

# GPS単独測位高精度化の 実現性について

東京海洋大学 久保信明、安田明生  
日本無線 喬耘

# 発表の流れ

- 研究の背景
- 単独測位の高精度化について
- 研究の目的
- 高精度単独測位の誤差推定手法の特徴
- 生データによる検証
- まとめ

# 背景

- 2000年のSA停止(衛星側の時計に誤差が付加されていた)により、単独測位の精度は飛躍的に向上(およそ**100mから10mへ**)。
- さらにDGPSを用いて向上できる(およそ1m程度へ)。 DGPSでは、**衛星軌道や時計そして大気圏等の誤差を更に低減できる**ため。ただし、補正データを伝送する必要がある。
- 単独測位とは、**1つのGPS受信機**を用いて位置を求める測位のことを指すことにする。

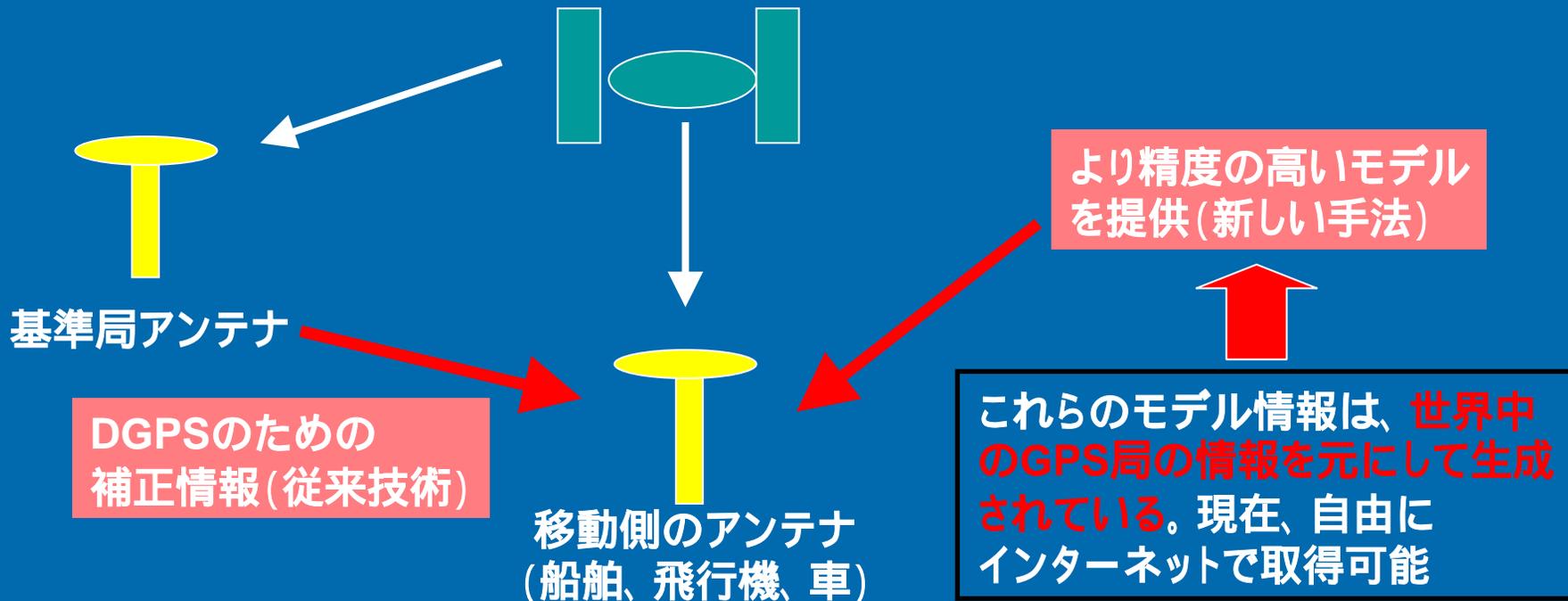
近年、衛星軌道や時計そして大気圏等の誤差をできるだけ正確に求めることにより、単独測位の精度を高精度化する技術が活発に評価されるようになった。

# 測位精度を決定する主要因 (コードを用いた場合)

誤差源	誤差の大きさ	誤差低減効果
衛星時計と軌道 予測値	時計と軌道は、ともに2m程度 (rms)	DGPSで双方ともに0.1m 程度
電離層遅延	天頂方向は2mから10m程度で、 仰角が低いとさらに増大	放送モデルで50%程度 低減。DGPSで0.2m程度
対流圏遅延	天頂は2m程度で、仰角が低いと さらに増大	モデル使用で1m以内。 DGPSで0.2m程度
マルチパス	環境良で1m以内程度	アンテナ固有なのでなし
受信機雑音	10cmから50cm程度	受信機固有なのでなし

現状の一般ユーザが達成できる単独測位精度は、上記の赤の部分。  
単独測位の高精度化では、上記のDGPSの部分の効果を、補正情報  
という形ではなく、より精度の高いモデルを用いて計算する。

# 比較イメージ図



## 高精度化のメリット

- 例えば地震等における変位を測定する際(2周波、搬送波位相利用)に、基準局も動いてしまう影響を考慮しなくてよい。
- 補正データ伝送手段のための設備を設けなくてよい。
- GPS測位自体の本来の性能を見極めることができる。
- 現状の10m以内程度の誤差から1m程度へ低減されることによる衛星測位サービスの向上(もともと利用者が多い)。

# 本研究の目的

- 既に、世界中の研究者の間で、上記の高精度化により、コードで1m以内、搬送波を利用して1cm程度を達成するソフトウェアは開発されている。ただし、使用されている受信機は、いずれも測地用の高価なものが多く、2周波かつ搬送波位相を利用したものが大部分である。
- 本研究の目的は、以下の通りである。
  - ・コード測位で1周波のみ利用した場合を想定 ユーザが多い。
  - ・精密な推定値を有効に利用して、自らソフトを試作しノウハウを蓄積すること。
  - ・実際の船舶の移動体に適用して評価を行うこと。
  - ・比較的 low コスト受信機を用いた場合の評価を行うこと ユーザが多い。

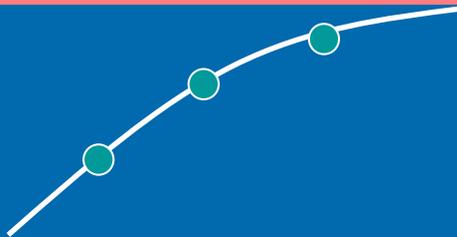
# 実際の測位計算の流れ(比較)

通常の単独測位	高精度単独測位
航法暦と観測ファイルの読み込み	精密暦(最終)、電離層MAP(当日)、観測ファイルの読み込み
衛星位置を航法暦より推定。	上記データより内挿し、衛星位置、衛星時計誤差を推定。DCBについても考慮。
汎用モデルを利用して電離層遅延量の推定	全地球電離層MAPを利用して電離層遅延量の推定
汎用モデルを利用して対流圏遅延量の推定	汎用モデルを利用して対流圏遅延量の推定
上記の誤差推定量を元に、通常の単独測位計算を最小二乗法を用いて行う。	上記の誤差推定量を元に、通常の単独測位計算を最小二乗法を用いて行う。

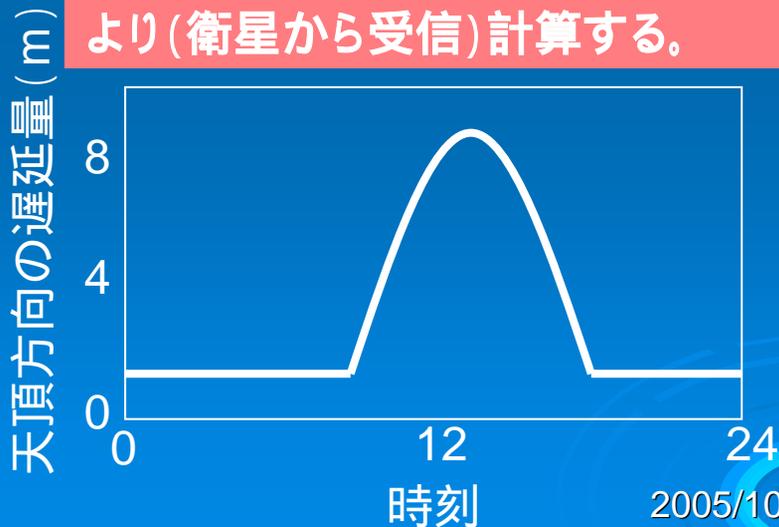
# 推定モデルの違いについて

## 通常の単独測位

ある時刻の衛星位置を2時間ごとに更新される航法暦(衛星から受信)を用いて計算する。



ある時刻の電離層遅延量(天頂)を、下記のような毎日更新されるモデルより(衛星から受信)計算する。

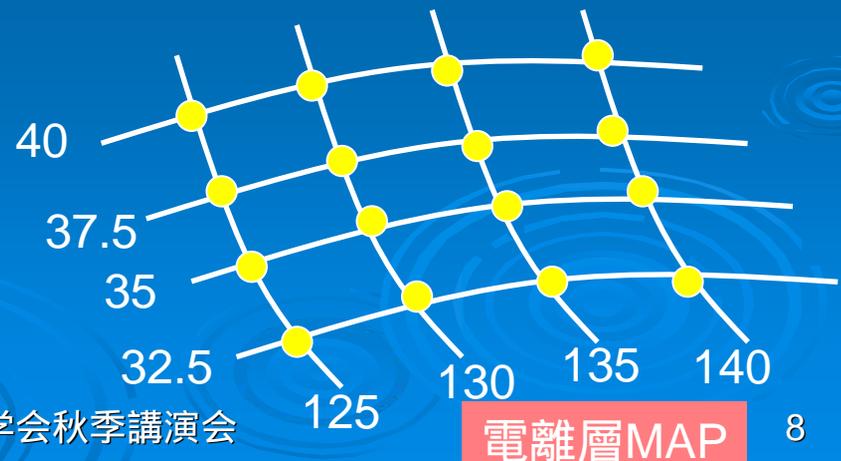


## 高精度単独測位

ある時刻の衛星位置を、精密暦の値より(別取得)内挿して計算する。



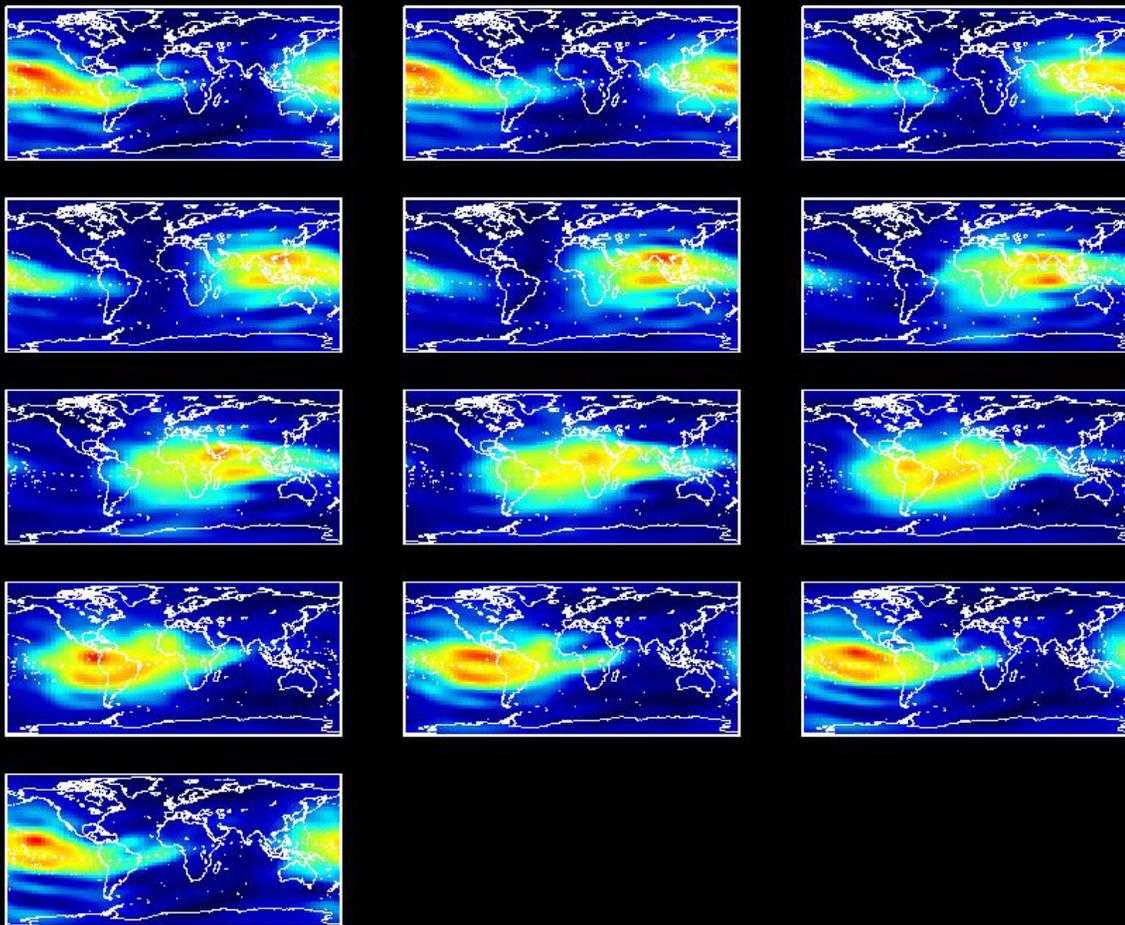
ある時刻の電離層遅延量(天頂)を、下記の全地球電離層MAPの値より内挿して(時間・空間)計算する。



精密暦の例  
1日で約200KB

*	2005	9	7	0	0	0.00000000		
P 1	20309.288824	14484.869968	-8994.904458				7.165833	
P 2	-15268.075436	-3046.205411	-21790.131239				-27.394014	
P 3	22181.168714	7324.969991	12765.094569				32.077103	
P 4	-8299.146831	-16879.934939	-18628.451969				-31.326259	
P 5	-20518.316416	13758.246404	-9701.989347				129.177517	

全地球電離層MAPの例  
1日で約800KB

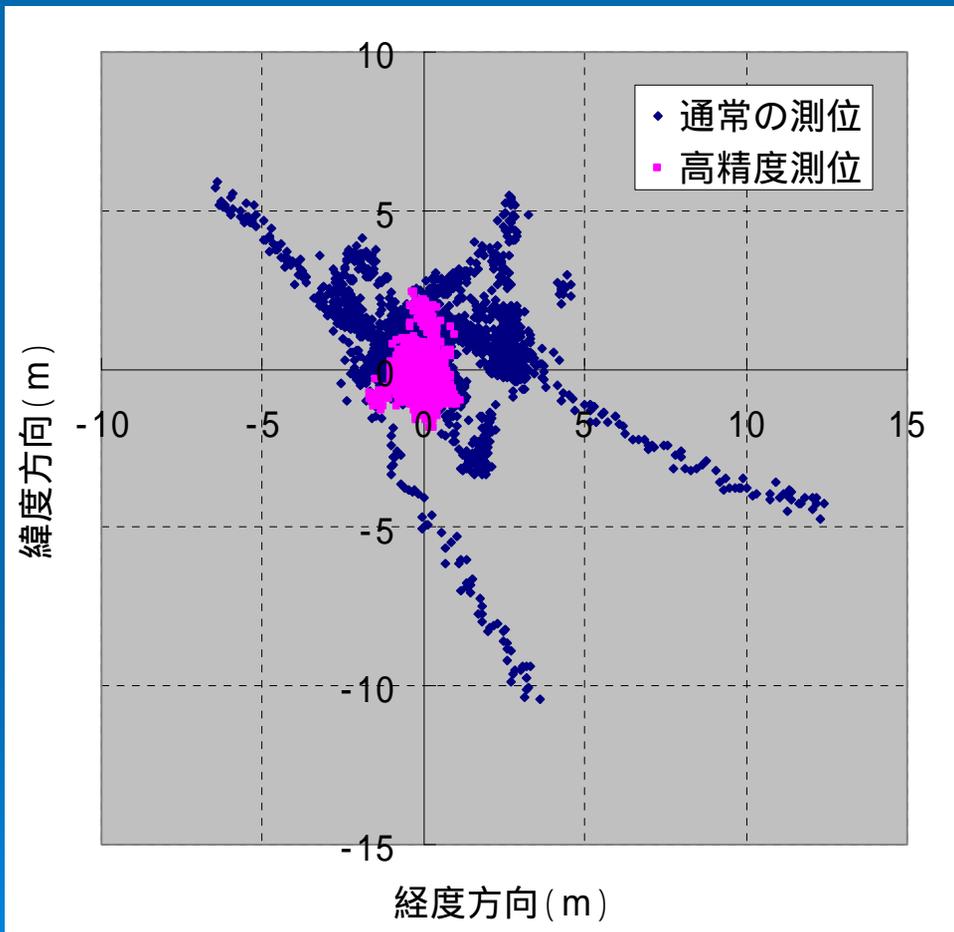


# 生データによる検証

- 国土地理院の電子基準点データ(9/7)。場所は市川(約1日で30秒間隔)  
Trimble製2周波受信機(1周波、コードのみ利用)
- 「やよい」で海洋大 - 東京湾を航海したときのGPSデータ(6/30)。(約1時間で2Hz:ドック内含む)  
NovAtel製2周波受信機(1周波、コードのみ利用)
- 研究室屋上で1周波低コスト受信機により取得したGPSデータ(9/7)。(約3時間で1Hz)  
Superstar製1周波受信機

上記の生データに対して、後処理精密位置(2,3cmのオーダーで決定)からの水平及び高度方向のずれと精度を観測することにより、評価を行った。  
測位に使用した衛星は双方で同じとした(マスク角10度)

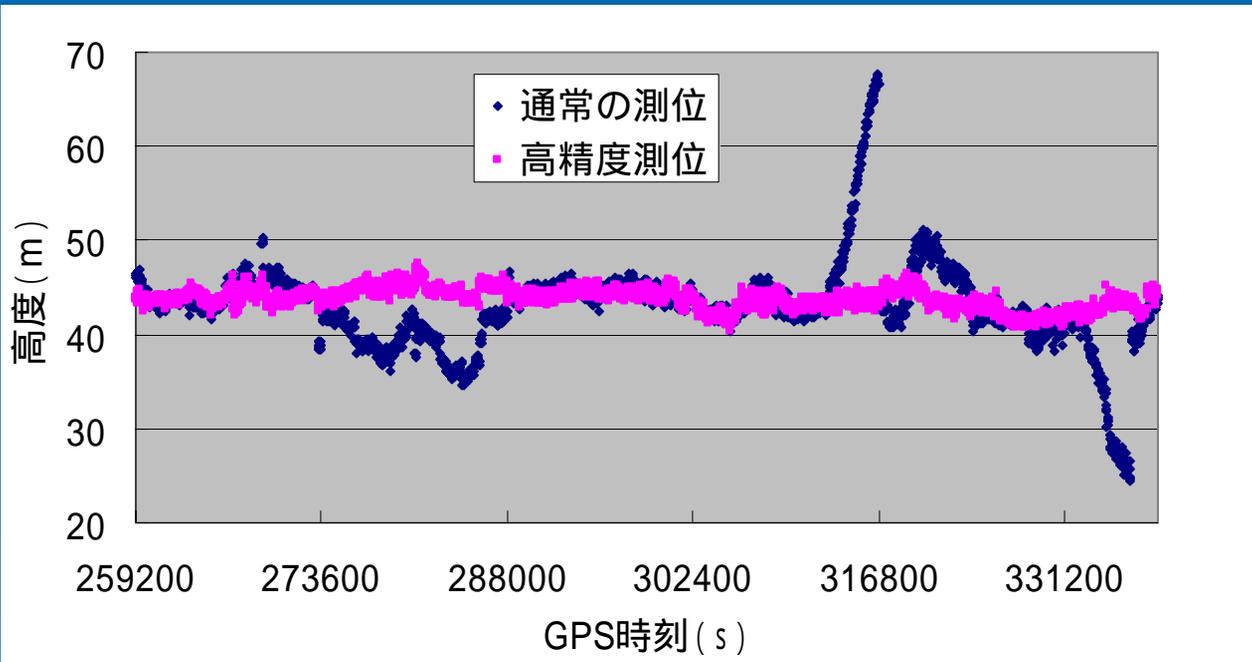
# 電子基準点データ(水平)



水平精度 (2drms)  
通常 5.69m  
高精度 1.38m

真値からのずれ  
(経度/緯度)  
通常 0.35m/0.44m  
高精度 -0.27m/-0.07m

# 電子基準点データ(高度)



高度精度 (2drms)  
通常 9.66m  
高精度 2.23m

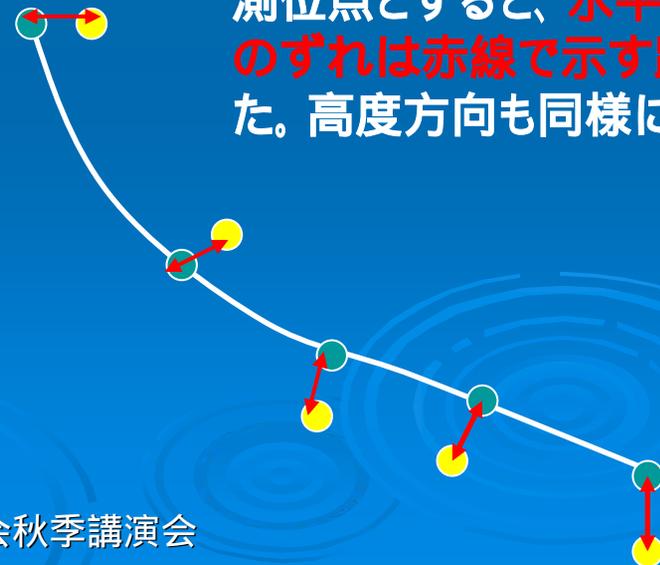
真の高度からのずれ  
通常 -0.51m  
高精度 0.23m

# 「やよい」による航路と解析方法

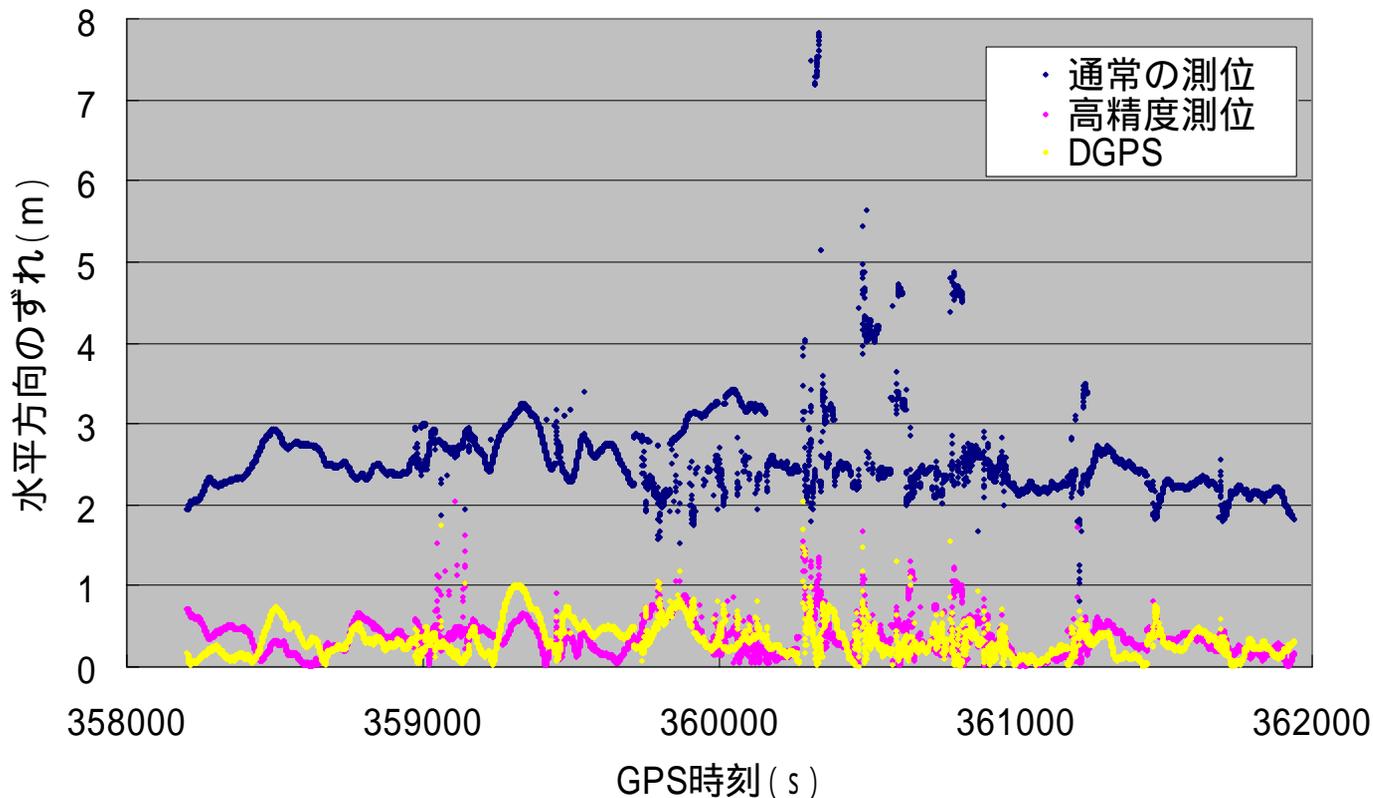


左図の赤線が実際の航路(海洋大より直線で約10km付近まで)  
航海中の可視衛星数は5つの橋以外7-8個以上存在したので精密測位位置計算は容易であった。

下記の図において、緑は精密測位位置で、黄が実際の測位点とすると、**水平方向のずれは赤線で示す距離**とした。高度方向も同様に解析した。



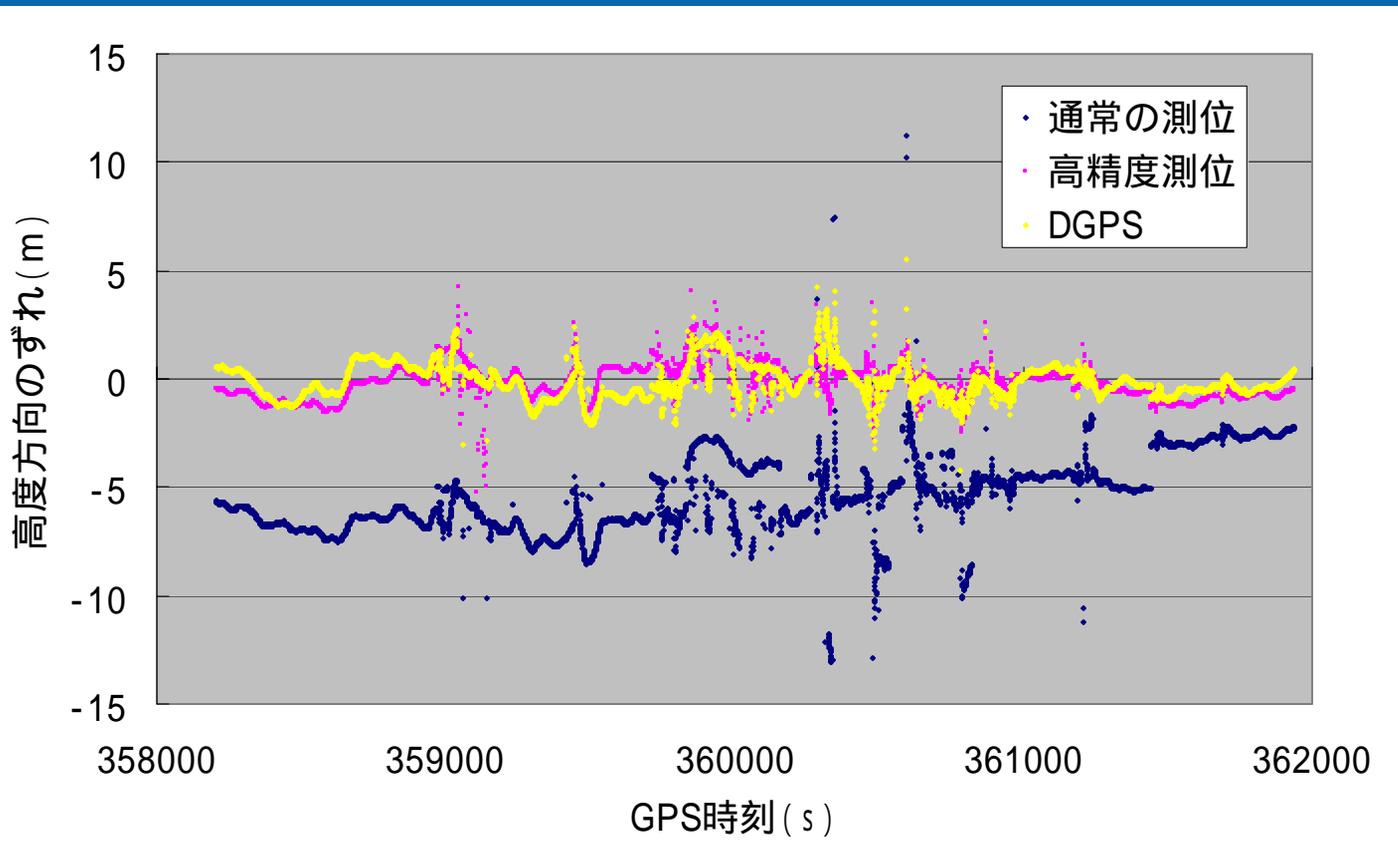
# 水平方向のずれの評価 (やよい航行中)



ずれ精度 (平均)  
通常 2.58m  
高精度 0.35m  
DGPS 0.32m

DGPSと高精度単独測位の結果が類似 推定が良好

# 高度方向のずれの評価 (やよい航行中)



ずれ精度 (2drms)

通常 3.51m

高精度 1.60m

DGPS 1.58m

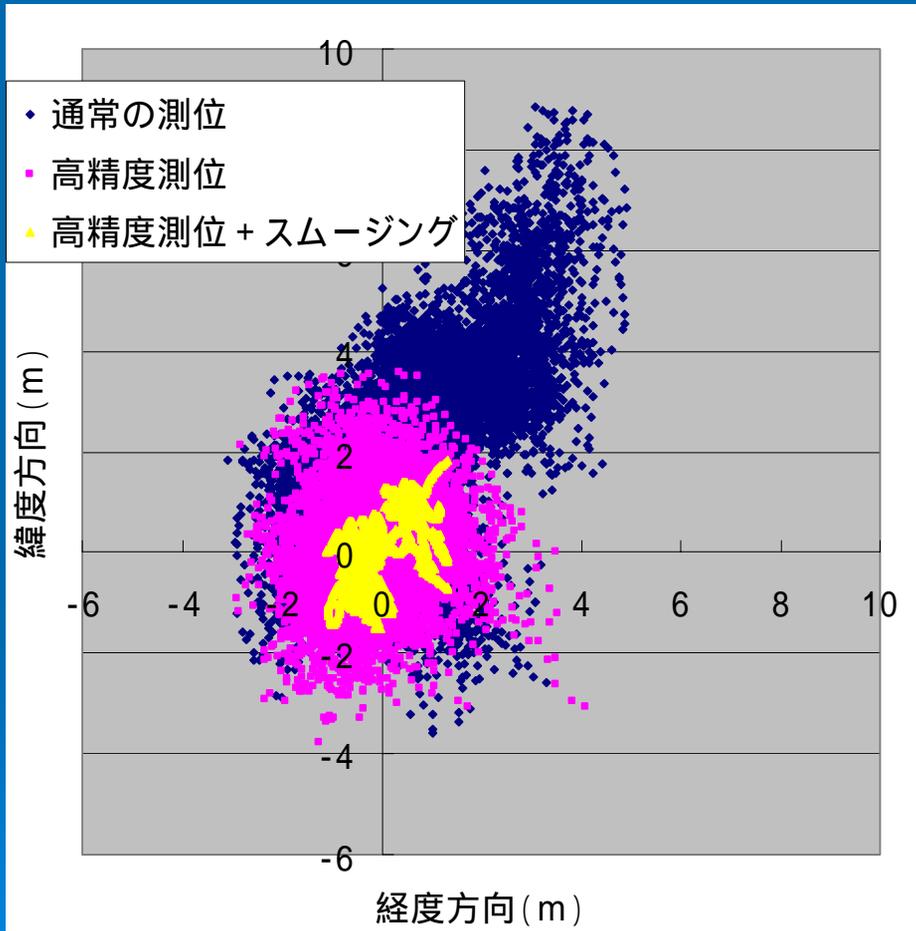
ずれの平均

通常 -5.39m

高精度 -0.20m

DGPS -0.11m

# 1周波低コスト受信機データ(水平)



水平精度 (2drms)

通常 4.78m

高精度 2.55m

スムージング 1.59m

真値からのずれ

(経度/緯度)

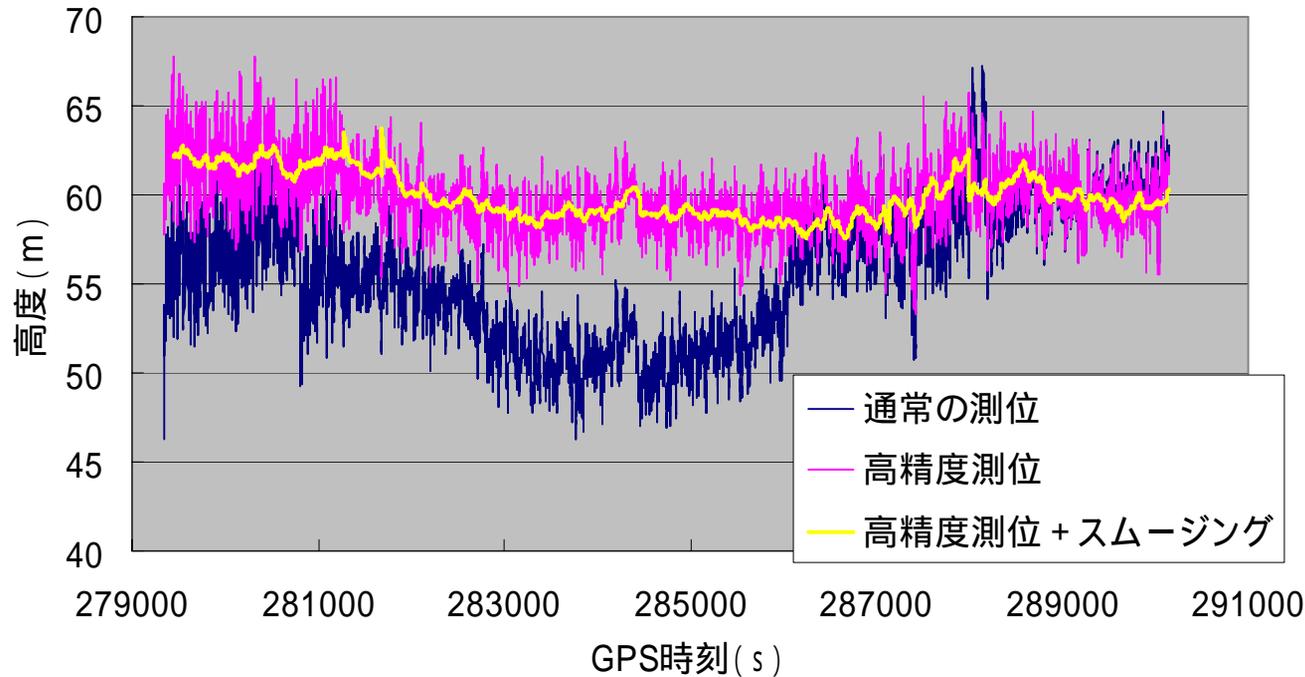
通常 0.52m/2.03m

高精度 -0.18m/0.07m

スムージング -0.15m/-0.04m

低コスト受信機は、帯域等の制限により高精度受信機と比較して、ノイズが2-3倍以上大きいことが知られている。よって搬送波位相で100秒のスムージングを行った結果も示した。それにより、高精度受信機相当の精度が得られている。

# 1周波低コスト受信機データ(高度)



高度精度 (2drms)  
通常 7.58m  
高精度 3.79m  
スムージング 2.60m

真の高度からのずれ  
通常 -4.33m  
高精度 0.00m  
スムージング 0.01m

# 高精度測位のリアルタイム性

## 衛星の位置と時計補正計算について

暦/時計	精度(暦/時計)	リアルタイム	更新	サンプル
航法暦	2m/7ns		2hour	1日
IGS最短1	0.1m/5ns		4/day	15分
IGS最短2	0.05m/0.2ns	3時間	4/day	15分
IGS高速	0.05m/0.1ns	17時間	1/day	15/5分

## 全地球電離層MAPについて

当日に公表されるもの、1日予測情報、2日予測情報等入手できる。  
ただし、それらの精度については調査中です。

今回発表した程度の精度を個人で達成することは、準リアルタイムで可能。  
また商用及び研究機関ベースで、精密暦等を生成している機関も世界中に  
数箇所存在する。日本国内でも発表が見られる。

# まとめ

- コード及び1周波測位において、高精度単独測位のソフトウェアを開発することができた。
- 静止及び移動体の生データにおいて、その効果を確認することができた。
- さらに低コストGPS受信機による生データについても、その可能性を示すことができた。
- 今後の課題は以下の通りである。
  - ・精密暦及び電離層MAPの生成方法の研究
  - ・積極的な搬送波の利用(誤差10cm以内)
  - ・実用化の推進(可能性は示したがその必要性など)