

実験船における マルチGNSSの性能評価

東京海洋大学
海事システム工学科
情報システムコース
林 光紀

指導教員 久保信明准教授

目次

1) はじめに

1.1 本研究に至る背景と研究目的

2) 様々な衛星測位システム(GNSS)

2.1 GNSSとは

2.2 QZSS、BeiDouの特徴

3) マルチGNSSにおけるRTK-GNSS

3.1 RTK-GNSSとは

3.2 BeiDouを利用するための測位プログラムを改修

4) 実験

4.1 静止体データ

4.2 移動体データ

5) まとめ

目次

1) はじめに

1.1 本研究に至る背景と研究目的

2) 様々な衛星測位システム(GNSS)

2.1 GNSSとは

2.2 QZSS、BeiDouの特徴

3) マルチGNSSにおけるRTK-GNSS

3.1 RTK-GNSSとは

3.2 BeiDouを利用するための測位プログラムを改修

4) 実験

4.1 静止体データ

4.2 移動体データ

5) まとめ

1.1 本研究に至る背景と研究目的

近年米国のGPSに代表される
全地球測位衛星システムを各国が打ち上げる

→(米)GPS、(露)GLONASS、(EU)Galileo、(日)QZSS、(中)BeiDouなど



各国が衛星測位システムを保持し、また相互に利用すること
でGNSS(全世界航法衛星システム)時代の到来



QZSSとBeiDou(アジア)

BeiDouは2012年12月ICD(仕様書)が公開される

本研究に至る背景と研究目的

BeiDouの信号を受信可能な受信機の誕生



BeiDouを利用したマルチGNSSに関する研究は
これから本格的に行われる



GPSによる性能とGPSにQZSSとBeiDouを
加えた3つのシステムによるマルチGNSS測位で
どの程度性能に違いが生じるか検証する

※今後マルチGNSSはGPS+QZSS+BeiDouを指すこととする

目次

1) はじめに

1.1 本研究に至る背景と研究目的

2) 様々な衛星測位システム(GNSS)

2.1 GNSSとは

2.2 QZSS、BeiDouの特徴

3) マルチGNSSにおけるRTK-GNSS

3.1 RTK-GNSSとは

3.2 BeiDouを利用するための測位プログラムを改修

4) 実験

4.1 静止体データ

4.2 移動体データ

5) まとめ

2.1 GNSSとは

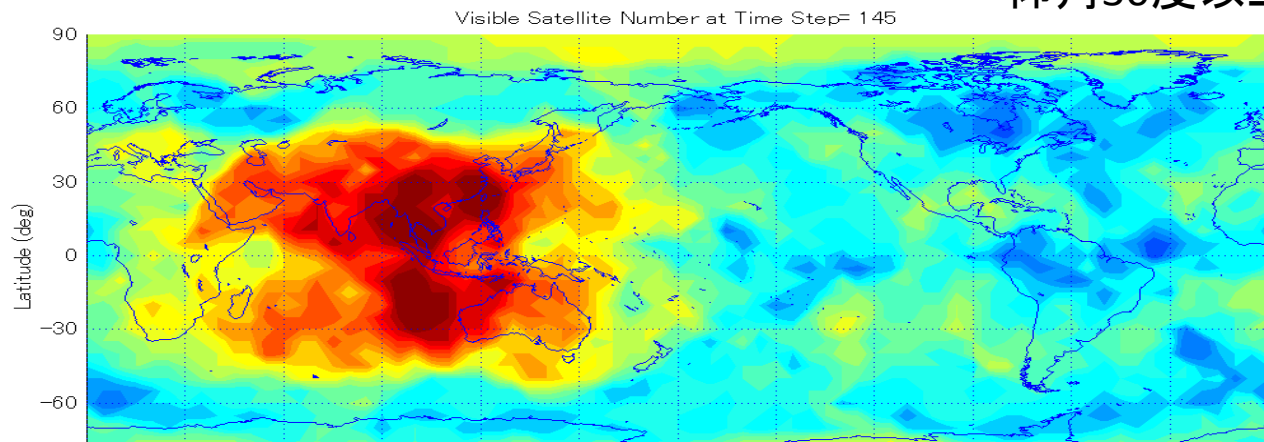
-多くの可視衛星(特にアジア周辺)-

GNSS

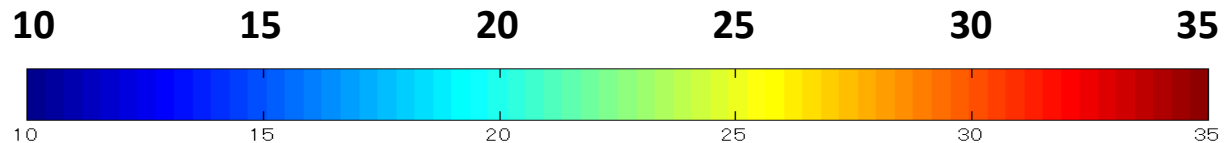
(Global Navigation Satellite System、全地球航法衛星システム)
各国が保有する各衛星系の総称

仰角30度以上の衛星数

2020:

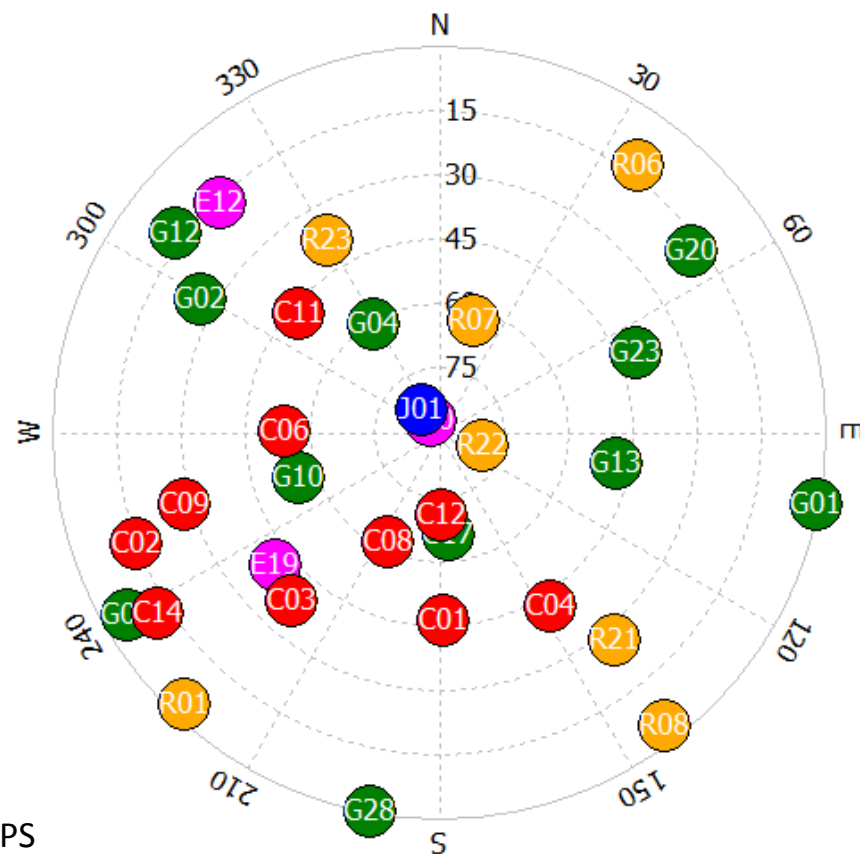
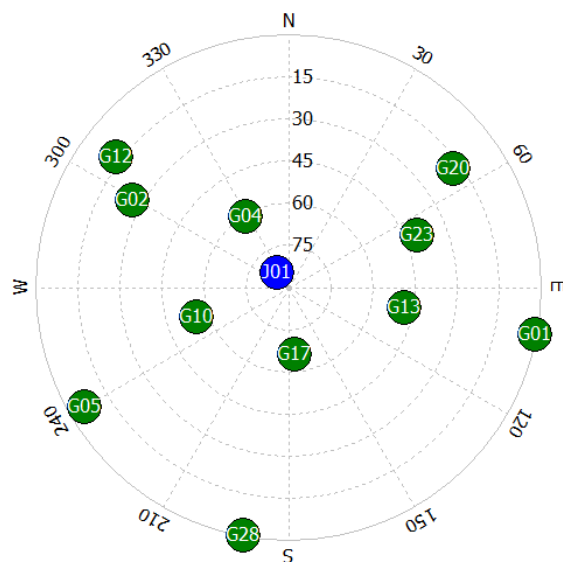


GPS(27)+GLONASS(24)+Galileo(30)+BeiDou(35)+IRNSS(7)+QZSS(3)+SBAS(7)



現時点での 天頂方向のマルチGNSS配置図

12機から32機に増加



- :GPS
- :QZSS
- :BeiDou
- :Galileo
- :GLONASS

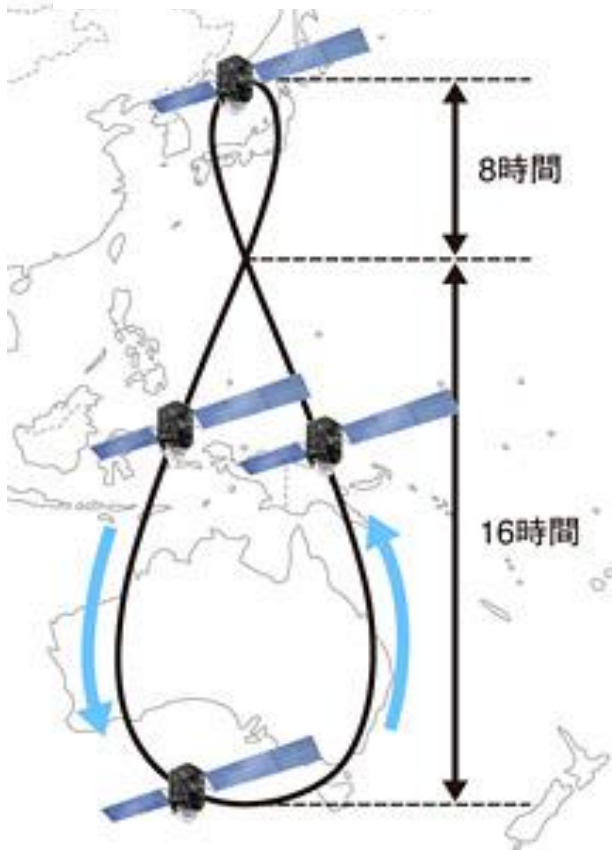
2013/4/1 5:00 JST

2.2 QZSS、BeiDouの特徴

QZSS

日本が保有する衛星測位システム

–QZSS (準天頂衛星システム)
準天頂衛星: 1機(QZS-1)



BeiDou

中国が保有する衛星測位システム

BeiDouは3種類の軌道衛星からなる

GEO(静止衛星)

IGSO(傾斜地球同期軌道衛星)

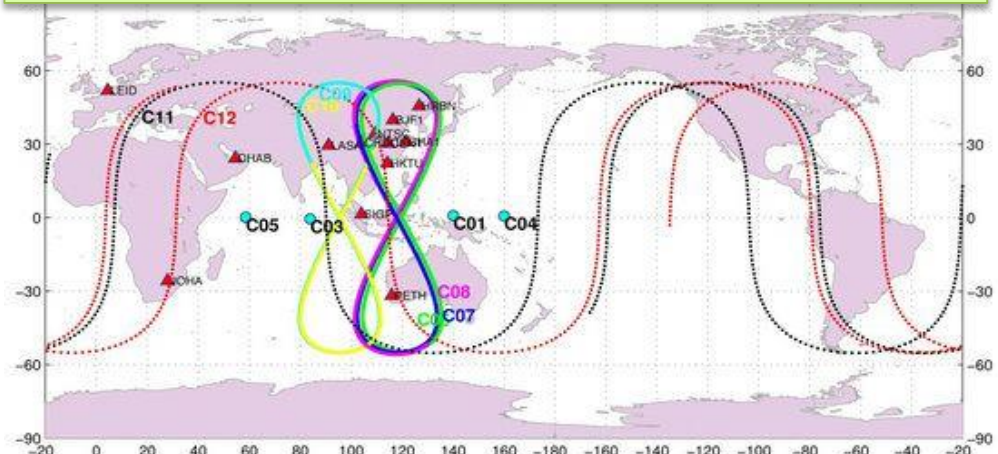
MEO(中高度軌道衛星)

BeiDou単体での各測位精度

単独測位: 10m

速度精度: 0.1m/s以下

時刻精度: 50ns



目次

1) はじめに

1.1 本研究に至る背景と研究目的

2) 様々な衛星測位システム(GNSS)

2.1 GNSSとは

2.2 QZSS、BeiDouの特徴

3) マルチGNSSにおけるRTK-GNSS

3.1 RTK-GNSSとは

3.2 BeiDouを利用するための測位プログラムを改修

4) 実験

4.1 静止体データ

4.2 移動体データ

5) まとめ

3.1 RTKとは

RTK(Real Time Kinematic)

GNSS測位には大きく分けて単独測位、DGNSS、干渉測位がある

→ RTKは干渉測位に含まれる

GNSS測位

絶対位置

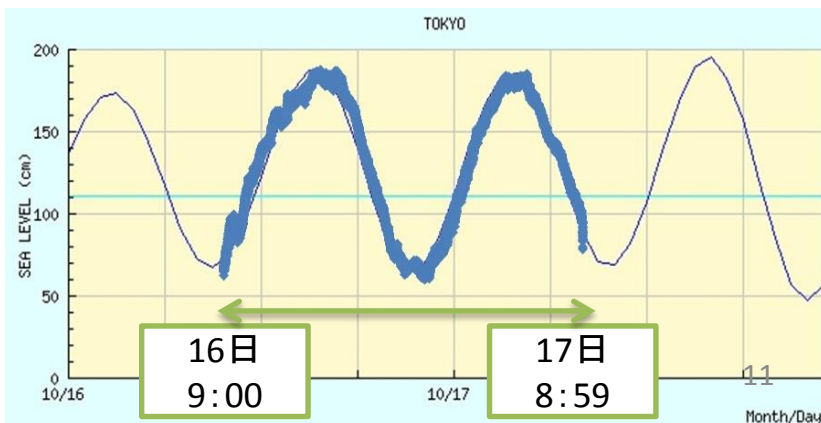
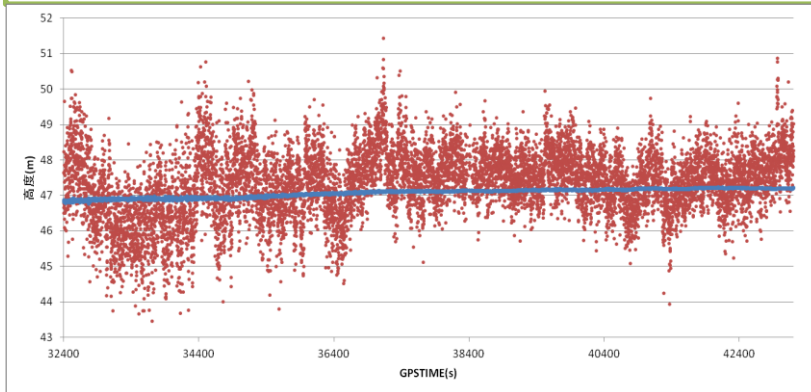
単独測位
精度: 10m
擬似距離

相対位置

干渉測位
(RTK)
精度: 1cm
搬送波位相

DGNSS
精度: 数m
擬似距離

7/28 9時～12時 高度方向測位結果



3.2 BeiDouをRTKに利用するために 測位プログラムを改修

GPS/QZSS (1575.42MHz) と BeiDou (1561.08MHz) では周波数帯が異なるため、GPS/QZSS と同時に BeiDou の測位計算を行うことはできない



計算過程で高仰角衛星を主衛星とし、主衛星の二重差をとる際に周波数帯が異なると計算ができない



GPS/QZSS での測位計算をベースに、新たに BeiDou の中で主衛星を選定し測位計算を行う部分を追加

目次

1) はじめに

1.1 本研究に至る背景と研究目的

2) 様々な衛星測位システム(GNSS)

2.1 GNSSとは

2.2 QZSS、BeiDouの特徴

3) マルチGNSSにおけるRTK-GNSS

3.1 RTK-GNSSとは

3.2 BeiDouを利用するための測位プログラムを改修

4) 実験

4.1 静止体データ

4.2 移動体データ

5) まとめ

実験

7/26～8/1と10/16～10/18の期間において実験船汐路丸に受信機を設置しデータ取得

7/26～7/30

汐路丸にてスラスタ故障発生



データ取得期間中
終日、勝どきに停泊



静止体データとして
取得したデータを扱う

10/16～10/18

UTC 10/16 23:00頃に
勝どきを出港



UTC 10/17 06:00頃に
館山に仮泊



UTC 10/17 23:00頃に
館山抜錨



UTC 10/18 16:00頃に
勝どき入港

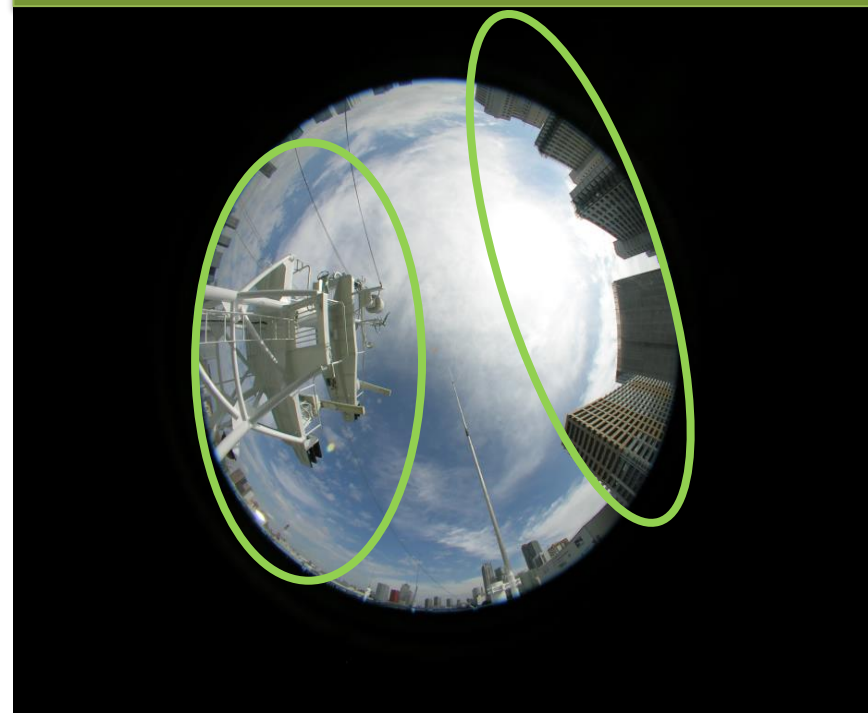
解析結果の評価方法としては、RTKができた割合(測位率)を用いた
実験ではデータを1Hzで取得しているので、1時間であれば3600[s]で
最大3600回のRTK-GNSSの測位解が得られ、その場合の測位率を100%とする

基準局 東京海洋大学第四実験棟屋上



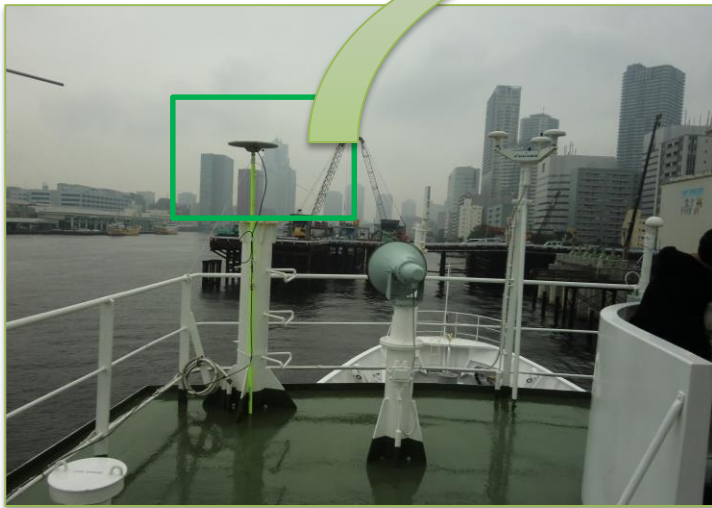
RTKは
相対測位であるため
測位を行うには基準局が
必要となる

移動局 勝どきの天頂写真



汐路丸が停泊している勝どきは誤差の原因となるマルチパスが多く測位環境としてはやや厳しいエリア

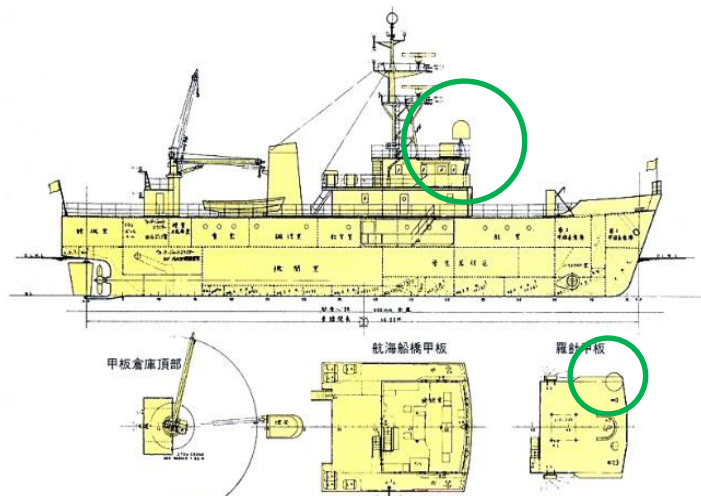
アンテナ設置場所と使用機材



Trimble Zephyr ジオデティック2



Trimble NetR9



4.1 静止体データ

実験概要

日時 (UTC)	07/26 09:00 ~ 07/31 00:00(UTC)
	07/26 18:00 ~ 07/31 09:00(JST)
日時(JST)	勝どき
受信機	Trimble NetR9
アンテナ	Trimble Zephyr ジオデティック2
最低信号 強度	30dBHz
仰角 マスク	15度
Ratio テスト	Ratio 3以上 (推定された解の確かさを検証)
備考	データ取得時にスラスタ故障のため出港せず

7/26~7/30

汐路丸にてスラスタ
故障発生



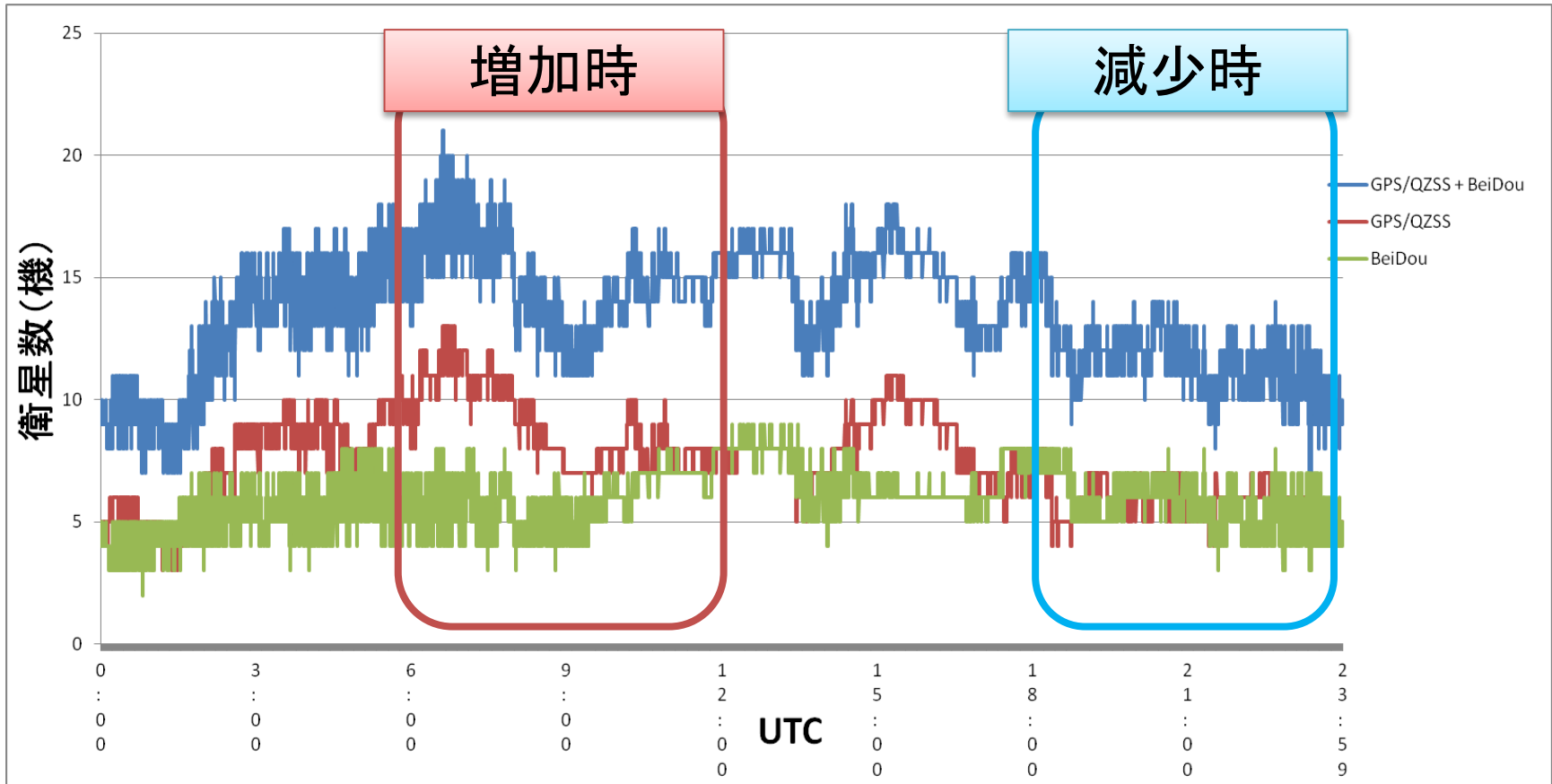
データ取得期間中
終日、勝どきに停泊



静止体データとして
取得したデータを扱う

7/28

GPS/QZSS衛星減少時と増加時の測位率



	衛星平均数（機）			測位率(%)		各衛星系による変化率(%)	
	GPS	QZSS	BeiDou	GPS/QZSSによる	BeiDouによる	GPS/QZSSによる	BeiDouによる
GPS増加時	8.3	9.1	9.1	92.0	92.0	+5.9	+5.9
GPS減少時	8.3	9.1	9.1	40.0	92.0	+51.8	+51.8

BeiDouを加えることで
測位率は

40%→92%

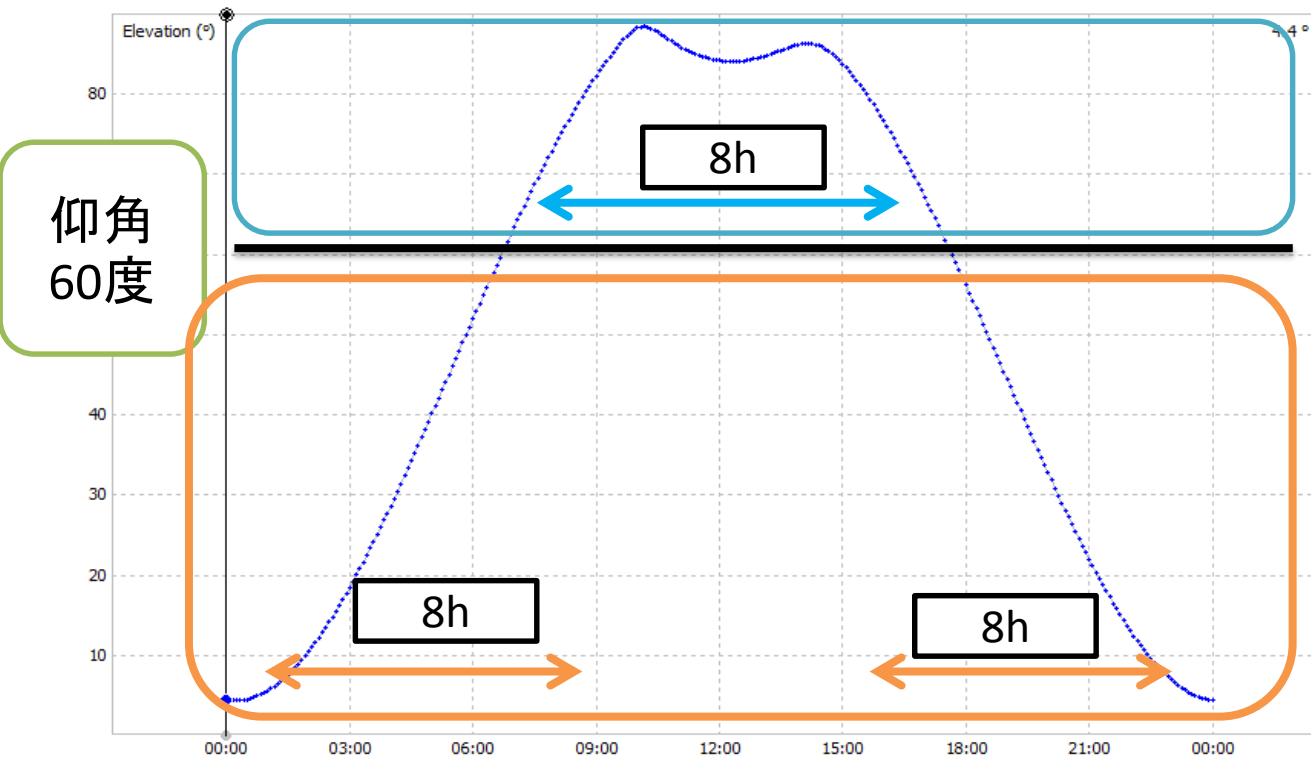
GPS衛星増加時はGPS/QZSSによる
測位率が93%となっている
→ **QZS追加の効果も大**
BeiDouを加えることで測位率99%

GPS衛星減少時はGPS/QZSSによる
測位率が40%となっている
→ **この時間はQZS利用不可**

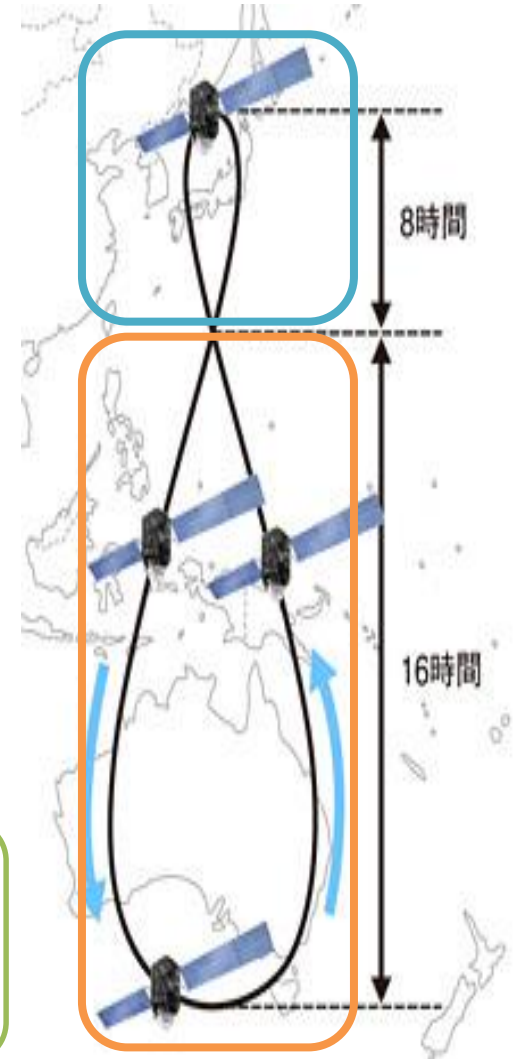
GPS/QZSSのみで衛星数を担保
出来る場合はBeiDouの効果は
それほど現れない

測位に利用可能なGPS/QZSS
衛星数が低下した際の
BeiDouの効果は大きい

準天頂衛星の効果に 偏りがあるのはなぜか？

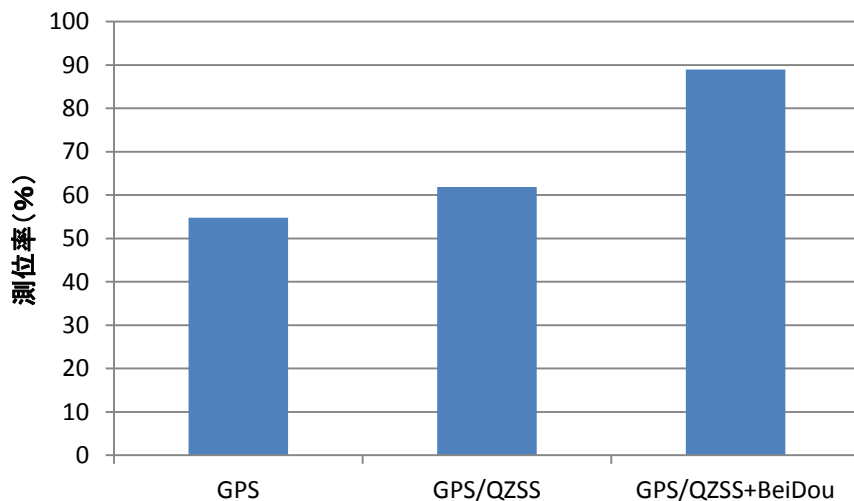


QZSSは日本上空におよそ8時間程度しか滞在していない
利用できる8時間は高仰角に衛星が存在するため
QZSSの測位効果に偏りが生じる



静止体データのまとめ

	測位率(%)		
	GPS	GPS/QZSS	GPS/QZSS+BeiDou
7月26日	40.9	49.1	90.3
7月27日	50.3	60.8	87.6
7月28日	62.2	68.5	91.7
7月29日	64.7	70.3	92.5
7月30日	55.7	60.7	82.7



QZSS+BeiDouを加えた場合



一日を通して見ても効果があることは明白
最大49%～最小27%

4.2 移動体データ

実験概要

日時 (UTC)	10/16 00:00 ~ 10/18 07:00(UTC)
日時(JST)	10/16 09:00 ~ 10/18 16:00(JST)
受信機	Trimble NetR9
アンテナ	Trimble Zephyr ジオデティック2
最低信号 強度	30dBHz
仰角 マスク	15度
Ratio テスト	Ratio 3以上
備考	24h/1Hzでデータを取得

スケジュール

UTC 10/16 23:00頃に
勝どきを出港



UTC 10/17 06:00頃に
館山に仮泊



UTC 10/17 23:00頃に
館山抜錨



UTC 10/18 16:00頃に
勝どき入港

10/16(勝どき～館山)



		平均衛星数(機)			測位率(%)		
10月16日	データ期間[s]	GPS	QZSS	BeiDou	GPS	GPS+QZSS	GPS+QZSS+BeiDou
	5098	7.2	0.1	6.2	90.4	90.4	97.8

短基線RTKの基線限界
10km程度

勝どきを出港してから10km圏内の測位率



移動体データにおいてもBeiDouを
加えることで測位率の向上を確認
約7%

10/18(館山～勝どき)



		平均衛星数(機)			測位率(%)		
10月18日	データ期間[s]	GPS	QZSS	BeiDou	GPS	GPS+QZSS	GPS+QZSS+BeiDou
	3157	6.5	0.91	5.3	72.6	87.8	98.4

BeiDouを加えることで測位率が
約12%向上していることが分かる



往路復路どちらのデータでも基線長10km
圏内において測位率向上を確認

目次

1) はじめに

1.1 本研究に至る背景と研究目的

2) 様々な衛星測位システム(GNSS)

2.1 GNSSとは

2.2 新しいGNSS時代

2.3 QZSS、BeiDouの特徴

3) マルチGNSSにおけるRTK-GNSS

3.1 RTK-GNSSとは

3.2 BeiDouを利用するための測位プログラムを改修

4) 実験

4.1 静止体データ

4.2 移動体データ

5) まとめ

まとめ

静止体データ、移動体データのどちらの測位率においても

マルチGNSS

GPS/QZSS+BeiDou

$\geq$

測位率向上

GPS

静止体平均: 27%

移動体平均: 9%

という結果が得られた！

**GPS衛星の衛星数が減少する時間帯では
特にQZSS/BeiDouの効果が期待できる**

ご静聴ありがとうございました

位相擬似距離方程式

$$\Phi = \frac{1}{\lambda}(\rho - I + T) + N + f(\delta_M - \delta_t) + \varepsilon(\text{noise})$$

Φ : 位相擬似距離(m)

λ : 波長(m)

ρ : 衛星—受信機間の実距離(m)

I : 電離層遅延量(m)

T : 対流圏遅延量(m)

f : 周波数(MHz)

δ_{Mt} : 受信機時計誤差(s)

δ_t : 衛星時計誤差(s)

ε : マルチパス等による誤差

N : アンビギュイティー(cycle)

GPS L1 帯の場合

$\lambda = 19\text{cm}$

$f = 1575.42\text{MHz}$

二重位相差

短基線では電離層、対流圏遅延は二重差をとることで相殺される

二重差をとることで時計誤差は削除される

LAMBDA 法を用いてアンビギュイティの決定

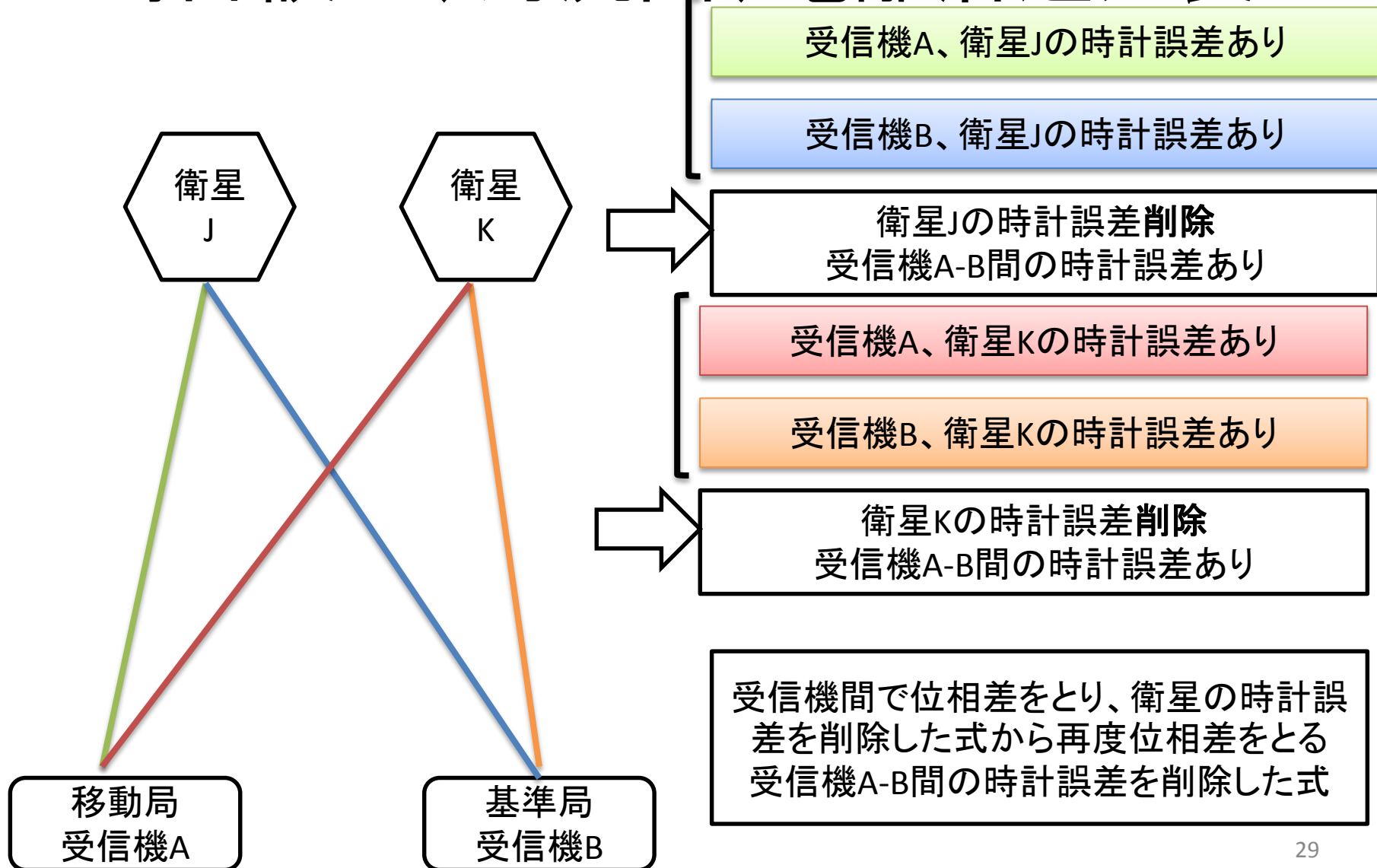
同様に他の衛星から位相擬似距離を決定

未知数 X,Y,Z の決定

FIX 解

二重位相差

時計誤差、対流圏、電離層遅延長



LAMBDA法

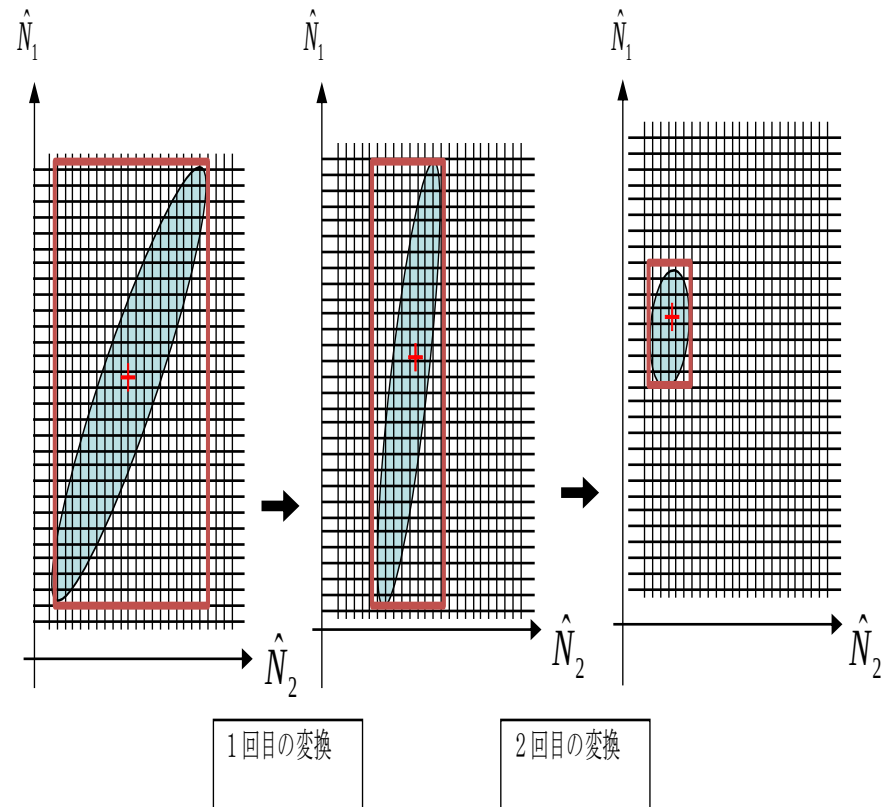
最小二乗解(FLOAT解)

Z変換(無相関化)

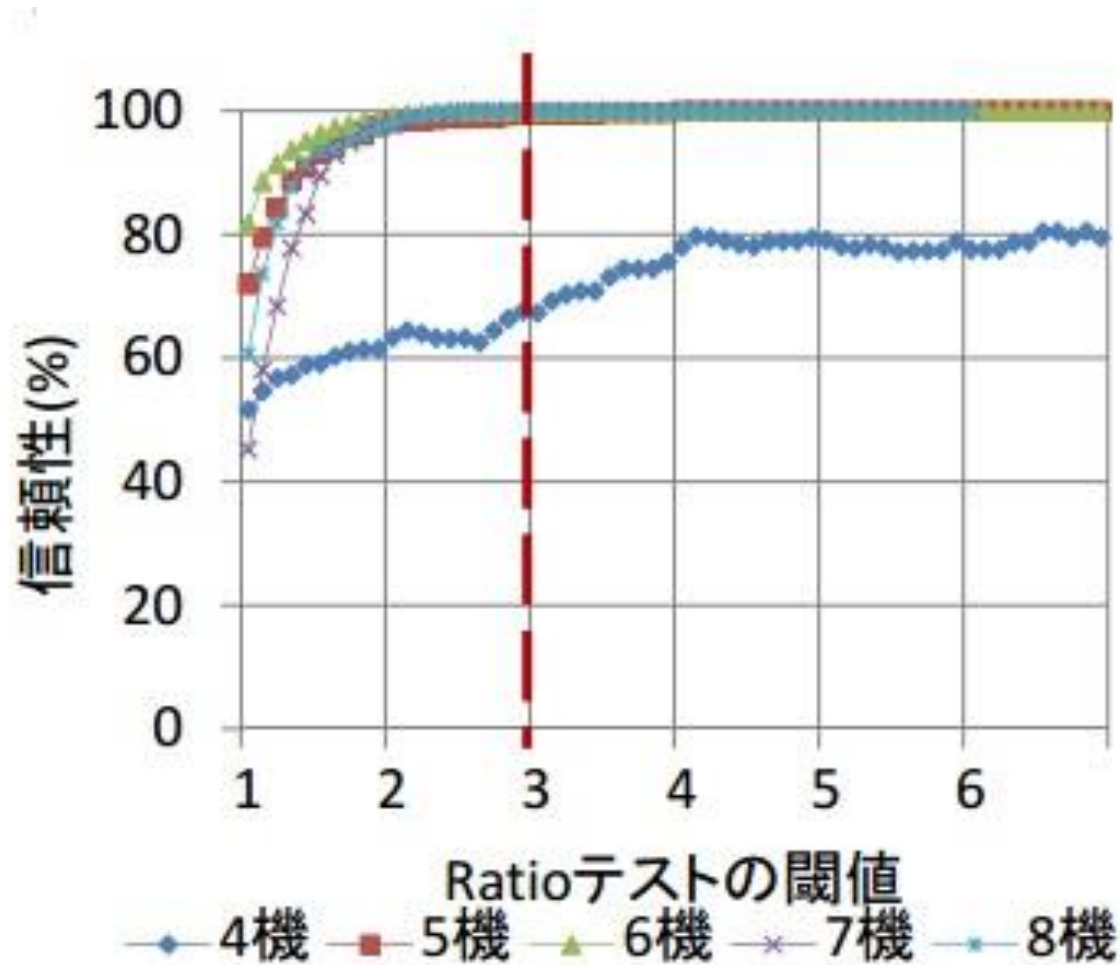
最近整数格子点探索

逆Z変換

整数最小二乗解(FIX解)



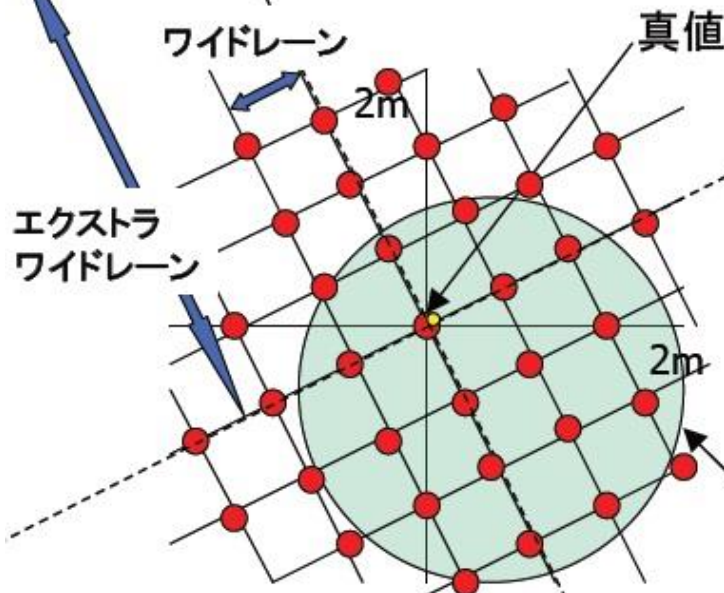
Ratio Test



EWL-RTK

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