

# 広帯域VLBIシステムGala-Vの開発 プロジェクトと今後の計画



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

# Gala-V Project 概要

■ 小型広帯域のアンテナを原子時計の開発拠点に設置して、原子時計間の周波数比較を行う。

■ できるだけ**VGOSと互換性のある広帯域VLBIシステム**

■ 独自技術

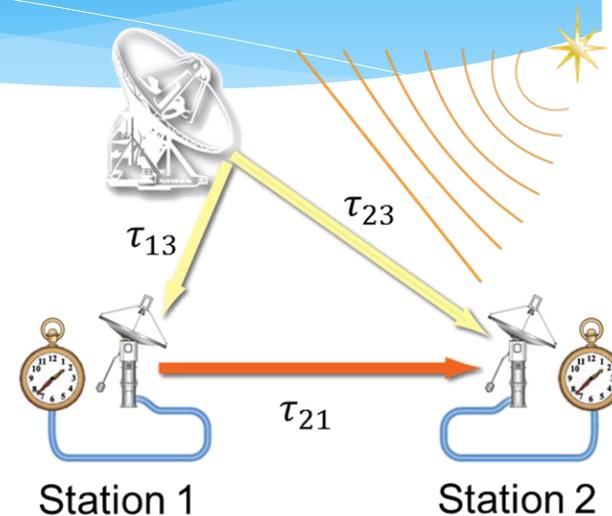
■ カセグレン用広帯域フィードの設計開発

■ ダイレクトサンプリング法

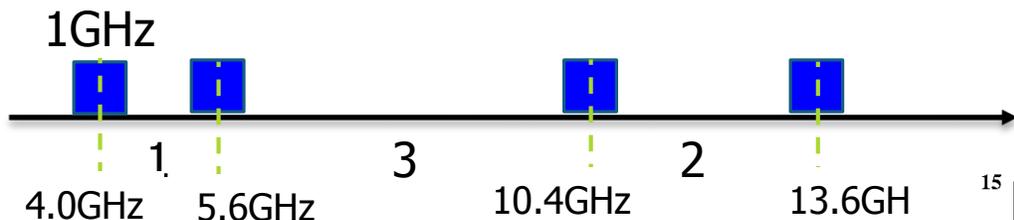
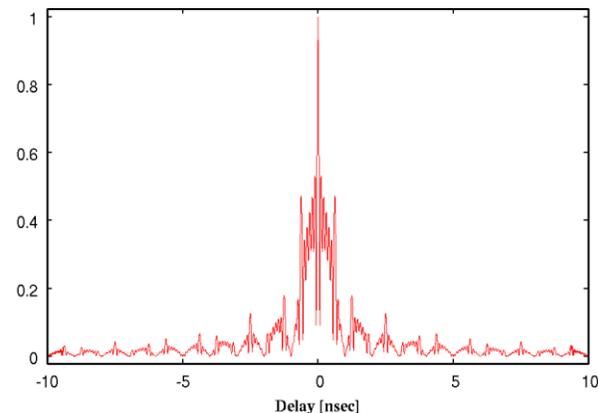
■ データ取得:**3-15GHzで4バンド(1024MHz幅)**

■  $f_c = 4.0\text{GHz}, 5.6\text{GHz}, 10.4\text{GHz}, 13.6\text{GHz}$

■ **有効帯域幅:3.8GHz(従来の10倍)**

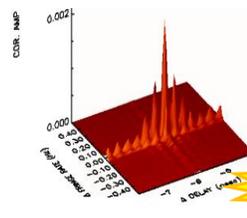


$$\tau_{21} = \tau_{13} - \tau_{23}$$

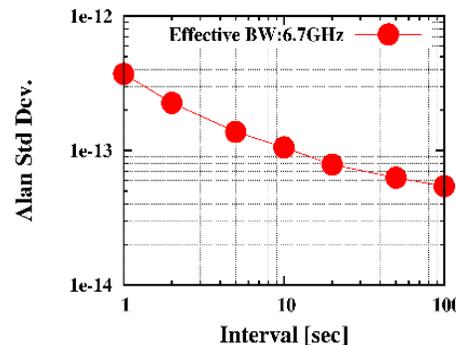
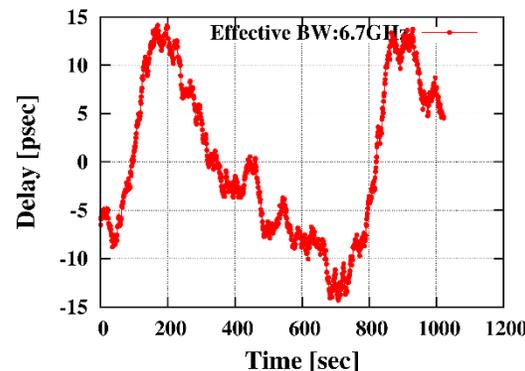


← 遅延分解関数

従来に比べて10倍高い遅延計測精度が期待できる。



世界初



# Topics of our PROJECT

## 1. カセグレンアンテナ用広帯域フィードの開発(Kashima 34)

- IGUANA-H: 6.5-15GHz
- NINJA : 3-14.4GHz



## 2. ダイレクトサンプリング(16GHz)と広帯域バンド幅合成.

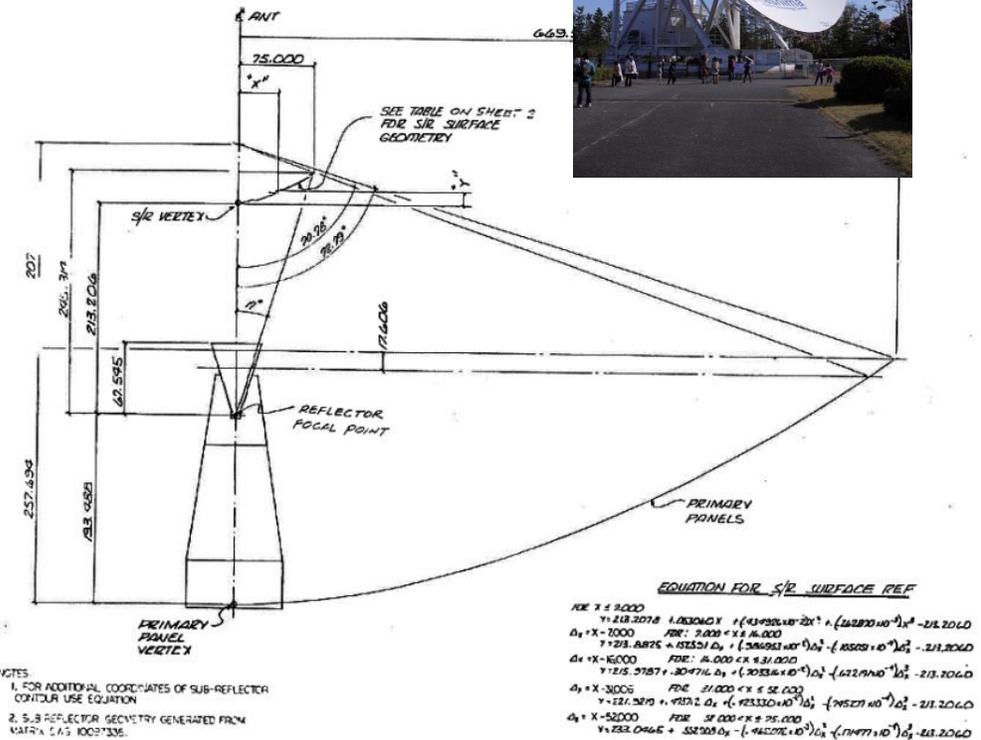
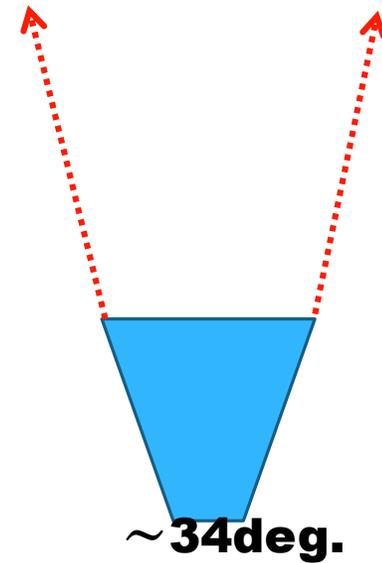
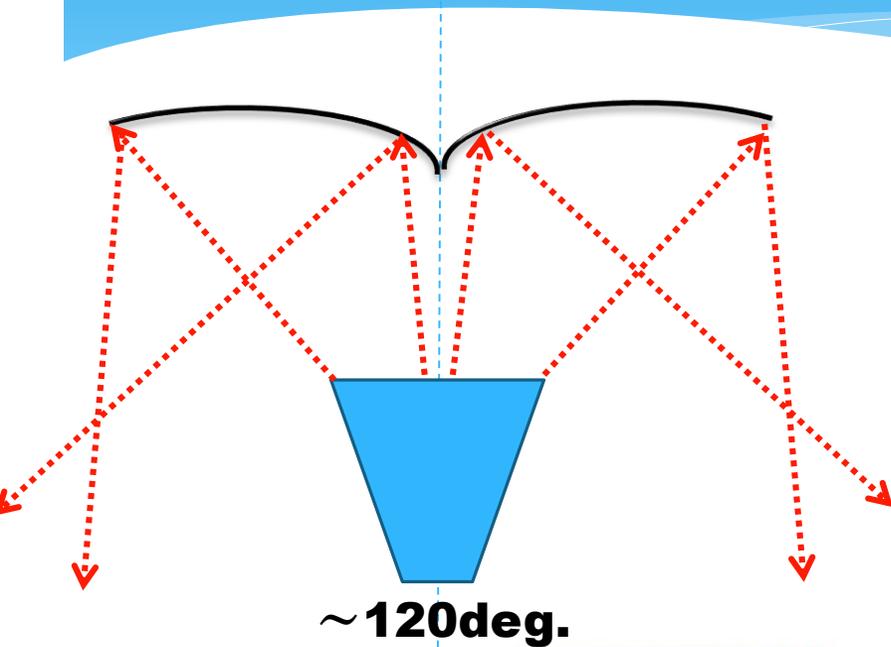
A) RF信号を**周波数変換なし**に直接A/D変換.

B) 広帯域バンド幅合成(**位相校正信号PCALを使わず**).

## 3. 超広帯域(3-12GHz)のVLBI実験の結果、数分で20 psec程度の遅延変動が観測された。大気遅延の推定向上のためには高速な天体切り替えが必要であることが確認された。

# Reason why NICT Developed Broadband Feeds

Requirement of **Broadband Frequency** and **Narrow beam width**

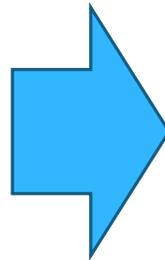


# Broadband Feed for Cassegrain optics Kashima 34m antenna

現在は直線偏波1つであるが  
今年中に直線両偏波化の予定



IGUANA-H Feed (6.5-15GHz)

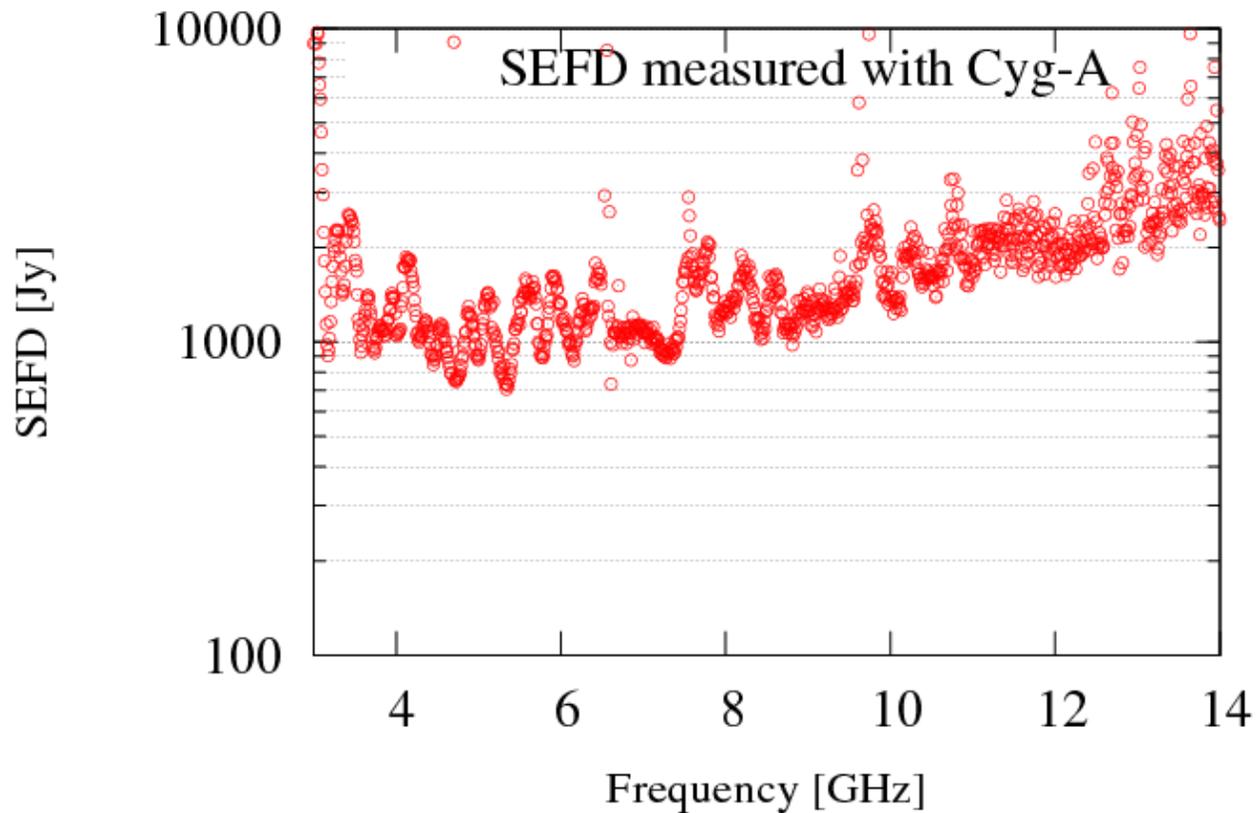


NINJA Feed (3.2-14.4GHz, nominal)

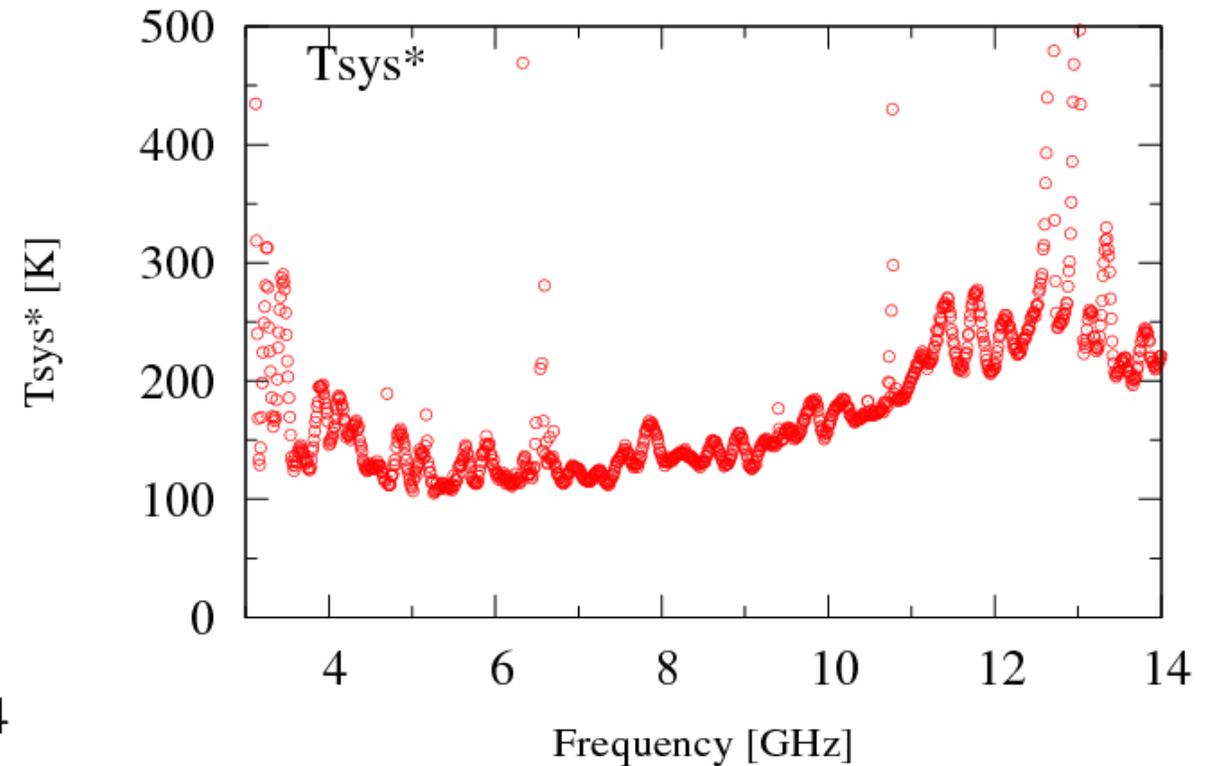


# NINJA Broadband Feed on 34m antenna

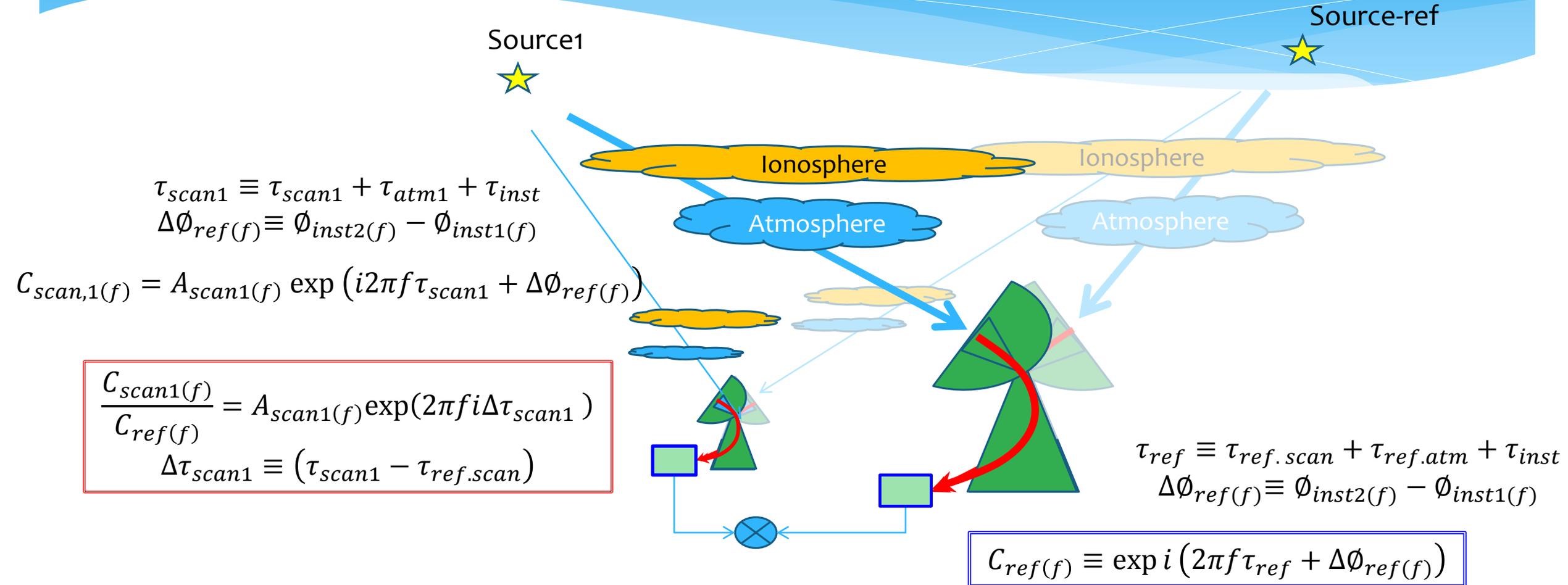
SEFD of Kashima 34m with NINJA Feed



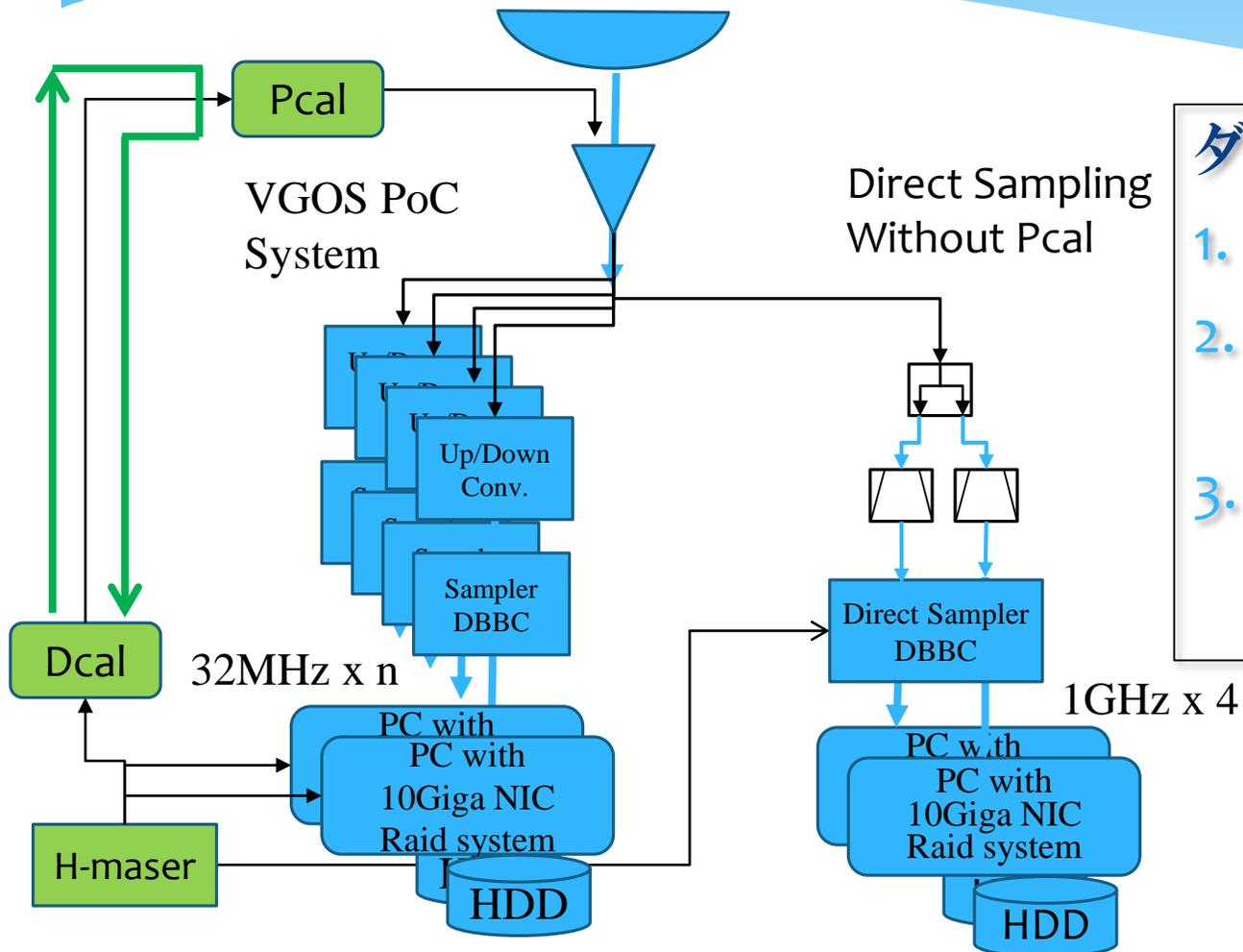
Modified System Temperature with NINJA Feed



# Procedure of Broadband Phase Calibration with radio source



# ダイレクトサンプリング方式により 校正系を簡素化したシステムを実現



## ダイレクトサンプリングの利点

1. 少ない(アナログ)構成機器.
2. チャンネル間の位相関係が安定となり、PCALが不要に。
3. 検証されれば **遅延校正系も不要.**

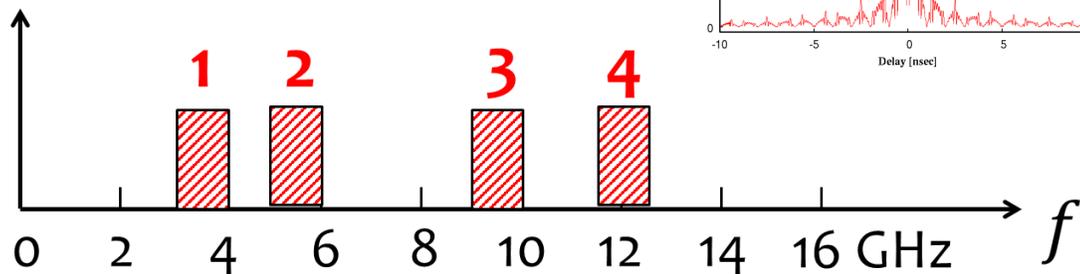
# RF信号を直接A/D変換する高速サンプラ

## K6/GALAS

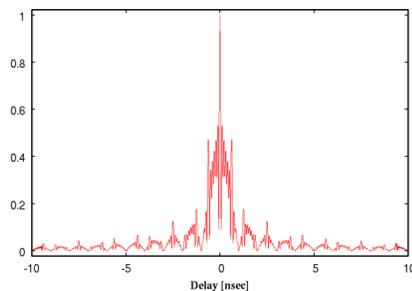
国立天文台の開発したサンプラを仕様変更して活用。共同研究資源の活用



**BW 1024MHz each**

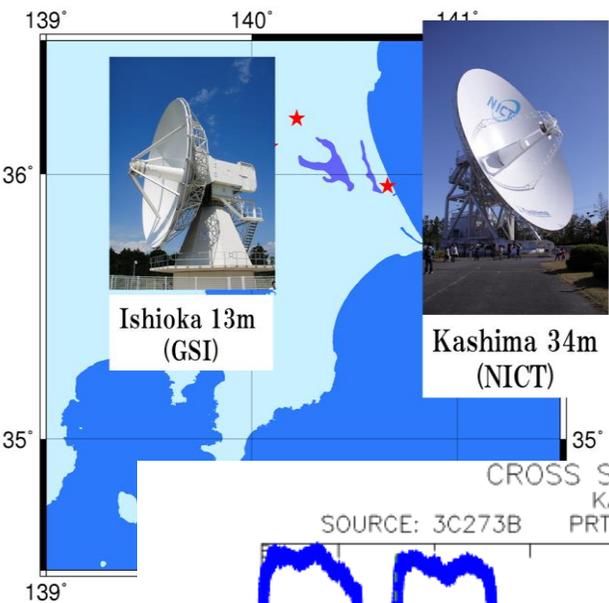


Lower Edge= 3.2, 4.8, 8.8, 11.6GHz



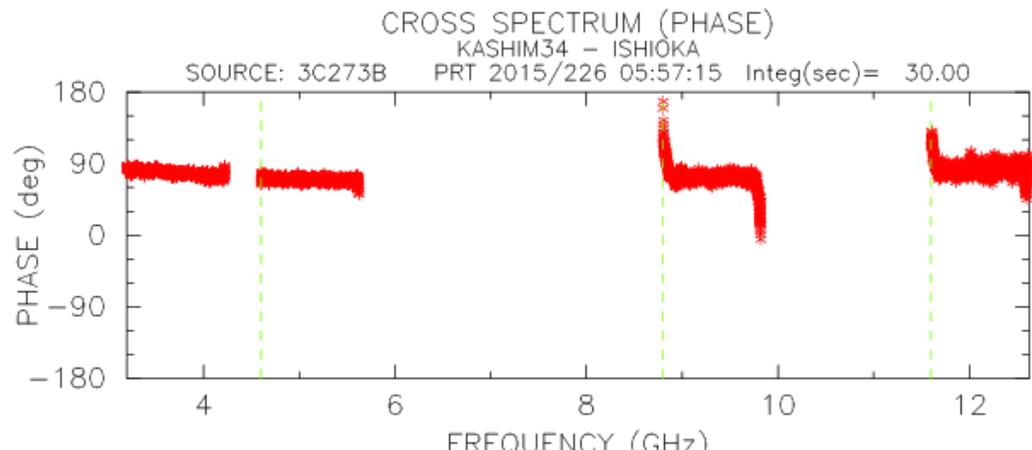
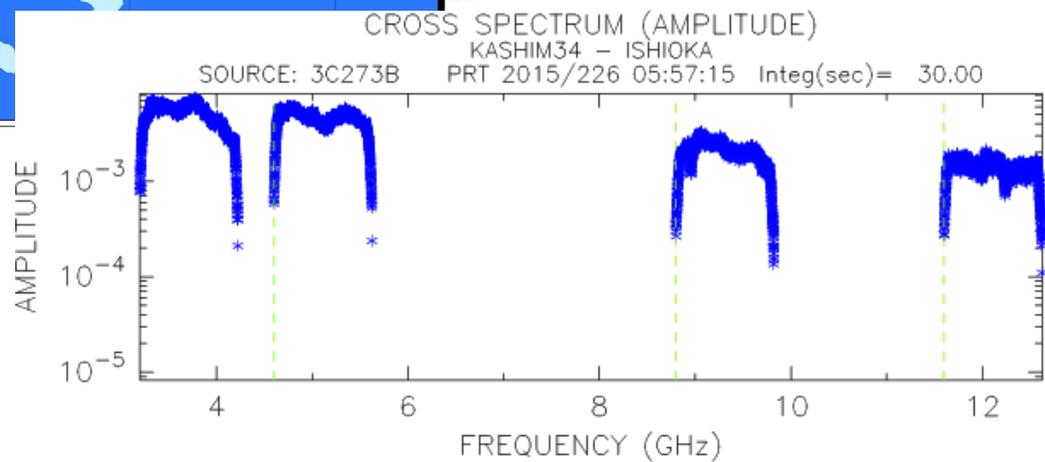
IF Input Port	2
Input Freq. Range	0.1-16.4 GHz
Sampling mode	<b>DBBC Mode</b> <b>Nch/unit=1,2,3, or 4</b> 2048 Msps/ch Qbit=1, or 2 bit
Output Port	10GBASE-SR, 4port
Max Data rate	16384 Mbps/port

# バンド幅合成結果

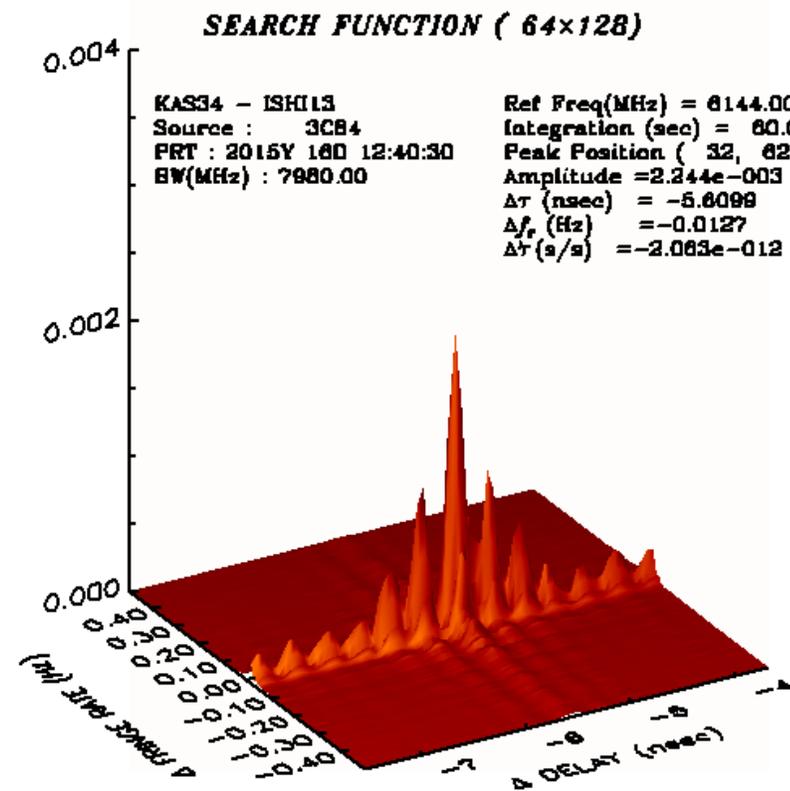


## 相互相関スペクトル

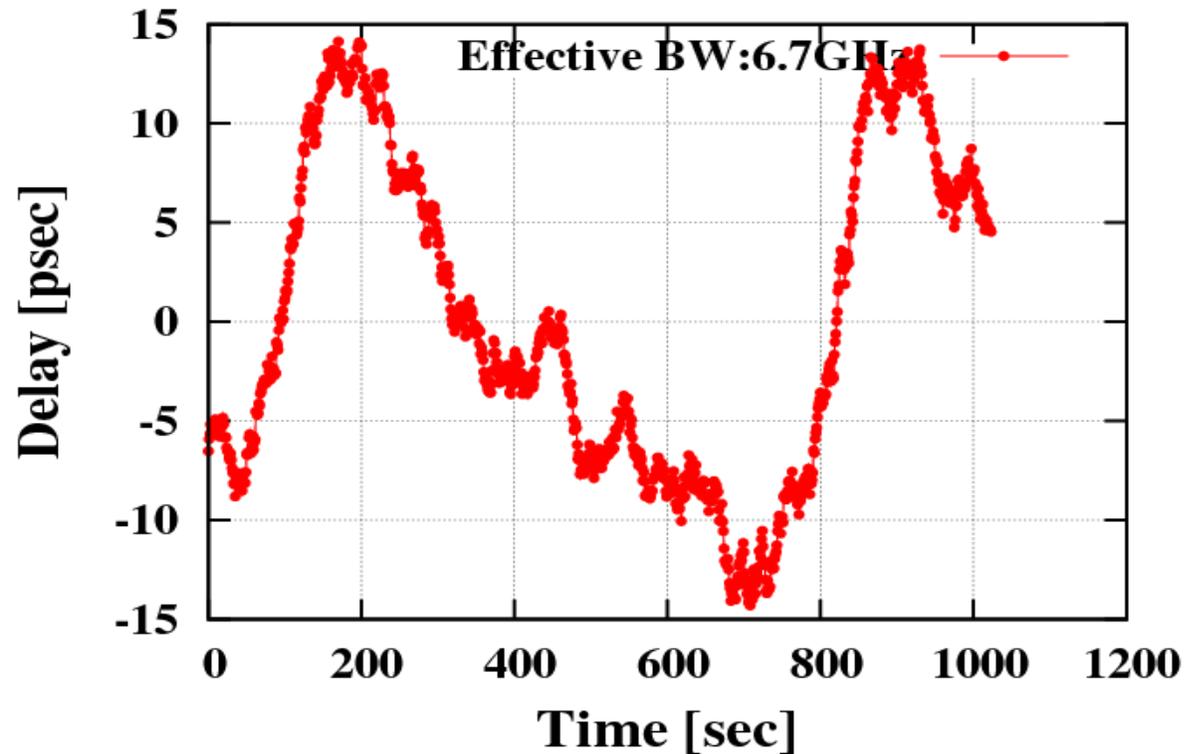
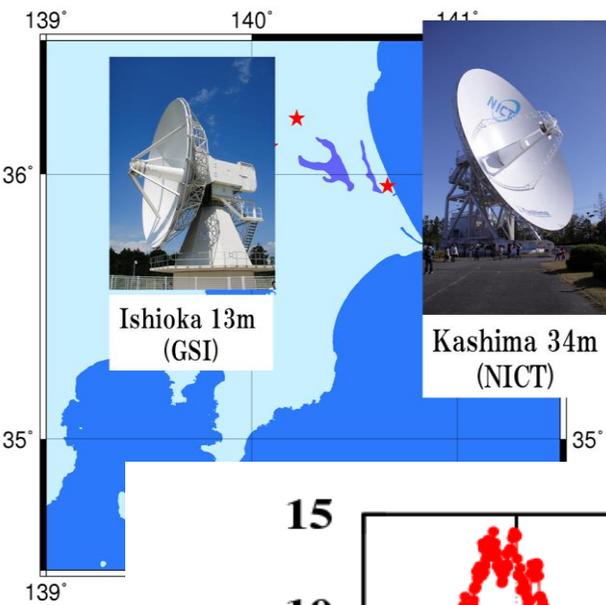
## 遅延分解関数



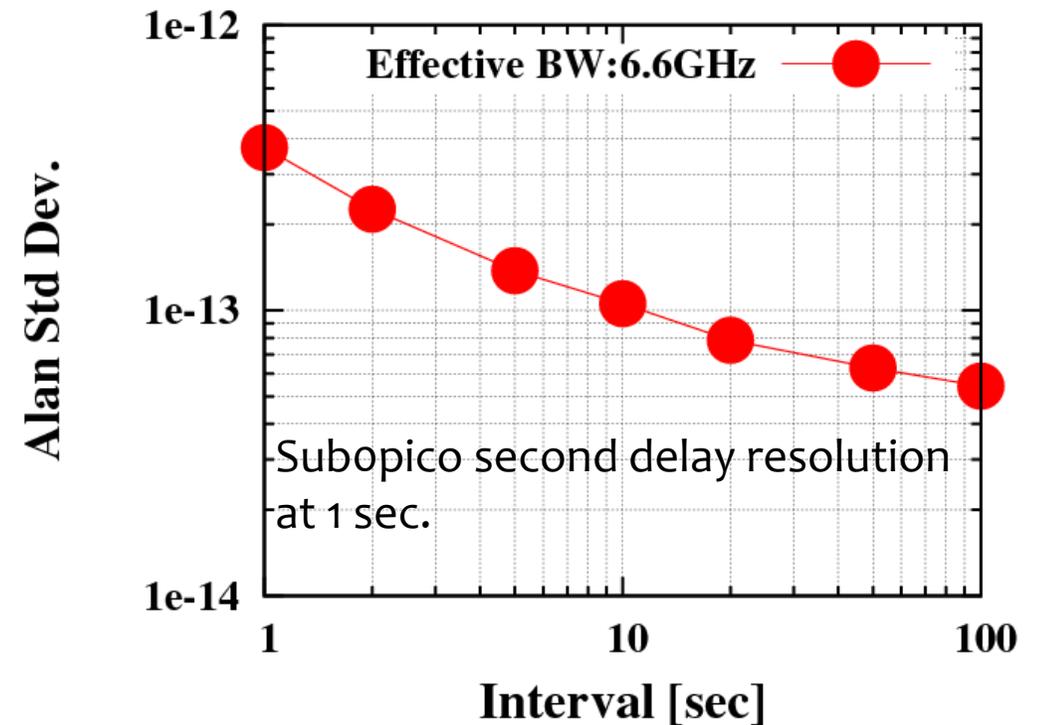
COR. AMP



# 広帯域群遅延量(3.2-12.6GHz)の挙動



## Alan Standard Deviation



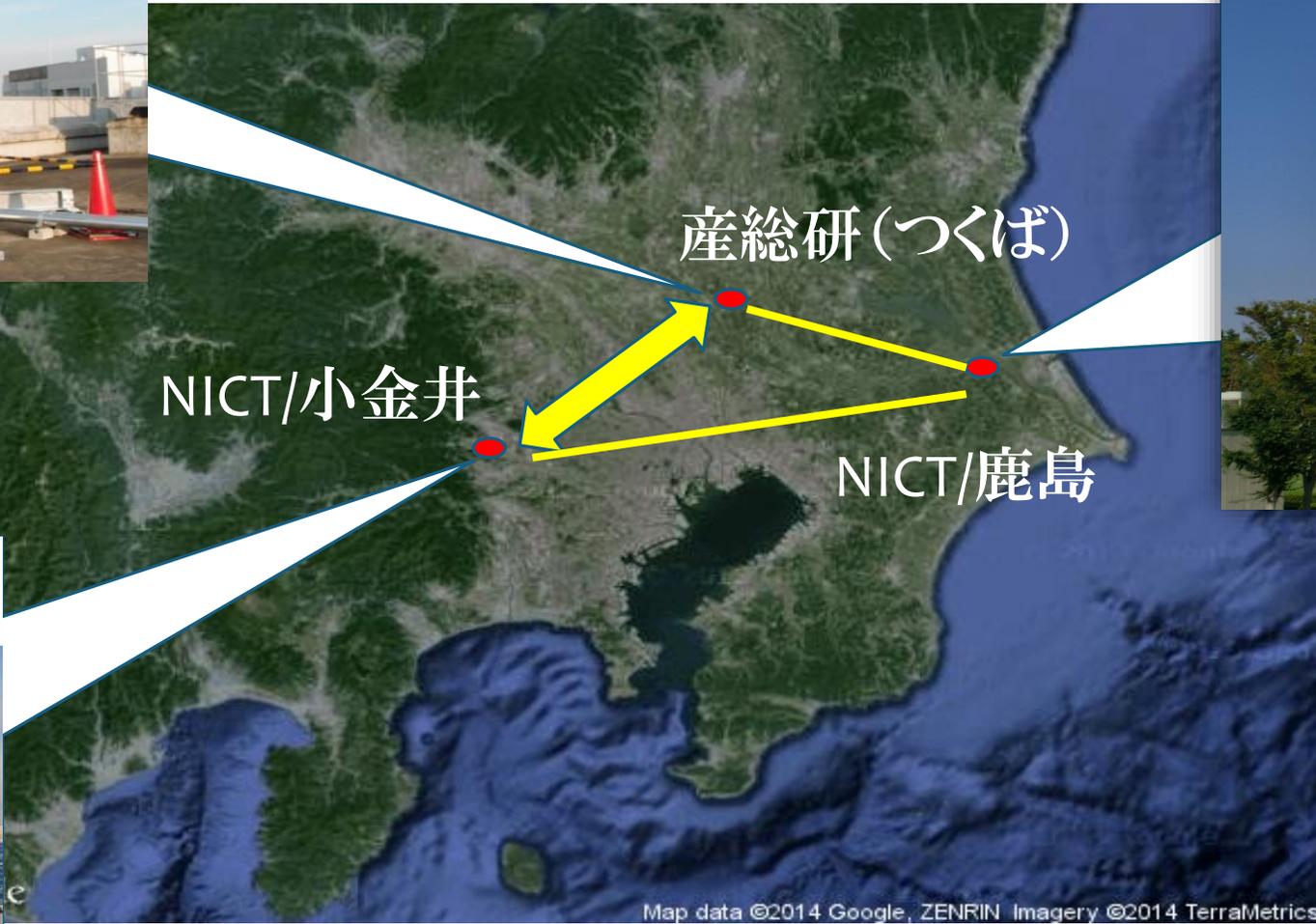
# NICTの周波数比較VLBIシステムGALA-V の開発基線



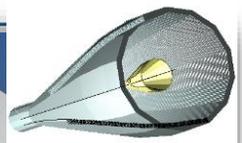
産総研(MBL1)



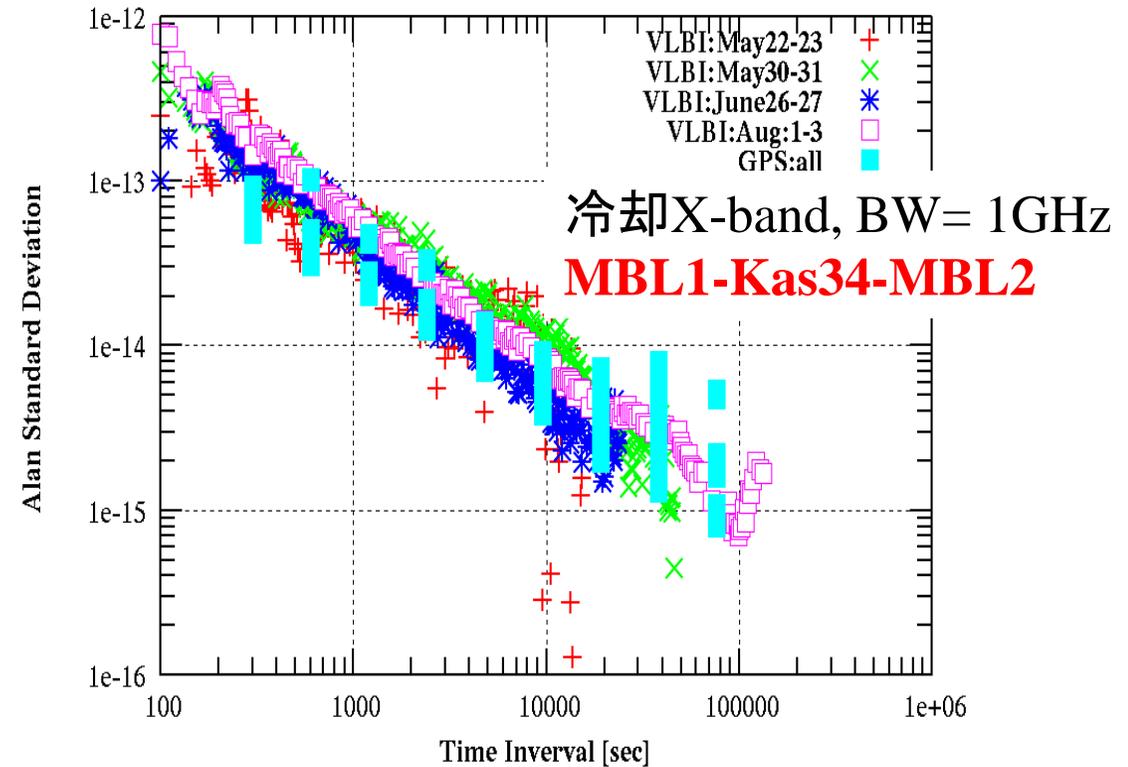
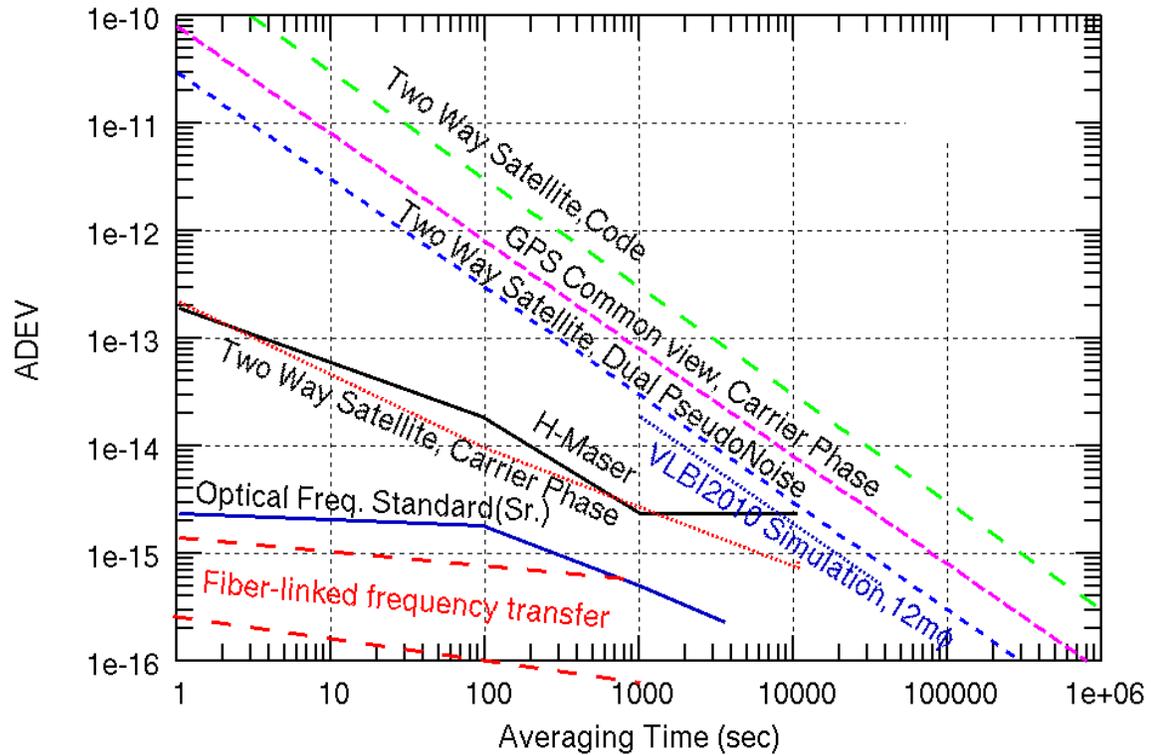
NICT(MBL2)



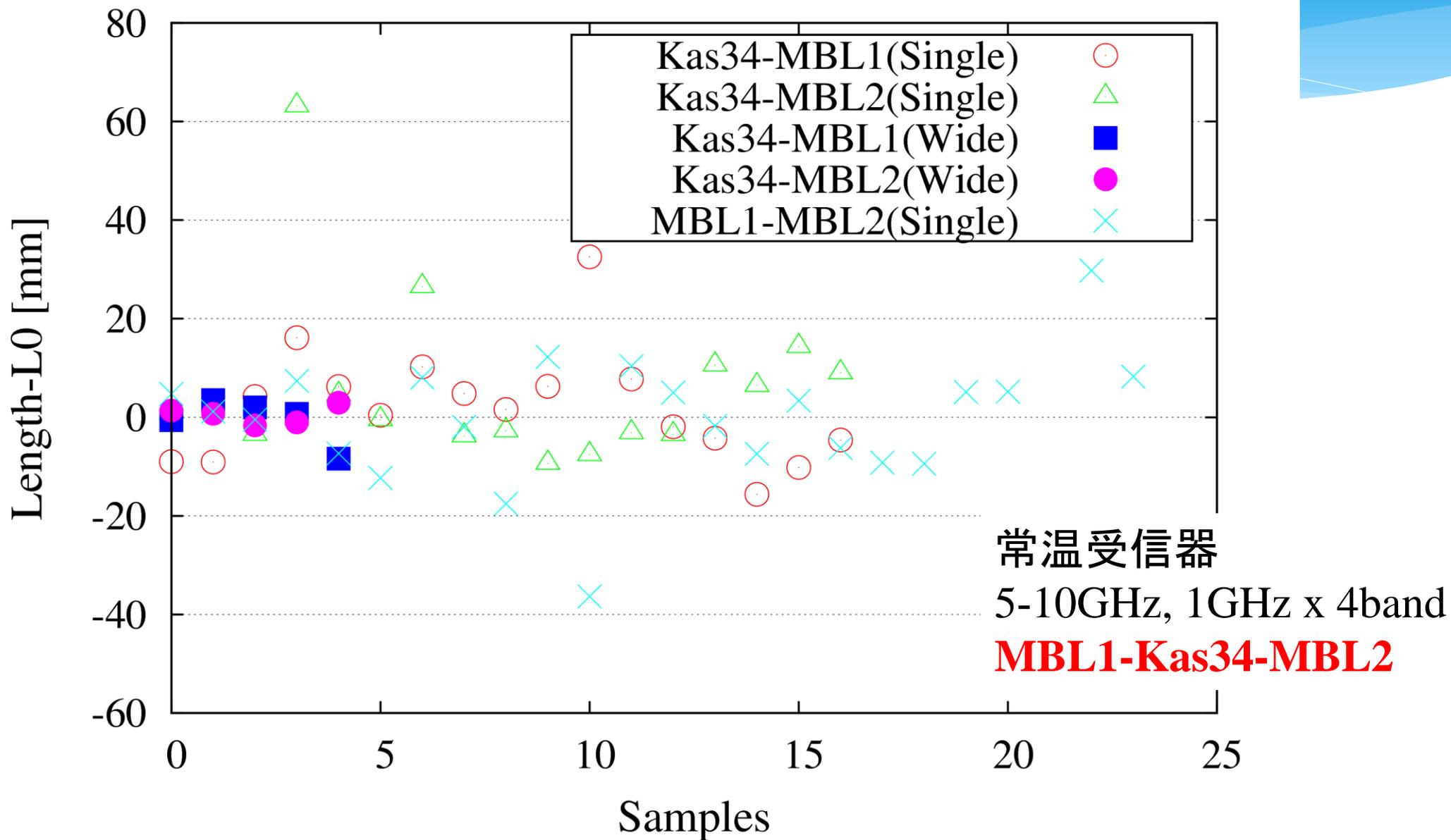
NICT(鹿島34m)



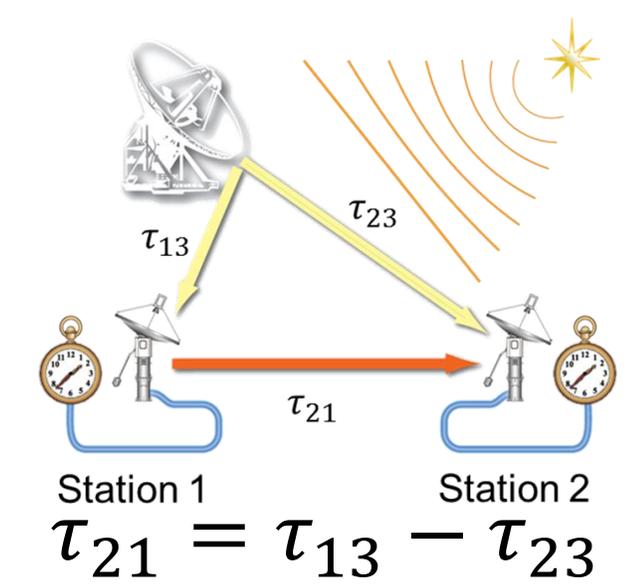
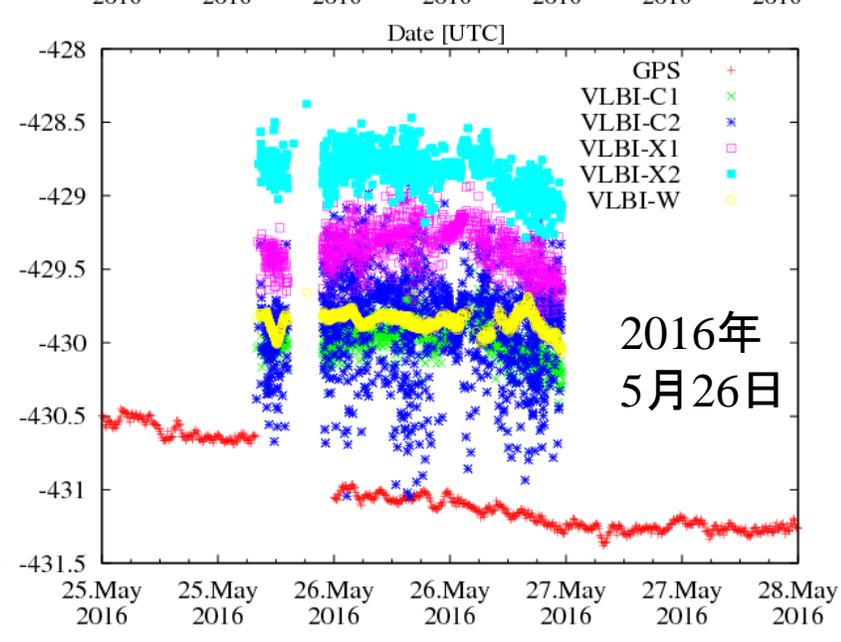
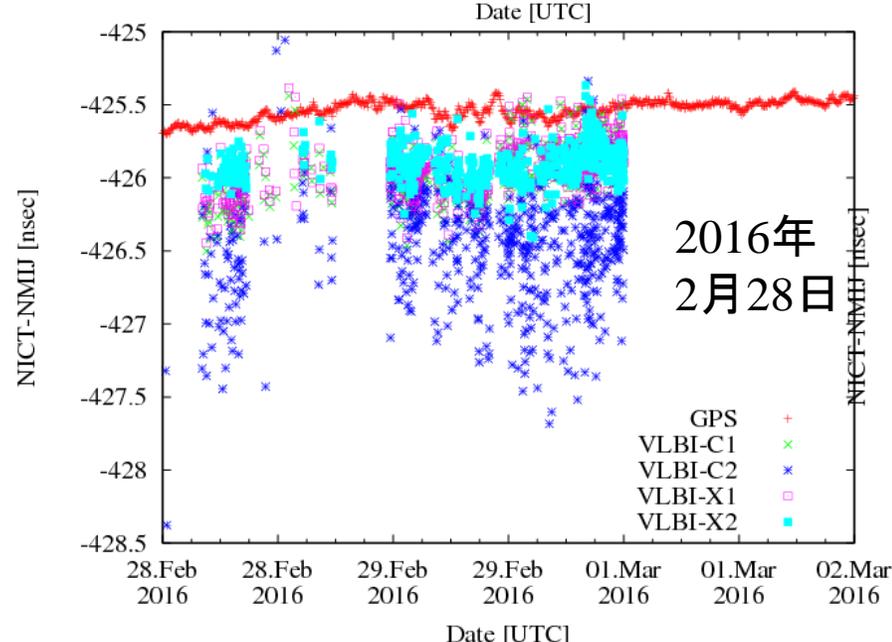
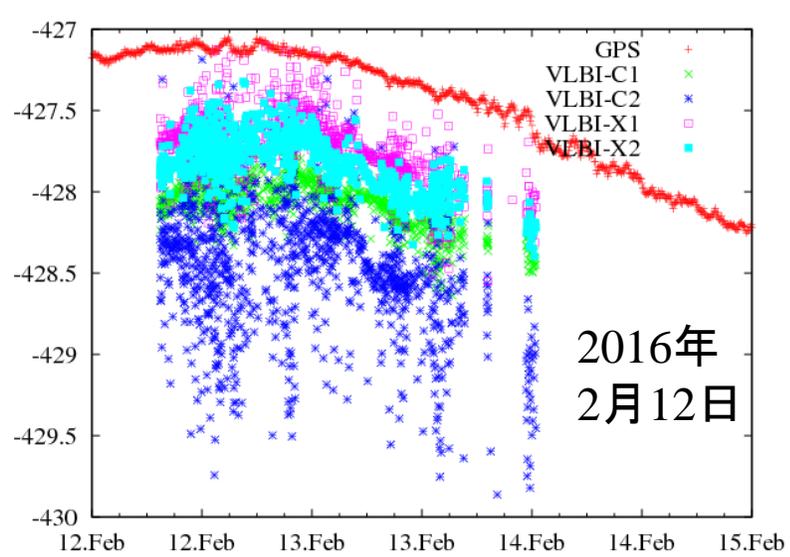
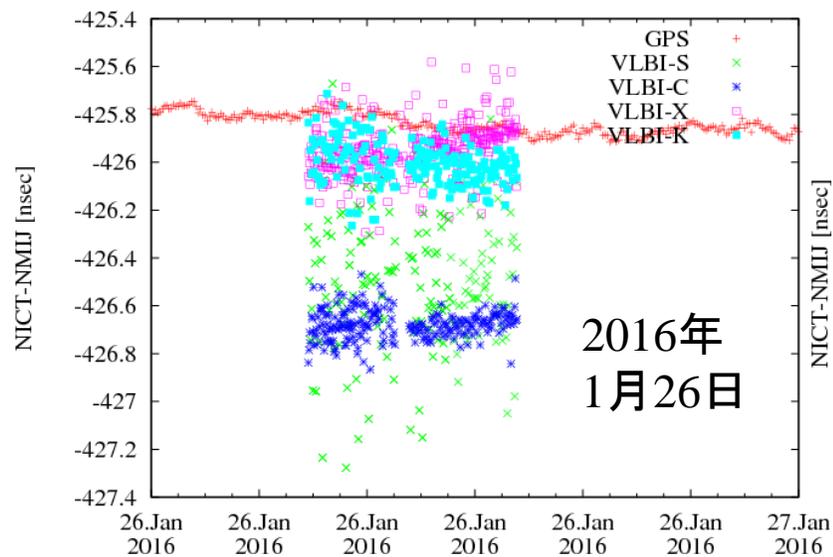
# 周波数比較技術としての目標とこれまで



# BaseLine Length Rept.



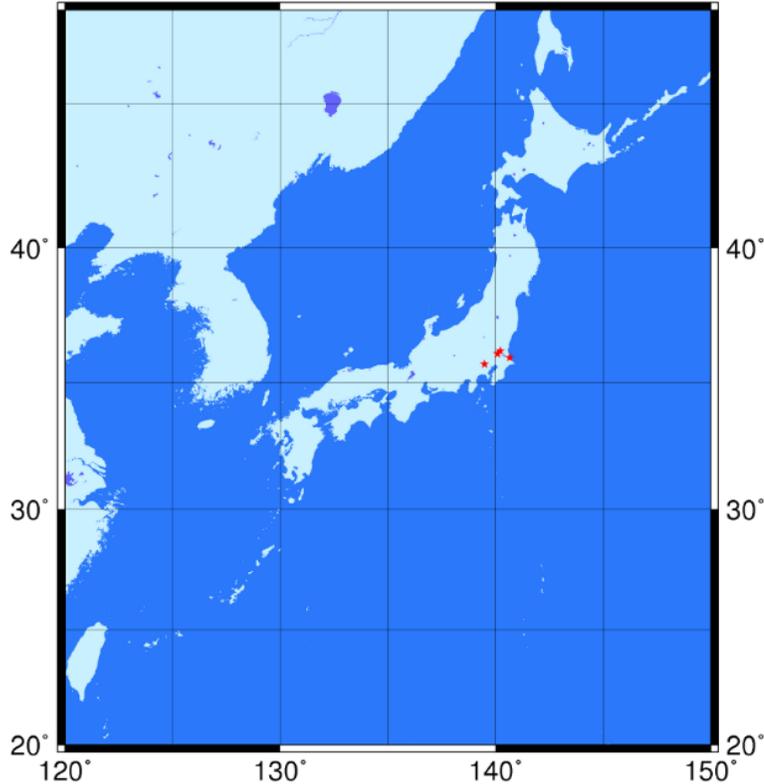
# GPSとVLBIによる、UTC (NMIJ) - UTC (NICT) の時系比較



# 国内観測から超長基線の観測へ



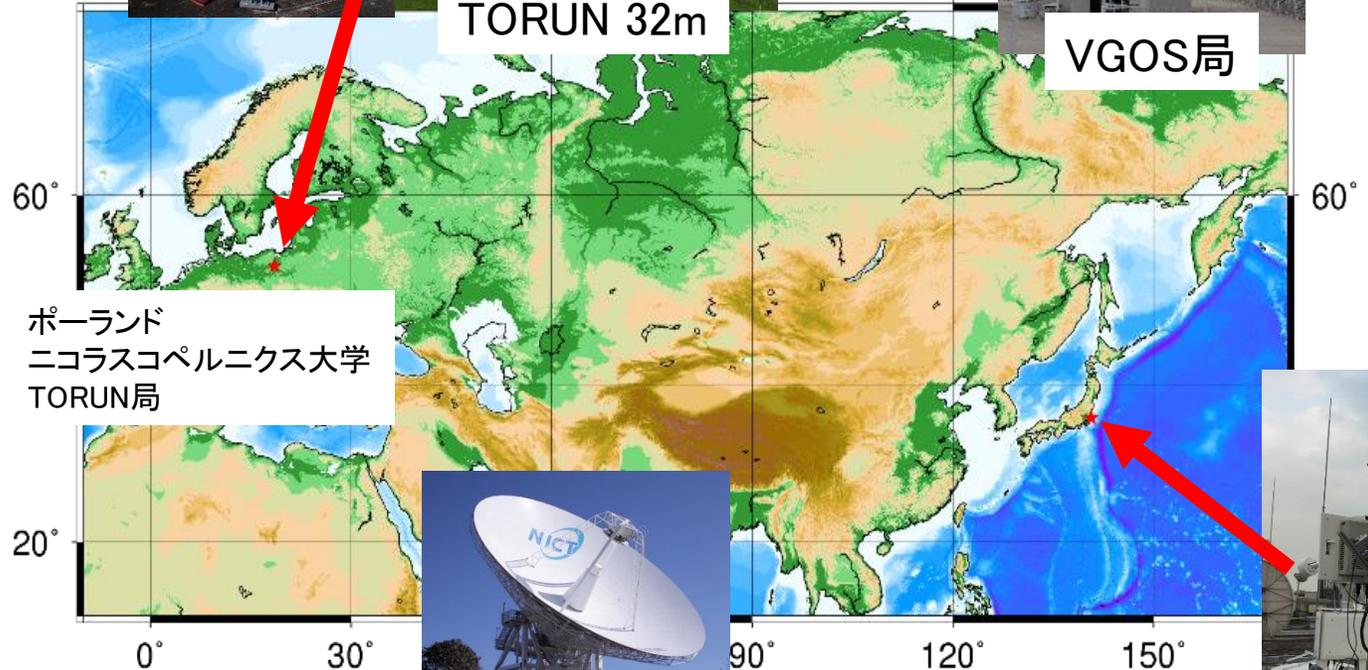
120° 130° 140° 150°



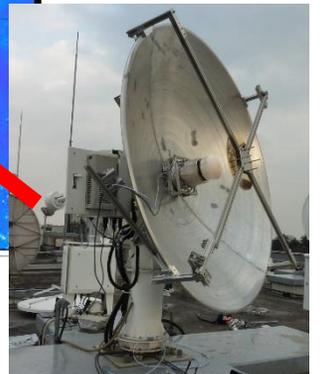
TORUN 32m



VGOS局

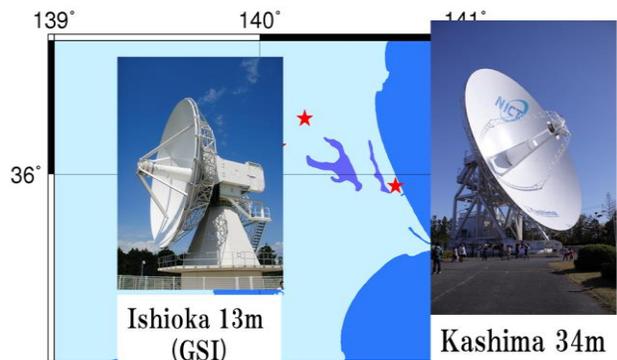


ポーランド  
ニコラスコペルニクス大学  
TORUN局



# 超長基線の広帯域VLBIの課題

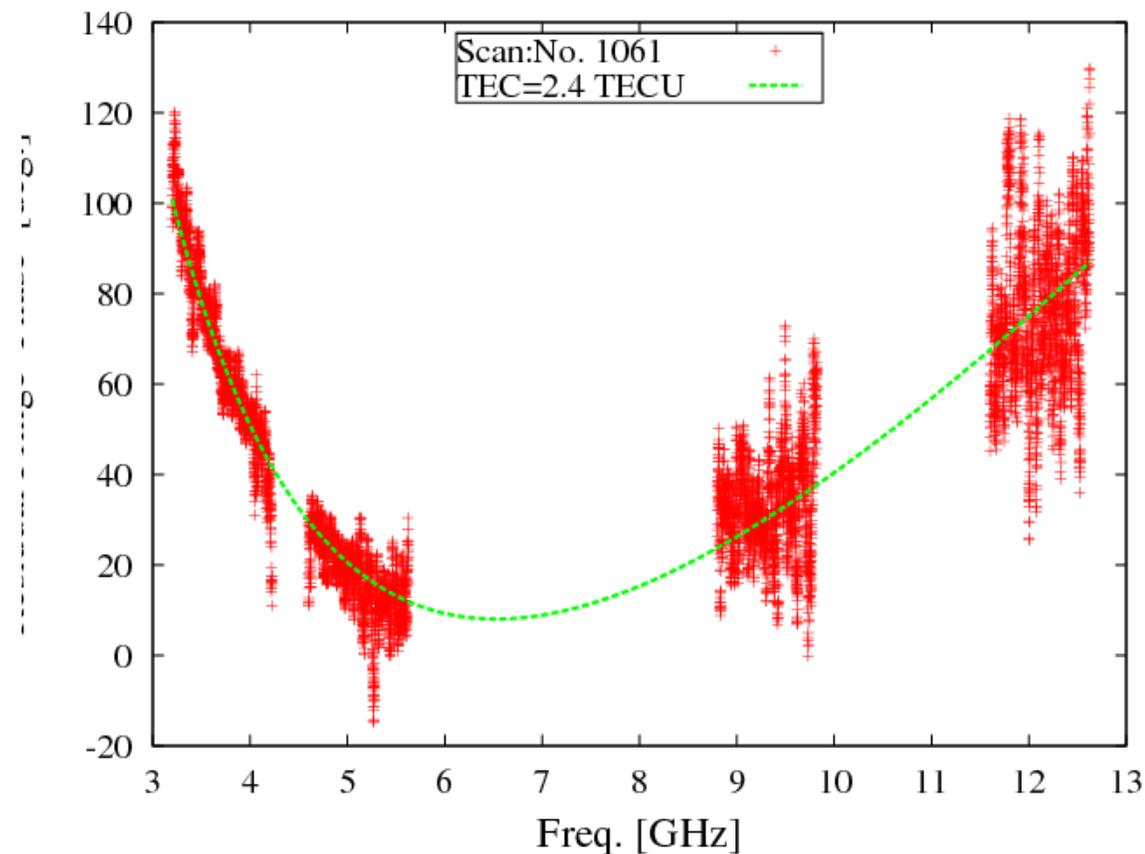
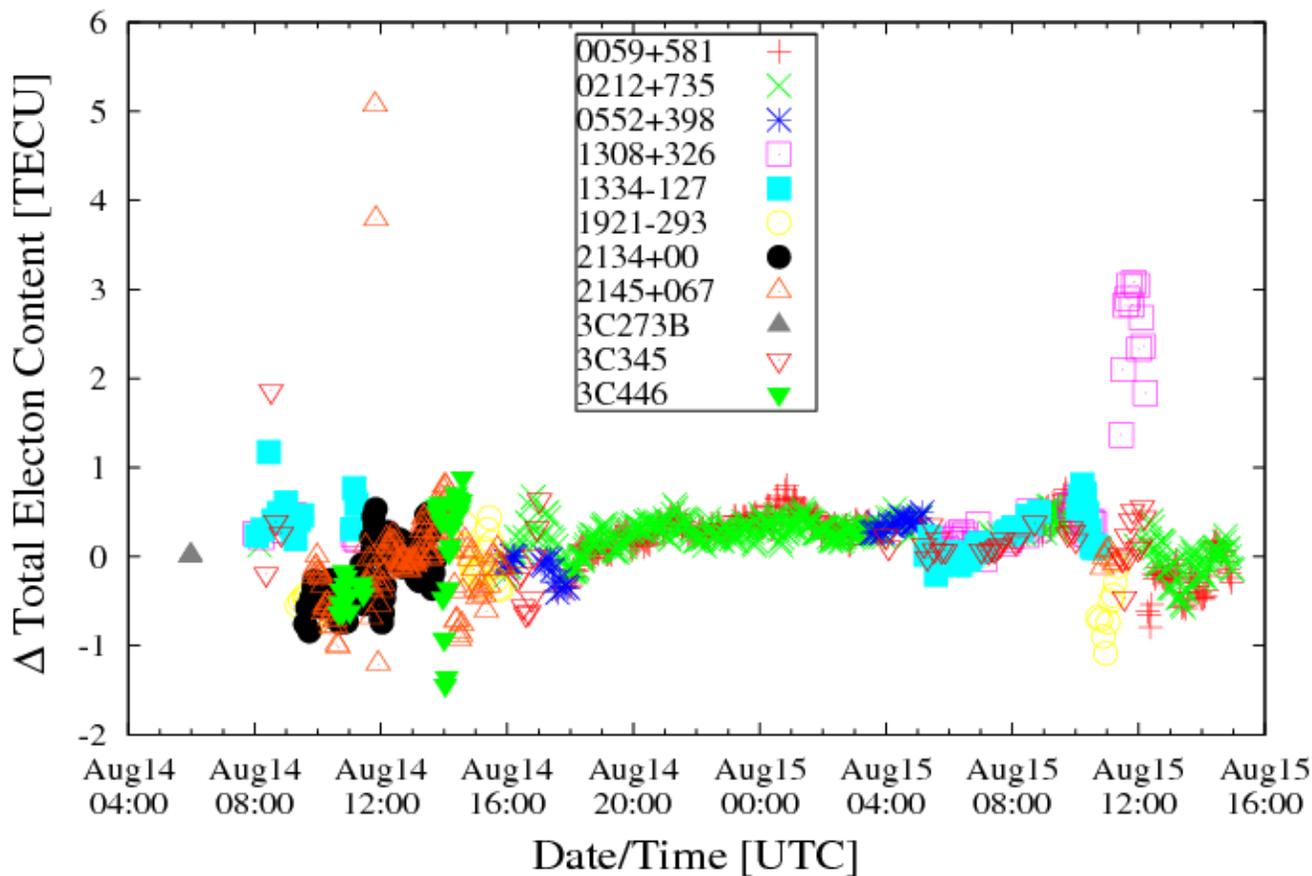
1. 遠隔地安定運用に耐えられる小型アンテナに
2. 広帯域バンド幅合成技術の開発
  1. 直線偏波2x2の相関処理 合成技術の開発
    - \* 4つの偏波の相互相関(VV,HH,VH,HV)を合成するアルゴリズム
    - \* →ストークスパラメータの算出、天文学的成果も。
  2. 大きな電離層遅延の影響を考慮した(同時推定する)バンド幅合成
3. 新しい校正法に対応した解析ソフト(解析モデル)の開発
4. 天体の構造の影響



# 電離層遅延の影響

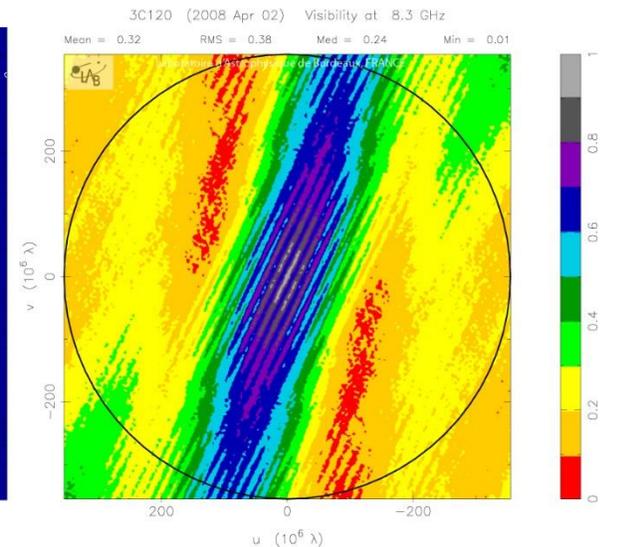
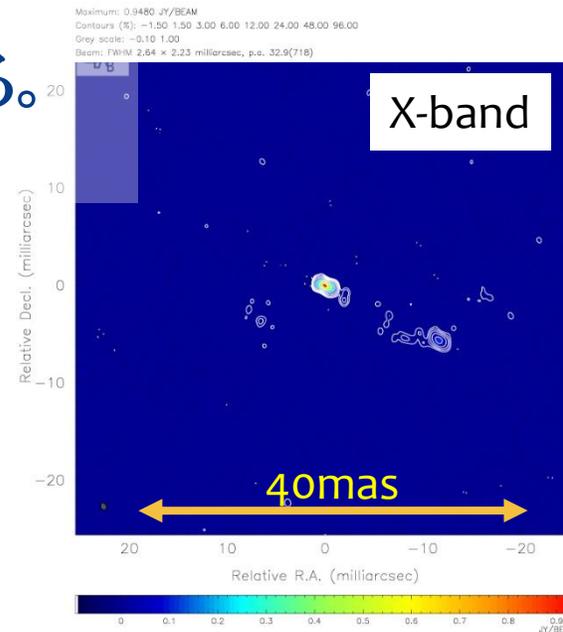
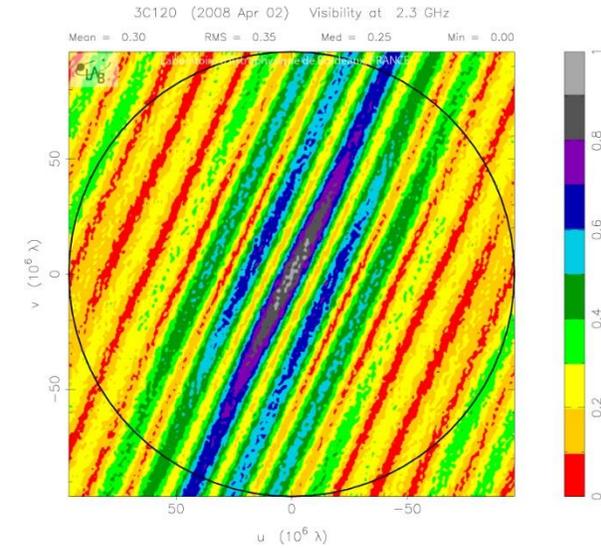
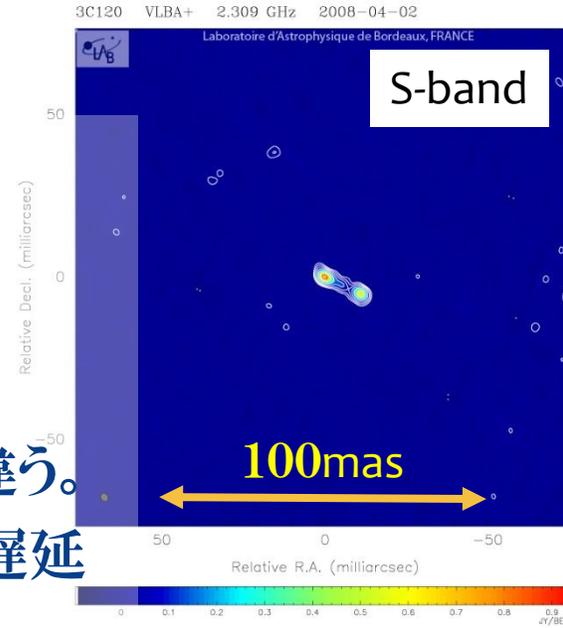
$$\phi [deg.] = \alpha \frac{\delta TEC}{f} + 360 \times \delta \tau \times f + c$$

$\Delta$  Total Electron Content vs Time



# 電波源構造の影響

- \* 群遅延量:  $= \frac{\partial \phi}{\partial f}$  帯域幅方向の位相傾斜
- \* VLBIは空間周波数をサンプリングする。
  - \* 空間周波数:  $= B/\lambda$
  - \* 同じ基線でもRF周波数によって空間周波数が違う。
  - \* →天体構造の影響(psオーダ)が観測される群遅延に付加される。
- \* 見かけの天体構造は周波数に依存して異なる。



# ご清聴ありがとうございました

- 小型アンテナの実験は産総研との共同研究に基づいて実施しています。
- 広帯域フィードの開発には、国立天文台の共同開発研究資金(研究代表者：山口大学藤沢健太教授)の提供を受けています。
- 米国と大容量データ交換には、JGN-X、APAN, Internet2の高速ネットワークにサポートいただいています。
- 石岡局との広帯域VLBI実験では、国土地理院の方々に多大な協力をいただきました。