

## 20. 準天頂衛星L1-SAIF補強信号の GLONASS対応



航法システム領域  
坂井 丈泰、星野尾 一明、伊藤 憲

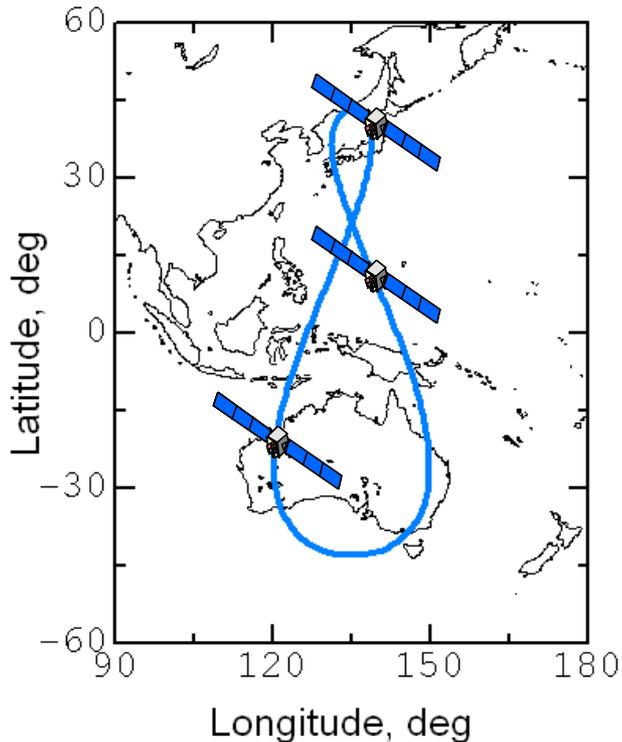
# はじめに

- 準天頂衛星システム (QZSS) :
  - 準天頂衛星軌道上の測位衛星による衛星測位サービス。
  - GPS補完信号に加え、補強信号を放送。補強信号:L1-SAIF、LEXの2種類。
  - 初号機「みちびき」を2010年9月に打ち上げ、技術実証実験を実施中。
  - 実用準天頂衛星システムの開発を閣議決定。2018年に4機体制とする計画。
- L1-SAIF補強信号:
  - サブメータ級の測位精度を提供する補強信号。
  - GPS L1 C/A信号と同一の周波数・変調方式:受信機ハードウェアは変更不要。
  - 当初の補強対象はGPS L1C/A信号のみだったが、GLONASSも利用することで補強性能の改善が期待できる。
- 内容: (1) 準天頂衛星システム (2) L1-SAIF信号の概要 (3) GLONASS対応の概要 (4) GLONASS対応実験・結果

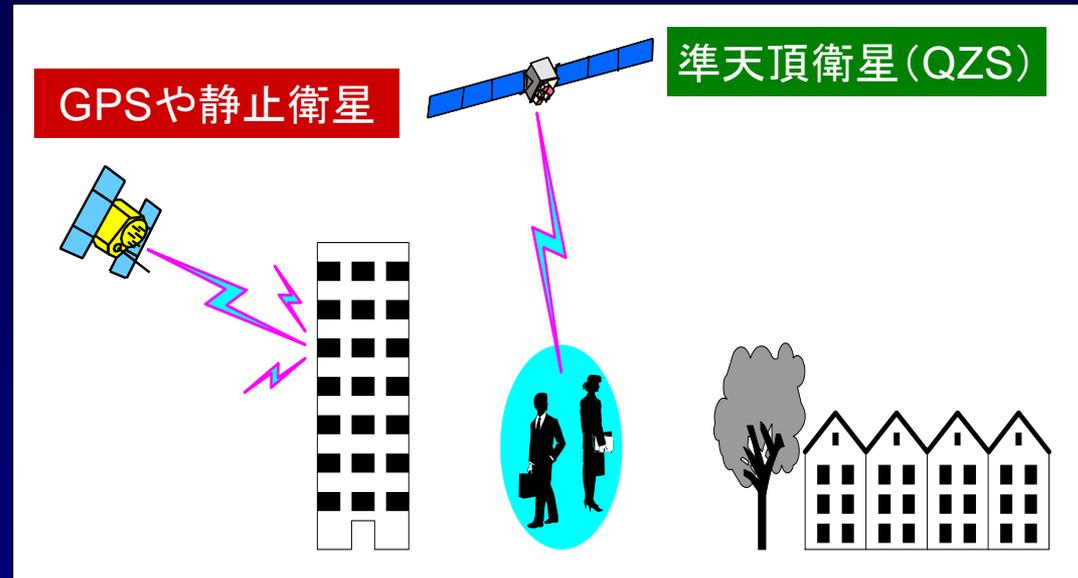
(1)

準天頂衛星システム

# 準天頂衛星の構想



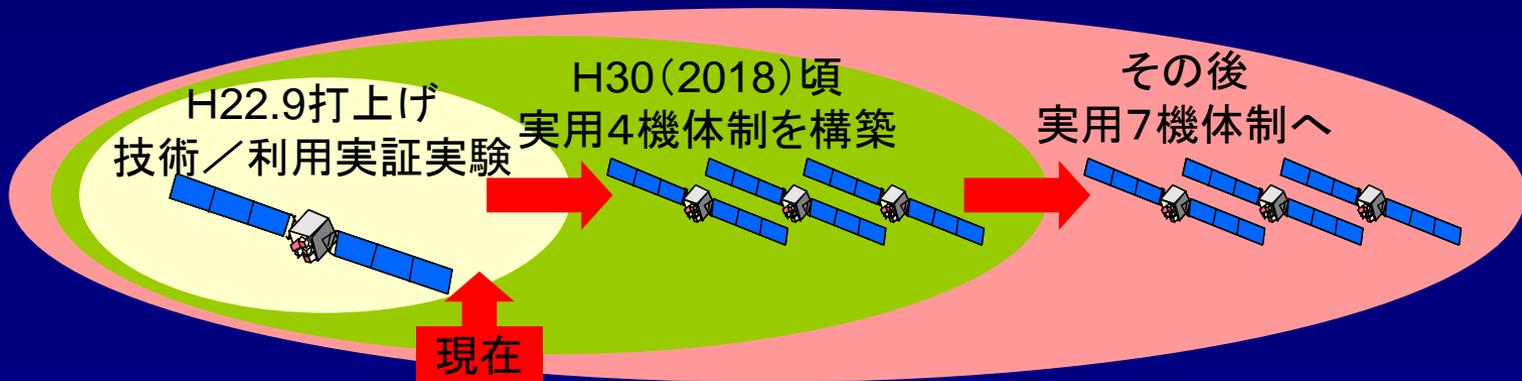
- 東経135度を中心に配置
- 初号機「みちびき」:  
離心率0.075、軌道傾斜角43度



- 高仰角からサービスを提供可能。
- 山間部や都市部における測位・放送ミッションに有利。
- 高仰角から放送する情報により、GPS衛星の捕捉を支援できる。

# 実用準天頂衛星システムの開発

- 準天頂衛星システム 第1段階：
  - H15に官民合同プロジェクトとしてスタート。
  - H18.3に計画見直し:まず第1号機を打ち上げ、技術実証実験・利用実証実験を実施する。第2号機以降はその成果にもとづき検討。
  - 初号機「みちびき」は2010年9月に打上げ成功。各種実験を順調に実施中。
- 第2段階:実用準天頂衛星システムの開発：
  - H23.9.30閣議決定により、開発を決定。
  - 目的:社会インフラ整備、アジア太平洋地域に貢献、災害対応能力の向上、等。
  - 2018年頃までに4機体制を整備。将来的には7機体制を目指す。



# 準天頂衛星の機能

- **GPS補完機能： L1C/A, L2C, L5, L1C信号**
  - GPS補完信号として、GPS信号に似た測位信号を放送。
  - 天頂付近の高仰角から測位信号を提供することで、都市部や山岳地域などで衛星数の不足を補い、いつでも位置情報が得られるようにする。
  - ユーザ側は、既存GPS受信機のソフトウェア改修程度で対応できる。
  - 宇宙航空研究開発機構(JAXA)が技術実証実験を実施。
- **GPS補強機能： L1-SAIF, LEX信号**
  - すべてのGPS(+GLONASS)衛星を対象として、ディファレンシャル補正情報等を補強信号に乗せて放送する。
  - L1-SAIF信号：移動体測位用。補強信号の国際標準SBASと同じ信号形式。
  - ユーザ側は、既存SBAS対応受信機のソフトウェア改修程度で対応できる。
  - 電子航法研究所がL1-SAIF補強信号の開発を担当。衛星打上げ後に技術実証実験を行い、現在も引き続き実験を実施中。

(2)

## L1-SAIF信号の概要

# L1-SAIF補強信号

準天頂衛星



補強信号  
(補完機能)

①補完機能

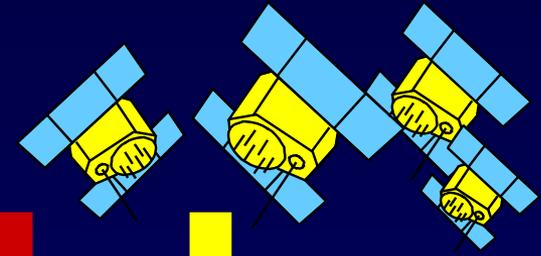
補強信号  
(誤差補正)

②誤差補正機能

補強信号  
(信頼性付与)

③信頼性付与機能

一つの信号で3つの機能



GPS衛星群

測位信号

- 一つの補強信号で3つの機能:補完機能(レンジング)・誤差補正(目標精度=1m)・信頼性付与。
- ユーザ側では、1つのGPSアンテナによりGPSとL1-SAIFの両信号を受信:受信機の負担軽減。

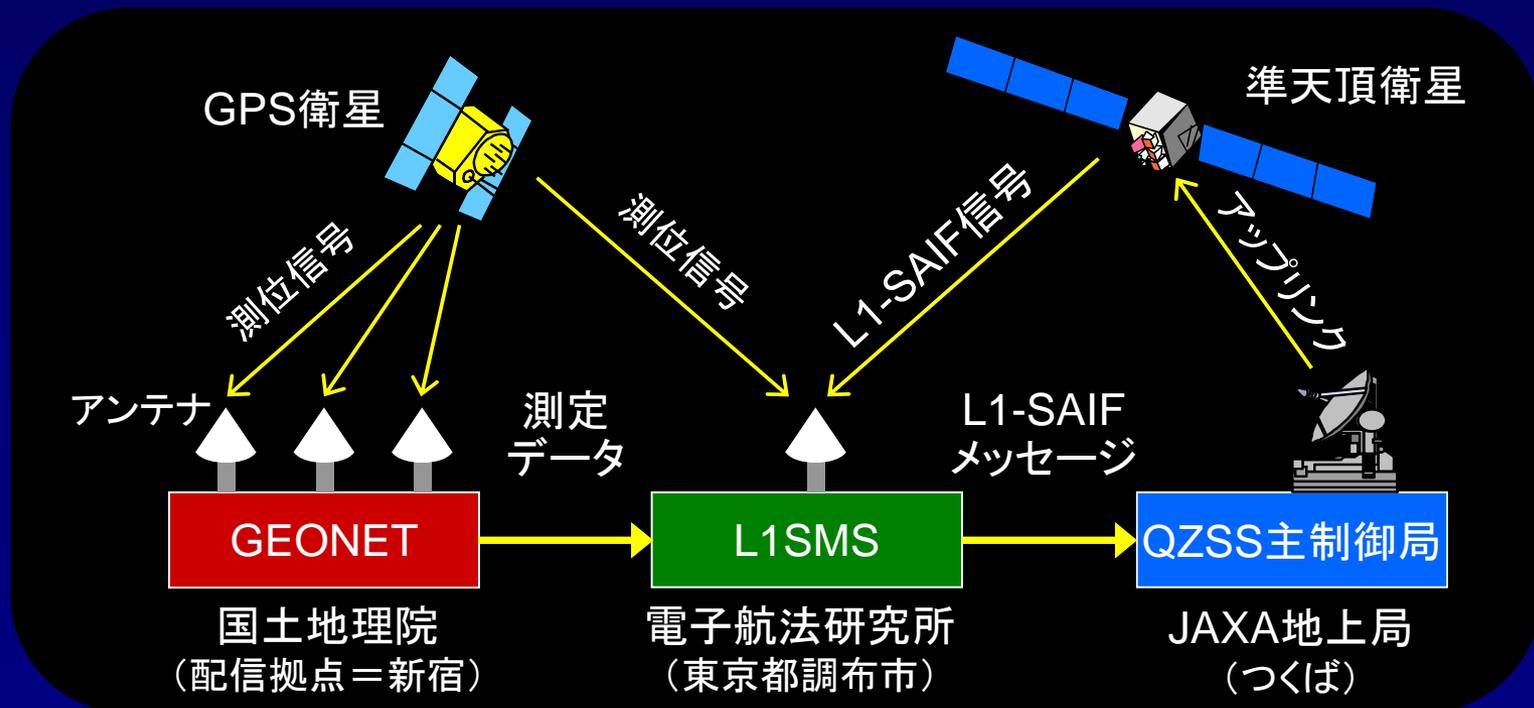


ユーザ  
(GPS受信機)

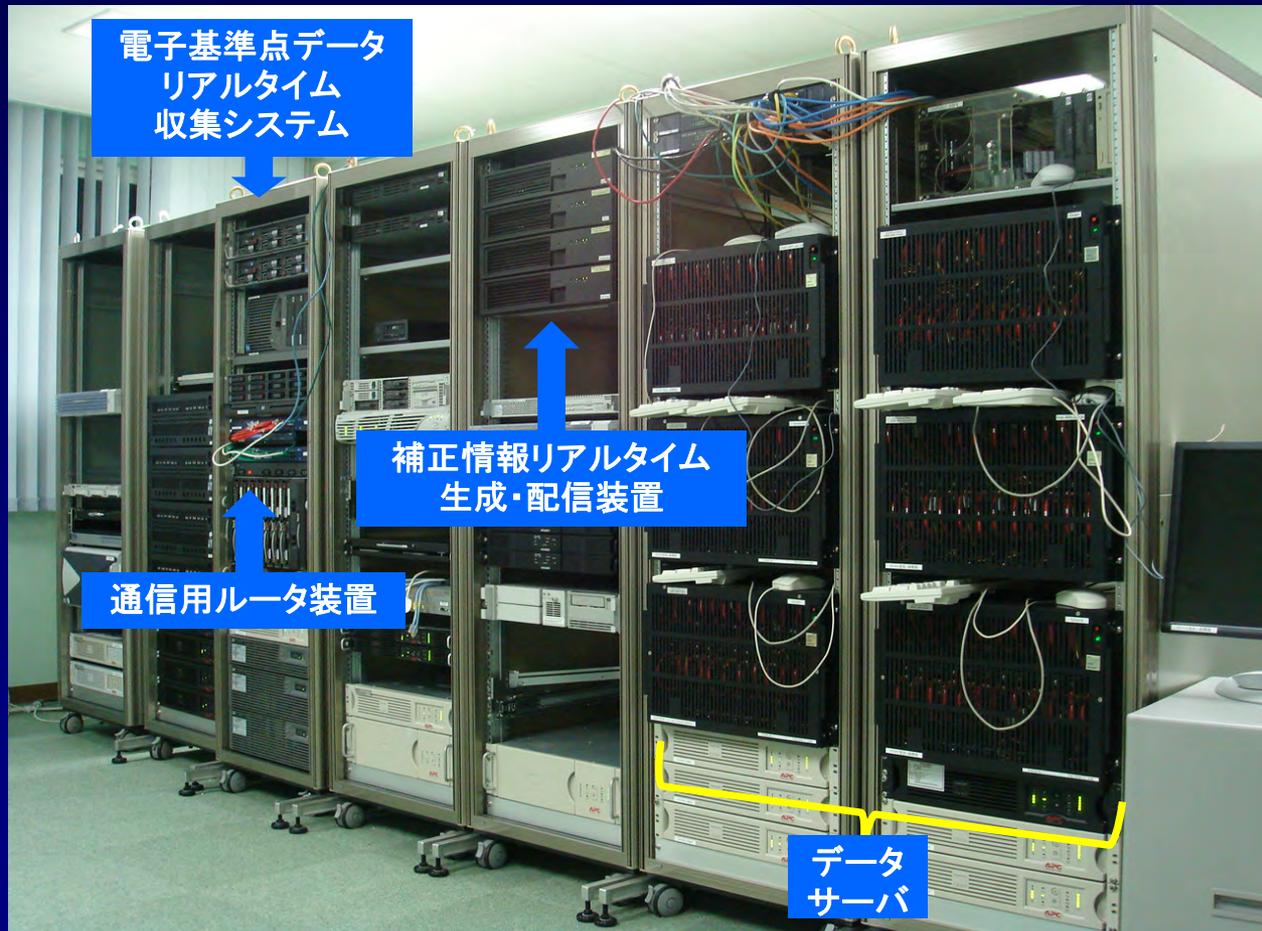
SAIF: Submeter-Class Augmentation with Integrity Function

# L1-SAIF実験局(L1SMS)

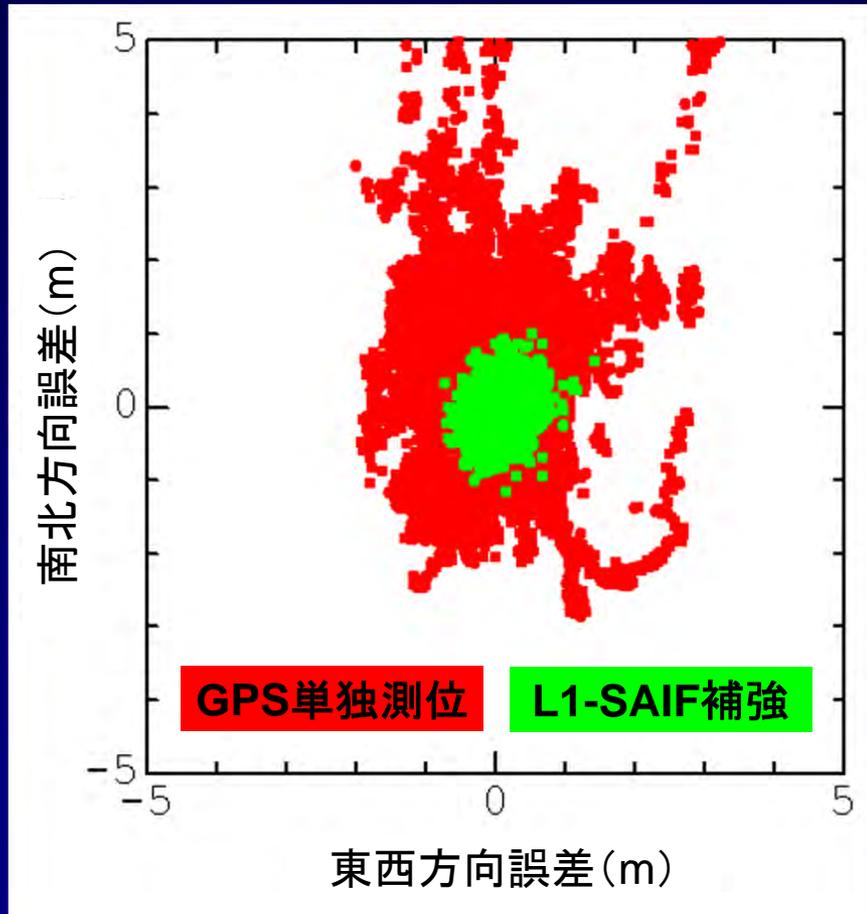
- L1-SAIF実験局(L1SMS:L1-SAIF Master Station):
  - L1-SAIF補強メッセージをリアルタイムに生成し、JAXA地上局(つくば)に送信。
  - 電子航法研究所構内(東京都調布市)に設置。
  - 補強メッセージの生成に使うGPS測定データについては、国土地理院電子基準点ネットワーク(GEONET)から取得する。



# L1-SAIF実験局の外観



# リアルタイム動作試験



- 電子基準点940058(高山)におけるユーザ測位誤差。
- モニタ局配置は、札幌・茨城・東京・神戸・福岡・那覇の6局構成。
- 実験期間：2008年1月19～23日（5日間）
- 使用衛星：GPSのみ

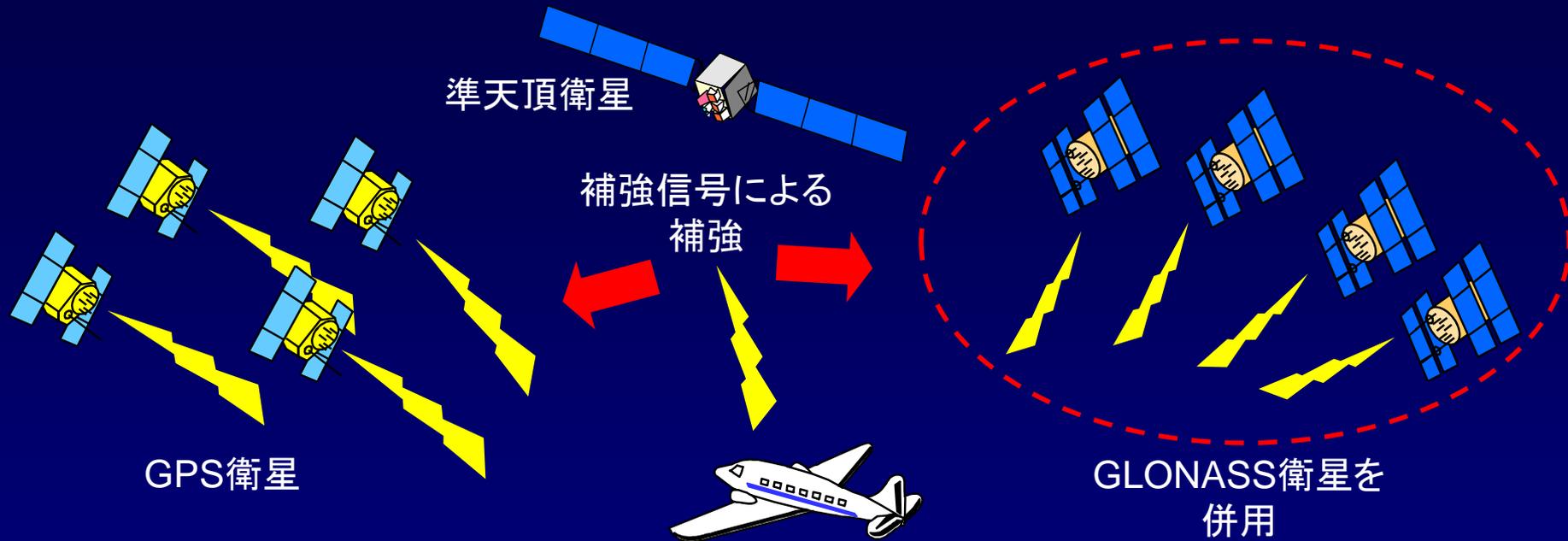
システム		水平測位誤差	垂直測位誤差
GPS単独	RMS	1.45 m	2.92 m
	最大	6.02 m	8.45 m
L1-SAIF補強	RMS	0.29 m	0.39 m
	最大	1.56 m	2.57 m

※測量級の受信機及びアンテナによる結果

(3)

## GLONASS対応の概要

# GLONASSの利用



- 衛星数の増加によるアベイラビリティの改善が期待できる。
- 単一の補強信号により、GPSとGLONASSの両方を同時に補強する。
- 補強情報生成にあたってのGPSとGLONASSの違い：
  - ◆ FDMAを採用
  - ◆ エフェメリスにIODEがない
  - ◆ 補強衛星数の制約
  - ◆ 衛星位置の計算手順
  - ◆ 時刻系と座標系が異なる

# FDMA信号

Table 3.1 GLONASS carrier frequencies in L1 and L2 sub-bands

No. of channel	Nominal value of frequency in L1 sub-band, MHz	No. of channel	Nominal value of frequency in L2 sub-band, MHz
13	1609.3125	13	1251.6875
12	1608.75	12	1251.25
11	1608.1875	11	1250.8125
10	1607.625	10	1250.375
09	1607.0625	09	1249.9375
08	1606.5	08	1249.5
07	1605.9375	07	1249.0625
06	1605.375	06	1248.625
05	1604.8125	05	1248.1875
04	1604.25	04	1247.75
03	1603.6875	03	1247.3125
02	1603.125	02	1246.875
01	1602.5625	01	1246.4375
00	1602.0	00	1246.0
-01	1601.4375	-01	1245.5625
-02	1600.8750	-02	1245.1250
-03	1600.3125	-03	1244.6875
-04	1599.7500	-04	1244.2500
-05	1599.1875	-05	1243.8125
-06	1598.6250	-06	1243.3750
-07	1598.0625	-07	1242.9375

(GLONASS ICD v5.0)

## • FCN (Frequency Channel Number) :

- 搬送波周波数を区別する番号。  
GLONASS ICDが  $-7 \sim +13$  と規定(以前は  $0 \sim +13$  だった)。
- 衛星の識別には使用不可。軌道位置が反対の2機の衛星が同じFCNを使用しているため。

## • 搬送波周波数の違いによる影響:

- キャリアスムージング:
  - ◆ 波長が搬送波周波数に反比例することに注意して処理する。
- 電離層遅延補正:
  - ◆ 遅延量は搬送波周波数の2乗に反比例することを考慮する。

# 補強衛星数の制約

- PRN番号の定義は表のとおり。
- PRNマスク情報：
  - L1-SAIFでは、補強対象の衛星を示すPRNマスク情報を送信(メッセージタイプ1)。
  - PRN番号は 1~210。
  - 同時に補強対象にできるのは、このうち 51衛星まで。

**32 GPS + 24 GLONASS = 56**

すべての衛星を同時に補強できない！

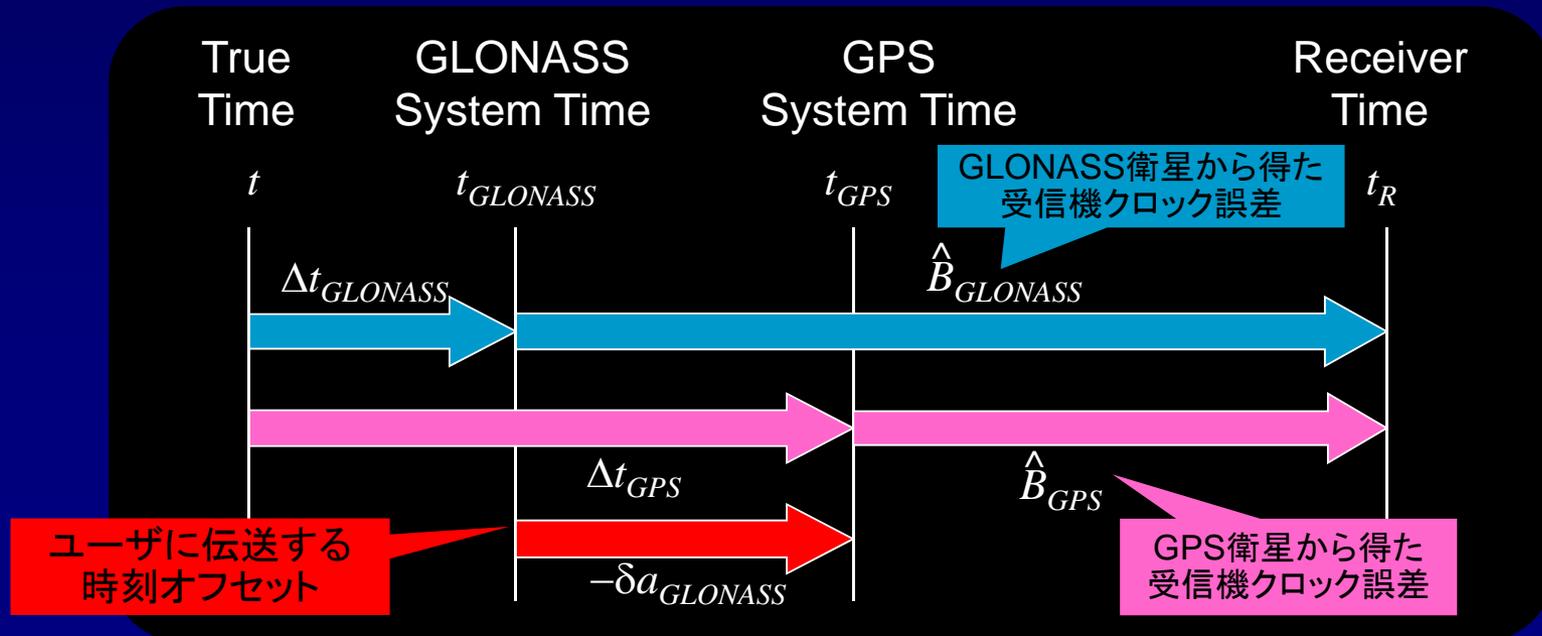
PRN番号の定義(L1-SAIF)

PRN番号	対応する衛星
1~37	GPS
38~61	GLONASS スロット番号+37
120~138	SBAS
183~192	準天頂衛星補強系
193~202	準天頂衛星補完系

- ダイナミックPRNマスク方式：
  - PRNマスク情報を動的に変更する(今までは変更しなかった)。
    - ◆ サービスエリアから見えている衛星を補強対象とする。
    - ◆ 地球の裏側にある衛星の補強情報は送信しない。
    - ◆ PRNマスクを更新した場合、発行番号IODP (Issue of Data, PRN Mask)を増加させて受信機に通知する。

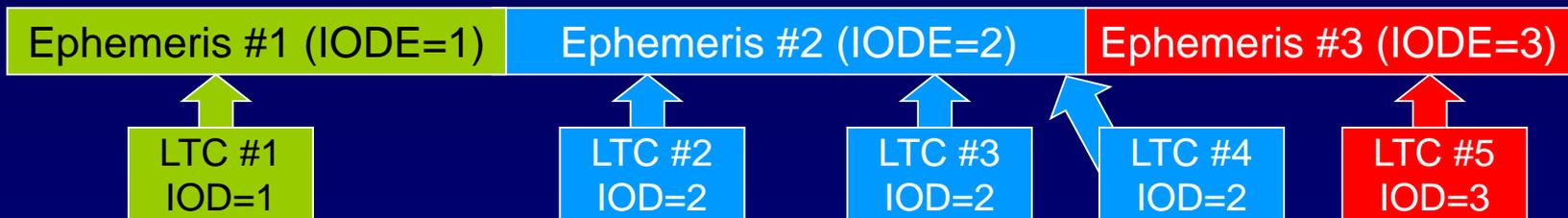
# GPS-GLONASS時刻オフセット

- L1-SAIF実験局ソフトウェアの内部で計算：
  - 2種類の受信機クロック誤差を計算して、その差として時刻オフセットを得る。
    - ◆ GPS/QZSS衛星:GPS時刻を基準とした受信機クロック誤差
    - ◆ GLONASS衛星:GLONASS時刻を基準とした受信機クロック誤差
  - 時刻オフセットを、メッセージタイプ12で伝送。

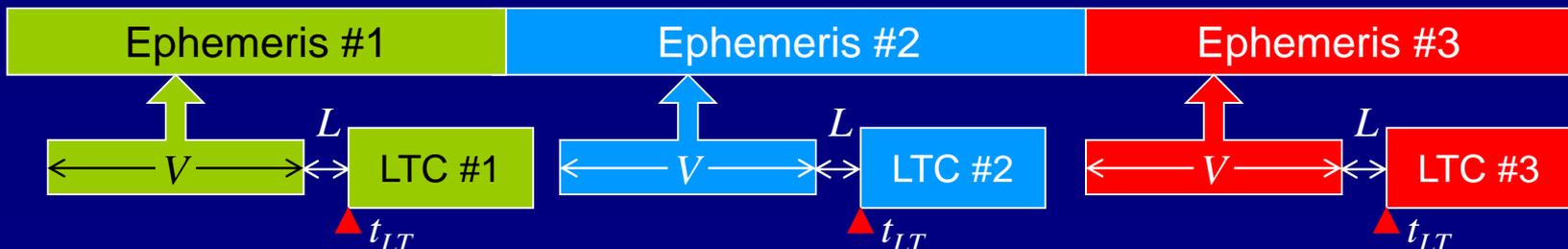


# エフェメリス情報の更新制御

- ディファレンシャル補正を正しく行うには、センタ側とユーザ側で使用するエフェメリス情報を一致させることが必要。
- GPSの場合：
  - エフェメリス情報に発行番号IODE (Issue of Data, Ephemeris) が付けられている。
  - 長期補正情報(LTC)に付いているIODと一致するIODEをもつエフェメリス情報を使用。



- GLONASSの場合：
  - GLONASSエフェメリスには、GPSエフェメリスのIODEに相当する情報が存在しない。
  - 長期補正情報に付けるIODを、有効時間(V)と遅れ時間(L)から構成する。
  - ユーザ受信機は、IODに示された時間範囲内に受信したエフェメリスを使用する。

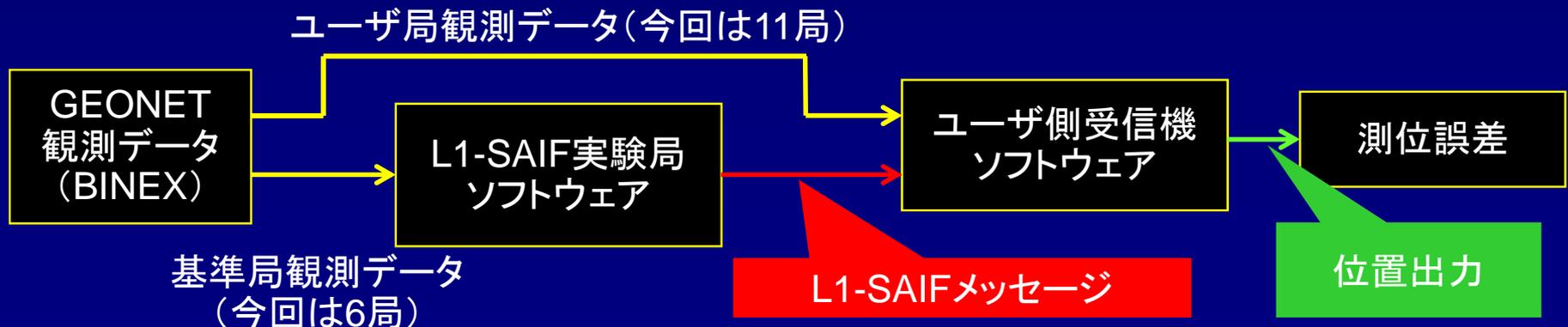


(4)

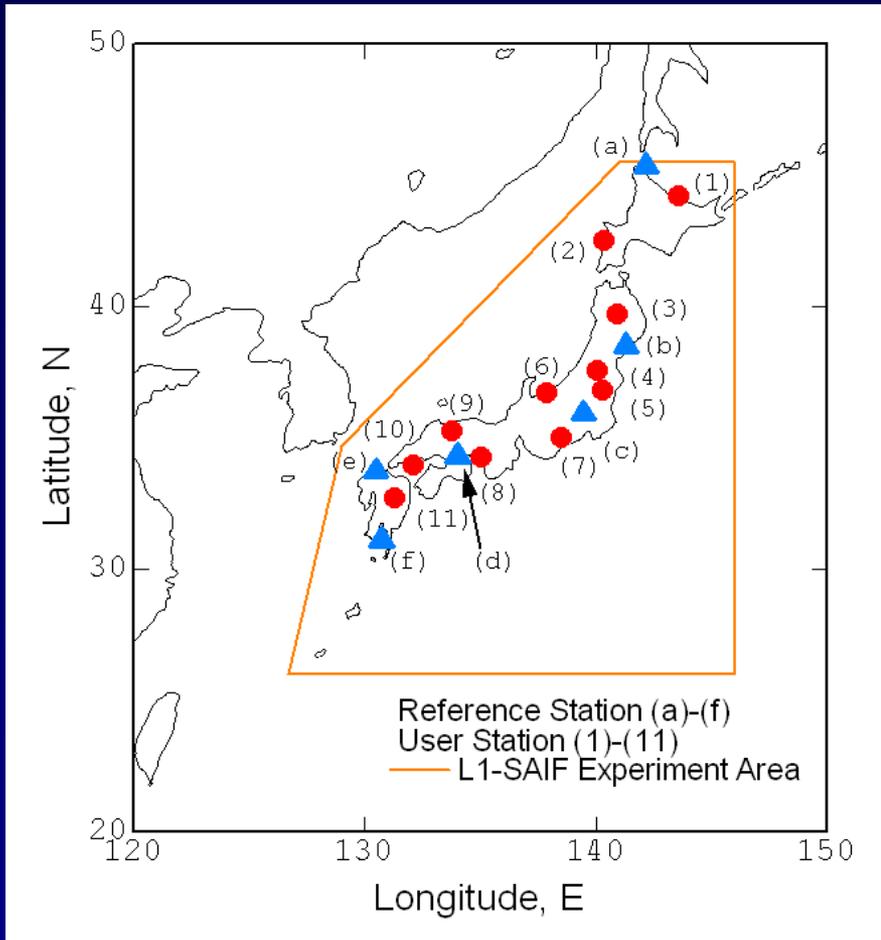
GLONASS対応実験・結果

# GLONASS対応実験

- L1-SAIF実験局ソフトウェアを使用：
  - 基準局観測データを入力 → L1-SAIFメッセージを生成・出力。
  - 実行モード：◆オフラインモード：データファイルを読み込んで処理。  
◆リアルタイムモード：ネットワークからリアルタイムに観測データを受信、毎秒1個のメッセージを出力。
  - 出力されたL1-SAIFメッセージの評価にはユーザ側受信機ソフトウェアが必要。
- GLONASS・QZSS対応の実装：
  - 入力モジュール：GLONASS/QZSSを含むBINEX/RINEX形式データに対応。
  - GLONASS特有の処理を追加。ユーザ側受信機ソフトウェアもGLONASS対応を実施。

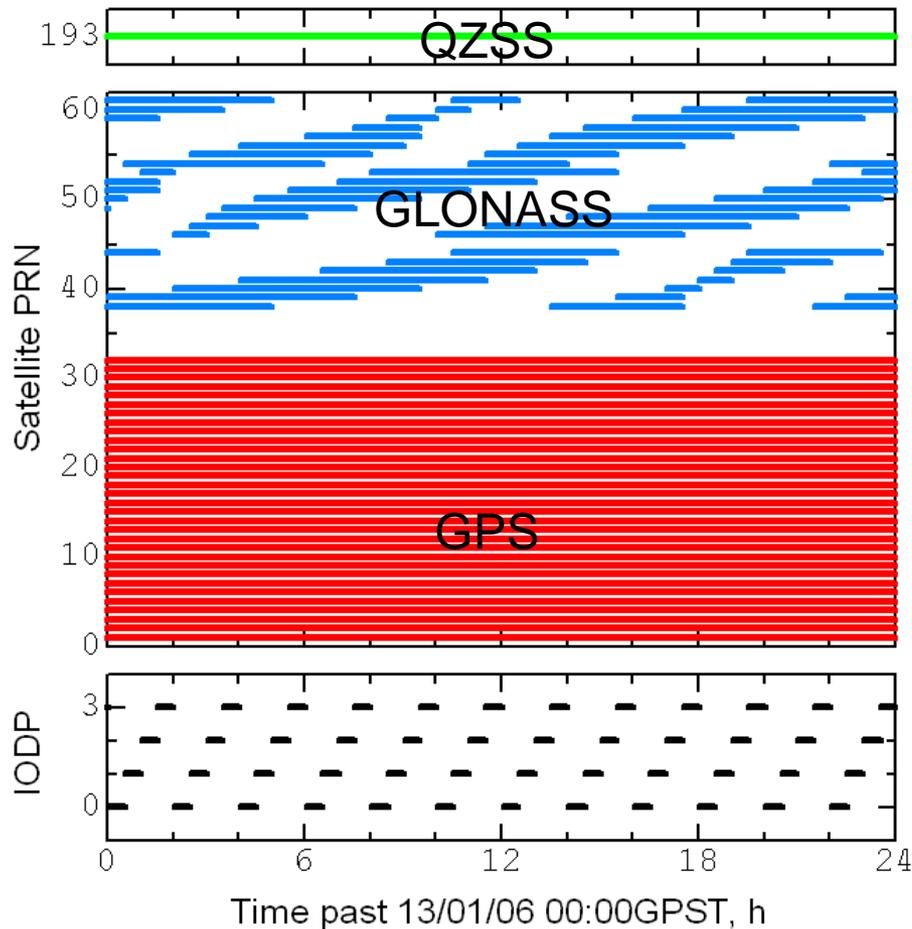


# 実験条件：モニタ局・ユーザ局の配置



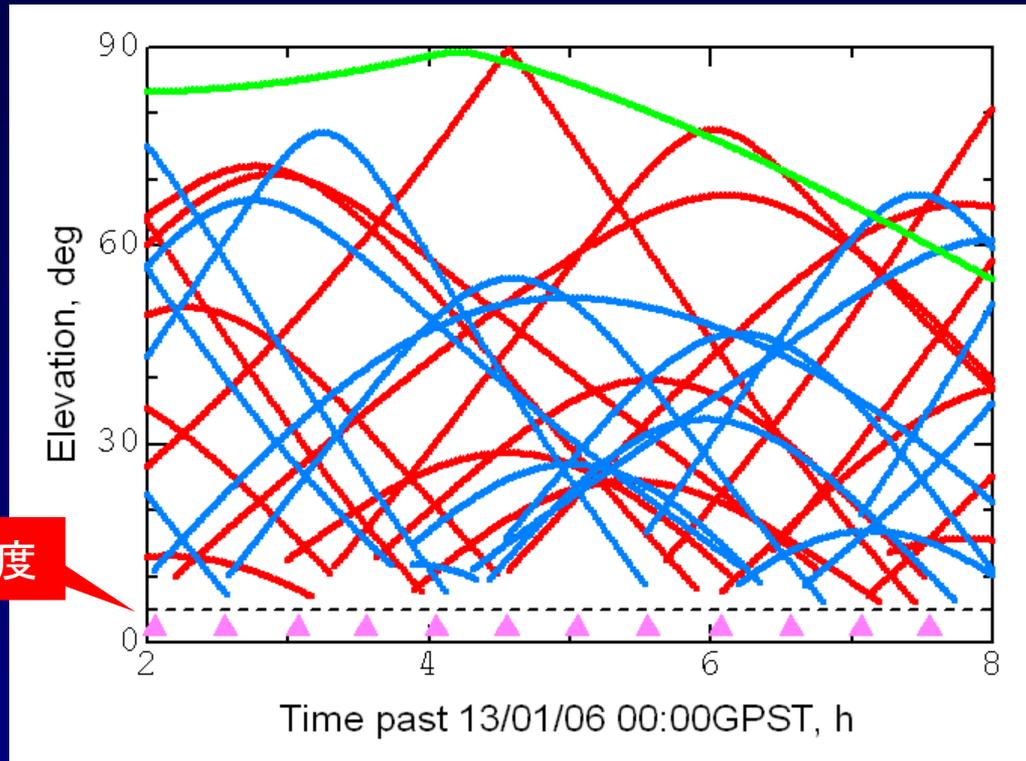
- 2012年7月から、国土地理院の観測網GEONETがGLONASS/QZSS対応を開始した。
  - ◆ すでに全局が対応済み。
- データフォーマット：  
BINEX（リアルタイムデータ）  
エポック間隔 = 1秒
- 実験で使用したGEONET局：
  - ◆ 補強メッセージの生成に使用：  
基準局 (a)~(f) の6局
  - ◆ 性能評価に使用：  
ユーザ局 (1)~(11) の11局
- データ期間：94時間  
2013年1月6日01:00~9日23:00

# ダイナミックPRNマスク:動作確認



- PRNマスクを30分毎に更新。
- セミダイナミック方式:
  - ◆ GPS/QZSSは常時ON。
  - ◆ GLONASSは可視衛星のみをON。
- マスクONの衛星を並べると階段状になる:
  - ◆ GLONASSではスロット番号 (+37=PRN番号)が軌道上の進行方向に沿って付けられているため。
- IODP (issue of Data, PRN Mask) PRNマスクの更新にあわせて変化。
  - ◆ 3の次は0に戻る。

# ダイナミックPRNマスク: 衛星の仰角



GPS

GLONASS

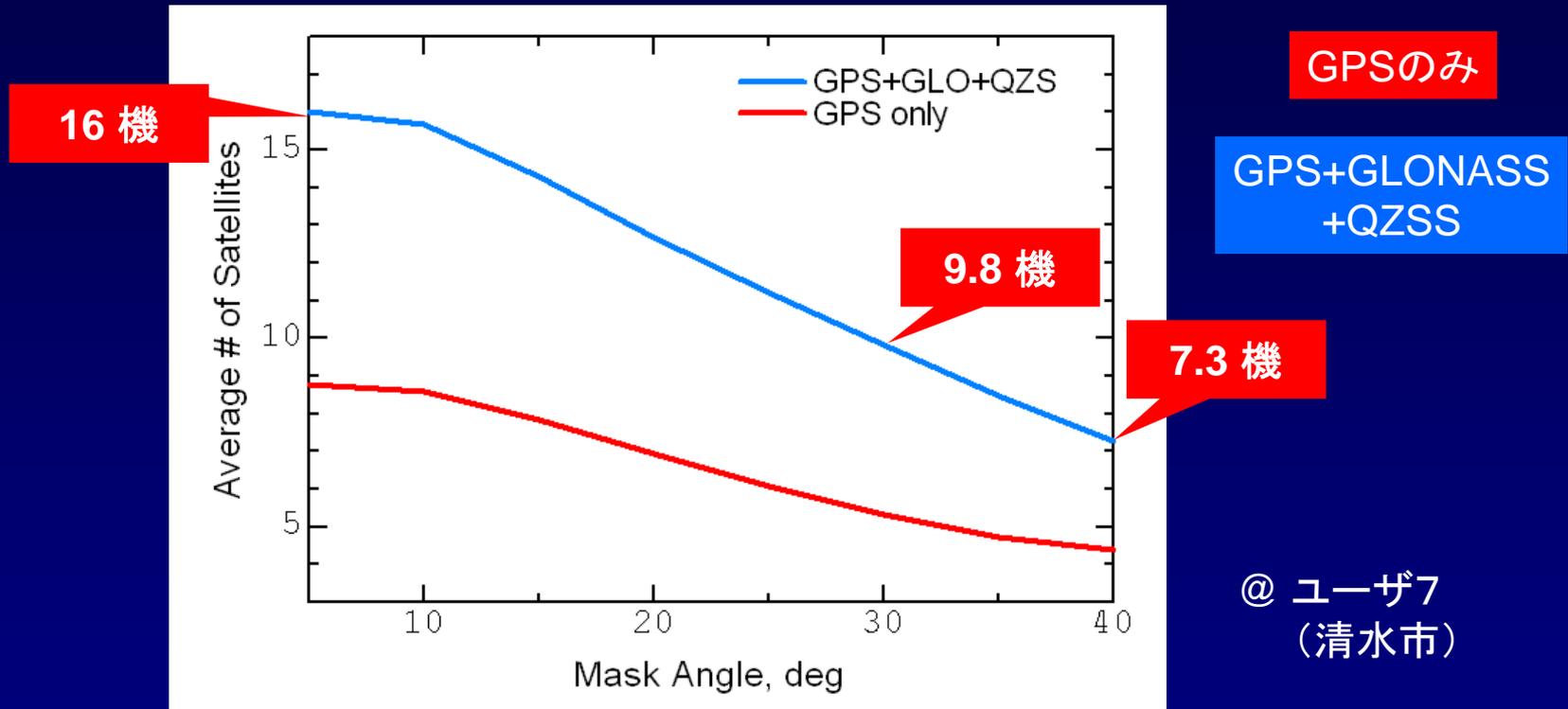
QZSS

▲ PRNマスクの更新

@ ユーザ7  
(清水市)

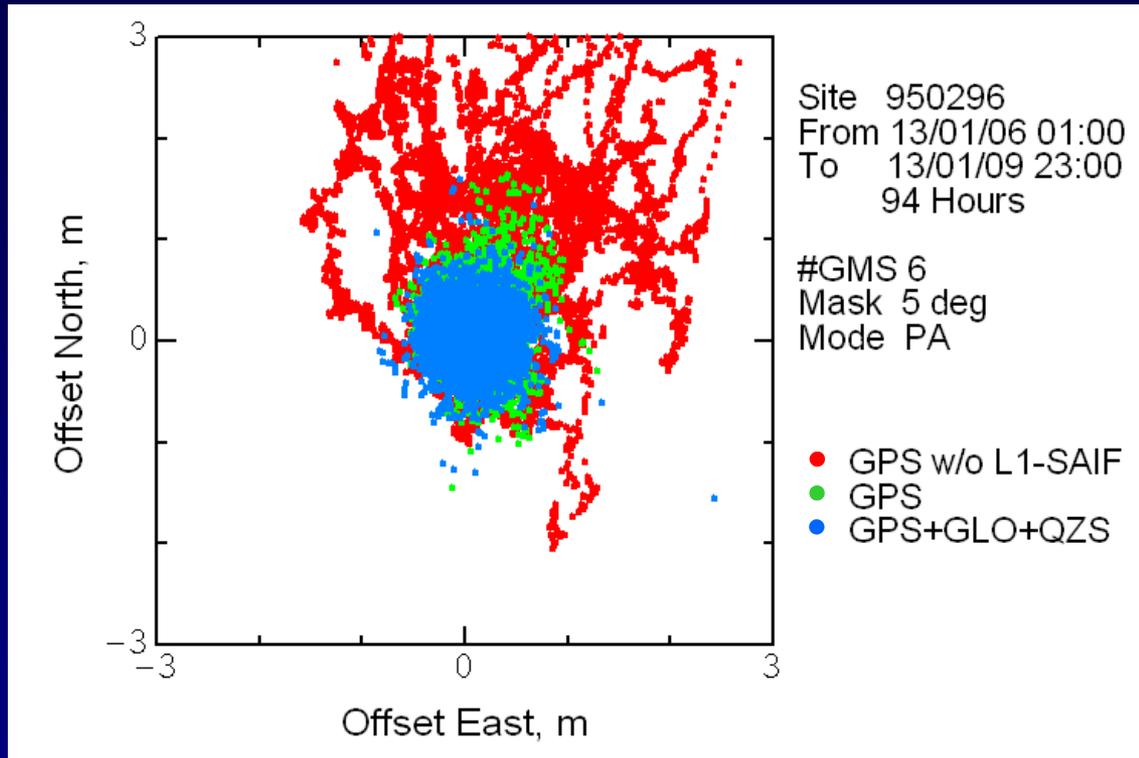
- 本実験の設定では、PRNマスクの更新は30分毎：
  - ◆ 昇ってくる衛星が補強対象になるまでの遅れが大きくなるか？
  - ◆ 実際に、仰角5~12度になってはじめて補強対象になっている。
- よく見るとGPS衛星でも同等の遅れがある → 30分毎の更新なら大きな問題ではない。

# ユーザ側性能評価: 平均衛星数



- GLONASS衛星の利用により、衛星数はおおよそ75%(=24機/32機)程度増加。
- 準天頂衛星は1機しかないが、ほぼ一日中にわたり衛星数を増やす効果がある。
- GPS+GLONASS+QZSSにより、仰角5度で16機、30度でも9.8機が得られる。

# ユーザ側性能評価: 測位誤差 (5度)



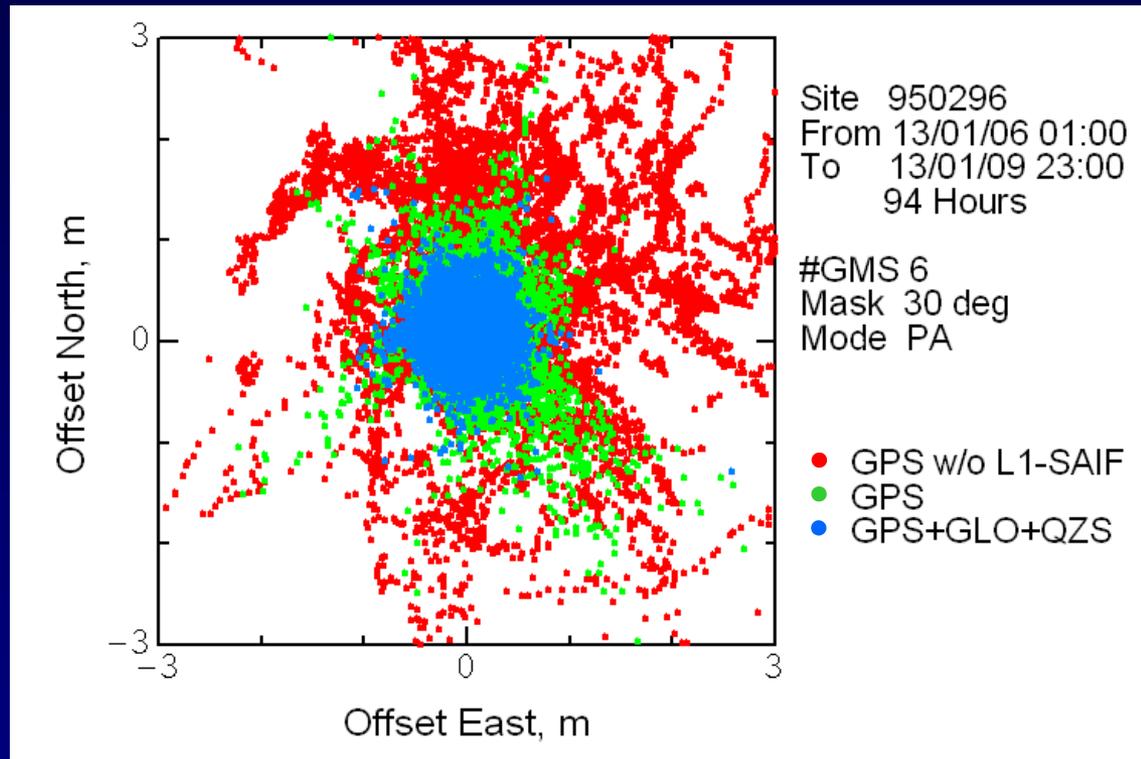
GPS(補強なし)

GPS(補強あり)

GPS+GLONASS  
+QZSS(補強あり)

- 仰角マスク5度での水平測位誤差。ユーザ位置=7(清水市)
- GPS+GLONASS+QZSS: 0.310m RMS
- GLONASS/QZSSの使用により、多少の性能改善がみられる。

# ユーザ側性能評価: 測位誤差(30度)



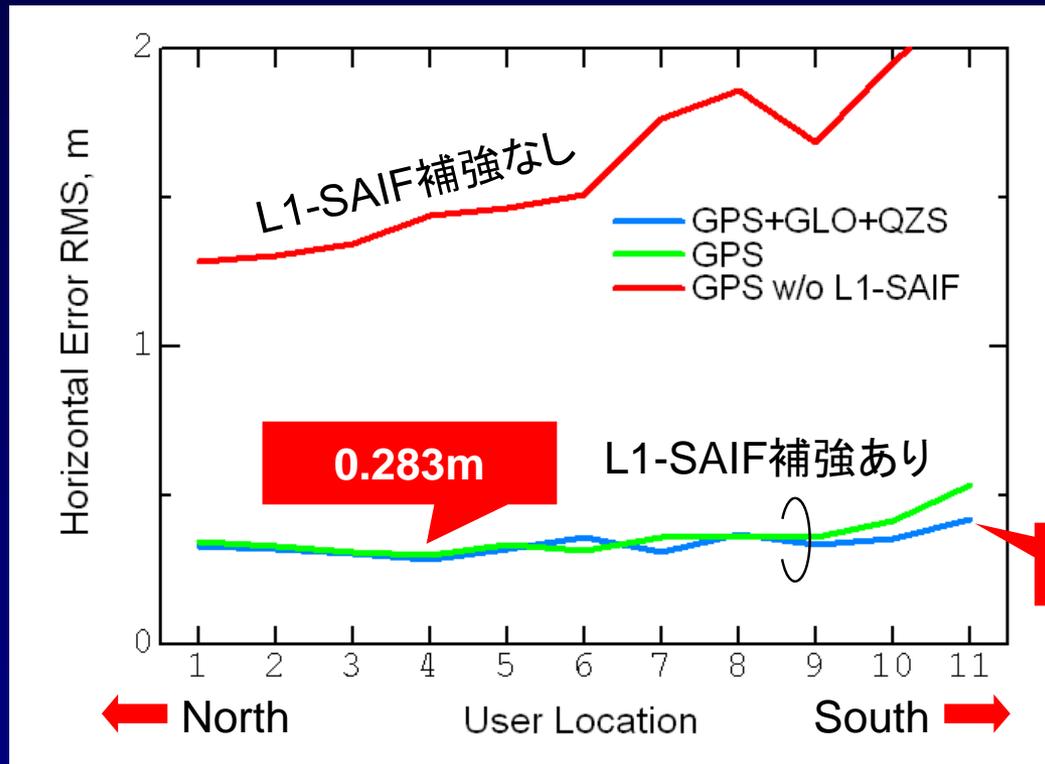
GPS(補強なし)

GPS(補強あり)

GPS+GLONASS  
+QZSS(補強あり)

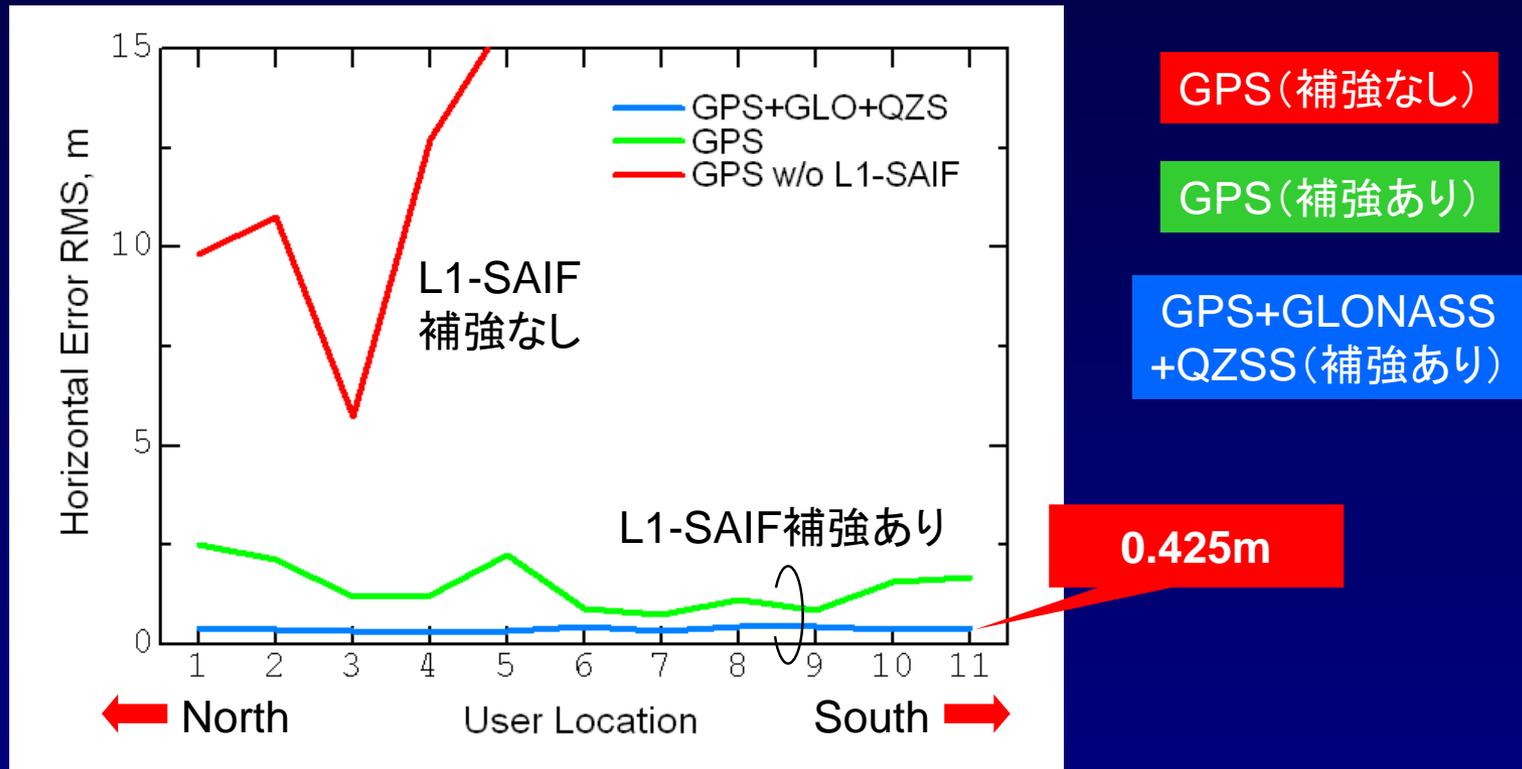
- 仰角マスク30度での水平測位誤差。ユーザ位置=7(清水市)
- GPS+GLONASS+QZSS: 0.335m RMS
- GLONASS/QZSSの使用により、高い仰角マスクでも良好なアベイラビリティ。

# ユーザ側性能評価: 測位精度(5度)



- 仰角マスク5度での、ユーザ位置と水平測位精度の関係。
- GLONASS/QZSSの有無によらず、0.3~0.5m程度の測位精度。
- 南方でわずかに測位精度が劣化: 電離圏伝搬遅延による影響。

# ユーザ側性能評価: 測位精度(30度)



- 仰角マスク30度にすると、GPSのみでは1~2.5m程度に劣化。
- GLONASS/QZSSを使用すれば、0.3~0.5m程度の測位精度を維持できる。

# まとめ

- **準天頂衛星システム(QZSS) L1-SAIF補強信号:**
  - 準天頂衛星は、GPS補完信号に加え、補強信号を放送する。
  - 補強信号:すべてのGPS(+GLONASS)衛星に対して、測位性能を改善する補強情報を提供する。
  - L1-SAIF信号:GPS L1 C/Aと同一形式の補強信号。当所が開発を担当。
- **L1-SAIF信号のGLONASS/QZSS対応:**
  - L1-SAIF信号はもともとGLONASS対応が可能なように設計されている。
  - L1-SAIF実験局ソフトウェアを改修して、GLONASS/QZSSに対応した。
  - 国土地理院GEONETを利用して、GLONASS対応実験を実施。
    - ◆ *ダイナミックPRNマスク等の追加機能及びユーザ側ソフトウェアの動作確認。*
    - ◆ *特に高い仰角マスクでアベイラビリティが改善される効果を確認した。*
- **今後の課題:**
  - 異機種受信機の混用。
  - 電離層補強情報の生成におけるGLONASS観測データの利用。