

NICT鹿島VLBIグループ 機関報告

情報通信研究機構

川合栄治、関戸衛、岳藤一宏、氏原秀樹、近藤哲朗、堤正則、宮内結花、瀧口博士、長谷川新吾

概要：NICT鹿島VLBIグループでは、VLBI周波数比較プロジェクトをメインに実施しつつ、IVSによる国際測地観測、木星観測、パルサー観測などを実施している。アンテナは、茨城県鹿嶋市に34m、11mがあり、東京都小金井市に11mがある。構成員は、パーマナント2名、有期研究員2名、有期技術員2名、派遣3名である。

1. VLBI周波数比較プロジェクト

可搬型広帯域VLBIシステムによる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を周波数標準機関に設置し、より感度の高い大型アンテナとの協同観測によって小型アンテナ間の周波数比較を実現する。

GALA-Vシステムの基本観測モードとしては、4.0GHz、5.6GHz、10.4GHz、および13.6GHzの4つの帯域で1GHzの帯域幅のデータを取得する。

バンド幅合成により約10GHzにわたる周波数帯域幅の信号を合成し、有効帯域幅3.8GHzで群遅延計測を行う。これは従来の測地VLBI観測の10倍の帯域幅であり、同じSNRの条件の下で10倍の遅延計測精度向上が期待できる。

1.1 Gala-Vを用いたUTC[NICT]とUTC[NMIJ]との比較

広帯域小型VLBIによる周波数比較技術を確立・実証するため、UTC[NMIJ]を維持する産総研の計量標準センターとNICT2号館屋上に小型アンテナを設置し(図2)、UTC[NMIJ]-UTC[NICT]の比較実験を実施している。

1.2 広帯域VLBIシステムの技術開発

[広帯域フィードの開発]

現在入手可能な3-14GHzを同時受信できる広帯域フィードは、ElevenフィードやQRFHフィードがあるが、いずれもビーム幅が120度程度もあり、これらのフィードを採用したドイツ、スペインなどのVGOSアンテナは、リングフォーカスと呼ばれる、副反射鏡から焦点までの距離が極めて短い特殊な光学系を採用し、新規建設されている。我々は、カセグレン光学系をもつ既存の34mアンテナを広帯域観測に利用するためビーム幅が34度程度の細いビームを持つ、広帯域フィードIGUANA-HとNINJAフィードを開発して34mアンテナに設置し(図3)、広帯域VLBI観測を可能にした。

[高速サンプリングK6/GALASと超広帯域バンド幅合成]

データの取得は、アナログ周波数変換なしにRF信号を直接サンプリングする「ダイレクトサンプリング」方式を使用している。これは、16GHzの周波数でA/D変換を行い、ナイキストゾーンの8GHz幅から任意の1GHz幅の信号をデジタル信号処理で取り出す方式である(図5参照)。K6/GALAS(図4)はダイレクトサンプリングを行い、VLBIデータの国際標準フォーマットであるVDIF形式でデータを出力する。表1にK6/GALASサンプリングの性能仕様を示す。

この「RFダイレクトサンプリング」方式は、8GHz幅の帯域内の信号を全てA/D変換してからデジタルフィルタによる帯域制限を行うため、複数の1GHzバンド間の位相関係が安定しており、従来のアナログ周波数変換で必要不可欠な位相校正信号(P-CAL)を必要とせずに広帯域のバンド幅合成が可能となる、きわめて優れた特徴がある。超広帯域バンド幅合成に成功した結果が図6、7である。

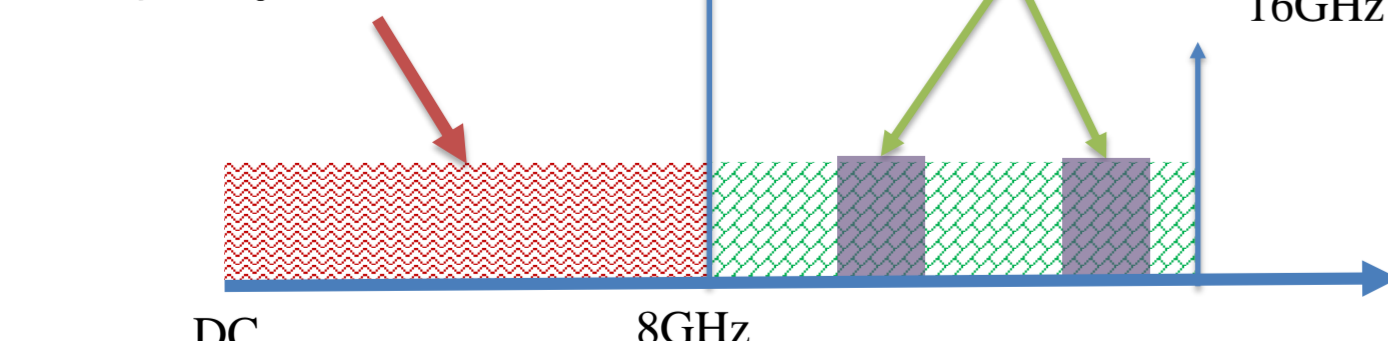


図5 RFダイレクトサンプリング+DBBCの説明図。ナイキストゾーンに帯域制限されたRF信号を16GHzの周波数で直接AD変換し、サンプリング内部のFPGAを使ったデジタル周波数変換によって任意の1GHz幅の信号を取得する。

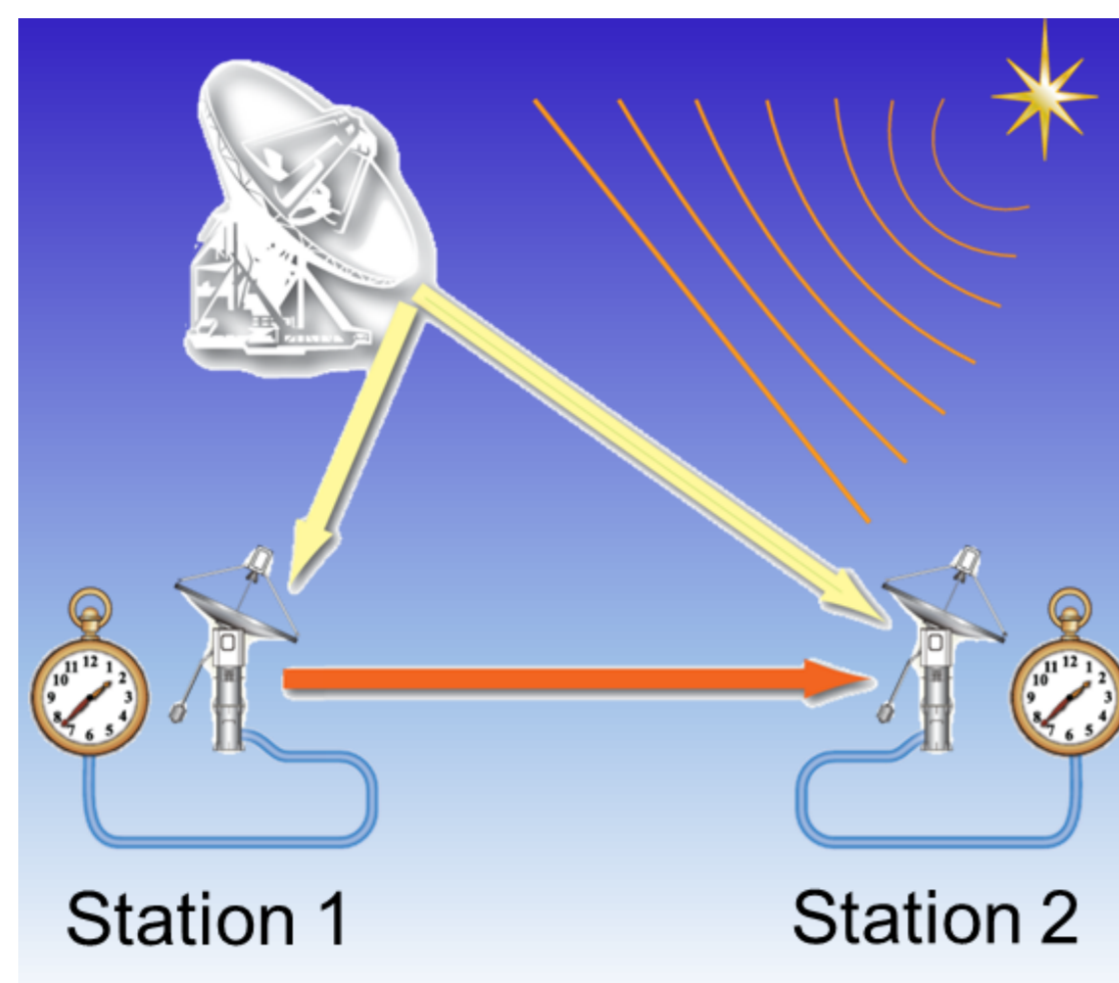


図1 VLBIによる周波数比較プロジェクトGALA-Vシステムの概念図。



図2 産総研(つくば)に設置した小型アンテナ(上左)と、NICT2号館屋上の小型アンテナ(上右)、および小型アンテナの感度をブーストする役割を果たす鹿島34mアンテナ(下)。



図3 34mアンテナに設置されたNINJAフィード(左)とIGUANA-Hフィード(右)。



図4 RFダイレクトサンプリングに使用する高速サンプリングK6/GALAS。

表1. サンプリング K6/GALASの性能パラメータ

Sampling rate	16384MHz
サンプリングビット数	3 bits
RF入力ポート数	2
最大入力周波数	16.4 GHz
出力量子化ビット	1 or 2 bit
出力ポート数	4
出力ポートインタフェース	10GBASE-SR
出力データフォーマット	VDIF/VTP/UDP

2. アンテナ運用状況

鹿島34m、鹿島11m、小金井11m

鹿島34mアンテナ(図2下)、鹿島11mアンテナ(図8)、小金井11mアンテナ(図9)の2015年の運用状況を主な観測について表2に示す。前述の開発実験に加えてこれらの観測を実施している。木星観測は共同研究により、STEREO衛星はNICT内の他の研究グループに協力している。



図8 鹿島11mアンテナ



図9 小金井11mアンテナ

表2. アンテナ毎の主な観測の運用日数(2015年) プロジェクト実験、保守日数を除く

アンテナ	IVSによる国際観測	国内測地 JADE	木星	パルサー
鹿島34m	13	4	16	12
鹿島11m	12	6		
小金井11m	12	5	11月から STEREO衛星 連日受信	

3. アンテナ保守状況

各アンテナの保守状況を表2に示す。34mアンテナは2015年4月～5月に主鏡背面構造部の下側三分の一程度について補修塗装を実施した(図10)。2016年は7～9月の間に1.5か月程度で副反射鏡、アンテナ駆動モータ等の保守を検討中である。

表2. アンテナ毎の保守状況(2015年)

アンテナ	保守状況
鹿島34m	空き時間に随時実施。4月～5月に主鏡背面構造部の三分の一程度について補修塗装を実施。
鹿島11m	空き時間に随時実施。
小金井11m	3日間



図10. 鹿島34m背面構造部の補修塗装(4月～5月) アンテナ傾斜時に地上に近づく箇所に足場を仮設、下側の三分の一程度の補修塗装を実施した。毎日の作業終了後には強風に備えてアンテナを天頂へ戻した。

4. 施設一般公開

施設一般公開を2015年11月21日に実施した。大型アンテナは好評であり、AZ/EL同時に駆動中は多くの見学者がアンテナの動きを興味深く見ていた(図11)。

図11. 一般公開 34mアンテナに登ったり、触ったりでき、またペットボトルロケット打ち上げも好評であった。

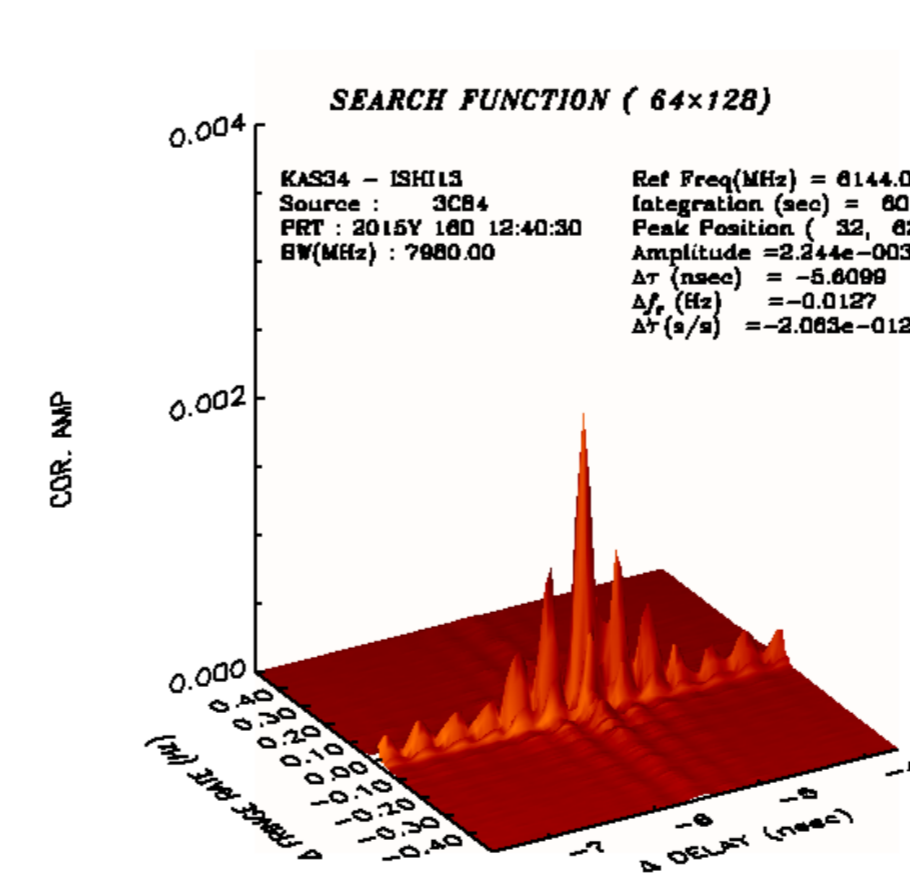


図6. 鹿島-石岡基線の8GHzのバンド幅を合成して得られた遅延分解関数(フリンジ)

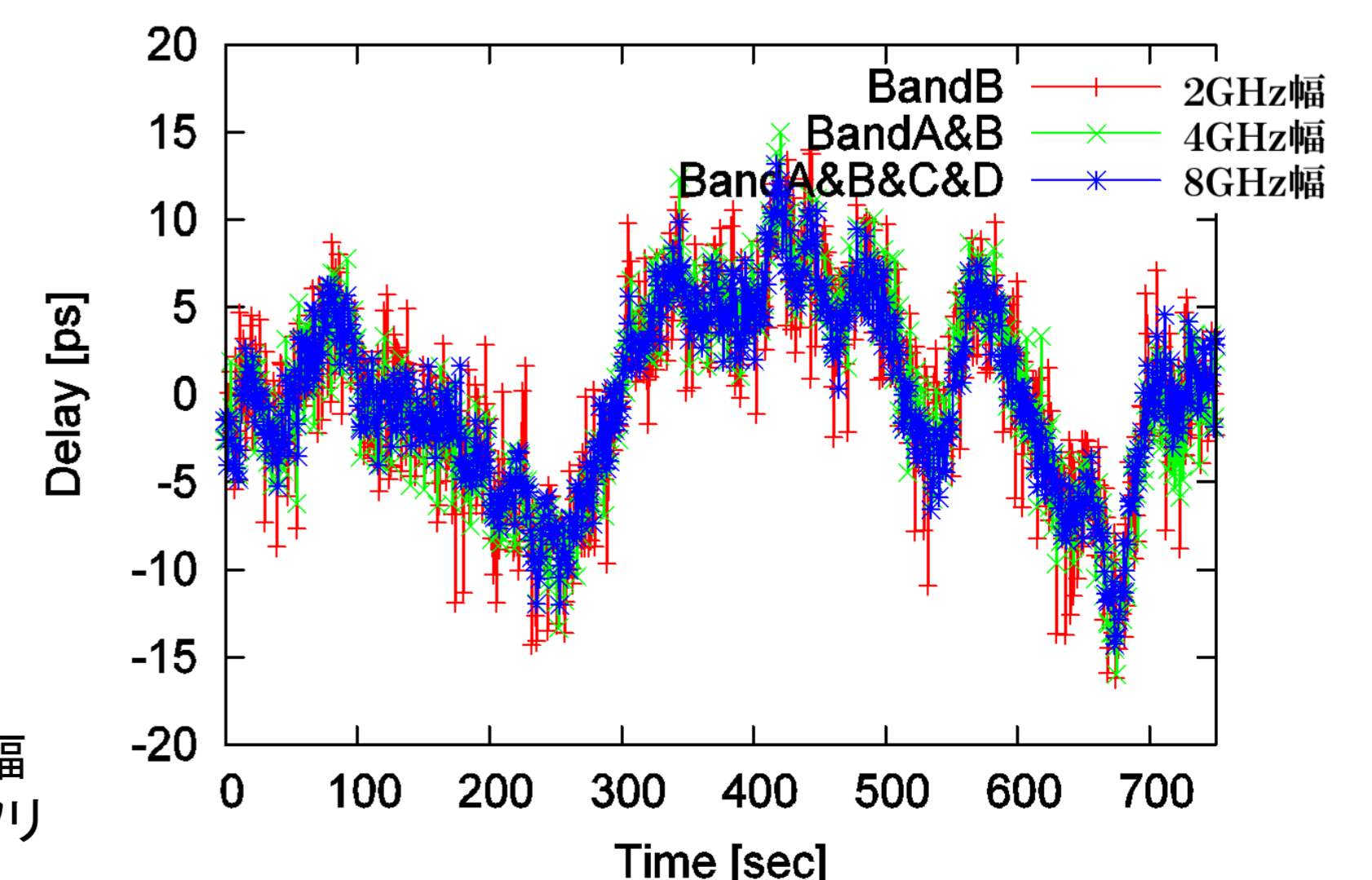


図7. 鹿島-石岡基線の8GHz帯域VLBI観測で計測された1秒毎の遅延量(大局的な変動を除いたもの)。帯域幅に依存せず、数十秒の時間スケールで数ピコ秒の変動が見られ、これは大気の影響が見えていると考えられる。