

# 衛星測位を利用した高精度位置決定 の現状と未来（車両の観点）

「ロケーションサービス～準天頂衛星、屋内測位、位置情報利用～」

WTP2016 5月27日 ビックサイト  
久保信明（東京海洋大学）

# 新会社「**ダイナミックマップ**基盤企画」

- 三菱電機、地図大手のゼンリンなど15社は19日、自動運転向けの高精度地図の事業化（パスコ、アイサン、自動車メーカー等も参加）
- 高精度の地図があることで、自動運転車は高速道路と真下にある一般道の違いを認識できる。正確な運転には坂道の勾配やカーブの状況が欠かせないほか、信号情報を加えれば、交通状況を先読みして急停止や急発進を防げる
- 各社は昨年10月、高機能地図の仕様を検討する事業を内閣府から受託し、検証を進めてきた。自動運転システムの実現に加え、防災や社会インフラ関連といった幅広い分野への展開も目指す

# 例えば Google Earth (2011年に実施)



晴海トリトン横交差点



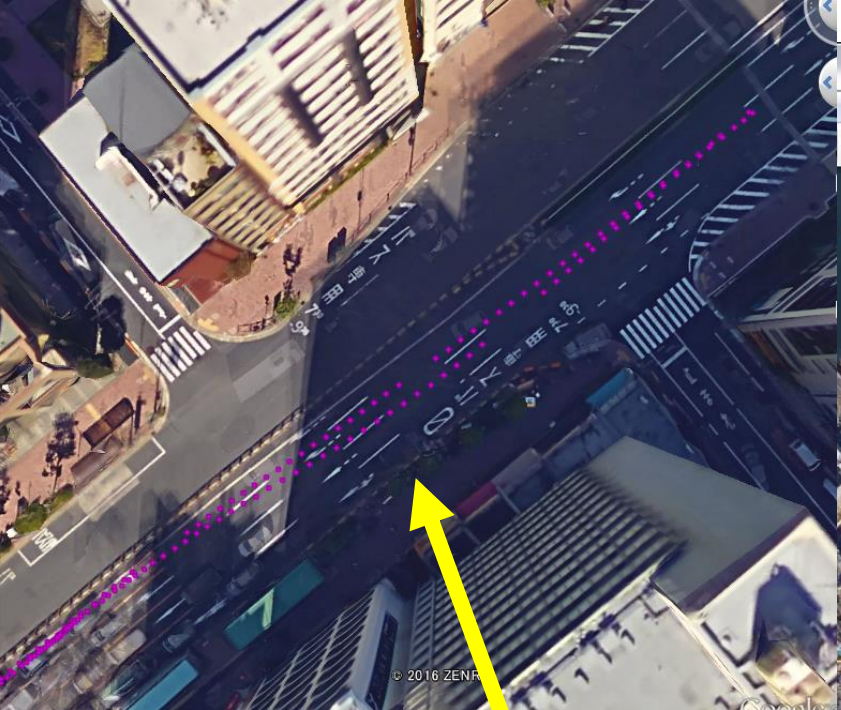
東京駅前



海洋大越中島ドック内

全てF3解基準のRTKの結果と地上高付近で比較し、50cm以内程度





勝どき付近拡大



走行時のRTK-FIX率は約74%  
F3解準拠のRTK-GNSS

# 実験時の使用受信機は？

1. NovAtel OEM628
2. JAVAD Delta
3. ublox M8T
4. Trimble SPS855
5. Furuno GN87
6. Topcon MR-1





Learn more about the product

EVK-M8F	Supports LEA-M8F	1 - 49 pcs \$ 349.00	<a href="#">Price breaks &amp; buy »</a>
EVK-M8T	Supports NEO-M8T, LEA-M8T	1 - 49 pcs \$ 349.00	<a href="#">Price breaks &amp; buy »</a>
EVK-6T	Supports u-blox 6 Timing chips, LEA-6T, NEO-6T	1 - 49 pcs \$ 349.00	<a href="#">Price breaks &amp; buy »</a>

Home > UBLOX NEO-M8T TIME & RAW receiver board with SMA (RTK ready)

**UBLOX NEO-M8T TIME & RAW RECEIVER BOARD WITH SMA (RTK READY)**



UBLOX NEO-M8T GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, QZSS and SBAS RAW and timing receiver EVAL module USB, I2C, UART with SMA antenna connectors. RTK ready.

[More details](#)

Quantity:  **\$74.99**  
166 items in stock  
[Add to cart](#)

Home > Ublox NEO-M8P C94-M8P RTK application board package

**UBLOX NEO-M8P C94-M8P RTK APPLICATION BOARD PACKAGE**



Ublox NEO-M8P C94-M8P RTK application board package

[More details](#)

Quantity:  **\$699.99**  
1 item in stock  
**Warning: Last items in stock!**  
[Add to cart](#)

# レファレンス用の測定システム

## TECHNICAL SPECIFICATIONS

- Advanced Applanix IN-Fusion™ GNSS-Inertial integration technology
- Solid-state MEMS inertial sensors with Applanix SmartCal™ compensation technology
- Advanced Trimble GNSS survey technology
- 336 Channels
  - GPS: L1 C/A, L2C, L2E, L5
  - GLONASS: L1 C/A, L2 C/A, L3 CDMA
  - BeiDou: B1, B2
  - Galileo<sup>1</sup>: E1, E5A, E5B, E5AltBOC
  - QZSS: L1 C/A, L1 SAIF, L2C, L5
  - SBAS: L1 C/A, L5
- High precision multiple correlator for GNSS pseudorange measurements
- Unfiltered, unsmoothed pseudorange measurements data for low noise, low multipath error, low time domain correlation and high dynamic response
- Very low noise GNSS carrier phase measurements with <1 mm precision in a 1 Hz bandwidth
- Proven Trimble low elevation tracking technology
- 100 Hz real-time position and orientation output
- IMU data rate 200 Hz
- Navigation output format: ASCII (NMEA-0183), Binary (Trimble GSOFF)
- Supported Reference input: CMR, CMR+, sCMR<sub>x</sub>, RTCM 2.1, 2.2, 2.3, 3.0, 3.1
- Support for POSPac MMS post-processing software (sold separately)
- No export permit required

## PERFORMANCE SPECIFICATIONS<sup>2</sup> (RMS ERROR)

	SPS	DGPS	RTK <sup>4</sup>	Post-Processed <sup>5</sup>
Position (m)	1.5 - 3.0	0.5 - 2.0	0.02 - 0.05	0.02 - 0.05
Velocity (m/s)	0.05	0.05	0.02	0.015
Roll & Pitch (deg)	0.04	0.03	0.03	0.025
True Heading <sup>3</sup> (deg)	0.30	0.28	0.18	0.080

## PHYSICAL CHARACTERISTICS

### Board Set

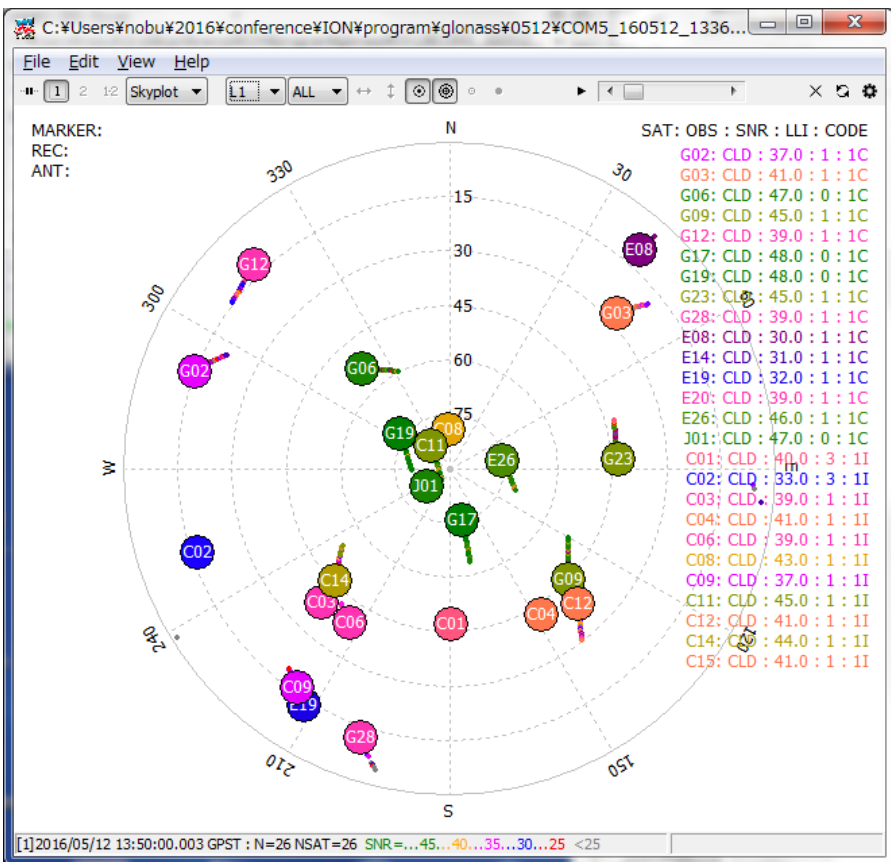
Size	..... 149 L x 93 W x 43 H mm (nominal)
Weight	..... 0.66 kg
Power	..... Wide range input 8-28 V DC, typical power consumption of 3.5W at room temperature
Connectors	..... I/O: DA26 Antenna: TNC (Female)
GNSS Antenna LNA Power Input:	Trimble 540AP included



1. MEMS
2. 車速パルス
3. RTK-GNSS

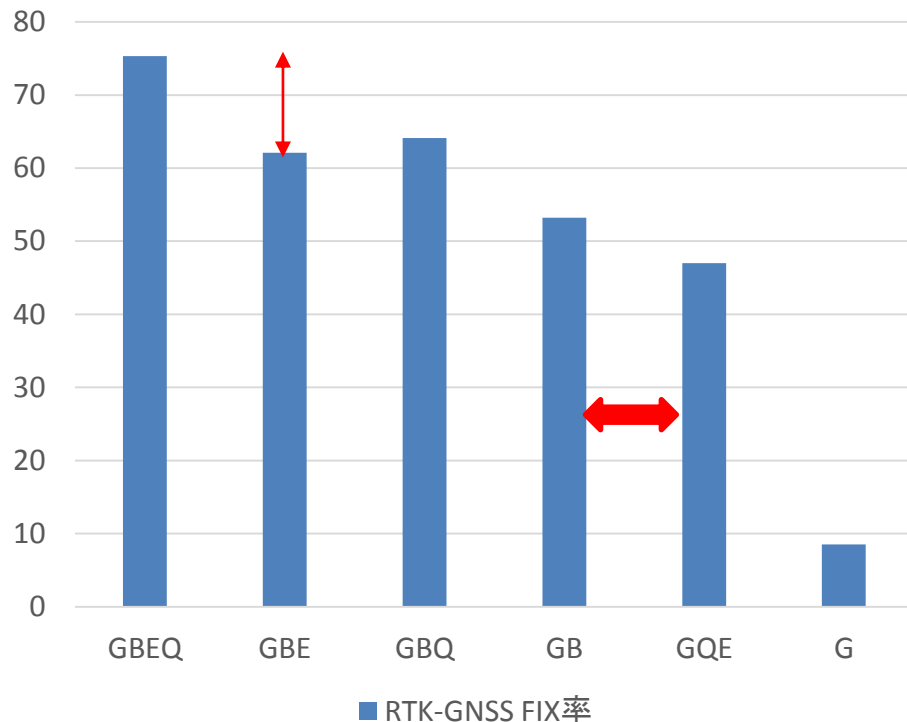
以上3つの統合により  
レファレンス位置を生成

# 準天頂衛星の寄与は？



実験時の衛星配置

RTK-GNSS FIX率

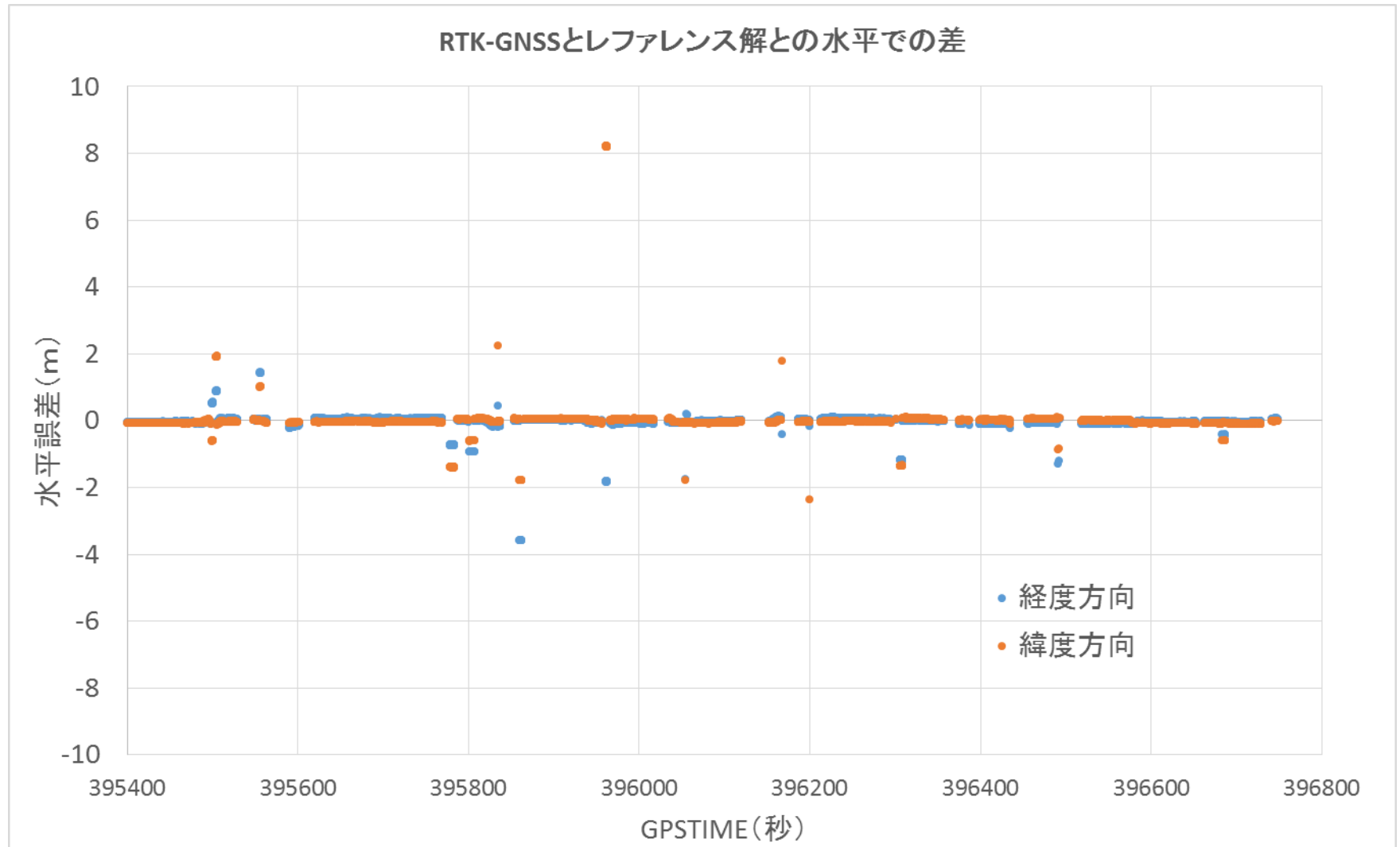


## 2つのポイント

- ①高仰角の準天頂衛星1機で13%の改善！
- ②高仰角の準天頂とガリレオの2機でBeiDouに迫る！

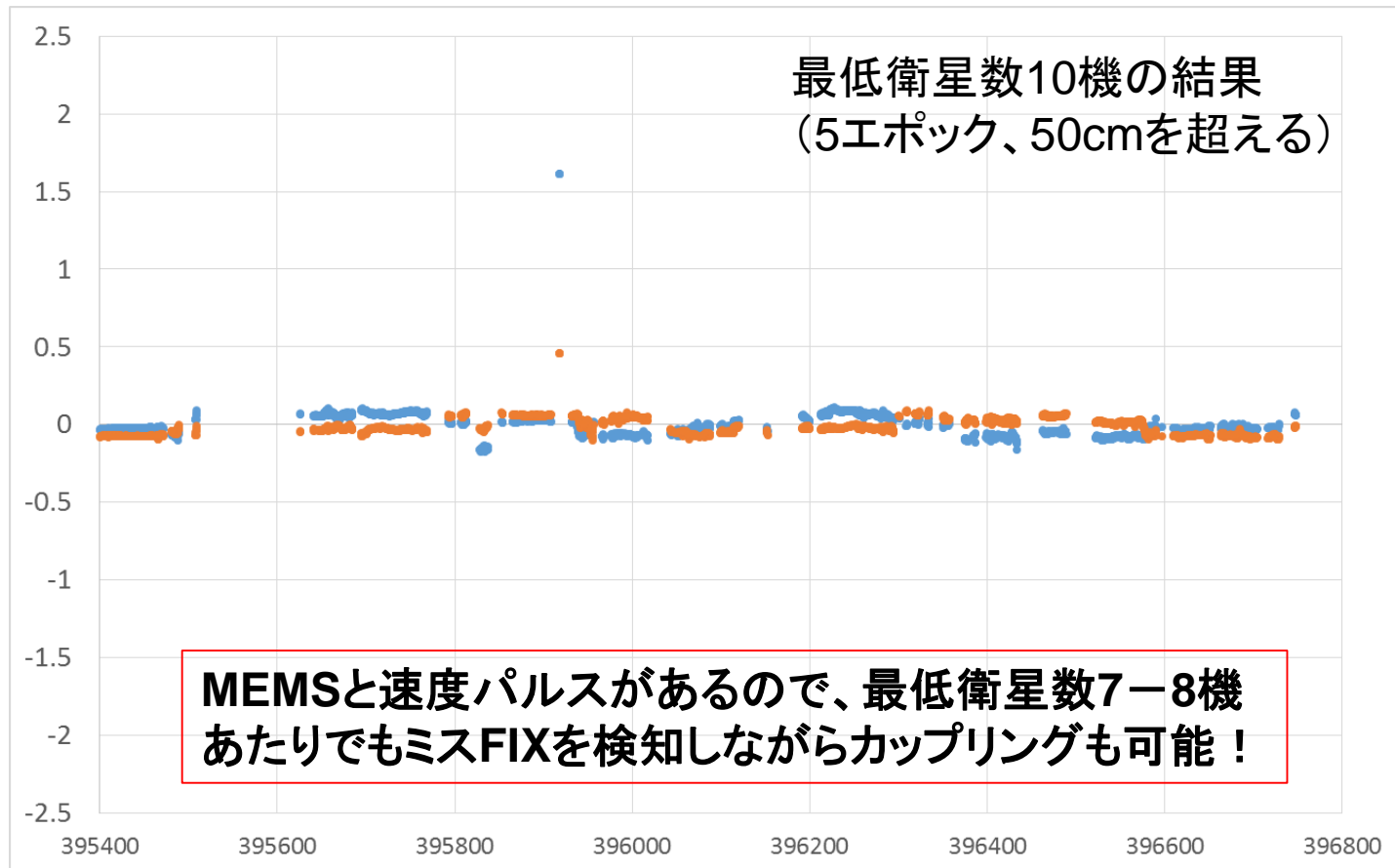


# 低コストRTK-GNSSの信頼性は？



# 最低利用衛星数を変化させると？

最低衛星数	6機	7機	8機	9機	10機
FIX率	73.9%	71.6%	68.3%	61.4%	52.3%
水平50cm 以内の割合	97.35%	99.27%	99.57%	99.40%	99.86%



低コストRTKでカバーできる範囲例  
(海洋大越中島基準局利用)  
基線に応じて徐々に劣化



切れ目の無い  
通信品質も重要  
(衛星経由または携帯回線)



# チャンピオンデータ？

Elevation Mask°:

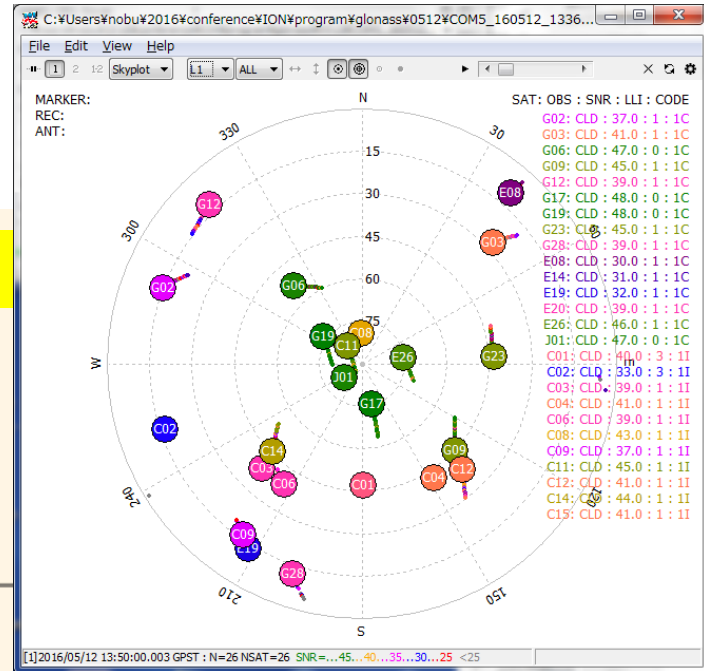
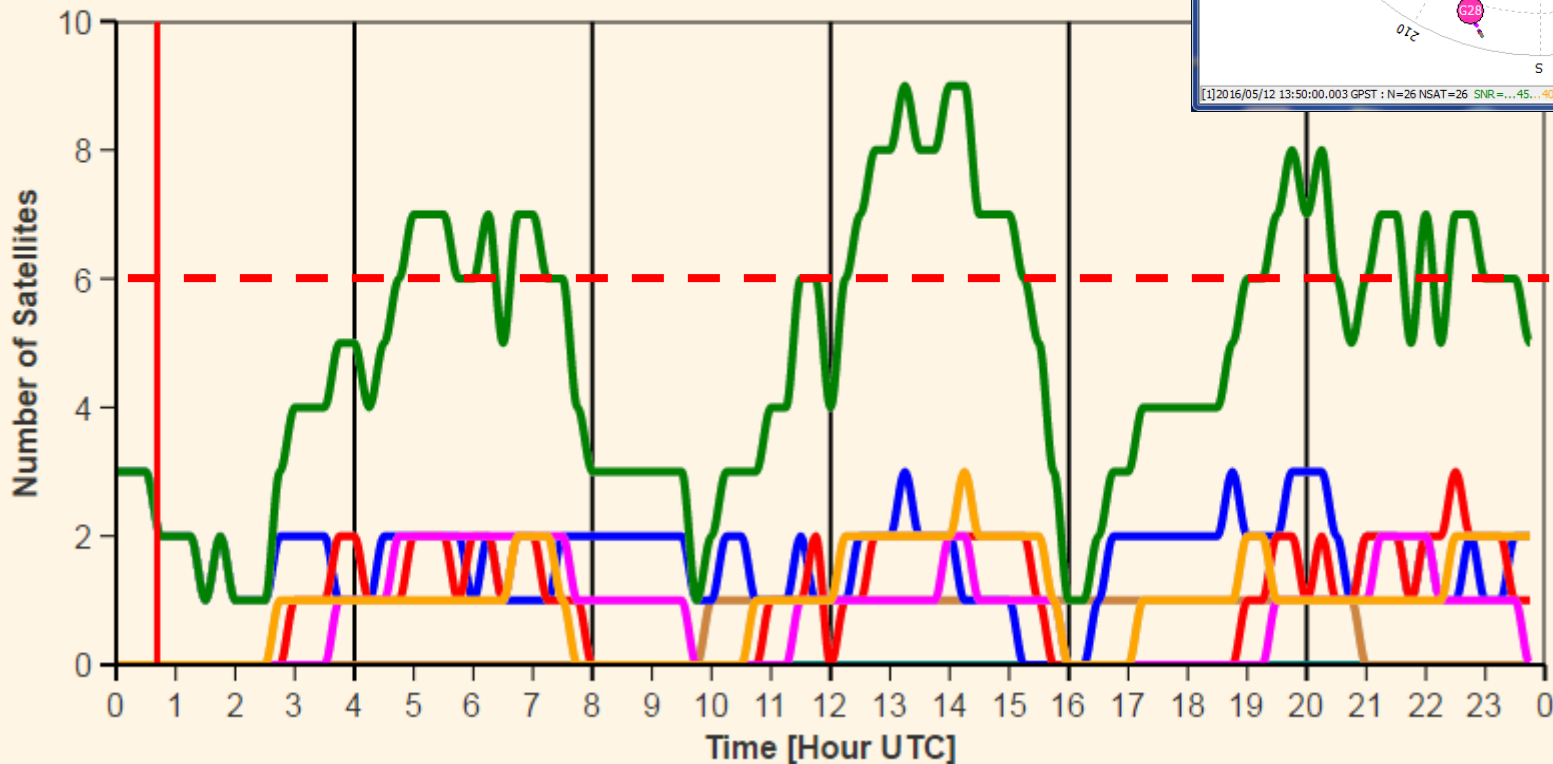
Ignore Health

Use Receiver Position

マスク60度で利用できる衛星数(今日)

Elevation Mask: 60

Lat = 35.666325 Lon = 139.792181 Hgt = 62m

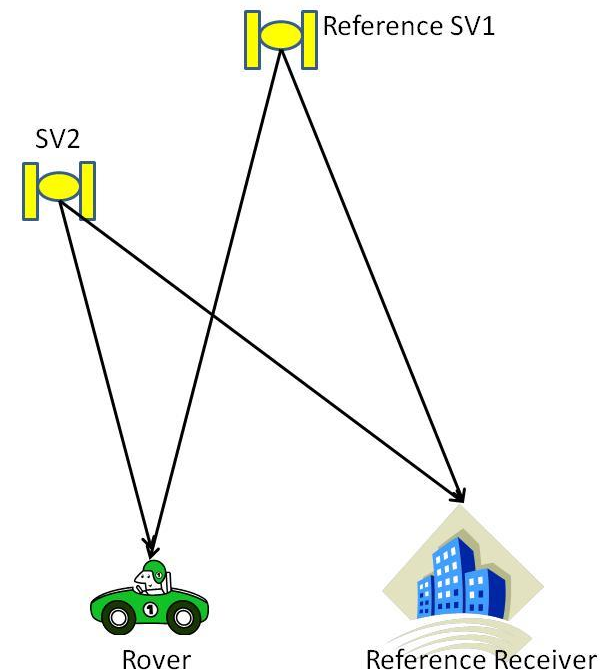
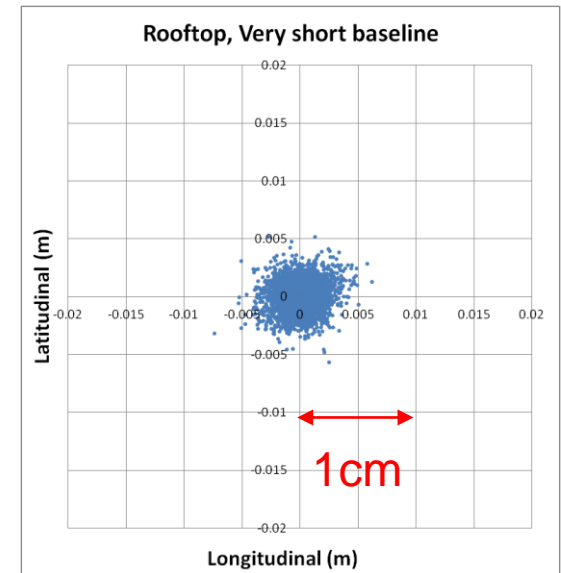


# そもそもRTKとは？

- 基準局からの補正データを利用し、観測値に搬送波位相を利用することで**1cm程度の精度**で位置を決定
- 二重差**という技術で面倒な衛星、受信機のクロックバイアスを見えなくする
- 搬送波位相測定値は衛星－自動車間の連続する位相を追尾した結果でてくるもので、**整数のあいまいさ**が残存→**整数のあいまいさ**決定が極めて重要
- 建物等で搬送波位相が**遮断**されると、整数のあいまいさを求めなおす必要がある

$$P_{rov\_ref}^{sv1\_sv2} = r_{rov\_ref}^{sv1\_sv2} + \varepsilon_{p,rov\_ref}^{sv1\_sv2}$$

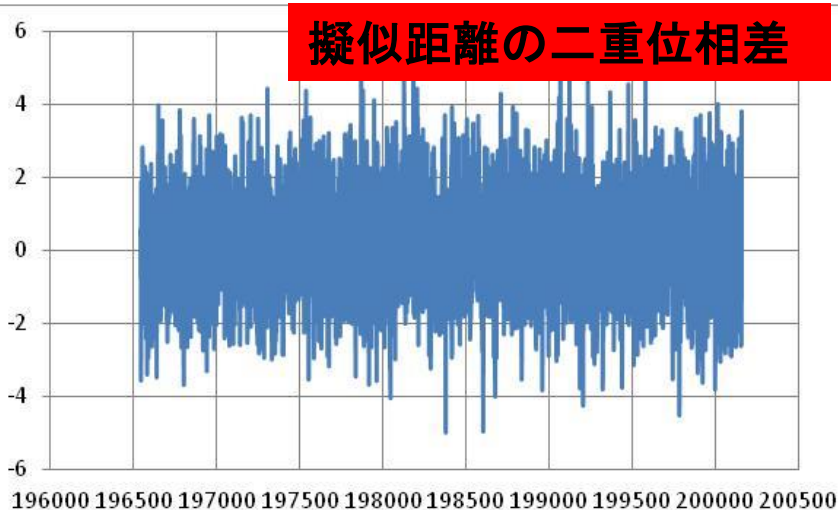
$$\phi_{rov\_ref}^{sv1\_sv2} = r_{rov\_ref}^{sv1\_sv2} + N_{rov\_ref}^{sv1\_sv2} + \varepsilon_{\phi,rov\_ref}^{sv1\_sv2}$$



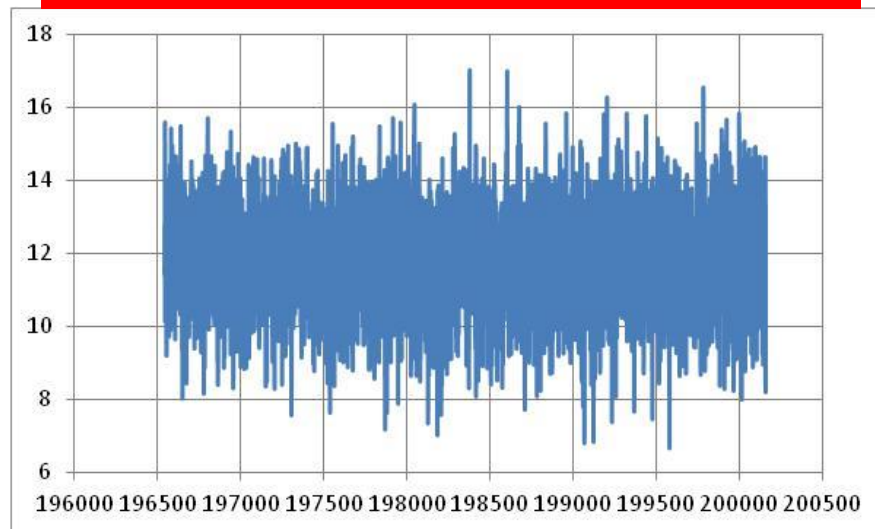
# 実際の二重位相差観測値

(ゼロ基線 open sky : prn19->prn3 : 1 hour)

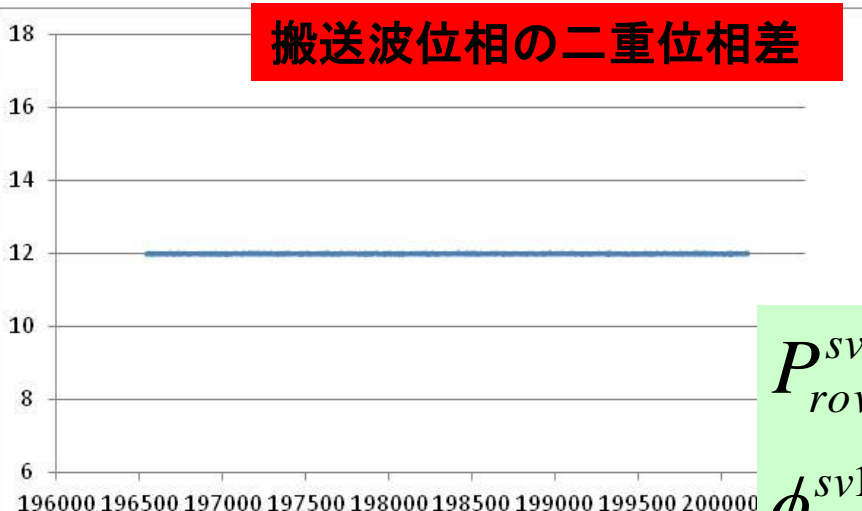
擬似距離の二重位相差



整数のあいまいさは両者を引いたもの



搬送波位相の二重位相差



ゼロ基線の場合、幾何学的距離が“ゼロ”  
なので搬送波位相の二重位相差は  
そのまま整数のあいまいさになる！

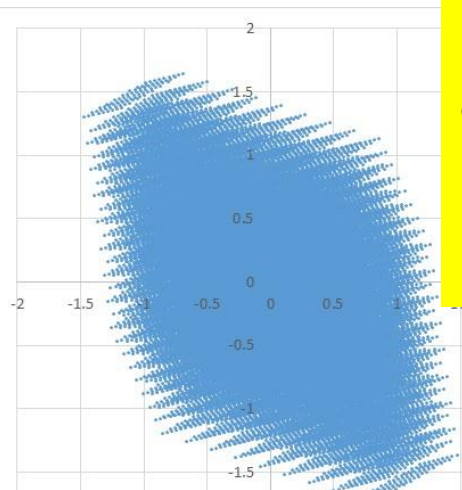
$$P_{rov\_ref}^{sv1\_sv2} = r_{rov\_ref}^{sv1\_sv2} + \varepsilon_{p,rov\_ref}^{sv1\_sv2}$$

$$\phi_{rov\_ref}^{sv1\_sv2} = r_{rov\_ref}^{sv1\_sv2} + N_{rov\_ref}^{sv1\_sv2} + \varepsilon_{\phi,rov\_ref}^{sv1\_sv2}$$



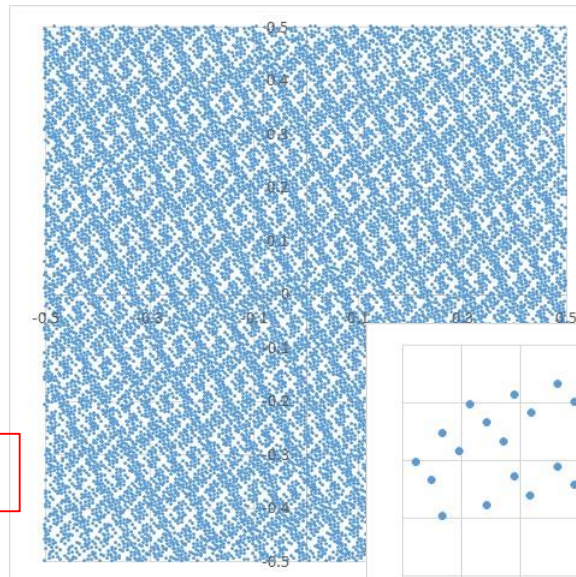
# 整数あいまいさ探索がどのくらい大変か？

6衛星利用で5つの二重位相差の整数あいまいさを決定する1例

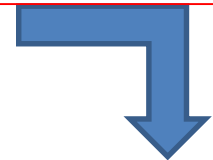


正しい整数候補の  
±4をチェック  
9の5乗=59049通り

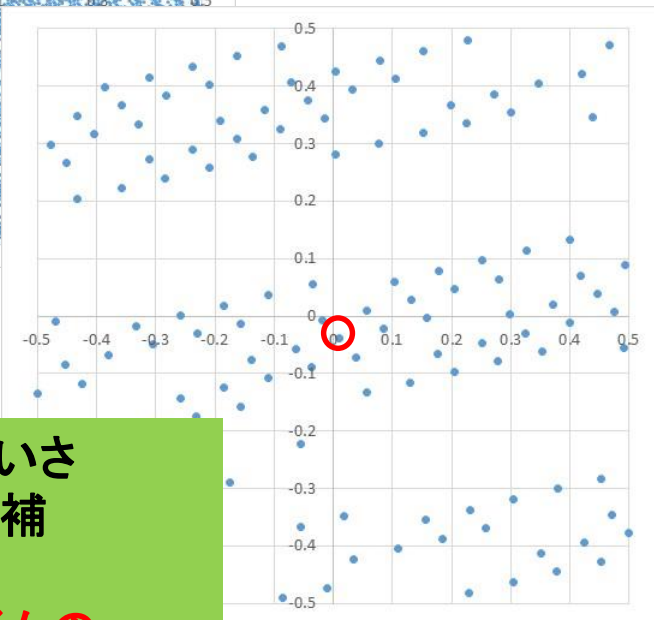
原点及び高度0は  
そのときの真値



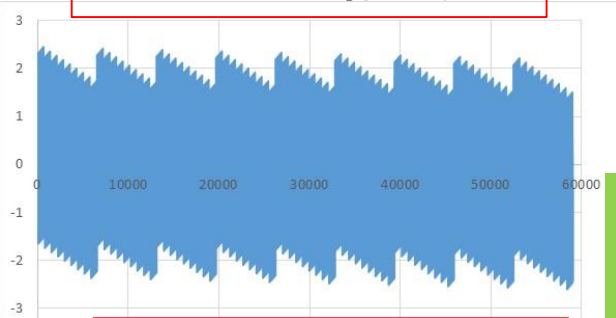
見やすくするために  
整数を1つ飛ばす



±50cmで拡大



水平方向の解の候補



高度方向の解の候補

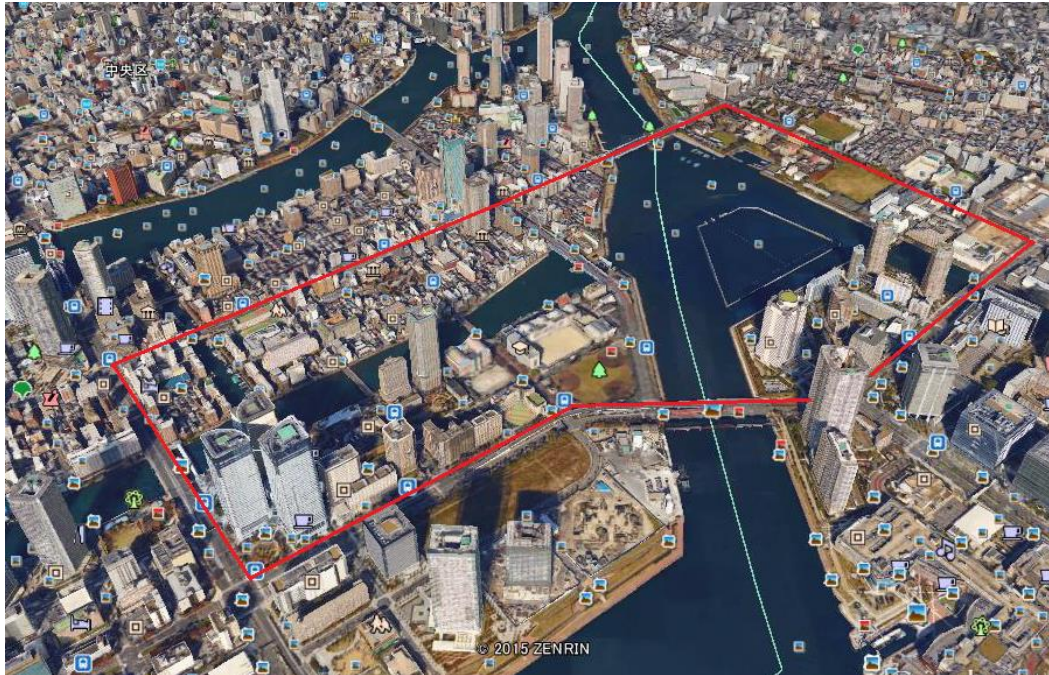
右の赤丸部分が整数のあいまいさ  
決定アルゴリズムをパスした候補  
(→整数最小二乗法)

整数あいまいさ決定アルゴリズムの  
改良によりミスFIXは少なくなっているが  
裏では大変な探索があることは事実

# 少し現実的なコード測位の話し

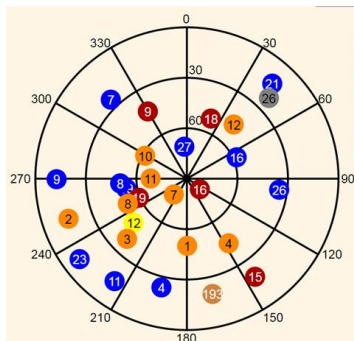
- これまでは高精度測位の中でもRTKの話し→現状のカーナビ等でRTKを利用している例はないはず
- 実際はMEMSセンサや速度パルスデータとのカップリングが必須かつ極めて有効(カメラ、3D地図等使えるものが他もある)→別の機会に
- 最もよく使われるコード測位やドップラ速度の実験結果を次に示します(ION2015、2106)

# コード測位ベースの移動体実験結果 (ION2015)

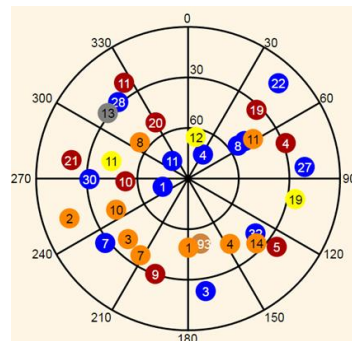


Test route

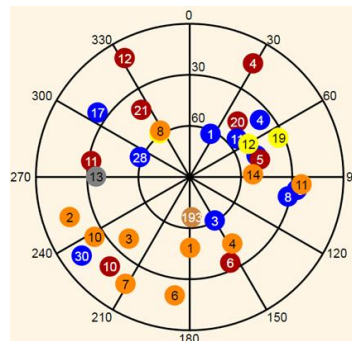
- August 2015
- Tsukishima, Tokyo
- Popular low-cost single frequency GNSS receiver
- **GPS/BEI/QZS (DGNSS)**
- 3 times for same route
- 20 minutes with 5Hz
- Reference : **POSLV**
- 新宿、丸の内ほど厳しくないエリア
- 3番目の結果を示す



1st



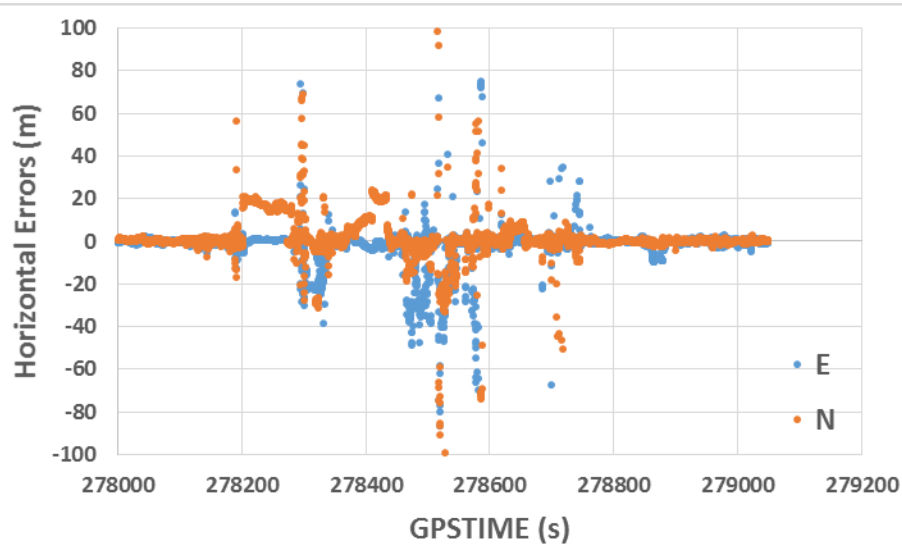
2nd



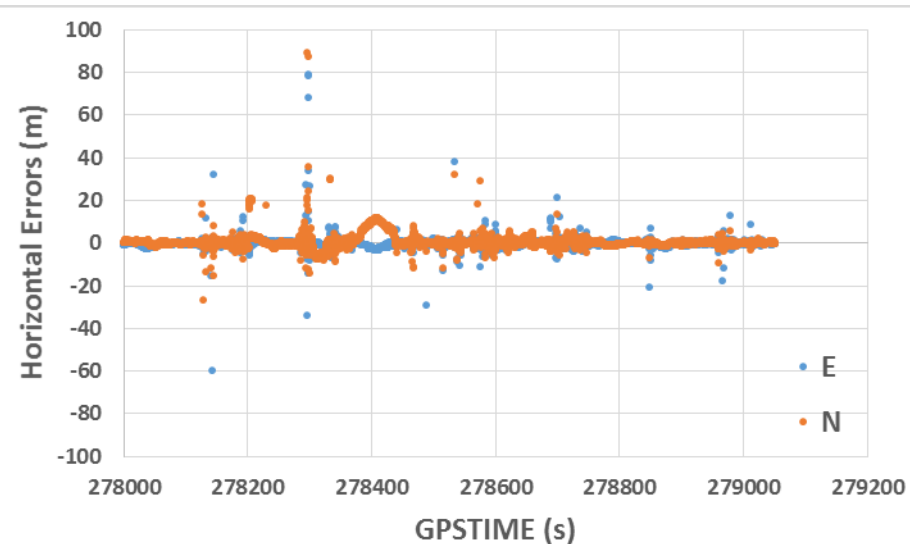
3rd



# 信号レベルのチェック有無でのコード測位比較



信号レベルチェックなし

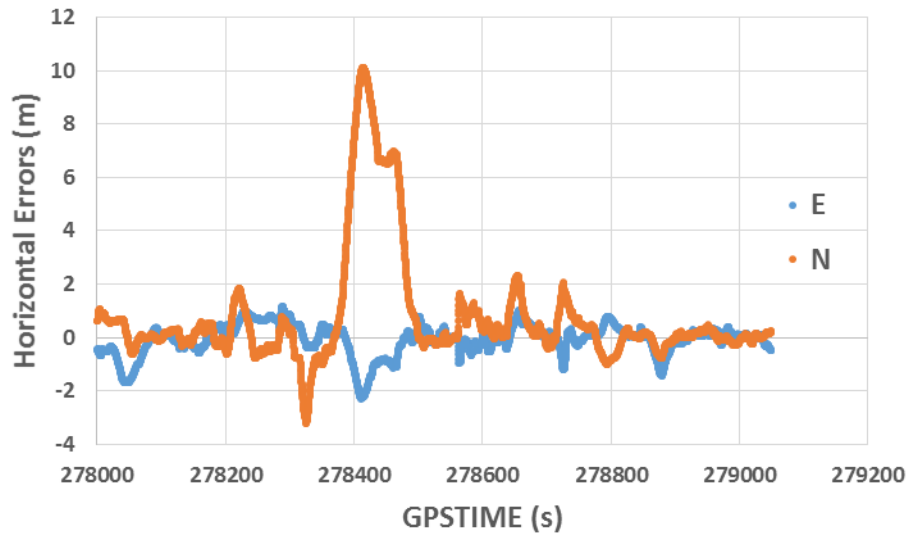


信号レベルチェックあり

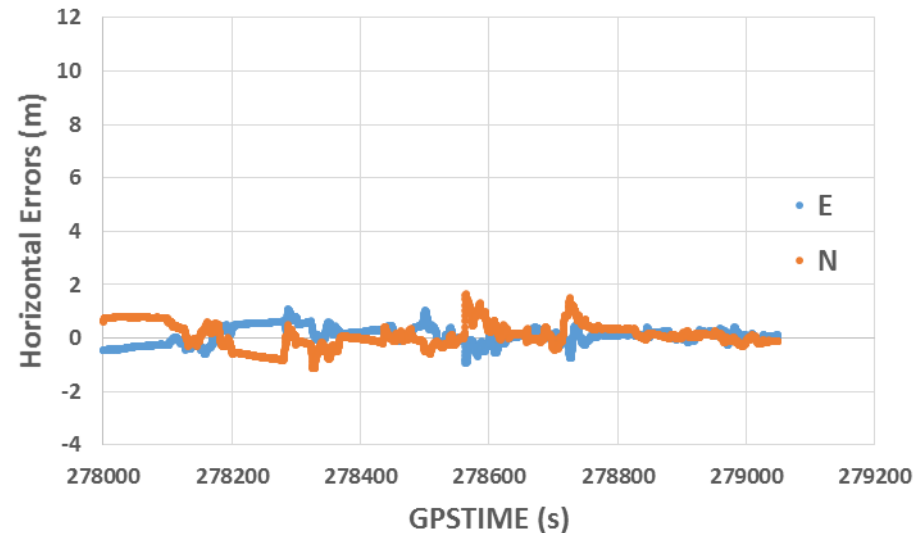
- We need to reduce the large jumps probably due to NLOS satellite as much as possible before coupling.
- $C/N_0$  based satellite selection is effective to some degree.
- Usually, “7-8 dB” is set as a gap between normal and threshold.

# コード測位結果とドップラ由来の速度との カップリング結果

都市部の移動体コード測位では、停止時に強いマルチパスの影響を受けやすい！



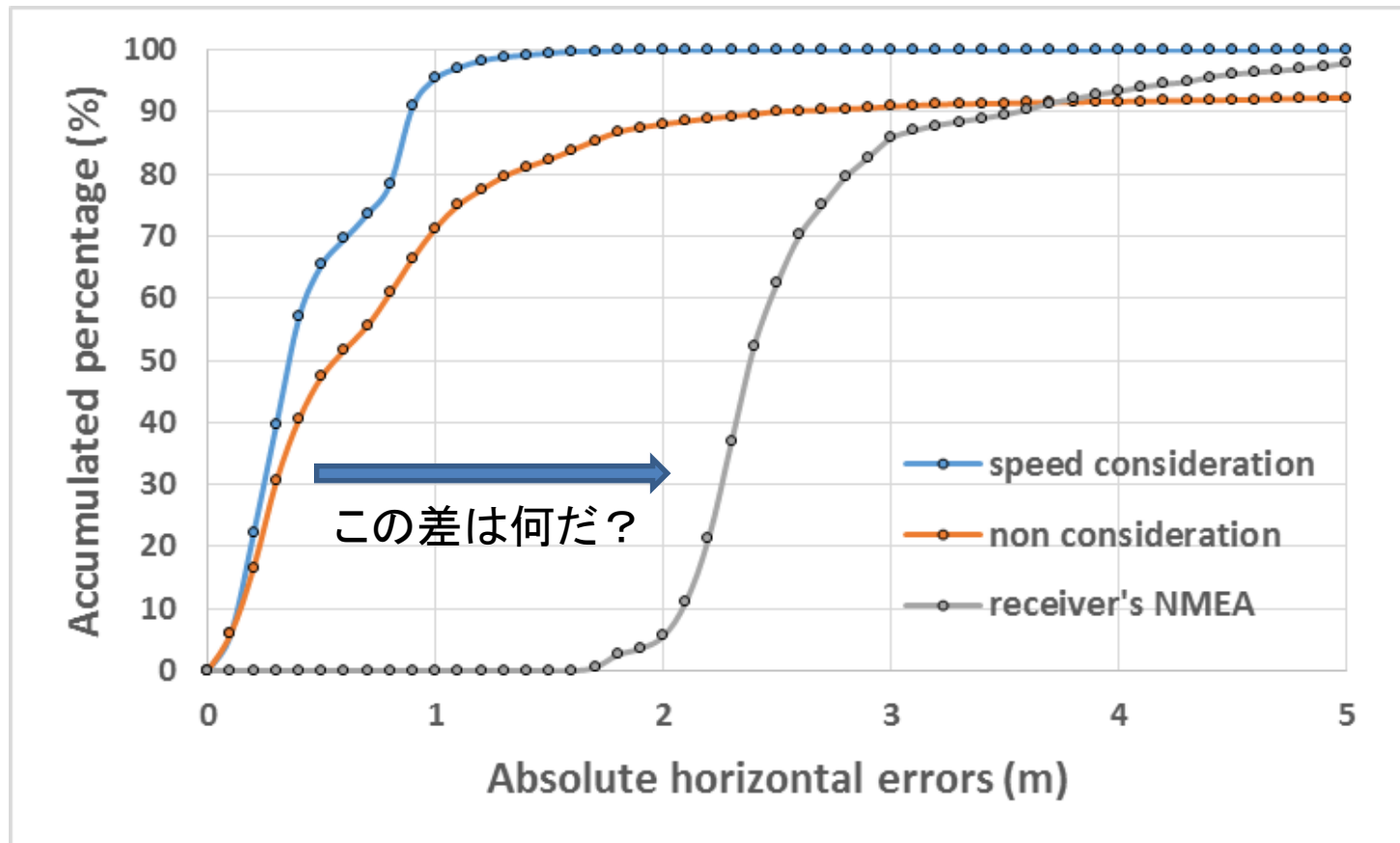
速度を考慮しない統合



速度を考慮した統合  
(超低速時はドップラ由来速度を信用)

- The normal weighting for “positioning / velocity” is “5m / 0.05m/s”.
- “Speed consideration” means we heavily rely on velocity when the car speed is very slow or zero.

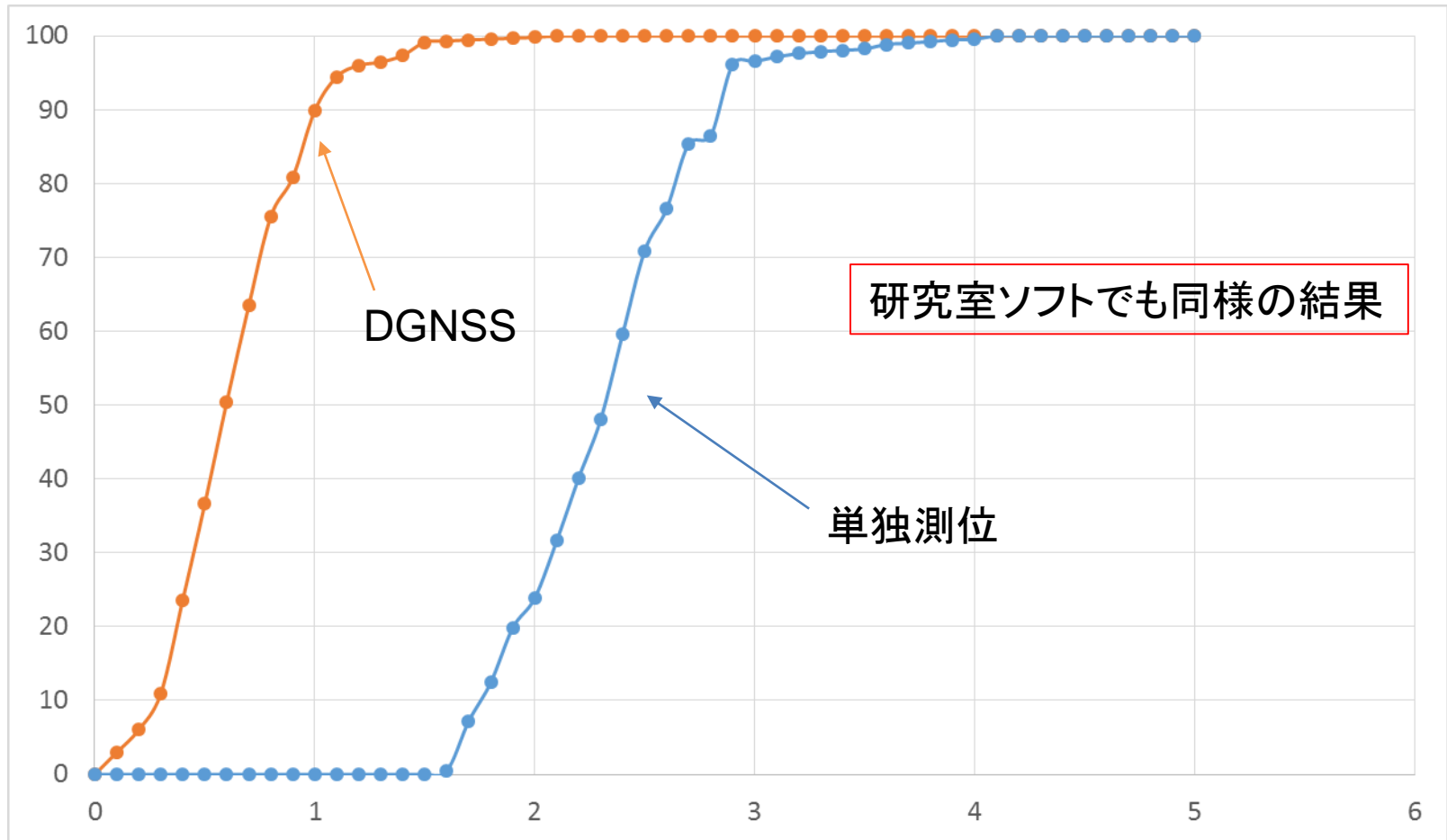
# 水平誤差の累積度数頻度での比較



	Maximum error	% within 1.5 m
Speed consideration	1.86 m	99.5 %
Non consideration	10.36 m	82.4 %
Receiver's NMEA	5.31 m	0 %



# さきほどデータでのDGNSSと単独測位の違い



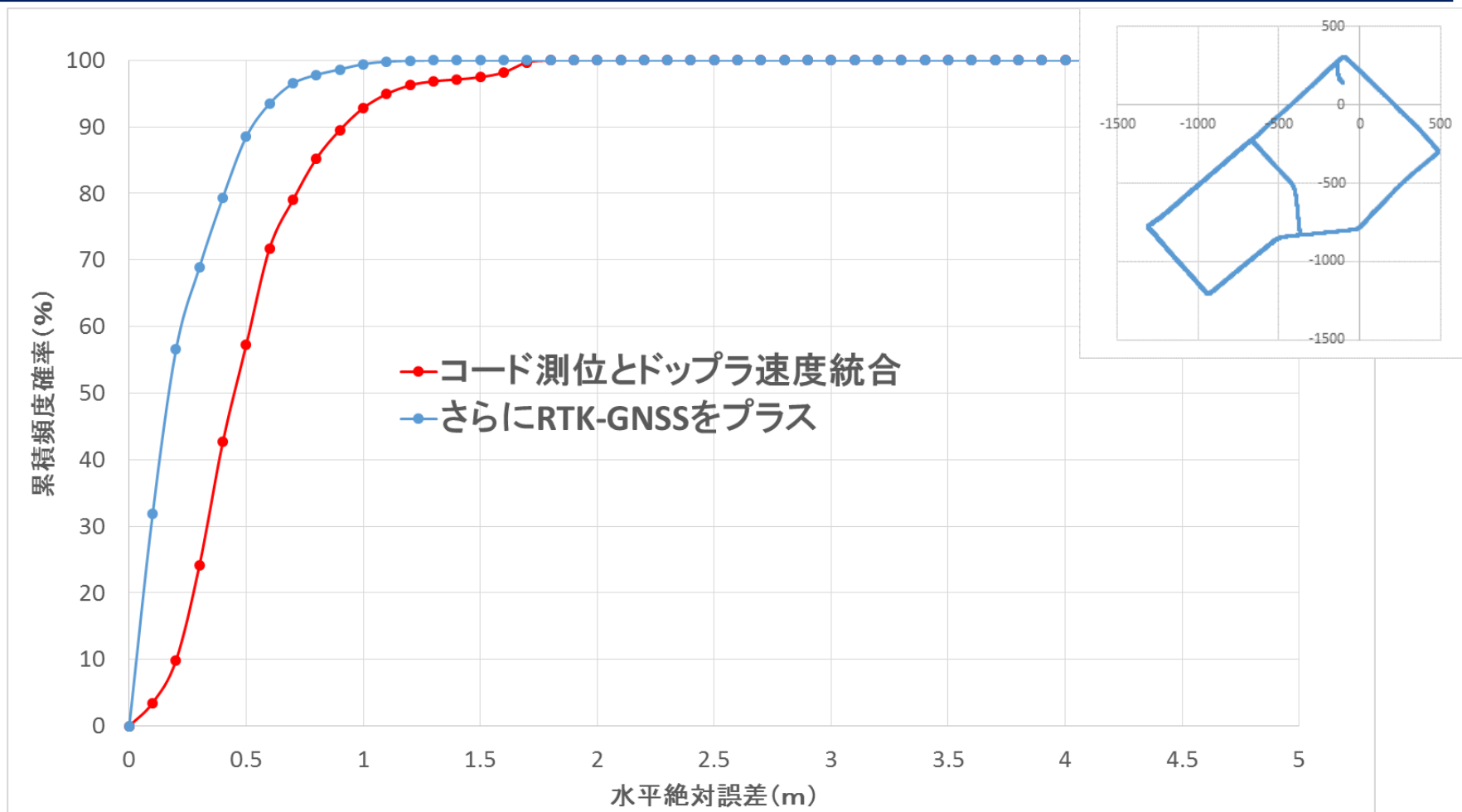
従来の数mから1-2mの精度になってくると補正データの役割が極めて重要！  
従来ナビレベルでは必要とされなかった→では補正データをどうすればよいのか？

# 準天頂衛星は補正データを配信します

---

- 補正データがなぜ絶対精度を改善できるか？
- それは電離層誤差、対流圏誤差、衛星暦とクロックの誤差等を放送しているためです
- RTKでは、暦・クロックは二重位相差で相殺します。またPPPでは数cmの暦・クロック情報を放送します
- コード測位ベースでも、**電離層誤差や衛星暦とクロック補正データの情報は極めて重要**（2周波受信機は電離層を自分で低減可能）
- 準天頂衛星を国内国外で利用頂くために、どのような補正データを配信すべきかまた配信するのか。また切れ目のない通信品質も重要

# 最初の実験結果でRTK-GNSSとコード測位を カップリングすると？ (ION2016)

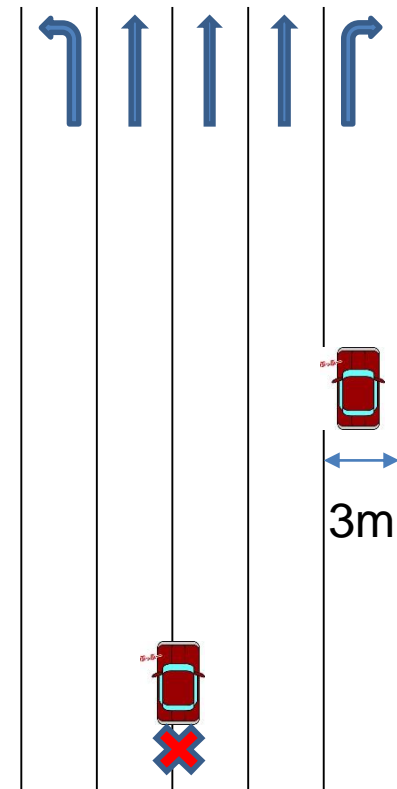


	最大水平誤差	1.5m以内の割合
従来方式	1.80 m	97.5 %
+ RTK-GNSS	<b>1.20 m</b>	<b>100 %</b>

# 例えばレーン検知



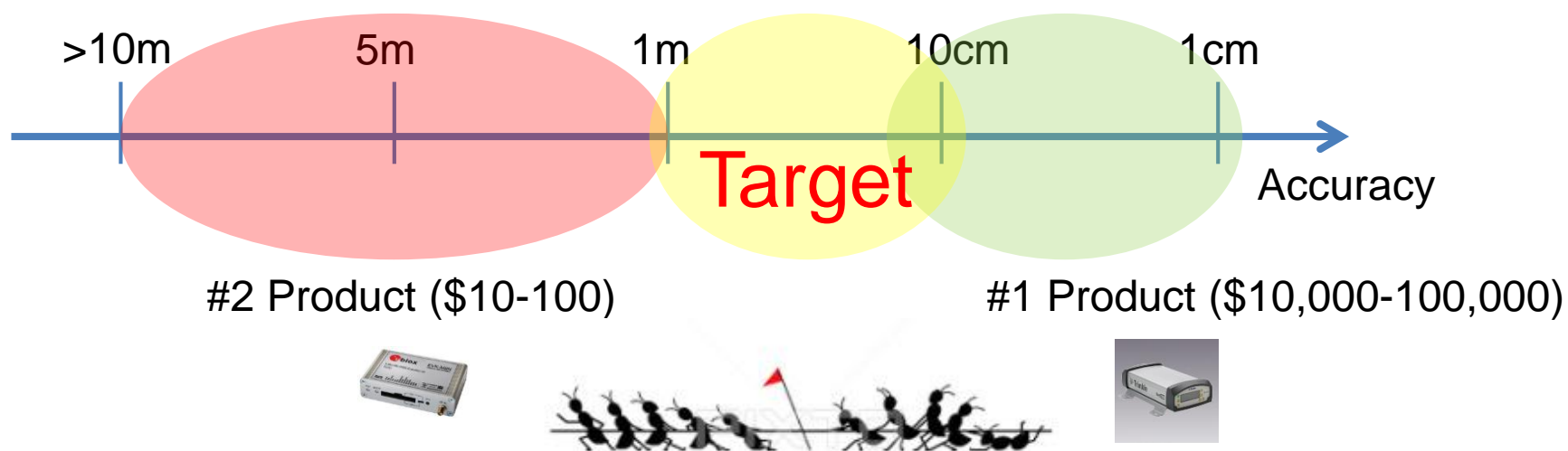
自動車最大幅2.5m  
2.75m 右折レーンなど  
3.0m 通常の二車線道路  
3.25m 幹線道路  
高速道路など3.5m





# 移動体測位現状(衛星測位)

- RTK-GNSS (PPPやコード測位) + 車速センサ + IMU
- レーン検知等で期待される水平精度は50cm~1m程度。かつ継続性(利便性)や信頼性も問われる



1mの水平精度(最大)で100%の利便性

# インテグリティモニタリング

## インテグリティ(完全性)

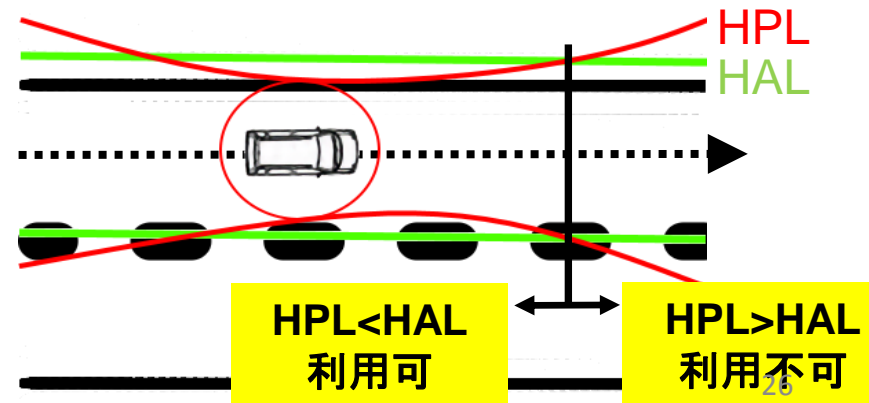
航法システムに誤りがないことを保証し, 航法に使用すべきでない場合に警報を与える能力のこと. 性能要件として, インテグリティが満たされている確率を定義.

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.

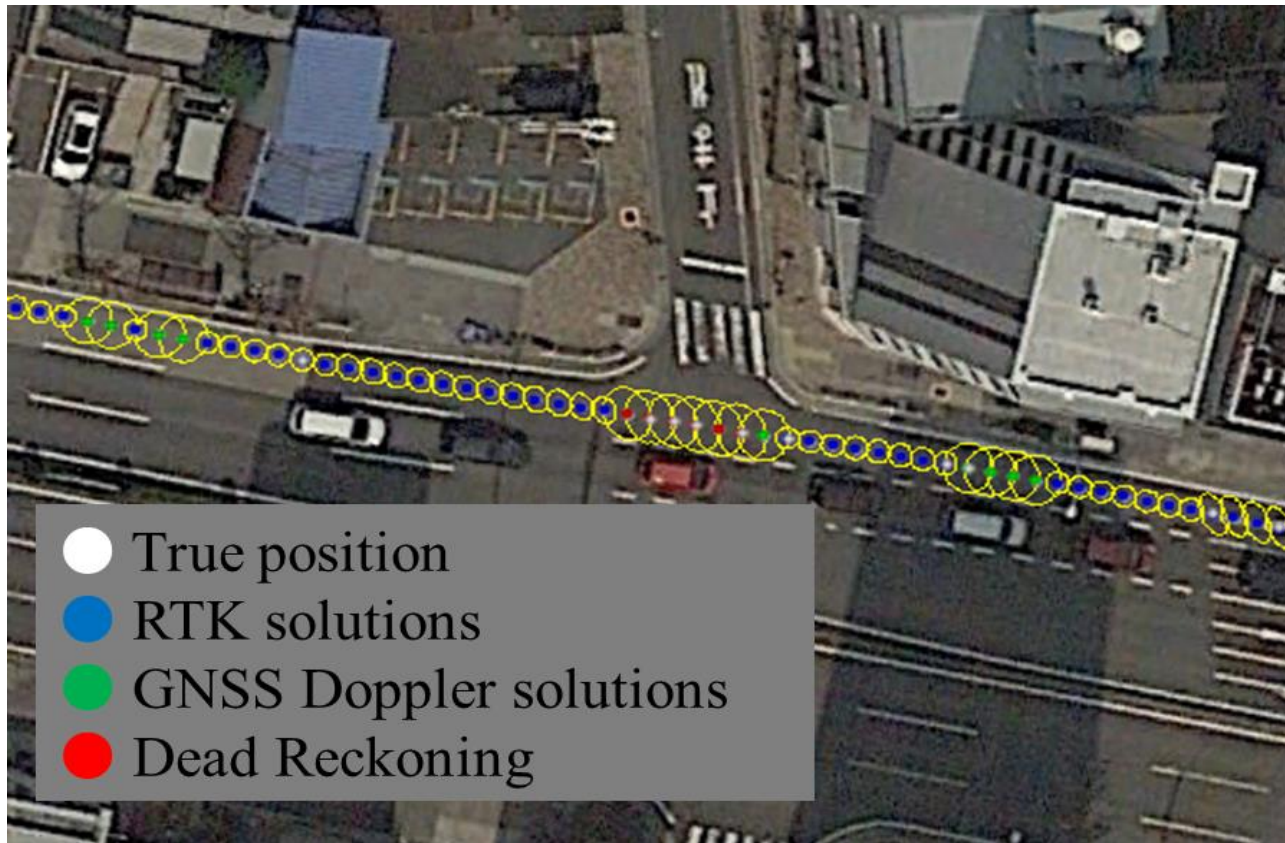
→ **水平保護レベル(HPL:Horizontal PL)**

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



# 実データでのプロテクションレベル計算例



- The covariance ellipse by satellite constellation

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

$$P = 1 - \exp\left(-\frac{C}{2}\right)$$

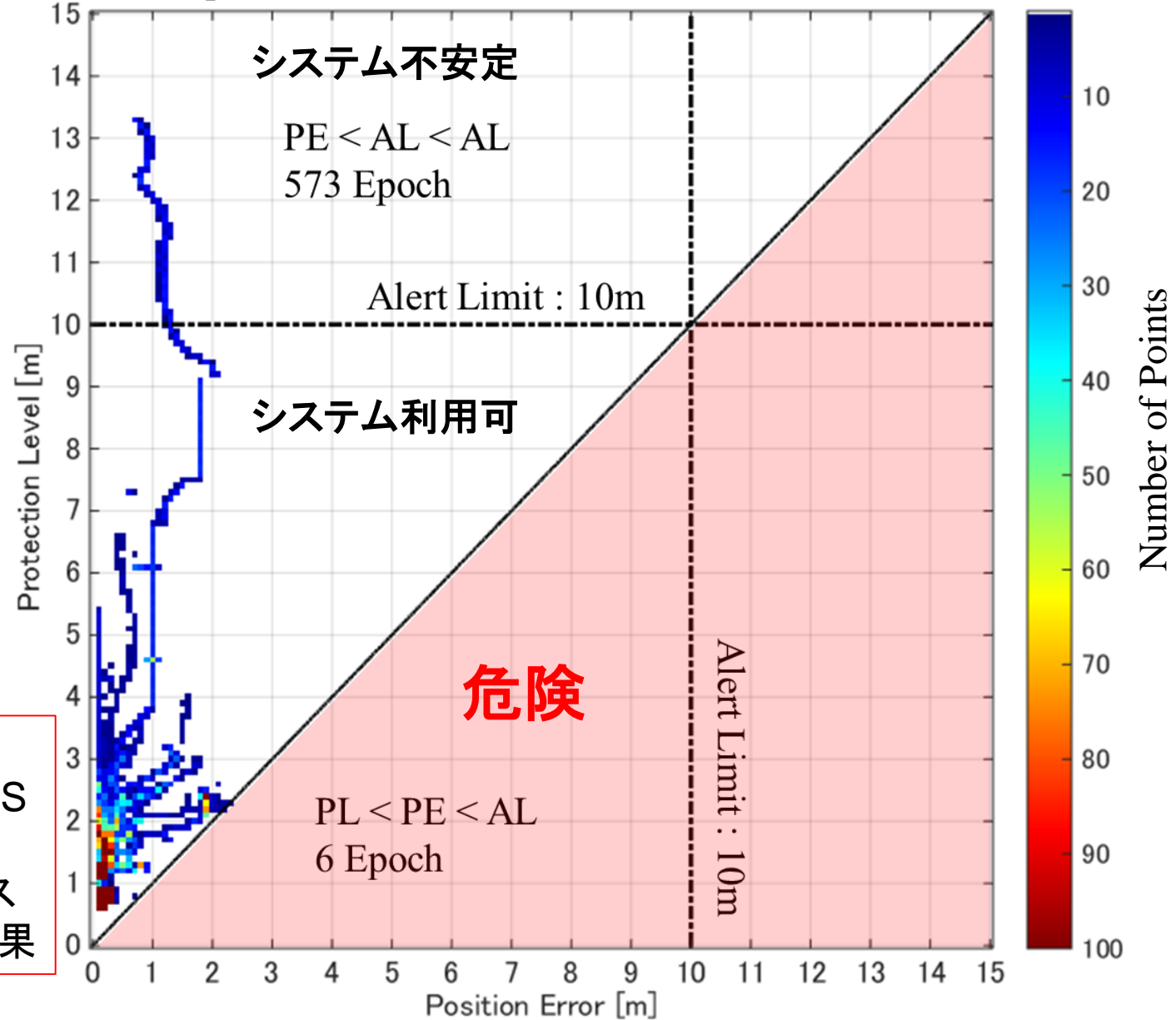
- Considered accumulating bias errors in GNSS-velocity and DR solutions.

Parameter	Value
RTK-GNSS error (m)	0.025
GNSS-velocity error (m/s)	0.02
IMU+Speed sensor error (m/s)	0.03

# 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

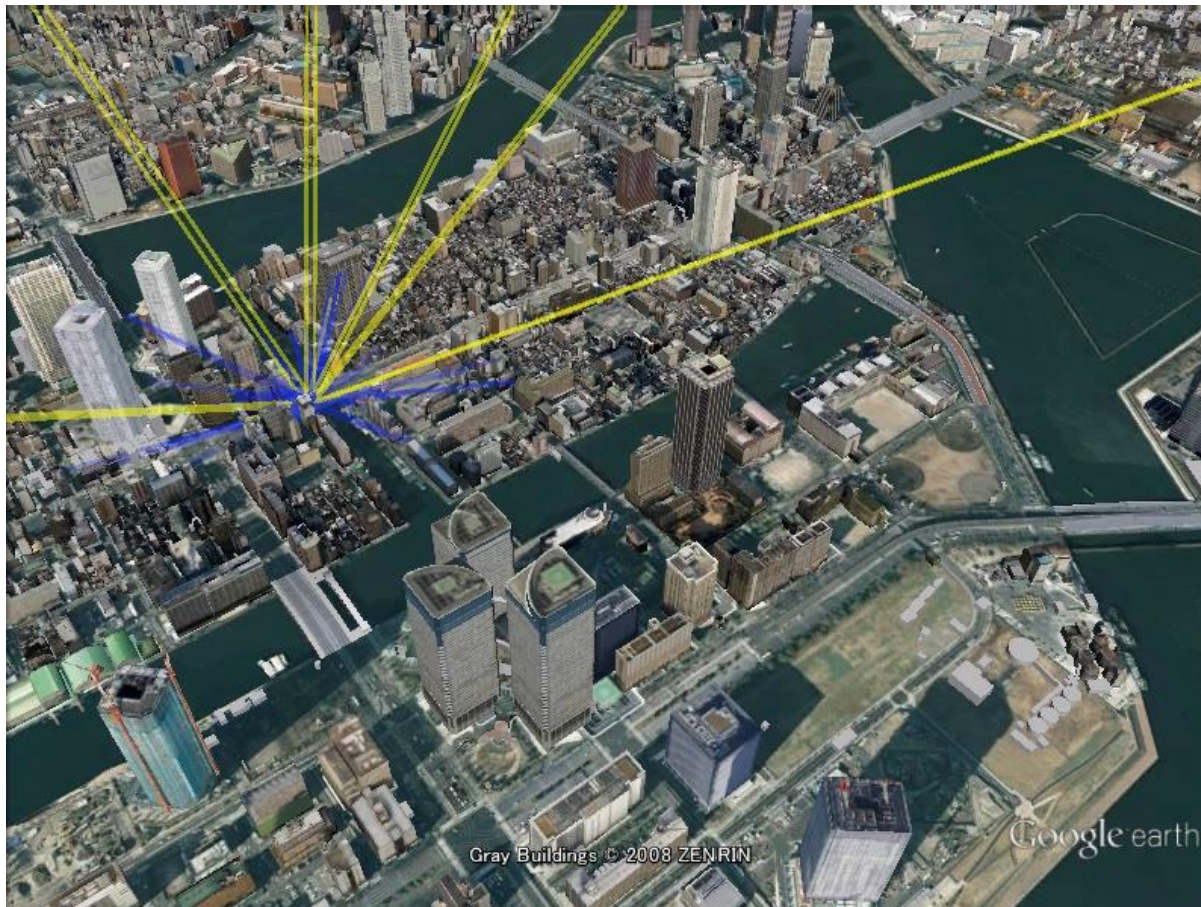


高層ビル街  
・RTK-GNSS  
・MEMS  
・速度パルス  
統合での結果



# 未来の予測

経路(場所)と時間を設定→近未来のGNSSの性能予測ができる  
→他センサとの統合時にも利用できるのでは  
→直近ではデモの最適な時間帯設定等



3D地図とレイトレース法での電波伝搬シミュレーションを組み合わせ、衛星の可視性等を判断する

これまでの成果

- ①衛星の可視性についてはよく一致する
- ②信号レベルになると高架下や木等の影響は避けられない

# 予測と実結果を比較 (RTK-GNSS)

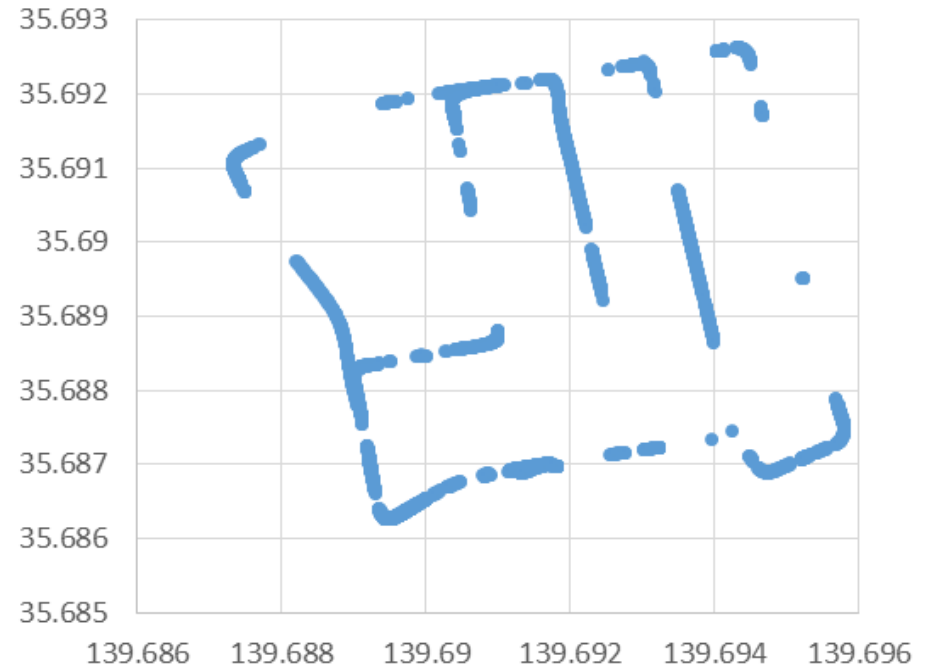
都内高層ビル街を走行時の予測シミュレーション  
左が3D地図と衛星配置から利用衛星数を割り出しRTKを予測  
右が設定した時間帯の実際のRTKの結果

Simulation



少なくともこの場所はこの時間帯で  
RTKは無理などが走らなくてもわかる

Actual RTK Results



例えば、おおまかなRTKの性能を場所と時間を与えて予測することが可能！

# まとめ(自車位置測位)

- 低コスト受信機でのRTK-GNSSの性能が昔(10年ほど前)の測量受信機のRTK-GPSの性能を超えている
- 通常都市部であれば、搬送波を利用しなくても最大水平誤差2m程度→搬送波測位との統合も容易
- 1-2mの話になると補正データは必須。暦、クロック、大気圏それぞれの補正データの質が重要になる
- 準天頂衛星はマルチでの測位性能向上+補正データ配信の2つの寄与ができる
- 求めた位置の信頼度をどのように定義するか
- 積極的なシミュレーションの活用(ビッグデータ、機械学習)

- **GNSSサマースクール2016**

8月1日から6日

参加費 6万円(大学関係者は2万円)

場所は東京海洋大学越中島キャンパス

海外の方からも大好評

6日間しんどいですが、各分野のエキスパートが直接講義またはデモ

- **GPS/QZSSロボットカーコンテスト2016**

10月23日に海洋大越中島キャンパスで開催

初心者から大学院生レベルまで幅広く募集

詳細は以下のサイトをご覧ください

<http://robot-car.jimdo.com/>

GPS ロボットカーコンテスト → 検索で一番上