

VLBIによる時刻比較

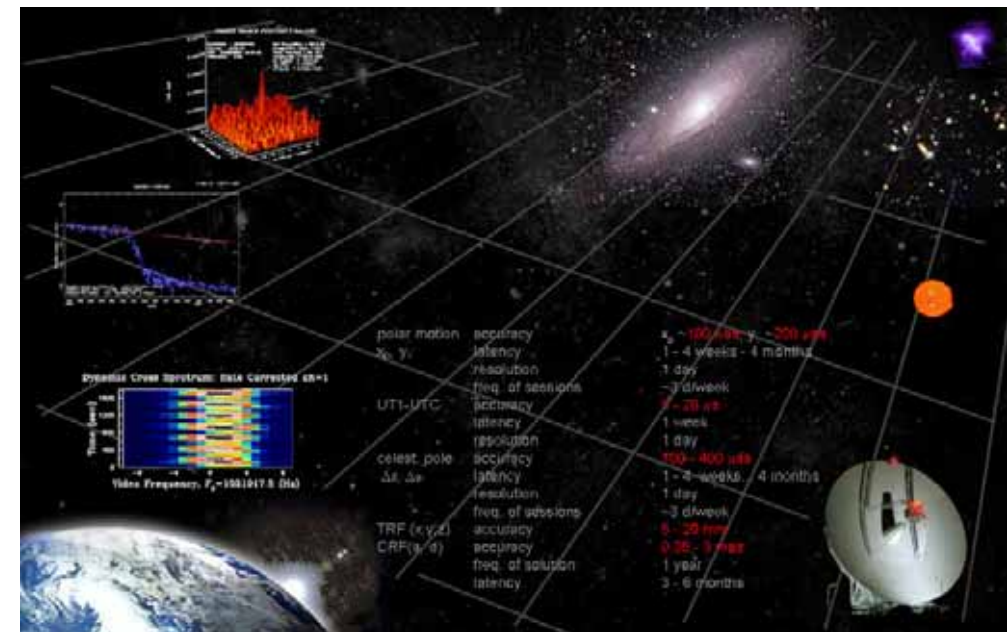


情報通信研究機構, 鹿島宇宙技術センター

瀧口 博士, Thomas Hobiger, 市川 隆一, 小山 泰弘

内容

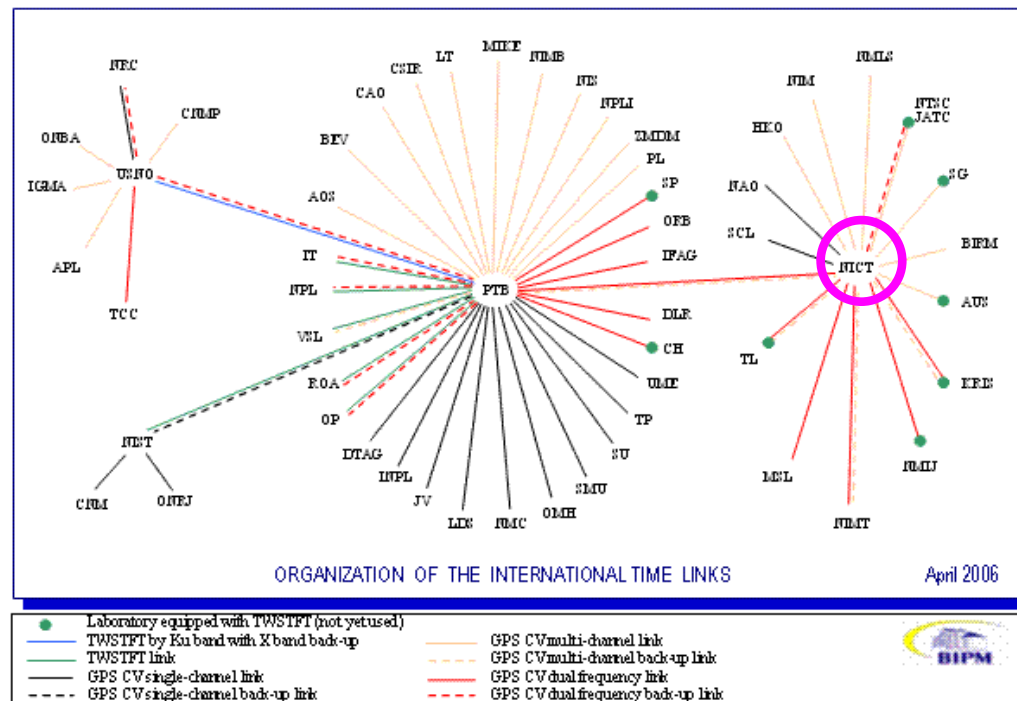
- なぜVLBI時刻比較か？
 - UTC, JST, NICT-01
 - 衛星時刻比較
 - 測地VLBI観測
- 測地VLBI実験
 - 鹿島11m - 小金井11m
- GPS時刻比較との比較
- 今後の課題



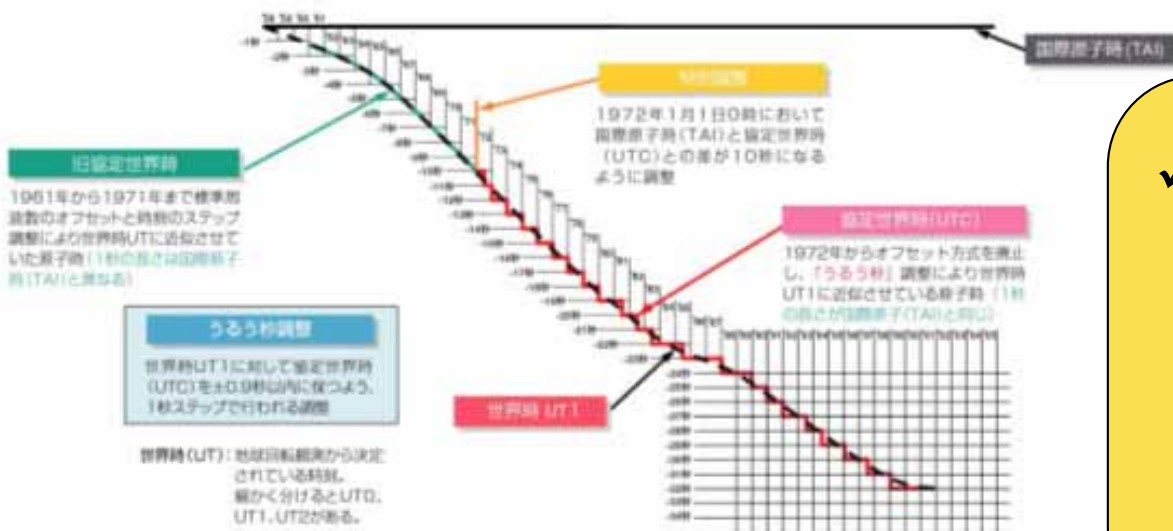
なぜVLBI時刻比較か？

UTCの維持

- 協定世界時 (UTC)
 - 世界中の研究機関, 200台以上の原子時計, 周波数標準器の重み付き平均



BIPMのHPより



✓ 時系の維持運用

- 高確度での時刻標準の実現
- 原子時計や周波数標準器の較正
- ✓ 正確さを検証
- ⇒ 国内外の研究機関と定期的に時刻比較

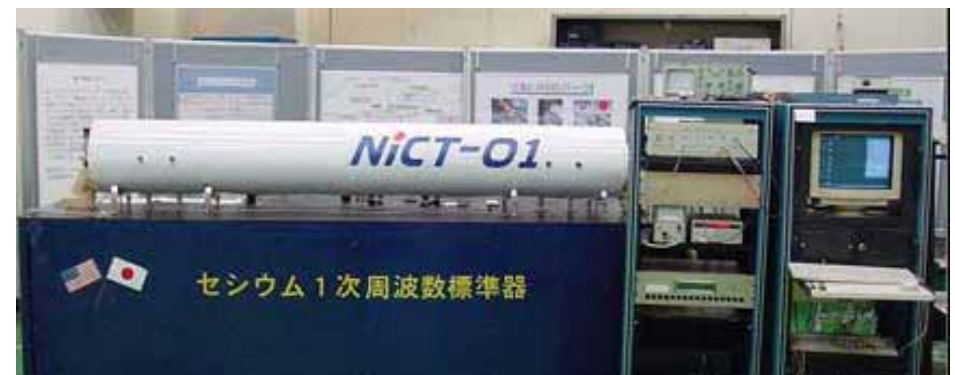
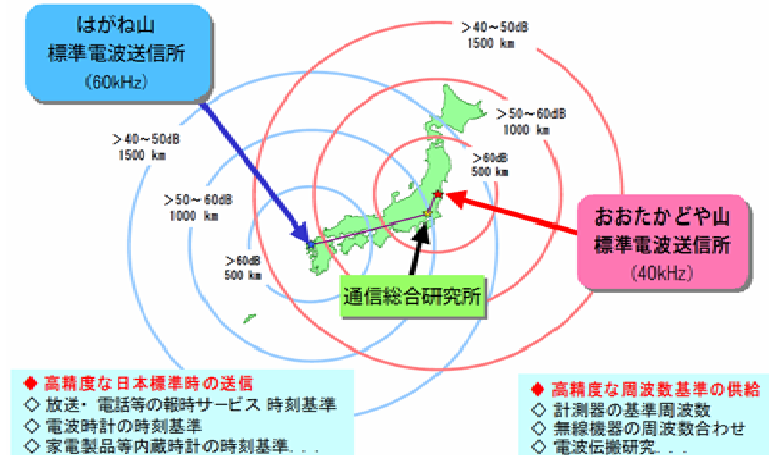
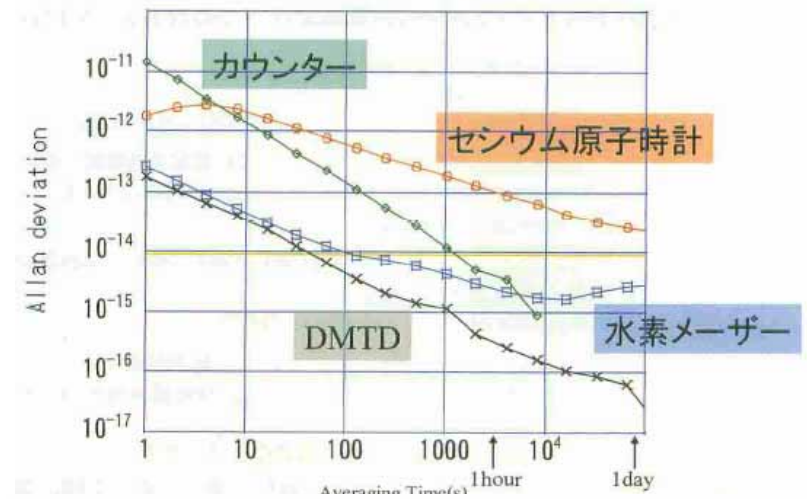
NICT

- 日本標準時 (JST) : NICT
 - セシウムビーム型原子時計 18台
 - 水素メーザー原子時計 1台
 - ⇒ 長波標準電波で配信
- 一次周波数標準
 - NICT-O1: 光励起熱ビーム型
 - 6×10^{-15} の周波数確度を実現
 - セシウム原子泉型 開発中
 - 1×10^{-15} の周波数確度を目標

✓ 時系の維持運用

- 高確度での時刻標準の実現
- 原子時計や周波数標準器の較正
- ✓ 正確さを検証
- ⇒ 国内外の研究機関と定期的に時刻比較

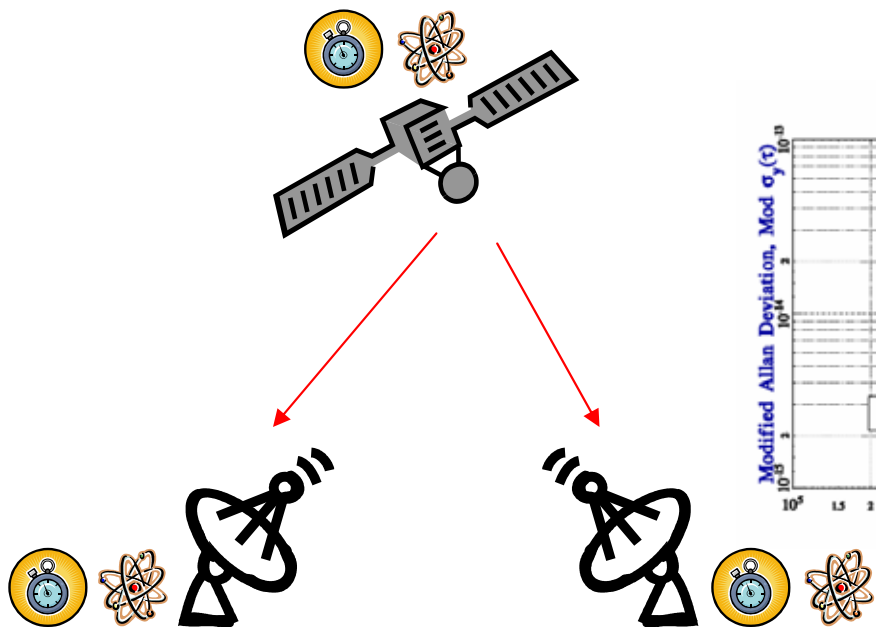
周波数安定度



衛星時刻比較

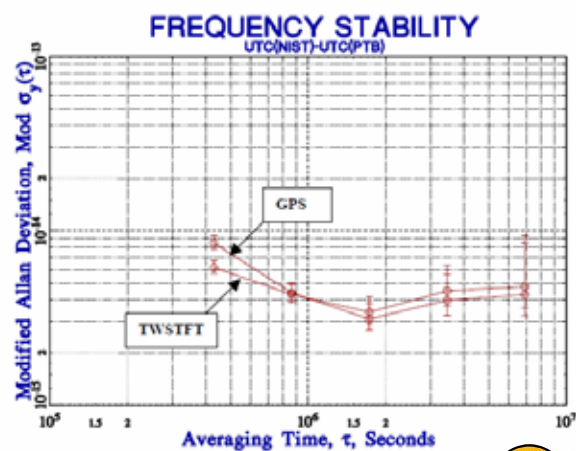
- GPS時刻比較

(GPS Time Transfer, Common-View)

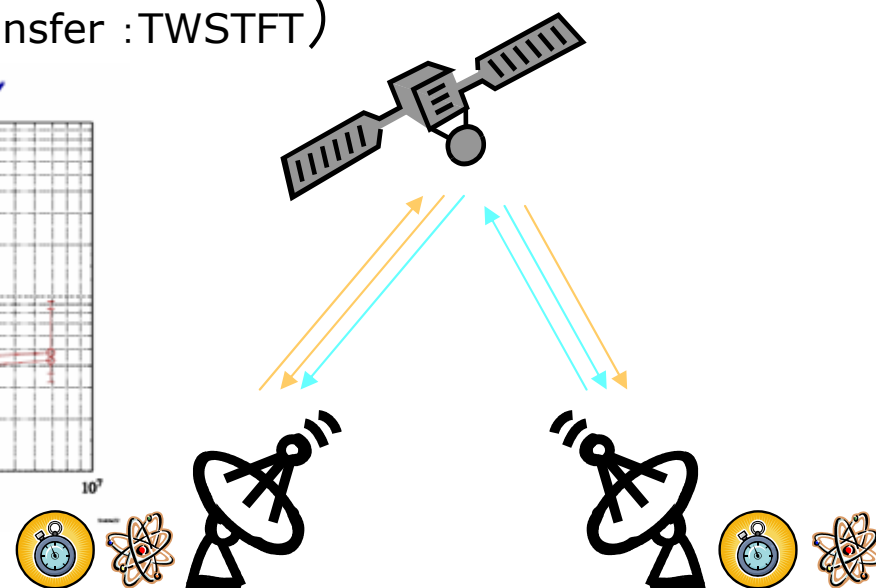


- 衛星双方向時刻比較

(Two-Way Satellite Time and Frequency Transfer : TWSTFT)



BIPMのHPより

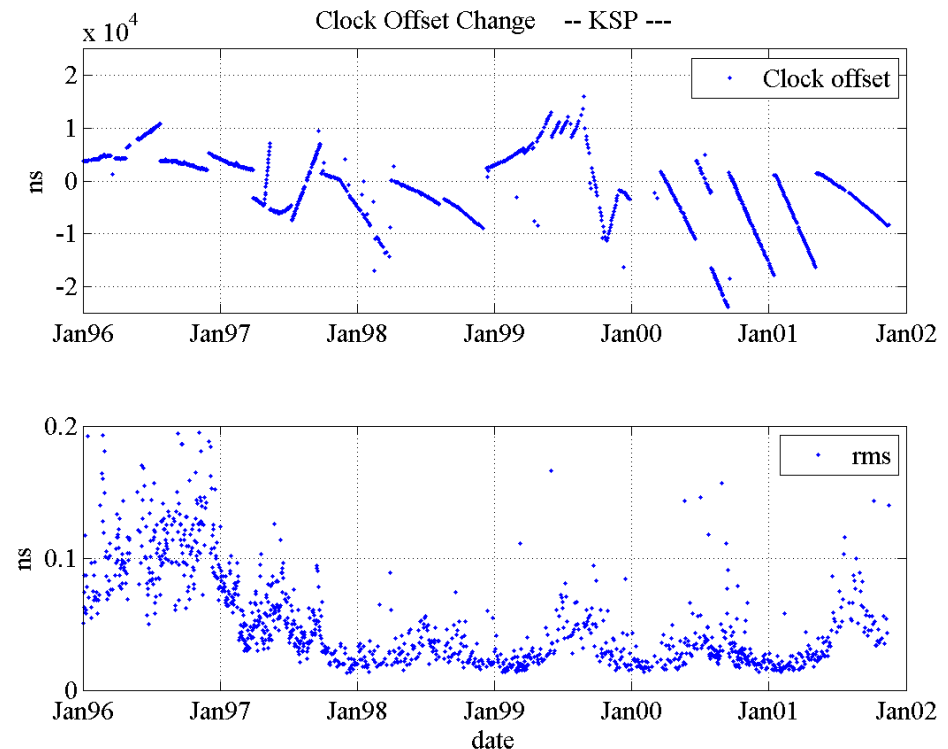


比較精度: 数百ピコ秒

一次周波数標準器の確度
✓ 1×10^{-15} を達成されると
⇒ 現在の時刻比較精度を改善する**必要**

測地VLBI技術

- IVS 国際測地VLBI観測
 - 観測局の時系オフセット: 約**20ピコ秒**
 - ← 現在の時刻比較(UTC構築)よりも高精度
 - VLBI2010
 - 個々の遅延時間推定精度 **4ピコ秒**達成見込み
- 首都圏地殻変動観測計画 (KSP: Key Stone Project)
 - 小金井局に対する鹿島局のずれ
 - 1996 - 2001年までの6年間
 - 平均して59ps
 - 1月に限定した場合45psの精度



VLBI時刻比較

- 測地VLBI観測による時刻比較

- 国内外の研究機関との間で高精度に時刻比較が可能

- ⇒ UTCの高度化

- 時間周波数標準の高確度化



- 現在のシステムによる観測で検証

- 鹿島11mと小金井11m

- GPS時刻比較との比較

課題

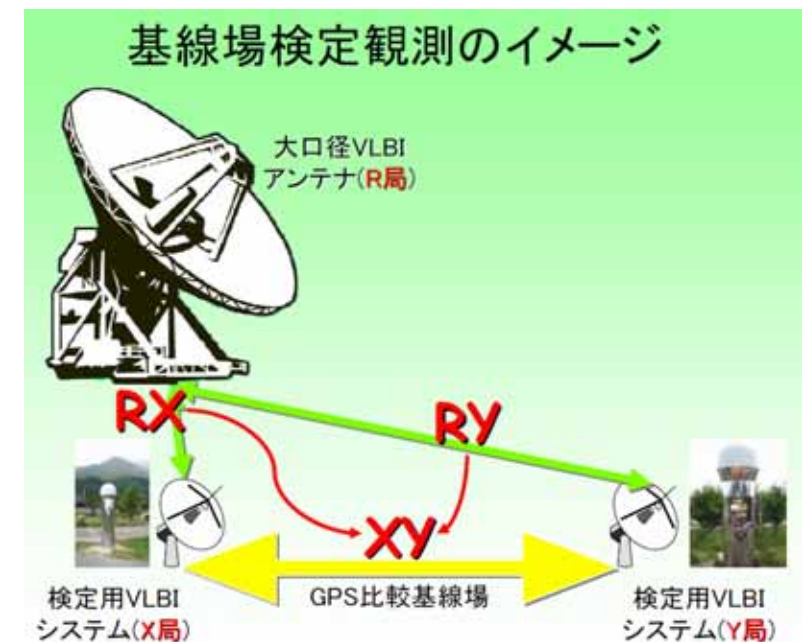
測地VLBIシステム: アンテナ, 原子時計や周波数標準器



国土地理院との共同研究

「1m級アンテナを用いた基線場検定用VLBIシステムの開発」

が有効



測地VLBI実験

- 使用局
 - 鹿島11m, 小金井11m
- 期間
 - 2007年1月11日 09:00:00 UT
 - 2007年1月12日 15:00:00 UT 30時間
 - 2007年1月22日 10:00:00 UT
 - 2007年1月23日 16:00:00 UT 30時間
 - 2007年2月28日 15:00:00 UT
 - 2007年3月 3日 15:00:00 UT 72時間
- 観測帯域 & チャンネル数
 - K5/VSSP S/X-band 16ch
- 観測帯域幅
 - 4Mbps, 1bit sampling

相関処理中

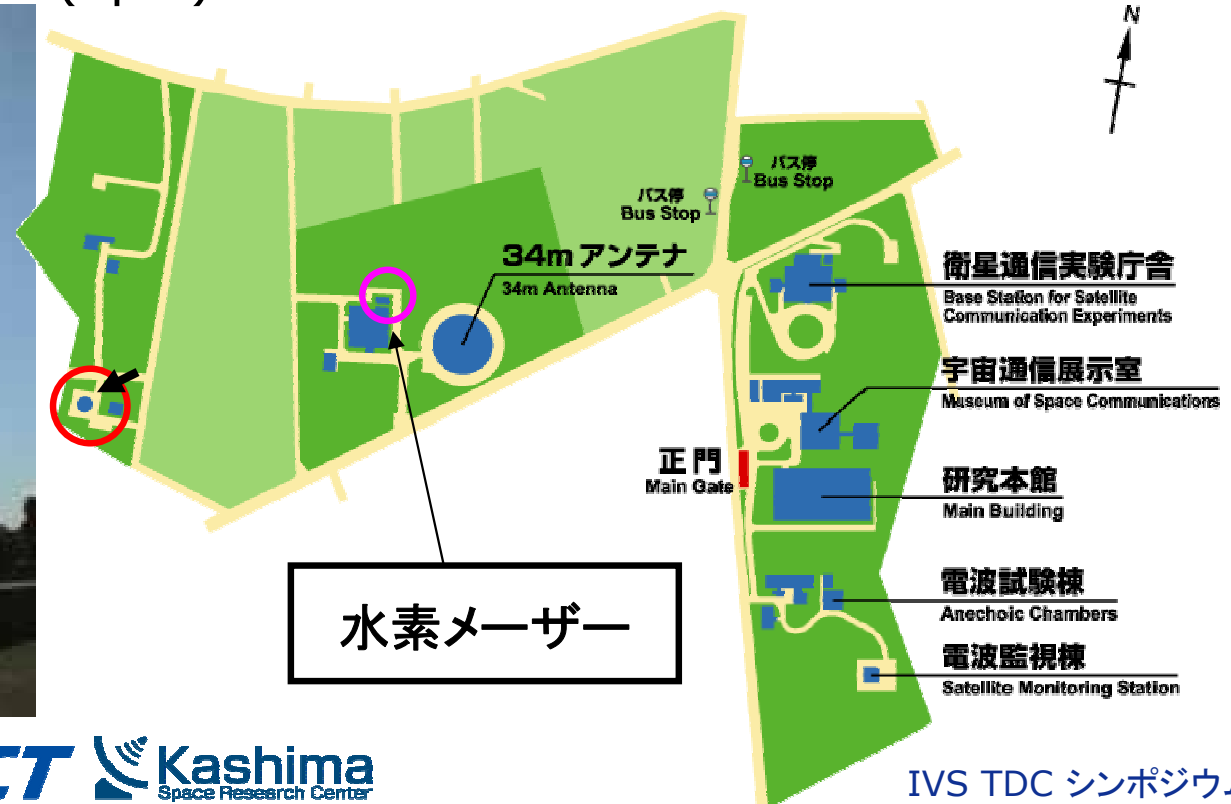


過去2回の実験から
観測スケジュールを調整
電波源毎の積分時間
← 観測SNR
電波源位置



時刻比較用GPSの設置

- 鹿島11mアンテナ近傍にGPSアンテナを設置
 - (小金井局には元からあり)
 - KASHIMA
 - ASHTECH Z-XII Metronome (nami)
 - KOGANEI
 - Septentrio PolarRX2 TR (optc)



解析

● VLBI

- K5/VSSP
 - ソフトウェア相関, バンド幅合成
- Calc/Solve
- 鹿島局固定
- 大気遅延 / 120分
- クロックオフセット / 60分
 - 2次項まで

⇒ H.M.(KAS) - H.M.(KOG)

クロックオフセット

推定正規誤差: 約0.5ナノ秒

● GPS

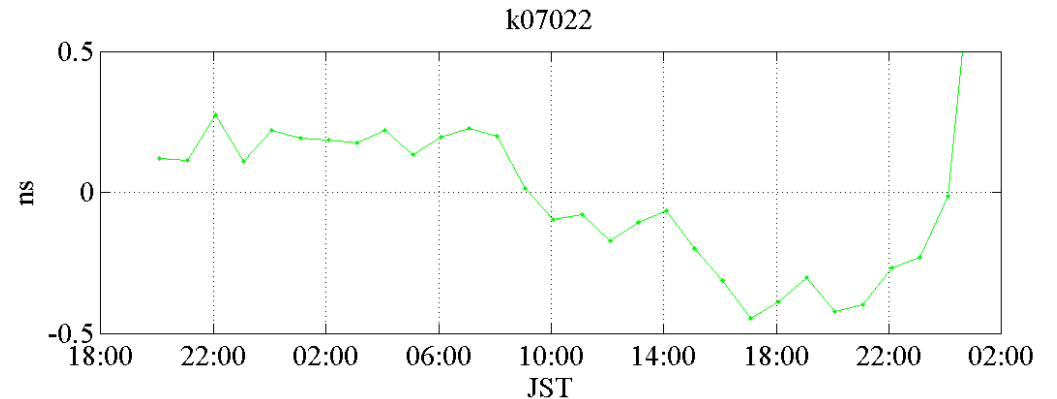
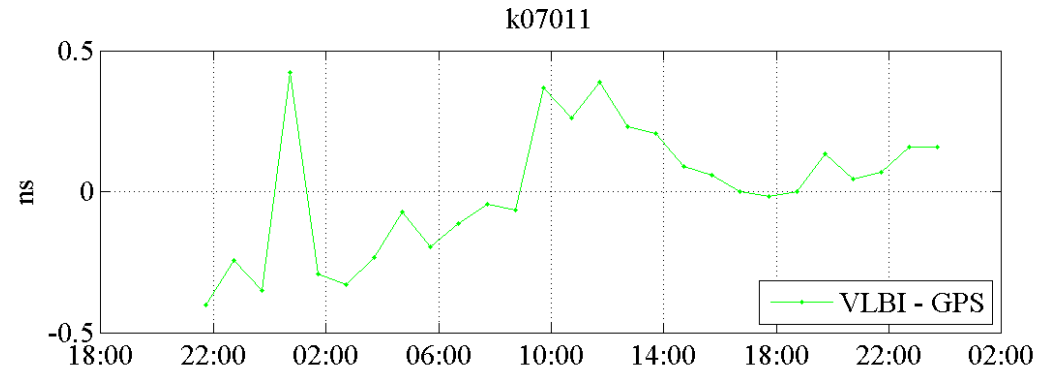
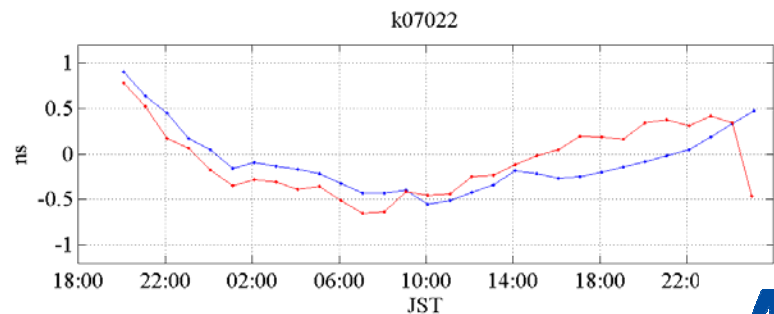
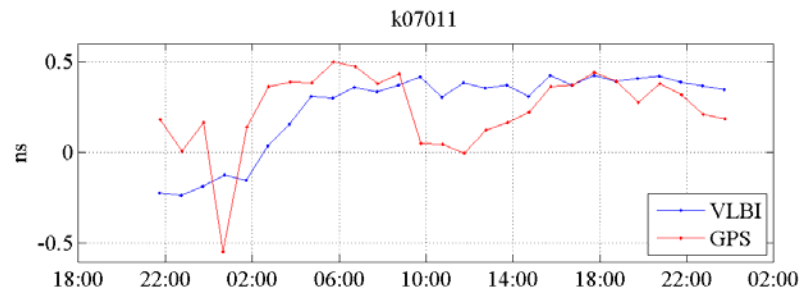
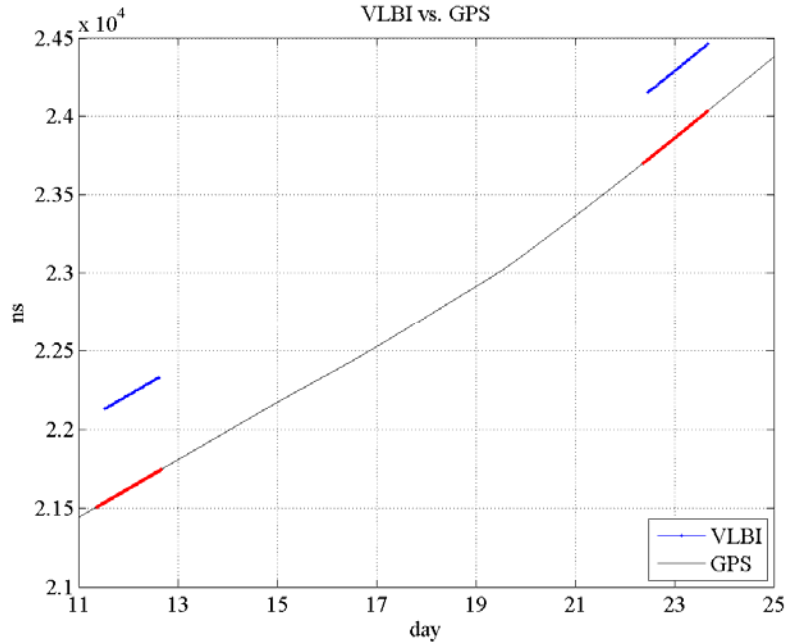
- Precise Point Positioning
- IGS精密暦, 時計
- 局位置 / 1日
- 大気遅延 / 120分
- クロックオフセット / 5分

- [H.M.(KAS) - IGRT] -
[H.M.(KOG) - IGRT]

⇒ H.M.(KAS) - H.M.(KOG)

GPS時刻比較との比較

- 時系列: 調和的
 - 標準偏差 GPS: 151ピコ秒
 - VLBI: 70, 132ピコ秒

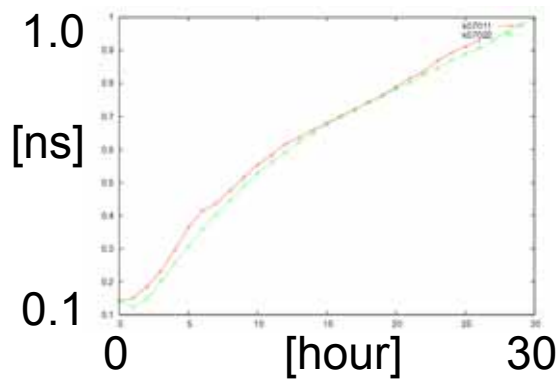
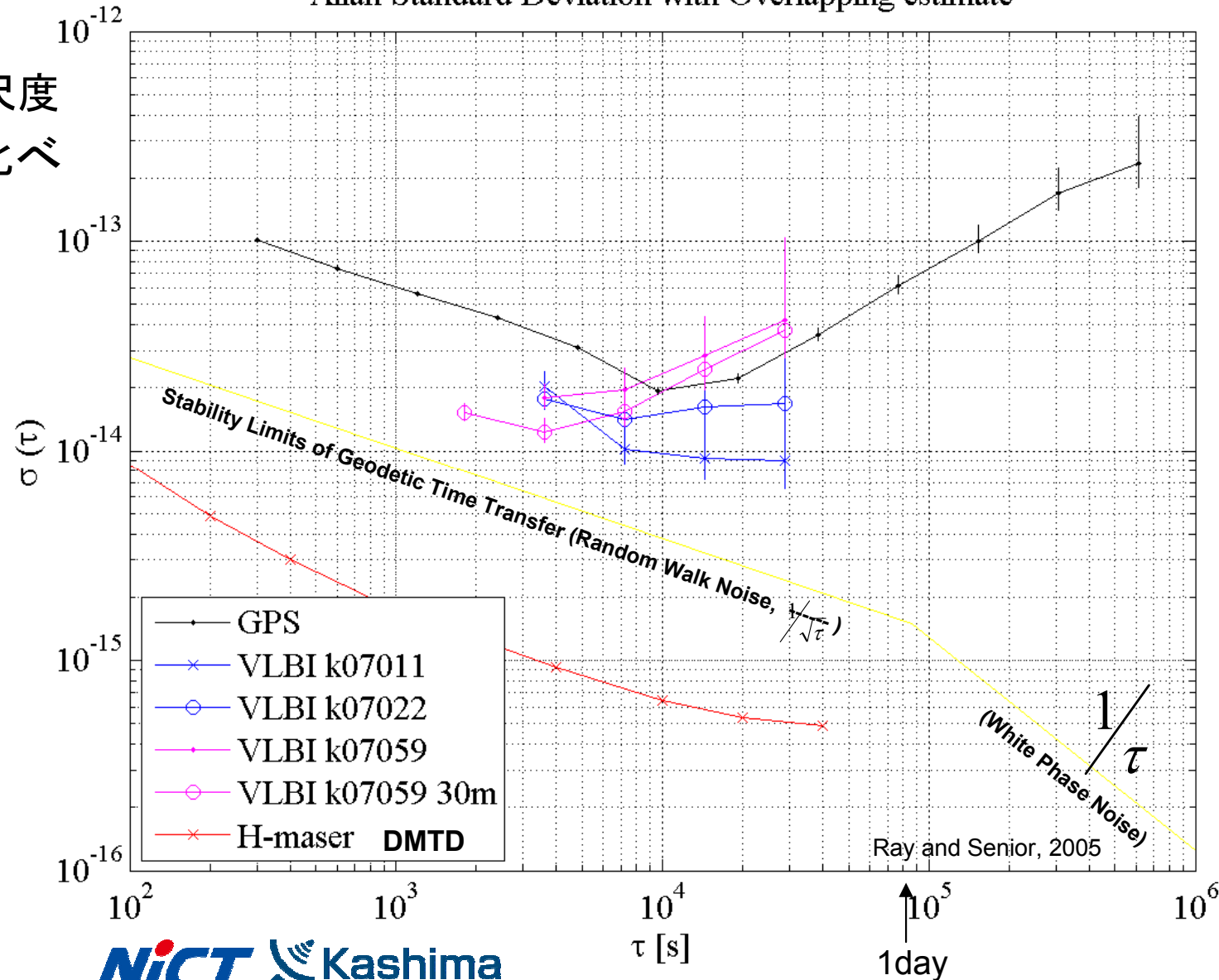


VLBI時刻比較安定度

$1/\tau$: 時刻比較の位相ノイズ
 $1/\sqrt{\tau}$: 時計の周波数ノイズ

- アラン標準偏差
 - 周波数領域の安定度評価の尺度
- GPS時刻比較と比べ
 - 短時間: **安定**
 - 長時間: **不安定**
←データ不足
推定精度

Allan Standard Deviation with Overlapping estimate



まとめ

- 一次周波数標準器の高確度化
 - 現状の時刻比較法よりも高精度な方法が必要
- 測地VLBI実験による時刻比較の検証
 - 鹿島11m – 小金井11m 測地VLBI実験
 - GPS時刻比較 (Common-View) と比較
 - アラン標準偏差
 - 短時間: **安定**
 - 長時間: 長時間観測が必要

今後の課題

- 3日連続実験の解析
- 長期間連続データの取得: 数週間～
- 時刻比較に特化した観測
 - 最適スケジュール, 電波源の選択
 - 同一電波源を長時間?
- 大気遅延等の物理パラメータの改善
 - 別観測から補正
- 観測帯域 64Mbps → 256Mbps
- 国際実験
 - 日-独, 日-米 e-VLBI
- 1m級アンテナの開発

