

2.4 J-Net（国内 VLBI 網）の運用と成果

面高 俊宏^{*1} 亀谷 收^{*2,3} 三好 真^{*3} 宮地 竹史^{*3} 笹尾 哲夫^{*3}
 近藤 哲朗^{*4} 小山 泰弘^{*4} 中島 潤一^{*4} 関戸 衛^{*4} 川合 栄治^{*4}
 大崎 裕生^{*4} 大久保 寛^{*4} 今江 理人^{*5} 高橋 幸雄^{*6} 栗原 則幸^{*5}
 高羽 浩^{*7} 岩田 隆浩^{*8} 川口 則幸^{*3} 岩館 健三郎^{*2} 小林 秀行^{*3}
 柴田 克典^{*3} 亀野 誠二^{*3} 村田 泰宏^{*9} 今井 裕^{*2,3}

2.4 Operations and Results of J-NET (Japanese Domestic VLBI Network)

By

Toshihiro OMODAKA, Osamu KAMEYA, Makoto MIYOSHI, Takeshi MIYAJI, Tetsuo SASAO
 Tetsuro KONDO, Yasuhiro KOYAMA, Junichi NAKAJIMA, Mamoru SEKIDO, Eiji KAWAI
 Hiro OSAKI, Hiroshi OKUBO, Michito IMAE, Yukio TAKAHASHI, Noriyuki KURIHARA
 Hiroshi TAKABA, Takahiro IWATA, Noriyuki KAWAGUCHI, Kenzaburo IWADATE
 Hideyuki KOBAYASHI, Katsunori M. SHIBATA, Seiji KAMENO, Yasuhiro MURATA, Hiroshi IMAI

J-Net (Japanese VLBI Network) is the only Japanese one VLBI network that is available for general use by Japanese researchers. It consists of three antennas belonging to the National Astronomical Observatory, Japan (Nobeyama Radio Observatory, 45-m antenna, Mizusawa Astrodynamics Observatory, 10-m antenna, and Kagoshima, 6-m antenna), and one antenna belonging to the Communications Research Laboratory (Kashima Space Center, 34-m antenna) participating as the base of research collaboration in the joint venture with the National Astronomical Observatory. The J-Net started to use the 22-GHz band for general purpose observations in 1994. J-Net has been used mainly for imaging VLBI observations, with several milliarcseconds resolution, of water-vapor masers of star-forming regions and late type stars. The contribution of the J-Net to Japanese VLBI research activity has been large.

[キーワード] J-Net, 共同利用, イメージング VLBI, 水メーザー, KNIFE

J-Net, Common use, Imaging VLBI, Water vapor maser, KNIFE

*1 鹿児島大学 理学部物理科学科

*6 企画部 企画課

*2 国立天文台 水沢観測センター

*7 岐阜大学 工学部土木工学科

*3 国立天文台 VERA 推進室／VSOP 室

*8 宇宙開発事業団

*4 鹿島宇宙通信センター 宇宙電波応用研究室

*9 宇宙科学研究所 衛星応用工学研究系超遠距離通信部門

*5 標準計測部 周波数標準課

1. はじめに

J-Net（国内 VLBI 網）は、国立天文台の野辺山宇宙電波観測所 45m アンテナ、水沢観測センター 10m アンテナ、鹿児島 6m アンテナといった、国立天文台共同利用に供される 3 台の VLBI 装置に加えて、通信総合研究所鹿島 34m が国立天文台との共同研究ベースで参加する日本で唯一共同利用可能な VLBI 網である。1994 年に共同利用を開始して以来、これまで 22GHz 帯の共同利用観測に供されてきた。主に星生成領域や晚期型星の水メーザー源の分解能数ミリ秒角のイメージング観測が行われ、日本国内の VLBI 研究の大きなよりどころとして機能してきている。

2. J-Net の背景と性能

J-Net（国内 VLBI 網）は、国立天文台の 3 台のアンテナ（野辺山宇宙電波観測所 45m、水沢観測センター 10m、鹿児島 6m）により日本で唯一の VLBI 共同利用に供され、これに通信総合研究所鹿島 34m が共同研究ベースで参加する。1993 年に 22GHz 帯の初フリンジを出すことに成功し、1994 年に共同利用もスタートした。

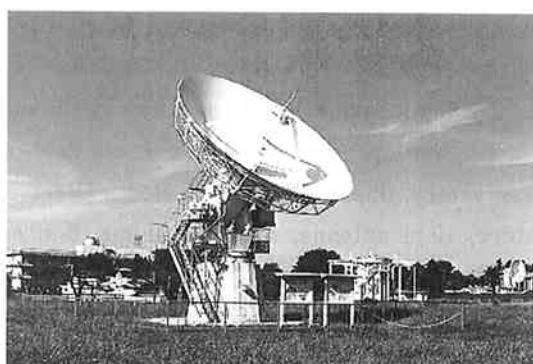
J-Net が運用される以前は、通総研鹿島宇宙通信センター 34m アンテナと国立天文台野辺山宇宙電波観測

所 45m 電波望遠鏡を用いた周波数 22GHz 帯と 43GHz 帯の 1 基線 VLBI である KNIFE (Kashima Nobeyama InterFErometer) 観測が 1980 年代後半からスタートしていた。晚期型星周囲の物理状態の解明や一酸化ケイ素メーザーの励起機構の解明⁽¹⁾、系外水メーザー源の高速度成分サイズの解明⁽²⁾などの画期的な成果をあげてきていた。また、活動銀河中心核からの連続波観測もなされた。22GHz 帯などの短波長測地 VLBI を将来行うために適当な電波源を探すため、22GHz 帯と 43GHz 帯の電波源サーベイが松本らによってなされた⁽³⁾。また、亀野らは、18 個の CSS (Compact Steep-Spectrum sources) の 22GHz 帯と 43GHz 帯を含む電波連続波のスペクトルを研究し、CSS がフラットなスペクトルを持つコアと傾きが急なスペクトルを持つ電波ロープの組み合わせで説明可能であることを示した⁽⁴⁾。

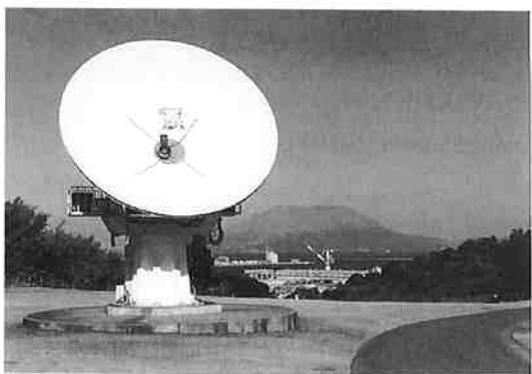
1990 年代に入り、これらのミリ波で観測可能なアンテナに加えて、国立天文台水沢観測センターに 10m 高精度 VLBI アンテナが建設された⁽⁵⁾。また、このため野辺山宇宙電波観測所に移設して測地 VLBI 観測に使用していた 6m アンテナを短波長 VLBI 用に改造の上、鹿児島市錦江湾公園内に移設し、鹿児島大が運用する事により共同利用に供せる可能性が出てきた⁽⁶⁾。さらに、宇宙科学研究所臼田宇宙空間観測所の 64m アンテナを使っ



(a) 野辺山 45m アンテナ



(b) 水沢 10m アンテナ



(c) 鹿児島 6m アンテナ



(d) 鹿島 34m アンテナ

第1表 J-Net 参加局の性能

観測局	野辺山 45m	水沢 10m	鹿児島 6m	鹿島 34m
口径	45m	10m	6m	34m
ビームサイズ	1.'2	5.'2	9.'5	1.'6
開口能率 (%)	63	36	40	57
周波数範囲 (GHz)	20.0—24.0	19.5—25.0	19.5—25.0	21.9—22.4 23.5—24.0
Tsys (K)	180	200	200	200
Trec (K)	<100	80	50	90
アンテナ駆動速度				
AZ, EL (度/s)	0.3, 0.3	3, 3	1, 0.3	0.75, 0.67
AZ駆動範囲 (度)	-90—450	-90—450	-90—450	-270—270
EL駆動範囲 (度)	11—80	3—88	10—88	7—88
使用バックエンド	VSOP	VSOP	VSOP	VSOP
周波数標準	H maser	H maser	H maser	H maser
偏波	R/L 切換	R/L 切換	R/L 切換	R/L 切換
アンテナ位置	長野県南牧村	岩手県水沢市	鹿児島県鹿児島市	茨城県鹿嶋市
X (m)	-3871023.49	-3857236.03	-3537007.89	-3997649.22
Y (m)	3428106.80	3108803.31	4140258.02	3276690.83
Z (m)	3724039.50	4003883.12	3309951.07	3724278.89

第2表 J-Net の基線ごとの感度とフリンジ間隔

(a) 22GHz 帯連続波源に対する場合

基 線	最小フリンジ間隔 (mas)	相関フラックス密度 (Jy)	最小輝度温度 (K)
野辺山—水 沢	6.6	0.27	5.8×10^6
野辺山—鹿児島	3.1	0.45	4.0×10^7
水 沢—鹿児島	2.2	2.75	5.3×10^8
鹿 島—野辺山	14.2	0.05	2.9×10^9
鹿 島—水 沢	7.8	0.48	7.2×10^6
鹿 島—鹿児島	2.6	0.63	8.5×10^7

(b) 22GHz 帯水メーザー源に対する場合 (速度分解能を 0.84km/s とした)

基 線	最小フリンジ間隔 (mas)	相関フラックス密度 (Jy)
野辺山—水 沢	6.6	4.4
野辺山—鹿児島	3.1	7.1
水 沢—鹿児島	2.2	44.4
鹿 島—野辺山	14.2	1.1
鹿 島—水 沢	7.8	7.8
鹿 島—鹿児島	2.6	10.4

た VLBI も始まった。

その状況を踏まえて、1993 年度の VLBI 懇談会シンポジウムの席上で、これまで国立天文台所有の 3 局と、国立天文台との共同研究ベースで参加する通信総合研究所鹿島 34m アンテナが一緒に VLBI 観測を行うことへの期待感が高まり、1994 年秋に国立天文台 3 局が共同利用を開始する方向性が決まった。それまでは、国内 VLBI のほとんど唯一の機会であった国内短波長 VLBI

である KNIFE が 2 局 1 基線しかなかった為にイメージング能力に問題があったが、J-Net は 4 局 6 基線のネットワークによりイメージング能力が著しく向上するシステムとなった。これら 4 局の写真を第 1 図に示す。

各局の性能については、第 1 表に示す。スタートした当初は、使用バックエンドはバンド幅 2MHz 16 チャンネルの K4 システムであったが、その後、VSOP バックエンドの開発が進み、現在ではバンド幅 16MHz 4 チャン

ンネルの 128Mbit/s の記録が可能 (256Mbit/s も可能) な VSOP ターミナルを使用している。これにより、連続波源の検出感度が従来より格段に良くなつた。

各観測局間の基線によるフリンジ間隔と検出感度を第 2 表にまとめる。野辺山－鹿児島基線（基線長 200km で最短）が最も検出感度が高く、且つフリンジ間隔が最も大きい。一方、最長基線長 1300km である水沢－鹿児島基線は最も検出感度が低く、且つフリンジ間隔が最も小さい。このため、J-Net は、数 mas 以下の大きさを持つ天体のイメージングに力を発揮する性能を持つ。

3. J-Net 運用組織

J-Net は、運用するに当たって観測局代表者会議が 1～2か月に 1 度の割合で開かれ、議長の面高鹿児島大教授のもと、各局の状態の確認と J-Net プロジェクト観測の決定、関連議事の審議を行つてゐる。また、J-Net の運用については、VLBI エキスパートグループ (VEG) が担当し、観測スケジュールの調整や、運用の調整、観測実行等を行つてゐる。また、共同利用に応募された観測提案について技術審査を行つてゐる。技術審査に合格した観測提案が通常の 45m アンテナの単一鏡共同利用観測提案と同様にレフリーに回され、サイエンティフィックな評価を受ける。それをうけて、プログラム委員会を経て電波専門委員会で共同利用に採択する観測提案が決定される。

J-Net の相関処理は、国立天文台三鷹キャンパスに設置された相関局⁽⁷⁾で行われる。この相関局は、VSOP 衛星を含む VLBI 観測に対応しているが、国際 VLBI 観測を含むその他の VSOP 記録装置を使って記録データの相関処理も行つてゐる。J-Net の観測スケジュールと磁気テープの必要本数が決定されると相関局から各観測局に必要数を送り、それで観測後、再び相関局に各観測局から送付することになる。観測スケジュールは、観測者が作成したものを最終的に VEG が確認・編集し、三鷹相関局の計算機システムのサーバーに置く。すると観測直前に各観測局観測担当者が各サイトから FTP で必要観測スケジュールをとつてくる。そして、各観測局ごとに独立に観測する。また、観測ログは、観測終了後各観測局観測担当者から三鷹の相関局計算機システムのサーバーに FTP 転送される。相関局では、相関時にサーバーに置かれた観測スケジュールと観測ログに書かれた相関処理に必要な情報を使って相関処理する。相関処理された相関データは、各観測者の観測項目ごとに FITS 形式で磁気テープ等に記録され、観測者に渡される。観測者は、AIPS 等の解析ソフトを使用しながら天体のイメージや位置を求める。

三鷹相関局が動き出す 1996 年以前は、国立天文台水沢観測センターに設置した簡易型相関器 (NAOCO:

New Advanced One-unit Correlator) によって 1 基線づつ相関処理処理した⁽⁸⁾。この相関処理されたデータは直接既存の AIPS 等を使って処理できず、各観測者作成の自前の処理ソフトによって解析された。

4. J-Net の成果と共同利用

J-Net は、オリオン KL 等の大質量星生成領域や晚期型星の水メーザー源のモニター観測などのプロジェクト観測と、共同利用観測がされている。プロジェクト観測の内、オリオン KL の水メーザー源の観測については、1～2か月の短いスパンでの VLBI 観測を行い、約 100km/s の速度幅を持つメーザースポットの動きを追つてゐる。その観測の最中に、 $V_{\text{lsr}} = 7.9 \text{ km/s}$ の速度成分が 1997 年 12 月からバーストを起こし、翌 1998 年 9 月には 350 万 Jy に達した。この速度コンポーネントの位置を J-Net を使って 1 秒角の精度で求めた⁽⁹⁾。なお、この研究に関連して、この速度コンポーネント直線偏波成分が最大 46 % にもなっている事が判明している⁽¹⁰⁾。共同利用観測について、主な結果は次の通りである。まず、KNIFE と初期の J-Net の成果としては、原始星 IRAS1693-2422 に付随する水メーザーの速度分布から、中心の原始星の周りに回転しながら中心に向かって落ち込む分子ガス円盤を見つけた⁽¹¹⁾。

次に、晚期型星 RT-Vir の周囲の水メーザースポットの中に視線速度が直線的に変化するものが存在する事を見つけてゐる⁽¹²⁾。これは、単一鏡での観測ではたまたま同じ速度を持つ別のメーザースポットが分離できないため、これまでよく分かっていなかった。VLBI によって個々のメーザースポットを分解して初めて速度変化を追うことが出来るようになった。また、晚期型星の周囲のメーザースポットの VLBI 観測として、1300km 基線でメーザースポットが分解されないコンパクト成分を見つけてゐる⁽¹³⁾。これらの共同利用結果についての詳細は、この号の今井裕氏の論文を参照していただきたい。最近の特筆すべき J-Net を使った研究として、国立天文台が建設中の VERA (VLBI Exploration of Radio Astrometry) に関する研究が挙げられる。VERA では、相対 VLBI の手法を使うことにより、QSO 等の活動銀河中心核の位置を基準にして銀河系内のメーザー源の位置を 10 マイクロ秒角台で測定し、三角視差と固有運動を求めて銀河系の中でのメーザー源の分布を調べていく⁽¹⁴⁾。その時、メーザー源の近傍に QSO 等の VLBI 連続波源を見つけることができなければ、観測できる銀河系内メーザー源数が制限される。そこで、J-Net による VLBI 連続波源探査を行つた⁽¹⁵⁾。267 個の候補天体を観測し、93 個でフリンジを $S/N > 5$ で検出した。この内、51 個が新しくフリンジが確認されていた天体である。この種の観測は、更に継続して観測される事が必

要であり、実際、更に観測が行われている。最後に、余り表から見えにくいJ-Netの貢献についても、一言述べたい。VSOP(VLBI Space Observatory Programme)へ向けた地上観測設備開発および開発されたVLBI装置を使った試験観測等実験を通してVSOP実現に貢献している。将来の短波長宇宙空間VLBIを念頭においたVSOP2計画にとっても地上のVLBI観測ネットワークとして、J-Netの重要性は益々増していくのではないか。

5. ま と め

J-Netは、国内共同利用VLBI網として、星生成領域や晚期型星、活動銀河中心核からの水メーザー源の構造、活動銀河中心核の物理などのVLBI天文学の発展に貢献しつつあるとともに、国内のVLBI研究者の育成にも貢献してきている。今後も、国内に基礎を置くVLBIの一つの重要なネットワークとして機能する事が期待されている。国立天文台が建設中のVERA(VLBI Exploration of Radio Astrometry)の共同利用化によって、J-Netはまた新しい段階になることであろう。

謝 辞

この文をまとめるに当たり、通信総合研究所関東支所鹿島宇宙通信センターの皆様には、大変お世話になりました。ここに感謝いたします。

参 考 文 献

- (1) Miyoshi, M., Morimoto, M., Kawaguchi, N., Ukita, N., Inoue, M., Miyazawa, K., Tsuboi, M., Miyaji, T., Mikoshiba, H., Takaba, H., Iwata, T., Koyama, Y., Hama, S., Takahashi, Y., and Kobayashi, H., VLBI observations of the two SiO maser lines from Mu Cephei, 1992, Publ. Astron. Soc. Japan, 44, L259.
- (2) Nakai, N., Inoue, M., and Miyoshi, M., 1993, Nature, 361, 45.
- (3) Matsumoto, K., Kawaguchi, N., Inoue, M., Miyoshi, M., Kameno, S., Takaba, H., Iwata, T., and Kurihara, N., A Radio Source Survey at 22 and 43GHz for Geodetic VLBI, 1994, J. of the Geodetic Soc. of Japan, vol.40, No.3, 255.
- (4) Kameno, S., Inoue, M., Matsumoto, K., Miyaji, T., Mikoshiba, H., Takaba, H., Iwata, T., Takahashi, Y., Koyama, Y., Rendong, N., and Schilizzi, R.T., 1995, Millimeter-Wave Spectra of Compact Steep-Spectrum Radio Sources, Publ. Astron. Soc. Japan, 47, 711.
- (5) Kameya, O., Sasao, T., Iwadate, K., Hara, T., Sato, K.H., Kuji, S., Tsuruta, S., Asaki, Y., Jike, T., VLBI Observations using the Mizusawa 10m antenna, 1996, Proc. of Third East-Asian Meeting on Astronomy held at National Olympics Memorial Youth Center, Tokyo, "Ground-Based Astronomy in Asia", N. Kaifu,ed., p.500.
- (6) Omodaka, T., Morimoto, M., Kawaguchi, N., Miyaji, T., Yasuda, S., Suzuyama, T., Kitagawa, T., Miyazaki, T., Furuya, L., Jike, T., Miyazawa, K., Mikoshiba, H., Kuji, S., Kameya, O., and Kagoshima VLBI Group, The 6m VLBI Telescope at Kagoshima, Japan, 1994, proceedings of VLBI TECHNOLOGY: Progress and Future Observational Possibilities, eds, T. Sasao, S. Manabe, O. Kameya, and M. Inoue, p.191.
- (7) Chikada, Y., Kawaguchi, N., Inoue, M., Morimoto, M., Kobayashi, H., Hattori, S., Nishimura, T., Hirabayashi, H., et al. 1991, in Frontiers of VLBI, eds H. Hirabayashi, M., Inoue, K., Kobayashi (Universal Academy Press, Tokyo), p.79.
- (8) Shibata, K., Sasao, T., Kawaguchi, N., Tamura, Y., Kameno, S., Miyoshi, M., Asari, K., Manabe, S., Hara, T., Kuji, S., Sato, K., Miyaji, T., Matsumoto, K., Asaki, Y., Yasuda, S., and Nakamura, S., A New Advanced One-Unit VLBI Correlator (NAOCO), 1994, proceedings of VLBI TECHNOLOGY: Progress and Future Observational Possibilities, eds, T. Sasao, S. Manabe, O. Kameya, and M. Inoue, p.327.
- (9) Omodaka, T., Maeda, T., Miyoshi, M., Okudaira, A., Nishio, M., Miyaji, T., Motiduki, N., Morimoto, M., Kobayashi, H., and Sasao, T., The Enormous Outburst of the 7.9km/s Water-Maser Feature in Orion KL, 1999, Publ. Astron. Soc. Japan, Vol.51, 333.
- (10) Horiuchi, S., and Kameya O., Highly Polarized Burst of a water Maser in Orion-KL, 2000, Publ. Astron. Soc. Japan, 52, 545.
- (11) Imai, H., Iwata T., Miyoshi M., Rotation-Infall Motion around the Protostar IRAS1693-2422 traced by Water Maser Emission, 1999, Publ. Astron. Soc. Japan, 51, No.4, 473.
- (12) Imai, H., Shibata, K.M., Sasao, T., Miyoshi, M., Kameya, O., Omodaka, T., Morimoto, M., Iwata, T., Tsuzuyama, T., Mochizuki, N., Miyaji, T., and Takeuti, M., Measurement of shifts in line-of-sight velocities of stellar water masers

- using VLBI, 1997, A. and Ap., 317, L1.
- (13) Imai, H., Sasao, T., Kameya, O., Miyoshi, M., Shibata, K. M., Asaki, Y., Omodaka, T., Morimoto, M., Mochizuki, N., Suzuyama, T., Iguchi, S., Kameno, S., Jike, T., Iwadate, K., Sakai, S., Miyaji, T., Kawaguchi, N., and Miyazawa, K., Detection of compact water maser spots around late-type stars, 1997, A. and Ap., 317, L67.
- (14) Sasao, T., Kawano, N., Hara, T., Kuji, S., Shibata, K., Iwadate, K., Sato, K., Kameya, O., Tsuruta, S., Asari, Y., Tamura, Y., Horai, K., Sato, K., Hanada, H., Tsubokawa, T., Yokoyama, K., Manabe, S., and Sakai, S., An Antennacluster-Antennacluster VLBI Project VERA, 1994, proceedings of VLBI TECHNOLOGY: Progress and Future Observational Possibilities, eds, T. Sasao, S. Manabe, O. Kameya, and M. Inoue, p254.
- (15) Honma M., Oyama T., Hachisuka K., et al., J-Net Galactic-Plane Survey of VLBI Radio Sources for VLBI Exploration of Radio Astrometry (VERA), 2000, Publ. Astron. Soc. Japan, 52, 631.