

NICT 鹿島 VLBI グループ 機関報告

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
情報通信研究機構

概要: 情報通信研究機構(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、東京都小金井市に 11m がある。構成員は、2015 年 12 月現在パーマネント 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] を維持する産業技術総合研究所の計量標準総合センターと 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

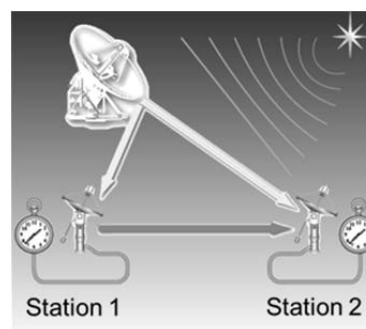


図 1: VLBI による周波数比較プロジェクト Gala-V システムの概念図。

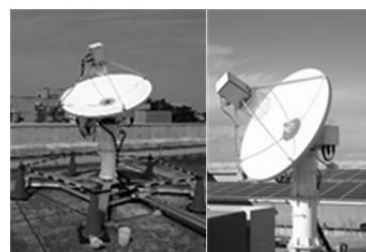


図 2: 産総研(つくば)に設置した小型アンテナ(上左)と、NICT2 号館屋上の小型アンテナ(上右)、および小型アンテナの感度をブーストする役割を果たす鹿島 34m アンテナ(下)。

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。

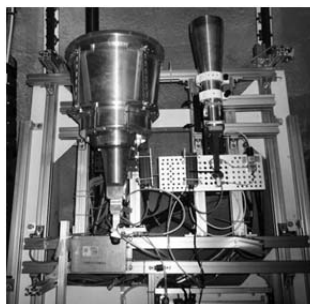


図 3: 34m アンテナに設置された NINJA フィード(左)と IGUANA-H フィード(右)。



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

[高速サンプラ 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、ナイキストゾーン内の 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)。

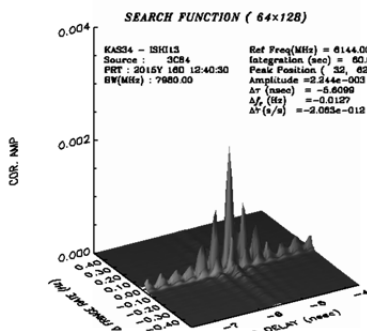


図 6: 鹿島-石岡基線の 8GHz のバンド幅を合成して得られた遅延分解関数(フリッジ)。

表 1: サンプラ 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

K6/GALAS サンプラの性能仕様を示す。

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

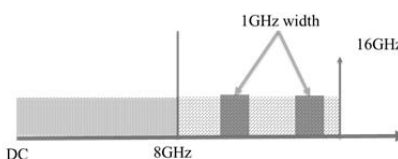


図 5: RF ダイレクトサンプリング+DBBC の説明図。ナイキストゾーンに帯域制限された RF 信号を 16GHz の周波数で直接 AD 変換し、サンプラ内部の FPGA を使ったデジタル周波数変換によって任意の 1 GHz 幅の信号を取得する。

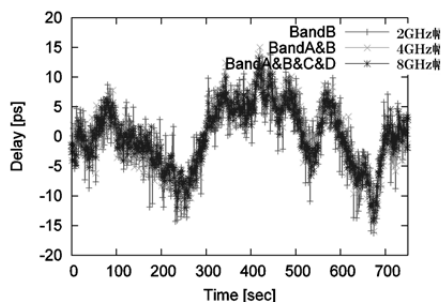


図 7: 鹿島-石岡基線の 8GHz 帯域 VLBI 観測で計測された 1 秒毎の遅延量(大局的な変動を除いたもの)。帯域幅に依存せず、数十秒の時間スケールで数ピコ秒の変動が見られ、これは大気の影響が見えていると考えられる。

ナログ周波数変換で必要不可欠な位相校正信号（PCAL）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。

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	バルサー
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 3 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。



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。

表 3: 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

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。