

相対 VLBI 観測時の位相遅延接続について

Phase delay connection in differential VLBI

近藤哲朗¹、T. Hobiger^{1,2}、市川隆一¹、関戸 衛¹、小山泰弘¹、高羽 浩³

1 情通機構鹿島、2 ウィーン工科大、3 岐阜大

Tetsuro Kondo¹, Thomas Hobiger^{1,2}, Ryuichi Ichikawa¹, Mamoru Sekido¹
and Hiroshi Takaba³

1 National Institute of Information and Communications Technology

2 Vienna University of Technology

3 Gifu University

1. はじめに

相対 VLBI は 2 つの近接した電波源を交互に観測することにより、両電波源の相対位置を精密に測定する観測手法である。観測遅延の両電波源での差を取る事により、受信システム、時刻同期誤差、伝播媒質および局位置等の誤差によって生じる共通の誤差を取り除くことができる。もし、一方の電波源の位置が精密に分かっていれば、その位置を通してもう一方の電波源の位置を精密に知ることができる。相対 VLBI は 1970 年代後半から深宇宙探査機の位置を測定するため、JPL で使用されてきた。この場合、探査機と電波星を交互に観測するため、それぞれのデータストリームにギャップが生じる。観測が探査機からの信号のように狭帯域である場合、このギャップを超えてフリンジ位相を接続することが、位置決定精度向上のために重要である。実際に JPL ではフリンジ位相を接続するために 2 のアンビギュイティをイタレーションで解く方法を開発し、実際にボイジャー 1 号と 0J287 の相対 VLBI に適用し、局所的な位相変動がなければ、この手法はフリンジ位相接続に有効であることを示した。JPL の観測ではアンテナスイッチング時間は 5 分であった。つまり観測（スキャン）長とギャップ長はそれぞれ 5 分であった。このギャップ長をいくらまで延ばせるかについては言及していない。

最近、日本国内でも日本の火星探査機 NOZOMI や小惑星からのサンプルリターンを目指した HAYABUSA の位置決定のための相対 VLBI 観測が実施された。これらの観測においてフリンジ位相接続の問題が再認識されている。フリンジ位相のゆらぎはフリンジ位相接続が可能なギャップ長に限界を与えるであろうから、アンテナのスイッチング時間はこの限界以下でなければならない。したがって、ギャップ長の限界は電波源強度と同じく、観測スケジュールを作成する際の重要なパラメータとなるが、このパラメータは気象やアンテナの位置（地域性）に大きく依存すると考えられる。

今までに多くの研究者が電波干渉計手法を用いて大気の位相ゆらぎの統計的性質を調べてきた。ギャップ長の限界に関して何らかのヒントはこれらの研究結果から得られるが、しかしそれらは今対象と考えるアンテナのある場所とは異なる地域で観測されたものである。そこで鹿島が関係した基線におけるギャップ長の限界に関して直接的な結果を得るための観測を実施し、スキャン長とギャップ長の関係を調べた。

2. 観測

フリンジ位相の長期変動データを取得するため 1 つの電波星（3C273B または 3C454.3）を長時間（1 時間または 2 時間）連続観測するという実験を 2006 年 3 月から 7 月にかけて 5 回実施した。観測は X バンド 2ch（8234.99MHz, 8584.99MHz）、S バンド 2ch（2269.99MHz, 2344.99MHz）の計 4ch で行い、データ収集には K5/VSSP サンプラーを使用した。サンプリング周波数は 4MHz/ch で 1 ビット量子化によるデータ収集を行った。すべての実験に鹿島 34 m アンテナと岐阜 11 m アンテナが参加し、小金井 11 m アンテナは最後の実験にだけ参加した。相関処理はソフトウェア相関器を使用した。データ転送および相関処理の容易さを考慮し、観測の単位（スキャン）は 5 分とした。5 回の実験の内 2 回で連続観測に失敗したため、残り 3 回の実験データを解析し

た。表 1 にデータ解析に使用した実験を示す。

表 1 . 実験一覧表

日時	参加局	電波星	備考
2006 年 3 月 16 日 12h-13hUT	鹿島 34 岐阜 11	3C273B	鹿島雨、岐阜雨
2006 年 5 月 11 日 13h-15hUT	鹿島 34 岐阜 11	3C273B	鹿島くもり、岐阜くもり
2006 年 7 月 21 日 15h-17hUT	鹿島 34 岐阜 11 小金井 11	3C454.3	鹿島くもり、岐阜雨、小金井霧雨

3 . データ解析結果

まず、5 分毎のスキャンで観測されたデータ（スキャン間に 1 ～ 2 秒のギャップあり）のフリンジ位相（位相遅延）を接続する手法を開発した。この手法を用いて、フリンジ位相を接続し 1 時間および 2 時間のフリンジ位相観測データを得た。こうして得られたフリンジ位相データを用いて、次の 2 つの方法によりギャップ長の限界を推定した。

方法 A：フリンジ位相変動の“真の分散”と呼ばれる統計量を使用する方法。

方法 B：フリンジ位相変動の“直線近似”を使用する方法。

図 1 には X バンドの結果について図示する。S バンドデータに関しては 1 0 0 0 秒までの範囲ではギャップ限界は見られない。X バンドでは実験毎に大きな変動が見られ、方法 A では 6 0 秒～ 4 8 6 秒、方法 B では 1 6 秒～ 1 2 6 秒とばらついている。またすべてにおいて方法 B の方が限界が短くなっている（28%～74%短くなっている）。この違いは方法 A で仮定したエラー伝播則が適切ではなかったためと考えられる。白色雑音を仮定してギャップ時間離れた時間での誤差を求めたが、実際のフリンジ位相変動は数 10 秒から数 100 秒の時間帯では白色雑音とはなっていない。このため、実際の方法に即している方法 B で求めたギャップ限界の方がより現実的と思われる。

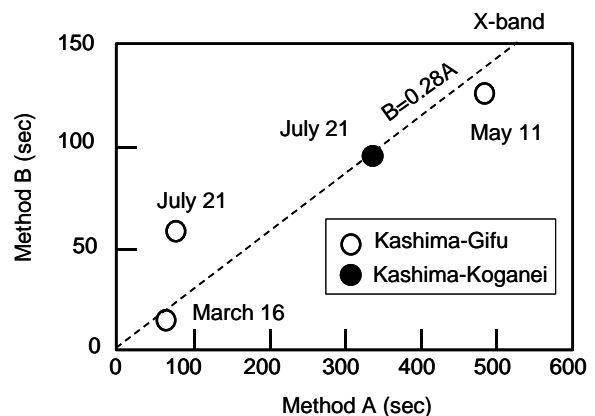


図 1 ギャップ長の限界。方法 A と B の比較。破線は最小二乗フィットした原点を通る直線。

4 . 終わりに

1 時間および 2 時間の連続 V L B I 観測フリンジ位相データを用いて、スキャンからスキャンへフリンジ位相（位相遅延）を接続する際のギャップ限界について解析を行った。その結果、X バンドでは気象条件により大きくばらつくことが判明した。5 月 1 1 日の実験（セッション）以外の天候は観測局のいずれかおよびすべてが雨の状態であったが、鹿島 - 岐阜基線においては雨により、著しく可能なギャップ長が短くなっていることが分かる。今回の実験では快晴下でのデータはなかったが、今後、季節変動も含めて統計的な結果を得るために、少なくとも鹿島 - 小金井基線での月 1 回ペースでの実験を行いたいと考えている。更に、位相遅延接続法の改良についても検討を進めたい。

この研究の一部はオーストリア科学財団 (FWF) の研究プロジェクト P16136-N06 「Investigation of the ionosphere by geodetic VLBI」の援助を受けている。