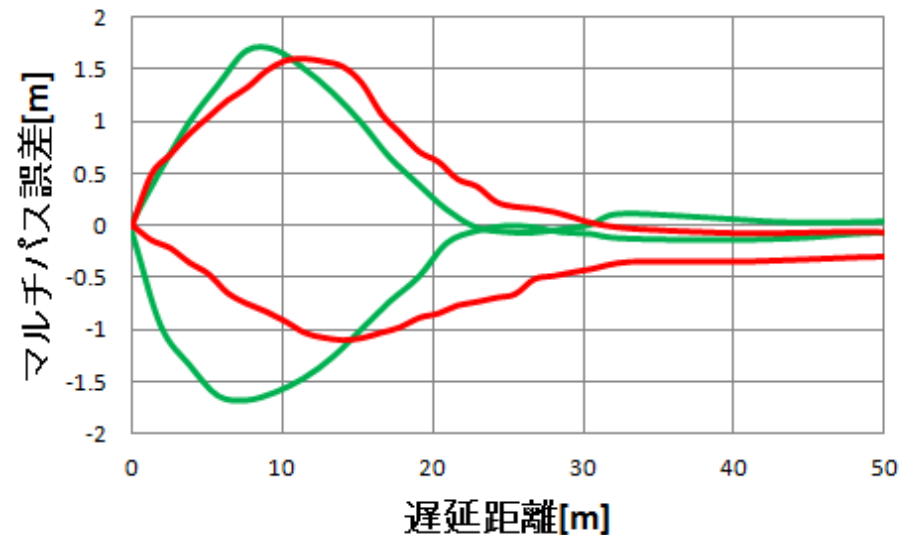
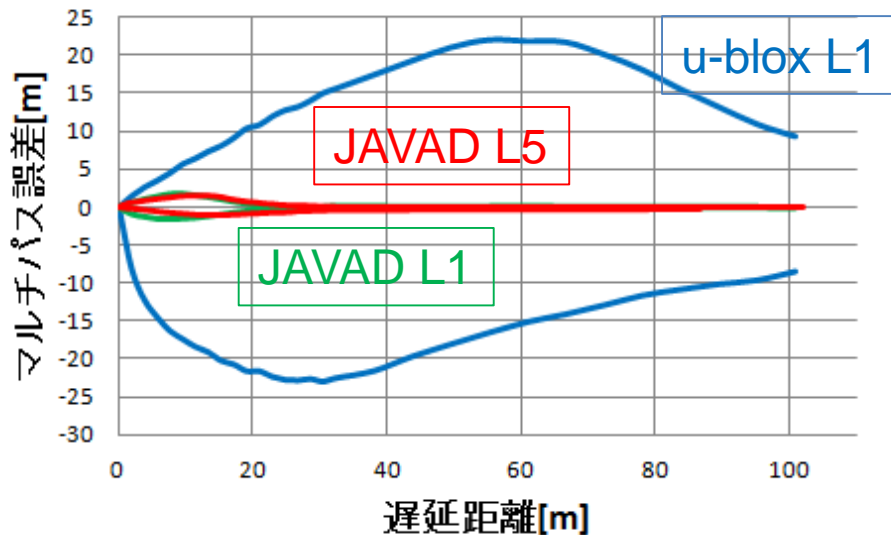


ご静聴ありがとうございます

[nkubo@kaiyodai.ac.jp](mailto:nkubo@kaiyodai.ac.jp)

# 実際の受信機内部でのマルチパス誤差

シミュレータで遅延距離を動かしながら、±3dB程度のマルチパスを発生させ、JAVAD受信機とu-blox受信機の耐マルチパス性能(同相、逆相)を観測した



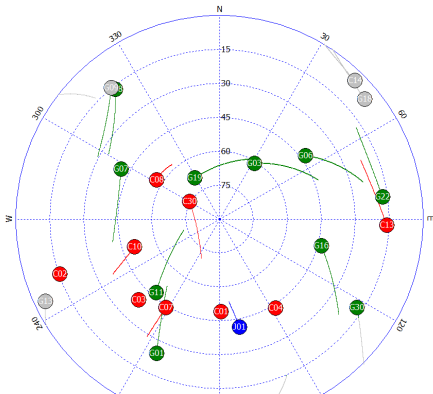
遅延距離で100mまで

JAVAD受信機の拡大図

この結果より、汎用の高精度受信機のL1帯信号を利用している限り、直接波が十分受信できていれば、2mのバイアスを発生するケースは鏡面の平らな高層ビル街に限られる。むしろ、衛星配置の悪さや支配的な反射波の影響によるFLOAT解の飛びが問題

Yaesu

Two Test Routes



GPS/QZSS/BeiDou

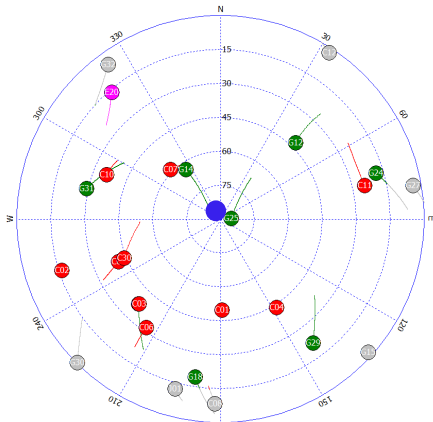


RTK-GNSSの信頼性は？



Start (Kaiyodai)

Tsukishima



GPS/QZSS/BeiDou



<b>Tsukishima Route</b>	<b>FIX rate</b>	<b>Maximum Interval without fix</b>	<b>Percentage below <b>0.5m</b> (Horizontal)</b>
<b>GPS</b>	<b>21.7 %</b>	<b>195 s</b>	<b>99.96 %</b>
<b>GPS/QZS</b>	<b>39.8 %</b>	<b>176 s</b>	<b>99.73 %</b>
<b>GPS/QZS/BeiDou</b>	<b>71.6 %</b>	<b>60 s</b>	<b>99.85 %</b>

<b>Yaesu Route</b>	<b>FIX rate</b>	<b>Maximum Interval without fix</b>	<b>Percentage below <b>0.5m</b> (Horizontal)</b>
<b>GPS</b>	<b>22.0 %</b>	<b>416 s</b>	<b>99.74 %</b>
<b>GPS/QZS</b>	<b>27.1 %</b>	<b>415 s</b>	<b>99.80 %</b>
<b>GPS/QZS/BeiDou</b>	<b>33.1 %</b>	<b>128 s</b>	<b>96.56 %</b>

\* “POS/LV” assures 20-30 cm errors under this route condition

\* “60 s” interval happened under the elevated road

\* RTK : Laboratory engine was used.