

# 複合測位におけるGLONASS 測位性能に関する研究

東京海洋大学大学院

海運ロジスティクス専攻 修士課程二年

山田 英輝

# 発表の流れ

- 本研究の背景
  - 複合単独測位とGLONASSの測位性能について
- 複合単独測位における時刻変換の必要性について
- GPS/GLONASS単独測位精度・アベイラビリティの評価
- GLONASS放送暦の軌道・時計補正值誤差の評価
- 結論

# GLONASSとは

GLONASS (Global Navigation Satellite System)とは  
ロシアが運用している衛星航法測位システムである。

	GLONASS	GPS
衛星数(2008.1)	14機(16機)	28機(30機)注
軌道傾斜角	64.5度	55度
軌道面	3面(8機/面)	6面(4機/面)
周回周期	11時間15分	11時間58分
多重方式	FDMA	CDMA
衛星位置座標系	PZ-90 PZ-90.02(2007.9.21~)	WGS84
時刻系	GLONASS時刻 (UTC(SU))	GPS時刻 (UTC(USNO))
軌道高度	19100km	20180km

# 複合測位におけるAvailability・測位精度について (既存研究)

## 干渉測位

Case1:都市部  
2000.1.21  
約40分間

Case2: 都市部  
2001.3.21  
2時間45分

	KGPS	KGPS/GLONASS
case1		
衛星数	平均6機	平均8.5機
Availability(測位率)	90.2%	96.4%
case2		
衛星数	平均6機	平均9.0機
Availability(測位率)	72.3%	89.4%

Case3: 海上での結果よりKGPSに対してKGPS/GLONASSで測位精度の改善を報告。  
サンプルエポック間隔:1秒で、測位率=測位可能エポック数/全エポック数×100

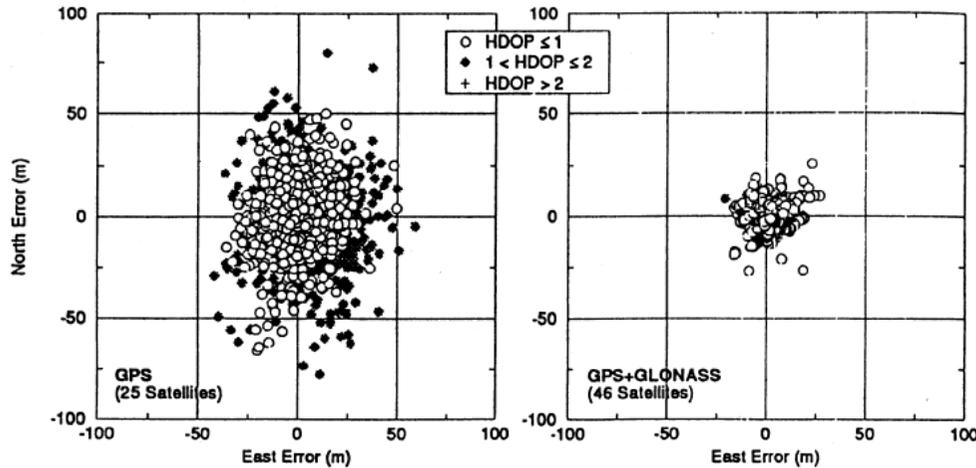
奥田 邦晴 他、「移動体におけるキネマティックGPS/GLONASSの有効性の評価」、  
弓削商船高等専門学校紀要 第24号 平成14年

## 単独測位

GPS/GLONASS単独測位でも都市部におけるAvailabilityの改善を報告。

# 複合単独測位精度

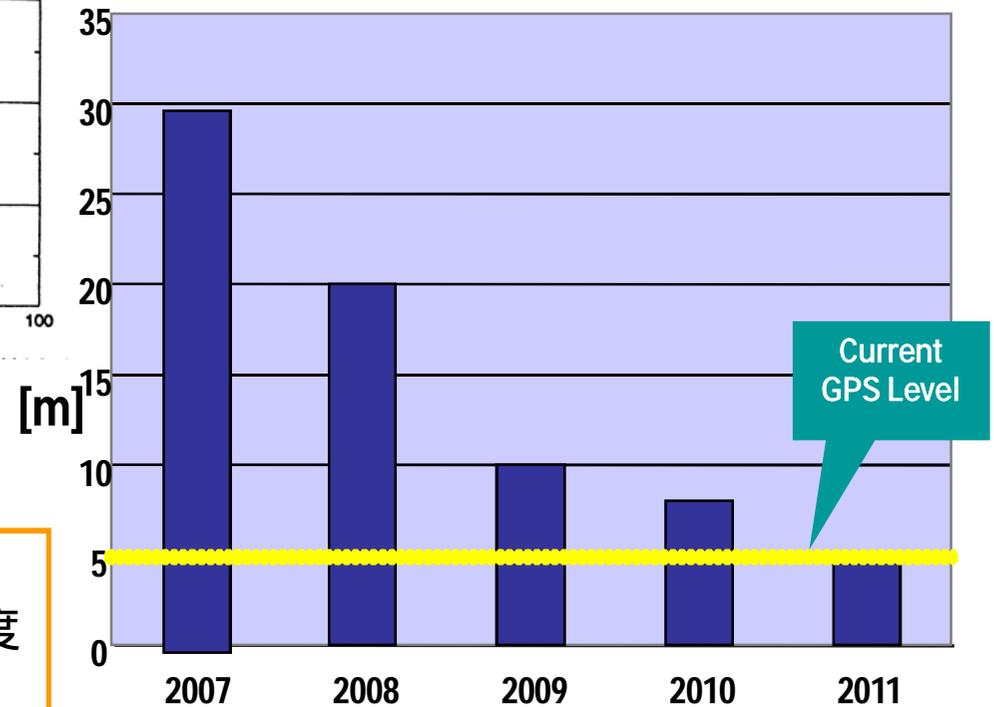
単独測位誤差分布(1997.4)  
(GPS測位信号にSAがまだ存在している時期)



T.Hall, B.Burke, M.Pratt, and P.Misra: Comparison of GPS and GPS+GLONASS positioning performance, Proc. ION GPS-97, 1997, 1543-1550

- 1.現在の複合単独測位精度は？
- 2.課題とされるGLONASS軌道・時計の精度は実際どれくらいなのか？

GLONASS測位誤差改善計画  
(図はロシア連邦宇宙機関の資料)



- ・GPSのSA (軌道データや衛星時計の出力信号への意図的精度劣化)は現在解除されている。
- ・GLONASS測位精度ではGLONASS衛星軌道・時計決定精度に課題があるとの報告がある。

# 本研究の目的

- GPS/GLONASS複合測位では、一方の測位システムの性能によってアベイラビリティや測位精度に影響を及ぼす。本研究では、**複合測位ソフトを構築すること**と、GLONASSによって測位サービスに**どの程度の影響があるのか**を評価することを目的とした。
- さらに、GLONASS測位性能のレベルに関して、**衛星軌道・時計補正值の精度**について明らかにし、改善点を挙げることを目的とした。

# RINEXデータを用いた後処理解析における留意点

RINEXで定義しているGLONASS時刻とGPS時刻の関係

$$t_{GPS} = t_{GLONASS} (= t_{UTC}) + leap\ sec\ ond(14s) + \Delta t_{GPS-GLONASS}$$

RINEXで定義しているGLONASS擬似距離観測値

$$PR_{GLO}(t_{GPS}) = PR_{GLO}(t_{GLONASS} + leap\ sec\ ond)$$

時刻変換は二箇所行う。

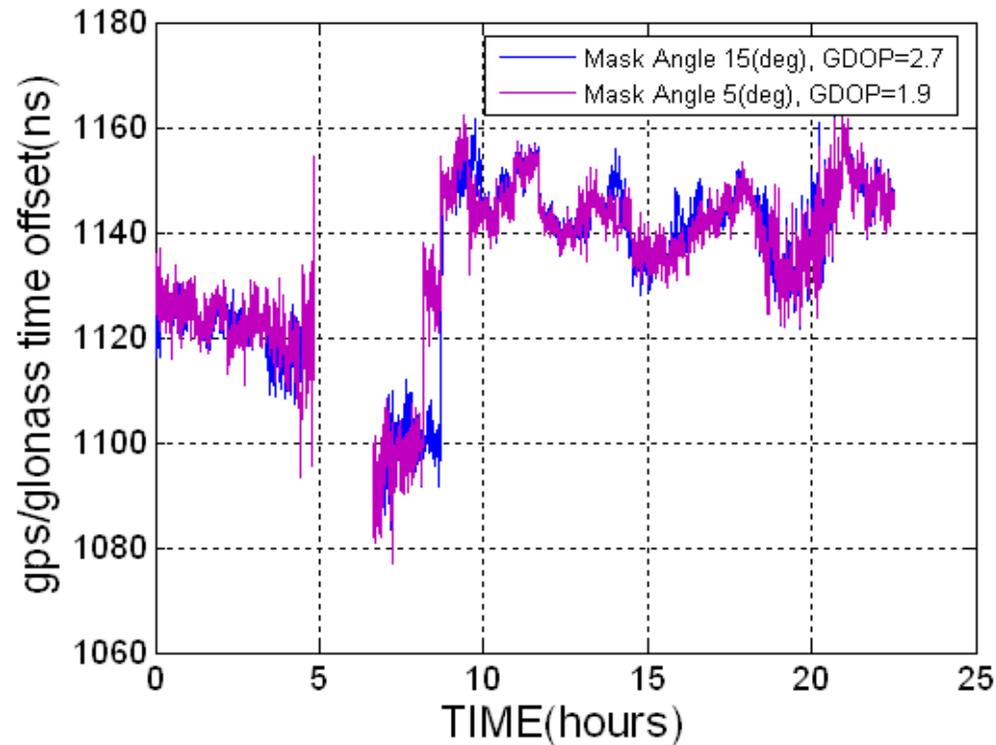
$$P_r^i = c \cdot \tau_r^i + c \cdot \Delta t_r - c \cdot \Delta t^i + c \cdot \Delta t_{GPS-GLONASS}$$

- P: 擬似距離観測値
- $\tau$ : 衛星から受信機までの伝送時間
- $\Delta t_r$ : 受信機時計バイアス
- $\Delta t^i$ : 衛星時計バイアス
- c: 光速
- $\Delta t(GPS-GLONASS)$ : システム時刻差

$$POS_{glonass\_satellite} = satpos(t_{GPS} - 14)$$

# 実際のGPS-GLONASS 時刻オフセット

JAVAD製受信機 legacy

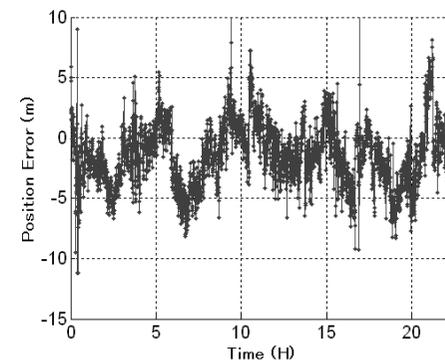
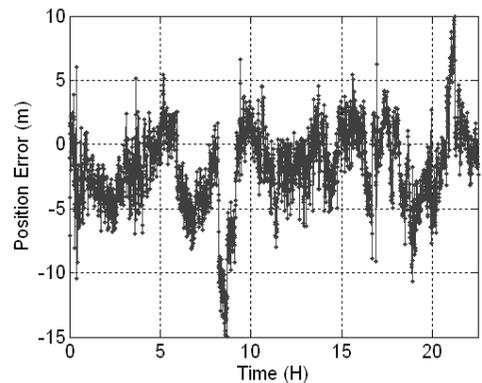
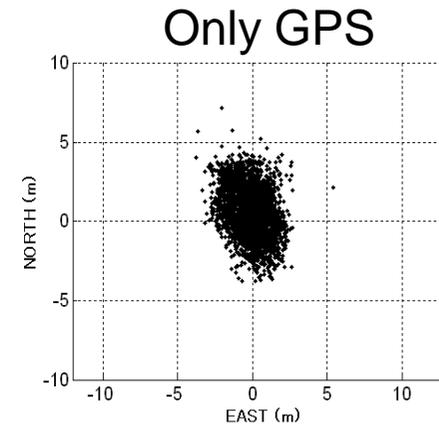
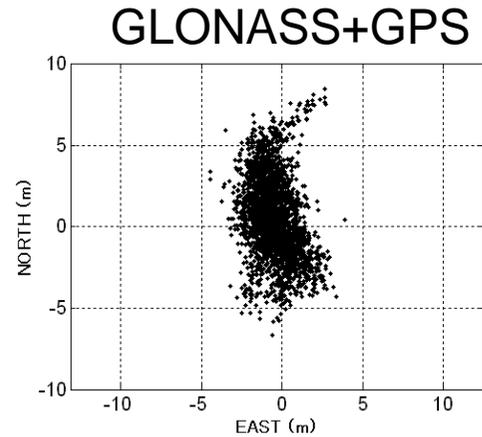


$\Delta t_{GPS-GLONASS}$  → 複合測位計算では  
この補正は必要。

# 複合単独測位における解析概要

データ取得場所	東京海洋大学第四実験棟の屋上。
データ取得日時	2007年8月21日10時19分~ 22日8時50分(約22.5時間)
データ取得用受信機	LEGACY(JAVAD)
データ取得用アンテナ	LegAnt(JAVAD)
評価用プログラム	MATLABを利用して構築。
アンテナ精密位置	後処理基線解析プログラムにより算出。
測位形式	C/Acodeを使用した複合単独測位。
電離層遅延モデル	Klobuchar model
対流圏遅延モデル	Saastamoinen model

# 単独測位誤差の比較



	GLONASS+GPS	Only GPS
2drms(m)	5.53	4.10
Vertical RMS(m)	3.68	2.99
HDOP	0.86	0.97
VDOP	1.33	1.48

# 簡易的な仮想都市環境におけるAvailabilityの評価

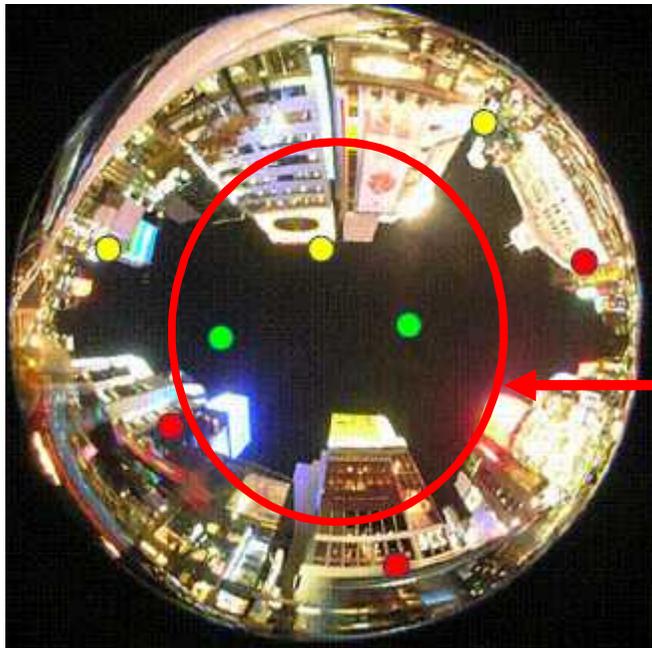
調査環境・・・

データ取得場所：

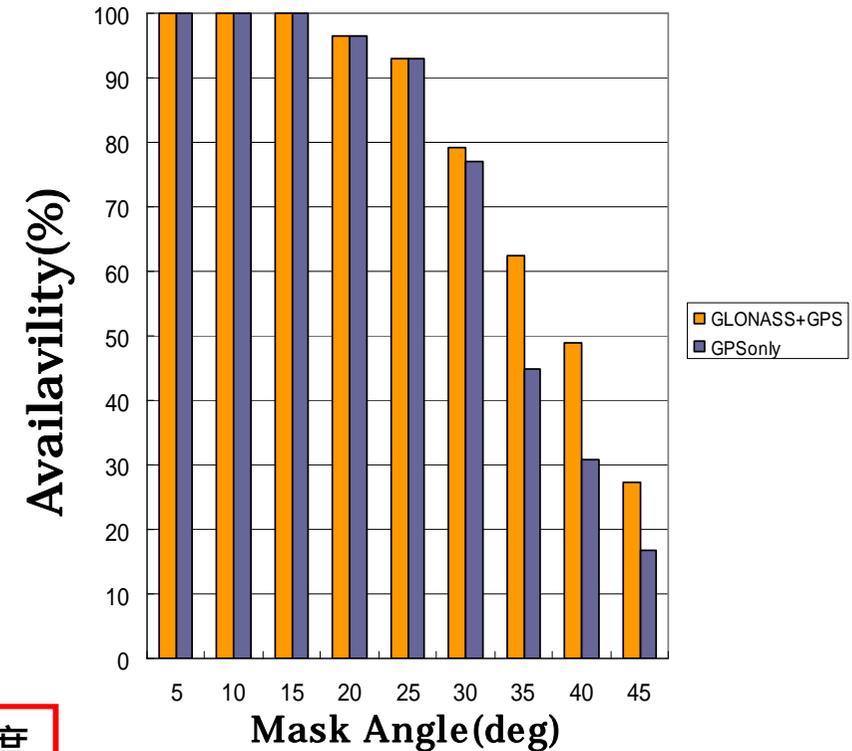
東京海洋大学第四実験棟の屋上。

・データ取得時間：22.5時間

・マスク角を上げて都市環境を模擬。



仰角45度

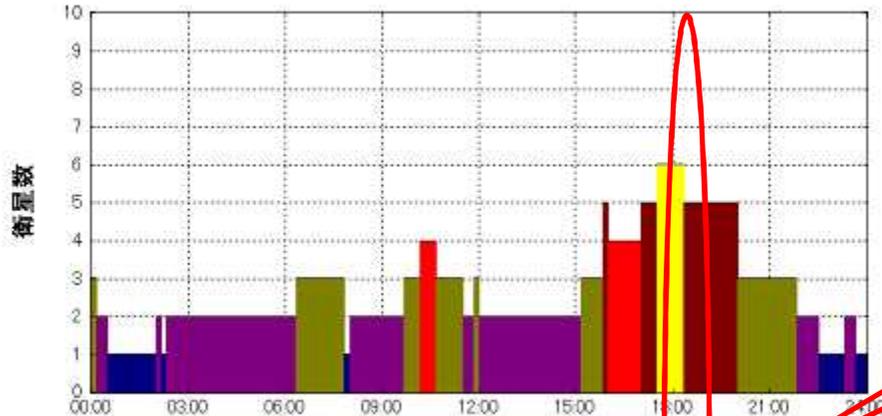


Availability評価式・・・

$(\text{測位可能エポック数} / \text{全エポック}) \times 100(\%)$

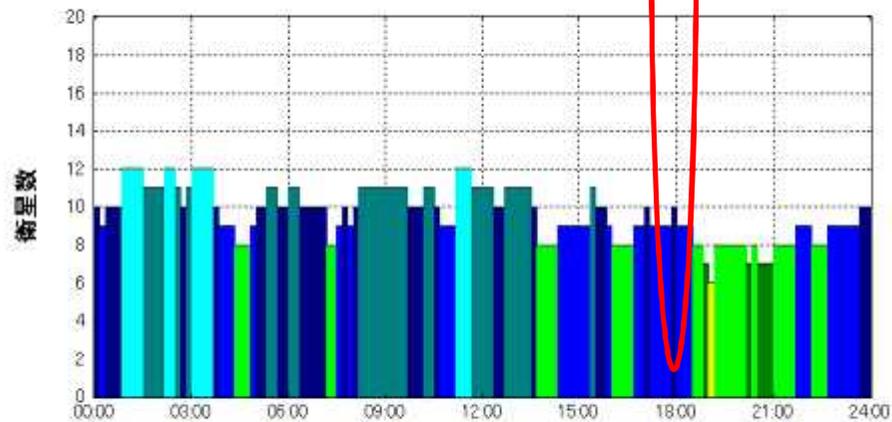
# 都市部におけるAvailability評価の時間帯

GLONASS 衛星



この時間帯での  
Availabilityを評価  
してみた。

GPS 衛星

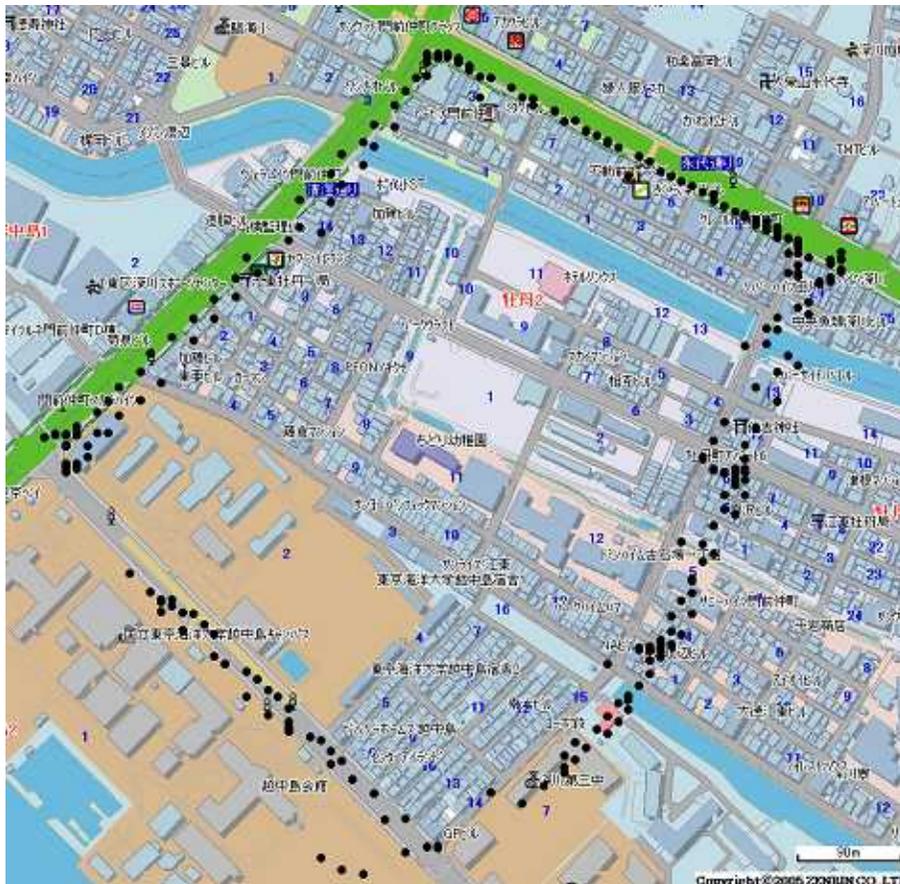


この衛星数は2007年10月2日の  
東京付近頭上にある衛星数

# 実際の都市部におけるAvailabilityの調査結果

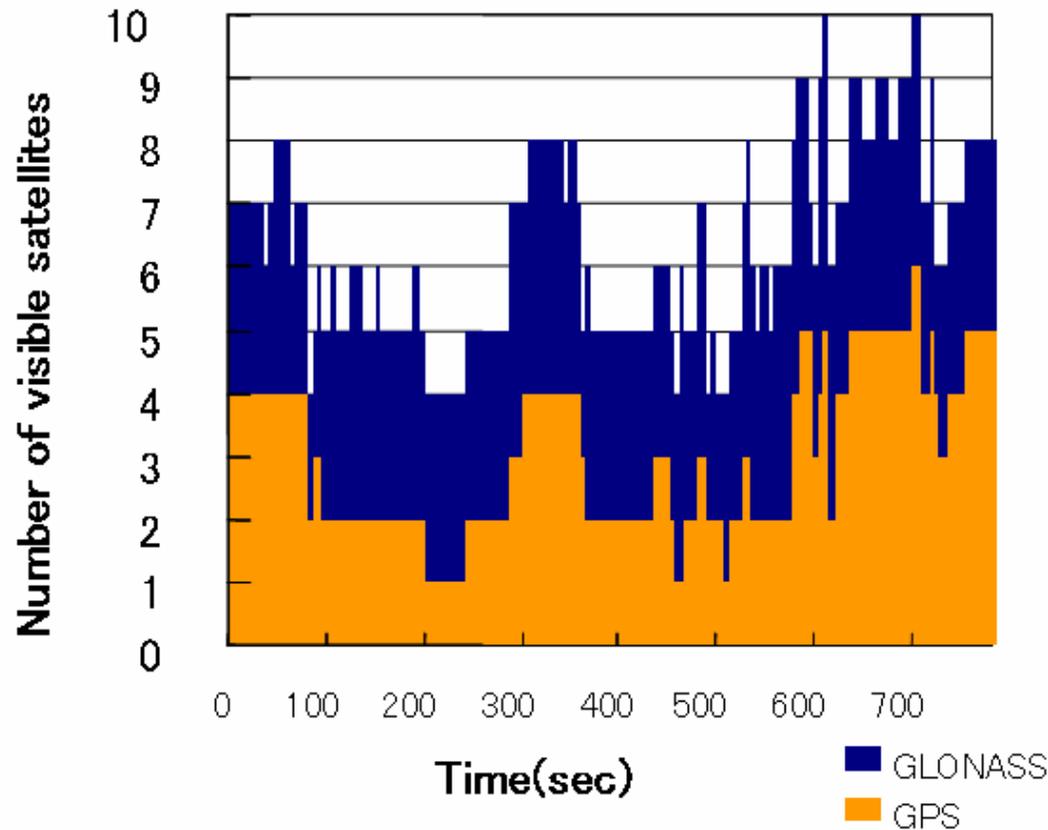
GLONASS+GPS

Only GPS



データ取得場所: 東京海洋大学越中島駅周辺を自動車で市街地2周。データ取得日時: 2007年10月2日18時43分~18時55分(この時間帯はその日のGLONASS衛星が最も見える時間帯)

# 衛星数の変化(市街地走行時)

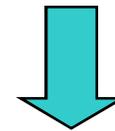


## GPS単独測位:

最低4個のGPS衛星が必要。

## GPS/GLONASS単独測位:

GPS+GLONASS衛星数は  
合わせて最低5個の衛星必要。  
つまり4個では複合測位できない。



複合測位計算アルゴリズムは  
GPS単独測位にも切り替わる  
ようにすればいい。

Only GPS	: $(300/781) \times 100$	38%
GPS+GLONASS	: $(681/781) \times 100$	87%

# GLONASSの誤差要因の調査

- 軌道誤差
- 衛星時計誤差
- GPSとの比較
- 改善の見込み

# GLONASSの軌道誤差の公称精度

	GLONASS	GLONASS-M
Along-Track	20m	7m
Cross-Track	10m	7m
Radial	5m	1.5m

参照資料 GLONASS-ICD(2002)

3D-RMSは、ICDよりGLONASSでは22m、  
GLONASS-Mでは10mと予想できる。

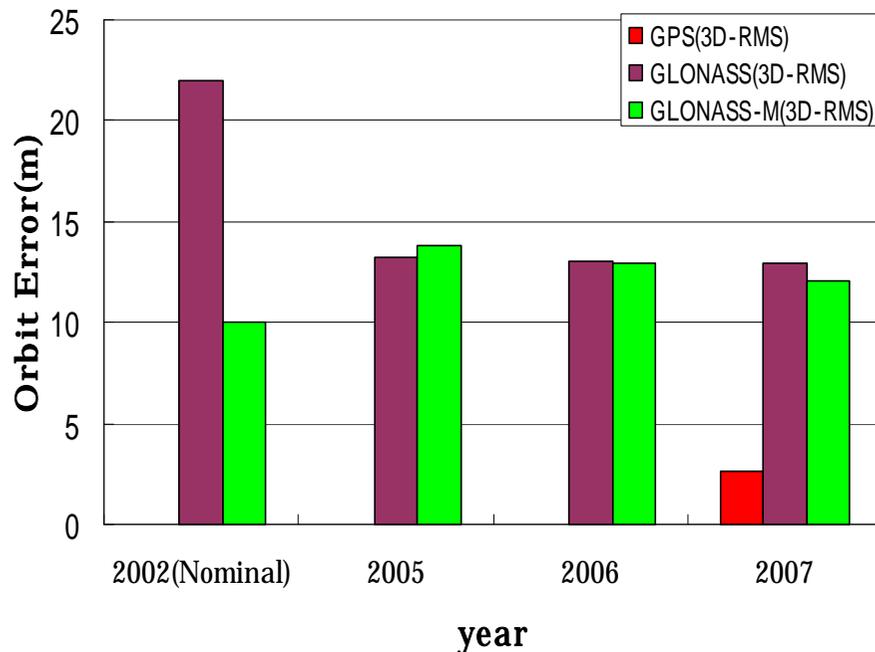
実際に軌道誤差はどれくらいになっているか？

- ・ここ3年間の変動
- ・GLONASSとGLONASS-Mの差
- ・GPSとの比較

# 実際のGLONASSの軌道誤差

## 調査方法

- ・差分=精密軌道座標-放送暦軌道座標。
- ・誤差(3D-RMS)は各差分の二乗和の平方根として算出。
- ・IGS精密軌道のノルム公称誤差=15cm→誤差評価の基準であると仮定。

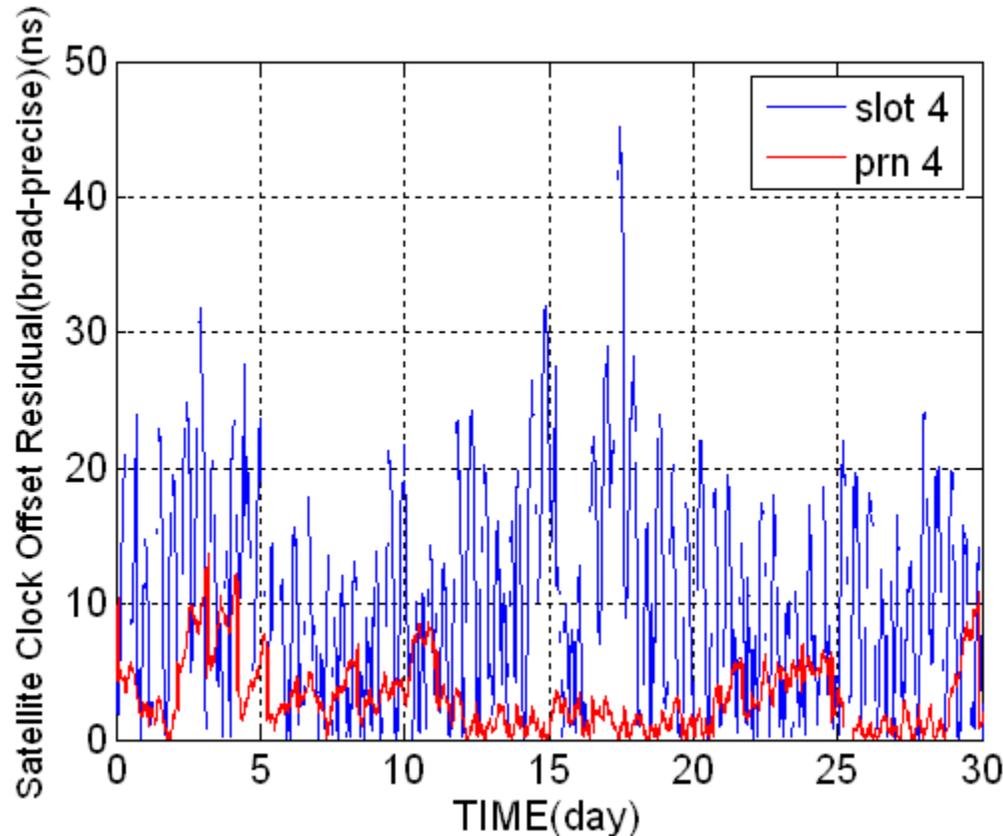


## 2007年1月~6月までの評価結果

	Radial方向の誤差
GPS	1.06m
GLONASS	2.92m
GLONASS-M	2.82m

# 両測位システムの衛星時計補正值誤差の比較

GPS(PRN4)とGLONASS(slot4)の衛星時計補正值誤差



全GLONASS衛星clock (rms): 21.2ns

全GPS衛星clock(rms):7.1ns

誤差・・・(放送暦時計補正值-精密時計補正值)の絶対値。  
誤差評価の基準→ロシアの解析センターであるIAC (Information Analysis Center)  
が公開している精密時計補正值を使用。

# 結論

- 現在のGPS/GLONASSコード単独測位精度はGPSのみの単独測位精度よりも劣る。
- 実際の都市部で、複合測位によるAvailabilityの改善効果が既存の評価研究の中でも顕著に出るケースを確認。
- GLONASSの軌道誤差(3D-RMS, Radial)と時計補正值誤差はGPSよりも大きいことを実際に示した。
- GLONASS-Mによる軌道精度の改善はあまりない。

→これらの誤差は擬似距離観測値や幾何学的距離の計算、衛星時計誤差に影響すると考えられる。

## 軌道・時計補正值誤差の改善

- ・地上モニタ局の数を増やす
- ・地上局の軌道・時計決定モデル精度の改善
- ・軌道誤差に対する重み行列の作成

# 単独測位

擬似距離誤差要因

衛星軌道誤差

衛星時計誤差

電離層遅延誤差

対流圏遅延誤差

マルチパス誤差

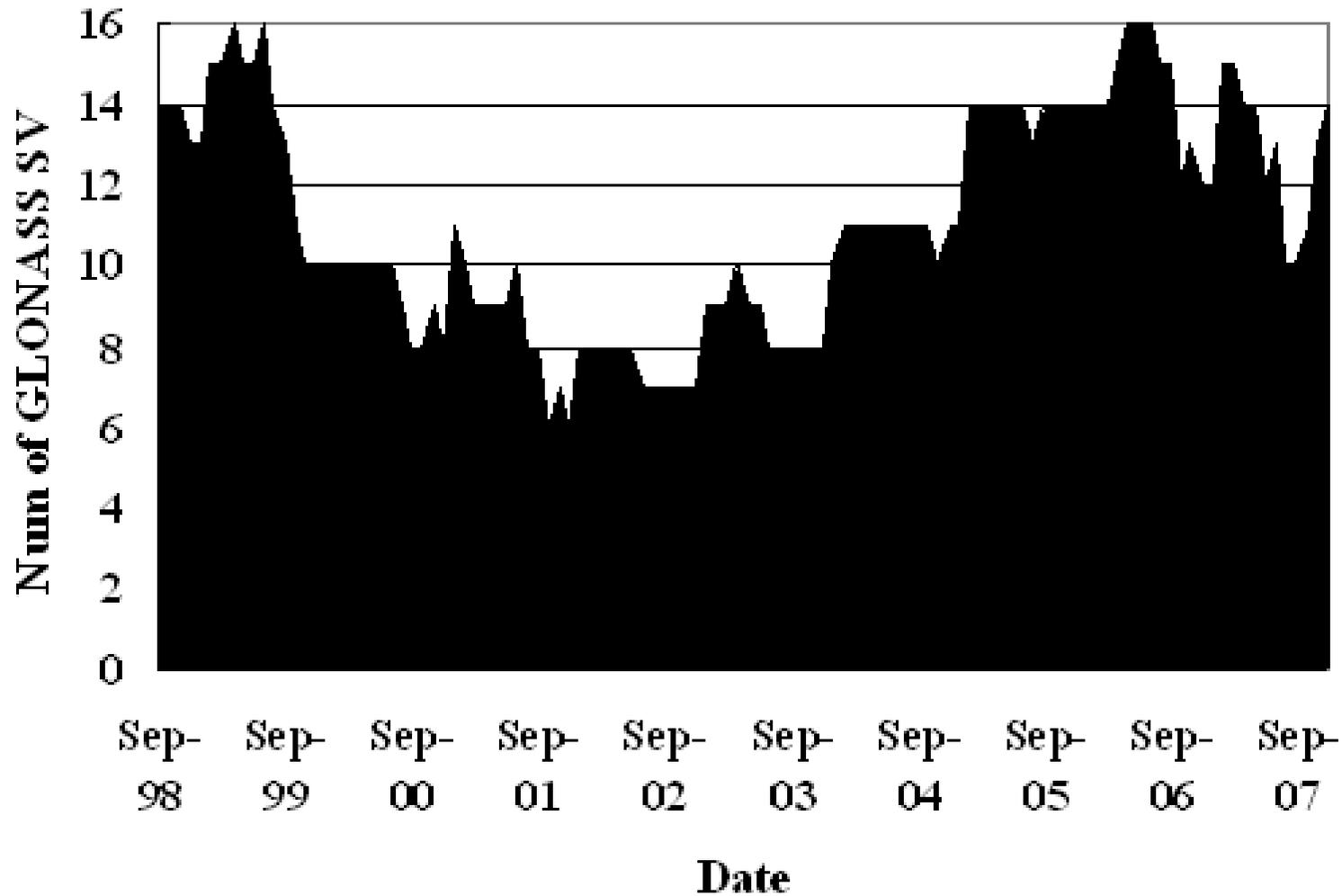
受信機雑音による誤差

GPS単独測位精度: 3 ~ 5m

その他の測位精度を劣化させるもの

・SA

# GLONASS衛星稼働数



# PZ-90とWGS84

