

VLBI 周波数比較への応用とGALA-V システムの開発(IX)

-イタリアMedicinaへの広帯域アンテナ設置-

関戸衛⁽¹⁾, 岳藤一宏⁽¹⁾, 井氏原秀樹⁽¹⁾, 近藤哲朗^(1,2), 堤正則⁽¹⁾, 宮内結花⁽¹⁾, 川合栄治⁽¹⁾, 長谷川新吾⁽¹⁾, 渡部謙一⁽³⁾, 鈴山智也⁽³⁾, 栗原忍⁽⁴⁾, 若杉貴浩⁽⁴⁾, 上芝晴香⁽⁴⁾, 梅井迪子⁽⁴⁾, 石垣真史⁽⁴⁾, 小室純一⁽¹⁾, 寺田健次郎⁽¹⁾, 難波邦孝⁽¹⁾, 高橋留美⁽¹⁾, 岡本慶大⁽¹⁾, 青木哲郎⁽¹⁾, 池田貴俊⁽⁵⁾, Perini Federico⁽⁶⁾

1: 情報通信研究機構, 2: 上海天文台, 3:産業技術総合研究所 計量標準総合センター, 4:国土交通省 国土地理院
5: KDDI総合研究所, 6: イタリア国立天体物理学研究機構(INAF)/電波天文学研究所(IRA)

1. Introduction

我々は大陸間距離の原子時計の周波数精密比較を目指して、可搬型広帯域VLBIシステムの開発を進めている。VLBIによる周波数比較プロジェクトGALA-V(図.1)は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。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局によるこれまでにない超広帯域の観測が可能となった。2018年3月まで産総研(つくば)と小金井本部2号館の間でUTC(NMIJ)-UTC(NICT)の比較、精度検証を実施し、今年8月から小型アンテナをイタリアのMedicinaに設置して国際的な周波数比較実験を開始した。

これまでに、広帯域VLBIによる小型アンテナ間の遅延計測精度は11mアンテナペアを使った従来のVLBI観測(8GHz)より精度が高いことを確認している[関戸ほか,第128回測地学会講演会]。これまでの産総研-NICTの実験の結果は、VLBIによる周波数比較が一般に使われているGPS-PPP解析による周波数比較よりも高い長期安定度をもち、-17乗台の周波数確度を実現できる結果が得られている(右図2)。この差は、GPSの衛星軌道の誤差・ドリフトを含む可能性に対して、不動の天体を基準としたVLBIの長期的な安定性を背景としているものと思われる。

2. イタリアINRiM-INAF-NICTの光周波数標準器の比較実験

2018年度より、イタリアの国立計量研究所(INRiM)のYb光周波数標準とNICTのSr光格子時計の比較を行う計画を進めている。5月~7月にかけて産総研からイタリアのINAFメジチナ電波天文観測所に小型アンテナを移設し、8月はじめに立ち上げを完了した。INRiMとINAFメジチナ電波天文観測所の間にはファイバリンクにより高安定な標準信号が伝送されており、メジチナの小型VLBI局(MBL1)とのVLBI観測により、NICT(小金井)とINRiMの周波数比較が可能となる。6月から9月半ばまでは、補修工事のためNICT鹿島34mアンテナが使用できない状態であった。そこで国内で唯一のVGOS局である、広帯域VLBI観測が可能な国土地理院石岡13mに協力して頂き、イタリアのMBL1の立ち上げ直後のテスト観測と3回のVLBI観測を実施した。

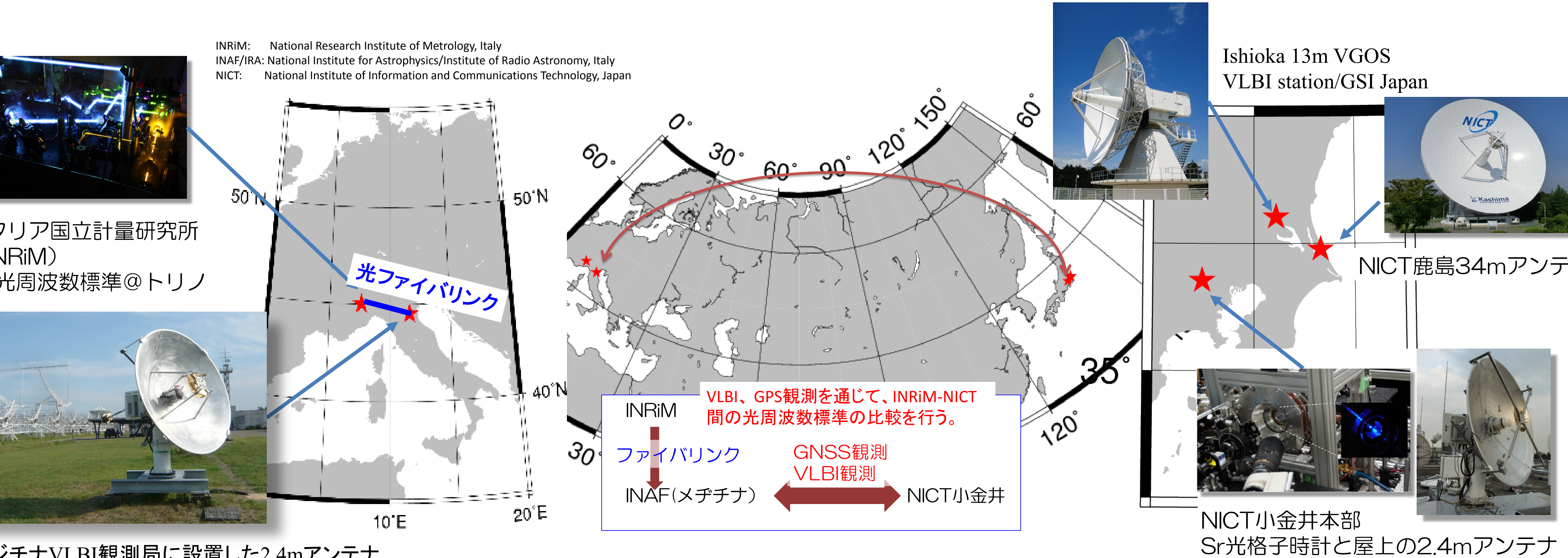


図3 イタリアINRiM-INAFと日本のNICTの周波数比較実験の概要図

- b.大きな分散性(電離層)遅延** 従来のS/Xの観測では2点の周波数を使って電離層の遅延を推定しているが、3-14GHzに及ぶ広帯域では1/fの周波数依存性をもつ位相遅延量が寄与するので、広帯域のバンド幅合成ではこの分散性遅延の位相カーブを精度よく取り除かなければ、精密遅延決定ができない。
- c.天体構造の周波数依存性** 3-14GHzに及ぶ広帯域では天体によっては、周波数に依存して異なる形を示すものがある。このような天体では、広帯域で単一の群遅延量を計測する場合に、天体構造に起因する誤差が生じる。すべての周波数で構造のない点状の電波源を使うことが望ましい。
- d.長基線で小さくなる相関強度** 一般に電波源の天体は有限の大きさを持つため、フリンジ間隔(波長/基線長)が天体構造よりも小さくなると相関に寄与する電波源強度が小さくなる。国内基線と国際基線では強度が1/10になる場合もある。

2.2 8月のメジチナ2.4m-石岡13m-小金井2.4m の実験結果

国土地理院石岡局の協力を得て8月14,21,31日の3回の24時間(以上)のVLBI実験を行った。観測は、小型局は1偏波(V)、大型局はH、V両偏波で1GHz幅帯域の信号を4つの周波数(6GHz, 8.5GHz, 10GHz, 11GHz)で取得した。上記のような課題のため、広帯域のバンド幅合成による精密遅延が安定して算出できていない。1GHz単バンドの結果を解析して得られた局位置とクロック(UTC(NICT)-Medicina)を図4に示す。高精度観測のためには長基線の広帯域バンド幅合成の実現が鍵であり、現在鋭意 研究開発を進めている。

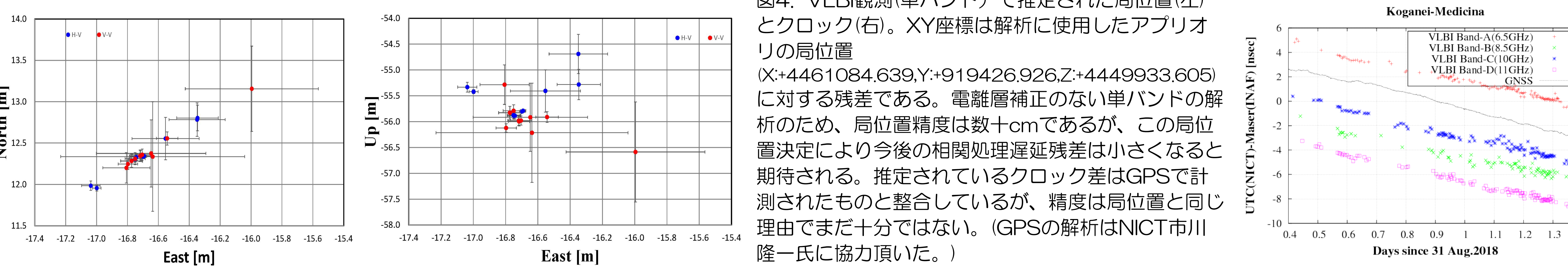


図4. VLBI観測(単バンド)で推定された局位置(左)とクロック(右)。XY座標は解析に使用したアプリオリの局位置(X:+4461084.639,Y:+919426.926,Z:+4449933.605)に対する残差である。電離層補正のない単バンドの解析のため、局位置精度は数十cmであるが、この局位置決定により今後の相関処理遅延残差は小さくなると期待される。推定されているクロック差はGPSで計測されたものと整合しているが、精度は局位置と同じ理由でまだ十分ではない。(GPSの解析はNICT市川隆一氏に協力頂いた。)

広帯域VLBIによるNICT-産総研のUTC周波数比較実験

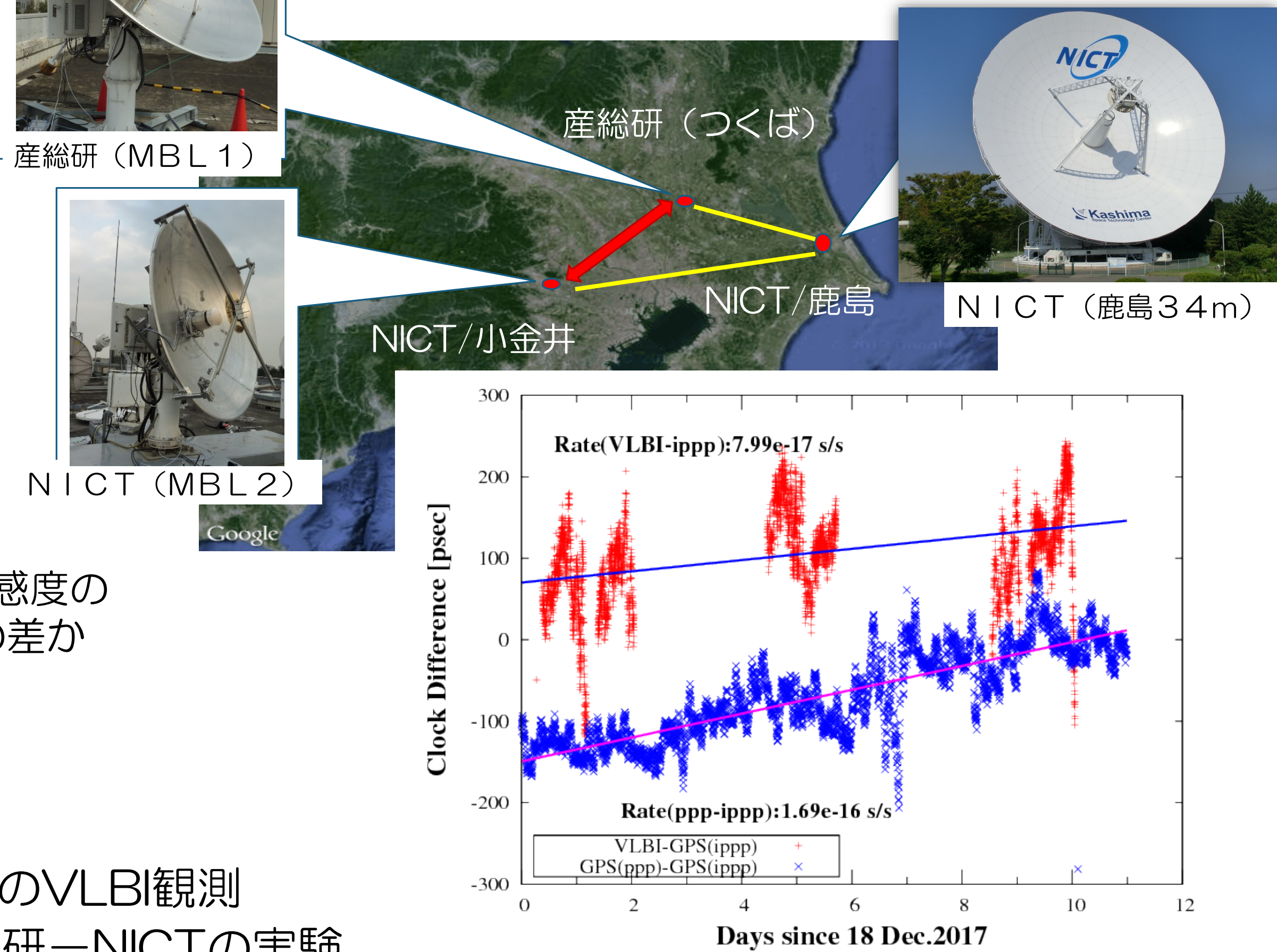


図2 VLBIおよびGPS-PPP,GPS-IPPPによるクロック(産総研-NICT)の測定精度比較。GPS-IPPPは光ファイバリンクとの比較で高い確度が確認されている。GPS-PPPは-16乗台の確度が限界と見られているが、VLBIはより高い-17乗台の計測を実現できる可能性を示している。(IPPPの解析はBIPMのGerard Petit博士、Julia Leute博士に協力頂いた。)

2.1長基線・広帯域VLBI観測

国内で実施してきた広帯域VLBI観測と比較して、長基線の広帯域観測には以下のような困難がある。
a.異なる直線偏波 広帯域の受信は原理的困難から直線偏波の受信となる。国内の短基線では、ほぼ同じ地平面からの観測であり、ほぼ同じ直線偏波で観測できるが、長基線では地球の曲率のため局によって地平面が異なり、観測する偏波も異なる。天体の信号は一般に独立な偏波同士の相関がないため、V/H両偏波で受信し、信号を合成する必要がある。