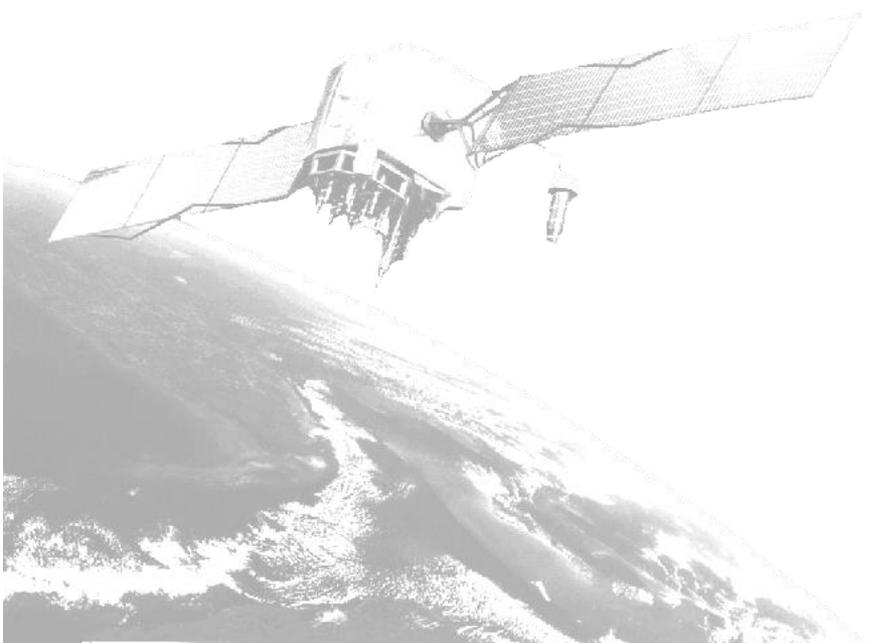


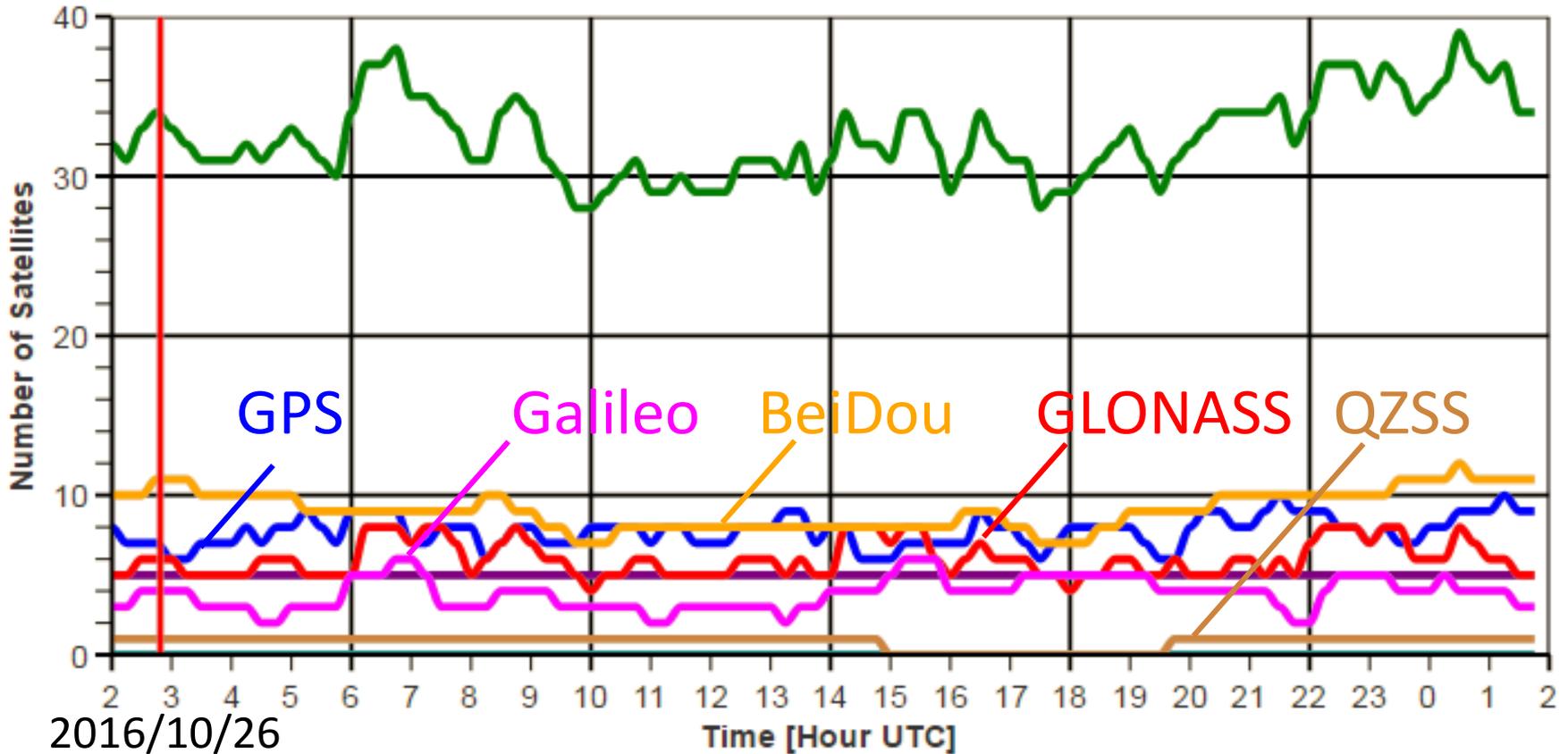
# GPSとBeiDouによる 統合RTK測位に関する研究



東京海洋大学  
土倉弘子 久保信明

# 衛星測位システムの現在の動向

Elevation Mask: 15  
Lat = 35.66635 Lon = 139.792184 Hgt = 61m

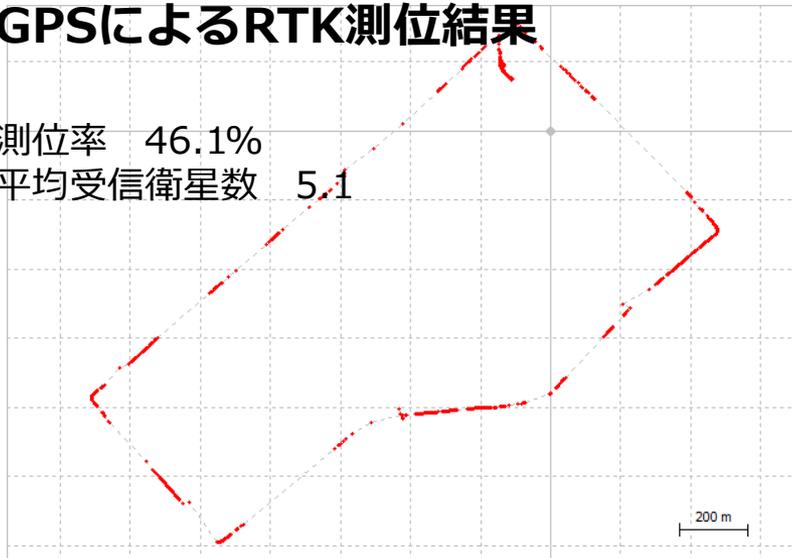


GPS Av.= 7.7    GAL Av.= 3.8    BDS Av.= 9.1    Total Av.= 32.5  
GLN Av.= 6.0    SBAS Av.= 5.0    QZSS Av.= 0.8

# マルチGNSSによる複合測位の効果

## GPSによるRTK測位結果

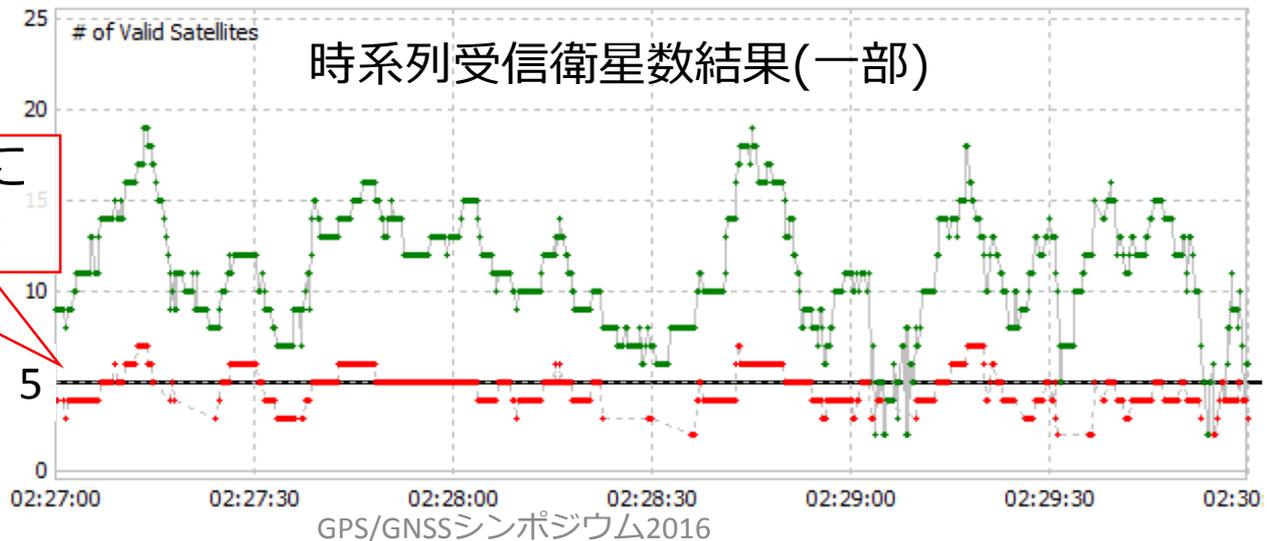
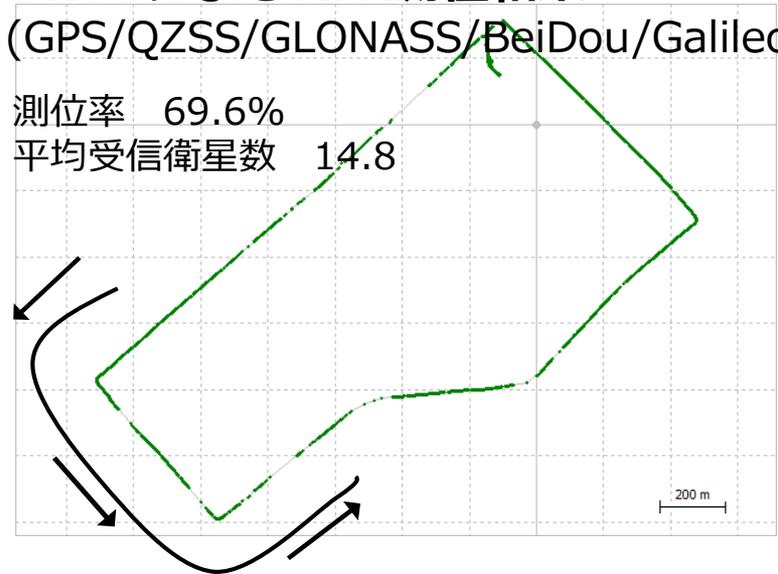
測位率 46.1%  
平均受信衛星数 5.1



## GNSSによるRTK測位結果

(GPS/QZSS/GLONASS/BeiDou/Galileo)

測位率 69.6%  
平均受信衛星数 14.8



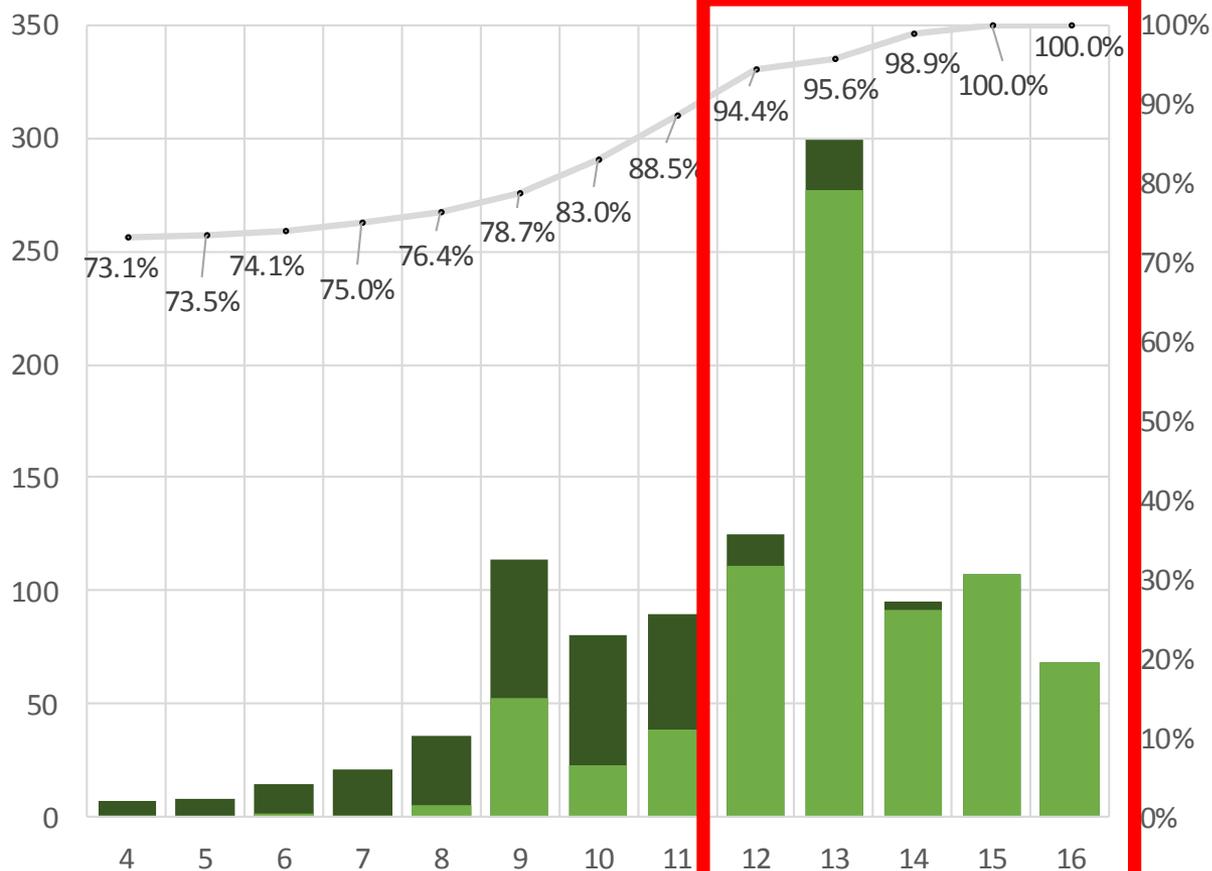
# 衛星数と信頼性 一周波受信機による結果より

● Reliability (Accumulation ratio)

■ Number of Fix solution

■ Number of reliable solution

Middle urban area



\*Reliable solution  
2D-error within 0.5m  
and altitude error  
within 1m

- \*Conditions
- ✓ AR: Lambda
  - ✓ Ratio >3.0
  - ✓ SNR mask
  - ✓ GPS/BeiDou/QZSS

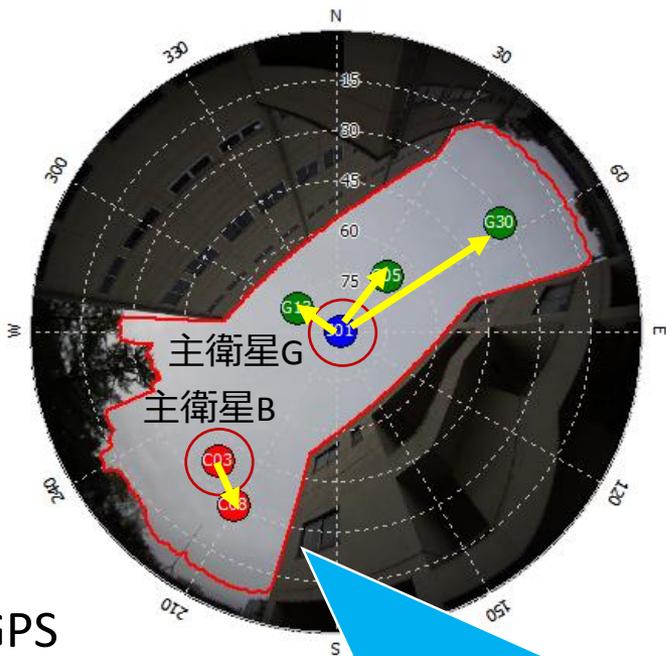
二周波受信機では  
観測値が倍増、信  
頼性は大幅に向上  
する

信頼性向上にはより多くの衛星数（観測値）の確保が必要

## 異なる周波数の衛星システムによる複合RTK測位

### ◆混合測位

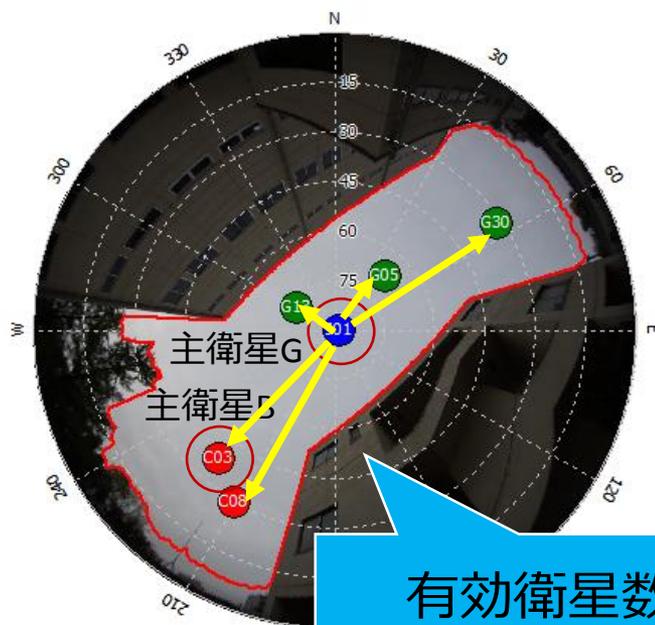
- 同じシステム間で二重差を算出
  - ✓ システム間バイアス考慮不要
  - × 使用衛星数の減少、棄却が生じる



- :GPS
- :QZSS
- :BeiDou

### ◆統合測位

- 1つの主衛星から二重差を算出
  - ✓ 受信衛星数の有効活用が可能
  - ✓ 高仰角の主衛星を使用可能
  - × システム間バイアスの補正が必要



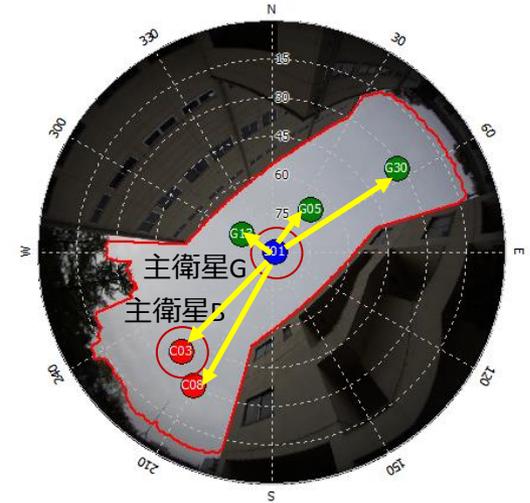
有効衛星数 5

有効衛星数 4 (GPS 3 + BeiDou 1)  
解の信頼性の低下

## 異なる周波数の衛星システムによる統合RTK測位

### ◆ GPS (QZSS) -BeiDou による統合測位

衛星系	周波数帯	中心周波数(MHz)
GPS QZSS	L1	1575.420
	L2	1227.600
	L5	1176.450
BeiDou	B1	1561.098
	B2	1207.140
	B3	1268.520



### 異周波数システム間バイアス解決による統合RTK測位の従来研究

- 山田英輝 et al, "GLONASS 信号におけるチャンネル間バイアスの校正," 電子情報通信学会論文誌, 2013.
- 北村光教, "複数衛星測位システムの複合による都市部での測位精度・利用率向上手法の研究," 早稲田大学理工学術院基幹理工学研究科機械科学専攻, 博士課程学位論文, 2014.

### 本研究の目的

#### システム間バイアス補正による統合RTK測位の評価

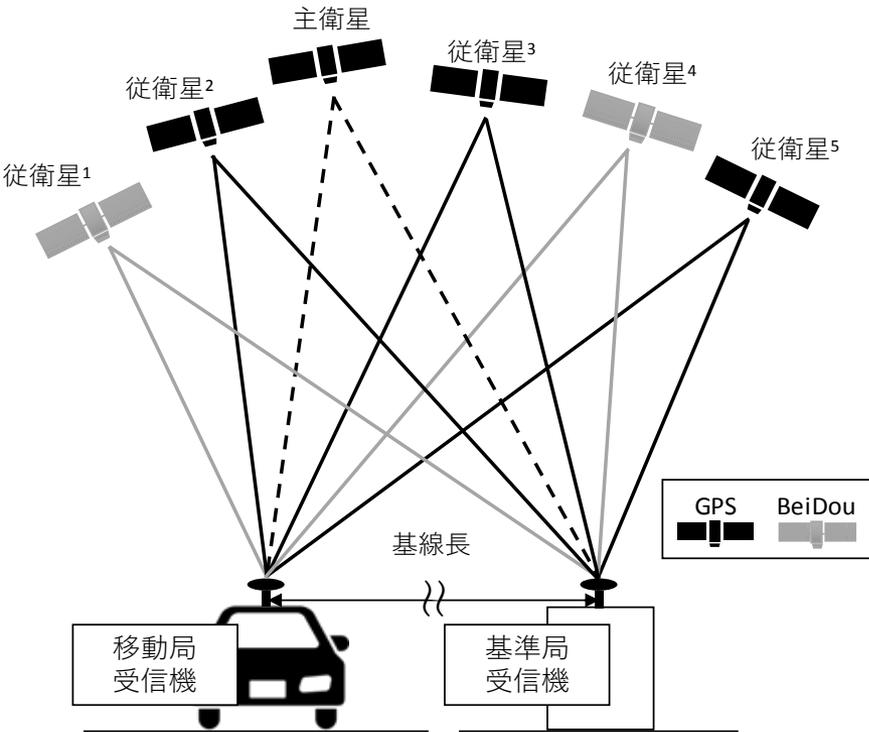
- **1周波**、2周波受信機
- 静止点における統合測位効果
- 移動体における統合測位効果

# 目次

---

- 背景と目的
- 統合RTK測位のためのシステム間バイアス
- ゼロ基線解析 実験と結果
- 移動体におけるシステム間バイアス補正手法
- 移動体における解析 実験と結果
- まとめ

## GPS-BeiDou間 搬送波位相観測値二重差



衛星系	周波数帯	周波数(MHz)
GPS	L1	1575.420
	L2	1227.600
	L5	1176.450
BeiDou	B1	1561.098
	B2	1207.140
	B3	1268.520

### ◆同システムによる二重差

$$\begin{aligned} \phi_{rb,j}^{s1s2} &= (\phi_{r,j}^{s1} - \phi_{b,j}^{s1}) - (\phi_{r,j}^{s2} - \phi_{b,j}^{s2}) \\ &= \underbrace{(\lambda_j^s)^{-1} (\rho_{rb}^{s1s2})}_{\text{幾何距離二重差}} + \underbrace{N_{rb,j}^{s1s2}}_{\text{整数値アンビギュイティ}} + \varepsilon \end{aligned}$$

幾何距離二重差

整数値アンビギュイティ

### ◆異システムによる二重差

$$\begin{aligned} \phi_{r,kj}^{qs} &= \underbrace{(\lambda_j^s)^{-1} (\rho_{rb}^s)}_{\text{幾何距離二重差}} - \underbrace{(\lambda_k^q)^{-1} (\rho_{rb}^q)}_{\text{整数値アンビギュイティ}} + \varepsilon \\ &+ \underbrace{(f_j^s - f_k^q)(dt_{rb})}_{\text{受信機時計誤差差分}} + \underbrace{\delta_{rb,kj}^{BG}}_{\text{受信機ハードウェアキャリア遅延差分}} + \underbrace{N_{rb,kj}^{qs}}_{\text{整数値アンビギュイティ}} \end{aligned}$$

幾何距離二重差

整数値アンビギュイティ

受信機時計誤差差分

受信機ハードウェアキャリア遅延差分

- 通常相殺される受信機時計誤差は周波数の差異により残留
- 受信機内回路を通過時に受信機ハードウェア遅延、衛星系により遅延量が異なり、差分がとして残留

# システム間バイアス補正值の算出

## ◆ GPS-BeiDou間二重差

$$\phi_{r,kj}^{qs} = \underbrace{(\lambda_j^s)^{-1} (\rho_{rb}^s) - (\lambda_k^q)^{-1} (\rho_{rb}^q)}_{\text{幾何距離二重差}} + \underbrace{(f_j^s - f_k^q)(dt_{rb})}_{\text{受信機時計誤差差分}} + \underbrace{\delta_{rb,kj}^{BG}}_{\text{受信機ハードウェアキャリア遅延差分}} + \underbrace{N_{rb,kj}^{qs}}_{\text{整数値アンビギュイティ}} + \varepsilon$$

幾何距離二重差

受信機時計誤差差分

整数値アンビギュイティ

受信機ハードウェアキャリア遅延差分

### 1. 受信機時計誤差差分

RTK測位の前処理にて推定、消去

### 2. 受信機ハードウェアキャリア遅延差分

$$\underbrace{\delta_{rb,kj}^{BG}}_{\text{受信機ハードウェアキャリア遅延差分}} + \underbrace{N_{rb,kj}^{qs}}_{\text{整数値アンビギュイティ}} = \underbrace{ISB}_{\text{小数部分}} + \underbrace{[\delta_{rb,kj}^{BG}]}_{\text{整数部分}} + N_{rb,kj}^{qs} = \mathbf{ISB} + \mathbf{N}$$

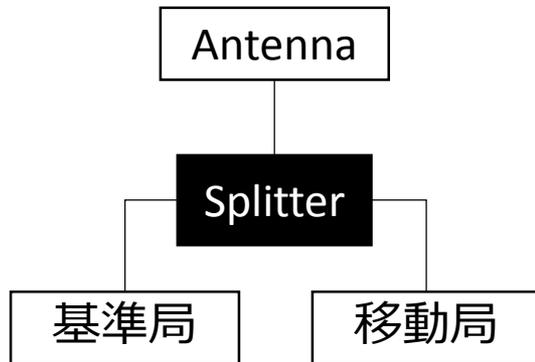
(整数)  
整数値アンビギュイティ

システム間バイアス補正值 (小数)

$$\phi_{rb,jk}^{sq} = \underbrace{(\lambda_j^s)^{-1} (\rho_{rb}^s) - (\lambda_k^q)^{-1} (\rho_{rb}^q)}_{\text{幾何距離二重差}} + \mathbf{ISB} + \mathbf{N}$$

# ゼロ基線解析

## ゼロ基線解析におけるISB推定実験



- 移動局と基準局を同じアンテナから分岐しデータを受信（基線長ゼロ）
- 幾何距離の影響を受けない

### ◆ GPS-BeiDou間搬送波位相観測値二重差

$$\phi_{rb,jk}^{sq} = \underbrace{(\lambda_j^s)^{-1} (\rho_{rb}^s) - (\lambda_k^q)^{-1} (\rho_{rb}^q)}_{\text{幾何距離二重差} \rightarrow 0} + \mathbf{ISB} + \underbrace{N}$$

幾何距離二重差  $\rightarrow 0$

- 移動局、基準局共に同じ種類の受信機を利用
- 2組の受信機セットで実験を実施

### ◆ 実験概要

受信機セット	解析時間
一周波受信機	2016/3/2 12時間-1Hz
二周波受信機	2016/6/6 12時間-1Hz

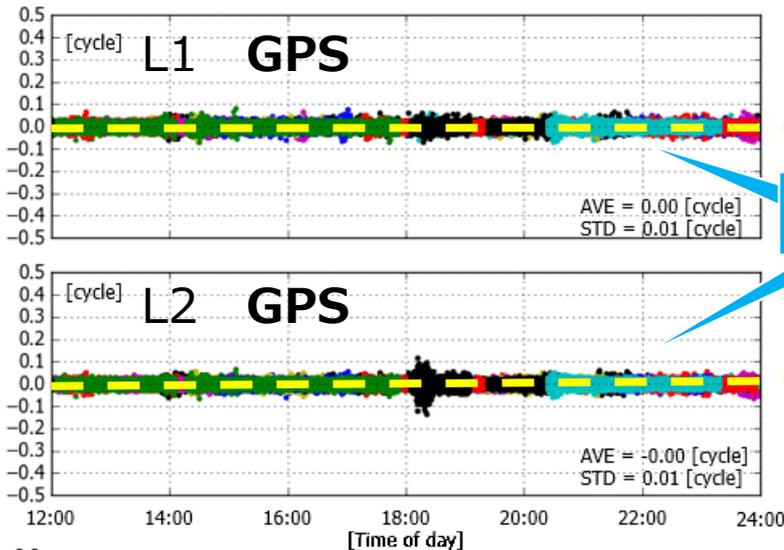
### 解析条件

仰角マスク15度  
HDOPマスク10  
瞬時RTK-GNSS  
LAMBDA法  
(Ratioテスト: 閾値3)

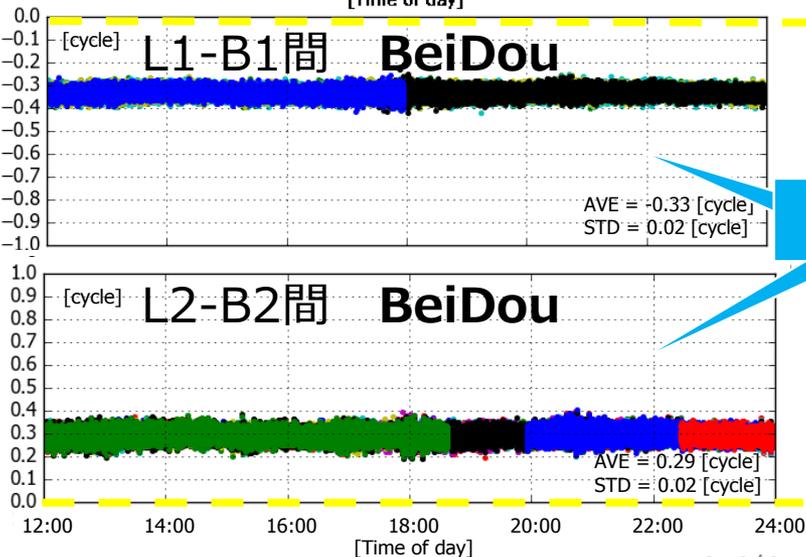
# ゼロ基線解析

## 各衛星による二重差の確認

二周波受信機 二重位相差



平均ゼロ



要補正

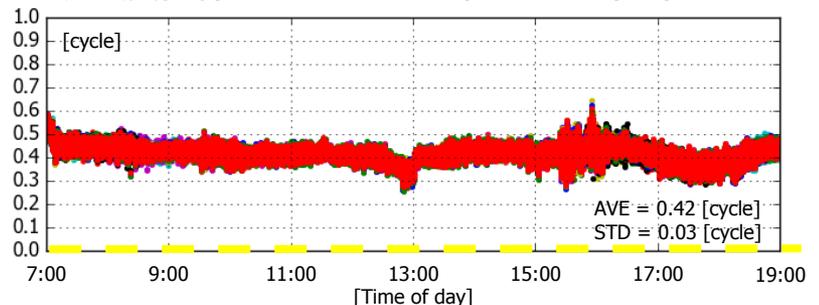
◆二重差の小数部分をプロット

- GPS - GPS
  - 全衛星の二重差は整数値
- GPS - BeiDou
  - バイアスが存在

補正なしで統合測位を実施結果  
**測位率 0%**

→バイアス補正が必要

一周波受信機 L1-B1間二重位相差



## 統合RTK測位結果

### 補正值（全時間全衛星平均値）による補正

解析条件

仰角マスク15度

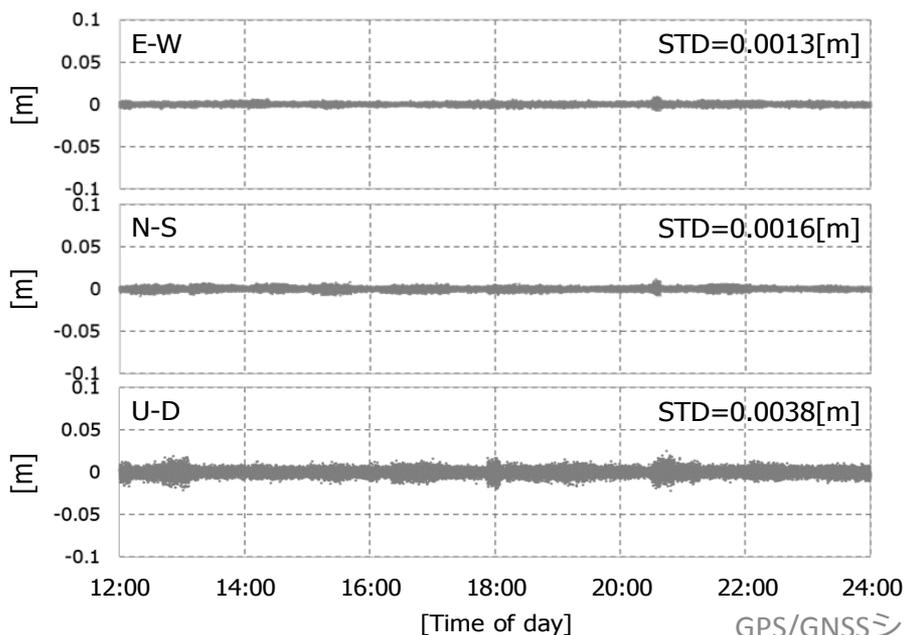
HDOPマスク10

瞬時RTK-GNSS

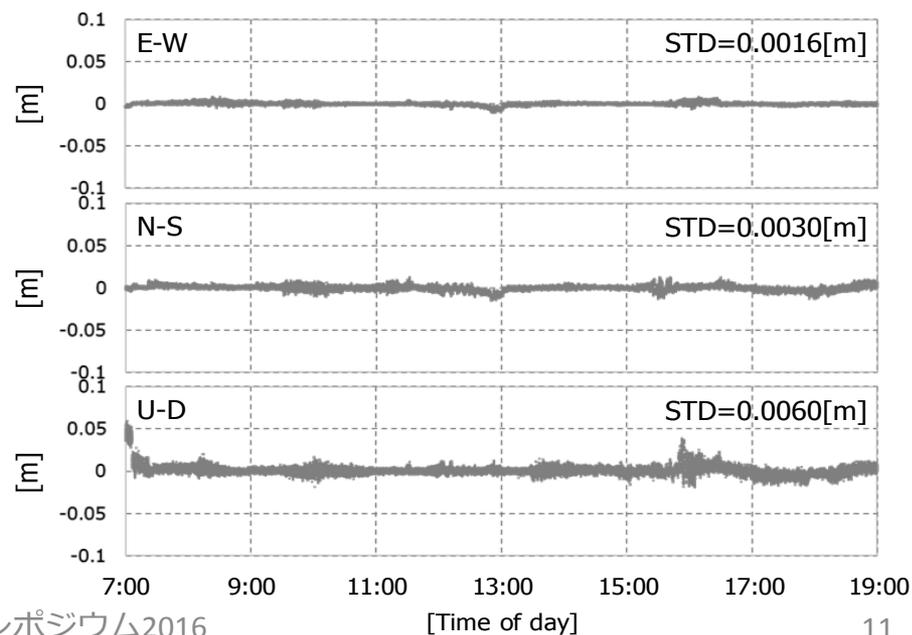
LAMBDA法(Ratioテスト:閾値3)

受信機	利便性	信頼性	水平方向標準偏差
一周波	97.2 %	100.0 %	3.4 mm
二周波	100.0 %	100.0 %	2.1 mm

二周波受信機 統合測位結果



一周波受信機 統合測位結果



# ゼロ基線解析

## システム間バイアスの安定性

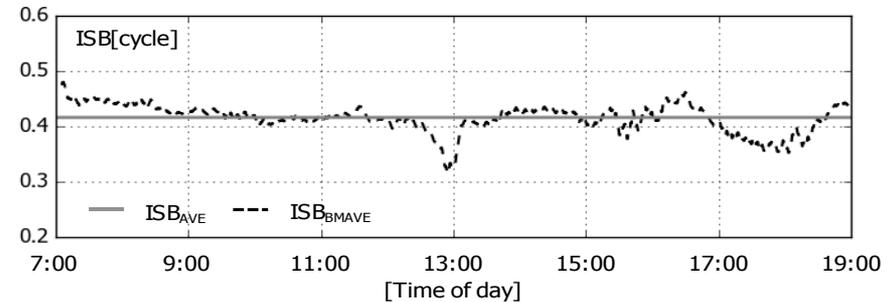
- 実験結果より短時間でのISB推定の可能性の評価を行った。
- 全時間平均および、5分間の後方移動平均を算出、比較を行った。

全BeiDou衛星による

$ISB_{AVE}$  : 二重差の全時間平均

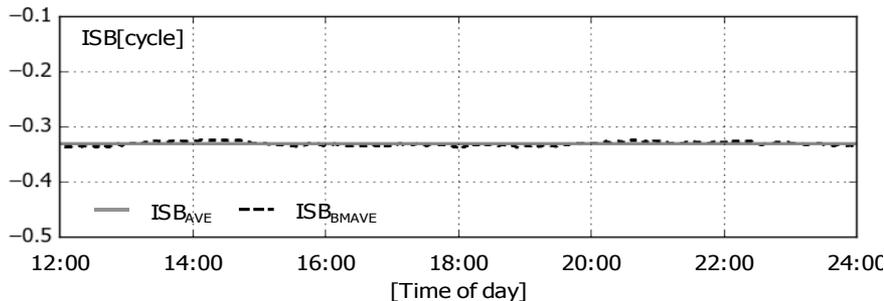
$ISB_{BMAVE}$  : 二重差の5分間後方移動平均

一周波受信機 L1-B1間二重差



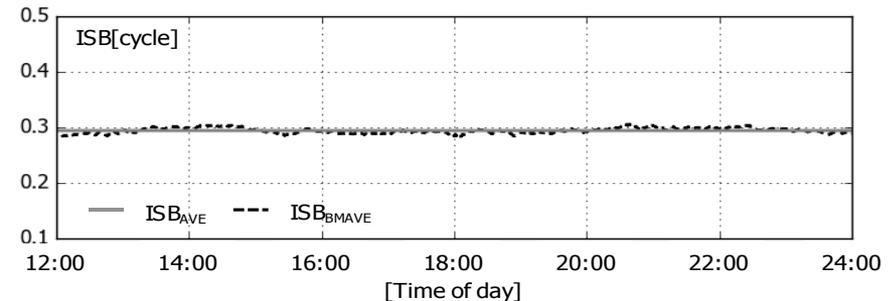
$ISB_{AVE}$  : 最大誤差0.15cycle

二周波受信機 L1-B1間二重差



$ISB_{AVE}$  : 最大誤差0.08cycle

二周波受信機 L2-B2間二重差



$ISB_{AVE}$  : 最大誤差0.10cycle

→短時間データよりISB補正値を算出可能性

# 移動体におけるシステム間バイアス補正手法

## ✓ 短時間データによるISB補正を評価

◆ GPS-BeiDou間搬送波位相観測値二重差

$$\phi_{rb,jk}^{sq} = (\lambda_j^s)^{-1} (\rho_{rb}^s) - (\lambda_k^q)^{-1} (\rho_{rb}^q) + \mathbf{ISB} + N$$

(ISB推定には幾何距離が必要)

### 1. 移動開始前に開けた場所にて短時間静止データを取得

- 混合RTK測位によりFIX解を算出
- FIX解を用いたISBの推定

### 2. 移動開始 (ISBによる補正)

\* 大気圏遅延影響を抑えるため、短基線での解析とした。



# 移動体における解析

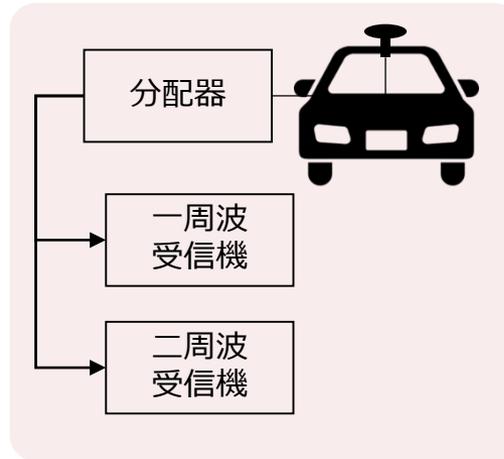
## 実験概要とISB補正值の推定

### 受信機セット

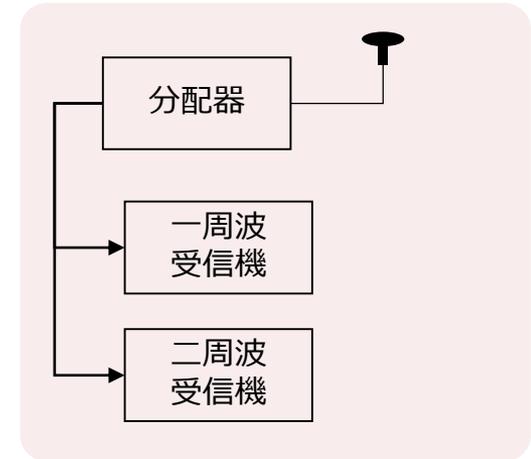
一周波受信機	2016 5/26	静止 10分間
二周波受信機	5Hz	移動中 2分30秒

1. 移動開始前10分間静止
  - 混合RTK測位によるFIX解の算出
  - FIX解を用いたISBの推定
2. 移動開始 (ISBによる補正)

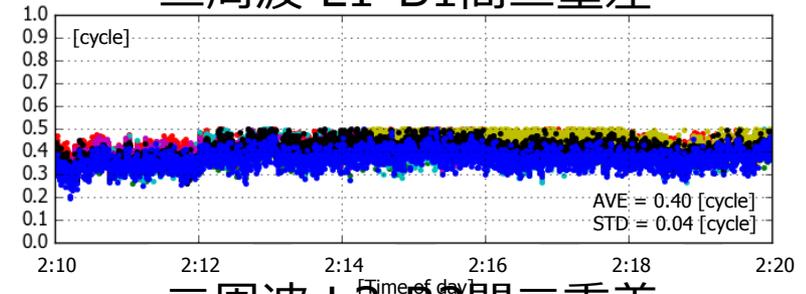
### 移動局



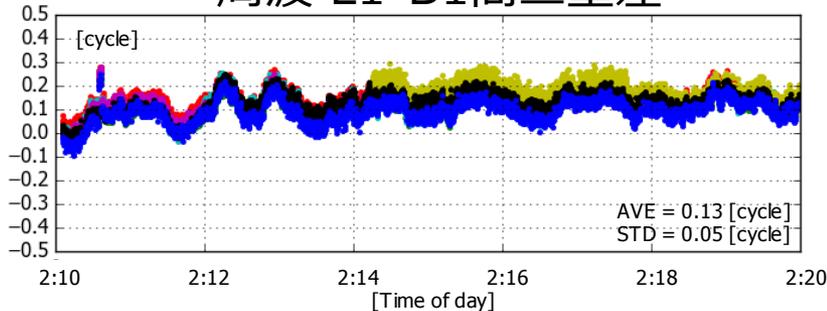
### 基準局



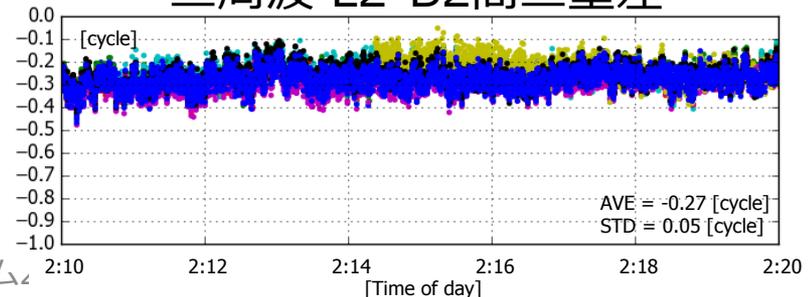
### 二周波 L1-B1間二重差



### 一周波 L1-B1間二重差



### 二周波 L2-B2間二重差



10分間の平均値をISB値とし、  
補正を行う

# 移動体における解析

## 移動体実験結果

解析条件

仰角マスク15度

HDOPマスク10

瞬時RTK-GNSS

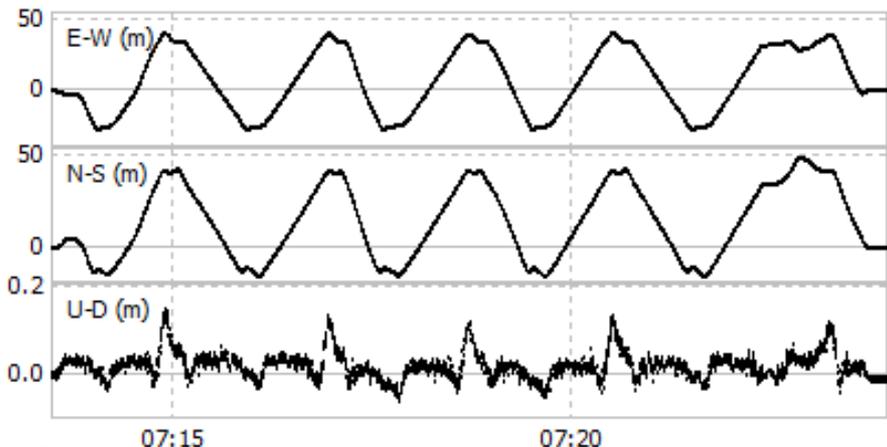
LAMBDA法(Ratioテスト:閾値3)

可視衛星数平均 (15機)

受信機セット	利便性
一周波受信機	統合RTK 99.1 [%]
	混合RTK 98.5 [%]
二周波受信機	統合RTK 99.8 [%]
	混合RTK 99.8 [%]

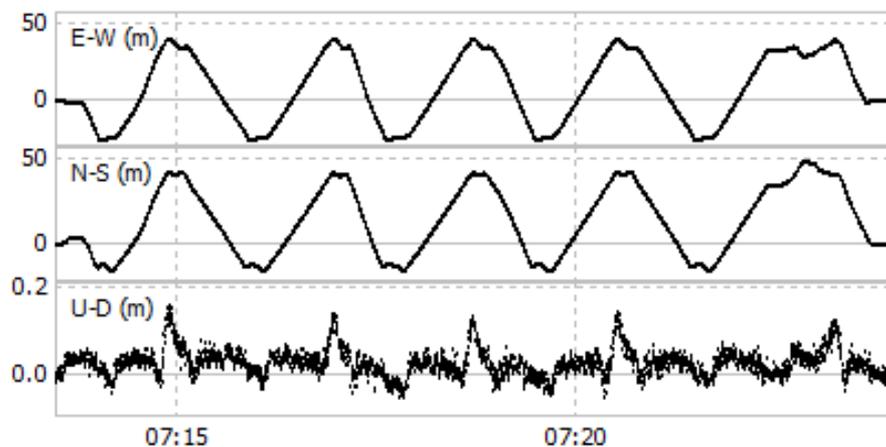
一周波受信機による統合RTK-GNSS

補正值 :  $ISB_{AVE}$



二周波受信機による統合RTK-GNSS

補正值 :  $ISB_{AVE}$



衛星数が十分確保できていたため混合、統合での大きな差異は見られなかったが一周波受信機では利便性の向上が確認できた。

# 受信機時計誤差の影響について

$$\phi_{rb,j}^{sq} = (\lambda_j^s)^{-1} (\rho_{rb}^s + \epsilon_{rb,j}^s) - (\lambda_k^q)^{-1} (\rho_{rb}^q + \epsilon_{rb,k}^q) \\ + (\mathbf{f}_j^s - \mathbf{f}_k^q)(d\mathbf{t}_{rb}) + ISB_{\phi,jk} + N_{rb,kj}^{qs}$$

$$(f_{L1}^s - f_{B1}^q)(dt_{rb}) = (f_{L1}^s - f_{B1}^q) \times (dT_{rb} \times c^{-1}) \\ = (1575.420 - 1561.098) \times 10^6 \times dT_{rb} \times (3.00 \times 10^8)^{-1} \\ = 0.048 \times dT_{rb}$$

$$(f_{L2}^s - f_{B2}^q)(dt_{rb}) = (f_{L2}^s - f_{B2}^q) \times (dT_{rb} \times c^{-1}) \\ = (1227.600 - 1207.140) \times 10^6 \times dT_{rb} (3.00 \times 10^8)^{-1} \\ = 0.068 \times dT_{rb}$$

推定値誤差差分を1mと仮定

- L1 – B1間で0.048cycle
- L2-B2間で0.068cycle

# まとめ

---

- ISB推定による統合測位の評価を行った
  - ゼロ基線解析によるISB推定
  - 短時間データによる推定の可能性
  - 短基線移動体におけるISB推定方法を提案
  - 移動体実験結果よりISB補正は可能
- 今後の課題
  - 都市部移動体での有効性の確認
  - 受信機時計誤差の影響の確認
  - その他の影響（温度、アンテナ個体差の調査）

---

ありがとうございました。