

# RTK-GNSSの信頼性に関する研究

白井 友子

# 発表概要

- 研究目的
- RTK-GNSS測位概要
- 車両による実験(3ヶ所)
- シミュレーション概要
- シミュレーション実験
- まとめ、今後の課題

# RTK-GNSSとは

受信機位置をcmレベルの精度で測る精密測位技術

## これまでのRTKの利用方法



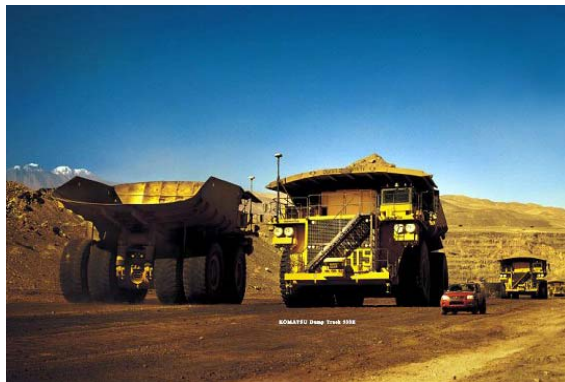
測量



津波波高計



基準点



ダンプ



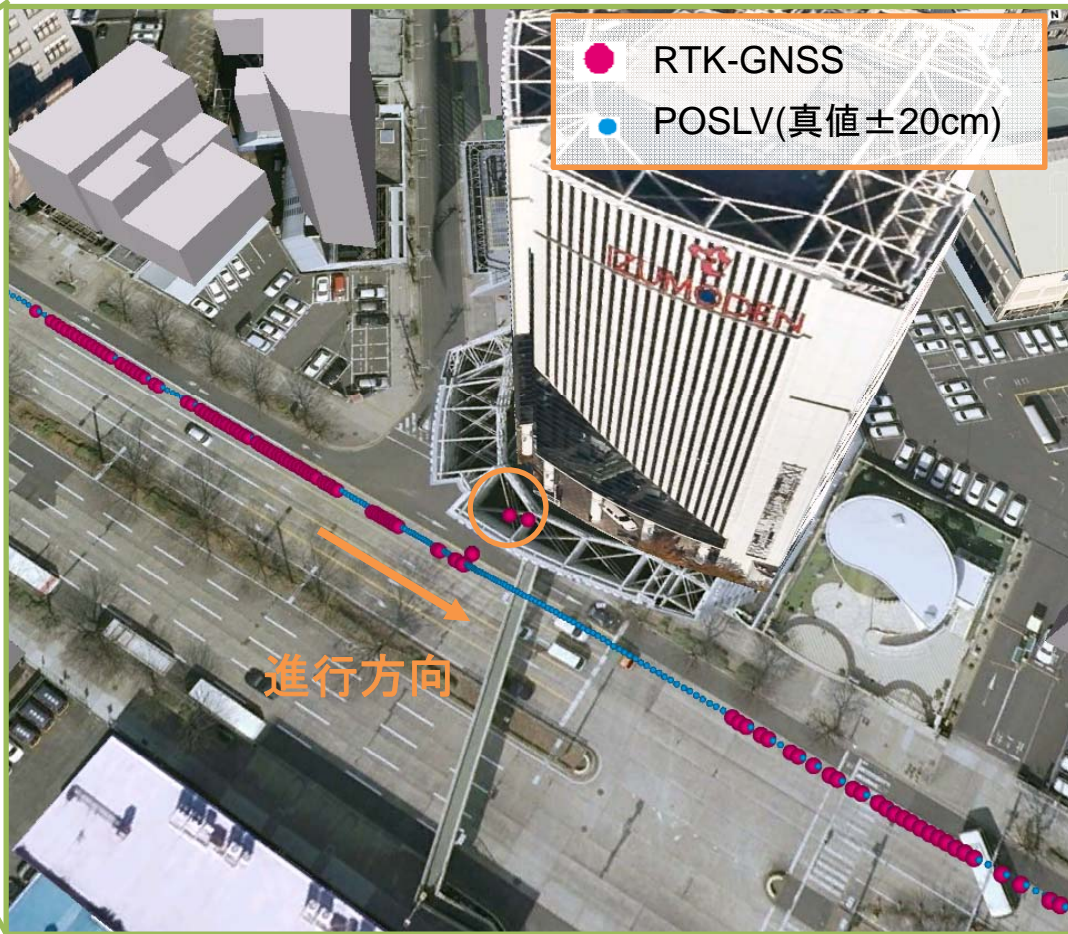
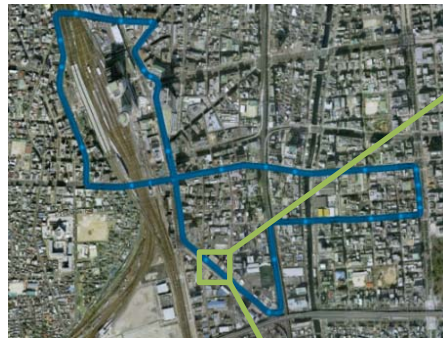
精密農業

## 今後期待される利用方法



ITSなど  
移動体測位

# 研究目的

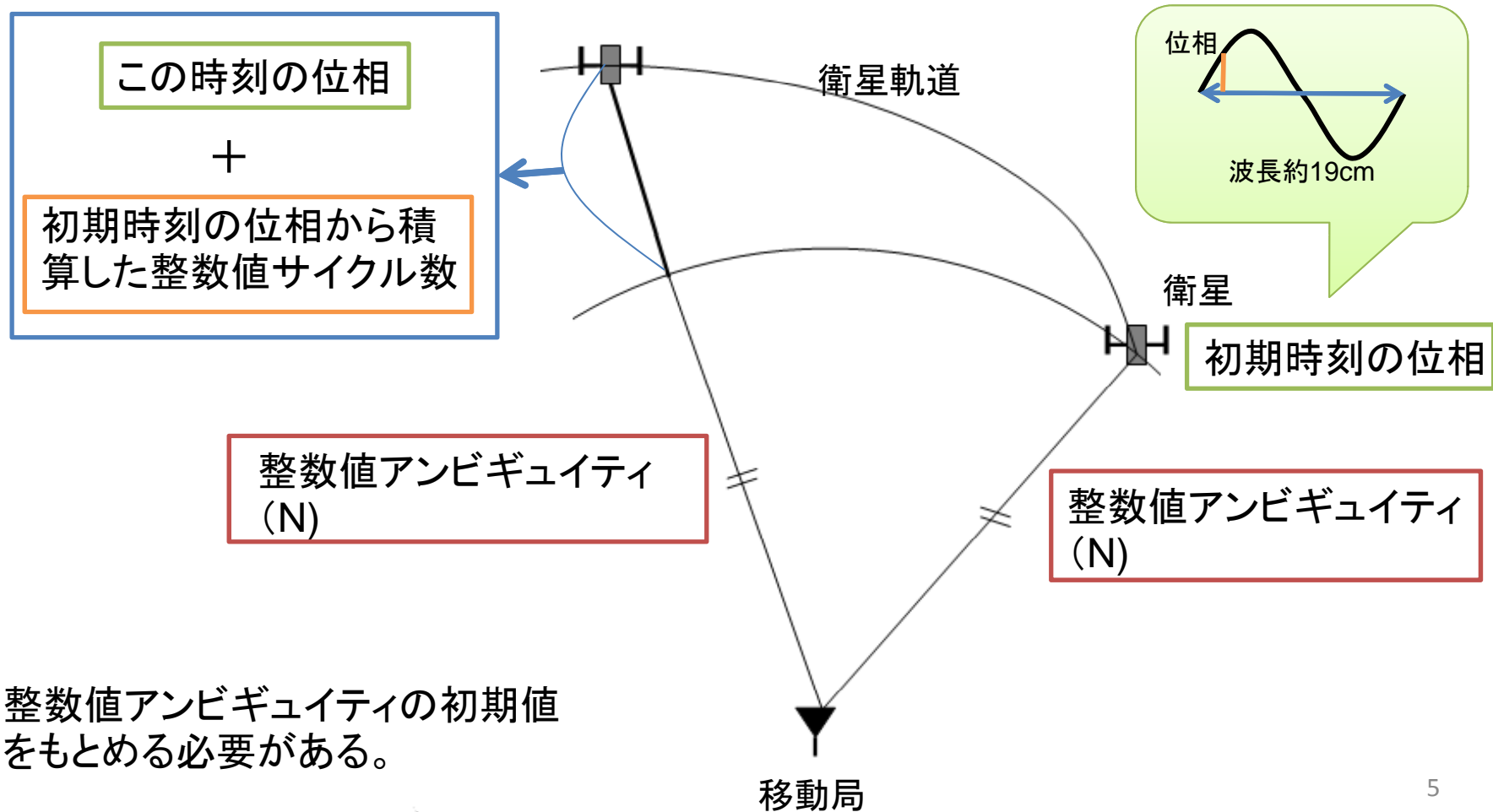


1. RTK-GNSSをマルチパスの影響の多い都市部で用いた場合の信頼性
  2. RTK-GNSSに対する外乱の影響
- 信頼性の高い解が得られる条件を示す。
  - 正確な解が得られることにより、RTK-GNSSが利用できない場合にINSやDopplerなどを利用して移動体測位が精度良く行える。

# DGNSSとの違い

擬似距離観測値の他に搬送波位相観測値を用いる

整数波数分の未知数が含まれる

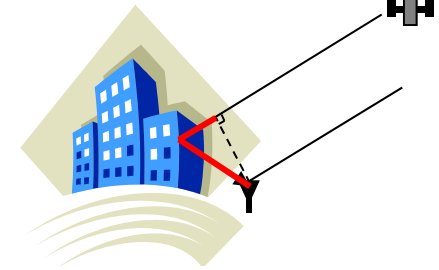
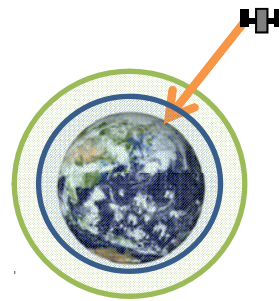
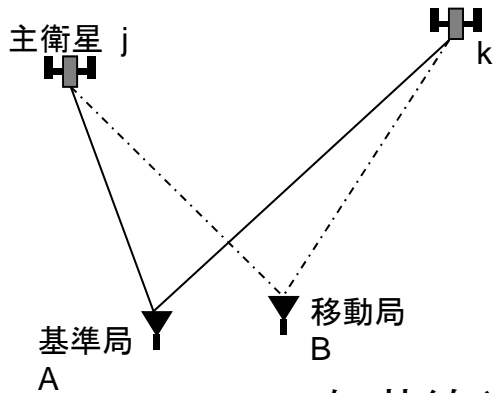


# 二重差と観測値の測定誤差

搬送波位相観測値  $\lambda\Phi = \rho + \lambda N - I + T + c\Delta\delta + \lambda\varepsilon$

擬似距離観測値  $R = \rho + I + T + c\Delta\delta + \varepsilon$

- 観測値
- 衛星-受信機間の真の距離
  - 電離層、対流圏による影響
  - 衛星間、受信機間時計誤差
  - マルチパスの影響  
衛星位置誤差など



短基線 (10km程度) で二重差をとる  $*_{AB}^{jk} = (*_B^k - *_A^k) - (*_B^j - *_A^j)$

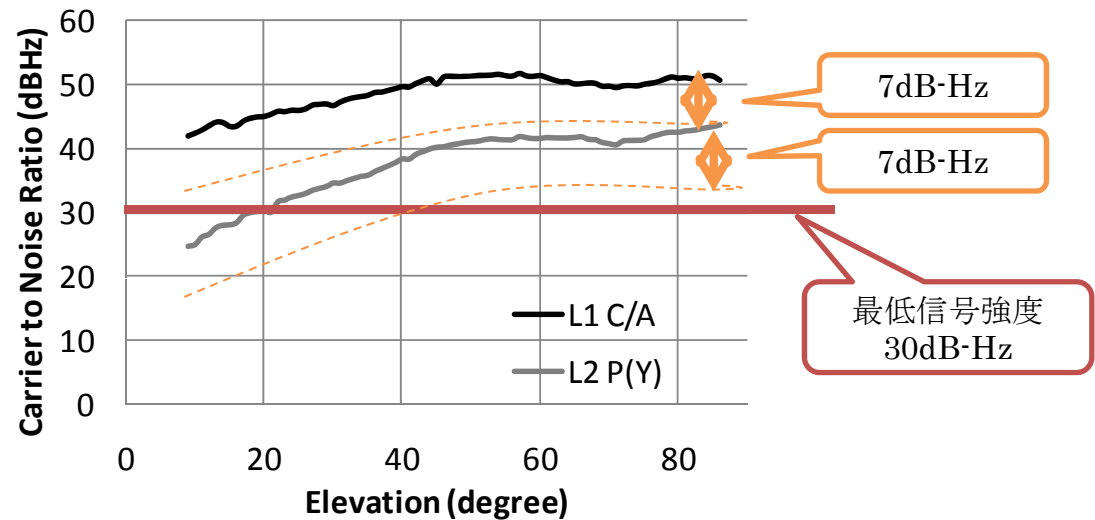
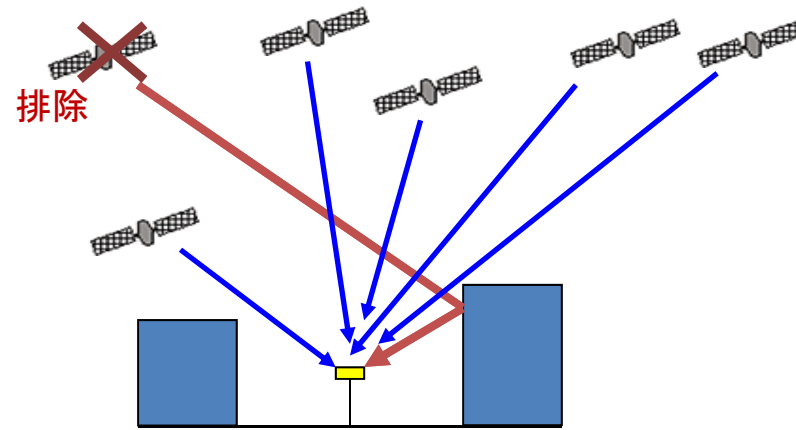
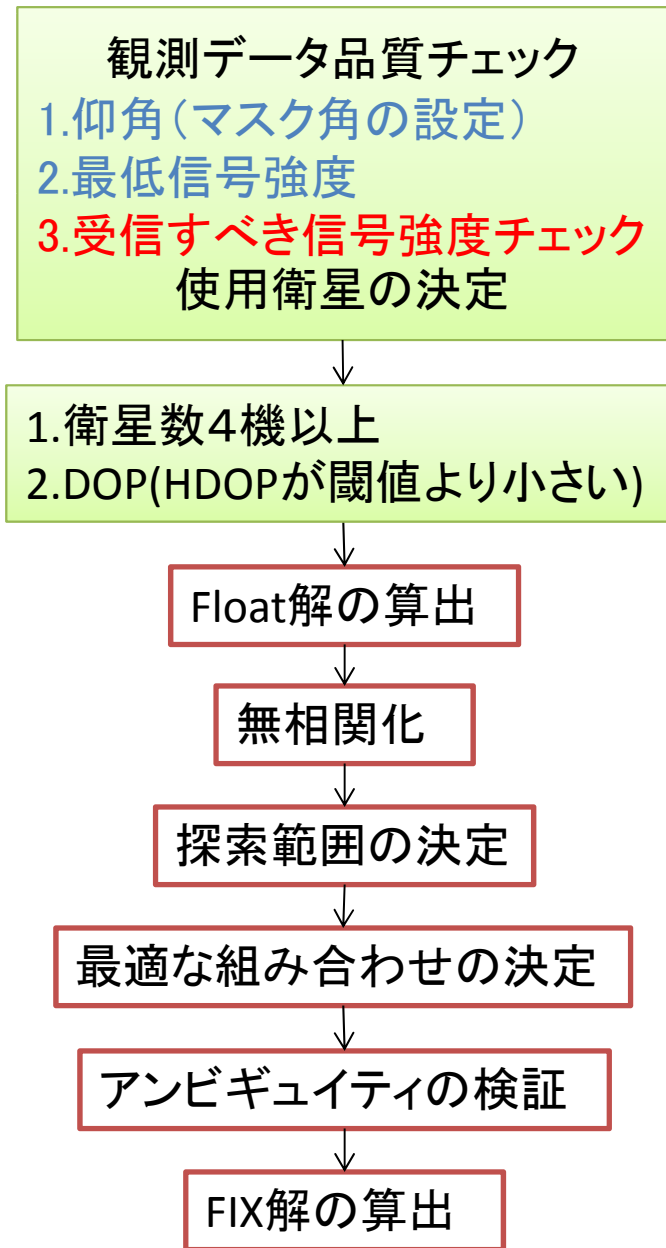
$$\lambda\Phi_{AB}^{jk} = \rho_{AB}^{jk} + \lambda N_{AB}^{jk} + \lambda \varepsilon_{AB}^{jk}$$

最大で波長の1/4 (1~5cm程度)

$$R_{AB}^{jk} = \rho_{AB}^{jk} + \varepsilon_{AB}^{jk}$$

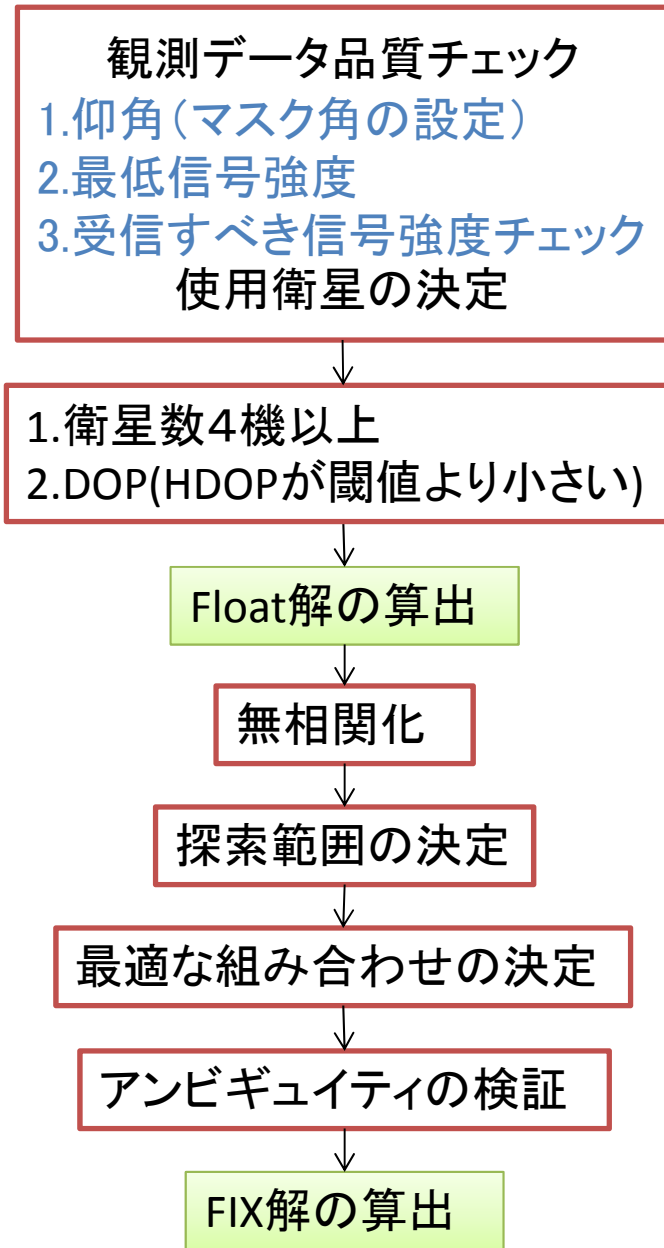
1m~5m以上

# 測位計算



仰角とC/N<sub>0</sub> (L1-C/A and L2P(Y) 信号) の関係 7

# 測位計算



重み付き最小二乗法で以下の値を得る

- ①実数解のN
- ②Nの分散共分散行列
- ③実数解Nでの測位結果

例) 未知数Nが2つの場合

$$Q_{\hat{n}} = \begin{bmatrix} 53.4 & 38.4 \\ 38.4 & 28.0 \end{bmatrix}$$
$$\underline{\hat{N}} = \begin{bmatrix} \hat{N}_1 \\ \hat{N}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.05 \\ 1.30 \end{bmatrix}$$

LAMBDA法(整数最小二乗法)

未知数である整数値を瞬時に推定する手法

Ratio テスト

推定された整数値の確かさを検証するテスト

Ratioテストを満たした整数値アンビギュイティを用いてもう1度測位を行う

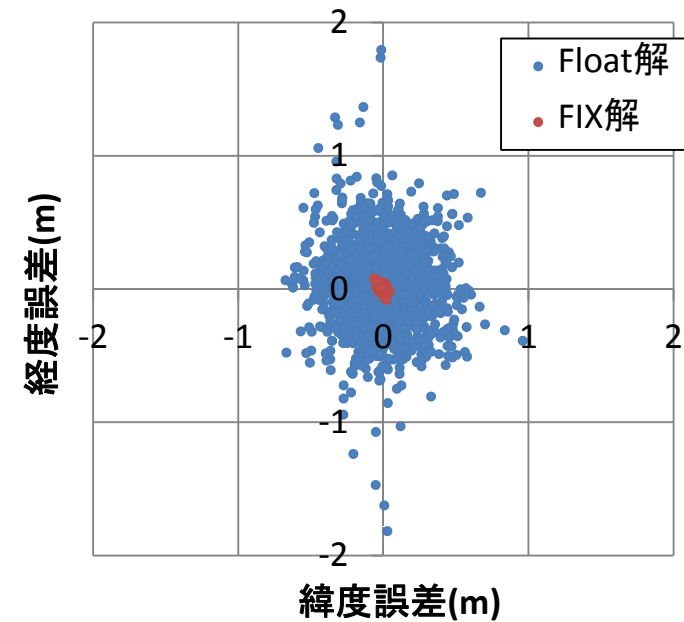


# 電子基準点

整数値アンビギュイティの推定が重要となる。

観測日	2011/9/17 24時間分
基準局、移動局	大東2、浜岡2
基線長	約10km
	観測は30秒に1度行い、 合計2880回

利便性	信頼性 (50cm以内)	信頼性 (5cm×HDOP)
1716/2880 (60%)	1716/1716 (100%)	1708/1716 (99.5%)

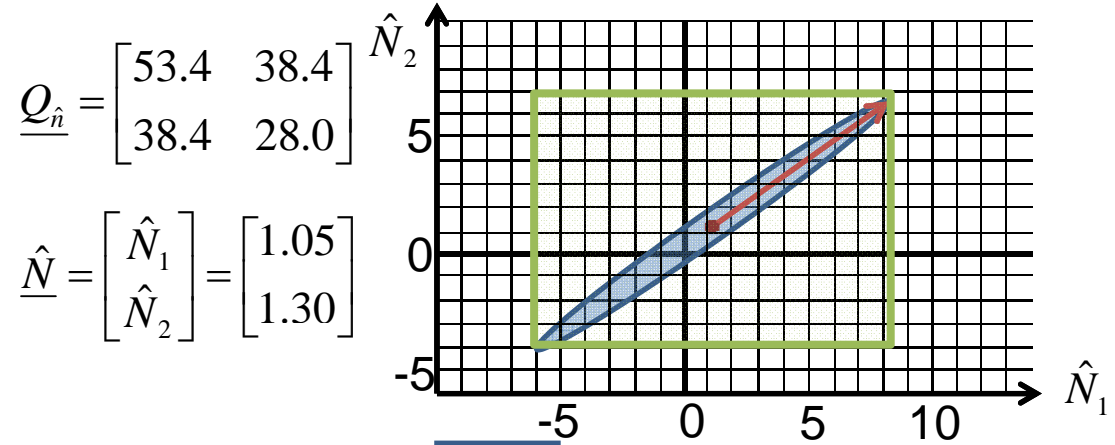
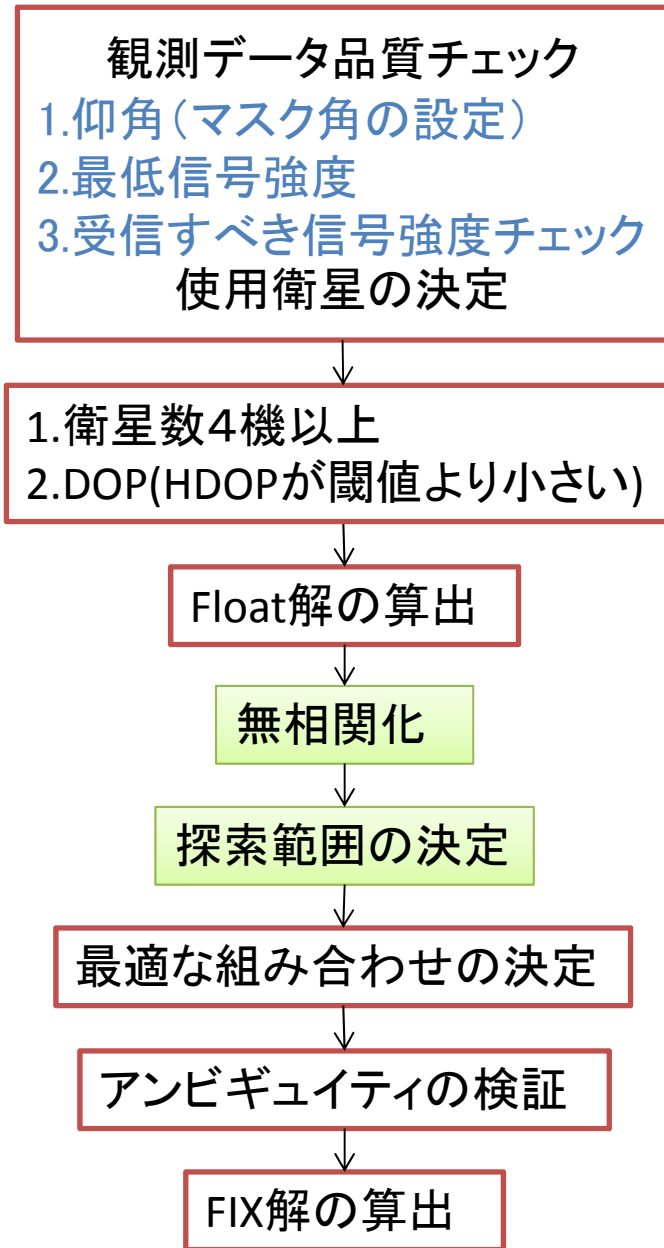


FIX解が得られた回数

FIX解で水平絶対誤差50cm以内

測位回数

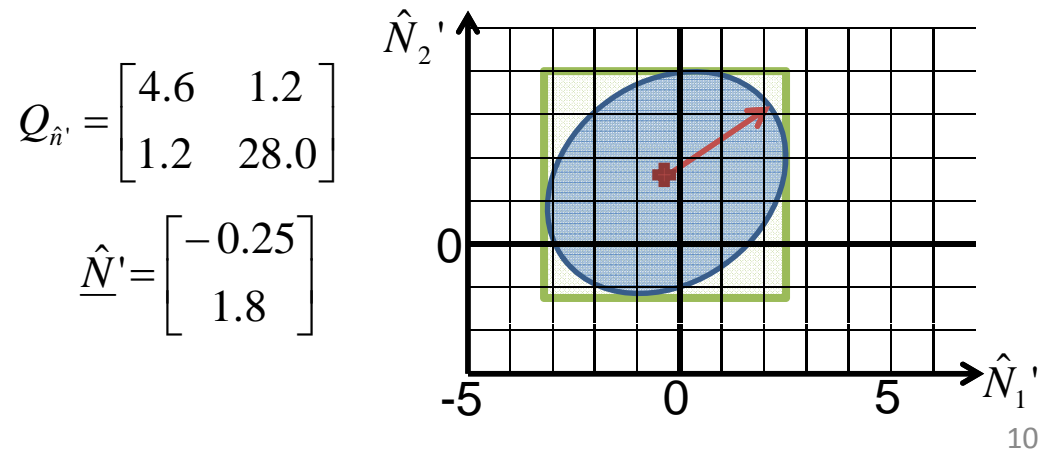
# 測位計算



$$\underline{N}' = \underline{Z} \underline{N}$$

$$\underline{\hat{N}}' = \underline{Z} \underline{\hat{N}}$$

$$\underline{Q}_{\hat{N}'} = \underline{Z} \underline{Q}_{\hat{N}} \underline{Z}^T$$



# 測位計算

観測データ品質チェック  
 1.仰角(マスク角の設定)  
 2.最低信号強度  
 3.受信すべき信号強度チェック  
 使用衛星の決定

1.衛星数4機以上  
 2.DOP(HDOPが閾値より小さい)

Float解の算出

無相関化

探索範囲の決定

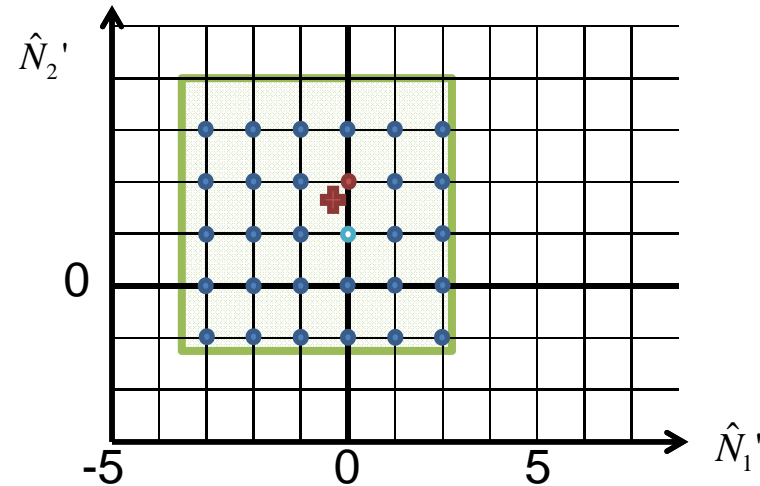
最適な組み合わせの決定

アンビギュイティの検証

FIX解の算出

$$S = (\hat{N} - \underline{N})^T Q_{\hat{N}}^{-1} (\hat{N} - \underline{N}) \Rightarrow \text{最小}$$

●  $\underline{N}' = \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \end{bmatrix}$   $S = 0.028$       ○  $\underline{N}' = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$   $S = 0.081$



$$Ratio = \frac{S_{\text{light blue}}}{S_{\text{red}}} \geq 3 \rightarrow \text{正しい測位結果}$$

$Z^{-1} \underline{N}' = \underline{N}$

$$\hat{N} = \begin{bmatrix} \hat{N}_1 \\ \hat{N}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.05 \\ 1.30 \end{bmatrix} \quad \bullet \underline{N} = \begin{bmatrix} 2 \\ 2 \end{bmatrix} \quad \circ \underline{N} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}_{11}$$

# 信頼性

- 本来の意味

推定されたアンビギュイティが正しいか

$$= \frac{\text{推定されたアンビギュイティが正しい回数}}{\text{FIX解が得られた回数}} \times 100 \quad (\%)$$

➡ ● 広い意味

FIXと判断した解が実質的に利用可能であるか(水平誤差0.5-1m程度)

$$= \frac{\text{水平絶対誤差が1m以内であった回数}}{\text{FIX解が得られた回数}} \times 100 \quad (\%)$$

# 実験概要

アンテナ	NovAtel GPS 702
GPS受信機	NovAtel OEM5
基線長	10km未満

## 実験ルート



1 名古屋  
(2010/7, 10Hz, 30分)



2 丸の内  
(2010/10/25, 4Hz, 20分)



3 月島  
(2010/10/25, 4Hz, 20分)

# 結果

信号強度 チェック	1.名古屋		2.丸の内		3.月島	
	利便性	信頼性	利便性	信頼性	利便性	信頼性
Normal	2055/16300 (12.6%)	1828/2055 (89.0%)	936/4523 (20.7%)	885/936 (94.6%)	1877/4996 (37.6%)	1840/1877 (98.0%)
L1のみ	1998/16300 (12.3%)	1875/1998 (93.8%)	949/4523 (21.0%)	909/949 (95.8%)	2107/4996 (42.2%)	2072/2107 (98.3%)
L1 + L2	1976/16300 (12.1%)	1922/1976 (97.3%)	999/4523 (22.1%)	950/999 (95.1%)	2402/4996 (48.1%)	2384/2402 (99.3%)

FIX解 (Ratio3以上)

FIX解で水平絶対誤差1m以内

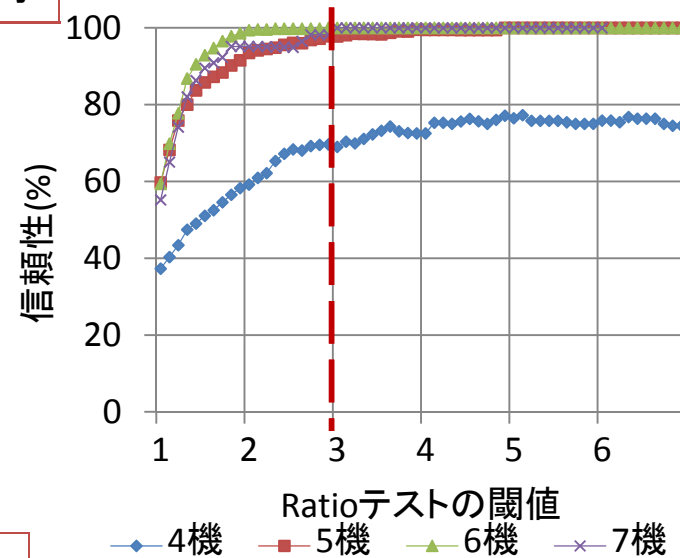
※POSLVと比較

測位回数

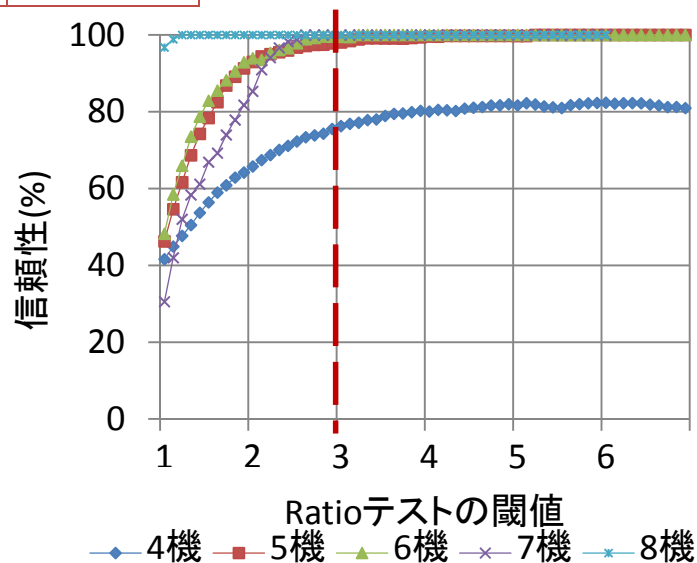
# 信頼性とRatioテスト

## 2 丸の内

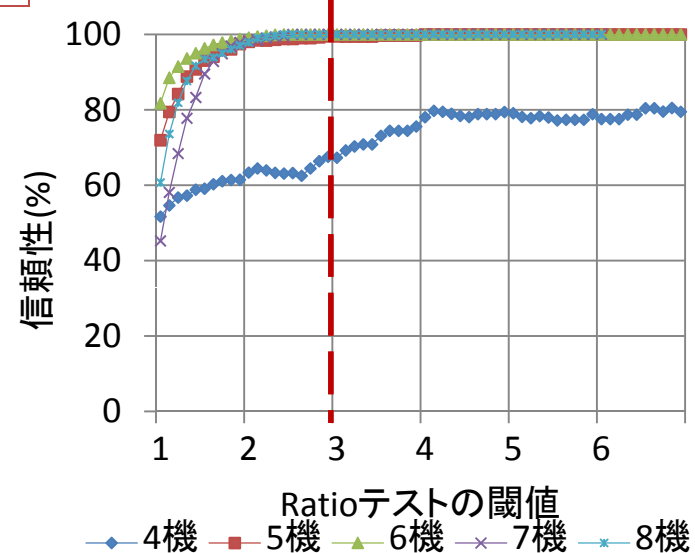
- Normalの場合の結果
- 衛星数が4機の場合、信頼性が大きく低下する
- 衛星数が5機以上であれば99%以上、水平絶対誤差が1m以内である



## 1 名古屋



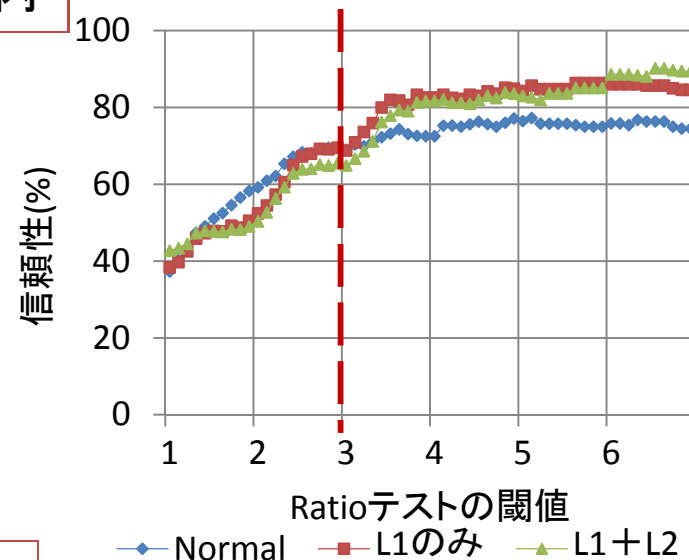
## 3 月島



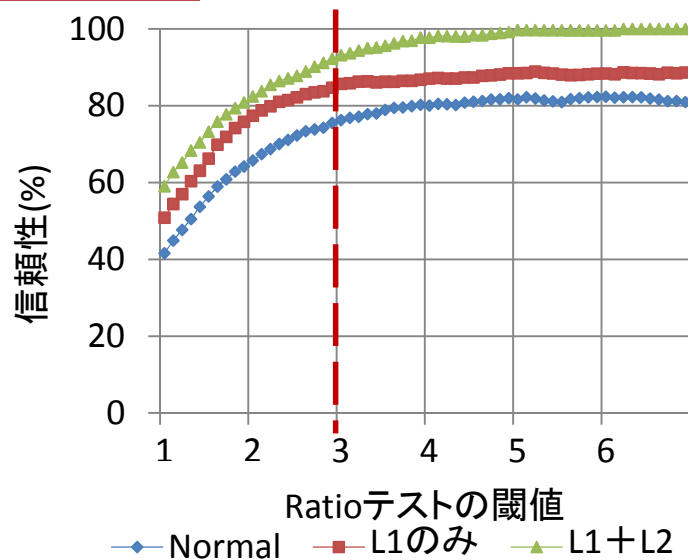
# 衛星数4機の結果

## 2 丸の内

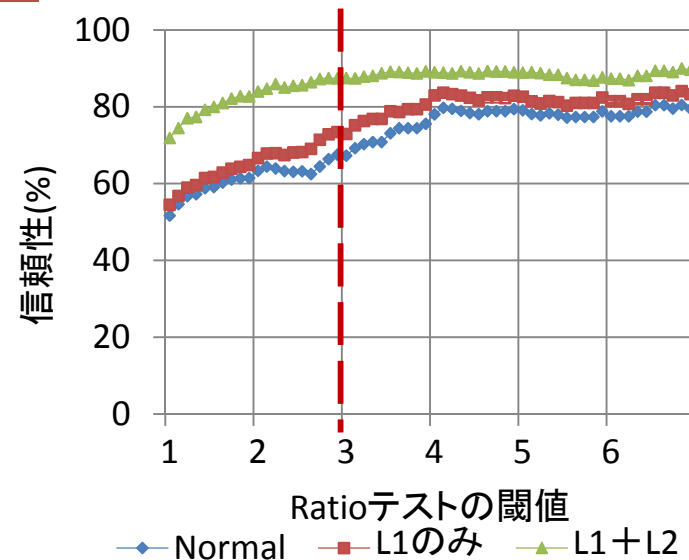
- 観測データチェックを厳しくするほど信頼性が向上する
- 2.丸の内はHDOPが増加してしまったため効果が得られなかった



## 1 名古屋



## 3 月島





# 擬似距離測距誤差と水平絶対誤差

名古屋

全衛星の擬似距離推定測距誤差

$$R_{AB}^{jk} = \rho_{AB}^{jk} + \varepsilon_{AB}^{jk}$$

影響

Float解  
水平絶対誤差

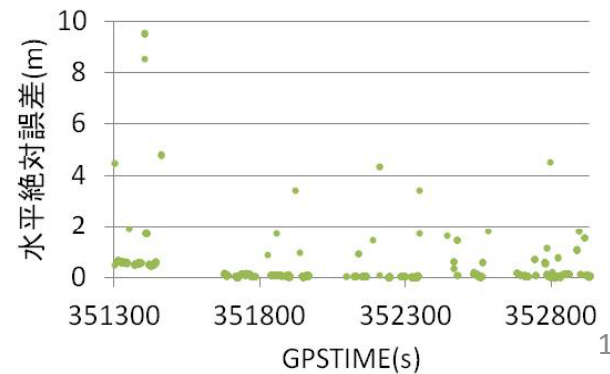
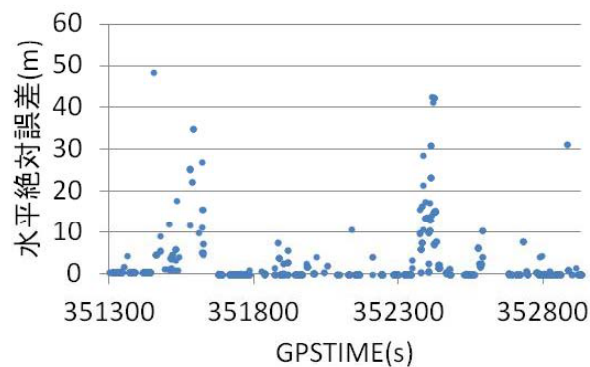
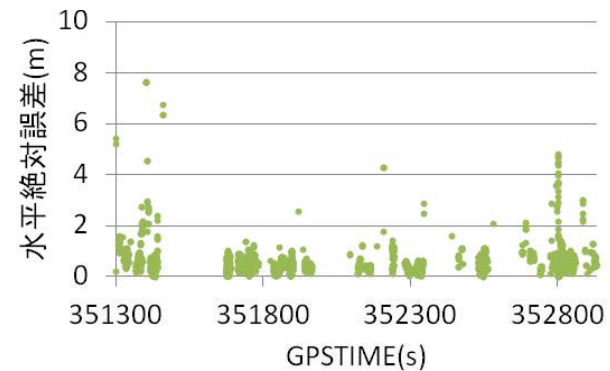
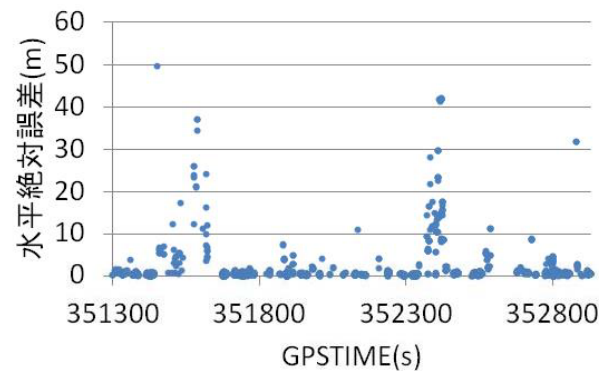
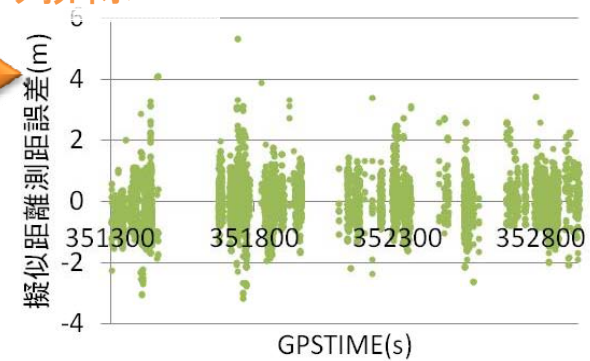
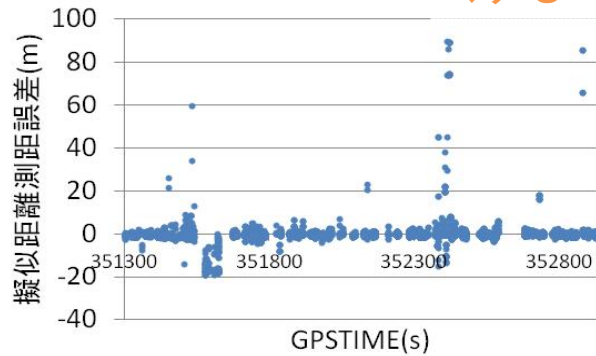
影響?

FIX解  
水平絶対誤差

Normal

信号強度チェックを厳しくすることにより排除

L1+L2



# Float解とFIX解の関係



	X	Y	Z	N(衛星数-1個)
通常	重み付き最小二乗法			
ここでは	POSLV			重み付き最小二乗法

## 名古屋、衛星数4機の場合

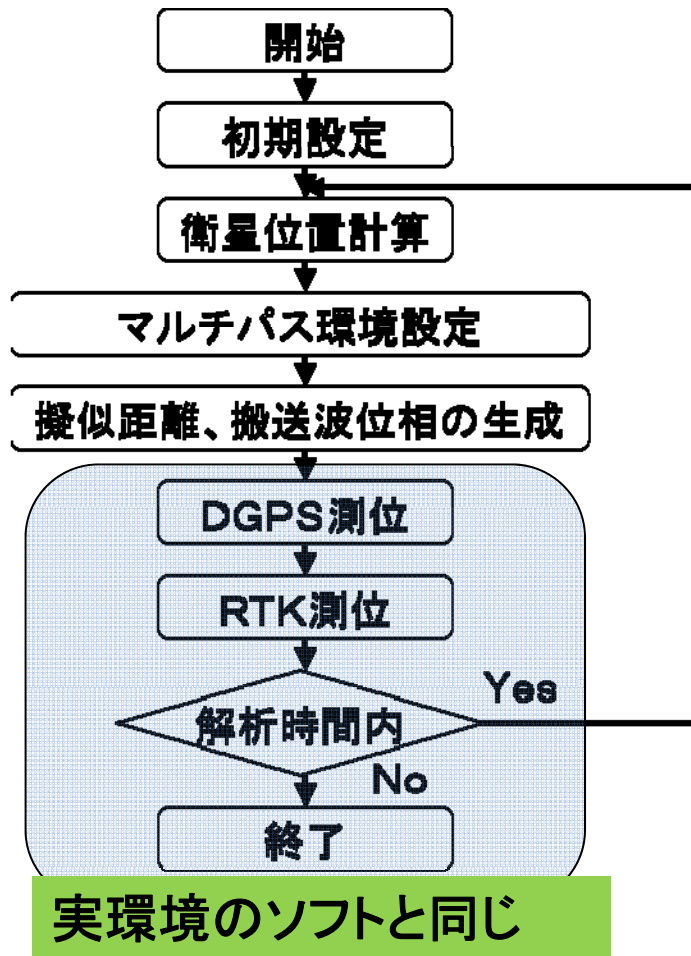
	利便性	信頼性
通常	779/3195 (24.4%)	726/779 (93.2%)
POSLV	2472/3195 (77.3%)	2472/2472 (100%)

Float解に正しい値を用いることで、利便性、信頼性ともに向上した。  
Float解の測位結果がFIX解に影響を与えていることがわかる。

# 実験まとめ

- 受信すべき信号強度チェックにより
  - 信頼性が向上した
  - 利便性は増加することもあった
- 衛星数4機の場合
  - 信頼性が低下する
  - Ratioテストでは判断できない
- 衛星数5機以上の場合
  - 信頼性は99%以上であった
- FIX解はFloat解の測位精度、測距誤差の影響を受ける
- DOPや利用衛星数とのバランスもあるが、観測データの品質チェックを厳しくすることで信頼性が向上する  
⇒どの程度の品質ならどれぐらいの信頼性があるのか

# シミュレーションによるARの性能評価

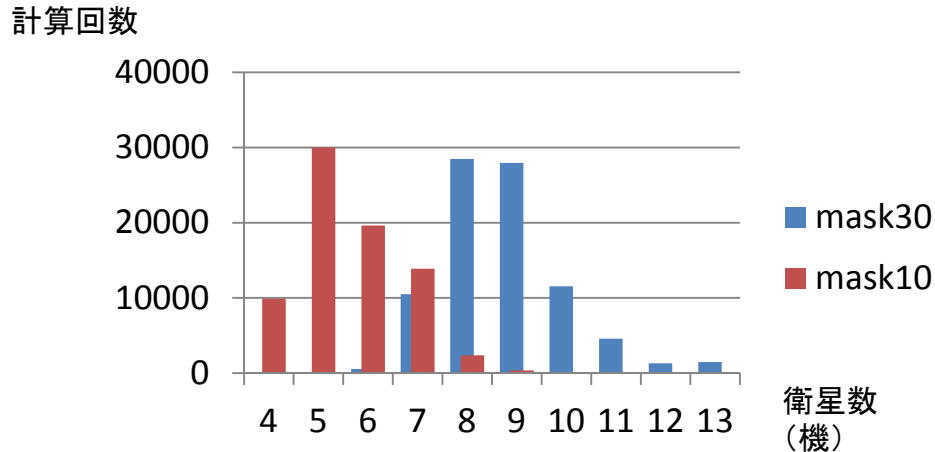


- これまで車両による実験結果を示してきたが、より一般的なシミュレーションでARの性能を評価することを試みた
- 左が処理フローで、観測データ生成以外は全て実験の解析で利用したソフトと同一である
- 左のマルチパス設定において、今回はシンプルに擬似距離にバイアスを与えた
- 観測データの雑音は、実データに近い仰角に応じた信号強度より白色で与えた

場所	東京海洋大学
時間	24時間1Hz(86400回)
Almanacデータ	Almanac 626week (2011/08/21)
基線長	0km
HDOP	10以下

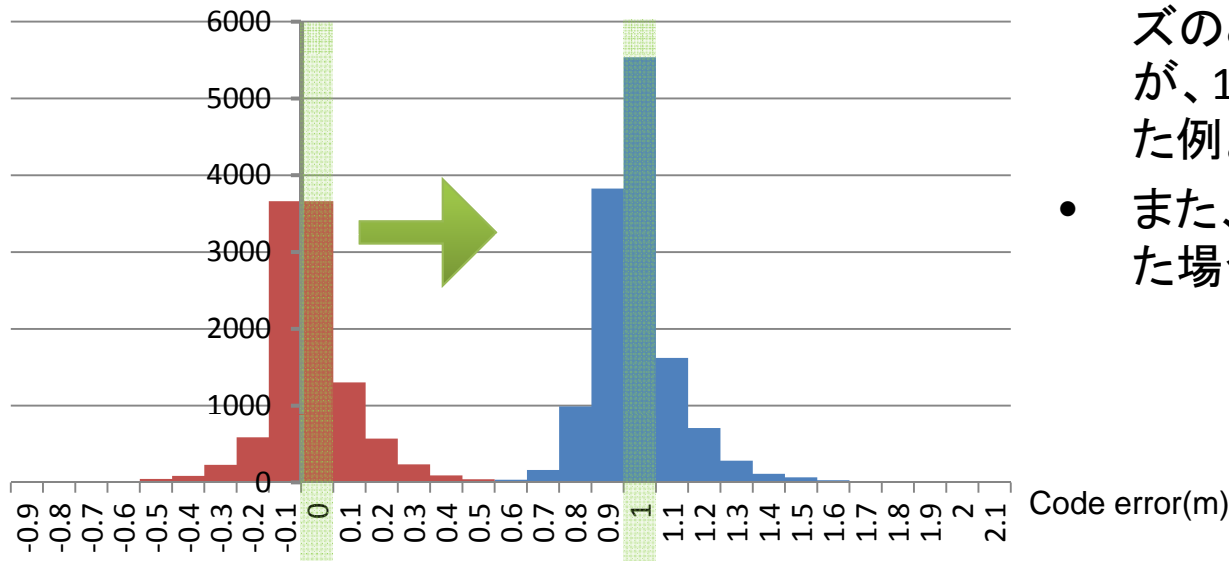
# シミュレーション実験設定

<マスク角の違いによる衛星数>

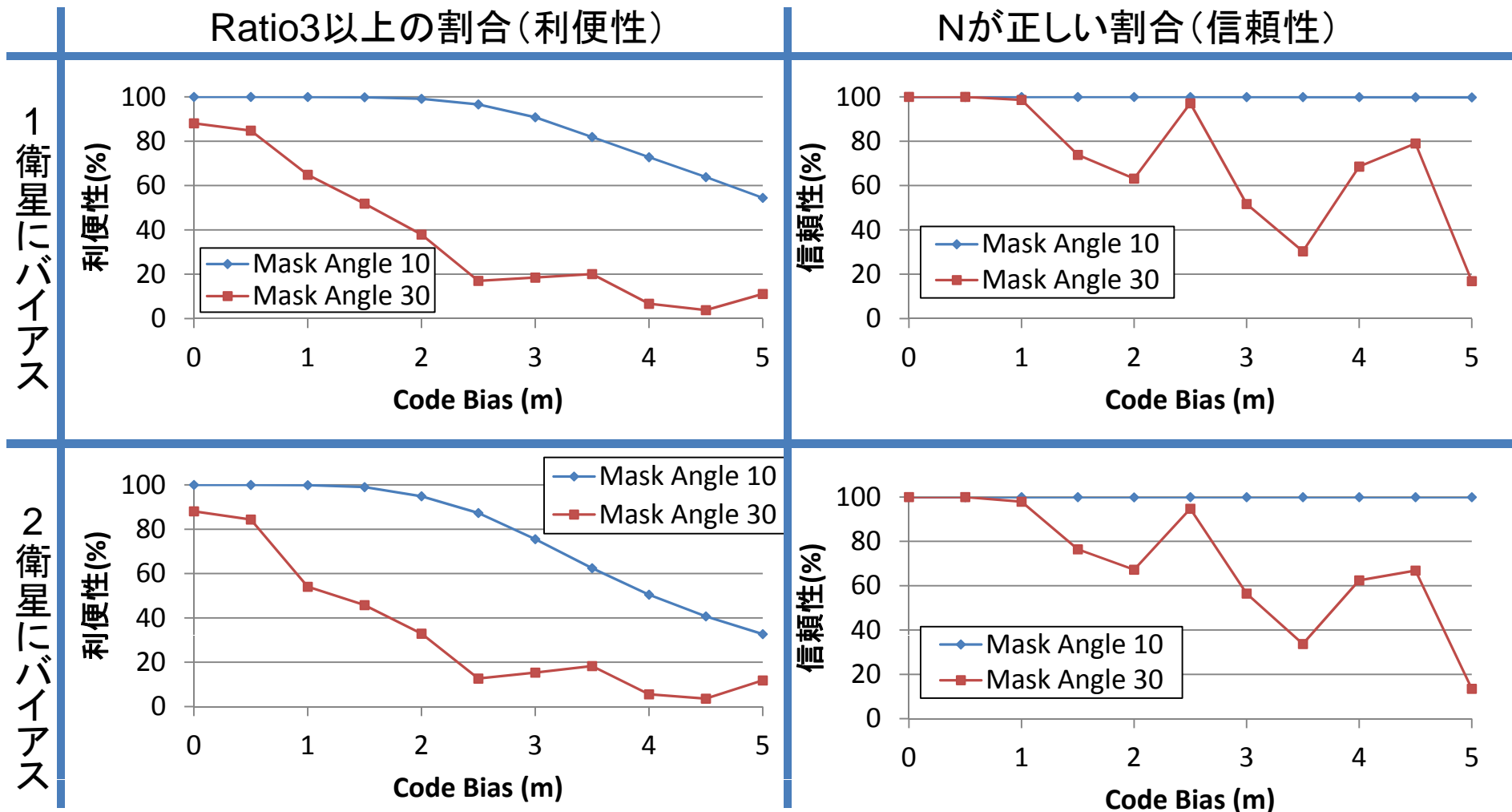


- マスク角10度と30度の場合を比較
- マスク角30度に設定することで衛星数を減少させる
- 全時間において、常に衛星1機にバイアスを加えた。
- その1つの衛星は仰角30度以上61度未満で主衛星でないものをランダムに選んだ。
- 左図:通常は平均0のホワイトノイズのみ擬似距離観測値に加えるが、1機のみ1mのバイアスを加えた例。
- また、2機に同時にバイアスを加えた場合についても検証した。

度数 <誤差度数分布>



# 24時間トータルでの解析結果 マスク10度とマスク30度の比較

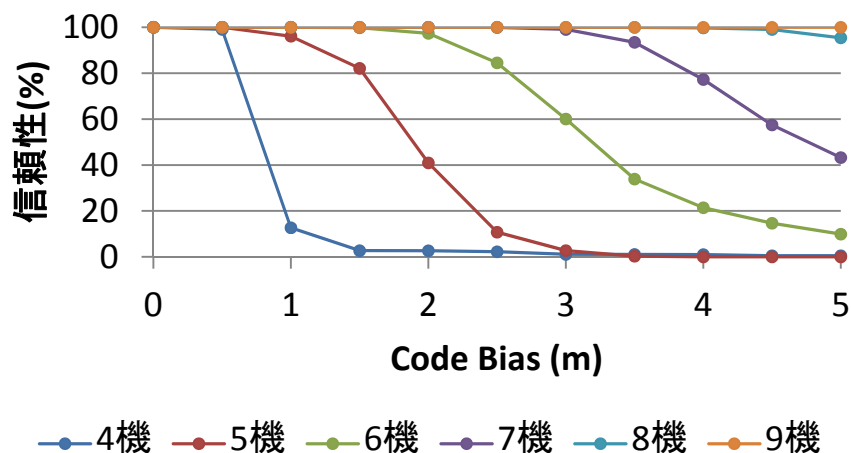


バイアスが大きいほど、利便性、信頼性ともに低下する。

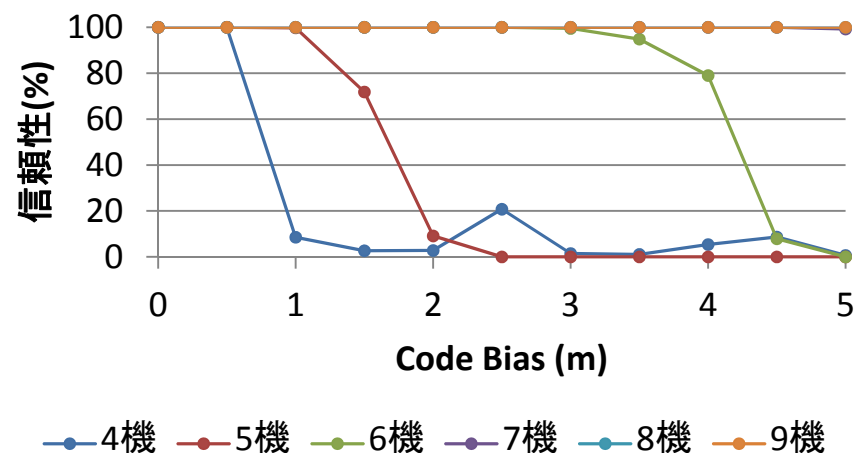
# 24時間トータルでの解析結果

衛星数毎のNが正しい割合(信頼性)

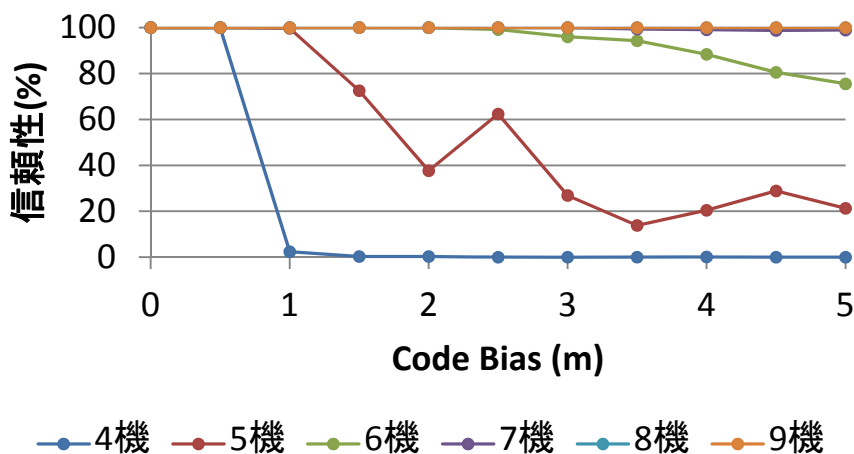
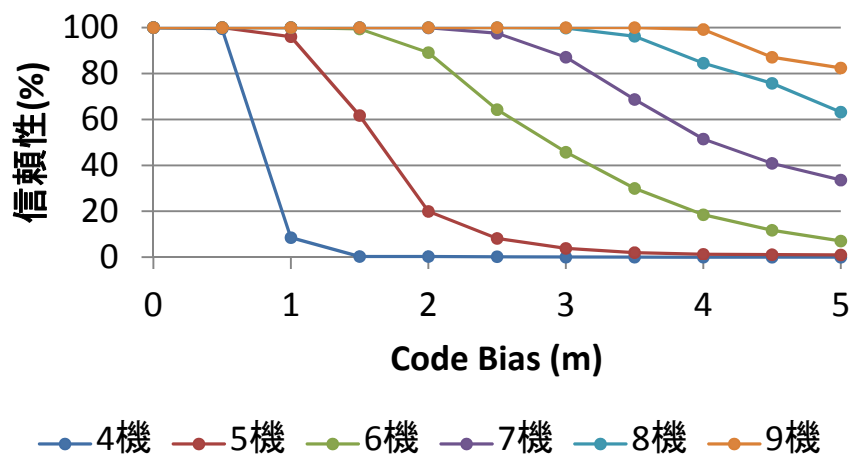
Ratioテストを行わない場合



Ratioの値3以上の場合



1衛星にバイアス



2衛星にバイアス

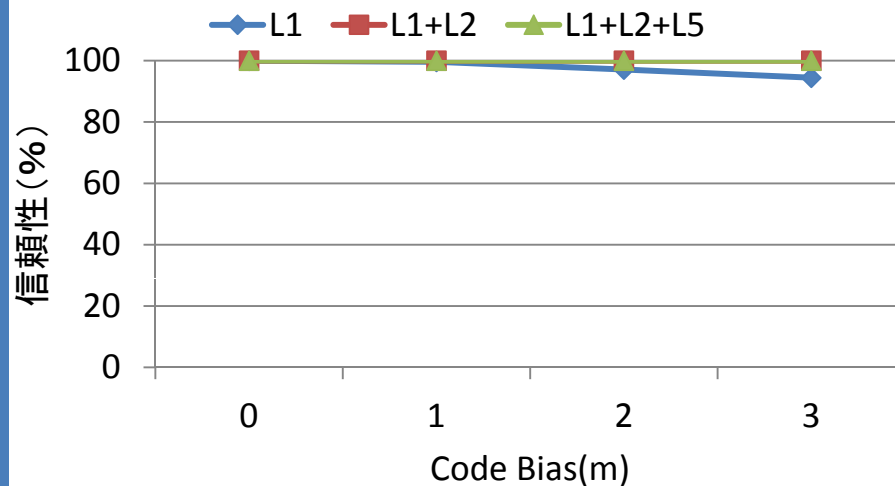
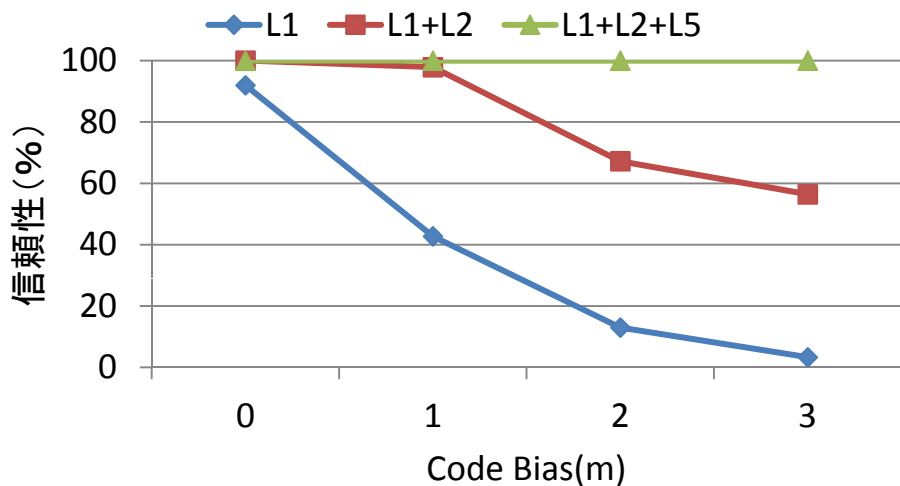
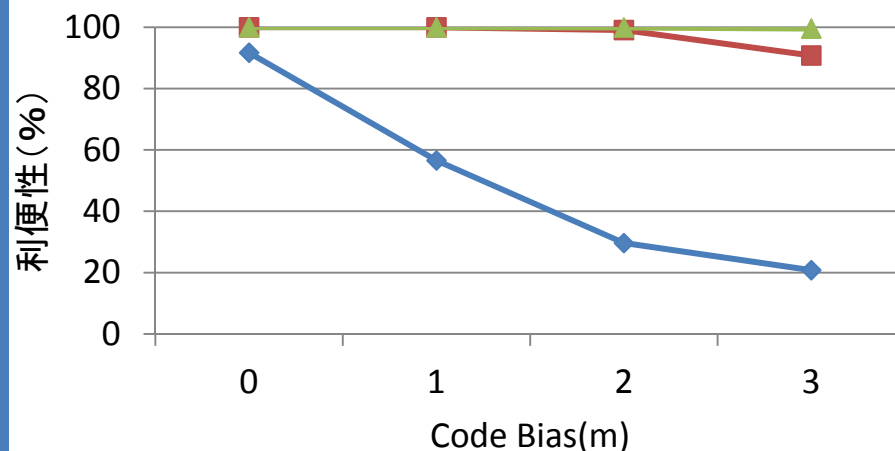
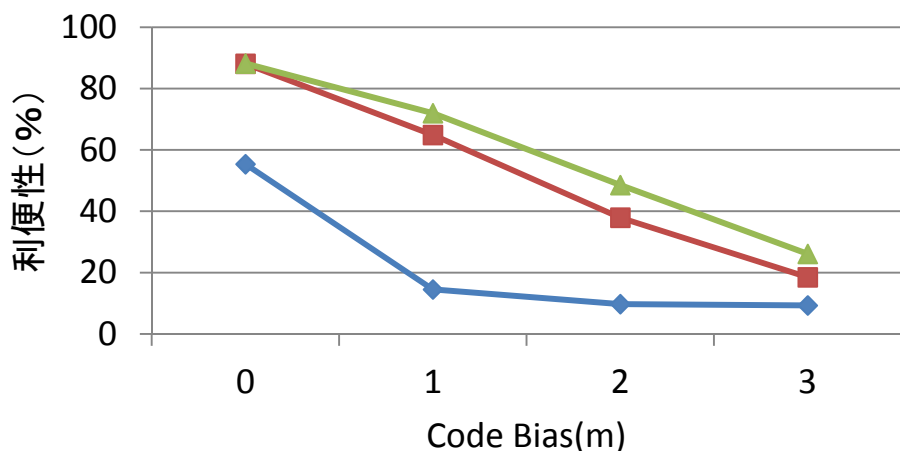
衛星数により、信頼性が低下するバイアスの大きさが異なる。  
Ratioテストを利用すると、ある程度信頼性を保つことができる。

# 複数周波数による測位 近未来L5帯

1衛星にバイアス

マスク角10度(4~9機)

マスク角30度(6~13機)



◆ L1    ■ L1+L2    ▲ L1+L2+L5

◆ L1    ■ L1+L2    ▲ L1+L2+L5



# まとめ、今後の課題

- 観測データの品質チェックを厳しくすることで
  - 測距誤差の大きな衛星を排除することができ、信頼性が向上する
  - 利用衛星数は減少するが、利便性を増加させることもある
- シミュレーション実験より
  - 利用衛星数ごとにバイアスの許容範囲が異なる
  - 今後、複数周波数の信号を利用することで利便性、信頼性の向上が期待される。
- 今後は長基線の場合や、搬送波位相観測値に含まれる測距誤差についてもアンビギュイティ決定に与える影響を考えていきたい。

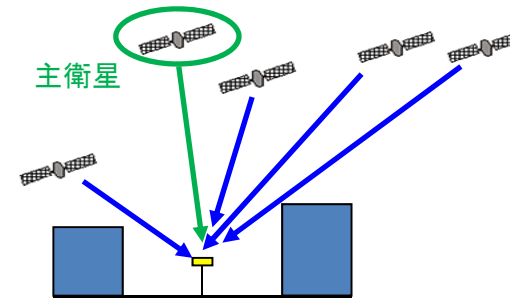
# ご清聴ありがとうございました。

- **謝 辞**

- 本稿の移動体実験に際して、レファレンスとなる貴重な位置データを提供して頂いた豊田中央研究所殿に深く感謝します。

# 測位計算

4衛星で二重差の式を12得ることができる。未知数は9。



1衛星から得られる  
観測量(2周波の場合)

L1C/A	搬送波位相観測値
	擬似距離観測値
L2P(Y)	搬送波位相観測値
	擬似距離観測値

