

Vixen

「自然科学応援企業」であること

光学機器で見つめるその先には、星空、野鳥、草花、
そしてミクロの世界に息づく生命まで、豊かな自然が広がっています。
その感動や発見こそが、自然科学への扉を開く第一歩です。
私たちビクセンは、その大切な一歩を支える「自然科学応援企業」として、
これからも歩み続けます。

その想いを形にするため、優れた光学機器を世に送り出すことはもちろん、
「星を見せる会社になる」という方針のもと、星空観望会や
自然観察セミナーなどを通じて、
自然と触れ合う感動を未来へつないでいきます。



www.vixen.co.jp



NAOJ

No. 347 National Astronomical Observatory of Japan

PRINT ISSN 0915-8863
ONLINE ISSN 2436-7230

NEWS

国立天文台ニュース



観測開始 20年

大学VLBI連携観測事業

Japanese VLBI Network (JVN)

2025



観測開始20年

大学VLBI連携観測事業

Japanese VLBI Network (JVN)



イントロダクション

私たちが遠い宇宙を詳細に観測するためには、望遠鏡の「解像度」、すなわちどれだけ細かな構造を見分けられるかが重要です。これは光学望遠鏡でも同様ですが、特に電波天文学の分野では波長が長いので、高い解像度を得るには巨大な観測装置が必要になります。そこで活躍するのが「超長基線干渉法 (VLBI: Very Long Baseline Interferometry)」と呼ばれる手法です。VLBIでは、遠く離れた複数の電波望遠鏡で同時に同じ天体を観測し、望遠鏡間の距離に相当する大きさの仮想的な望遠鏡と同等の解像度を実現します。これにより、現在の天文学で最も高い空間解像度が得られ、ブラックホールの影の撮影に代表されるような成果が次々と生まれています。

国立天文台では、岩手県水沢、東京都小笠原、鹿児島県入来、沖縄県石垣島の4つの電波望遠鏡によるVLBI観測網「VERA」を運用していますが、国立天文台に加えて、電波望遠鏡を保有もしくは装置開発を行っている国内の複数の大学や研究機関の協力によって「大学VLBI連携観測事業 (JVN)」が構築・運用されてきました。この取り組みは、大学が主体となってVLBI観測網の中核を担う、国際的にも非常にユニークな体制です。現在参加している大学は、茨城大学、筑波大学、岐阜大学、大阪公立大学、山口大学、鹿児島大学の6大学で、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) が協力しています。

JVNは、2025年で発足から20周年を迎えます。これまでに、星の誕生現場で輝くメタノールレーザーや、進化末期の星から発せられる水レーザー、突如出現する謎の突発天体など、さまざまな現象に焦点を当てた独自の観測が行われ、数多くの研究成果が生み出されてきました。また、JVNは教育・人材育成の面でも重要な役割を果たしており、多くの学生が最先端の観測に携わりながら研究者としての第一歩を踏み出しています。本特集号では、そうした大学VLBI連携のこれまでの歩みと現在の取り組み、そして今後の展望について紹介していきます。オールジャパン体制で挑む電波天文学の最前線を、ぜひご覧ください。

アルマの冒険

連載第12回は「銀河電波をキャッチせよ!」をお送りします。今号からオンラインによる記事掲載に進化して、ますますパワーアップの「アルマの冒険」。今回の観測ターゲットは「天の川銀河」からやってくる電波で、簡単な自作アンテナで比較的簡単に受信ができることから、電波天文体験の入門編としても人気の観測対象です。以下の特設サイトへ!

<https://prc.nao.ac.jp/publication/almar/index.html>

岩田悠平
IWATA, Yuhei
水沢 VLBI 観測所

CONTENTS

p.02-03
イントロダクション
岩田悠平

p.04-05
水沢 VLBI 観測所と JVN
本間希樹

p.06-07
JVN を構成する観測装置
米倉覚則・藤澤健太・佐野栄俊・村瀬 建・中川亜紀治

p.08-09
新たな装置の開発拠点
小川英夫

p.10-11
JVN で解き明かすサイエンス① 星形成
元木業人・米倉覚則・藤澤健太

p.12-13
JVN で解き明かすサイエンス
② 年老いた星からの電波放射 ③ 突発天体
中川亜紀治・佐野栄俊・村瀬 建/新沼浩太郎

p.14-15
JVN のこれまでと今後
藤澤健太

次号予告
次号 (25年秋号) は特集「理科年表刊行100年」をお送りします。「理科年表」は国立天文台が編纂する自然科学に関する資料集で、その創刊は1925年、今年で節目の100年を迎えました。「理科年表」の創刊の経緯や1世紀にわたる歴史を振り返り、現在の理科年表の各分野の「読みどころ」も合わせて紹介します。

NAOJ NEWS / 国立天文台ニュース
No.347 2025年夏号
© 2025 NAOJ (本誌記事の無断転載・放送を禁じます)

発行日 / 2025年9月1日
発行 / 大学共同利用機関法人 自然科学研究機構
国立天文台ニュース編集委員会

〒181-8588 東京都三鷹市大沢2-21-1
TEL 0422-34-3958 (出版室)
FAX 0422-34-3952 (出版室)
国立天文台代表 TEL 0422-34-3600
質問電話 TEL 0422-34-3688
shuppan@ml.nao.ac.jp
<https://www.nao.ac.jp/about-naoj/reports/naoj-news/>

国立天文台ニュース編集委員会
●編集委員: 小久保英一郎 (委員長・天文シミュレーションプロジェクト) / 石井未来 (TMTプロジェクト) / 岩田悠平 (水沢VLBI観測所) / 勝川行雄 (太陽観測科学プロジェクト) / 平松正顕 (天文情報センター) / 伊藤哲也 (アルマプロジェクト) / 藤井友香 (科学研究部)
●編集: 天文情報センター出版室

紙版の発送停止や発送先変更のご依頼はこちらのフォームから
<https://forms.office.com/r/97uZF7KH2Y>

水沢VLBI観測所 とJVN

国立天文台水沢VLBI観測所とJVNは過去20年にわたる相互協力のもと発展してきました。その意味で両者は国内のVLBIにおける兄弟のような間柄といってもよいかも知れません。

水沢VLBI観測所では2002年のVERA観測網の完成以来、銀河系の研究やアジアとの国際共同観測を進めてきました。一方でVLBI分野の発展には、大学に研究拠点を作り大学院生なども巻き込みつつ研究を推進することが重要と考え、大学との共同研究にも力を入れてきました。たとえば、VERAの望遠鏡のうち1台は鹿児島大学入来牧場に設置され、同大学と

は20年以上共同研究を実施しています。また、山口や茨城の衛星通信アンテナを国立天文台が譲り受け、地元の山口大学や茨城大学と協力して電波天文学研究を進めてきました。これらの大学に、筑波大学・岐阜大学・大阪公立大学など（過去には北海道大学も）の電波天文のグループも加わって、大学間の連携として誕生したのがJVNです。JVNでは各大学主導で観測や研究が行われ、さらに一部の望遠鏡は東アジアVLBI観測網にも参加するなど、個別の望遠鏡による研究から国際共同観測まで幅の広い活動が行われています。



東アジアVLBI観測網による研究成果

歳差運動するM87ジェットの出出口
—巨大ブラックホールの「自転」を示す新たな証拠—

<https://www.nao.ac.jp/news/science/2023/20230928-eavn.html>

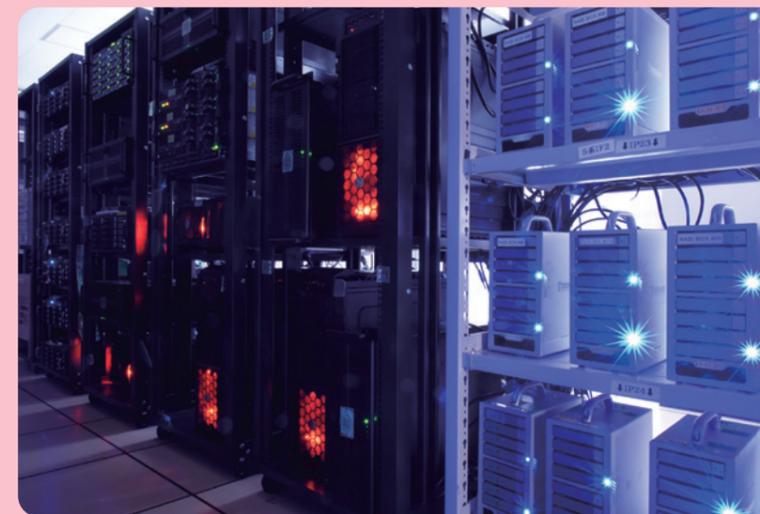


東アジアVLBI観測網に参加している日本、韓国、中国の電波望遠鏡および相関局。東アジアVLBI観測網では6.7, 22, 43 GHzの3つの異なる周波数帯を観測しており、各アンテナの画像には観測可能な周波数が色で示されている。

水沢相関器紹介

水沢の相関処理センターでは、CPUおよびGPU計算によるソフトウェア相関器を開発し、運用しています。20年ほど前まではVLBIの相関処理には専用のスパコンが必要でしたが、近年の計算機技術の大幅な進歩によって、ハイスペックPC+ソフトウェアによる相関処理が可能になったのです。

ソフトウェア相関器の利点は、ハードウェア相関器に比べて分光点数や積分時間などを自由自在に設定できることです。この特性を活かして、水沢の相関器ではブラックホールやメーザー、パルサー/FRBなど、観測対象ごとに最適化した処理を柔軟に行っています。主にVERAの4台の電波望遠鏡で得られたデータや、VERA局を含むJVNのイメージング観測のデータが水沢にて相関処理され、研究者に貴重なデータを日々届けています。



茨城大学

日立、高萩
32メートル電波望遠鏡

茨城大学は、国立天文台・大学 VLBI 連携観測事業参加大学・協力機関とともに、国立天文台水沢 VLBI 観測所茨城観測局の2台の直径32メートル電波望遠鏡（日立32メートル電波望遠鏡（右）〔茨城県日立市〕と高萩32メートル電波望遠鏡（左）〔茨城県高萩市〕）の運用を行っています。電波望遠鏡を単独で用いる「単一鏡モード」、国内外の電波望遠鏡と同時観測を行う「VLBIモード」を主に行っています。単一鏡モードでは、太陽の8倍程度以上の質量の星が生まれる場所から発せられるメタノールメーザーという電波の強度変動を調べることで、星の誕生の瞬間を調べています。VLBIモードでは視力1万という非常に細かいものまで見える能力を活かして、星の誕生、ブラックホール周りの物質放出現象（ジェット）などを研究しています。

2台の電波望遠鏡には大阪公立大学で開発された高感度冷却受信機が搭載されています。



米倉 覚則
YONEKURA, Yoshinori
茨城大学

- ① アンテナ内部に設置されている高感度冷却受信機の交換作業。写真左側の設置場所から、9ページで紹介されている第1世代型受信機を取り外している様子。
- ② 第2世代型受信機を設置場所に取り付けた完成図。受信機は50kg程度の重量であるためチェーンブロックを使って吊り上げながら交換作業を行いますが、最終的に位置の微調整を行う際には4人がかりで人力で吊り上げて交換します。



山口大学

32メートル、34メートル
電波望遠鏡

山口大学は直径32メートル（右）と34メートル（左）の2台の電波望遠鏡を使って観測を行っています。これらは茨城大学が使う2台の電波望遠鏡とほぼ同じ形をしています。この4台の電波望遠鏡は、もとは人工衛星を使った通信のために使われていたアンテナです。このアンテナを建設して通信を行っていたのはKDDI株式会社で、山口の電波望遠鏡には現在もKDDIのロゴが入っています。

山口大学では2台の電波望遠鏡を同時に使って天体を観測する方法がしばしば使われます。この観測方法を「山口干渉計モード」といいます。山口干渉計モードで観測すると感度が高くなり、電波が弱くて1台の電波望遠鏡では観測できない天体もはっきりと観測できます。この感度を活かして、小型のブラックホールや若い星が噴出するジェットの研究などを行っています。

学生が作った受信機を自分たちで搭載する様子。



藤澤 健太
FUJISAWA, Kenta
山口大学

JVNを構成する観測装置

岐阜大学

11メートル電波望遠鏡

岐阜大学11メートル電波望遠鏡は、大学キャンパス内に設置された、中口径のカセグレンアンテナです（1996年製）。通信総合研究所（現在NICT）による首都圏地殻変動観測計画のために製作され、運用終了後の2002年に岐阜大学へ譲渡されました。移設当時は2/8GHzでの運用でしたが、2006年の22GHz帯受信機搭載後は、水メーザーやアンモニア輝線による観測を進めています。2014年には、銀河中心ブラックホールのモニター観測などで成果を挙げました。現在、同大学宇宙科学研究室が運用し、VLBI観測のための整備や、新観測装置の導入など大規模改修を進めています。2024年3月には、望遠鏡の全面再塗装を実施し、新品同様に生まれ変わりました。今後も、大学所有望遠鏡の強みである「機動力」を活かした単一鏡・VLBI観測と、実機を用いた学生教育を推進していく予定です。

受信機開発室にて、新たに搭載予定の受信機に向かう学生。高感度かつ両偏波の受信機を岐阜大学構内にて開発中です。



佐野 栄俊
SANO, Hidetoshi
岐阜大学



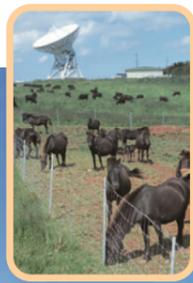
村瀬 建
MURASE, Takeru
岐阜大学



2つの望遠鏡を繋いだ VLBI観測を行っています

日本国内の緊密な連携

鹿児島大学における電波天文学は1992年12月に口径6メートルのミリ波電波望遠鏡が野辺山から鹿児島に移設された頃から盛んになりました。この6メートル電波望遠鏡はVERAによるVLBI位置天文観測に不可欠な、長期間安定して輝き続ける水メーザーの存在を確認するなど、今日の国内VLBI研究の発展に大きく寄与しました。現在鹿児島大学が国立天文台とともに運用するVERA入来局（薩摩川内市）は2001年8月に完成し、今も岐阜大学と協力して年老いた星の観測などを進めています。中でも、厚いダストに覆われて可視光では検出が困難な高齢の星に対する年周視差計測ではVERAの強みを最大限に活かすことができ、鹿児島大学グループが世界的にも牽引する特色あるテーマとなっています。VERAに隣接する鹿児島大学理学部1メートル光赤外線望遠鏡では2024年に5バンド同時測光カメラも開発されました。



VERA入来局は鹿児島大学共同獣医学部附属の牧場に囲まれている。鹿児島県の天然記念物にも指定される在来日本馬のトカラ馬などが飼養されている。



人里離れたVERA入来局の夜空は格別。パソコン画面の中の星ばかり見ている現代の天文学者も、自らの目で見る星の迫りにきっと息をのむことでしょう。

鹿児島大学

20メートル電波望遠鏡
(VERA入来局)



中川 亜紀治
NAKAGAWA, Akiharu
鹿児島大学



新たな装置の開発拠点

電波望遠鏡

山口と茨城の4台の電波望遠鏡は、通信アンテナを電波望遠鏡に改造したものです。この改造では天体に望遠鏡を向けるための装置、VLBI観測に必要な「100万年に1秒以下しかズレない」高精度の時計、1秒間に10億回のデータを記録できる高速記録装置、天体からの微弱な（月に置いた携帯電話の放つ電波を地球上で捉えるよりも弱い）信号を捉える高感受信機などを、国立天文台・大学VLBI連携観測事業参加大学・協力機関とともに、新たに整備しました。

さまざまな進歩・拡張



小川英夫
OGAWA, Hideo
大阪公立大学

広帯域偏波分離法の進化

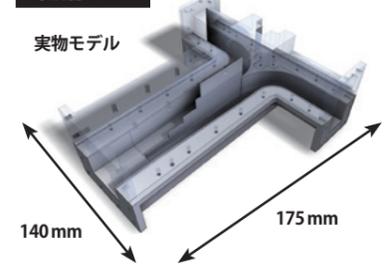
GUIDE 0009

第1世代セプタム型

セプタム型の導波管回路を用いて偏波分離を行う方式。回路が1つで済み、コンパクトでシンプルな構造が特徴で、多くの日本の望遠鏡に採用され、搭載されている。

搭載中の望遠鏡：水沢、茨城、山口、韓国KVN、上海

セプタム型導波管モデル
観測可能な帯域幅：6~9 GHz
比帯域：~20%

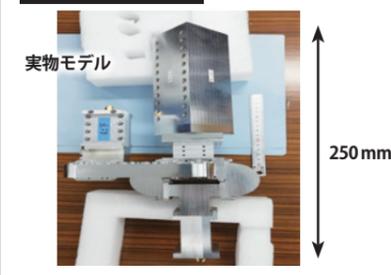


第2世代移相器+OMT型

位相遅延器とOMT型の導波管回路を用いて、直交偏波への変換と偏波分離を行う方式。それぞれの導波管回路を導波管限界まで達成することで、広帯域を実現。

搭載中の望遠鏡：茨城、山口

位相遅延器+OMT型導波管モデル
観測可能な帯域幅：6~12 GHz
比帯域：~66%

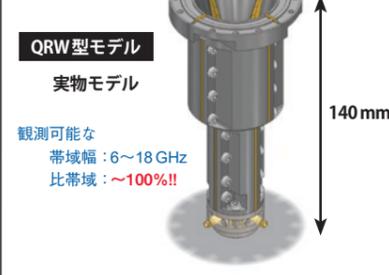


第3世代QRW型

リッジ導波管回路と同軸回路を用いて、偏波分離を行う方式。リッジ導波管回路で広帯域をカバーしつつ、伝送方法を同軸回路に変換することで、さらに超広帯域を実現。

搭載予定の望遠鏡：水沢

QRW型モデル
観測可能な帯域幅：6~18 GHz
比帯域：~100%!!



更なる広帯域へ

これまでより広い観測帯域で観測すれば、天体のスペクトルをより詳しく調べることができます。JVNのグループでは、6 GHzから18 GHzを一気に観測するという超々広帯域受信機の開発も行っています。電波パルスを放射する謎の天体、FRB（高速電波バースト）の研究などにその能力が発揮される予定です。

受信機の性能を示す指標の1つが観測帯域（一度に観測できる周波数の

範囲）です。およそ10年前、大阪公立大学が中心となって6 GHzから9 GHzの電波を一度に観測できる受信機を開発し、茨城・山口の電波望遠鏡に設置しました。この受信機を使うと6 GHzと8 GHzの観測を同時にできるため、観測の効率が上がり、また天体のスペクトルを取得できるようになりました（上図左 第1世代）。

2023年には6.5 GHzから12.5 GHzまで一気に観測できる超広帯域高感

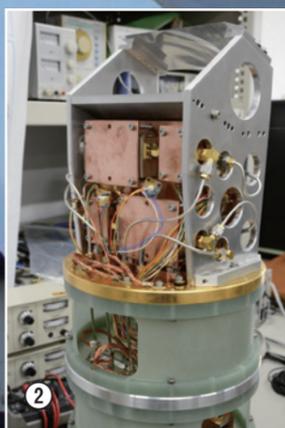
度冷却受信機の開発に成功しました。この受信機は日立32メートル電波望遠鏡に搭載され、2024年には同型機が山口32メートル電波望遠鏡に搭載されました。この開発により、6.7 GHzだけではなく、12.2 GHzのメタノールメーザーを同時に観測できるようになり、太陽の8倍程度以上の質量の星が生まれる場所について、より詳細な情報が得られるようになりつつあります（上図中 第2世代）。

OMT：オルソモードトランスデューサー（直交偏波計）の略。OMTと位相器を連結して使用することで円偏波分離器として使用できる。

QRW：クワッドリッジ導波管の略。従来の四角の導波管に比べてより広帯域で使用できる。

GUIDE 0009

<https://www.nao.ac.jp/naoj-news/explanation/0009.html>



受信機 (大阪公立大学)

JVNでは観測装置を自分たちで作ります。自分たちがやりたい研究を実現するために、最も良い装置を自分たちで作って使うのです。

JVNでは、生まれかかった星が出す6.7 GHzや22 GHzのメーザー電波の観測、ブラックホールのジェットが出す電波の観測などを行います。電波望遠鏡、つまり大型のパラボラ

アンテナは天体が出すこれらの電波を集めるのですが、天体が出す電波はとて微弱なので、集めた電波を増幅（強めること）して信号を調べる装置が必要となります。これが受信機です。自分たちがやりたい研究をするために、高性能な受信機を作るための研究も自分たちで行います。これが受信機開発の研究です。

大阪公立大学がこの受信機開発の中心地です。電磁界シミュレーションや3Dプリンターなど新しい技術を次々に取り入れて、大阪公立大学の研究グループは優れた受信機をいくつも開発してきました。またこの受信機開発では、学生が研究に大きく関与していることも特徴です。

更なる高周波数へ

これまで観測していなかった高い周波数で観測すれば、ブラックホールの中心近くがより詳しく観測できるようになります。これを実現す

るために、JVNのグループが中心となって86 GHzという高い周波数で観測するための受信機を開発し、VERA水沢局と石垣島局に搭載しま

した。この受信機を使って、VERAが東アジアVLBI観測網に参加し、ブラックホールの詳しい画像を観測することが期待されています。



- ①世界最大級の野辺山45メートル電波望遠鏡にも搭載されている7つの目を持った効率的な観測可能な3ミリ帯の受信機。
- ②台湾の天文台の要請で開発、製作した波長1.3ミリの超伝導受信機。ブラックホールの初観測などに大きく貢献しました。
- ③アルマ望遠鏡と同じチリの高地（標高約5000メートル）に設置されている名古屋大学の4メートル電波望遠鏡に搭載した2.7ミリ導波管回路。

JVNで 解き明かす サイエンス①星形成



続々と発表される
研究成果

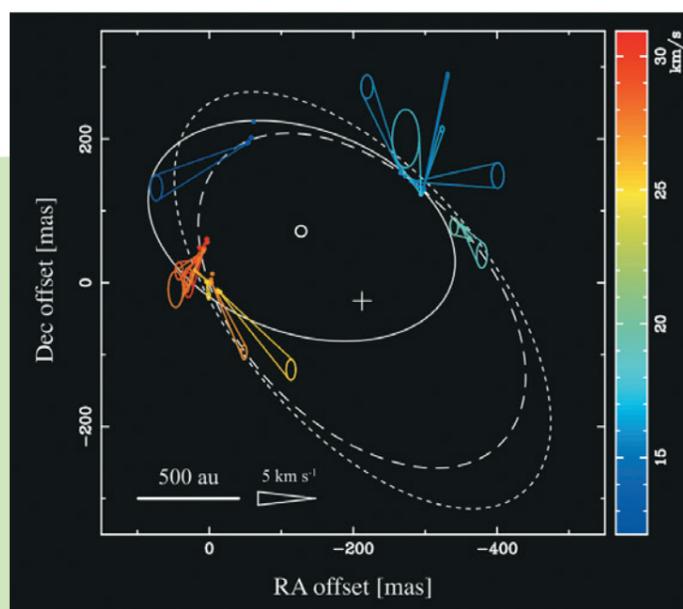
大質量原始星近傍の
構造を捉える

1. 固有運動計測

2010年頃よりJVNを用いた大規模イメージング観測プロジェクトが開始され、6.7GHzメタノールレーザー源38天体の空間分布を明らかにしました。これは当時、高精度なVLBI空間分布が得られているサンプル数を2倍にする成果でした。またこの観測には上海天文台も参加しており、東アジアVLBI観測網のさきがけでもありました。

一般にメタノールレーザーは大質量原始星の近傍、特に降着円盤に付随すると考えられてきました。しかし、その後のさまざまなVLBIモニター観測によって3次元的なガス運動を測定した結果、一部の天体においてはメタノールレーザーが回転膨張運動を示し、円盤から噴き上がるアウトフロー（円盤風）に付随していることが示唆されました。

このことはメタノールレーザーが「円盤のトレーサーか否か」という従来の議論から一歩進んで、大質量原始星近傍のより繊細な構造を捉えることができることを示した結果と言えます。



大質量星形成領域G006.79-00.25における6.7GHzメタノールレーザーを放射するガス雲の分布と運動。杉山ほかはJVNと上海天文台の電波望遠鏡を用いて行った観測結果で、円錐の頂点にある点がレーザー電波を放射する雲を示す。円錐の高さは運動の速さを、底面の円の広がりには誤差を、色は視線速度を示す。実線、波線、点線の円は、異なるモデルで近似した結果得られた固有運動である。ガス雲が膨張しながら回転する運動をしていることが明らかになった。(クレジット: K. Sugiyama)

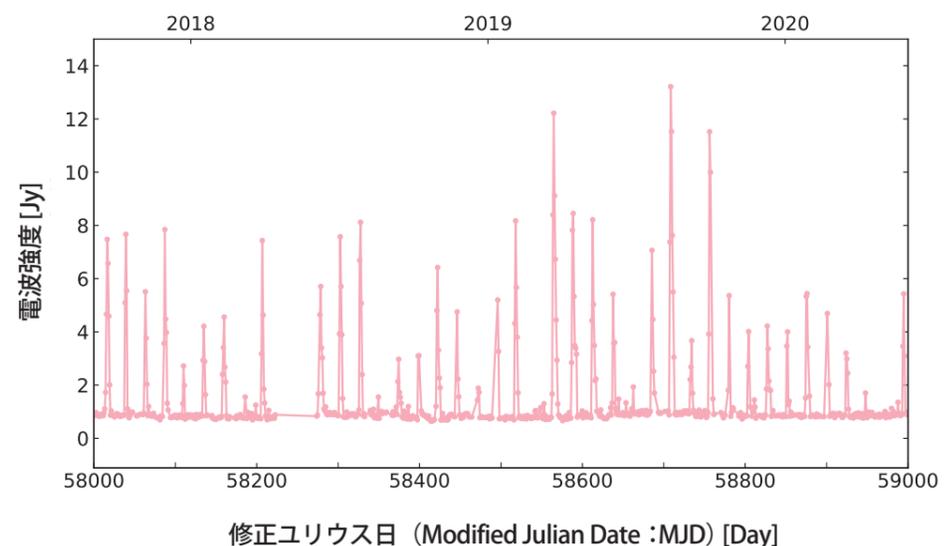
2. 単一鏡モニター観測

これまでに1000天体以上が検出されている6.7GHzメタノールレーザーのうち、日本から観測可能なすべての天体（約500天体）に対して、高い頻度で（頻度の高いものは毎日、低いものでも50日に1回）観測を行い、電波の強度変動を調べることで、大質量星の誕生過程の多様性に関して研究を行っています。

これまでに50を超える天体において、周期的な強度変動が確認され、連続的な強度変化を示すもの、大部分の期間は電波が弱い短期間のみ電波が強くなるというように間欠的な強度変化を示すものが検出されています（非周期的、突発的な強度変化については、3.参照）。

これらの強度変動機構について、連星によるもの、中心星の脈動によるものなどが提唱されていますが、統一的な描像を描くには至っていません。

大質量星の
電波強度の
変動は
何を表して
いるのか



茨城大学が日立32メートル電波望遠鏡を用いて行っている6.7GHzメタノールレーザーのモニター観測で得られたG014.23-00.50という天体に付随するレーザーの強度変動。横軸は観測日、縦軸は強度。観測を毎日行うことにより、23.9日周期で強度が間欠的に強くなる現象が少なくとも47回、1100日（約3年）にわたって正確に繰り返されていることが明らかになった。(クレジット: K. Sugiyama)

3. 突発的な増光現象に対する追観測

2015年に、山口大学が行っていた6.7GHzメタノールレーザーの単一鏡モニター観測において、世界で初めて突発的な増光現象が捉えられました。

突発的な増光現象を捉えた際には、世界中の天文学者の監視網に即時に情報が展開され、世界中で追観測が行われます。当時は世界的な監視網が設立されていなかったため、追観測が行われるまでには時間を要しました。2017年にM2O（レーザー監視機構）が設立され、その後初となる突発的な増光現象が、2019年1月に茨城大学が行っている単一鏡モニター観測で検出されました。

さらに、この天体では円盤が渦巻き構造をしていることも明らかになりました。

突発的な増光現象の原因は
「ヒートウェーブ」

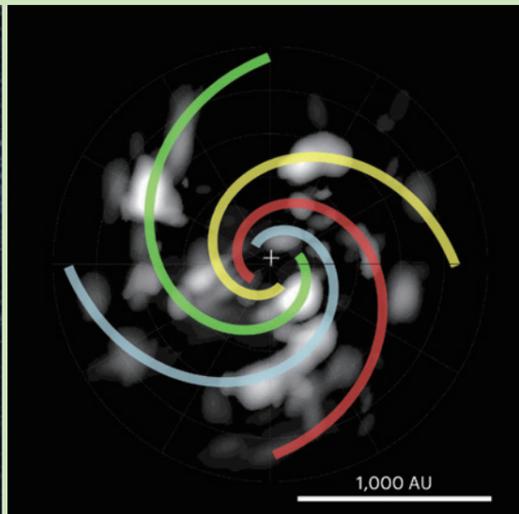
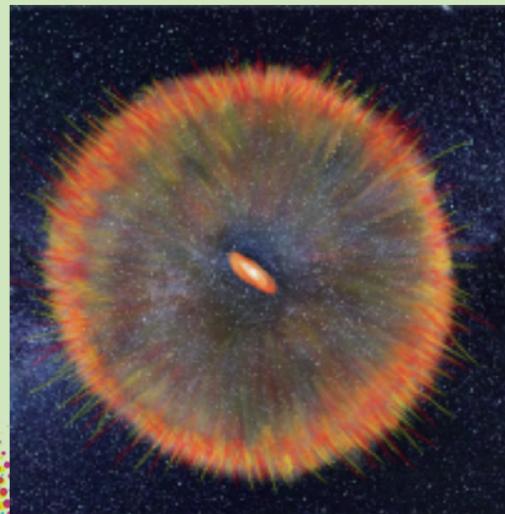
追観測によって、星の周囲に存在する円盤から星の材料が不定期に星に落ち込み、その影響で星が熱くなり、星の周囲のメタノールレーザー放射に適した場所が時々刻々と星から距離が遠い場所へ移動していく様子（ヒートウェーブと命名されました）が捉えられました。

GUIDE 0010
<https://www.nao.ac.jp/naoj-news/explanation/0010.html>

元木業人
MOTOGI, Kazuhito
山口大学

米倉覚則
YONEKURA, Yoshinori
茨城大学

藤澤健太
FUJISAWA, Kenta
山口大学



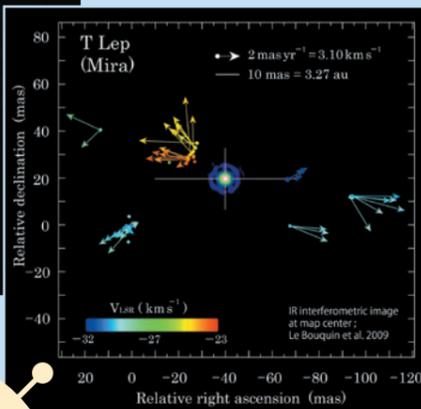
(左)「ヒートウェーブ（熱の波）」の想像図。中心星を取り巻く円盤内にある星の材料が中心星に落ち込んだ影響で発生した熱の波が、外に向けて広がっていく様子を示している。(クレジット: Katharina Immer)
(右) ヒートウェーブが発生している天体に対して、VLBI観測を複数回繰り返す「熱波マッピング」で得られた観測結果を解析することにより、円盤内に4本の渦巻き構造があることが明らかになった。(クレジット: R. A. Burns)

JVNで 解き明かすサイエンス② 年老いた星からの電波放射

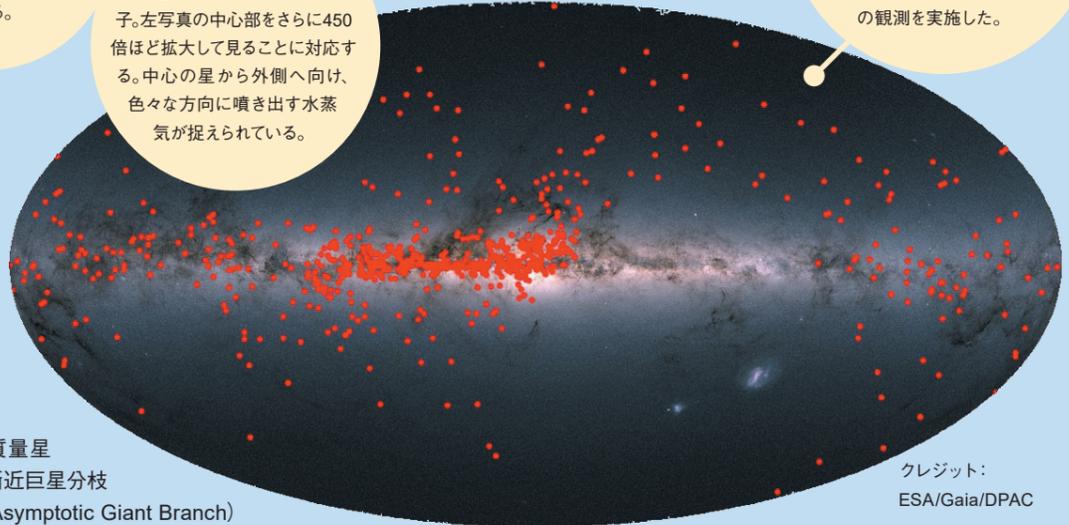
クレジット：ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)



アルマ望遠鏡で撮像された年老いた星「ちょうこくしつ座R星」。星から噴き出すガスなどが渦巻き状に宇宙空間へと広がる様子を捉えている。



年老いた星「うさぎ座T星」をVLBIで観測した様子。左写真の中心部をさらに450倍ほど拡大して見ることに対応する。中心の星から外側へ向け、色々な方向に噴き出す水蒸気が捉えられている。



中小質量星には、漸近巨星分枝 (AGB: Asymptotic Giant Branch) と呼ばれる進化段階があります。この段階にある星では、星の中心周辺に形成されたヘリウム原子核の層が周期的に激しい核融合反応を起こし、数万年から数十万年の間に太陽1つ分に相当する大量の物質が放出されることが知られています。放出された物質は星を包むような殻のような構造を作ります。これを星周物質と呼びます。星周物質からは星に近い順に SiO, H₂O, OH といった分子からの極めて強力な電磁波 (メーザー) を検出できることがあります。メーザーの放射は、星の活動や星周物質の状態と密接に関係していると考えられていますが、どのような条件で放射されるのか、星の進化 (成長) に伴って検出されるメーザーの種類がどのように変化するか

太陽のように自ら輝く星は、その質量によって異なる最期を迎えます。太陽の8倍以上の質量を持つ大質量星は、最期に超新星爆発を起こし莫大なエネルギーと物質を一瞬にして放出します。一方で、8倍よりも小さな中小質量の星は、赤色巨星と呼ばれる段階へ進化し、星を形作るガスをじわじわと放出することで惑星状星雲へ姿を変えます。星の内部では核融合反応によって多様な元素が合成され、その中には我々生命に不可欠な元素も含まれます。星の最期を探究することは、私たちが形作った元素がどのようにして宇宙にばら撒かれたのかを理解することとも言えます。私たちは中小質量星に注目して研究を行っています。中小質量星は大質量星と比べて圧倒的に数が多いため、宇宙全体における物質供給の大部分を担っているためです。

岐阜大学11メートル望遠鏡、およびVERA入来局で観測した晩期型星の分布。背景の写真は、Gaia衛星で取得された可視光の全天画像。赤い点は観測した天体の位置を示す。2025年5月までにおよそ800天体の観測を実施した。

古い中小質量星から放出される物質と電磁波

クレジット：ESA/Gaia/DPAC

ど、未解明のテーマが残されています。そこで私たちは、メーザー検出の有無と星の性質や星周物質の状態との相関関係を探究することでこの課題に迫ろうとしています。現在私たちは、国立天文台と鹿児島大学が共同運用するVERA入来局20メートル望遠鏡と岐阜大学11メートル望遠鏡を用いて1000天体に及ぶ晩期型星のメーザー探査を行っています。これまでの研究から、質量を放出する規模とメーザーの放射には相関関係がある可能性を掴みました。また、いくつかの晩期型星については、VERAを用いたVLBI観測によって精密な距離を測定し、その明るさ (絶対等級) の正確な値の推定も行っています。

- 中川亜紀治** (NAKAGAWA, Akihiro) 鹿児島大学
- 佐野栄俊** (SANO, Hidetoshi) 岐阜大学
- 村瀬建** (MURASE, Takeru) 岐阜大学

JVNで 解き明かすサイエンス③ 突発天体

近年、宇宙ではさまざまな「突発的に増光する天体現象 (突発天体)」が発見されています。たとえば、1000分の1秒の間に強い電波が発生する「高速電波バースト」や、中性子星同士の合体にともなう電磁波の放出などがあります。こうした突発天体の正体を解き明かすためには、非常に高い解像度が実現可能なVLBIの観測手法が重要です。JVNは大学運用望遠鏡を中心としたVLBI観測体制のため、突発天体に対しフレキシブルなVLBI観測が実施可能です。JVNでは2014年頃から、観測データの記録システムが整備されたことにより、これまでの8倍の周波数帯域幅で観測できるようになり、感度が大きく向上しました。これにより、微弱な天体の信号も捉えられるようになりました。次のステップとして、観測実施から観測結果の取得までの時間をできるだけ短時間化するため、これまで国立天文台に依存していた相関処理について、大学で実施可能なシステムを構築しました。具体的には、(1) 山口局および茨城局に特殊な形式で記録された観測データをLinuxなどの一般的な形式に変換すること、(2) 特殊な計算機を必要としないソフトウェアの相関器を導入すること、を行いました。特に(2)では、情報通信研究機構 (NICT) に協力をいただき、NICTが開発したソフトウェア相関器「GICO3」を導入することができました。このシステムによって、たとえば超新星爆発や、ガンマ線バースト (GRB) と呼ばれる突発現象に対して、VLBIによる追観測を迅速に実施できるようになりました。実際に2022年10月9日に極めて明るいガンマ線バースト GRB 221009A の検出が報告された際、茨城-山口1基線 VLBI による追観測を2つの周波数帯 (6/8 GHz) で同時に実施し、電波放射を検出しました。この結果はGRBに付随したコンパクトなジェットが存在を示唆するものですが、何よりもJVNによるGRB電波残光の初検出という記念すべき結果でした。今後もJVNの特徴を活かしなが、多波長での突発天体研究を推進していきます。

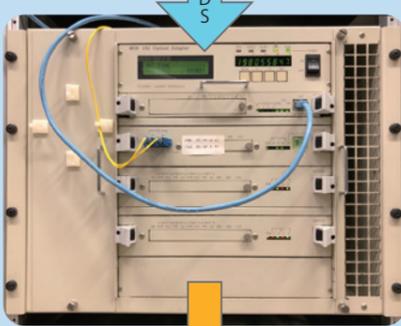
観測局内：山口/茨城

アナログ部

受信機：4ch出力
6 GHz (左旋円偏波)
6 GHz (右旋円偏波)
8 GHz (左旋円偏波)
8 GHz (右旋円偏波)

LVDS (低電圧差動信号) とは、低消費電力で高速かつ安定にデータを送ることができる技術で、電波観測でも高速にデータを記録する際に使われています。

デジタル部

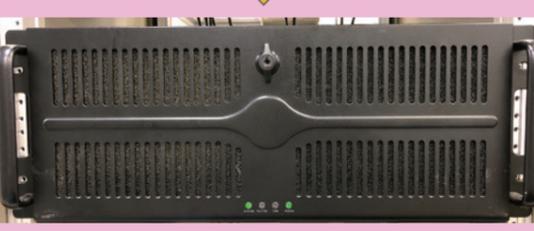


サンプラー (LVDS出力)
アナログ入力：4入力
2 Gbps サンプリング / 入力

LVDS/10 GbE変換 (10 GbE出力)
デジタル：4入力

記録ディスク 2ch記録可能
ストレージモジュール (SM) × 2

水沢相関局へ輸送



新規構築システム



データ形式再フォーマットシステム ソフトウェア相関器

新規構築システムで
ガンマ線バースト電波残光初検出!

JVNの これまでと今後



藤澤健太
FUJISAWA, Kenta
山口大学

JVNは2005年に始まりました。2000年頃から、北海道大学（苫小牧11メートル電波望遠鏡）、岐阜大学（岐阜11メートル）、山口大学（山口32メートル）に電波天文学のグループが誕生し、以前から活動をしていた鹿児島大学を含めて、日本各地の大学で電波望遠鏡を使った研究が始まりました。同じ頃、国立天文台ではVERAの4台の電波望遠鏡が完成して観測を始めました。そして、これらの電波望遠鏡を1つのVLBI観測網にして新しい研究しようという動きが始まったのです。これがJVNの始まりです。2008年頃から、筑波大学、茨城大学（日立32メートルと高萩32メートル）、大阪公立大学（当時は大阪府立大学）がJVNに参加しました。筑波大学は国土地理院のつくば32メートルアンテナを用いた観測、大阪公立大学はJVNの受信機開発など技術的研究を行っています。

JVNの活動が始まったときには、JAXA宇宙科学研究所（ISAS）の臼田64メートル、情報通信研究機構（NICT）の鹿島34メートル、国土地理院のつくば32メートルアンテナも参加しました。現在までに北海道大学の苫小牧11メートル、NICTの鹿島34メートル、国土地理院のつくば32メートルは運用を止めてしまいましたが、大学が連携して行う研究を、国立の研究所が大型電波望遠鏡を提供して支援してくれたのです。これは世界的に見ても独特な観測網でした。

JVNは大学が中心となって行う研究です。そのため大学らしい独自性を発揮した研究や、目的を特化した研究に力を入れています。1つの例がサイエンス①で紹介されたメタノールメーザーの研究です。日立局では1年間に4000時間もの時間をかけて400個以上の天体が放射するメーザーの電波のモニター（監視）を続けています。これは世界最大規模のメタノールメーザーのモニター観測です。

新しい観測をするための電波環境調査を行う様子。

山口大学



鹿児島大学

桜島を望む鹿児島市錦江湾公園内の6メートル電波望遠鏡。市民向けの催しでの1コマです。この望遠鏡は1992年から2018年まで鹿児島大学での研究と教育に貢献し、現在は日本天文遺産として三鷹構内にて展示されています。



観測棟内での観測作業の様子。

岐阜大学



JVNは大学にできた電波天文学グループが連携して始まりました。この精神は今でも息づいていて、電波天文の新しい拠点ができると、JVNは積極的に支援しに行きます。最近では2022年に福井工業大学に電波天文グループが誕生したので、さっそくVLBI観測機器を持ち込んで実験的な観測を行いました。今後もJVNは福井工業大学との連携を続ける計画です。

JVNは大学における電波天文学の教育にも大きな役割を果たしています。過去5年間にJVNの研究にかかわった大学卒業生の数は100人を超えます。JVNの研究によって博士となり、大学や研究所で働く天文学者になった人もいます。JVNは多くの若者に電波天文学に触れる機会を提供しているのです。

次第に広がるVLBI観測網



苫小牧 11 m



鹿島 34 m

臼田 64 m

つくば 32 m

福井工大 13.5 m

電波天文学教育にも大きな役割を果たす