

# Gala-V への道

情報通信研究機構 岳藤一宏 関戸衛、氏原秀樹

## はじめに

NICT では大陸間クラス離れた遠隔地との周波数比較 ( $1.0e-16$ ) をおこなうため、小型のアンテナ (通称 Marble : マーブル) を遠隔地に配置した VLBI を考えている。この Marble は 1.5m 級であるため、非常にコンパクトであり、人力で分解、設置ができる。ただ、コンパクトな反面、感度が低く大型アンテナと組み合わせて観測を行っている。しかしながら、数値目標達成のため、VLBI2010 のような超広帯域を実現して高感度化をめざす。

## Gala-V の誕生

VLBI2010 は次世代の測地 VLBI である。これは 24 時間の観測で 1mm の位置決定精度を達成し、2~14GHz の周波数帯域から 4 つの 1GHz バンドを“任意”に抜き出して受信する。これを 2 偏波で記録する。超広帯域であるため、位相遅延量を算出することができる。この方法は Broadband Delay と呼ばれる。さらに大気の影響を小さくするため膨大な観測を行い、5 度/sec の高速に駆動できるアンテナが規定されている。日本では国土地理院が茨城県の石岡に建設を進めている。しかし、われわれのリソースは限られており、同じような VLBI2010 アンテナを建設することはきわめて難しいが、目標達成のため、どうにかして鹿島 34m アンテナと 1.5m 級の Marble アンテナを VLBI2010 スペックな超広帯域システムにアップグレードする必要があった。そこで、VLBI2010 と大きく異なり、我々は“任意”の 4 つの周波数でなく、周波数を固定することをまず考えた。すなわち、われわれのシステムは激しい環境に対応すべくして誕生した。以降、これを Galapagos VLBI、略して Gala-V (がらびー) と呼ぶ。

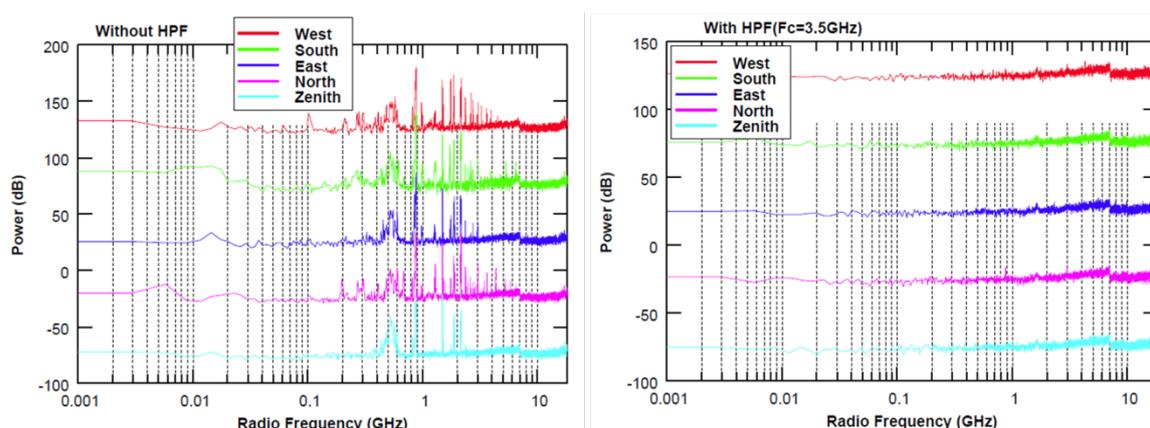


図 1 RFI サーベイ結果@小金井。左図は 3GHz の HPF 装着しないで 15GHz 付近までのスペクトル。右図は 3GHz の HPF 装着したとき。3GHz 以下の RFI が支配的であり、これが LNA を飽和させてしまい、高調波を発生させていることがわかった。

## Gala-V バンドの決定

周波数決定 + 使用可能な周波数帯把握のため、まず RFI サーベイをおこなった。図 1 はその結果であり、3GHz 以下の RFI が支配的であることがわかった。3GHz 以下のバンドを広帯域に使用することはできない。さらに 10~13GHz は衛星通信で使用されており、たまたま Marble アンテナで衛星を見た場合、アンプが故障する原因にもなる。さらに 4 つのバンドを合成すると最高の結果（サイドローレベル、周波数分散=遅延決定精度）を得られるゼロ冗長配列を使用した。この配列は 1:3:2 または 2:3:1 の周波数間隔であればよい。これで考えられる周波数の組み合わせは絞れた。次にフィードホーンを考えたとき、2 つの入れ子フィードであればの実現性があることが分かった。しかしながら、2:3:1 の配列では物理的に作成が難しい。以上のことから考えられる周波数配列は一つに絞られ、3.2GHz、4.8GHz、9.6GHz、12.8GHz に決定された。この Gala-V バンドは図 2 のように 12.8GHz でサンプルした場合、ダウンコンバートせずにひとつのナイキストバンドにきっちりと並べることができる。これは非常に大きな利点であり、高価なダウンコンバータを省略できることを意味している。この周波数に従い、現在 Gala-V システムを構築している。

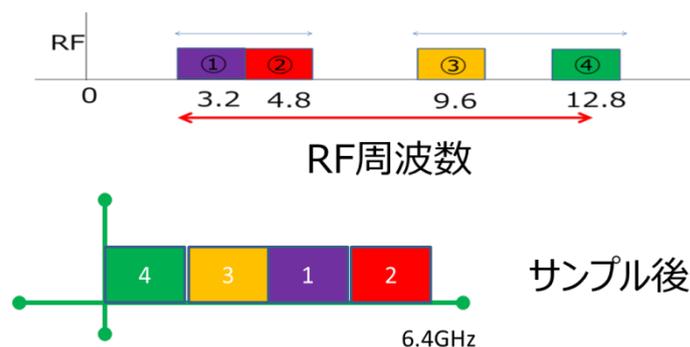


図 2 4 つの Gala-V 周波数を 12.8GHz でサンプルした場合、ナイキストバンドの 6.4GHz 帯に 4 つの周波数がダウンコンバートせずに並べることができる。

## Gala-V の開発

Gala-V で用いられる周波数が決定され、われわれはフィードホーンとサンプラの新規開発、LNF 製の常温アンプ、東陽テクニカ製光送受信機（これはダイナミックレンジが広いので、LNA 出力を RF 周波数のまま観測室まで伝送することが可能である）を組み合わせる。例えば鹿島 34m の場合、図 3 のような構成を考えている。フィード出力を初段のアンプで増幅後、3-15GHz の直線偏波同士を合成して、そのまま光送受信機に投入する。こうして、RF 周波数のまま観測室に伝送され、アンチエイリアスフィルタで余分な信号を除去後、12.8GHz などダイレクトサンプリングされる。これは非常にシンプルなシステムである。測地 VLBI は水素メーザーに同期した Phase calibration 信号（通称 Pcal）を印可する必要がある。これはバンド間の位相ギャップを取り除くことに使用される。現在の Gala-V システムは入れ子フィードの使用を想定しているため、高周波部、低周波部でギャップがある。そのため、フィードの前からの注入が考えられるが、打ち出すアンテナの位相パターンや反射波による散乱などを受けてしまう。一方 LNA 後の注入

の場合、既存の方法と同じであるが、高低でオフセットを取り除くことができず、バンドパスフィルタなどで除去する必要があり、まだ決着していない。さらに Pcal も基準信号が Pcal に到達するまで、温度変化によりケーブル長が変化してしまい、Pcal も変動する。これは周波数比較の問題となるため、Dcal などの対策も検討しなくてはならない。

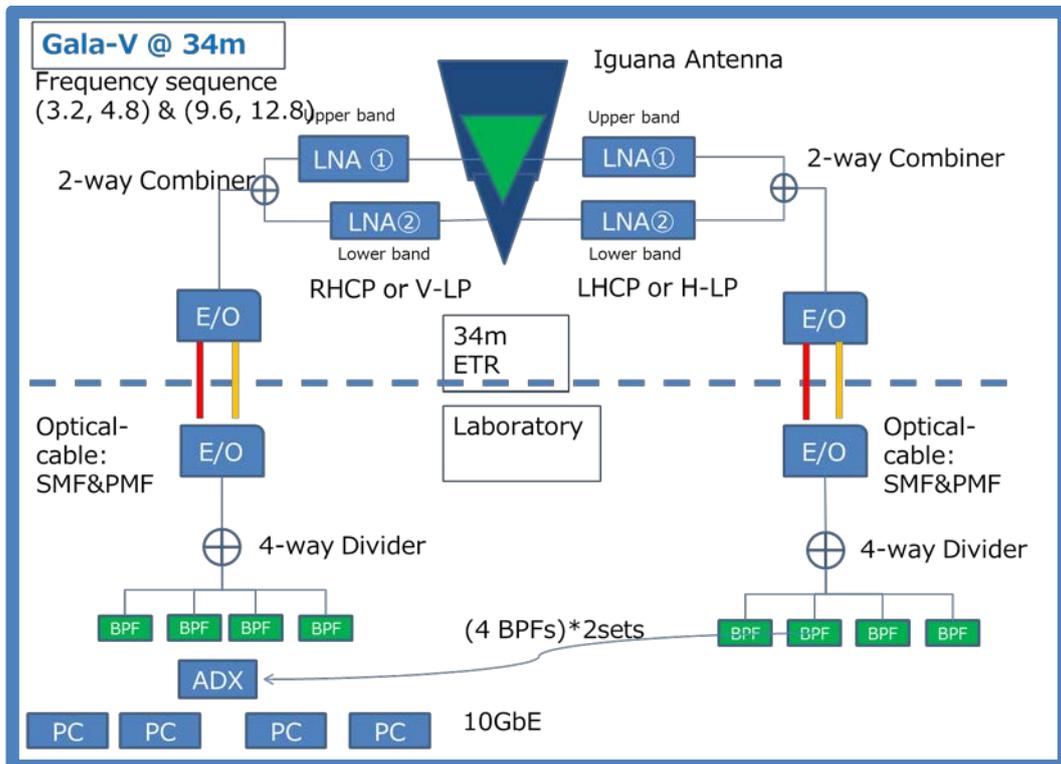


図 3 Gala-V@34m のシステム概要。入力子フィードからの出力は LNA 後、周波数変換せずにそのまま観測室に伝送される。その後、ダイレクトサンプラか IF 変換後 ADS3000+ でサンプル予定。

### 電波天文学へのメリット

Gala-V ではちょっと受信機を改造するとメタノールレーザー輝線 6.7GHz の観測が可能となる。さらに 3-7, 9-15GHz で超広帯域の輝線サーベイなども可能になると思われる。さらにこの周波数帯域内であれば複数の輝線の同時観測も可能になるため、面白い観測につながるとと思われる。

### まとめ

4 つの 1GHz バンド (3.2-4.2 GHz、4.8-5.8 GHz、9.6-10.6 GHz、12.8-13.8GHz) を決定した。この決定した周波数バンドにそって、フィードホーンとサンプラの新規開発、LNF 製の常温アンプ、東陽テクニカ製光送受信機を組み合わせたシステムを構築中である。これを Gala-V と名付け、最大のコストパフォーマンスでほぼ VLBI2010 スペックな VLBI システムをめざしている。