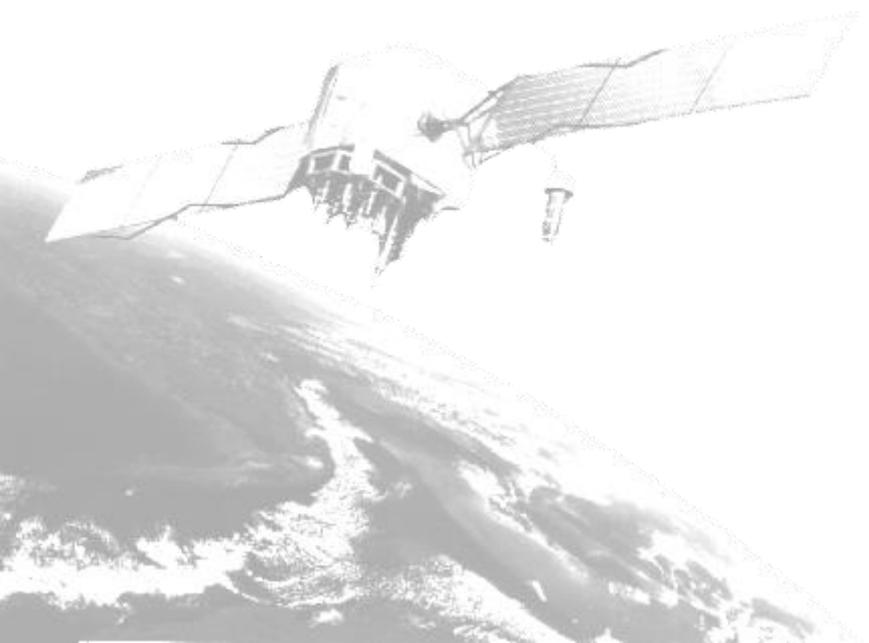




ソフトウェアGNSS受信機における 移動体測位に関する研究

樋口 志樹
情報通信工学研究室



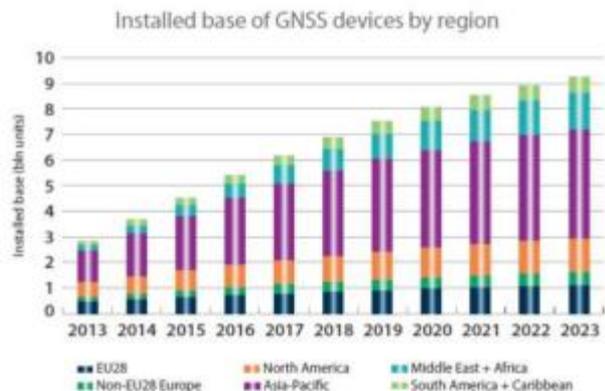
目次

- 背景
- 目的・目標
- アプローチ
- 既存のGNSS受信機による移動体測位
- ソフトウェアGNSS受信機による移動体測位
- まとめ

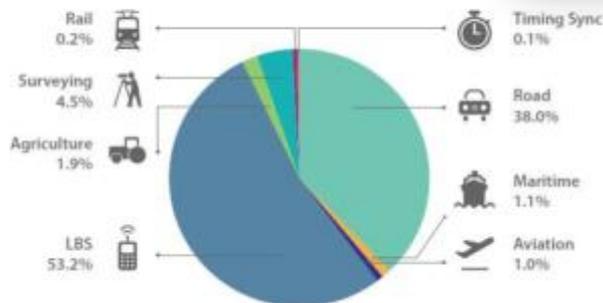
背景 1

- GNSS受信機の普及

- 精密農業・UAV
- 位置情報を利用したサービスの登場



Cumulative core revenue 2013-2023



平成27年度 特許出願技術動向調査報告書(概要) 衛星測位システム

- 利用可能な測位衛星の増加

GNSS(GPS, GLONASS, BeiDou, Qzss, Galileo)
GPS以外の測位衛星が配備

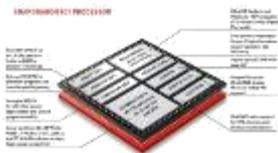
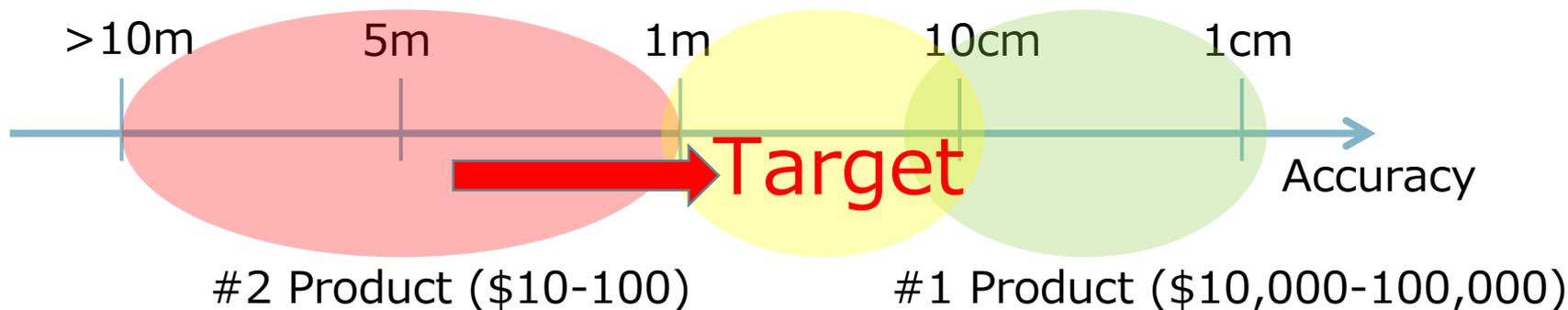


「ガリレオFOC」の打ち上げ

背景 2

1 周波対応受信機

多周波対応受信機



Ex.カーナビ、携帯等

「位置情報と組合せる」事でサービスを展開
例えば、駅付近にいるなど

Ex.測量等

「位置情報」でサービスを展開
Lat=36...., Lon=136....値が重要

幅広い分野・一般的に利用されるのは1周波対応受信機
しかし、高精度な位置情報の需要は常に存在する。

背景 3

一般に利用されるのは1周波対応受信機
 しかし、高精度な位置情報の需要は常に存在する。

測位衛星の増加・ネットワークの配備により、
 高精度を取得できる可能性は十分存在する。

複数の測位衛星システムが利用可能な

1周波対応受信機

⇒測位率・精度向上につながる。

部品メーカー-測位衛星	GPS	GLONASS	Galileo	BeiDou	QZSS	SBAS	備考
Qualcomm	✓	✓		✓	✓	✓	Izat
Broadcom	✓	✓			✓	✓	bcm4752
MediaTek	✓	✓	✓	✓	✓	✓	MT3333
U-blox	✓	✓		✓	✓	✓	u-blox m8
CSR	✓	✓	✓	✓			SIRV-starVee
ST-Microelectronics	✓	✓	✓	✓	✓		TESEO III
SkyTraq	✓	✓			✓	✓	S1216F8-GL
Telit	✓	✓	✓	✓	✓	✓	SE868 V3
FURUNO	✓	✓	✓		✓	✓	GN-87
日本無線	✓		✓		✓	✓	CCA705

GNSSチップメーカーの複数GNSSのサポート状況

補正等情報を基地局からもらう測位手法

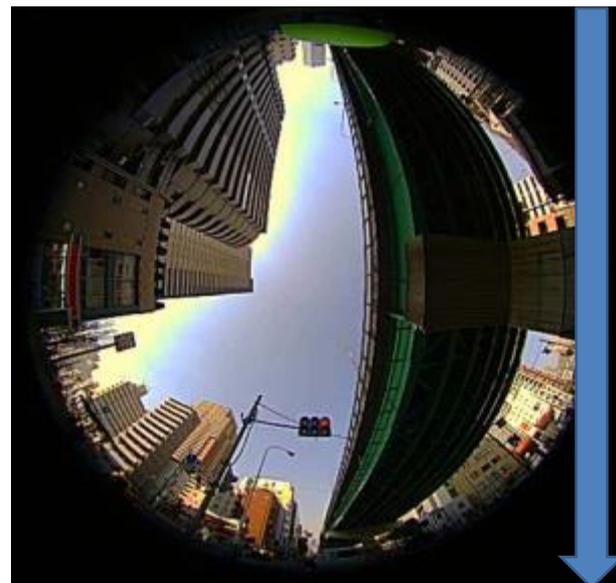
⇒DGNSS・RTK-GNSS測位が利用できる



世界の移動体通信サービス契約数の推移及び予測

研究対象・目標

- 「1周波GNSS応受信機」を対象とした研究を行う
- 中都市部：一般車両を用いた移動体
 - ✓レーン認識への活用を期待
- 他のセンサーを併用しない。
 - ✓衛星測位が寄与できる可能性は...
- 精度達成目標
 - 水平絶対誤差 **1.0[m]**
- 既存受信機NMEA情報相当の位置情報を作成



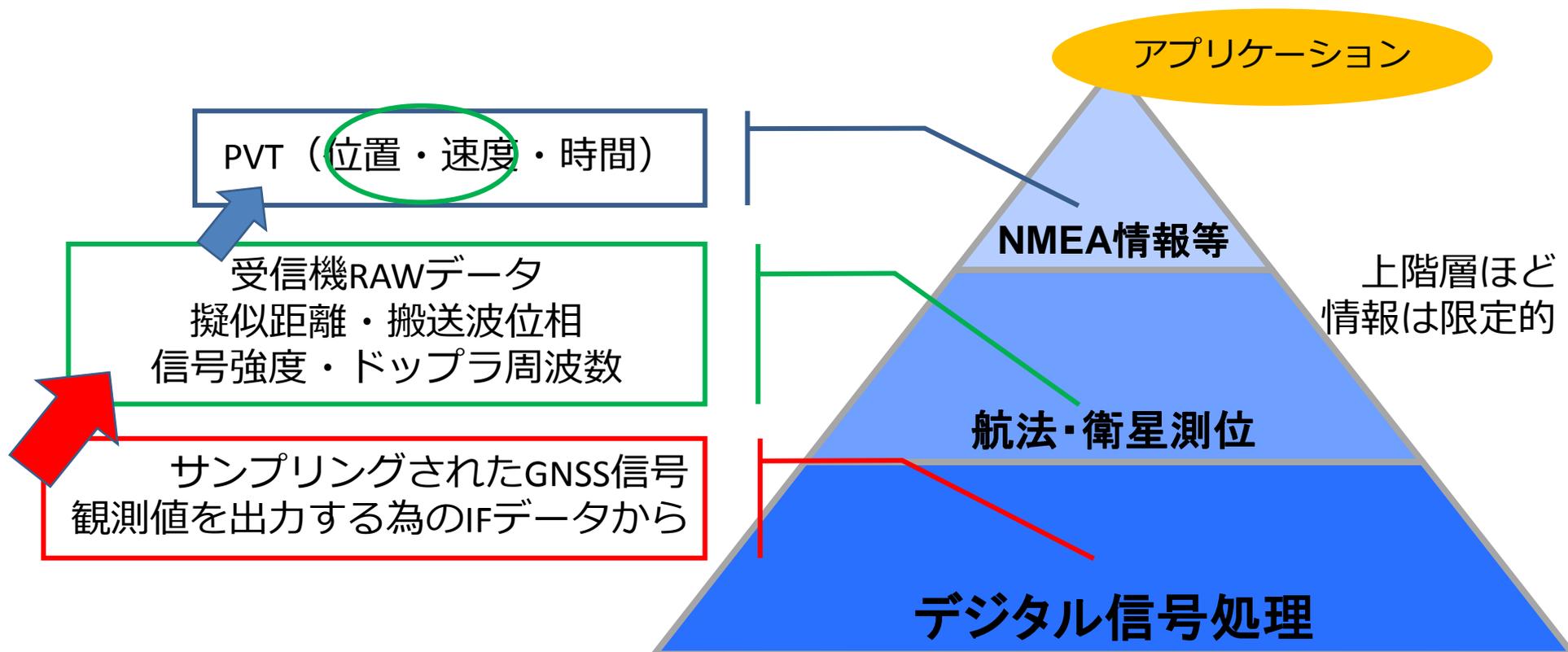
対象エリア：上空視界



約 3.0m

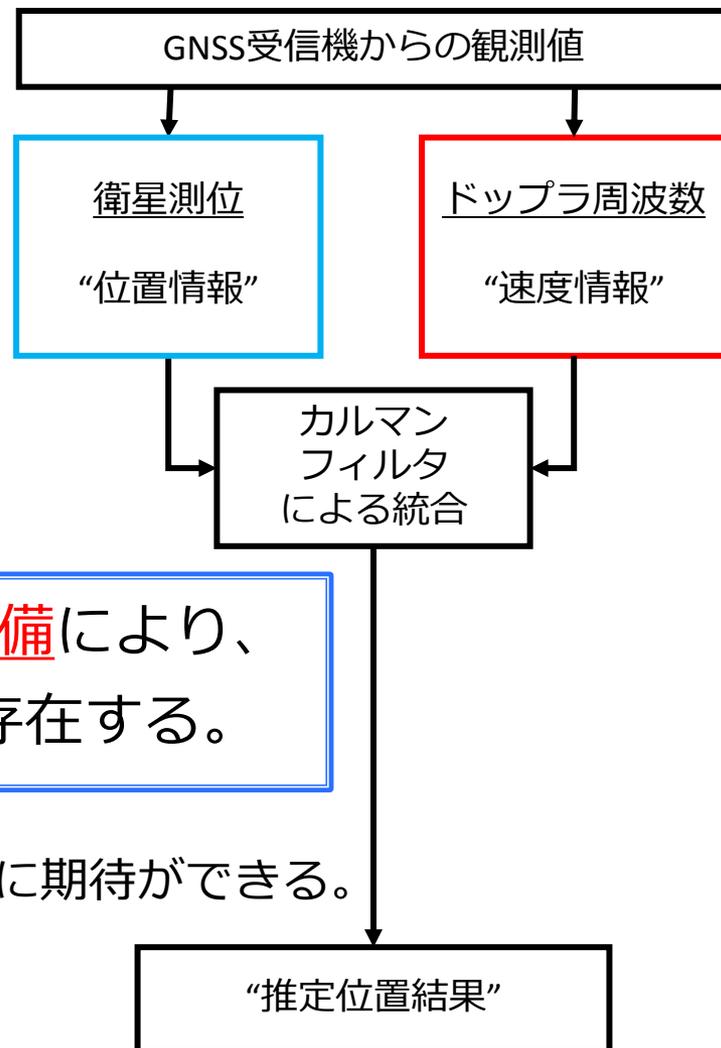
研究目的・アプローチ

- 既存のGNSS受信機を用いて高精度化 (中階層)
- ソフトウェアGNSS受信機を用いた解析 (低階層)



既存のGNSS受信機を用いて高精度化

現在、販売されている製品に対して測位結果を見直すチャンスが存在する。



測位衛星の増加・ネットワークの配備により、高精度を取得できる可能性は十分存在する。

1周波対応受信機でもDGNSS・RTK測位の結果に期待ができる。

GNSS ドップラ

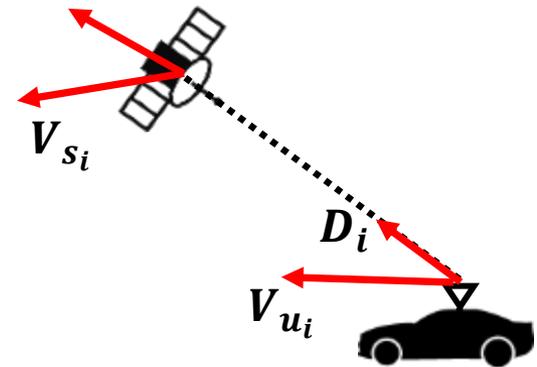
「GNSS衛星の速度」と「衛星と自車との間の相対速度」により
自車の3次元速度ベクトルが得られる。

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

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

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

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



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。

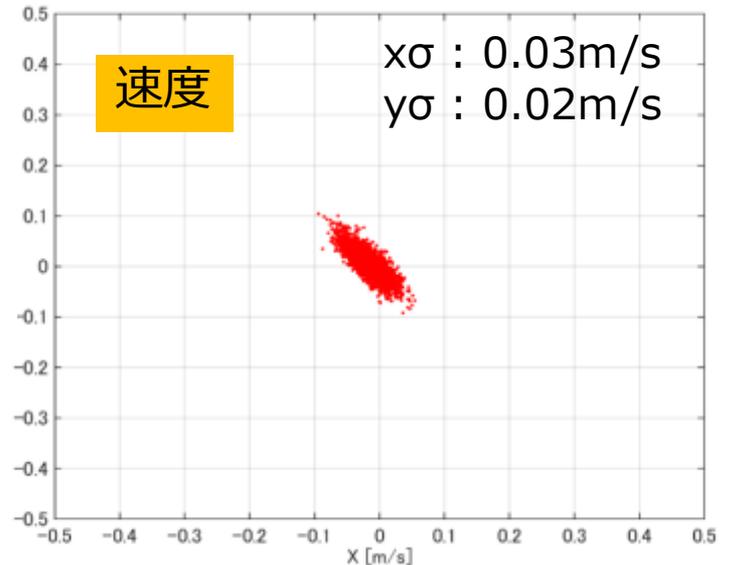
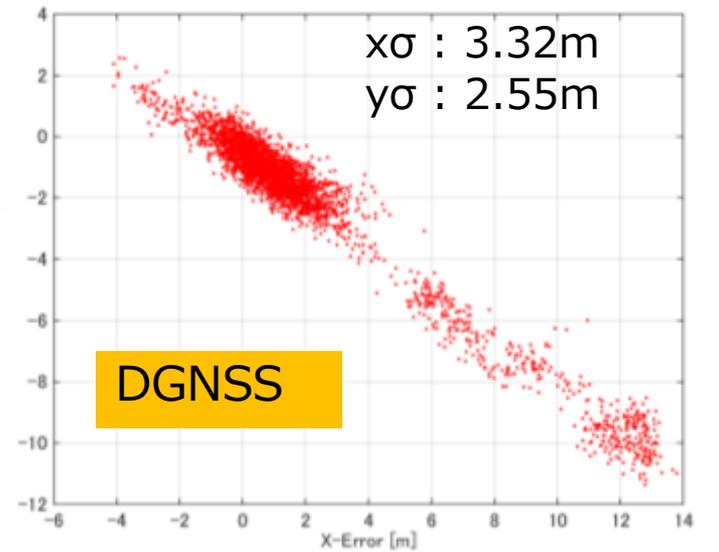
V_{u_i} の3成分とクロックオフセットを含めた未知数が4つになるため4衛星必要。

- 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。

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

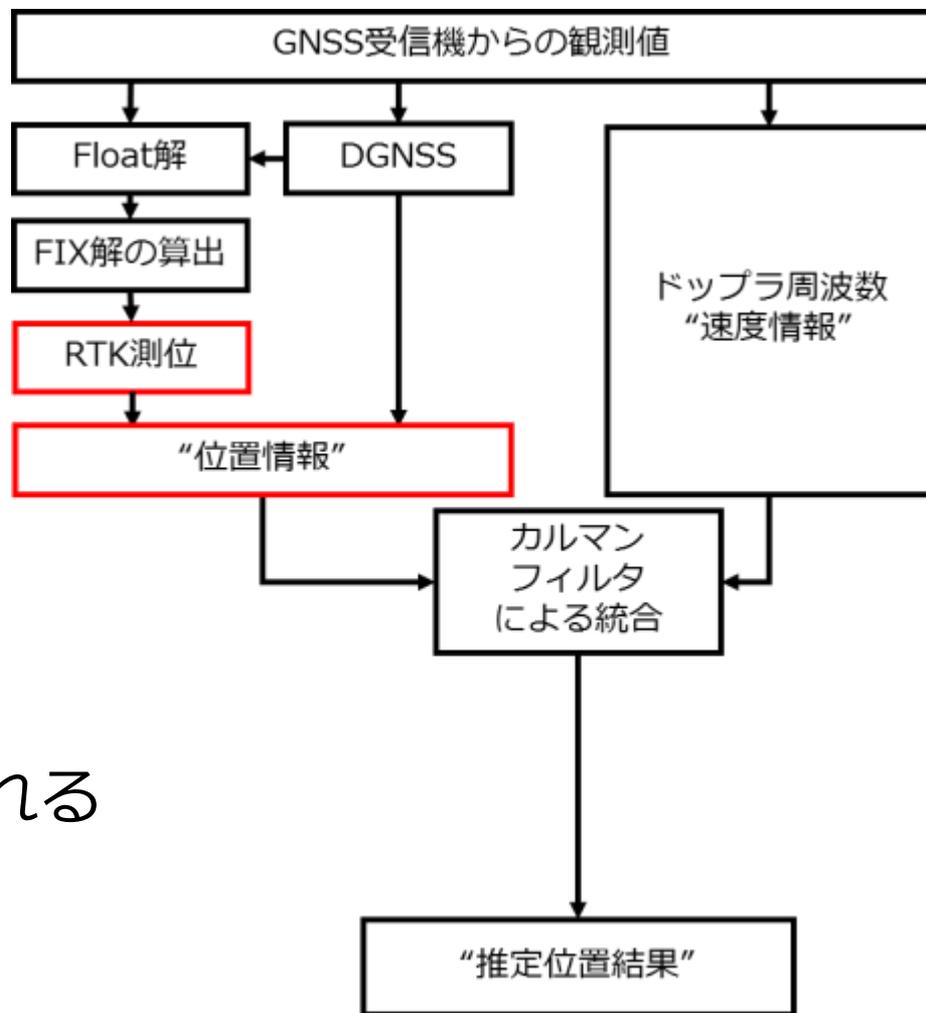
GNSS ドップラ

60分1Hz



“位置情報”の改善

- 特にRTK測位
- 良質なRTK測位解を取得
 - ✓ DGNSSの結果と置き換える
- 正しくFix解算出成功
 - > cm単位の精度
- 誤ったFix解の算出
 - > 大きな測位誤差として現れる
時にm単位の誤差

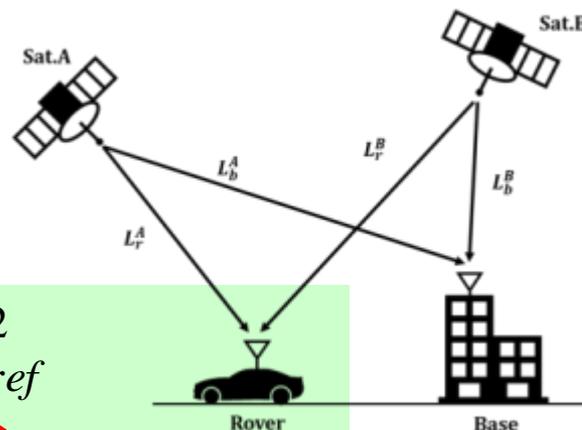


目標達成への鍵：どれ程良質なRTK測位解を得ることができるか

RTK測位 観測値に対する検定

観測値から信号追尾の検定を行う。

- 信号強度
 - ✓マルチパス波等の混入が顕著に現れる
- LLI flag(Lose of Lock Indicator)
 - ✓受信機が定めた規定による信号追尾の指標



$$P_{rov_ref}^{sv1_sv2} = r_{rov_ref}^{sv1_sv2} + \varepsilon_{p,rov_ref}^{sv1_sv2}$$

$$\phi_{rov_ref}^{sv1_sv2} = r_{rov_ref}^{sv1_sv2} + N_{rov_ref}^{sv1_sv2} + \varepsilon_{\phi,rov_ref}^{sv1_sv2}$$

受信機からの観測値

信号について検定

二重位相差

最小二乗法による
FLOAT解の推定

LAMBDA法による
Fix解の推定

Ratio 検定 (>3)

Fix 解

RTK測位 利用衛星数とFix率の相関

- 1周波受信機において

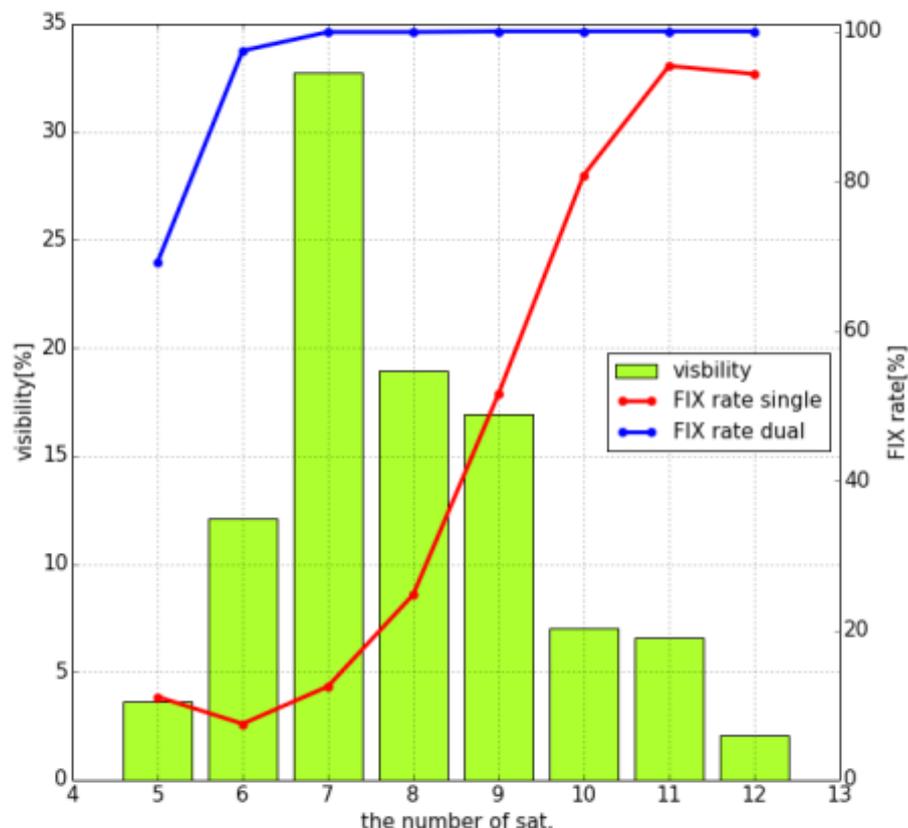
良質なFix解を取得するには十分な衛星数が必要。

GPS 24時間1Hz データ

平均可視衛星数:7.9

衛星数	Epoch	FIX(%)
5	3128	11.13
6	10455	7.51
7	28275	12.50
8	16357	24.75
9	14657	51.55
10	6062	80.77
11	5695	95.38
12	1772	94.30

2周波では5機程度でも高い有用性があるが、1周波では10機程度と2倍以上の衛星数が要求される。



既存のGNSS受信機を利用 実験概要

- 基準局：海洋大第4実験棟屋上
- 大学から月島周辺を走行
- 高架下、高層ビル点在。



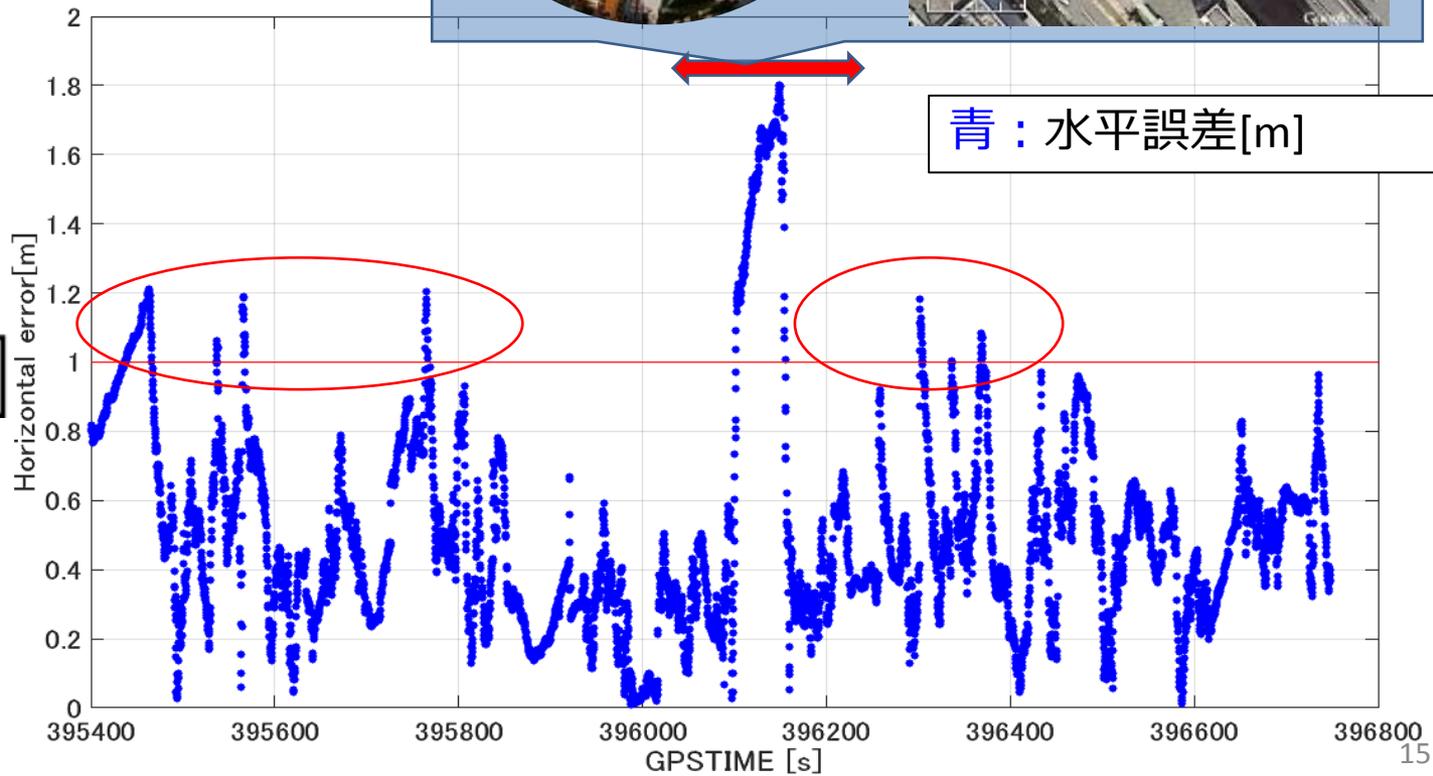
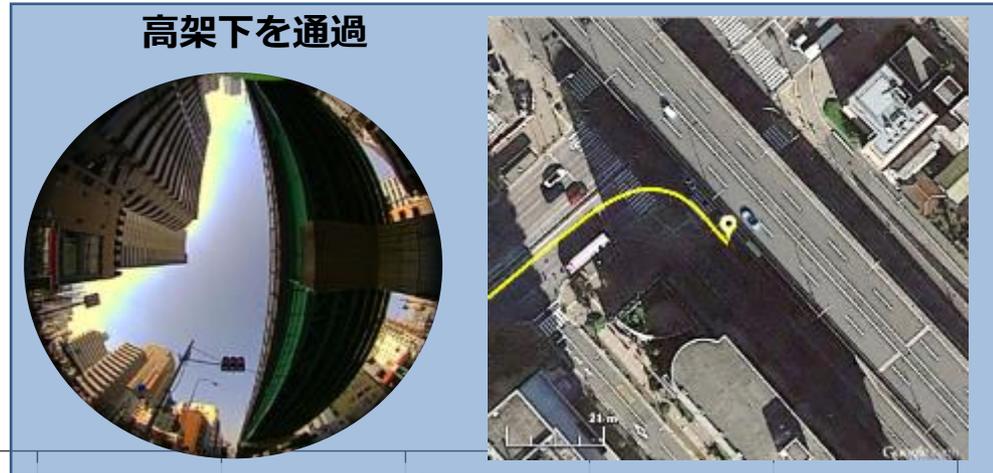
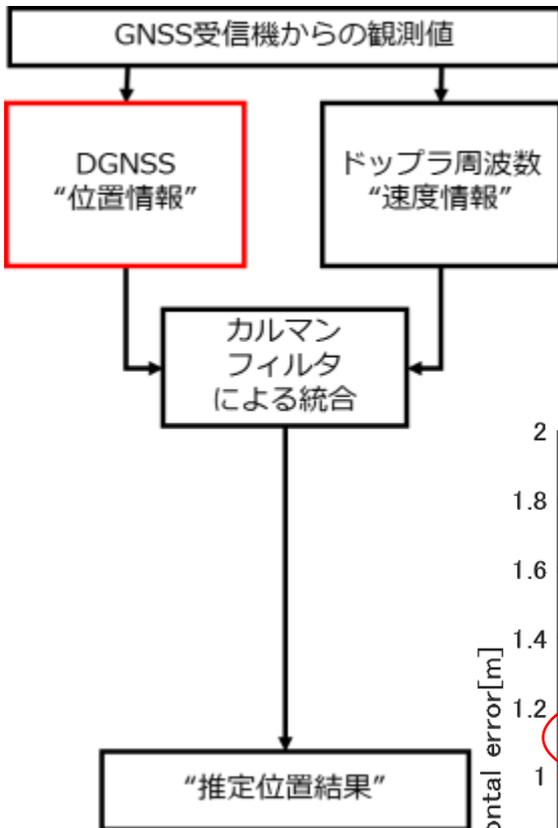
- 移動体：一般車両

観測周期	5 Hz
GNSS受信機	移動局：Ublox-NEOM8T FW3.01 基準局：Ublox-NEOM8T FW3.01
衛星システム	GPS/BeiDou/QZSS/Galileo
アンテナ	移動局：NovAtel GPS-703-GGG 基準局：Trimble Zephyr Geodetic
レファレンスデータ	Applanix POSLVX (10-20cm)



- 走行コース

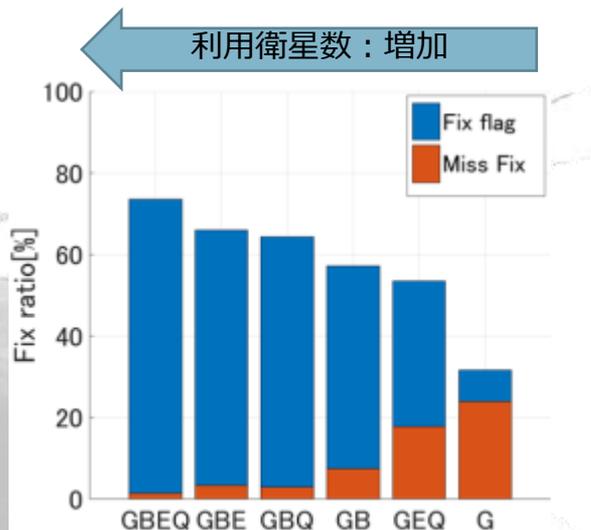
ドップラ速度との統合のみ



結果①：RTK測位結果

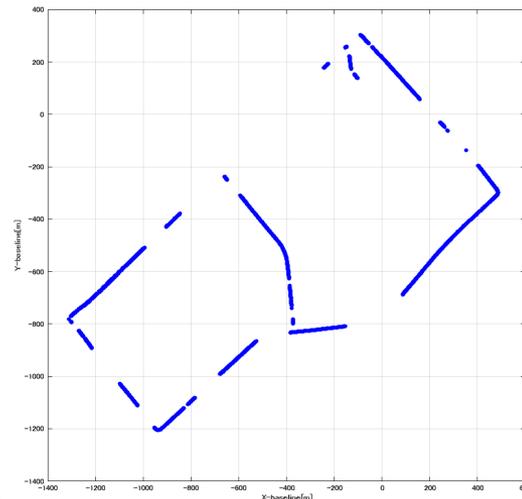
	Fix率	水平誤差>50cm
RTKLIB 2.4.2 b9 (Open Source)	4456/6740 =66.1[%]	39 epochs (最大 89.4 m)
研究室ソフトウェア(GBEQ)	4987/6740 =74.0[%]	91 epochs (最大 5.3 m)
+ 利用衛星数10機未満は排除 (GBEQ)	3521/6740 =52.2[%]	0 epochs

◆ 利用衛星システムの組み合わせ



G : GPS, Q : QZSS, E : Galileo, B : BeiDou

◆ 水平分布：RTK測位解有り
(利用衛星数10機未満は排除)

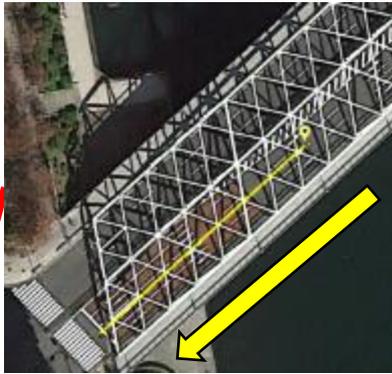


• 走行ルート



RTK測位解が得られても水平誤差50[cm]以上が点在

結果②：RTK測位結果を利用

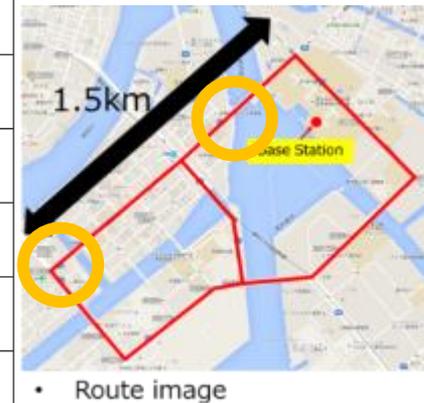
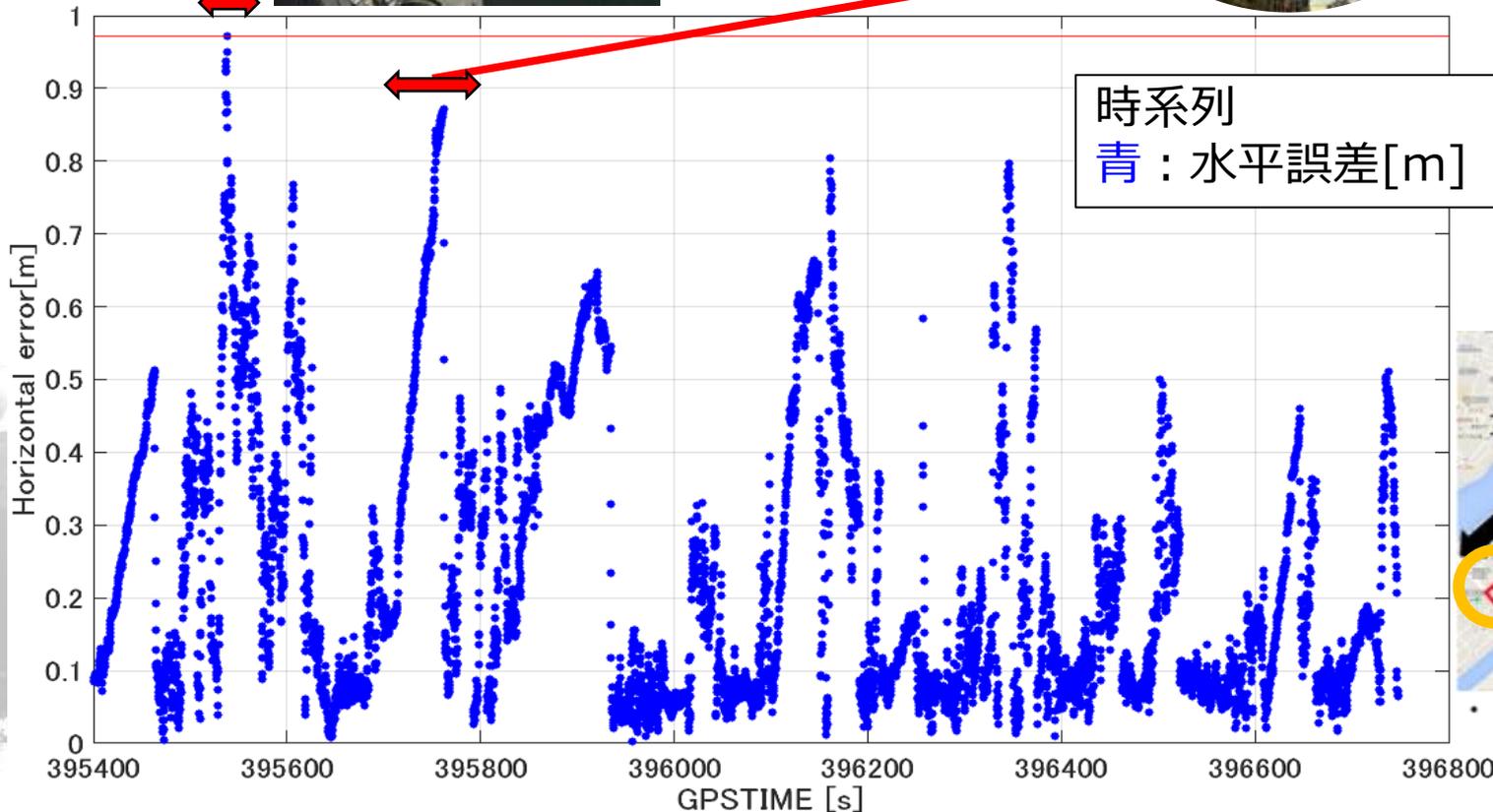


トラス橋

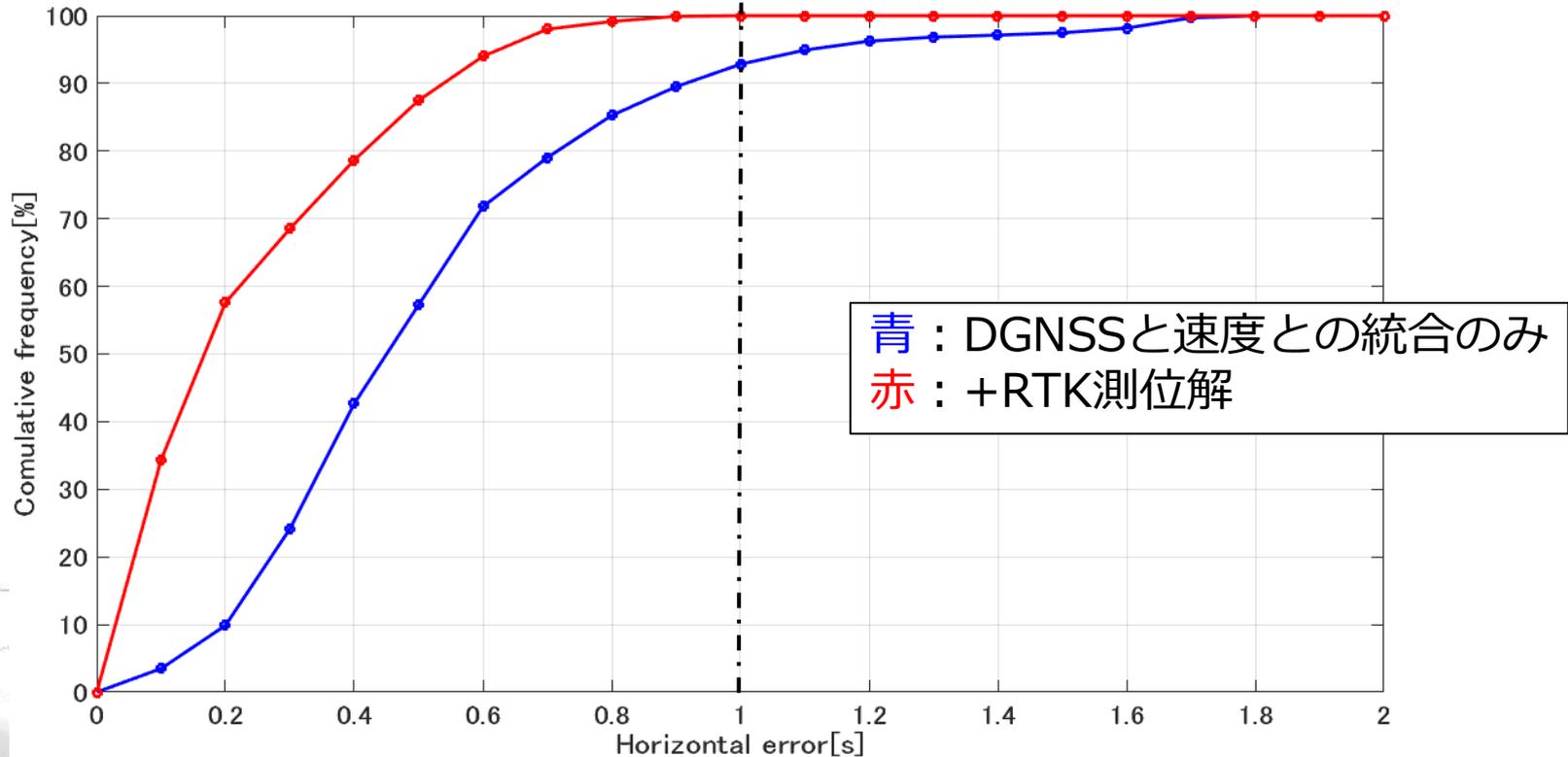


赤信号：停止時

周辺上空視界



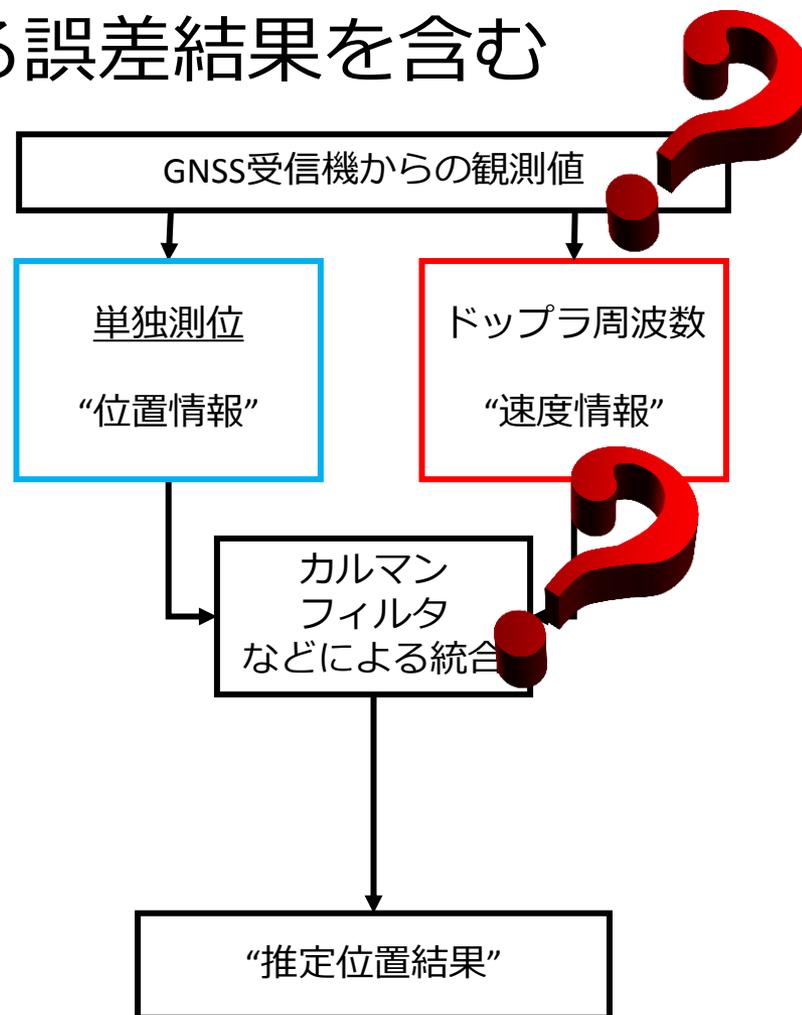
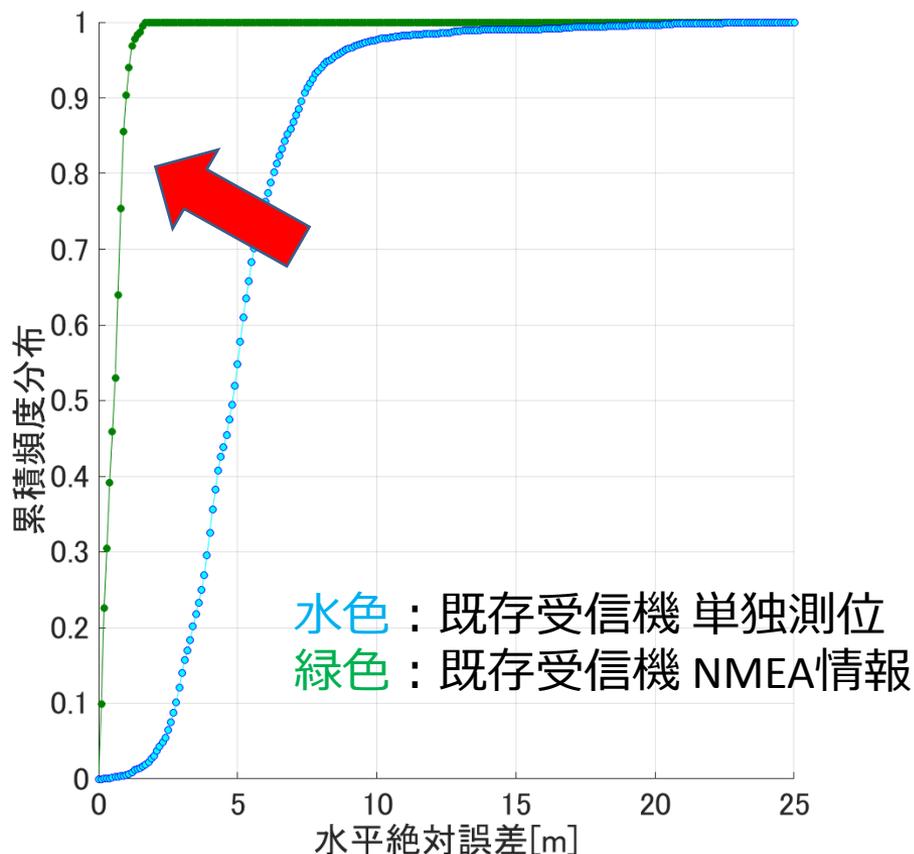
結果③：累積頻度分布



	最大水平誤差	1.0[m]以下
DGNSSSと速度の統合結果	1.80 m	92.8 %
+ RTK-GNSS	0.97 m	100 %

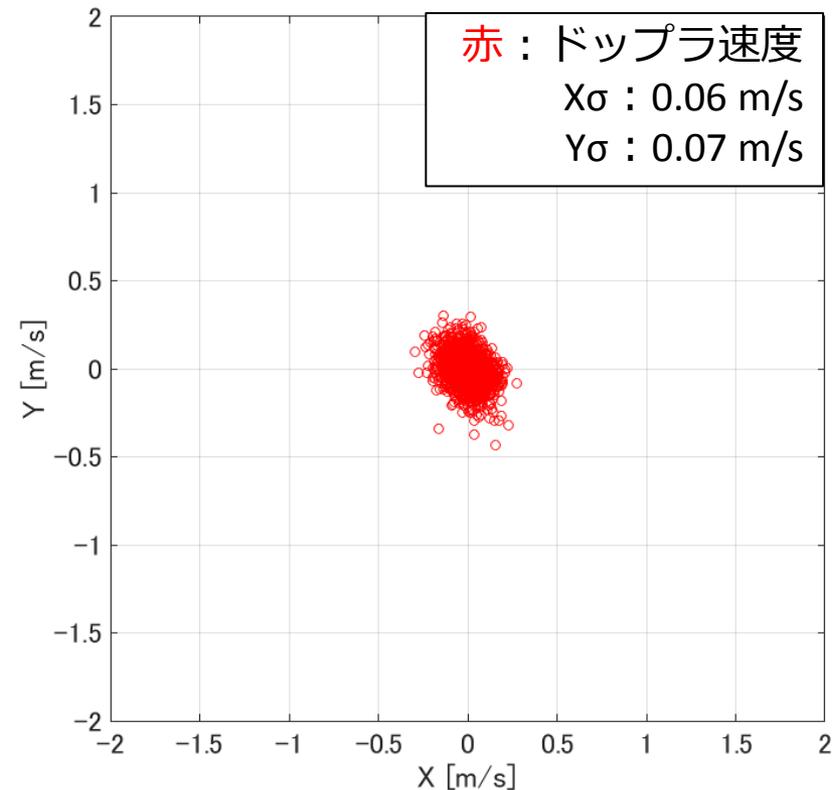
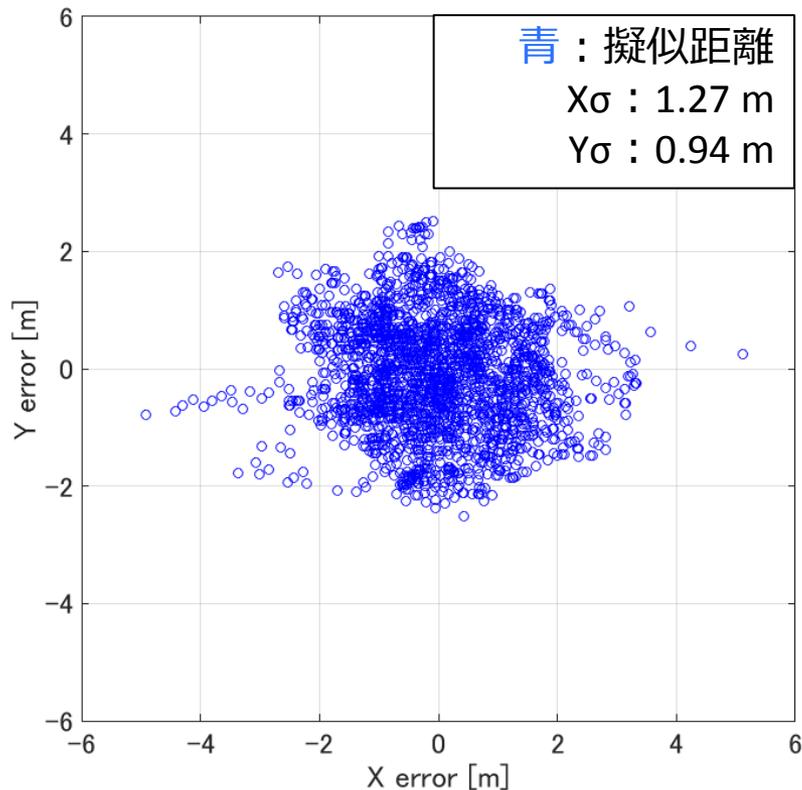
既存の受信機における検討

移動体で対象エリア(中都市部)を走行した場合
単独測位のみ、数十mを超える誤差結果を含む



ドップラ由来の速度情報

ドップラ速度を利用する前に自身のソフトウェア
GNSS受信機上で正しく推定されているか
「静止点上空視界が開けた環境で検証」



ソフトウェアGNSS受信機 実験概要

- 移動体：実験
- 大学から月島周辺を走行
- 高架下、高層ビル点在。



• 移動体：一般車両

機材種	品名
アンテナ	NovAtel-703-GGG
比較用 GNSS受信機	Ublox-NEOM8T FW3.01
フロントエンド	GTEC RFFE Triple Band
レファレンス システム	Applanix POSLVX (10-20cm)



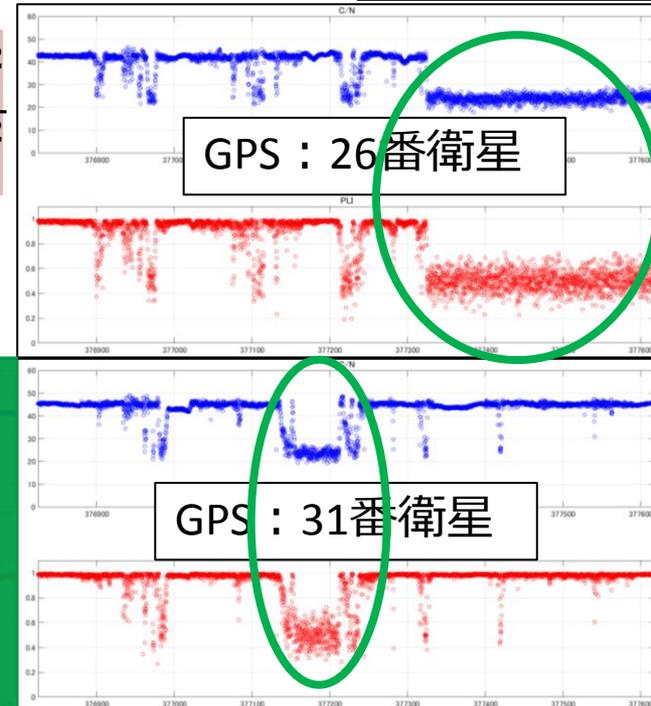
• 走行ルート

信号強度と信号追尾の相関

- C/N₀ (搬送波電力対雑音電力比)
既存の受信機からも取得できる値。
- PLI(Phase Lock Indicator)
信号追尾の質を判断する指標。
一般的に0.8以上が望ましい結果。
既存の受信機からは直接得られない。

$$PLI_1 = \frac{I_P^2 - Q_P^2}{I_P^2 + Q_P^2}$$

時系列
青色 : C/N₀
赤色 : PLI



GPS : 4番衛星

GPS : 25番衛星

「信号強度の低下」と「PLIの低下」が観測できる。
擬似距離の品質 ⇒ 信号強度からもチェック可能

GPS : 14番衛星

GPS : 29番衛星

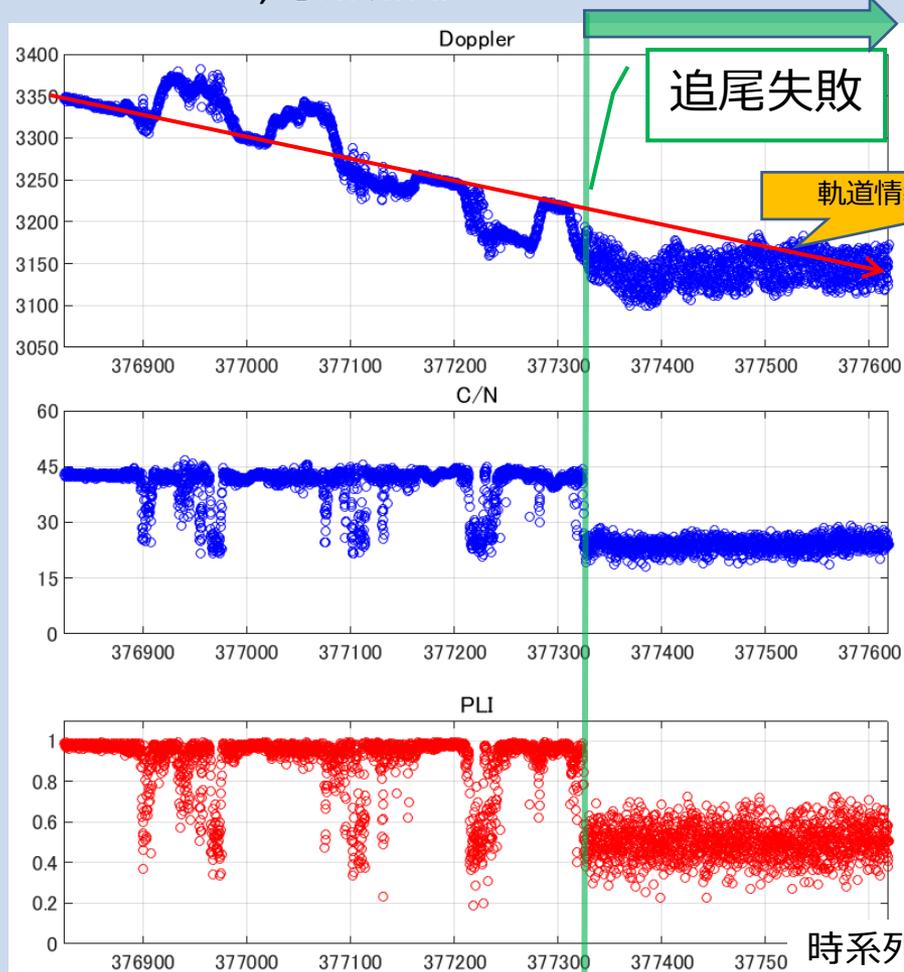
GPS : 32番衛星

移動体：再捕捉

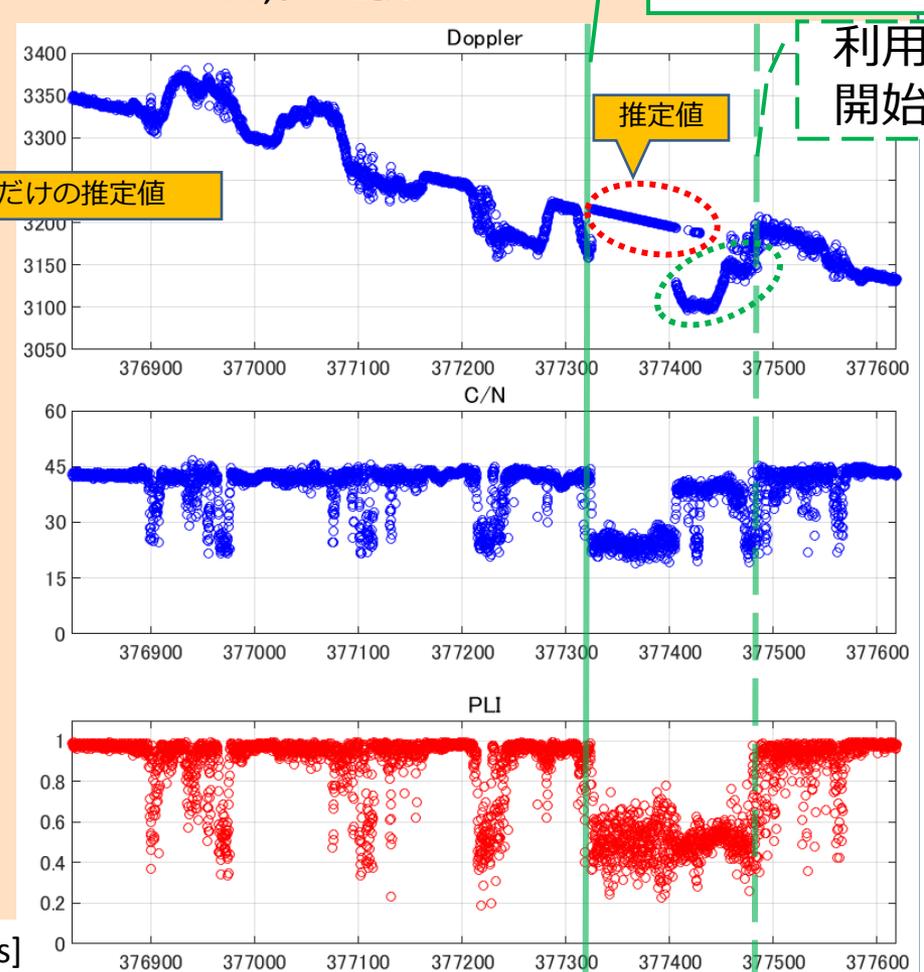
信号が途切れ、追尾の失敗が起こるとドップラー周波数の追尾が外れる。

✓ 衛星軌道計算から大体のドップラー周波数は推定可能。

• GPS:26番, 考慮無し



• GPS:26番, 再捕捉

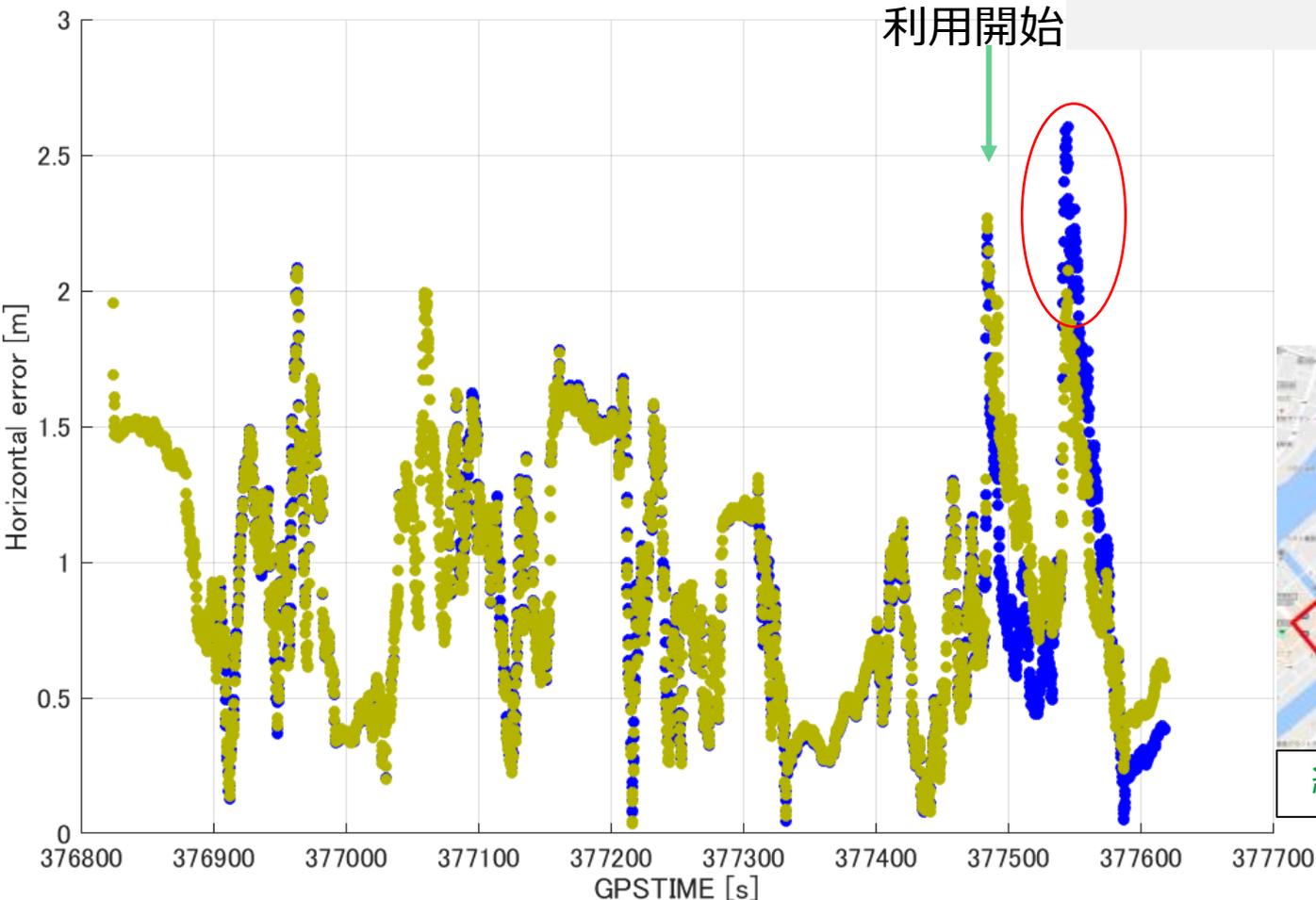


移動体：再捕捉結果

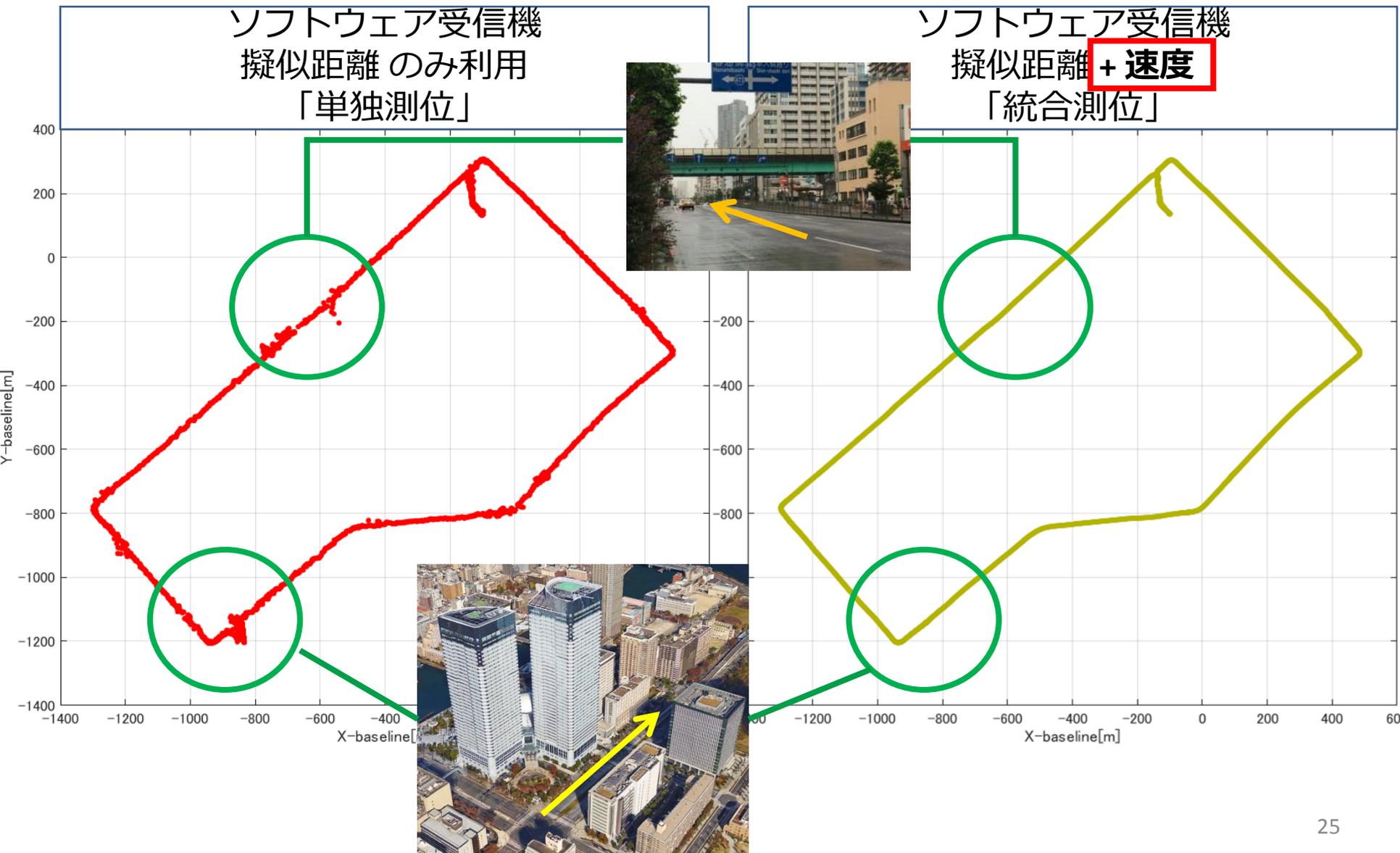
時系列絶対水平誤差結果

青色：SDR 速度とのカップリング
最大水平誤差「2.6m」

黄色：+再捕捉衛星あり
最大水平誤差「2.3m」

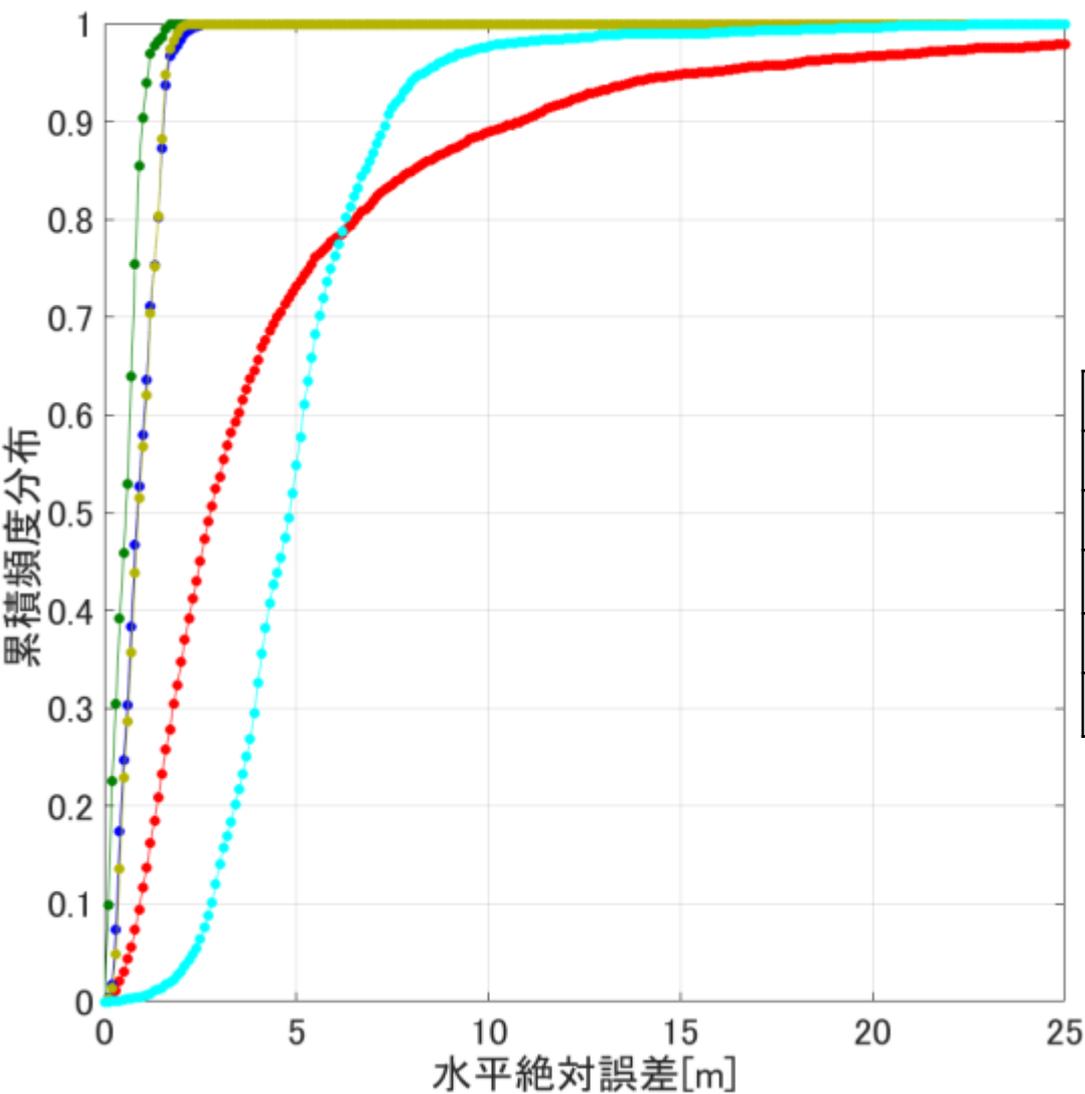


移動体：水平面結果



移動体：実験結果

• 累積頻度分布



赤色：SDR 単独測位
青色：SDR 速度との統合
黄色：+再捕捉衛星あり

水色：既存受信機 単独測位
緑色：既存受信機 NMEA情報

	累積頻度分布99.0[%]
SDR単独測位	32.1[m]
SDR統合結果(再捕捉なし)	2.3[m]
SDR統合結果(再捕捉あり)	1.9[m]
既存受信機 単独測位	14.4[m]
既存受信機 NMEA情報	1.6[m]

結論

ドップラ由来の速度情報を利用することで大幅に推定位置結果が改善
既存の受信機が出すNMEA情報と遜色ない結果が得られた。

まとめ

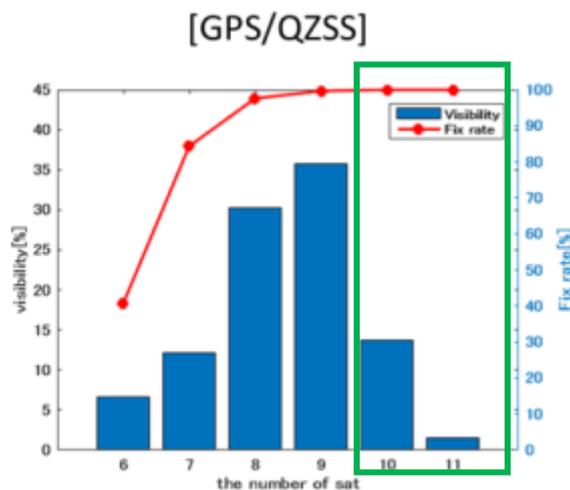
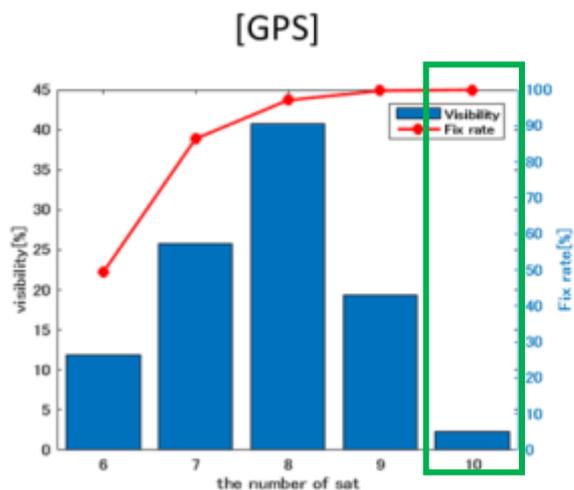
- ドップラ速度情報・RTK測位解を利用する事で精度目標であった、水平絶対誤差を1.0m以内に収める事ができた。
- ソフトウェアGNSS受信機を扱った、移動体での統合結果を示した。
- ソフトウェア受信機でも製品のNMEA相当の結果が得られた。

appendix

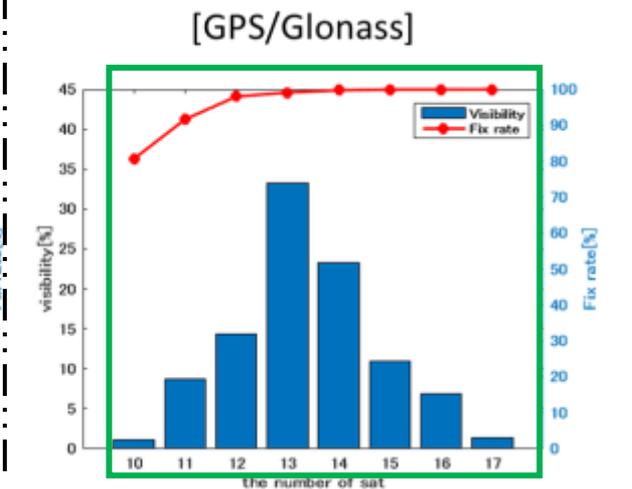
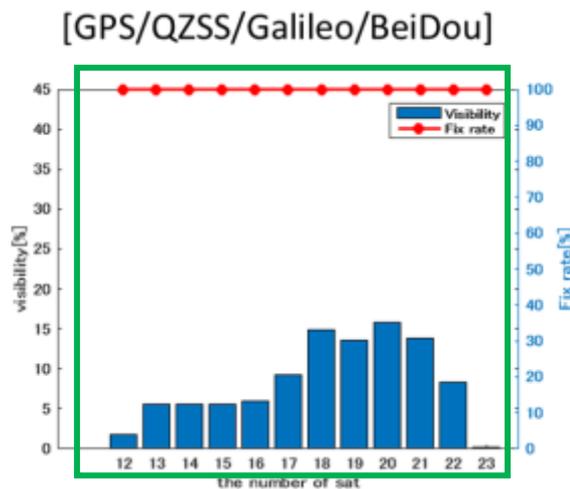
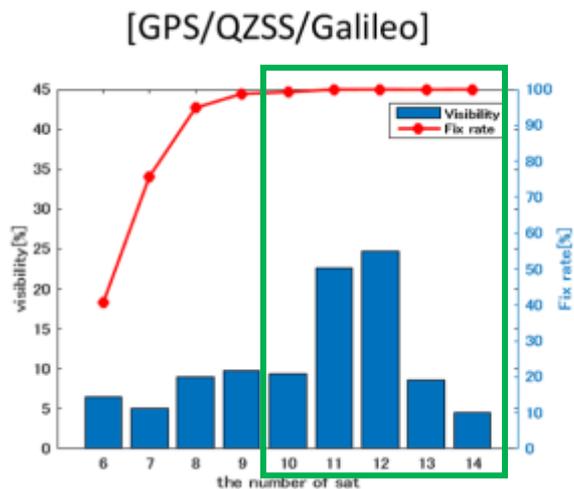


利用衛星数とFix率の相関

- 利用衛星数が少ないと良質なFix解は取得し難い。
- 静止点24時間観測結果 (大きな誤差を含む測位結果無し)

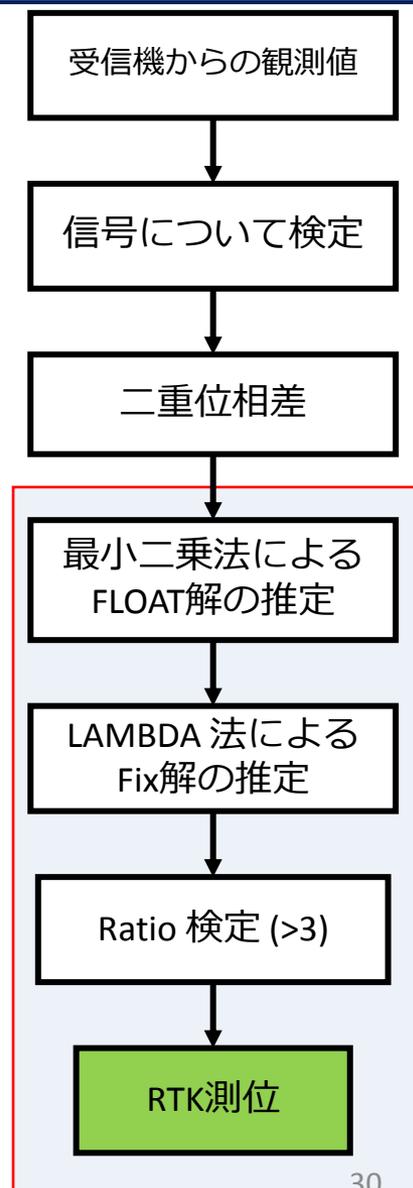
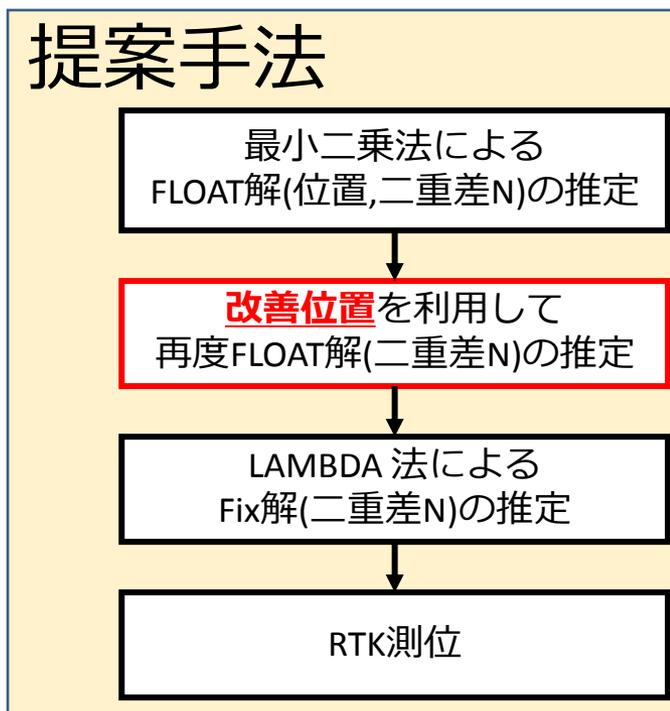
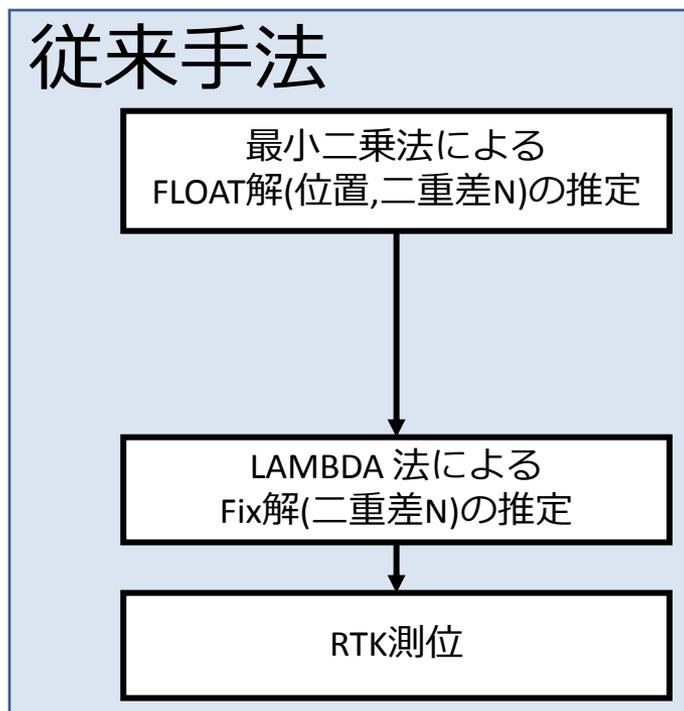


衛星システム 組み合わせ	Fix rate (SV=10)[%]
G	100.0
G+Q	100.0
G+Q+E	99.2
G+Q+E+B	100.0
G+R	80.6



更に改善手法 2回目RTK測位

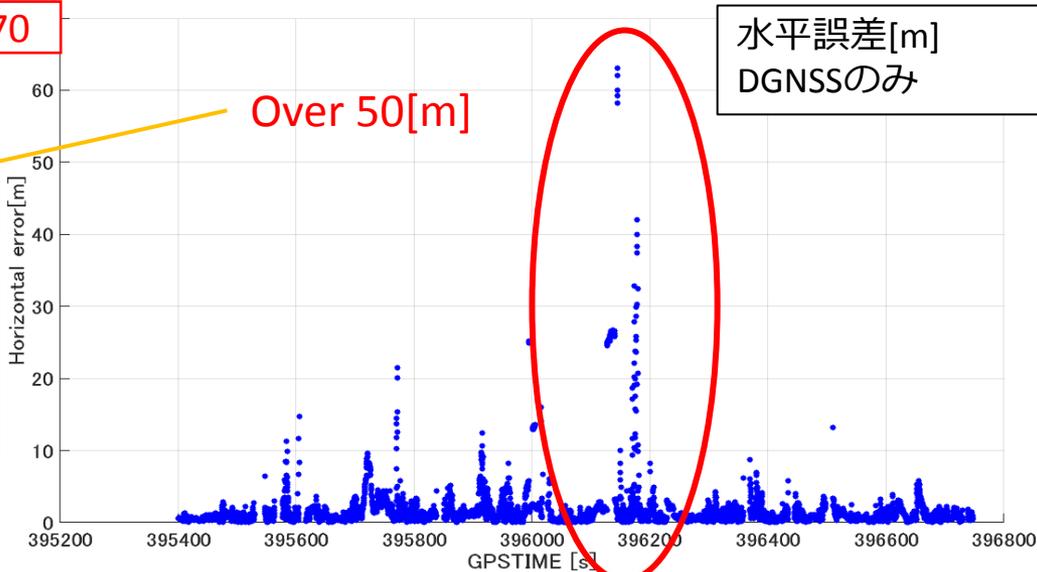
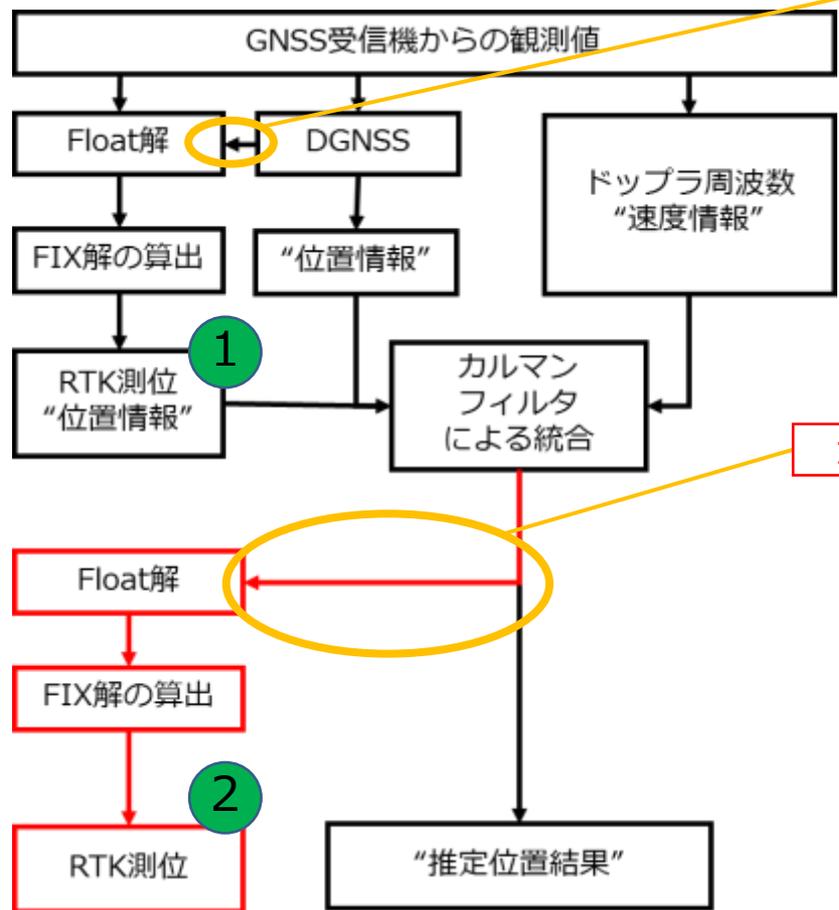
- 従来のFLOAT解では10m~20mを超えるコード測位結果を利用していた。
- そこで、今回取得した結果を再利用しRTK測位解の改善を試みる。



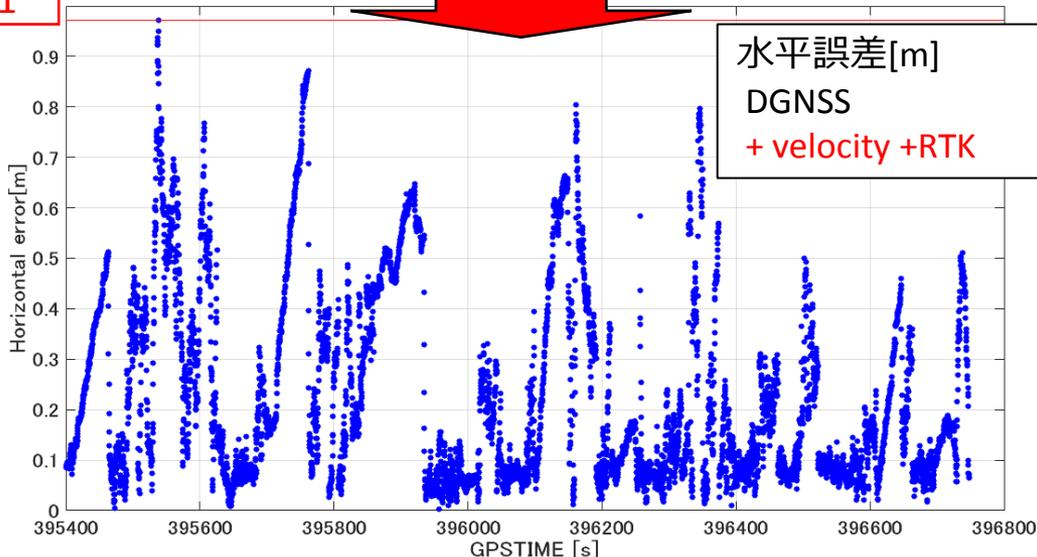
更に改善手法 2回目RTK測位

◆ 新たに取得した位置情報を再利用

70

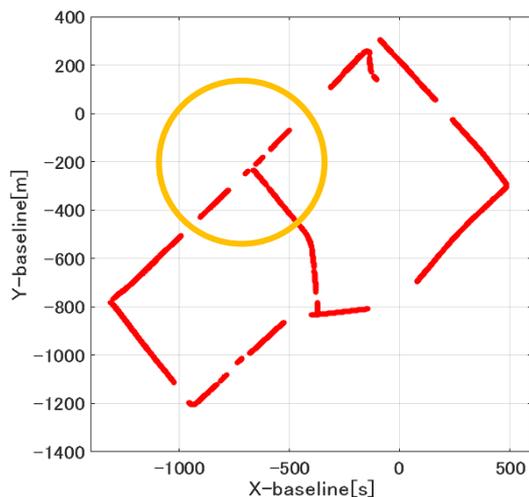


1

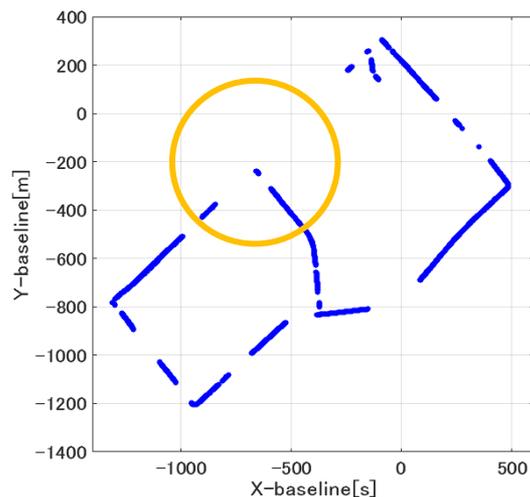


2回目RTK測位

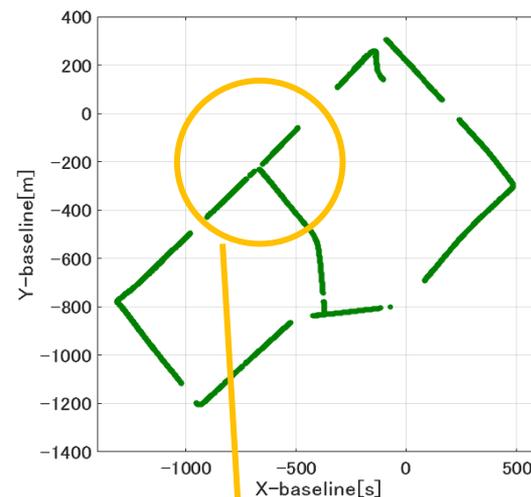
◆ 1回目RTK測位結果



◆ 利用衛星数10機以上



◆ 2回目RTK測位結果



	Fix率	誤差>50cm	最大水平誤差
1回目RTK測位結果	74.0 [%]	91 epochs	5.36 m
利用衛星数10機以上	52.2 [%]	0 epochs	0.18 m
2回目RTK測位結果	82.4 [%]	16 epochs	0.97 m

