

VLBI 周波数比較への応用と GALA-V システムの開発(VII) -広帯域遅延量を使った基線解析-

情報通信研究機構

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、市川隆一、小山泰弘、花土ゆう子、小室純一、寺田健次郎、
難波邦孝、高橋留美、青木哲郎、池田貴俊

国土地理院

川畑亮二、石本正芳、若杉貴浩、梅井迪子、豊田友夫
産業技術総合研究所 計量標準センター

渡部謙一、鈴山智也

Gala-V Project 概要

- **目的:** 小型広帯域のアンテナを使って、国際的な原子時計間の周波数比較を行う。

SNR ~ D1 x D2 x S

- **特徴:** VGOSと共同観測・ 互換性のある広帯域VLBIシステム

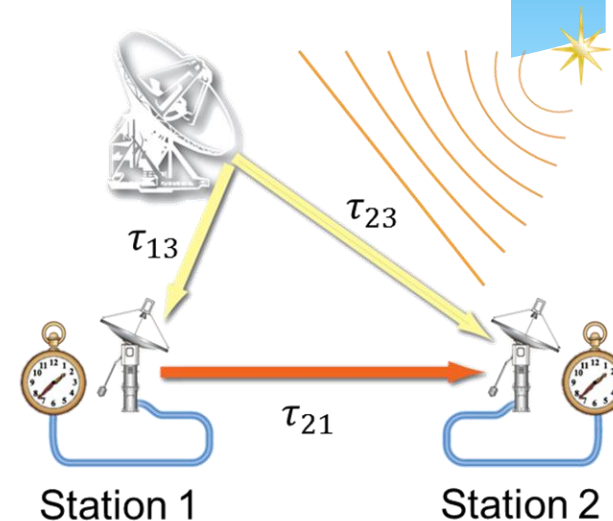
- **独自技術**

- 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

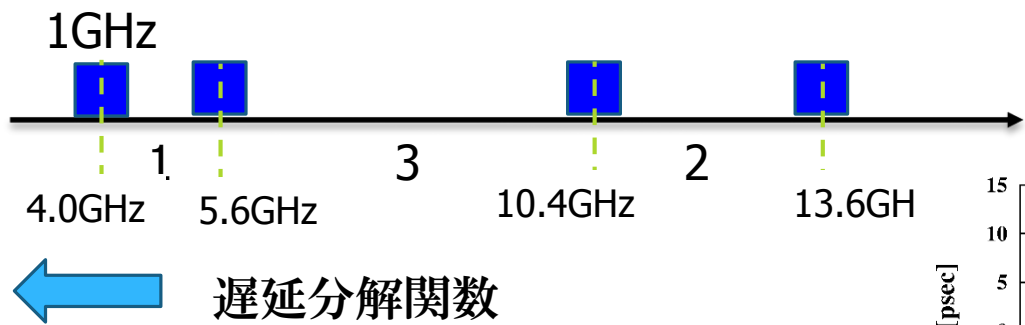
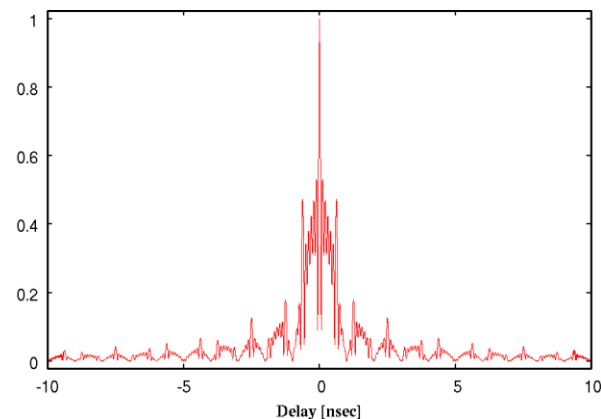


- **データ取得:** 3-15GHzで4バンド(1024MHz幅)

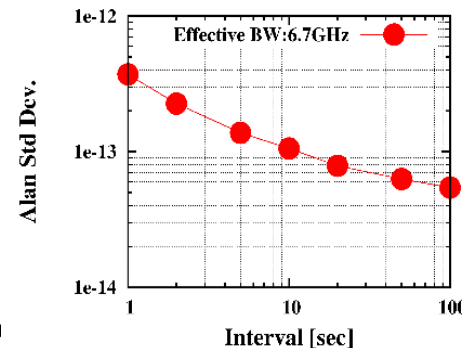
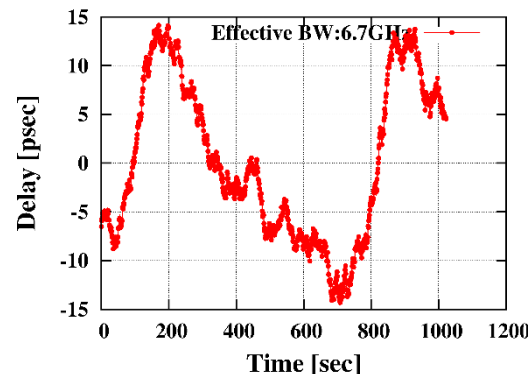
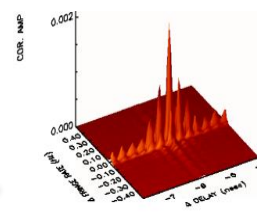
- Fc=4.0GHz、5.6GHz、10.4GHz、13.6GHz
- 有効帯域幅: 3.8GHz (従来の10倍)



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



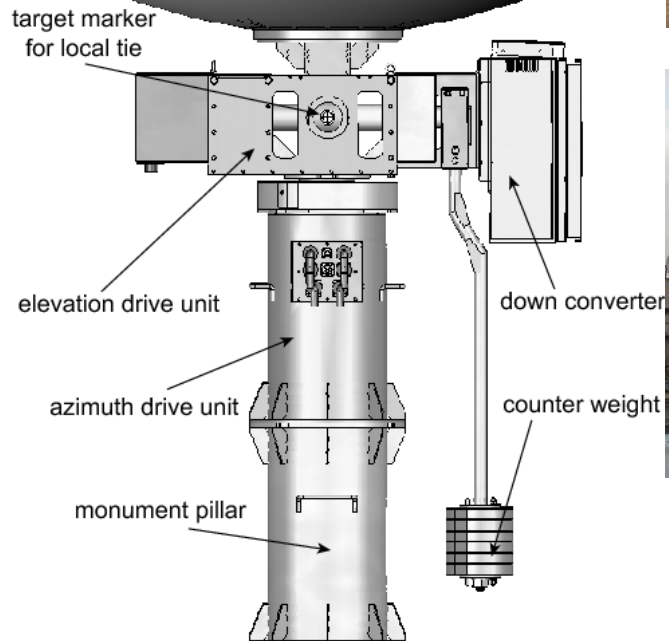
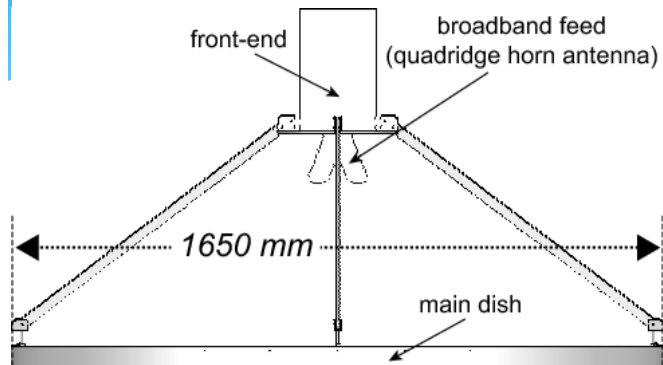
従来に比べて10倍高い遅延計測精度が期待できる。



発表内容

1. **広帯域VLBI観測システムの特徴・概要**
2. **2016年のVLBI観測・基線解析結果**

小型VLBIアンテナ



システムの特徴

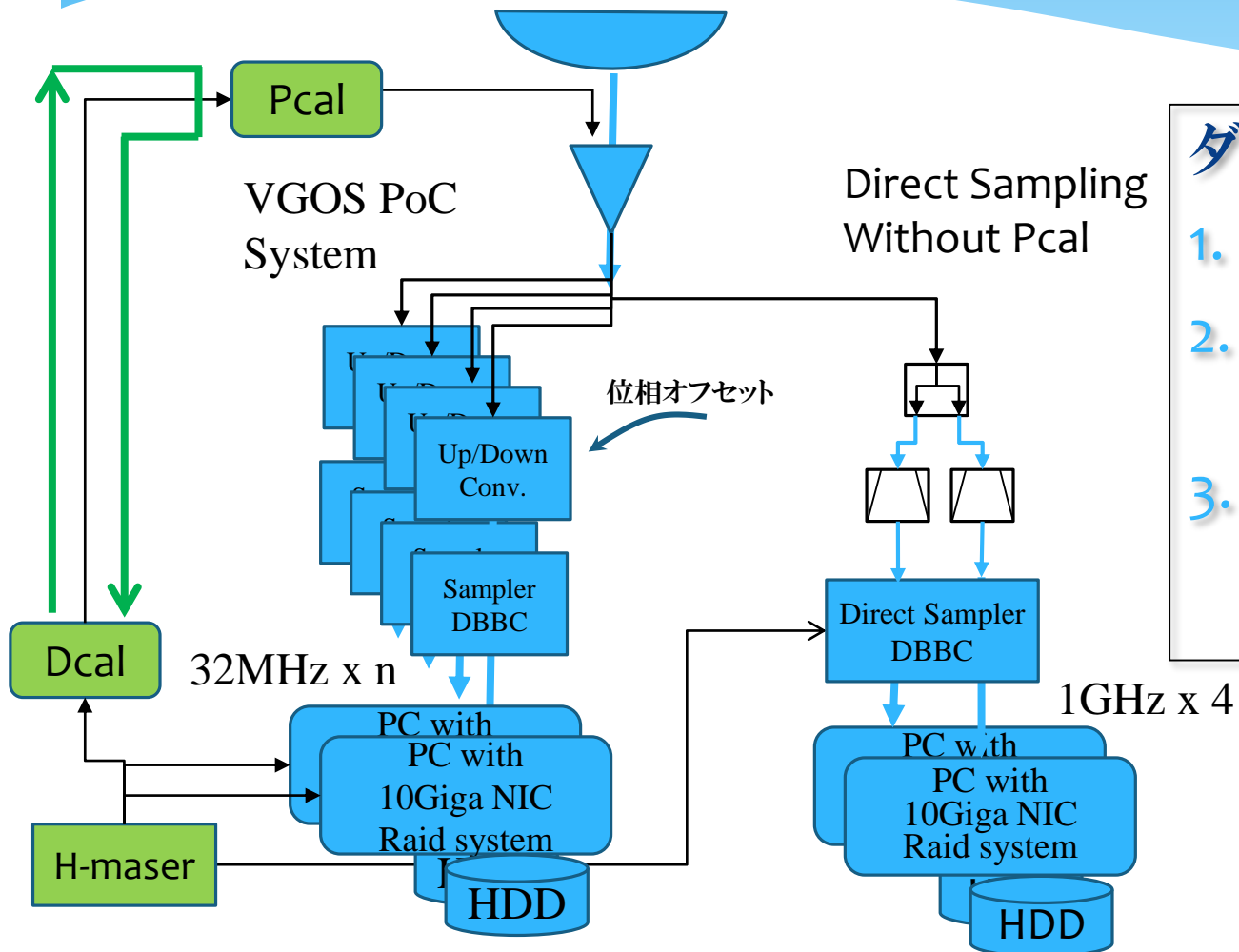
広帯域受信機



16Gbps 高速サンブラ



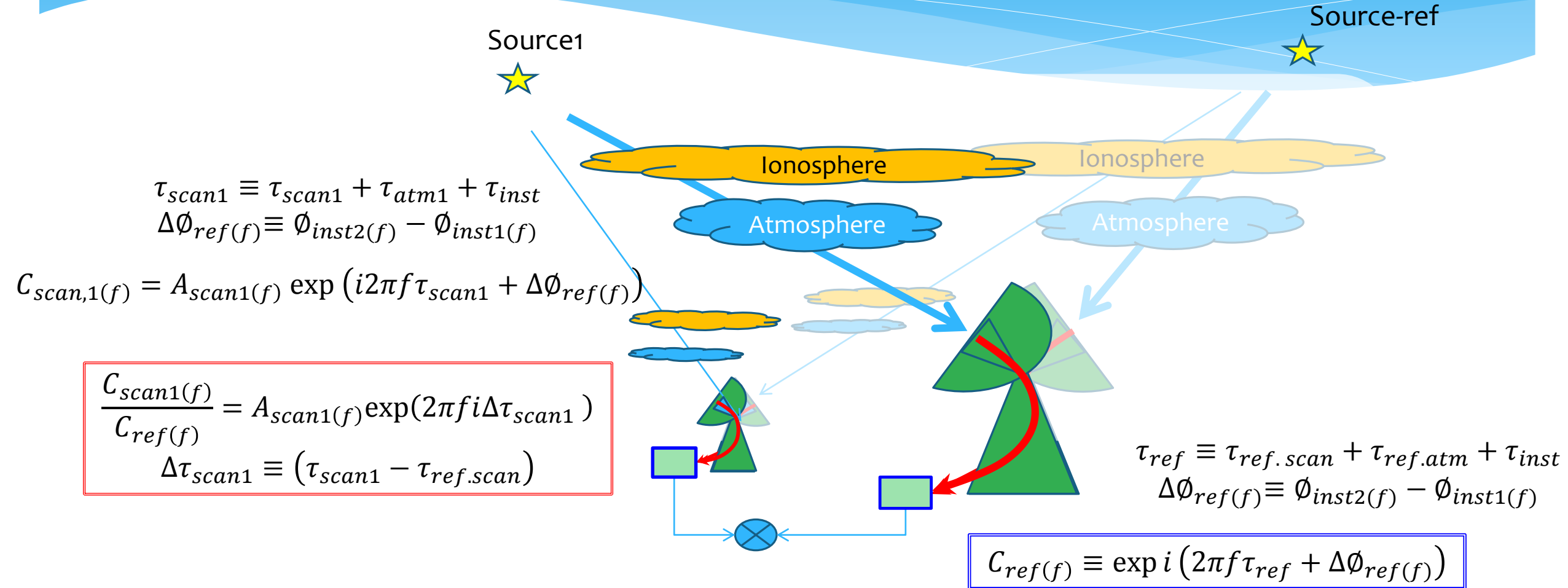
ダイレクトサンプリング方式により 校正系を簡素化したシステムを実現



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.**

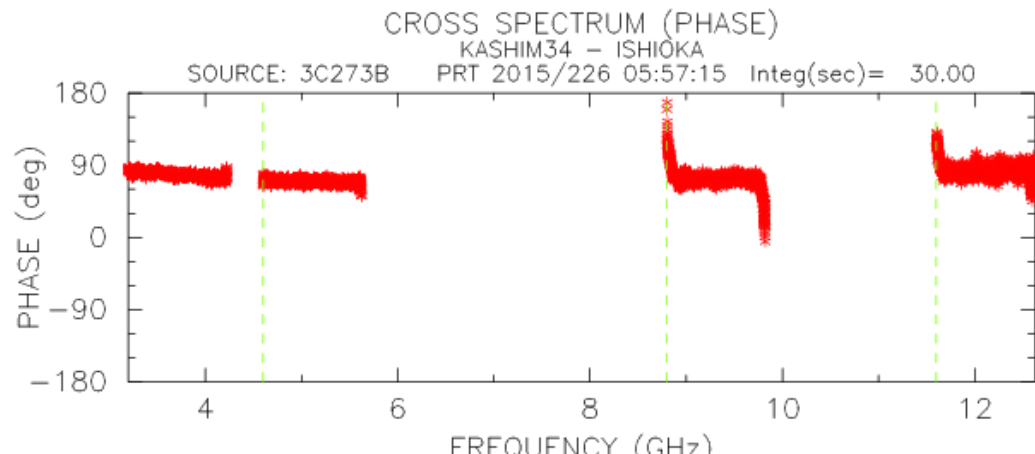
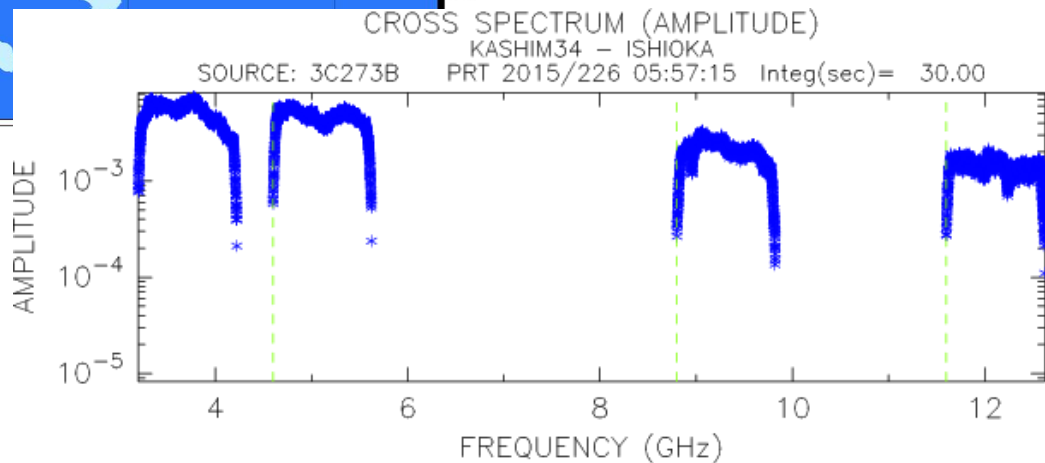
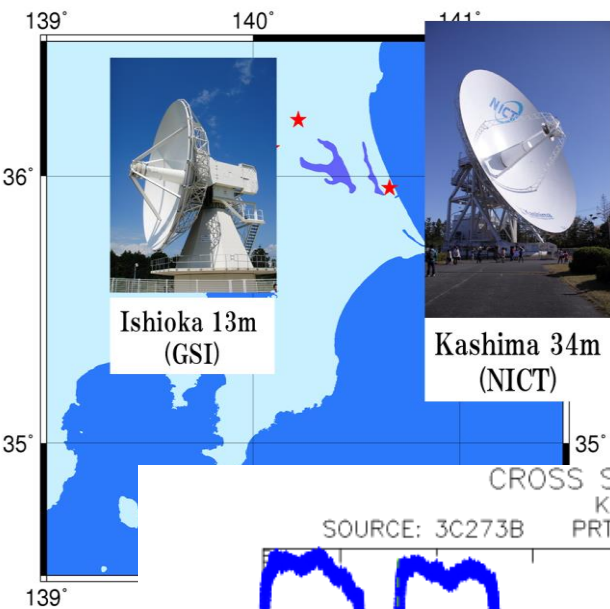
Procedure of Broadband Phase Calibration with radio source



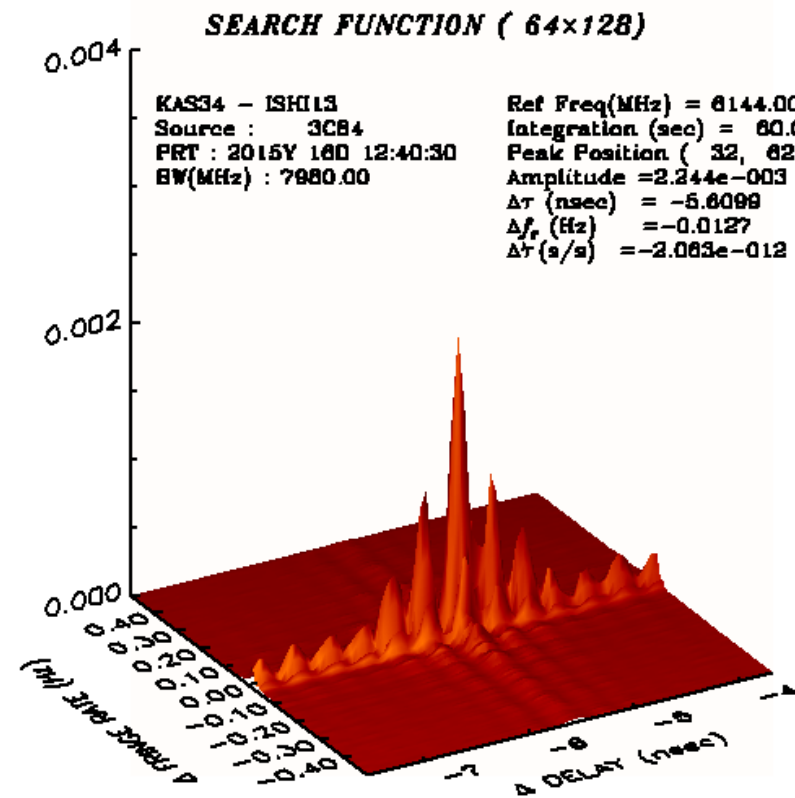
バンド幅合成結果

相互相関スペクトル

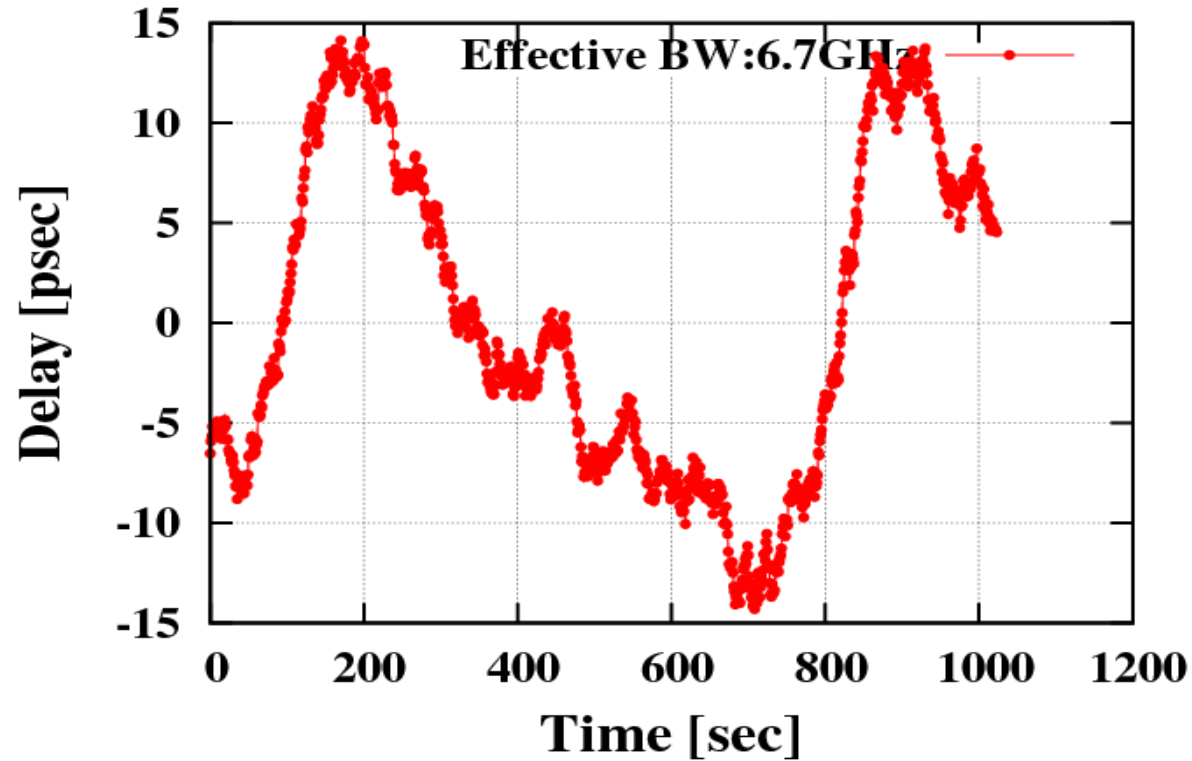
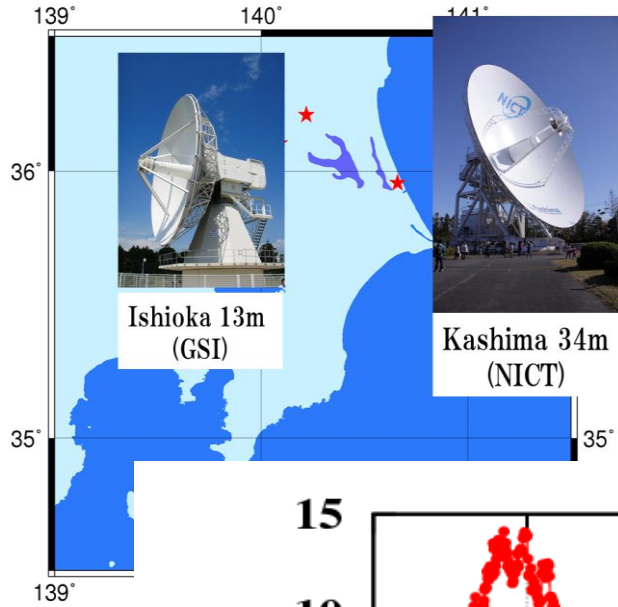
遅延分解関数



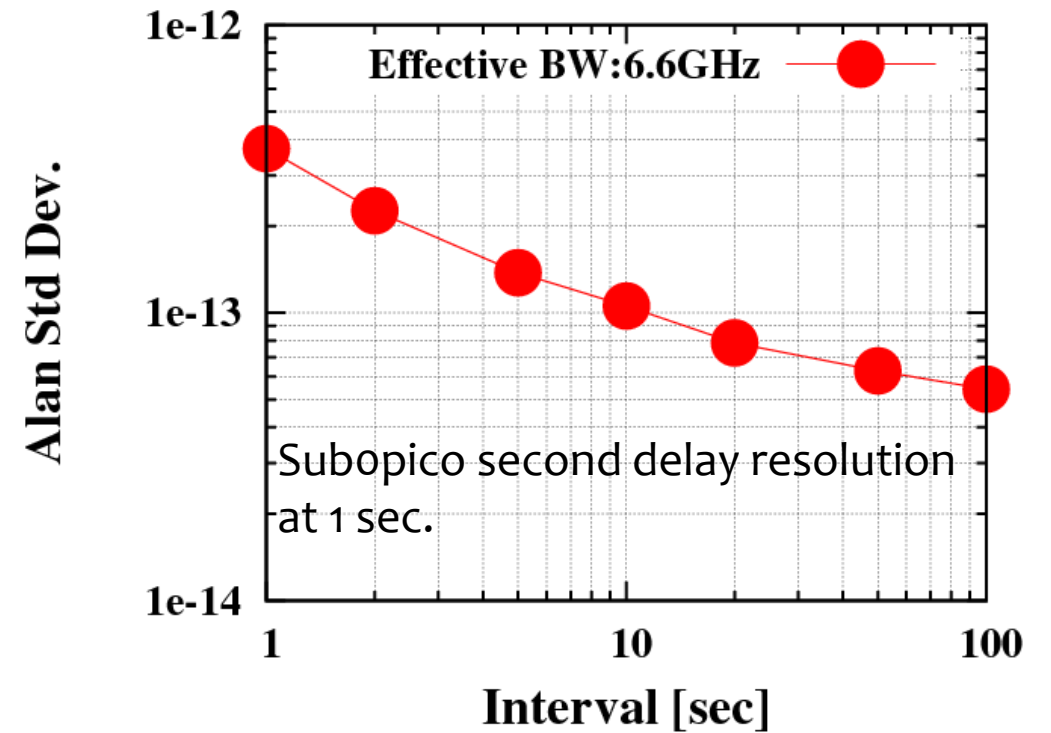
COR. AMP



広帯域群遅延量(3.2-12.6GHz)



Alan Standard Deviation



発表内容

1. 広帯域VLBI観測システムの特徴・概要
2. 2016年のVLBI観測・基線解析結果

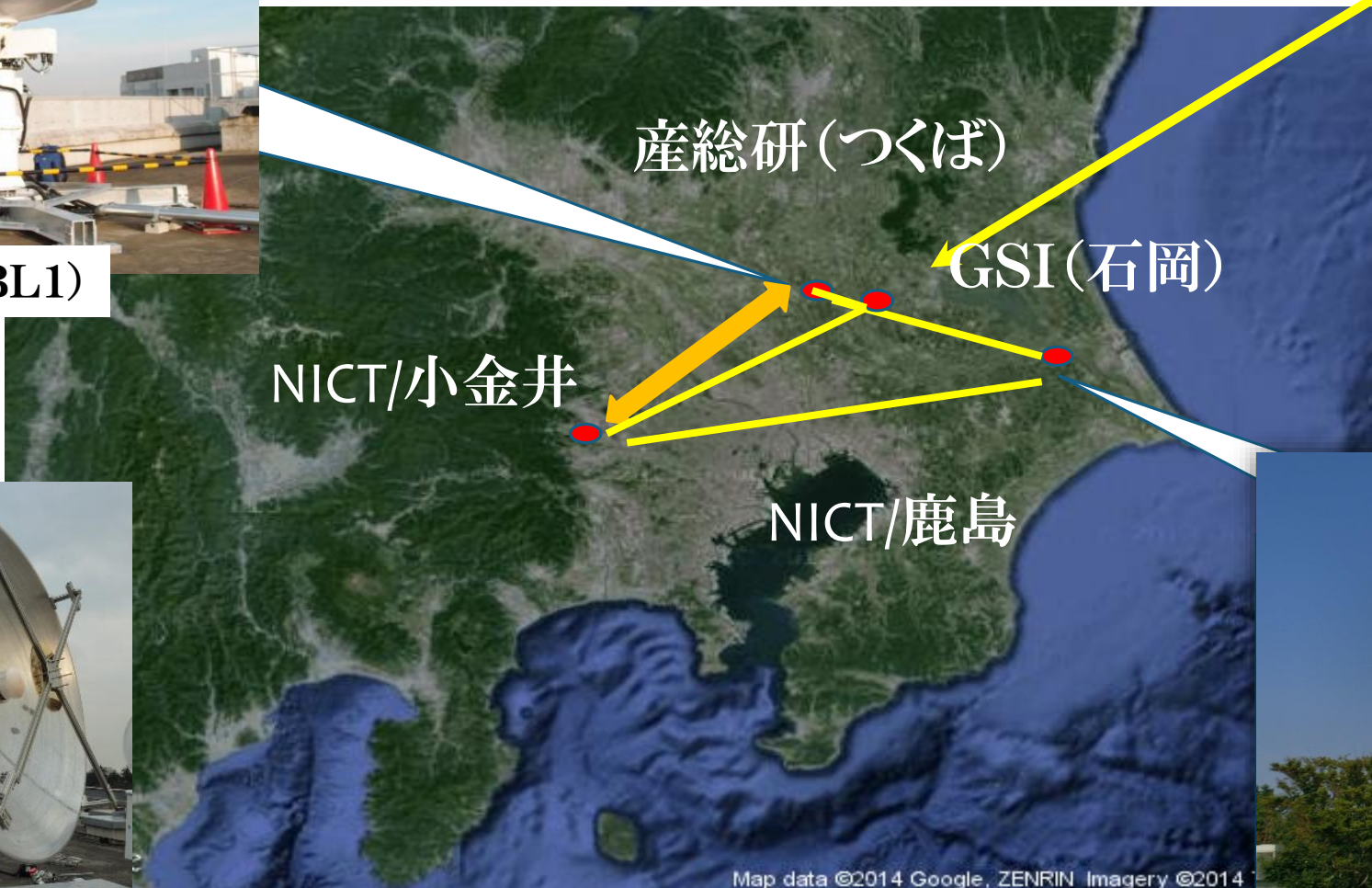
国内の広帯域VLBI観測可能なアンテナ NICT-産総研のUTC周波数比較



産総研(MBL1)



石岡 13m(GSI)



NICT(MBL2)



NICT(鹿島34m)

NICT-産総研間の UTC周波数比較 実験

OA, OB基線の観測遅延量から AB基線の遅延量を算出して 基線解析する。
CALC/SOLVE を使って基線解析

2016年 観測日	観測局	観測数	観測時間	時間/Scan
1月26-27日	鹿島34-小金井-産総研	1330/1500	46時間	110秒
2月12-13日	鹿島34-小金井-産総研	1250/1600	47時間	106秒
2月28-29日	鹿島34-小金井-産総研	1050/1450	49時間	122秒
5月16-17日	鹿島34-小金井-産総研	1220/1410	31時間	79秒
6月24-25日	鹿島34-小金井-産総研	1800/1850	49時間	95秒
7月10-11日	鹿島34-小金井-産総研	1960/2003	48時間	86秒
8月23-24日	石岡13-小金井	1372/1385	43時間	112秒
9月12-13日	石岡13-小金井-産総研	1600/1640	35時間	77秒

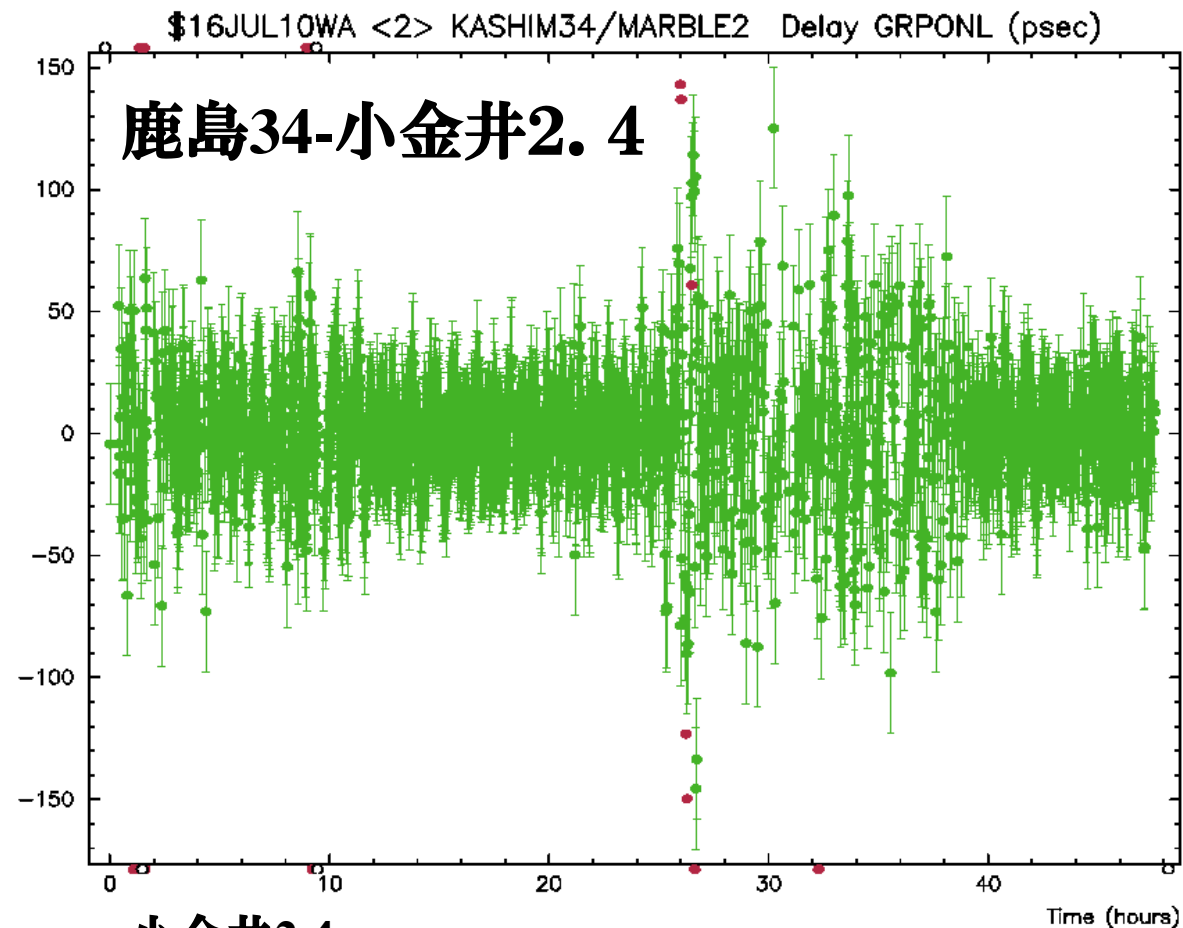
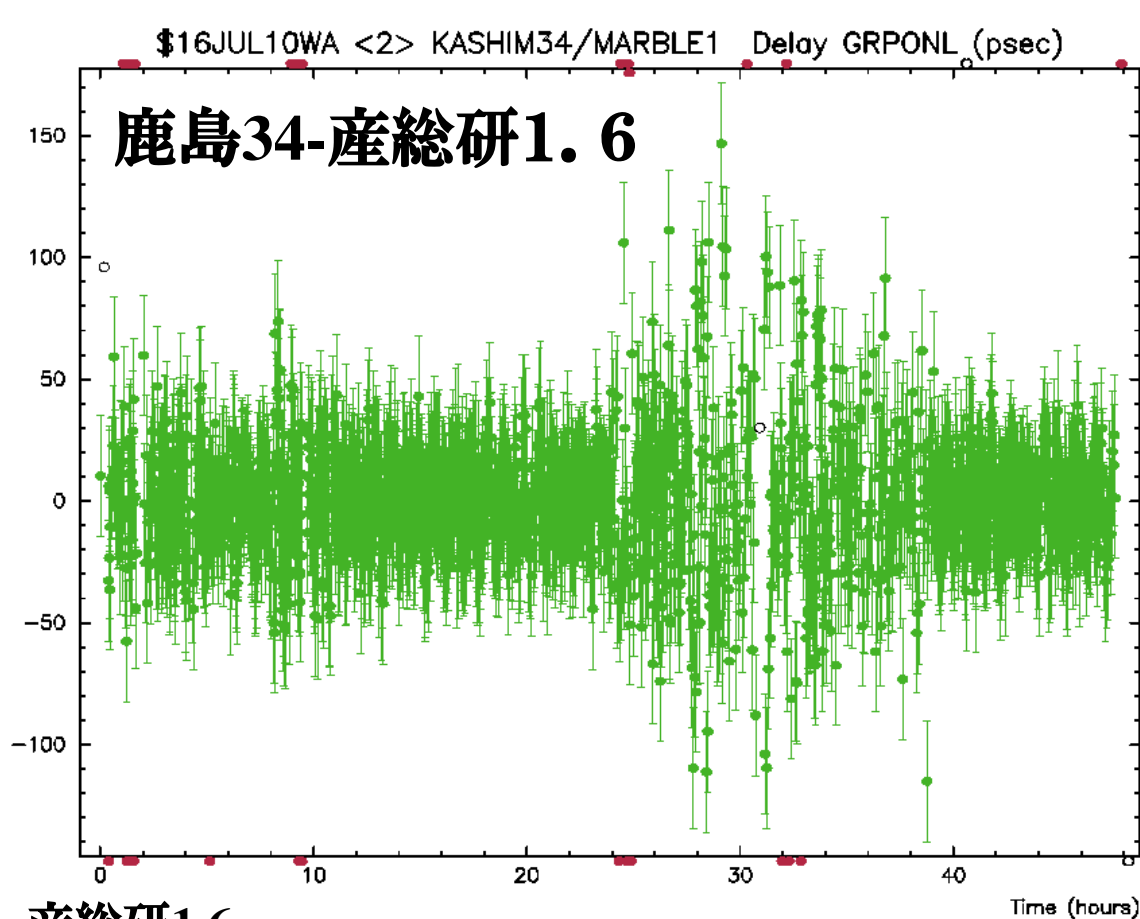
データ処理・解析手順

- * 観測：1GHz幅 4バンド(5.9GHz、7.1GHz、8.7GHz、10.6GHz)の観測
- * 相関処理：GICO3ソフトウェア相関器 による処理
- * 遅延量：広帯域バンド幅合成ソフト により高精度遅延決定
- * データベース：Mark3DB 作成
- * 解析：NASA/GSFCのCALC11/SOLVE を使って基線解析
- * 推定パラメータ：局位置、大気、クロック

Baseline Analysis with CALC/SOLVE

Baseline Length

鹿島34 - 小金井2.4: 48718201.90 mm 1.5 mm
 鹿島34 - 産総研1.6: 109427413.83 mm 1.8 mm
 小金井2.4 - 産総研1.6: 70218047.04 mm 1.8 mm



産総研1,6

X: -3962279094.67 mm 3.6 mm
 Y: 3308886487.51 mm 3.1 mm
 Z: 3733538093.87 mm 3.5 mm

小金井2.4

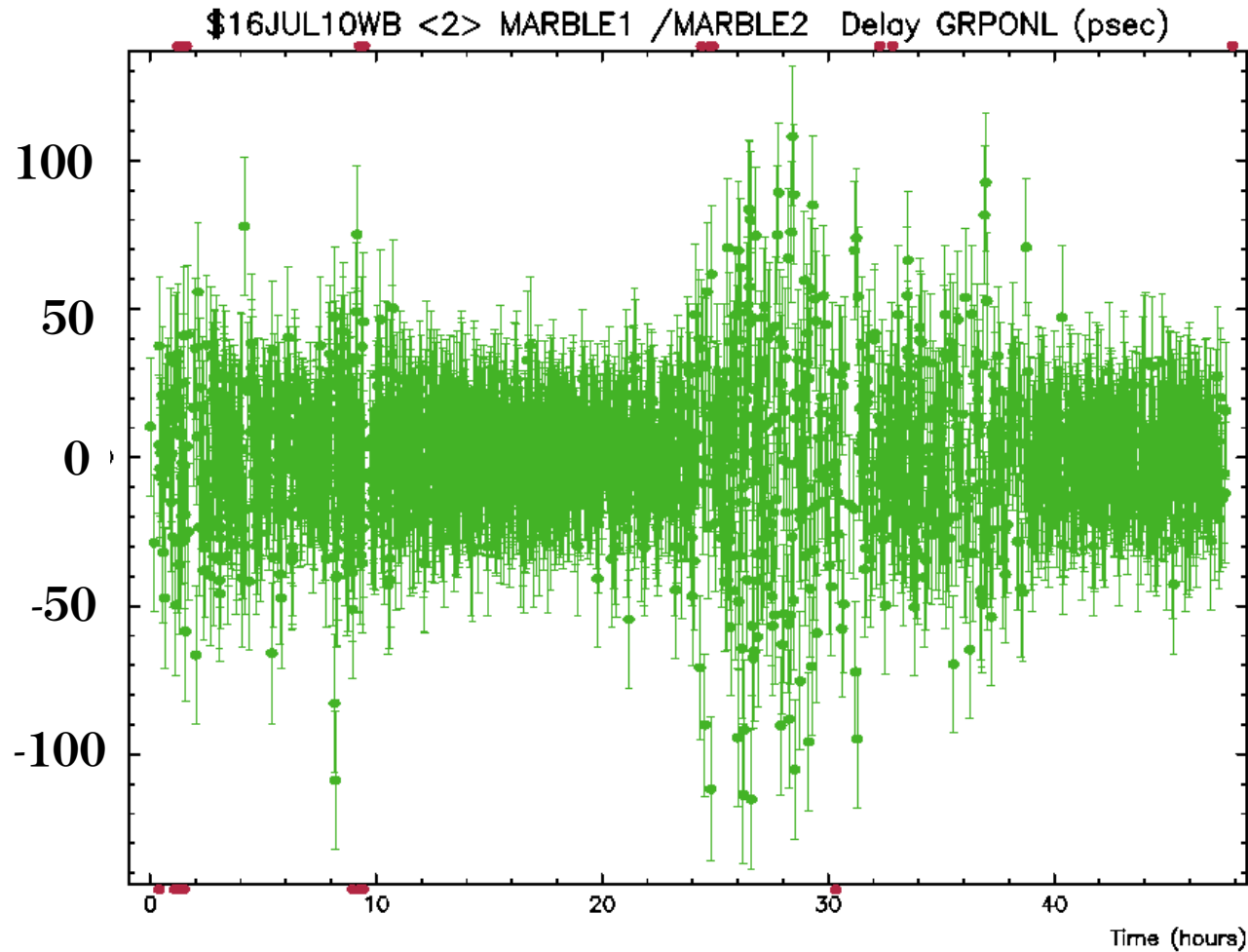
X: -3942068745.43 mm 3.4 mm
 Y: 3368281019.74 mm 3.3 mm
 Z: 3702003898.84 mm 3.4 mm

Baseline Analysis with CALC/SOLVE

Baseline Length

産総研1.6 - 小金井2.4 : 70218055.78 mm 1.7 mm

小金井2.4 - 産総研1.6



小金井2.4

X: -3942067205.61 mm 3.4 mm

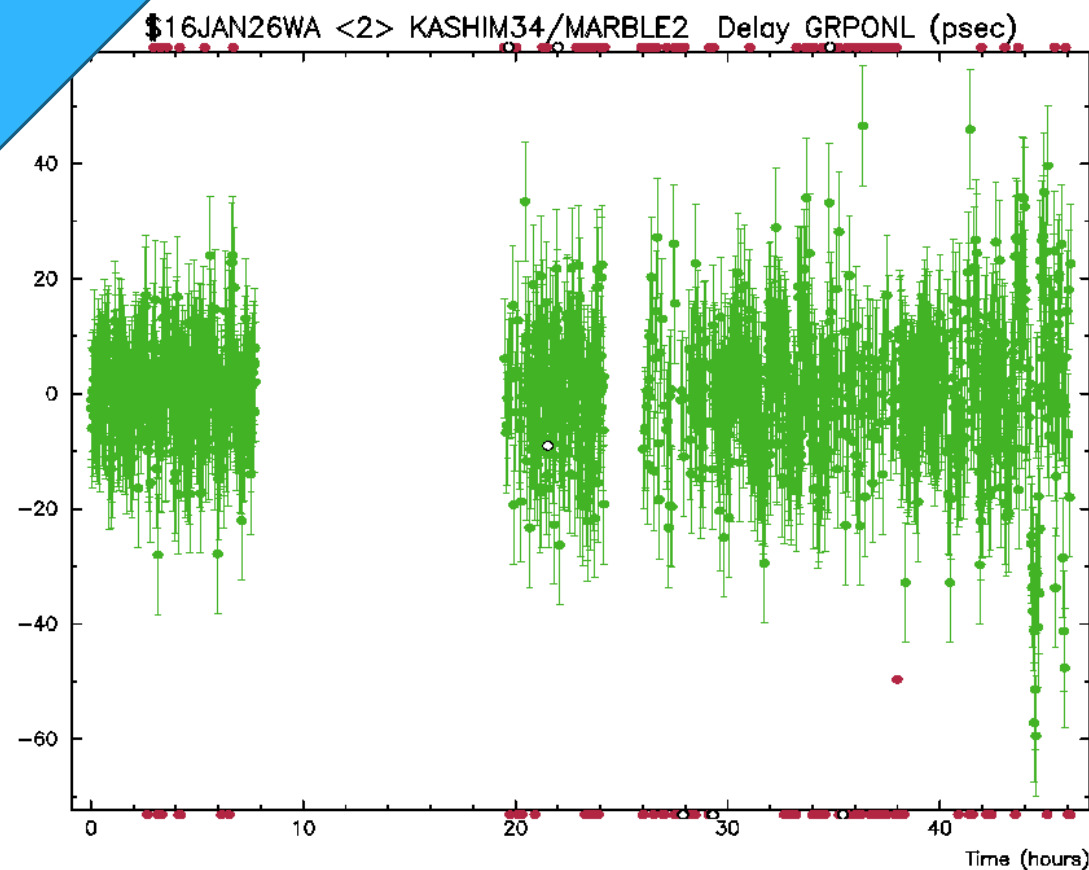
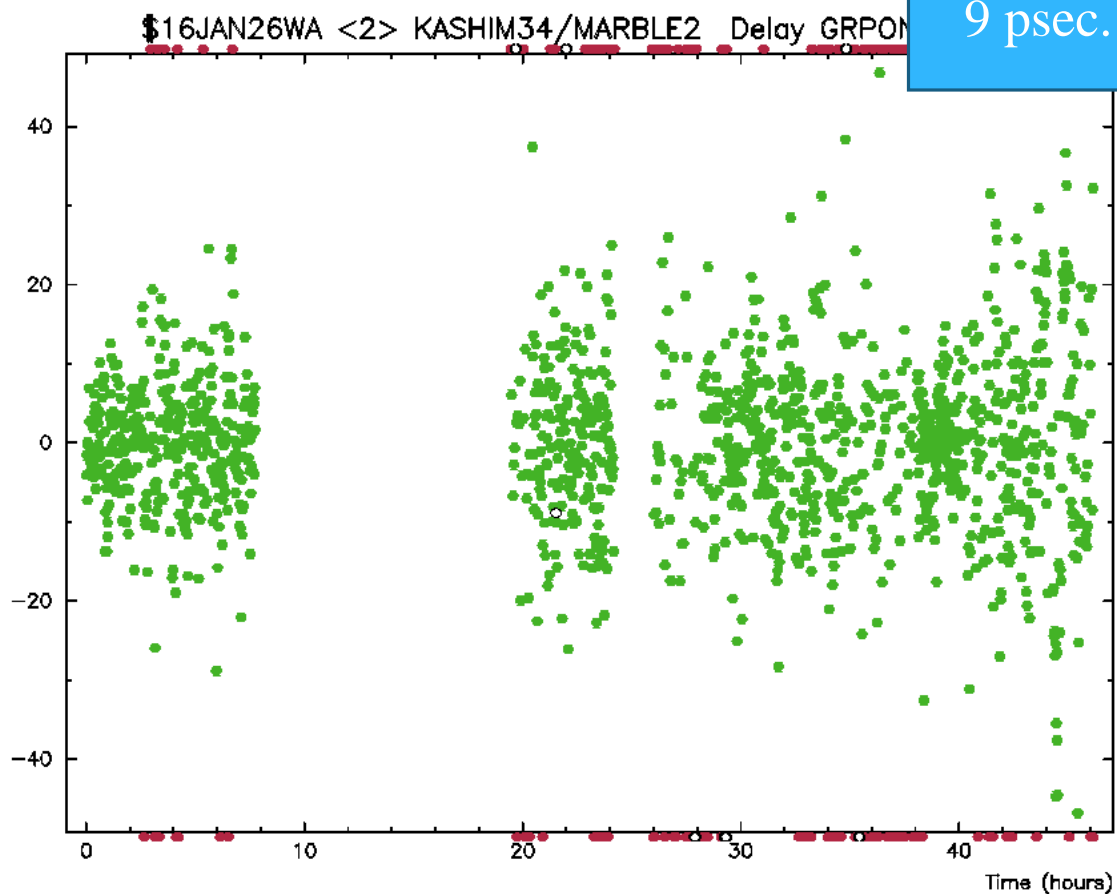
Y: 3368277707.77 mm 3.2 mm

Z: 3702003639.19 mm 3.4 mm

VGOSの計画仕様で検討されている通り、大気の遅延誤差が誤差を支配していると考えられる。

鹿島3 4 - 小金井2 . 4

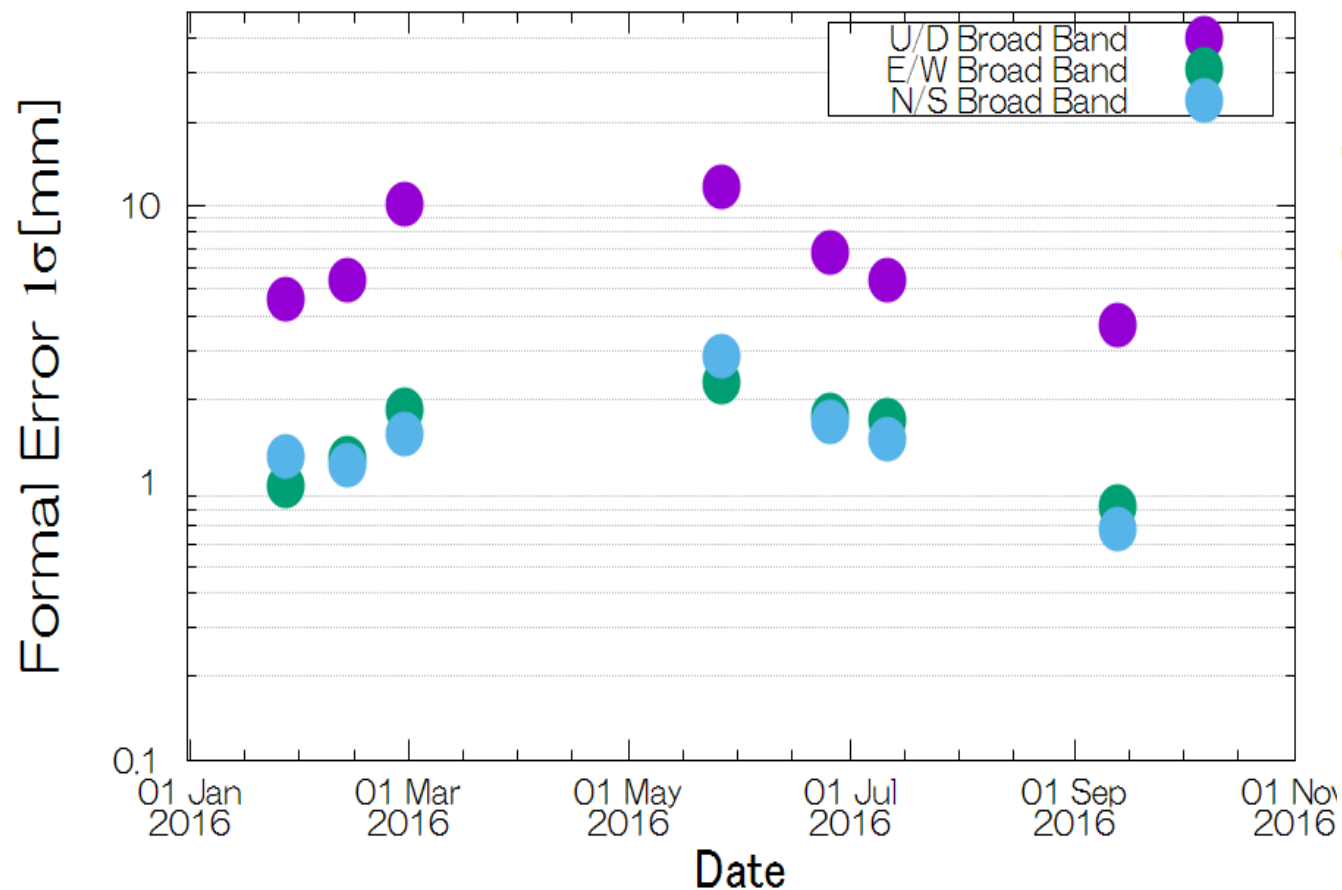
χ^2 を1に
9 psec. 誤差追加



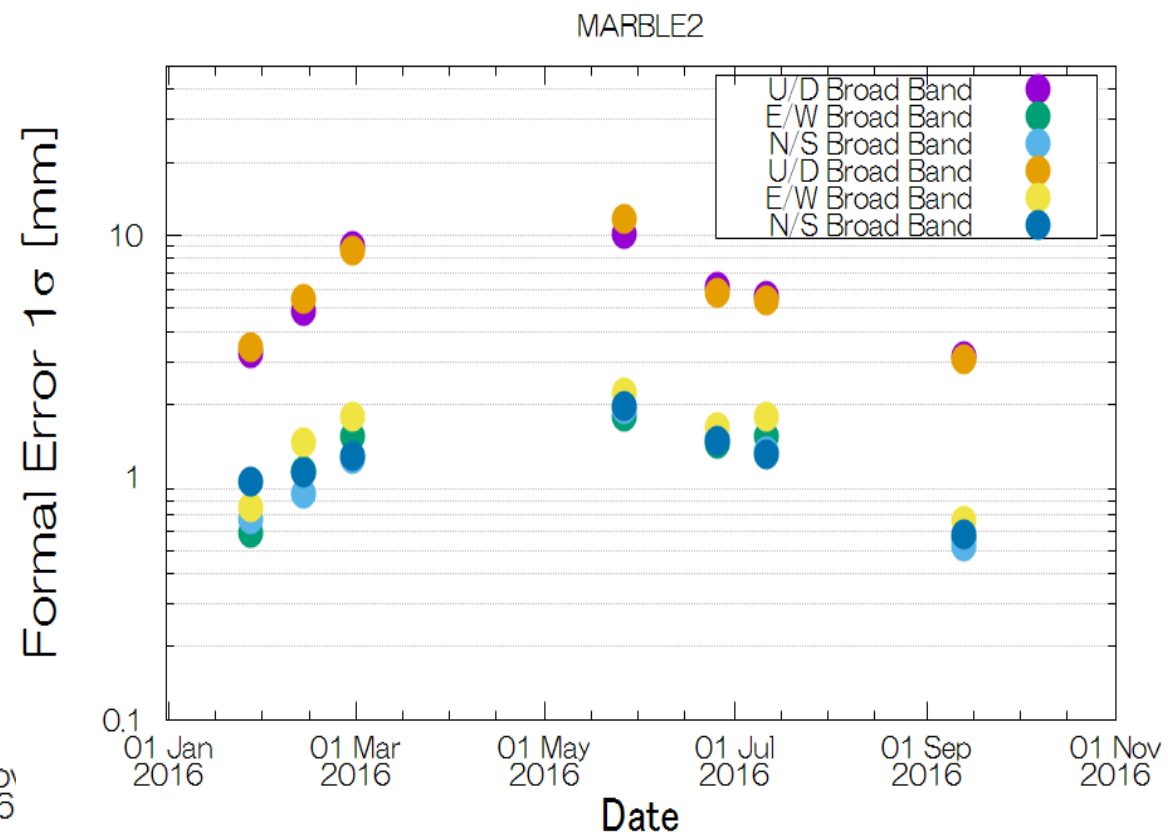
Formal Error –水平、鉛直 成分

χ^2 を1にするよう誤差を拡大した結果

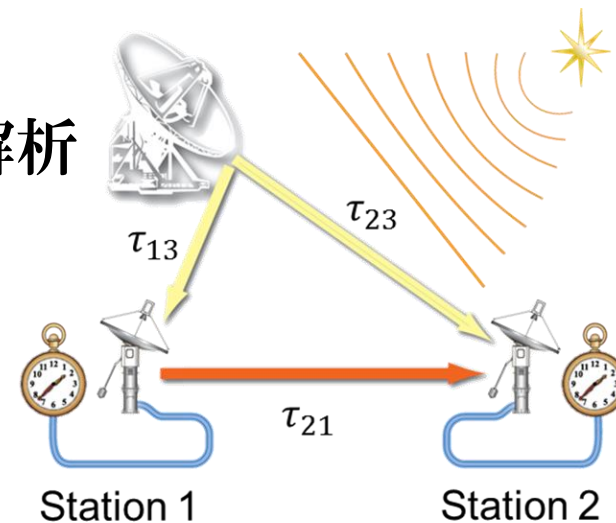
小型—小型アンテナ ペア



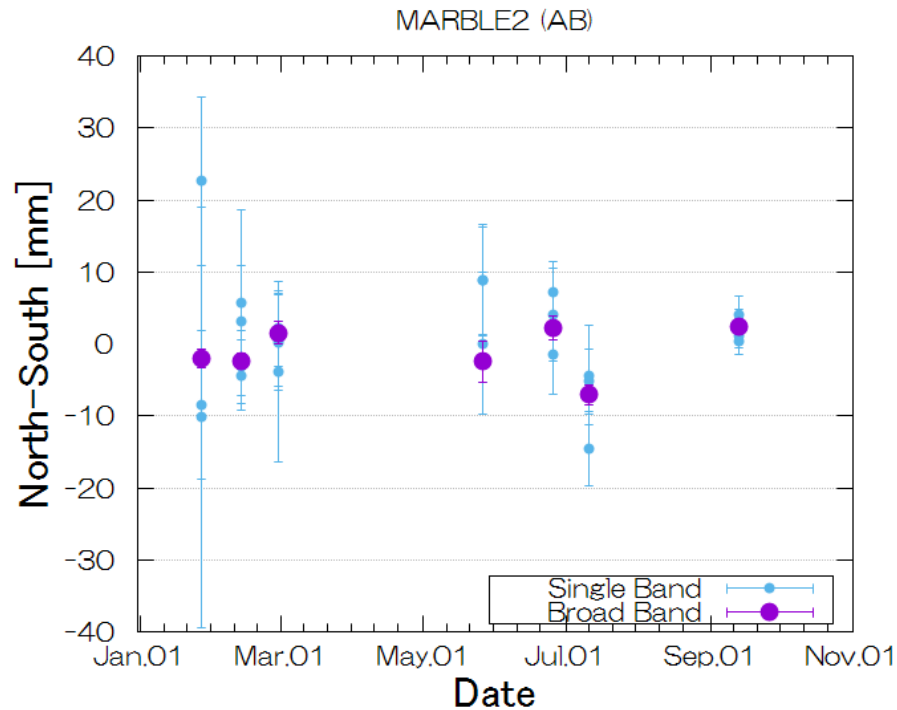
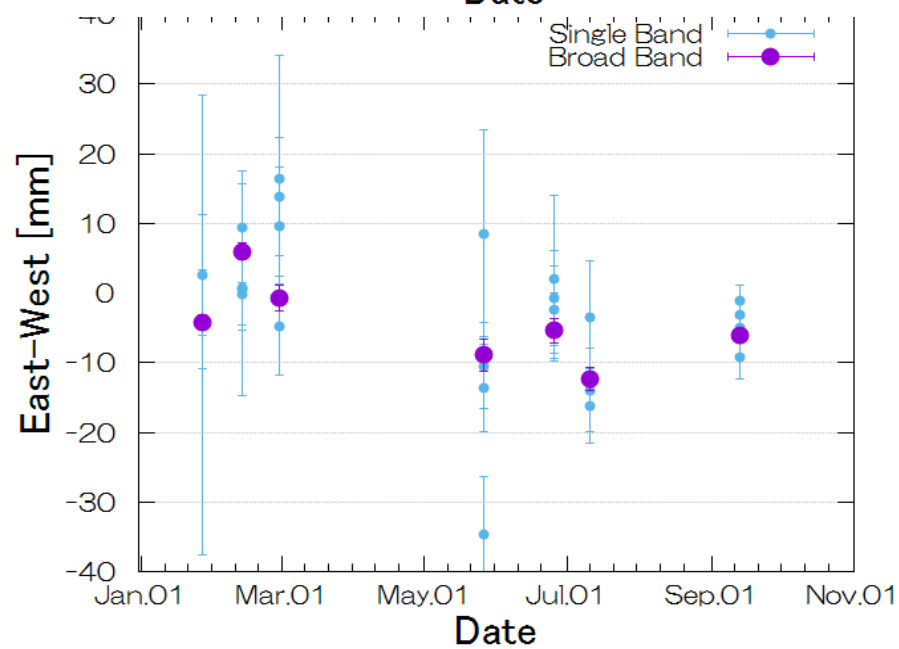
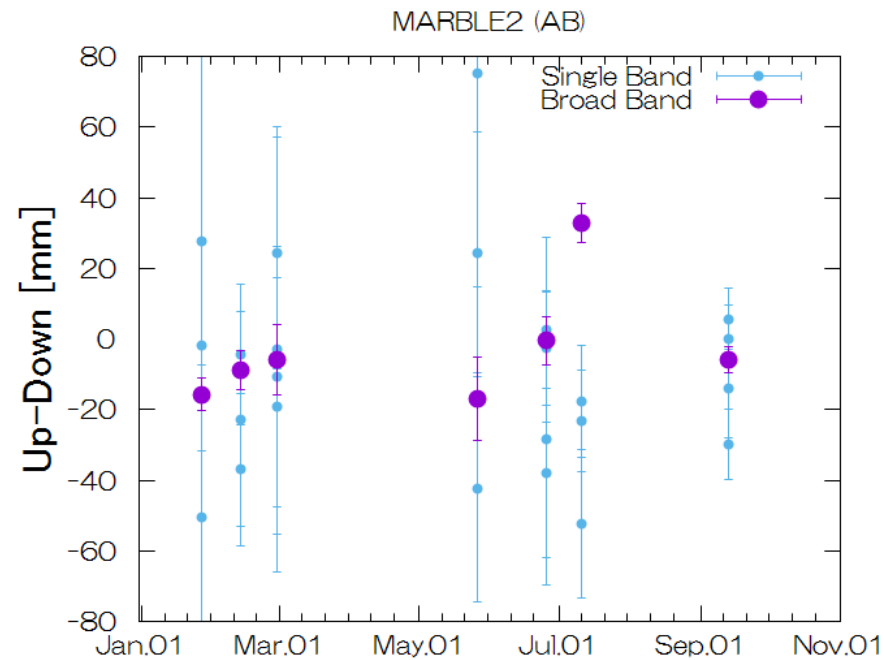
大型—小型アンテナ ペア



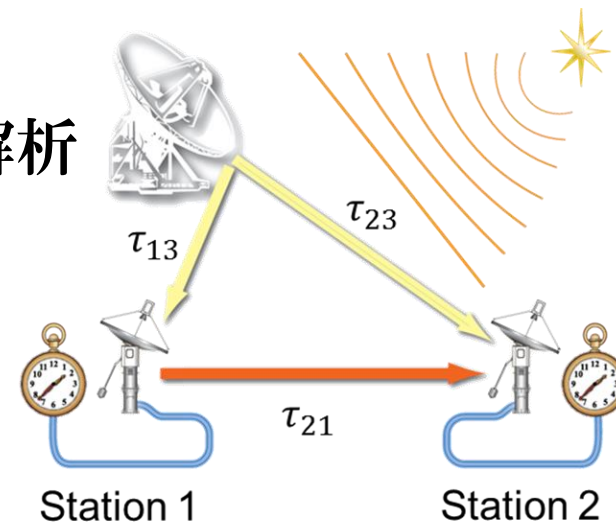
産総研1.6-小金井2.4 基線解析 小金井2.4の局位置推定



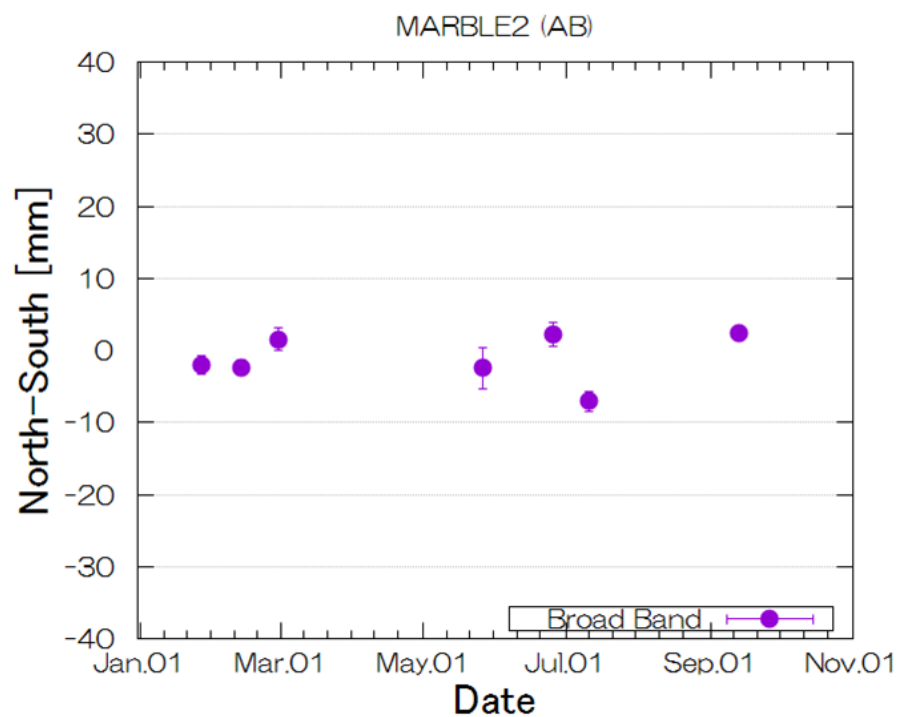
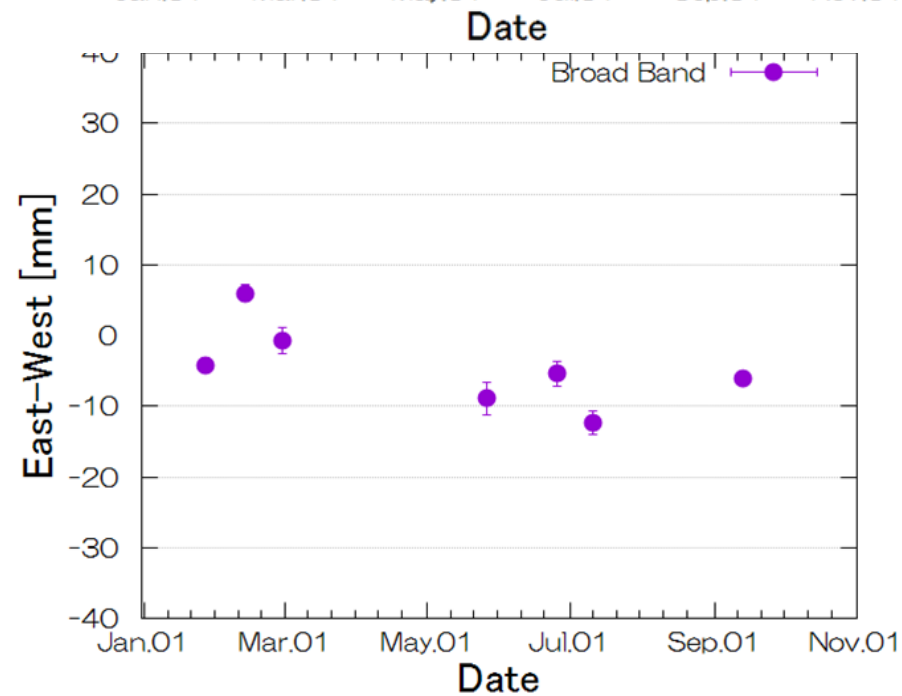
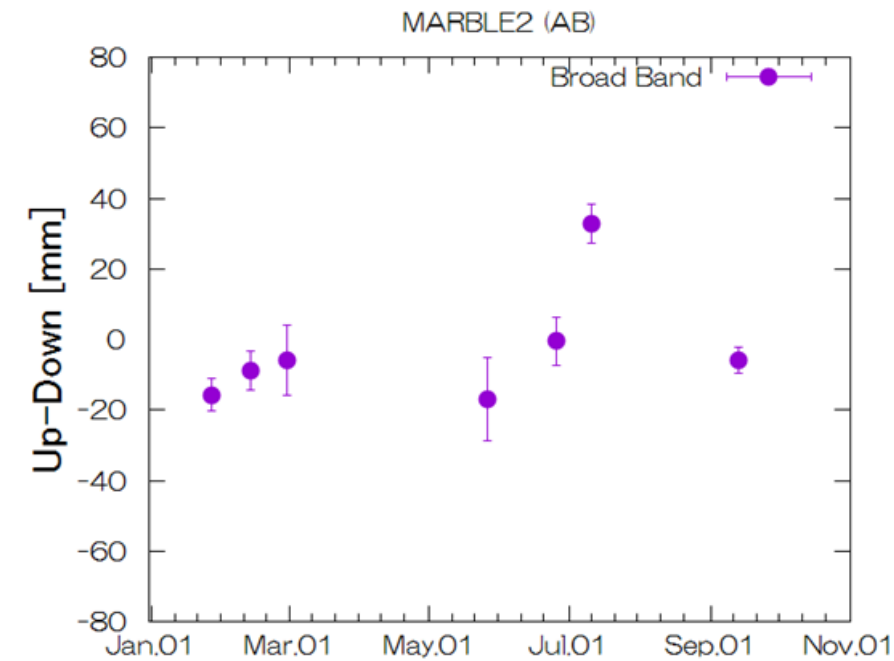
$$\tau_{21} = \tau_{13} - \tau_{23}$$



産総研1.6-小金井2.4 基線解析 小金井2.4の局位置推定

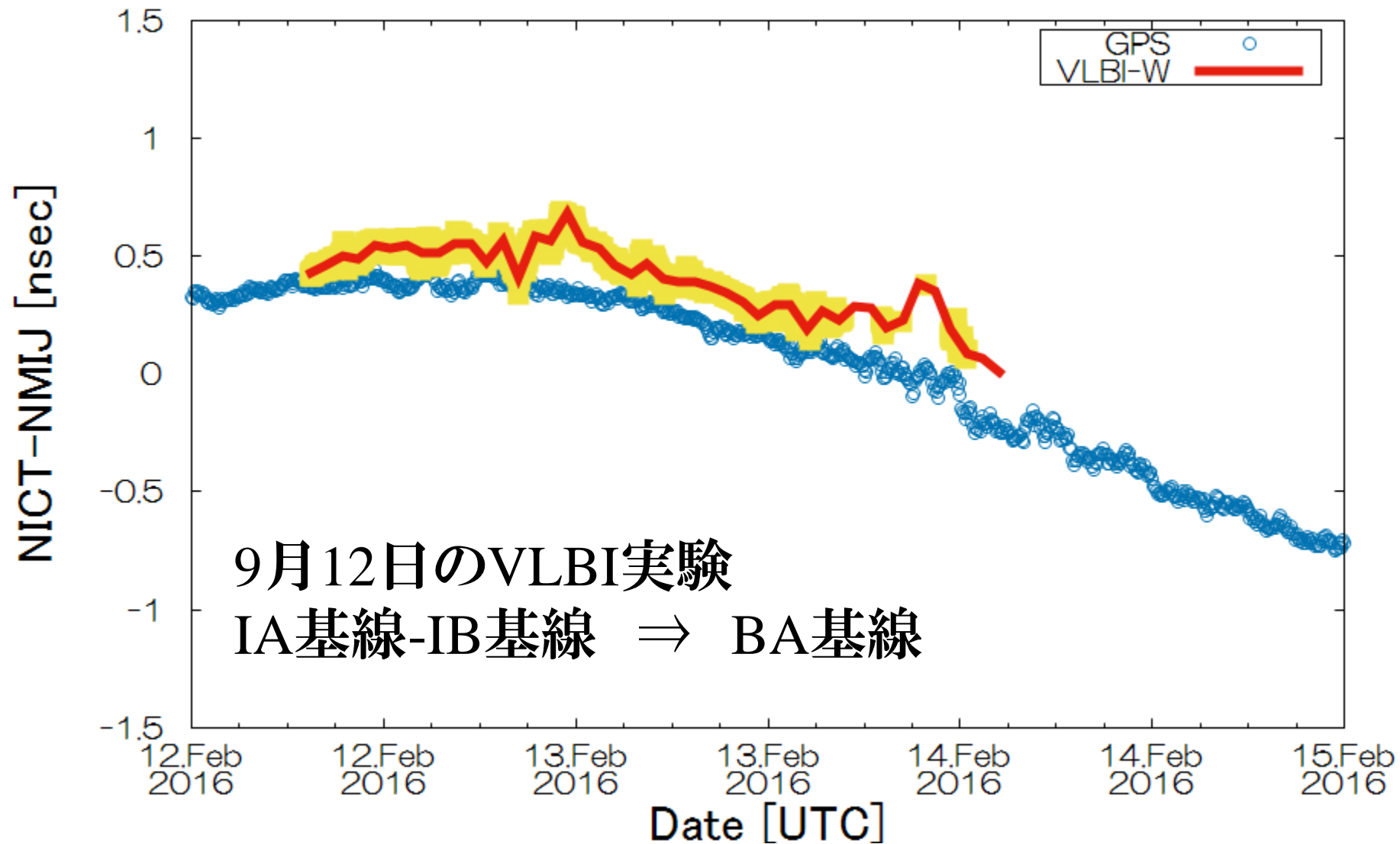


$$\tau_{21} = \tau_{13} - \tau_{23}$$



宇宙技術による 時系の比較

2016Feb12 UTC(NICT) – UTC(産総研)



まとめ

1. VGOSに対応する広帯域VLBIシステムが安定運用状態になっている。
 1. 鹿島34-MBL1-MBL2、石岡13-MBL1-MBL2
 2. 広帯域の群遅延量の精度はサブピコ秒($\sim 3\text{psec}$)を実現
 3. $20\text{psec}@200$ 秒程度の遅延変動(大気か)を確認
2. VLBIセッションを実施し、
 1. 小型アンテナ間の局位置(水平 $<10\text{mm}$,鉛直 $<20\text{mm}$)推定
 2. 原子時計間のクロック比較ができるようになった。
3. 今後の予定
 1. 国際的な試験観測を計画し、実施する。
 2. 海外原子標準機関への小型アンテナの移設を検討する。

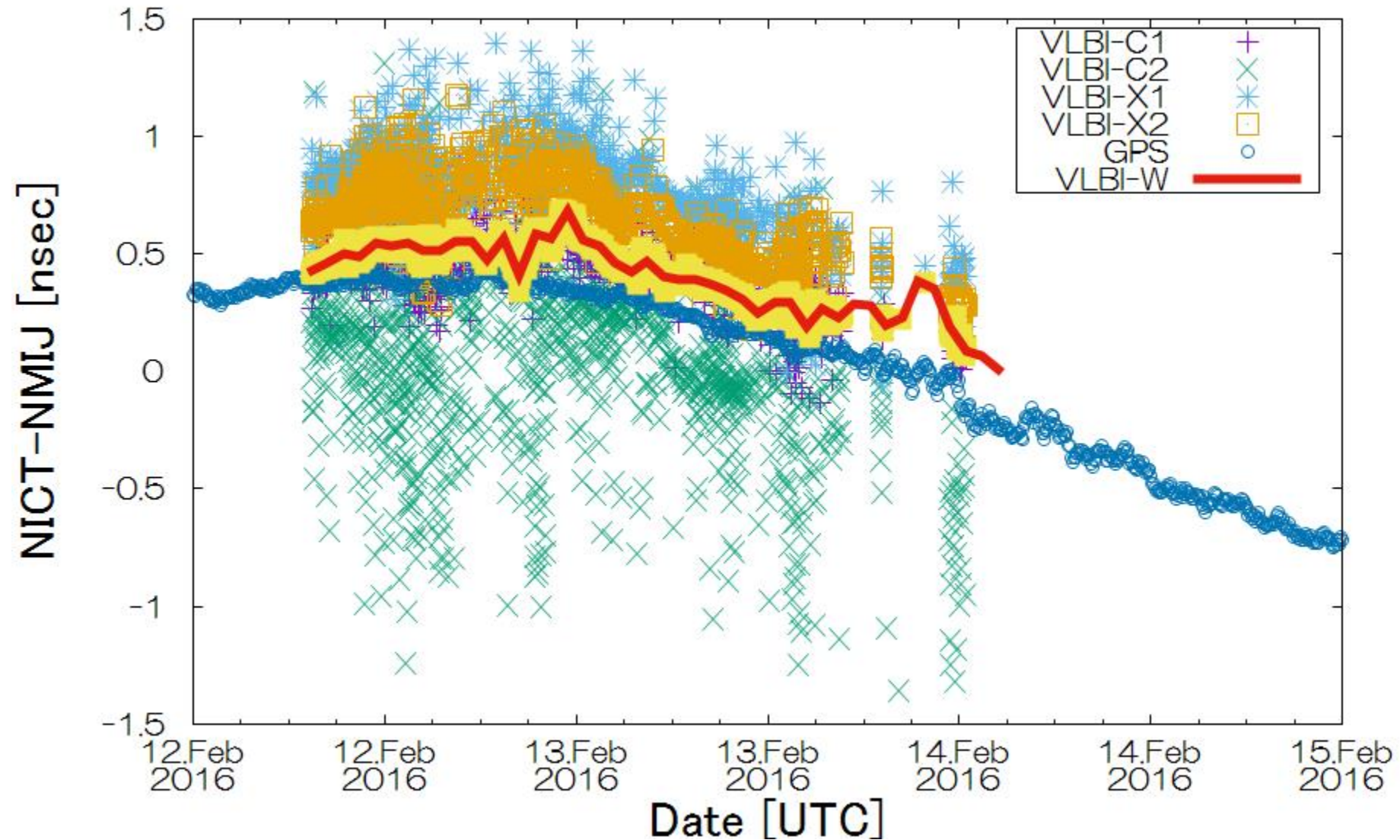
ご清聴ありがとうございました

- 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。
- 国内の大容量VLBIデータ交換には、JGN高速ネットワークにサポートいただいています。

宇宙技術による クロック比較

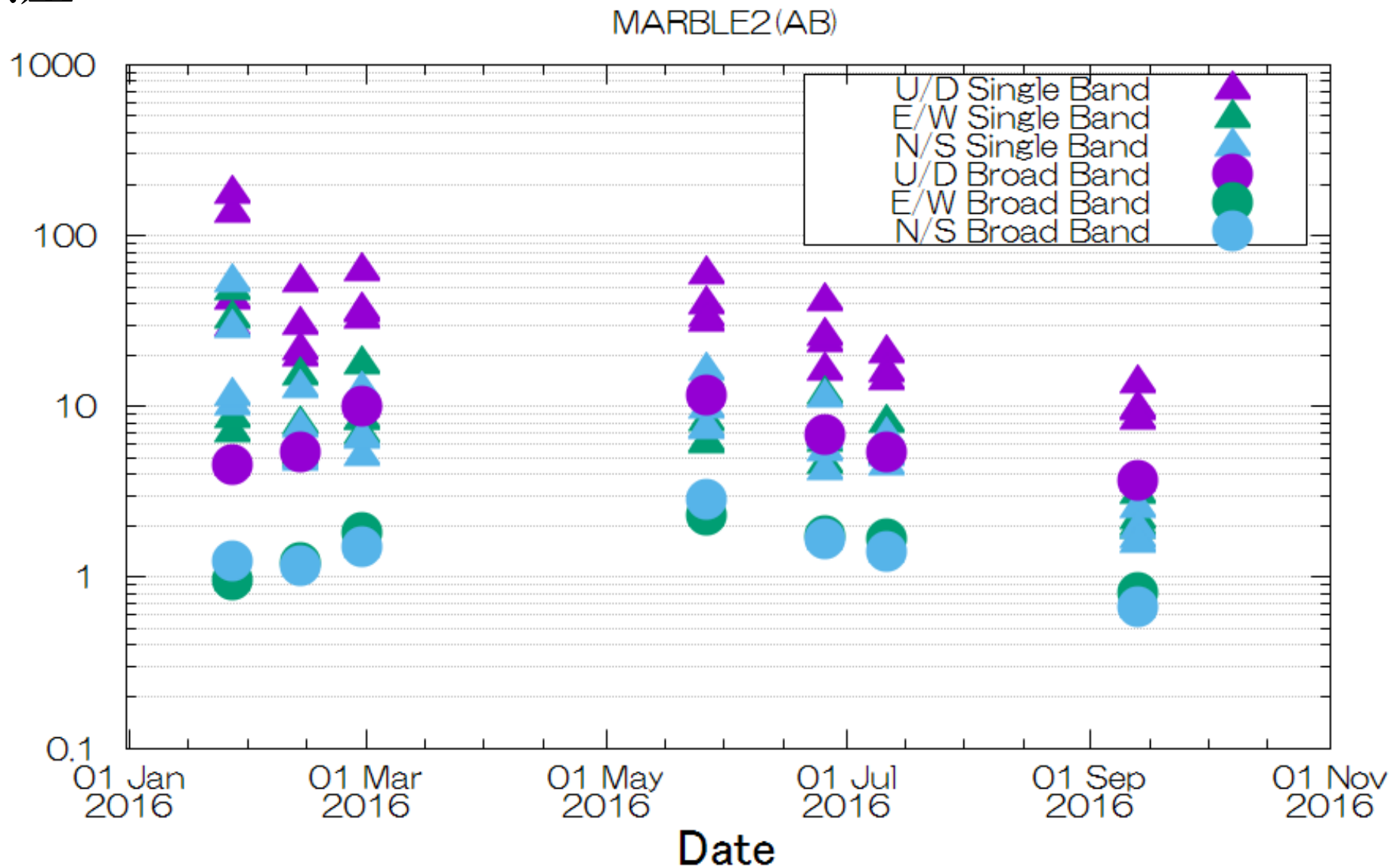
2016Feb12 UTC(NICT) – UTC(NMIJ)

IA-IB=BA



Formal Error

χ^2 を1にするよう誤差
を拡大した結果



Formal Error

χ^2 を1にするよう誤差を拡大した結果

