

2.2 国内測地 VLBI 観測成果

小 山 泰 弘*

2.2 Geodetic Results from Domestic VLBI Observations

By

Yasuhiro KOYAMA

The 34-m and 26-m antenna systems at Kashima Space Research Center have both played important roles in the history of domestic VLBI observations for geodetic purposes in Japan. They have also contributed to the research and development of the observation systems, data-processing systems, and data-analysis systems used for these observations. This paper reviews the results and significant achievements of domestic VLBI observations.

[キーワード] 宇宙測地技術, VLBI
Space geodetic technique, VLBI

1. はじめに

日本国内で VLBI の観測や研究開発を行っている研究機関は、これまでに観測を行った実績があるところに限っても通信総合研究所、国土地理院、国立天文台、宇宙科学研究所、国立極地研究所、鹿児島大学、岐阜大学、九州東海大学のじつに計 8 機関にのぼる。これらの研究機関以外にも、観測データを解析したり観測装置の開発に関与したりする研究者は多数存在し、その裾野は今後も着実に広がっていくものと思われる。1990 年には、VLBI に関する研究に関与している研究者相互の情報交換を目的として VLBI懇談会と称する研究会が発足したが、この研究会に参加する研究者の数は 2000 年 3 月現在で 160 名を超えるまでになった。このように、日本国内における VLBI の研究は現在非常に多岐にわたる領域で活発に行われるようになったが、このように VLBI の研究が国内で発展してきた背景には、通信総合研究所鹿島宇宙通信センターにある 26m アンテナと 34m アンテナの 2 つの VLBI 観測局が大きな役割を果たしてきたと言ってよい。本稿では、とくに測地目的の

VLBI 研究に重点を置いて、これら 2 つの VLBI 観測局が関与した成果について述べる。

2. 観測成績

通信総合研究所における VLBI の研究は 1970 年代に開始され、まず米国の Mark-II 観測システムを参考にしながら K-1 システムの開発が行われた⁽¹⁾。その後、完成した K-1 システムを使用して、1977 年に鹿島宇宙通信センターの 26m アンテナと当時の日本電信電話公社横須賀電気通信研究所にあった 12.8m アンテナとの間で 3C273B を観測した結果が河野らによって報告されている⁽²⁾。この観測が日本国内で初めて成功した VLBI 観測であり、国内における VLBI 研究の歴史の先駆けとなった。このあと、鹿島と平磯宇宙環境センターとの間の基線で実時間 VLBI 観測を行う K-2 システムが開発され、引き続いて米国で開発された Mark-III システムと互換性のある K-3 システムの開発が開始されて本格的な VLBI 研究が発展することになる⁽³⁾。K-3 システムは、26m アンテナを国際 VLBI 観測網に参加させることを可能にし、日米基線の測地 VLBI 観測を中心にして多数の観測が行われた⁽⁴⁾。その一方、同時に通信総合研究所と国土地理院との間の国内共同観測を実現させることにもつながった。国土地理院は、可搬型の

* 鹿島宇宙通信センター 宇宙電波応用研究室
(2001 年 1 月より内閣府技官に併任)

5m アンテナシステムを新たに開発し、K-3 システムを導入して VLBI 観測局を立ち上げた。つくばにある国土地理院構内に設置された可搬型 5m 局と、鹿島 26m 局の基線でのはじめての測地 VLBI 観測は 1984 年に実施され、地上測量の結果との比較も行われて測地 VLBI による精密測位の可能性が実証された^{(5),(6)}。この基線の基線長は約 55km と比較的短く、誤差原因の解明や精度向上のための研究目的に非常に適していることから定期的に観測が行われ、観測システムと解析処理システムの改良に大いに寄与した⁽⁷⁾。

一方、鹿島 26m アンテナよりも高感度で、多数の周波数帯の観測を行うことのできる鹿島 34m アンテナは、西太平洋電波干渉計システムの一部として 1988 年に整備された。西太平洋電波干渉計計画は、北米プレート上に位置する鹿島、太平洋プレート上に位置する南鳥島、ユーラシアプレート上に位置する上海、フィリピン海プレート上に位置する南大東島の 4 つの地点の位置を測地 VLBI 観測によって計測し、4 つのプレートの相互運動を調べることを目的として 1988 年に観測システムの整備を開始して 1989 年から 5 カ年計画で観測が行われたものである⁽⁸⁾。上海の観測局としては、中国科学院上海天文台との共同研究に基づいて余山 26m アンテナが観測網に参加して、南大東島の観測局には直径 3m の超小型 VLBI 局可搬アンテナが活用された。のこる鹿島と南鳥島には 34m アンテナと 10m アンテナがそれぞれ建設され、5 年間にわたって観測が行われた。南鳥島の局運動はとくによく調べられ、北米プレートに対する太平洋プレートの動きが検出された⁽⁹⁾のに続いて、太平洋プレートの剛体的な動きで説明できない有意な動きが検出される⁽¹⁰⁾などの成果をあげた。また、南大東島の局位置の変化から、フィリピン海プレートの動きがはじめて測地 VLBI によって検出されるという成果も得られた⁽¹¹⁾。

鹿島 26m アンテナと鹿島 34m アンテナの 2 つの VLBI 観測局は、数多くの国際 VLBI 観測に参加することによって、国際測地座標系 (ITRF=International Terrestrial Reference Frame) における位置と速度が非常に高精度に定義されている⁽¹²⁾。そのため、これら 2 つの観測局との間で測地 VLBI 観測を行うことにより、国際測地座標系における位置を決めることができる。このことを利用して、国土地理院では鹿島 26m アンテナと 5m 可搬局や固定局との間で測地 VLBI 観測を行い、国内の多くの地点で国際測地座標系に結合し、国内の測地基準網を今後使用される測地成果 2000 に移行する際の基準として利用した。また、1994 年から通信総合研究所が整備を開始した首都圏広域地殻変動観測計画 (KSP=Key Stone Project) でも、観測網の基準点の位置を定めるために鹿島 34m アンテナを含んだ測地 VLBI 観測を行って観測網を国際測地座標系に結合した。

さらに、KSP では、4 つの観測点に VLBI のほかに衛星レーザー測距 (SLR=Satellite Laser Ranging) と汎地球測位システム (GPS=Global Positioning System) の 2 つの宇宙測地技術による観測システムがコロケーションされており、それぞれの観測基準点の国際測地座標系における位置が独立に求められる。これらの結果を地上測量による結果を用いて比較することは、異なる宇宙測地技術によって実現されている国際測地基準系の整合性を検証することを可能にし、さらには座標系の整合性の向上にも寄与することができると期待される。このように 3 つの宇宙測地技術による観測システムがコロケーションされている地点はまだ世界的に数が少なく、とくに鹿島宇宙通信センターのように 3 つの VLBI 観測局、1 つの SLR 観測施設、2 つの GPS 受信機が近距離にコロケーションされた地点の果たす役割は非常に大きいと言える。予備的な比較結果は小山らによって報告されている⁽¹³⁾が、今後も詳細な検討を行って研究をすすめる必要がある。

3. 観測および処理システムの開発

通信総合研究所における VLBI の研究は、K-1 システムの開発から始まったことに象徴されるように観測システムや処理・解析システムの開発を中心として進められてきた。観測システムや処理・解析システムの開発には、実際のデータを用いながら問題点を解決するプロセスが不可欠であるので、鹿島 26m アンテナと鹿島 34m アンテナによる観測は、VLBI 技術の進展に重要な役割を果たしたということは言うまでもない。KSP では、高速デジタル通信網を利用したリアルタイム VLBI 観測⁽¹⁴⁾と、観測から相関処理、解析に至るまでの一連の作業の完全な自動化⁽¹⁵⁾を実現しているが、これらはいずれも世界的にも例のない進んだ技術である。また、従来の 4 倍の記録速度を実現するギガビット VLBI システムの開発も 1998 年から進められているが、このシステムを用いた試験観測が鹿島 34m アンテナと岐阜大学に設置された超小型 VLBI 可搬アンテナの間の基線などを使って実施され、世界で初めて 1Gbps のデータ記録速度での測地 VLBI 観測を成功させている⁽¹⁶⁾。

4. データ解析手法の研究

前節で述べたような観測システムや処理解析システムの開発のほかに、観測データを解析する際の補正モデルの研究や、解析手法の改善などの研究も、測地 VLBI 観測の測定精度を向上させるために必要である。高橋は、つくばと鹿島の両観測局間の基線の観測データを用いて、遅延時間測定データの差分から局位置などの未知パラメタを推定する解析方法についての検討を行い、その有効性を示した⁽¹⁷⁾。また、日置は、測地 VLBI 観測によっ

て得られる鉛直成分の位置測定誤差に着目し、最低仰角を低くすることと遅延時間変化率を解析に用いることで誤差を低減させることができることを明らかにした⁽¹⁸⁾。さらに、高橋は、測地 VLBI 観測のデータに含まれる誤差についての検討を行い、信号対雑音比から理論的に導かれる熱雑音誤差以外にも、大気揺らぎが原因となる誤差が大きいことを示し、位置推定精度を向上させるためには信号対雑音比を大きくとるよりも、むしろすべての観測の信号対雑音比を一定に保ちながら多数の観測を実施したほうがいいことを明らかにした⁽¹⁹⁾。以上の成果は、すべて S バンドと X バンドの 2 つの観測周波数帯を同時に受信することを前提にしたデータ処理であったが、より高い周波数帯を測地 VLBI 観測に利用するための 22GHz 帯と 43GHz 帯におけるコンパクトな電波源のサーベイ観測も行われた⁽²⁰⁾。

5. ま と め

日本国内の VLBI 観測局は、1990 年代以降飛躍的に多くなり、本稿の執筆段階でも国立天文台の VERA 計画のための観測局が建設中であり、ほかにもいくつか観測局を新たに建設する計画が立てられている。また、KSP で使用されていた VLBI 観測局のうち、三浦局と館山局の 2 つの観測局を、北海道大学と岐阜大学にそれぞれ移設することも予定されている。このように、鹿島宇宙通信センターの 2 つの VLBI 観測局から始まった国内の VLBI 研究はますます発展・拡大を続けていくものと思われる。ただし、このような状況にあっても、鹿島の VLBI 観測局の果たすべき役割は今後も小さくなることはない。鹿島 26m アンテナは、今後近いうちに運用を停止することが予想されるが、鹿島 34m アンテナは国内で最も正確に国際測地座標系における位置が定義された VLBI 観測局として、これからも引き続いだ観測システムを運用していくことが重要である。

謝 辞

本稿で述べた国内の測地 VLBI 観測成果は、通信総合研究所の関係研究者のみならず、国土地理院、国立天文台、および岐阜大学の多くの研究者によって達成されたものです。ここに深く謝意を表します。

参 考 文 献

- (1) 川尻竜大，“システム全体の紹介”，電波季，24, 130, pp.464-468, 1978.
- (2) 河野宣之、高橋富士信、小池国正，“電波源データの処理結果”，電波季，24, 130, pp.525-528, 1978.
- (3) “K-3 型超長基線電波干渉計 (VLBI) システム開発特集号”，電波季，30, 特1号, 1984.
- (4) 近藤哲朗、吉野泰造，“2.1 国際測地 VLBI 観測成 果”，通信総研季，47, 1, pp.3-11, Mar. 2001.
- (5) 杉本裕二、黒岩博司，“国内 VLBI システムレベル 実験の結果（その 1）”，測地学会誌，Vol.32, No.1, pp.64-71, 1986.
- (6) 斎藤隆、松坂茂，“国内 VLBI システムレベル実験 の結果（その 2）”，測地学会誌，Vol.32, No.1, pp.72-78, 1986.
- (7) J. Amagai, “Geodetic Results from Domestic VLBI Experiments (1) JEG Series”, J. Commun. Res. Lab., Vol.38, No.3, pp.533-542, 1991.
- (8) “西太平洋電波干渉計システムの開発 特集号”，通 信総研季，36, 特8号, 1990.
- (9) Y. Koyama, K. Heki, M. Imae, T. Kondo, H. Kuroiwa, Y. Sugimoto, F. Takahashi, T. Yoshino, C. Miki, and J. Amagai, “Horizontal Movement of Marcus VLBI Station due to the Pacific Plate Motion”, Proc. of the International Symposium of Current Research on Crustal Motion, pp.117-122, 1993.
- (10) Y. Koyama, “Excess Westward Velocities of Minamitorishima (Marcus) and Kwajalein VLBI Stations from the Expected Velocities Based on Rigid Motion of the Pacific Plate”, J. Geod. Soc. Jpn., Vol.42, No.1, pp.43-57, 1996.
- (11) J. Amagai, T. Kondo, M. Imae, N. Kurihara, Y. Sugimoto, T. Yoshino, F. Takahashi, H. Kiuchi, S. Hama, Y. Takahashi, H. Takaba, T. Iwata, Y. Koyama, Y. Hanado, M. Sekido, and A. Kaneko, “Movement of the Minamidaito Station”, J. Commun. Res. Lab., 42, 1, pp.57-63, 1995.
- (12) C. Boucher, Z. Altamimi, and P. Sillard, “The 1997 International Terrestrial Reference Frame (ITRF97)”, IERS Technical Note 27, Paris Observatory, 1999.
- (13) Y. Koyama, R. Ichikawa, T. Otsubo, J. Amagai, K. Sebata, T. Kondo, and N. Kurihara, “Recent Achievements in Very Long Baseline Interferometry”, J. Commun. Res. Lab., 46, 2, pp.253-258, 1999.
- (14) H. Kiuchi, M. Imae, T. Kondo, M. Sekido, S. Hama, T. Hoshino, H. Uose, and T. Yamamoto, “Real-Time VLBI System Using ATM Network”, IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, Vol.38, No.3, pp.1290-1297, 2000.
- (15) Y. Koyama, N. Kurihara, T. Kondo, M. Sekido, Y. Takahashi, H. Kiuchi, and K. Heki, “Automated geodetic Very Long Baseline

- Interferometry observation and data analysis system", Earth Planets Space, Vol.50, pp.709-722, 1998.
- (16) J. Nakajima, Y. Koyama, M. Sekido, N. Kurihara, T. Kondo, M. Kimura, and N. Kawaguchi, "1-Gbps VLBI, The First Detection of Fringes", (*in press*), Experimental Astron., 2001.
- (17) Y. Takahashi, "The Baseline Analysis by the Differential Method in the Geodetic VLBI", J. Geod. Soc. Jpn., Vol.38, No.3, pp.283-292, 1992.
- (18) K. Heki, "Three Approaches to Improve the Estimation Accuracies of the Vertical VLBI Station Positions", J. Geod. Soc. Jpn., Vol.36, No.3, pp.143-154, 1992.
- (19) Y. Takahashi, "Estimation of Errors in VLBI Data and Position Determination Error", J. Geod. Soc. Jpn., Vol.40, No.4, pp.309-331, 1994.
- (20) K. Matsumoto, N. Kawaguchi, M. Inoue, M. Miyoshi, S. Kameno, H. Takaba, T. Iwata, and N. Kurihara, "A Radio Source Survey at 22 and 43GHz for Geodetic VLBI", J. Geod. Soc. Jpn., Vol.40, No.3, pp.255-265, 1994.