

1周波擬似距離を利用した マルチGNSSによる 都市部高精度測位実験の報告

平成26年11月12日

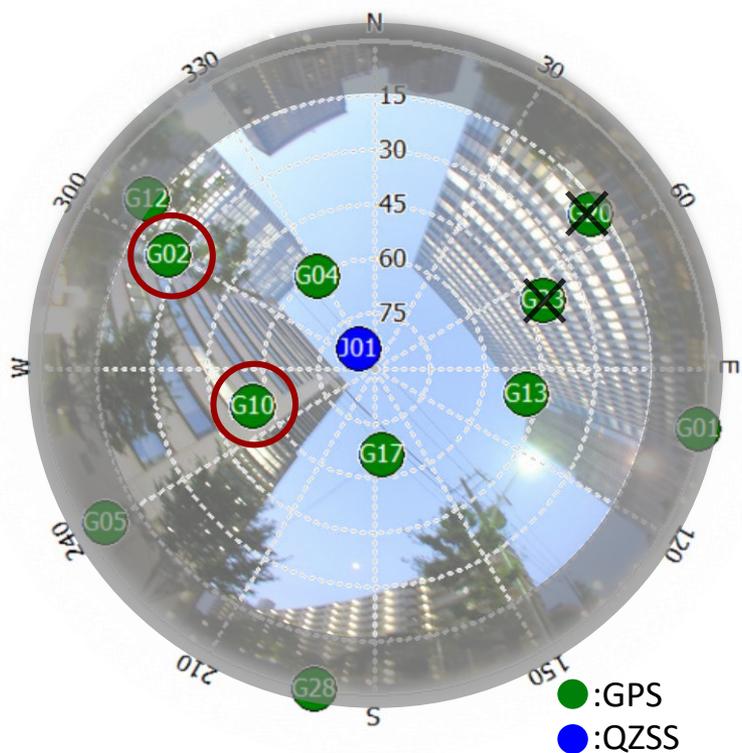
東京海洋大学
土倉弘子、久保信明

発表概要

- 背景と目的
- 高精度測位（ DGNSS ）
- 品質検定による衛星選択
 - 信号強度
 - 擬似距離残差
- 高度支援による測位解の信頼性判定
 - 気圧高度計による高度支援
- まとめ

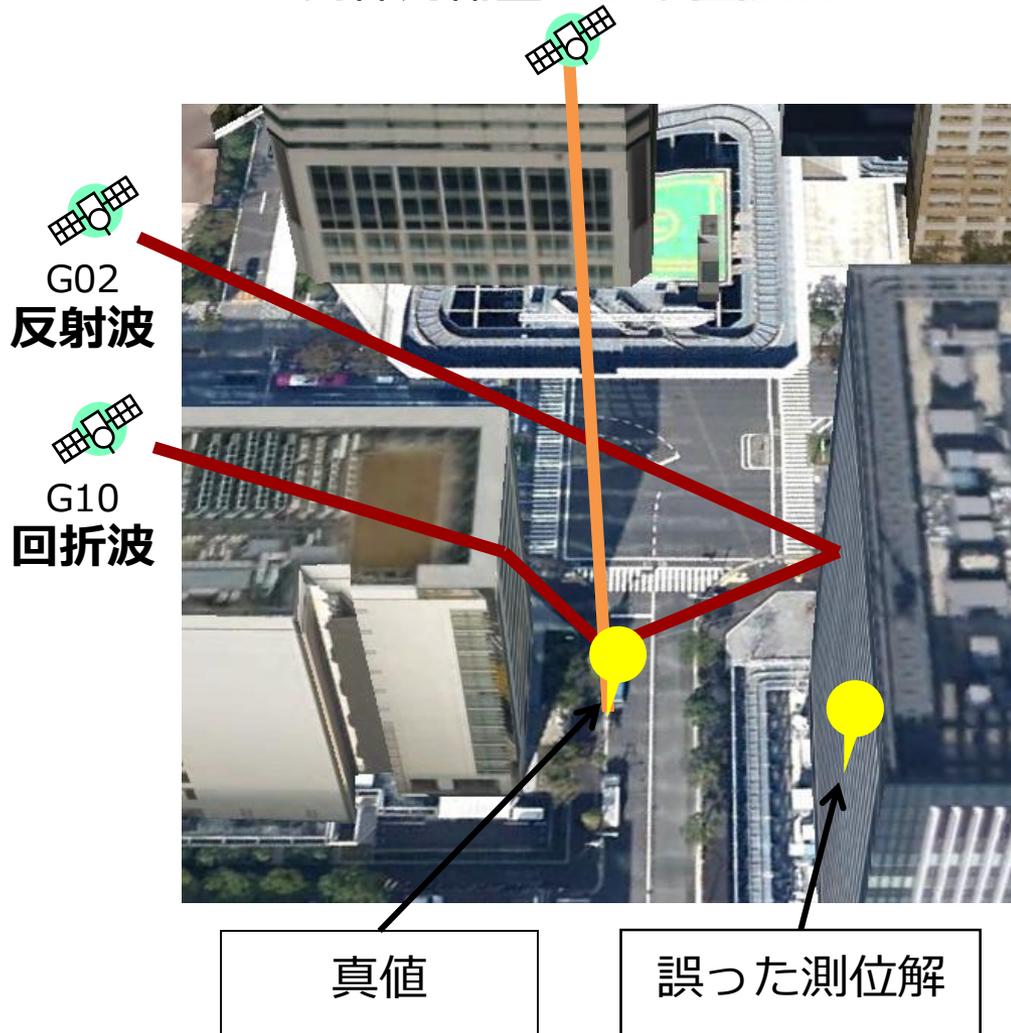
背景と目的

都市部における測位誤差原因（マルチパス）



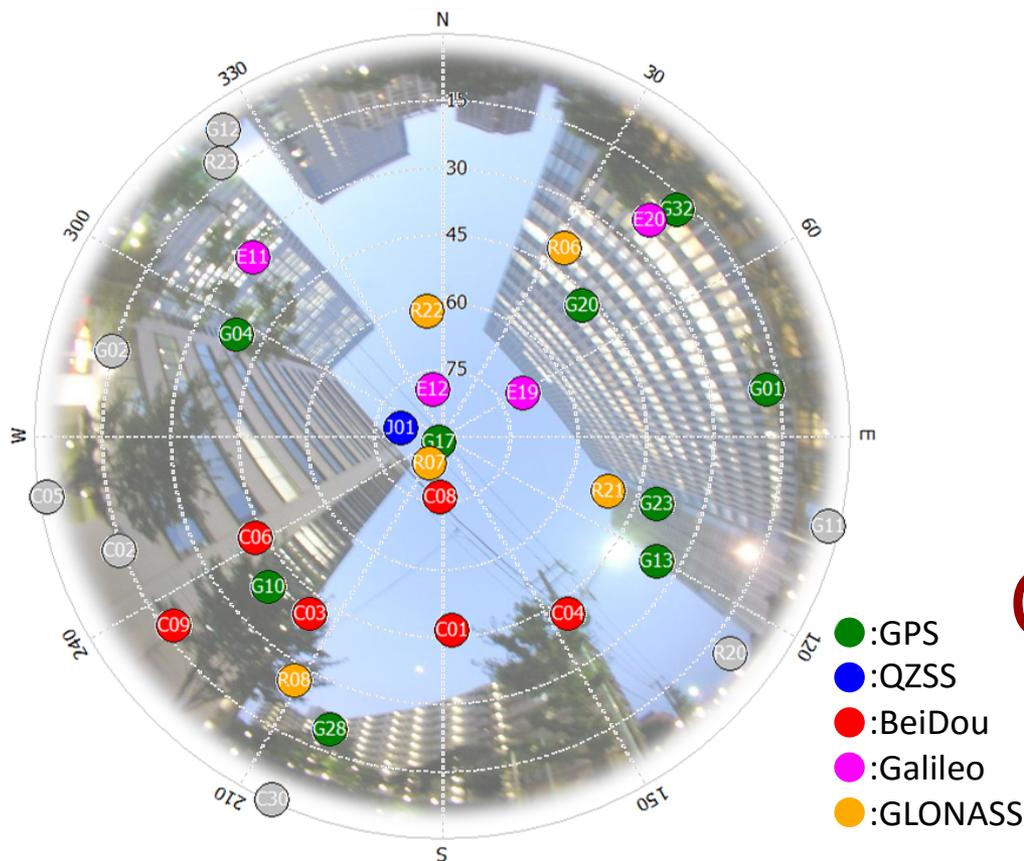
NLOS(Non-line-of-sight)
衛星によるマルチパス

高仰角衛星による**直接波**

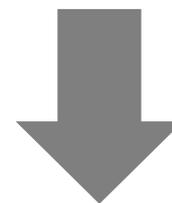


背景と目的

マルチGNSSによる効果と衛星選択



直接波
GPS 2機



GNSS 10機

観測値品質チェックによる衛星選択
擬似距離を用いたマルチGNSS-ディファレンシャル測位の
可能性と限界→**将来のSBAS性能の予測**

ディファレンシャル測位 異なる測位衛星システム間での時刻オフセット

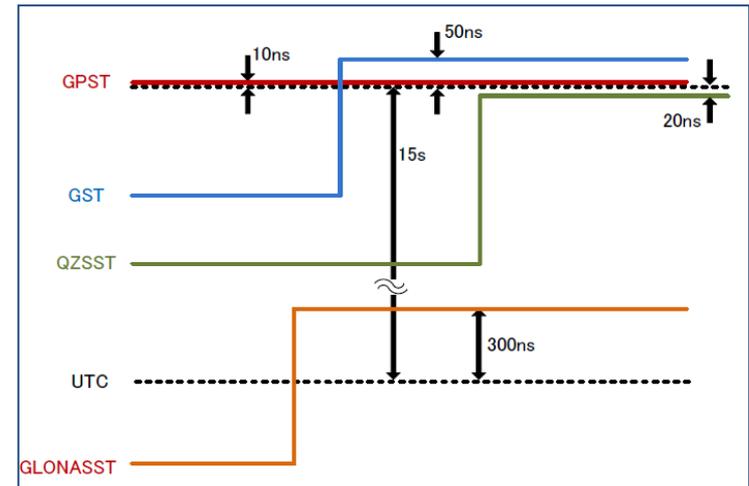
◆GPS擬似距離

$$\begin{aligned} \text{基準局: } p^{ref} &= \rho^{ref} + c \cdot \underbrace{(dt^{ref} - dT)}_{\text{推定可能}} + \underbrace{ion + tropo}_{\text{補正值}} + noise^{ref} \\ \text{移動局: } p^{rov} &= \rho^{rov} + c \cdot \underbrace{(dt^{rov} - dT)}_{\text{推定可能}} + \underbrace{ion + tropo}_{\text{補正值}} + noise^{rov} \end{aligned}$$

◆GPSを基準としたGLONASS擬似距離

$$\begin{aligned} \text{基準局: } p_{GLONASS}^{rov} &= \rho^{rov} + c \cdot \underbrace{(dt^{rov} - dT)}_{\text{推定可能}} + \underbrace{\Delta t_{GPS-GLONASS}}_{\text{補正值}} + ion + tropo + noise^{rov} \\ \text{移動局: } p_{GLONASS}^{ref} &= \rho^{ref} + c \cdot \underbrace{(dt^{ref} - dT)}_{\text{推定可能}} + \underbrace{\Delta t_{GPS-GLONASS}}_{\text{補正值}} + ion + tropo + noise^{ref} \end{aligned}$$

- 補正值は基準局と同じ衛星で生成
⇒システム間時刻オフセットは補正值に包括される
- システム間時刻オフセットの推定の必要がないため、最低可視衛星数は**4機**で測位可能



IS-QZSS 準天頂衛星システムユーザーインターフェース仕様書より

どのように品質をチェックするか (衛星選択と信頼性判定)

観測値の品質検定による衛星選択

手法① 信号強度による検定

手法② 擬似距離残差による検定

高度支援による測位解の信頼性判定

手法③ 気圧高度計による高度支援

観測値の品質検定による衛星選択

1. 仰角マスク 15度以上

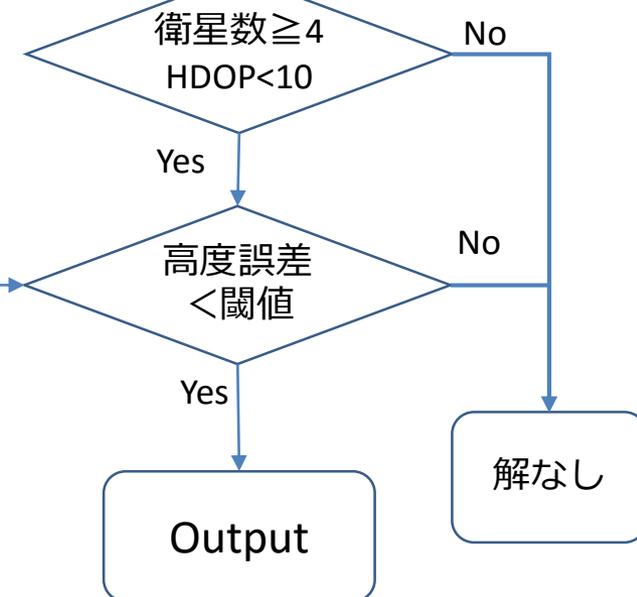
2. 最低信号強度 20dBHz以上

手法① 信号強度による検定

手法② 擬似距離残差による検定

高度支援による測位解の信頼性判定

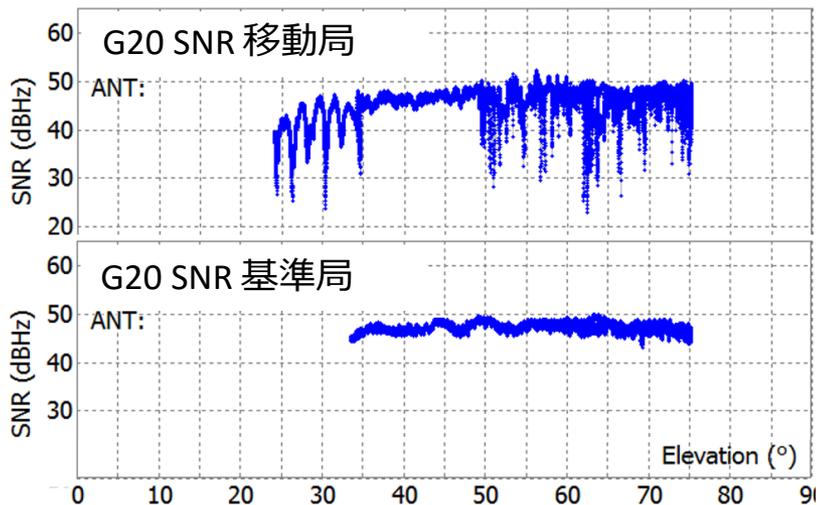
手法③ 気圧高度計による高度支援



観測値の品質検定による衛星選択

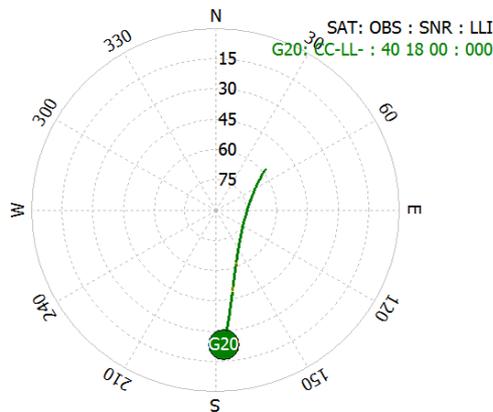
①信号強度による検定

仰角-信号強度 移動局、基準局

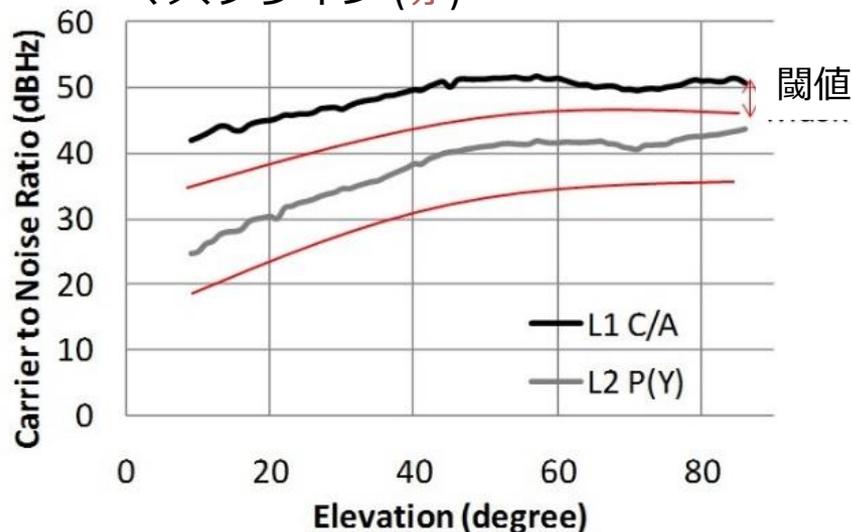


- 回折波及び反射波を受信した場合信号強度が劣化
- 信号強度は仰角に依存
- 信号強度が予測より大幅に低い衛星⇒マルチパスによる影響大
- 衛星システムごと、受信機ごとに信号強度予測ラインを生成

G20 衛星配置



予測ライン(黒)
マスクライン(赤)

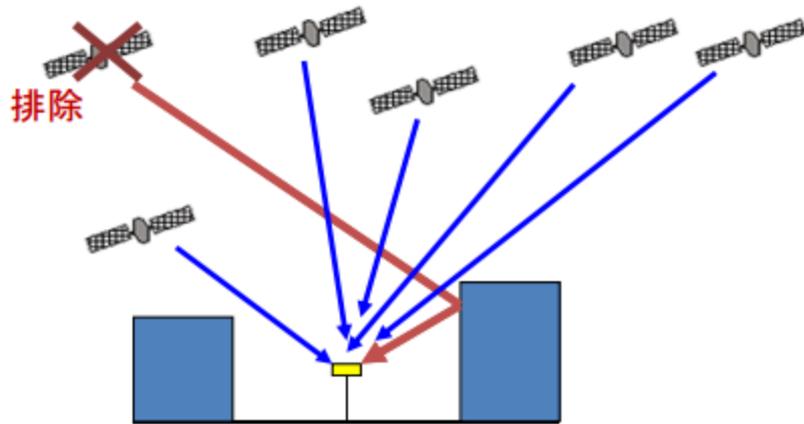


観測値の品質検定による衛星選択

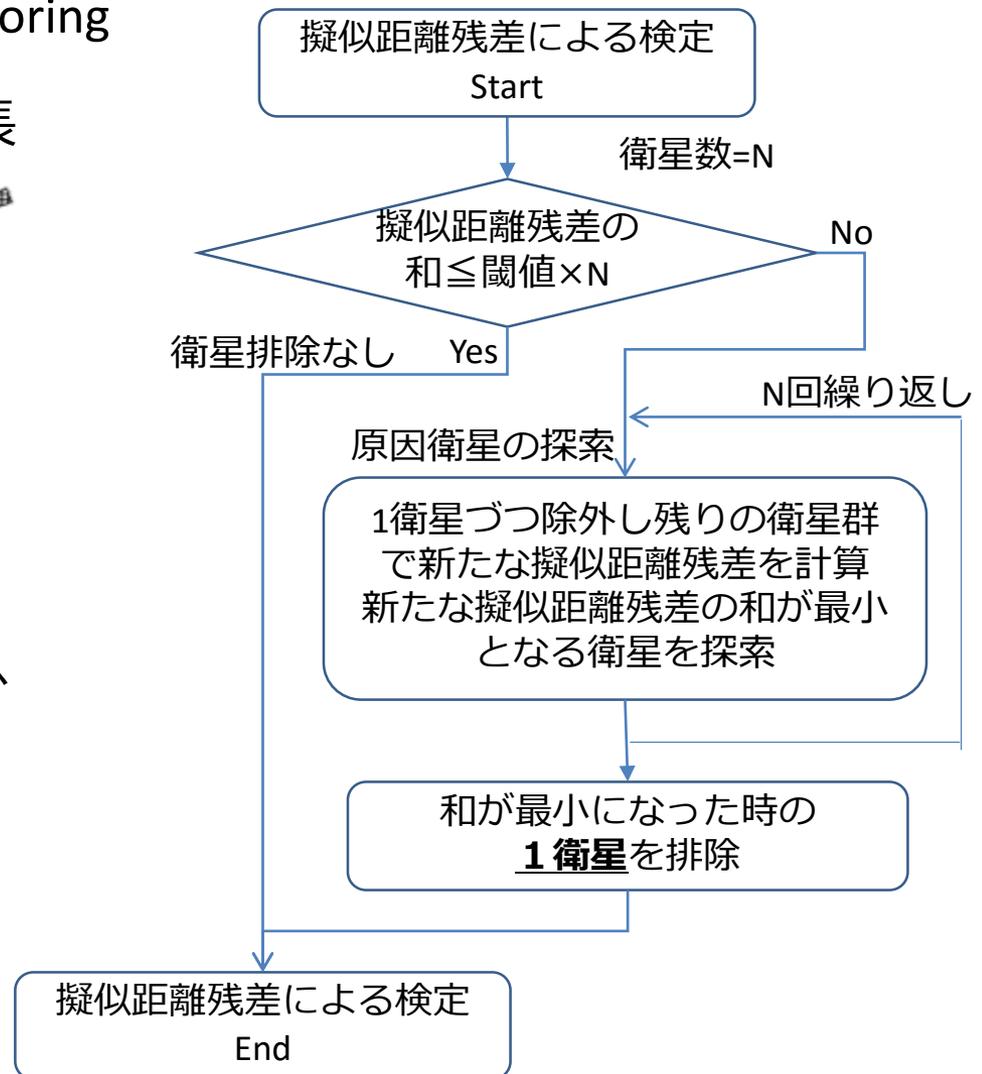
②擬似距離残差による検定 (RAIM)

Receiver autonomous integrity monitoring

マルチパスによる擬似距離の延長



- ディファレンシャル測位演算内、最小二乗法により衛星ごとの擬似距離残差が得られる
- 擬似距離残差が大きい衛星⇒マルチパスによる影響大



観測値の品質検定による衛星選択

②擬似距離残差による検定 (RAIM)

擬似距離残差検定の閾値の決定

- 静止点にて単独衛星システムを用いたディファレンシャル測位結果より擬似距離残差を算出 (GPS, GLONASS, BeiDou)
- 擬似距離残差 (絶対値) による閾値は**3m**と設定

実験概要	
データ取得日	2014年6月3日
解析時間	3時間-1Hzを2回
受信機	Trimble NetR9
解析環境	D-GPS, D-BeiDou, D-GLONASS
測位環境	静止点・オープンスカイ マルチパス影響少
仰角,HDOP マスク	仰角>15度, HDOP<10

実験結果：擬似距離残差			
静止実験 1	GPSTIME 3:00-6:00		
	GPS	BeiDou	GLONASS
平均 [m]	-0.60	0.61	0.22
標準偏差 [m]	0.55	0.48	0.68
最大誤差 [m]	-3.08	2.80	3.97
可視衛星数 [機]	6-10	6	5-6
静止実験 2	GPSTIME 6:00-9:00		
	GPS	BeiDou	GLONASS
平均 [m]	-0.44	0.48	0.36
標準偏差 [m]	0.53	0.50	0.67
最大誤差 [m]	-2.83	2.50	3.73
可視衛星数 [機]	5-8	5-7	4-7

衛星選択

観測値の品質検定による衛星選択

手法① 信号強度による検定

◆信号強度マスクライン

(予測信号強度ライン - 8dBHz)

を下回る衛星を**排除**

手法② 擬似距離残差による検定

◆各エポックの衛星群の擬似距離残差の和が閾値($3\text{m} \times \text{衛星数}$)を超える場合、擬似距離残差の和が最小となる衛星を探索、該当衛星を**排除 (1機まで)**

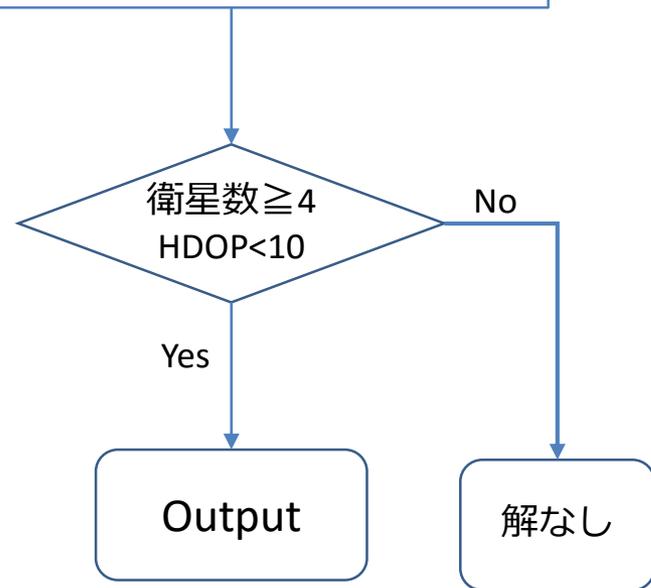
観測値の品質検定による衛星選択

1.仰角マスク 15度以上

2.最低信号強度L1 20dBHz以上

手法① 信号強度による検定

手法② 擬似距離残差による検定



移動体実験 概要



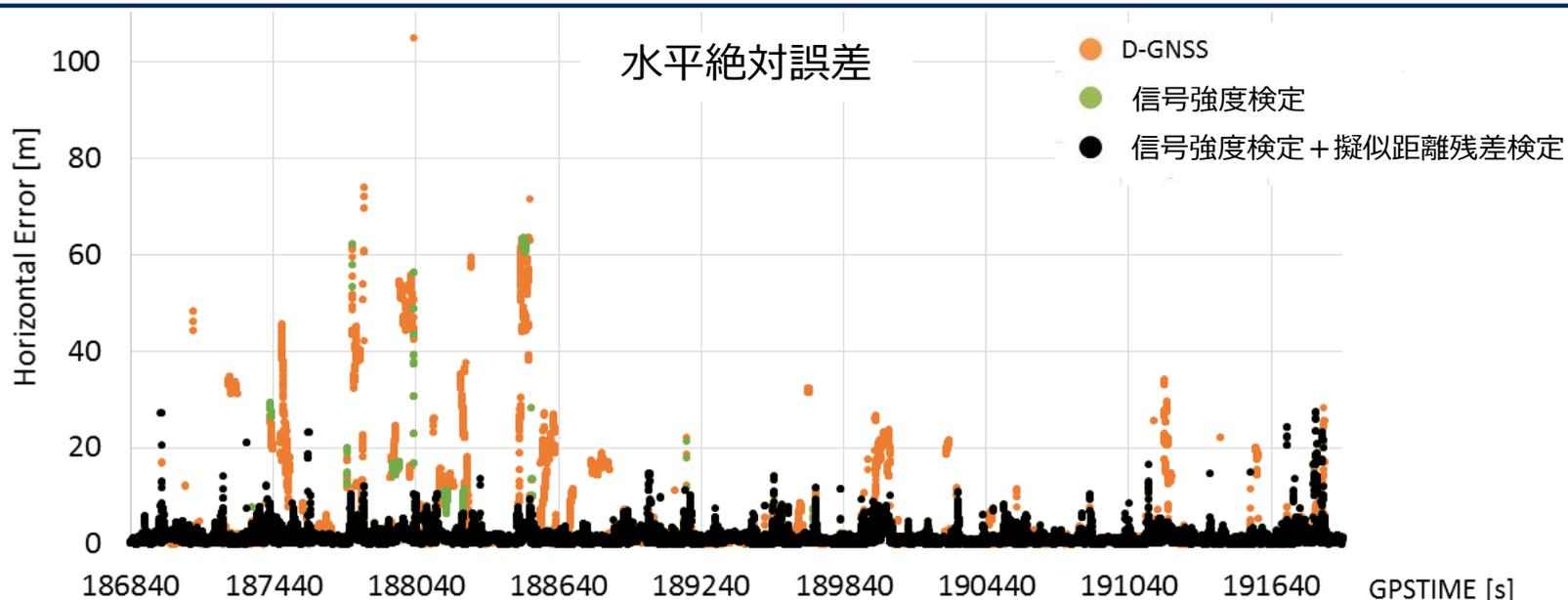
- 移動体（自動車）による検証実験
- マルチGNSS(GPS, QZSS, BeiDou, GLONASS)によるディファレンシャル測位

実験概要		
データ取得	2013年10月1日・東京都内	
	コース 1. 月島	コース 2. 丸の内
解析時間	85分-10Hz	60分-10Hz
測位環境	市街地 高層ビルが点在	都市部 ほぼ高層ビル
受信機	Trimble NetR9（移動局、基準局共）	
解析環境	D-GNSS(GPS/QZSS/BeiDou/GLONASS) 基線長5Km以内	
レファレンス	POS/LVによる解を同時取得（水平精度10cm程度）	
仰角,HDOP マスク	仰角>15度, HDOP<10	



移動体実験

観測値の品質検定による衛星選択 コース1. 月島 結果

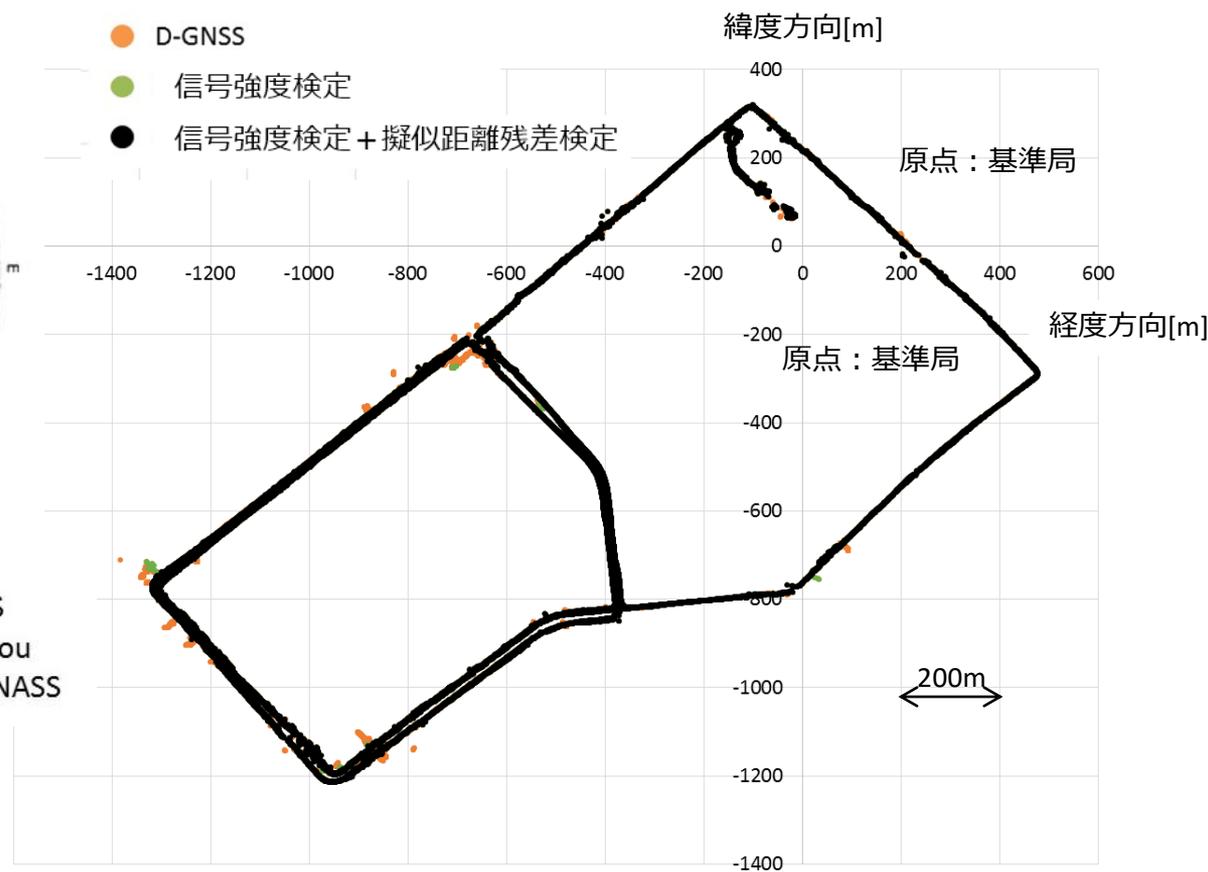
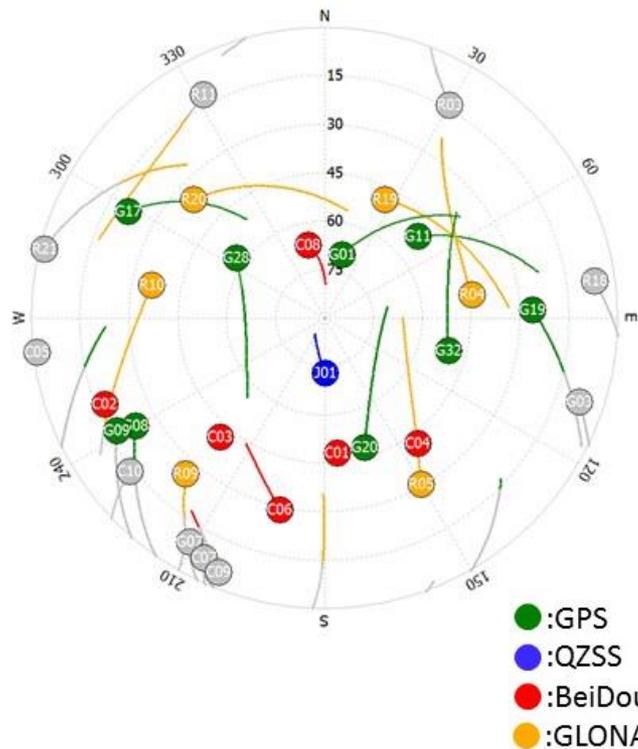


実験結果					
移動体実験 1	コース1. 月島 (市街地、85分)				
	測位率	水平精度			HDOP
	[%]	緯度 標準偏差[m]	経度 標準偏差[m]	信頼性※ [%]	平均
検定前	98.51	5.29	8.29	87.26	1.16
信号強度検定	97.96	2.67	3.19	96.45	1.33
信号強度検定 + 擬似距離残差検定	97.94	1.33	1.43	97.42	1.33

※ 信頼性 水平誤差が5m以下の解を得られた回数 / 測位解の回数

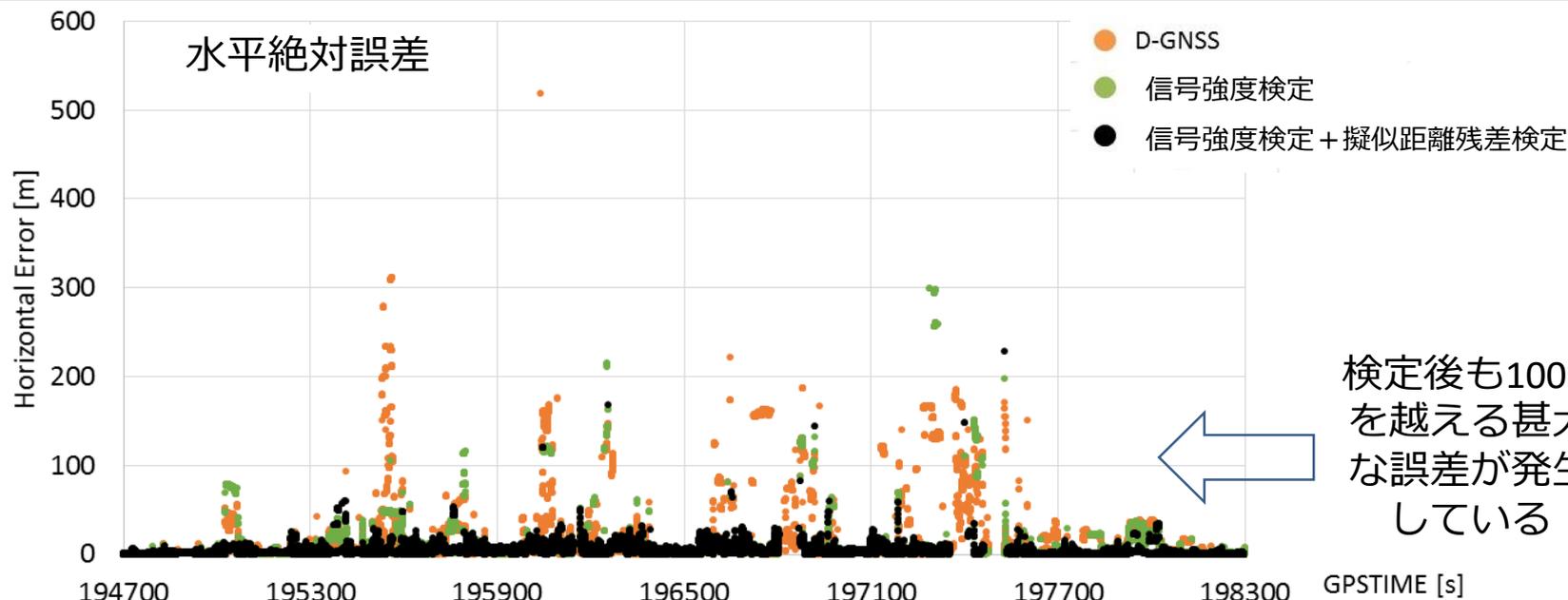
移動体実験

観測値の品質検定による衛星選択 コース1. 月島 結果



移動体実験

観測値の品質検定による衛星選択 コース2. 丸の内 結果

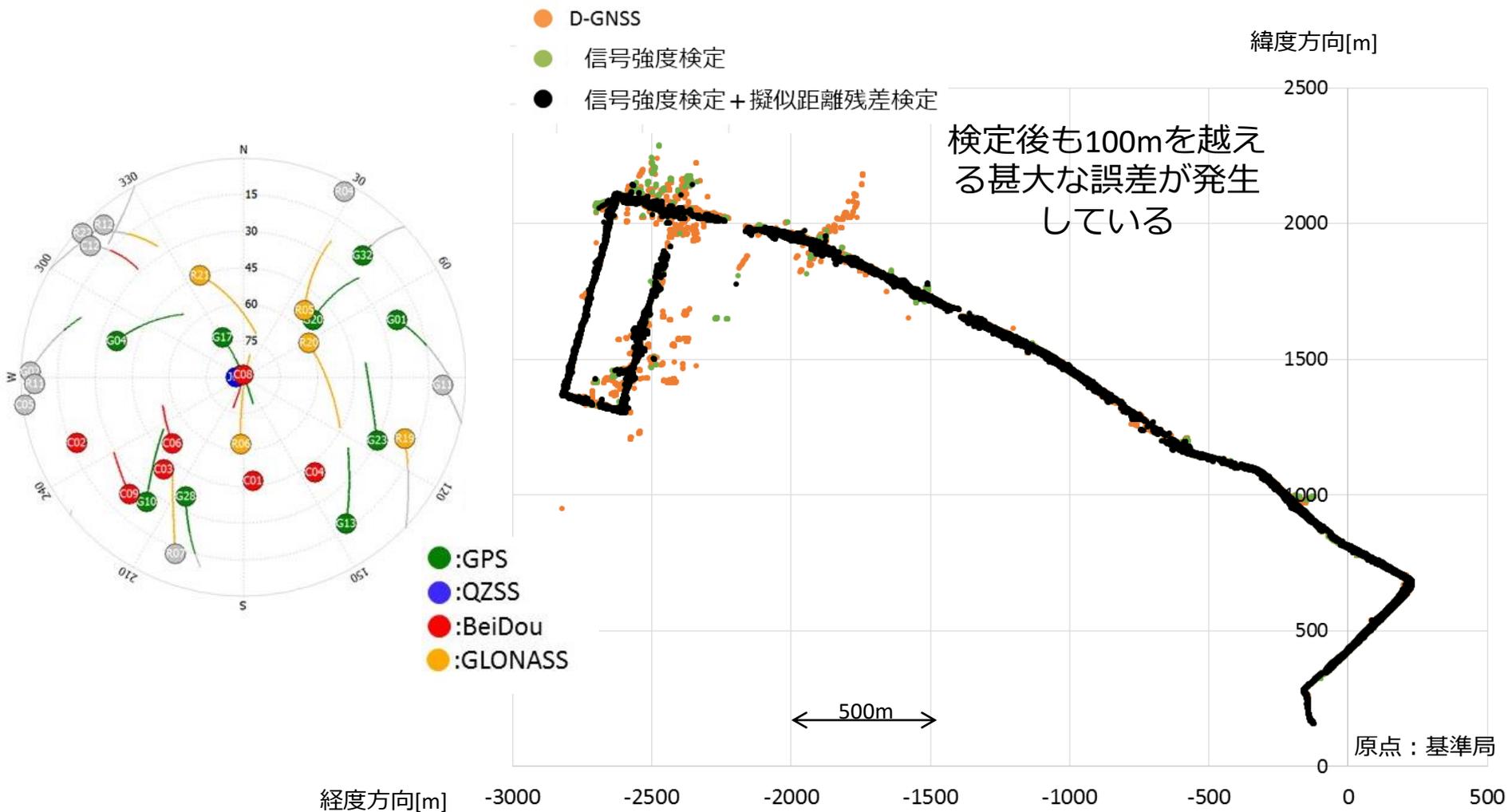


実験結果					
移動体実験 2	コース2. 丸の内 (都市部、60分)				
	測位率	水平精度			HDOP
	[%]	緯度 標準偏差[m]	経度 標準偏差[m]	信頼性 ※ [%]	平均
検定前	94.23	22.52	30.28	59.54	1.89
信号強度検定	86.24	11.87	14.15	68.93	2.50
信号強度検定 + 擬似距離残差検定	86.17	4.88	5.51	73.44	2.57

※ 信頼性 水平誤差が5m以下の解を得られた回数 / 測位解の回数

移動体実験

観測値の品質検定による衛星選択 コース2. 丸の内 結果



高度支援による測位解の信頼性判定

③ 気圧高度計による高度支援

- 甚大な誤差を含む測位解を自動で排除したい（インテグリティ性確保）
- 気圧高度計では天空の遮蔽（高架下など）に関わらず安定、連続して高度情報の取得が可能
- 高度方向と水平方向の測位誤差は高相関（相関係数0.96）

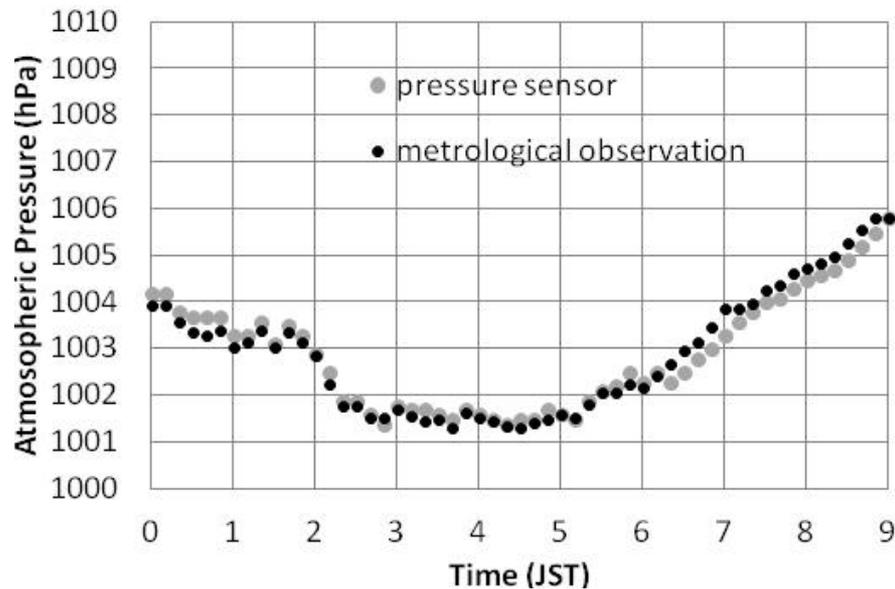


高度支援による測位解の信頼性判定

③ 気圧高度計による高度支援

気圧高度計の評価

気圧高度計と気象観測値による気圧比較
(静止点)



実験概要：気圧高度計MS5611

データ取得日

2014年1月8日

解析時間

9時間 - 10分間隔

気圧高度計
設置環境

東京海洋大学・静止点
気象庁からおよそ4km

解析条件

観測開始時
キャリブレーション

実験結果

観測値の差
標準偏差

0.24hPa

高度変換

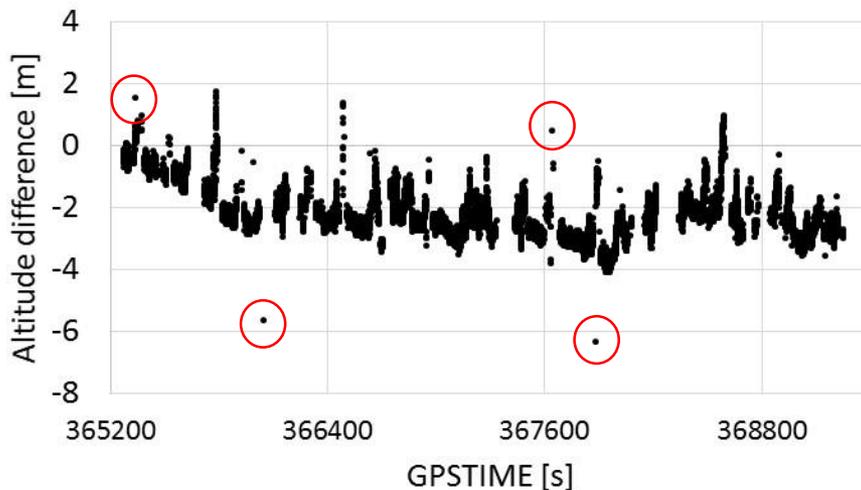
約2m

高度支援による測位解の信頼性判定

③ 気圧高度計による高度支援

気圧高度計の評価

RTK-GPS測位解をレファレンスとした
気圧高度計の高度誤差 (移動体)



ミスFIX

実験概要：気圧高度計MS5611

データ取得日

2014年1月16日

解析時間

70分- 5Hz

解析環境

移動体 - 市街地

解析条件

観測開始時
キャリブレーション

レファレンス

RTK-GPS測位解

実験結果

観測値の差
標準偏差

0.82m

最大誤差

約4m

測位解の信頼性判定

高度支援による測位解の信頼性判定

手法③気圧高度計による高度支援

◆測位解の高度と気圧高度計による高度の差が5mを超えた場合の測位解を排除

観測値の品質検定による衛星選択

1.仰角マスク 15度以上

2.最低信号強度L1 20dBHz以上

手法① 信号強度による検定

手法② 擬似距離残差による検定

高度支援による測位解の信頼性判定

手法③気圧高度計による高度支援

衛星数 ≥ 4
HDOP < 10

Yes

No

高度誤差
 $< 5m$

Yes

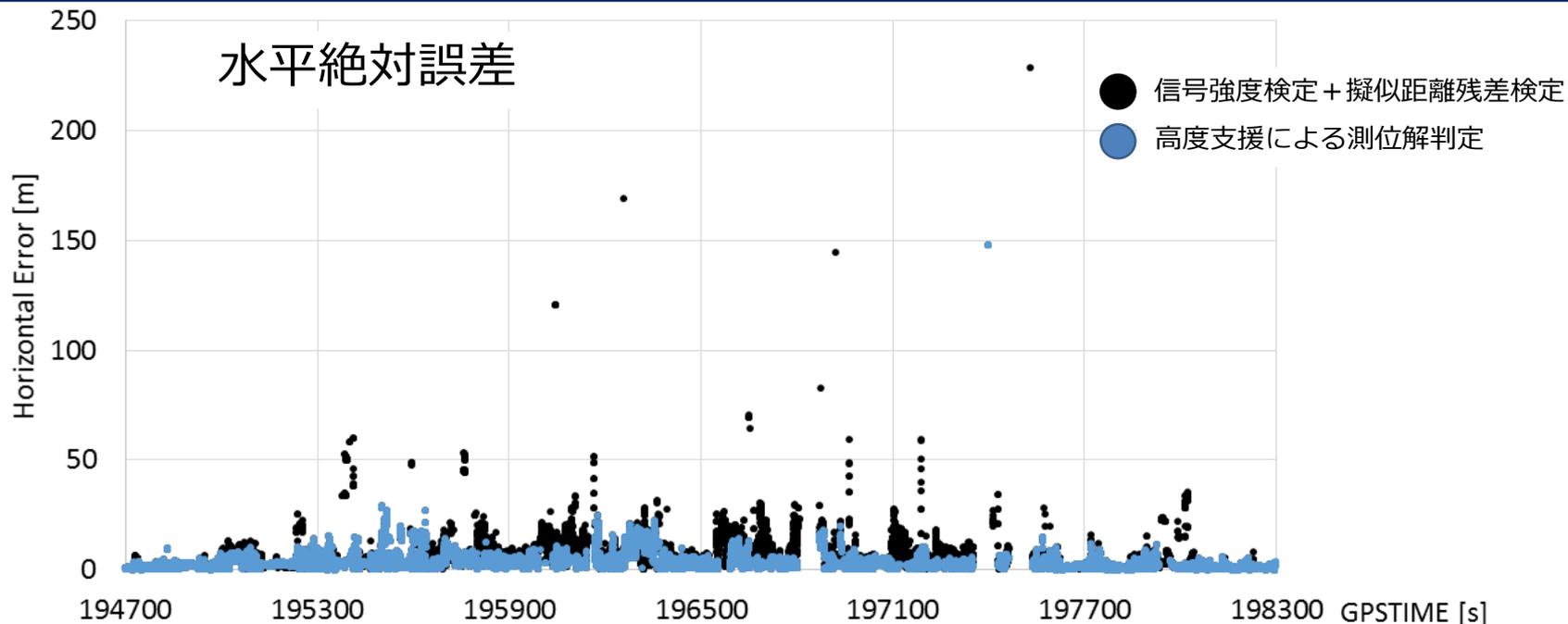
No

Output

解なし

移動体実験

高度支援による測位解の信頼性判定 コース2. 丸の内 結果



実験結果					
移動体実験 1	コース2.丸の内 (都市部、60分)				
	測位率	水平精度			HDOP
	[%]	緯度 標準偏差[m]	経度 標準偏差[m]	信頼性※ [%]	平均
観測値の品質検定による衛星選択	86.17	4.88	5.51	73.44	2.57
高度支援による測位解の信頼性判定	63.11	3.39	2.68	87.12	2.19

※ 信頼性 水平誤差が5m以下の解を得られた回数 / 測位解の回数

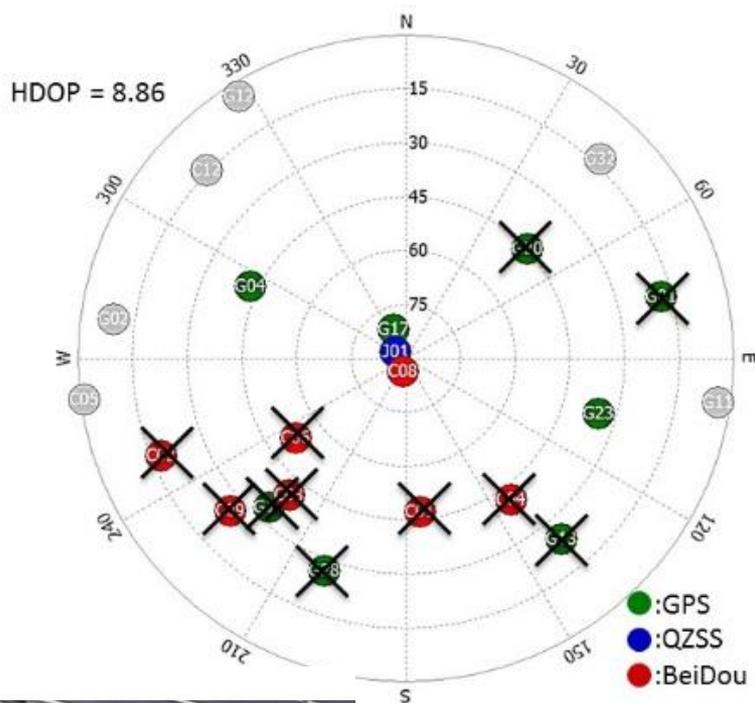
まとめ

- 観測値の品質検定手法に関しては、信号強度、擬似距離共に有効であることが示された。これらの手法はマルチGNSSの基本的な品質検定として利用可能である。
- 都市部の移動体において、気圧高度計による支援は初期の都市部でのみで安易に利用できる、テイファレンシャル測位による稀に発生する数メートルを超える大きな測位誤差を取り除くことが可能となるため、有効的な手段といえる。
- また、提案手法によっても排除できないマルチパス誤差が含まれることも明らかになった。今後、これらの衛星によるマルチパスの影響について排除する手法について課題となる。
- 今回示していないが、2周波の観測データでチェックすると効果が大きい

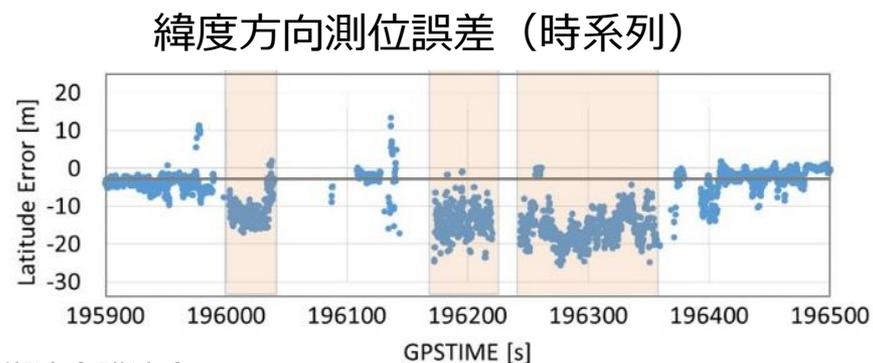
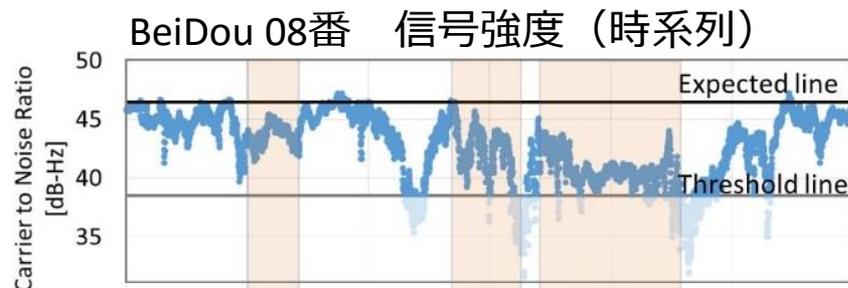
ありがとうございました

高仰角衛星によるマルチパス誤差

高仰角（80度以上）BeiDou 08番による測位誤差



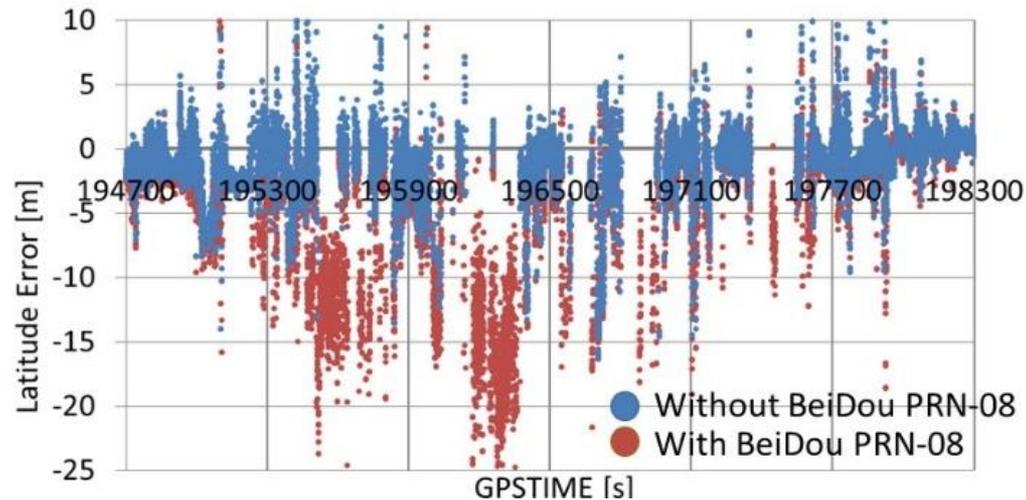
- 通常は高仰角に位置する衛星はマルチパスによる影響が少ない
- ⇒ 今回
- BeiDou 08番によるマルチパス影響あり



高仰角衛星によるマルチパス誤差

高仰角（80度以上）BeiDou 08番による測位誤差

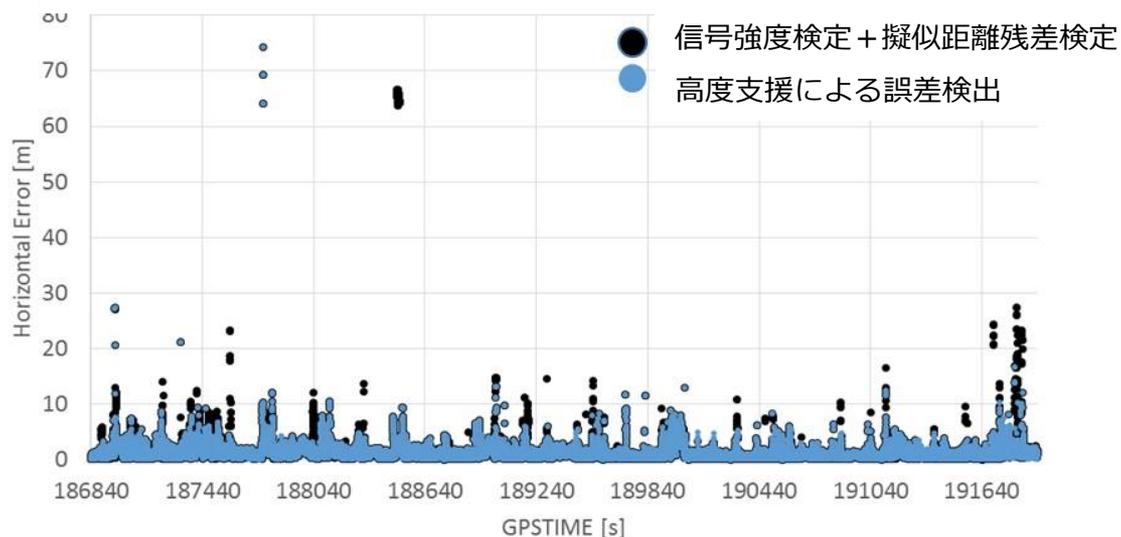
BeiDou 08番を排除した時系列緯度方向誤差



移動体実験

高度支援による誤差検出 コース1. 月島 結果

水平絶対誤差

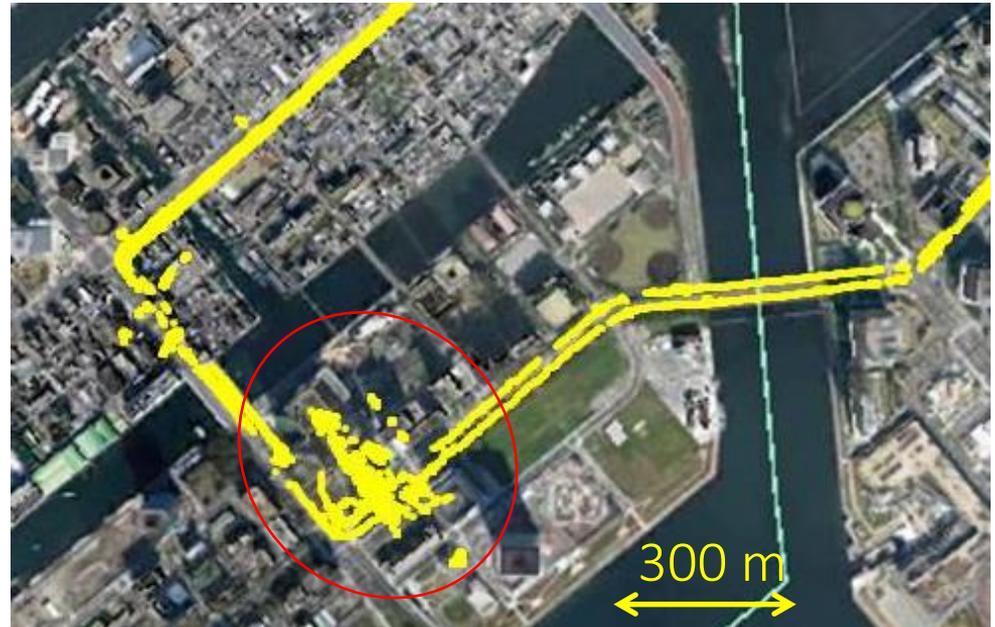


実験結果					
移動体実験 1	コース1. 月島 (市街地、85分)				
	測位率	水平精度			HDOP
	[%]	緯度 標準偏差[m]	経度 標準偏差[m]	信頼性 ※ [%]	平均
観測値の品質検定による衛星選択	97.96	2.82	2.86	96.82	1.34
高度支援による誤差検出	75.96	1.32	1.31	98.04	1.30

※ 信頼性 水平誤差が5m以下の解を得られた回数 / 測位解の回数

背景と目的

GPS + QZSS による高精度測位（都市部-移動体）



都市部におけるディファレンシャルGPS測位誤差の主な原因

- 厳しいマルチパス環境
- 上空の遮蔽による可視衛星の減少

本研究の目的

- 都市部移動体において、衛星信号の遮蔽により、測位できない地点が多発
- マルチパスの影響により大きな測位誤差が多発

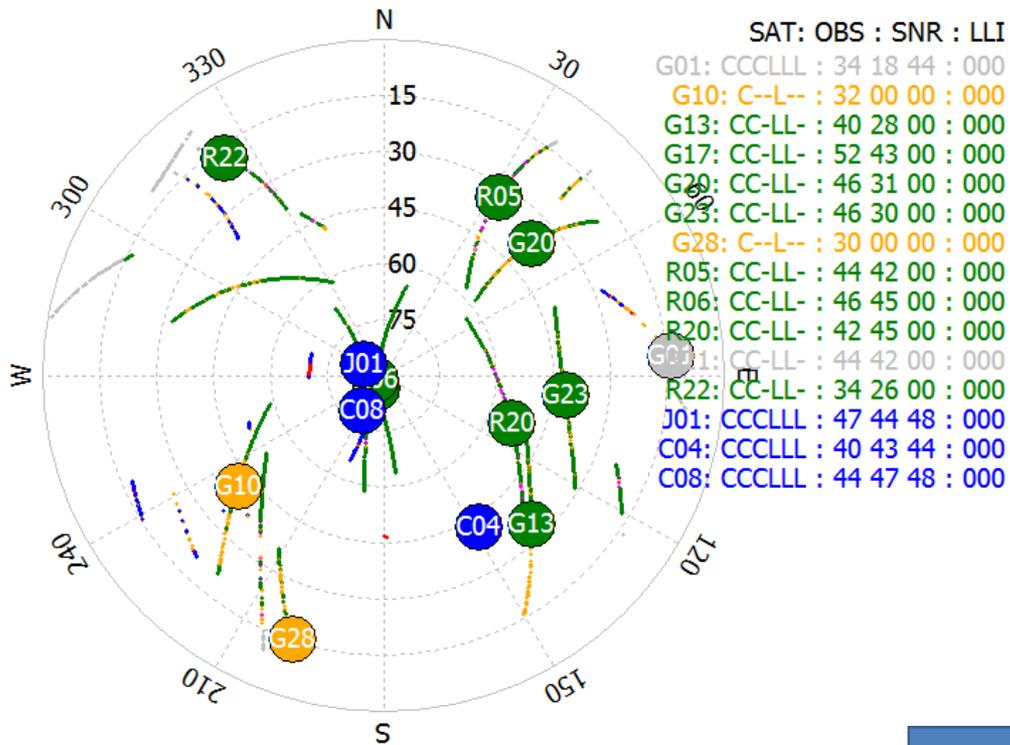
対象：擬似距離を使用した一周波マルチDGNSS

- 増大する可視衛星による観測値の品質を検査、取捨選択することによりマルチパス誤差を低減し、精度、信頼性にどの程度寄与するか調査を行う。
- また測位結果の信頼性向上のため、連続して高度データを取得可能である気圧高度計による測位解誤差検出を行う。

観測値の品質検定による衛星選択

②擬似距離残差による検定 (RAIM)

ある時間帯における衛星配置と擬似距離残差

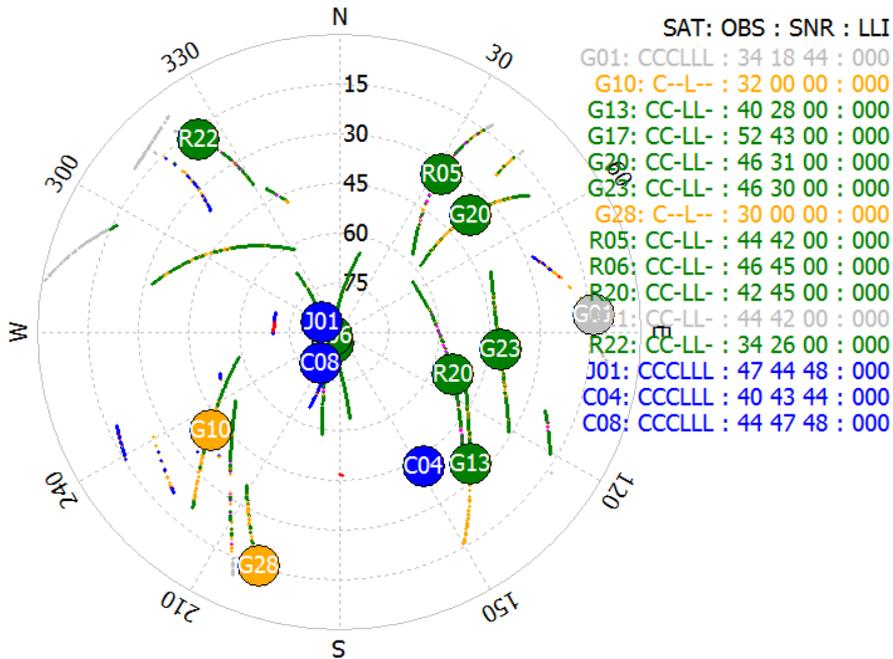


擬似距離残差 [m]	
GPSTIME = 197302.6	
G10	-82.0
G13	23.4
G17	16.2
G20	-57.2
G23	22.2
G28	-109.1
R05	-99.7
R06	10.0
R21	-28.7
R20	-47.9
R22	282.9
C04	31.5
C08	11.8
J01	0.2

排除

| 最大擬似距離残差 | > 閾値

検定後も100mを越える甚大な誤差が発生する理由



	信号強度	擬似距離 残差	排除後擬似 距離残差
G10	排除	X	
G13		-29.6	
G17		17.5	
G20		7.9	
G23		76.8 排除	
G28	排除	X	
R05		-61.1	
R06		13.1	
R21		-28.7	
R20	排除	X	
R22		63.96	
C04		-30.2	
C08		-13.1	
J01		-0.5	

```

• //residual////////////////////////////////////
• double tempres=0,sumres=0,compsum=0;
• int maxprn=0;

• if(residualflag>0){
• tempres=0;maxprn=0;
• for(i=0;i<SATn[rcvn];i++){
• if((tempres<fabs(Residual[rcvn][SVn[rcvn][i]]))&&(fabs(Residual[rcvn][SVn[rcvn][i]])>residualflag)){
• tempres=fabs(Residual[rcvn][SVn[rcvn][i]]);
• maxprn=SVn[rcvn][i];
• }
• //if(fabs(Residual[rcvn][SVn[rcvn][i]])>residualflag){
• //SATn[rcvn]=0;
• //}* /
• sumres += fabs(Residual[rcvn][SVn[rcvn][i]]);
• }
• //20141111
• double pr1[130]={0},pr2[130]={0},tempele[130]={0};
• double sumresnew=0;
• int maxprn=0,tempsatn=0;
• int tempprn[20]={0};

• if(sumres>SATn[rcvn]*residualflag&&SATn[rcvn]>minsat){//>eiseisuu * 3m
• tempsatn=SATn[rcvn];
• sumres=1000000000000000;
• for(i=0;i<SATn[rcvn];i++){
• tempprn[i]=SVn[rcvn][i];
• pr1[tempprn[i]]=Pr1[rcvn][tempprn[i]];

```