



# GPSによる三周波数アンビギュ イティ決定に関する研究

張 雲

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計算
- 結論と今後の課題



# 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



# 研究目的

搬送波位相(キャリア)計測における、三周波数利用と二周波数利用を比べて、三周波数によるアンビギュイティ決定(Ambiguity Resolution: AR)の利点(1.アンビギュイティ決定と基線長関係、2.アンビギュイティ決定と電離圏誤差の関係)について検証する。



# L5 信号の特徴



# 民間における、GPS 信号の計画 ( M codeを除く )

L5

L2

L1

C/A

現在信号

P(Y)

P(Y)

C/A

C/A

C/AコードL2付加(--2011)

P(Y)

P(Y)

新しい民生信号L5  
(1176.45MHz)付加(--2015)

V-S

C/A

C/A

P(Y)

P(Y)

広帯域幅(>20MHz)  
長チップ (10,230chip)  
航行メッセージ100bps

1176.45 MHz

1227.6 MHz

1575.42 MHz



# 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)

ワイドレーン信号のキャリア雑音は拡大され、Geometry-free方法におけるARに影響する

ワイドレーン信号の波長が長くなり、基準信号と比べるとARが改善する

L1-L5信号のキャリア雑音はL1-L2信号より小さい

L2-L5信号の波長が一番長い

ワイドレーン(L1-L2)と比べると  
ARがさらに改善する





# L5信号の特徴と利点

**中心周波数1176.45MHz :**

- 航空ユーザは受益者になる（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、アンビギュイティ測定が高速になる

**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



# シミュレーションの誤差パラメータ



エラー パラメータ	基準局	移動局
電離圏誤差モデル	Klobuchar モデル 緯度、経度、仰角依存	Klobuchar モデル 緯度、経度、仰角依存
対流圏誤差モデル	Saastamoinenモデル 仰角依存	Saastamoinenモデル 仰角依存
測定軌道誤差	標準偏差2.1m <sup>1</sup>	標準偏差2.1m <sup>1</sup>
アンテナ・キャリア オフセット	米国の国家測地 調査所からダウンロード	米国の国家測地 調査所からダウンロード
コード雑音	DLL 雑音	DLL 雑音
キャリア雑音	PLL 雑音	PLL 雑音
コード マルチパス エラー	地面反射	地面 と構造物反射
キャリア マルチパス エラー	地面反射	地面 と構造物反射

## 1. GPS衛星からの航法メッセージの軌道誤差



# 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 (dB-Hz) である、雑音を作る時に必要

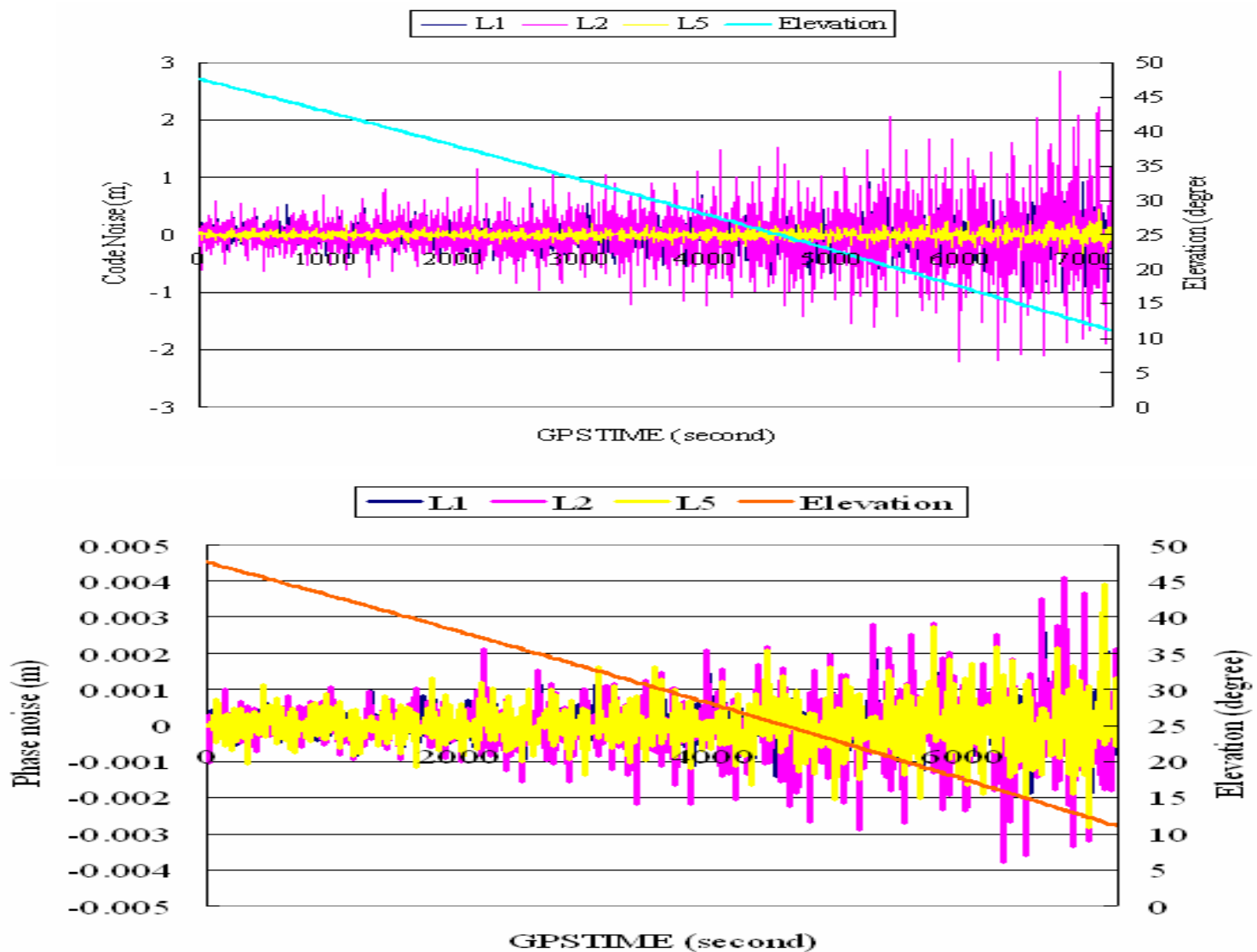
# シミュレーションの雑音を決める パラメータ



	L1	L2	L5
$\lambda_L$ (cycles/sec)	0.1903	0.224	0.2548
$\lambda_c$ (chip/sec)	293.05	293.05	29.305
$d$ (chip)	0.1	0.1	1.0
$T_d$ (ms)	20 (nav.msg 50bps)	20 (nav.msg 50bps)	10 (nav.msg 100bps)
$B_{DLL}$ (Hz)	0.5	0.5	0.5
$B_L$ (Hz)	10	10	10
$c/n_0$	NOVATEL 702アンテナとNOVATEL OEM3 受信機で取得した1 2時間の平均値		L1と同じ



# シミュレーションで生成した雑音

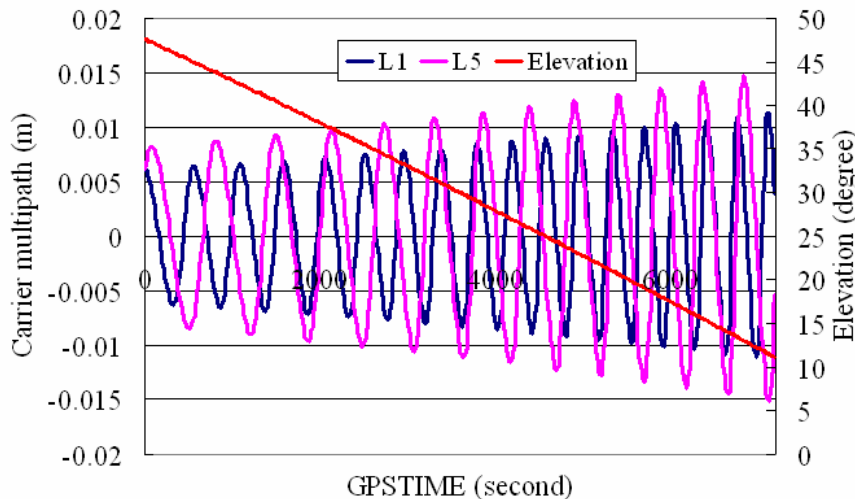
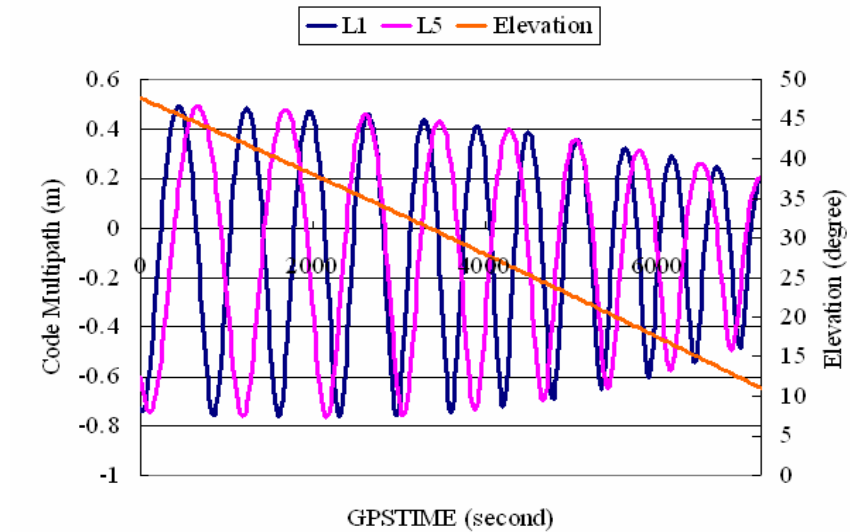


2時間の31番衛星信号コードの雑音(上)とキャリア雑音(下)

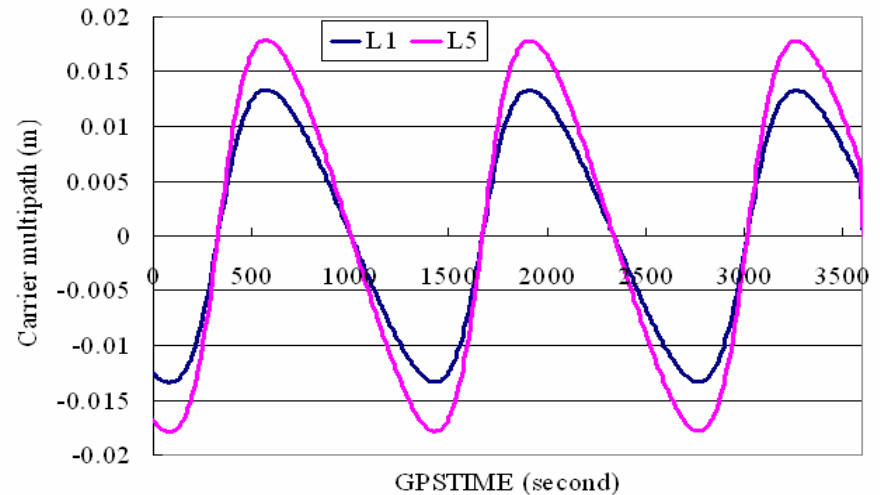
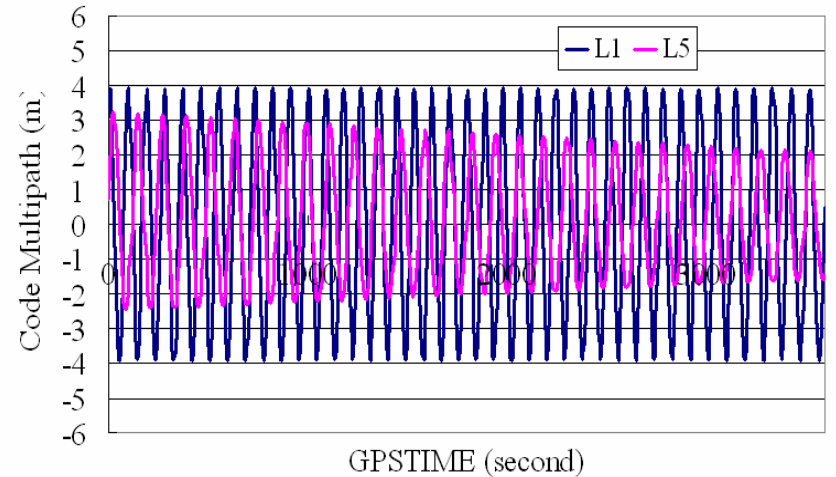
# シミュレーションで生成した マルチパスエラー



構造物は移動局の東方向、移動局との距離100m、高度約150m



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





# アンビギュイティ決定計算



# 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
- 使用計算機：DELL GX270 Celeron 2.4GHz
- 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、ARの性能が良くなる。



# 設定(2)

	地名	高度(m)	距離(k m)
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:

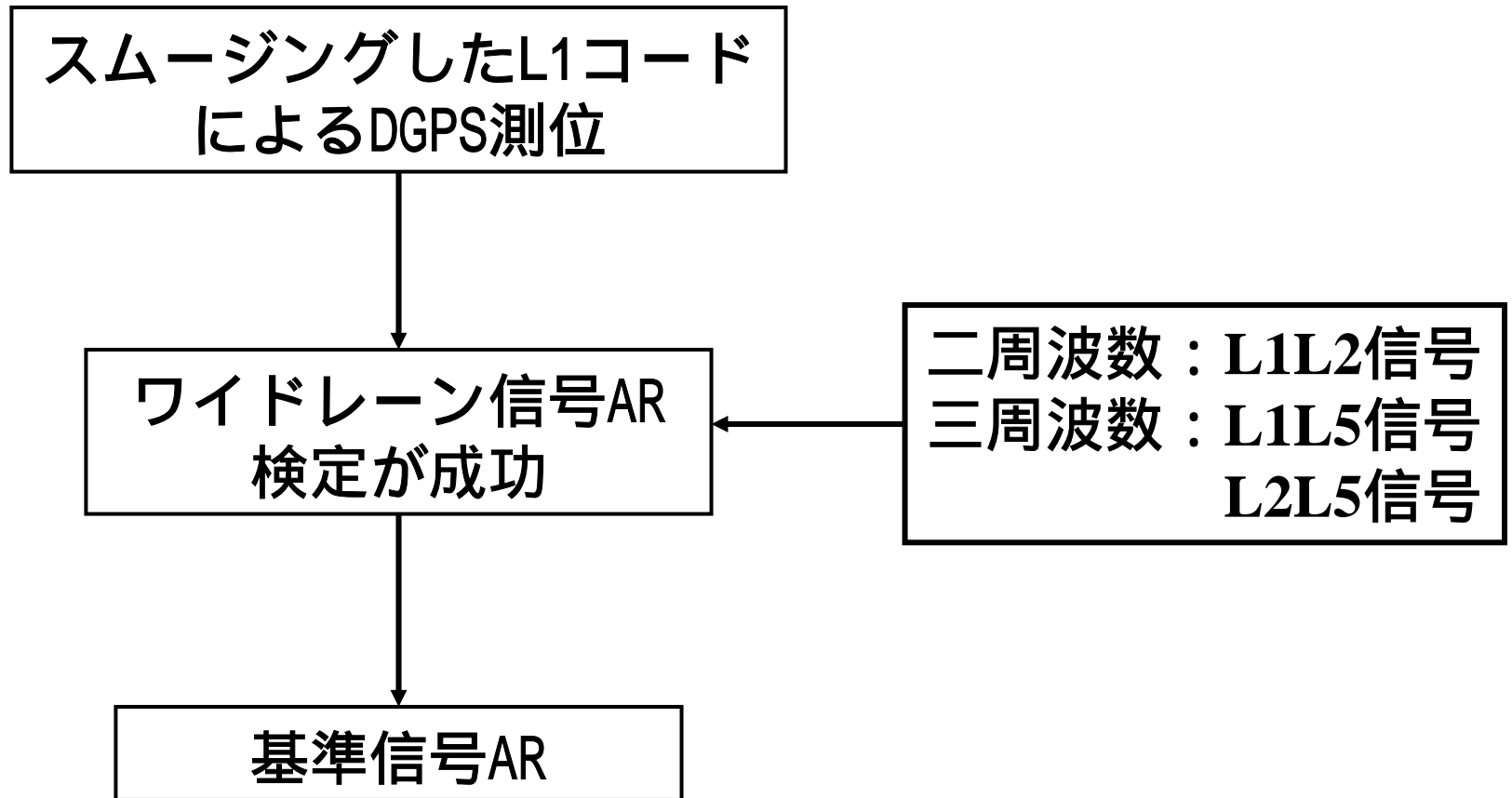
ワイドレーン L1L2信号を使用してOTF (on-the-fly) 方程式 (Cascade方法) を用いて計算する

## 三周波数:

- (1) ワイドレーン L1L5信号を使用してOTF方程式を用いて計算する
- (2) 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
- (3) Geometry-Free 方法を用いて計算する



# OTF方程式(Cascade 方法)





# Geometry-Free 方法

三周波数の場合、二つの独立したgeometry-free方程式がある：

二つの方程式、二つの未知数

$$\Phi_{L5} - \Phi_{L2L5} = -\frac{f_1}{f_5} \left( \frac{f_1}{f_5} + \frac{f_1}{f_2} \right) I_{L1} + \lambda_{L5} N_{L5} - \lambda_{wL2L5} N_{wL2L5} + \varepsilon_{GL5-L2L5}$$

$$\Phi_{L5} - \Phi_{L1L5} = -\frac{f_1}{f_5} \left( \frac{f_1}{f_5} + 1 \right) I_{L1} + \lambda_{L5} N_{L5} - \lambda_{wL1L5} N_{wL1L5} + \varepsilon_{GL5-L1L5}$$

$$N_{L5} = \text{time average} \left\{ \frac{1}{\left[ \lambda_5 \left( -\frac{f_1}{f_5} \right) \right]} \cdot \left[ \left( \frac{f_1}{f_2} + \frac{f_1}{f_5} \right) (\Phi_{L5}(t) - \Phi_{wL2L5}(t) + \lambda_{wL2L5} N_{wL2L5}) - \left( 1 + \frac{f_1}{f_5} \right) (\Phi_{L5}(t) - \Phi_{wL1L5}(t) + \lambda_{wL1L5} N_{wL1L5}) \right] \right\} \quad (\text{cycles})$$

ARに影響する

where:  $\varepsilon_{GL5-L2L5} = \varepsilon_{L5} - \varepsilon_{L2L5}$        $\varepsilon_{GL5-L1L5} = \varepsilon_{L5} - \varepsilon_{L1L5}$

Geometry-free 方法は三周波数の長距離の場合に利用、連続キャリア信号が必要である。



## アンビギュイティ決定成功率(ASR)比較

	マルチパスエラー なし				マルチパス エラーあり
	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。

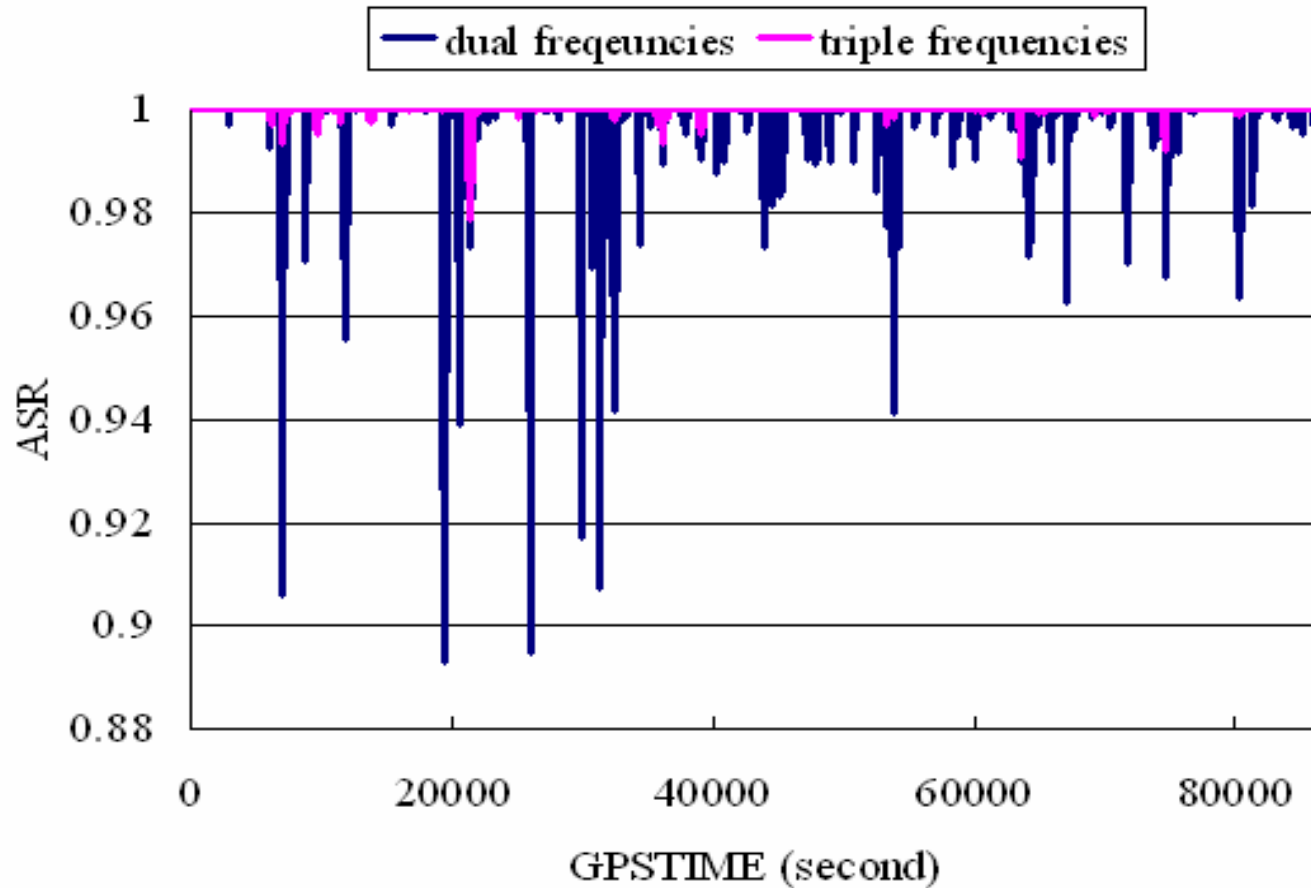
長基線と超長基線で、ARは高速化できない(ASRが10%以下)。

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



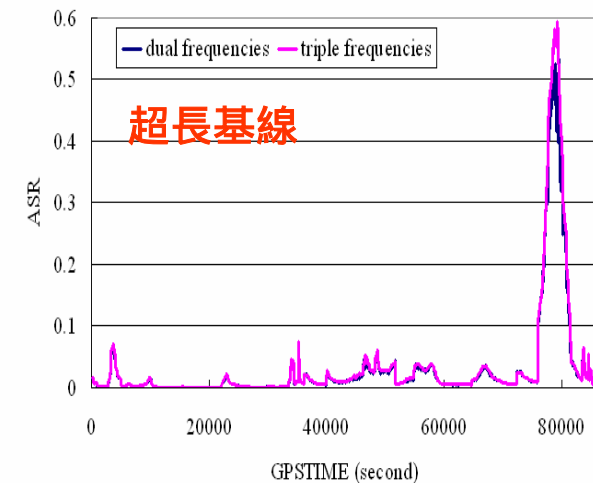
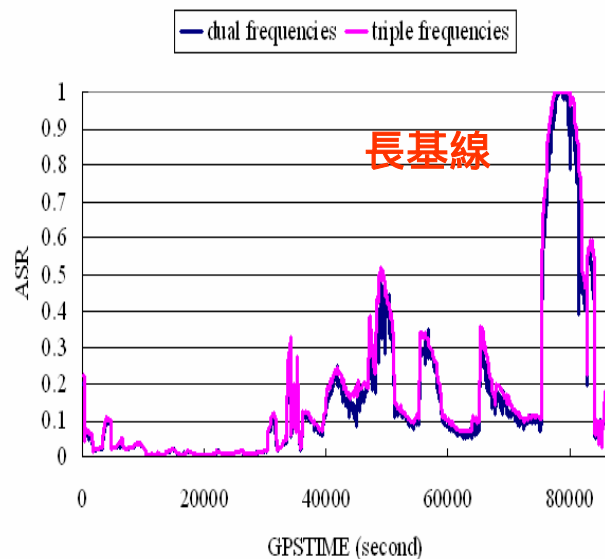
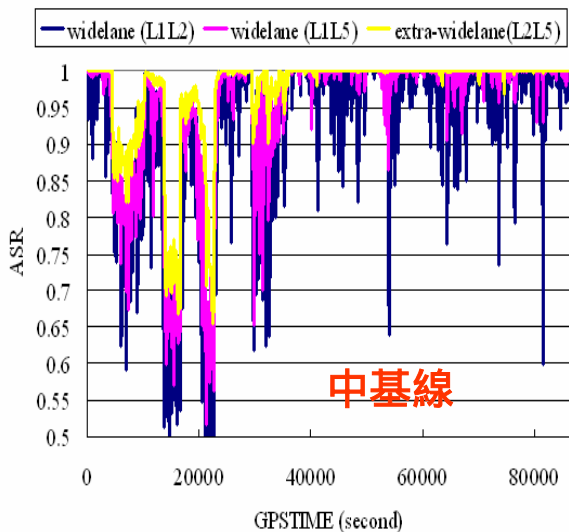
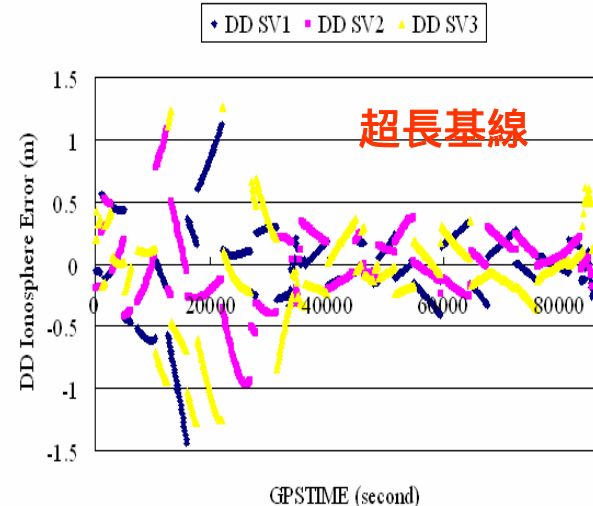
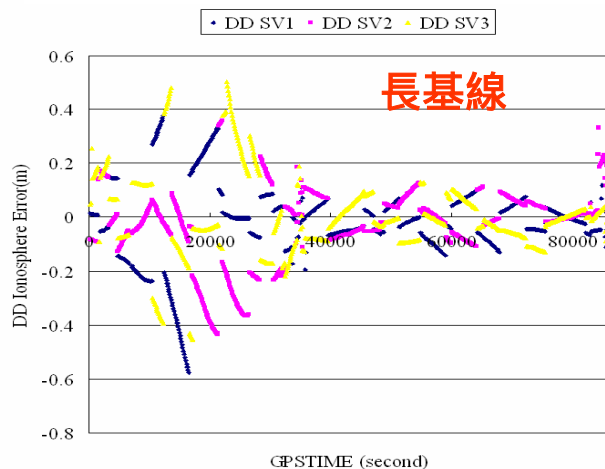
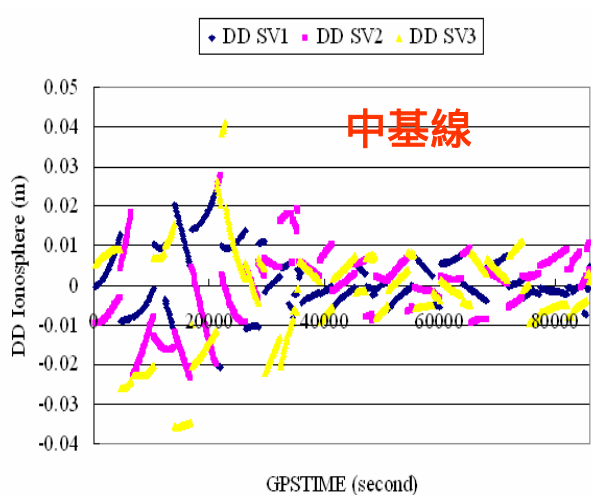
# 短基線における24時間のASR変化比較 (マルチパスエラーなし)



分析：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



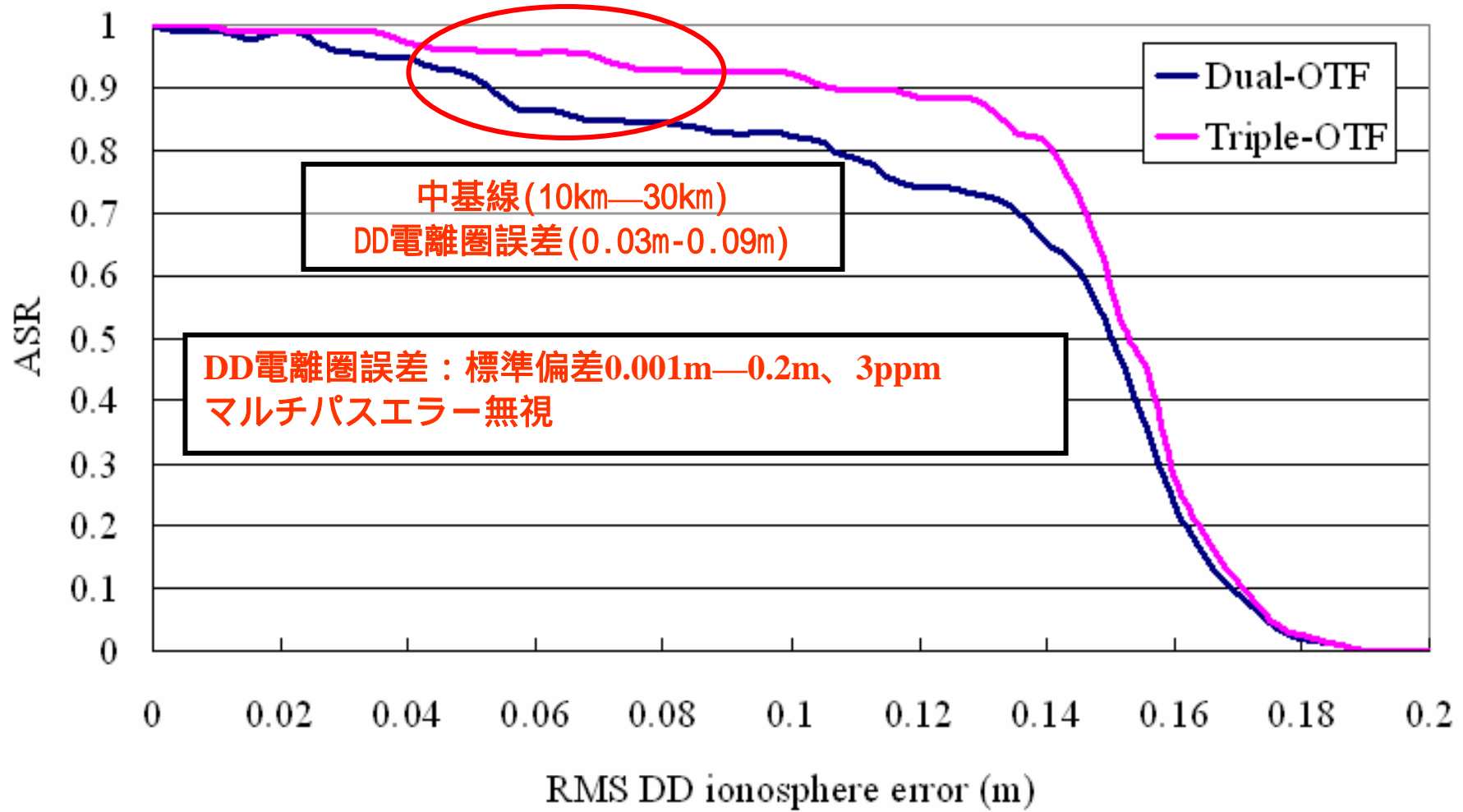
# 24時間の二重差電離圏誤差 (Klobuchar モデル)(上) とASR変化(下)比較 (マルチパスエラーなし)



分析：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)電離圏誤差とアンビギュイティ決定の関係



分析：三周波数であれば、ARの有効基線が延長する



# 結論と今後の課題



# 結 論

三周波数と現在の二周波数を比べる：

- ワイドレーン(L1L5)信号は雑音が小さくなる。ワイドレーン(L2L5)信号は波長が長くなる。
- 短基線と中基線では、AR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、マルチパスエラーが存在する場合、ARが改善される
- 二重差電離圏誤差分析によると、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電離圏誤差3ppmと仮定する場合)
- 長基線(ほぼ60km以上)は、AR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の影響するが、連続信号時間平均すれば、ARが改善される。



# 今後の課題

- 探索空間(Search Spacing)を小さくなるため、新しいAR方法を数学的に研究する。
- 長距離の場合、三周波数でも、AR高速化のために、電離圏の測定をする必要がある。そして、高精度リアル・タイム(または準リアル・タイム)の日本上空電離圏モデルを作る



ありがとうございました