

飛翔体のVLBI観測—相関処理手法について—



関戸 衛、市川隆一、近藤哲朗(NICT)、
吉川真、加藤隆二、村田泰弘、望月奈々子(JAXA)

宇宙科学シンポジウム(2005年1月6-7日)

1. はじめに

VLBIを深宇宙飛翔体のナビゲーションに応用するに当たって、VLBIの観測量として、位相遅延量を使うか群遅延量を使うかによって、観測精度や制約条件なども大きく異なってくる。一般に位相遅延量を使うほうが遅延の測定精度は高いが、波長の整数倍の不定性が求まらなければ観測量として使えない。群遅延量にはそのような不定性がない代わりに、信号帯域幅によって遅延決定精度がそれほど高くできない。このように、使用する観測量によって、克服すべき課題が異なるが、今回は、JPL/NASAと同様に群遅延量を使った観測を行う場合の遅延決定精度の向上に関する問題として、データ処理手法の違いについて考えてみた。

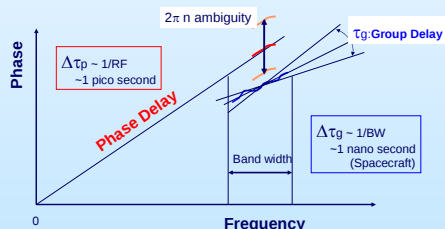


図1 周波数領域での群遅延と位相遅延の違い

2. 群遅延の決定精度と相関処理

群遅延量の測定精度は、一般に信号対雑音比(SNR)と有効帯域幅(BW)の逆数に否定して高くなる。

$$\Delta\tau \propto \frac{1}{(SNR \times BW)}$$

飛翔体の場合、信号帯域幅は探査の通信装置の仕様によって決まり、通常数MHz以内である。このため、群遅延の決定精度が制限される。我々はこれまで、火星探査機NOZOMIの地球スイングバイをサポートすべくVLBI観測を行ってきたが、これまでのところ、遅延の測定精度が十分になく、大きな寄与はできなかった。図2に2003年5月22日のNOZOMIの群遅延観測データの解析残差を示す。

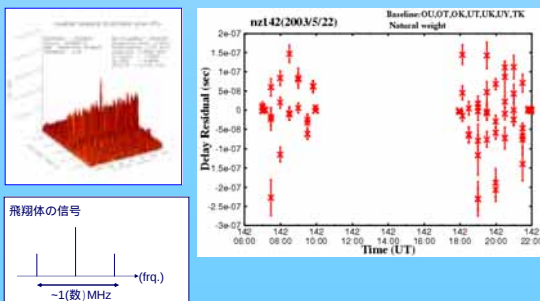


図2 NOZOMIの解析残差(右)と観測されたフリンジ。

図2はおよそ4時間の観測を2日間行った結果であるが、NOZOMIの遅延量は約100ナノ秒のオーダーでばらついている。JPLが同様の観測でおよそ1ナノ秒の精度の計測を行っているのに比べると、かなり悪い結果である。

この原因として考えられるのが、データの処理手法の違いである。図3に我々とJPLの相関処理の手法の違いを模式的に示している。JPLは、測距信号のレプリカをそれぞれのVLBI観測局のデータと相関処理し、効果的に雑音の寄与を抑えてSNRを向上させているのに対し、我々の方法はこれまで通常の天然電波源を対象としたVLBI手法と同様に、2局のデータの直接相関処理を行ってきた。

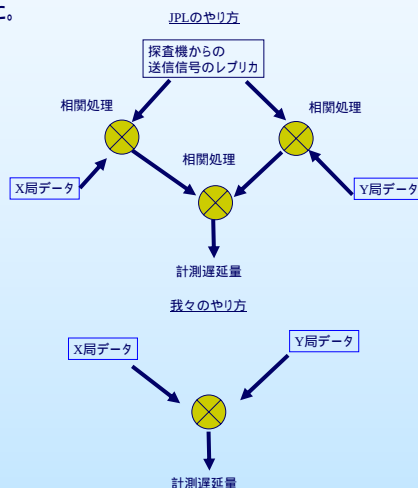


図3. 我々とJPLのデータ処理手法の違い。JPLでは一旦送信信号のレプリカとの相関処理を行うため、相関に寄与しない雑音部分が効果的に除かれる。

群遅延精度の向上には、雑音信号を抑圧してSNRを向上させる方法として、以下のような案が考えられる。

1. 探査機から信号が既知で帯域幅のできるだけ広い信号を送信する。
2. 地上から既知の広帯域信号をアップリンクし探査機で折り返す。
3. 受信信号からおおよその信号スペクトルを推定し、その形のフィルターを掛けることにより雑音部分を抑圧する。

このうち、(1)は探査機のに特別な送信機を必要とし、(2)はアップリンク局の運用を必要とする。(3)は最も制約が少なく簡便な方法である。そこで、今回は(3)の方法でSNRや遅延計測精度が向上するかどうかデータ処理の試験を行った。

3. 周波数フィルタリング

データ処理には、2003年10月に取得したHAYABUSAのVLBI観測データを使用した。図4に鹿島—つくばのデータの相互相関スペクトルを示す。観測データの相互相関スペクトルから64kHz周期で異なる幅を持ついくつかのフィルタを作成し、データの相互相関のピークにあわせて周波数フィルタリングして相関処理を行った。

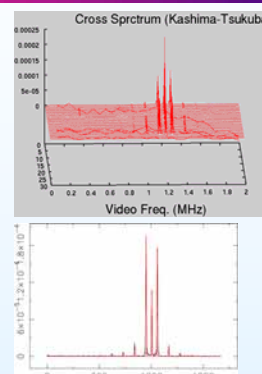


図4 HAYABUSAの信号のクロススペクトル(上) 数分間の平均により求めたクロススペクトル(下図黒線)とこれを元に64kHz毎10kHzのフィルタを掛けたスペクトル(下図赤線)

10kHz幅のフィルタをかけた相互相関関数の例を図5に示す。信号の有効帯域幅が狭く、相互相関関数自身が広い範囲で波打つため、データからSNRを定義するのが困難であるため、こうして計測された遅延ばらつきで評価することを試みた(図6)。

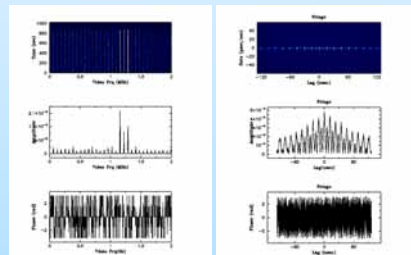


図5 フィルタリング相互相関スペクトル(左)と遅延領域の相互相関関数(右)

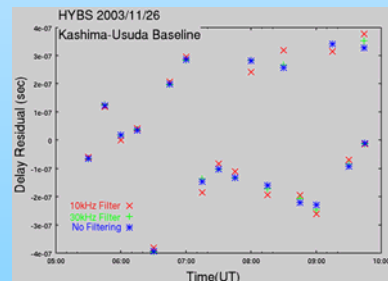


図6 計測された遅延を多項式フィッティングして滑らかな曲線の周りのばらつきを調べた。異なる色のポイントはそれぞれ、片幅5kHz, 30kHz, 50kHz(フィルタリングなし)のデータ点である。

4. まとめ

我々とJPLとの群遅延計測の精度の違いをきっかけに、周波数フィルタリングにより遅延計測精度が向上するかどうか試験を行った。現在のところ、まだ有意な改善は見られていない。今後、フィルタリング方法の改善や、レプリカ信号を使った処理により、遅延計測精度の改善を追及していきたい。