

JVN Reports

大学VLBI 連携研究成果報告書

2009年8月1日 第2巻 第1号

目次

高萩／日立32メートル電波望遠鏡の立ち上げ状況（1） 米倉覚則（茨城大学・宇宙科学教育研究センター）	・・・	1
JVN・光結合 VLBI を用いた突発性電波源の追観測 新沼浩太郎（国立天文台）	・・・	5
UCHII 領域 S269 の 6.7GHz メタノールメーザーアウトフロー 澤田・佐藤聡子、藤沢健太、輪島清昭、杉山孝一郎（山口大学）、本間希樹 （国立天文台）	・・・	11
編集担当者より	・・・	15

発行者 : 大学VLBI連携観測事業
編集 : 山口大学

高萩／日立 32メートル電波望遠鏡の立ち上げ状況（1）

米倉覚則

（茨城大学・宇宙科学教育研究センター）

これから数回に渡って、高萩／日立 32メートル電波望遠鏡の立ち上げ状況について紹介していく予定である。

1. 無謀なチャレンジ

『「東アジア VLBI 研究会（2009年3月18-20日）」や
「天文学会（2009年3月24-27日）」でファーストライトの報告ができたらいいな』

そういう話が出たのは、3月に入ってから。

「とりあえず、やるだけやってみましょう」

そうは言ったものの、望遠鏡には天体トラッキングソフトが整備されておらず、手動で AZ, EL 方向に動かせるだけ。受信機系については、常温アンプ 2 台、可変アッテネータ、自作検波器、チャートレコーダーという構成。

それでも、とりあえず試してみようという事で、大学院生 2 名とともに、初チャレンジしたのは、3月10日。受信周波数は、6.7 GHz 帯。

望遠鏡給電部（偏波分離器）の出力に、「アンプ+アンプ+可変アッテネータ」という構成で接続し、可変アッテネータの減衰量を変化させた。しかしながら、出力レベルが変化しない。「サチっているのかな？」と思いつつ、可変アッテネータの位置を、「アンプ+可変アッテネータ+アンプ」あるいは「可変アッテネータ+アンプ+アンプ」のように変えてみたものの、やはり変化はみられない。試しに、光学系の途中に常温黒体の代わりに人間が立ちふさがってみた（常温黒体も未整備のため）が、空を見た時の出力と差が見られない。

そのため、当日の測定をあきらめ、アンテナから給電部を取り外して、水戸キャンパスに持ち帰って試験をする事にした。

- バンドパスフィルターが必要なのではないか？
- アンプのゲインが足りないのではないか？
- 検波器の帯域が 6.7 GHz まで伸びていないのではないか？
- そもそも給電部から電波が出力されていないのでは（途中で蓋がされているなど）？

このように考えて、急遽大阪府立大学に、常温アンプ 2 台、バンドパスフィルター、パワーメータを送付していただくよう依頼した。

大阪府立大学から上記の物品が届いたのは次の日（11日）の午後。望遠鏡でのファーストライト試験をできるのは、翌日（12日）がラストチャンス。というわけで、大忙しで試験を開始した。

給電部+常温アンプ（3段）+フィルター+可変アッテネータ+パワーメータ

の構成で、ホーンを「室内に向けた時」と「外を見た時（もちろん、窓などは開放して）」とで出力パワーを比較したが、両者のパワーに差が見られなかった。アンプの電源オン/オフでパワーが変化する、可変アッテネータの減衰量を変えるとパワーが変化する、などの状況から、アンプは動作しているように思えた。フィルターや可変アッテネータの位置を変えても同様に R と SKY とで出力に差が見られなかった。フィルター+常温アンプ（3段）の構成の時のみ、出力がホワイトノイズ的なスペクトルを示す事、つまり、フィルターが効いていない事が分かった。いま冷静になって考えると、アンプを3段直列に接続した場合には、サチュレーションが起こっていたのかもしれない。

夜遅くまで実験を行ったが、改善の兆しが見られなかったため、翌日の試験を中止する事に決定。準備不足と言えばそれまでだが、無惨に散ったのであった。

2. ついにファーストライト

その後、研究会や学会、あるいは年度始めによる多忙さのため、再チャレンジする事ができたのは、4月22日。大阪府立大学より、小川さん、阿部さん、木村さん、西村さんをお招きし、4月22日に水戸キャンパスの実験室にて実験、翌23日に現地（日立アンテナ）にて搭載試験を行うスケジュールを組んだ。大阪より、（給電部が悪い可能性も考えて）VERA用の6.7 GHz受信機と、1メートル四方程度の大きさの常温黒体を、持参していただいた（重いのお疲れさまでした）。

4月22日。まずは水戸キャンパスで実験。この時までには、SGおよびスペアナが整備されていたため、まずは常温アンプの単体試験を、阿部さんを中心に行った。その結果、4台のうち1台のアンプが不調（ゲイン不足）である事が判明した。放熱板を正しく取り付けられない状態で使用したため、熱によって故障したのであらうと思われる。

原因がほぼ特定できたため、正常に動作するアンプのみを用いた構成

給電部+常温アンプ+フィルター+可変アッテネータ+常温アンプ（2段）
+フィルター+パワーメータ

に変更し、ホーンの向きを「室内」「屋外」などと変えたところ、パワーメータの出力値に変化が見られた！ 無事、空からの信号を受信する事に成功した。液体窒素を準備できなかったため、R-SKY法にて雑音温度を評価した所、300 — 350 K程度の値が得られた。ただし、ホーンの根元部分のみを用いているためビームが非常に太く（45度で10 dB落ち）、その結果としてSKYを向けた場合においても民家などの影響で完全なSKYが得られていないため、実際よりも悪い値になっていると思われる。

その夜は、翌日のファーストライト成功を祈願するとともに、原因が究明できた事に対して祝杯をあげたのは、言うまでもない。



図 1. 実験風景



図 2. ホーンのセッティング中の小川さん

日付変わって4月23日に、日立アンテナに受信機を搭載した。搭載直後、可変アッテナの減衰量にパワーメータの出力値が追従しないという現象が起きた。スペアナを用いて出力スペクトルのチェックを行ったが、特に異常は見られない。思い切って、表示帯域幅を最大 (DC — 26.5 GHz) に広げたところ、20 GHz 付近に非常に強いスプリアスが発生している事が分かった。阿部さんによると、給電部と初段アンプとの間で発振が起きている可能性が高いとの事であったため、両者の間にチップアッテナを挿入した所、無事解決した。

その後、R-SKY 法により、(受信機+ホーン+第6鏡の) 雑音温度の測定を行った所、約 400 K という結果が得られた。なお、常温黒体がビーム伝送系を完全には覆っていない事などにより、実際よりも悪い値が得られたと思われる。

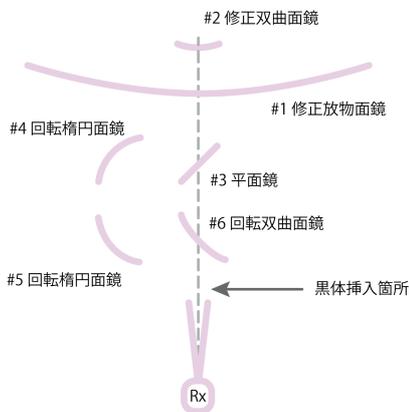


図 2. アンテナ光学系概略図と常温黒体挿入場所



図 3. 常温黒体の挿入風景

午後3時過ぎ、いよいよ太陽電波の受信に挑戦する事になった。といっても、天体をトラッキングするアンテナ制御ソフトはまだ導入されていないため、天体導入を手動で行う必要がある。アンテナ駆動は、建物内部で行わなければならない、その場所からはアンテナを直接見る事ができない。そこで、アンテナが良く見える位置に人員を配置し、トランシーバーでやりとりしながら、Az 角度を太陽と可能な限り同じに合わせた。実際には、ア

JVN・光結合 VLBI を用いた突発性電波源の追観測

執筆者：新沼浩太郎（国立天文台）

関係者：大師堂経明、貴田寿美子、田中泰、青木貴弘（早稲田大学） 小山友明、川口則幸、
本間希樹（国立天文台）、原哲也（AES）、中川 亜紀治（鹿児島大）

2009年7月31日

概要

衛星技術の発達で天文台を大気圏外に打ち上げることができるようになり、宇宙空間を天体観測のためのフィールドにすることが可能となった。その結果 X 線・ガンマ線といった高エネルギー領域における全天のモニターが繰り返し行われるようになり、ガンマ線バーストという突発的な天体現象が多く発見された。その莫大なエネルギー放出のためのメカニズム解明が進められているガンマ線バーストは、その分布の一様等方性や可視光領域での残光観測から宇宙論的な距離でも発生している現象であるということが分かり、初期宇宙を探るためのツールにもなりつつある。

電波領域でも突発的に輝くトランジェント電波源や変動電波源の銀河面サーベイや銀河中心方向のモニターが何度か行われ、数 Jy レベルのトランジェント電波源が見つかっている。そのような状況の中、早稲田大学は銀河面だけでなく銀河面から離れた領域も含めた広い領域をサーベイ観測し、複数の未同定トランジェント電波源を発見した。このトランジェント天体について得られている情報は、1). 推定される継続時間が数分から数十時間以内であること、2). 数 Jy を超える Flux を示すこと、そして 3). 現時点での観測領域内における分布が等方的に見えることだけである。

このトランジェント電波源がコンパクトな天体であるのかどうか、対応天体の有無などその起源を探るべく、VLBI（特に光結合 VLBI）を用いた Follow-up 観測を考えている。

1. イントロダクション

1.1 早稲田大学那須パルサー観測所

栃木県那須塩原市に 1998 年冬に自由学園那須農場の一角を借りて建設が開始されて以降、試験観測を経、2004 年よりトランジェント電波源・未同定の変動電波源の検出を目的として 1.4 GHz 帯での定常的なサーベイ観測を継続している (Daishido et al. 2000, Takeuchi et al. 2005)。那須パルサー観測所は直径 20m 固定球面鏡 8 基（東西配列）、直径 30m 鏡 1 基を備えている（図 1、2）。現在 20m 鏡は基線 84m の 2 素子電波干渉計×4 組として稼働しており、観測赤緯は+32 度から+42 度の間で、日周運動を利用した観測方法（ドリフトスキャン観測）の採用により、観測赤緯内のすべての赤経を観測可能である（全天の約 7%の領域が観測可能）。その結果、およそ

1ヶ月の連続サーベイ（アンテナの向きを固定したままの観測）を6サイクル行うことにより観測範囲内すべてのサーベイが終了する。



図 1. 上空 300m から見た那須パルサー観測所。東西に 8 台並んでいるのが 20m 固定球面鏡。第二列目として 30m 鏡（右上の大きいアンテナ）も 1 台完成している。(Google Earth より)



図 2. 30m 鏡の上から眺めた観測所の景色。田植えの時期で水田に水が張られ、年間を通して一番気持ちの良い季節。

1.2 トランジェント電波源

従来のトランジェント電波源サーベイプロジェクトは低銀緯や銀河中心方向を対象にしたものが主であった。一方、「いつ・どこで」発生するか分からないトランジェント電波源を高銀緯においても複数検出することに成功したのは、那須パルサー観測所の系統的な広域サーベイを通してである。

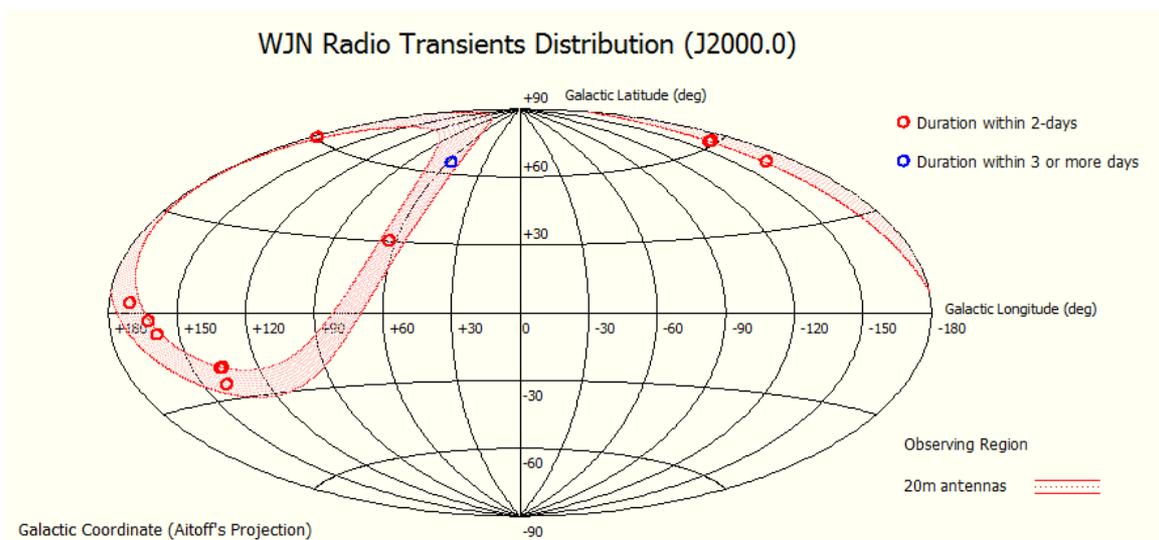


図 3. 銀河座標系で見た那須パルサー観測所観測領域内（赤帯）におけるトランジェント電波源の分布

那須パルサー観測所 20m 鏡 1 台のビーム半値幅はおよそ 0.8 度であり、4 組の干渉計をすべて

異なる方向に向けることで一度に赤緯方向3.2度×赤経方向0.8度という視野をカバーすることができる。このように広い視野を一度に確保できること、また独自の観測装置であるため 100%サーベイ観測に従事できることを利用し、早稲田大学は繰り返しの広視野サーベイを行ってきた。このサーベイによって、10 個以上のトランジェント電波源が発見された (図 3)。早稲田大学はこのトランジェント天体に” WJN” という名前を付けて呼んでいる(WJNとはWaseda Jiyu-gakuen Nasuの頭文字を集めたものである)。

最初のトランジェント電波源は2004年5月20日15:59 [UT]に検出され(WJN J1737+3808, 図4:Kuniyoshi et al. 2007)、銀河座標系で見たその銀緯は30度と銀河面から離れていることが分かった。銀河面から離れているということは、太陽系のごく近く、もしくは非常に遠方のどちらかに位置する天体起源である可能性が高い。また、アンテナビームの分解能が0.8度のため、天体のビーム通過時間は4分弱である。トランジェント電波源のフリッジがしっかり得られたという結果から、ビーム通過中の約4分間は点源として天球面上に存在し続けたと考えられる。

このトランジェント電波源の検出を初めとして、現在に至るまで複数のトランジェント電波源を検出している。検出されたトランジェント電波源はほとんどが一日のみの検出であり、ここから推測される継続時間は4分以上48時間以内であったが(Kida et al. 2008, Matsumura et al. 2007)、1例のみ二日にわたり輝くトランジェント電波源(WJN J1443+3439)が見つかった(図5: Niinuma et al. 2007)。二日間継続しているものを検出したことから、これらの現象が同様な天体起源であると仮定すると、数時間から数十時間は継続するバーストである可能性が出てきた。

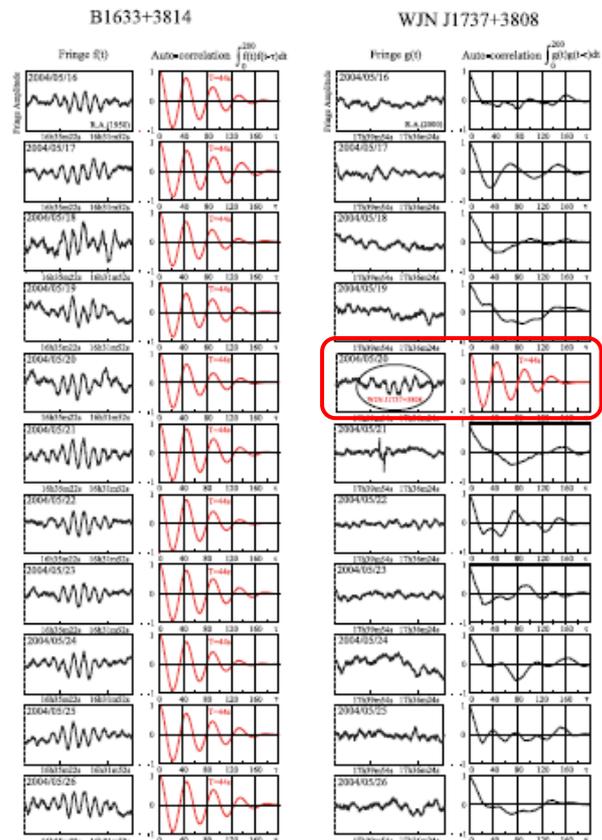


図 4. 基準天体 B1633+3814 (左 2 列) とトランジェント電波源 WJN J1737+3808 (右 2 列) のフリッジ (それぞれ左の列) 及びフリッジの自己相関関数 (それぞれ右の列)。自己相関からフリッジの周期やエンベロープの情報を得ることができるが、WJN J1737+3808 の自己相関の結果が基準天体のものと一致している (赤い四角) ことがわかる。

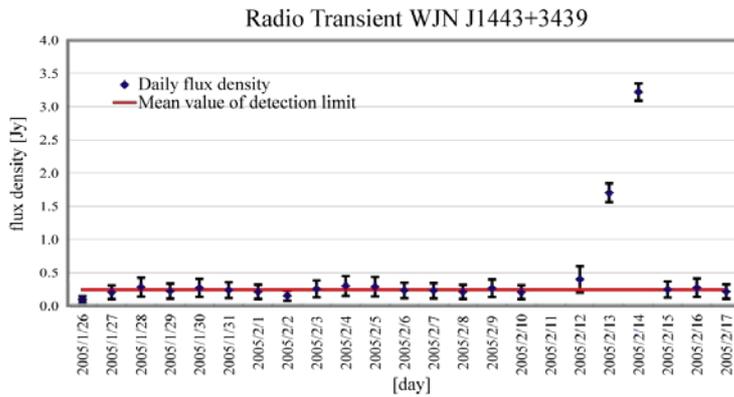


図5. 唯一、2日間に渡って検出できたトランジェント電波源 WJN J1443+3439 の光度曲線。縦軸は Flux density [Jy]、横軸は Time [day]

2. 観測提案

2.1 VLBI を用いた Follow-Up 観測

日本国内には各大学間を結ぶ Japanese VLBI Network (JVN: 大学連携 VLBI、VERA) が整備されている。この VLBI 網を利用してトランジェント電波源の観測を行うことで、この未同定の現象に関するより多くの情報を得たいと考えている。通常、VLBI はその高い角度分解能を利用することで天体の構造などを詳細に描き出すことを目的としているため、「いつ、どこで」発生するか分からないような突発現象を探す”Blind Survey”には不向きである。従って、このレポートではトランジェント電波源の Blind Survey ではなく、Follow-Up 観測という形で VLBI を用いることを提案する。つまり、広域サーベイ (= 早稲田大学那須パルサー観測所) + 高分解能観測 (= JVN) という構図の観測体制を整えたいと考えている。

2.2 観測方法

那須パルサー観測所で検出されてきたトランジェント電波源の位置誤差はおおよそ $5' \times 50'$ (赤経×赤緯) の長方形である。アラートシステムは「観測→解析→トランジェント電波源候補の検出→早稲田大学へのメール配信」までが自動化しており、早稲田側がトランジェント電波源候補の検出を知るまでに要する時間は最大でも 1 時間 10 分程度である。その後、人間による目視での確認を挟んで、外部へのアラート配信を考えているため、これらがスムーズに流れた場合、検出後遅くとも 2 時間以内に VLBI 側で上述の位置誤差を含んだ座標を受け取ることができる。

早稲田側で配信できるトランジェント電波源の座標における位置誤差は VLBI にとっては大きい。Follow-Up には長方形の位置誤差内を全て掃天する”モザイク観測”を考えている。従って、効率良く Follow-Up 観測を実行するには視野を広くとれる Xバンドを用いることが望ましい。30m級のアンテナを用いた観測であれば (つくば-鹿島、鹿島-山口、山口-つくば基線のどれかを仮定、視野が約 $4'$ であるため^a、約 30 点の観測で位置誤差内の 90%以上をカバーすることが可能である。これを実行すると各点 1-2 分の観測 (検出感度 (測定値): $< 10-15 \text{ mJy}$ (5σ) (藤

^a帯域や積分時間による Smearing の影響は考慮していない

沢康司 (2007 年度修士論文)) + 較正天体の観測で 1 セットおよそ 1.5 時間の観測になる。確保できる観測時間が 3~6 時間程度あれば、2 セット目、3 セット目の観測や、念のため位置誤差の外側を同様の観測方法で観測することもできる。もし位置誤差内を 2 回以上掃天することができれば、2 セット目以降の観測で、誤差内に複数ある定常天体のフリッジとトランジェント電波源のフリッジを容易に見分けることもできるようになる。

そして、この観測には高感度という理由だけでなくリアルタイム (あるいは準リアルタイム) でフリッジチェックを行える光結合 VLBI 観測を利用したい。即座にフリッジの有無を確認できるということは、もしモザイク観測中のある 1 点にトランジェント電波源のフリッジを確認できれば、残りの観測時間をそのフリッジのモニターに使用することが可能だからである。

3. 期待される結果

那須パルサー観測所のサーベイにおいてトランジェント電波源を検出し、VLBI を用いた Follow-Up 観測を行った場合、以下に示すような情報の取得が期待できる。

フリッジを検出できた場合

- ・ 10 mas を切る精度 (山口-鹿島基線を仮定) で対応天体の特定が可能
- ・ 観測した基線においてコンパクトな天体であることが分かる
- ・ 検出時からの追尾により詳細なバースト継続時間の特定が可能
- ・ 1.4 - 8 GHz での SED を取得可能

フリッジを検出できなかった場合

- ・ 選択した分解能で分解されてしまっている可能性
- ・ 継続時間、及びスペクトルに制限を付けることが可能

また、那須パルサー観測所における検出感度はおよそ 1Jy (3σ) であり、ほとんどのトランジェント電波源が検出日の翌日には、雑音 (300~400mJy) に埋もれてしまっていた。しかし、数 mJy の感度での観測が可能な光結合 VLBI を用いることで、今まではとても検出できなかった数 100~数 10mJy での強度変動を検出できる可能性もある。

4. 最後に

現在、Square Kilometer Array (SKA) Pathfinder (low band) として低周波で広域・高分解能サーベイを行おうという流れがある。Low Frequency Array (LOFAR) や Long Wavelength Array (LWA) といったプロジェクトがそうであるが、これらのプロジェクトは観測周波数を数 10~数 100 MHz に設定している。周波数が低くなれば、視野は当然大きくなる。これらのプロジェクトでは低周波用のアンテナを非常に広い範囲 (ヨーロッパの数カ国、あるいはアメリカ国内で数百

km の基線) にちりばめ干渉計を構成することで広視野・高分解能の観測装置を実現している。数 10 平方度の視野と数秒角の分解能を持つこれらのプロジェクトが本格的に走り出せば早稲田大学で観測されたようなトランジェント電波源は数多く見つかるだろう。

日本国内においては、早稲田大学が LOFAR や LWA に先駆け広域サーベイ観測を数年前から行っており、また高分解能観測を実現できる VLBI 網も整備されている。他にも京大の MU レーダーや名古屋大の太陽電波観測など、低周波で広い視野をモニターできる観測装置が存在する。これらの観測装置を効率的に組み合わせることで、欧米に負けない観測体制を実現できる。

参考文献

1. Kida, S., Niinuma, K., Suzuki, S., et al., 2008, *New Astronomy*, Volume 13, Issue 7, pp. 519-525
2. Matsumura, N., Daishido, T., Kuniyoshi, M., Asuma, K., Takefuji, K., Niinuma, K., et al., 2007, *The Astronomical Journal*, Volume 133, No. 4, pp. 1441-1446
3. Niinuma, K., Kuniyoshi, M., Matsumura, N., et al., 2007, *The Astrophysical Journal*, Volume 657, No. 1, pp. L37-L40
4. Kuniyoshi, M., Matsumura, N., Takefuji, K., Niinuma, K., et al., 2007, *The Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, Volume 119, Issue 851, pp. 122-126
5. 藤沢康司 2007 年度修士論文
6. Takeuchi, H., Kuniyoshi, M., Daishido, T., Asuma, K., Matsumura, N., Takefuji, K., Niinuma, K., et al., 2005, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, Vol. 57, No. 5, pp. 815-820
7. Daishido, T., Tanaka, N., Takeuchi, H., et al., 2000 *Proc. SPIE*, 4015, 73

UCHII 領域 S269 の 6.7GHz メタノールメーザーアウトフロー

澤田-佐藤 聡子, 藤沢健太, 輪島清昭, 杉山孝一郎 (山口大学), 本間希樹 (国立天文台)

概要

2006 年に行なわれた JVN 4 局による Ultra Compact HII 領域 S269 の 6.7 GHz メタノールメーザー観測結果を報告する。メタノールメーザーは東西に 200 AU 離れたふたつの明るいメーザーグループとその周囲にいくつかのグループが約 1000 AU の範囲内に分布している。ふたつの明るいメーザーグループは 8 年前の EVN 観測によるマップとよく似ており、8 年間にふたつのメーザーグループの離角が約 2 mas 広がっていた。さらに検出した全てのメーザースポット分布は東西方向に速度構造が見られた。6.7 GHz メタノールメーザーの分布、速度勾配、メーザーグループ AB 間の内部固有運動の方向は全て $H_2(v=1-0 S(1))$ アウトフローに平行であり、内部固有運動の速度の値も含めてアウトフロー付随の可能性を示唆する。

1 はじめに

6.7 GHz メタノールメーザー放射は、これまで大質量星形成領域でのみ検出されている唯一のメーザー放射である。その放射強度が強いことから、VLBI による大質量星形成領域の観測やアストロメトリ観測の良い指標として期待されている。

初期の VLBI 観測のイメージでは、大質量星形成領域の 6.7 GHz メタノールメーザーが一直線上に並んだ分布がしばしば検出された。またこの直線上の分布に沿って速度勾配もよく見られた。そのため以前は、6.7 GHz メタノールメーザーは原始星周囲の円盤に付随し、これを常にエッジオン方向から見ているものと解釈されて来た [12], [11]。しかしその後の観測により、円盤をフェイスオンから見たと解釈されるリング構造 [1] が発見されたり、原始星周囲ガスとのショック領域面をトレースしているという解釈 [15], [3]、やアウトフロー [2] およびインフロー [6] による説明など、必ずしも円盤に寄らない様々な解釈がされるようになった。

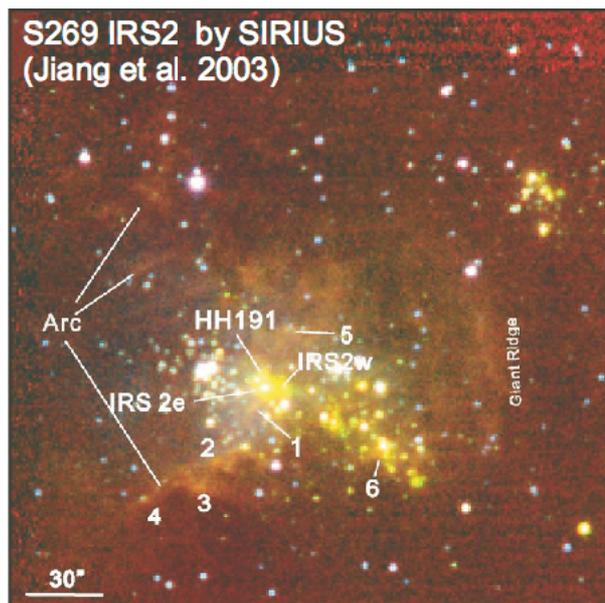


図 1: Jiang et al. (2003) より抜粋した SIRIUS による S269 IRS 2 領域の三色近赤外イメージ。J バンド (青)、 K_s バンド (緑)、 H_2 (赤)。1 から 6 までの数字は H_2 ノットを表す。すなわち赤いノットは H_2 の放射のみのも、黄色いノットは H_2 の放射に連続波放射が混じったもの。HH191 はハービックハロー天体 [4]。

6.7 GHz メタノールメーザー源のひとつ S269 は銀河系外縁部にある Ultra Compact HII (UCHII) 領域である [13]。初期の赤外線観測より互いに 30 秒角離れた二つの明るい赤外線源 IRS 1 と IRS 2 (IRAS 06117+1350) が知られており [16], [4]、OH メーザー、水メーザーは IRS 2 に付随している [17], [10]。最近の近赤外線画像では、ショック領域をトレースする $H_2(v=1-0 S(1))$ のノットが東西方向 ($PA \sim 110^\circ$) に広がっていることが確認された (図 1)。この $H_2(v=1-0 S(1))$ のノットは IRS 2 による双極アウトフローだと考えられている [9]。

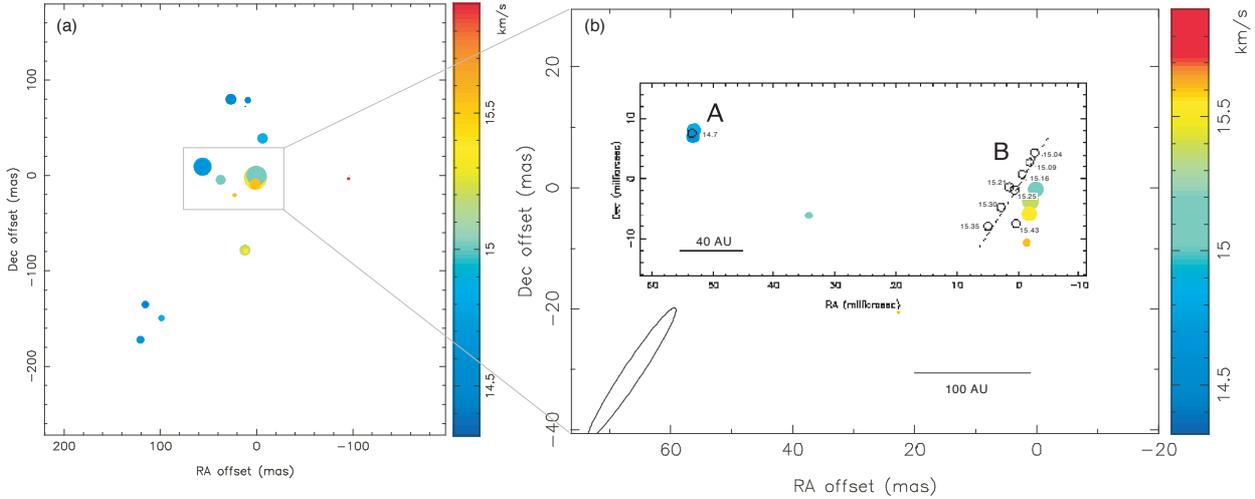


図 2: (a) JVN による 2006 年の S269 の 6.7 GHz メタノールメーザーの分布。Minier et al. (2000) が検出したメーザーグループ A および B の他、いくつかのメーザーを検出。カラーは各メーザースポットの視線速度を示す。(b) クラスタ A の位置を基準に我々の JVN のマップ (カラー) と Minier et al. (2000) のマップ (モノクロ) とを重ね合わせた。左下の細長い楕円はこの JVN 観測時のビームサイズ。

6.7 GHz メタノールメーザーは IRS 2 に付随しており、過去の EVN による VLBI 観測では、東西方向に 50 mas (260 AU) 離れた二つのメーザーグループ A および B が検出されている [11]。

2 観測

2006 年 9 月に JVN を用いて S269 の 6.7 GHz メタノールメーザーの VLBI 観測が行なわれた。参加局は白田局、山口局、VERA 水沢局、VERA 入来局、VERA 石垣局であり、そのうち白田局、山口局、水沢局、石垣局のデータが有効に利用出来た。

表 1: 観測諸元

IF 帯域幅	2 MHz
速度チャンネル数	512
速度分解能	0.176 km s ⁻¹
総オンソース時間	120 分
1ch のイメージ rms レベル	180 mJy beam ⁻¹
合成ビームサイズ	20 × 3 mas ²
合成ビームの PA	146°

3 観測結果

今回の JVN 観測により、14.3–15.9 km s⁻¹ の速度範囲のメタノールメーザー放射のスペクトルが得られた。そして Minier et al. (2000) らが検出したメーザークラスタの他、さらに多くのメーザースポットを検出した。図 2(a) は S269 の 6.7 GHz メタノールメーザースポットの分布で、10σ 以上で検出出来たもの、あるいは隣り合った複数のチャンネルマップで 5σ 以上で検出出来たものを表示している。6.7 GHz メタノールメーザーの分布は約 200 mas の範囲に広がるいくつかのクラスタで構成されている。そして東西方向に沿った速度勾配が見られた (図 3)。

図 2(b) はメーザーグループ A 及び B の範囲を拡大したものである。得られた A 及び B のメーザースポットの分布と速度は Minier et al. (2000) の 1998 年観測時のマップとよく似ている。メーザーグループ A のピークの位置を基準に我々の JVN のマップ (カラー) と Minier et al. (2000) の 1998 年観測時のマップ (モノクロ) を重ね合わせた結果、1998 年の観測時と比較しメーザーグループ A と B 間の離角が 8 年間に約 2 mas 広がったことが分かった。S269 までの距離を 5.28 kpc [7] とすると、このメーザーグループ A に対する B の移動速度は 6 km s⁻¹ に相当する。

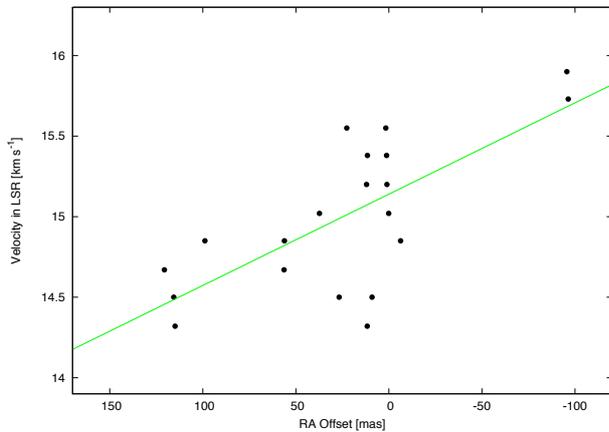


図 3: 赤経方向に沿った各メーザースポットの位置速度図。黒丸は個々のメーザースポット。緑色の直線はフィッティング直線で速度勾配は $0.0057 \text{ km s}^{-1} \text{ mas}^{-1}$ 。

4 議論

4.1 検出されたメーザースポットの数

まず初めに、今回の JVN 観測で Minier et al. (2000) より数多くのメーザースポットが検出されたその理由をここで考察する。

山口 32m 望遠鏡では 2004 年から 2008 年にかけて S269 の 6.7 GHz メタノールメーザー放射の単一鏡モニター観測を行なっている。このモニター観測から得られたメタノールメーザーのスペクトルでは、一番明るいメーザー成分 ($V_{LSR} = 15.2 \text{ km s}^{-1}$) の他、2004 年から 2008 年の間に $V_{LSR} = 14.8, 15.5, 16.0 \text{ km s}^{-1}$ にピークを持つメーザー成分が検出されている [8] [5]。一方 Torun 32m 望遠鏡による 1999 年の観測では、一番明るい $V_{LSR} = 15.2 \text{ km s}^{-1}$ のメーザー成分以外に目立ったピークは見られない [14]。Minier et al. (2000) が EVN によって取得した 1998 年のクロスパワースペクトルもこれと同様で、一番明るいメーザー成分以外は目立たない。従って、我々が JVN で観測した 2006 年は Minier et al. (2000) が観測した時期より多くのメーザー成分が明るくなっており (図 4)、それが今回の観測で数多くのメーザースポットが検出された理由と推測される。

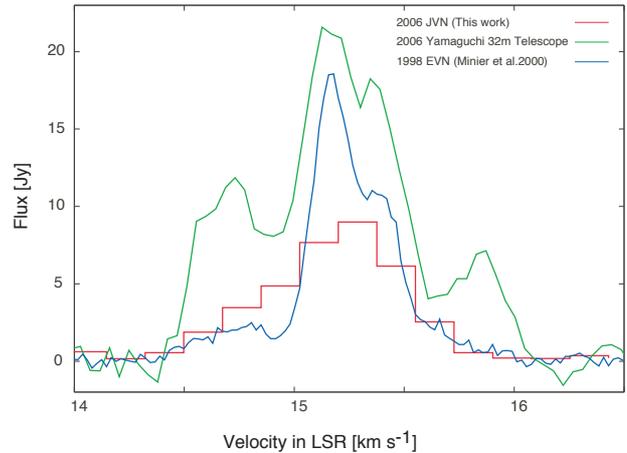


図 4: 2006 年 9 月に JVN (赤) および山口 32m 望遠鏡 (緑) で得られた S269 のメタノールメーザーのスペクトルと、1998 年に EVN (青) で得られたスペクトル [11] の比較。2006 年には一番明るいメーザー成分以外のピークが数成分検出されている。

4.2 6.7 GHz メタノールメーザーの付随場所

前述した通り、6.7 GHz メタノールメーザーが大質量形成領域の付随場所には様々な解釈がある。S269 の 6.7 GHz のメタノールメーザー分布、速度勾配、AB 間の内部固有運動の説明として、(1) 東西方向に噴き出すアウトフローに付随するモデル、そして (2) 東西方向のエッジオン円盤が膨張するモデルが候補として考えられ得る。

S269 では星形成領域のアウトフローをトレースする H_2 ($v = 1 - 0 \text{ S}(1)$) ノットの分布は東西方向に広がっており、メタノールメーザーの速度構造や内部固有運動の向きとほぼ平行である。つまり、アウトフローのごく中心部 ($\sim 200 \text{ AU}$) をメタノールメーザー放射がトレースし、そのアウトフローの外側 10000 AU スケール以上では H_2 ノットが見られると考えられる。一方、メタノールメーザーが東西方向のエッジオン円盤に付随していると考えれば、円盤と H_2 ノットの関係はうまく説明出来ない。従って、この観測結果からは S269 のメタノールメーザーはアウトフローモデルがより説明しやすいと結論づけられる。

このことを検証するためには、メタノールメーザーの個々のスポットの絶対座標位置を求め、 H_2 ノットと

の位置関係をはっきりさせると共に内部固有運動をさらに詳しく調べることが重要である。現在の JVN では白田局、山口局、VERA 4 局の計 6 局に 6.7 GHz の観測システムが搭載され、2006 年の頃と比べて感度もイメージの合成ビームサイズの質も大きく向上している。今後の JVN 観測により、メタノールレーザーの絶対座標位置およびさらに詳細な内部固有運動を調べていきたいと考えている。

- [16] Wynn-Williams, C. G., Becklin, E. E.; Neugebauer, G., 1974a, ApJ, 187, 473
- [17] Wynn-Williams, C. G., Werner, M. W.; Wilson, W. J., 1974b, ApJ, 187, 41

謝辞

Japanese VLBI Network (JVN) は、国立天文台が中心となって北海道大学・茨城大学・筑波大学・岐阜大学・山口大学・鹿児島大学が連携し、宇宙航空開発研究機構・情報通信研究機構・国土地理院の協力のもと、運用をおこなっています。JVN に関連する全ての人の御協力に感謝いたします。

参考文献

- [1] Bartkiewicz, A., Szymczak, M., van Langevelde, H. J., 2005, A&A, 442, L61
- [2] De Buizer, J.M., 2003, MNRAS, 341, 277
- [3] Dodson, R., Ojha, R., Ellingsen, S. P., 2004, MNRAS, 351, 779
- [4] Eiroa, C., Casali, M. M., Miranda, L. F., Ortiz, E., 1994, A&A, 290, 599
- [5] Fujisawa, K. in preparation.
- [6] Goddi, C., Moscadelli, L., Sanna, A., Cesaroni, R., Minier, V., 2007 A&A, 461, 1027
- [7] Honma, M., et al., 2007, PASJ, 59, 889
- [8] 石川裕子, 2007 年度山口大学卒業論文
- [9] Jiang, Z., Yao Y., Yang, Y., et al., 2003, ApJ, 596, 1064
- [10] Lekht, E. E., Silant'ev, N. A., Mendoza-Torres, J. E., Pashchenko, M. I., Krasnov, V. V., 2001, A&A, 377, 999
- [11] Minier, V., Booth, R.S., Conway, J.E., 2000, A&A, 362, 1093
- [12] Norris, R.P. et al., 1998, ApJ, 508, 275
- [13] Sharpless, S., 1959, ApJS, 4, 257
- [14] Szymczak, M., Hrynek, G., Kus, A.J., 2000, A&AS, 143, 269.
- [15] Walsh, A. J., Burton, M. G., Hyland, A. R., Robinson, G., 1998, MNRAS, 301, 640

JVN Reports（大学V L B I 連携研究成果報告書）原稿募集のお知らせ

（１） JVN Reports とは

大学V L B I 連携観測事業の一環として、定期的に発行する研究成果報告書が JVN Reports です。内容は研究報告、実験のメモ、開発メモ、対外的・政治的な取り組み、各種情報などです。この報告書の目的は、連携事業の成果を公表・共有・保存すること、研究内容を文書にすることで研究を促進すること、連携事業の活力を維持・発展させること、将来の展開の素地となることです。投稿資格者は大学V L B I 連携観測事業のメンバーです。査読は行いません。

（２） 原稿募集

JVN Reports は、連携の研究に参加する多くの方に寄稿されることで成立します。ぜひ、多くの方に原稿を書いていただきたいと思えます。内容は、連携運用会議に出される資料の程度、またはそれ以上の内容であることとします。具体的な内容の例を挙げます。

- **研究報告** 連携の観測で行った研究に加え、他のアレイで行った研究も歓迎する。V L B I であっても良い。観測提案にかかわる研究報告でも良い。論文のドラフトでも良い。
- **実験・開発メモ・各種情報** 連携に関連した各種実験や開発の報告、もっと小さなメモなどでも良い。
- **対外的・政治的な取り組み** V L B A問題など外部の情勢の報告、東アジア観測網の構築やV S O P- 2 対応などの取り組みに関する報告なども良い。

次回の原稿締め切りは2009年12月7日です

JVN Report 原稿のスタイル

- 入稿：印刷可能状態の原稿、ファイル形式は基本としてPDFとする。
- 原稿サイズ：A4、横書き。上下左右には20mm以上の余白を作る。
- フォント：以下は例。およそこのようなスタイルとなっていれば良いとする。
 - タイトル=ゴシック、12ポイント
 - 著者名、所属、本文=明朝系、10ポイント
 - 章の表題=ゴシック、10ポイント
 - 段組、図=特に指定しない。カラーでも良いが、印刷は白黒。
- 章立て：以下の規則とする。
 - 先頭にタイトル、次の行に著者と所属、次に日付。それに続けて本文。
 - 本文の章立ては原則として任意。アブストラクト、謝辞などはあってもなくてもよい。

中川亜紀治、澤田・佐藤聡子（編集担当）