



# GPSによる三周波数ambiguity (アンビギュイティ) 決定に関する研究

張雲 久保信明 安田明生  
情報通信工学研究室  
東京海洋大学



# 講演内容

- 背景と目的
- L5信号の特徴
- 三周波数信号シミュレーション
- アンビギュイティ決定シミュレーション
- まとめ



# 背景と目的

# 背景



GNSS近代化、民間における計画：

- L2周波数に民生C/A コードを付加
- 民生用L5周波数(中心周波数1176.45MHz)を全Block IIF衛星に付加

GPSは現在の二周波数から三周波数に変わる

多くの利点が予想される

# 関連研究と目的



- 二周波から三周波になることにより、アンビギュイティを決定しやすくなることが報告されている。アンビギュイティが決定されると、それまで1-2mだった精度が数cmまで飛躍的に向上する。ではどの程度改善されるのかという部分は、あまり発表されていない。
- また関連したシミュレーションでは、環境の良い条件がほとんどで、都市部または車の走行等を想定したマルチパスの大きい環境での高精度シミュレーション(三周波)は、まだなされていない。

- 1.アンビギュイティ決定と基線長(電離層誤差等)の関係
- 2.アンビギュイティ決定とマルチパスの関係



# L5信号の特徴



# 基準信号と線形結合 (ワイドレーン)信号のパラメータ

信号	中心周波数 (MHz)	波長 (meters)	電離圏誤差 (cycle) (L1に対して)	RMSキャリア雑音(meters)
L1	1575.42	0.19	1.0	0.00266
L2	1227.60	0.24	1.31	0.00440
L5	1176.45	0.25	1.36	0.00230
ワイドレーン (L1-L2)	347.82	0.86	-0.28	0.0197 約L1の7倍
ワイドレーン (L1-L5)	398.97	0.75	-0.33	0.0125 約L1の5倍
ワイドレーン (L2-L5)	51.15	5.86	-0.06	0.118 約L1の44倍



# L5信号の特徴と利点

**中心周波数1176.45MHz :**

- 周波数は保護飛行バンド1164MHz 1215MHzの中で、保護されてる

**L2とL5 線形結合(ワイドレーン結合):**

- 波長は5.861mになるので、アンビギュイティ決定が高速になる

**広帯域幅(>20MHz):**

- マルチパスエラー (multipath error)が小さい
- 測距精度 (ranging accuracy)を改善する

**長チップ (10,230chip):**

- コードの分離性能が向上する。

**など**





# 三周波数信号 シミュレーション



YUMA 衛星軌道情報  
+ ユーザの座標(基準、移動局)

対流圏誤差モデル

測定軌道誤差

電離圏誤差モデル

キャリア

コード

キャリア雑音

コード雑音

キャリア  
マルチパス誤差

コード  
マルチパス誤差

キャリア情報

コード情報

測位計算

測位計算の部分は、生データを処理するときのソフトウェアと同様

# シミュレーションの誤差パラメータ



- 電離層遅延量は天頂方向で1kmごとに3cm程度(二重位相差で)の誤差を仮定。対流圏遅延量は天頂方向で1kmごとに3mm程度を仮定。
- 測定軌道誤差は、約2.1mを想定。
- コード及びキャリアの雑音による誤差計算は次のスライドの式を参照。
- コード及びキャリアのマルチパス誤差は地面反射と人工的に作成した障害物(回折と反射のみ)を考慮して計算。ただし、基準局側は地面反射のみとした。



# シミュレーションにおける 雑音の大きさ

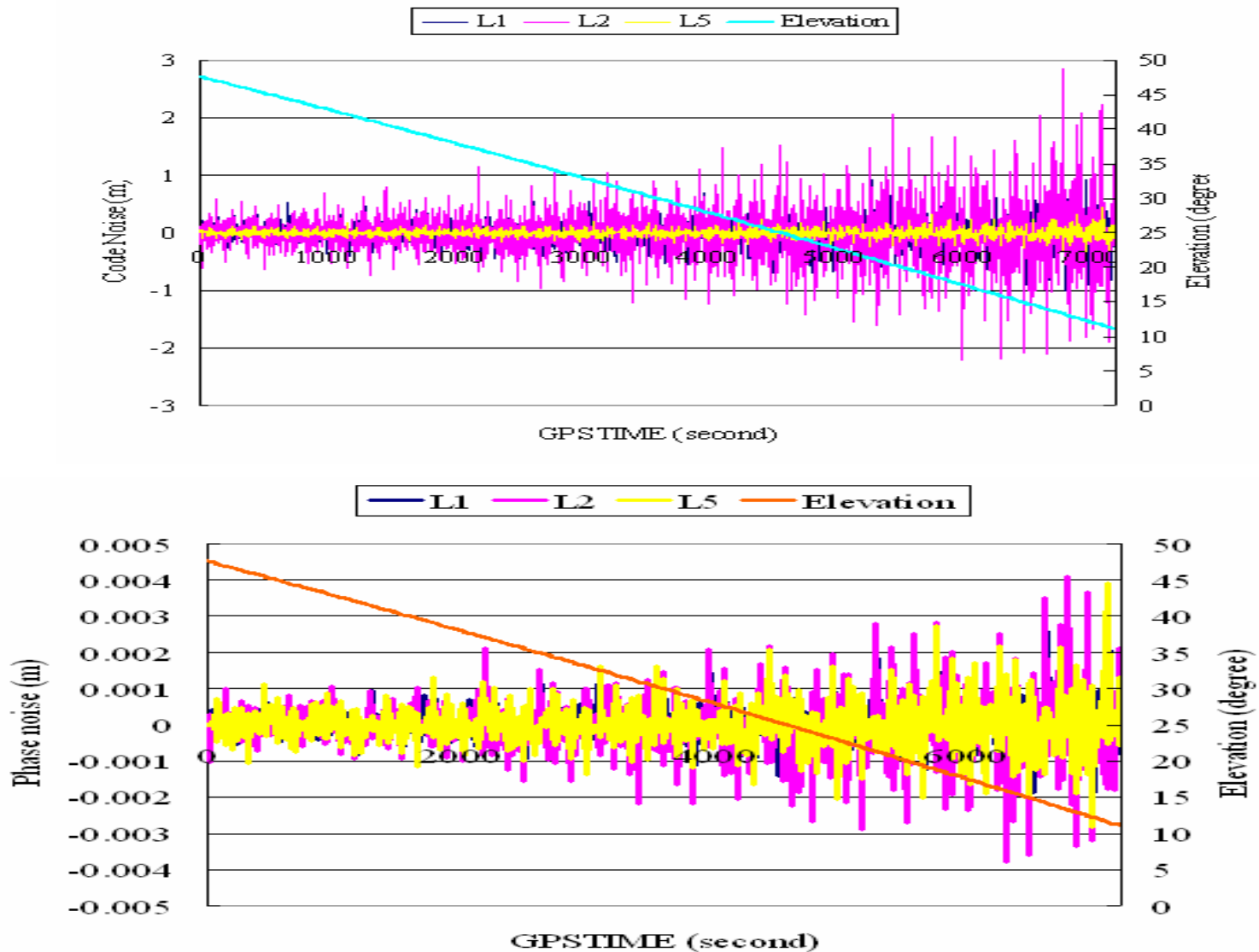
$$\sigma_{DLL} = \lambda_c \sqrt{\frac{\alpha \times d \times B_{DLL}}{c/n_0} \left[ 1 + \frac{2}{T_d \times c/n_0} \right]}$$

$$\sigma_{PLL} = \frac{\lambda_L}{2\pi} \sqrt{\frac{B_L}{c/n_0} \left( 1 + \frac{1}{2 \times T_d \times c/n_0} \right)}$$

$c/n_0$  は信号強度より計算(dB-Hz)



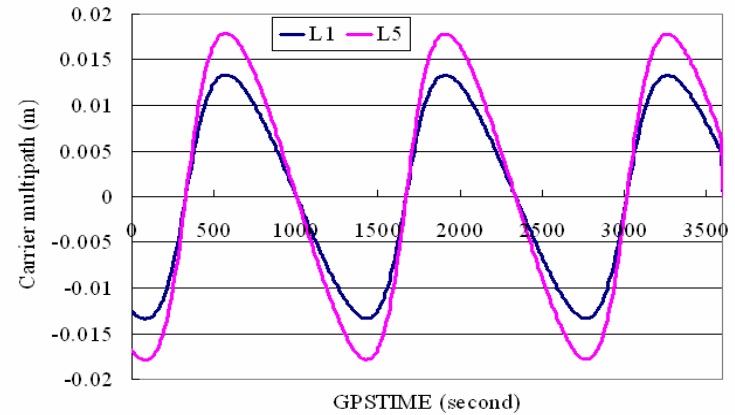
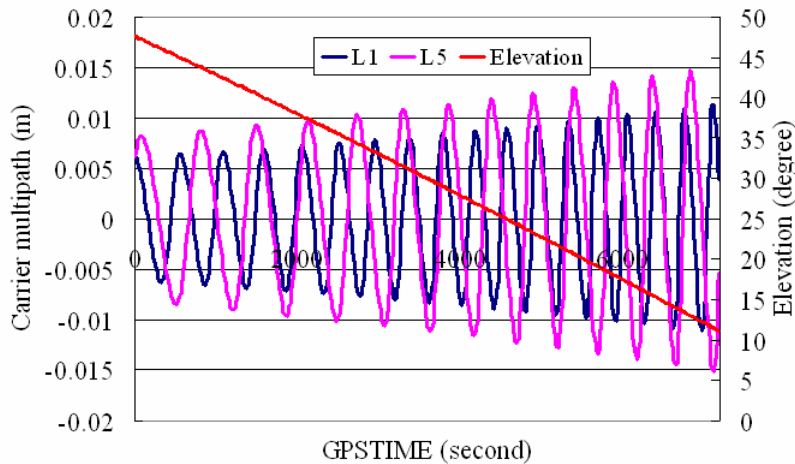
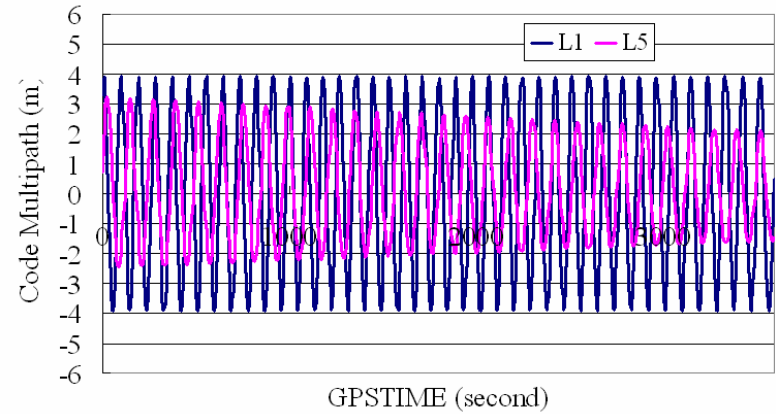
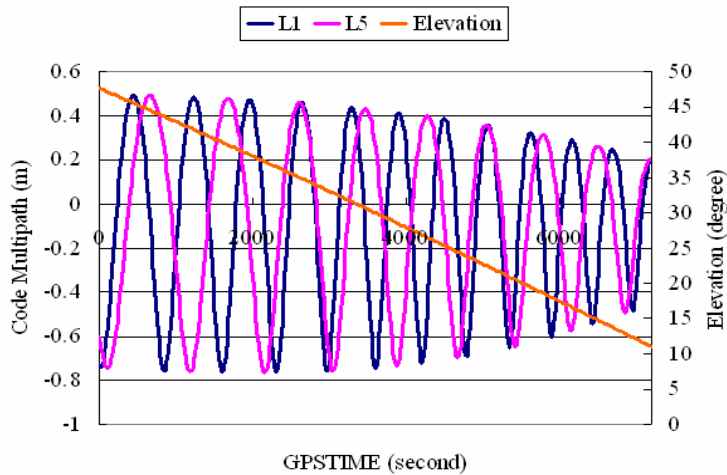
# シミュレーションで生成した雑音





# シミュレーションで生成したマルチパス誤差

ある単純な障害物を想定して計算



31番衛星信号における、地面反射マルチパス  
誤差:コード(上)とキャリア(下)

3番衛星信号における、構造物反射マルチ  
パス誤差:コード(上)とキャリア(下)



# アンビギュイティ決定 シミュレーション

- 1.アンビギュイティ決定と基線長(電離層誤差等)の関係
- 2.アンビギュイティ決定とマルチパスの関係



# 設定(1)

- シミュレーションで生成した信号を利用して、二周波数と三周波数アンビギュイティを決定する
- 計算時間: 0900 JST 2003年4月20日—0900 JST 2003年4月21日
- 衛星軌道: YUMA191ファイル
- コード平滑時間: 20秒
- マスク角度: 10度
- 1秒間隔でサンプル、2分ごとにアンビギュイティの初期化
- アンビギュイティ決定成功率(Ambiguity success rate: ASR) は720回(24時間)計算を行っている。ASRが高くなると、アンビギュイティ決定の性能が良くなる。





# 設定(2)

	地名	高度(m)	距離(km)
基準局	千葉市川1	100	
短基線	千葉市川2	100	0.691
中基線	足立	100	14.167
長基線	いわき	100	180.871
超長基線	久慈	100	521.715



# アンビギュイティ決定方法

## 二周波数:

ワイドレーン L1L2信号を使用してOTF(on-the-fly)方程式 (Cascade方法)を用いて計算する

## 三周波数:

(1) 超ワイドレーン L2L5信号を使用してOTF方程式を用いて計算する

(2) Geometry-Free 方法を用いて計算する。Geometry-Freeとは、衛星ごとにコードとキャリアの情報から直接アンビギュイティを求める手法。

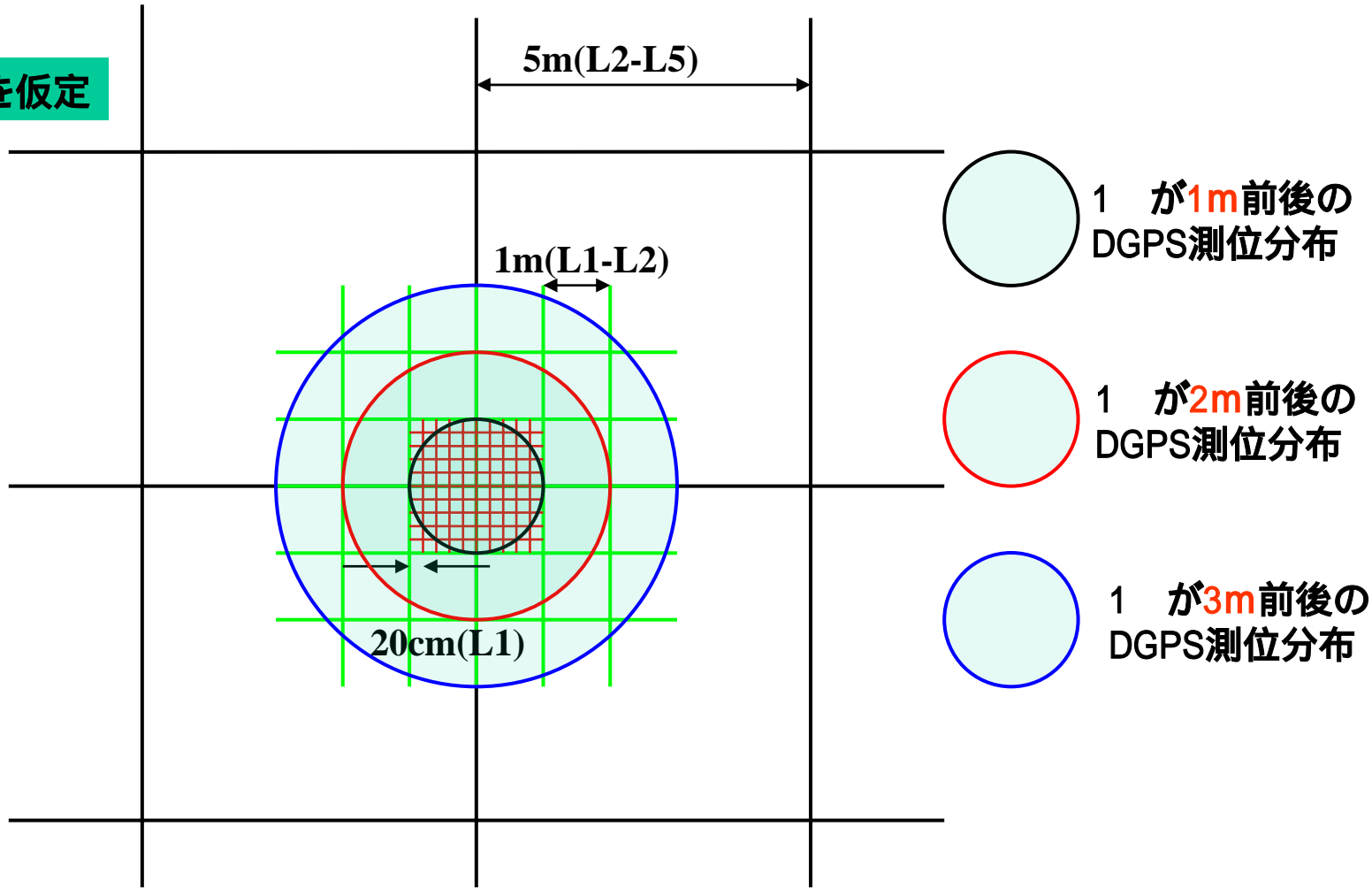
### OTF計算の流れ

- 1 : スムージングしたL1コードの情報を用いてDGPSを行う
- 2 : ワイドレーン又は超ワイドレーンを利用してアンビギュイティを求める
- 3 : 最終的にL1帯のアンビギュイティを求める



# なぜ3周波で改善されるのか

2次元平面を仮定



上の図を見てもわかるように、仮想的に作り出した波長が大きいほうが、アンビギュイティ決定はやりやすい。



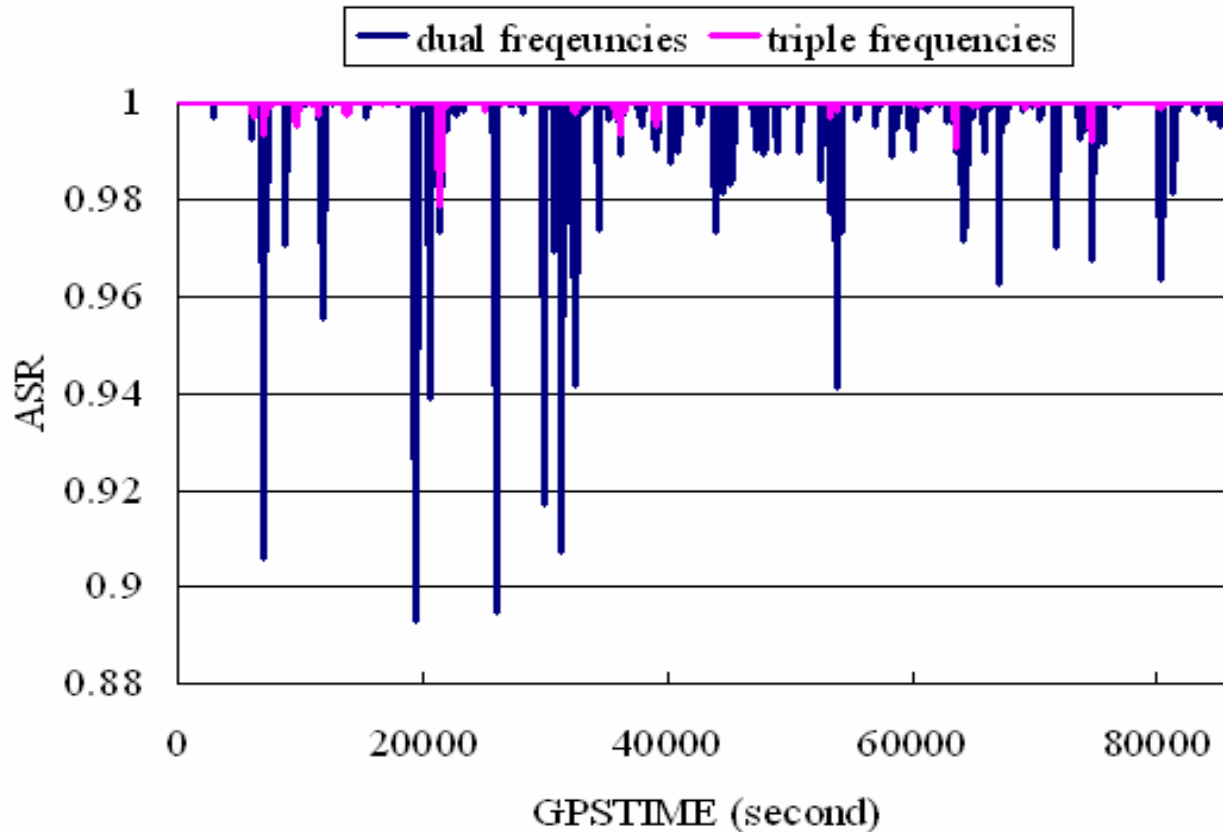
# アンビギュイティ決定成功率(ASR)比較

	マルチパス誤差 なし				マルチパス 誤差あり
	短基線	中基線	長基線	超長基線	短基線
二周波数 OTF	99.10%	90.85%	5.61%	0.2%	83.56%
三周波数 OTF	99.87%	95.83%	8.23%	0.6%	93.32%
三周波数 Geometry-free	15.5%	15.5%	15.5%	15.5%	
Geometry-free (200秒平均)	84.02%	84.02%	84.02%	84.02%	

マルチパスエラーなしの場合、中基線で、ASRは約**5%**改善した。長基線で、ASRは約**2.6%**改善した。超長基線で、ASRは改善されない。長基線と超長基線で、ARは高速化できない(ASRが10%以下)。マルチパスエラーありの場合、短基線で、ASRは約**10%**改善した。Geometry-free 方法は基線長に影響されず、連続キャリア信号を時間平均することにより、ASRが改善した。マルチパス誤差はL1帯で振幅が約**2 - 3m程度**(片側近接に**2F程度のビルが存在**)を想定。

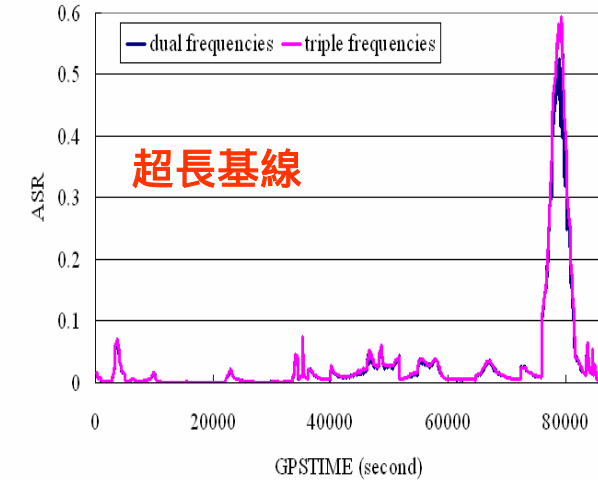
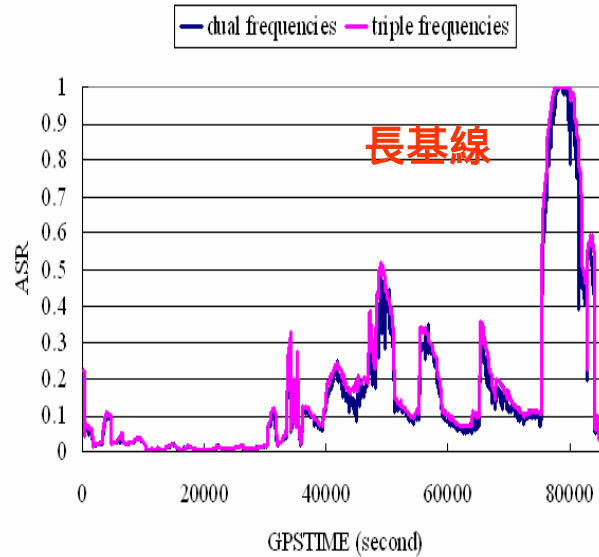
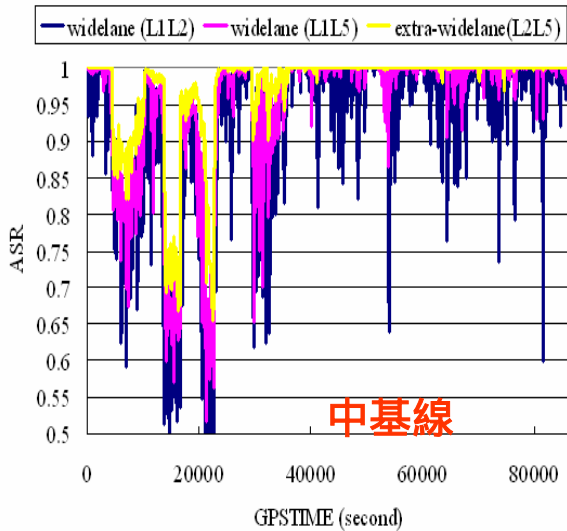
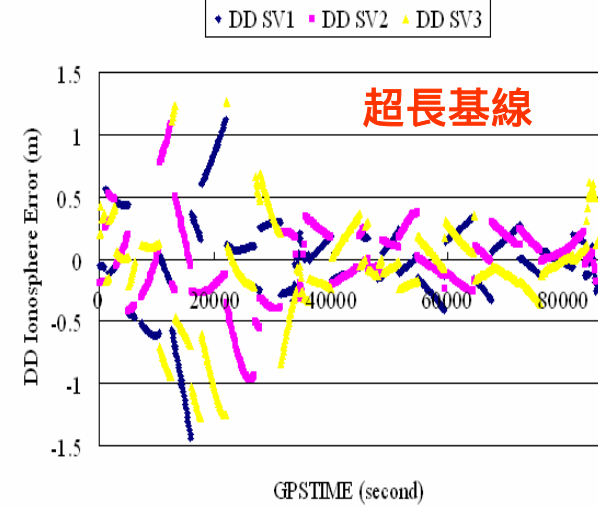
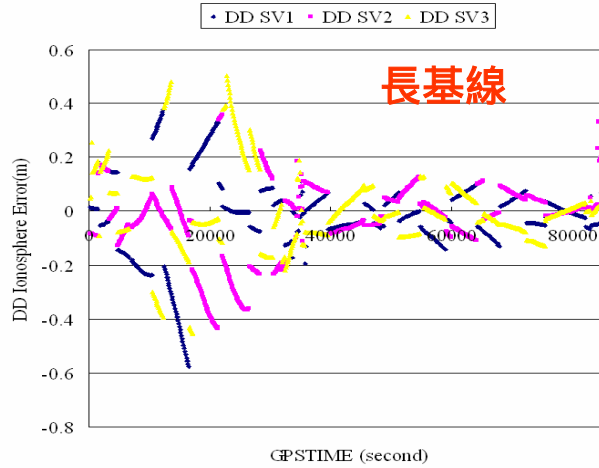
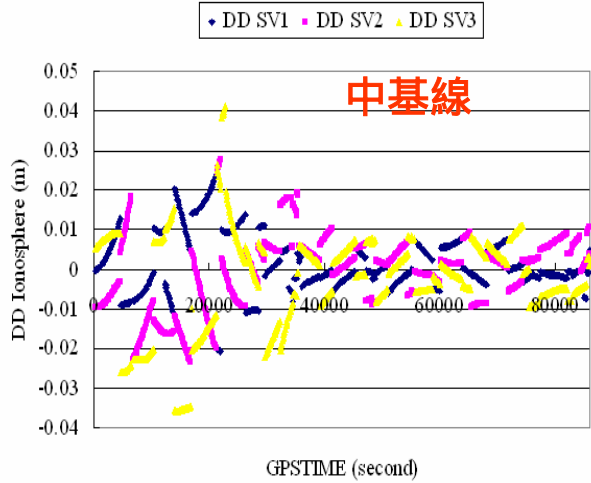


# 短基線における24時間のASR変化比較 (マルチパス誤差なし)



三周波数では、短基線における一日のASRがほぼ99%以上であることが分かる

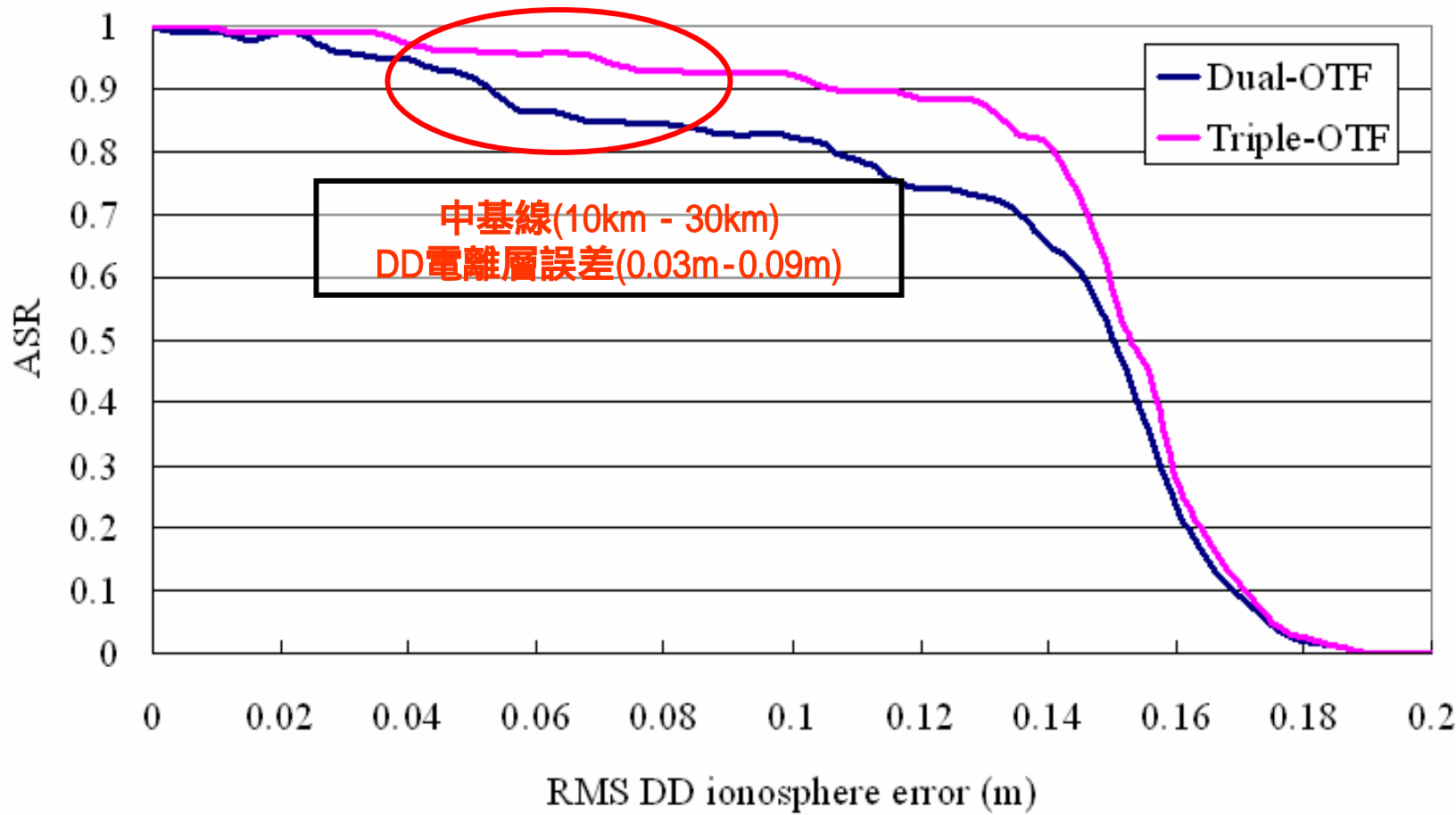
# 24時間の二重差電離圏誤差(Klobucharモデル)(上) とASR変化(下)比較 (マルチパス誤差なし)



中基線では、三周波数の二つの方法は、両方ともASRを改善する；  
長基線より、超長基線におけるASRのほうがさらに悪くなる；  
二周波数と三周波数における、電離圏誤差は両方ともASRに影響する



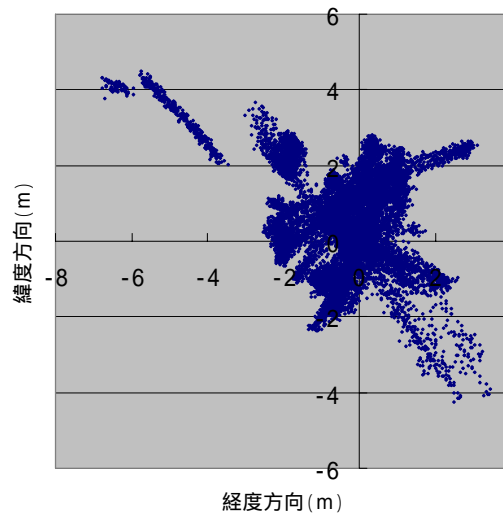
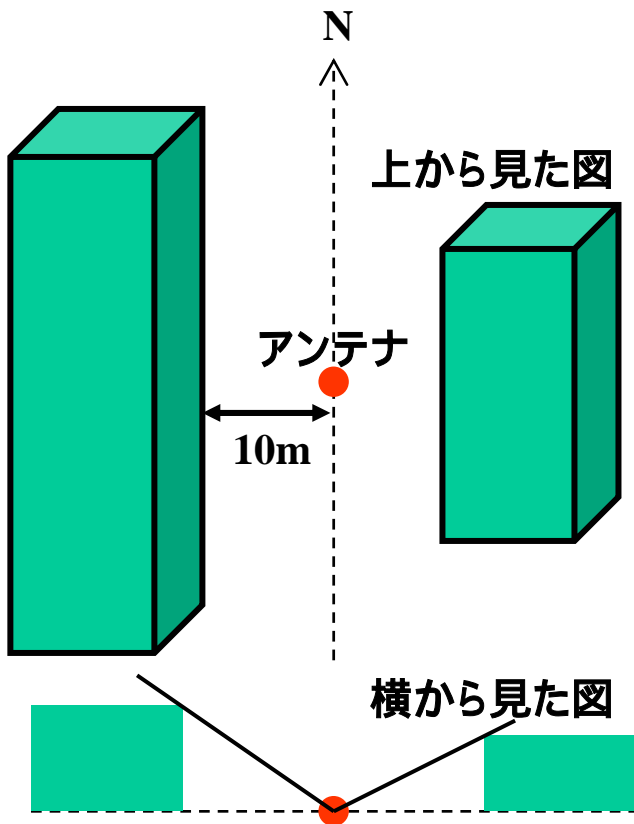
# 二重差(DD)電離層誤差とアンビギュイティ決定の関係



**三周波数であれば、ASR の有効基線が延長する**

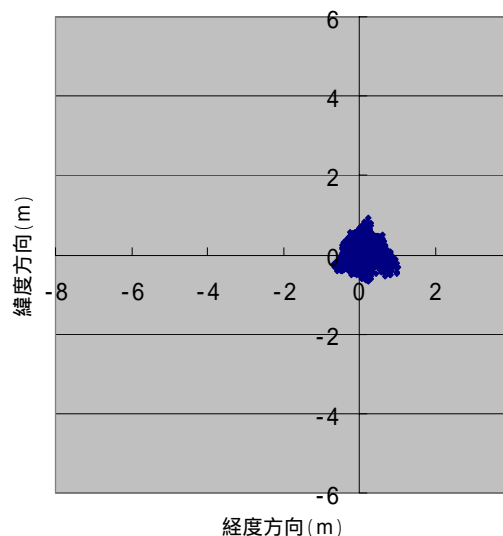


# マルチパス誤差が大きいときのアンビギュイティ決定



左の建物の影響を受けた場合のDGPS  
水平測位結果

**ASR**  
3周波: 201/288=70%  
2周波: 69/288=24%



広場で地面反射のみ  
受けた場合のDGPS  
水平測位結果

**ASR**  
3周波: 99%以上  
2周波: 99%以上

考慮したものの  
建物反射、地面反射、回折





# まとめ



# まとめ

三周波数利用の場合と現在のシステムを比較して以下の指針を得ることができた。

- 短基線と中基線では、アンビギュイティ決定性能が改善される。特に短基線の場合、一日中のASRはほぼ99%以上である
- 短基線では、マルチパス誤差が存在する場合、アンビギュイティ決定が改善される。特に誤差が大きい場合にその効果は大である。
- 二重差電離層誤差分析によると、基線長がほぼ30km(二周波数はほぼ15km)までは、ASRは95%以上になる (DD電離層誤差3ppmと仮定する場合)
- 長基線(ほぼ60km以上)は、アンビギュイティ決定がほとんど改善されない
- Geometry-Free方法により、基線長に影響されない。線形結合した信号の雑音に影響するが、連続信号時間平均すれば、アンビギュイティ決定が改善される。