

内之浦 34m 局測地 VLBI 実験

情報通信研究機構鹿島宇宙通信研究センター 小山泰弘、市川隆一、近藤哲朗、
久保木裕充
宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部 望月奈々子、村田泰宏
国土交通省国土地理院 藤咲淳一

1. はじめに

内之浦 34m 局(図1)は、宇宙航空研究開発機構臼田宇宙空間観測所の64mアンテナを補完して、科学衛星の管制およびデータ通信を行うアンテナとして内之浦宇宙空間観測所に建設されたアンテナである。今後、『はやぶさ』などの深宇宙飛翔体の管制技術を高度化することを目指し、これまで国内の多数のVLBI観測局を用いて相対 VLBI 実験を行ってきたが、内之浦 34m 局も相対VLBI実験の観測局として利用することが永く望まれていた。そこで、新たに水素メーザー周波数標準器を導入し、また位相較正信号発生装置、K4 型 VLBI バックエンド装置、およびK5 / VSSP型VLBI観測装置を設置するなど、内之浦 34m 局で VLBI 観測を行うことができるようにするための整備を進めてきた。そして、2004年7月1日に鹿島宇宙通信研究センター11mアンテナとの間ではじめてのVLBI観測を実施して、FRINGEを検出することに成功したことを踏まえ、今後の惑星探査機の高精度位置決定に資するため内之浦 34m アンテナの基準点位置を正確に求めることを目的として、2004年11月1日から2日にかけて測地VLBI実験を実施した。本報告では、その実験の内容と、得られた結果について報告する。



図1 内之浦宇宙空間観測所 34m アンテナ

2. 実験の概要

実験には、内之浦 34m 局のほか、情報通信研究機構鹿島宇宙通信研究センター 34m 局および国土交通省国土地理院つくば 32m 局が参加した。当初、2004 年 10 月 19 日に国土地理院が実施した国内測地 VLBI 実験 (実験コード JADE-0410) に鹿島 34m 局と内之浦 34m 局が参加して内之浦 34m 局の局位置を推定する予定であったが、台風の影響により、両局の観測参加は中止し、そのかわりに 3 局 3 基線の測地 VLBI 実験を新たに計画して実施することとなった。観測は、2004 年 11 月 1 日 03:00 UT から約 24 時間行われ、JADE 実験で使用されている 114 電波源を使用して、総スキャン数 485 の観測スケジュールを作成した。観測には、3 観測局とも K5 / VSSP を使用し、X バンドに 8 チャンネル、S バンドに 8 チャンネルの周波数チャンネルを割り当てた。各チャンネルの帯域は 4MHz とし、8Msp/s、1bit/sample のサンプリングモードで、総データレートは 128Mbps であった。この周波数配列やサンプリングモードは、通常の JADE 実験の設定と同じである。

実験の観測中、内之浦 34m 局では、観測スケジュール中に指定されているスキャンごとの記録終了時刻に対して、20 秒前にアンテナが次のスキャンの電波源への追尾へと切り替わる不具合が発生していることが確認された。そのため、観測開始から約 2 時間後の 05:16 UT に観測をいったん中断し、アンテナ追尾コマンドのシーケンスの差し替えを行って対処した。また、翌 11 月 2 日 01:25 UT から約 35 分間、停電のために内之浦 34m 局の観測が停止するという影響があった。つくば 32m 局では、4 台の K5/VSSP ユニットのうち、S バンドの 4 チャンネルの記録を行う 3 台目のユニットの時刻が 10 分遅れて設定されるという不具合があった。この不具合は、観測開始から約 6 時間後の 11 月 1 日 9:22 UT に修正され、その後は正常に復帰した。また、影響を受けたデータについては、記録された観測データのヘッダを修正するプログラムを作成し、正しい時刻へと修正することで、スケジュールに指定された記録時間と重複するデータについては救済することができた。その結果、影響を受けた 125 観測のうち 99 観測については解析に使用できるようになった。

3. 処理および解析

観測終了後、内之浦 34m 局とつくば 32m 局で K5/VSSP システムにより記録した観測データは、ネットワークを経由して鹿島宇宙通信研究センターのサーバーに集約した。ただし、内之浦局には高速なネットワーク接続が利用できないため、観測データを記録したハードディスクを宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部相模原キャンパスに運搬し、そこから高速ネットワークを通じてデータ伝送を行っている。観測データは、合計 8 台の K5/VSSP ユニットに分散して格納し、他に 2 台のサーバーを加えた 10 台のホストから共通のファイルパスでアクセスできるように autofs の設定を行って相互にハードディスクをマウントした。その後、10 台のホストの計 12 個の CPU を使用してソフトウェア関連処理を行った。関連処理では、1 台のサーバーで関連処理状況を常に把握し、各クライアントからのリクエストに応じて関連処理を行うデータセットを割り当てるシステムを構築して、関連処理の負荷を効率よく多数の

CPU に分散させる手法を用いている。相関処理終了後、K5 ソフトウェア相関処理プログラムで出力される cout フォーマットファイルを、従来の K3 および K4 相関器の出力ファイルと互換性のある kross フォーマットファイルへと変換し、さらに komb によるバンド幅合成処理ののち、Mark-3 データベースファイルを作成して NASA Goddard Space Flight Center で開発された SOLVE/CALC ソフトウェアを使用してデータ解析を行った。解析では、つくば 32m 局の局位置を ITRF2000 の局位置に固定し、そのほかの2つの観測局の局位置を推定した。天頂湿潤大気遅延とクロックパラメタは1時間おきに推定し、異方性のない大気遅延マッピング関数(Niell モデル)を用いている。解析には遅延時間を観測量として使用し、遅延時間変化率は使用していない。そのほかのモデルなどは IERS Conventions (1996) に準拠している。表1に解析に用いられた遅延時間データの統計を、表 2 に解析の結果得られた内之浦 34m 局と鹿島 34m 局の局位置推定結果と基準点として固定したつくば 32m 局の局位置を示す。内之浦 34m 局の局位置は、ITRF2000 系の座標値として3成分それぞれ約 1 cm 程度、鉛直・水平成分に分解した場合で水平方向の2成分がともに 5 mm 以下、鉛直方向成分が 15 mm 以下の精度で求められた。

表1 解析に使用した遅延時間データの統計

基線	総データ数	解析に使用したデータ数	遅延時間残差 (RMS)
つくば - 内之浦	427	334	128 psec.
鹿島 - 内之浦	450	369	135 psec.
つくば - 鹿島	436	350	54 psec.

表2 固定したつくば 32m 局の局位置と2観測局の局位置推定結果(ITRF2000)

観測局	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
つくば 32m 局	-3957408788.5	3310229446.9	3737494746.5
鹿島 34m 局	-3997649233.7 ± 5.1	3276690826.8 ± 4.3	3724278752.5 ± 4.7
内之浦 34m 局	-3586229250.3 ± 9.2	4114103810.6 ± 9.3	3290224788.6 ± 8.7

4.まとめ

今回行った測地 VLBI 実験により、内之浦 34m 局を今後の飛翔体高精度位置決定のための相対 VLBI 観測に使用するために十分な精度で局位置を推定することに成功した。内之浦 32m 局を VLBI 観測局として整備を開始してから、かなり短期間で24時間の測地 VLBI 実験を実施することができ、今後、内之浦 34m 局を用いた飛翔体位置決定実験を実施する準備が整ったとすることができる。ただし、今回得られた局位置は1回の測地 VLBI 実験による結果であるため、信頼性を高めるためには、さらに複数回の実験を実施して、再現性の面で局位置の精度を検証することは重要である。今回の実験時には、X バンドの8チャンネルのうち、2チャンネルが受信帯域の端にあっているために信号対雑音比がほかのチャンネルに比べて低かったことがあったため、今後さらに実験を行う場合には、最適な周波数配列を検討するか、内之浦 32m 局の X バンド受信機の改善を検討することが望ましい。また、内之浦 32m 局の気象データを自動的に高頻度で取得することが今回の実験ではできなかったが、今後予定されている整備の結果、高精度な気象データが得られるようになることが期待される。さらに、今回の実験では、内之浦 34m 局で発生した停電ののち、約1時間のデータの品質が安定していなかったこともあり、実質的に内之浦 32m 局の位置決定に寄与したデータは停電が発生するまでの約22時間に限定されていた。これらの点を改善し、またさらに多数の基線数による測地 VLBI 実験を実施することにより、今回得られた局位置推定結果を改善できる余地はまだ十分にあると考えられる。

謝辞

観測終了後のデータ伝送では、スーパーSINET および研究開発テストベッド・ネットワーク JGN を利用いたしました。これらのネットワークを e-VLBI 実験の研究開発に活用するにあたり、国立情報学研究所、NTT 研究所、KDDI 研究所、国立天文台、山口大学、岐阜大学など多数の機関のご協力をいただいておりますことに、感謝申し上げます。