

# GPS単独測位における 高精度化に関する研究

東京海洋大学 情報通信工学研究室

喬 耘

指導教官 安田 明生



# 発表写真 その2



# 研究の背景

- 通常のGPS単独測位  
数m ~ 10m程度の精度
- 相対測位 (DGPS、RTK-GPS) の**必要条件**  
正確な位置が既知である基準局の設置  
基準局の補正データを移動局に転送  
基線長の制限
- 精密単独測位  
単独測位の利便性と相対測位の高精度化が統合される  
**受信機1台だけ**で位置を精密に決定する  
コード方式で**1m以内の精度**が得られる  
搬送波位相方式で**cmオーダーの精度**が得られる

# 研究の目的

- 1周波受信機による単独測位精度の向上

  - GPS精密暦による衛星位置の計算と時計の補正

  - GIM(Global Ionosphere Maps)による電離層遅延量の推定

  - DCBs (Differential Code Biases) の補正

  - キャリアスムージングの利用

- 精密衛星暦とGIMのリアルタイム性の検証

  - Predictedデータ(予測)とFinalデータ(実測)の比較

# 精密暦とエフェメリスの特徴

	精密暦 (Final)	放送暦 (エフェメリス)
衛星位置精度	5cm	2 ~ 3m
時計精度	3cm	2 ~ 3m
データ	15分毎の表形式三次元位置 (SP3ファイル)	軌道パラメータ
取得手段	IGSのFTPサイト	航法メッセージ

- 多項式内挿アルゴリズム

$$C = A_0 + A_1T + A_2T^2 + \dots + A_N T^N$$

ただし

$C$  ECEF座標 $X, Y, Z$ , と時計補正值

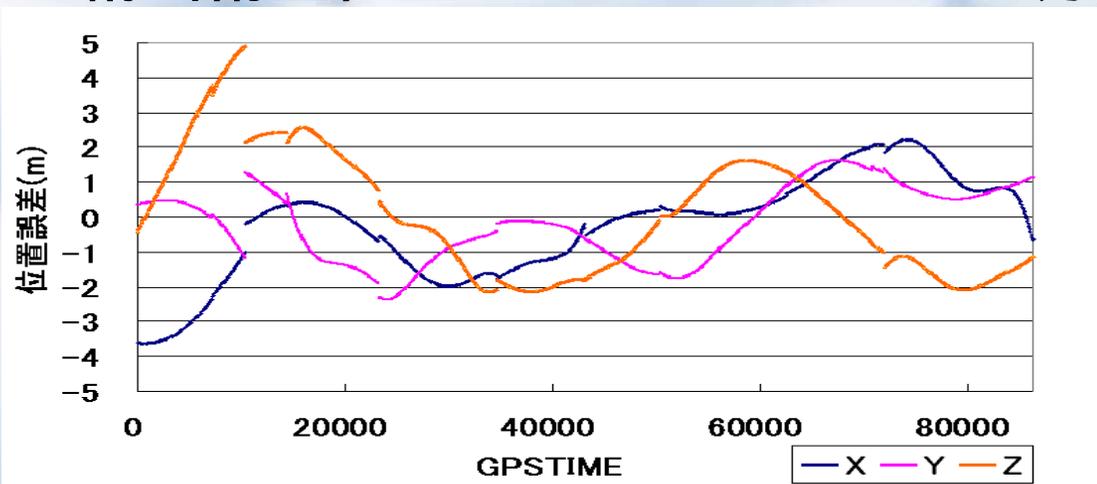
$A_i$  係数 (Neville algorithm)

$T$  時刻

$N = 11$

# 精密暦とエフェメリスの比較

## ● 精密衛星位置とエフェメリスの差分

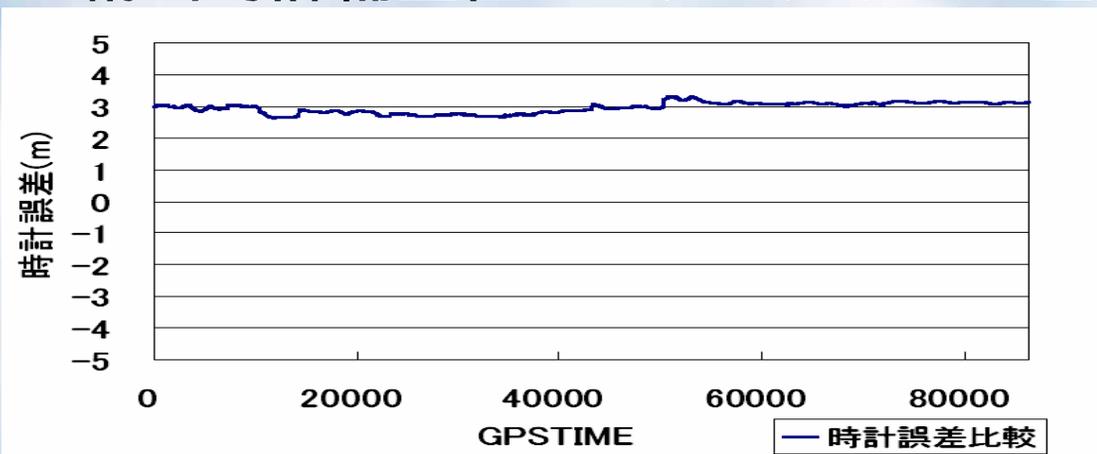


2005/05/01

14番衛星

0-86400(24時間)

## ● 精密時計補正值とエフェメリスの差分



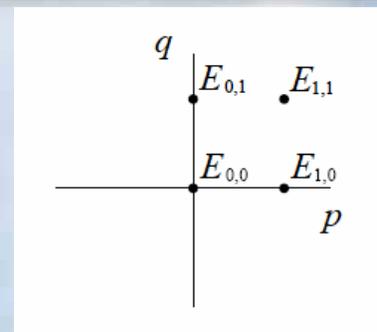
2005/05/01

14番衛星

0-86400(24時間)

# Global Ionosphere Maps

- 地球上空450kmに仮定する
- 単層、2次元電子分布図
- サンプル間隔2時間(1日13枚)
- CODEによってIONEXファイルで提供される



## 時間内挿アルゴリズム

$$E(\beta, \lambda, t) = \frac{T_{i+1} - t}{T_{i+1} - T_i} E_i(\beta, \lambda'_i) + \frac{t - T_i}{T_{i+1} - T_i} E_{i+1}(\beta, \lambda'_{i+1})$$

ただし

$t$  時刻( $T_i \leq t \leq T_{i+1}$ )  
 $\lambda$  経度( $\lambda'_i = \lambda + (t - T_i)$ )  
 $\beta$  緯度

## 平面内挿アルゴリズム

$$E(\lambda_0 + p\Delta\lambda, \beta_0 + q\Delta\beta) = (1-p)(1-q)E_{0,0} + p(1-q)E_{1,0} + p(1-q)E_{0,1} + pqE_{1,1}$$

ただし

$0 \leq p < 1$  かつ  $0 \leq q < 1$   
 $\Delta\lambda, \Delta\beta$ それぞれ経度と緯度方向の幅

# Global Ionosphere Maps

- 電離層垂直電子数による電離層遅延量の推定

$$I_p = 40.3 \times \frac{TEC_{slant}}{f^2}$$

$TEC_{slant}$  傾斜電子数

$f$  周波数

また、

$$TEC_{slant} = \frac{1}{\cos z} E_v, \quad \sin z' = \frac{R}{R_0 + H} \sin z$$

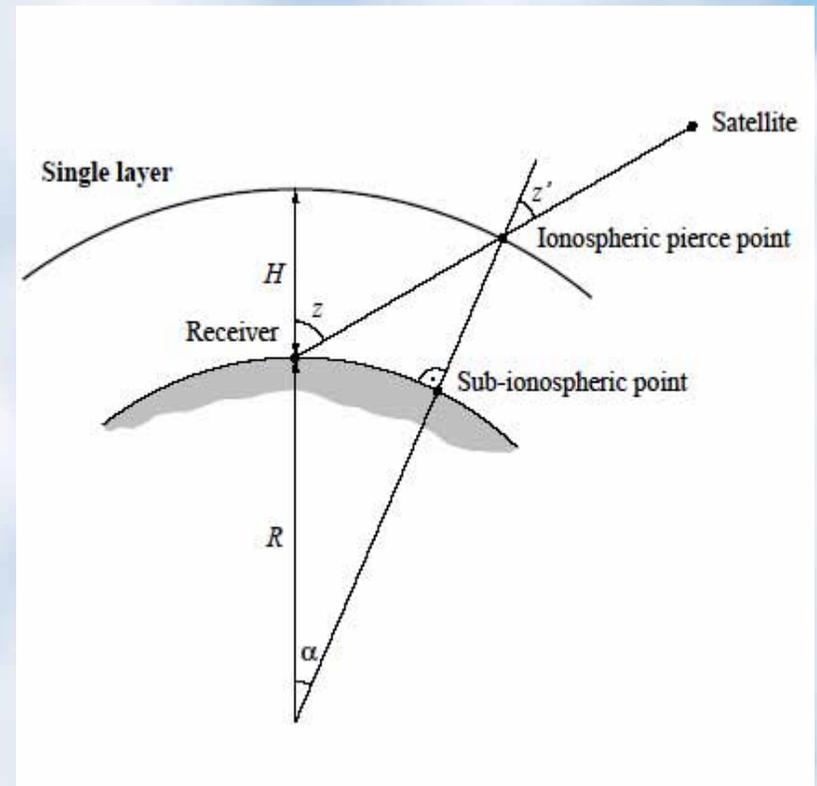
ただし

$z, z'$  図に示された角度

$R$  受信機の地心距離

$R_0$  地球平均半径 (6371km)

$H$  仮想電離層の高さ(450km)

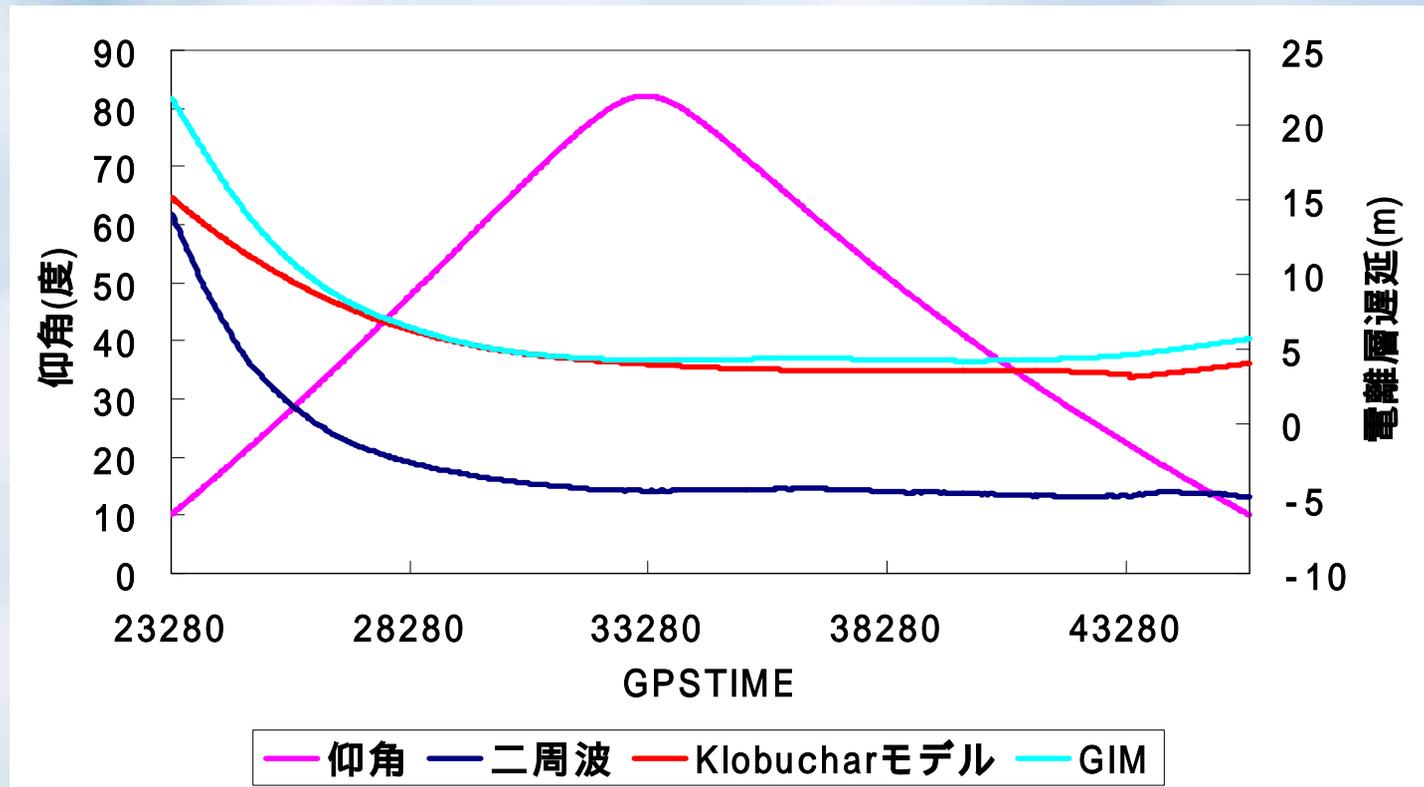


# Global Ionosphere Maps

- 電離層遅延量の推定と比較

9番衛星 (2005/05/01 GPSTIME 23280 ~ 45870)

日本ローカル時間約15:30 ~ 22:00、足立



# Differential Code Biases

- 異なる種類のコードと周波数は、異なるハードウェアバイアス(Biases)を引き起こす。
- 電離層フリー線形結合で計算された精密衛星暦にP1-P2 DCBsを含んでいるため、一周波受信機の単独測位では、このバイアスを考慮しなければならない。
- エフェメリスでは、P1-P2 DCBsとほぼ一致する $T_{GD}$ を放送されてくる。
- P1-P2 DCBsがIONEXファイルに提供されている。
- CODEによって、月ごとにP1-C1 DCBsが提供される。C/Aコード測位には、利用することが精度向上に重要である。

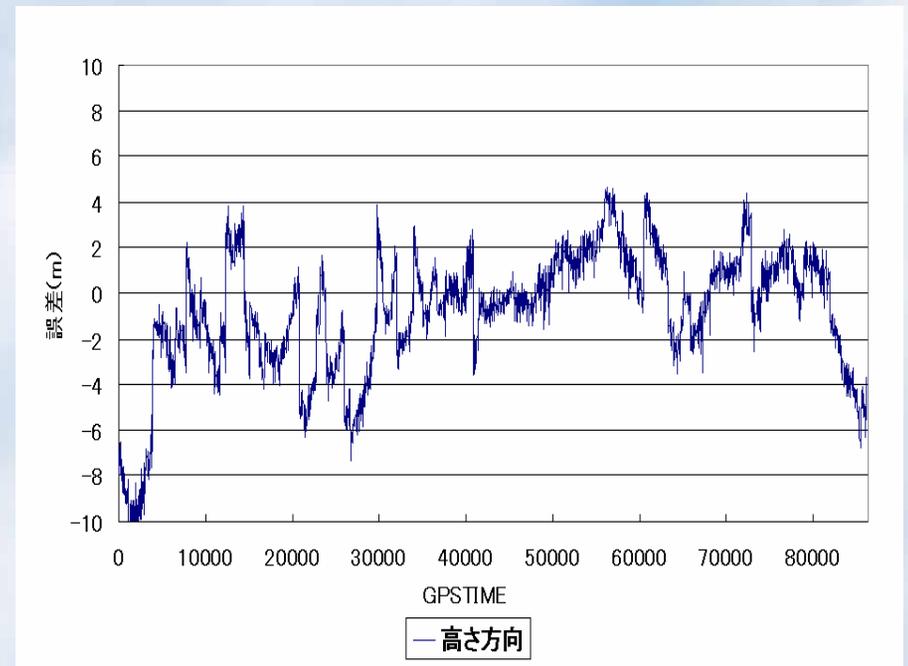
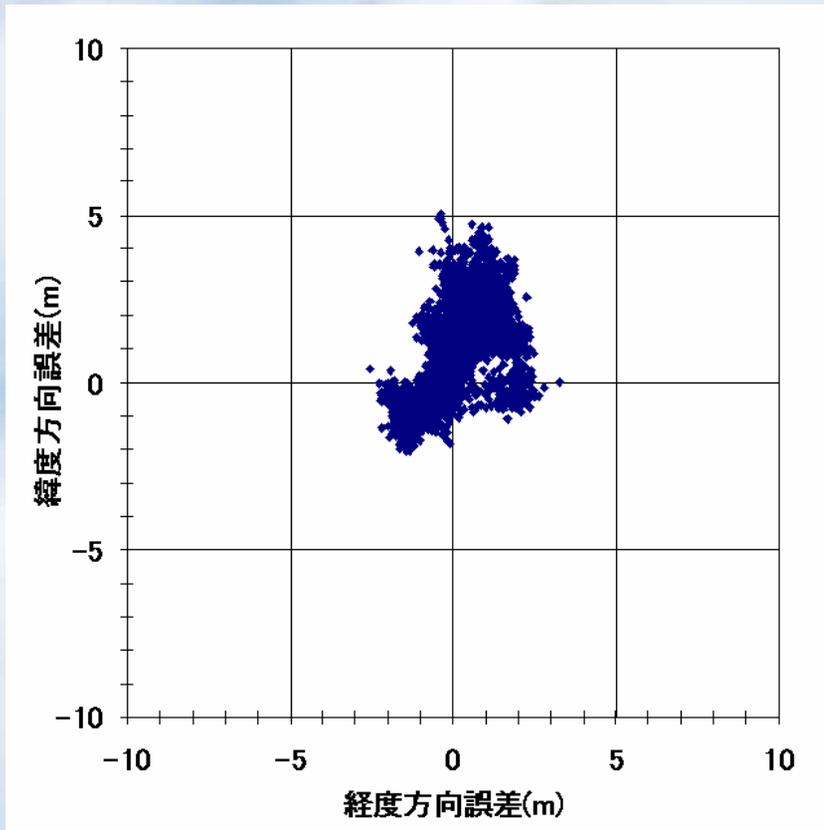
# 通常の単独測位

- 解析データ

国土地理院電子基準点足立

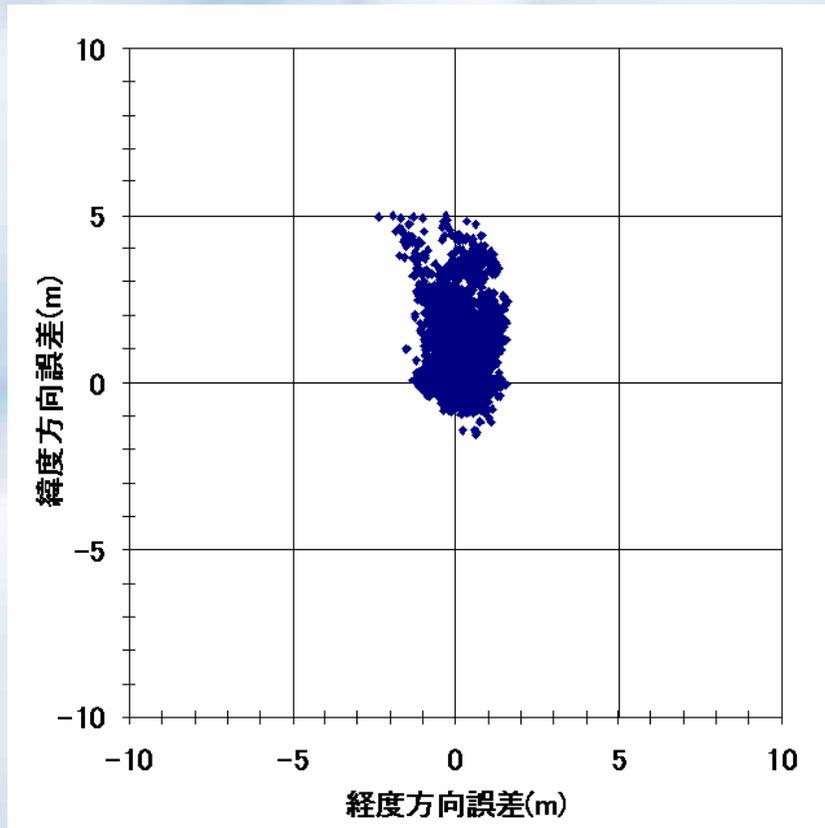
2005/05/01 00:00 ~ 23:59

	経度	緯度	高さ
平均	0.18	1.08	-0.86
標準偏差	0.98	1.41	2.77
2drms	3.44		

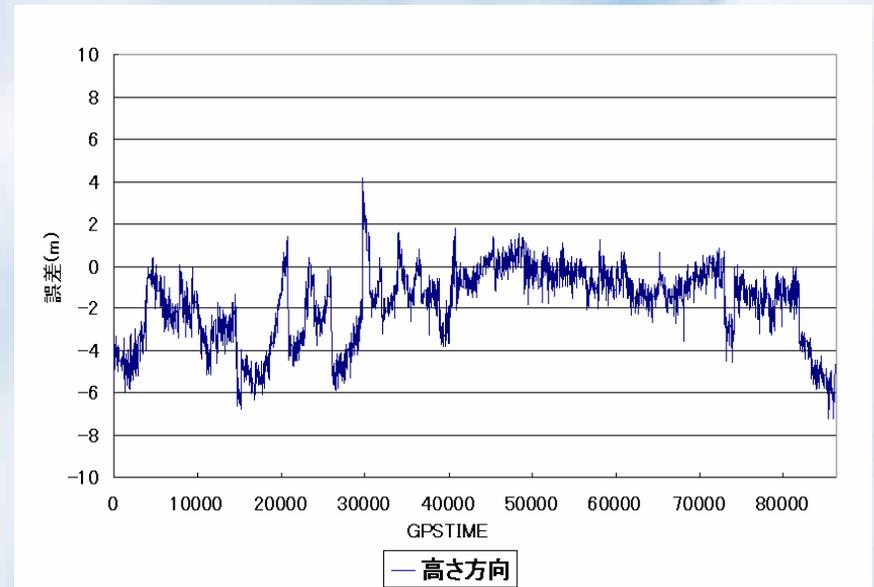


# 単独測位の高精度化

- GPS精密暦による衛星位置の計算と時計の補正  
IGSが提供するSP3フォーマットのファイル  
2005/05/01 00:00 ~ 23:59(かつ前後約一時間)



	経度	緯度	高さ
平均	0.22	1.03	-1.82
標準偏差	0.58	1.13	1.78
2drms	2.55		

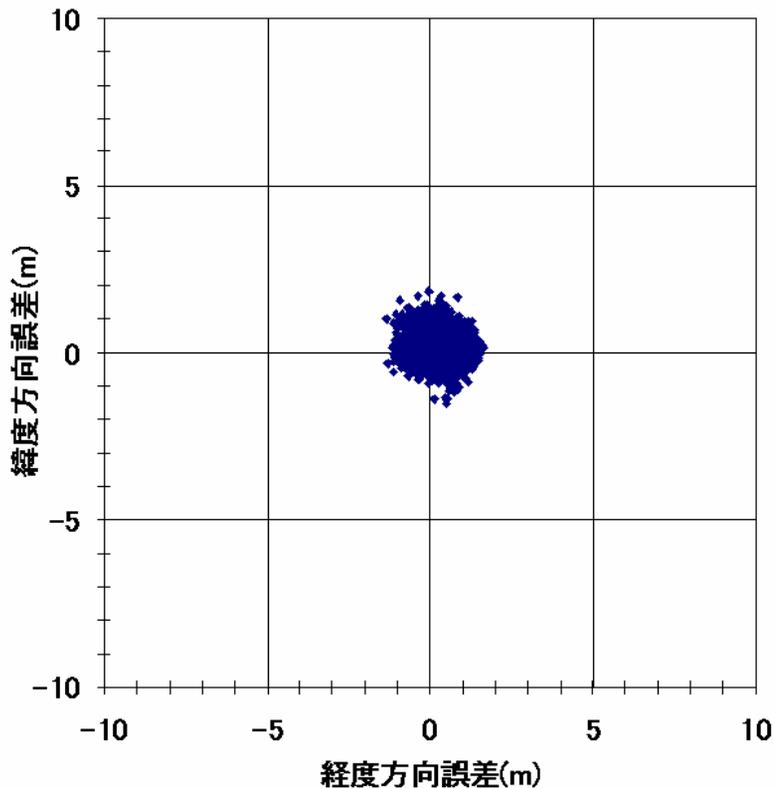


# 単独測位の高精度化

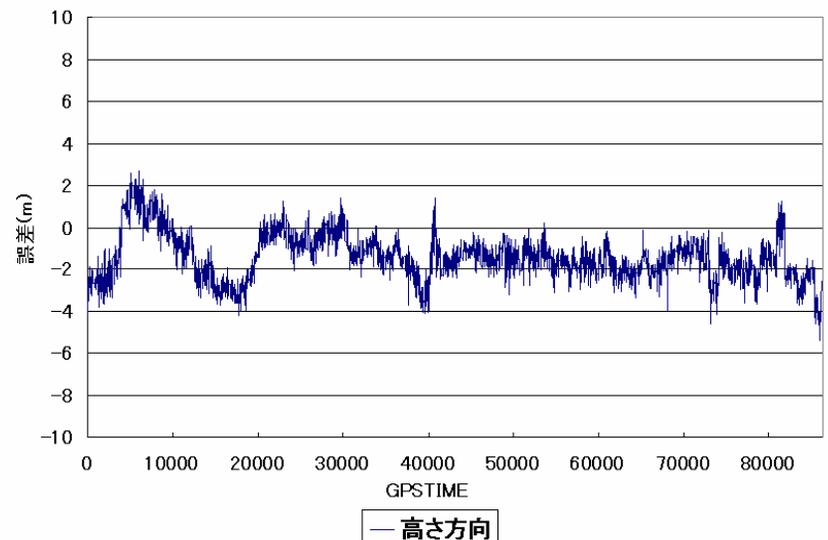
- 更にGIMによる電離層遅延の補正

CODEが提供するIONEXファイル

2005/05/01 00:00 ~ 23:59

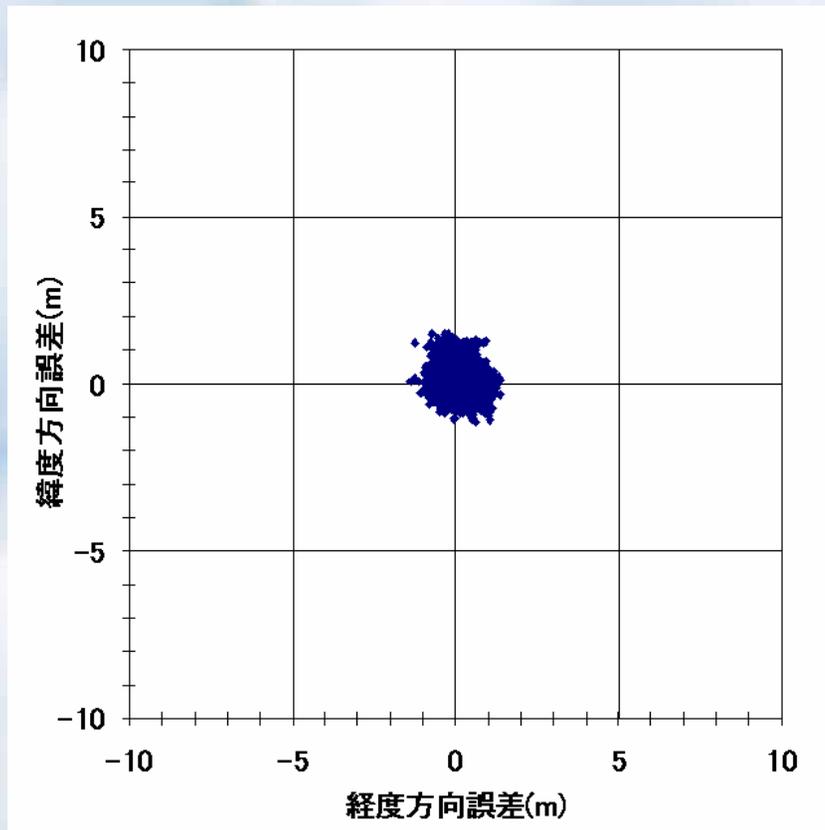


	経度	緯度	高さ
平均	0.12	0.14	-1.43
標準偏差	0.53	0.45	1.11
2drms	1.40		

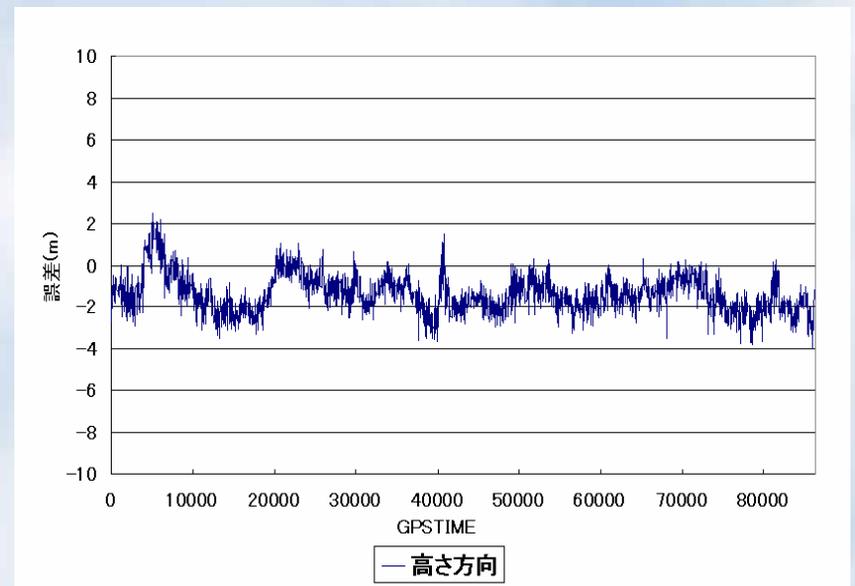


# 単独測位の高精度化

- P1-C1 DCBsを考慮すると

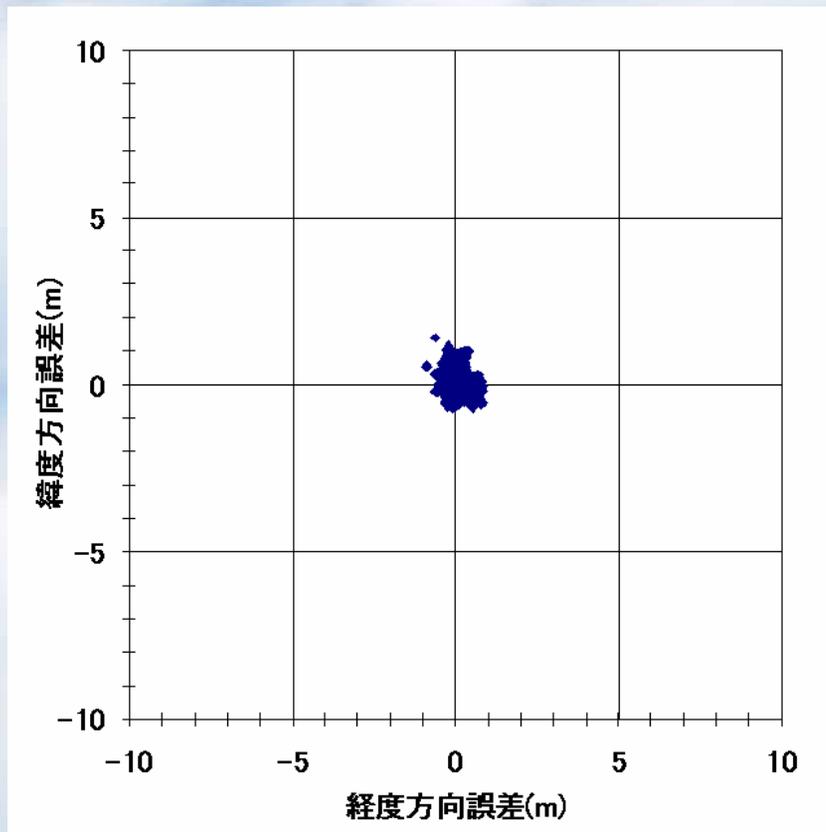


	経度	緯度	高さ
平均	0.13	0.12	-1.39
標準偏差	0.41	0.45	0.90
2drms	1.22		

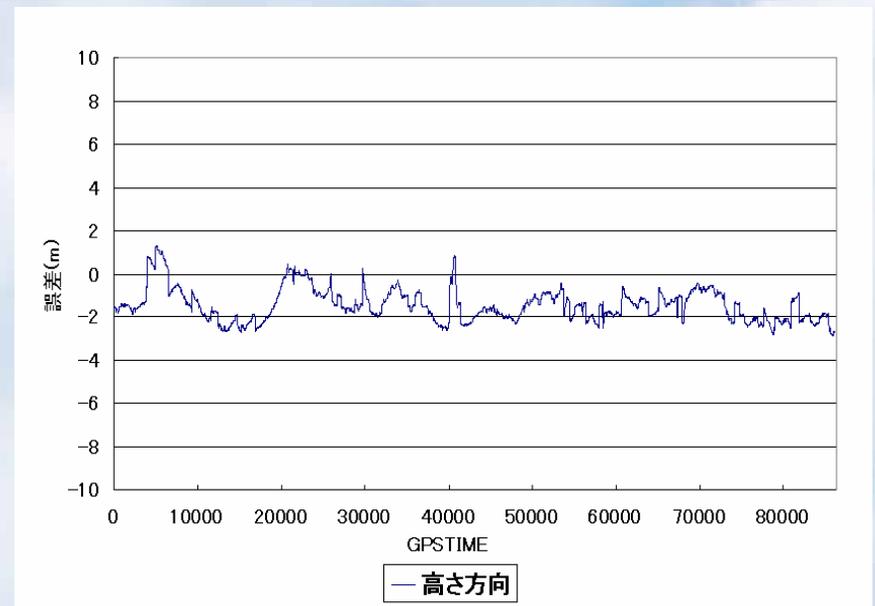


# 単独測位の高精度化

- 更にキャリアスムージングすると  
ハッチフィルタ(600秒)



	経度	緯度	高さ
平均	0.09	0.09	-1.45
標準偏差	0.35	0.42	0.76
2drms	1.08		



# まとめ 1

- 単独測位の精度を向上するために、以下の改良は有効である

GPS精密暦による衛星位置の計算と時計の補正

GIMによる電離層遅延量の推定

Differential Code Biasesの補正

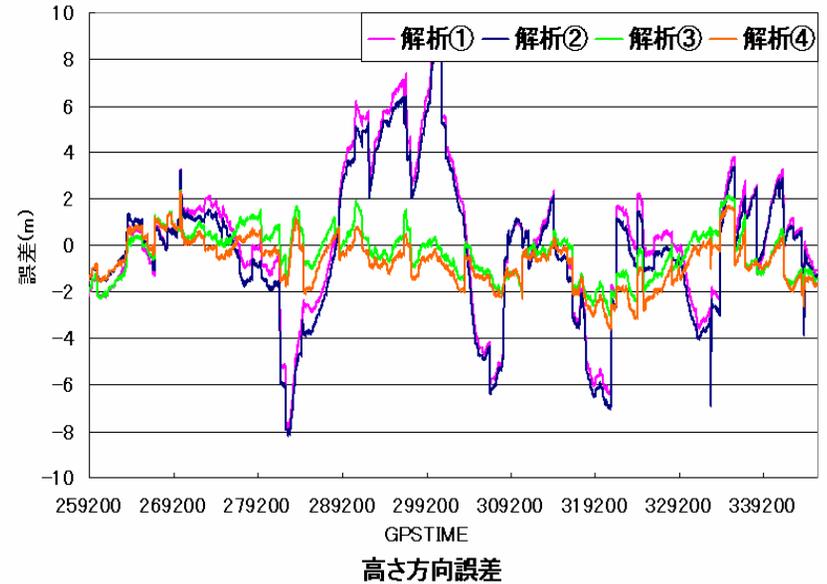
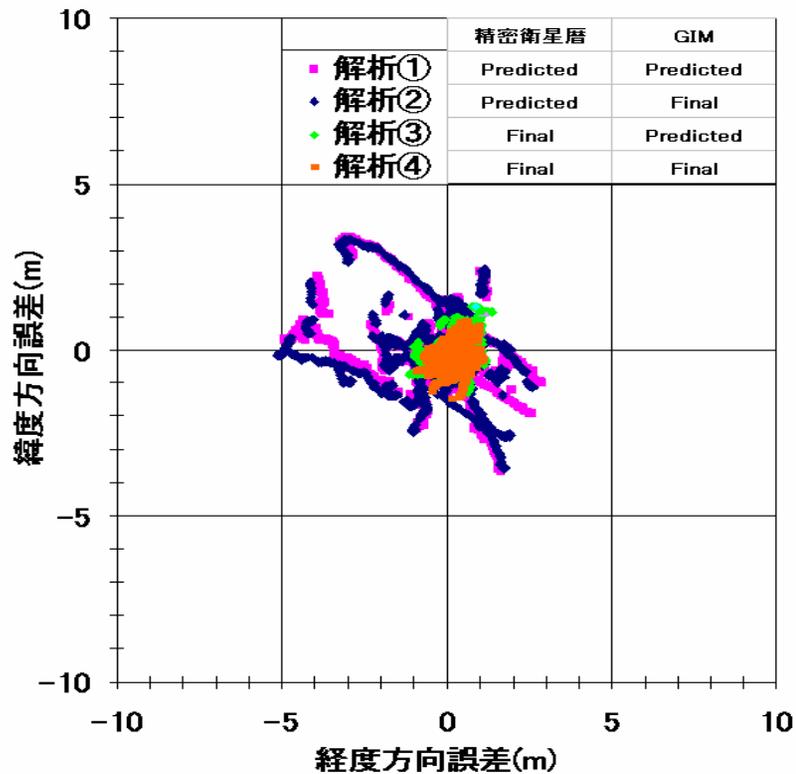
- 以上の改良によって、一周波受信機の単独測位では、1m以内の精度が得られた

# リアルタイム性の検証

- 精密衛星暦とGIMにはFinal、Predictedデータが存在する
- Predicted精密衛星暦とGIMを利用した場合とFinal精密衛星暦とGIMを利用した場合の比較を行なう
- 国土地理院の電子基準点足立の観測データ（2005年7月6日 00:00:00～23:59:30）を使用する
- 次の4つのデータ解析を行う

順番	精密暦		GIM	
	Final	Predicted	Final	Predicted
解析				

# リアルタイム性の検証



	解析			解析		
	経度	緯度	高さ	経度	緯度	高さ
平均	-0.33	-0.02	0.25	-0.36	-0.11	-0.12
標準偏差	1.63	1.25	3.12	1.65	1.23	3.09
2drms	4.11			4.12		

	解析			解析		
	経度	緯度	高さ	経度	緯度	高さ
平均	0.35	-0.04	-0.33	0.32	-0.13	-0.70
標準偏差	0.40	0.50	1.04	0.37	0.45	1.00
2drms	1.28			1.16		

## まとめ2

- 予測精密暦と予測GIMを利用することによって、リアルタイム単独測位では、水平方向で1m近くの精度が得られることが確認した

Predicted GIMはFinal GIMとほぼ同じな精度で電離層電子量を予測することが分かった

衛星時計は、不規則に変動しているため、予測することは難しい。リアルタイム測位の精度を劣化させた主な要因である

IGSは6時間ごとに、予測精密暦を更新するので、最新のものの利用することが望ましい

# 今後の課題

- 更に単独測位の改善

  - 対流圏モデル

  - サイクルスリップ除去

  - アンテナ位相オフセット (antenna phase offsets)

  - 地球固体潮汐 (solid earth tides)

  - 海洋荷重 (ocean loading)

- 搬送波位相による精密単独測位の実現

ありがとうございました

