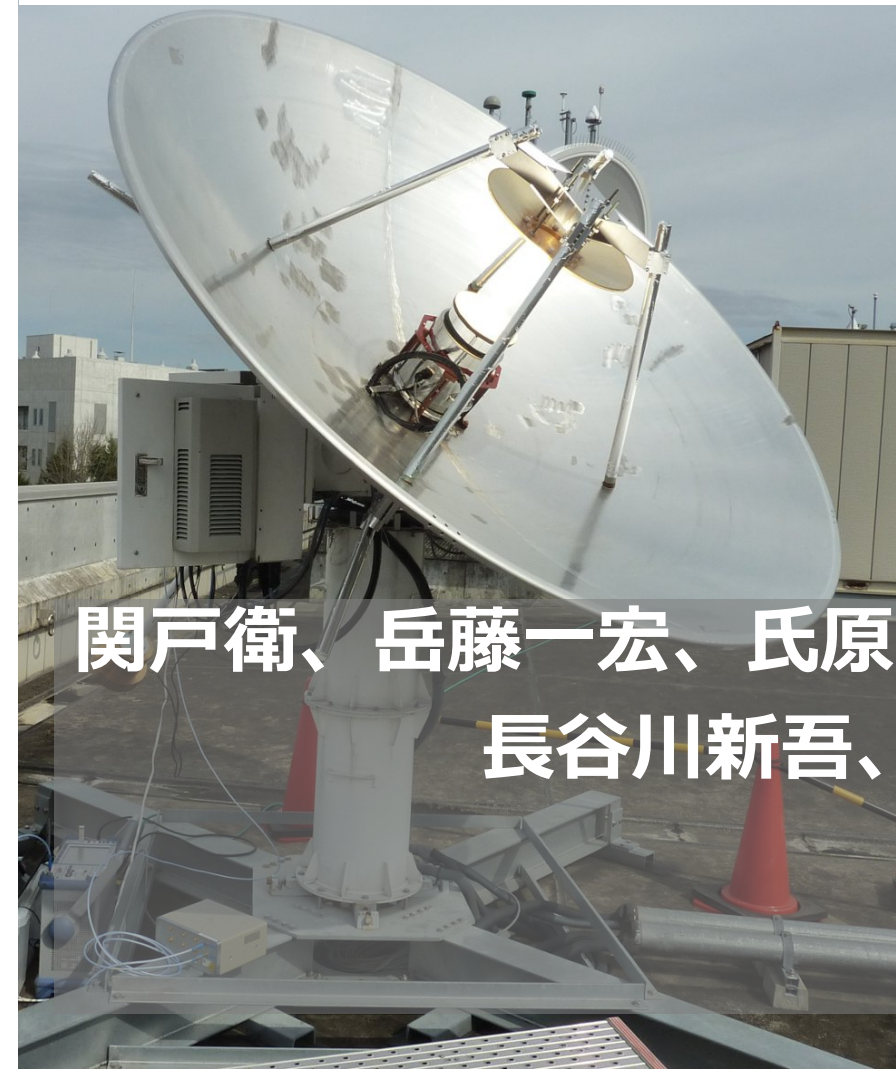


小型広帯域VLBIは、 従来の測地VLBIより精度が高い

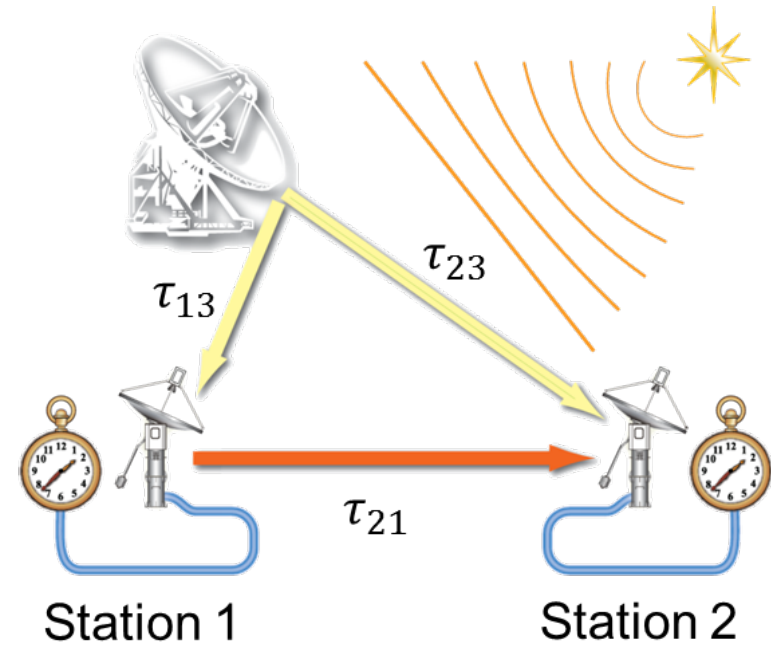
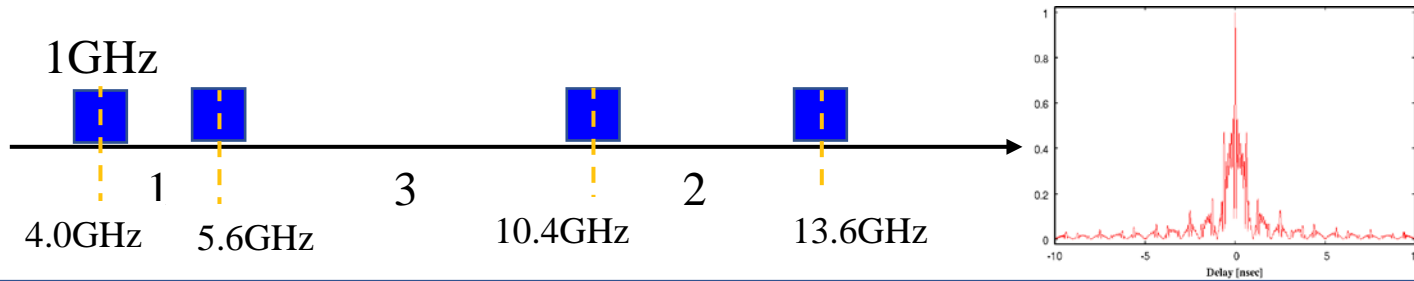


関戸衛、岳藤一宏、氏原秀樹、近藤哲朗、宮内結花、堤正則、川合栄治、
長谷川新吾、小室純一、寺田健次郎、難波邦孝、高橋留美、
岡本慶大、青木哲郎、池田貴俊 (NICT)
渡部謙一、鈴山智也 (産総研)

GALA-V Project Overview

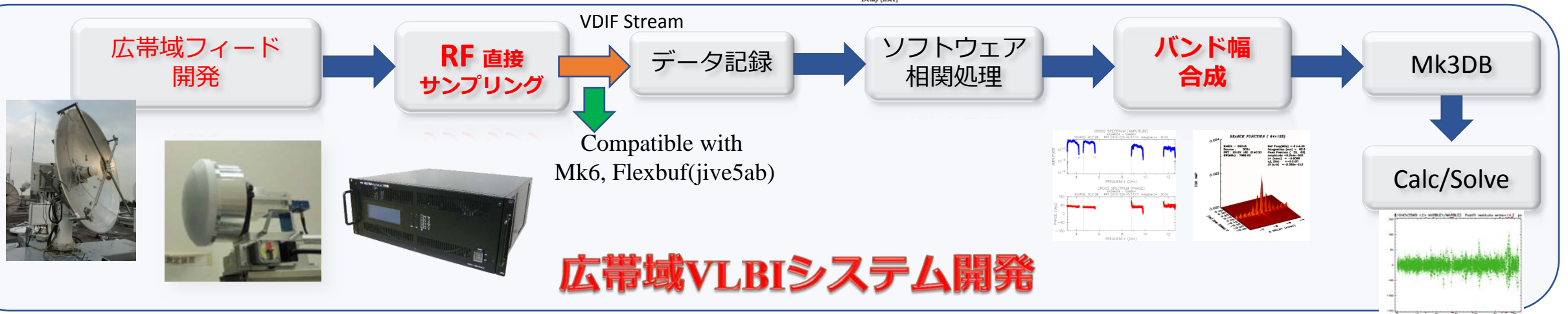
小型広帯域VLBI観測による周波数比較

- 観測周波数： 3-14 GHz (VGOS Compatible)
- データ取得： 4 band (1024 MHz width)
 - 周波数配列: $F_c=4.0\text{GHz}, 5.6\text{GHz}, 10.4\text{GHz}, 13.6\text{GHz}$
 - 有効帯域幅： 3.8GHz (10 times more than Conventional)



$$\tau_{21} = \tau_{13} - \tau_{23}$$

併合遅延を利用



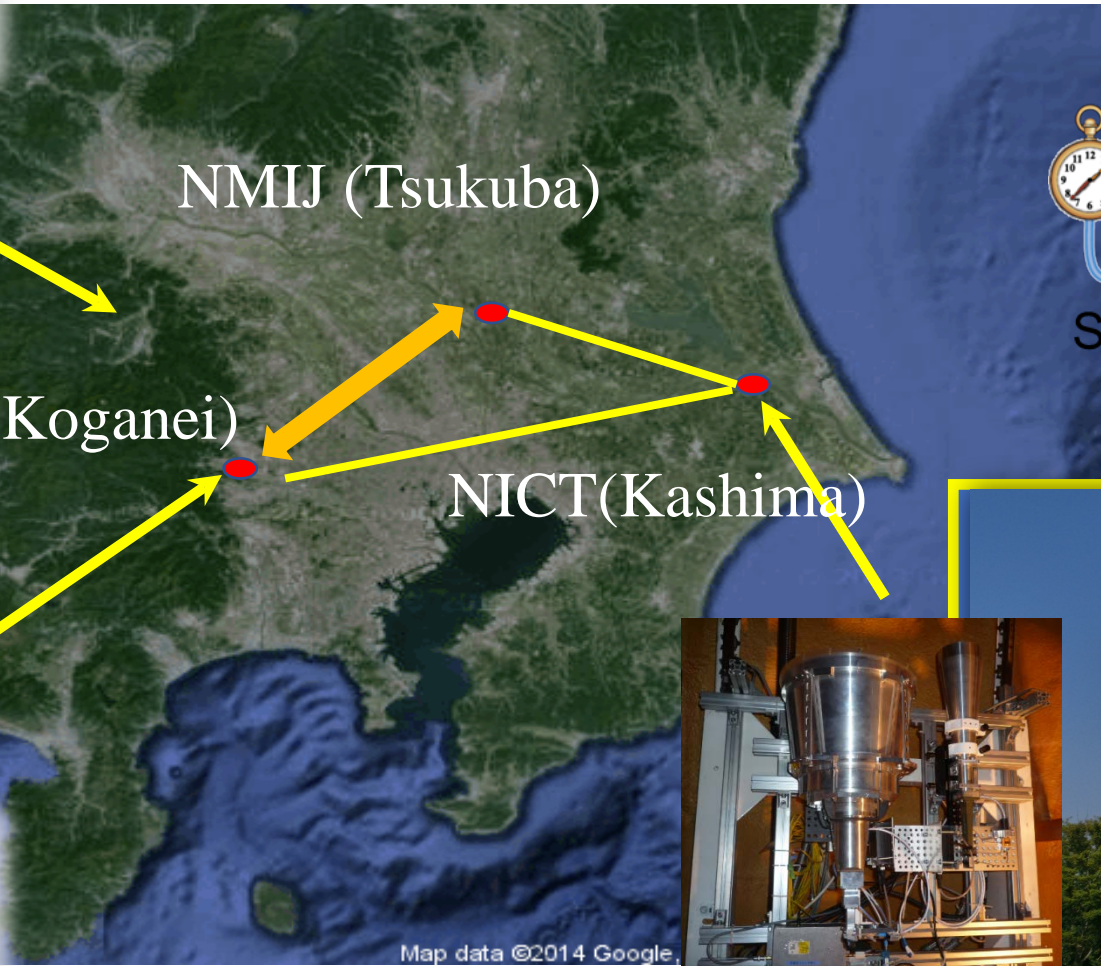
広帯域観測VLBI局



MARBLE1 (2.4m)



MARBLE2(2.4m)



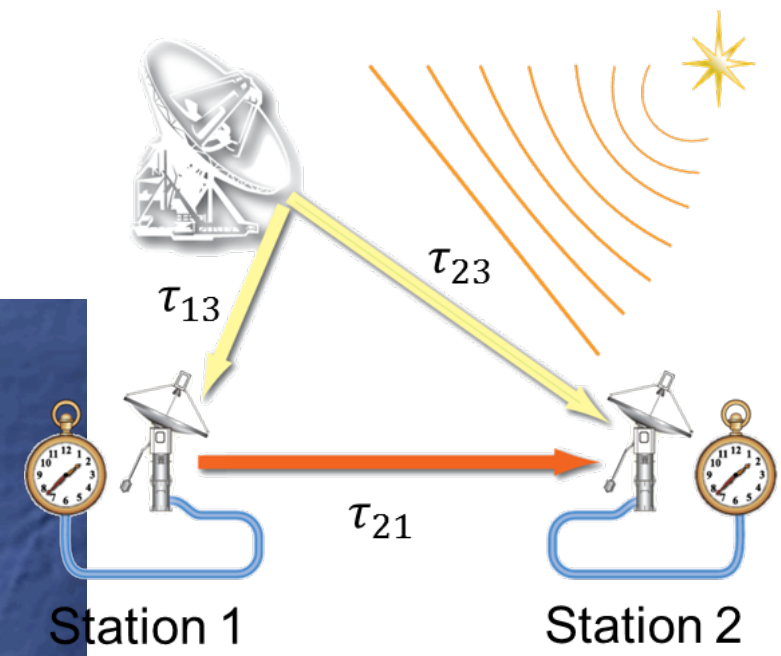
**NINJA Feed
For Marble**



**Broadband
NINJA Feed**

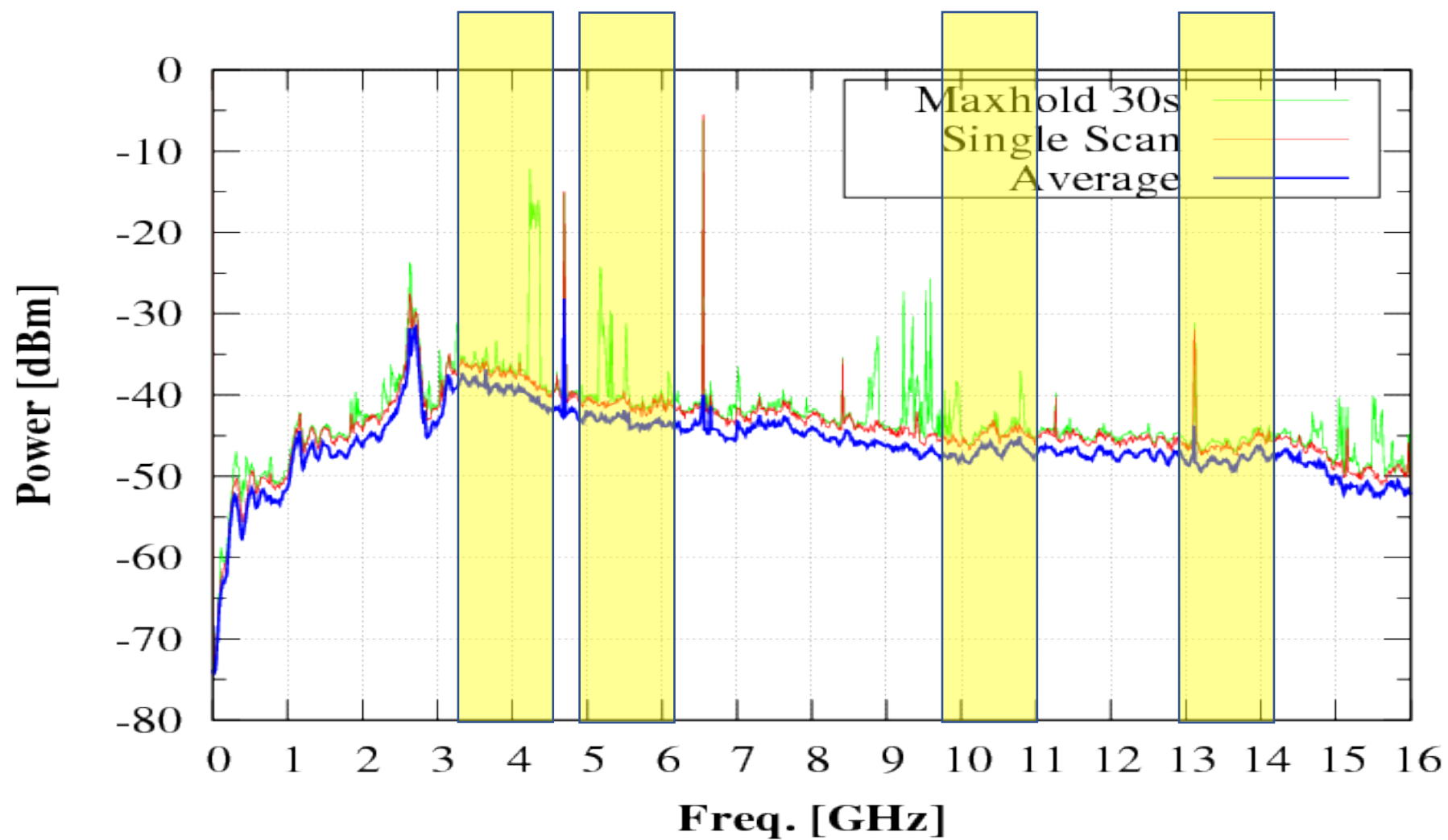


Kashima 34m



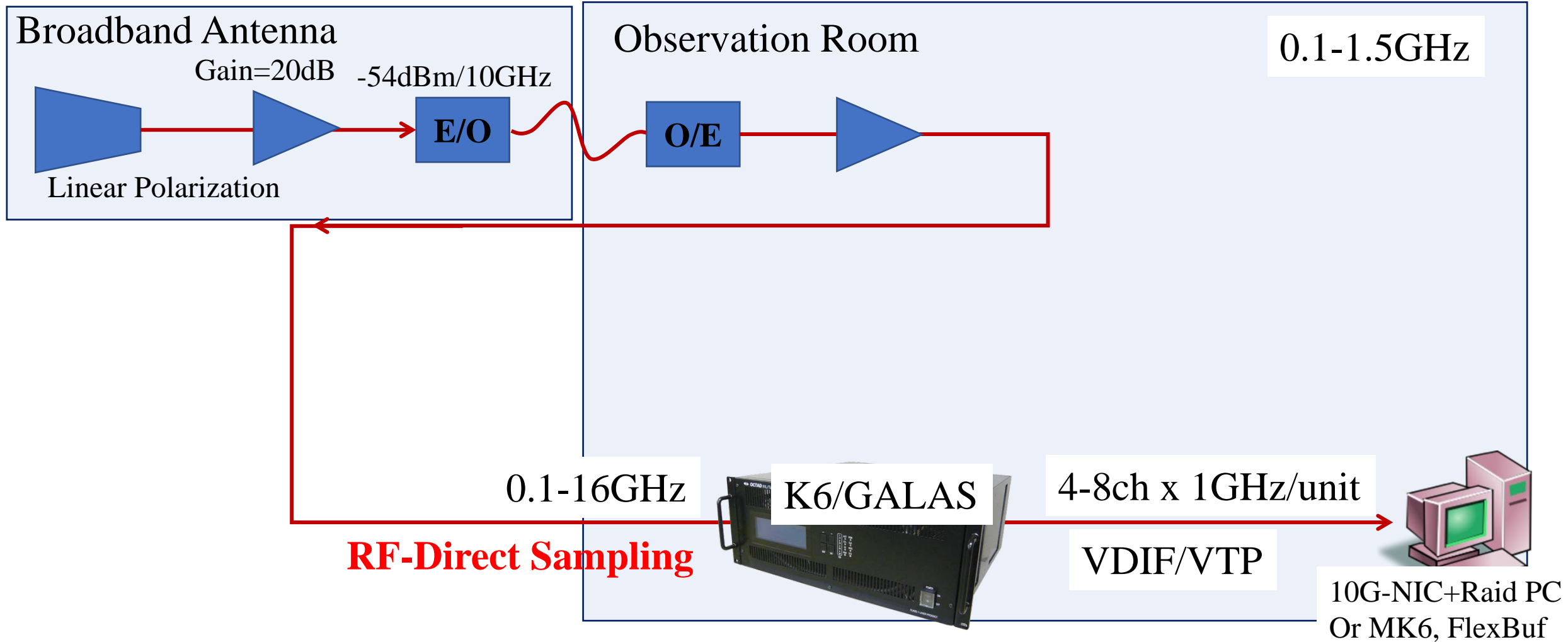
$$\tau_{21} = \tau_{13} - \tau_{23}$$

鹿島34m広帯域アンテナ受信信号 スペクトル



信号伝送・データ取得系

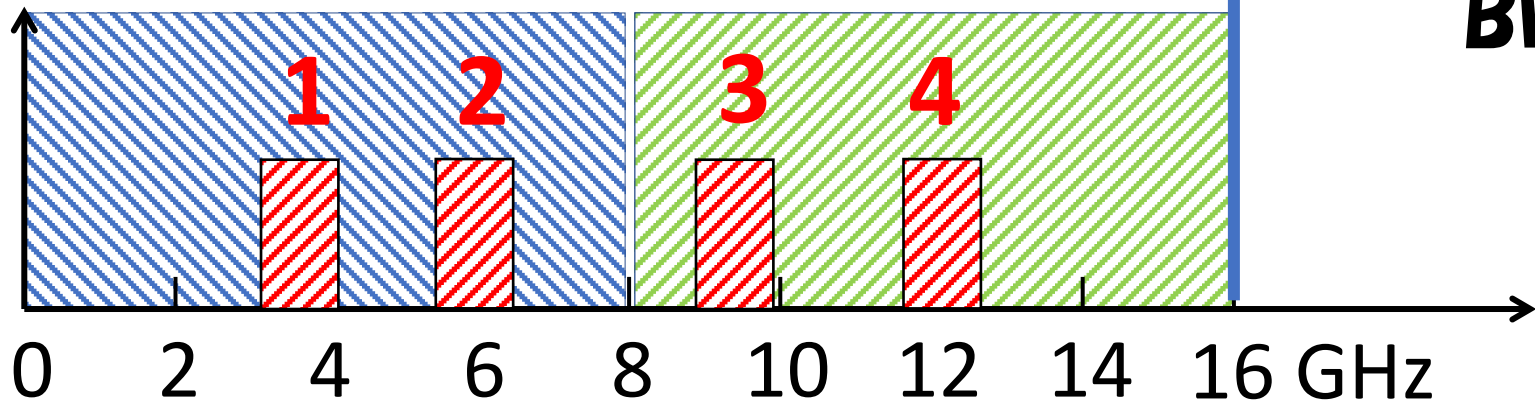
300k=-174 dBm/Hz
-74dBm/10GHz



ゼロ冗長間隔の周波数配列
→アンビギュイティなし
高精度遅延分解関数

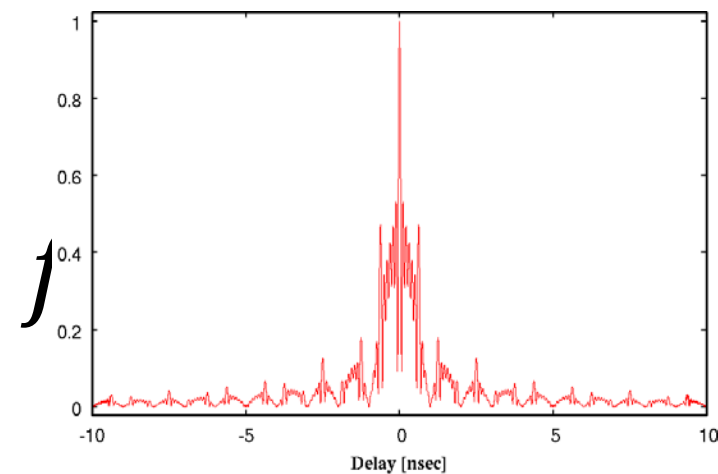


デジタルフィルタによる周波数制限



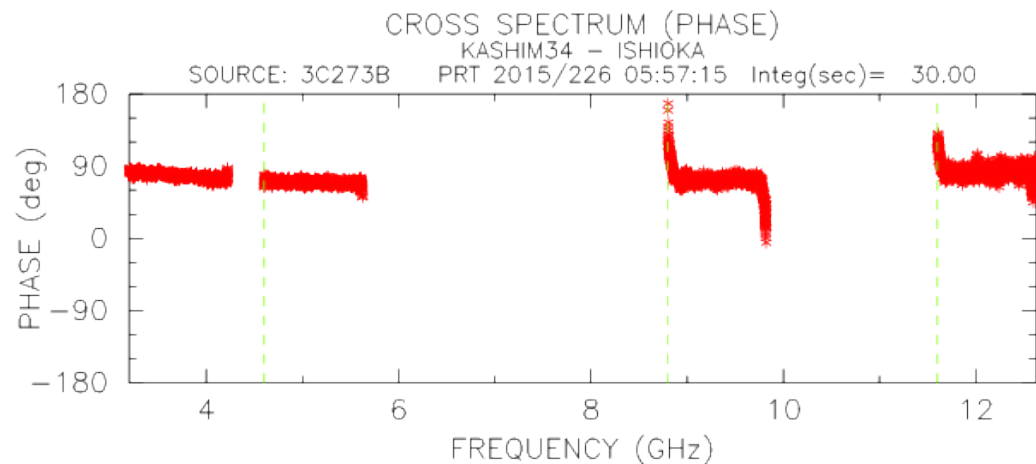
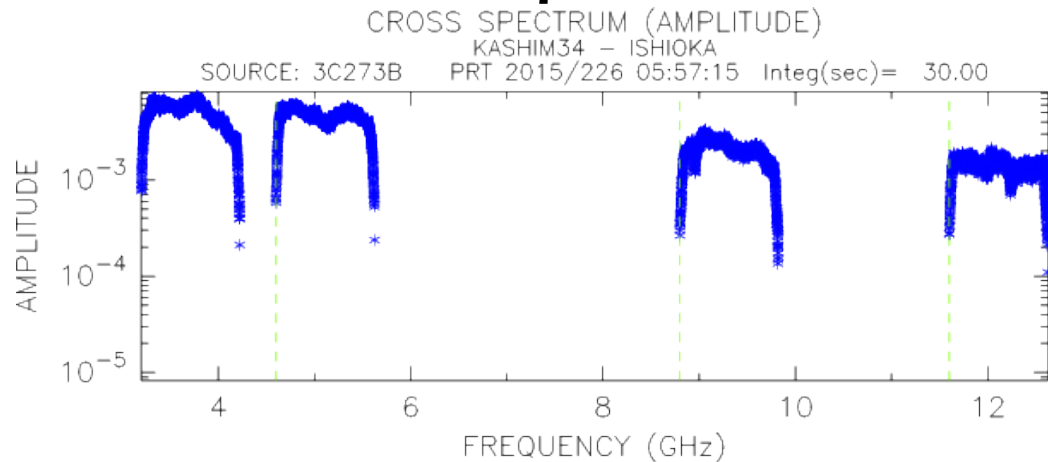
Lower Edge= 3.2, 4.8, 8.8, 11.6GHz

Direct Sampling
BW 1024MHz each

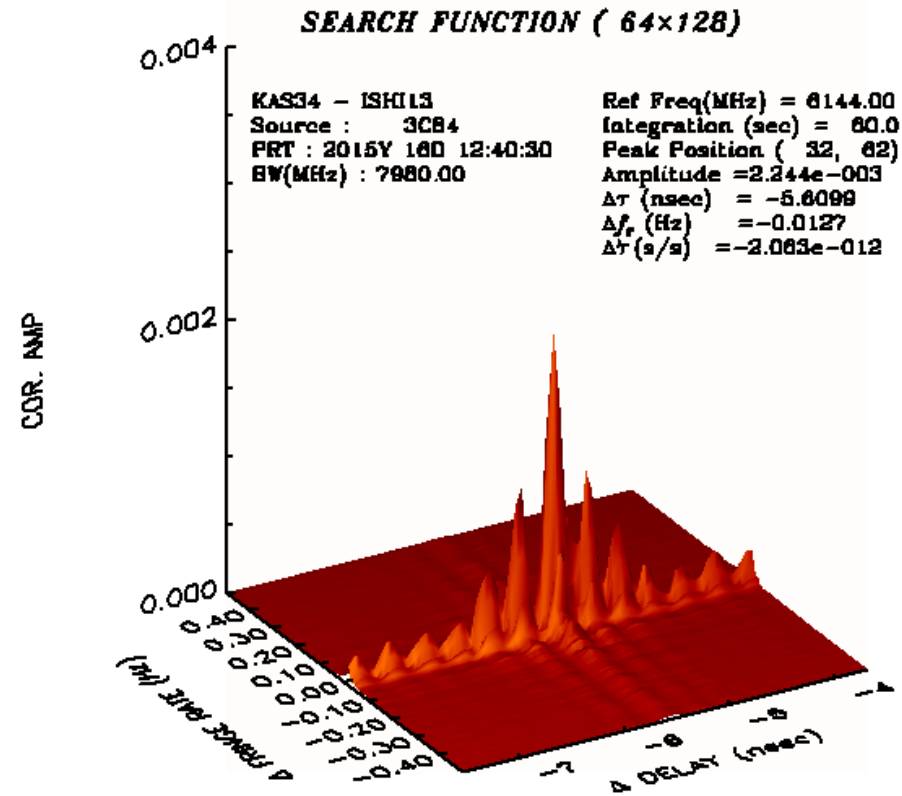


Full Bandwidth Synthesis #1-# (6-14GHz) by Phase Calibration with Radio Source

Cross Spectrum



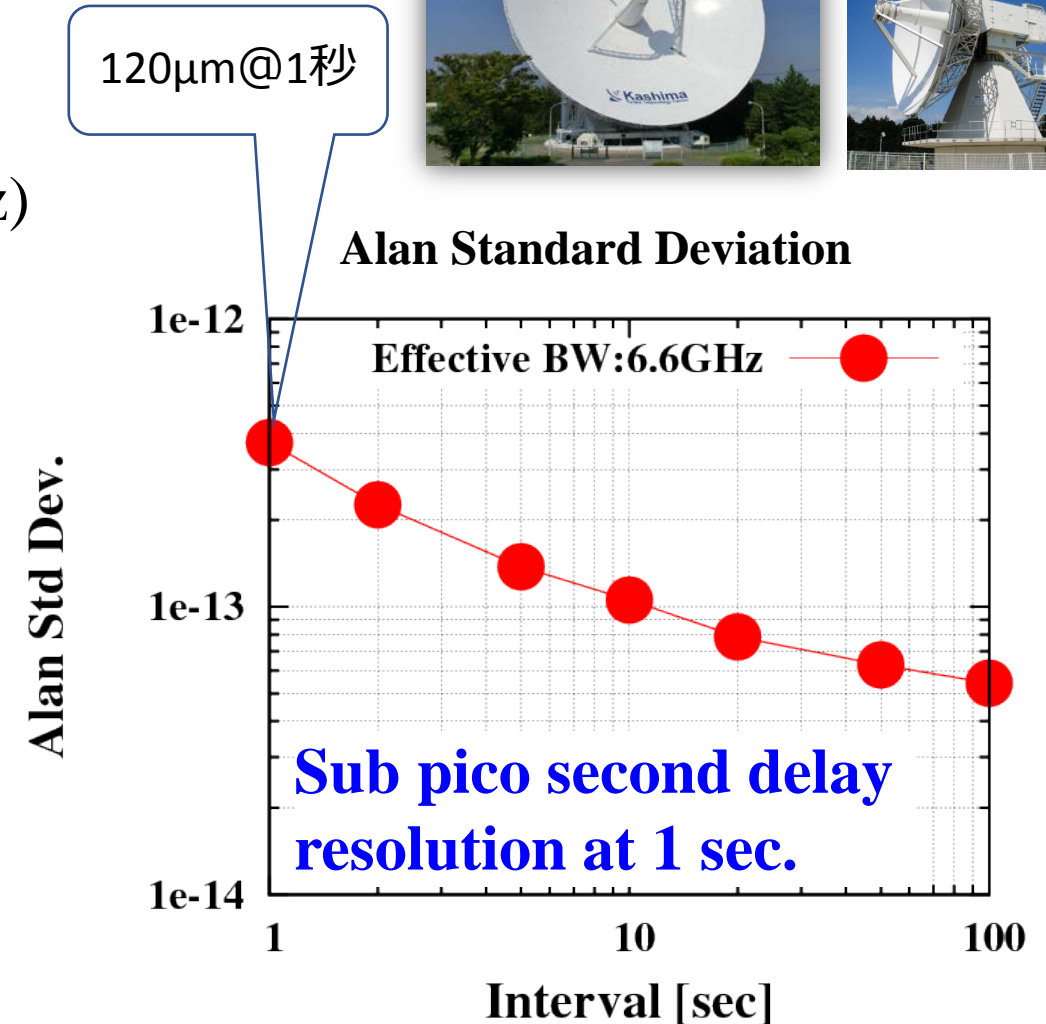
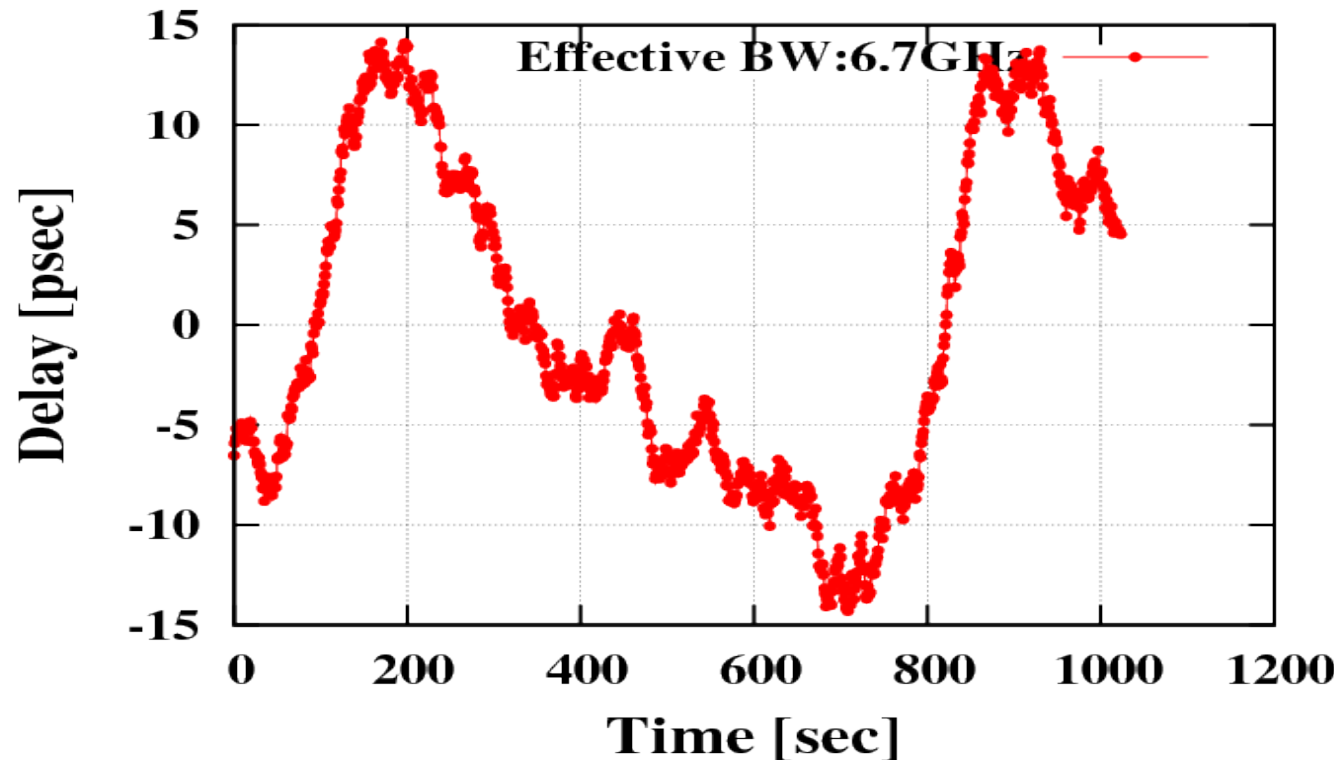
Delay Resolution Function



Delay Behavior Broadband Group Delay (3.2-12.6GHz) Kashima34 – Ishioka 13m



Exp. on 14 Aug.2015,
Freq. array=(Lower Edge=3.2, 4.8, 8.8, 11.6GHz)



‘Node-Hub’ スタイルの 測地VLBI

- 併合遅延の関係を使って、小型アンテナ間の遅延量を算出(点源を仮定).

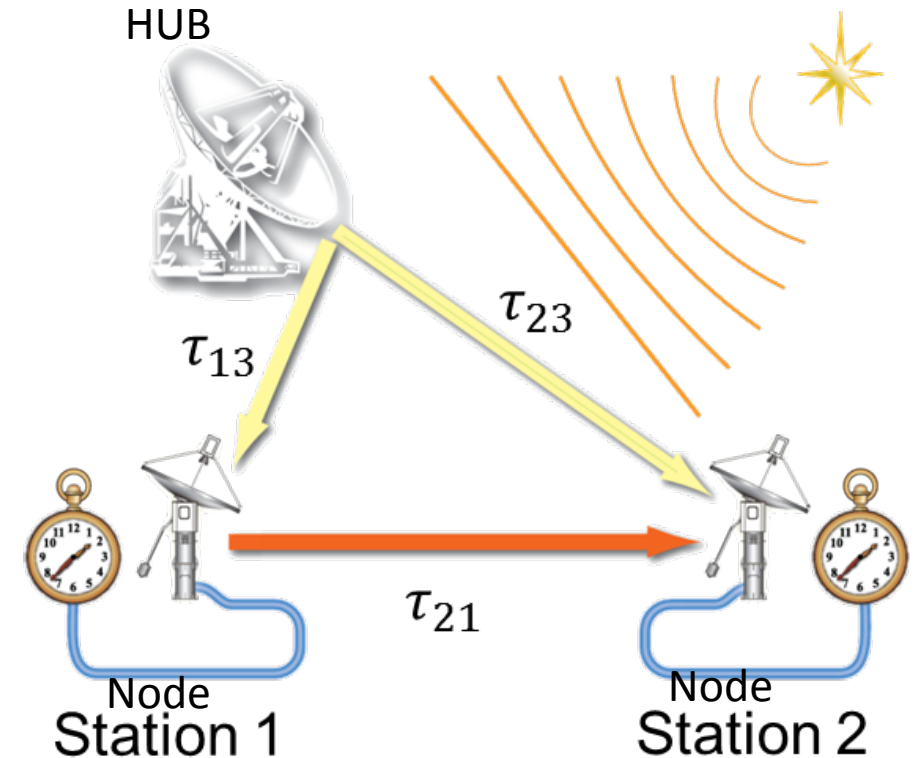
$$\tau_{21}(t_1) = \tau_{23}(t_1) - \tau_{13}(t_1) - \tau_{13}(t_1)\tau_{12}$$

- **小型アンテナの利点:**

- 高速な駆動と少ない構造変形
- 大型アンテナの影響をキャンセル
- 安いコスト

- **小型アンテナの不利点:**

- Lower Sensitivity, ←大型アンテナとの
共同観測で対処



VLBIアンテナの変形

熱変形： IERS Conventions2010

Axel Nothnagel

J. Geod. (2009),83:787-792

鋼材、コンクリートの
熱膨張率 $\sim 1e-5/K$

年間の高さ変動

50mクラス 2cm

30mクラス 4-6mm

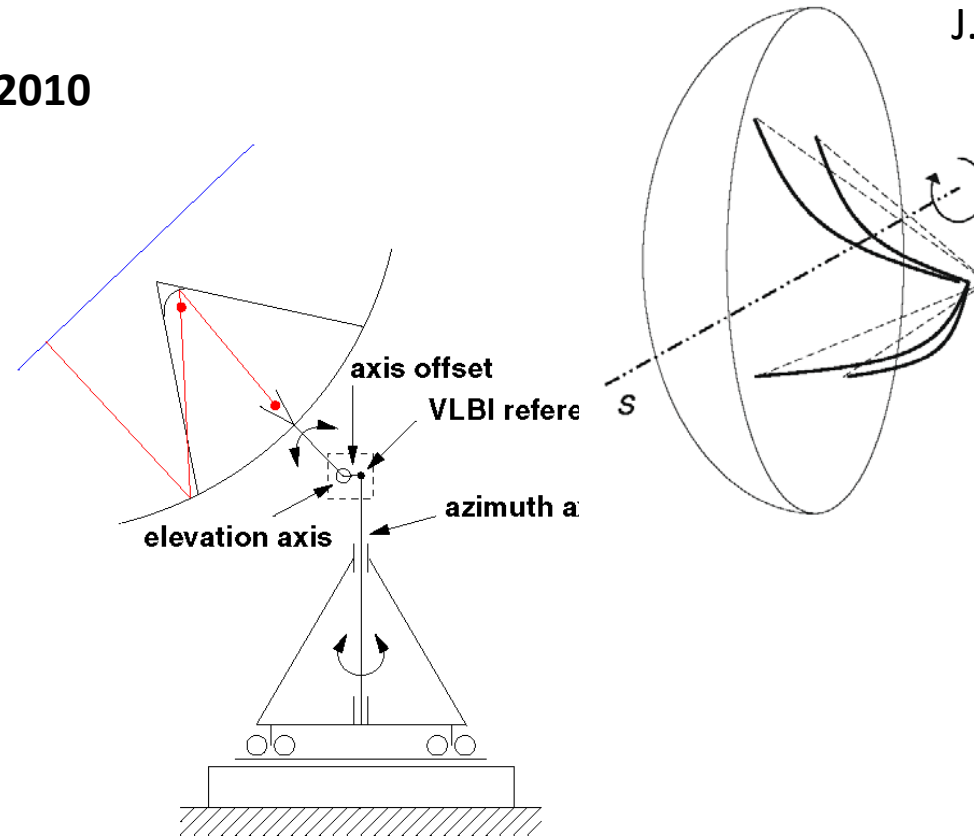


Fig. 1 Signal path in a Gregorian radio telescope. The blue line is a plane wave front at an arbitrary distance from the elevation axis, which can be seen as a reference plane. The red line is an example for a signal path through the primary and secondary foci (red dots), i.e., the focal points

重力変形：イタリアMedicina32局

Pierguido Sarti · C. Abbondanza · L. Vittuari

J. Geod. (2009),83:1115-1126

Path Length 仰角変化分

$\Delta L \sim 2\text{cm}$ @EL=0-90 deg

重力変形：ドイツ Effersburg100局

T.Artz, A.Springer, A.Nothnagel

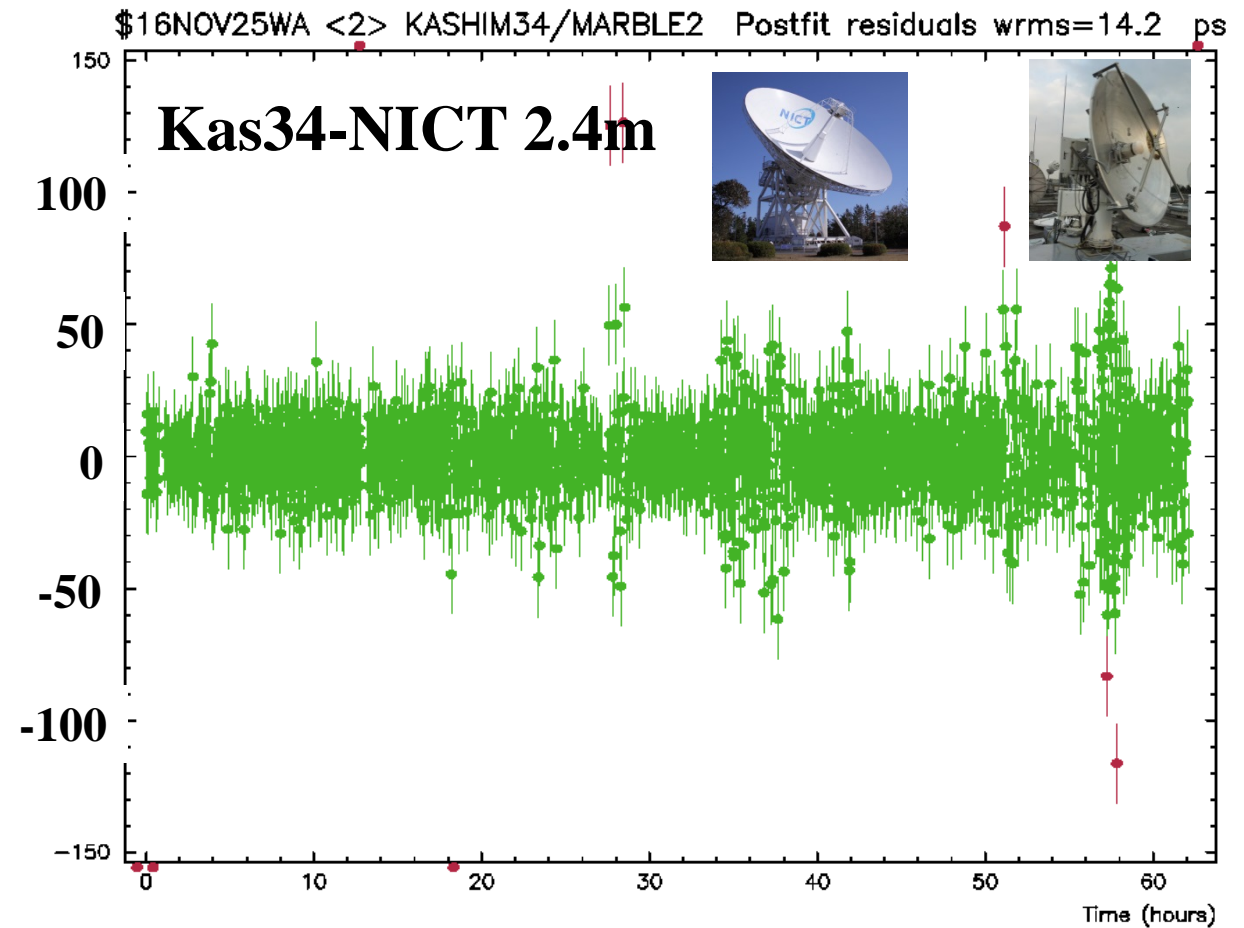
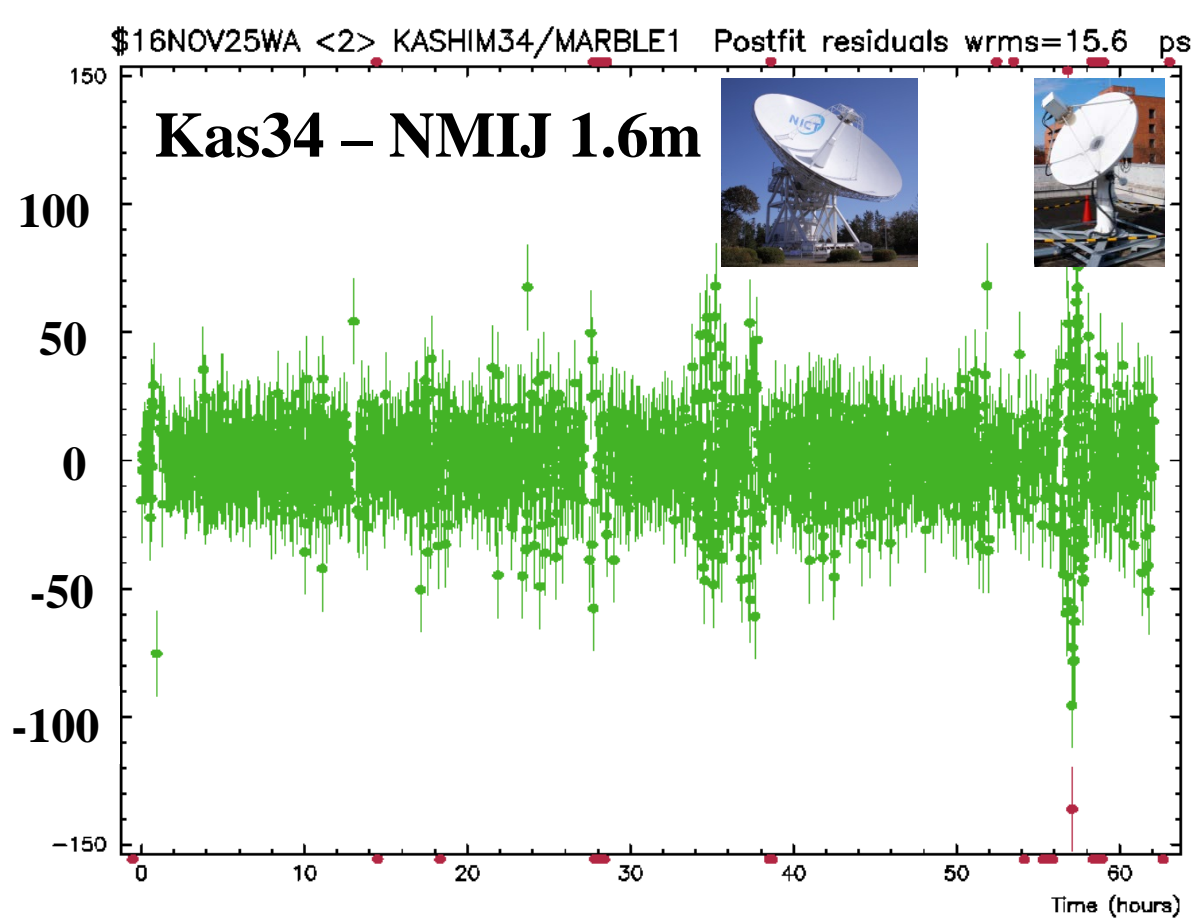
J. Geod. (2014),88:1145-1161

Path Length 仰角変化分

$\Delta L \sim 8.7\text{cm}$ @EL=7.5-90deg

広帯域 (5.4-11G Hz) VLBI基線 解析遅延残差

WRMS Delay Residual ~ OA: 15.6ps OB: 14.2 ps



広帯域 (5.4-11G Hz) VLBI 基線 解析遅延残差

$$\tau_{21}(t_1) = \tau_{23}(t_1) - \tau_{21}(t_1) - \tau_{21}(t_1)\tau_{23}$$

WRMS Delay Residual ~ AB: 14.2 psec

O:Kashim34

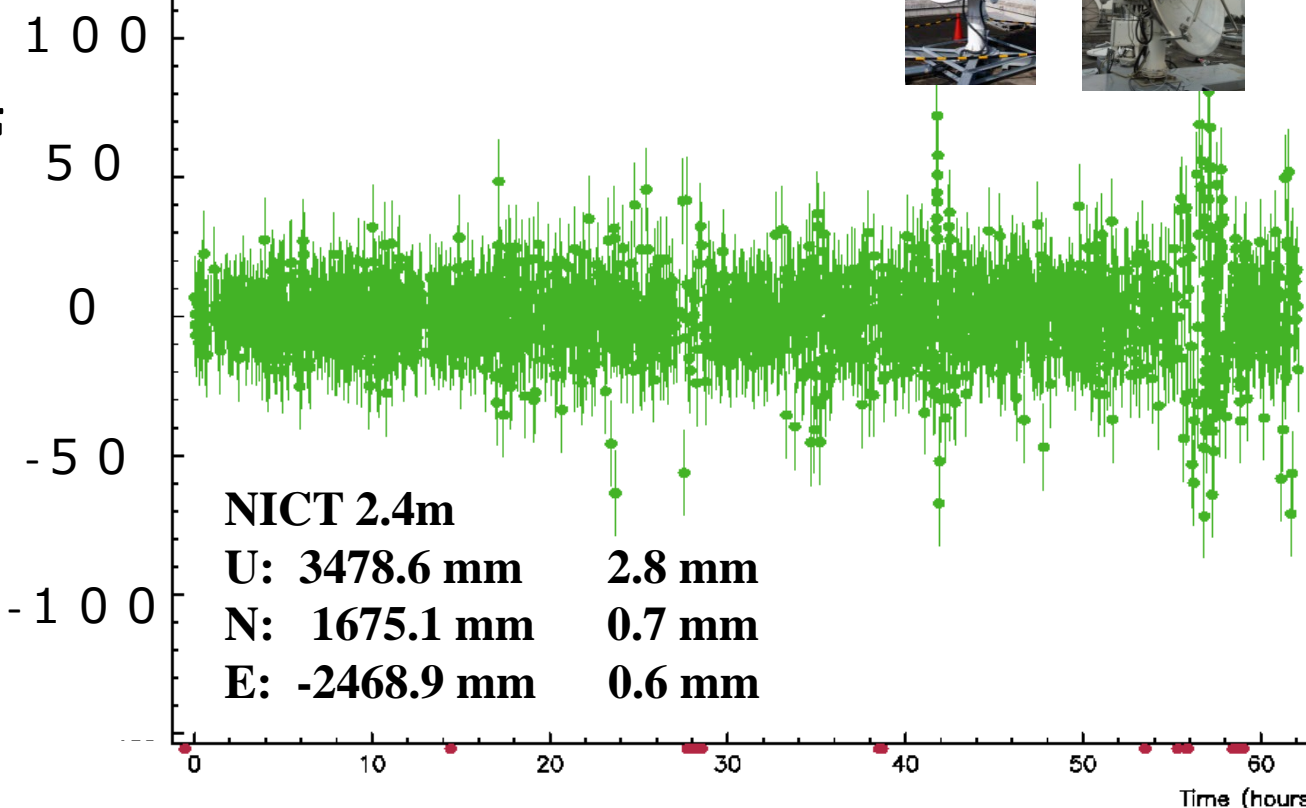
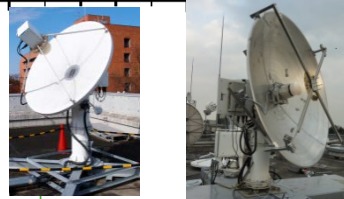
A:MARBLE1 NMIJ 1.6m

B:MARBLE2 NICT 2.4m

遅延解析残差 [psec]

\$16NOV25WB <2> MARBLE1/MARBLE2 Postfit residuals wrms=14.2 ps

NICT 2.4m - NMIJ 1.6m

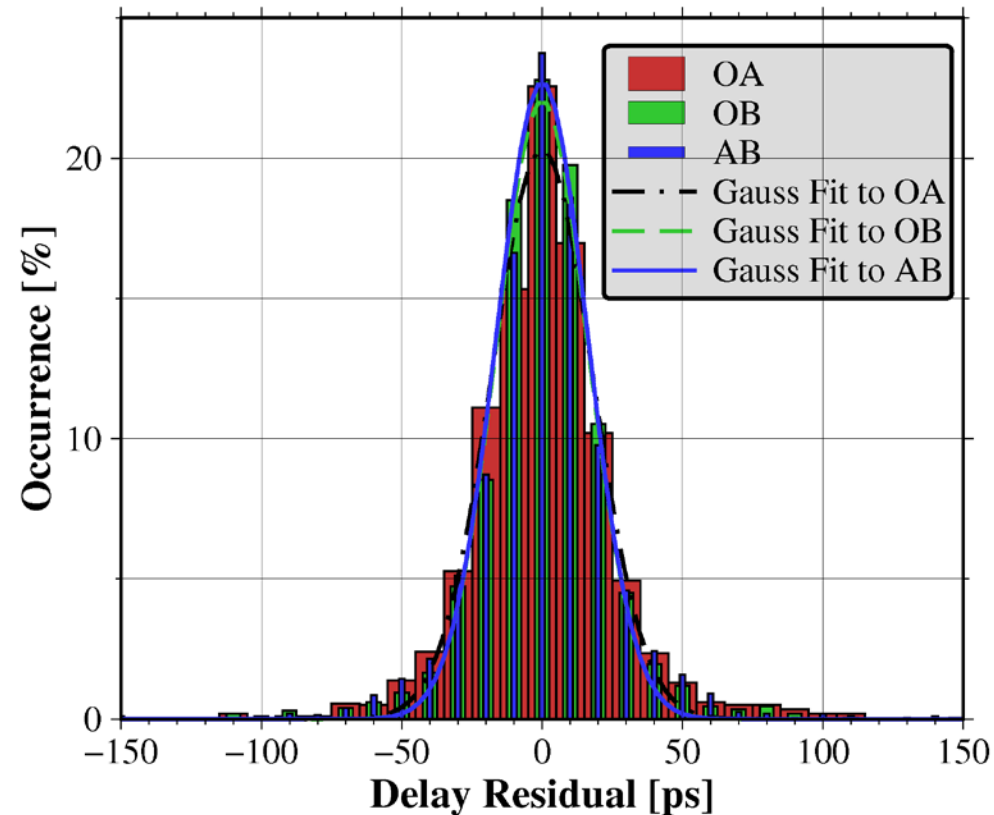


NICT 2.4m

U: 3478.6 mm 2.8 mm

N: 1675.1 mm 0.7 mm

E: -2468.9 mm 0.6 mm





2.4m Diameter



1.6m Diameter

遅延精度の検証

広帯域(small-small)

V.S.

従来方式 8180-8680MHz

S/X 500MHz(T2 session)



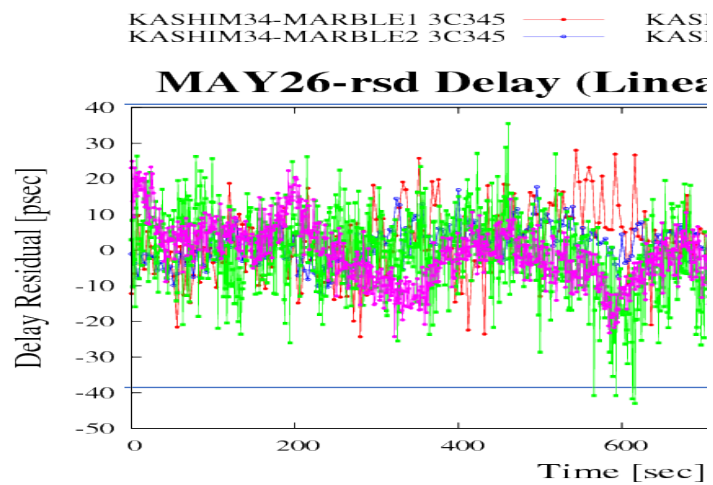
3C273B

従来方式

広帯域

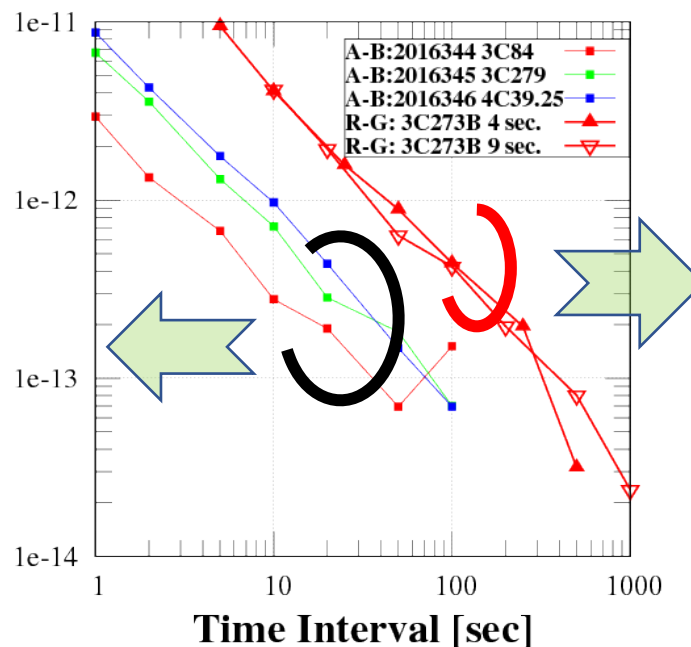
4C39.25

'small-small' baseline computed by closure

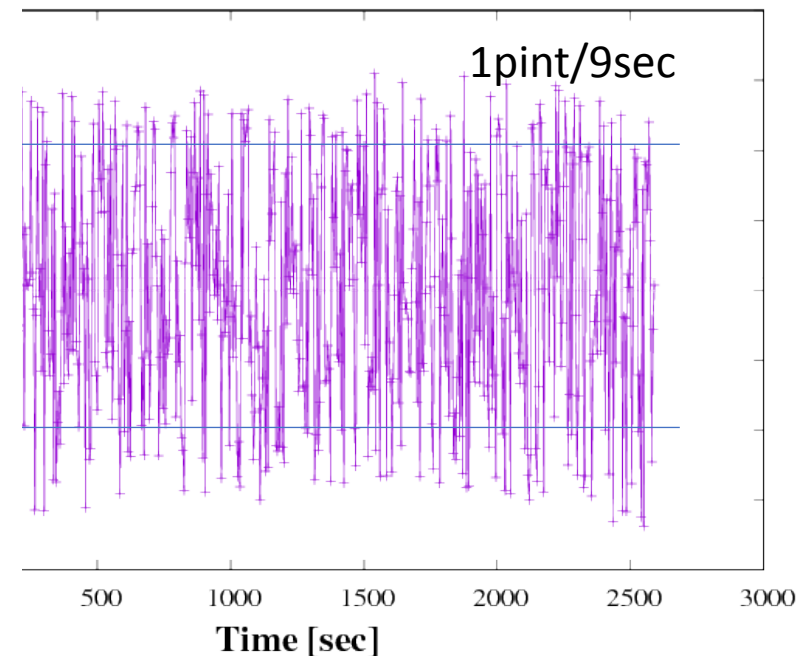


1pint/1sec



Alan Standard Dev. [sec]



"gtest-4s.dat" u 1:(\$2)*a
Delay (4th Poly-fit removed) Data



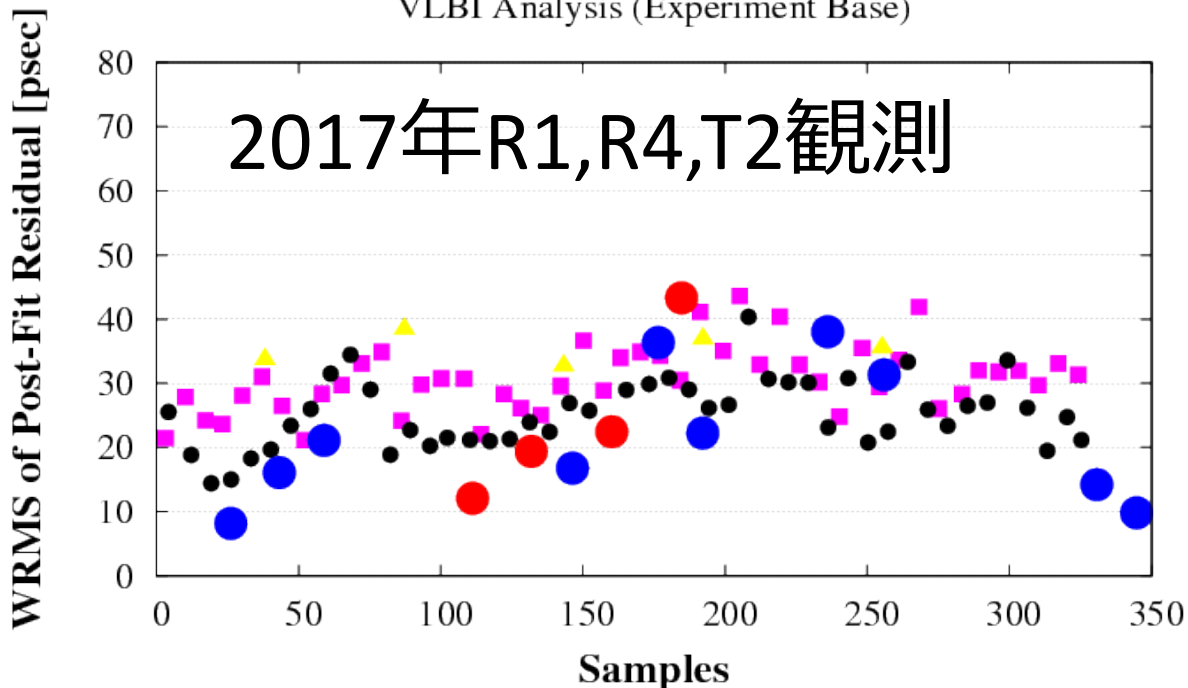
IVSの国際観測(R1,R4,T2)との残差比較

- | | | | | | |
|---------|---|----------------|---|---|---|
| 2017 R1 | ■ | GALA-V 2016 AB | ● |  |  |
| 2017 R4 | ● | GALA-V 2017 AB | ● | | |
| 2017 T2 | ▲ | | | | |

- | | | | | | |
|------------------|---|-------------------|---|------------------|---|
| BADARY-ISHIOKA | ■ | ISHIOKA-KATH12M | ▲ | ISHIOKA-WARK12M | ○ |
| FORTLEZA-ISHIOKA | ○ | ISHIOKA-KOKEE | ▲ | ISHIOKA-WETTZ13N | ○ |
| HART15M-ISHIOKA | ● | ISHIOKA-MATERA | ▼ | ISHIOKA-WETTZELL | ○ |
| HARTRAO-ISHIOKA | ▲ | ISHIOKA-MEDICINA | ◇ | ISHIOKA-YARRA12M | ○ |
| HOBART12-ISHIOKA | ▲ | ISHIOKA-NY ALES20 | ◇ | ISHIOKA-YEBES40M | ○ |
| HOBART26-ISHIOKA | ▲ | ISHIOKA-ONSALA60 | ◇ | ISHIOKA-ZELENCHK | ○ |
| ISHIOKA-KASHIM11 | ○ | ISHIOKA-SEJONG | ◇ | GALA-V 2016 AB | ● |
| ISHIOKA-KASHIM34 | ○ | ISHIOKA-SESHAN25 | ◇ | GALA-V 2017 AB | ● |

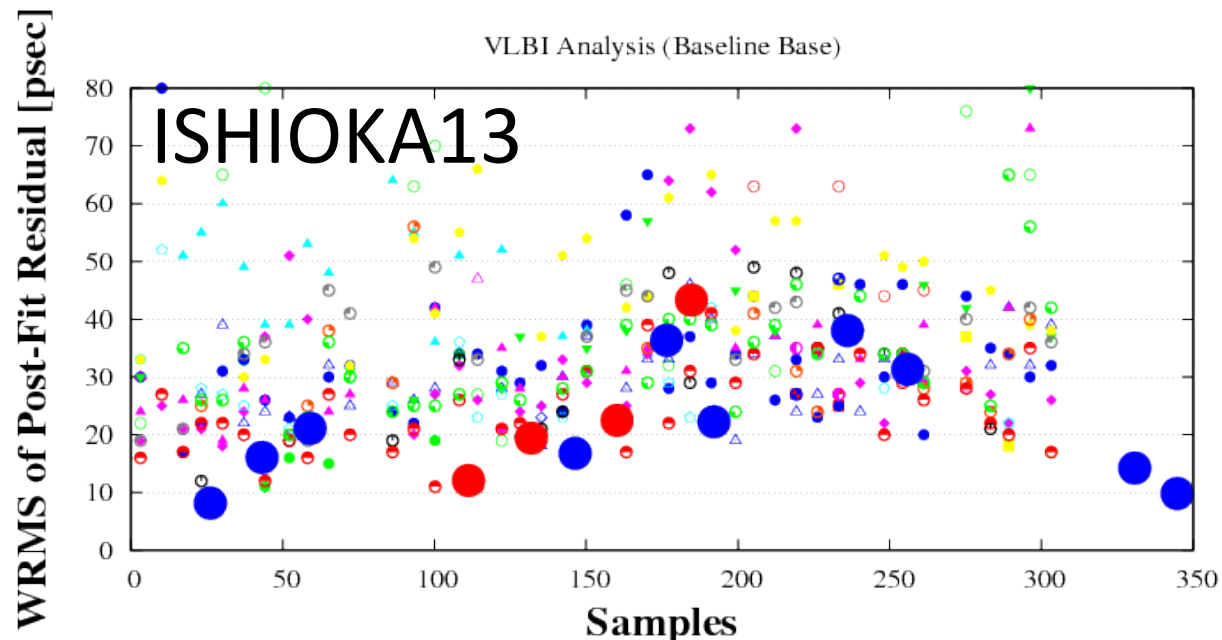
VLBI Analysis (Experiment Base)

2017年R1,R4,T2観測



VLBI Analysis (Baseline Base)

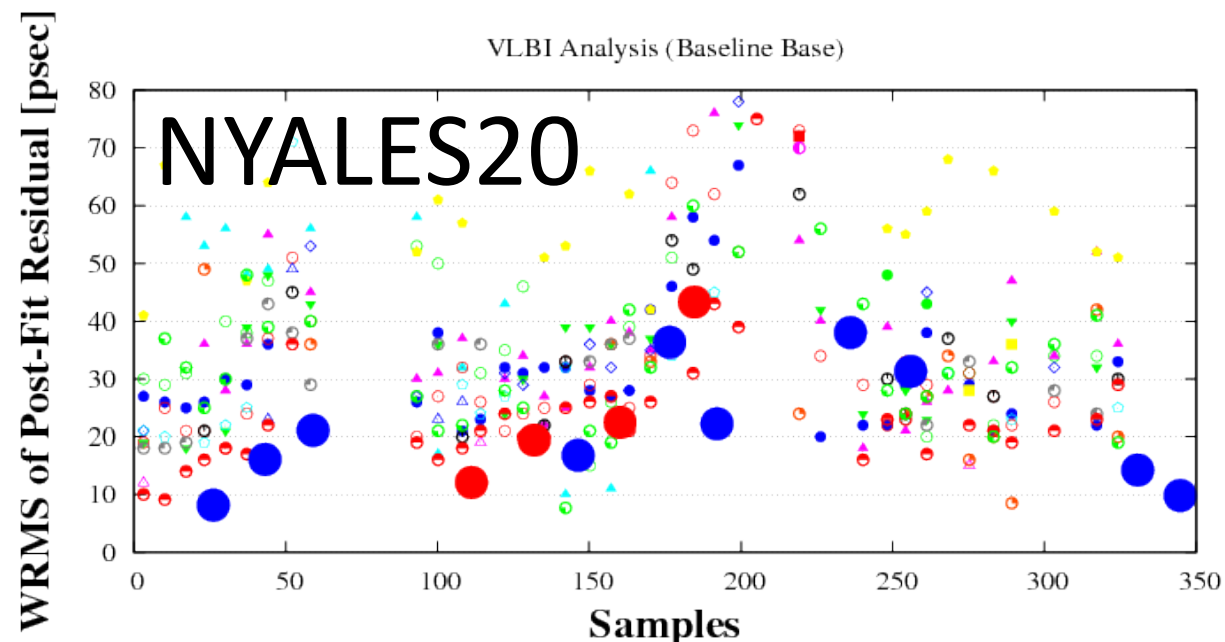
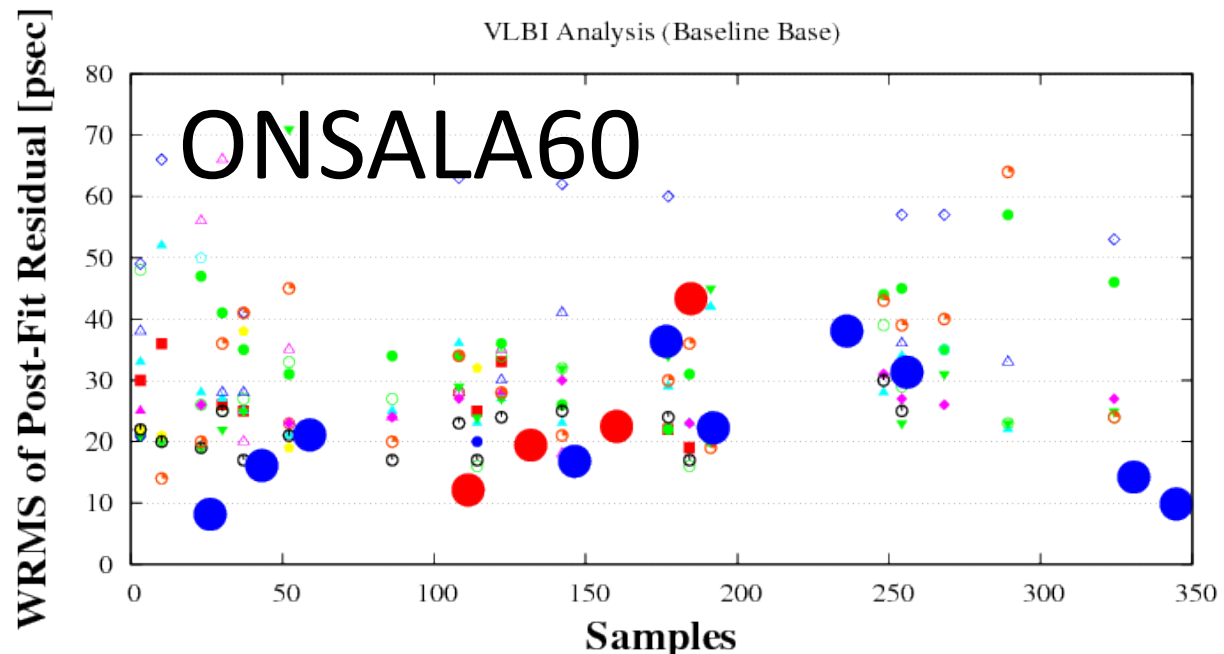
ISHIOKA13



IVSの地球回転観測R1との残差比較

- | | | | | | |
|-------------------|---|-------------------|---|-------------------|---|
| FORTLEZA-ONSALA60 | ■ | KATH12M-ONSALA60 | ● | ONSALA60-WETTZ13N | ● |
| HART15M-ONSALA60 | ○ | KOKEE-ONSALA60 | △ | ONSALA60-WETTZELL | ○ |
| HARTRAO-ONSALA60 | ● | MATERA-ONSALA60 | △ | ONSALA60-YARRA12M | ○ |
| HOBART12-ONSALA60 | △ | NYALES20-ONSALA60 | ▽ | GALA-V 2016 AB | ● |
| ISHIOKA-ONSALA60 | ▲ | ONSALA60-SEJONG | ◇ | GALA-V 2017 AB | ● |
| KASHIM11-ONSALA60 | ■ | ONSALA60-SESHAN25 | ◇ | | |
| KASHIM34-ONSALA60 | ○ | ONSALA60-WARK12M | ○ | | |

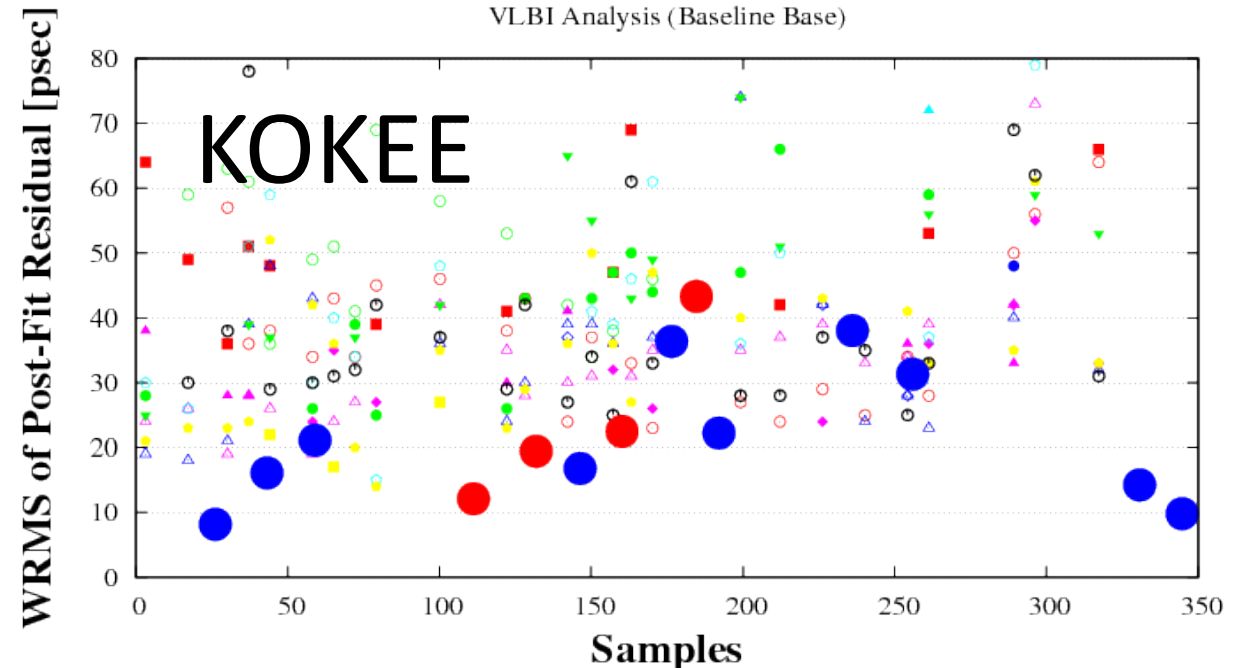
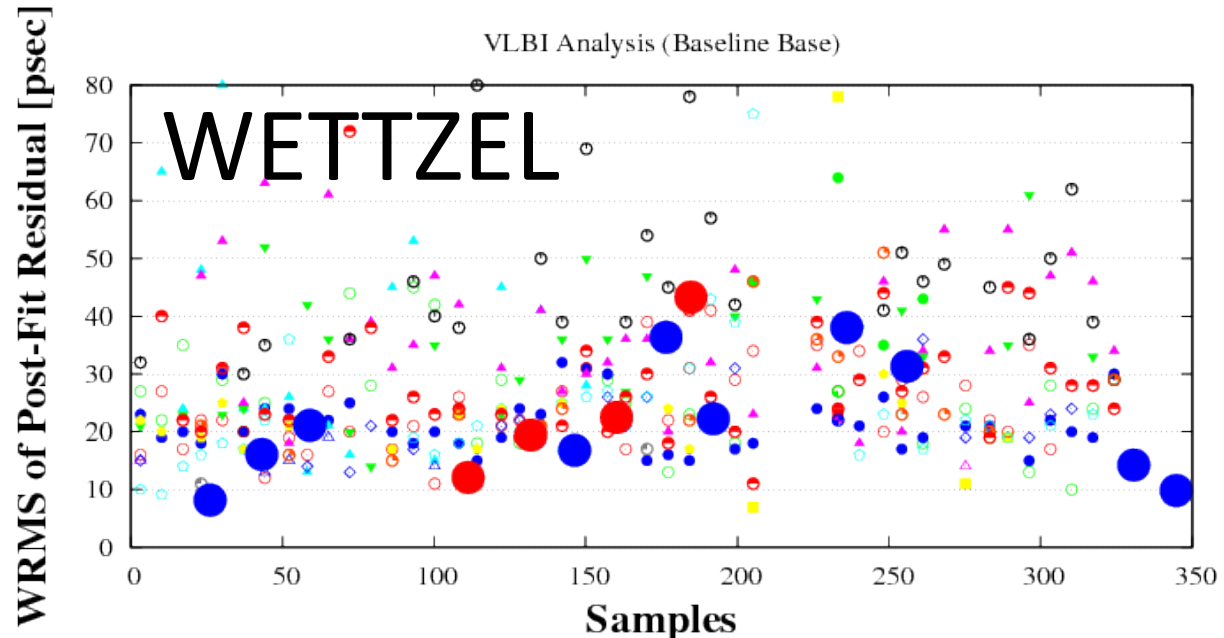
- | | | | | | |
|-------------------|---|-------------------|---|-------------------|---|
| BADARY-NYALES20 | ■ | KASHIM34-NYALES20 | △ | NYALES20-WARK12M | ○ |
| FORTLEZA-NYALES20 | ○ | KATH12M-NYALES20 | ▲ | NYALES20-WETTZ13N | ○ |
| HART15M-NYALES20 | ● | KOKEE-NYALES20 | ▽ | NYALES20-WETTZELL | ○ |
| HARTRAO-NYALES20 | △ | MATERA-NYALES20 | ◇ | NYALES20-YARRA12M | ○ |
| HOBART12-NYALES20 | ▲ | MEDICINA-NYALES20 | ◇ | NYALES20-YEBES40M | ○ |
| HOBART26-NYALES20 | ■ | NYALES20-ONSALA60 | ○ | NYALES20-ZELENCHK | ○ |
| ISHIOKA-NYALES20 | ○ | NYALES20-SEJONG | ● | GALA-V 2016 AB | ● |
| KASHIM11-NYALES20 | ● | NYALES20-SESHAN25 | ○ | GALA-V 2017 AB | ● |



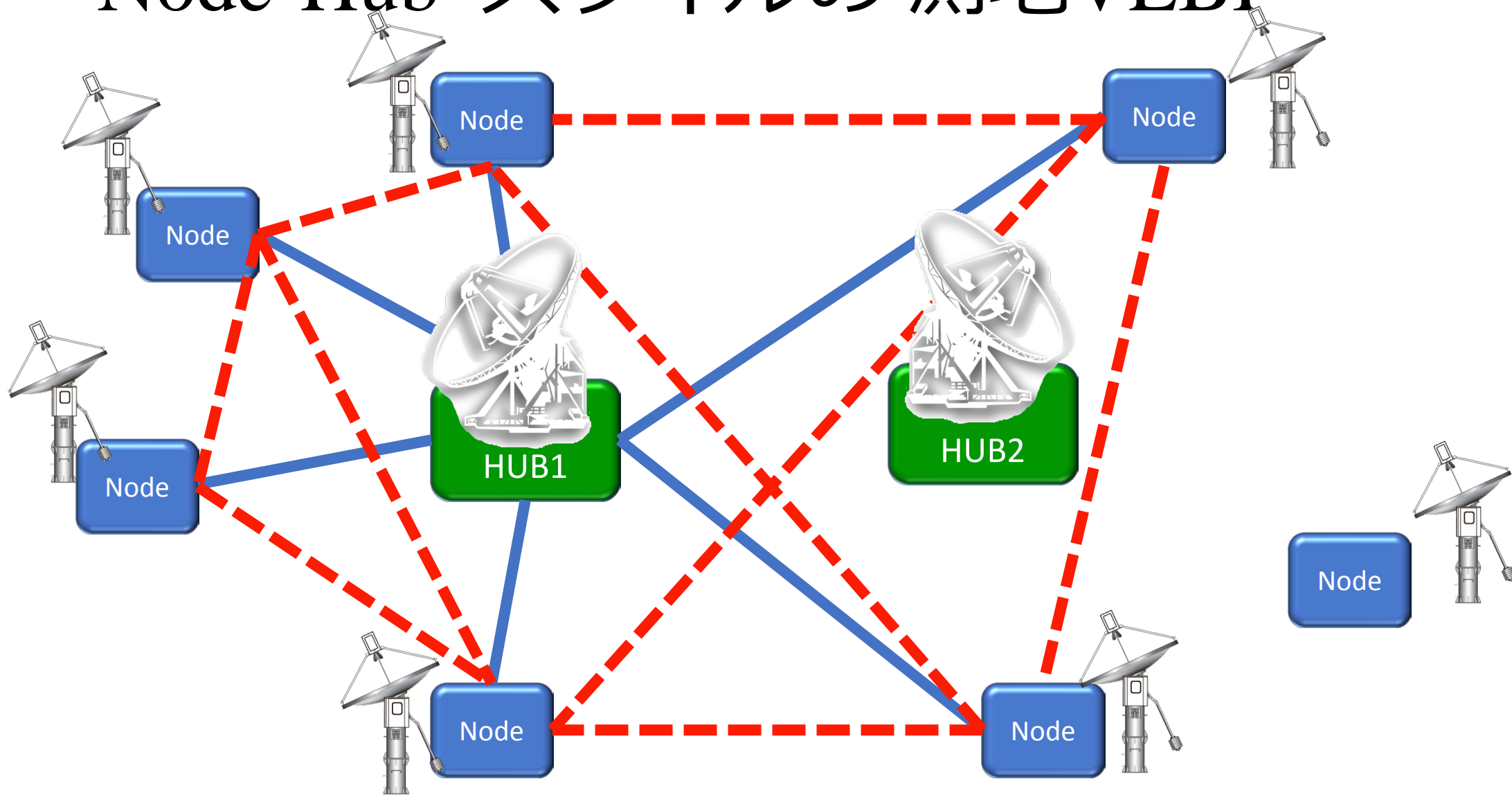
IVSの地球回転観測R1との残差比較

- | | | | |
|-------------------|---------------------|---------------------|---|
| BADARY-WETTZELL | ■ KASHIM34-WETTZELL | △ SESHAN25-WETTZELL | ○ |
| FORTLEZA-WETTZELL | ○ KATH12M-WETTZELL | ▲ WARK12M-WETTZELL | ○ |
| HART15M-WETTZELL | ● KOKEE-WETTZELL | ▼ WETTZELL-YARRA12M | ○ |
| HARTRAO-WETTZELL | ▲ MATERA-WETTZELL | ◇ WETTZELL-YEBES40M | ○ |
| HOBART12-WETTZELL | ▲ MEDICINA-WETTZELL | ● WETTZELL-ZELENCHK | ○ |
| HOBART26-WETTZELL | ▲ NYALES20-WETTZELL | ○ GALA-V 2016 AB | ● |
| ISHIOKA-WETTZELL | ○ ONSALA60-WETTZELL | ● GALA-V 2017 AB | ● |
| KASHIM11-WETTZELL | ● SEJONG-WETTZELL | ○ | ● |

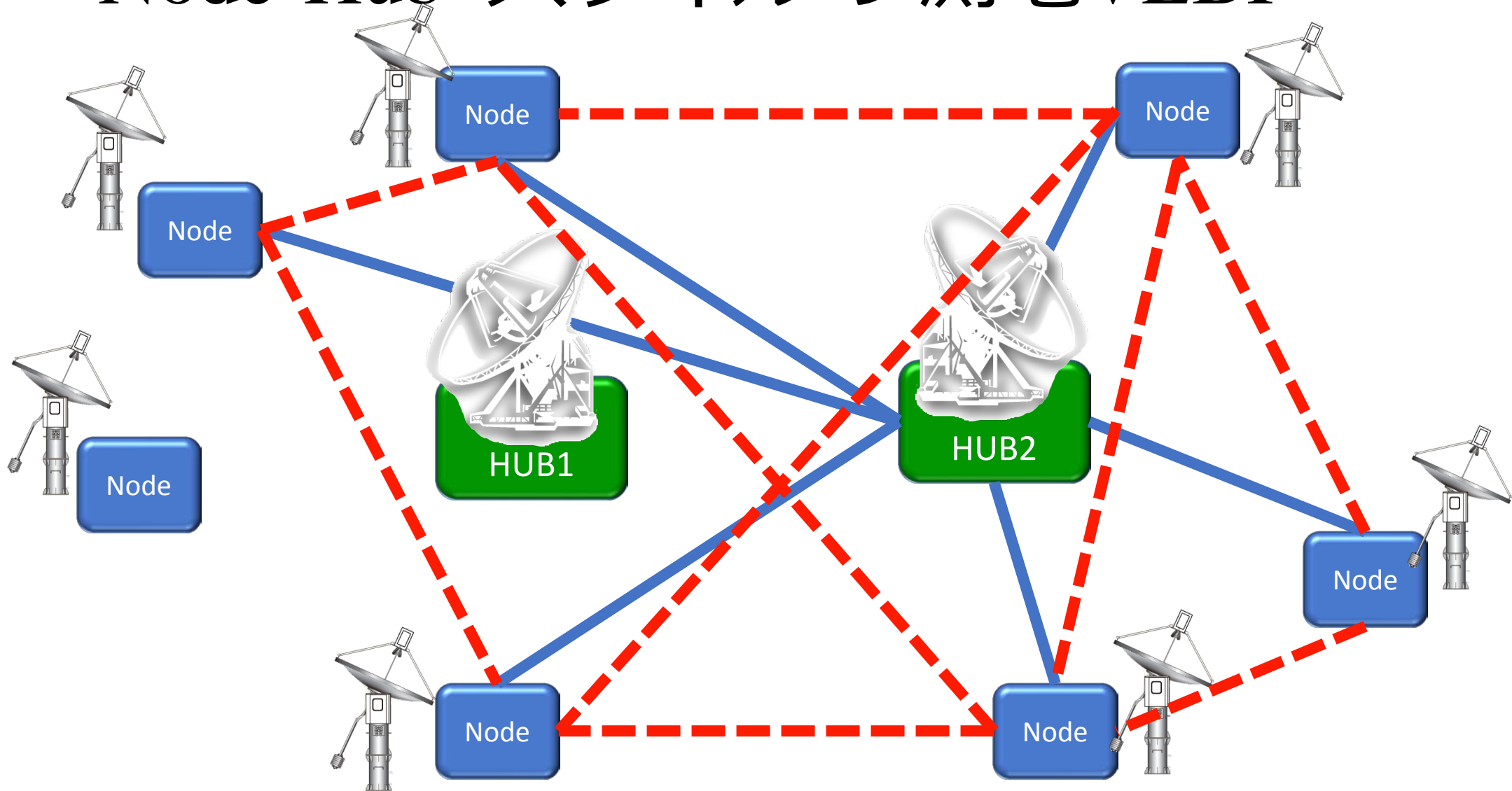
- | | | | |
|----------------|------------------|------------------|---|
| FORTLEZA-KOKEE | ■ KATH12M-KOKEE | ○ KOKEE-WARK12M | ◆ |
| HOBART12-KOKEE | ○ KOKEE-MATERA | ● KOKEE-WETTZ13N | ○ |
| HOBART26-KOKEE | ● KOKEE-NYALES20 | ▲ KOKEE-WETTZELL | ● |
| ISHIOKA-KOKEE | ▲ KOKEE-ONSALA60 | ▲ KOKEE-YARRA12M | ○ |
| KASHIM11-KOKEE | ▲ KOKEE-SEJONG | ▼ GALA-V 2016 AB | ● |
| KASHIM34-KOKEE | ■ KOKEE-SESHAN25 | ◇ GALA-V 2017 AB | ● |



‘Node-Hub’ スタイルの 測地VLBI



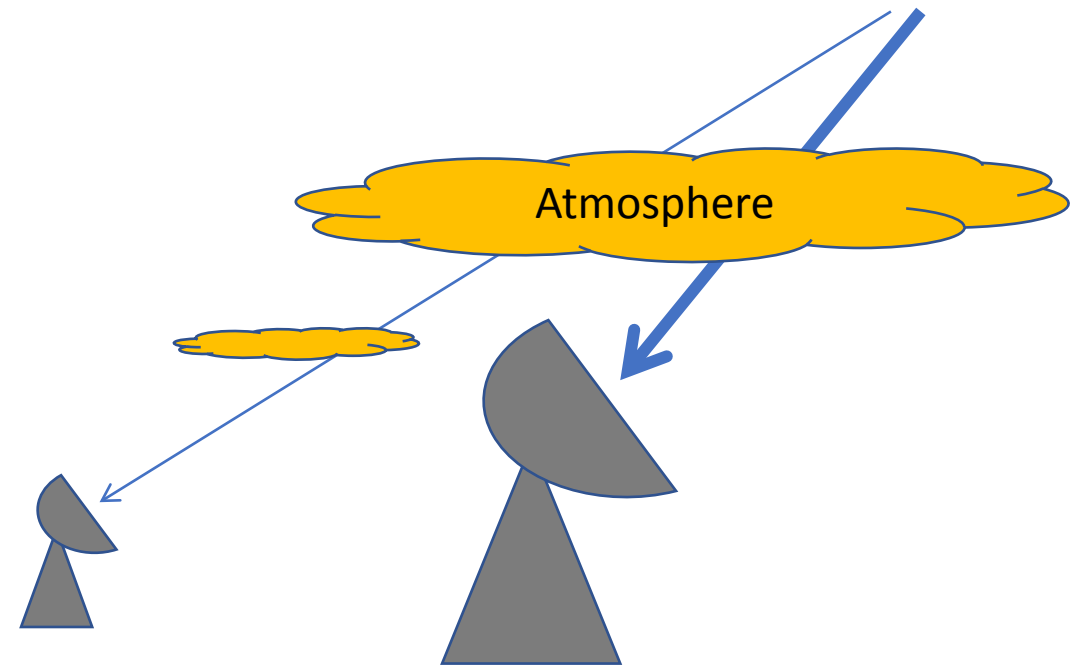
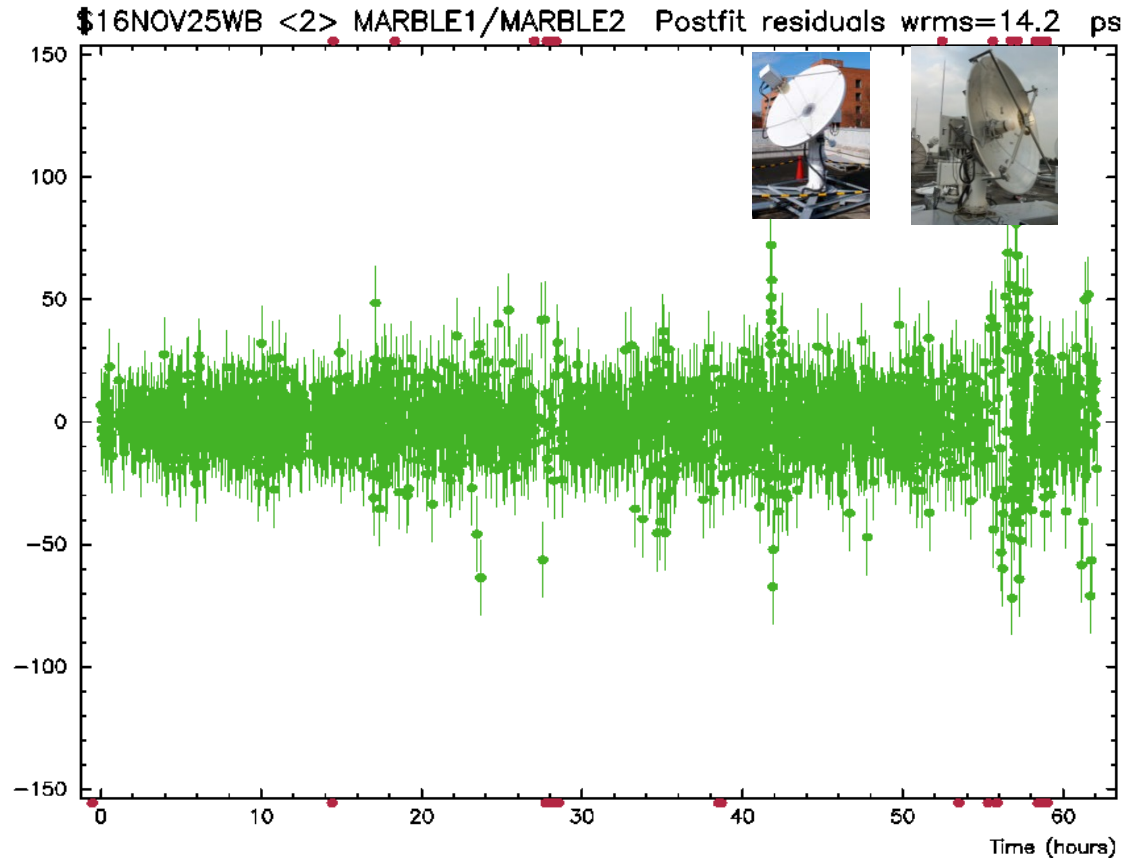
‘Node-Hub’ スタイルの 測地VLBI

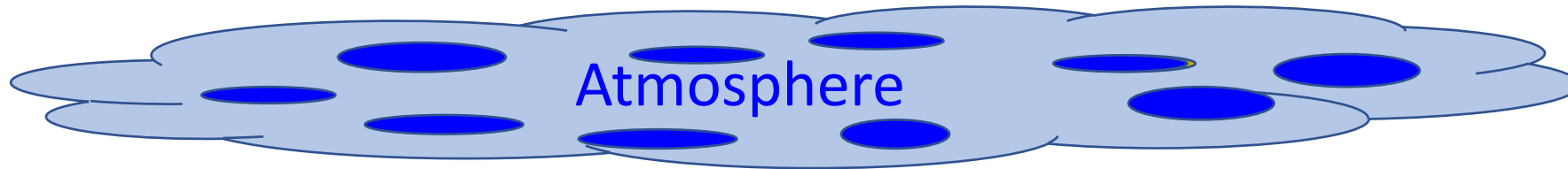


広帯域 (5.4-11G Hz) VLBI 基線 解析遅延残差

WRMS Delay Residual ~ AB: 14.2 psec

NICT 2.4m – NMIJ 1.6m





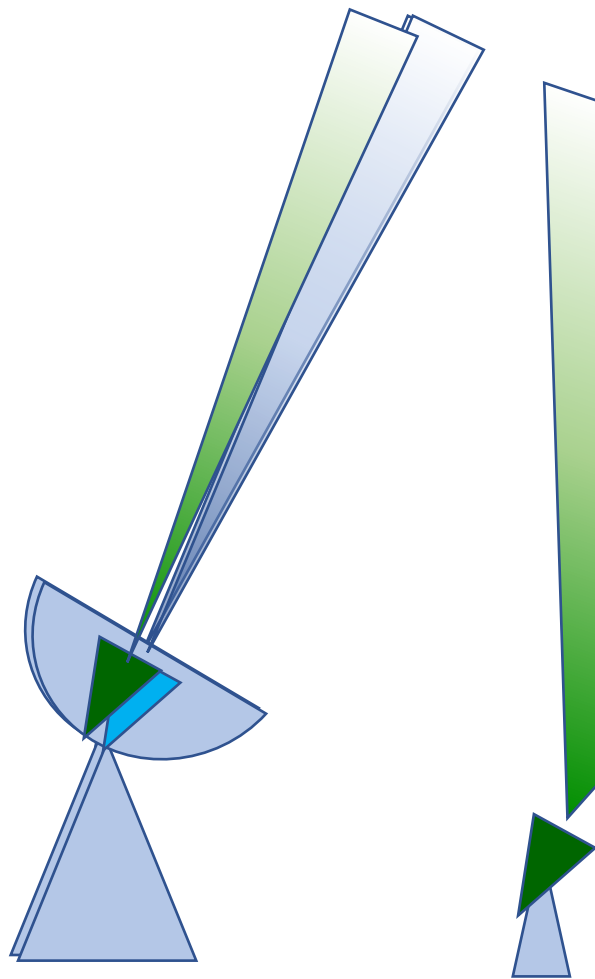
水蒸気ラジオメータへの期待

- 水滴と水蒸気を区別できる
- 天体の観測と同じ方向の水蒸気量を計測する
- 1mm以下の精密遅延計測精度

実現すると・・・

- 高速スリューのいらない、アンテナに優しい
- GPSにできない高精度の測地観測
- 既存の大型パラボラでも。

測地VLBIのブレークスルー



まとめ

- 広帯VLBIは、サブピコ秒($\sim 0,1\text{mm}$)精度を実現
- 小型広帯域VLBIは従来のS/Xと同等上の観測可能
- 大型アンテナの変形を除く、小型アンテナのNode-Hub型ネットワーク観測の可能性

しかし、10psec止まり。。。 大気の遅延が誤差を支配。

インビームラジオメータへの期待→測地VLBIのブレークスルー