

国産の衛星測位システムによる 3衛星測位

海事システム工学科
情報コース
0821043
土倉 弘子

目次

- 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
- 衛星配置

- 実験

- 静止実験
- 移動体実験

- まとめ

背景と目的

衛星測位システムの普及
個人利用から社会インフラ

国民生活に
必要不可欠

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

- **米国 : GPS(Global Positioning System : 全地球測位システム)**
- **ロシア : GLONASS** 22機稼働中、民間用にも開放 完成間近
- **EU : Galileo** 2機実機打ち上げ
- **中国 : Compass** 民間 (中国周辺での利用) に開放を決定

各国 GPSへの依存から脱却へ

背景と目的

- 日本が保有する衛星測位システム

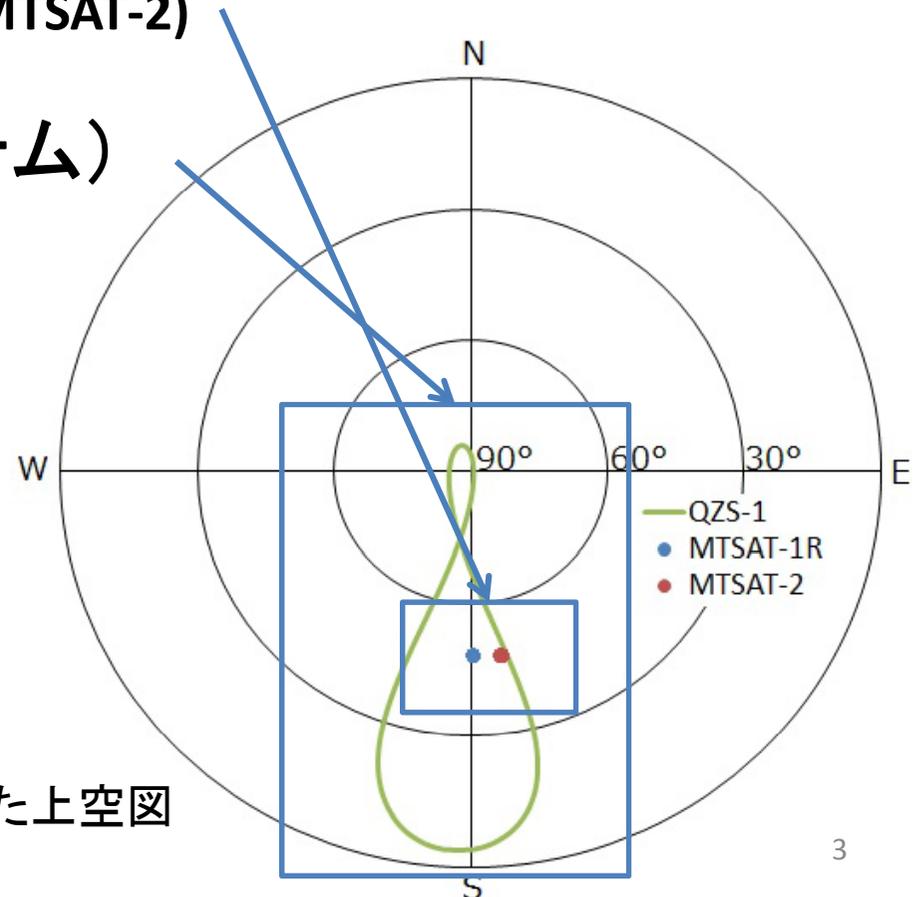
- MSAS (運輸多目的衛星用航法補強システム)

- 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)

日本周辺エリアをカバーする
地域的測位衛星システム



第四実験棟屋上から見た上空図
(24時間)

背景と目的

- 日本が保有する衛星測位システム
 - GPSの補完と補強
 - 可視衛星数の増加により精度向上
 - ⇒GPSとの併用が前提
 - 全面的に米国のGPSに依存
 - バックアップシステムがない
 - 3機運用中 → 測位可能

⇒本研究の目的

国産の衛星測位システムのみでの測位

背景と目的

–MSAS (運輸多目的衛星用航法補強システム)

レンジング機能 →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

	GPS	QZSS	MSAS
目的	測位	測位	補正(広域)
測距性能	1m以内	1m以内	1m～10m
衛星位置決定性能	1m以内	1m以内	1m～10m
運用中衛星数	31機	1機	2機

→導入

- * MSAS衛星を測距に使用するプログラム
- * 3衛星 (二次元) 測位プログラム

MSASの性能値は予測で
今後検証予定

目次

•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
- 衛星配置

•実験

- 静止実験
- 移動体実験

•まとめ

3衛星測位計算(二次元測位)

* 三次元測位

位置(x, y, z)と時計誤差(t)に関する未知数 **4個**

→ 可視衛星 **4機**以上 必要

* 3衛星測位 (二次元測位)

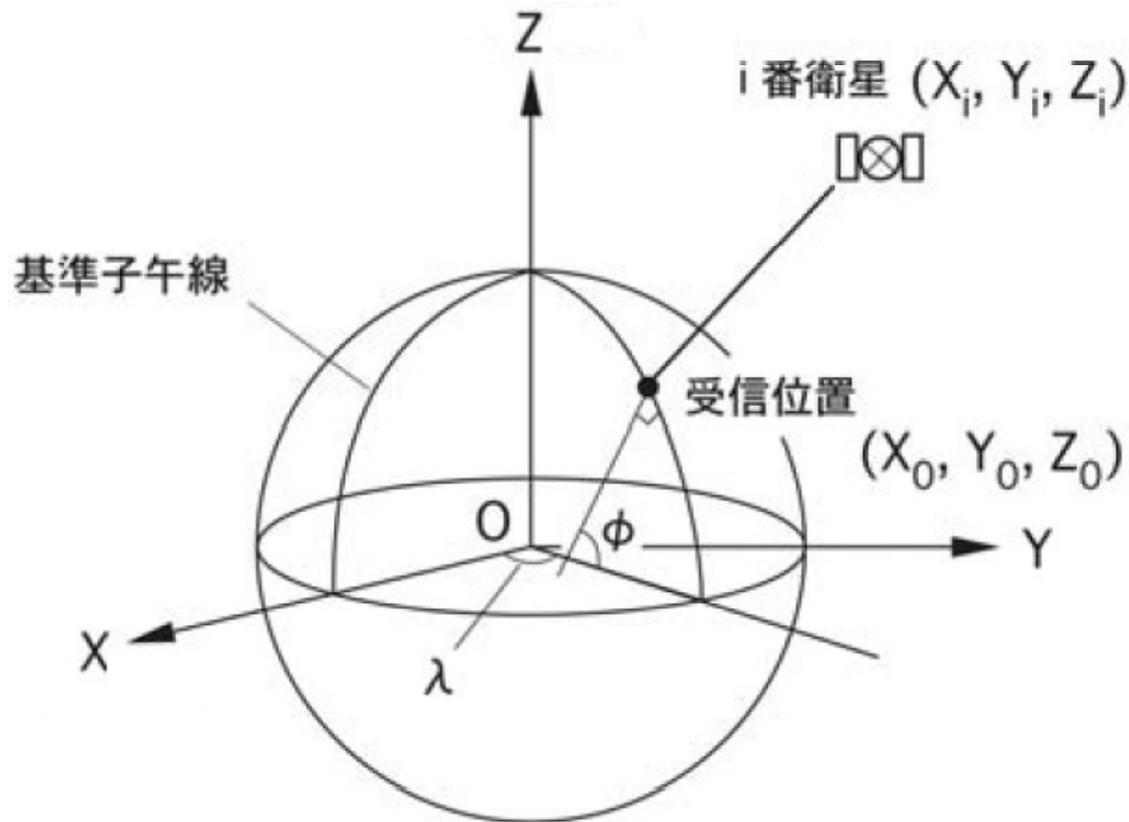
高度(楕円体高)を既知とし固定 未知数 **3個**

→ 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)

座標系

測位計算



(X, Y, Z)

地球中心・地球固定直交座標系
ECEF(Earth Centered, Earth Fixed)

(ϕ, λ, h)

測地座標系 (緯度、経度、高度)

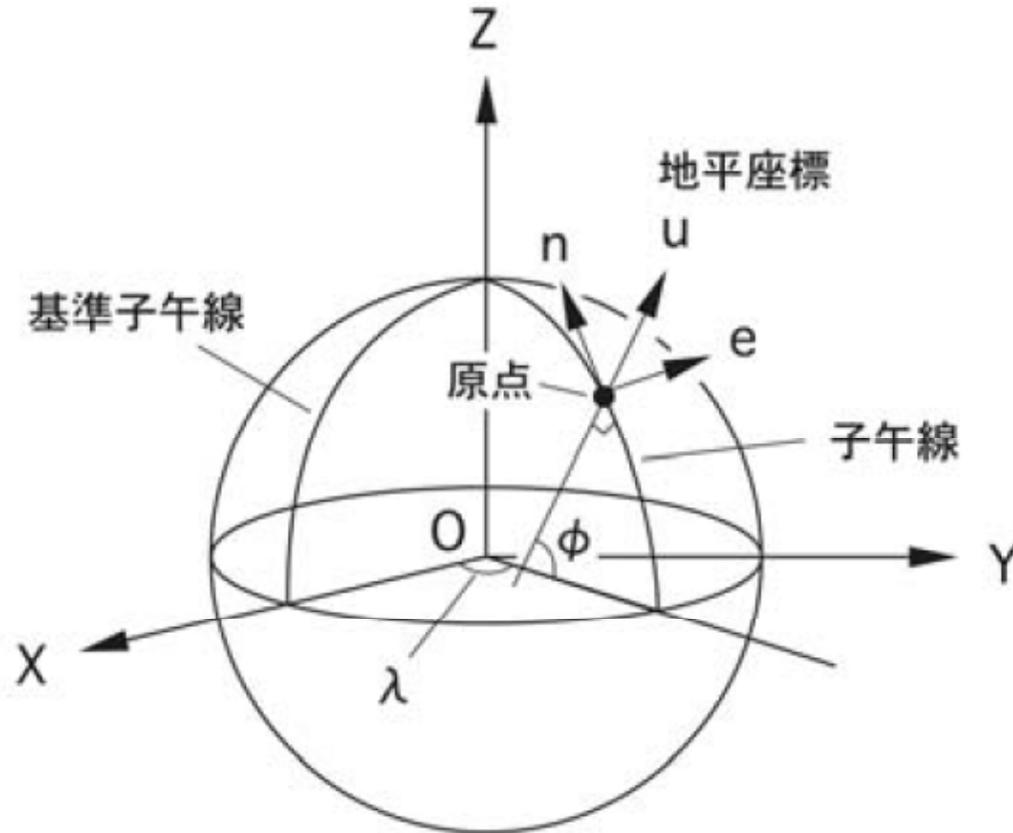
衛星位置と受信機位置
計算
 (X, Y, Z)

受信機位置
表現
 (ϕ, λ, h)

高度と (X, Y, Z) は対応していない
高度固定が不可

座標系

3衛星測位計算 (二次元測位)



(e, n, u)

地平直交座標系

衛星位置と受信機位置
 (X, Y, Z)

座標変換

衛星位置と受信機位置
計算
 (e, n, u)

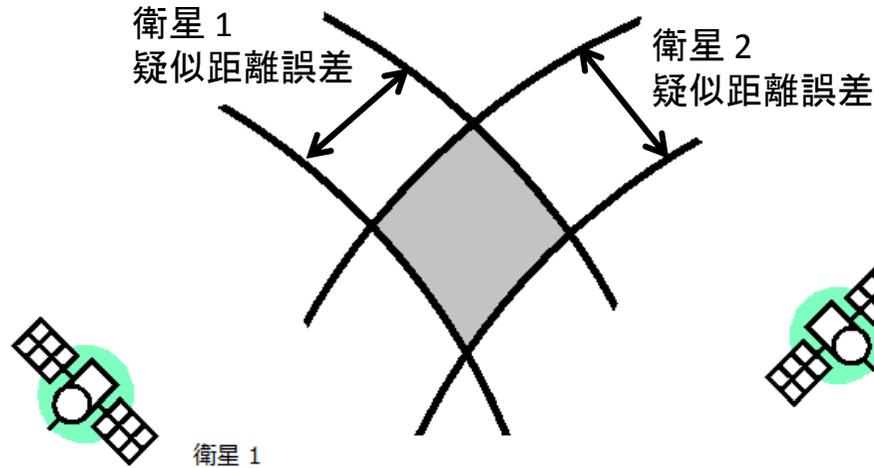
高度 $(u) \leftarrow$ 固定

受信機位置
表現
 (ϕ, λ, h)

衛星の幾何学的配置

例1)

衛星配置：良い

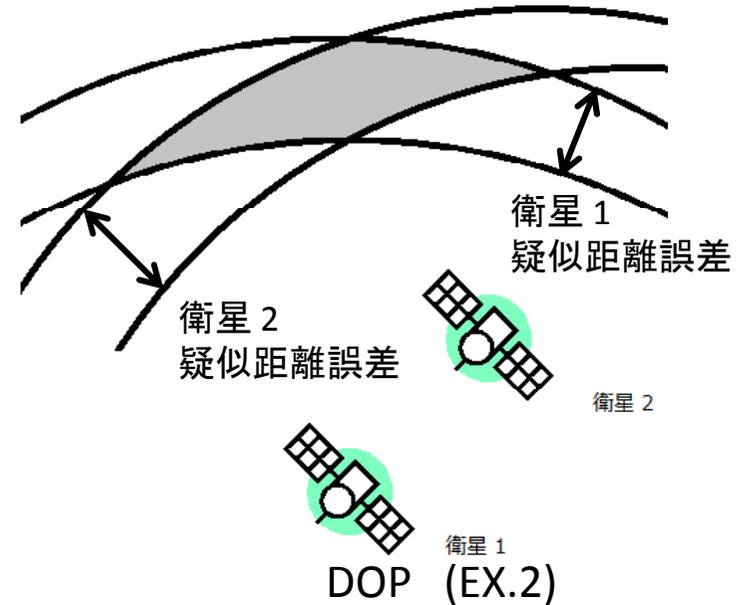


DOP (EX.1)

<

例2)

衛星配置：悪い



DOP (EX.2)

DOP (Dilution of Precision)

- 人工衛星の配置により生じる測位誤差の度合
- 小さい値ほど、誤差の要因が小さい

*HDOP
(Horizontal
水平方向)

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

目次

•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
- 衛星配置

•実験

- 静止実験
- 移動体実験

•まとめ

静止実験概要

場所 : 第四実験棟屋上 東京海洋大学越中島キャンパス

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
- 仰角マスク : 15°
- 解析周期 : 30 [s]



静止実験・解析概要

①全可視GPS衛星

②全可視GPS衛星, MTSAT-1R, MTSAT-2

実験結果 I

③GPS衛星

3衛星測位

④MTSAT-1R, MTSAT-2, QZS-1

3衛星測位

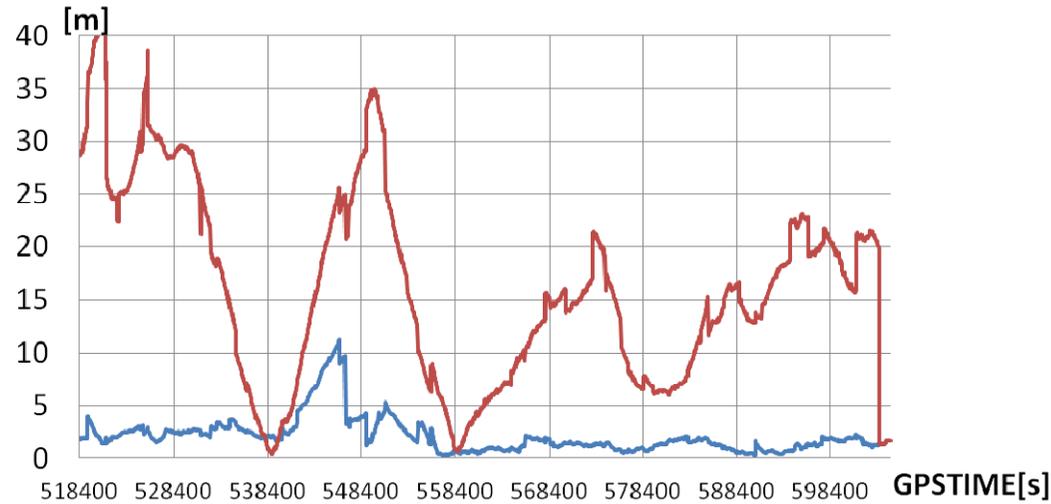
実験結果 II

→屋上位置(真値)と比較

→固定高度は真値を代入

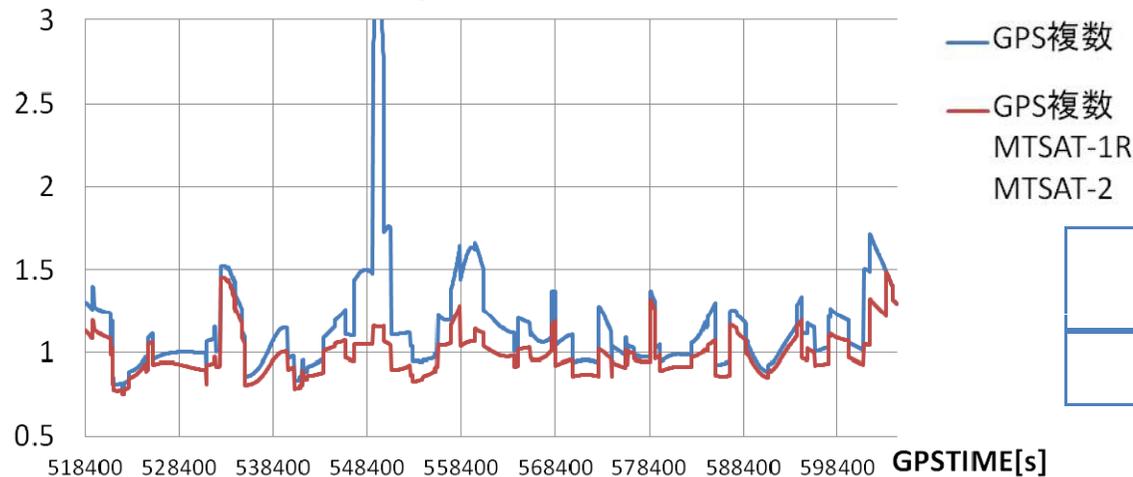
実験結果 I

時系列水平絶対誤差



	GPS	GPS+MSAS
平均 [m]	2.11	16.06
標準偏差 [m]	1.75	9.28

HDOP

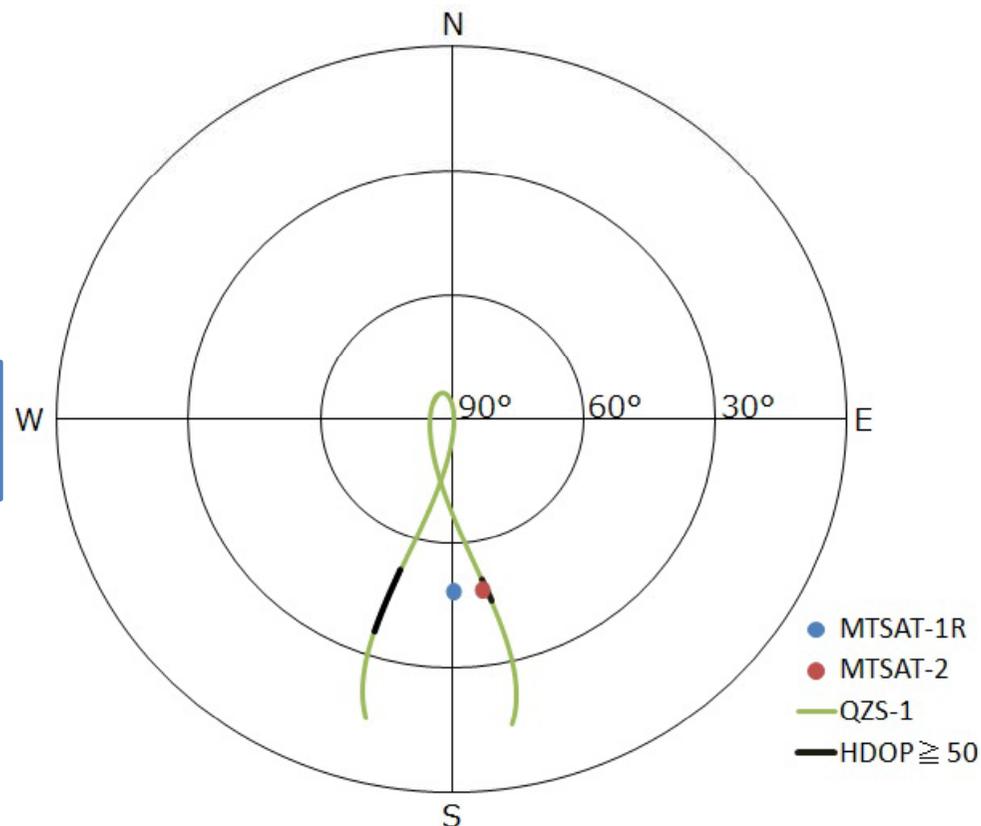


	GPS	GPS+MSAS
平均	1.15	0.99



実験結果 II (3衛星測位 衛星配置)

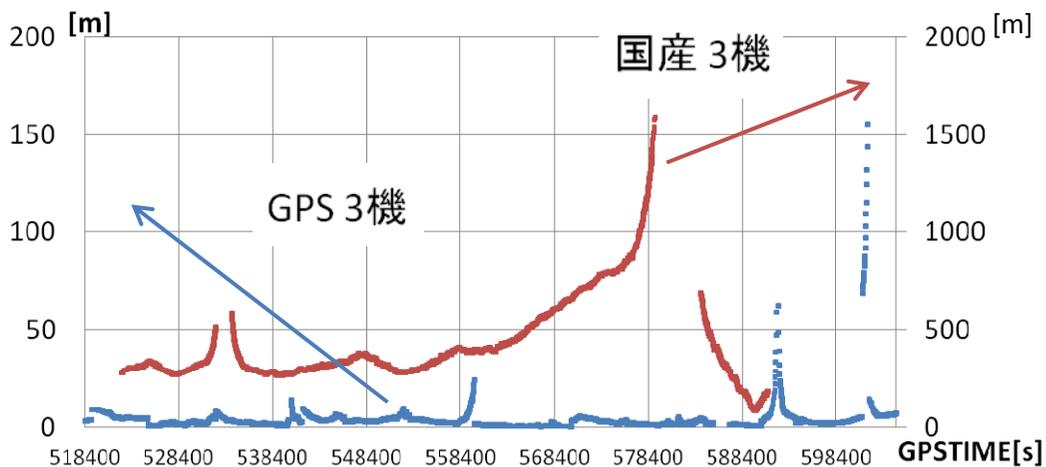
HDOPが50以下の場合のみ
位置を求めるよう制限して測位



条件		24時間中測位可能時間	
③	QZS-1の仰角マスク 15° 以上 + 国産3衛星のHDOP 50 以下	84.13%	約20時間 /24時間
④	GPS3衛星のHDOP 50 以下	96.52%	約23時間 /24時間

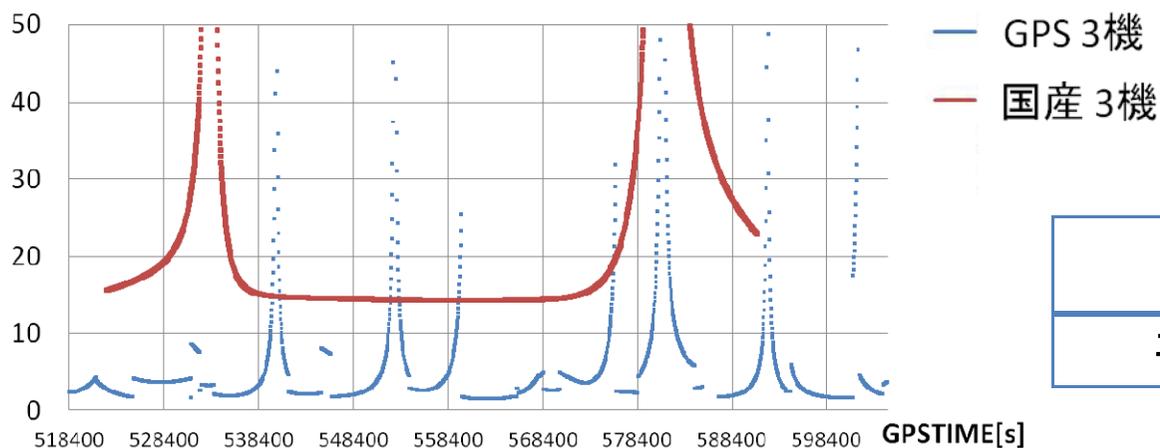
実験結果 II

時系列水平絶対誤差



	GPS 3機	国産 3機
平均 [m]	4.06	423.67
標準偏差 [m]	8.64	219.09

HDOP



	GPS 3機	国産 3機
平均	4.64	18.74

移動体実験概要

練習船 汐路丸

(コンパスデッキにアンテナを設置)

- ・勝どき棧橋を2011年7月 26日9時に出航
- ・静止実験と同条件
- ・解析周期 : 1 [s]

・解析データ

2011年7月 26日

14:00～14:30(30分)



14:00～14:30
解析に使用(30分データ)

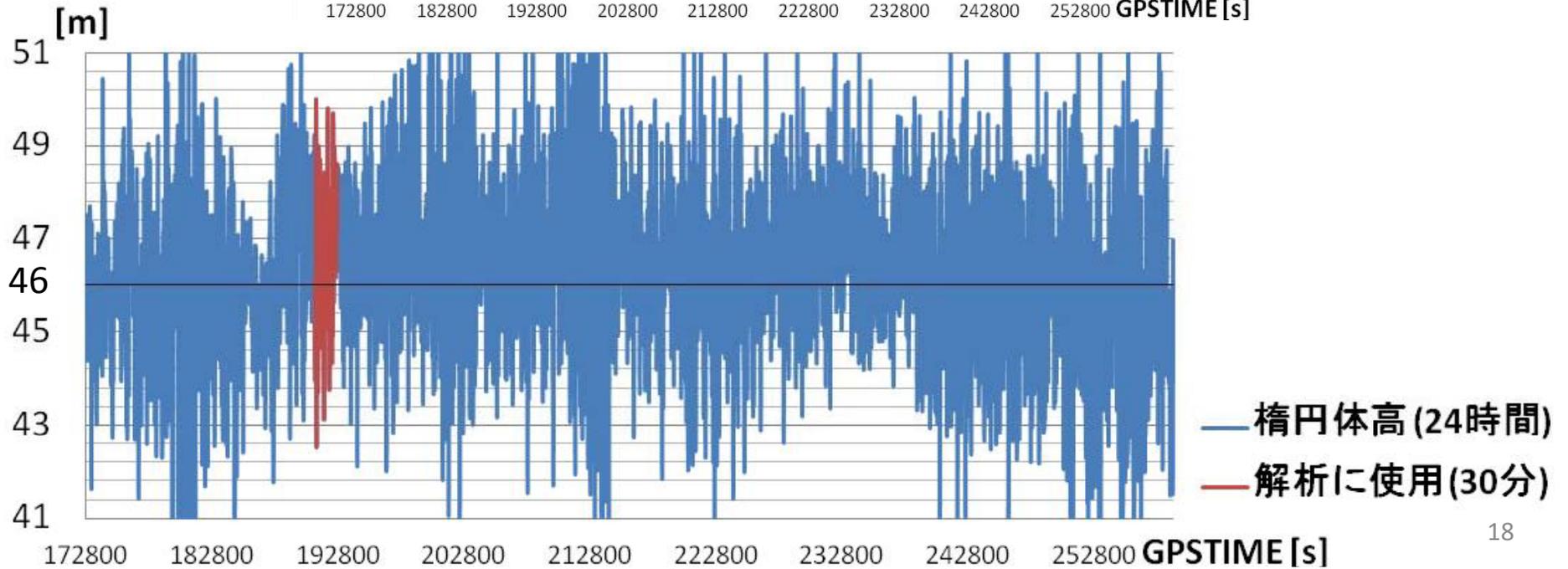
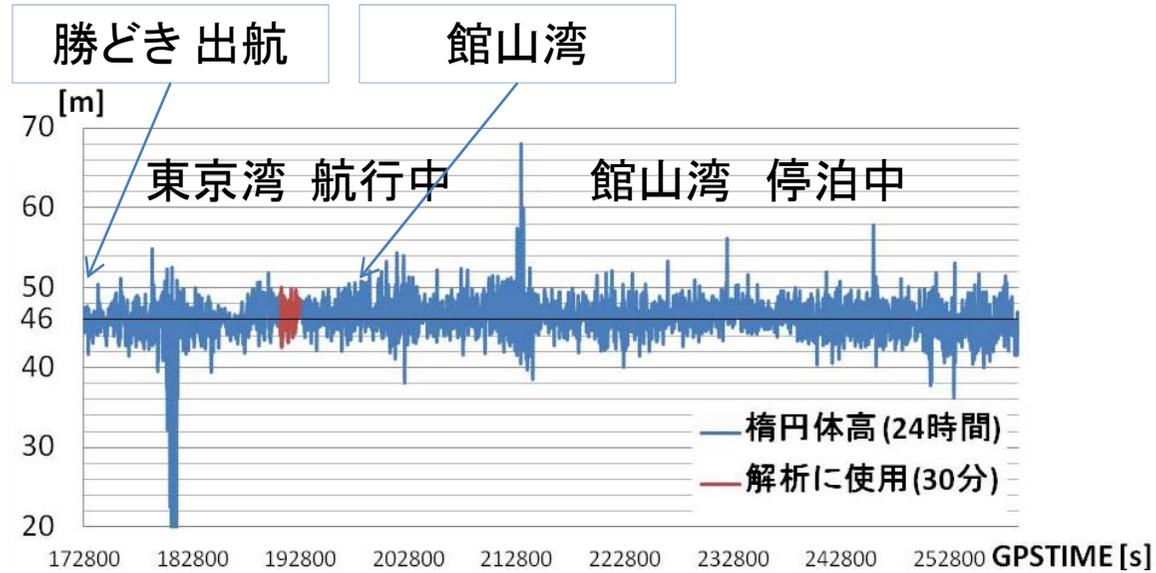


7/26 9:00～7/27 9:00
(24時間データ)

→ MTSAT-1R, MTSAT-2, QZS-1が継続して可視

Google earth より

航海中の楕円体高



移動体実験・解析概要

①全可視GPS衛星

②全可視GPS衛星, MTSAT-1R, MTSAT-2

実験結果 I

③GPS衛星

3衛星測位

④MTSAT-1R, MTSAT-2, QZS-1 3衛星測位

実験結果 II

→DGPSによる測位結果(精度1~2m程度)と比較

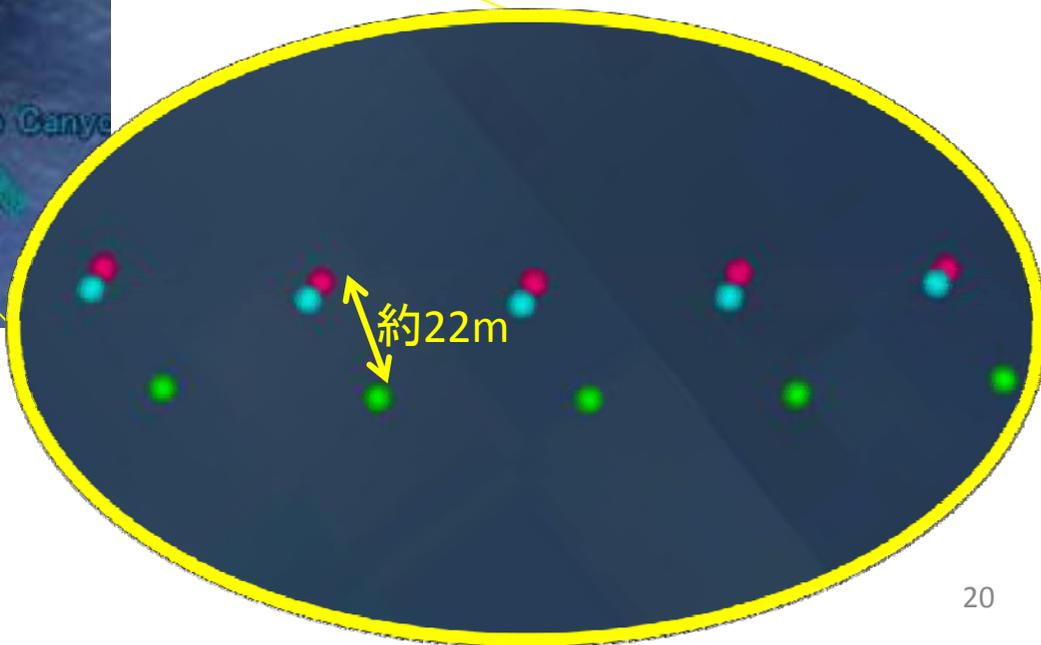
→固定高度は時間平均を代入

実験結果 I



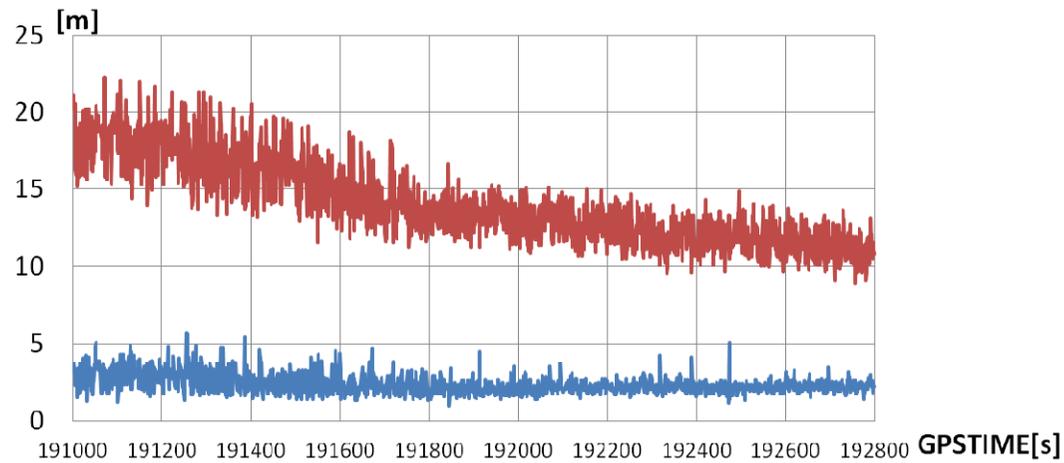
Google earth より

-  : ①GPS 衛星
-  : ②GPS衛星 + MTSAT-1R, MTSAT-2
-  : DGPS



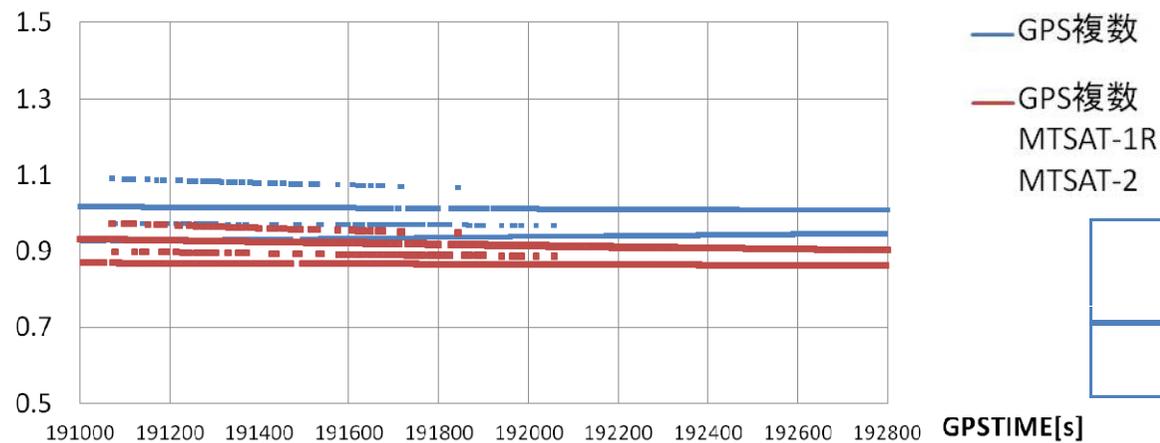
実験結果 I

時系列水平絶対誤差



	GPS	GPS+MSAS
平均 [m]	2.35	14.10
標準偏差 [m]	0.62	2.72

HDOP



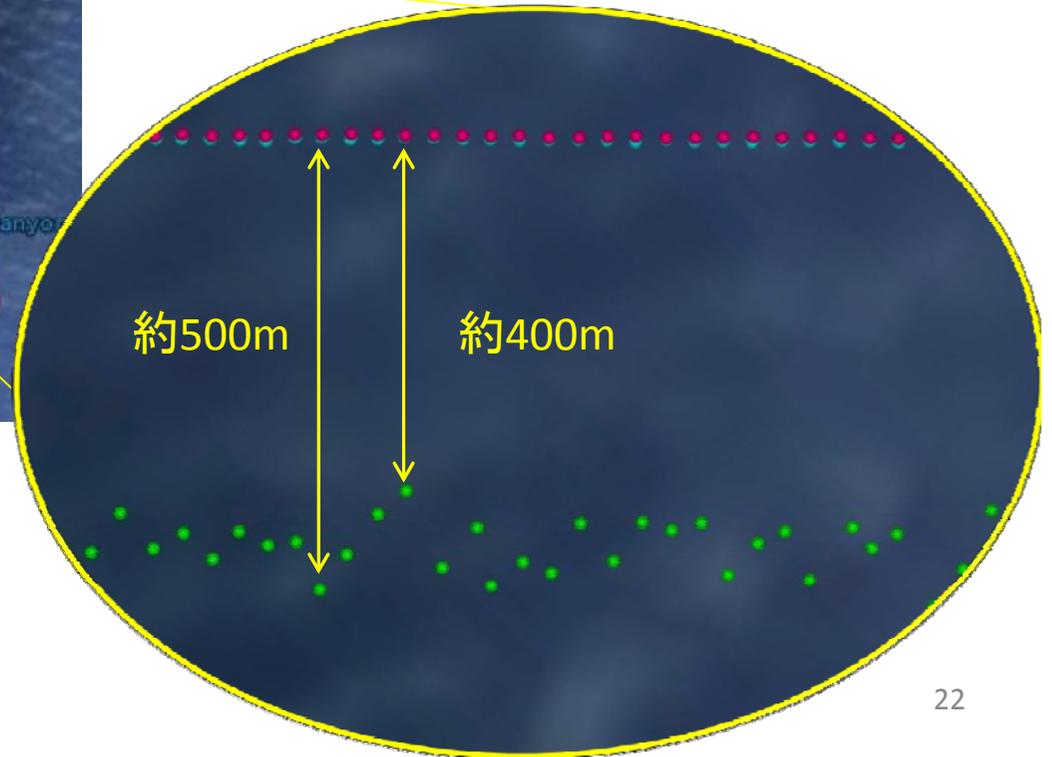
	GPS	GPS+MSAS
平均	0.98	0.89

実験結果 II



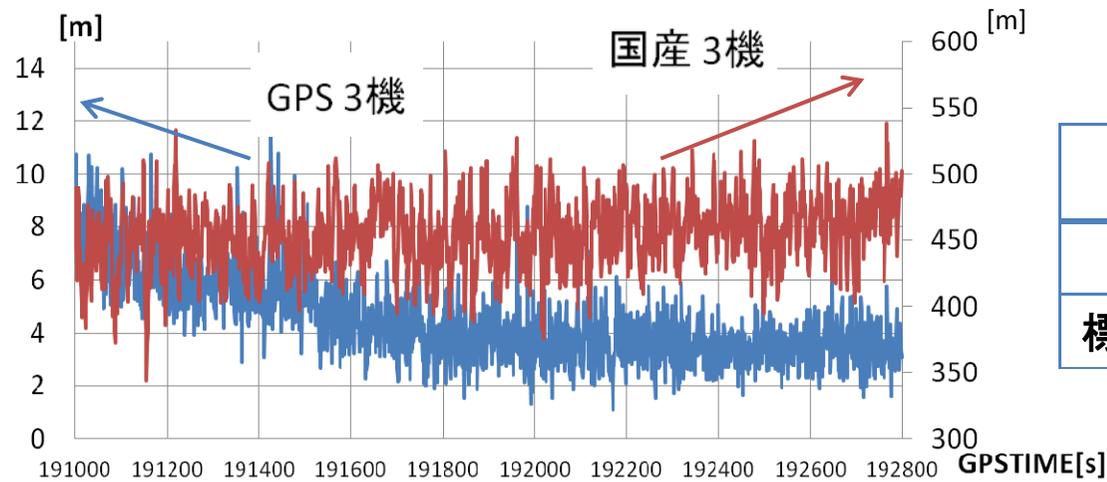
Google earth より

-  : ③GPS 衛星 3機 (31, 30, 23)
-  : ④MTSAT-1R, MTSAT-2, QZS-1 3機
-  : DGPS



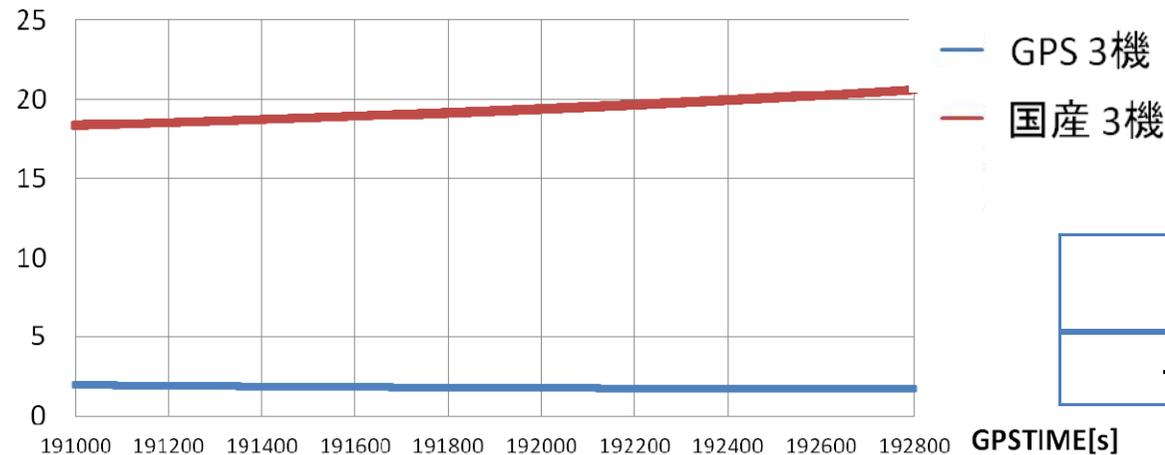
実験結果 II

時系列水平絶対誤差



	GPS 3機	国産 3機
平均 [m]	4.48	454.32
標準偏差 [m]	1.58	25.78

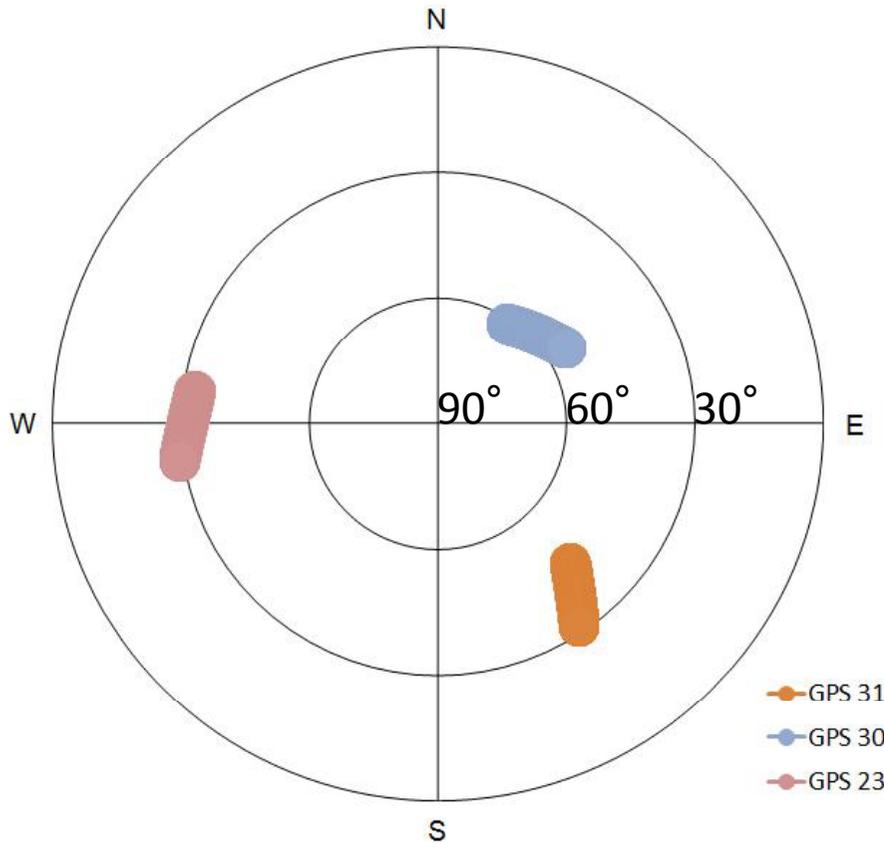
HDOP



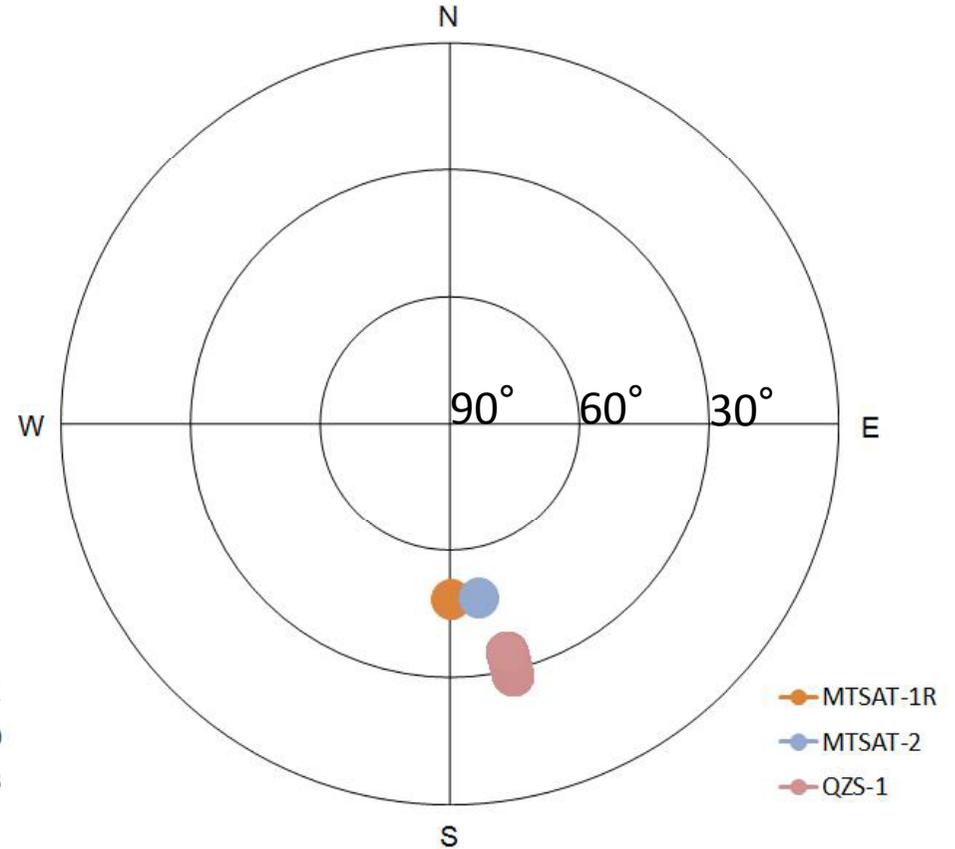
	GPS 3機	国産 3機
平均	1.77	19.35

移動体実験衛星配置

GPS 3機



MSAS + QZSS 3機



HDOP	GPS 3機	国産 3機
平均	1.77	19.35

目次

•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
- 衛星配置

•実験

- 静止実験
- 移動体実験

•まとめ

まとめ

- 国産3衛星のみでの測位が可能

 - ⇒ 数10m～数100mの精度

 - 海上において、有効性は高い

 - バックアップ、通常時における精度・信頼性の向上

- 更なるQZSS衛星の増加

 - ⇒ 4機（～7機）体制に

ありがとうございました。

単独測位計算

地球上の位置はECEF直交座標系で表現、計算される。
受信機の位置 (x,y,z) と、 i 機の衛星の位置 (x_i,y_i,z_i) と疑似距離 (r_i) 、光速 (c) 、時計誤差 (δ) より、

$$r_i = \rho_i + c\delta$$

$$\rho_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2}$$

と表現され、最小二乗法により、

$$\Delta r_i = \frac{\partial r_i}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial r_i}{\partial y} \Delta y + \frac{\partial r_i}{\partial z} \Delta z + \frac{\partial r_i}{\partial s} \Delta s$$

初期値を更新し、真値を導く。

2次元測位計算

ECEF直交座標系でのZ軸座標を既知値(Z)とすると、それぞれの初期値は x_0, y_0, Z, s_0 となる。それぞれ衛星の疑似距離は

$$r_1^0 = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 + (z_1 - Z)^2} + s_0$$

$$r_2^0 = \sqrt{(x_2 - x_0)^2 + (y_2 - y_0)^2 + (z_2 - Z)^2} + s_0$$

⋮

$$r_n^0 = \sqrt{(x_n - x_0)^2 + (y_n - y_0)^2 + (z_n - Z)^2} + s_0$$

と表され最小二乗法で求める。今回は衛星数を3機に制限しているため、 $n = 3$ であり、3本の式となる。

2次元測位計算

最小二乗法により、更新すべき次の初期値が

$$x_1 = x_0 + \Delta x$$

$$y_1 = y_0 + \Delta y$$

$$z_1 = Z \quad (\Delta z = 0)$$

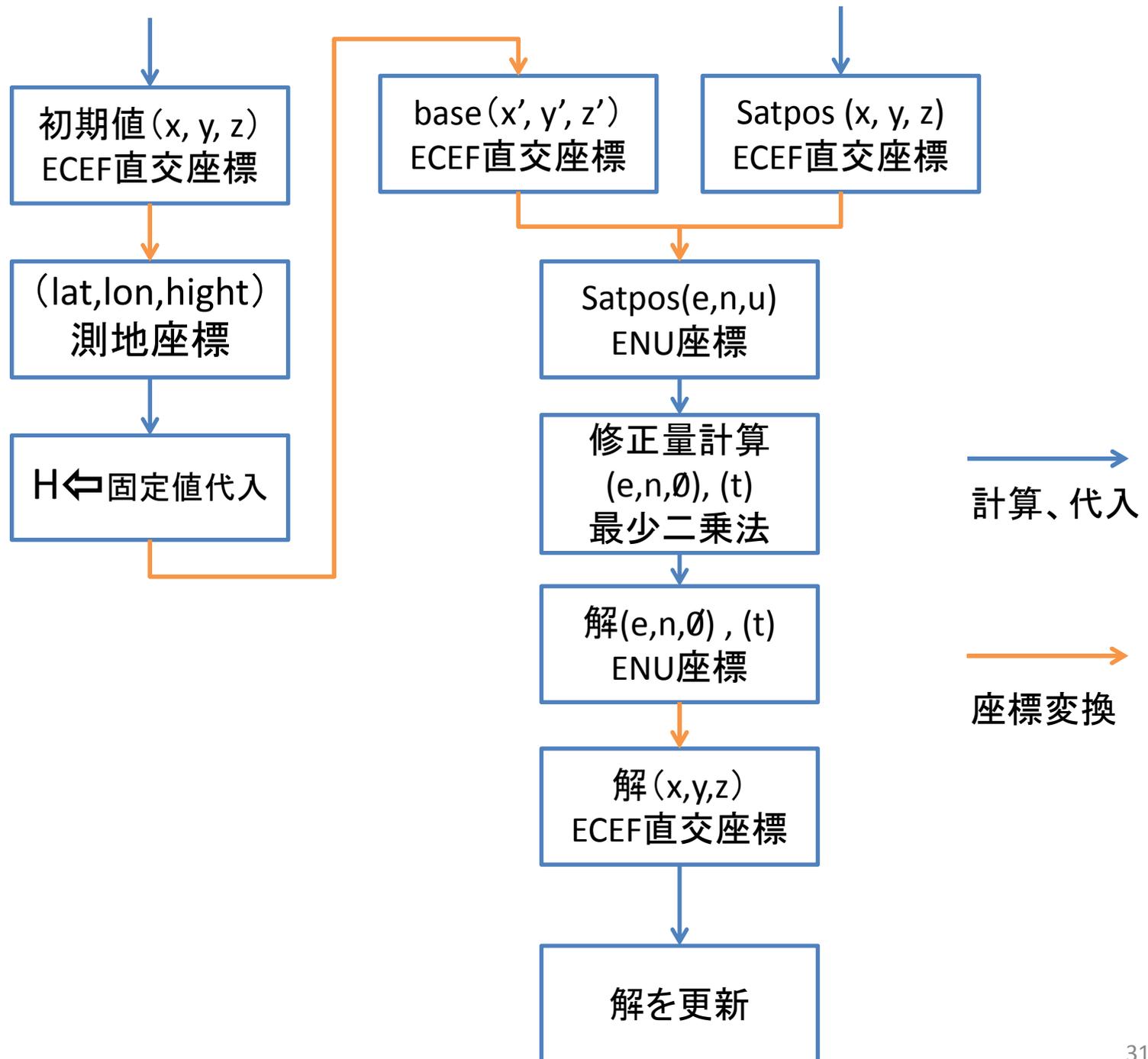
$$s_1 = s_0 + \Delta s$$

となり、 z が更新されない。 $z_0 = z_1 = \dots = z_n = Z$

$$\Delta r_i = \frac{\partial r_i}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial r_i}{\partial y} \Delta y + \boxed{\frac{\partial r_i}{\partial z} \Delta z} + \frac{\partial r_i}{\partial s} \Delta s$$

↑
0

また、測位計算の式でも上記により、実際に扱うのは3行x3列の行列計算となる。



計算方法 - Z軸位置固定

- DGPSで計算したZ軸値 (ECEF座標) を保存

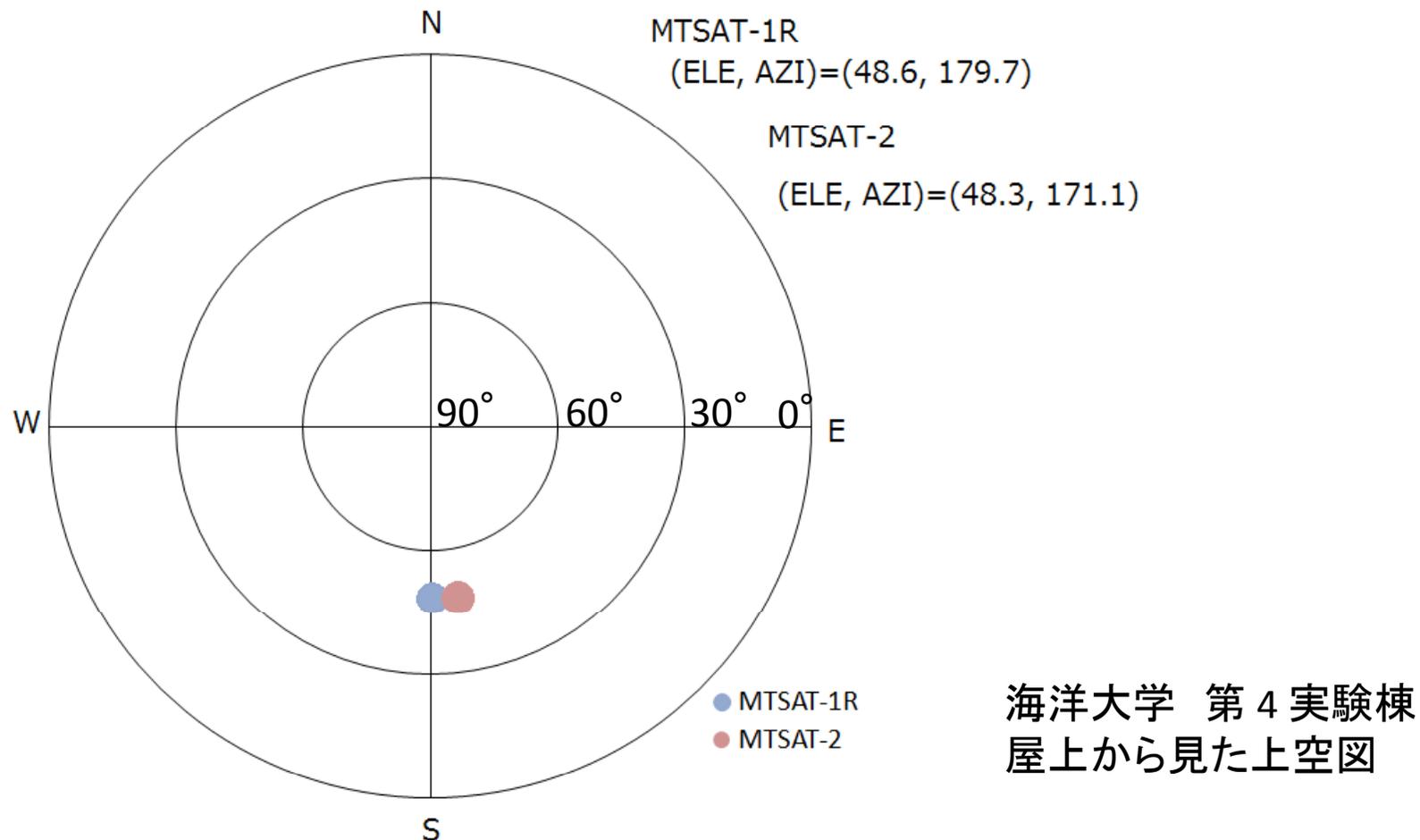


- 逐次読み込み、Z軸値へ代入、計算

172801	3697447
172802	3697446
172803	3697446
172804	3697447
172805	3697445
172806	3697443
172807	3697446
172808	3697446
172809	3697445
172810	3697446
172811	3697444
172812	3697444
172813	3697447
172814	3697445
172815	3697445
172816	3697447
172817	3697445
172818	3697446
172819	3697446
172820	3697444
172821	3697445
172822	3697445
172823	3697445
⋮	
⋮	
⋮	

Z ←

MSAS衛星の幾何学的配置



ほぼ同位置⇒MSAS衛星2機の衛星配置は非常に**悪い**

高仰角で可視⇒GPS測位の補完、都市部での**可視衛星数増加**