

# VLBI 周波数比較プロジェクト～広帯域遅延量を使った基線解析～

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



電磁波研究所  
時空標準研究室  
副室長

関戸 衛

## 1. Introduction

大陸間距離の原子時計の周波数精密比較を目的として、可搬型広帯域VLBIシステムの開発を進めている。この周波数比較プロジェクトGALA-Vの概念図を図.1に示す。移設可能な小型アンテナに接続された周波数標準器を、VLBI観測によって比較するものである。

電波星からの微弱な信号を、従来の2GHz,8GHzの観測に比べて10倍以上広い3-14GHzの超広帯域で受信し、精密な遅延量を計測する。

従来にない超広帯域の観測を可能にするための、**広帯域アンテナ**、**高速データ取得・相関処理技術の開発**を進め、小型・可搬VLBI局による高精度な測地・周波数比較が可能となりつつある。

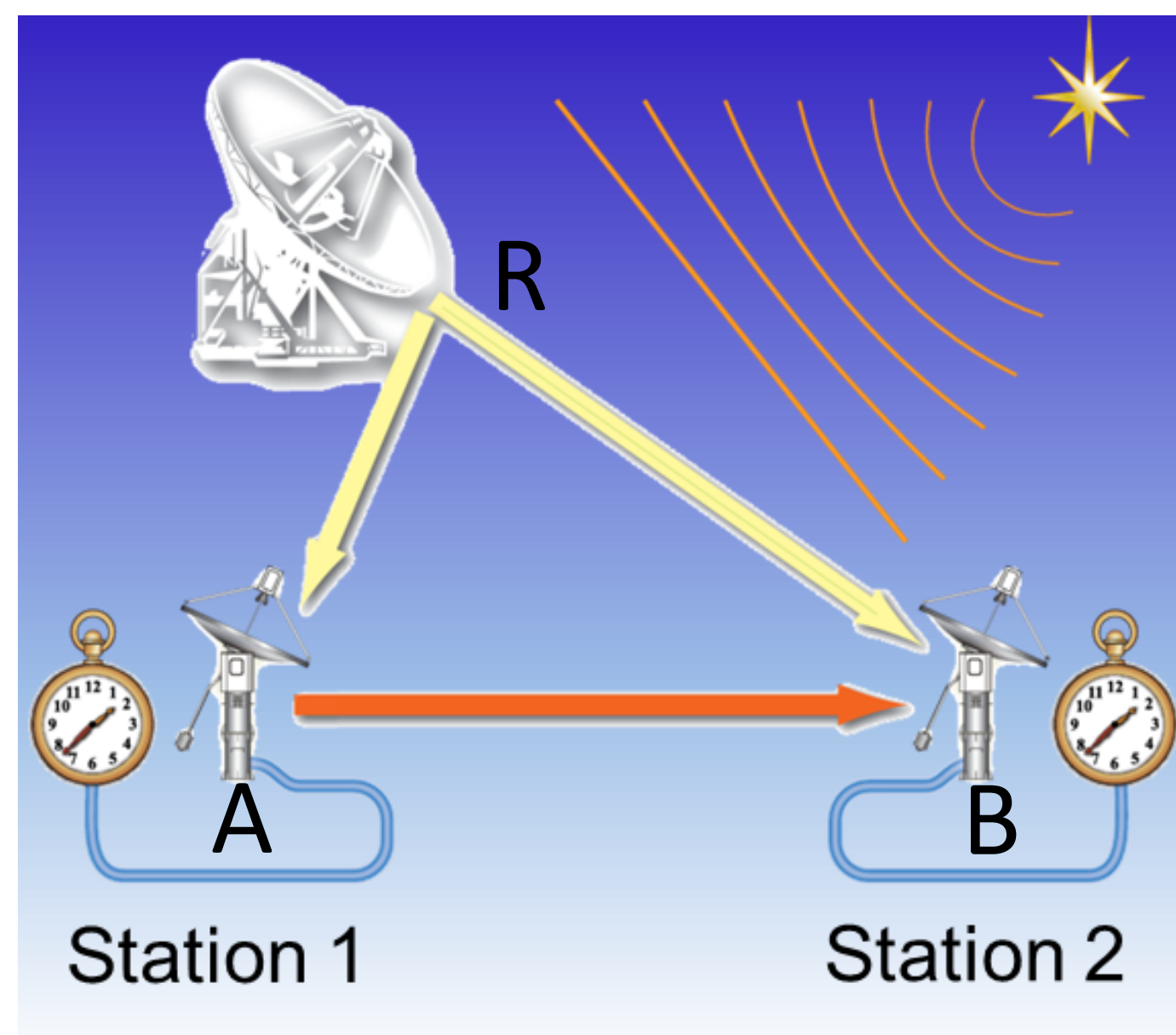


図1 GALA-Vプロジェクト概念図

小型アンテナの基線ABの遅延量は、高感度のアンテナRを含む基線RA, RBの遅延量の線形結合から得られる。

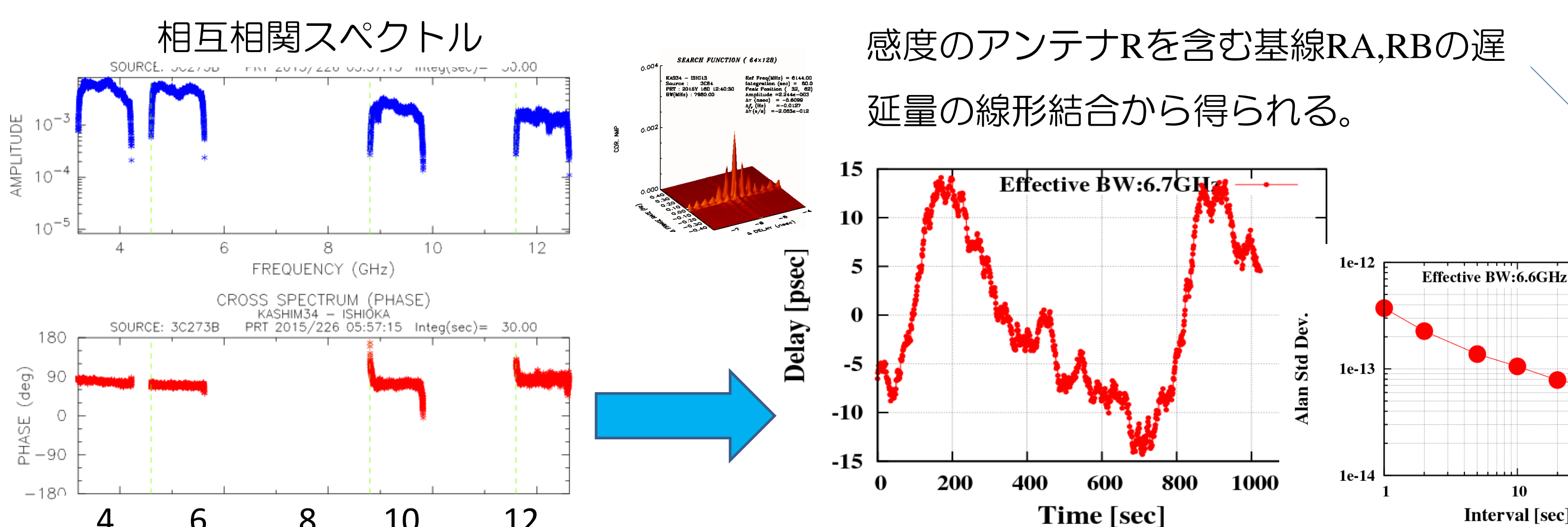


図2 広帯域VLBI実験を行っているアンテナ群  
UTC(NICT)-UTC (NMIJ)間の周波数比較実験を、広帯域観測可能なNICT鹿島34m、石岡13m(国土院)のアンテナとの共同観測により実施している。 2016年に行った実験を下記表に示す。

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
11月25-28日	鹿島34-小金井-産総研	2193/2237	62時間	100秒

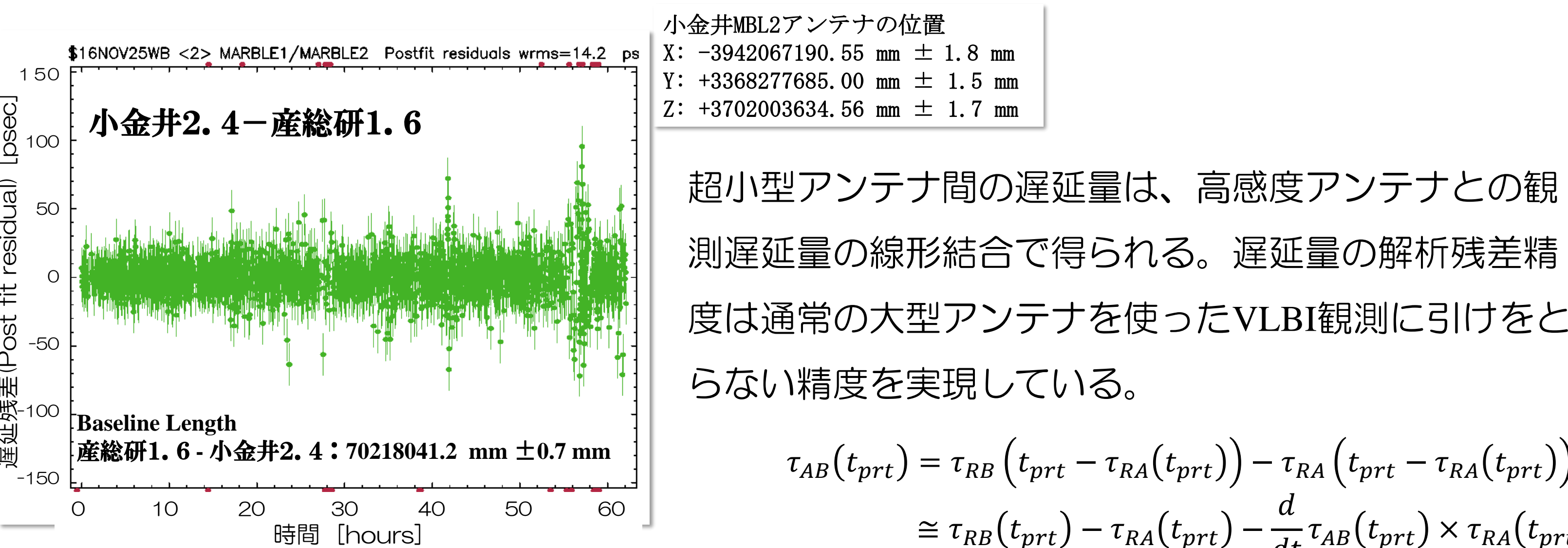
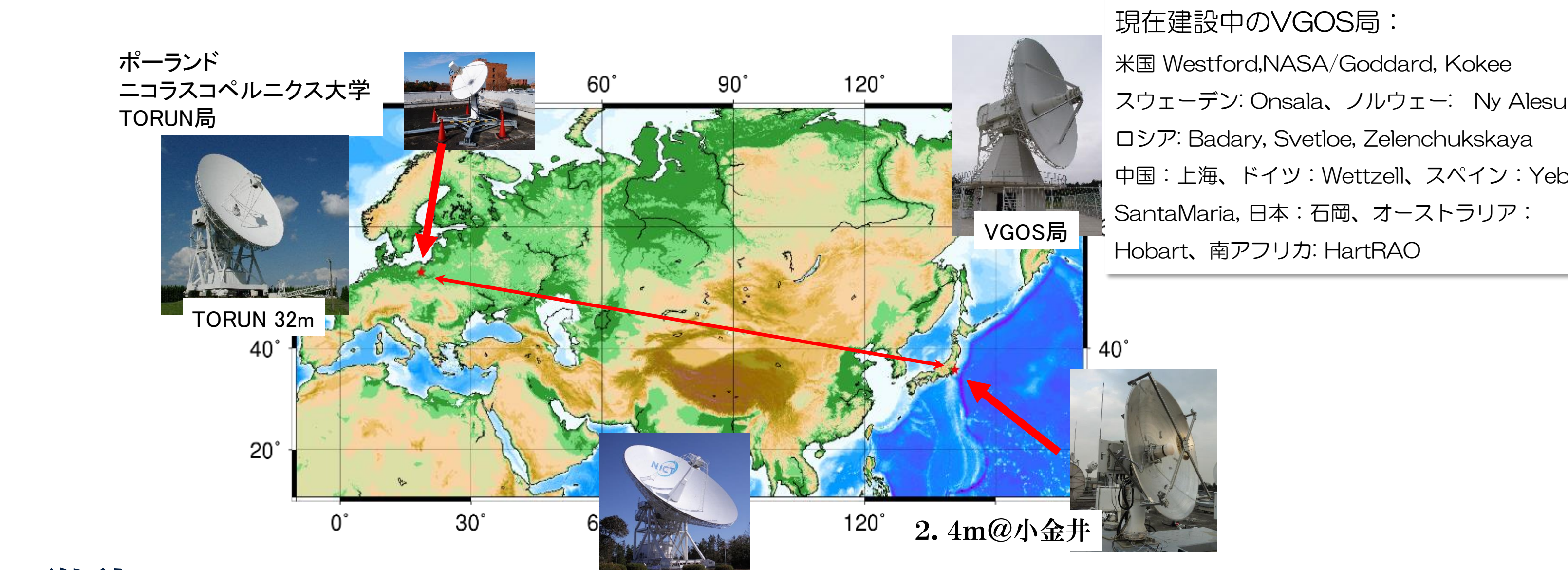


図5 基線解析 遅延残差(Post Fit Residual) WRMS: 14ps

## 4. 今後の予定

国際基線での長距離周波数比較実験の相手候補として、ポーランドのニコラス・コペルニクス大学(NCU)を想定して準備を開始している。NCUは光格子時計の開発を行っている研究機関で、同じ物理学部内にVLBIの観測機を持ち、ヨーロッパのVLBI観測網EVNのに参加している。欧州の研究用高速ネットワークGEANTに10Gbpsのネットワークで接続されているため、大容量のデータを取得する観測にも対応可能と期待される。国際的な周波数比較VLBI観測を行うためには、次世代の測地VLBIシステムVGOS局との共同観測が不可欠である。VGOSはGALA-Vと同様3-14GHzを観測帯域とする測地VLBIシステムで、世界各国で建設が進められている。



## 謝辞

観測は、天体からの微弱な信号を8Gbpsのデータレートで取得し、1局当たり3日間で約90TBの容量になる。小金井と鹿島を結ぶ観測の大容量データ処理は、高速ネットワークテストベッドJGNを活用したデータ共有により迅速なデータ処理が可能となっている。UTC(NMIJ)-UTC(NICT)の周波数比較実験は、産業技術総合研究所 計量標準センターの鈴山氏、渡部氏、保坂氏との共同研究により実施している。世界で初めての超広帯域VLBI観測は、国内でNICT以外唯一の広帯域アンテナである国土交通省国土院の石岡13m (VGOS)アンテナとNICT鹿島34mアンテナにより実現した。広帯域フィードの開発は、H25-26年の国立天文台共同開発研究ファンド(課題名「鹿島34m用超広帯域受信システムの開発」(代表:藤沢健太教授)のサポートを受けている。

## 2. 国内の広帯域VLBI観測可能なアンテナを使った NICT-産総研のUTC周波数比較実験

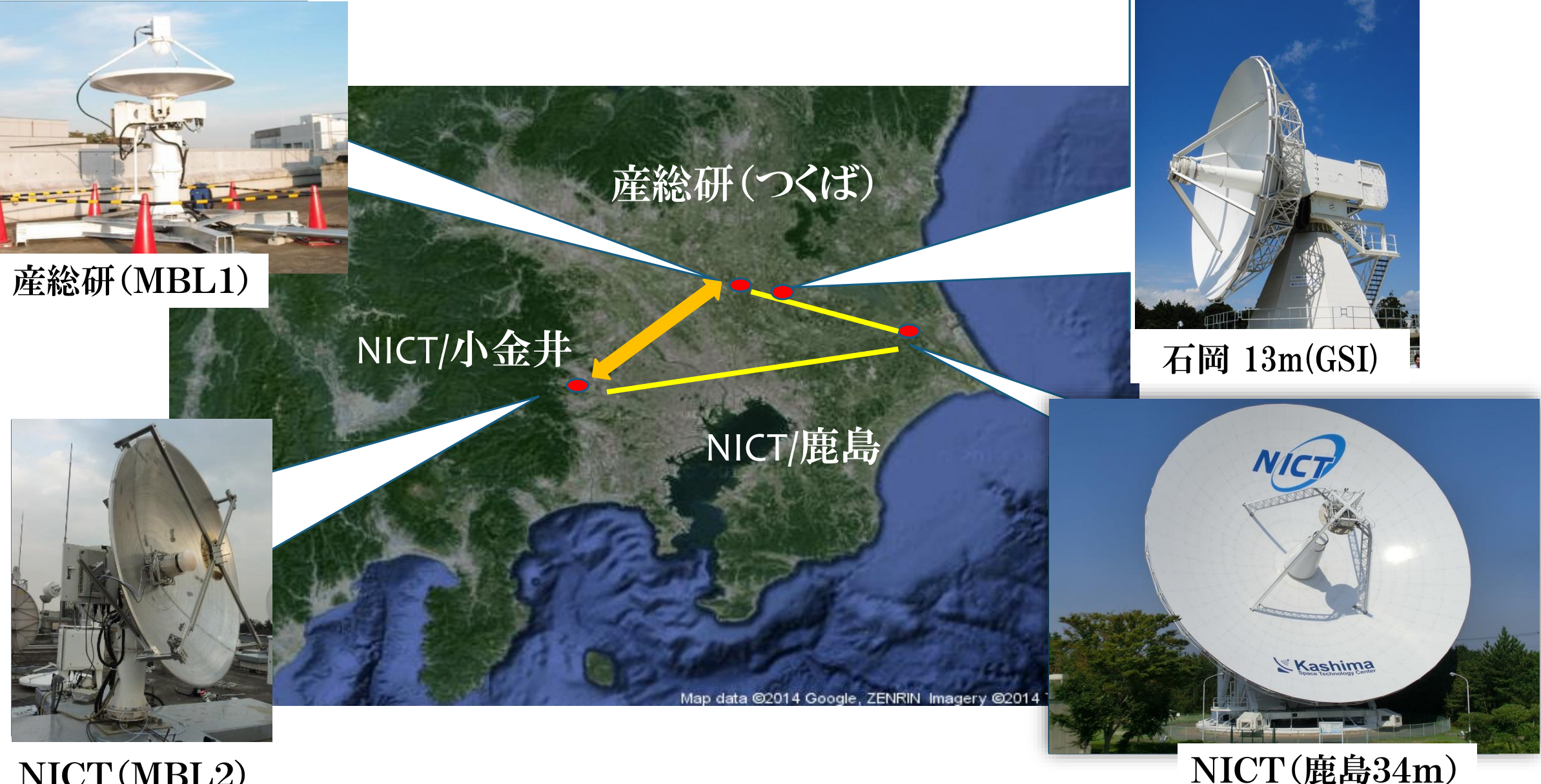


図2 広帯域VLBI実験を行っているアンテナ群

UTC(NICT)-UTC (NMIJ)間の周波数比較実験を、広帯域観測可能なNICT鹿島34m、石岡13m(国土院)のアンテナとの共同観測により実施している。 2016年に行った実験を下記表に示す。

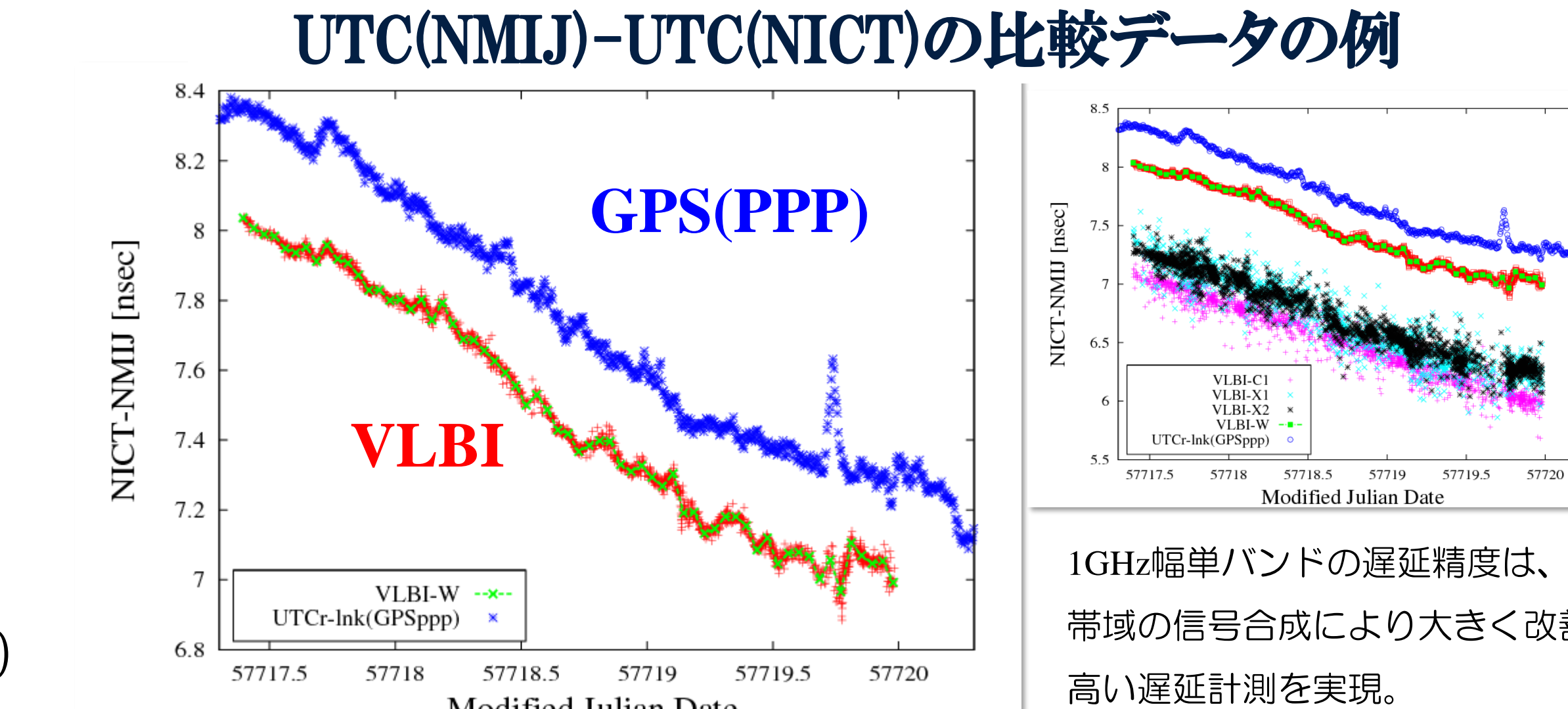
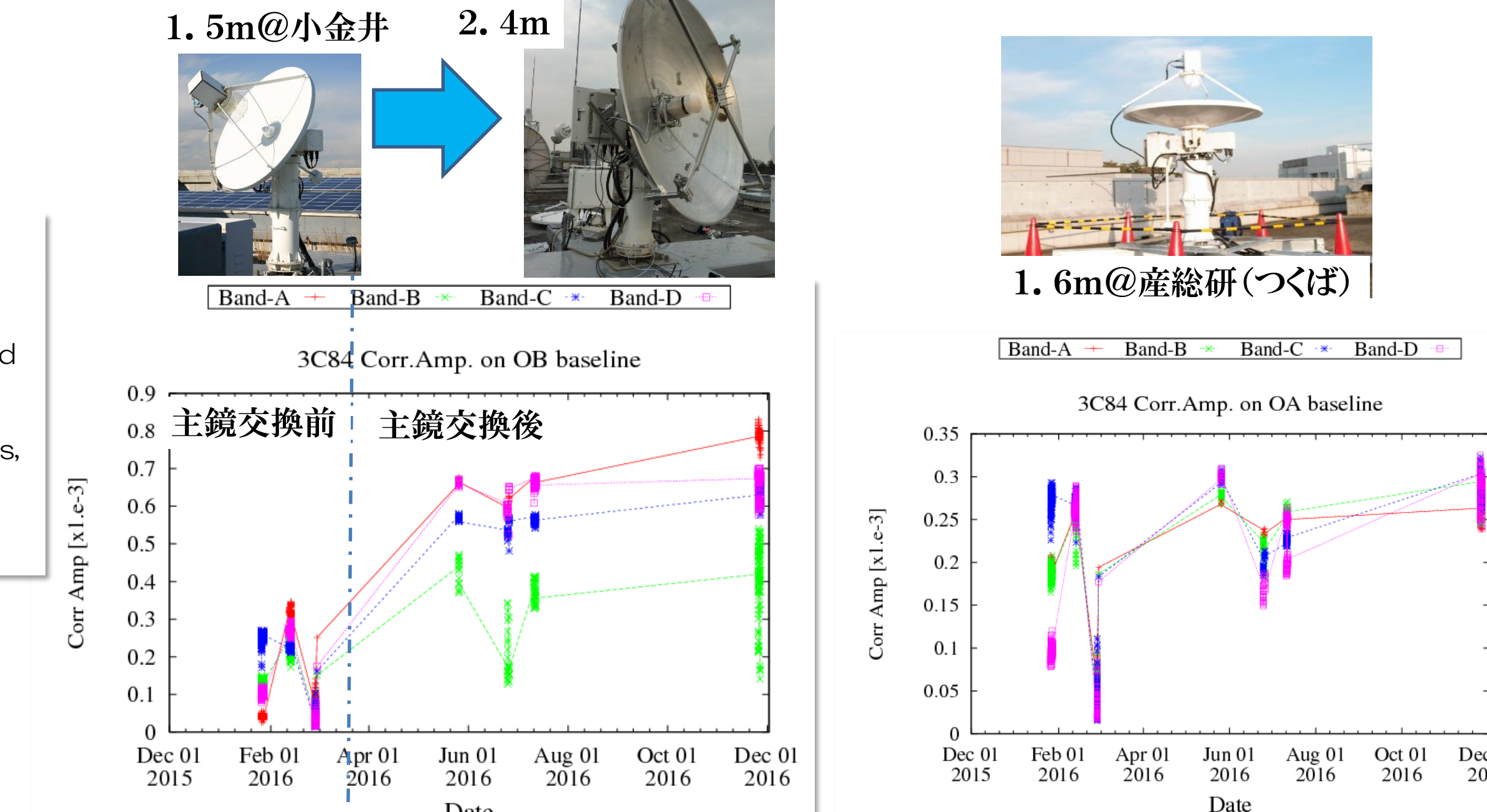


図4 産総研-NICTの小型アンテナを使った周波数比較結果の例 (2016/11/25-28).

## 3. 小型アンテナの感度改善



$$\text{相関係数} \propto \frac{\text{天体フラックス}}{\sqrt{(\text{アンテナ1の感度}) \times (\text{アンテナ2の感度})}}$$

相互相関係数は、2つのアンテナの感度の積に比例する。3C84を受信したときの相関係数を実験ごとに比較すると、広帯域フィードと主鏡の交換(2.4m)や焦点位置調整、アンテナモデルの改善などによりMBL2の感度は倍以上改善している。2.4mアンテナの受信機フィードは、氏原研究員が設計し、NICTの試作室で製作されたものである。今後、産総研に設置している1.6mアンテナも主鏡を交換する計画である。