

# 測地VLBI技術を用いた 時刻・周波数比較への取り組み

瀧口 博士<sup>1</sup>，小山 泰弘<sup>1</sup>，市川 隆一<sup>1</sup>，後藤 忠広<sup>1</sup>，  
石井 敦利<sup>1,2,3</sup>，Thomas Hobiger<sup>1</sup>，細川 瑞彦<sup>1</sup>

<sup>1</sup>情報通信研究機構，

<sup>2</sup>国土地理院，<sup>3</sup>（株）エイ・イー・エス



# 内容

---

## ✓ 背景

## ✓ 測地VLBIの周波数比較能力検証実験

- » IVS, IGS データ
- » 鹿島-小金井基線

## ✓ まとめ

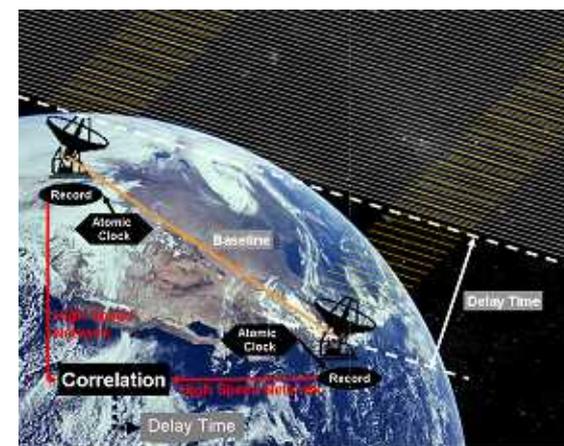
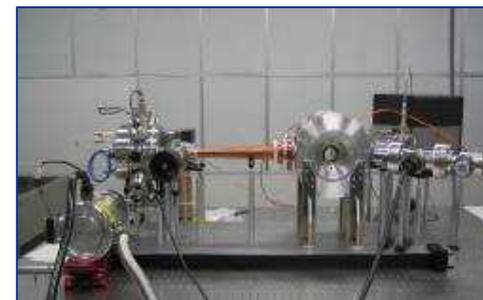
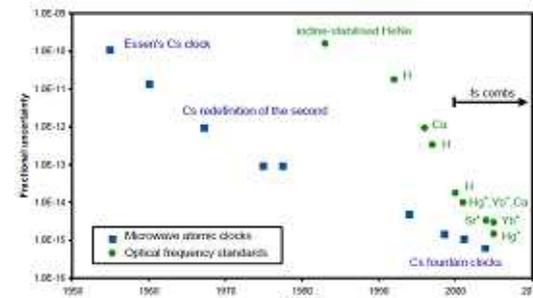
## ✓ 今後の課題

# はじめに 背景

- ✓ 原子泉型周波数標準器の高精度化
  - ≫  $2 \times 10^{-15}$  @a few days
- ✓ 光周波数標準器の開発
  - ≫  $10^{-16} \sim 10^{-17}$  ,  $10^{-18}$  @a few hours
- ✓ GPS Carrier Phase ・ 衛星双方向
  - ≫  $2 \times 10^{-15}$  @ 1day ・  $2 \sim 4 \times 10^{-15}$  @ 1day
  - ≫ 長い平均化時間 , 比較精度も不十分

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

- ✓ VLBI
  - ≫ 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 T/F @ RRL CRL

90

Shin'ichi HAMA, Taizoh YOSHINO, Hitoshi KIUCHI, Takao MORIKAWA,  
Tokuo SATO, Tadashi SHIOMI, Fujinobu TAKAHASHI, W.J. KLEPCZYNSKI

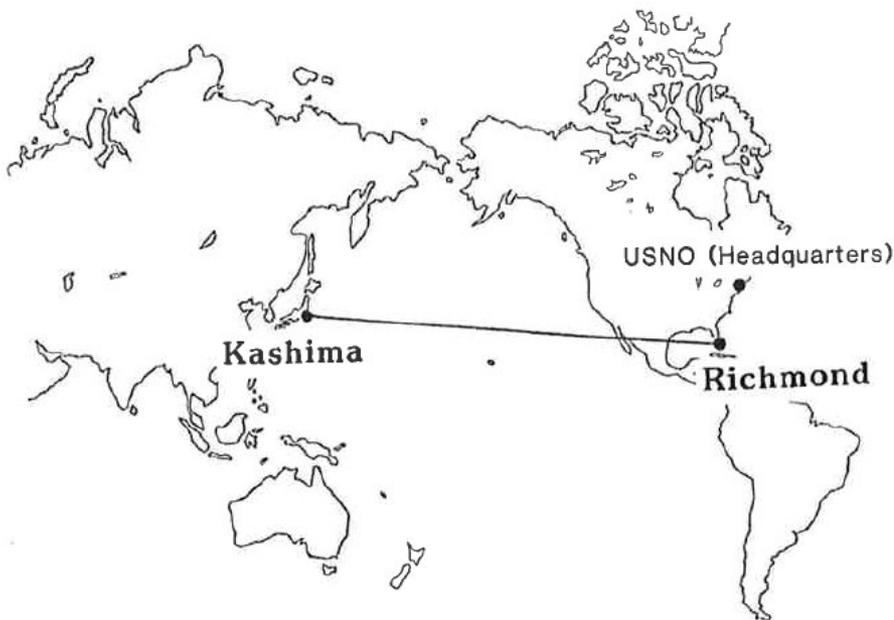


Fig. 3 Stations Joining the T/F Comparison Experiments.

Kashima-Richmondで0.2nsの精度で  
クロックパラメータを決定

大型アンテナ，局内遅延が問題

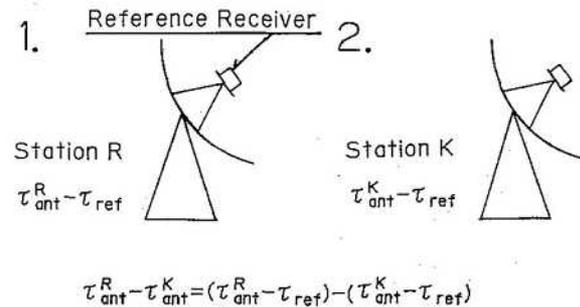


Fig. 1. The principle of ZBI.

ZBI (zero baseline interferometry)

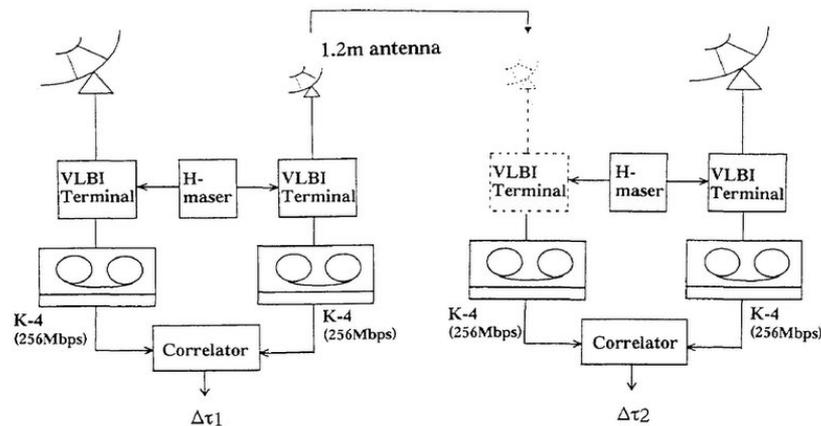


Fig.1 Short Baseline Interferometry (SBI) method to calibrate the instrumental delay difference between two VLBI stations.

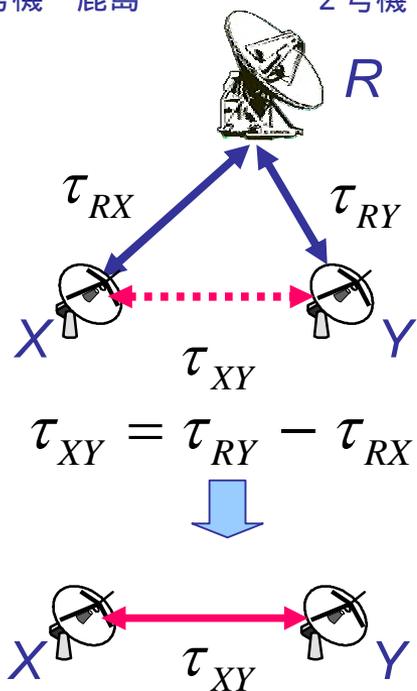
SBI ( short baseline interferometry )

# MARBLEシステムの利用



1号機 鹿島

2号機 国土地理院

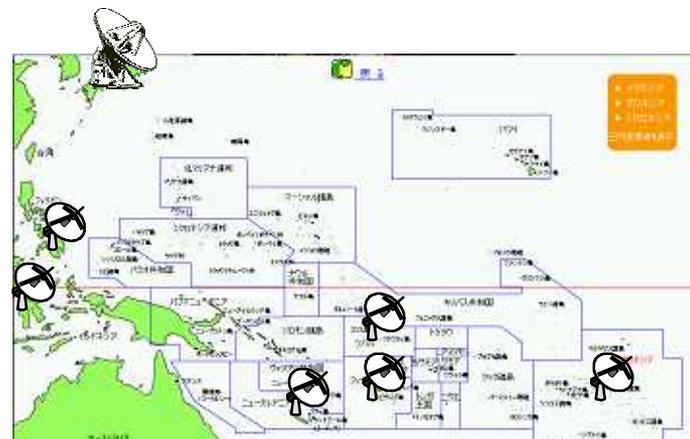
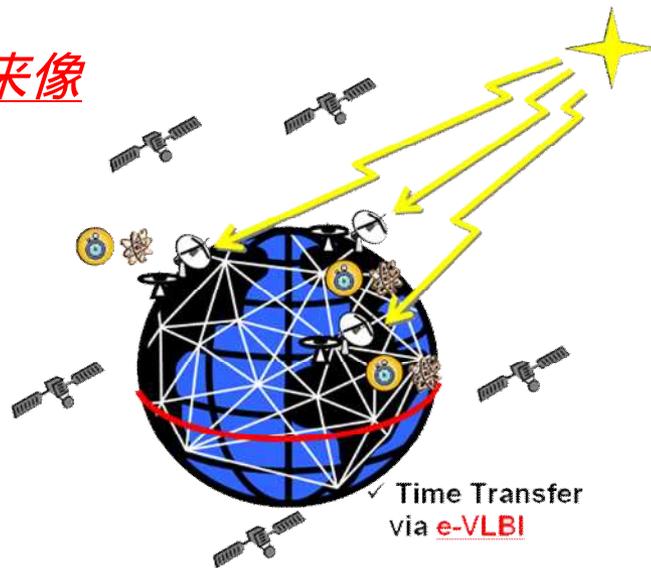


- » 比較基線場検定
- » 時刻・周波数比較

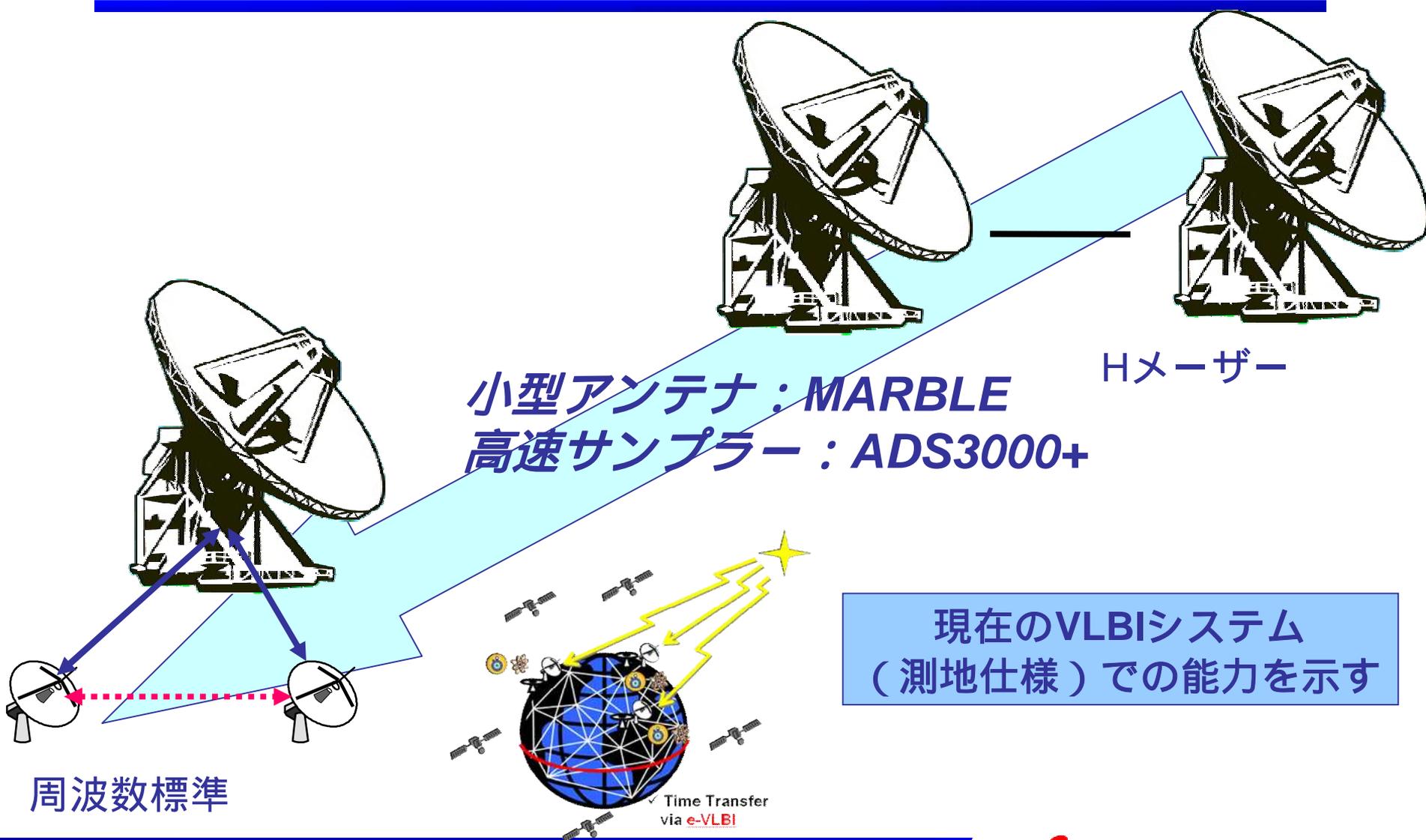
離島，途上国

- ・ 時刻・周波数
  - ・ 地球物理
- IVSの観測点配置

将来像



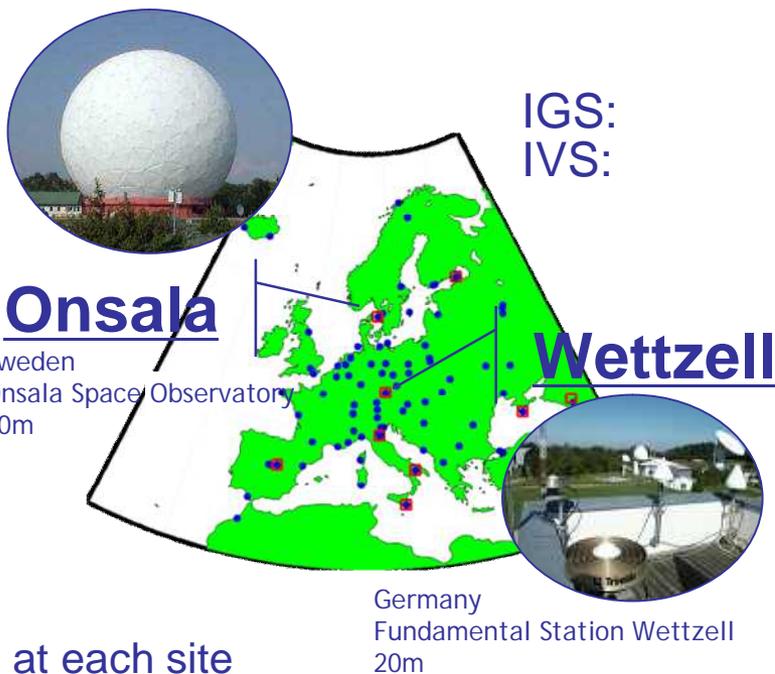
# 検証実験



# 相互比較: VLBI, GPS

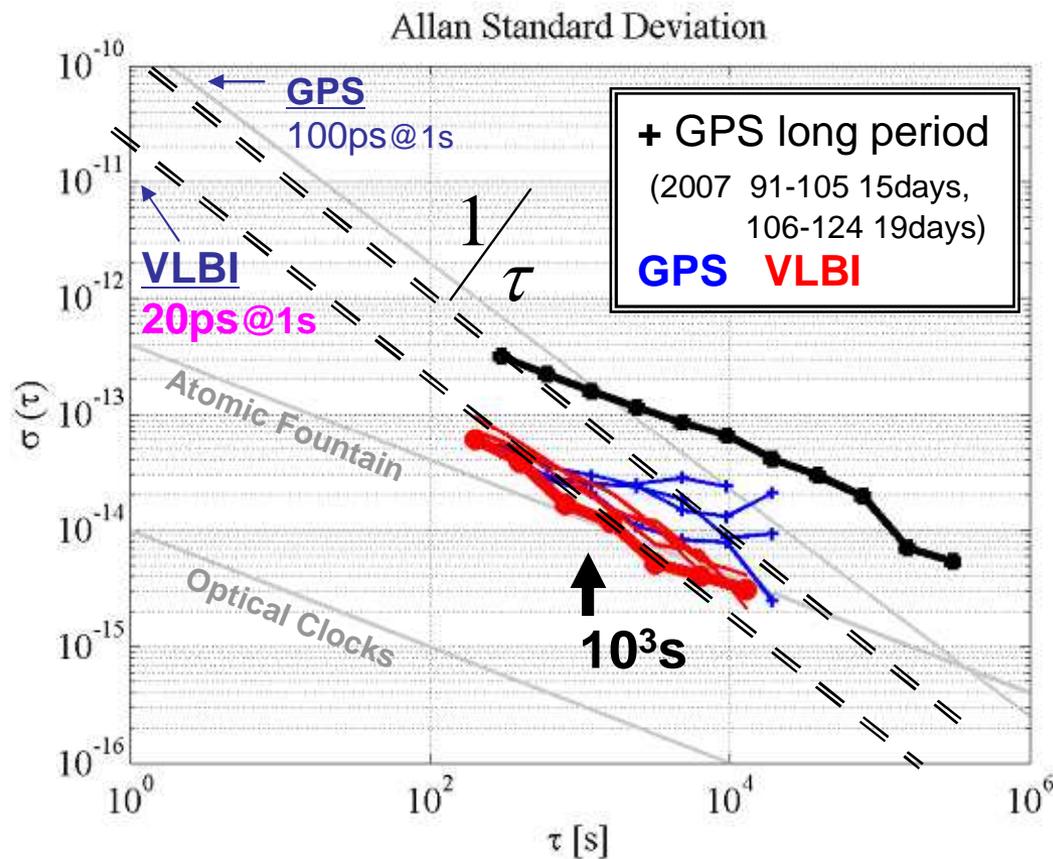
## 1. Wettzell-Onsala

- VLBI vs. GPS CP
- IVS and IGS data



at each site  
VLBI and GPS  
are *sharing* the

測地VLBI技術には周波数比較  
能力あり！

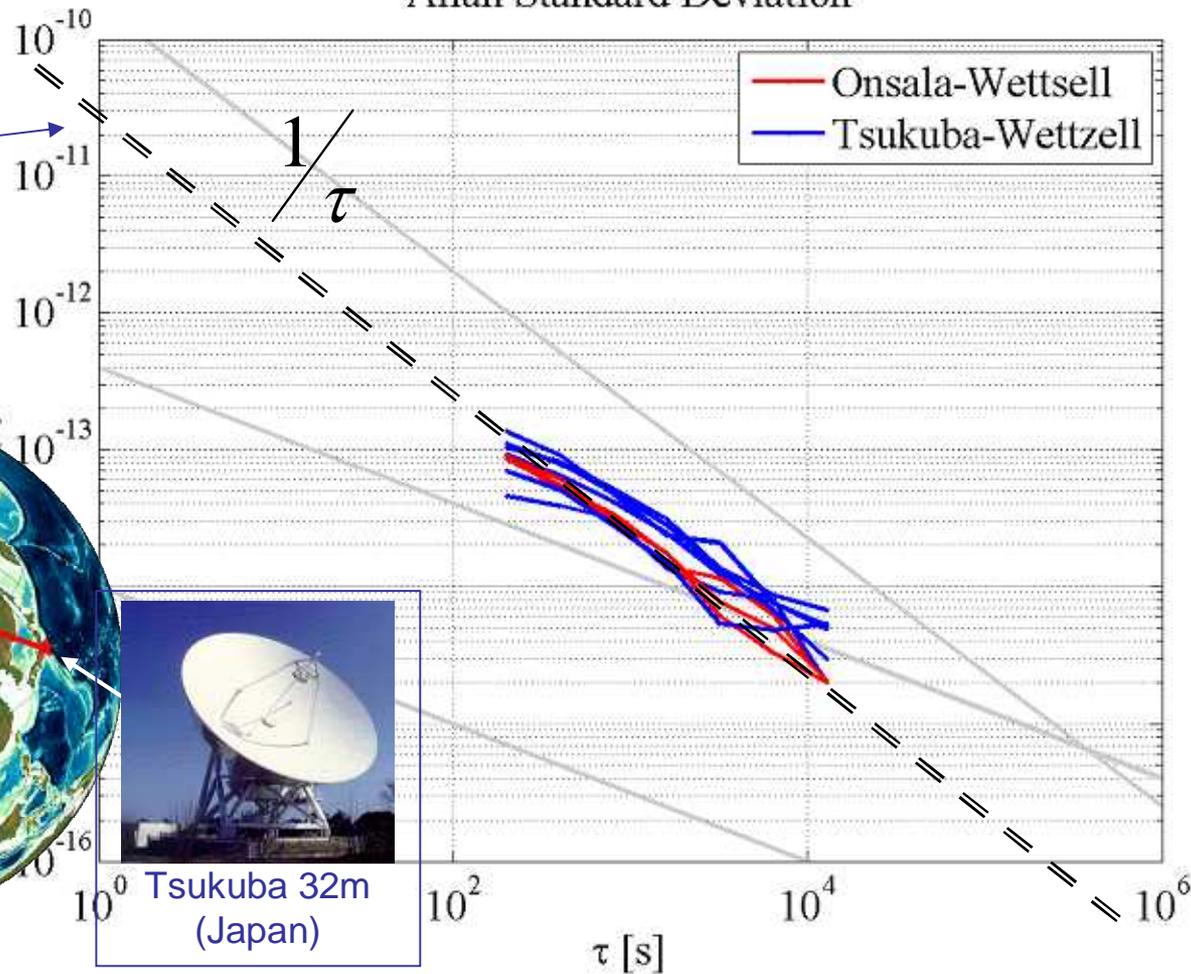


- ✓ VLBIの方がGPSよりも安定
- ✓  $10^3s$ で原子時計の安定度に到達
- ✓ VLBIの安定度,  $1/\tau$ の傾き
- ✓  $2 \times 10^{-11}$  (20ps) @1s

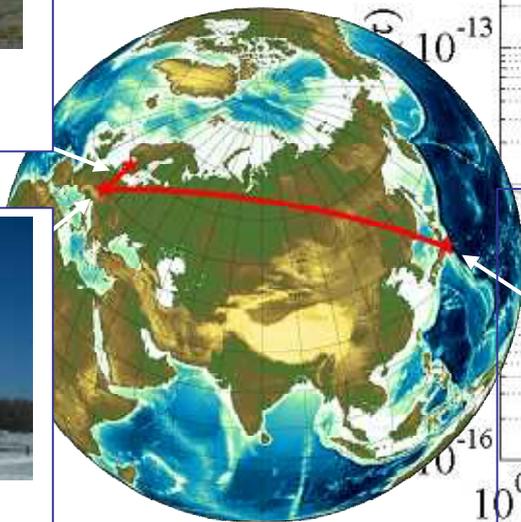
# IVS 2010 R1セッション

Allan Standard Deviation

25 ~ ps@1s



Onsala 20m  
(Sweden)



Wettzell 20m  
(Germany)



Tsukuba 32m  
(Japan)

R1: Monday session, to provide twice weekly EOP results

# 連続比較実験

## 目的

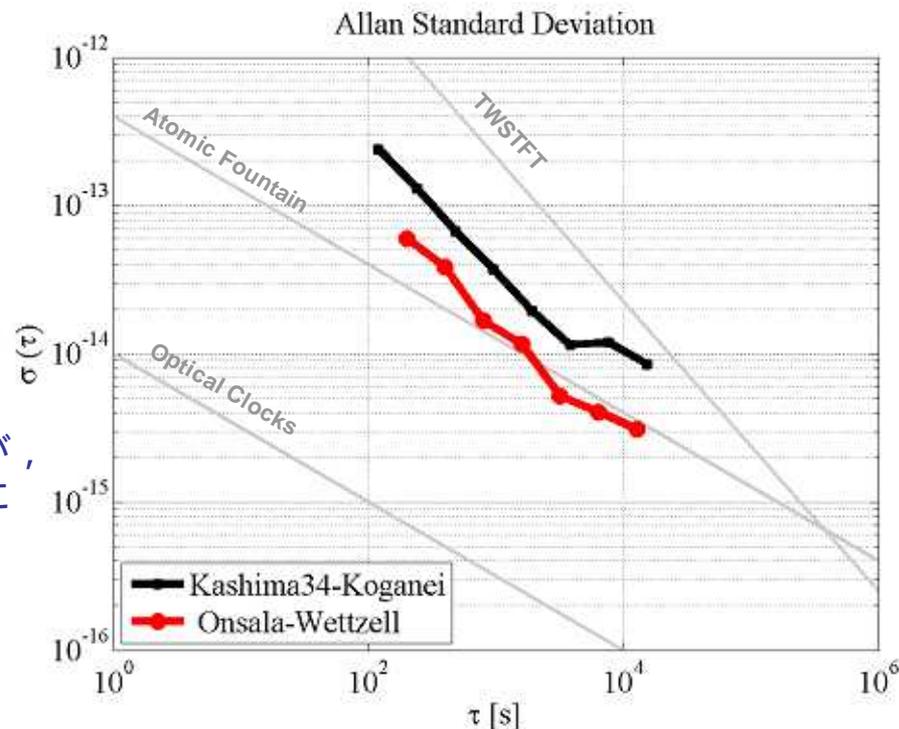
1. 平均化時間 $10^4$ 秒以上での安定度を示す
2. 安定度低下の原因を探る

### ✓ 鹿島 小金井基線

- » 原子泉型周波数標準器の安定度に到達？
- » 周期的なノイズ？
- » 測地仕様から時刻比較仕様への足がかり

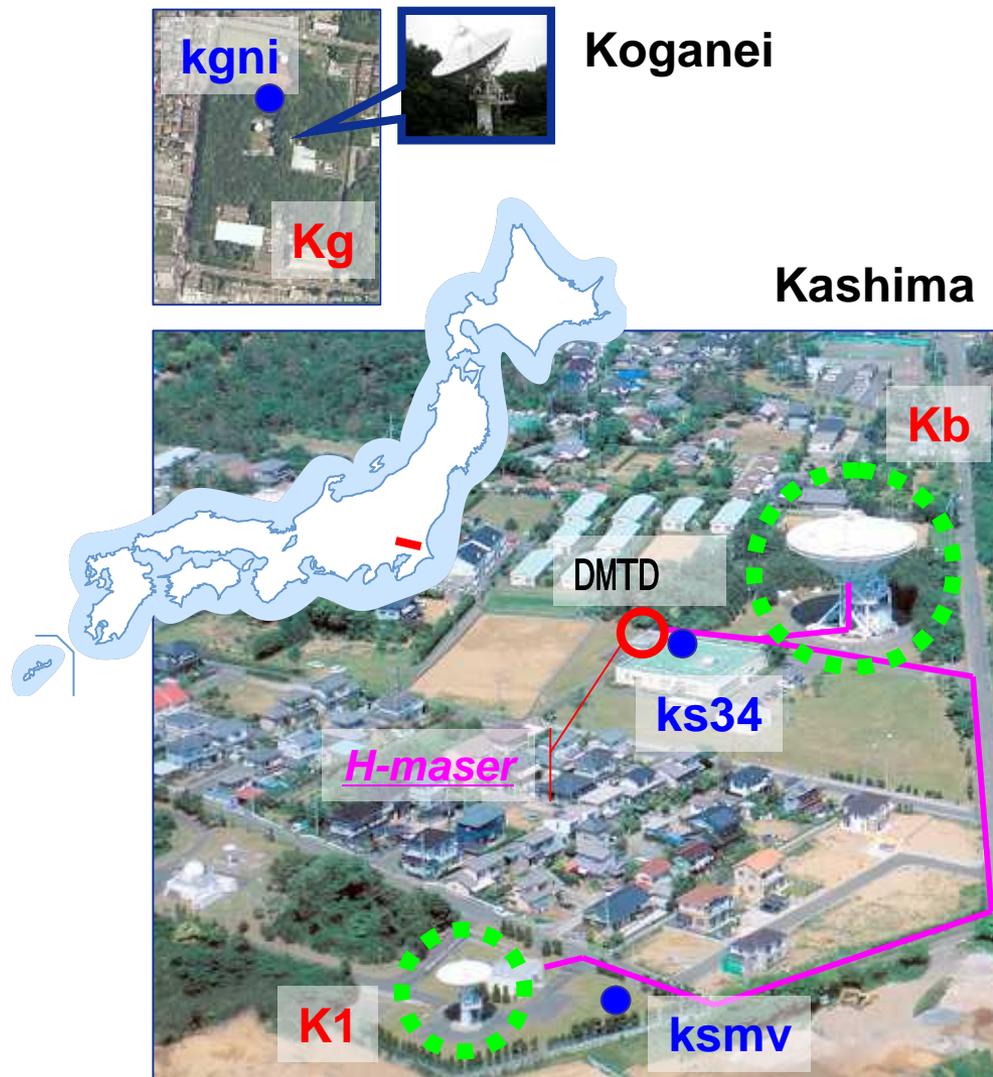
鹿島局・小金井局に限られた事であるが、今後もここで実験が予定されている為に必要。(MARBLE実験)

## 連続VLBI実験



# 連続比較実験

# 概要



## ✓ VLBI

- » calc/solve
- » single baseline
- » S/X ionosphere-free linear combination
- » reference to KASHIM34
  - station coordinates
  - atmospheric delay / 60min
  - clock offset / 180min



- » clock offset  
+ postfit residual / scan

## ✓ GPS

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

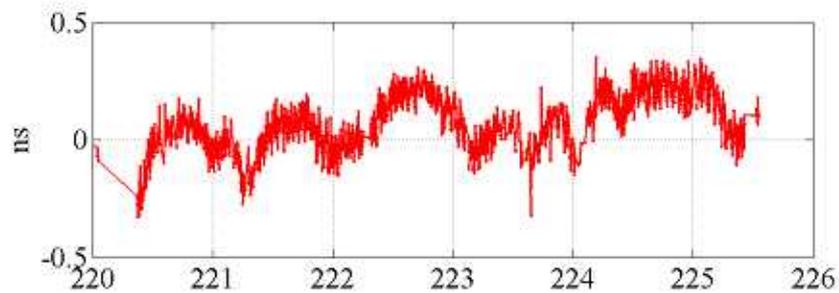


- » Time Defference  
clock offset A – clock offset B  
/ 5min

# VLBIの周波数安定度

NICT基線

Kashima34m-Kashima11m

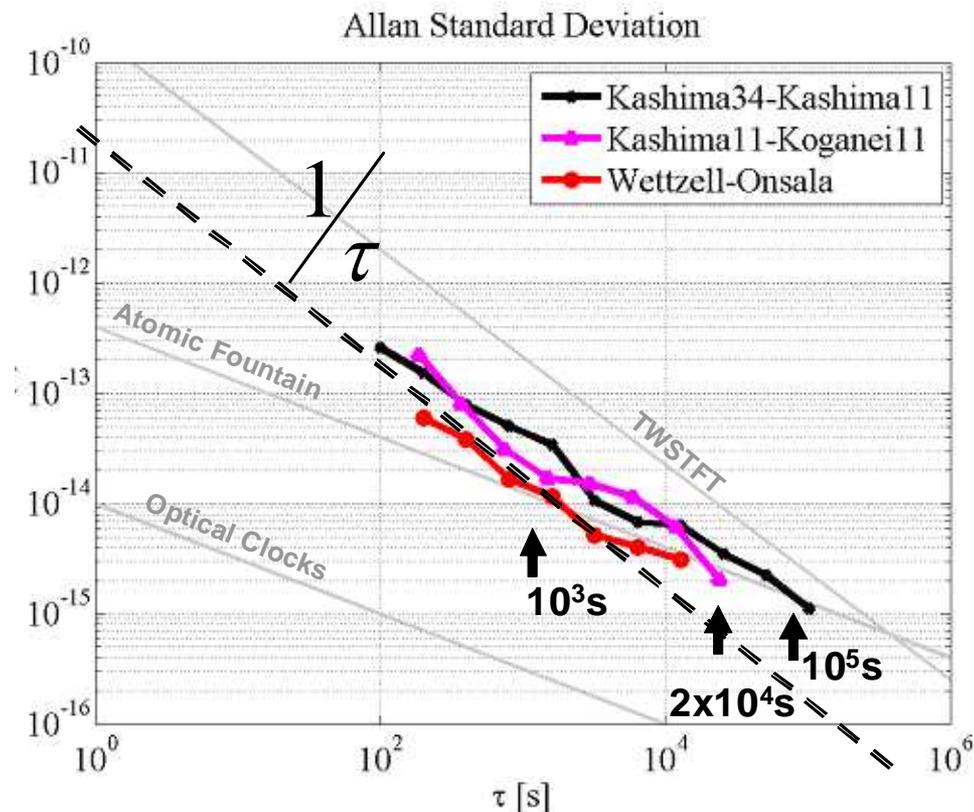


in summer

Kashima11m - Koganei11m



after removing linear trend



NICT基線  $2 \times 10^4$ ,  $10^5$  s で原子時計の安定度に到達

Wettzell-Onsala基線に比べると安定度がよくない

気温変化の影響が大きく、温度変化の影響を受けないように改修が必要

# VLBIの時刻差計測能力

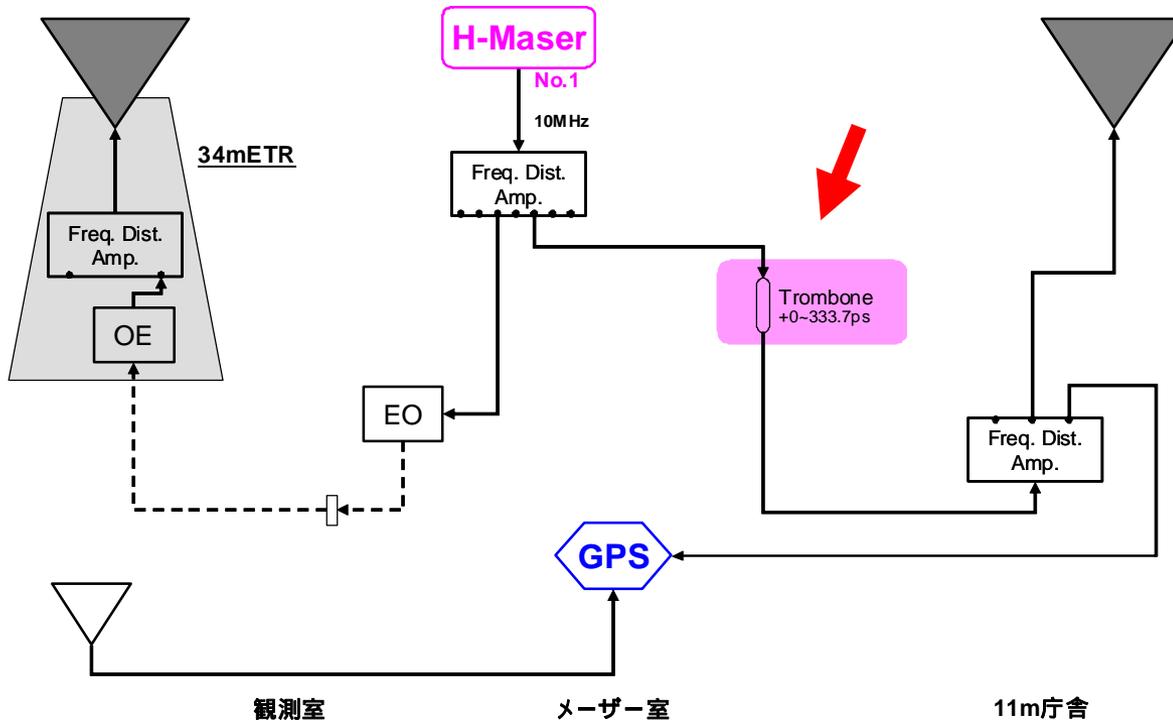
## ✓ Kashima34m – Kashima11m

» 人為的に時刻差

- 可変長同軸管

» VLBI, GPSで相互比較

2009年12月に再実験



最大遅延量 (メーカー値)  
333.7ps

# VLBI実験仕様

## ✓ 通常の測地VLBI

### » 観測

- 複数天体
- データが不等間隔
  - アンテナ駆動時間
  - 天体毎にスキャン時間が異なる
- 24 時間

### » データ解析

- 推定パラメータ
  - 時計
  - 大気
  - 局座標

## ✓ 今回

### » 観測

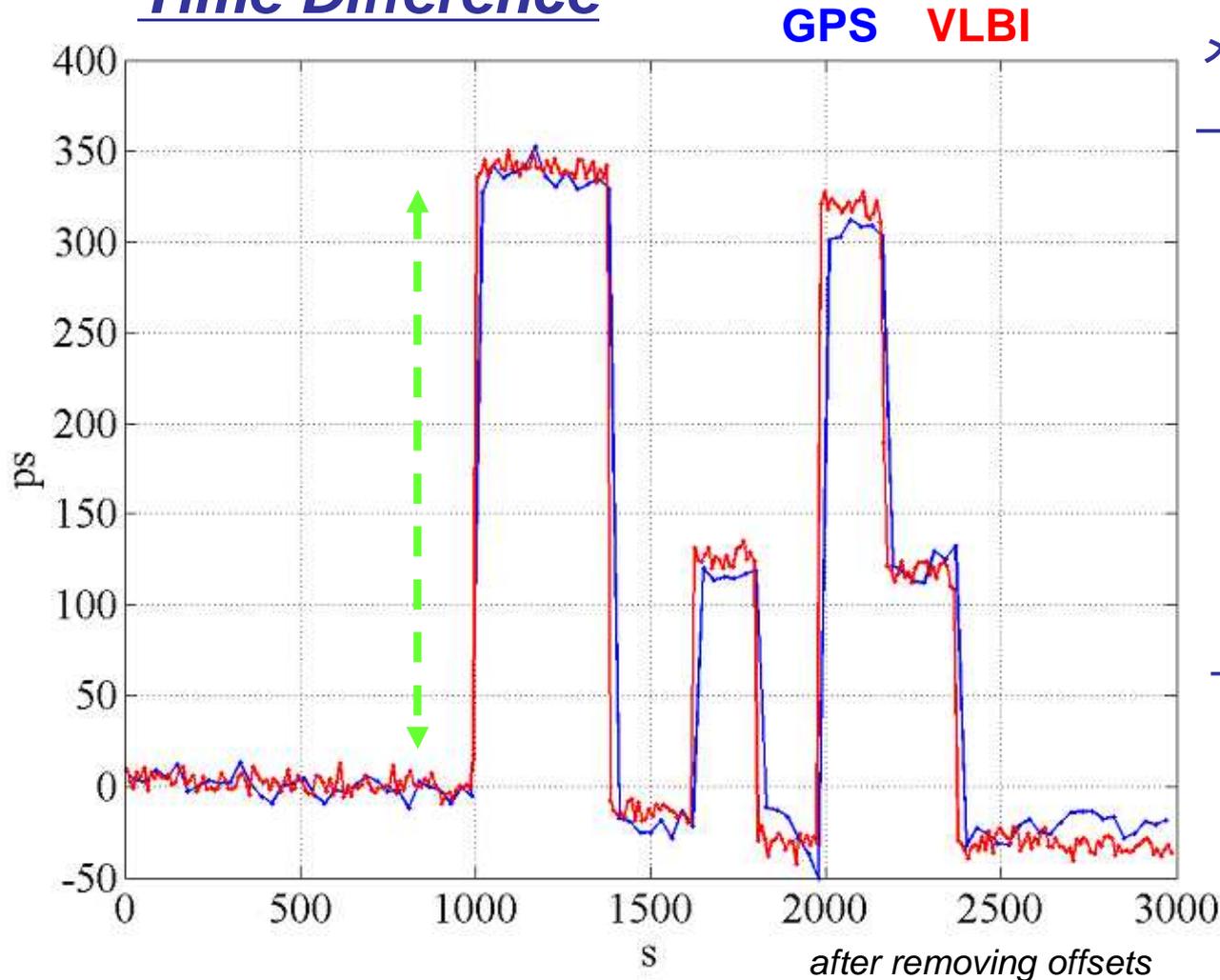
- **1天体** (3C84)
- データを等間隔に
  - 追尾観測
  - 長時間サンプリング
  - 観測後, 10秒毎に処理
- 1 時間

### » データ解析

- **Obs. Delay – a priori**
- 短基線
  - 大気遅延, 電離層補正なし
  - 局座標は固定

# VLBI vs. GPS

## Time Difference

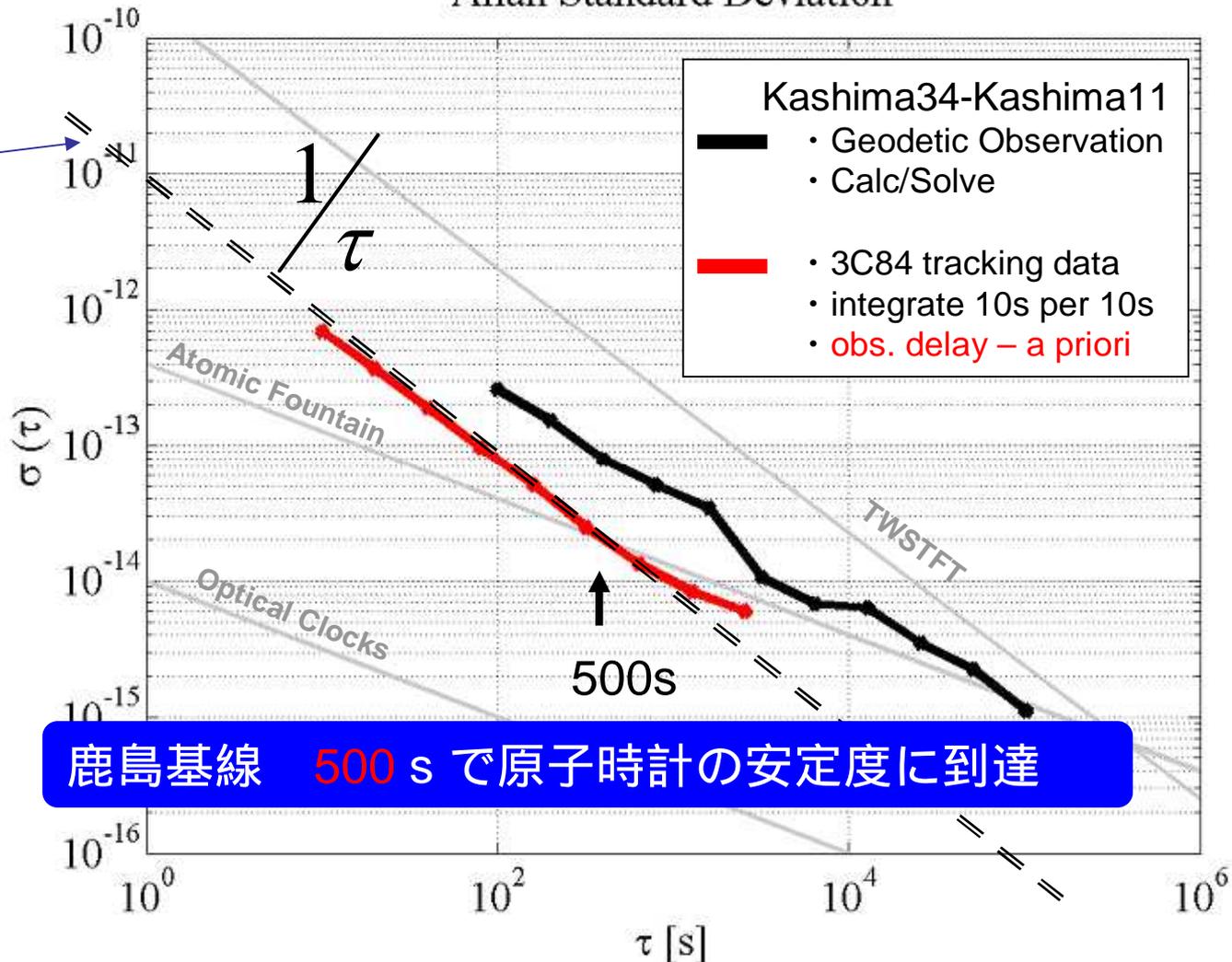


メーカー値	メーカー値との差	
	GPS	VLBI
333.7	3.6	2.8
333.7	16.5	15.2
147.2	12.8	0.0
147.2	17.0	4.6
333.7	11.6	19.5
186.7	0.6	9.8
147.0	9.2	7.3
平均	10.2	<u>8.5</u> ps

# VLBIの周波数安定度

Allan Standard Deviation

VLBI  
10ps@1s



鹿島基線 500 s で原子時計の安定度に到達

周波数配列  
夏 冬

# まとめ

## 1. 周波数安定度

- ✓ Wettzell-Onsala
  - ✓ 長期平均化時間ではGPSより安定
  - ✓  $10^3$ s以上で原子時計の安定度に到達
  - ✓  $2 \times 10^{-11}$  ( 20ps ) @1s
- ✓ 鹿島-小金井基線 :  $2 \times 10^4$ s
- ✓ 鹿島基線
  - ✓  $10^5$ s ( 夏 )
  - ✓ 500s ,  $1 \times 10^{-11}$  ( 10ps ) @1s  
( 冬 , 周波数配列調整 , Obs. Delay - a priori )

## 2. 時刻差計測

- ✓ 10ps以下の差で計測可能



# 今後の課題

## ✓ 時刻比較用に環境整備

- » 測地 時刻比較

## ✓ MARBLEでの実験

- » 高速サンプラー
  - ADS1000 , ADS3000+

## ✓ 他の技術との相互比較

- » GPS , TWSTFT , ETS8

## ✓ 国際実験

## ✓ Instrumental delayのキャリブレーション

- » Zero Baseline Interferometry
- » ラウンドトリップシステム

### 小金井

- VLBI棟へUTC(NICT)の伝送
- 恒温室改修
- Marble2号機の移設

### 鹿島 ( 11m観測室 )

- 恒温室設置
- TWSTFTアンテナ設置

# 鹿島11m局



恒温室

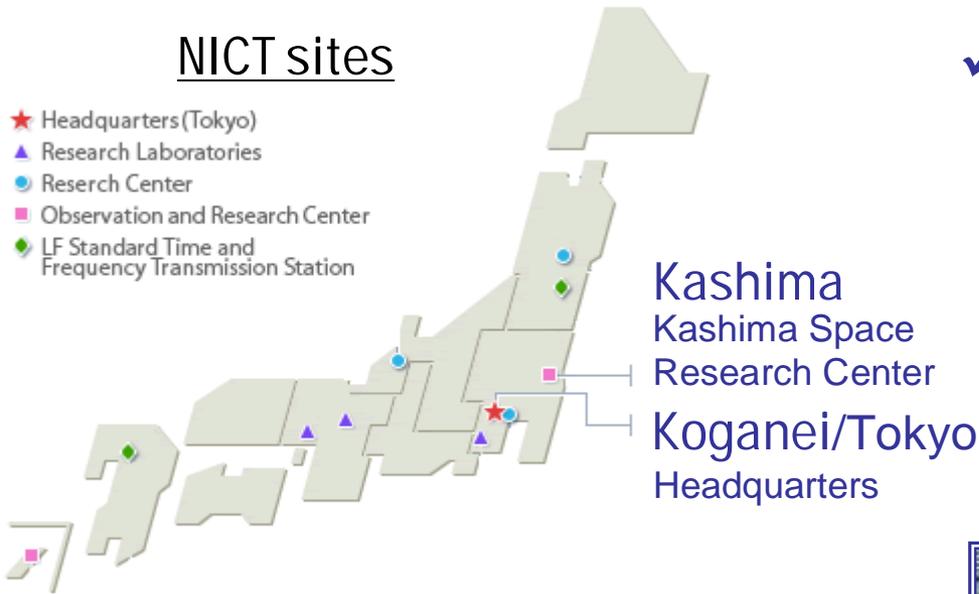


TWSTFTアンテナ

# Intercomparison: VLBI vs. other techniques

## NICT sites

- ★ Headquarters (Tokyo)
- ▲ Research Laboratories
- Research Center
- Observation and Research Center
- ◆ LF Standard Time and Frequency Transmission Station



Kashima  
Kashima Space  
Research Center

Koganei/Tokyo  
Headquarters

✓ 鹿島 小金井 109km

### Kashima

VLBI  
Marble  
GPS  
TWSTFT

H-maser, DMTD



### Koganei



VLBI  
Marble  
GPS  
TWSTFT  
TEC (ETS-8)

**UTC(NICT)**

