

# GPSにおける3周波利用による 高精度測位への効果

久保信明, 安田明生 (東京海洋大学)

河野功 (宇宙航空研究開発機構)

小野剛 (NEC東芝スペースシステム株式会社)

浦谷知恵 (日本電気航空宇宙システム株式会社)



# 背景

- GPSの近代化に伴い、今後も衛星測位サービスの利便性の拡大が求められている。
- 欧州のガリレオと日本の準天頂衛星の開発が進行。
- 将来のGPS衛星や準天頂衛星に搭載される予定である第3番目の周波数帯(L5帯)を利用した場合、搬送波位相を利用した高精度測位のサービスが向上することが知られている。
- 本発表では、そのL5帯の周波数が追加されることを想定した実験を行ったので報告する。

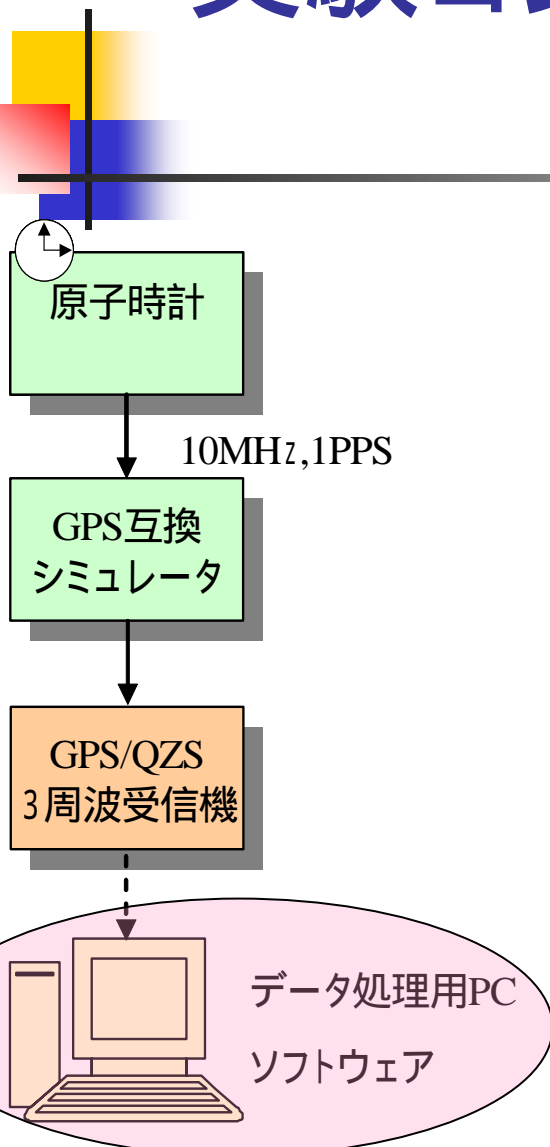


# 目的

---

- アンビギュイティ決定の高速化、マルチパス誤差の低減化 高精度測位の利便性の向上についての効果を確認すること。
- 既にL5帯に対応した受信機が開発されたので、3周波に対応したシミュレータを利用して、実際にその効果を確認すること

# 実験コンフィギュレーション



<p>GPS シミュレータ</p>	<p><b><u>GPS互換シミュレータGSS7700</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• L1/L2/L5 × 12channels</li> <li>• QZS/GPSのL1/L2C/L5の3周波同時出力</li> <li>• GPS/GPS軌道運動の模擬</li> <li>• GPS/QZS航法メッセージ放送</li> <li>• マルチパス発生</li> </ul>
<p>GPS受信機</p>	<p><b><u>GPS/QZS 3周波受信機</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• GPS L1/L2C/L5信号およびQZS固有信号(GPS L1互換/L2C互換/L5互換)受信可能</li> <li>• 単独測位可能</li> <li>• 航法メッセージの復調</li> <li>• 周波数間バイアス校正</li> <li>• 信号品質モニタ機能</li> <li>• クロスコリレーションモニタ機能</li> </ul>
<p>セシウム</p>	<p><b><u>Agilent5071A</u></b></p>

# データ取得に際するシナリオ

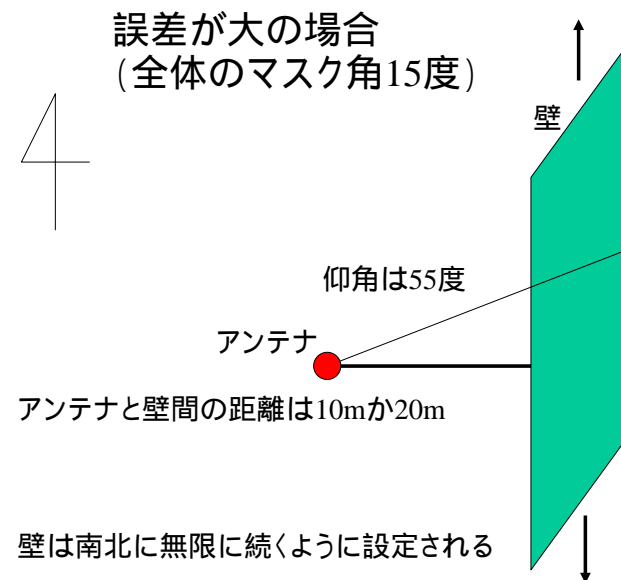
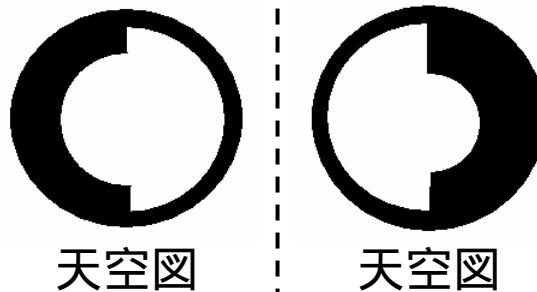
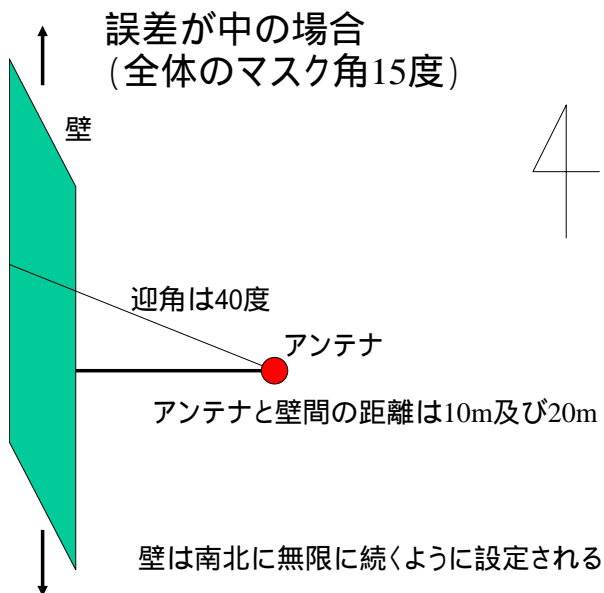
- データ取得に際する設定は、全てGPSシミュレータの機能を利用。
- マルチパス誤差の大きさを3段階(小、中、大)に分け、遅延距離(アンテナ - 壁間)の違いで2段階に分けた。それぞれ3時間取得。

基準局	北緯35度40分、東経139度48分、高度40m
移動局(1,2)	北緯35度42分、東経139度48分、高度40m
解析時間	2005年7月25日の午前3時から午前6時(UTC)
アルマナック	YUMA309
電離層	Klobucharモデル
対流圏	標準モデル(Hopfield)
衛星位置誤差	なし
誤差小	マスク角10度 基準局
誤差中	マスク角15度、西側に中程度の壁(マスク角で40度) 移動局1,2
誤差大	マスク角15度、東側に高い壁(マスク角で55度) 移動局1,2
移動局1	アンテナ - 壁間の距離が20m
移動局2	アンテナ - 壁間の距離が10m

シナリオの詳細

# 移動局のイメージ図

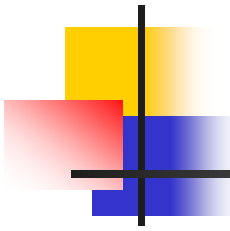
壁での反射係数は0.5で、約6dBの減衰



参考: 銀座

マルチパス誤差中の場合

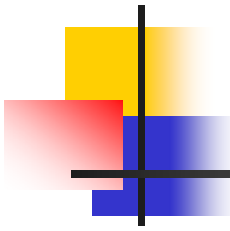
マルチパス誤差大の場合



# 測位計算の概要 ( 1つのシナリオに対して ) ワイドレーン (WL) の場合

---

- 基準局と移動局の観測データを読み込む
- L1のDGPS測位
- 二重位相差を生成 (WLについて)  
(スムージングなし)
- サイクルスリップ発生時と衛星群の変化度にWL  
のアンビギュイティを決定  
(ノイズ 6cm、探索範囲  $\pm 3$ )
- 測位計算



# 測位計算の概要 ( 1つのシナリオに対して ) エクストラワイドレーン (EWL) の場合

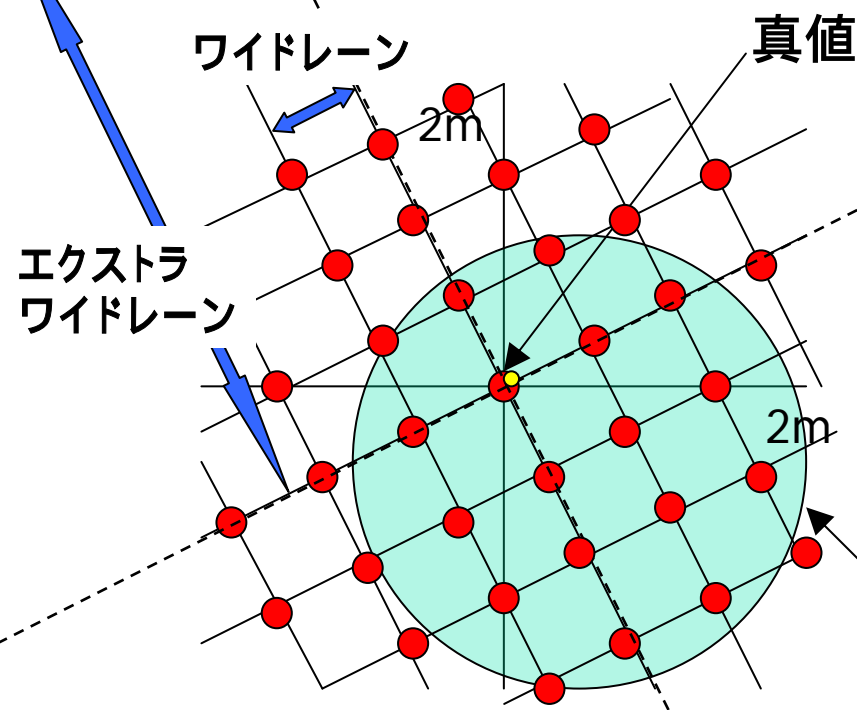
---

- 基準局と移動局の観測データを読み込む
- L5のDGPS測位
- 二重位相差を生成 (EWLについて)  
(スムージングなし)
- サイクルスリップ発生時と衛星群の変化度にWL  
のアンビギュイティを決定  
(ノイズ 33cm、探索範囲  $\pm 2$ )
- 測位計算



# マルチパス誤差とリアルタイム精密測位 (RTK) との関係

- RTK測位を実施するには、搬送波位相の整数値アンビギュイティを決定する必要があり、決定すると精度 (数cm程度まで) が飛躍的に向上する。

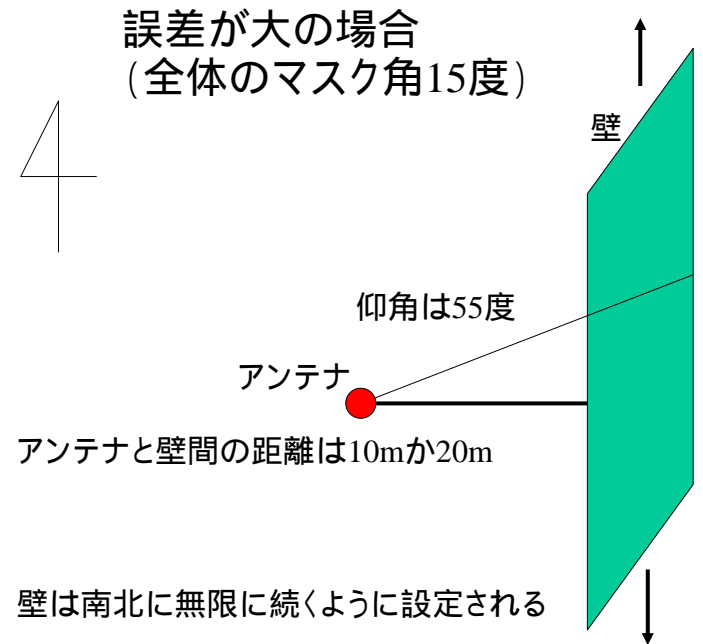
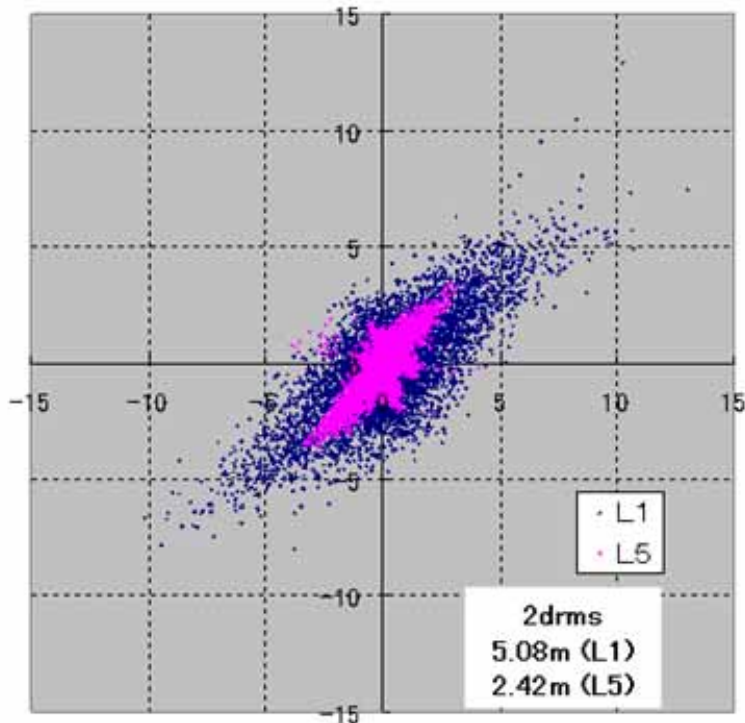


上記の整数値アンビギュイティを解く際に、DGPS測位結果を中心にしたある程度の範囲を探索することになる。もしDGPS測位結果が大きくずれていると探索範囲に入らないことがある。探索範囲を大きくとりすぎると、計算が膨大になりかつ誤ったアンビギュイティを解く確率が大きくなる

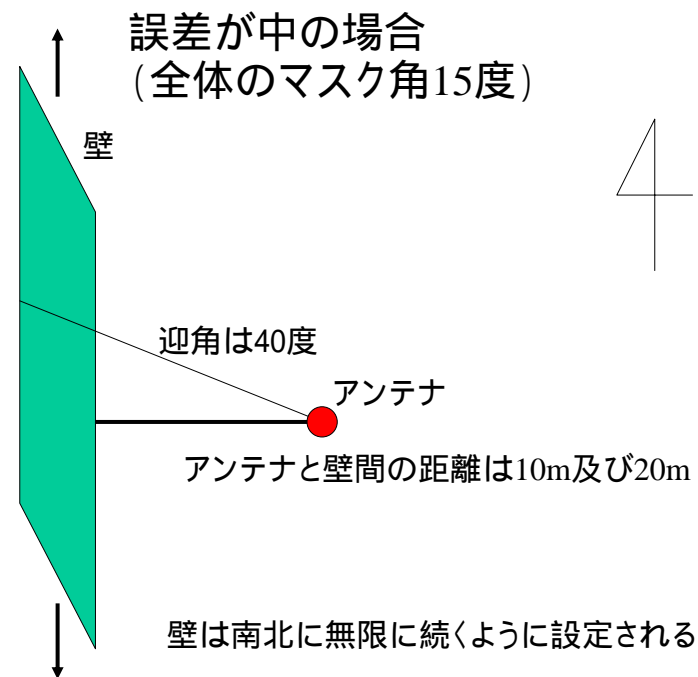
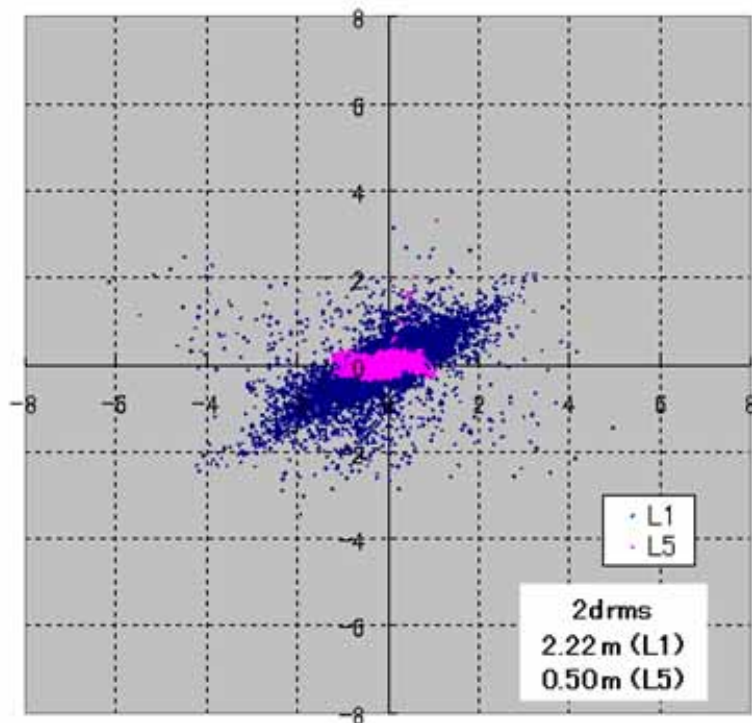
・波長(左図の格子点同士の間隔)について  
 L1-L2(約86cm) ワイドレーン  
 L2-L5(約5.8m) extraワイドレーン

通常のDGPS測位による誤差分布

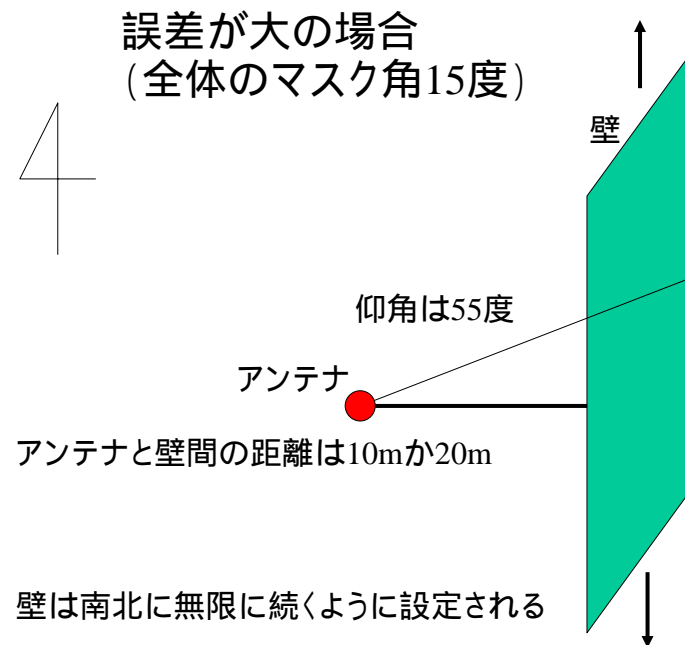
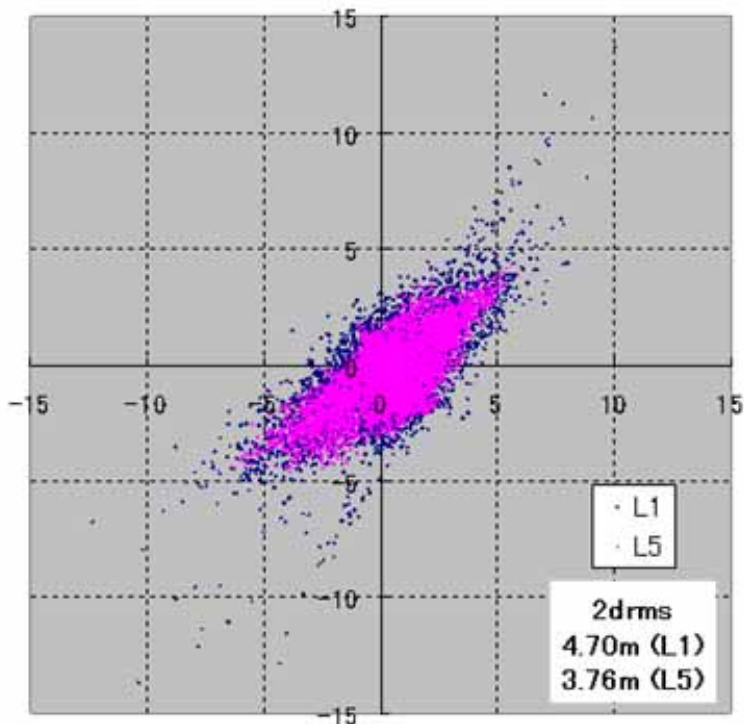
# DGPS測位結果 (誤差大、アンテナー壁間20m)



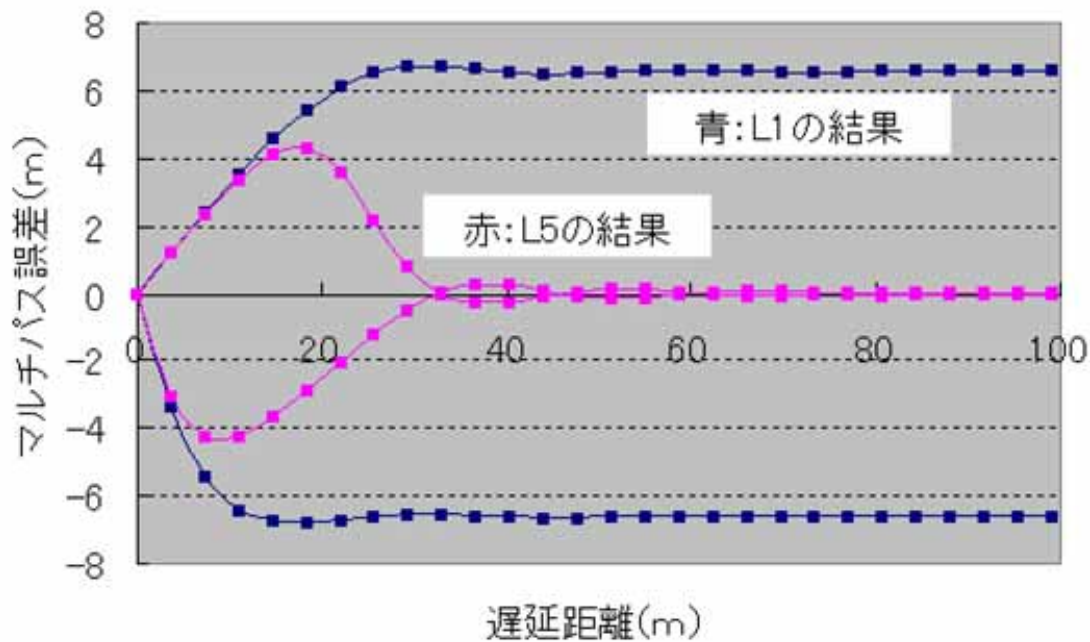
# DGPS測位結果 (誤差中、アンテナー壁間20m)



# DGPS測位結果 (誤差大、アンテナー壁間10m)



# L1とL5の対マルチパス性能



遅延距離とマルチパス誤差の関係  
帯域は20MHzを想定  
L1のほうは0.1chipのナローコリレータ相当

# WLとEWLの測位結果のノイズについて

L1とL2及びL5のノイズが等しいと仮定

WL

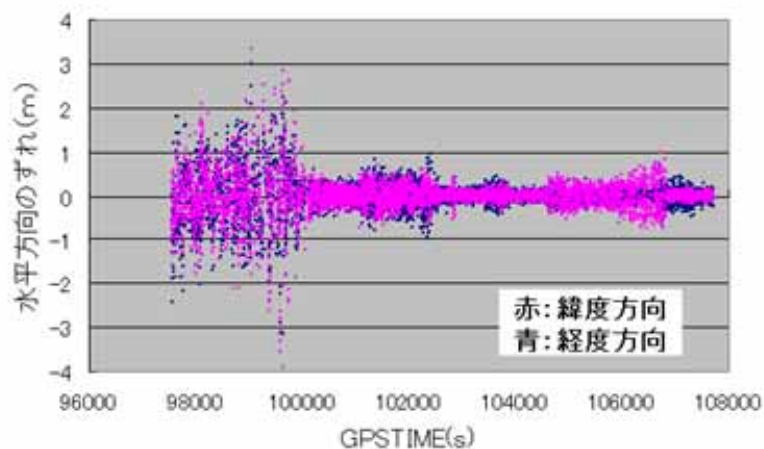
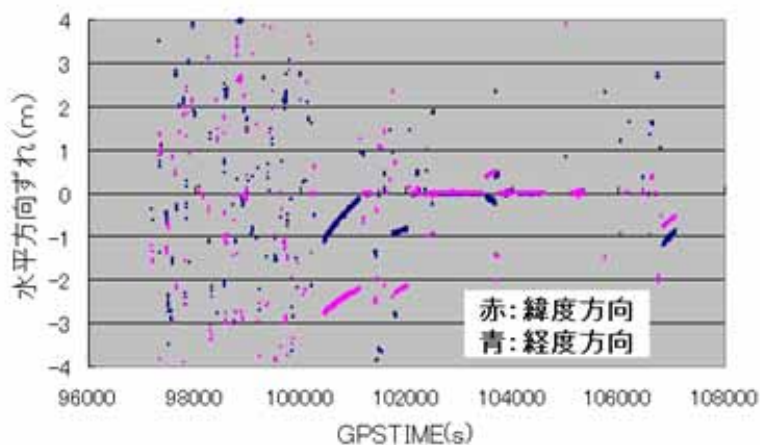
$$\begin{aligned}\Phi_{L12} &= \frac{f_{L1}}{f_{L1} - f_{L2}} \Phi_{L1} - \frac{f_{L2}}{f_{L1} - f_{L2}} \Phi_{L2} \\ &= \frac{154}{34} \Phi_{L1} - \frac{120}{34} \Phi_{L2}\end{aligned} \quad \longrightarrow \quad \sqrt{\left(\frac{154}{34}\right)^2 + \left(\frac{120}{34}\right)^2} = 5.7$$

EWL

$$\begin{aligned}\Phi_{L25} &= \frac{f_{L2}}{f_{L2} - f_{L5}} \Phi_{L2} - \frac{f_{L5}}{f_{L2} - f_{L5}} \Phi_{L5} \\ &= 24\Phi_{L2} - 23\Phi_{L5}\end{aligned} \quad \longrightarrow \quad \sqrt{24^2 + 23^2} = 33.2$$

WLは、L1よりも約6倍、EWLは、L1よりも約33倍のノイズを持つ  
L1帯の搬送波はマルチパスにより最大5cm程度の誤差を発生

# 搬送波位相を用いた測位結果 (誤差大、アンテナ一壁間20m)



WLの場合

FIX率 2092 / 8307 (25.2%)

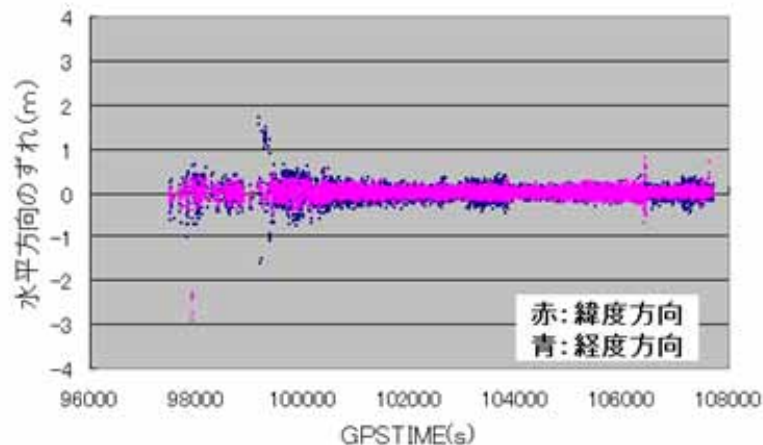
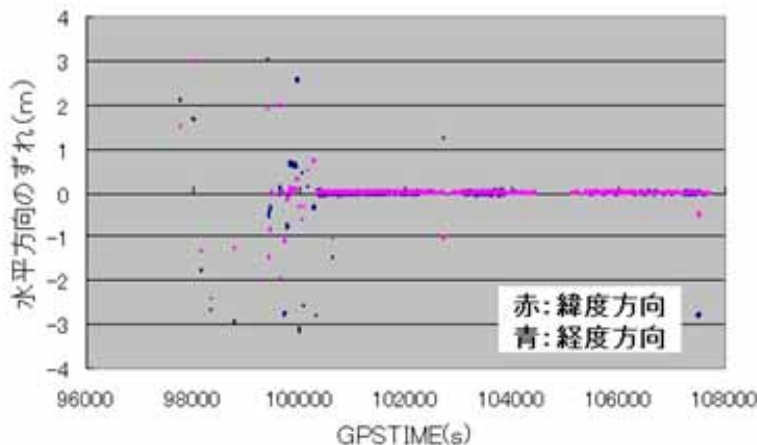
EWLの場合

FIX率 8044 / 8307 (96.8%)

分母は、10800回で可視衛星数が5個以上の回数

EWLのほうは、予想通りノイズが大きいですが、1エポックでのFIX成功が非常に多かった。

# 搬送波位相を用いた測位結果 (誤差中、アンテナ一壁間10m)



WLの場合

FIX率 6241 / 9043 (69.0%)

EWLの場合

FIX率 8675 / 9043 (95.9%)

分母は、10800回で可視衛星数が5個以上の回数

誤差大の場合と同様、EWLのほうはノイズが大きいが、1エポックでのFIX成功が非常に多かった。



# 測位結果のまとめと課題

- DGPS測位結果より、チップレートの高いL5帯の対マルチパス性能がシミュレーション通り有効であることがわかった。
- 遅延距離の短い(30m未満)マルチパス波に対しての性能を向上させることは課題である。
- アンビギュイティ決定では、EWLの有効性を確認することができた。しかし、予想通りノイズが大きく、EWL WLがミスなくスムーズに行くかの確認が必要。
- EWLのマルチパス誤差についても要調査。
- 本手法より性能の高いアンビギュイティ決定での再計算。
- WLでは探索範囲を十分にとった場合( $\pm 3$ 以上)、ミスFIXが大きくなることが予想される。
- 当初、可視衛星数は全ての時間で5個以上を想定していたが、L2帯のサイクルスリップが多く(WL、EWLに影響)、可視衛星数が5個以上の時間帯は、誤差大で約77%、誤差中で84%であった。



# まとめ

---

- 本稿では、将来GPSで追加される予定であるL5帯を利用することによる高精度測位への効果を検証するため、3周波対応のGPSシミュレータとGPS受信機を用いた実験を行った。
- 測位結果より、マルチパス環境においてL5帯を使用した場合、DGPS測位、搬送波位相利用測位共に、測位精度の向上が見られた。
- アンビギュイティ決定の高速化という点でもL5帯を利用した方が、FIX率が向上することがわかった。
- 本検討に必要な実験にご支援頂いた古野電気株式会社殿には心から感謝の意を表する。