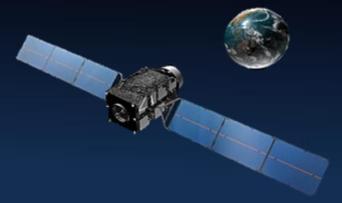


複数測位衛星システムの衛星選択手法に関する研究

土倉 弘子 東京海洋大学
情報通信工学研究室



目次



- 背景と目的
- 複数の衛星測位システムによる複合測位
 - 複合測位における課題
 - 単独測位
 - ディファレンシャル測位
 - RTK-GNSS
 - 評価実験結果
- 衛星選択手法
 - マルチパス環境における課題
 - 衛星選択手法
 - 評価実験結果
- まとめ

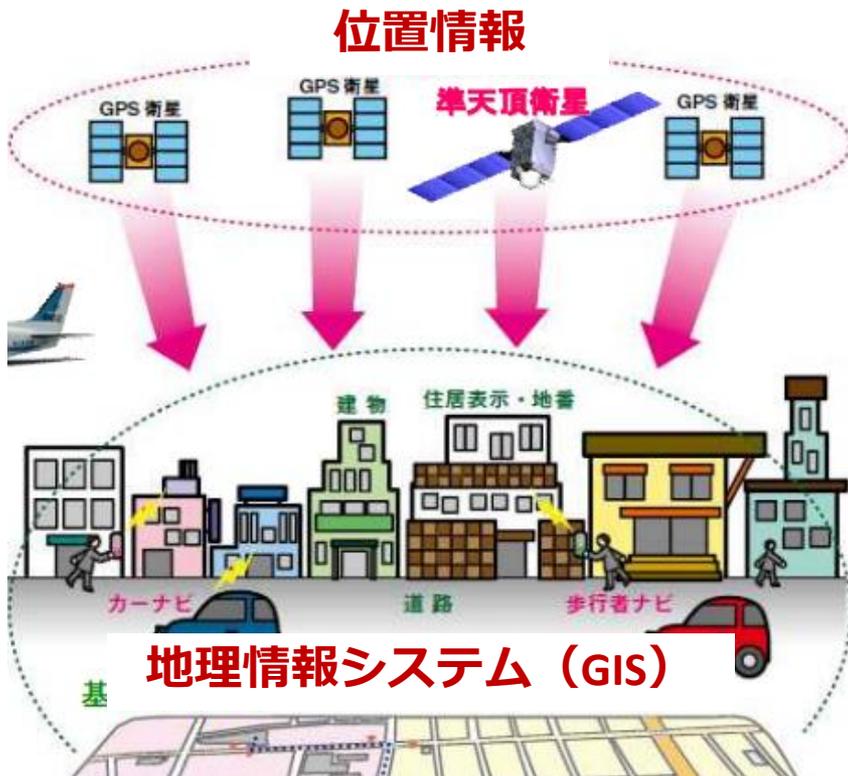


背景と目的



衛星測位技術の利用拡大

地理空間情報高度利用社会



出典：国土交通省 「G空間社会の実現イメージ」

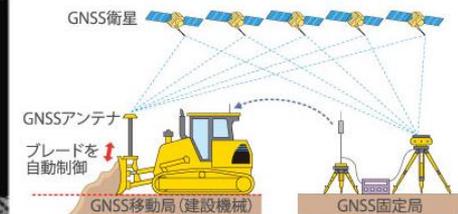
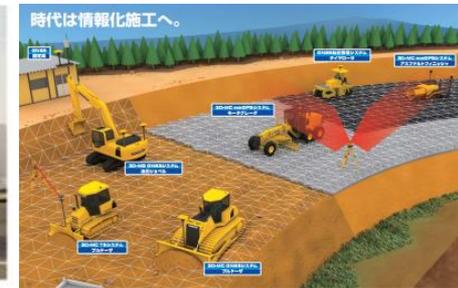
アプリケーション例

自動運転



出典：平成26年度
総務省 情報通信白書

情報化施工



出典：(株)コマツ
総合カタログ

衛星測位技術は社会インフラとして必要不可欠

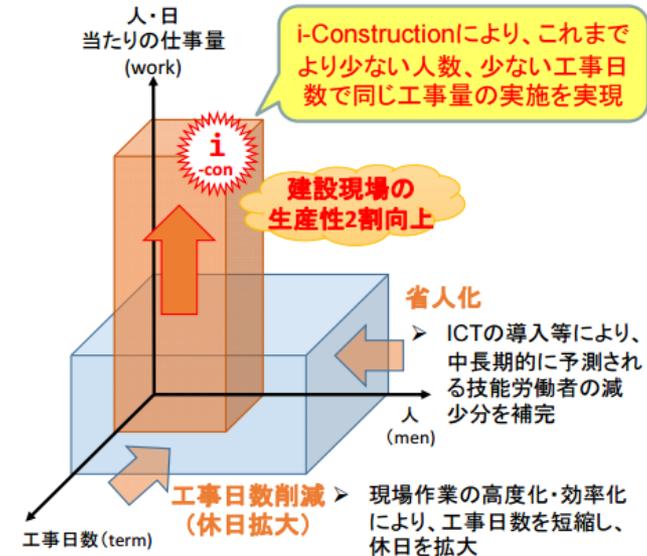
建設現場の生産性革命

i-Construction ~建設現場の生産性革命~

- 建設業は社会資本の整備の担い手であると同時に、社会の安全・安心の確保を担う、我が国の国土保全上必要不可欠な「地域の守り手」であることから、**建設業の賃金水準の向上や休日の拡大等の働き方改革**による**生産性向上が必要不可欠**。
- 国土交通省では、平成28年を「**生産性革命元年**」と位置付け、調査・測量から設計、施工、検査、維持管理・更新までの全ての建設生産プロセスでICT等を活用する「**i-Construction**」を推進。
- 本年9月12日に開催された第1回未来投資会議において、建設現場の生産性を、**2025年度までに2割向上**を目指すこととした。



【生産性向上イメージ】



背景

高精度衛星測位の利用拡大

情報化施工



<例：道路土工（盛土工）>

測定基準：測定密度は1点/m²以上、評価は平均値と全測点

規格値：設計面との標高較差（設計面との離れ）

平場 平均値：±5cm 全測点：±15cm

法面 平均値：±8cm 全測点：±19cm

※法面には小段含む

高精度測位（RTK測位）

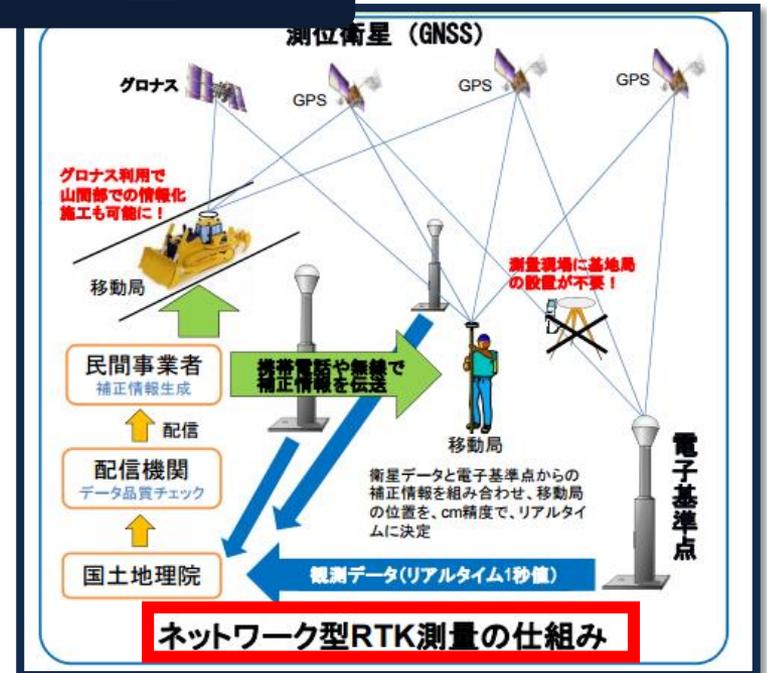
搬送波位相

基準局

補正情報

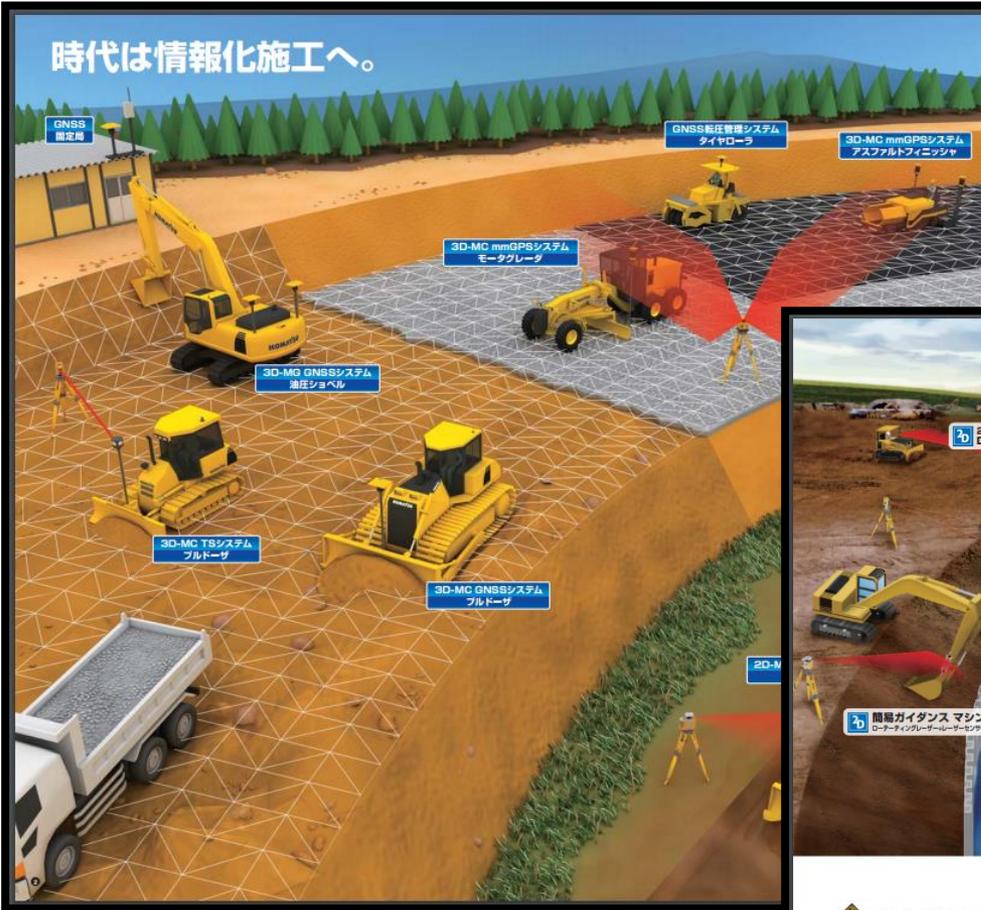


測量



現状での高精度衛星測位の利用状況

時代は情報化施工へ。



高精度測位を利用した情報化施工アプリケーション例

圃場工事
大規模化が進む農機整備工事の均平作業は欠かせない作業です。農道工事、新築工事における高さ管理および肥料工事の高さ管理や法面成形など圃場工事の効率化に幅広く貢献します。

トンネル工事
特殊な環境のトンネル工事でも情報化施工は威力を発揮します。TS をセンサーとするマシンコントロールを活用することで狭いトンネル内においても安定した精度を提供します。

河川工事
3D 設計データを直接機械に搭載するマシンガイダンスシステムは丁張り不要の法面成形が可能です。水中掘削や浚渫作業などバケットが目視できない作業でもバケット先位置の確認が容易に行えます。

■ トプコンの NETIS 登録技術 NETIS
■ 他社の NETIS 登録技術 NETIS

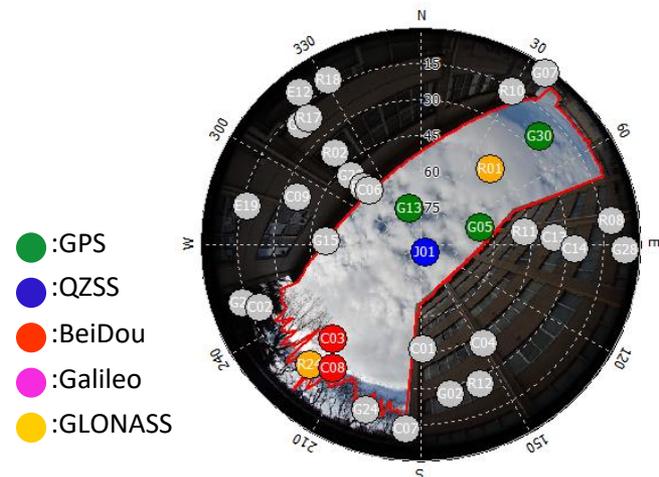
出典：(株)コマツ
総合カタログ

出典：(株)トプコン
土木総合カタログ

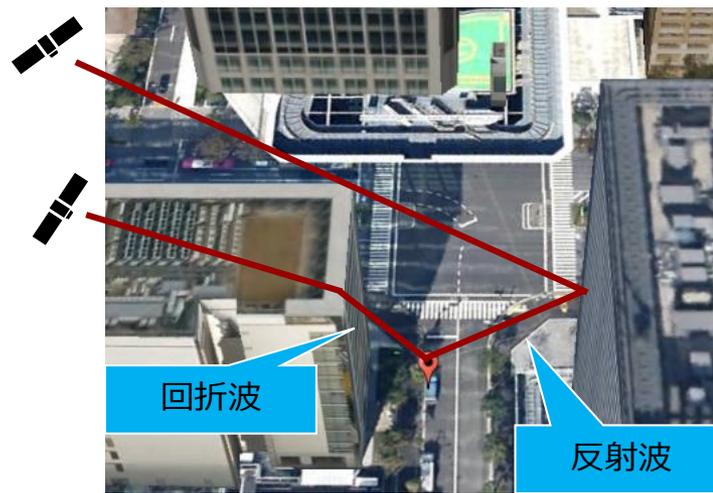
衛星測位の技術課題



課題1：可視衛星数の減少

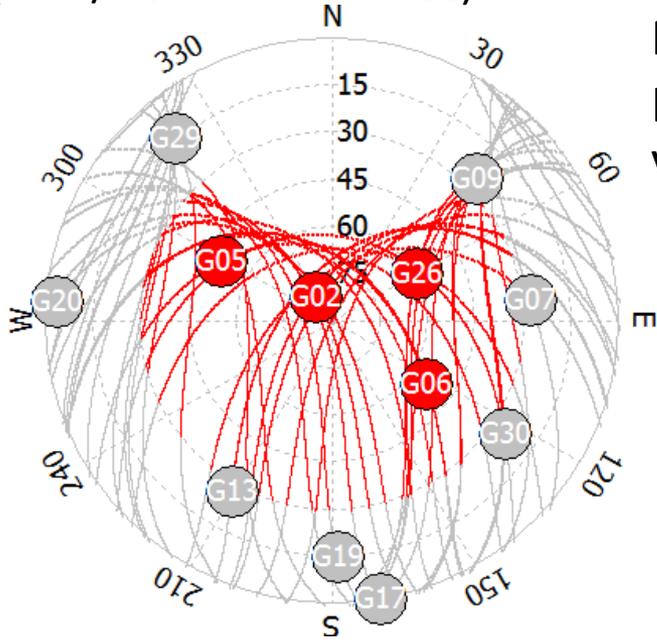


課題2：マルチパス



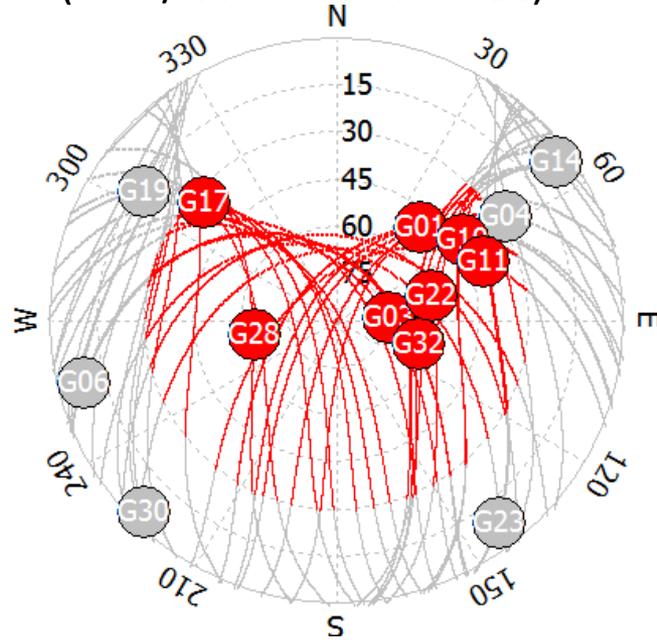
マルチパス環境における課題

(GPS / 仰角マスク30度)



NSAT = 4
HDOP = 3.0
VDOP = 6.4

(GPS / 仰角マスク30度)



NSAT = 8
HDOP = 3.0
VDOP = 5.2

H:水平
V:垂直

$$\text{測位精度} = \text{測距精度} \times \text{DOP}$$

課題2：マルチパス

観測値の品質

課題1：可視衛星数の減少

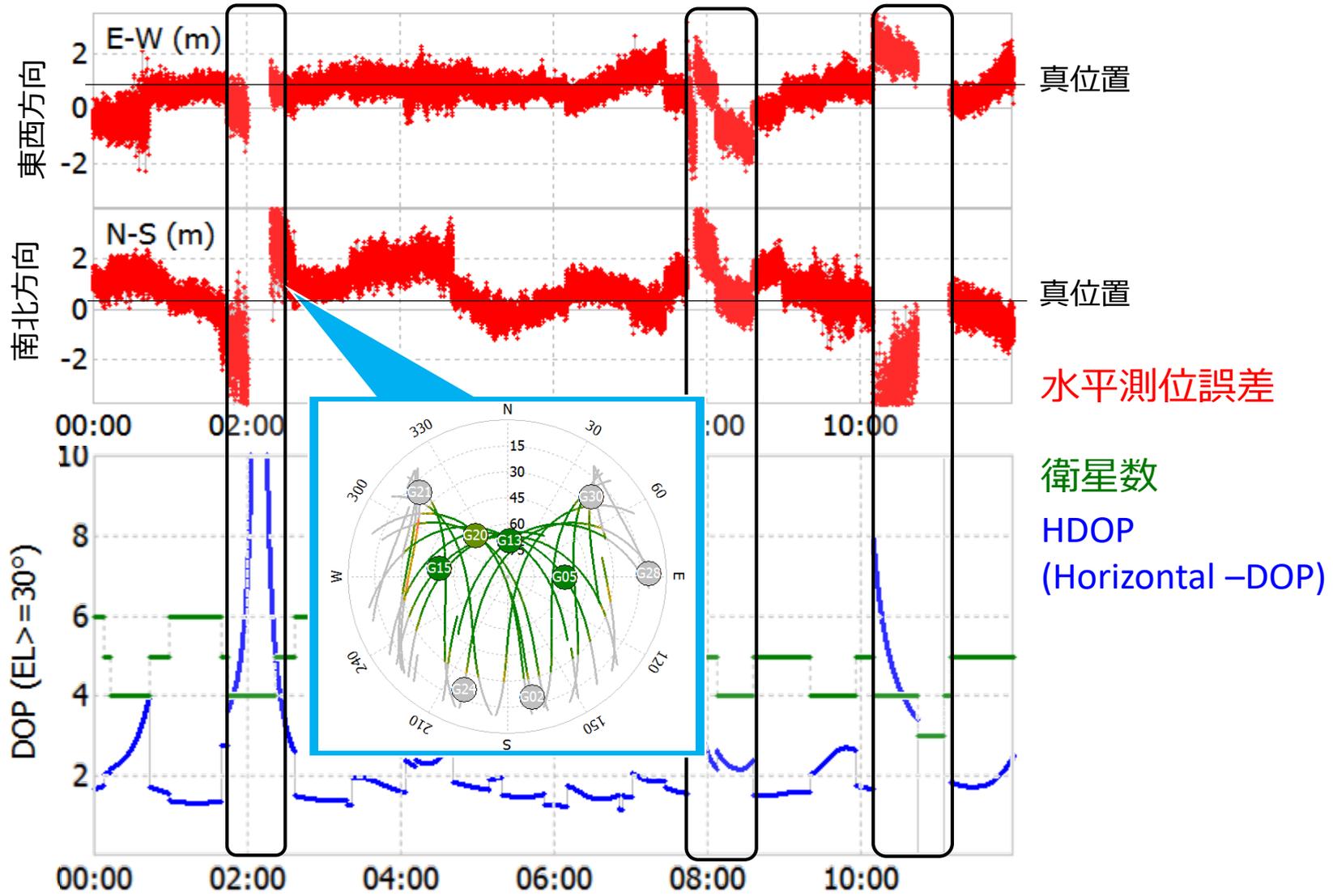
衛星の配置・数による影響

DOP:(衛星の幾何配置による精度低下率)

DOPによる測位精度劣化

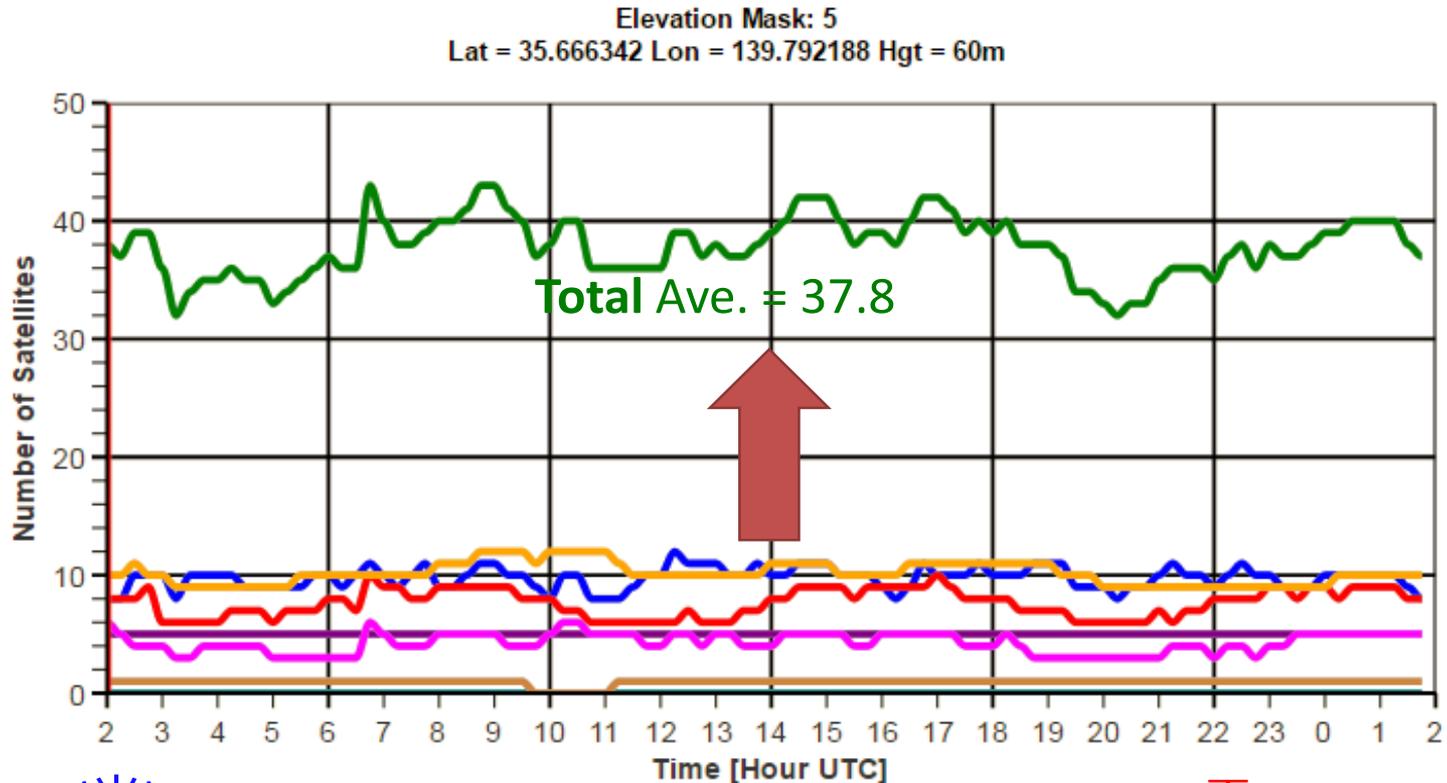
(マルチパスフリー環境・静止点)

GPSによる単独測位時系列結果 (仰角マスク30度)



測位衛星の国際動向

実際の時系列可視衛星数 2017年2月東京



GPS(米) Ave. = 9.8 Galileo(EU) Ave. = 4.3 GLONASS(露) Ave. = 7.6

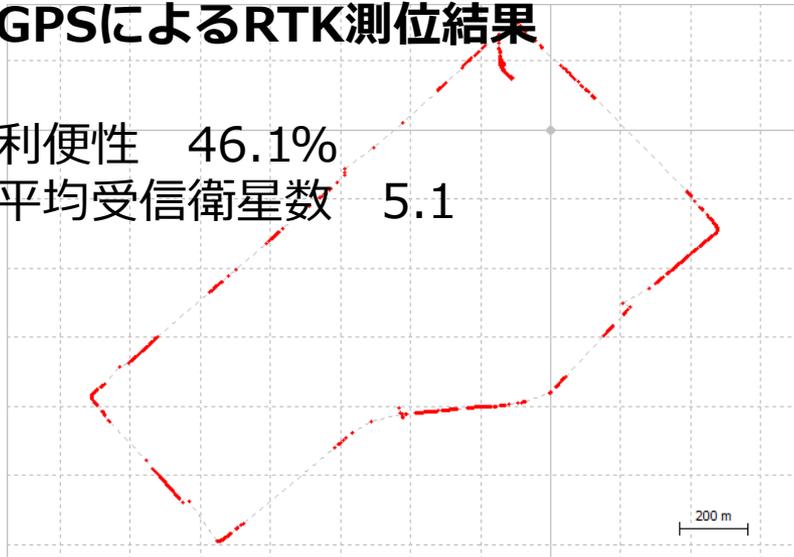
QZSS(日) Ave. = 0.9 BeiDou(中) Ave. = 10.1

解決策：複合測位の検討

複合測位の効果

GPSによるRTK測位結果

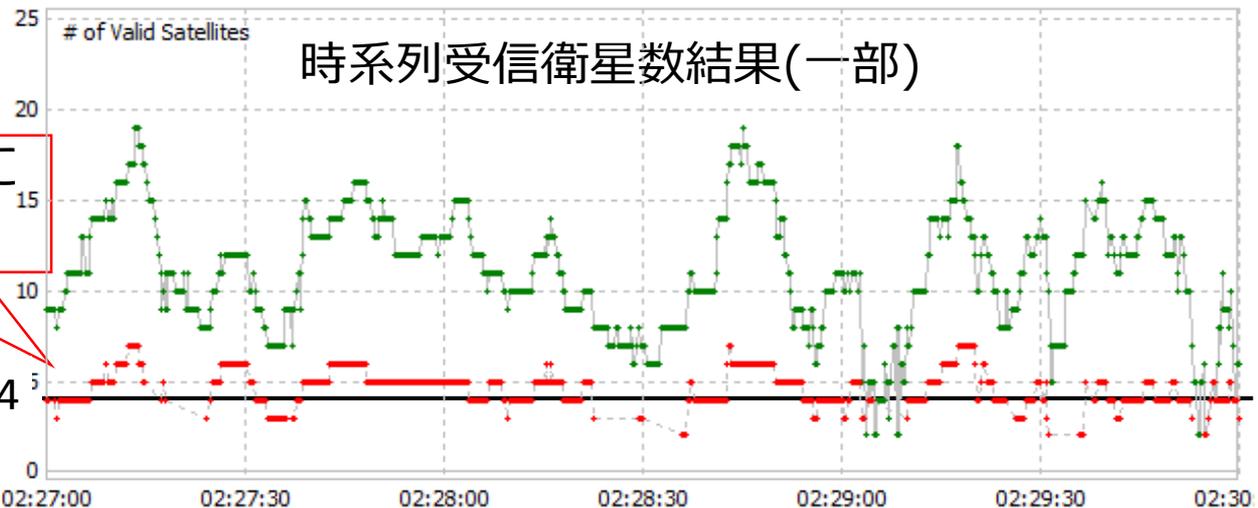
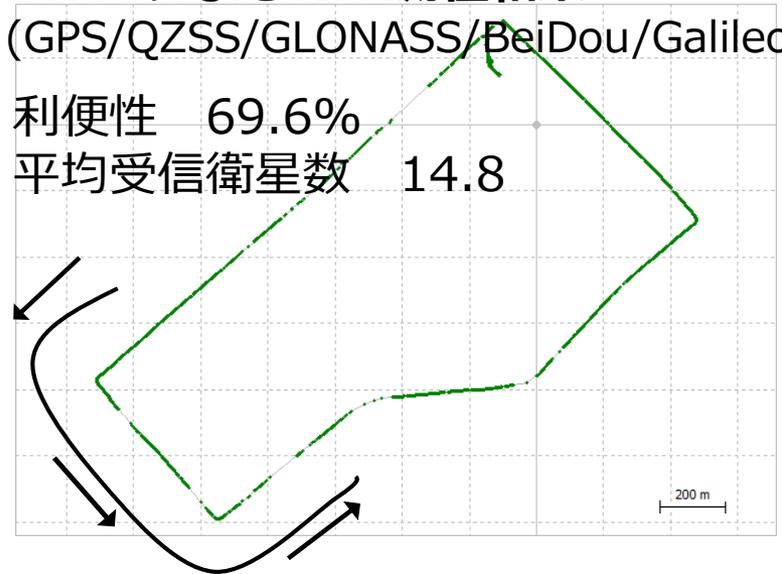
利便性 46.1%
平均受信衛星数 5.1



GNSSによるRTK測位結果

(GPS/QZSS/GLONASS/BeiDou/Galileo)

利便性 69.6%
平均受信衛星数 14.8



衛星数の低下により測位不能

複合測位における課題

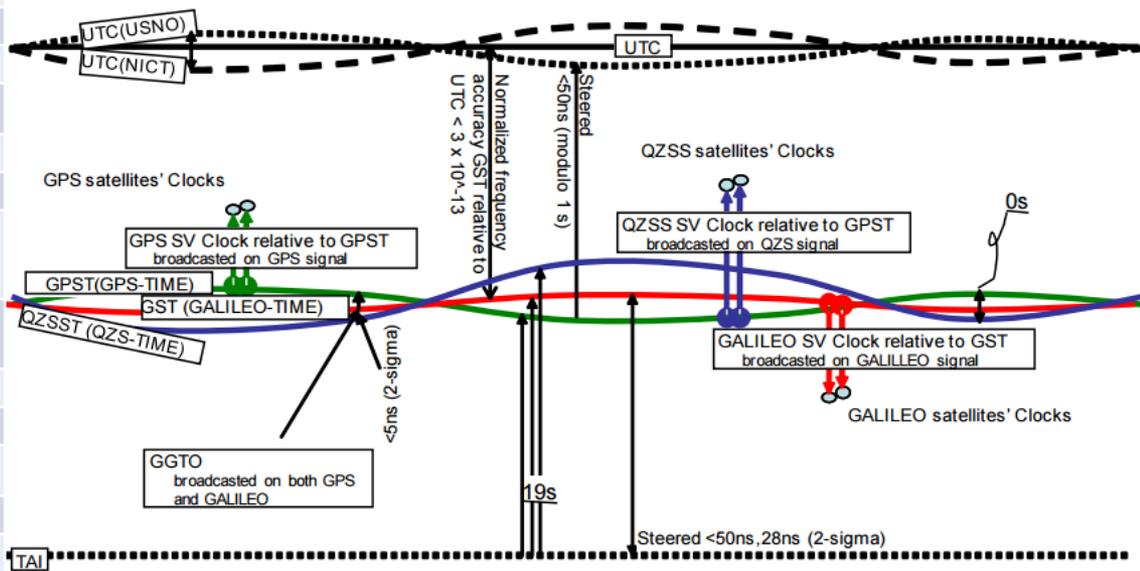
- 各GNSSシステムは独自の設計、管制局により運用
× 観測値、衛星軌道などに差異が発生

→バイアス解決策の検討

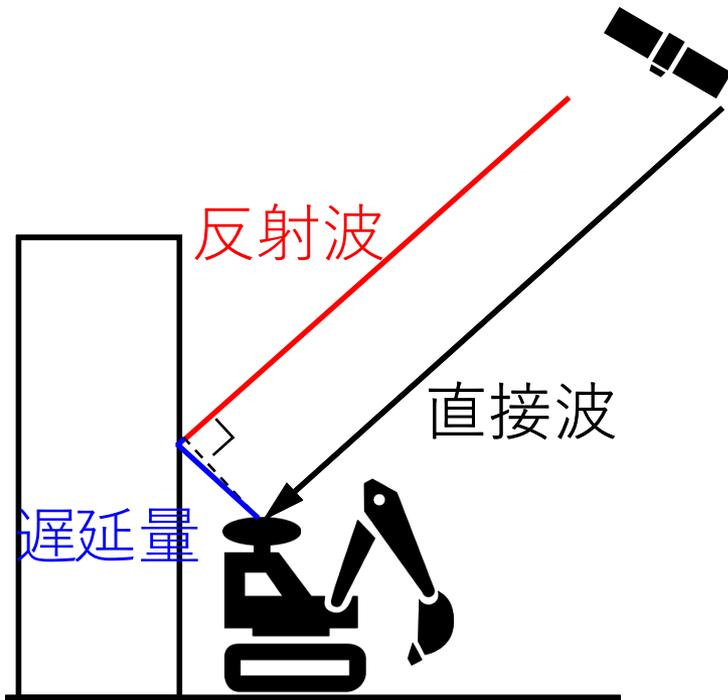
システムを中心周波数

衛星系	周波数帯	中心周波数 (MHz)
GPS /QZSS	L1	1575.420
	L2	1227.600
	L5	1176.450
	L6(QZSS)	1278.75
BeiDou	B1	1561.098
	B2	1207.140
	B3	1268.520
GLONASS	L1 (FDMA)	1602 + n×0.5625
	L2 (FDMA)	1246 + n×0.4375
	L3 (CDMA)	1202.025
	n=-7,-6,-5,...,6	
Galileo	E1	1575.420
	E6	1278.750
	E5	1191.795
	E5a	1176.450
	E5b	1207.140

GNSSシステム時刻の関係図

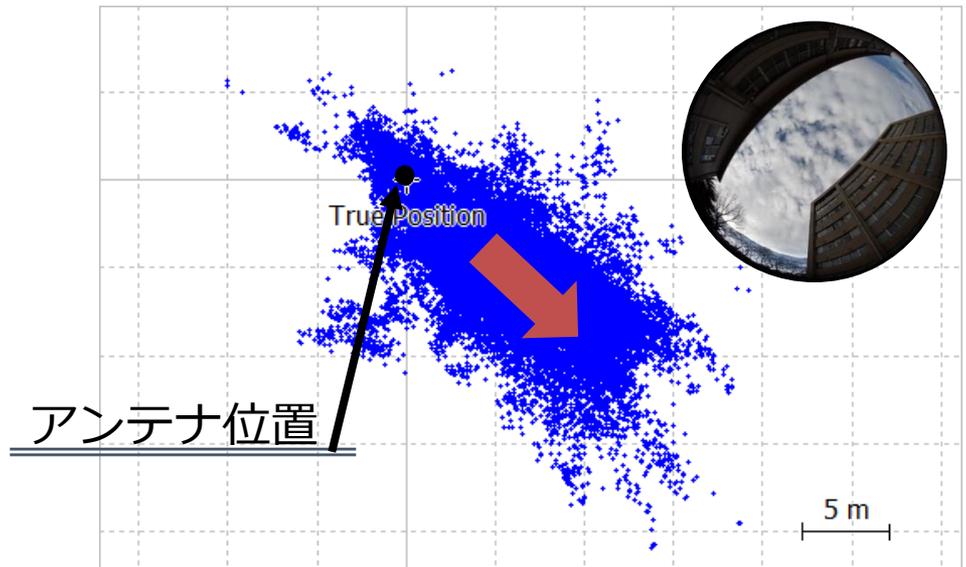


マルチパス環境における課題



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結果



マルチパスによる擬似距離の延長

$$\text{測位精度} = \text{測距精度} \times \text{DOP}$$

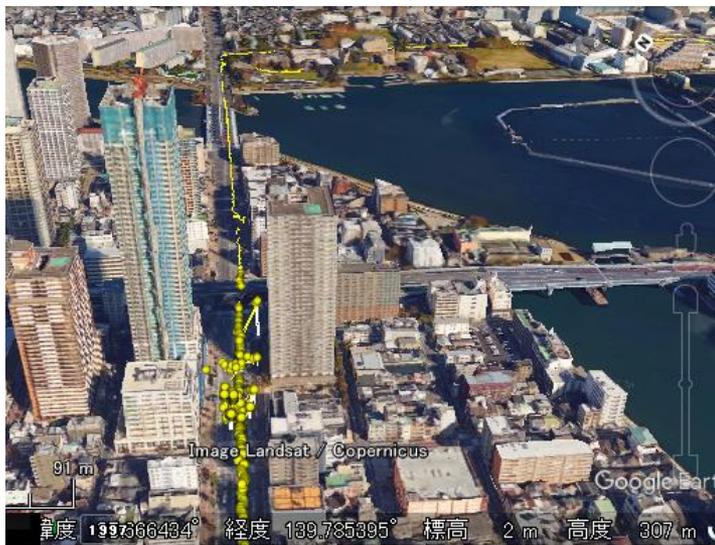
観測値の品質劣化

DOP:(衛星の幾何配置による精度低下率)

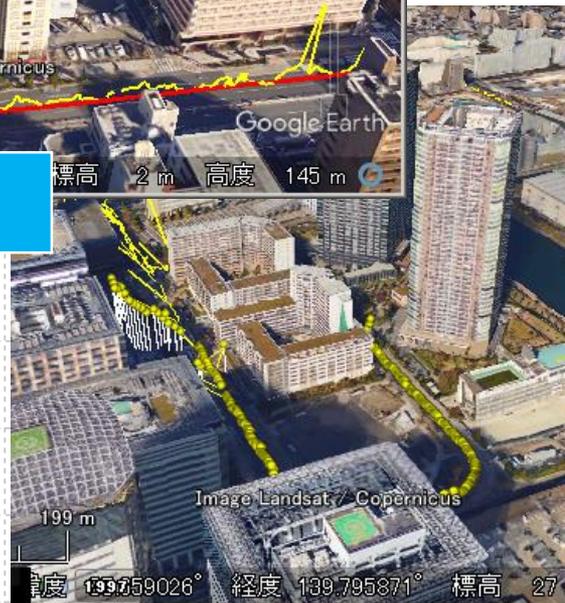
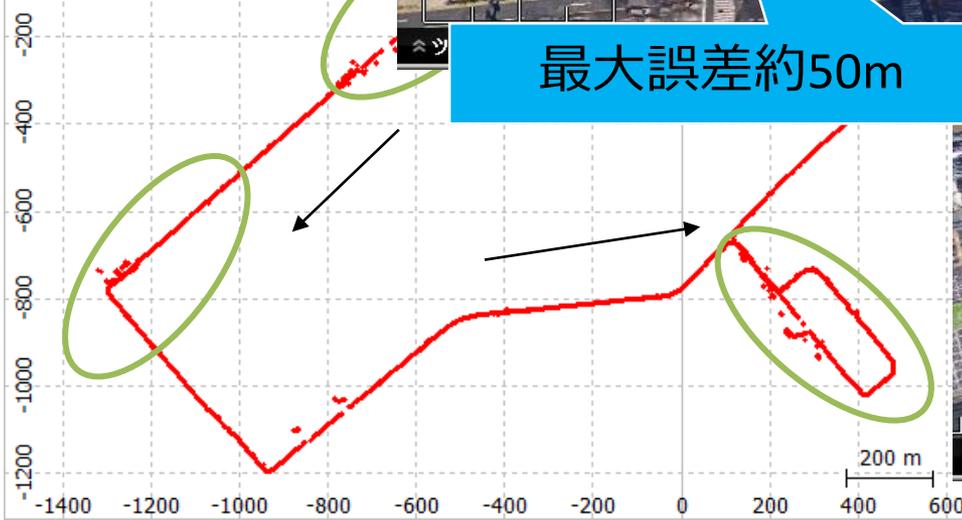
マルチパス環境における測位誤差（移動体）

自動車走行試験

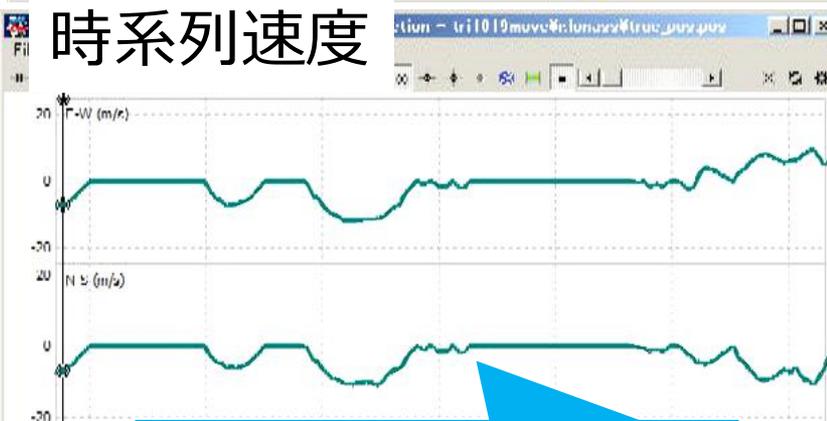
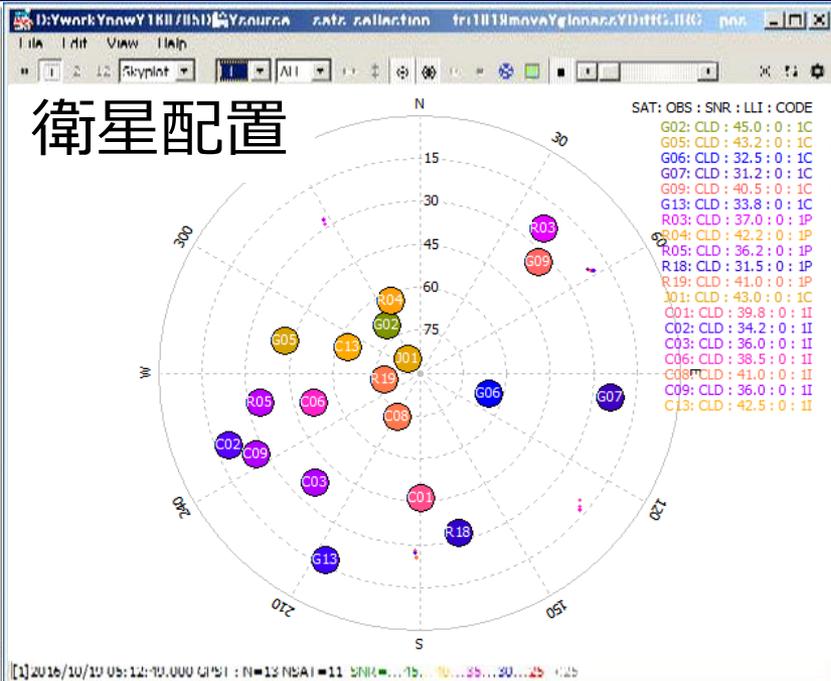
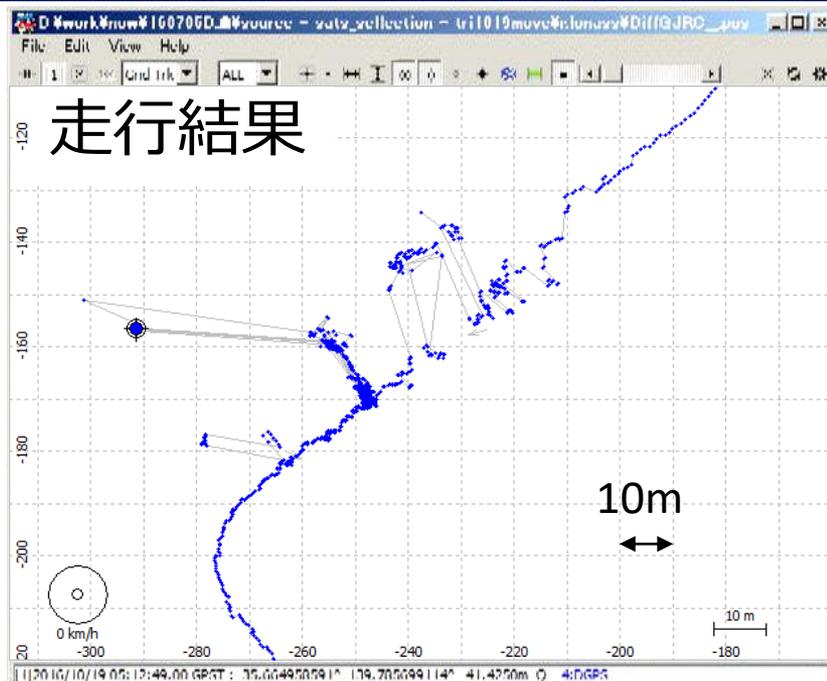
ディファレンシャルGNSS結果（精度1メートル）



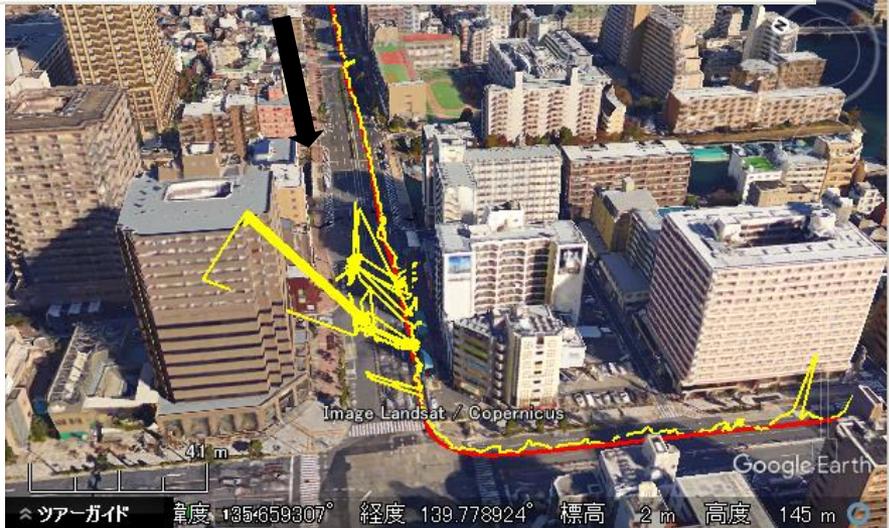
マルチ



マルチパス環境における測位誤差（移動体）



低速—停止時 誤差大



マルチパス環境における測量受信機による性能 (静止体)



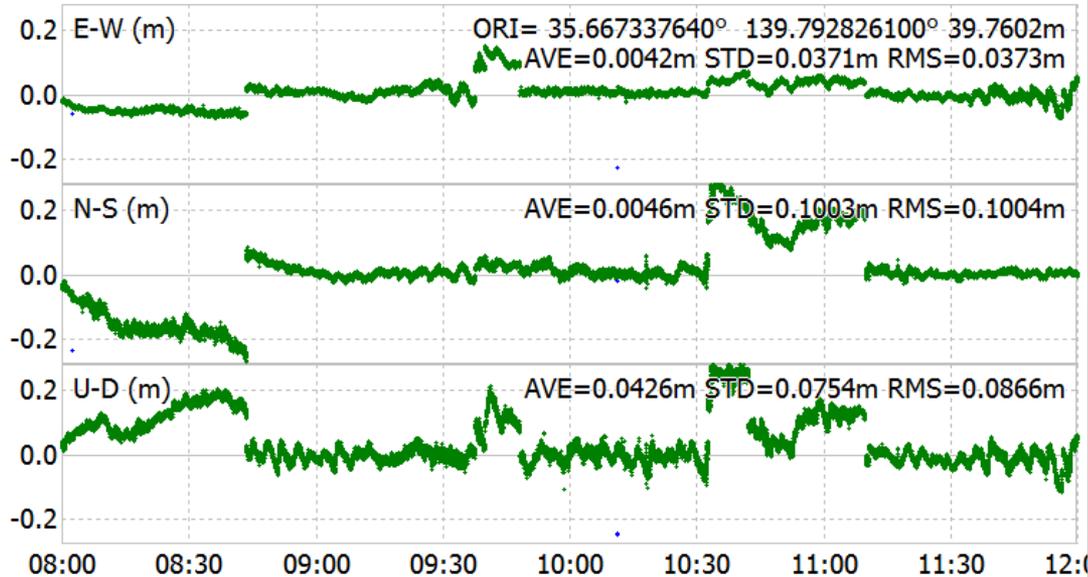
測量用アンテナ

測量用受信機

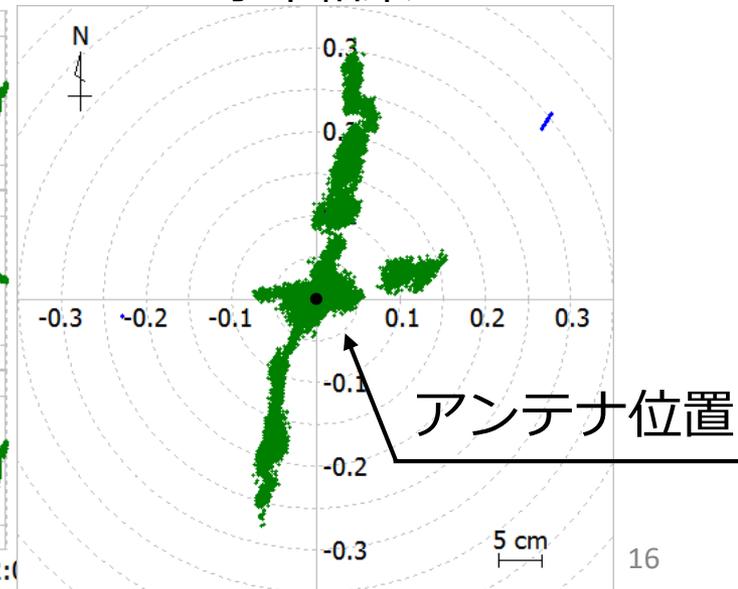
Total4時間-2Hz	28800	100.0 %
水平精度10cm以内	19165	66.5 %

測量用受信機でも
マルチパスへの対応には課題あり

時系列三方向結果



水平結果



既存のマルチパス低減手法

✓アンテナ設計

→限界

✓受信機設計

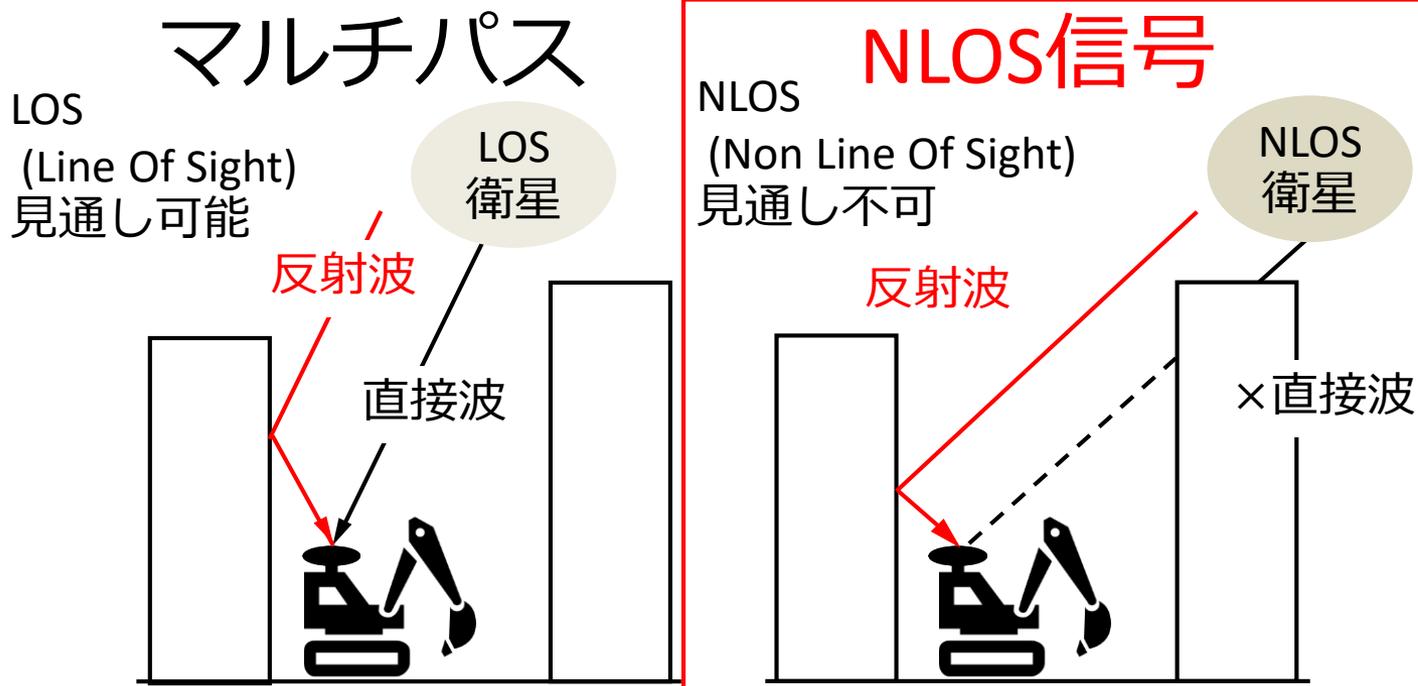
→限界（静止点結果より）

△観測値による対策

→本論文の目的

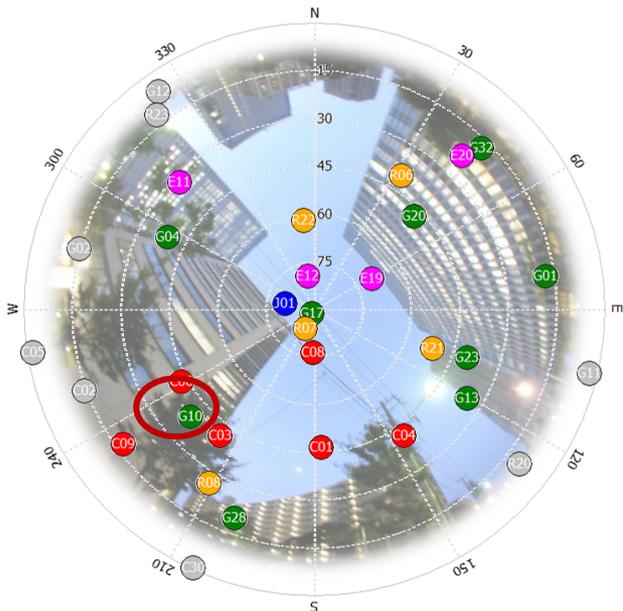
△外部センサによる対策

→追加工程を要する



観測値による衛星選択手法

△観測値による対策 → 衛星選択



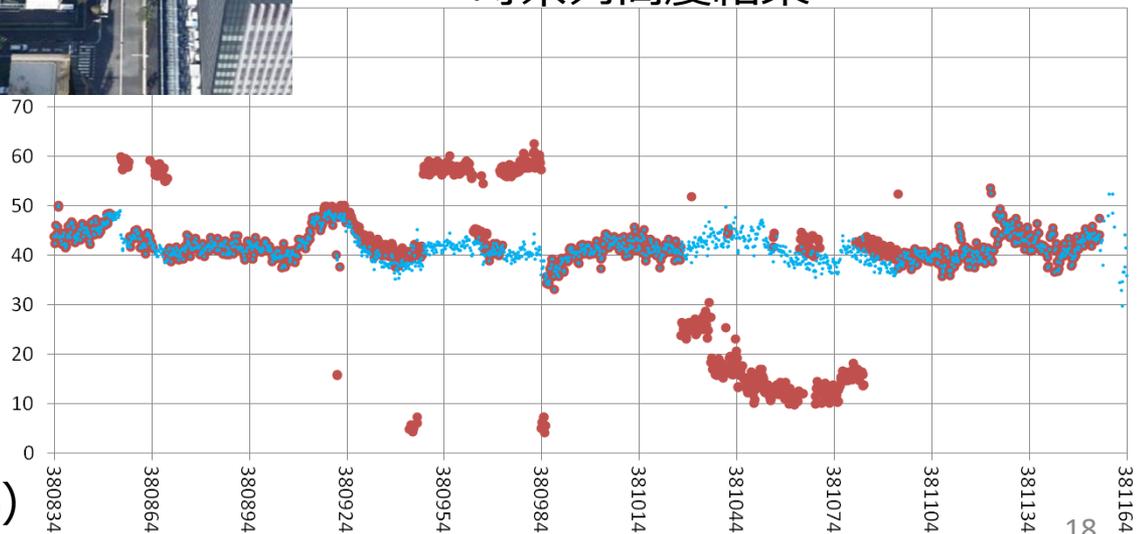
NLOS信号



静止点ディファレンシャル結果

- 5.5分間静止の結果
- 複合測位
- 高度のみ表示

時系列高度結果



- 衛星選択前
- 衛星選択後 (G10)

目的

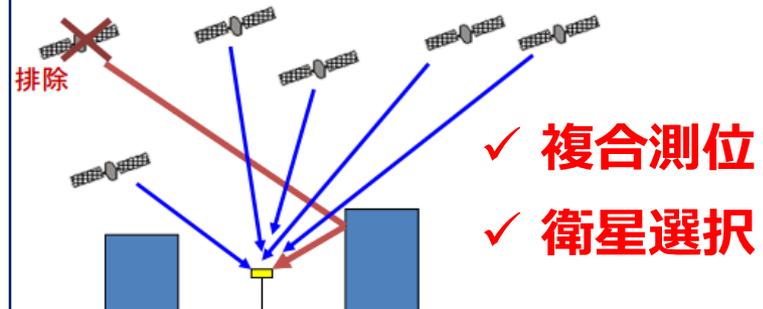
マルチパス環境における衛星測位の課題改善



目標

- ✓ **マルチパス環境**
- ✓ **静止体、リアルタイム測位**
例：測量、都市での土木など
- ✓ **cmレベル高精度測位**
搬送波位相を用いた相対測位
- ✓ **測量用受信機**
複数周波数、GNSS対応

改善手法



目的

本研究の位置づけ-1

複合測位手法の課題解決

- 単独測位
- ディファレンシャル測位
- RTK-GNSS測位 (混合、統合)

Tokura Hiroko, et al. "Using Multiple GNSS Constellations with Strict Quality Constraints for More Accurate Positioning in Urban Environments." *Positioning* 5.04 (17 October 2014): 85.

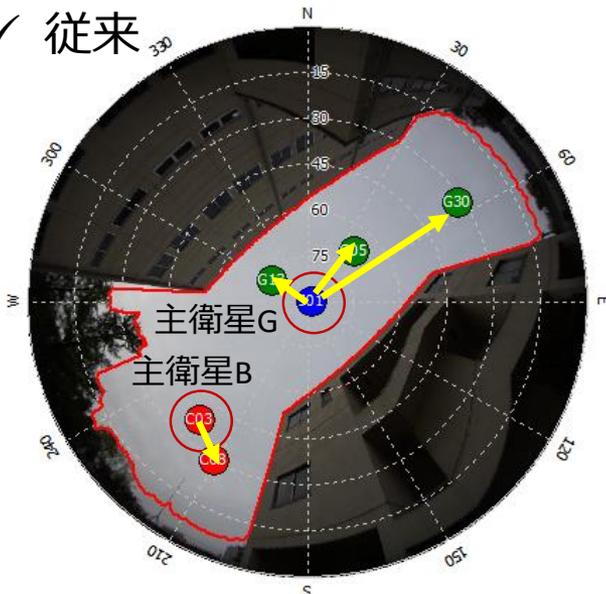
✓査読論文-1

✓査読論文-2

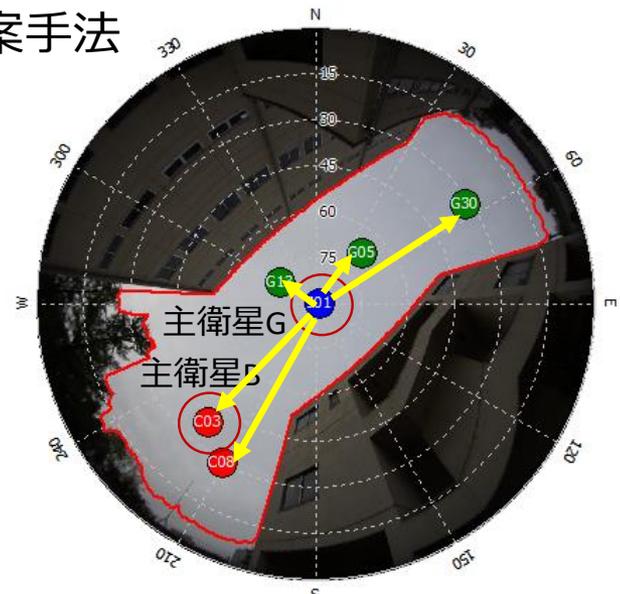
✓査読論文-2

土倉 弘子, 久保 信明. "RTK-GNSSにおけるGPSとBeiDouのシステム間バイアス推定に関する研究." 電子情報通信学会誌

✓ 従来



✓ 提案手法



- :GPS
- :QZSS
- :BeiDou

本研究の位置づけ-2

• マルチパスへの課題解決

• NLOS信号対策

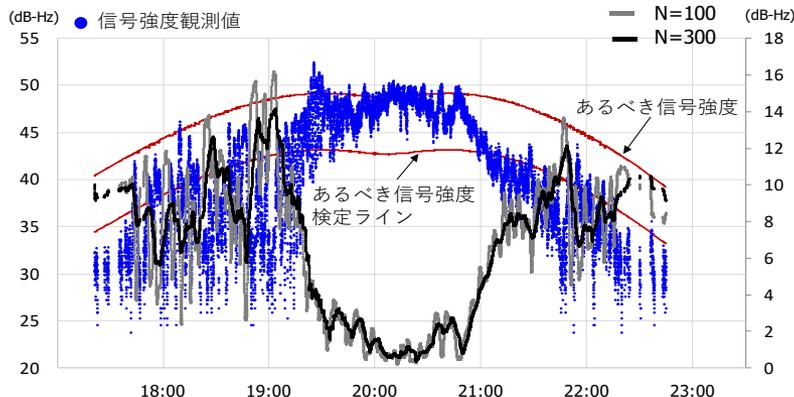
- 外部センサによる手法(既存手法)
- 擬似距離残差検定手法
- 信号強度検定(既存手法)
- 信号強度検定 (静止点特化)

✓ 査読論文-1

✓ 審査中論文-3

✓ 査読中論文-3

Tokura Hiroko, Nobuaki Kubo. "Efficient Satellite Selection Method for Instantaneous RTK-GNSS under Challenging Environments." *TRANSACTIONS OF THE JAPAN SOCIETY FOR AERONAUTICAL AND SPACE SCIENCES, AEROSPACE TECHNOLOGY*



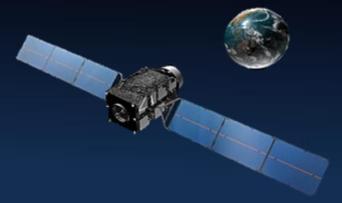
✓ 従来手法

- 信号強度観測値を利用

✓ 提案手法

- 信号強度観測値の標準偏差を利用することで連続した強いNLOSの排除に対応

目次



- 背景と目的
- 複数の衛星測位システムによる複合測位
 - 複合測位における課題
 - 単独測位
 - ディファレンシャル測位
 - RTK-GNSS
 - 評価実験結果
- 衛星選択手法
 - マルチパス環境における課題
 - 衛星選択手法
 - 評価実験結果
- まとめ

課題1：可視衛星数の減少

課題2：マルチパス



複数の衛星測位システムによる複合測位



複合測位における課題

測位手法

	主な利用観測値	誤差補正	通常精度	複合測位の主な課題
単独測位	擬似距離 分解能：数m	モデル 補正	精度 数m 確度 難あり	システム時刻バイアス
ディファレンシャル 測位	擬似距離 分解能：数m	相対測位	精度 約1m 確度 良好	受信機間バイアス (周波数依存)
RTK測位	搬送波位相 分解能：数cm	相対測位	精度 約1cm 確度 良好	受信機間バイアス (周波数依存)

- 衛星の多様化から間もないため複合測位における手法についてまとめられた文献は多くない。（各手法、システムのバイアス補正については多くの過去研究が存在）

× 各方式毎に**利用観測値、誤差補正手法**が異なる

測位手法毎に対策手法（バイアス補正方法）を提示

単独測位 (擬似距離測位)

◆ GPS擬似距離観測値

モデル補正

$$P^{rov} = \underline{\rho^{rov}} + c \cdot (\underline{dt^{rov}} - \boxed{dT}) + \boxed{atmos} + noise^{rov}$$

擬似距離 = 幾何距離 + 光速 × (受信機時計誤差 - 衛星時計誤差) + そのほかの誤差

◆ GPS時刻を基準とした擬似距離観測値

モデル補正

$$P_{GLONASS}^{rov} = \underline{\rho^{rov}} + c \cdot (\underline{dt^{rov}} - \boxed{dT} + \underline{\Delta t_{GPS-GLONASS}}) + \boxed{atmos} + noise^{rov}$$

$$P_{BeiDou}^{rov} = \underline{\rho^{rov}} + c \cdot (\underline{dt^{rov}} - \boxed{dT} + \underline{\Delta t_{GPS-BeiDou}}) + \boxed{atmos} + noise^{rov}$$

$$P_{Galileo}^{rov} = \underline{\rho^{rov}} + c \cdot (\underline{dt^{rov}} - \boxed{dT} + \underline{\Delta t_{GPS-Galileo}}) + \boxed{atmos} + noise^{rov}$$

システム時刻バイアス

システム間時刻オフセットに起因するバイアス性誤差推定が必要

未知数 (下限衛星数) = 4 + システム時刻オフセット
(複合システム数-1)

P_j^s : 擬似距離観測値[m]

c : 光速[m/s]

ρ_r^s : 衛星と受信機間の幾何距離[m]

$atmos$: 大気遅延[m]

dt_r, dt^s : 受信機, 衛星時計誤差[s]

$noise$: 観測誤差[m]

ディファレンシャル測位

(擬似距離相対測位)

◆ GPS擬似距離

基準局: $p^{ref} = \rho^{ref} + c \cdot (dt^{ref} - dT) + \text{atmos} + noise^{ref}$

移動局: $p^{rov} = \rho^{rov} + c \cdot (dt^{rov} - dT) + \text{atmos} + noise^{rov}$

モデル補正

補正值

◆ GPS時刻を基準とした擬似距離例 (system)

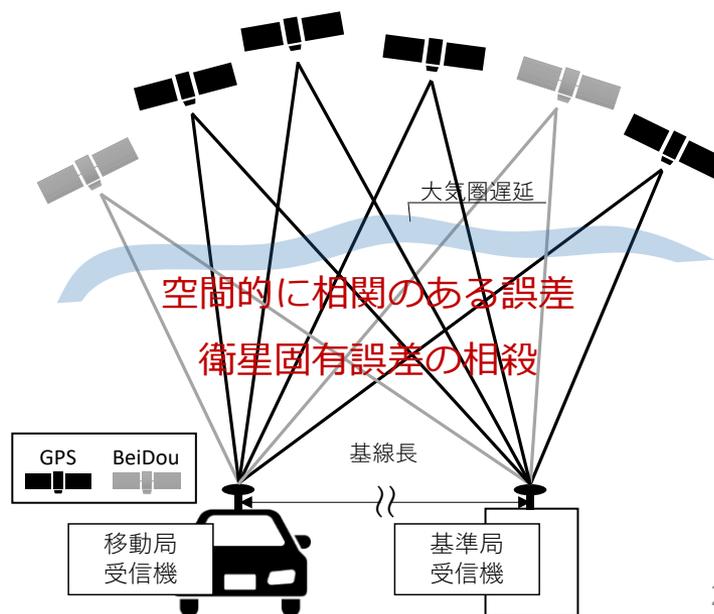
基準局: $p_{ref,j}^{sys,s} = \rho_{ref}^s + c \left(dt^{ref} - dT + hw_{ref,j}^{sys} - HW_j^s + \Delta tGPS_{-sys} \right) + atomos + noise_{ref}$

移動局: $p_{rov,j}^{sys,s} = \rho_{rov}^s + c \left(dt^{rov} - dT + hw_{rov,j}^{sys} - HW_j^s + \Delta tGPS_{-sys} \right) + atomos + noise_{rov}$

モデル補正

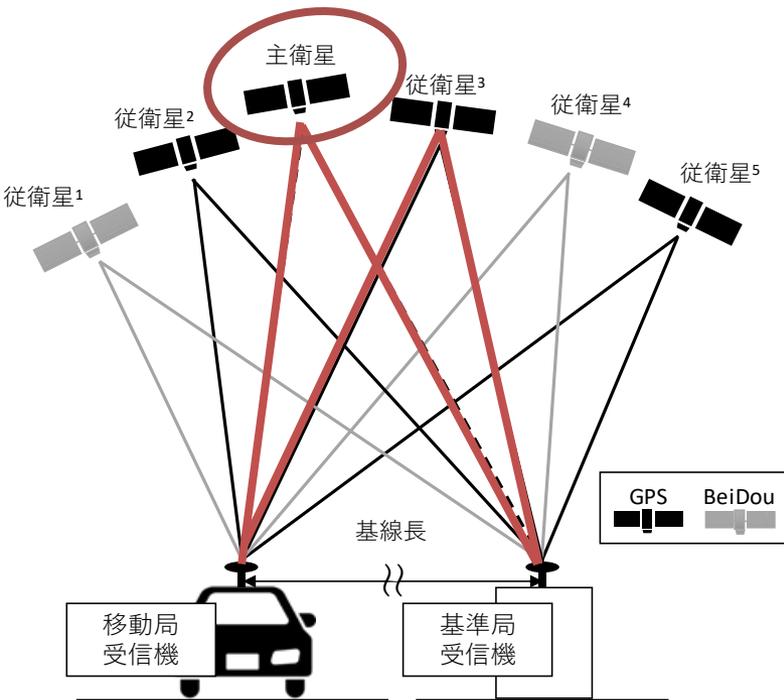
補正值

- 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含まれる
- 受信機毎にハードウェア遅延によるバイアスが残留
- バイアス補正により移動局では最低可視衛星数は4機で測位可能



RTK測位 (搬送波位相相対測位)

誤差補正：観測値の2重差により相殺
(2衛星 + 2受信機による4観測値の差分)



◆ 搬送波位相観測値の2重差

$$\phi_{rb,j}^{s1s2} = (\phi_{r,j}^{s1} - \phi_{b,j}^{s1}) - (\phi_{r,j}^{s2} - \phi_{r,j}^{s2})$$

S1衛星依存 受信機依存 S2衛星依存

整数値アンビギュイティ
(搬送波位相の二重差波数)

ϕ_j^s : 搬送波位相観測値[cycle]

λ_j^s : 搬送波の波長[m], f_j^s : 衛星の送信周波数[Hz]

dt_r, dt^s : 受信, 衛星時計誤差[s]

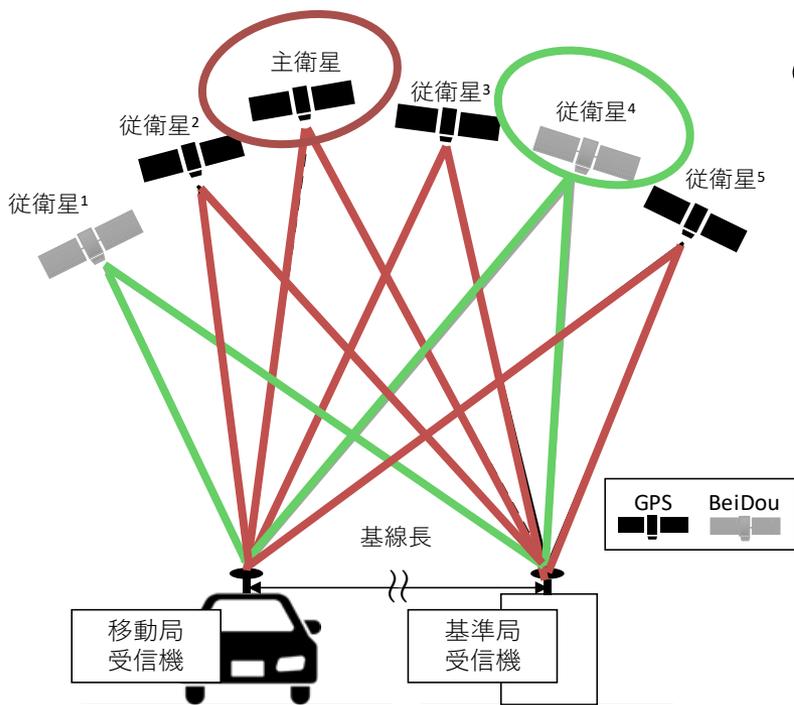
$\epsilon_{r,j}^s$: 観測誤差[m]

ρ_r^s : 衛星と受信機間の幾何距離[m]

$N_{r,j}^s$: 整数値アンビギュイティ[cycle]

複合RTK測位 (従来手法：混合測位)

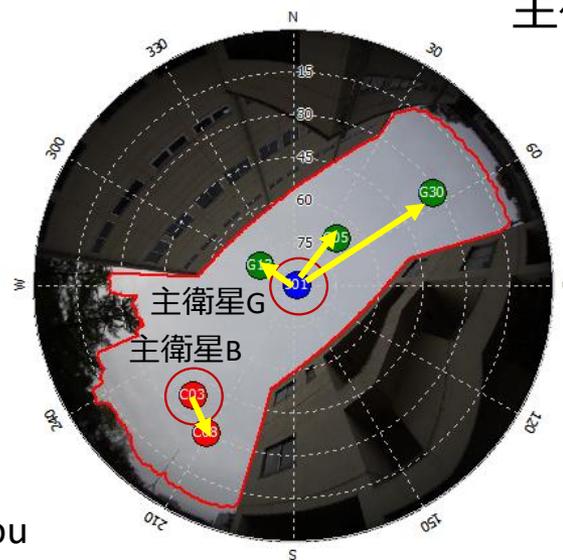
主衛星2機



$$\phi_{rb,j}^{G1G2} = (\phi_{r,j}^{G1} - \phi_{b,j}^{G1}) - (\phi_{r,j}^{G2} - \phi_{r,j}^{G2})$$

$$\phi_{rb,j}^{B1B2} = (\phi_{r,j}^{B1} - \phi_{b,j}^{B1}) - (\phi_{r,j}^{B2} - \phi_{r,j}^{B2})$$

主衛星2機



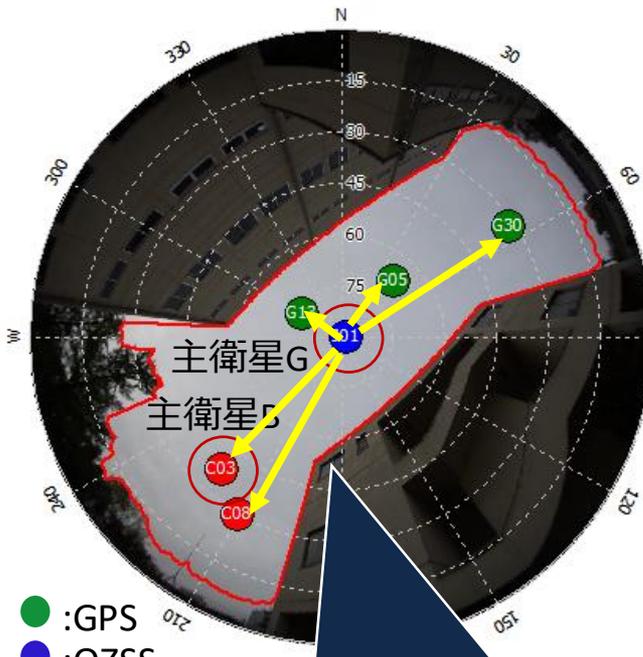
課題：衛星数有効活用

衛星システム毎に主衛星を設定、二重差の算出

統合RTK測位（提案手法：統合測位）

- ✓ システム間バイアスの補正手法を示した
- ✓ 異なるシステム間での二重差算出が可能に

統合RTK測位



- :GPS
- :QZSS
- :BeiDou

GPSを基準にBeiDouの二重差分

◆ 同システム二重位相差

$$\phi_{rb,j}^{s1s2} = (\lambda_j^s)^{-1} (\rho_{rb}^{s1s2} + \epsilon_{rb,j}^{s1s2}) + N_{rb,j}^{s1s2}$$

◆ 異システム二重位相差

$$\begin{aligned} \phi_{rb,jk}^{qs} &= (\lambda_j^s)^{-1} (\rho_{rb}^s + \epsilon_{rb,j}^s) - (\lambda_k^q)^{-1} (\rho_{rb}^q + \epsilon_{rb,k}^q) \\ &\quad + (f_j^s - f_k^q)(dt_{rb}) + \delta_{rb,jk}^{BG} + N_{rb,jk}^{qs} \end{aligned}$$

システム間バイアス

ゼロ基線解析による二重差残差の確認

- ゼロ基線解析
→ 基線ベクトルはゼロ

- * 搬送波位相二重差残差の小数点部分
→ 整数部分は整数値アンビギュイティへ含む
- * 受信機時計誤差は最小二乗法より算出

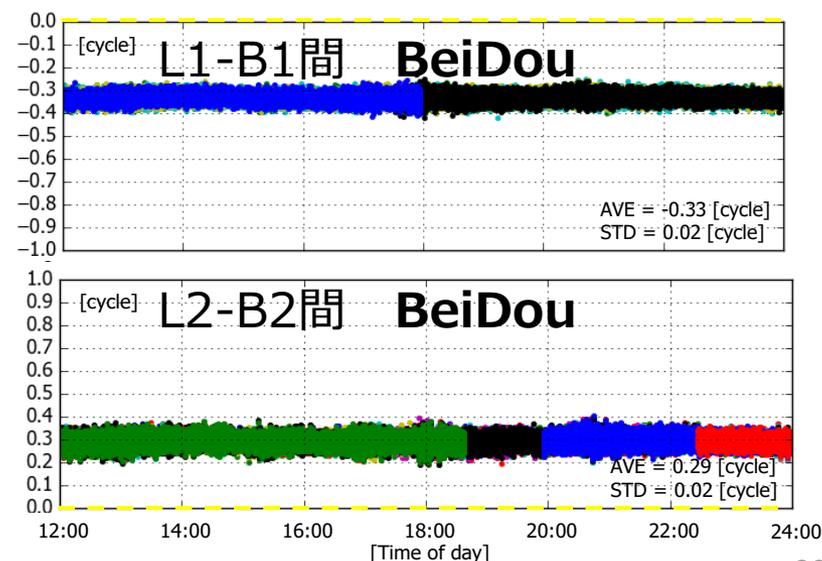
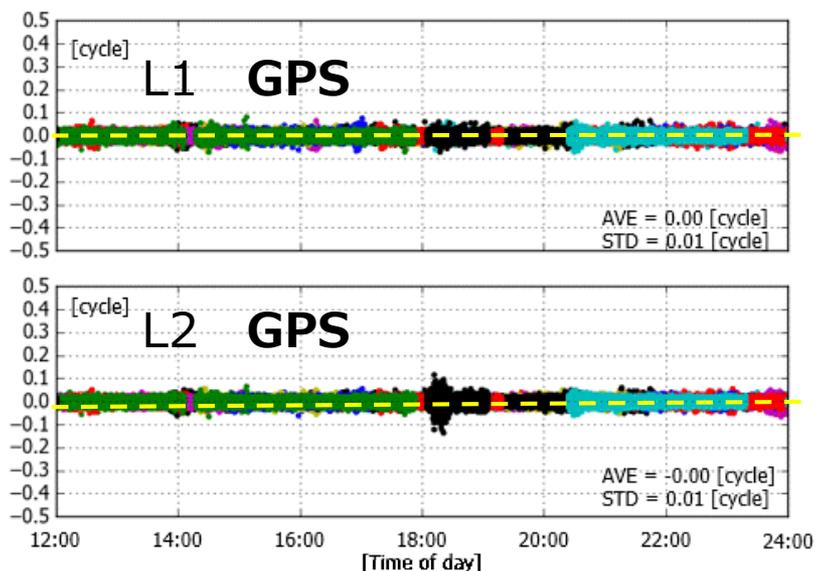
◆ 異システム二重位相差

◆ 同システム二重位相差

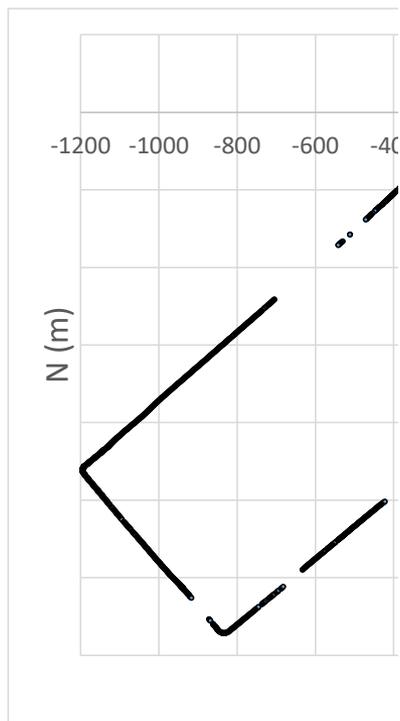
$$\phi_{rb,j}^{s1s2} = (\lambda_j^s)^{-1} (\rho_{rb}^{s1s2} + \epsilon_{rb,j}^{s1s2}) + N_{rb,j}^{s1s2}$$

$$\begin{aligned} \phi_{rb,jk}^{qs} &= \frac{(\lambda_j^s)^{-1} (\rho_{rb}^s + \epsilon_{rb,j}^s) - (\lambda_k^q)^{-1} (\rho_{rb}^q + \epsilon_{rb,k}^q)}{+ (f_j^s - f_k^q)(dt_{rb}) + \delta_{rb,jk}^{BG} + N_{rb,jk}^{qs}} \end{aligned}$$

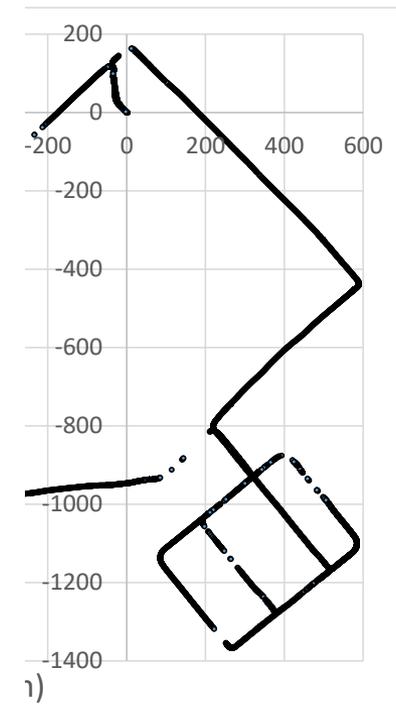
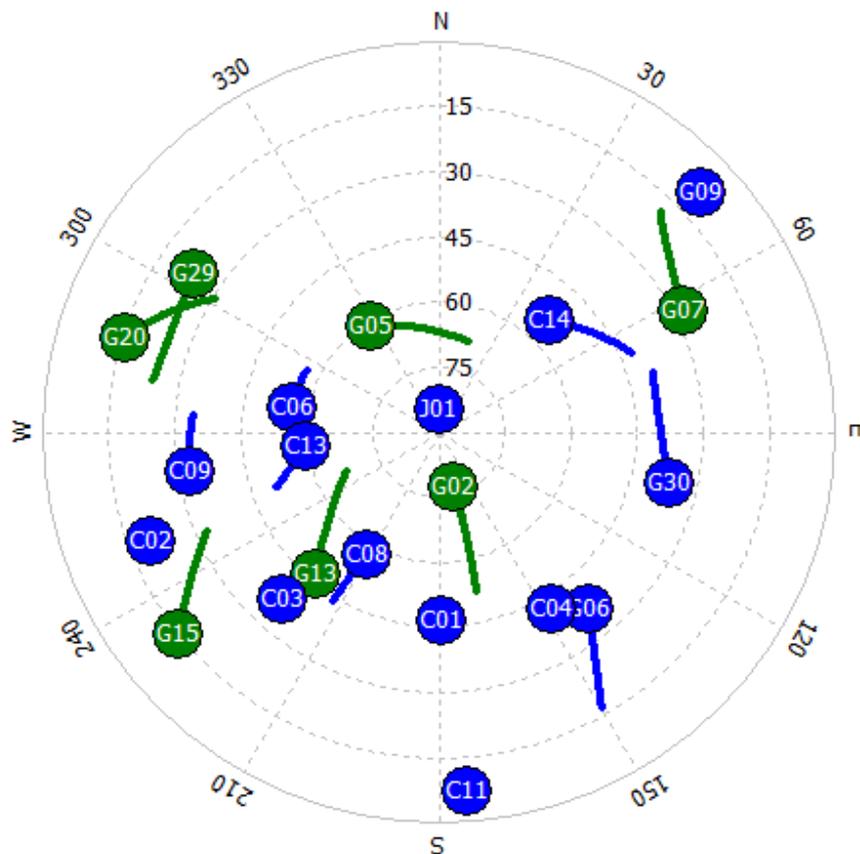
二重位相差残差



複合RTK測位 提案手法の評価 (移動体実験より)



水平結果 混合



1) 測位 (提案手法)

	空白期間		
混合 (従来手法)	67.9%	100 %	37.2 s
統合 (提案手法)	77.4%	100 %	22.6 s

* 信頼のおける解 : Based on POSLV (within 20 cm horizontal)

複数の衛星測位システムによる複合測位

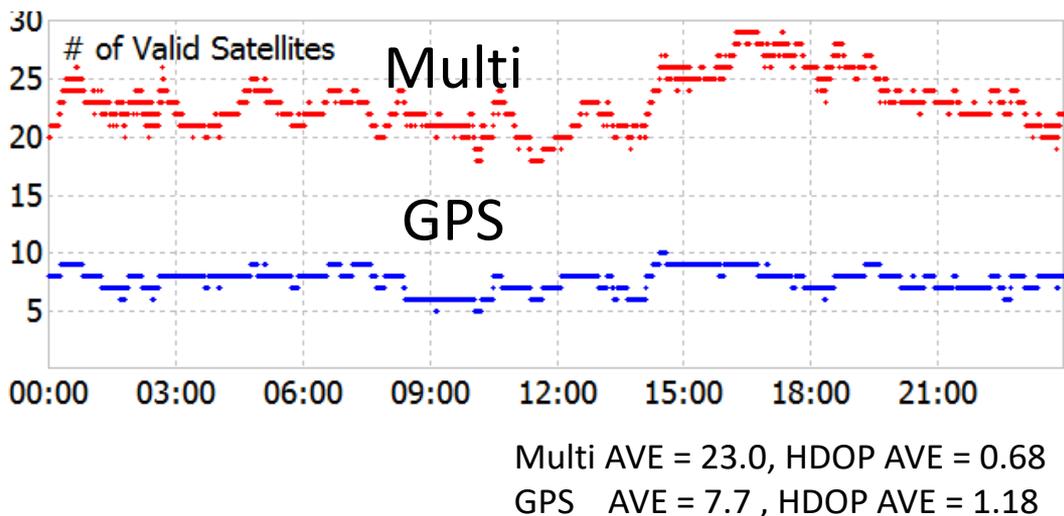


評価実験・結果



屋上静止点評価実験 (マルチパスフリー環境)

受信衛星数比較



2016/02/04 24時間1Hz

Multi-GNSS

(GPS/QZSS/BeiDou/GLONASS/Galileo)

- * 測量用受信機による観測値利用
- * フィルタなどの利用なし逐次解析
- * 真位置は国土地理院基準局、F3解による後処理RTKにより算出

アンテナ



測量用受信機

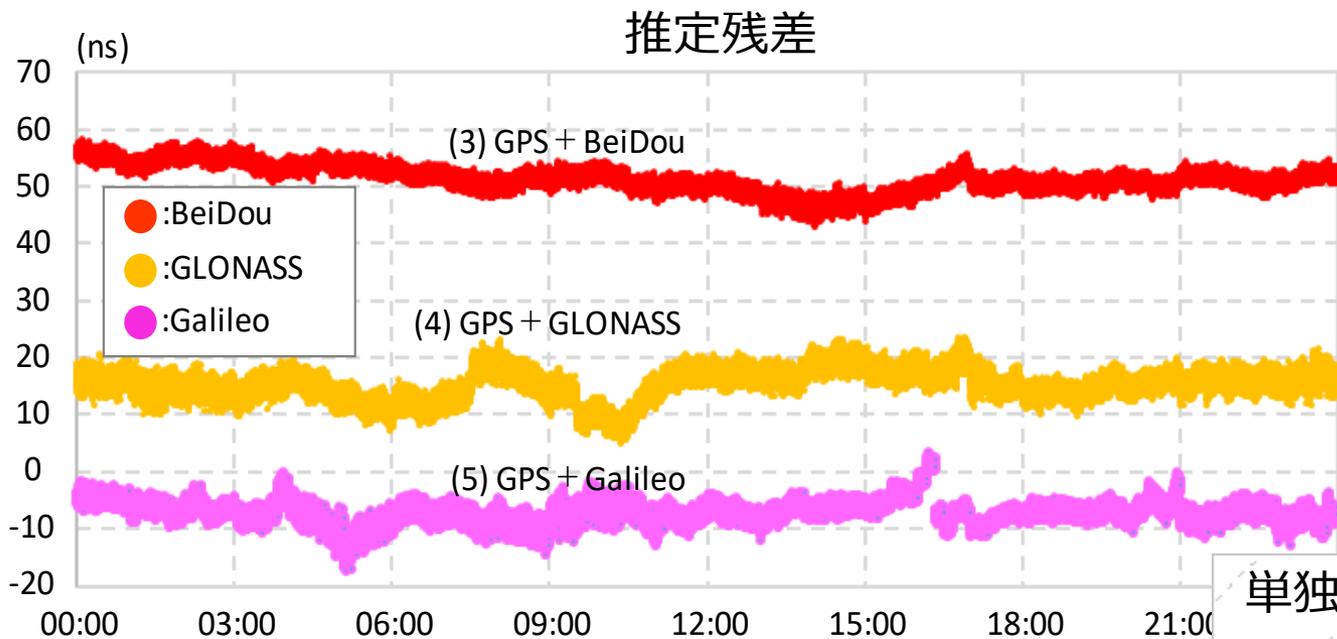


上空写真



2地点 (短基線) にてデータを取得

単独測位 システム間バイアス



バイアス補正なし
単独測位結果

* 単独測位の過程で 最小二乗法にて算出

* 推定残差平均値によるシステム時刻オフセット

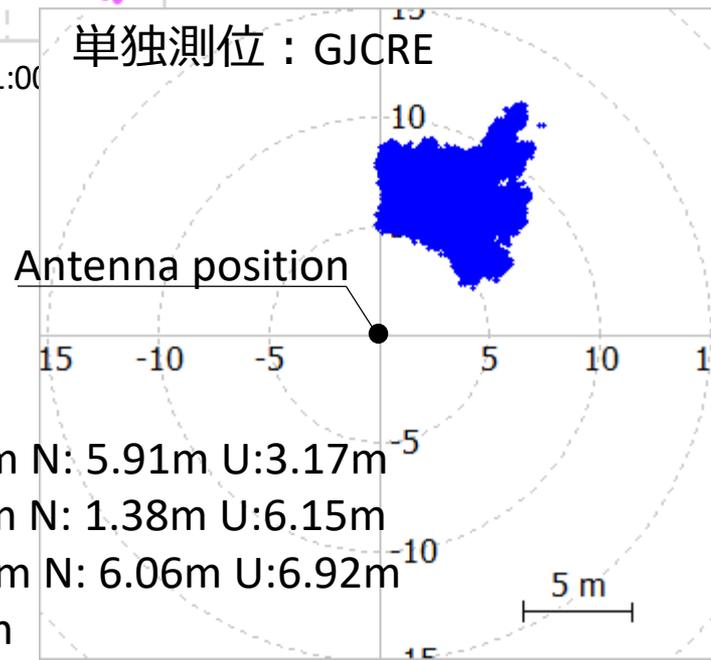
GPS-BeiDou 51.4ns

GPS-GLONASS 15.4ns

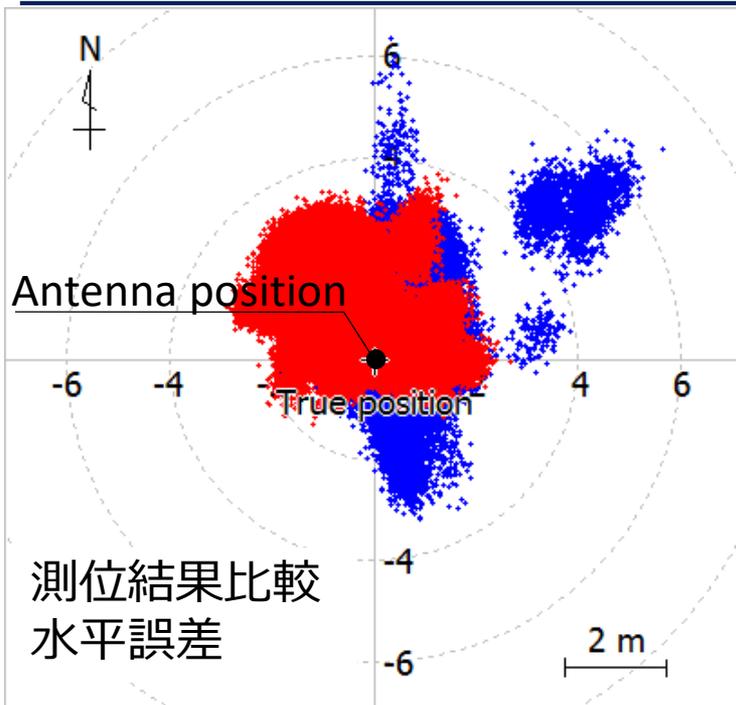
GPS-Galileo -7.1ns

(閏秒は除く)

*1ns \doteq 0.3m



単独測位 評価実験結果



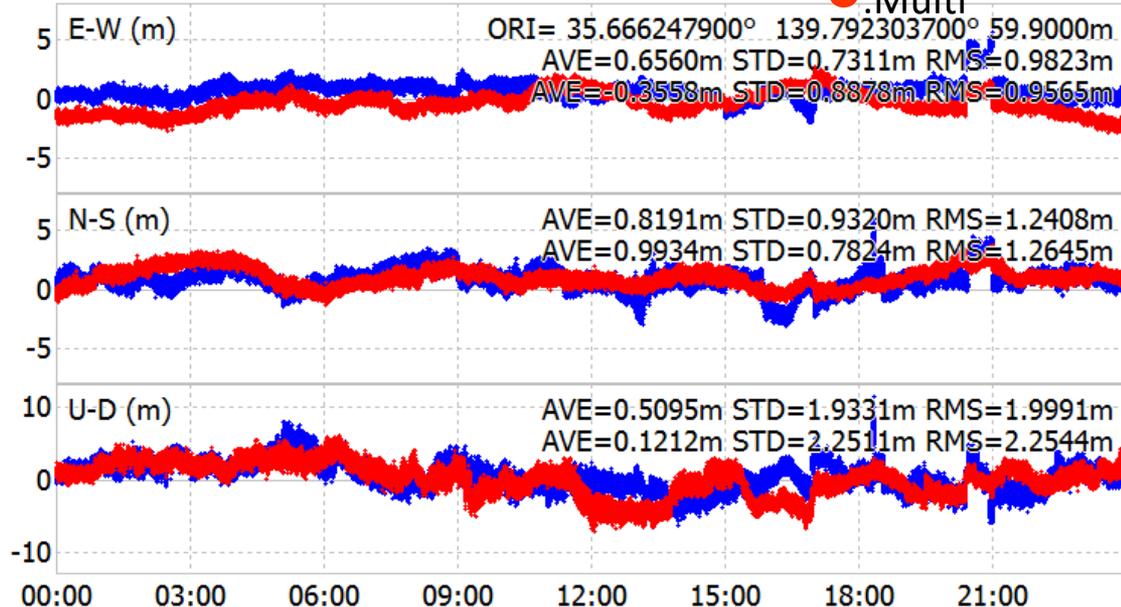
●:GPS

●:Multi(GPS/QZSS/BeiDou/GLONASS/Galileo)

3次元 測位結果

●:GPS

●:Multi



GPS : HDOP AVE = 1.18, DRMS = 1.58 m

Multi : HDOP AVE = 0.68, DRMS = 1.59 m

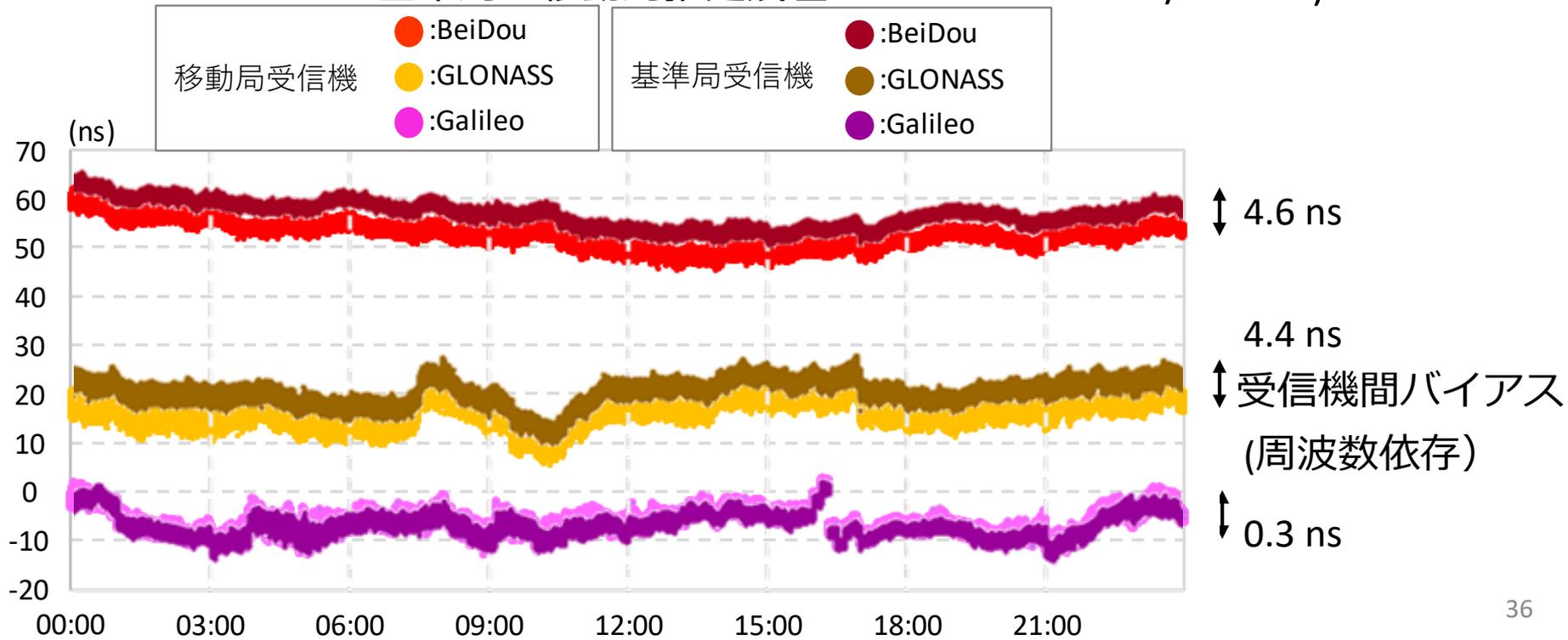
解析に使用した衛星測位システム	DRMS [m] 水平方向	1 σ [m] 水平方向	HDOP (水平位置精度劣化度)	測距精度[m] 1 σ / HDOP
(1). GPS	1.58	1.18	1.18	1.00
(2). GPS + QZSS	1.53	1.30	1.13	1.15
(3). GPS + BeiDou	1.91	0.90	0.89	1.01
(4). GPS + GLONASS	1.92	1.71	0.83	1.58
(5). GPS + Galileo	1.51	1.09	1.08	1.31
(6). ALL (GPS + QZSS + BeiDou + GLONASS + Galileo)	1.58	1.18	0.68	1.74
(7)GPS + BeiDou (静止衛星排除)	11.68	1.00	1.46	0.94

ディファレンシャル測位 受信機間バイアス

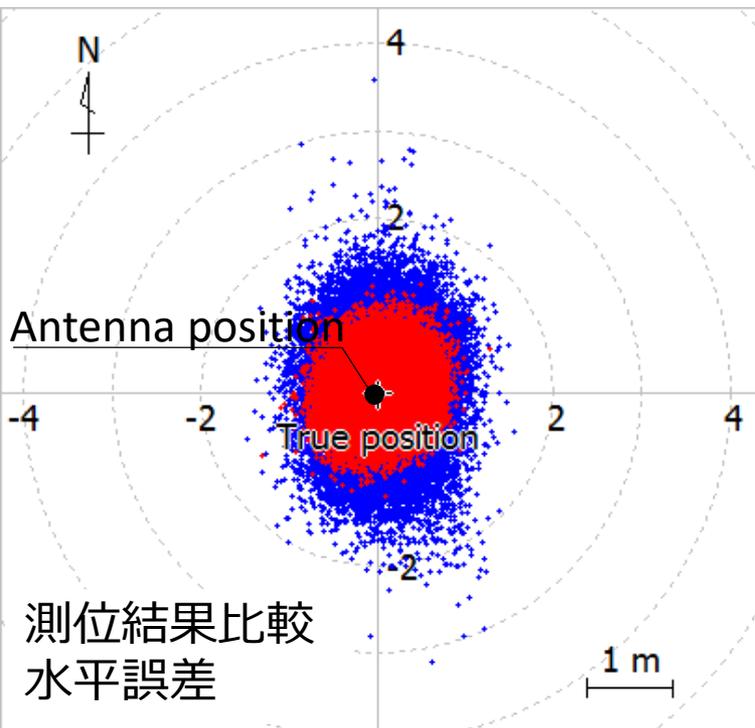
	平均値 [ns]
移動局受信機 バイアス推定結果 (GPS + QZSS + BeiDou + GLONASS + Galileo)	BeiDou : 52.4 GLONASS : 16.3 Galileo : -6.1
基準局受信機 バイアス推定結果 (GPS + QZSS + BeiDou + GLONASS + Galileo)	BeiDou : 57.0 GLONASS : 20.7 Galileo : -6.4

- 24時間1Hz
- 2016/02/04
- GPS
- Multi
(GPS/QZSS/BeiDou/GLONASS/Galileo)

基準局・移動局推定残差

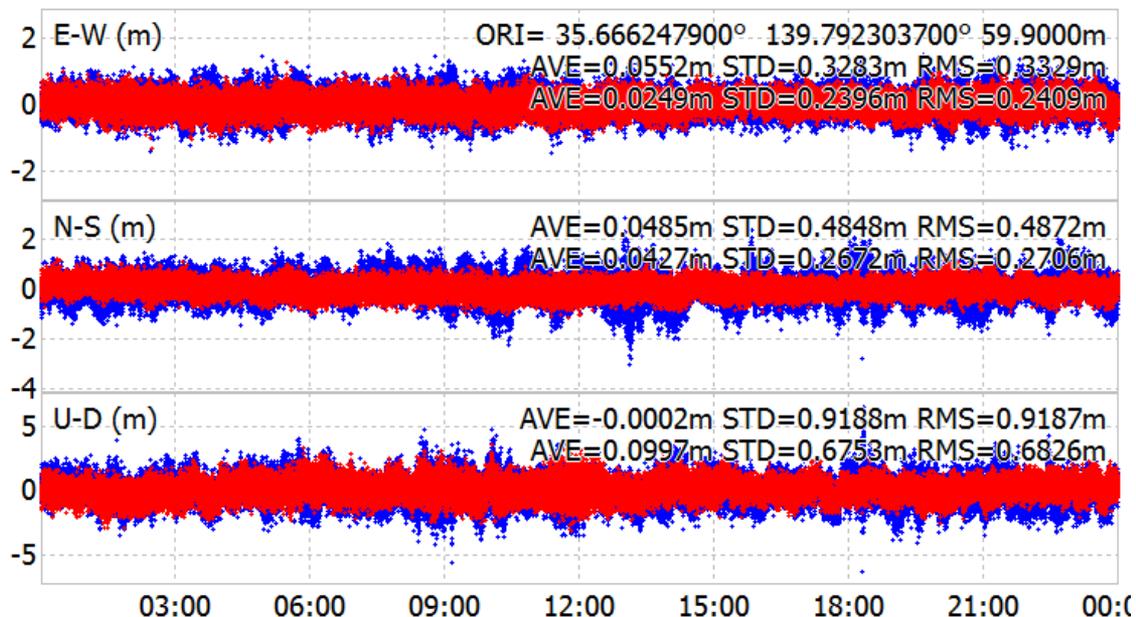


ディファレンシャル測位 評価実験結果



3次元 測位結果

● :GPS
● :Multi



GPS : DRMS = 0.59 m

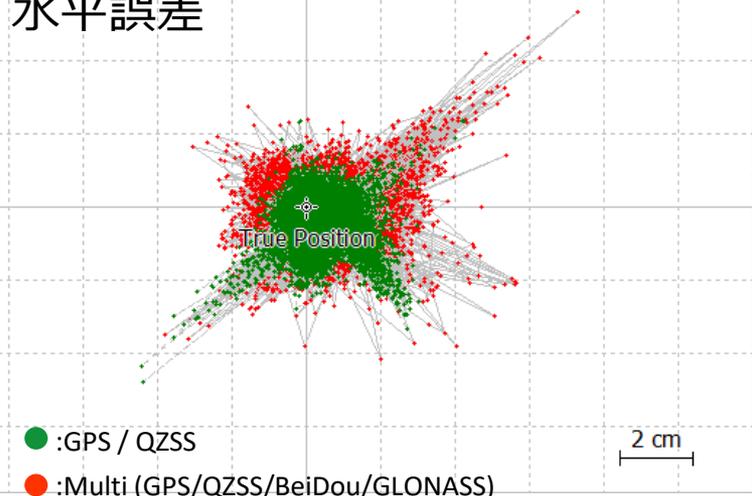
Multi : DRMS = 0.36 m

● :GPS
● :Multi
(GPS/QZSS/BeiDou/GLONASS/Galileo)

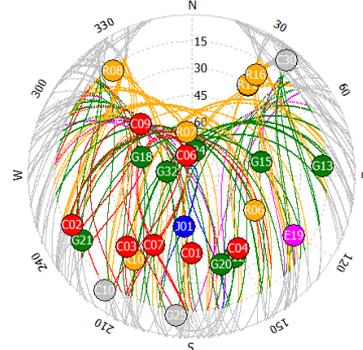
解析に使用した衛星測位システム	DRMS [m] 水平方向	1σ [m] 水平方向	HDOP (水平位置精度劣化度)	測距精度[m] 1σ / HDOP
(1). GPS	0.59	0.59	1.18	0.50
(2). GPS + QZSS	0.56	0.56	1.13	0.49
(3). GPS + BeiDou	0.39	0.38	0.89	0.47
(4). GPS + GLONASS	0.55	0.54	0.83	0.66
(5). GPS + Galileo	0.50	0.49	1.08	0.48
(6). ALL (GPS + QZSS + BeiDou + GLONASS + Galileo)	0.36	0.36	0.68	0.58

複合測位による利便性の増加

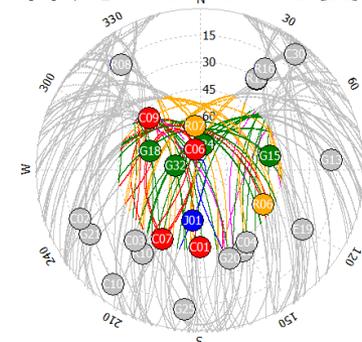
測位結果比較
水平誤差



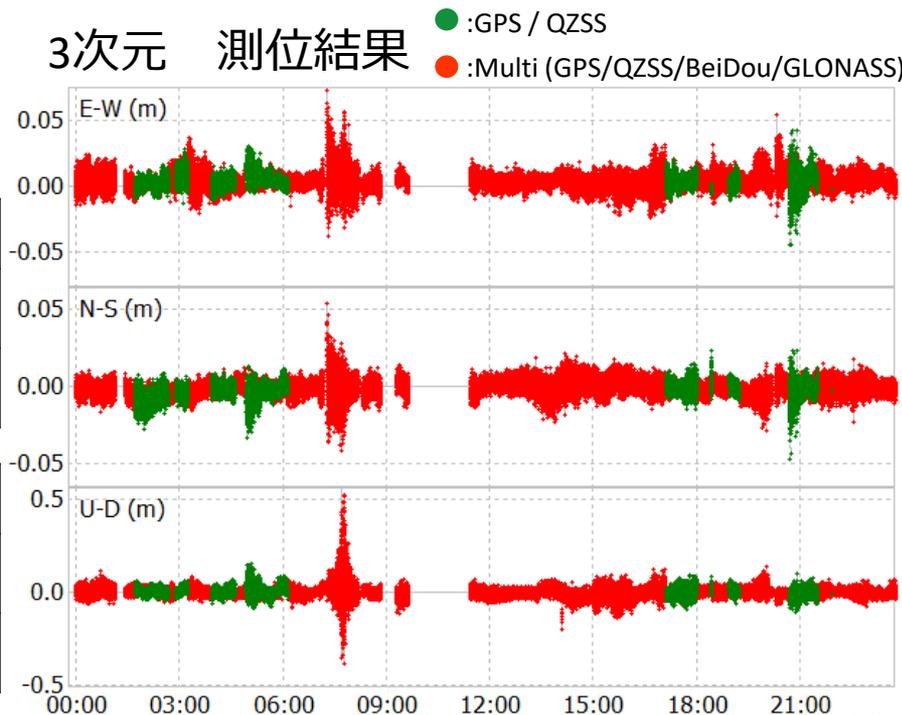
仰角マスク15度



仰角マスク45度



3次元 測位結果



仰角マスク45度	衛星数	利便性
GPS/QZSS	3.71	19.6%
Multi	7.30	84.6%

[cm]	RMS	STD
GPS/QZSS	0.73/0.65/2.54	0.59/0.55/2.48
Multi	0.72/0.48/2.69	0.57/0.46/2.68

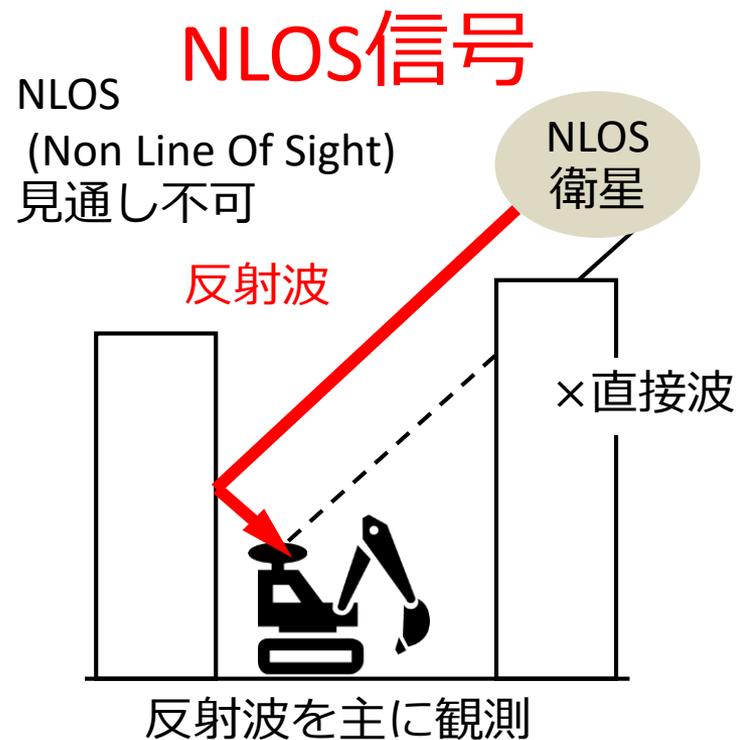
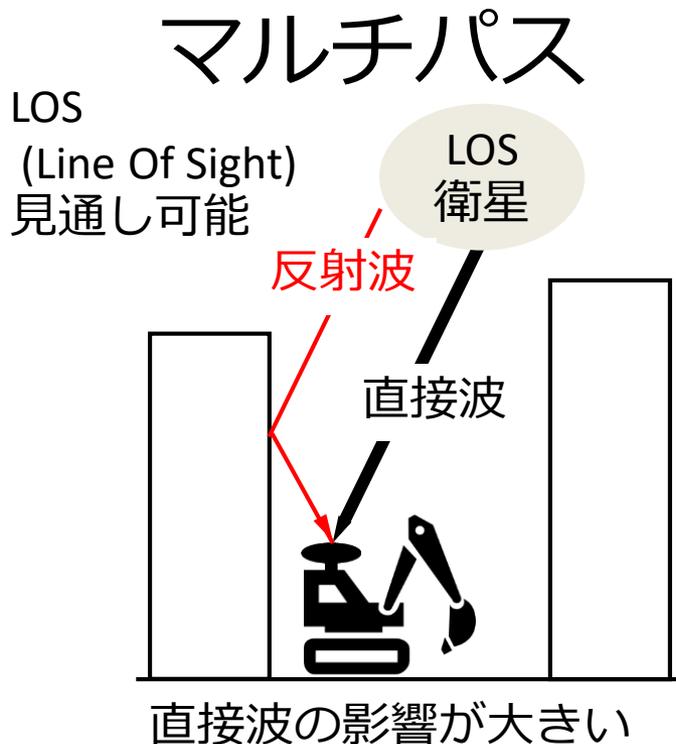
* 利便性 (解を得られた数/全測位エポック数)



衛星選擇手法



マルチパスとNLOS信号



合成波による影響

- 直接波に対する遅延量の大きさ
 - 信号の強度比、位相により異なる
- 最大で (GPS)
- 擬似距離 150m
 - 搬送波位相 1.5チップ

NLOSによる影響

- 反射波の遅延量そのもの
- 信号強度は様々高分解能受信機ほど多く受信
- 擬似距離遅延量 通常数十から数キロm
- 搬送波位相 反射による位相変化が問題

マルチパス低減 衛星選択手法

- 外部情報による衛星選択

- ① 天頂魚眼画像によるNLOS衛星マスク

NLOS衛星排除のレファレンスとして利用

- 観測値の品質検定による衛星選択手法

- ② 仰角に応じた信号強度検定

- ③ 信号強度からの偏差による検定 (提案手法)

- 擬似距離残差検定 (提案手法)
- 解きなおしによる利便性向上 (適用)
- Ratio値による衛星組み合わせ選択 (提案手法)

①天頂魚眼画像による衛星選択

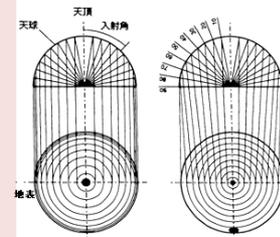


RTKLIB 2.4.3 b5以降

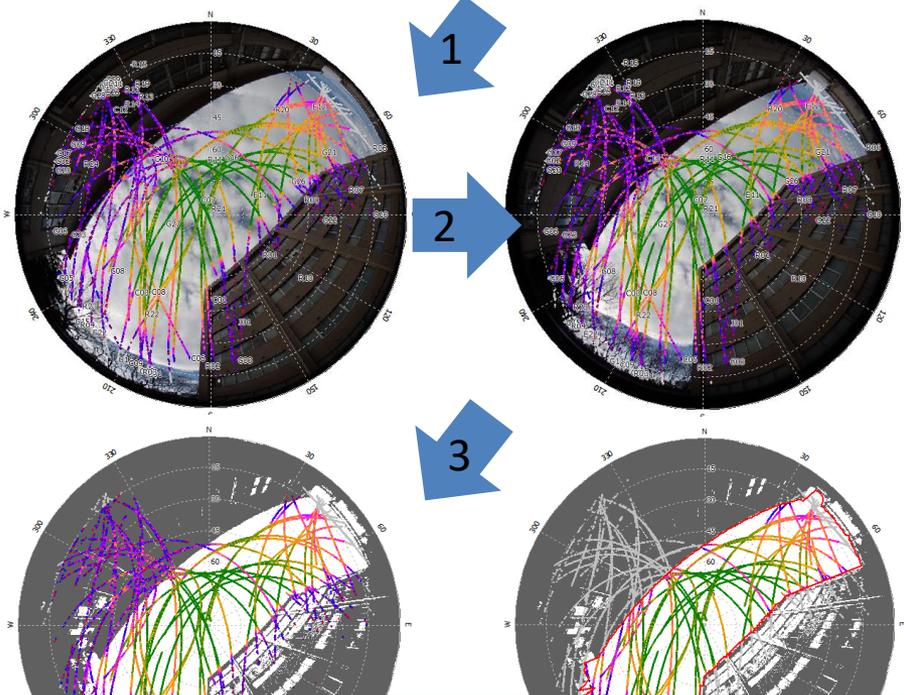
天空画像から上空障害物マスクを生成可能なソフトウェアを利用

マスク生成手順

1. 方位角調整
方位角を調整
2. 画像の歪曲補正
射影方式を衛星位置表現に合致するよう補正
3. 画像の二値化
二値化を行いマスク生成



射影方式



- ✓ 樹木など建物以外も排除可能
- ✓ データ取得時に同時に撮影することにより実環境でのマスク生成が可能
- × 撮影、補正など作業負担の増加
- × 方位角、二値化など手作業

NLOS衛星の排除に有効

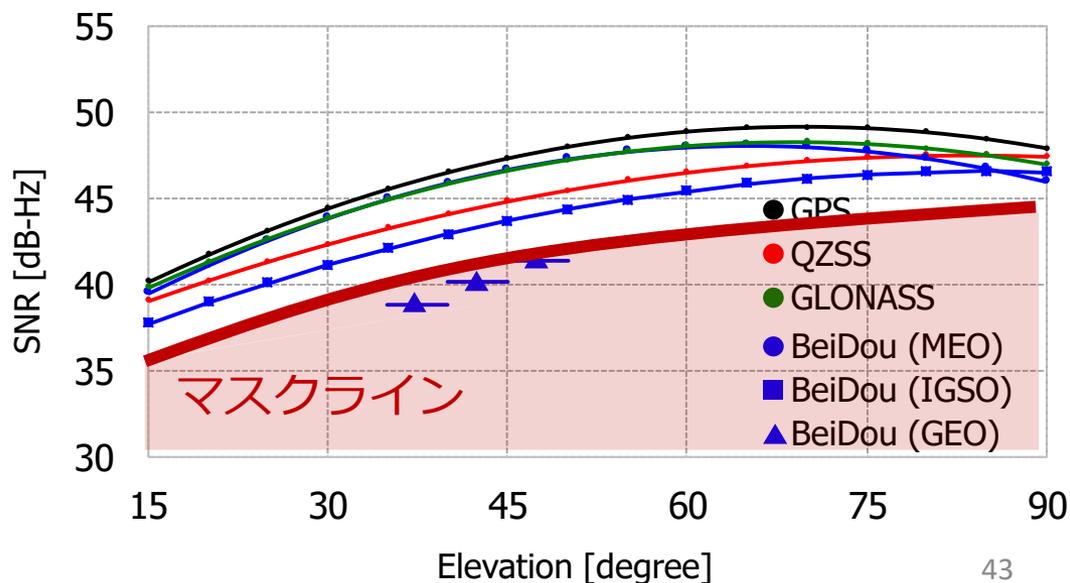
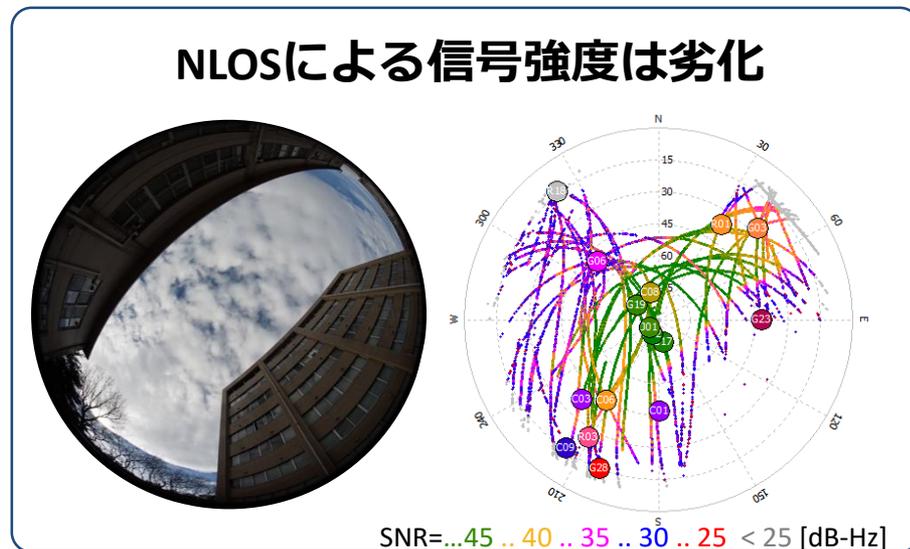
②仰角に応じた信号強度検定

- 信号強度は仰角依存性
- 仰角-信号強度マスクを生成
- ✓ **アルゴリズムは簡便だがマルチパス対策に効果的**

✓ LOS/NLOS衛星、マルチパスの有無に関わらず品質劣化衛星が除外できる

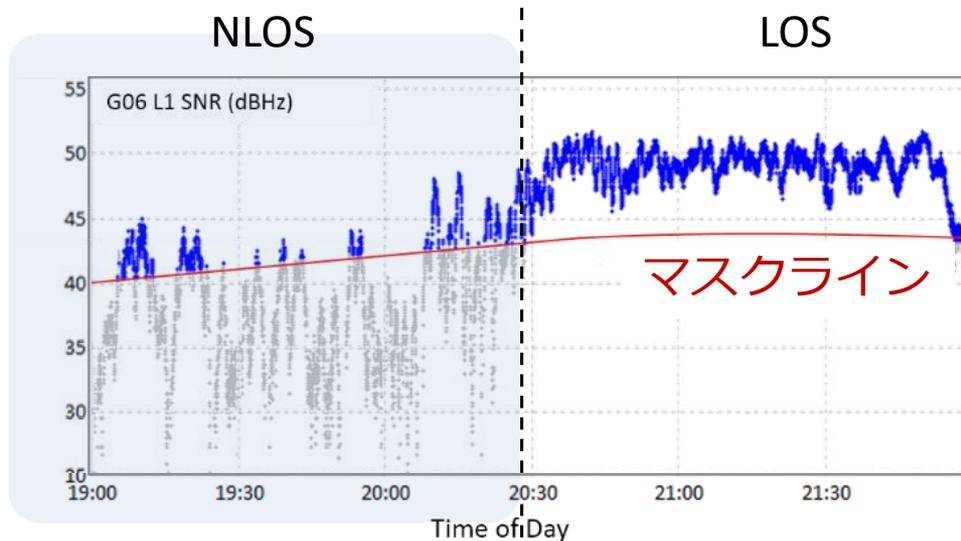
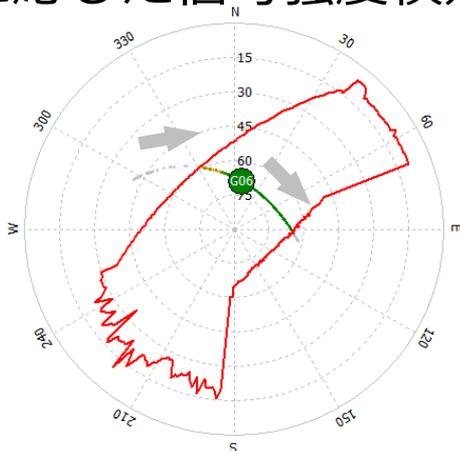
× 衛星システム、信号、軌道毎受信機毎にあらかじめ近似線の生成が必要

× マルチパス波が支配的な環境など、**比較的強い信号強度のNLOS/マルチパス信号は排除不可**



③信号強度からの偏差による検定

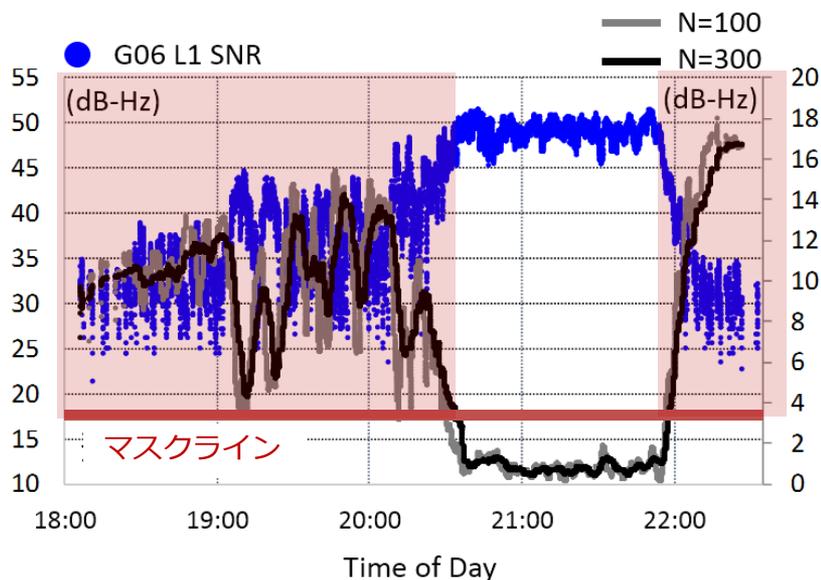
②仰角に応じた信号強度検定



③仰角に応じた信号強度検定

- あるべき信号強度を基準とした偏差を後方移動平均により算出
- 大きなばらつきによる信号強度劣化を判別可能

- ✓ あるべき信号強度に対し偏差が大きい観測値の排除が可能
- × データの欠落が多い環境では効果なし





評価実験・結果



評価実験 概要 静止点12時間1Hzデータ

各地点横の状況と魚眼レンズカメラによる上空画像

* 画像上部は北



地点1



2016/04/08



地点2



2016/02/13

NLOS信号が多い
環境と予想



地点3



2015/11/04



地点4



2016/01/08

多くの近接マルチ
パスが予想

解析手法：2周波 瞬時RTK-GNSS (短基線) ✓

解析条件：AR：LAMBDA法

品質検定：Ratio test (閾値 3)

仰角マスク：15度

測量用アンテナ、受信機使用

フィルタ、ホールド等は一切使用せず

解析にはGPS/QZSS/BaiDou/GLONASSを利用

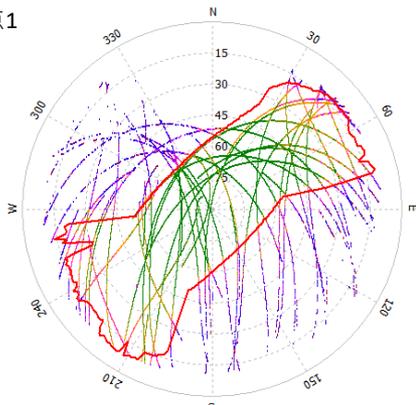
✓ 解析地点の真値は後処理RTK-GNSSにて算出

解析手順

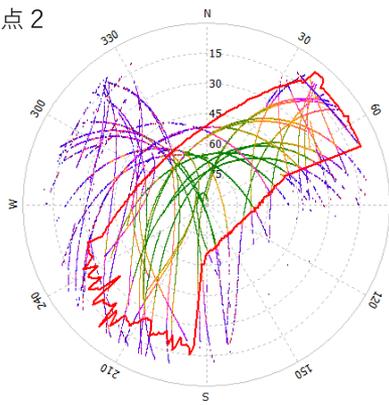
1. 取得観測値にそれぞれのマスク処理を実施
2. マスク後の観測値を用い測位

各地点における比較 信号強度・衛星数・魚眼マスク

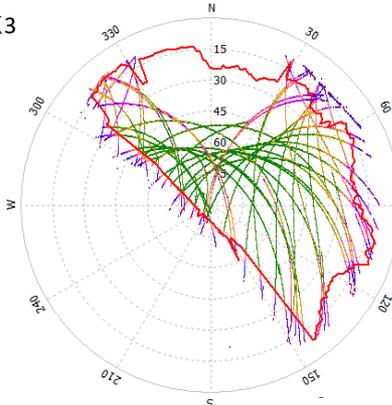
地点1



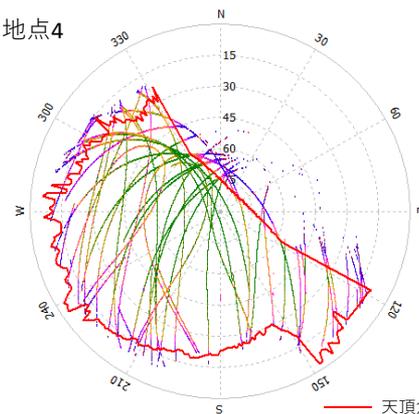
地点2



地点3



地点4



— 天頂魚眼画像

SNR= ...45...40...35...30...25 <25 [dBHz]

地点1			地点2			地点3			地点4		
G/J	C	R									
7.11	4.84	4.20	4.54	3.78	3.34	5.57	1.94	3.55	5.00	6.45	1.98
合計 16.15			合計 11.66			合計 11.06			合計 13.43		

G : GPS
J : QZSS

C : BeiDou
R : GLONASS

$$\text{利便性} = \frac{\text{FIX解数}}{\text{全エポック数}}$$

実験結果 利便性結果

地点1



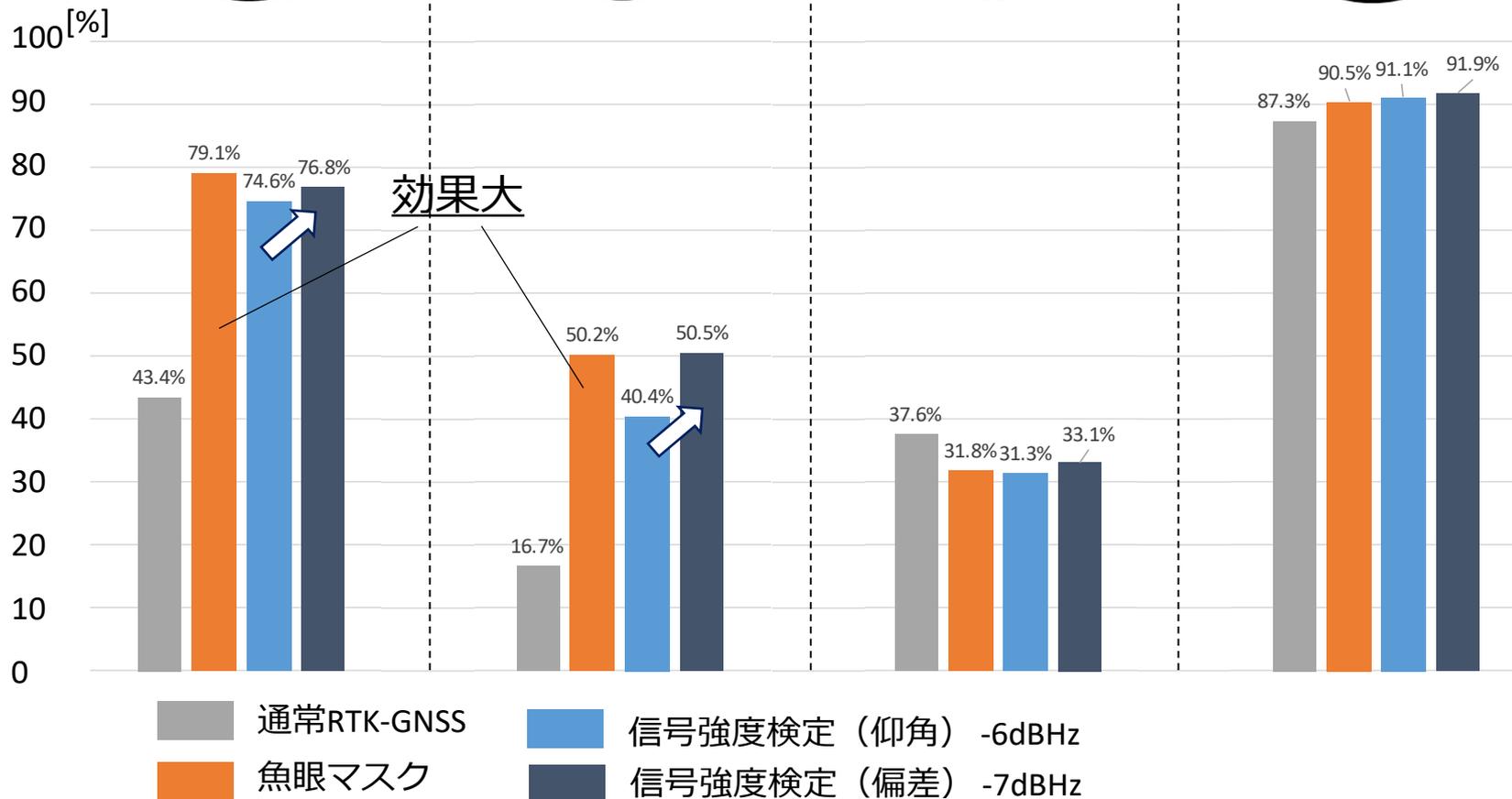
地点2



地点3

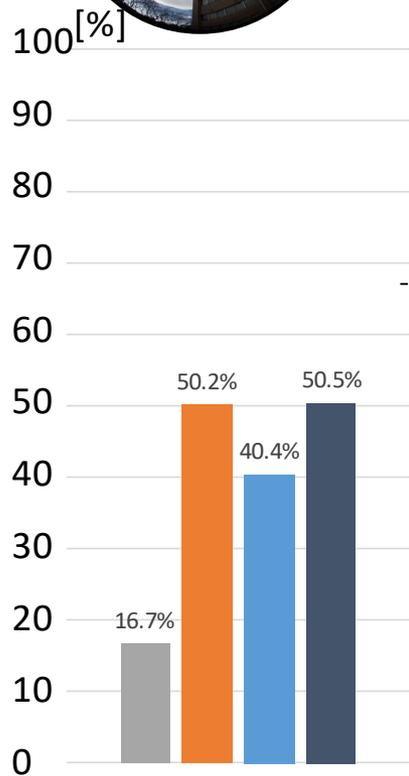


地点4



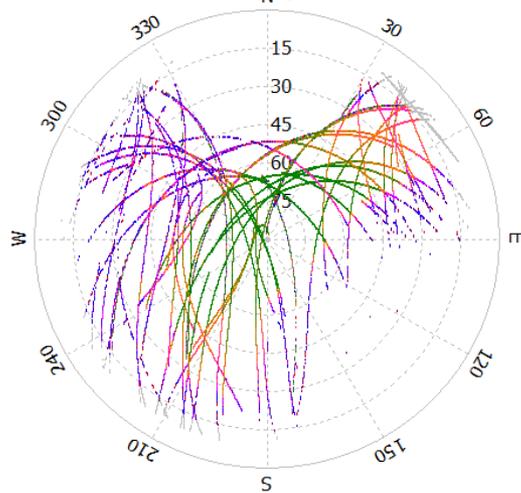
実験結果 地点2 信号強度比較

地点2

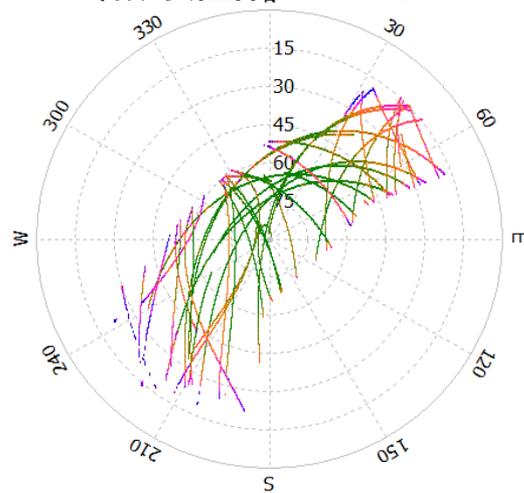


通常RTK-GNSS 信号強度検定
 魚眼マスク 信号強度検定

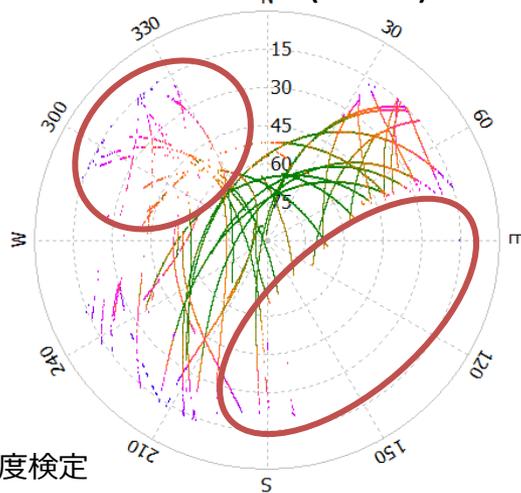
通常



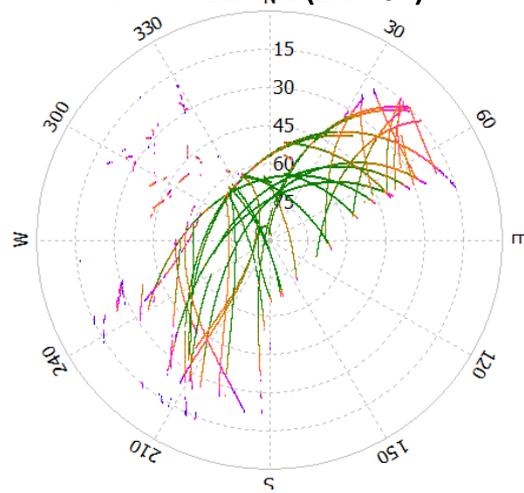
魚眼画像マスク



信号強度 (従来)



信号強度 (提案)



SNR=...45 .. 40 .. 35 .. 30 .. 25 < 25 [dB-Hz]

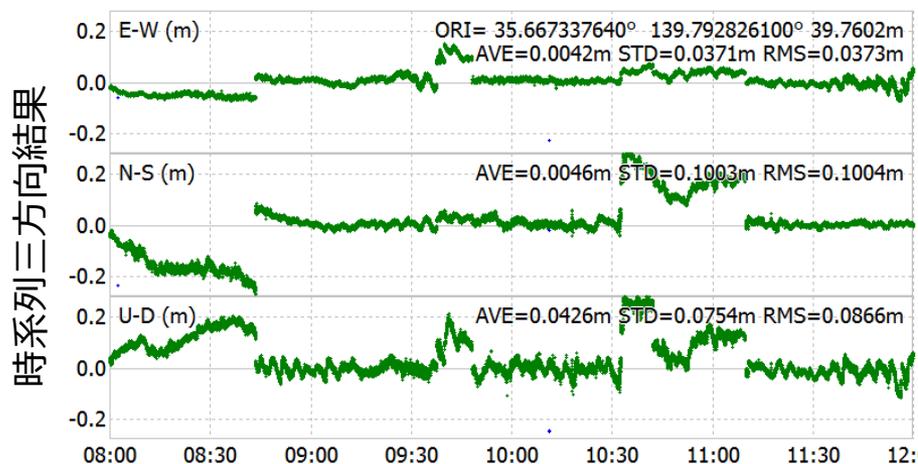
実験のまとめ

- ①天頂魚眼画像によるNLOS衛星マスク
- ②仰角に応じた信号強度検定
- ③信号強度からの偏差による検定 (提案手法)

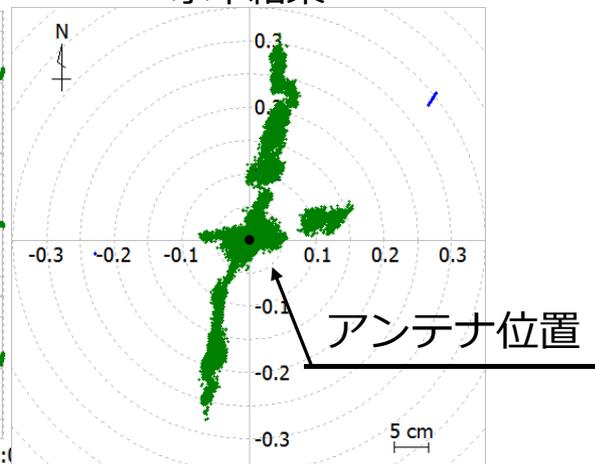
→今後

- 移動体との統合の可能性

市販最高レベルの受信機測位結果



水平結果

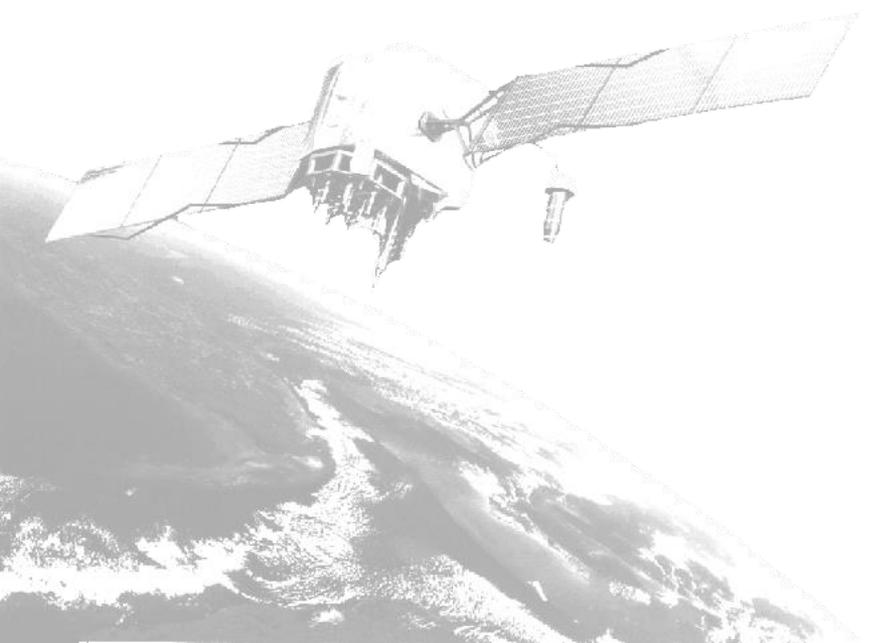


まとめ

- 主な測位手法について複合測位のための課題と解決方法について示した
- 衛星選択手法の提案、評価を行った
 - 魚眼画像によるRTK性能向上を示した
 - 信号強度を用いた観測値の品質検定
- 課題
 - 最適閾値の決定と移動体への適用



ご清聴ありがとうございました



土倉弘子

d142013@kaiyodai.ac.jp