

国産の衛星のみを利用した 測位精度検証について

東京海洋大学
土倉 弘子、久保信明

文部科学省宇宙利用促進による電子航法研究所殿からの委託研究

発表の内容

•背景と目的

- 現在の衛星測位システム
- 日本の衛星測位システム

•測位計算の理論と概要

- 3衛星測位計算
- 座標系

•実験

- 静止実験
- 移動体実験

•まとめ

発表の内容

•背景と目的

- 現在の衛星測位システム
- 日本の衛星測位システム

•測位計算の理論と概要

- 3衛星測位計算
- 座標系

•実験

- 静止実験
- 移動体実験

•まとめ

1.背景と目的 – GNSS –

GNSS (Global Navigation Satellite Systems : 全地球航法衛星システム)

- **米国** : **GPS** 32機運用中
- **ロシア** : GLONASS 22機稼働中、民間にも開放 完成間近
- **EU** : Galileo 2機実機打ち上げ
- **中国** : Compass 民間にオープンサービス予定



各国 GPSへの依存から脱却へ

1.背景と目的 -日本が保有する衛星測位システム-

-MSAS (運輸多目的衛星用航法補強システム)

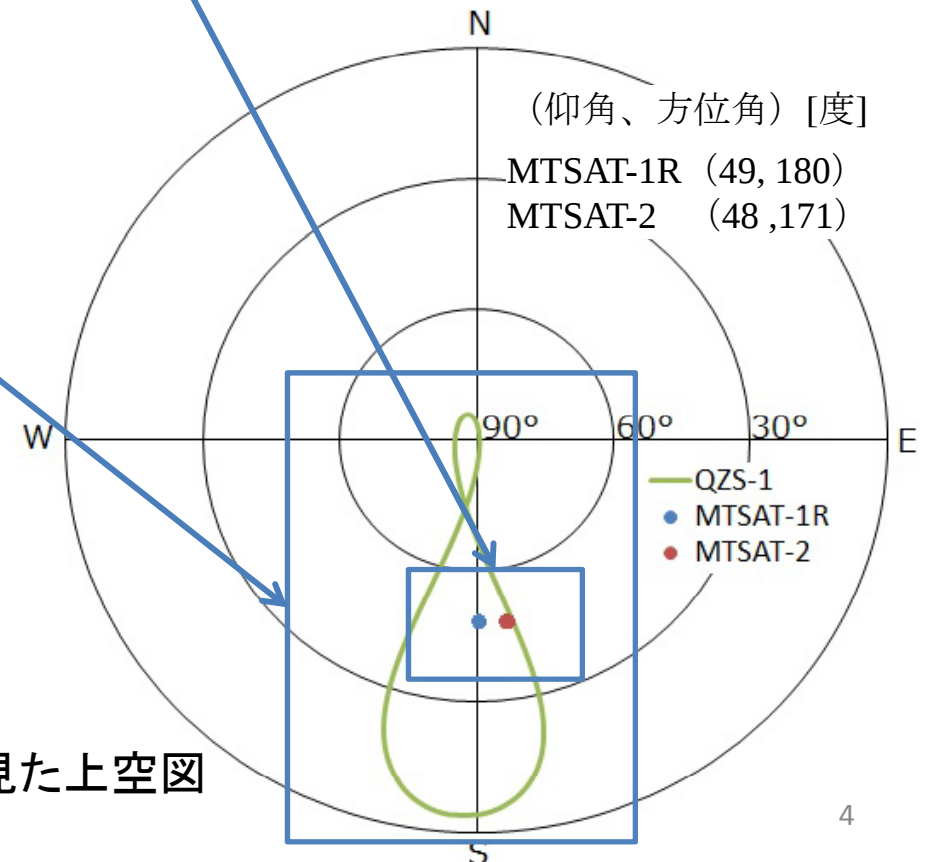
静止衛星 : 2機 (MTSAT-1R, MTSAT-2)

-QZSS (準天頂衛星システム)

準天頂衛星 : 1機 (QZS-1)

⇒計3衛星 運用中

大学キャンパス屋上から見た上空図
(24時間)



1.背景と目的 -日本が保有する衛星測位システム-

機能

- ・地域的衛星測位システム（日本周辺エリアをカバー）
- ・GPSの補完と補強

⇒GPSとの併用が前提

問題点

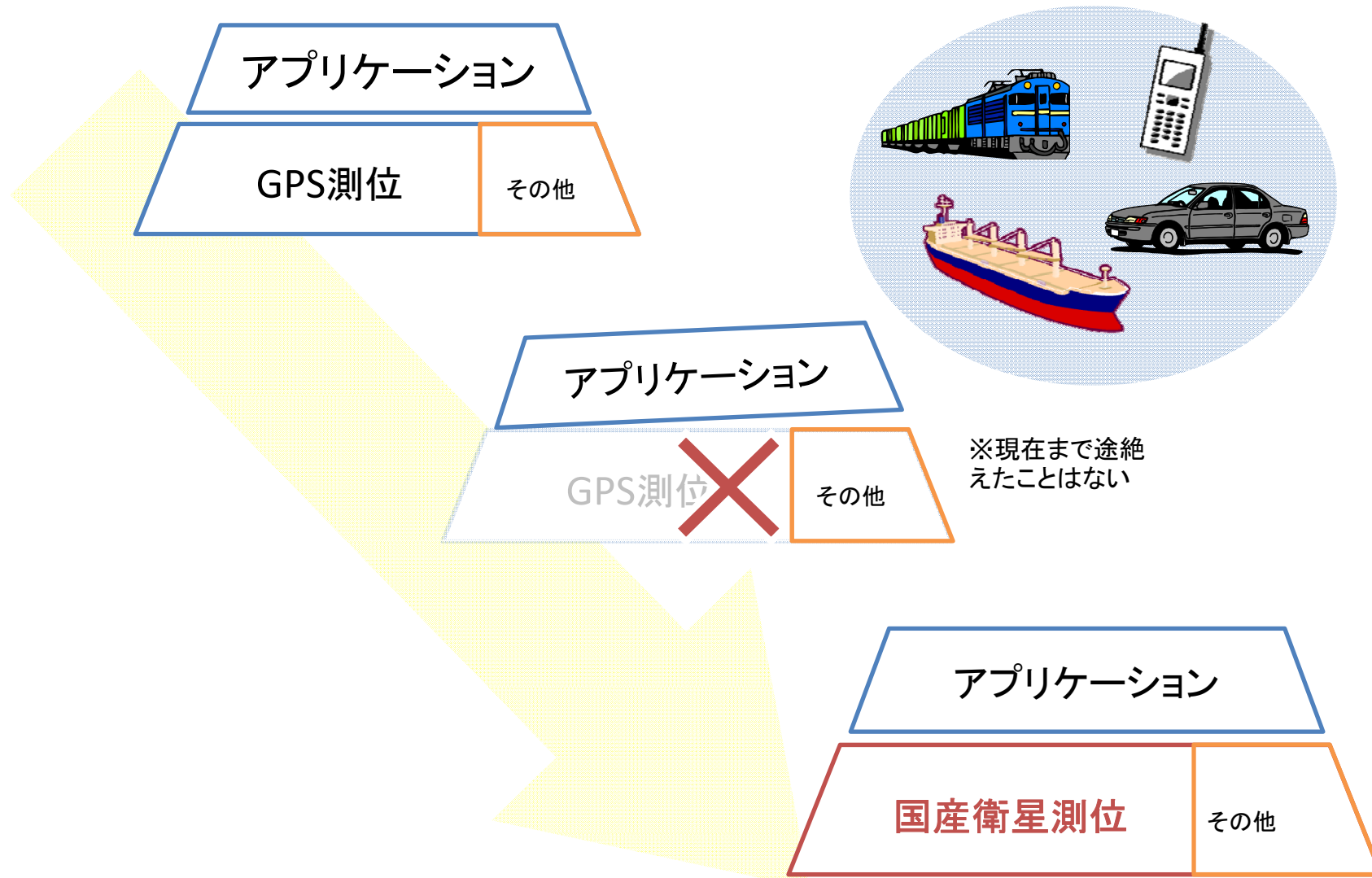
- ・全面的に米国のGPSに依存
- ・バックアップシステムがない

⇒本研究の目的

本セッションの測位シームレスの本来の意義ではないが、万が一現在のGPSを利用できなくなったときへのシームレスという意義より、

国産の衛星測位システムのみでの測位を評価

1.背景と目的 -シームレス利用における国産衛星測位-



1.背景と目的 -日本が保有する衛星測位システム-

-MSAS (運輸多目的衛星用航法補強システム)

レンジング機能 →帯域が狭くあまり推奨されていない

-QZSS (準天頂衛星システム)

GPSとほぼ同等

MSASの性能値は予測

	GPS	QZSS	MSAS
目的	測位	測位	補正(広域)
測距性能	1m以内	1m以内	?
衛星位置精度	1m以内	1m以内?	?
運用中衛星数	31機	1機	2機

あまり知られていないMSASの測位性能を評価

発表の内容

•背景と目的

- 現在の衛星測位システム
- 日本の衛星測位システム

•測位計算の理論と概要

- 3衛星測位計算
- 座標系

•実験

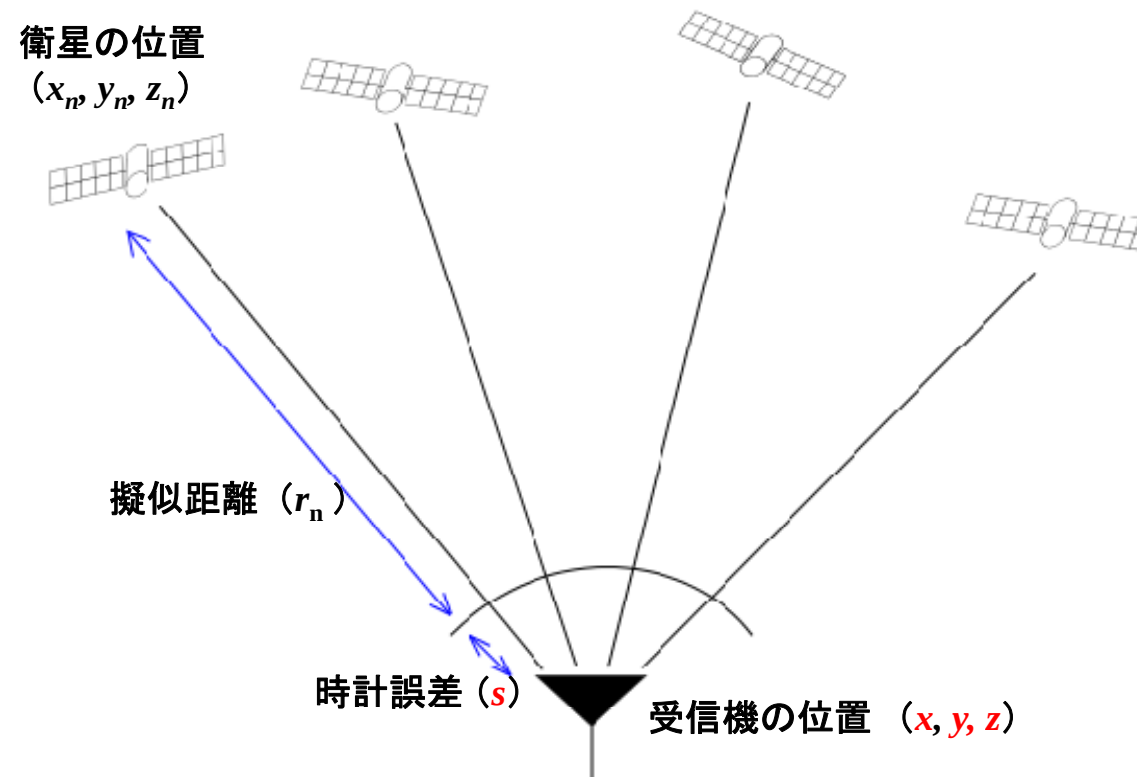
- 静止実験
- 移動体実験

•まとめ

2. 計算理論・概要 - 擬似距離による単独測位 -

位置 (x, y, z) と時計誤差 (s) に関する未知数 **4個**

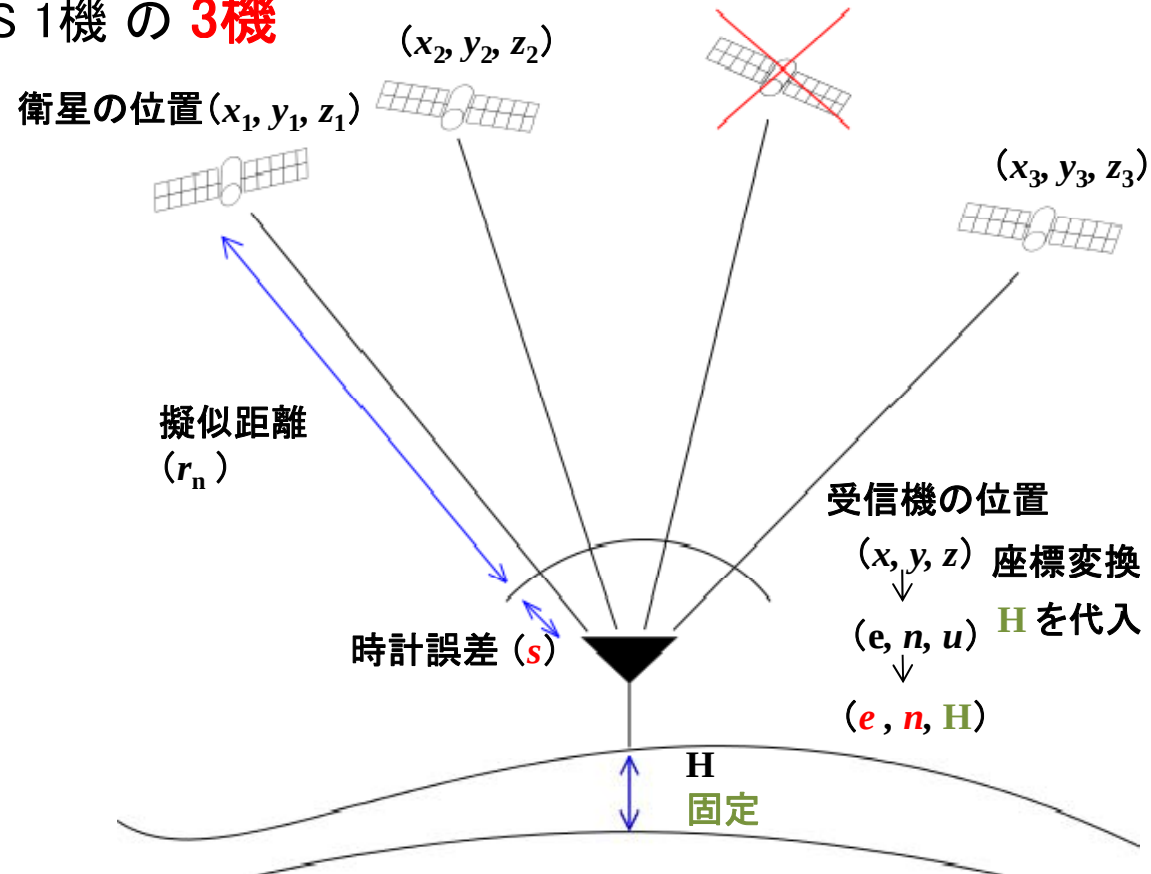
→ 可視衛星 **4機**以上 必要



2. 計算理論・概要 -3衛星測位 (二次元測位)-

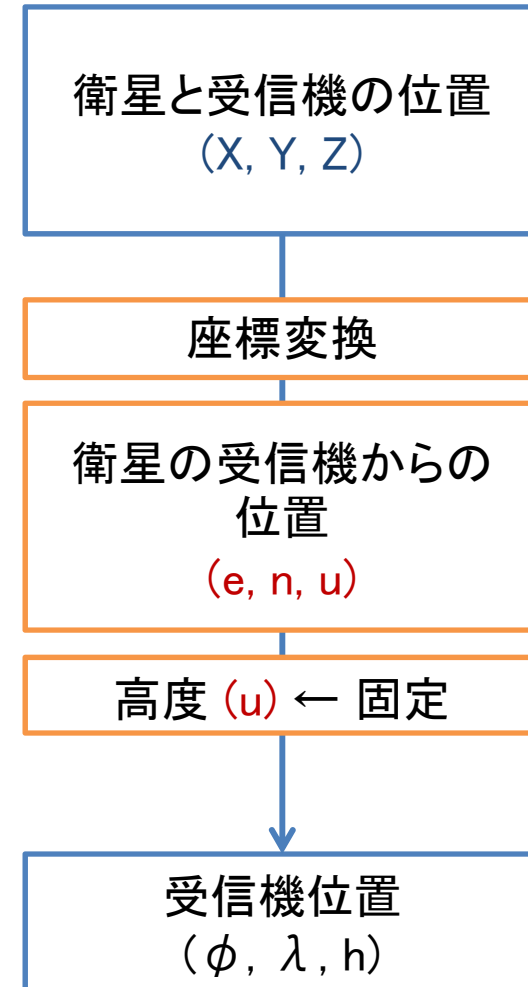
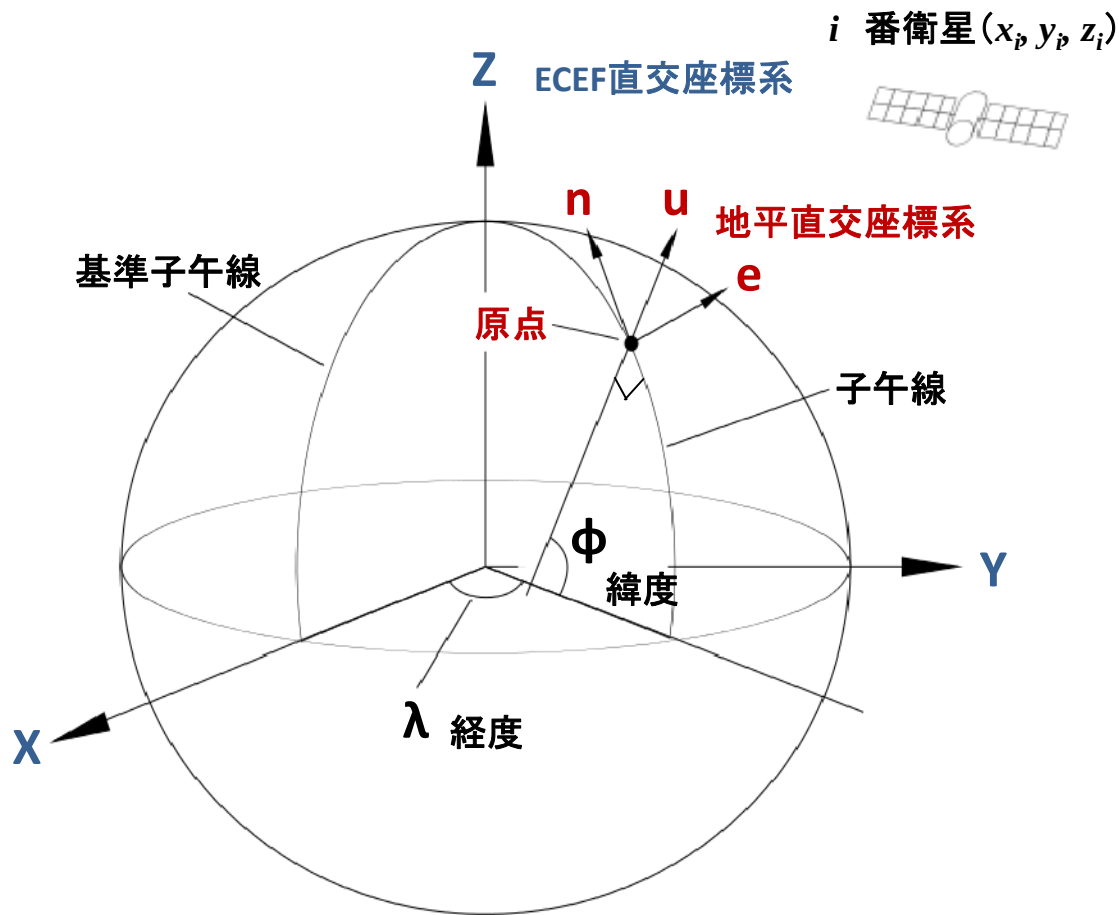
高度を既知とし固定することにより**未知数 3個**

→ MTSAT 2機 + QZS 1機 の **3機**



⇒海上利用を検証 (高度がほぼ一定かつ実験可能)

2. 計算理論・概要 -3衛星測位 座標系-



発表の内容

•背景と目的

- 現在の衛星測位システム
- 日本の衛星測位システム

•測位計算の理論と概要

- 3衛星測位計算
- 座標系

•実験

- 静止実験
- 移動体実験

•まとめ

3. 静止実験 -概要-

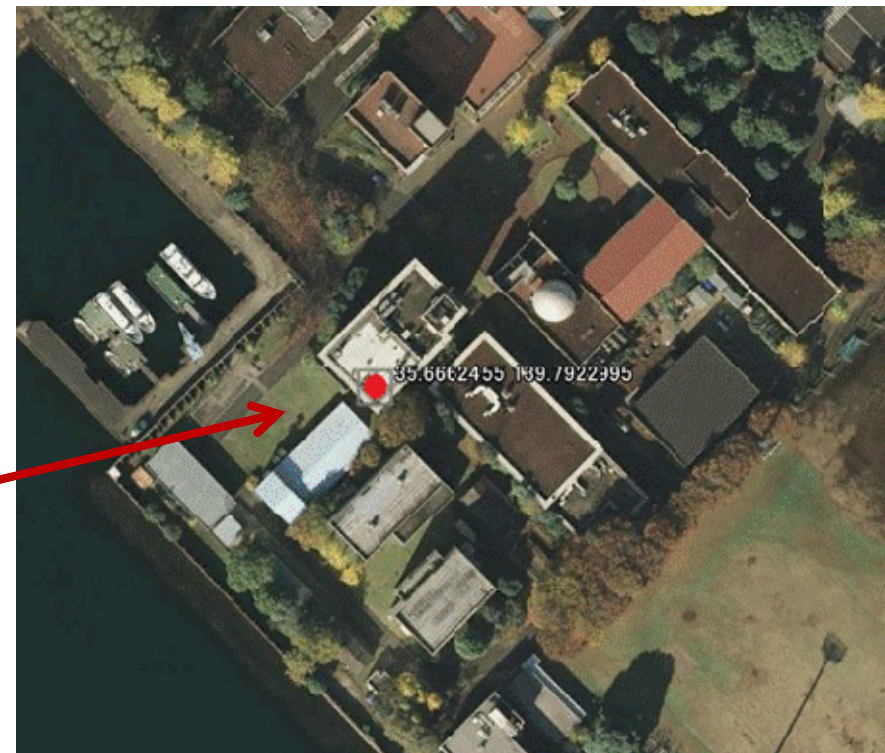
場所 : 東京海洋大学越中島キャンパス 第4実験棟屋上

日時 : 2011年 9月3日9:00~9月4日 9:00 (24時間)

- ・全可視衛星からのデータを取得、後処理で解析を実施
- ・JAVAD社製Delta受信機を使用
擬似距離スムージング: 100秒
- ・仰角マスク: 15°
- ・解析周期: 30 [s]

第四実験棟屋上

マルチパス影響少ない



3. 静止実験 -解析方法-

①全可視GPS衛星

②全可視GPS衛星, MTSAT-1R, MTSAT-2

⇒MSAS衛星を付加した時の検証

③GPS衛星

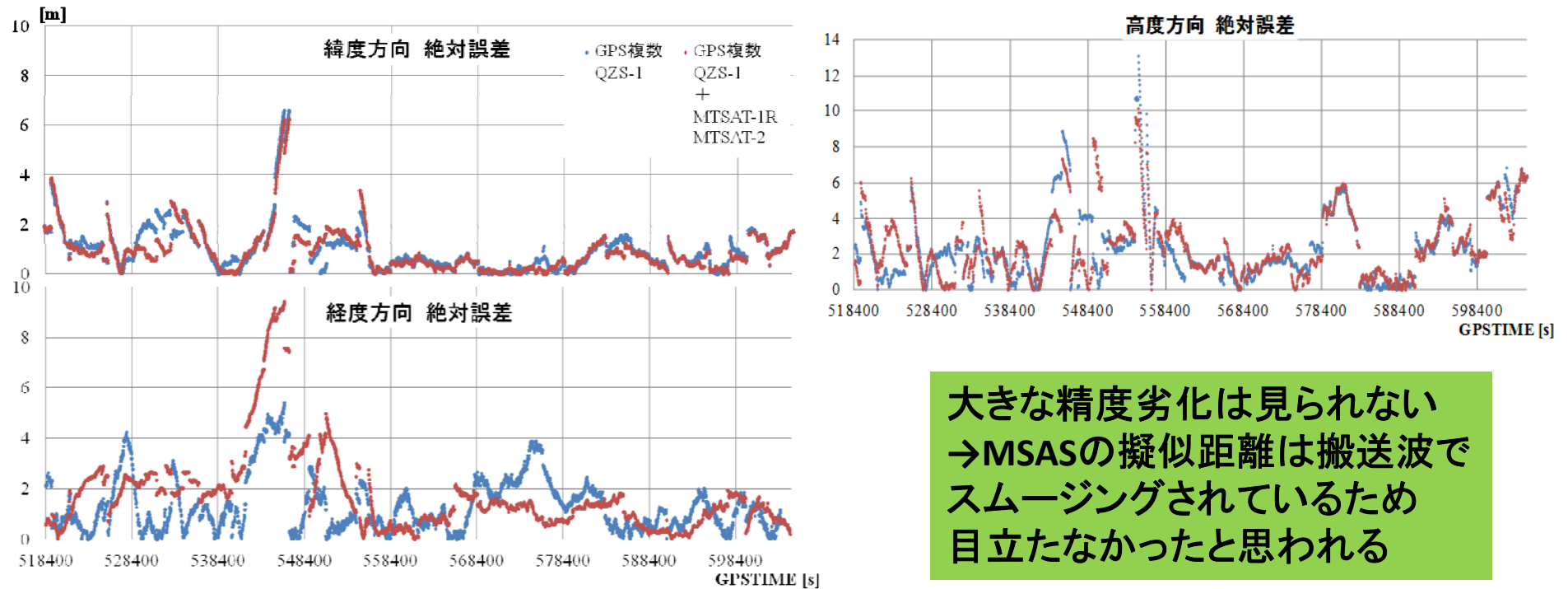
④MTSAT-1R, MTSAT-2, QZS-1

⇒GPS衛星と国産衛星による3衛星測位

→屋上位置(真値)と比較

→固定高度は真値を代入

3. MSAS衛星の影響について 静止実験 解析結果

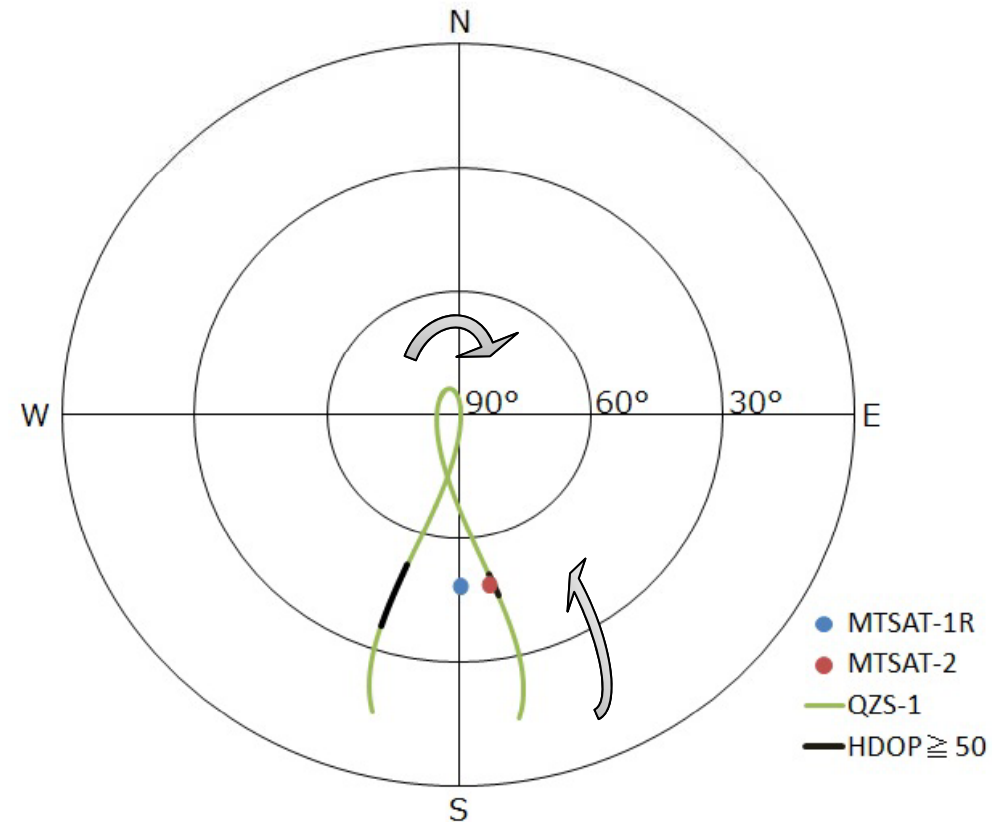


大きな精度劣化は見られない
→MSASの擬似距離は搬送波で
スムージングされているため
目立たなかったと思われる

平均	HDOP	絶対誤差 [m]				標準偏差 [m]	
		緯度	経度	水平	高度	水平	高度
GPS,QZS-1	1.15	0.99	1.33	1.84	2.38	1.18	1.95
+MSAS	0.99	0.91	1.77	2.11	2.48	1.75	1.81

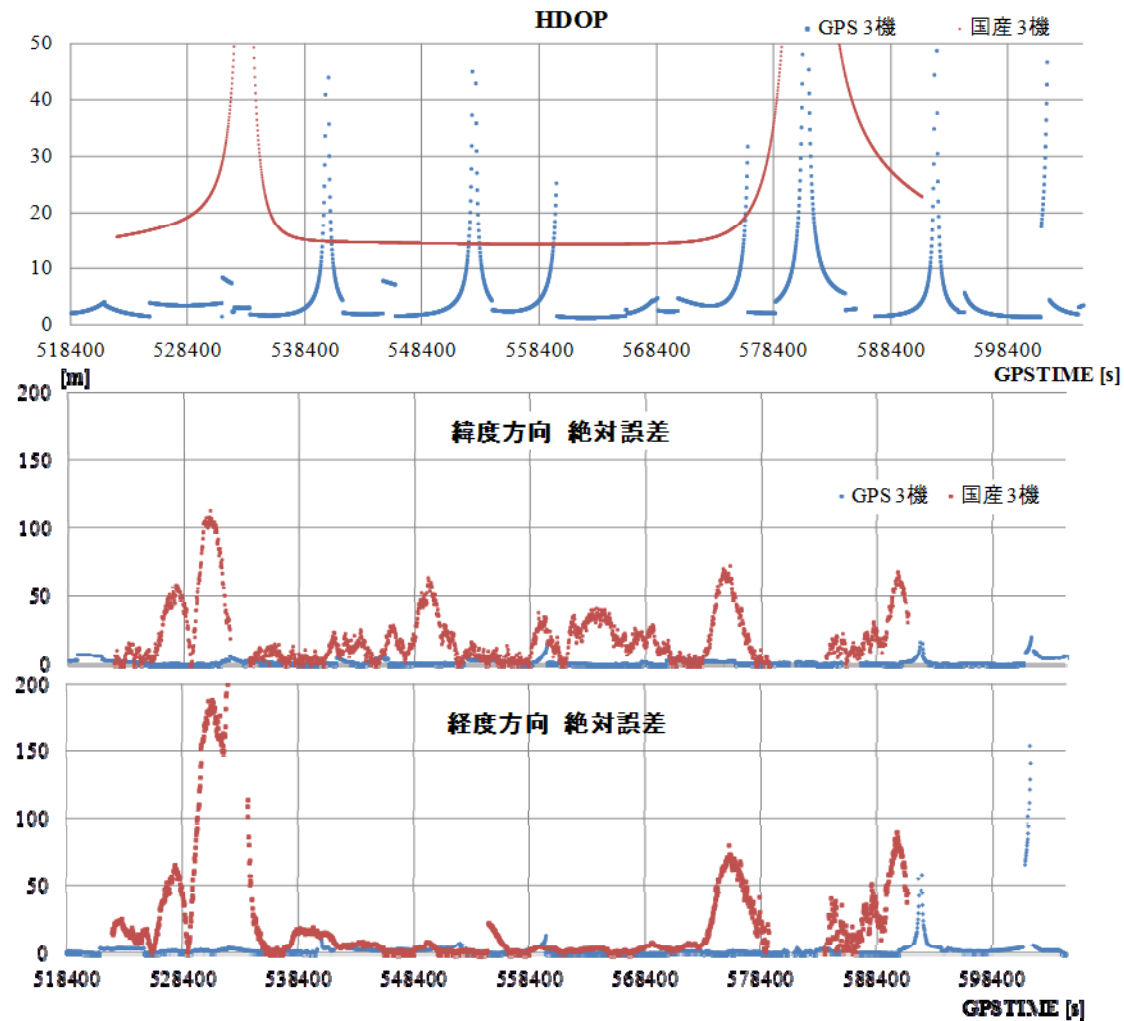
3. 3衛星測位 静止実験 解析方法

HDOPが50以下の場合のみ
位置を求めるよう制限して測位



条件		24時間中測位可能時間	
③	QZS-1の仰角マスク 15° 以上	79.6%	約19時間 /24時間
	+国産3衛星のHDOP 50 以下	72.2%	約17時間 /24時間
④	GPS3衛星のHDOP 50 以下	96.7%	約23時間 /24時間

3. 3衛星測位 静止実験 解析結果



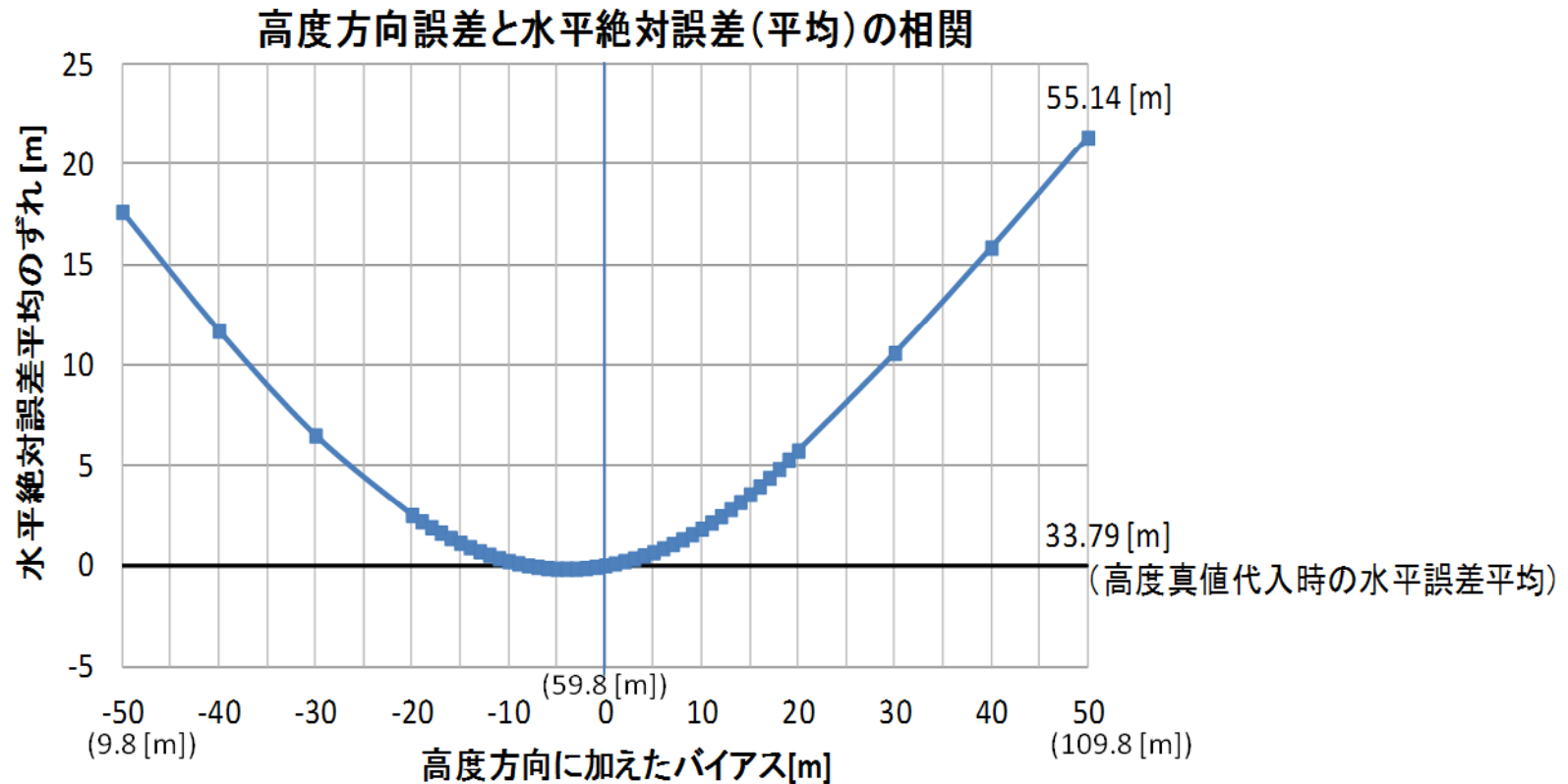
HDOPと水平精度の関係
(国産/GPS)

HDOP : $18.7/4.64 = 4.0$

水平精度 : $39.9/8.6 = 4.6$

平均	HDOP	絶対誤差 [m]			標準偏差 [m]
		緯度	経度	水平	水平
GPS 3機	4.64	2.04	3.04	4.05	8.63
国産 3機	18.7	21.3	22.3	33.8	39.9

3. 3衛星測位 静止実験 高度方向誤差と水平誤差平均



- ・国産衛星3機による解析
真値高度の59.8[m]からそれぞれバイアスを加え、24時間計算
真値水平位置からの絶対誤差を24時間平均

海上において(台風時を除いて)高度真値は2,3m以内程度で決定可能

4. 移動体実験 概要

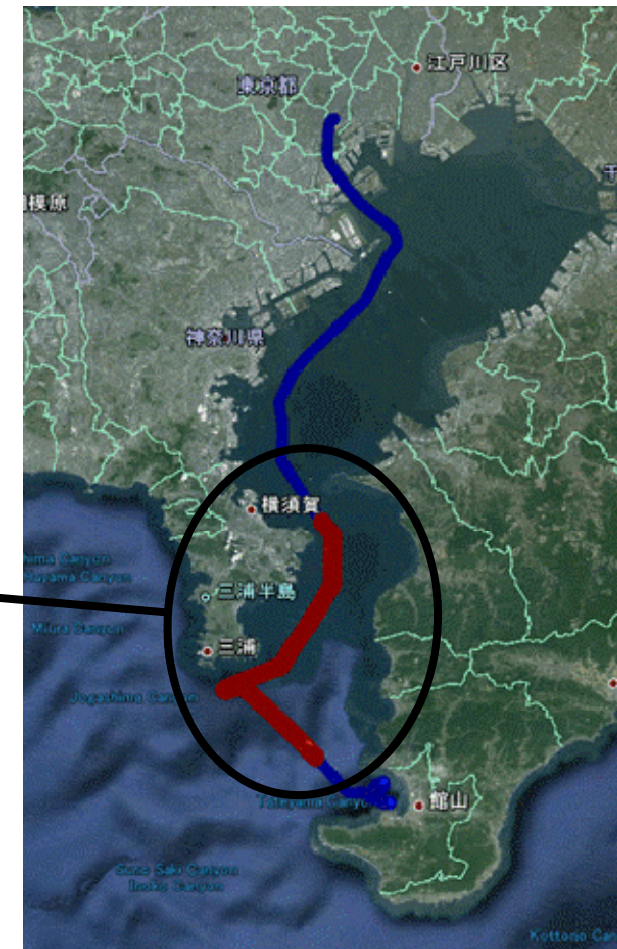
東京海洋大学保有の練習船

(コンパスデッキにアンテナを設置)

- ・勝どき桟橋を2011年7月 26日9時に出航
- ・仰角マスク : 15°
- ・解析周期 : 1 [s]
- ・解析データ : 赤線

2011年7月 26日

12:40～14:30 (約110分:6800秒)



青線: 7/26 9:00～7/27 9:00
(24時間データ)

Google earth より

4. 移動体実験 -解析方法-

③GPS衛星

④MTSAT-1R, MTSAT-2, QZS-1

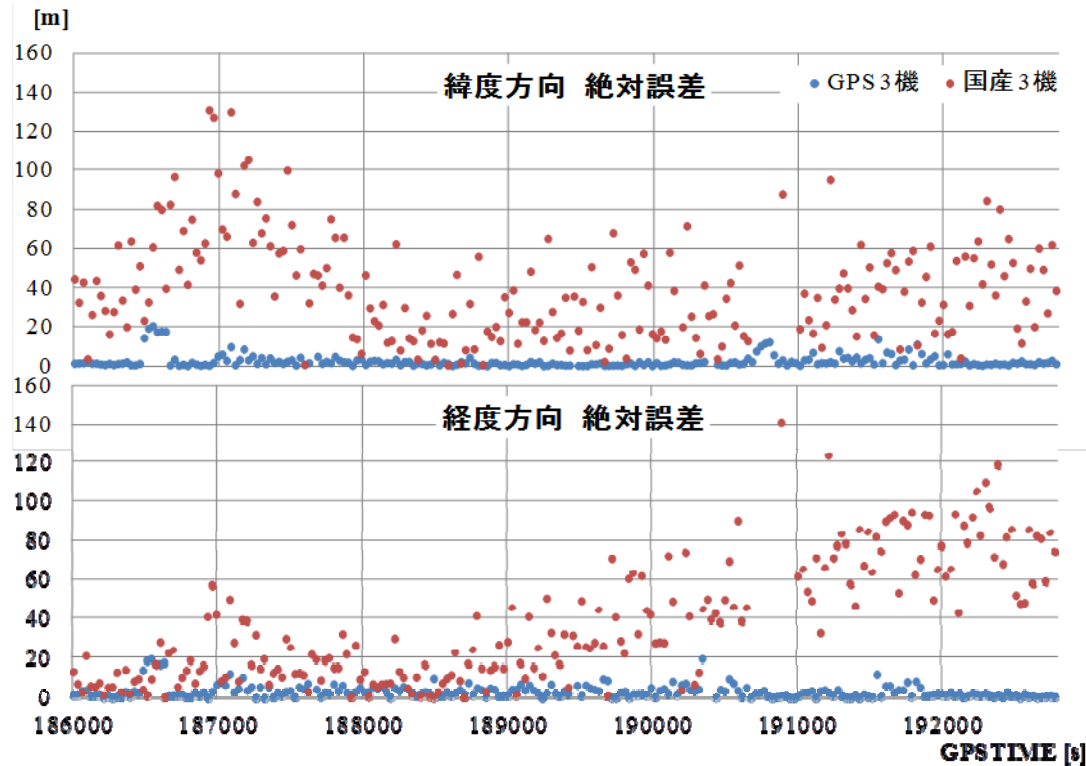
⇒GPS衛星と国産衛星による3衛星測位

→固定高度は (ジオイド平均 + コンパスデッキの高さ) を使用 →約47m

(潮汐は無視)

→3衛星測位で比較評価 (GPS3機 または MSAS2機 + QZS) を実施

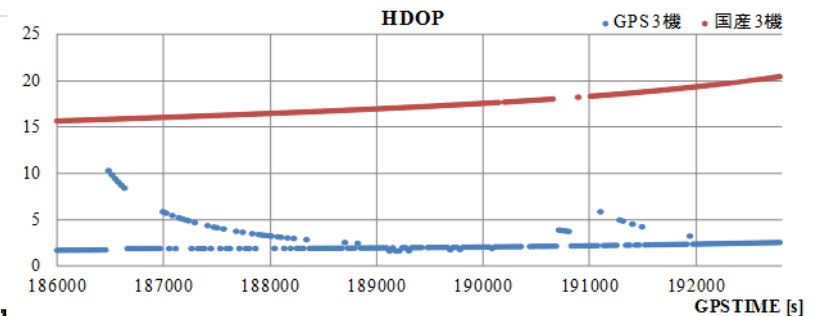
4. 3衛星測位 移動体実験 解析結果



HDOPと水平精度の関係
(国産/GPS)

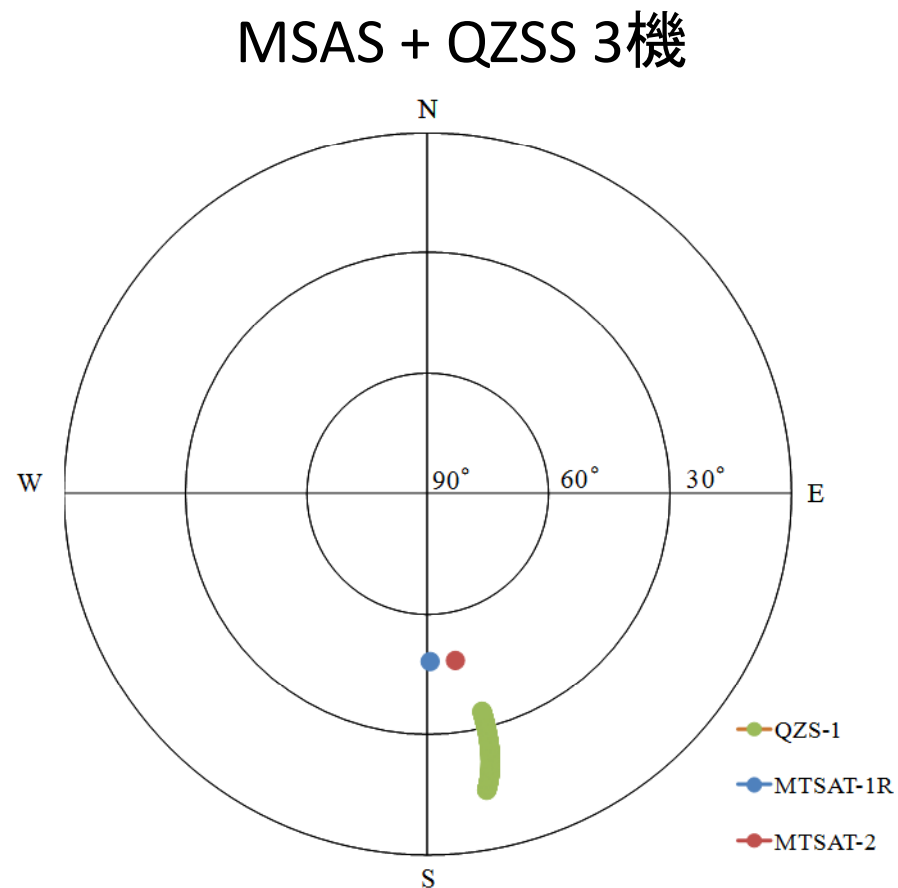
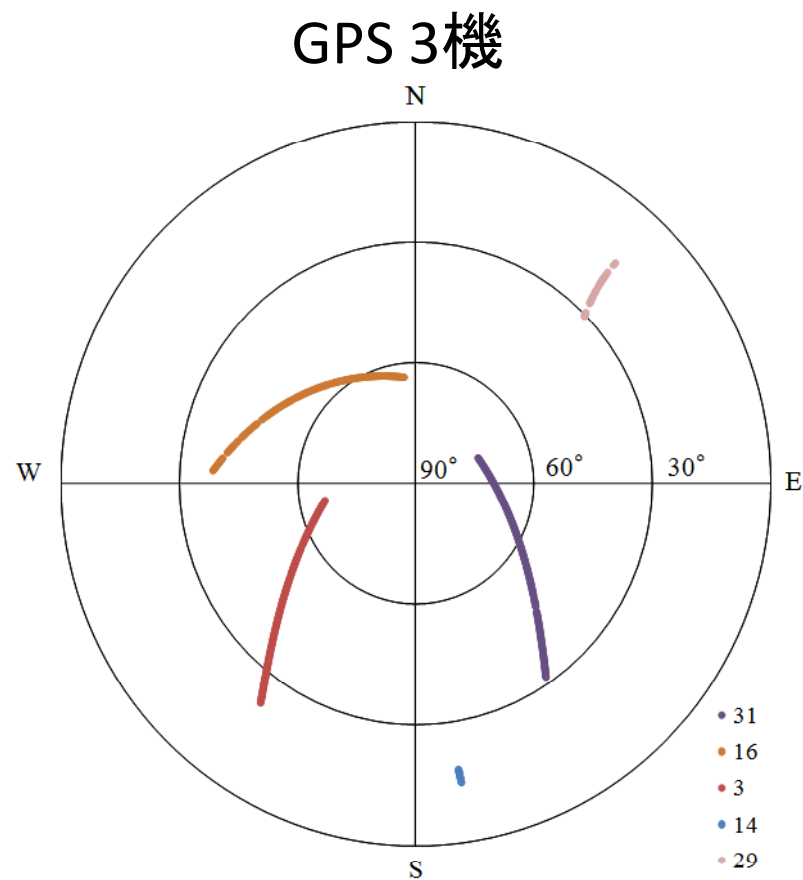
$$\text{HDOP} : 17.5/2.7 = 6.5$$

$$\text{水平精度} : 33.4/4.6 = 7.3$$



平均	HDOP	絶対誤差 [m]			標準偏差 [m]
		緯度	経度	水平	水平
GPS 3機	2.71	2.44	3.32	4.46	4.58
国産 3機	17.5	38.8	37.5	58.5	33.4

4. 3衛星測位 衛星配置の時間経過



HDOP	GPS 3機	国産 3機
平均	2.7	17.5

発表の内容

•背景と目的

- 現在の衛星測位システム
- 日本の衛星測位システム

•測位計算の理論と概要

- 3衛星測位計算
- 座標系

•実験

- 静止実験
- 移動体実験

•まとめ

5. まとめ

◆国産3衛星のみでの測位が可能

- 数10m～200mの精度(1日で70%以上の時間帯)
 - 海上等オープンスカイで有効。バックアップとして役に立たないことはない。
 - DOPと測位精度の関係性**が静止、移動実験で示された。

◆更なるQZSS衛星の増加(来月発表予定)

- 4機(～7機)体制に
 - 利便性向上(ほぼ100%へ) + 精度向上**
- ⇒国産の擬似距離の精度が示されたことにより、**4機、7機体制のシミュレーションがより実データに近い形で可能。**

◆今回は高度支援の3衛星測位

- 高度支援に限らない情報による測位(もっといいアイデアはないか)
 - 例えば準天頂の特徴から1-2機のみ天頂付近に見えていて**+何らかの情報**である程度の精度が得れるような複合シームレス測位への展開
 - すでにルビジウム発振器による時計誤差固定は検証済み

静止実験 MSASの影響

平均	HDOP	絶対誤差 [m]				標準偏差 [m]		水平方向 [m]	
		緯度	経度	水平	高度	水平	高度	1dRMS	2dRMS
GPS,QZS-1	1.15	0.99	1.33	1.84	2.38	1.18	1.95	2.19	4.37
+MSAS	0.99	0.91	1.77	2.11	2.48	1.75	1.81	2.74	5.48

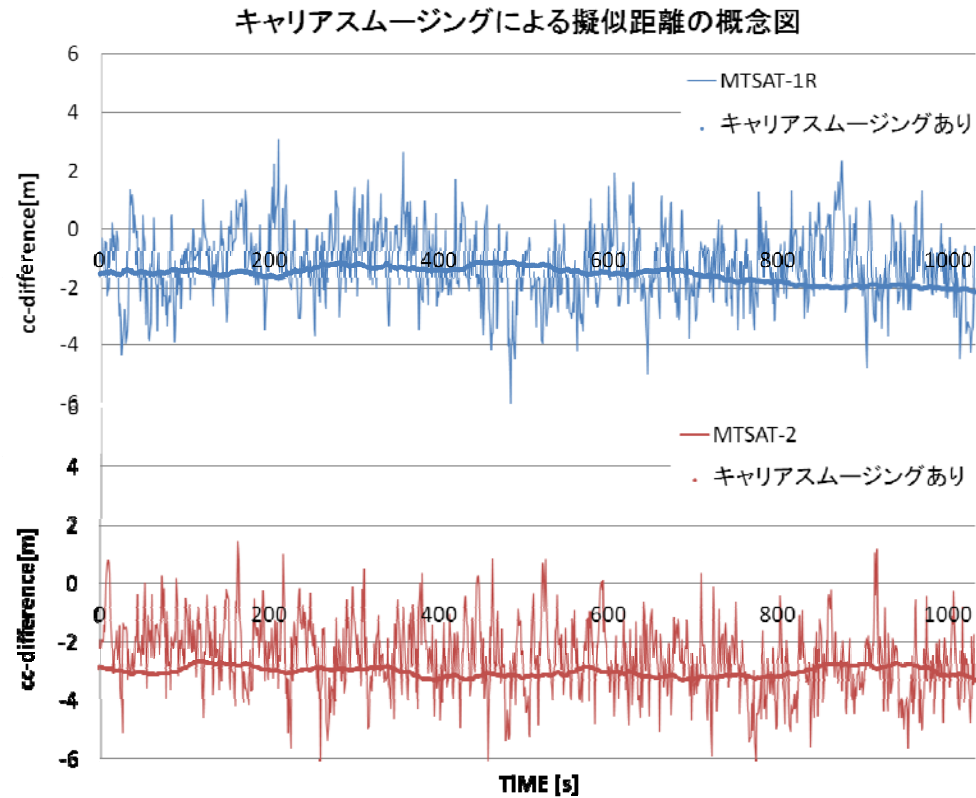
静止実験 3衛星測位

平均	HDOP	絶対誤差 [m]			標準偏差 [m]	水平方向 [m]	
		緯度	経度	水平	水平	1dRMS	2dRMS
GPS 3機	4.64	2.04	3.04	4.05	8.63	9.54	19.07
'国産 3機	18.74	21.25	22.31	33.79	39.90	52.3	104.6

移動体実験 3衛星測位

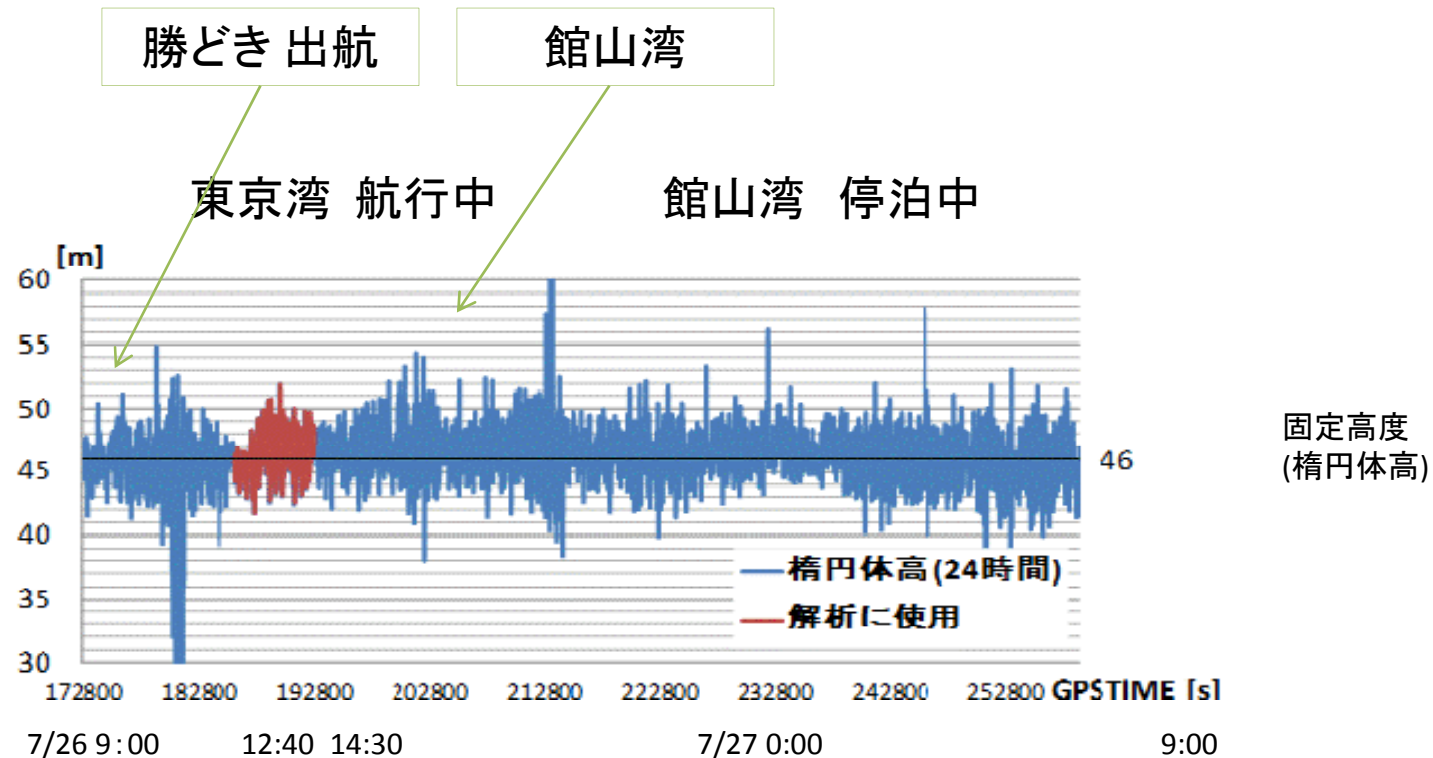
平均	HDOP	絶対誤差 [m]			標準偏差 [m]	水平方向 [m]	
		緯度	経度	水平	水平	1dRMS	2dRMS
GPS 3機	2.71	2.44	3.32	4.46	4.58	6.39	12.8
'国産 3機	17.5	38.8	37.5	58.5	33.4	67.3	134.7

擬似距離のスムージング



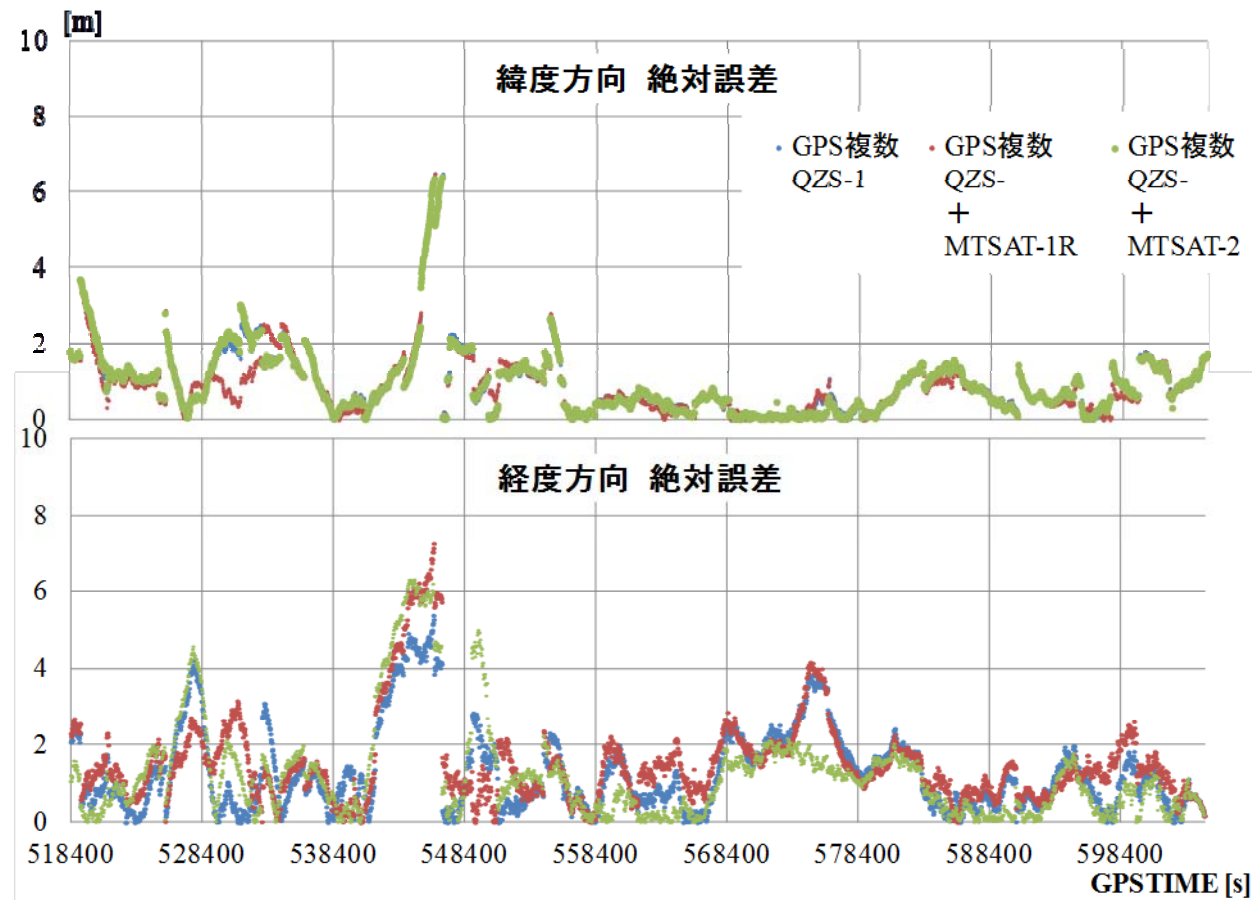
標準偏差[m]	MTSAT-1R	MTSAT-2	QZS-1	
キャリアスムージングなし	1.2	1.2	1.3	①
キャリアスムージングあり	0.26	0.17	0.07	②
改善率 ①÷②	4.8	7.6	17.3	

4. 移動体実験 -楢円体高 (DGPS測位結果より)-



	24時間	6800秒
時間内平均 [m]	46.3	46.4
標準偏差 [m]	2.7	1.8

3. MSAS衛星の影響について 静止実験 解析結果



平均	HDOP	絶対誤差 [m]			標準偏差 [m]
		緯度	経度	水平	水平
GPS,QZS-1	1.15	0.99	1.33	1.84	1.18
+MTSAT-1R	1.04	0.94	1.57	1.95	1.30
+MTSAT-2	1.03	0.97	1.26	1.77	1.38
+MTSAT(2機)	0.99	0.91	1.77	2.11	1.75