

測地VLBI技術による 高精度時刻比較

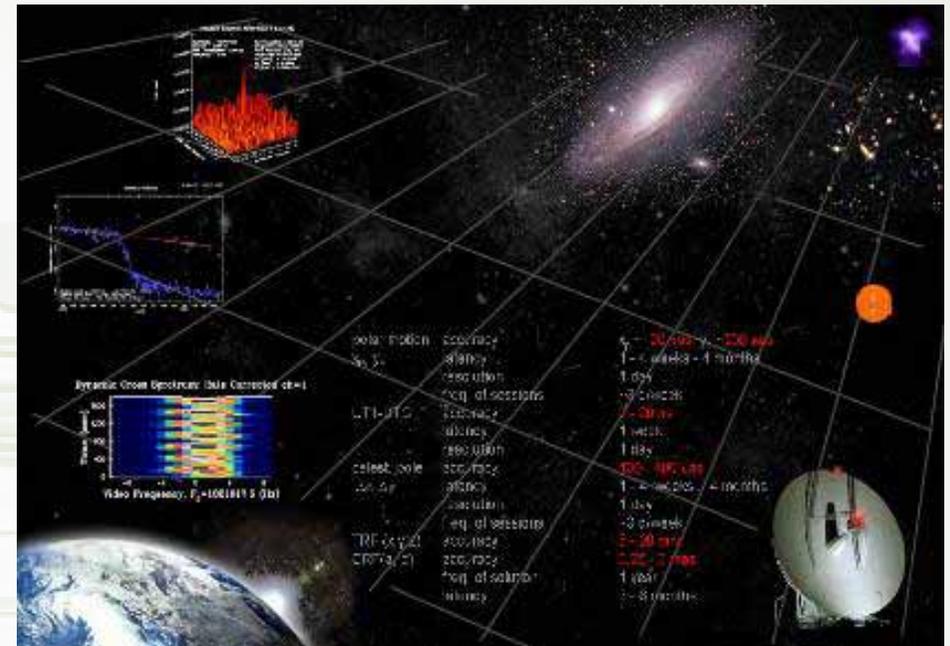
瀧口 博士¹, 小山 泰弘¹, 市川 隆一¹, 後藤 忠広¹,
石井 敦利^{1,2,3}, Thomas Hobiger¹, 細川 瑞彦¹

¹ 情報通信研究機構 光・時空標準グループ,
² 国土地理院, ³ (株)エイ・イー・エス



発表内容

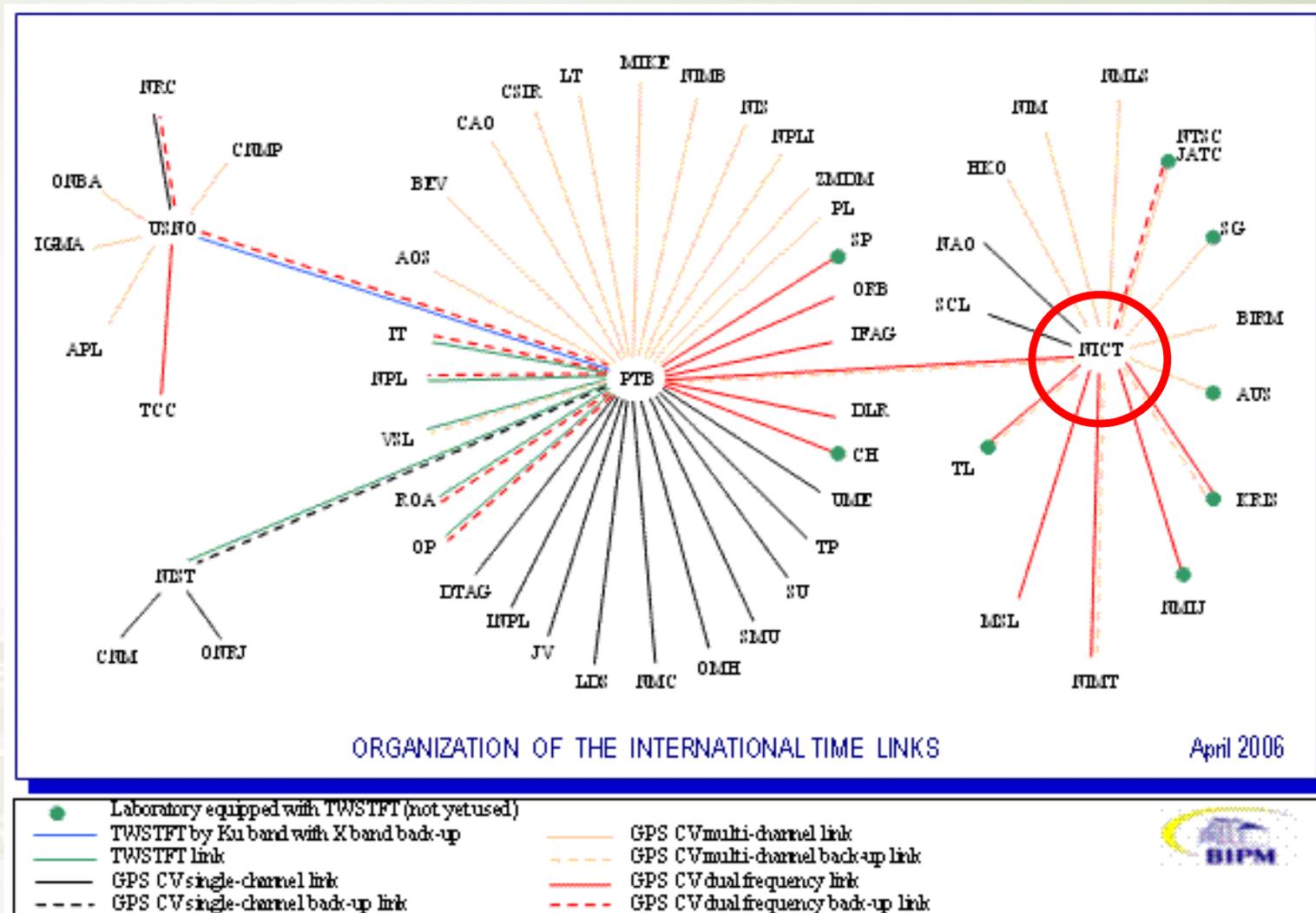
- なぜVLBI時刻比較か？
- これまでの結果
 - 鹿島-小金井基線
 - 周波数比較
- IVS, IGSデータを用いた比較
 - Wettzell-Onsala基線
 - 周波数比較
- まとめ
 - 34mリファレンス信号
伝送ケーブルの変更
- 今後の課題



なぜVLBI時刻比較か？

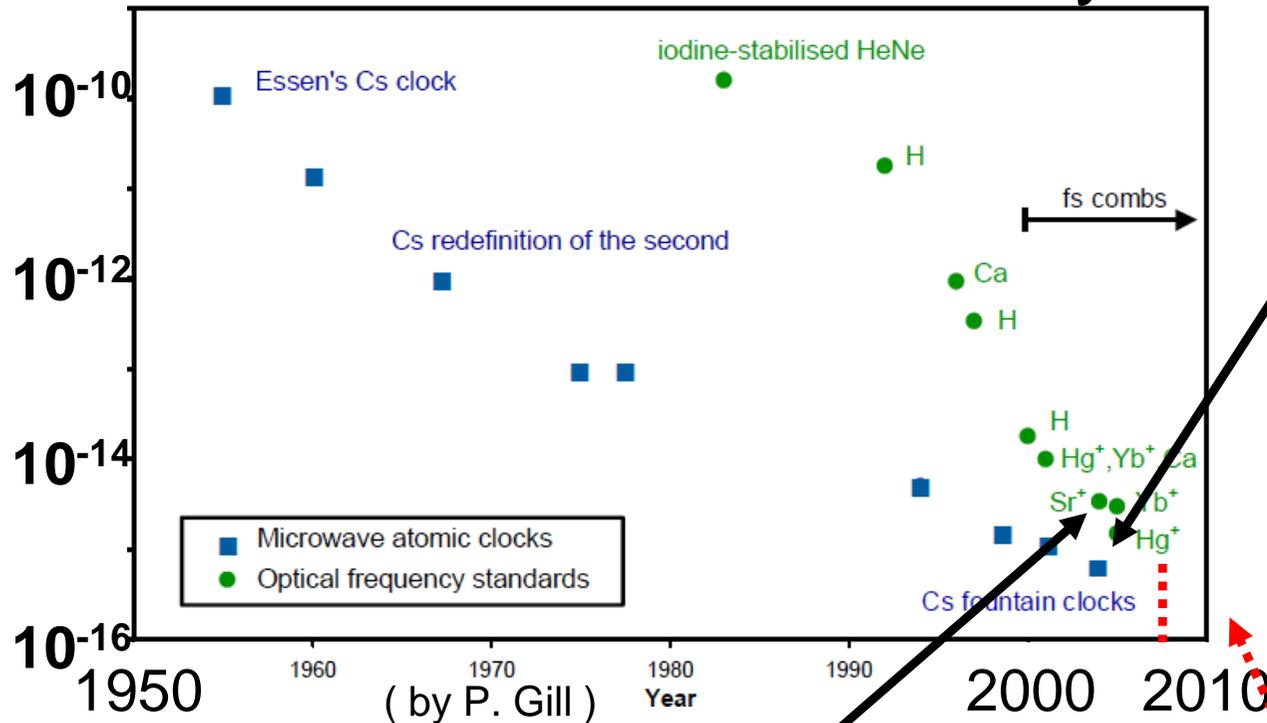
時刻比較用途：協定世界時UTCの維持・運用

200台以上の
原子時計，
周波数標準器の
重み付き平均



周波数標準器の進歩

Fractional Uncertainty



NICT-CsF1

..... *developing*

2×10^{-15}

NICT

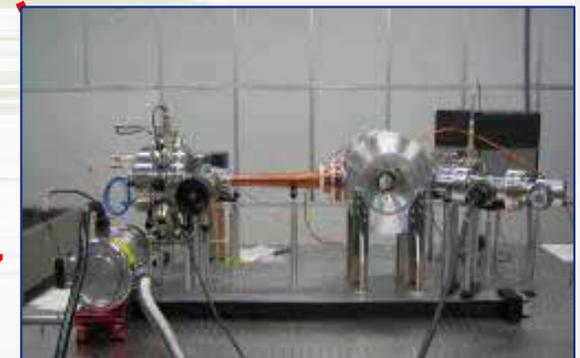
optical clocks

..... *developing*



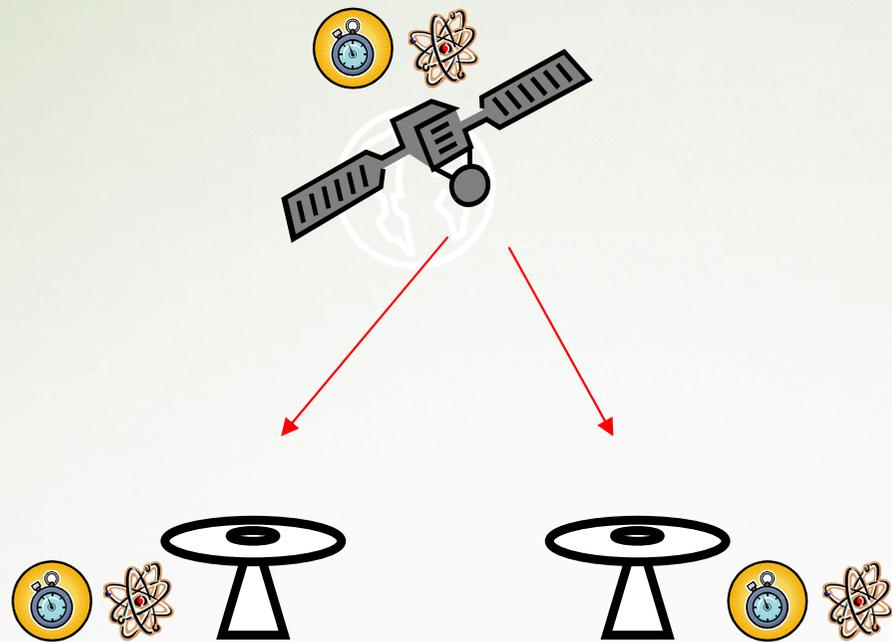
NICT-O1 6×10^{-15}

$10^{-16} \sim 10^{-17}$

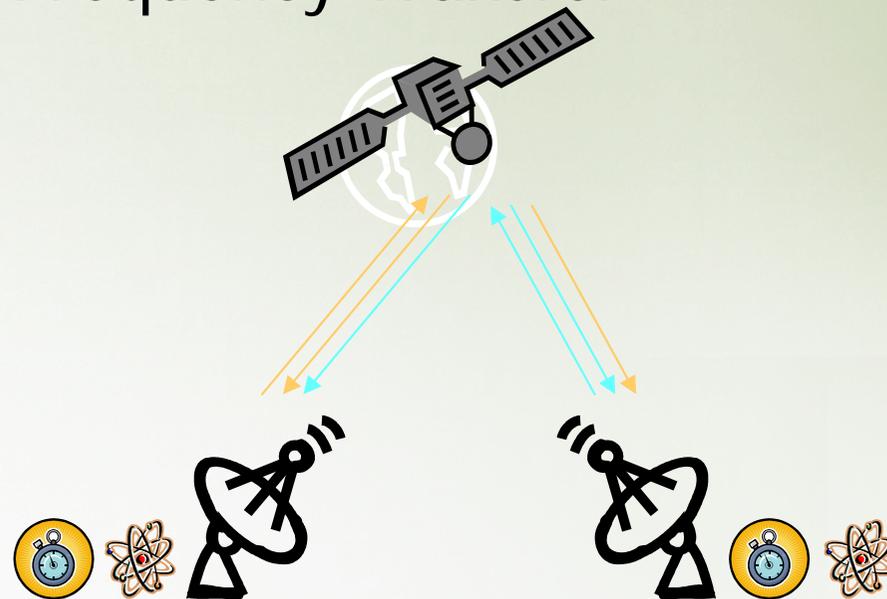


衛星時刻比較

- GPS Time Transfer



- Two-Way Satellite Time and Frequency Transfer



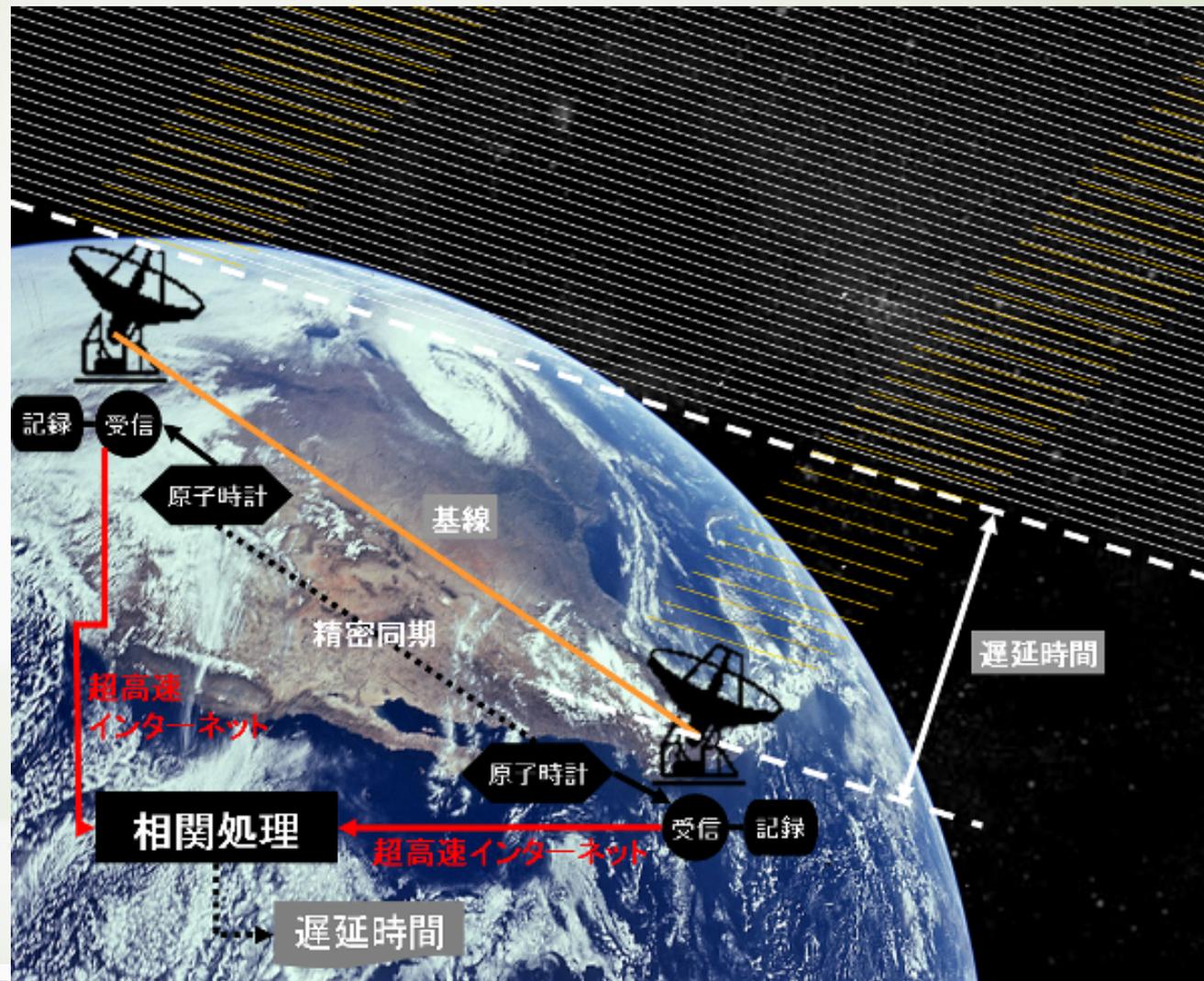
Typical r.m.s performance (by E. Thomas)

Stability (1day)	Time	Frequency
GPS (Carrier-Phase)	0.1 ns	2×10^{-15}
TWSTFT	0.1-0.2 ns	$2-4 \times 10^{-15}$

✓ **光周波数標準・光格子時計** 実現を見越し
現在の時刻比較精度を改善する**必要**

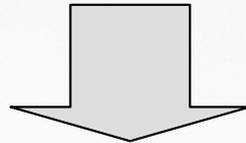
測地VLBI技術

- 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



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



NICTの取り組み

- 小型VLBIシステムの開発
 - MARBLE SYSTEM
 - 国際時刻比較も想定
- 現在のシステムによる観測で検証
 - 2007年 鹿島 - 小金井基線



Development of a compact VLBI system

MARBLE SYSTEM

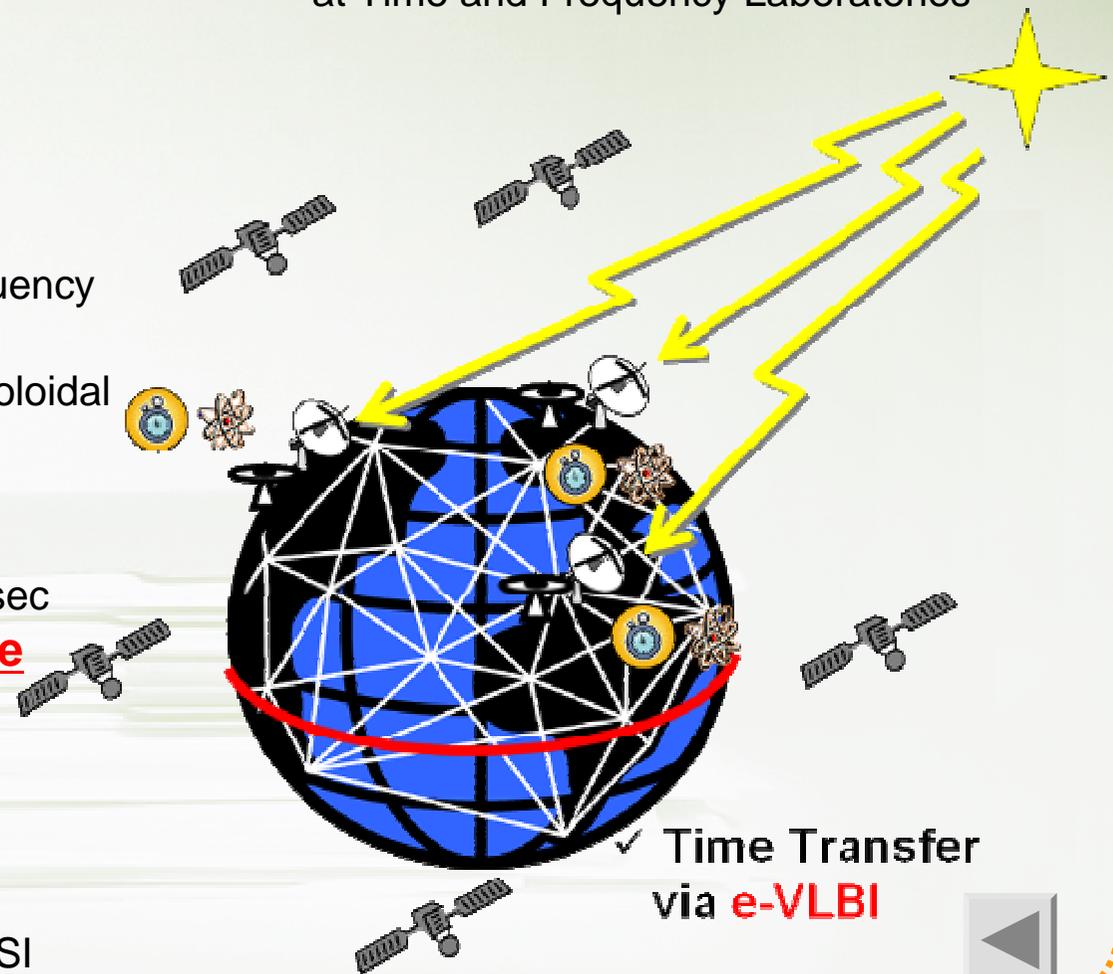
(Multiple Antenna
Radio-interferometry of
Baseline Length Evaluation)

- Diameter **1.6m**
- Receiving Frequency
 - **S/X-band**
- Front-fed paraboloidal reflector
- Az-El mounting
 - Max speed
AzEl **5 deg/sec**
- **Transportable**
by human

Collaborating with GSI

Future Image

- ✓ collocate small VLBI antennas for
Time and Frequency Transfer
at Time and Frequency Laboratories



これまでの結果

- 現在のシステムによる観測で検証

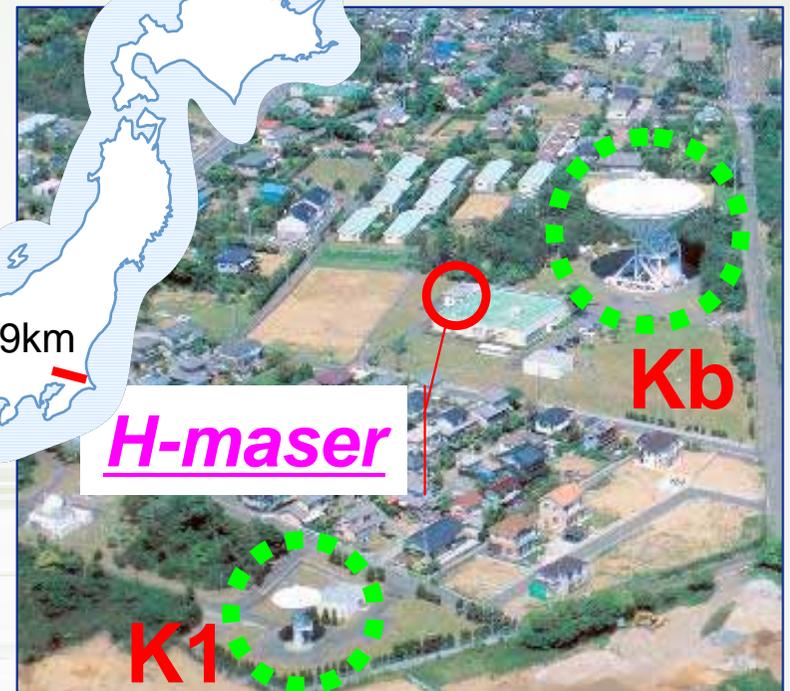
- 2007年 鹿島 - 小金井基線

- GPS, VLBI 並行観測
- VLBIクロックオフセット推定精度: 30ps
- 時系列比較: 調和的
 - $\pm 500ps$ の範囲で一致
- 安定度評価
 - VLBI時刻比較: **安定**
 - 同期間, 長時間平均で

- 小山・他(2007)@連合大会
- 瀧口・他(2007)@測地学会

IVS, IGSデータで比較

Koganei



Kashima

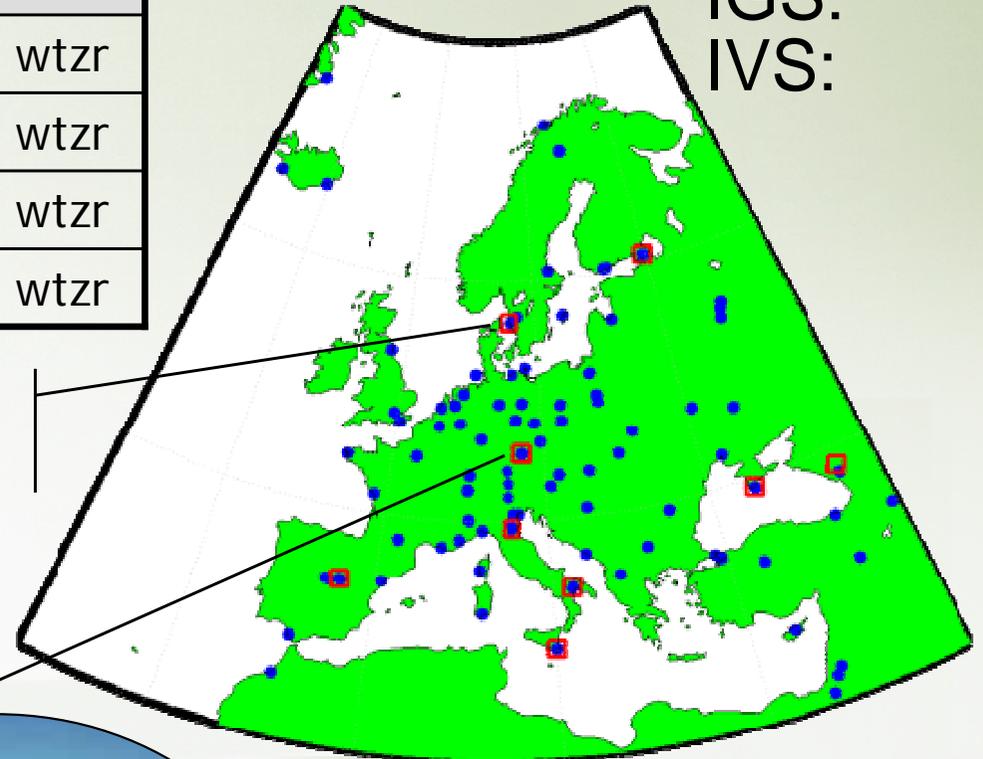
使用データ

DOY (2007)	IVS		IGS Station
	Session	Station	
092	R1270	HhKkNy On ShTsWf Wz	onsa, wtzr
100	R1271	KkNy On TcTsWf Wz Zc	onsa, wtzr
113	R1273	KkMcNy On TcTsWf Wz	onsa, wtzr
122	R1274	FtHhNy On Tc Wz Zc	onsa, wtzr



Sweden
Onsala Space Observatory

Onsala



IGS:
IVS:

Wettzell

Germany
Fundamental Station Wettzell



- 南北 920km
- VLBI, GPS:
同じH-maserをシェア

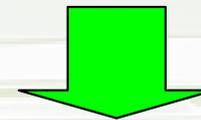
Data Analysis

- VLBI

- calc/solve
- multi baseline
- S/X combination
- reference to WETTZELL
 - station coordinates
 - atmospheric delay / 60min
 - clock offset / 60min

- GPS

- GIPSY-OASIS II
- Precise Point Positioning
 - station coordinates
 - atmospheric delay / 5min
 - clock offset / 5min

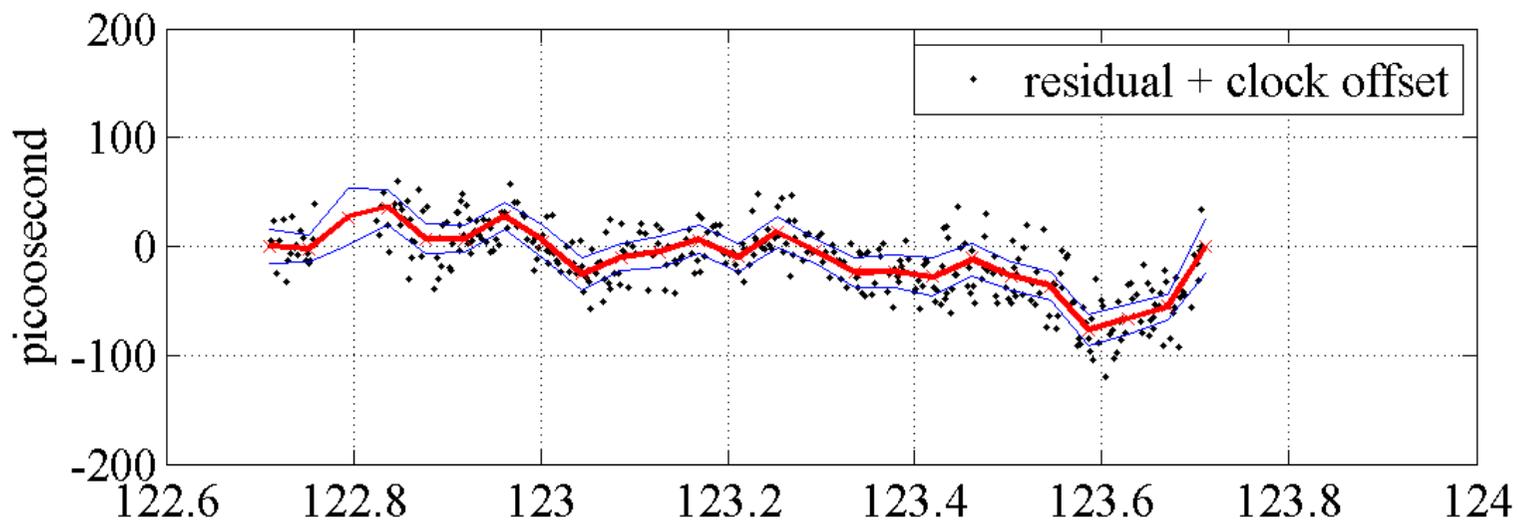


- Time Defference

clock offset A - clock offset B

VLBI : clock offset

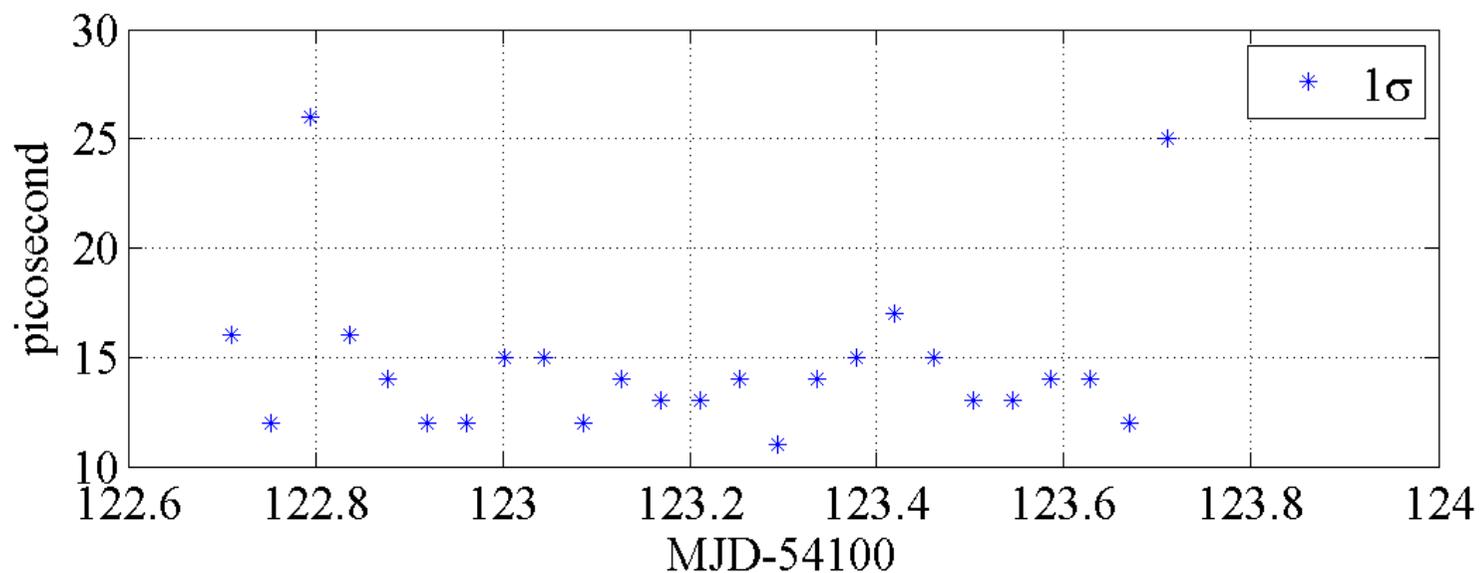
DOY : 122 R1274



R1274

14.7 ps

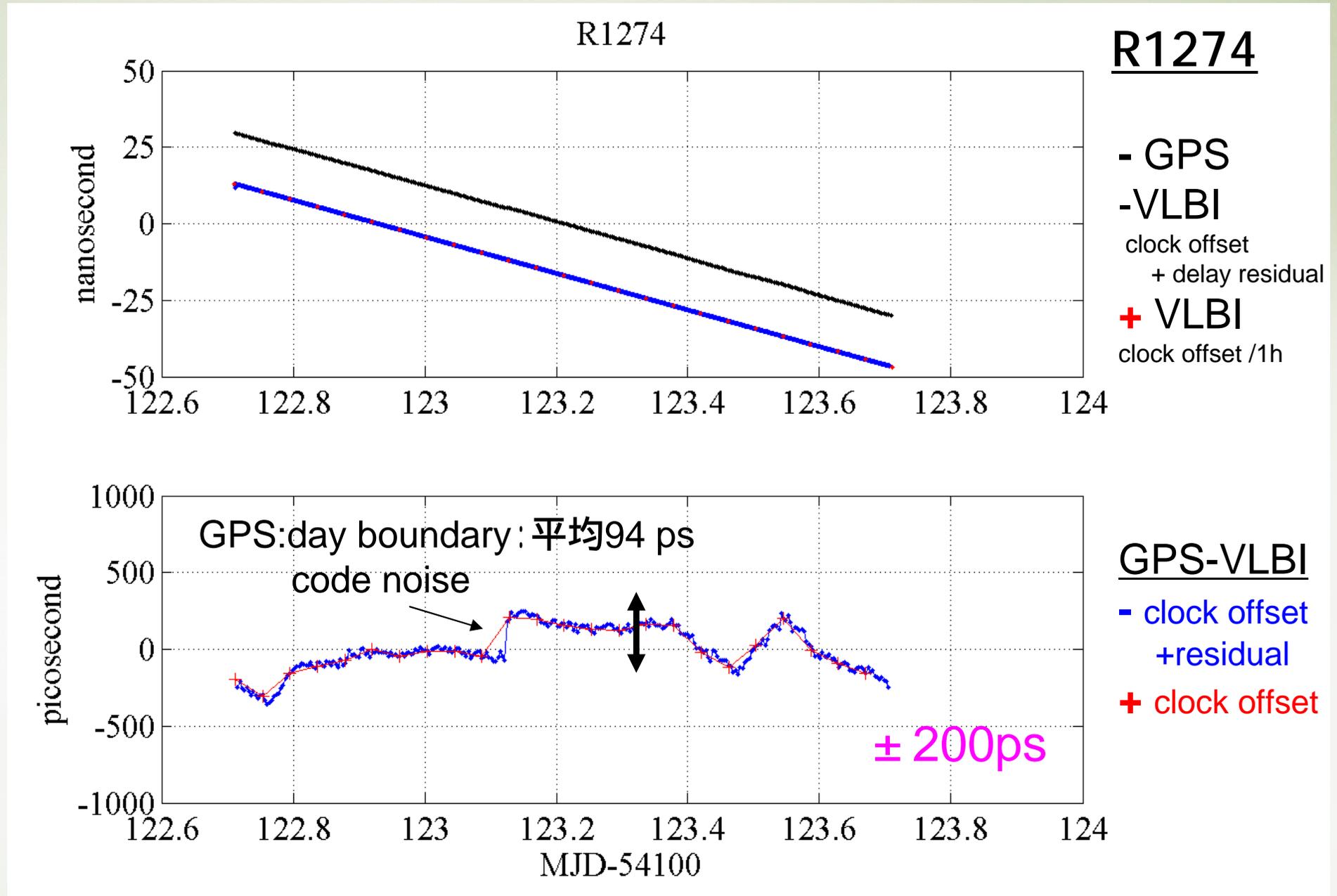
一次, 2次成分を取り除いたもの



16.1 ps

@ 1hour

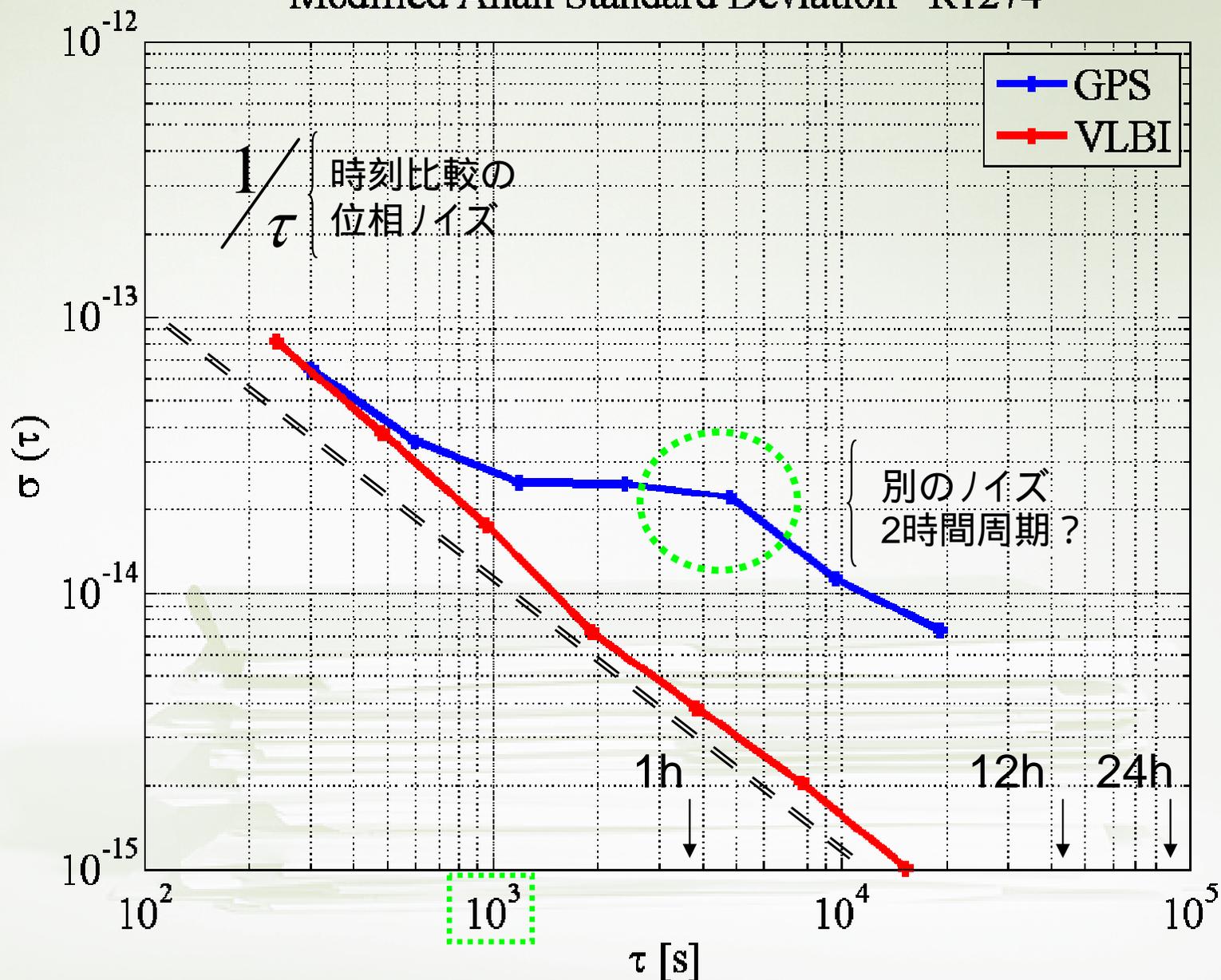
Difference of Time Series (ONSA-WTZR)



Frequency Stability

Modified Allan Standard Deviation R1274

R1274



Frequency Stability

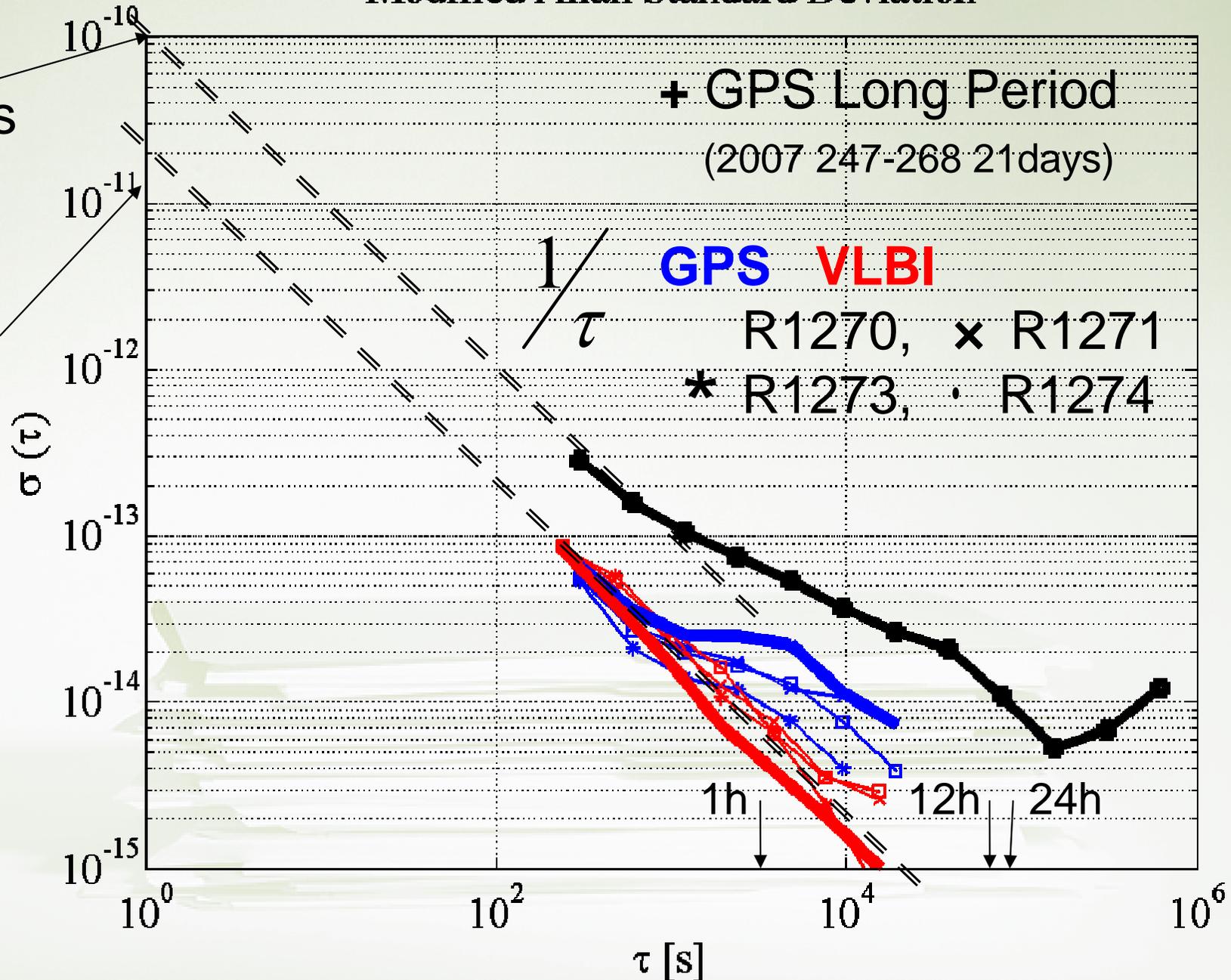
Modified Allan Standard Deviation

GPS

100ps
@ 1s

VLBI

20ps
@ 1s



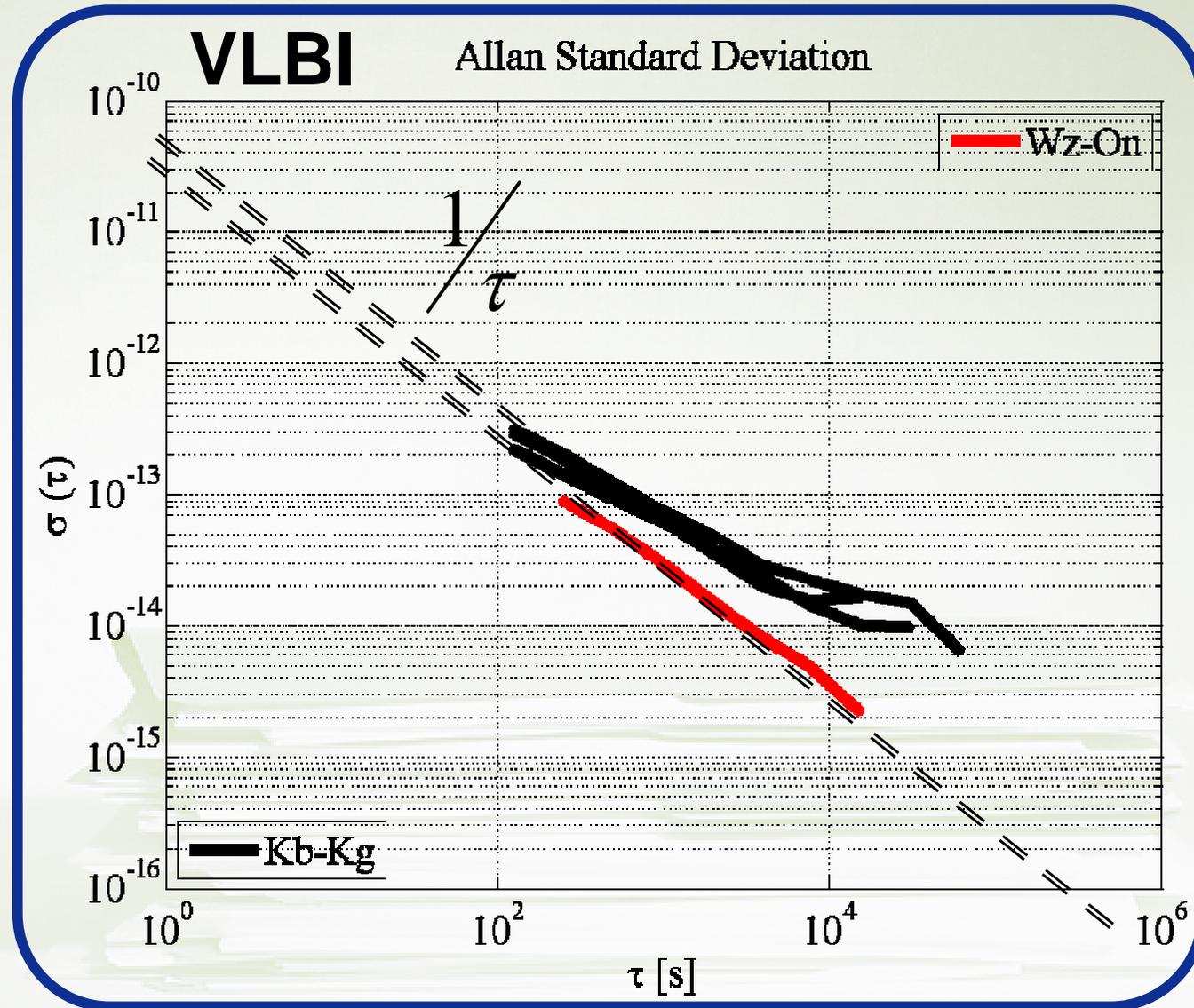
まとめ

IVS, IGS Data

- VLBI時刻比較 v.s. GPS時刻比較
 - VLBIクロックオフセット推定精度:
 - 16 ps@1hour
 - 時系列比較: 調和的
 - ± 200 psの範囲で一致
 - 安定度評価
 - 同じ基線, 同じ期間では VLBIの方が安定
 - 10^3 以上の平均化時間で
 - VLBIの傾きはほぼ 1/
 - 時刻比較の位相ノイズのみ
 - 2×10^{-11} (20ps) @1s

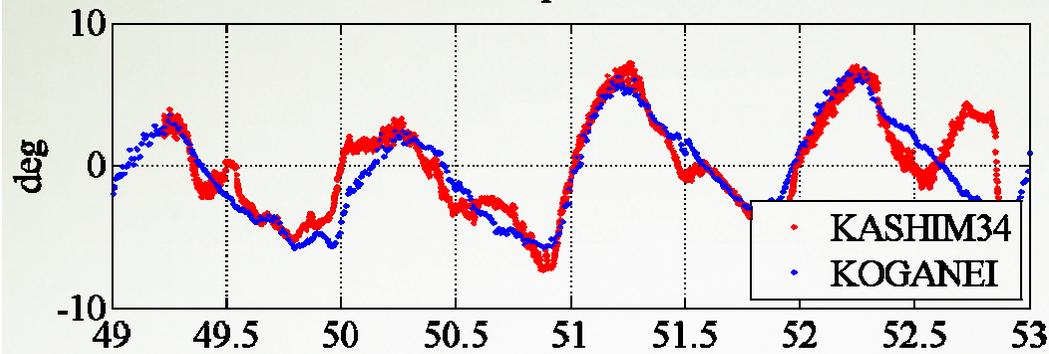
期待通りのポテンシャル有り

Onsala-Wettzell基線 と 鹿島-小金井基線

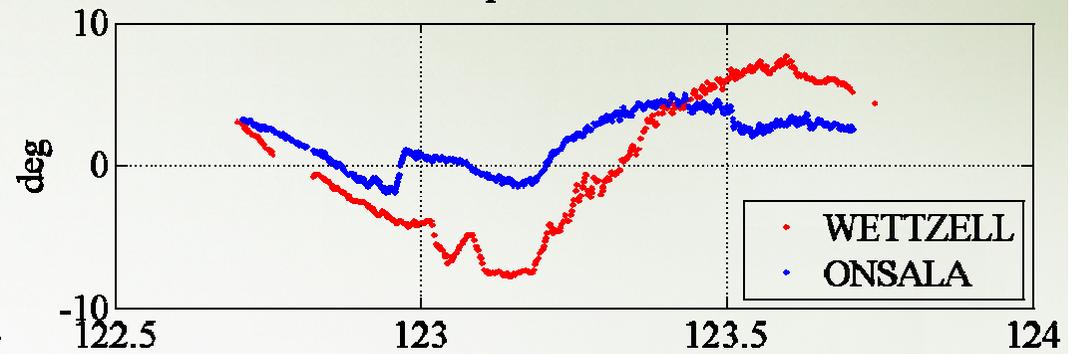


VLBI Clock Offsetsと気温

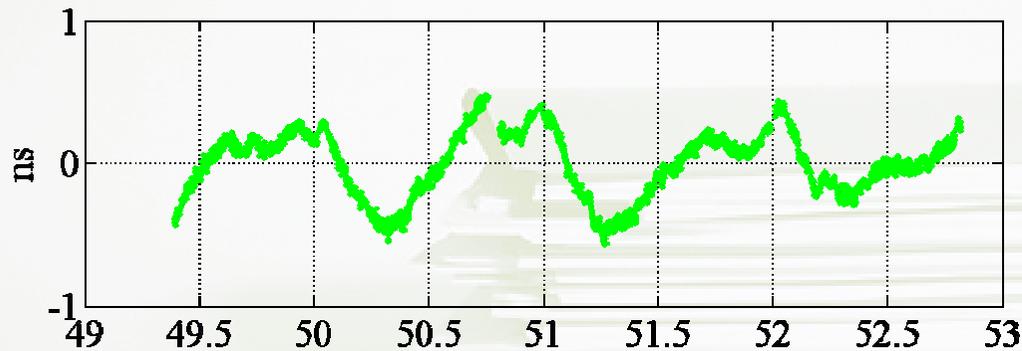
Temperature



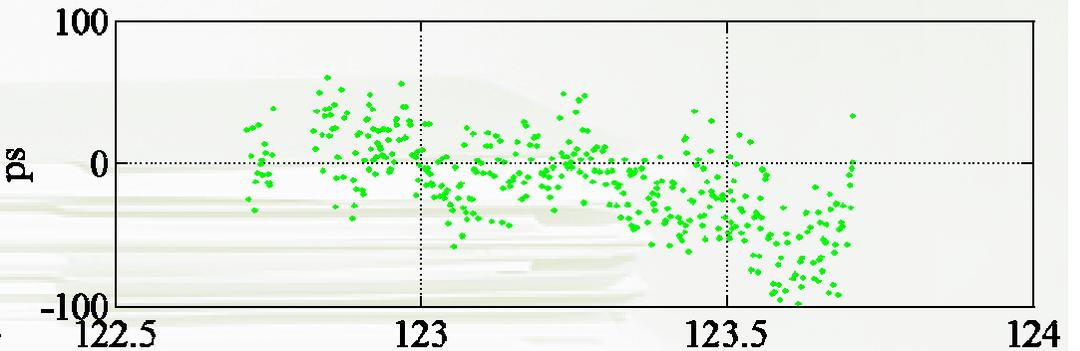
Temperature R1274



VLBI Clock Offsets



VLBI Clock Offsets



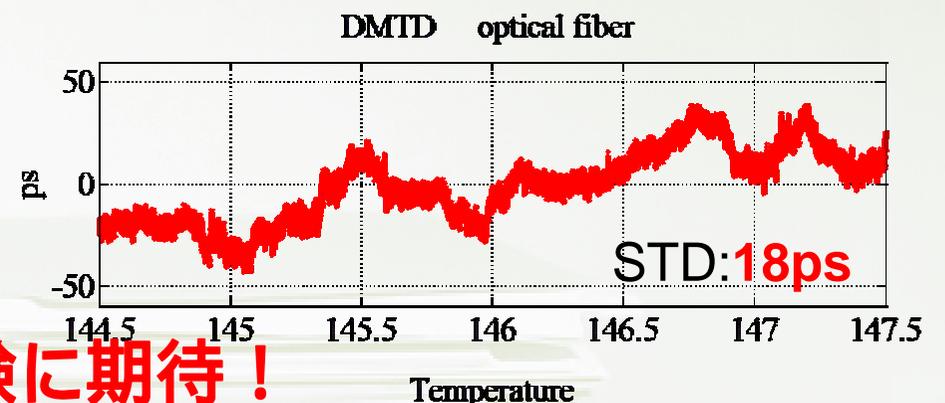
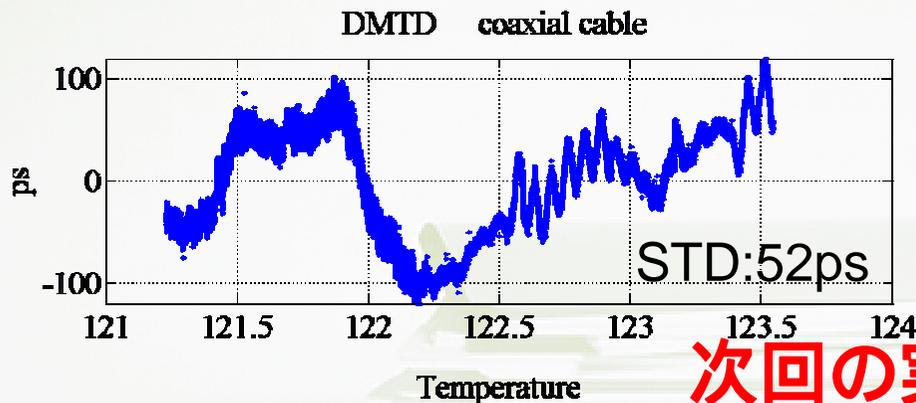
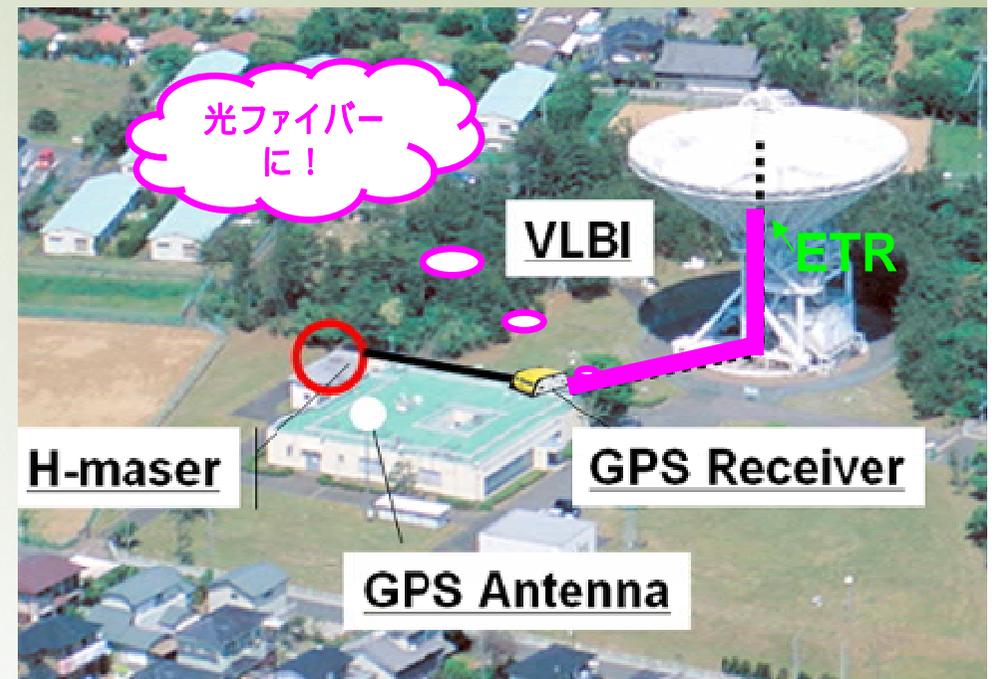
相関係数: **-0.7**

lag: 2時間

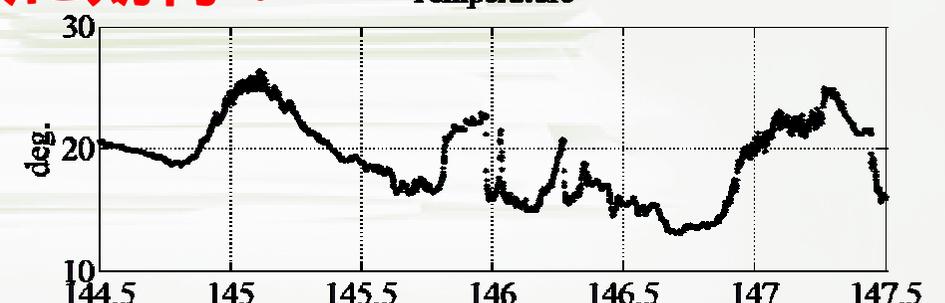
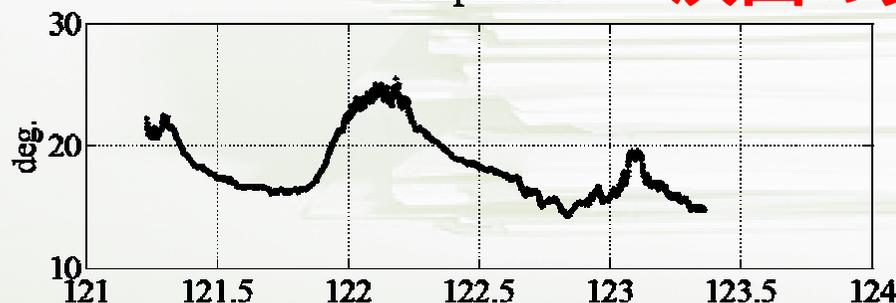
34mリファレンス信号 伝送ケーブルの変更

- 同軸ケーブル
光ファイバー
- 観測室-34mETR間

DMTD法を用い、メーザー信号と34mアンテナ
ETR往復信号の時間差を測定



次回の実験に期待!



今後の課題

- 時刻比較用に環境整備
 - 測地 時刻比較
 - GPS受信機, アンテナの恒温化
- 長期間連続データの取得: 2 ~ 13日
 - 鹿島-小金井基線
 - CONT02, CONT05, CONT08
- 国際実験
 - 日-独, 日-米 e-VLBI
- Instrumental delayのキャリブレーション
 - Zero Baseline Interferometry