

活躍しだした国立天文台水沢 10 m VLBI アンテナ

亀 谷 收

〈国立天文台水沢観測センター 〒023 岩手県水沢市星が丘町2-12〉

e-mail: kameya@miz.nao.ac.jp

国立天文台水沢観測センターに直径 10 m の VLBI 専用アンテナが建設されて、現在活躍を始めています。周波数は S 帯から 43 GHz 帯まで観測可能で、現在稼働中の国内 VLBI ネットワークの重要な 1 局として、メーザー源や活動銀河中心核の VLBI 観測に使われています。共同利用にも供されています。また、地球回転と測地の観測に積極的に参加しています。将来の地上国内統一 VLBI 計画である VERA 計画実現に向けて、基礎研究にも使われています。

1. はじめに

日本の VLBI (Very Long Baseline; 超長基線干渉計) 研究は、ここ数年間急激に活発になり、世界に殴り込みをかけようとしています。その中でも、少なくともマンパワーの面では国内で最大の勢力が国立天文台にある VLBI グループです。野辺山・水沢・三鷹の 3 つのキャンパスに分散していますが、それぞれのグループが密接に協力し合いながら研究・試験等を行っています。

その中で、水沢 VLBI グループは、測地・地球回転を主にした研究を行ってきました。ここ数年は、水沢観測センターに完成した直径 10 m の VLBI 専用アンテナを用いて天体物理および測地・地球回転の研究を行えるようになりました。

2. 国立天文台水沢観測センターの中の VLBI 研究

10 m VLBI 用アンテナがある国立天文台水沢観測センターは、どの様なところなのでしょうか。少しだけご紹介いたしましょう。

その前身である緯度観測所は、初めに臨時緯度観測所という名称で 1899 年に開設され、世界中の同じ北緯 39 度 8 分上にある他の 5 つの観測所と共に地球回転の乱れを光学望遠鏡を使って調べ

た。その結果は初代所長木村栄による Z 項の発見という大きな実を結び、その後の地球回転と関連分野の研究を続ける動機づけになりました。余談になりますが、水沢市内には“Z 項”にゆかりのある名前がかなりあります。例えば、1996 年天文学会秋季年会を開催する予定の水沢市文化会館には“Z ホール”という愛称がありますし、日本宇宙少年団水沢 Z 分団という宇宙科学技術に興味を持つ少年少女のための活動団体もあります。

一方、光学観測の限界が明らかになり、超長基線電波干渉法 (VLBI) による地球回転観測技術が精度的に数十倍良いことが判明しました。1988 年に行われた国立天文台への改組の前後から、国立天文台水沢の中に VLBI グループができることとなります。初めは 3.3 m のアンテナをもらい受け、VLBI 用アンテナに仕立てあげる事から始め、次に本格的な地球回転観測用を使用するために、当時三鷹で眠ろうとしていた 6 m 望遠鏡 (日本で最初のミリ波の宇宙電波観測を行って活躍した) を使わせていただき、水沢観測センターで改造した後、VLBI バックエンドの充実している野辺山宇宙電波観測所に移設させていただきました。IRIS-P (地球回転太平洋 VLBI 観測網) に参加し、1989 年から 1992 年まで VLBI 観測を行いました。

現在、水沢観測センターは、地球回転や重力計・GPSの計測研究を中心とした地球科学、惑星への応用を考える惑星計測学、そしてVLBI科学の3本の柱を持ち、研究を進めていこうとしています。特に、VLBI科学の重要性が大きくなってきました。

10 m アンテナを作る経緯については、以下に述べましょう。

3. 10 m アンテナ建設までの道程

前節のように、私達は6 m アンテナを使って地球回転のVLBI観測を始めた訳ですが、不満がもちろんありました。

受信機と観測テープ以外のアンテナやバックエンド等は全て借り物で、しかも観測ごとに野辺山宇宙電波観測所に出向かなければならない、という不便は大きなものでした。自前のアンテナが欲しいという希望は、非常に切実なものでありました。

一方、当時私達はそれ以外に2つの目標を持っていました。一つ目は、より高い周波数帯でのVLBI観測を行うことです。星生成領域や晩期型星の周囲に存在する水分子と一酸化珪素分子が放射するメーザー電波がそれぞれ22 GHz帯と43 GHz帯にあります。それらを野辺山45 m電波望遠鏡や通信総合研究所の鹿島にある34 mアンテナなど国内外のアンテナと共にVLBI観測することで、数ミリ秒角の精度で天体の構造とその変化を調べることは、非常に有望な研究分野になりつつありました。また、電離層の影響を受けにくい22 GHz帯での測地実験は、1 cmを切る測定精度により、地殻の動きを調べるうえで重要な新しい方法であると考えられました。

2つ目はさらに大きな目標でした。それは、新構想のVLBI装置“VERA”を建設することです。^{註1)}この計画を一日も早く実現するためにも、その実現に必要な技術開発を行える機動性あふれるアンテナが必要であると多くの人が考えていまし

た。

文部省特定研究「短波長・高精度VLBI用アンテナの開発」が認められたのは、そんな時でした。1990年度から1992年度まで3年間をかけて直径10 mのVLBI用アンテナを開発するというものです¹⁾。開発目標は、波長7 mmまで受信可能な鏡面および指向精度を持ち、将来のVLBIアンテナとしてふさわしい機能を備えたものを廉価で量産できるものを開発するというものでした。しかし、その研究費だけでは、バックエンド・水素メーザー原子時計等の必要なVLBI計測装置を全てそろえる事ができません。さらに水沢の使えるお金の内から絞り出せるだけ絞り出して、アンテナ建設および観測機器充実費に当てました。

10 m アンテナの建設は、水沢観測センターで初めての新品の、しかも本格的なVLBI用アンテナとして水沢観測センターに姿を現し始めることになりました。

アンテナ製作は野辺山45 m電波望遠鏡を製作した三菱電機さんが担当されることになりました。性能実績があり、完成後のバックアップ体制が整っていることは、私達にとってとても大きな安心感を与えてくれました。

彼らは、私達の「安くて性能のいいアンテナ」というかなり無理な希望を、既設計の2種類のアンテナを組み合わせるという方法で実現しました。アンテナ面は鏡面精度が良いが静止衛星用の固定使用するタイプと、鏡面精度は非常に悪いが駆動できるタイプを組み合わせると高精度で駆動可能なアンテナになったのです。この合体化は、受信機室がやや狭いという欠点が生じた事以外は非常にうまくいっているように見受けられます。ただ、面白い構造が生まれる事にもなりました。実物の10 mアンテナの受信機室の構造を良く見ると、意味不明の出っばりが見られますが、これは組み合わせる以前には意味があった構造がちょうど“盲腸”の様にそのまま残っているものです。

ところで、このアンテナは大きさは中型ですが、

世界一と自負する特長があります。それは、駆動制御系としてオーバーシュートをしないデジタル制御を採用していることです。通常のこれまでのアンテナの駆動制御は、アナログ方式で行われていました。この方法では、あるアンテナの方向から別な方向へ移動させる時に、例え高速で動かしても移動先ですぐに止まらずに行き過ぎてしまいます。結局アンテナが正しい方向に停止するまでに多めに時間がかかってしまうこととなります。この問題を解決するために、私達は1991年度科学研究「民間との共同研究(区分A)」の補助を得て三菱電機との共同研究を行い、独自のデジタル制御方式を開発しました。この結果、移動目標の方向の手前になると、丁度目標位置でアンテナが停止するように減速させる方法が確立しました。実際に運用してみると、野辺山45m電波望遠鏡の速さの10倍にあたる毎秒3度の速さで“バー”と動き、止まるべき位置で“ピタッ”と止まる性能には目を見張らせられました。

建設は、研究費の性格から3年かけて行われました。1990年度にアンテナ基台及びアンテナ架台の建設、1991年度にアンテナ駆動部、副反射鏡、一次放射部、付帯設備の製作がおこなわれました。そして3年目の1992年度に主鏡部の製作が行われました。総合組立と調整は1992年の8月から始まり、11月には終了しました。

アンテナ調整は、セオドライトによりパネル位置を測定して行いました。三菱電機の技術屋さんの技術力はさすがで、主鏡鏡面精度の仕様値を0.4mm rmsとしていたのに対して、出来あがったものは、高度角3度、50度、90度に対してそれぞれ0.344mm、0.333mm、0.344mmとなりました(図1)。

アンテナ完成後、予算の関係でケーブル配線は天文台のスタッフが受持ち、千箇所以上の結線を分担して行いました。

受信可能周波数はS帯、X帯、22GHz帯、43GHzの4周波数帯としました。S帯とX帯の受信

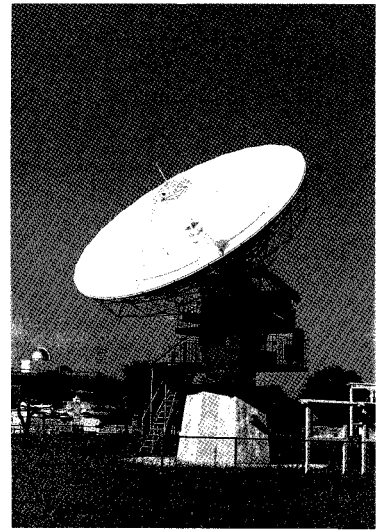


図1 水沢10mアンテナの近影

機は6m望遠鏡のものを流用しました。22GHz受信機は、野辺山宇宙電波観測所の御好意により15Kまで冷却するヘムト受信機をお借りでき、狭い受信機室上部に苦労しながらなんとか設置することができました。なお、22GHz受信機は、1994年に新しいものを購入し、取り替えました。

単一鏡としてのファーストライトは、1992年12月に太陽を使って得られました。約1時間の苦闘の末、方位角方向のエンコーダの読みの大きなずれによろやく気づき、副鏡の影を見ながらアンテナを太陽に向けたら、S帯受信機の出力がつながっていたチャートレコーダーが急にスケールアウトしたことで太陽が入ったことが分かりました。

1993年1月に10mアンテナのお披露目式が終わった後、私達は次の目標である10mアンテナをVLBIシステムとして立ちあげるための準備を始めました。アンテナ指向性チェックと最適化、ビーム幅のチェック、信号伝送系の最適化、受信機雑音温度のチェック、といったアンテナ単体の性能出しをまず行いました。

次に、VLBIで無くてはならない水素メーザー原子時計と位相較正装置、バックエンドの設置、そしてK4レコーダーの自動制御ソフトの製作などです。さらに、視界を確保するため、アンテナ

周囲にあった桜などの樹木を4月に一花咲かした後、涙をのんで伐採しました。

1993年6月22日にS帯・X帯のフリンジ検出実験が丁度別のアンテナとの間でフリンジ検出実験を行う予定であった通信総合研究所の鹿島34mアンテナとの間で行われました。電波が強くとVLBIで観測できるほどコンパクトな天体であるクエーサー3C273と4C39.25を使用しました。観測結果は、相関器を使って処理しない限り成功か否かは分かりません。私達は、幸いにも国立天文台が開発した相関器NAOCOを使ってすぐさまフリンジの検出チェックを行いました。そして、予定通りS帯・X帯のフリンジを確認できました。これで、水沢10mアンテナもVLBIアンテナの仲間になることができました²⁾ (図2)。

この実験の6日後、今度は22GHz帯でもフリンジ検出実験をおこないました。相手局として野辺山宇宙電波観測所45m電波望遠鏡に対してオリオンKLの水メーザ源のフリンジを確認できました。これによって、22GHz帯でもVLBI観測できることが実証されました。

4. 地球回転と測地の観測結果

S/X帯でのVLBI観測システムが完成した事を受けて、当初の目的の一つであった地球回転のVLBI観測を私達は開始しました。IRIS-P(地球回転太平洋VLBI観測網)に1993年7月から参加しました。水沢10mアンテナの位置は、1993年7月の観測より -3857236.0270 ± 0.0110 m

$$Y = 3108803.2741 \pm 0.0026 \text{ m}$$

と計算され、これは、0.70025 mの相関局の都合で観測網が中断する1994年8月までの間に



第2号1993年6月28日
発行 国立天文台水沢
VERAチーム連絡会

10mアンテナによる 初のVLBI実験成功！！

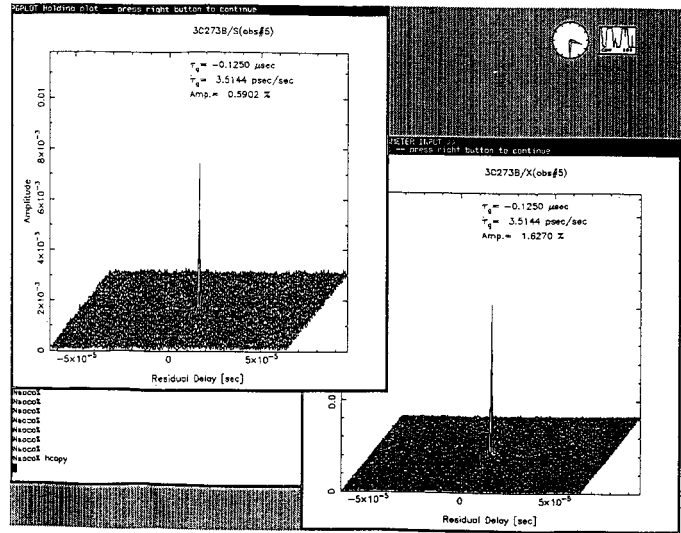


図2 初めて得られたフリンジ。3C273Bを鹿島34mアンテナと水沢10mアンテナでVLBI観測して得られたもの。左は2GHz帯、右は8GHz帯の結果。

計10回観測されました。誤差解析の結果、誤差は2cm程度には納まっている事が分かりました³⁾。これらのデータは、地球回転の観測データとしてその他の解析に使用されています。

5. 国内VLBIネットワークへの参加と結果

国立天文台が所有する3台のアンテナ(野辺山45m電波望遠鏡、水沢10mアンテナ、鹿児島に移設された6mアンテナ)による22GHz帯のVLBIは、1993年10月に成功しました。これまでは、45m電波望遠鏡と通信総合研究所34mアンテナと行っていたKNIFE(鹿島野辺山干渉計)で共同研究の枠の中で行っていたVLBIが、初めて天文台の中に閉じた3局VLBIネットワークを

設置され、1996年よりいよいよ一酸化珪素メーザー源の観測ができるようになる予定です。これにより、更に面白い観測結果が出てくると期待しています。

解析ソフトはまだまだ整っていませんが、逆に、泥を自分でかぶる気さえあれば、自分で「宝の山」から宝を好きなだけ採ることができるとも言えます。

最後に、私達の10mアンテナは“廉価で量産型”のアンテナをつくる目的があったと先に述べましたが、事実、この型のアンテナが宇宙科学研究所白田宇宙空間観測所に最近建設されたそうです。目的は、来年秋に宇宙科学研究所が打ち上がる予定のVSOP衛星とのリンクの為だそうです。ようやく私達の10mアンテナにも双子の弟(妹?)が生まれた訳で、あちらのアンテナもうまく働いてくれよと願わずにいられません。

本稿でご報告した水沢10mアンテナの建設には、国立天文台の多くのスタッフや大学院生、そして関連企業の技術者が関わって、初めてここまでやってこれたのは、言うまでもありません。特に、鹿児島大学の森本雅樹氏、国立天文台の笹尾哲夫、河野宣之、原忠徳、川口則幸、宮沢敬輔、真鍋誠二、佐藤克久、鶴田誠逸、久慈清助、田村良明、柴田克典、岩館健三郎、浅利一善、堀合幸次、宮地竹史の各氏、大学院生の朝木義晴、寺家

孝明の各氏の貢献なくして、水沢10mアンテナは存在できなかった事を感謝の気持ちを込めて明記したいと思います。

参考文献

- 1) 国立天文台水沢編, 1995, 水沢観測センター技報, 5 (10mアンテナ特集号)
- 2) 建設省国土地理院編, 1995, 地震予知連絡会会報, 54, 125
- 3) Shibata K.M., et al., 1994, VLBI TECHNOLOGY: Progress and Future Observational Possibilities, ed. T. Sasao, S. Manabe, O. Kameya, & M. Inoue (TER-RAPUB), 185

The Mizusawa 10 m Antenna is Now in Full Operation

Osamu KAMEYA

Mizusawa Astrogeodynamics Observatory, National Astronomical Observatory 2-12 Hoshigaoka-cho, Mizusawa, Iwate 023

Abstract: The 10 m VLBI antenna has been constructed in Mizusawa Astrogeodynamics Observatory, which is a branch of the National Astronomical Observatory. The observational frequency covers from S band to 43 GHz band. The antenna is now used not only for geodesy or study of the earth rotation but also for VLBI mapping of masers and AGNs as an important station of the Japanese VLBI network, which is under common use observations. The antenna is also used for study of new basic technologies for the VERA project, which is the next ground based VLBI project in Japanese VLBI group.

註1) この装置の概要は次の通りです。最初の計画時には、水沢の近傍の北上高地と沖縄県石垣島にそれぞれ直径15m級以上のアンテナ4基ずつ計8基を設置してVLBI観測するものでした。この計画は、その後国内VLBIグループの総意のもとに検討がさらに進められ、天体イメージの質を良くする必要性が確認されました。その結果、現在この計画は局数をさらに小笠原諸島父島と鹿児島県の2局増やし、計4局にそれぞれ2基ずつのアンテナを置く計画に改訂されています。この計画では、各局のアンテナは同時に異なる数度離れた天体をVLBI観測します。これまでのVLBI観測の位置精度に限界を与えていた大気のゆらぎの影響を取り除き、十万分の一秒角

の精度で天体位置を求めるといえるものです。これにより私たちは、地球の公転を利用した三角視差法によって天体までの距離を直接測ります。ちょうど江戸時代に伊能忠敬が全国の三角測量を行うことによって日本人が初めて日本列島の真の形を知ることができたように、VERAによって私たち地球人は銀河系の立体的な真の姿を初めて知ることができるようになるのです。