

## RF ダイレクトサンプリング法による VLBI 技術開発

### -- マルチバンド混合 VLBI --

情報通信研究機構： 岳藤一宏, 近藤哲朗, 関戸衛, 市川隆一

国土地理院： 栗原忍, 小門研亮, 川畑亮二

#### はじめに

通常の測地 VLBI では S (2GHz) / X (8GHz) バンドが用いられる。これらの帯域は周波数が高いため低周波にダウンコンバートされ、サンプリングされるが、周波数変換をしない場合、位相安定度やメンテナンス性が向上し、高周波部品も削減できる。我々は早期にこれに着目して 2011 年 5 月にプロトタイプ装置を組み込み、X バンドをそのままの RF 領域をサンプルして、世界初のFRINGEを検出することに成功した。さらに S バンド、X バンドを合成する全く新しい試みで 24 時間測地 VLBI を行い、世界初のFRINGE検出と、このシステムによる基線長を得た。ここでは RF ダイレクトサンプリングの考察と、RF ミックスダイレクトサンプリング (DSAMS = direct sampling applied for mixed signals) の検討をおこなう。

#### RF ダイレクトサンプリング実験の DSAMS への検証

ダイレクトサンプリング実験において RF 帯域にアンチエイリアスフィルタを挿入しないとき、これをサンプルすると、複数のバンドがエイリアシングの影響で折り返し、サンプルデータ内に複数のバンドが内部に存在しうる。このとき折り返した複数のバンドごとにFRINGE位相回転を行うことで、バンドごとのFRINGEが検出可能か検証した。検証では RF ダイレクトサンプリング VLBI 実験で取得された、つくば 32m—鹿島 11m データをもちいた。折り返された複数バンドのエイリアス周波数をダウンコンバート周波数としてFRINGE検出をおこなった。図 1 はその結果であり、折り返したバンドごとのFRINGEを同時に検出することに成功した。我々は折り返しを積極的に応用した実験を DSAMS (ディーサムズと発音) と名付け、応用研究につなげたい。

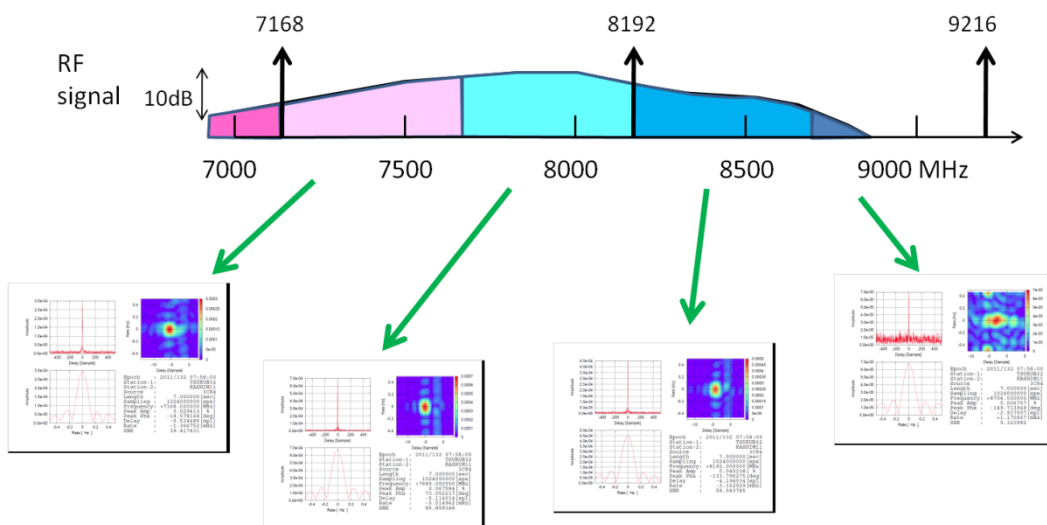


図 1 X バンドで折り返した帯域を相関処理して、それぞれのFRINGEを同時に検出した。

DSAMS では複数のバンドがエイリアシングで折り返し、重なるため、通常よりも相関処理で SNR が落ちることが予想される。そこで、定量的に調査すべくシミュレーションを行った。シミュレーションはバンド特性がフラットであることを前提において、折り返しのない時～5つのバンドが折り返したときまでを求めた。図2がその結果である。量子化は1,2,3bitでおこない、折り返したバンド数に反比例して効率が低下していくことが分かった。

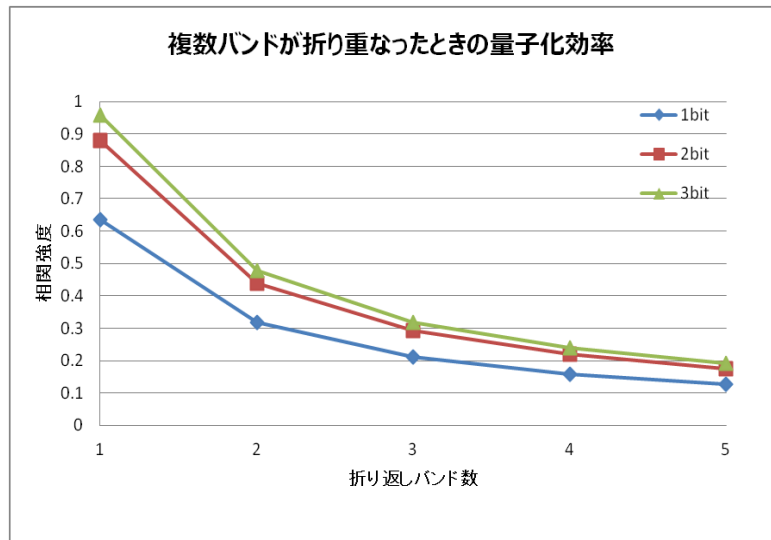


図 2 複数のバンドが合成されたときの量子化効率

### DSAMS を応用した 24 時間測地 VLBI

DSAMS 実験を測地 VLBI に応用する実験を 2011 年 10 月に行った。測地 VLBI では S バンドと X バンド（それぞれ 2GHz 帯と 8GHz 帯）を用いる。そこで RF の段階で S バンドと X バンドを合成して、あたかも一つのバンドとしてデジタルサンプラに入力する。図 2 は S バンドと X バンドを RF 領域で合成したスペクトラム（鹿島 11m）である。これらのバンドは相関処理で同じ SNR となるようにアッテネータなどで調整しつつ合成した。合成されたバンドは 1GHz, 2bit でサンプリングされ、24 時間で計 945 スキャン、一つのスキャンが 30 秒であるため一局あたり約 7.3TB のデータ量となった。相関処理では S バンドと X バンドで 3 つのフリンジの計 4 つのフリンジを安定的に検出することに成功した。われわれは 4 つの段階で基線解析を行うことを考えている。まず、X バンド 1 つを用いた一番シンプルな基線解析、2 番目に S バンドと X バンド一つをもちいて電離層を解いた基線解析、3 番目に X バンド 3 つを用いてバンド幅合成をおこない、1.5GHz 帯域として基線解析、4 番目に S バンドと X バンド 3 つのバンド幅合成を用いた基線解析である。2 番目から 3 番目にかけて大きく遅延決定精度が向上することが予想される。現在までに 1 番目の基線解析が終了している。基線解析は Calc/Solve で処理を行い、鹿島 11m-つくば 32m の基線長は  $L = 53812800.01$  mm、 $\sigma = 0.98$  mm と求められた。表 1 は直近の測地実験での解と DSAMS 実験の測地解の比較であり、ほとんど違いは見られないことから、デジタルサンプラが安定的にサンプリングでき、測地 VLBI として成功していたと結論できる。

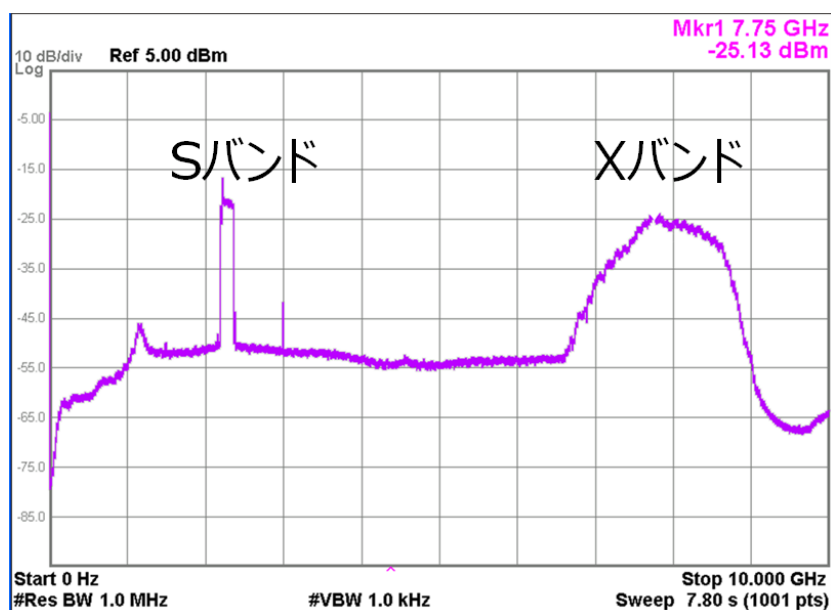


図 3 DSAMS 実験で、RF で合成された S バンドと X バンドのスペクトラム。それぞれ LNA の出力後を合成している。

表 1 直近の測地実験での解と DSAMS 実験の測地解の比較

実験名	時期	基線長[mm]	Sigma[mm]
APSG	2011/08/17	53812792.68	5.53
T2077	2011/8/23	53812801.23	3.03
DSAMS	2011/10/20	53812800.01	0.98

### まとめと今後の予定

RF ダイレクトサンプリングで X バンドのフリッジを検出することに成功した。またバンドがサンプリングで折り返した帯域についてもフリッジを独立に検出することができた。これを DSAMS と名付け、24 時間の測地 VLBI に応用した。そして、直近の測地解と矛盾のない結果を得ることができた。今後は X バンド 3 つのバンド幅合成結果を用いた基線解析を行い、X バンド 1 つの測地解と比較を行いたい。

### 謝辞

RF ダイレクトサンプリング実験においては、エレックス製デジタルサンプラ（ADX-831）と東陽テクニカ製の高精度光変換器を使用しました。また GSI 様、並びに東陽テクニカ様、エレックス工業様、富士通エフアイピー様、日本通信機様のご協力のもと、VLBI 実験を行うことができました。ここに感謝の意を表します。