

測地VLBI技術による高精度時刻比較

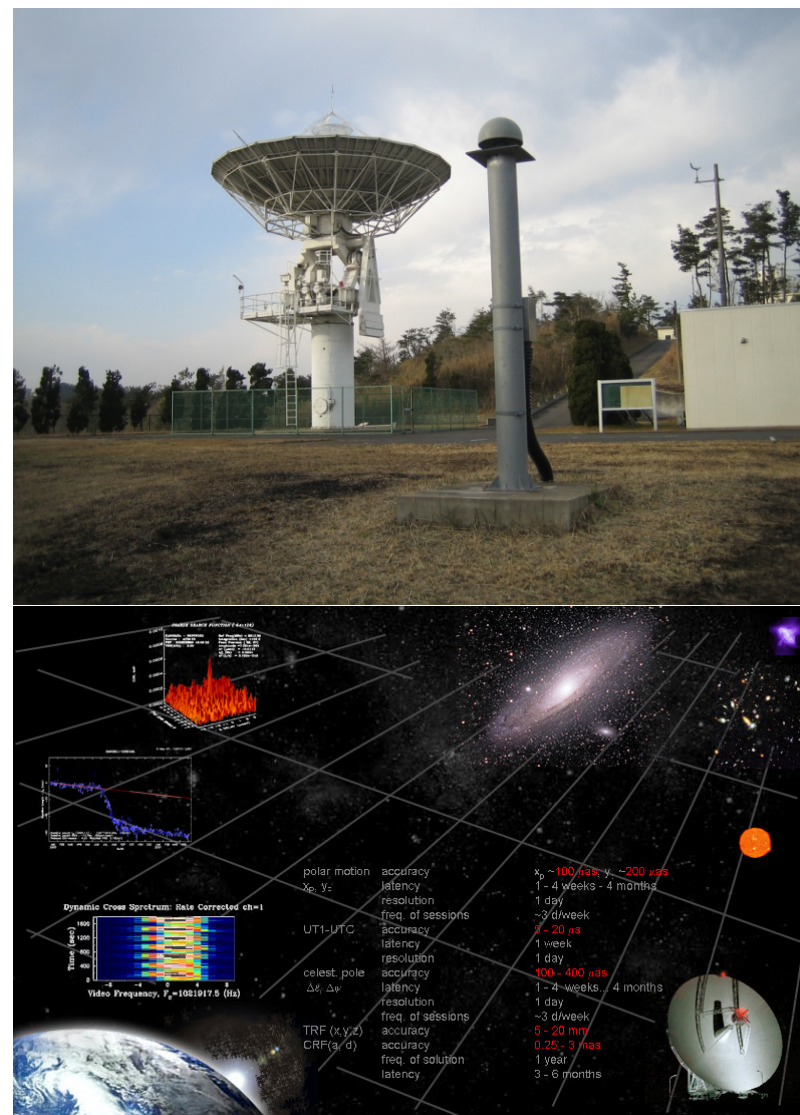
情報通信研究機構鹿島宇宙技術センター

小山泰弘、瀧口博士、ホビガートーマス、市川隆一



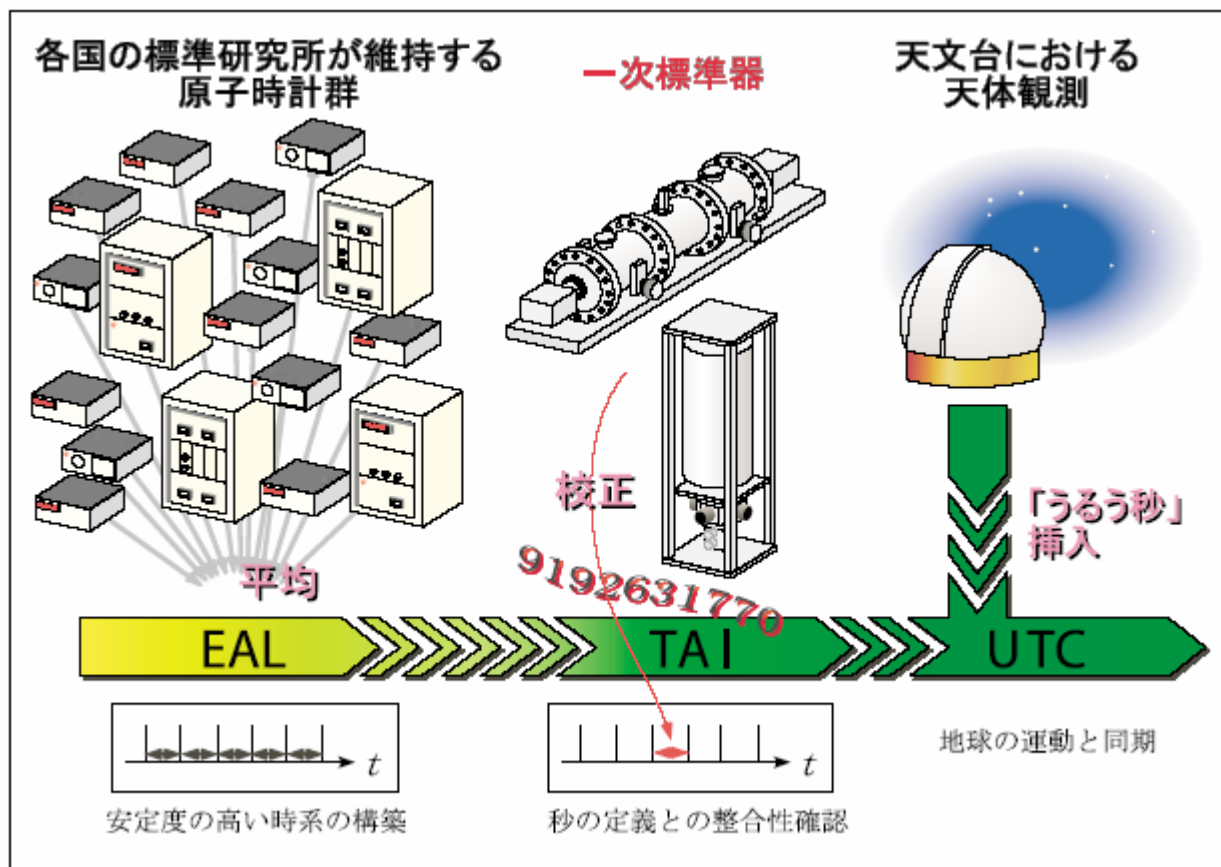
Contents

- TAI と UTC の実現
 - BIPM
 - 時刻比較の方法
 - 衛星双方向、GPS、VLBI
- VLBI技術による時刻比較精度の評価
 - 鹿島(11m)–小金井(11m)基線での評価
- 今後の課題

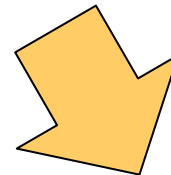
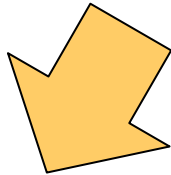


TAIとUTCの実現

- TAI : Temps Atomique International (国際原子時)
- UTC : Coordinated Universal Time (協定世界時)



BIH : Bureau International de l'Heure
(国際報時局)



1988.1.1

BIPM : Bureau International de
Poids et Mesures, Time Section
(国際度量衡局)

IERS : International Earth
Rotation Service ※
(国際地球回転事業)

重さ、長さ、時間などの物理量の基準の設定
国際原器の保管
国際原器と各国の標準器との比較

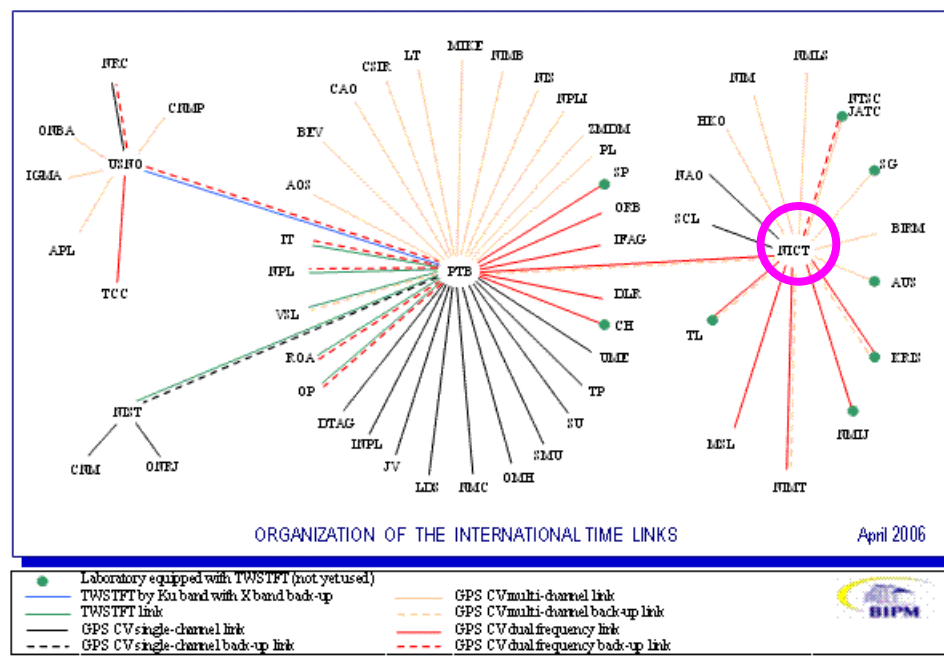
※のちに International Earth Rotation
and Reference Systems Service

Services

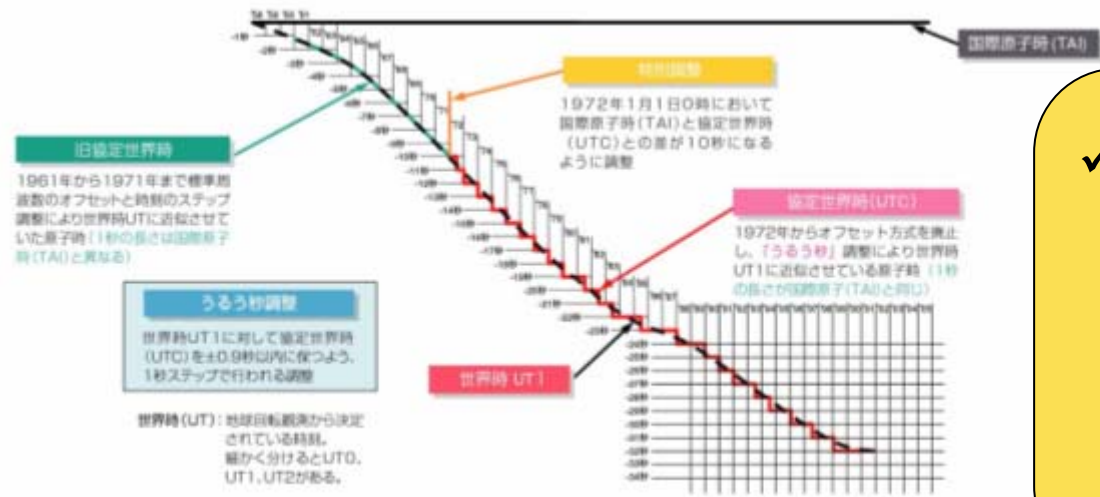
IAG

なぜVLBI時刻比較か？

UTCの高度化 周波数標準の相互比較



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**

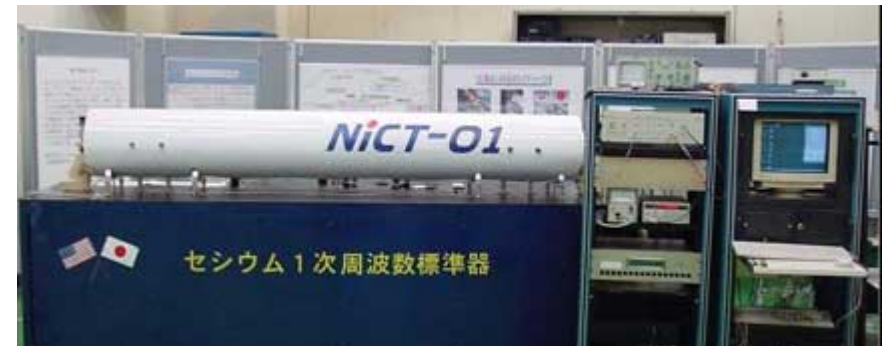
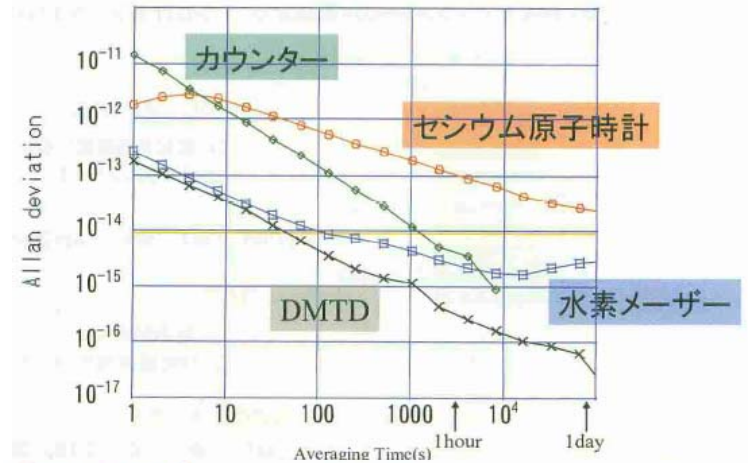
NICTにおけるT&F研究

- 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

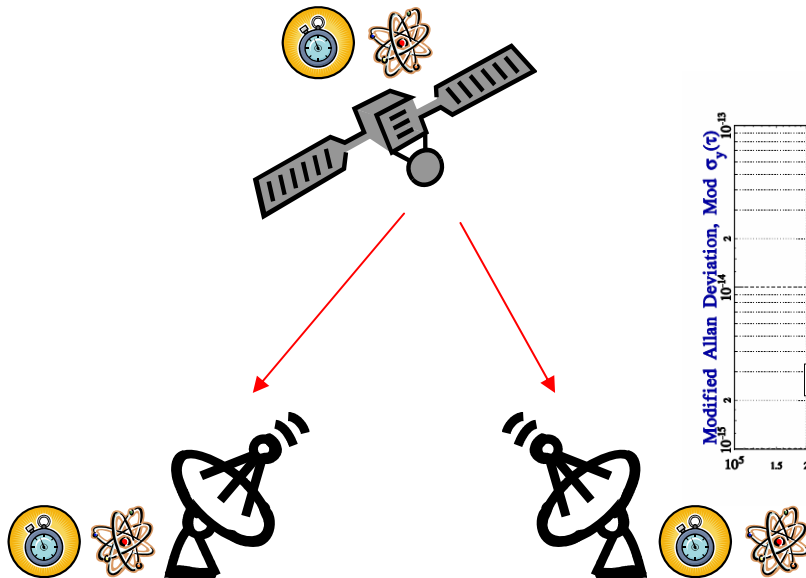
周波数安定度



衛星時刻比較

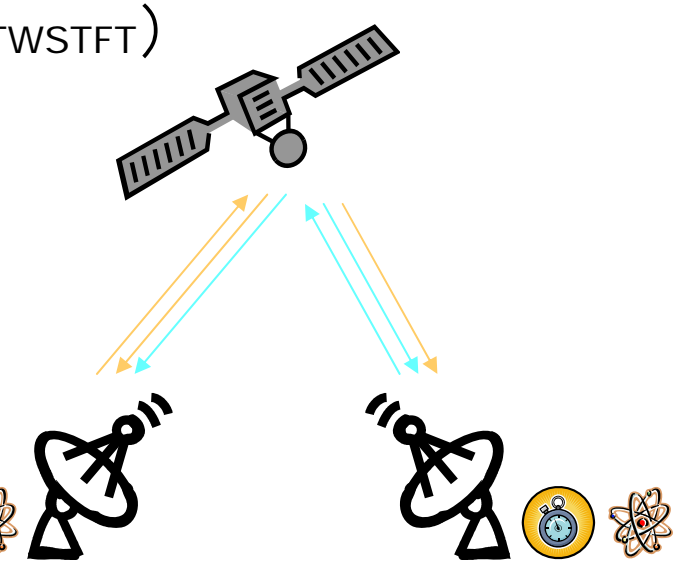
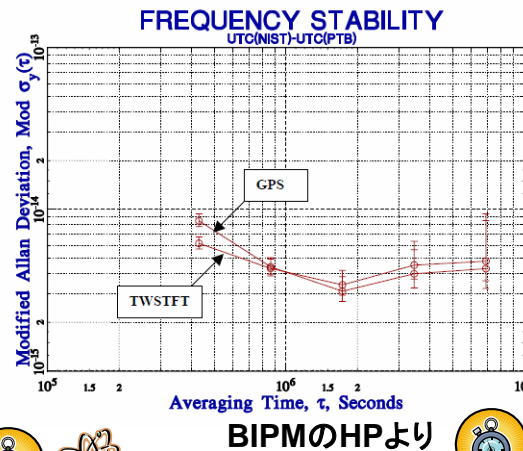
- GPS時刻比較

(GPS Time Transfer, Common-View)



- 衛星双方向時刻比較

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



比較精度: 数百ピコ秒

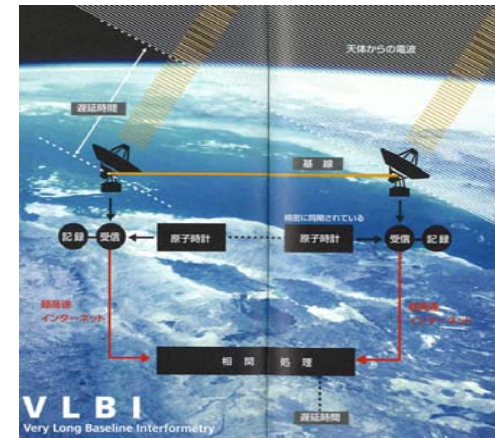
一次周波数標準器の確度

1×10^{-15} 以下が達成されると、

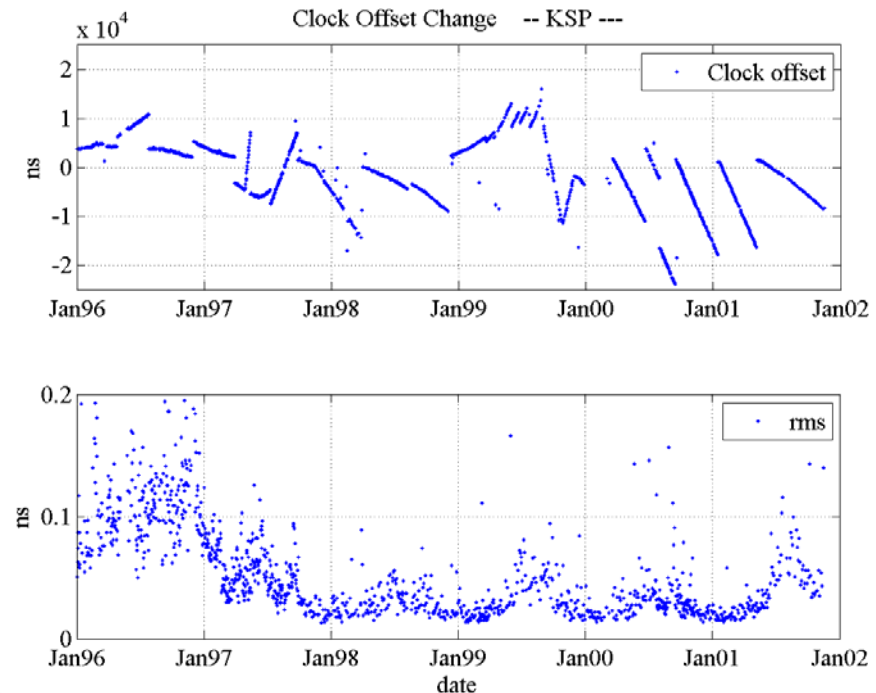
⇒ 現在の時刻比較精度を改善することが**必要**

VLBIによって期待される時刻比較精度

- 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オフセット
 - 1996 - 2001年までの6年間
 - 時刻比較推定誤差(σ)の平均: 59ps
 - 1月に限定した場合: 45ps



測地VLBI実験による時刻比較精度の評価

- 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



鹿島11m局



小金井11m局

時刻比較用GPSの設置

- VLBI観測局近傍にGPSアンテナを設置
 - 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

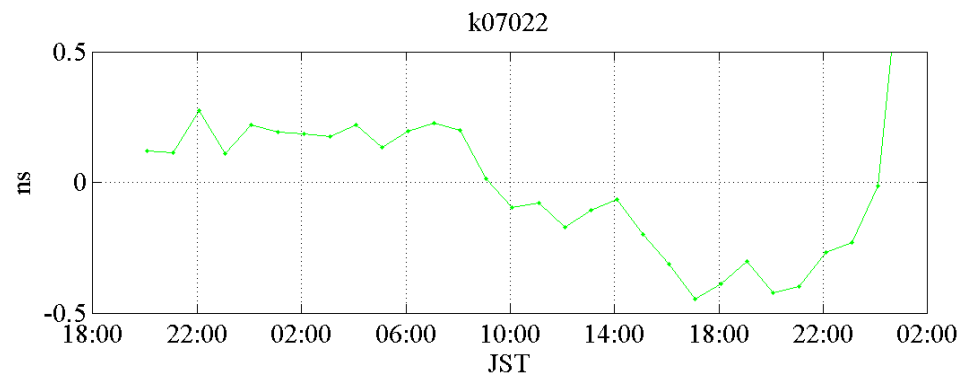
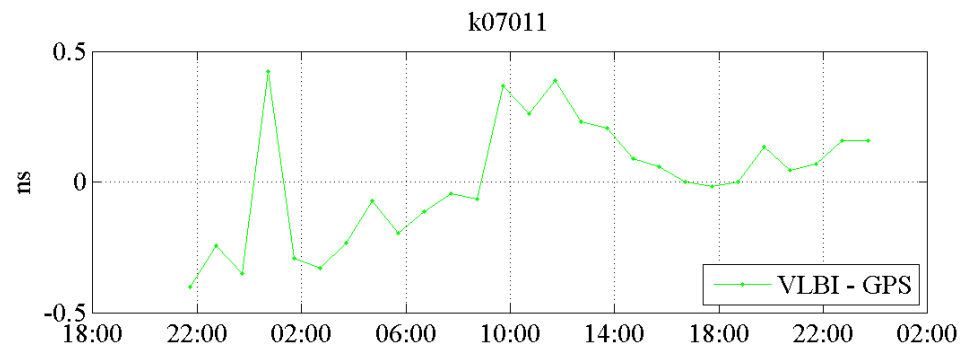
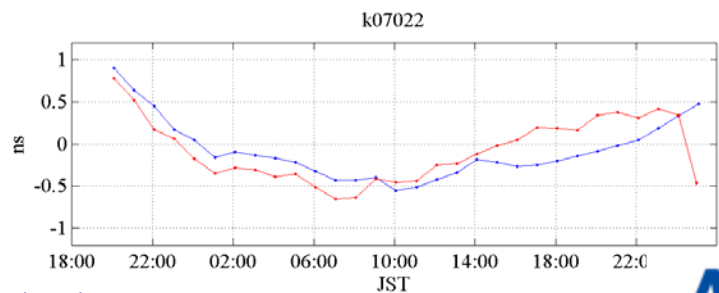
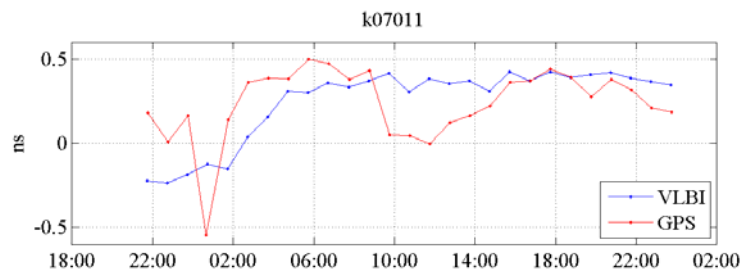
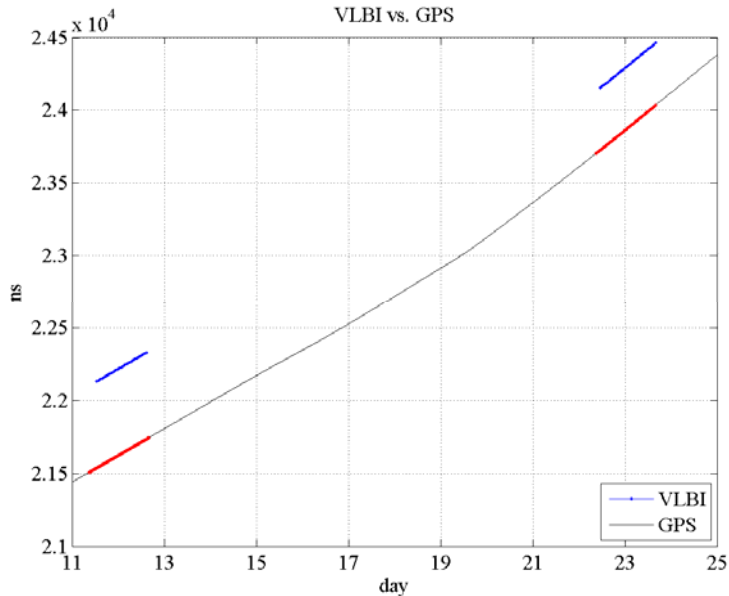
- Precise Point Positioning
- IGS精密暦, 時計
- 局位置 / 1日
- 大気遅延 / 120分
- クロックオフセット / 5分

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

⇒ H.M.(KAS) - H.M.(KOG)

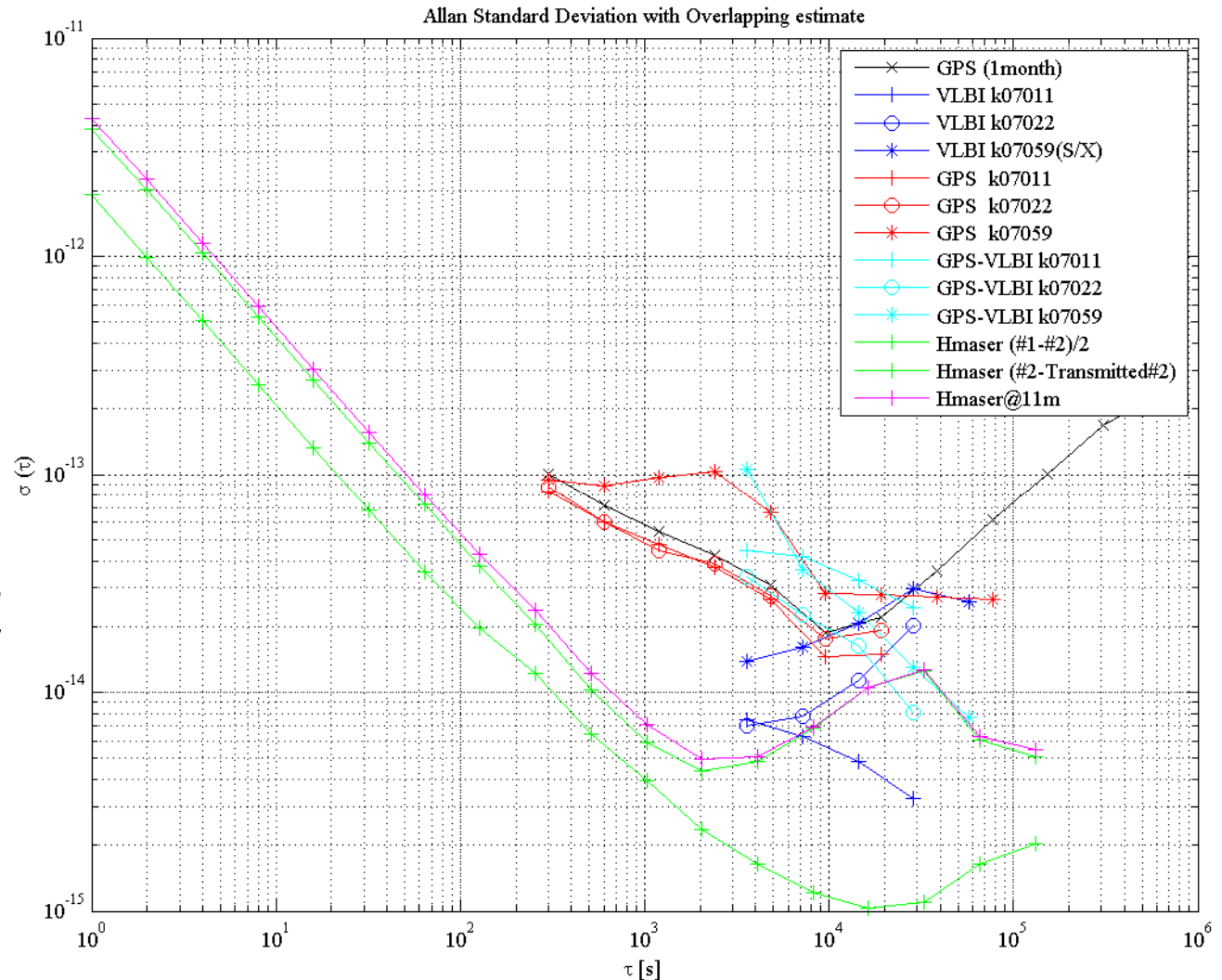
GPS時刻比較との比較

- 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

- VLBI時刻比較は、GPS時刻比較と比べ
 - 短時間: **安定**
 - 長時間ではほぼ一致
- 長時間 (> 1000sec) でのアラン分散上昇は、主に鹿島側基準信号伝送路の温度変化が影響



まとめ

- VLBI技術を用いた時刻比較を検証
 - GPSによる時刻比較や衛星双方向時刻比較を上回る精度が期待
- 今後の課題
 - 小型VLBI観測局の開発(T&F研究機関への設置、運用)
 - 位相遅延利用(VLBI2010)による更なる高精度化
 - 絶対比較のための較正手法の検討

