

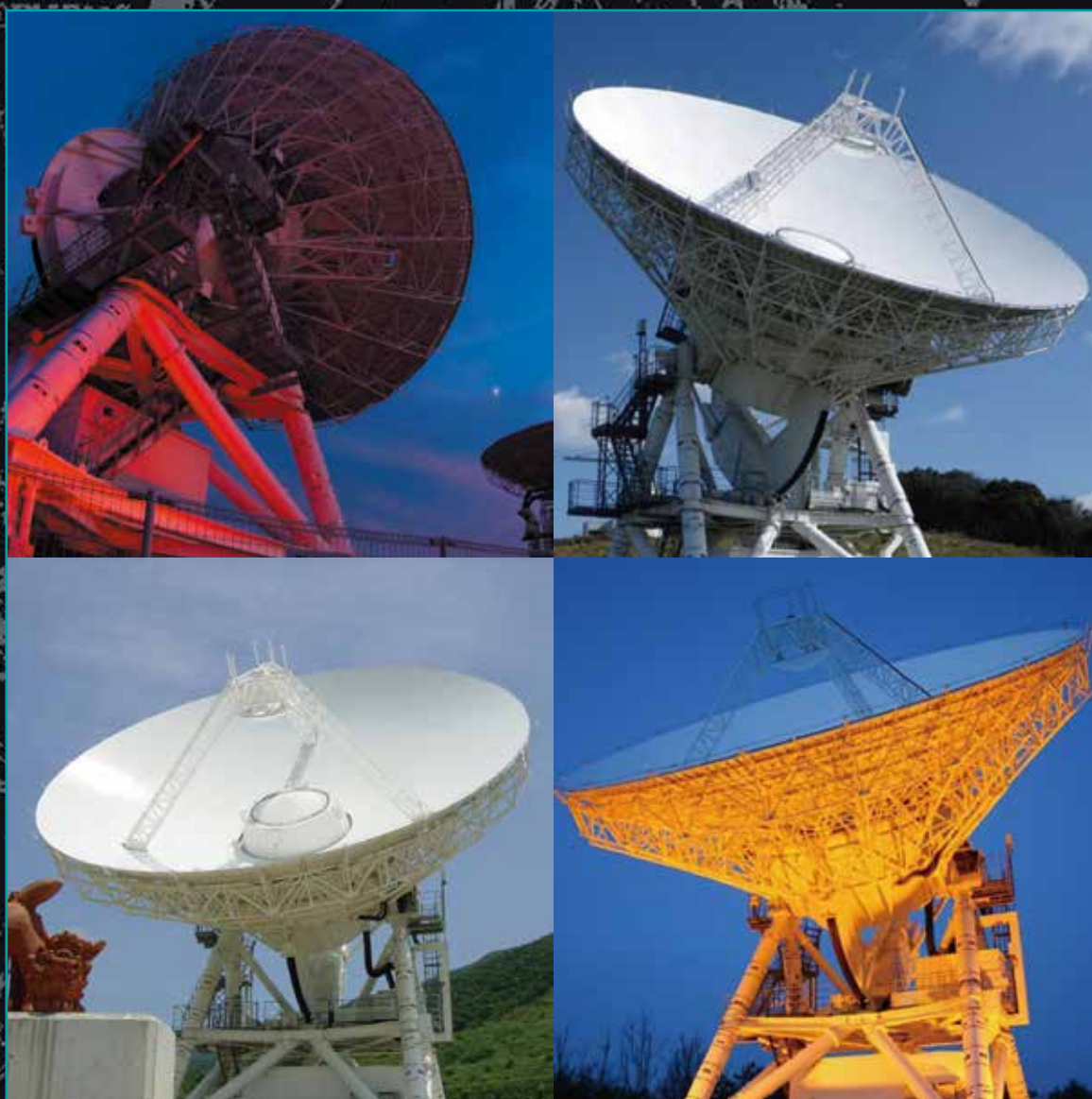
自然科学研究機構

NAOJ

国立天文台ニュース

National Astronomical Observatory of Japan

2021年8月1日 No.334

特集
VERAと水沢VLBI観測所

- 研究トピックス 太陽表面からコロナ直下に迫る
—太陽観測ロケット実験CLASP2が測定した太陽大気の磁場—
- 「天文シミュレーションプロジェクト 2020年度流体学校」開催報告
- 国立天文台研究集会「(サブ)ミリ波単一鏡の革新で挑む、天文学の未解決問題」の舞台裏
- 追悼 高遠徳尚ハワイ観測所教授
- 岡山分室が「岡山県観光物産事業功労者」として表彰されました

夏

2021

NAOJ NEWS
国立天文台ニュース
C O N T E N T S

- 表紙
- 国立天文台カレンダー

03

研究トピックス

太陽表面からコロナ直下に迫る

一太陽観測ロケット実験CLASP2が測定した太陽大気の磁場—

石川遼子（太陽観測科学プロジェクト）

06

特集 VERA と水沢 VLBI 観測所

- ・はじめに 本間希樹（水沢 VLBI 観測所長）
- ・VERA プロジェクト20年の成果 廣田朋也（水沢 VLBI 観測所）
- ・天の川銀河構造研究の大革新時代を迎える 坂井伸行（韓国天文研究院）
- ・大質量星形成過程の解明に向けて 金 美京（大妻女子大学）
- ・鹿児島大学の研究活動と貢献 中川亜紀治（鹿児島大学理学部）
- ・東アジア VLBI でさぐる巨大ブラックホールから噴出するジェットの姿 田崎文得（水沢 VLBI 観測所）、秦 和弘（水沢 VLBI 観測所）
- ・VERA の新天地・中性子星の研究と展望 イ・スジン（東京大学大学院）、赤堀卓也（水沢 VLBI 観測所）
- ・VERA-upgrade 日本から東アジア、グローバルアレイへ 位置天文から精密天体物理への発展 小山友明（水沢 VLBI 観測所）
- ・水沢 VLBI 観測所の将来計画—EAVN, Global VLBI array, SKA— 小林秀行（水沢 VLBI 観測所）
- ・日本天文遺産に選ばれた水沢地区の機器と建物 亀谷 収（水沢 VLBI 観測所）
- ・広報・教育活動（アウトリーチ） 小澤友彦（水沢 VLBI 観測所・広報担当）

19

おしらせ

- 「天文シミュレーションプロジェクト 2020年度流体学校」開催報告 石川将吾（天文シミュレーションプロジェクト）
- 国立天文台研究集会 「(サブ) ミリ波単一鏡の革新で挑む、天文学の未解決問題」の舞台裏 古屋 玲（徳島大学）

22

追悼 高遠徳尚ハワイ観測所教授 家 正則・高見英樹

23

受賞 岡山分室が「岡山県観光物産事業功労者」として表彰されました

23

編集後記／次号予告

24

連載「すばる望遠鏡 HSC Cosmic Gallery」14
Palomar 3

解説：田中賢幸（ハワイ観測所）



表紙画像

VERA4局。左上：水沢、右上：入来、左下：石垣、右下：小笠原（クレジット：国立天文台）。

背景星図（千葉市立郷土博物館）

渦巻銀河 M81 画像（すばる望遠鏡）

新型コロナウイルス感染症に
関連した対応について

新型コロナウイルス感染症の感染拡大を防ぐため、国立天文台の施設公開、定例公開、イベント等の一部を中止しています。再開につきましては、国立天文台のウェブサイトや SNS にてご案内いたします。みなさまのご理解、ご協力をお願いします。

また、国立天文台にご来訪されるみなさまにおかれましては、下記のことをお願いいたします。

- 新型コロナウイルス感染者との濃厚接触が判明している場合や、その恐れがある場合は、ご来訪をお控えください。
- 咳や発熱などの症状がある場合は、ご来訪をお控えください。
- マスクや手洗いなど、各自で十分な防護策をお取りください。

★くわしくは

<https://www.nao.ac.jp/notice/20200226-coronavirus.html>

をご覧ください。

しばらく間が空いてしまいましたが、国立天文台ニュース 2021 年夏号をお届けします。今後、季刊を目指した刊行を予定しております。

国立天文台カレンダー

★予定は変更される場合があります

2021 年 6-7 月

- 6月4日（金）幹事会議
- 6月18日（金）幹事会議
- 6月22日（火）運営会議
- 6月26日（土）観望会（三鷹）オンライン開催
- 6月30日（水）プロジェクト会議
- 7月9日（金）幹事会議
- 7月19日（月）幹事会議
- 7月24日（土）観望会（三鷹）オンライン開催
- 7月28日（水）プロジェクト会議

2021 年 8-9 月

- 8月3日（火）運営会議
- 8月6日（金）幹事会議
- 8月20日（金）幹事会議
- 8月25日（水）プロジェクト会議
- 8月28日（土）観望会（三鷹）オンライン開催
- 9月3日（金）運営会議
- 9月10日（金）幹事会議
- 9月24日（金）幹事会議
- 9月25日（土）観望会（三鷹）オンライン開催
- 9月29日（水）プロジェクト会議

2021 年 10 月

- 10月2日（土）4次元デジタルシアター公開
- 10月8日（金）幹事会議／4次元デジタルシアター公開／観望会（三鷹）
- 10月12日（火）運営会議
- 10月16日（土）4次元デジタルシアター公開
- 10月23日（土）三鷹星と宇宙の日
- 10月25日（月）幹事会議
- 10月27日（水）プロジェクト会議

太陽表面からコロナ直下に迫る ー太陽観測ロケット実験CLASP2が測定した 太陽大気の磁場ー



石川遼子
(太陽観測科学
プロジェクト)

太陽に残された謎

皆既日食の時、私たちの前に突如として姿をあらわす彩層、そしてコロナ。温度はそれぞれ1万度と100万度で、光球(太陽表面)の上空に広がっていることはよく知られています(図01)。しかし、なぜ太陽大気がこのような構造になっているのか？ つまり、6千度の光球の上に、それよりも温度の高い彩層やコロナがどのようにして維持されるのか、その仕組みはまだよくわかっていません。この究極の謎の解明に必要な不可欠となるのが、エネルギー運搬の担い手である磁場の観測です。磁場の強さや向き、それらの空間・時間分布といった性質を徹底的に調べ、動的現象や加熱現象との因果関係を探るのです。

太陽磁場についての研究を大きく躍進させたのが、太陽観測衛星「ひので」★01に搭載された可視光磁場望遠鏡です。この望遠鏡は、2006年の打ち上げから今に至るまで世界で唯一、宇宙からの本格的な磁場観測を行っており、多くの発見をもたらすとともに太陽磁場に関する私たちの知見を大きく進展させました。

しかし、その磁場の観測は光球にとどまり、彩層やコロナの磁場の様子を調べることはできません。また、どれだけ精度良く光球の磁場を測っても、その上空の磁場の様子を推測することは難しいこともわかってきました。これは、彩層やコロナの磁場はプラズマの熱運動に対して支配的である一方、光球では常に受け身であり、彩層を境にその振る舞いが大きく異なるためです。磁力線の根っこの部分は明らかになったものの、それが彩層を経てコロナへどのように繋がっているかがよくわからない、という状況にあるのです。

太陽観測ロケット実験CLASP、そしてCLASP2

「ひので」以降、彩層・コロナの磁場測定を目的とした新たな観測装置の開発が、世界中で活発に行われるようになりました。磁場の測定は、磁場によってスペクトル線に生じる偏光

を観測することで行います。光球とは対照的に、彩層やコロナの磁場観測がこれまでほとんど行われてこなかったのは、その観測の難しさにあります。どの波長のスペクトル線にいかなる物理過程で生じる偏光を測定するのか、候補はそれなりにあるものの、いずれの場合にも共通しているのが、生じる偏光が概ね0.1%台と非常に弱いということです★02。これは端的に言うと、彩層・コロナの磁場が光球のそれに比べて弱いことに起因します。

このような中で、私たち日米欧の研究チームが着目したのが、「紫外線の偏光」です。近年の理論研究の発展により、磁場によって検出可能な偏光が生じると示されたことが大きなきっかけとなりました。紫外線には、地上望遠鏡で開拓を進める可視光や赤外線に比べて、(1) コロナ直下の彩層上部まで観測が可能となること、(2) 小さな口径でも回折限界を達成することで高空間分解能観測が可能であること、といった利点があります。一方で、「紫外線の偏光」は、宇宙からの観測が必須であることに加えて、その偏光を精度良く測るのに必要な技術が確立していなかったことから、長らく未踏の領域となっていました。これに挑戦した

★ new scope <解説>

★01 太陽観測衛星「ひので」

太陽観測衛星「ひので」：2006年9月に打ち上げられた科学衛星。可視光磁場望遠鏡(SOT)、極端紫外線撮像分光装置(EIS)、X線望遠鏡(XRT)という3つの望遠鏡を搭載し、光球からコロナまでの観測を行います。可視光磁場望遠鏡では、光球・彩層の撮像観測と偏光分光観測による光球の磁場・速度場観測を行なっています。

★02 偏光

偏光は、波長板などの偏光素子を回転させることで発生する光の強弱(偏光変調)の周期と振幅から検出します(偏光復調)。0.1%の偏光は、偏光変調が0.1%レベルであることを示しています。そのため、装置の感度を高めるのに加えて、太陽からの偏光以外で生じる光の強弱(偽偏光)も確実に排除する必要があります。その測定は容易ではありません。



図01 太陽の構造。太陽大気は、光球(表面、6000度)、彩層(1万度)、コロナ(100万度)から構成される。磁場によって引き起こされる最大の爆発現象がフレア。[クレジット：国立天文台]

のが、私たちの太陽観測ロケット実験 CLASP (Chromospheric Lyman-Alpha Spectro-Polarimeter)、そしてCLASP2(Chromospheric Layer Spectro-Polarimeter) です。

2015年9月に打ち上げを行なったCLASPでは、彩層中の水素が出すライマンアルファ線(波長122 nm)の偏光分光観測を行いました。そして、理論的に予測されていた散乱偏光及び磁場による散乱偏光の変化(ハンレ効果)の検出に世界で初めて成功しました(国立天文台ニュース2017年8月号)。しかし同時に、ライマンアルファ線のみでは、彩層の磁場を精度良く決定することができないこともわかりました。そこで私たちは、次なる候補である電離マグネシウム線(波長280 nm)の観測に挑むことにしました。これが太陽観測ロケット実験CLASP2です。電離マグネシウム線の最大の利点は、ハンレ効果に加えて、ゼーマン効果★03によって円偏光が生じることです。ゼーマン効果は、「ひので」可視光磁場望遠鏡の磁場導出にも用いられており、比較的解釈も容易で、確実に彩層の磁場を測定できると期待できます。私たちは、観測波長を変更するため、打ち上げ後回収したCLASP観測装置を日本へ持ち帰り、国立天文台・先端技術センターにて改造を施しました(図02、図03)。そうして生まれ変わったCLASP2は、2019年4月11日、アメリカ・ニューメキシコ州、ホワイトサンズミサイル実験場で再び打ち上げられました(図04)。

CLASP2によって明らかになった磁力線の姿

轟音と共に青空へ飛んでいったCLASP2は、ロケットと観測装置、両方とも完璧に動作し、世界初となる電離マグネシウム線(波長280 nm)域の偏光分光観測に成功しました。全観測時間6分半のうち、2分半にわたって活動領域★04の観測を行い(図05左上)、スリット(図05緑の実線)に沿ったほとんどの場所で、ゼーマン効果による電離マグネシウム線(Mg II k, Mg II hと表記)の有意な円偏光を検出することができました(図05右)。さらに驚いたのが、もともとの標的である電離マグネシウム線の間にあるため、“おまけ”で観測された2つのマンガン線(図05右でMn Iと表記)にも、同じくゼーマン効果により円偏光が検出されたことです。この発見に触発されて、スペインのチームが輻射輸送計算を行なったところ、このマンガン線は彩層底部から放射されることがわかりました。一方で、電離マグネシウム線はコロナ直下の彩層中部～最上部から放射されます。さらにCLASP2は、「ひので」との共同観測にも成功しました(図05左下)。「ひので」の可視光磁場望遠鏡に



図02 CLASP2観測装置の完成を記念した国立天文台先端技術センターでの集合写真。観測装置は、米国チームから提供されたロケットスキンにおさまられている。[クレジット：国立天文台, NASA/MSFC, IAS]



図03 CLASP2観測装置。画像合成によりロケットスキンを半透明化している。観測装置は全長2.5m、幅50 cm。[クレジット：国立天文台, NASA/MSFC, IAS]

CLASP2で観測したマンガン線と電離マグネシウム線。これら複数の観測を組み合わせることで、光球～彩層底～中～最上部の連続した磁場情報を得ることができる！ 棚ばたも手伝っての研究の発展に一同大興奮でした。

★ newscope <解説>

★03 ゼーマン効果

磁場によってスペクトル線が分離する量子力学的効果。黒点のように磁場が強い場所であれば、スペクトル線の分離を容易に検出することができます。また、分離が顕著でなくても、磁場強度に応じた偏光が発生することを利用し、CLASP2では各スペクトル線の円偏光から視線方向の磁場強度を導出しました。

★04 活動領域

黒点などの強い磁場が集中した領域を活動領域と呼びます。CLASP2が観測したのは、活動領域の中でもブラージュと呼ばれる、明るくて磁場が比較的強い場所です。



図04 CLASP2打ち上げの瞬間。(Credit: US Army Photo, White Sands Missile Range)

このようにして得られたのが図06です。緑線で示されているのが「ひので」可視光磁場望遠鏡で観測した光球磁場の様子で、その大きく変動した空間分布は、光球ではキュッとすばまったチューブ状の「磁束管」が、互いに少しずつ離れて分布していることを示しています。一方の彩層では(図06の青、黒、赤の丸)、その振る舞いは大きく異なります。特徴は、(1) 光球に比べて急激に磁場強度が弱まること、(2) 彩層の中でも上空に行くに従って徐々に磁場が弱くなっていること、(3) 光球で磁場がほとんどないような場所でも彩層では比較的強い磁場が存在すること(例えば図06の黒矢印で示した場所)、の3点です。このことから、磁束管が彩層で急激に膨張し互いにひしめき合うという、これまでみなが想像するも、その観測的証拠が得られなかった彩層磁場の様子が初めて明らかになったのです(図07)。

さらに興味深いことに、強度スペクトルから求めた彩層上部の熱エネルギー密度が彩層最上部の磁場(図06の赤丸)と非常に高い相関を持つことがわかりました。これは、(1) 彩層加熱が磁場起因であること、さらには、(2) その加熱機構に迫る上で光球の磁場情報では不十分であり、彩層上部での磁場測定が必須であること、この2点を明瞭に示しました。

今後の計画

CLASP2観測装置は打ち上げ後、パラシュートで砂漠に無傷で帰還しました。私たちCLASP2チームは、2021年秋、この観測装置をもう一度飛翔させるCLASP2.1計画を進めています。CLASP2の観測はスリットを固定して行ったため、スリットに沿った磁場情報しか得られませんでした。CLASP2.1計画ではスリットを少しずつ横に動かすことで、(空間2次元+高さ=) 3次元の磁場マップの取得を目的としています。光球からコロナへ繋がる磁束管の姿を3次的にとらえることで、磁場がどのように各大気層を結合させ、エネルギーを伝達させているのかを明らかにします。またCLASP2以外にも、SUNRISE-3気球実験(2022年打ち上げ予定)やハワイで科学観測が始まりつつある巨大太陽望遠鏡DKIST(Daniel K. Inouye Solar Telescope)など、世界中の様々な観測装置での彩層磁場観測が計画されています。

太陽物理、新時代の幕開けです。

●論文掲載情報

Ishikawa et al. "Mapping Solar Magnetic Fields from the Photosphere to the Base of the Corona", Science Advances, 2021, Vol. 7, no. 8, eabe8406

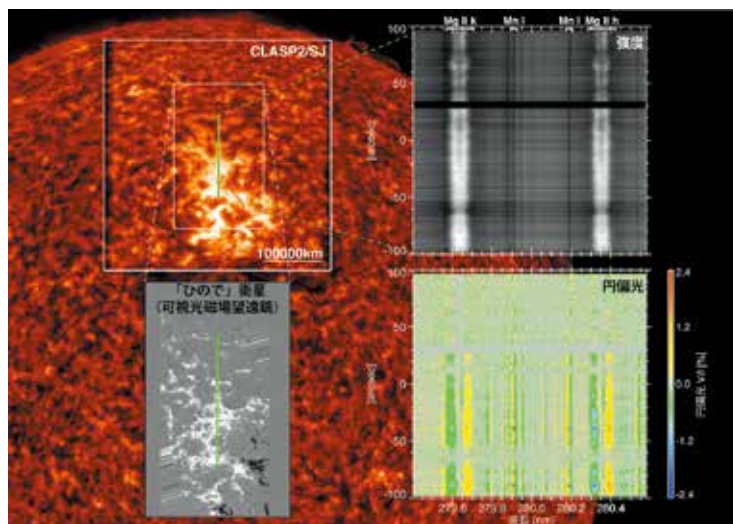


図05 本研究で用いた観測データ。CLASP2は緑実線で示されたスリットの位置での偏光スペクトル(右側の上下のパネル)を得た。スリットを当てていた位置とその周辺の太陽彩層の様子は、CLASP2に同じく搭載された撮像カメラ(SJ)で示されている(左上のパネル)。太陽表面磁場の詳細は、「ひので」に搭載された可視光磁場望遠鏡から得られた(左下のパネル)。白黒がN極、S極で磁場の強いところを表している。背景は、SDO衛星で観測された太陽彩層の全面像。[クレジット: 国立天文台, IAC, NASA/MSFC, IAS]

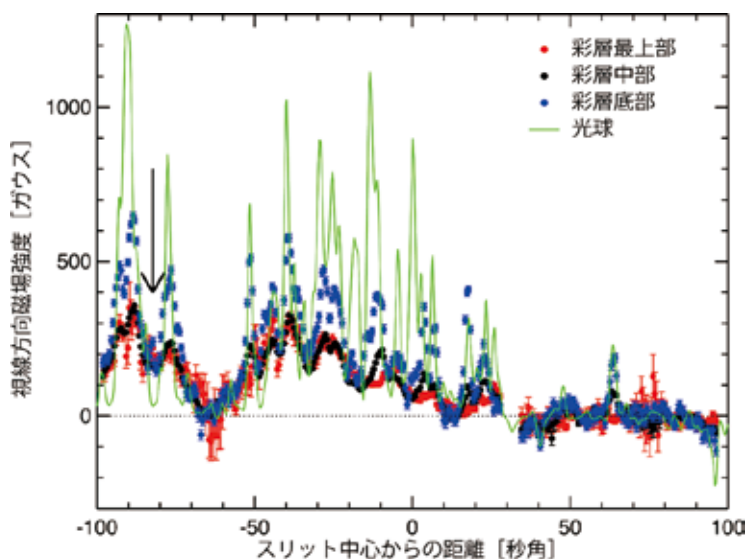


図06 太陽表面からコロナ直下に至る磁場分布。CLASP2のスリット(図05の緑線)に沿った各高さでの磁場強度を示す。[クレジット: 国立天文台, IAC, NASA/MSFC, IAS]

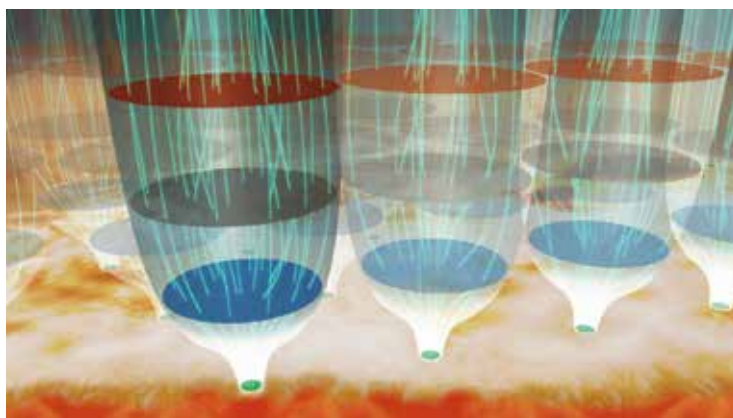


図07 太陽観測ロケット実験CLASP2と「ひので」衛星の共同観測から明らかになった、光球から彩層最上部に至る磁束管の様子。4つの高さ(光球・彩層底・中・最上部)で磁場を観測した。[クレジット: 国立天文台]

VERAと水沢VLBI観測所

VERAの20年にわたる成果と今後の展望をまとめた特集記事をお届けします。VERAによる銀河系の最新の研究成果はもちろん、星の誕生や進化、さらにはブラックホールの研究まで、VERAや国際VLBI観測で得られた最新の成果について解説し、また、グローバルVLBI構想やSKAなど水沢VLBI観測所の今後の展望についても紹介します。

協力 水沢VLBI観測所



本間希樹
(水沢VLBI観測所長)

●はじめに

このたび、国立天文台ニュースでVERAの特集記事を掲載することとなり、観測所長として大変喜ばしく思っております。VERAは建設から20年という月日が過ぎ、昨年2020年には、これまでの長年の銀河系位置天文観測をまとめたカタログ論文が出版されました。この論文を含めて、日本天文学会の欧文研究報告(PASJ)にてVERA特集号が出版され、合計10編の論文が掲載されました。この成果は、国立天文台だけでなく、鹿児島大学をはじめ各大学の研究者の貢献によって得られたものであり、この20年間でVERAとともにVLBIの研究コミュニティが大きく発展したことも特筆すべきことです。

VERAは銀河系の地図作りを第一の目的としてきましたが、2010年代に入ると国際協力での観測も活発になり、韓国と共同運用するKaVA(KVN and VERA Array)が2014年から共同利用運用を開始しています。2018年からは、中国も加わった東アジアVLBI観測網(EAVN、East Asian VLBI Network)が運用を

始めており、さらに、来年にはタイの新しい電波望遠鏡TNRT(Thailand National Radio Telescope)も参加予定で、この間国際的なネットワークがさらに広がりつつあります。これらの国際観測によって、ブラックホールのジェットの観測など、銀河系以外の研究分野でも素晴らしい成果が出つつあります。また、これらの国際協力を足掛かりとして、ブラックホール撮影に成功した国際プロジェクトEHT(Event Horizon Telescope)においても、アジアの研究者が大きく貢献しております。

このようにVERAを軸として、この20年間、日本およびアジア、そして世界と協力しながら展開したVLBIの観測研究は、今後もその流れをますます加速して発展していくと期待しています。メートル波からセンチ波帯では次の大型計画としてSKAプロジェクトが進行中で、すでにその建設が始まっています。SKAやその後計画されているngVLAなどの次世代大型干渉計は、VLBIの観測局としての活躍も期待されており、日本やアジアも含めた世界中のVLBIの望遠鏡がSKAなどと連

携して、これまでにない装置を実現しようという“Global VLBI”の構想も進みつつあります。実際、水沢VLBI観測所では、SKAを重要な将来計画と位置付けて、日本の参加可能性を具体的に検討しており、また並行して、これまでの日本のVLBIではあまり対象とならなかった新たなサイエンス(パルサーやマグネター、銀河団や宇宙初期の天体など)への取り組みも始まっています。

このようにVERAは20年間で、日本やアジア、世界のVLBI研究に大きな足跡を残してきたと自負していますし、また、これからも国際協力を軸としてさらなる研究展開を進めていきたいと考えています。今回の国立天文台ニュースの特集記事でも、銀河系のみならず、形成中の若い星や終末期の年老いた星、さらにはブラックホールやマグネターといった様々な研究の進捗について紹介しています。読者の皆様にも、本記事を読んでいただくことで最近のVERAの成果に触れるとともに今後の展開にもさらに期待いただき、今後ともご支援を賜る契機となれば幸いです。

VERA プロジェクト20年の成果



廣田朋也
(水沢 VLBI 観測所)

VERA プロジェクトで最も重要な目的は、電波による位置天文観測に基づいて天の川銀河（銀河系）の大きさや質量などの基本的性質を高精度で決定することにあります。この目的のため、VERAでは数百個のメーザー★01とよばれる強い電波源を1年以上かけて観測し、太陽の周りを公転する地球上の観測者から見た天体の見かけの位置変化「年周視差」を計測して、その位置を計測してきました（図01）。VERAによる位置天文観測では、最高性能を発揮すれば10マイクロ秒角（3億6000万分の1度）の誤差で天体の位置を測定することが可能になり、これによって太陽系から3万光年程度の距離まで誤差10%より高い精度で決定することができるようになります。同様のVLBI位置天文観測プロジェクトはアメリカのVLBAでも2000年代後半から複数行われ、特にVERA同様に銀河系構造解明を目指したBeSSeLプロジェクトとは競争をしつつもお互いのデータを組み合わせたり人的交流を進めたりしながら研究発展を図ってきました。

位置天文観測分野では、1989年に始まったヨーロッパによる可視光観測衛星ヒッパルコス、2013年に打ち上げられたその後継機ガイアによって、今や3万光年よりも遠方を含む10億を超える天体の位置天文観測データがカタログとして発表されています。VERAをはじめとした電波による天文観測では、観測ターゲットがVLBIでも検出できるメーザー天体などやや特殊な種族に限定されるために観測天体数では圧倒的に可視光の天文観測衛星に劣るものの、星間吸収の影響を受けないために可視光では観測できない天体や領域の位置天文観測をできるという大きなメリットがあります。例えば、新しい星が生まれつつある星間分子雲や恒星進化末期にある晩期型星では、可視光による中心星の観測は困難ですが、このような領域にはメーザーが多く存在しており、VLBIによる位置天文観測が研究をリードしています。さらに、天の川銀河の基本的性質を調べる上で最も重要な銀河系中心にある超巨大ブラックホールいて座A*（Sgr A*）の直接的な観測は電波でしか行うことはできず★02、電波（VLBI）と可視光による位置天文観測はお互いのメリットを生かし

た相補的な役割を果たしています。

VERAによる位置天文観測は2003年ごろから本格的に始まり、その後数年間の観測・解析方法確立のための試験、観測結果の精度検証を経て、2007年に初めて年周視差計測の成果発表に至りました[1]。また、学術的には『日本天文学会欧文研究報告（PASJ）』での4回のVERA特集号をはじめとした60本の査読論文として成果を発表してきました。

そして、昨年2020年8月に、これまで約20年にわたるVERAの位置天文観測の集大成として、国立天文台水沢VLBI観測所と鹿児島大学の研究者を中心とする研究チームは『日本天文学会欧文研究報告』でVERA特集号10本の査読論文の1つとして、「VERA位置天文カタログ第一版（The First VERA Astrometry Catalog）」を発表しました[2,3]。VERAカタログ論文では、2007年から2020年までに発表されたVERAによる78天体の距離計測の成果、および未発表だった21天体の新たな計測成果を取りまとめています。VERAの位置天文観測のデータ解析方法[4]や問題点の検証[5]も別途出版された論文で議論が行われ、距離3万光年を超える遠方天体におけ

★ new scope <解説>

★01

10ページ参照。

★02

いて座A*の質量計測では、いて座A*「周囲」にある恒星の赤外線による位置天文観測が行われ、その成果は2020年ノーベル物理学賞を受賞していますが、赤外線観測でもいて座A*自身は見えていませんでした。

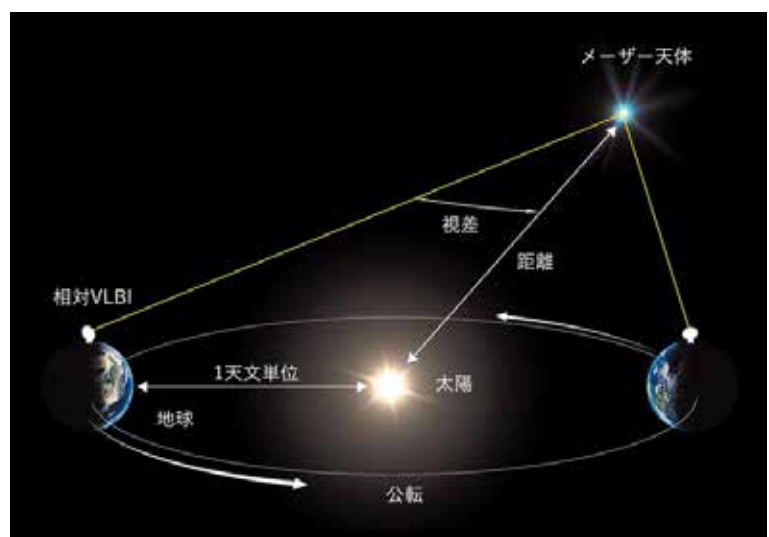


図01 年周視差計測の原理。視差1秒角=1/3,600度となる天体の距離が1pc（パーセク）と定義されており、1pcは3.26光年に当たります。年周視差は距離に反比例して小さくなります。例えば、1,000pc=1kpc（1キロパーセク）では年周視差は1/1,000秒角=1ミリ秒角となります。VERAでは10kpc=10,000pc=32,600光年までの距離、つまり、1/10,000秒角=0.1ミリ秒角の年周視差計測が必要になります。そのための測定精度は、0.01ミリ秒角=10マイクロ秒角です。（クレジット：国立天文台）

るVERAの距離計測の成功も報告されました(図02)。

これらVERAで観測したデータをBeSSeLなど他のグループによるVLBI観測データ組み合わせた計189天体分のデータを用いることで、より遠方の広い範囲での天体の分布が明らかになり、天の川銀河の複数の渦巻の存在とその形状が明らかになりました(図03)。さらに、天体の運動から、天の川銀河の中心から約5万光年まで離れた多くの遠方天体でも位置によらずほぼ同じ回転速度で銀河系中心の周りを回転運動しているという姿が確認されました。天の川銀河の回転運動に従う189天体のデータをより詳しく解析したところ、天の川銀河の基本的な尺度である太陽系から天の川銀河の中心までの距離(銀河中心距離)が $25,800 \pm 1,100$ 光年、太陽系の位置における銀河回転速度が秒速 227 ± 11 キロメートルと誤差5%の精度で測定されました。この銀河中心距離は、1985年の国際天文学連合(IAU)による勧告値(約27,700光年)よりも小さな値になっていますが、最近のVLBIによる位置天文観測成果(2012年、2014年、2019年と少しずつ精度を向上)や、いて座A*周囲を公転する天体の軌道(2019年)から推定された値25,800光年~26,600光年とはよく一致しています。より重要なのは、VERAやBeSSeLの成果を組み合わせた最新の成果は、その数値が小さくなった、ということよりも、誤差が5%程度に小さくなってより信頼性の高い推定値が得られている、という点にあります。これらの最新の数値は、IAUによる勧告値更新の必要性、さらには近い将来の教科書などの数値の改訂の可能性も示唆しています。

VERAによる銀河系位置天文観測プロジェクトは2020年度末をもって完了ということになりましたが、VERAで達成可能な高精度位置天文観測は現在も世界トップレベルであり、今後も様々な天文学の分野で重要な役割を担うことが期待されています。銀河系位置天文観測に関しては、VERAでは現在も銀河系中心いて座A*までの距離計測を進めており、EHTプロジェクトなどとも協力した超巨大ブラックホール研究への貢献が期待されます。また、VERAは東アジアVLBIネットワーク(East Asia VLBI Network、EAVN)などへの拡張も見据え、より高い精度での位置天文観測を追求する将来計画への発展を検討しています。

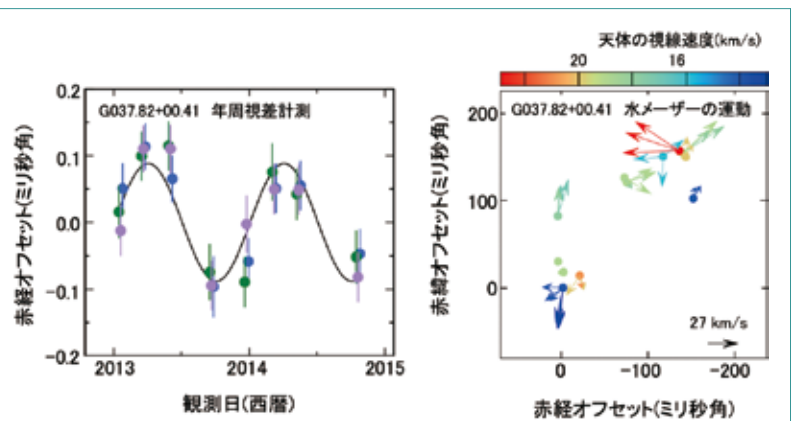


図02 VERAによって計測された星形成領域G037.82+00.41の年周視差計測データとそこでのメーザーの運動計測[5]。個別の水メーザー放射源について1年周期のサイン関数振幅(左図)を2年周計測することで、 $36,600 \pm 11,000 - 7,000$ 光年(専門的には、 $11.2^{+3.3}_{-2.3}$ kpc)という値が得られました。これはVERAで計測された年周視差としては最遠方の記録です。このような遠方天体でも、1個ずつメーザー源の位置変化を調べる行うことで、天体のジェットの膨張運動(矢印)の計測も可能になっています。(クレジット：国立天文台)

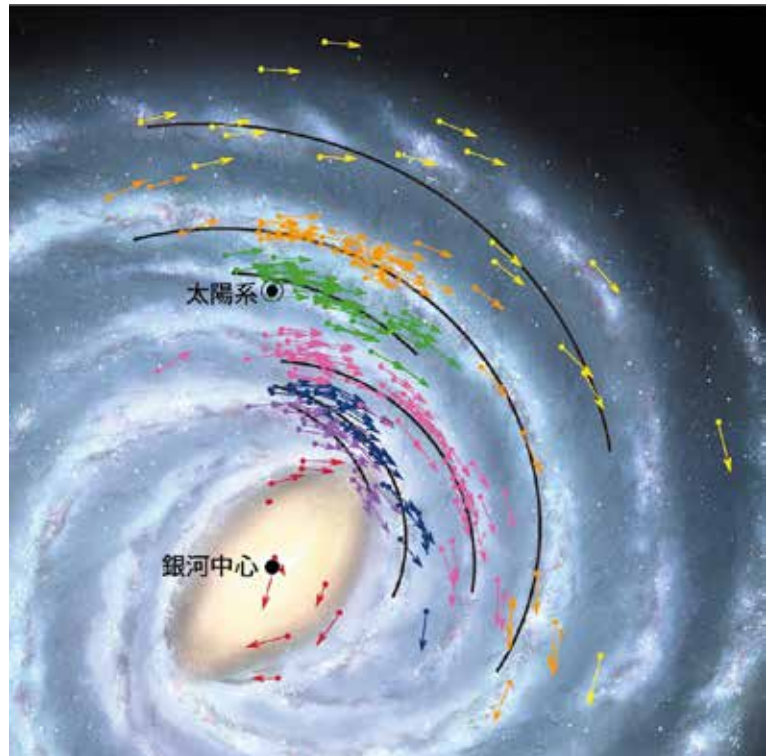


図03 VERAを含む位置天文観測で得られた224天体の位置と速度の分布(色のついた矢印)を、天の川銀河の渦巻構造の想像図(背景)に重ねたもの。約半数のデータがVERAによる観測結果になります。その結果、従来の推定による渦巻腕(うずまきうで)(想像図とそれに重ねて描いた黒い曲線)と、VLBIによる直接観測で得られた渦巻腕に沿った天体の分布や回転運動とが、よく一致していることが明らかになりました。天の川銀河の基本尺度(銀河系中心距離と回転速度)の推定には、これらのうちで銀河系回転に従っていると考えられる189天体のデータを用いています。(クレジット：国立天文台)

●参考文献

- [1] <https://www.miz.nao.ac.jp/veraserver/hilight/pub070711/index.html>
- [2] https://www.miz.nao.ac.jp/veraserver/hilight/20201125_catalog/
- [3] VERA collaboration et al.: 2020, *PASJ*, **72**, 50.
- [4] Nagayama, T. et al.: 2020a, *PASJ*, **72**, 51.
- [5] Nagayama, T. et al.: 2020b, *PASJ*, **72**, 52.

天の川銀河構造研究の大革新時代を迎える

坂井伸行
(韓国天文研究院)



●はじめに

2000年以降、VERAや米国のVLBAによるVLBI位置天文観測が精力的に進められ、天の川銀河の6次元位相情報(位置-速度)が獲得できるようになりました。6次元位相情報を基に、天の川銀河の構造や過去の歴史に関する理解が、近年急速に深まっています。ここでは、VERAによって得られた最新の研究成果の中から、「天の川銀河の最遠部構造」と「天の川銀河の衝突の歴史」を紹介します。

●天の川銀河の中心を超えて

星形成領域 G007.47+00.06 は距離推定の範囲が1~12 万光年と非常に大きく、一般的に使われる運動学的距離が、適用できない天体でした。Yamauchi et al. (2016)では、VERAで固有運動の測定に成功し、視線速度の情報と組み合わせることで、この天体の正確な距離推定に成功しました(65,000 $\pm$ 6,500 光年; 図01)。この方法の妥当性は翌年の2017年に、米国のVLBAを使った年周視差計測でも確認されました。3次元速度に基づいた新しい距離推定の方法を、現在観測が不足している遠方領域に適用し、銀河系構造の理解が更に深まっていくことが期待されます。

●いて座矮小銀河の通過の痕跡?

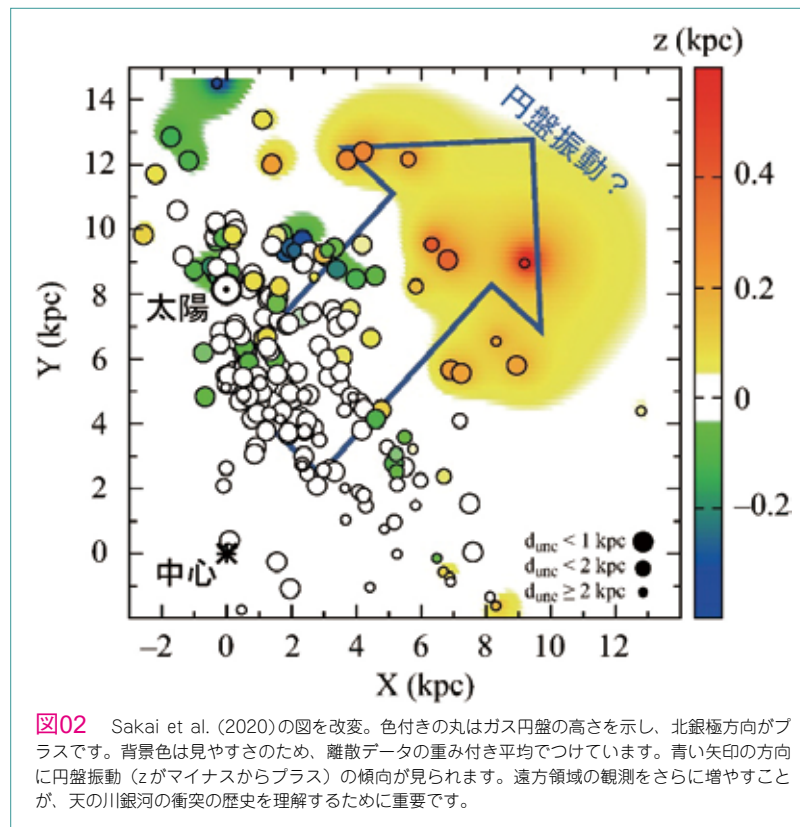
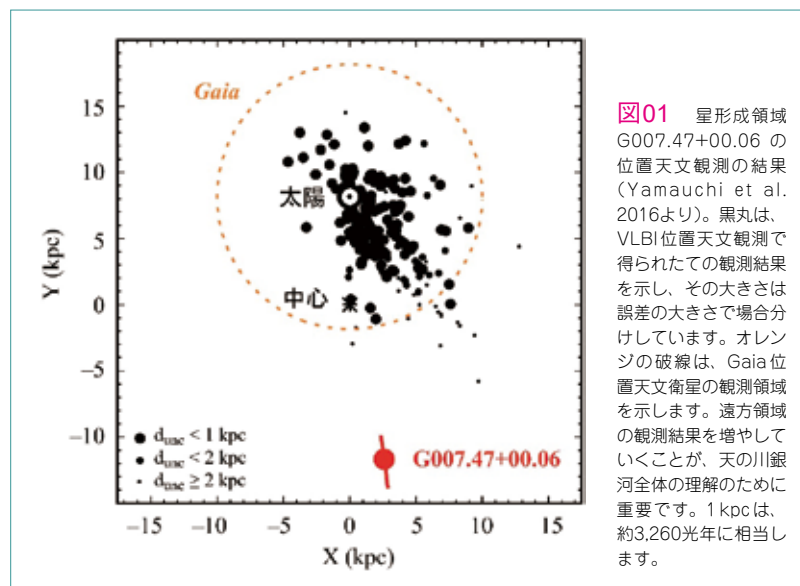
2018年に「phase spiral」という構造が、太陽系近傍の恒星円盤に発見されました。この構造の起源として、「いて座矮小銀河の近点通過」が提唱されています。また、このような矮小銀河の影響として、天の川銀河の外縁部円盤が動径方向に振動することが、シミュレーションで予測されていました。

我々はVERAを用いて、外縁部円盤に付随する4つの星形成領域の年周視差計測に成功しました。過去の観測結果と組み合わせると、外縁部円盤が動径方向に振動していることが分かりました(図02)。今後観測をさらに増やしていくことで、天の川銀河の衝突の歴史が明らかになることが期待されます。

●これから

現在はVLBIだけでなく、Gaia衛星が可視光帯でも位置天文観測を行っています。2020年代後半から30年代にかけては、赤外線位置天

文プロジェクトやSKAの活躍が期待されています。私たちは天の川銀河構造研究の、大革新時代を迎えようとしています。



●参考文献

- [1] Yamauchi, A., Yamashita, K., Honma, M., et al.: 2016, *PASJ*, **68**, 60.
- [2] Sakai, N., Nagayama, T., Nakanishi, H., et al.: 2020, *PASJ*, **72**, 53.

大質量星形成過程の解明に向けて

金 美京
(大妻女子大学)



★ new scope <解説>

★01 メーザー (MASER, Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation)

条件が揃った(高密度、高温)の分子ガスの中で、分子同士の衝突や星からの放射により分子たちが高エネルギー状態になります。その状態は不安定で、特定の波長の電波(光)を放出し、低いエネルギー状態に戻りやすいです。そこに外から電波が入ると分子が刺激され、次々と電波を放出し、同じ波長の電波が増幅される現象をメーザーと呼びます。その結果、直径数億kmの小さいスケールのガス領域から明るい電波が観測されます。星形成領域でメーザーを放射する代表的な分子には水(H₂O)、メタノール(CH₃OH)、水酸基(OH)などがあります。

●参考文献

- [1] Burns et al.: 2017, *MNRAS*, **467**, 2367.
- [2] Chibueze et al.: 2021, *ApJ*, **908**, 175.
- [3] Hirota et al.: 2021, *A&A*, **647**, 23.
- [4] Kim et al.: 2020, *ApJ*, **896**, 127.

VERAにより観測される多くのメーザー★01
源は銀河の渦状腕に分布する星形成領域から放射されます。星形成領域では、主に原始星からの双極流やジェットが周りの分子ガスと衝突する衝撃波面や原始星が周りのガスを吸い込む時にできる降着円盤の周辺、星からの放射により分子ガスがイオン化される電離領域(HII領域)の境界面などでメーザーが観測されます。

星形成過程、特に太陽の8倍以上の質量を持つ大質量星の形成過程は天文学の中でも重要な研究課題の一つですが、「大質量原始星に大量のガスが集まるメカニズム」や「降着円盤、双極流、ジェットの形成過程とその役割」など、まだ多くの謎が残されています。そこで、VERAやKaVAのようなVLBIによる水メーザーとメタノールメーザー観測から原始星周辺の双極流や降着円盤の構造と3次元の運動を調べ、大質量星形成過程の解明を目的とした研究を進めています。

最近の成果として、ALMAの分子ガスや星間塵の観測データとKaVAの水メーザー観測から大質量星が集団で生まれる現場の様子が観測されました(Kim et al. 2020)。この領域では太陽質量の25倍以上の大質量原始星とともにまだ原始星が生まれる前の高密度ガスが見つかりました。その原始星から噴き出す複数の双極流と回転するガスが観測され、大質量星近くの根元では水メーザーが確認されました。このような描像は大質量星の形成過程が太陽質量くらいの低質量星の形成過程と似ていることを示唆します。

さらに、VERAやKaVAによるメーザーのモニタリング観測から大質量星への質量降着率の時間変化を調べる研究も進んでいます。中心星への質量降着率の変化による増光(accretion burst)は低質量星形成領域でよく観測されますが、最近の観測から大質量星でも中心星の増光とそれに伴うメーザーの増光が確認されました。増光が確認された水メー

ザーの運動を測ってみると、中心星から間欠的に吹き出したジェットが周辺ガスにぶつかる様子(Burns et al. 2017)や、秒速約90kmの高速ジェットをトレースする水メーザーが中心星の増光とともに明るさが変化する様子(Chibueze et al. 2021)が観測されました。さらに、Hirota et al. 2021では新しく吹き出したジェットの空洞に水メーザーが分布し、その分布が既存のアウトフローの方向からずれていることからジェットが噴き出す方向が変わる可能性が提案されました。ジェットによる質量放出率の変化は中心星への質量降着率の変化を示唆しており、大質量星が低質量星と同じメカニズムで成長することを裏付ける証拠となります。

これらの結果はVERAやKaVAによる大規模、高頻度の観測が大質量星の形成や進化の研究に強みを持つことを示しており、このような観測例を増やしていくことで、大質量星の形成と進化のメカニズムの理解が進展すると期待されます。私たちは今後もVERAやKaVAとALMA、VLAを組み合わせたメタノールメーザーと水メーザーの大規模観測プログラムやメーザー源の変光をモニタリングするプロジェクト(M2O)への参加など、国際的共同研究による大規模モニター観測を続けていきます。

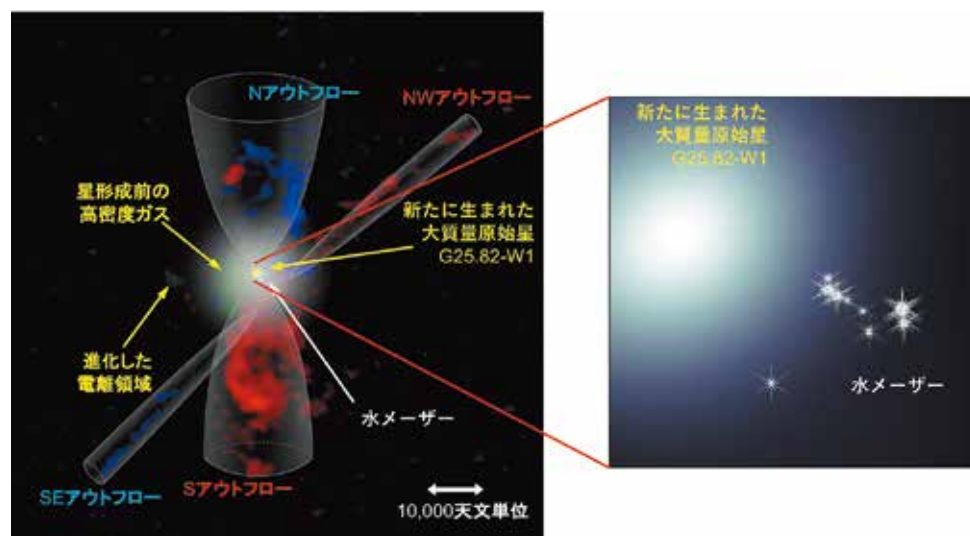


図01 大質量星形成領域G25.82-0.17の想像図。左図の赤と青のイメージはALMAで観測された一酸化ケイ素からの電波放射で、大質量原始星からの双極流を表します。その中心にある大質量原始星G25.82-W1は太陽の25倍位以上の質量を持つと考えられており、その星の近くから水メーザーがKaVAによる観測から確認されました(右図)。(クレジット: 国立天文台)

鹿児島大学の研究活動と貢献

中川亜紀治
(鹿児島大学理学部)



鹿児島大学キャンパスから車で北西へ1時間、東シナ海を見下ろす標高540mの高原にVERA入来局はあります(図01)。そばには理学部1m光赤外線望遠鏡ドームが併設されています。牧場に囲まれた緑豊かなこの地で、我々は約20年にわたり国立天文台と協力してVLBIによる高精度位置天文観測を進めてきました。

VERA入来局における鹿児島大学の研究は2000年の建設を機に始まりました。開局から今に至るまで、毎年20名ほどの学部生・大学院生や教員が局の観測運用に関わっています。泊まり込みでの研究と併せてアンテナの保守作業も共に行い、時にはグリスで真っ黒に汚れることもあります。VERA入来局はこうして多くの学生に貴重な経験をもたらしてくれました。博士課程ではナイジェリア、香港、英国、ハンガリーから留学生を受け入れ、彼らは世界の各地で研究者として活躍しています。VERAを用いた鹿児島大学での研究からは、2020年度までに46編の修士論文と12編の博士論文が生まれました。

VERAが進める複数のプロジェクトの一つであるMira型変光星の位置天文観測は鹿児島大学が中心となって取り組んでいます。Mira型変光星には、明るさとその変光周期の間に比例関係があり、天の川銀河の同種の星に対してその関係式を得ることは、変光星の距離の計測につながります。そこで我々はこの関係の確立と精度向上を目標としてきました。最初の成果は、Mira型変光星へ進化する直前の姿と考えられる半規則星S Crtの年周視差計測でした(Nakagawa et al. 2008)。当時大学院生だった対馬美雪と共にその成果を論文化したのは、VERAの定常運用開始から3年ほど後のことでした。

VERAのライバルとも言える光学位置天文衛星Gaiaによる2016年のデータリリース第1版から早くも5年が経ちます。我々が従来観測してきたMira型変光星はGaiaの格好の観測対象となり、研究の競合が生じ得る状況にありました。そこで我々は研究方針を改めて検討した末に、Gaiaとの相補性を持つ新たな研究として、観測対象を従来のMira型変光星からさらに進化が進んだOH/IR星へと展開することにしました。太陽の1~8倍の質量の星は、その進化過程で変光星の段階に至ると、星の内部

で合成した元素を周囲に放出します。やがて自らが放出した塵や分子ガスを外周に厚くまとい、赤外線で顕著に明るい状態に至ります。これがOH/IR星です。この時、星は可視光で暗くなり、光球は大きく膨張していることからGaiaでの観測は困難となり、VLBIが唯一の位置天文観測の手段となります。2019年には大学院生の守田篤史と共に、厚い塵をまとったOH/IR星NSV 17351の年周視差計測に成功しました(図02)。現在も多くのOH/IR星の観測を続けています。2021年度以降も、鹿児島大学はVERA入来局を通してVLBI観測を推進し、位置天文に基づいた研究成果を創出していきます。



図01 VERA入来局と鹿児島大学入来牧場。

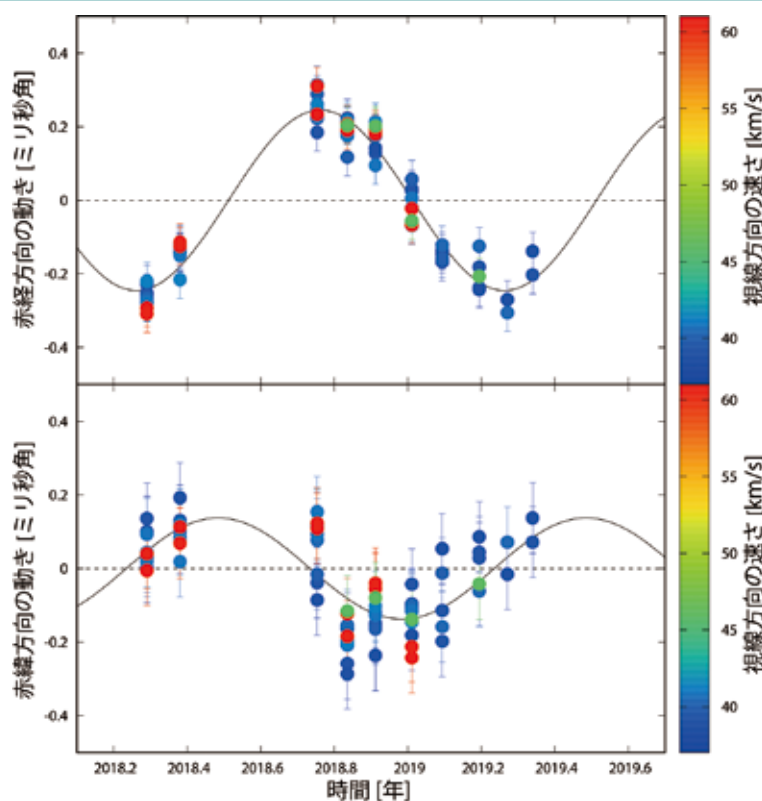


図02 年周視差によるOH/IR星NSV 17351の赤経(上)及び赤緯方向(下)の動き。

●参考文献

[1] Nakagawa et al.: 2008, *PASJ*, **60**, 1013N.

東アジア VLBI でさぐる 巨大ブラックホールから噴出する ジェットの様

田崎文得
(水沢 VLBI 観測所)



私たちは、VERA から KaVA (日韓合同 VLBI 観測網)、EAVN (東アジア VLBI 観測網) へと観測網を拡張し(図01)、活動銀河核 (AGN) の研究に取り組んできました。AGN とは、銀河の中心核が非常に明るく輝く活動現象のことです。中心には巨大ブラックホールが存在し、ガスがブラックホールに吸い込まれる降着流や、逆に噴出するジェットから強い電磁放射が起こっています。ジェットがどのように形成され加速されるのか、ガスがどのようにブラックホールへと降着するのか、という問題を解明するため、私たちは VLBI の高い視力を活かして、研究を進めています。本稿では、私たちが取り組む AGN 研究について紹介します。

●大規模観測プログラム

水沢を含む東アジアの研究者を中心に構成される KaVA/EAVN AGN サイエンス作業グループでは、いて座 A* と M 87 の2天体を大規模観測プログラムのターゲットとして観測しています。いて座 A* は天の川銀河の中心にある巨大ブラックホールで地球から最も近い巨大ブラックホールです。そのため、ブラックホールにガスが流れ込む様子を調べるのに非常に適した天体です。VERA 位置天文計測においても最重要ターゲットとして近年精力的に観測を行っており、銀河系の基本定数である銀河中心 (ブラックホール) までの距離の精密測定に挑んでいます★01。また M87 の巨大ブラックホールとともにシャドウの撮影対象としてイベント・ホライズン・テレスコープ (EHT) のターゲットにもなっています。

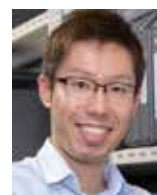
M87 はおとめ座の方向にある楕円銀河で、その中心に巨大ブラックホールをもち、そこからジェットが噴出しています。EHT がブラックホール・シャドウを撮影したことで知られた天体です。KaVA による M87 の観測が始まったのは、2013 年 4 月です。他の明るい AGN である 4C 39.25 や 3C 273 とともに試験的に観測され、VERA と比べて3倍以上高い感度で画像が得られたことで、ジェットのより暗い部分も含む複雑な構造を描き出すことに成功しました[1]。この成果を受けて M87 を高頻度に観測する研究が始まりました。2016 年からは KaVA 大規模プログラムとして多くの観測時間を獲得しています。その結果、M87 のジェットが徐々に加速する様子を捉えることができました[2,3]。2017

年からは中国の電波望遠鏡が試験的に参加し、2018 年からは大規模プログラムが KaVA から EAVN へ拡張しました。この観測から、EAVN では KaVA のみの観測と比べて画像の感度が4倍に、東西方向の画像の解像度が2倍に向上したことが実証されました。総合研究大学院大学の崔らを中心にこれらの観測の成果を論文にまとめました[4]。

●EHT との協力

EAVN は EHT と同時に様々な波長帯の望遠鏡が同じブラックホールを観測する EHT 多波長観測キャンペーンにも参加しています。ターゲットはいて座 A* と M87 です。2017 年春のキャンペーンでは、電波からガンマ線までの様々な波長の電磁波を一斉に観測し、EHT による M87 巨大ブラックホール撮影時にブラックホール周辺で何が起こっていたのかを明らかにしました[5]。EAVN の観測 (図02) からは、ジェットのプラズマ流がフレア現象★02を伴わない静穏な流れであったこと、ジェットの噴出方向がこれまで知られていた方向が大きく変化していること、ジェット南側が北側と比べて明るくなっていることといった、ジェット根元部分の詳しい様子が明らかになりました。EHT よりも長い波長帯で観測する EAVN は、EHT と相補的に力

秦 和弘
(水沢 VLBI 観測所)



★ newscope <解説>

★01

関連する説明は7~8ページも参照。

★02 フレア現象

短時間で明るさが大きく変動するような激しい爆発現象のこと。

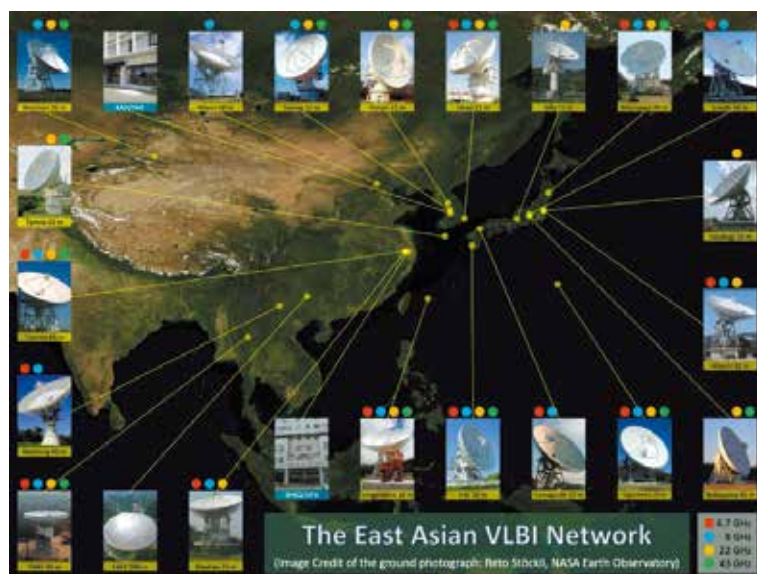


図01 東アジア VLBI 観測網の電波望遠鏡配置 (画像クレジット: The EAVN Collaboration, Reto Stockli, NASA Earth Observatory)。

を発揮して、ジェットとブラックホールのつながりを解き明かす強力なツールとなっています。

●3C 84 モニター観測

3C 84はペルセウス座の方向にある楕円銀河で、中心の巨大ブラックホールからプラズマの塊（ジェット）が間欠的に吹き出して、周辺の物質と相互作用していることが知られています。また、ガンマ線で明るく輝く爆発現象が観測されるため、ジェットの高エネルギー現象の物理をさぐる上でも重要な天体です。これまでVERAやKaVA、大学VLBI連携（JVN）を使った高頻度のモニター観測から、噴出したプラズマの塊が運動する様子を詳しく調べられてきました。2015年8月から2016年6月に全12回にわたる高い頻度で3C 84をKaVAで観測したところ、比較的新しく噴出したジェット（図03）が1か月後には離れた場所に現れ、その後数月にわたって同じ場所に停滞したのち下流へ向かって流れ始めるという、奇妙な運動をしていることがわかりました。また、この新しいジェットからの電波放射が徐々に明るくなっていることもわかりました[6]。これらは、ジェットが周辺にある濃いガスの塊とぶつかっていると考えれば説明できます。このようにジェットを高頻度にモニター観測することで、巨大ブラックホールの周辺環境についても詳しく知ることができるのです。

●ブラックホールの画像化

私たちは北米・南米・欧州・南極に設置された電波望遠鏡をつないでブラックホールを撮影するEHTプロジェクトにも参加しています。特に集中して取り組んでいるのが、画像化ツールの開発と実際の画像化作業です。2019年にM87のブラックホール・シャドウの画像を発表するにあたって、大きな貢献を果たしました。

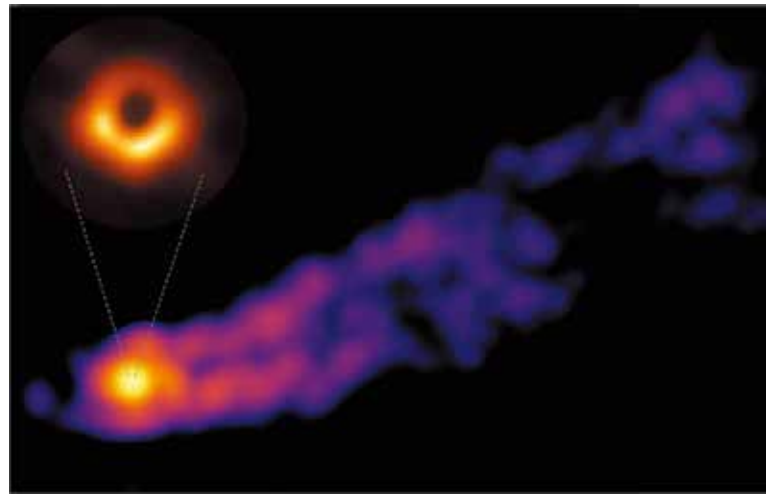


図02 EAVNで2017年に撮影したM87巨大ブラックホールから噴出するジェット。ジェットの根元にはEHTで撮影された巨大ブラックホール・シャドウが存在する（画像クレジット：EHT Collaboration, EAVN Collaboration）。

●今後の展望

以上のように、東アジア地域のVLBI観測網による機動性が高く高頻度な観測を武器に、様々なAGN研究の成果が出始めています。VERA/EAVN各局が取り組む広帯域化（高感度化）とともに、2022年頃からは、タイに新しく建設された電波望遠鏡も加わり、またオーストラリアとの合同試験観測を行うなど、アジア太平洋地域の一層強力なVLBI観測網へと拡張を進めています。さらには、これまで片方の偏波しか受信できなかったVERAを両偏波受信できるよう整備し、ブラックホールやジェットの磁力線構造まで高感度に観測できる体制も整いつつあります。これらハード面のアップグレードと、新たに開発した画像化ツールなどソフト面での新技術も組み合わせることで、私たちはジェットの発生機構や巨大ブラックホール周辺構造をさらに詳しく解き明かしていきたいと考えています。

●参考文献

- [1] Niinuma et al.: 2014, *PASJ*, **66**, 103.
- [2] Hada et al.: 2017, *PASJ*, **69**, 71.
- [3] Park et al.: 2019, *ApJ*, **887**, 147.
- [4] Cui et al.: 2021, *RAA*, in press.
- [5] Event Horizon Telescope Multi-Wavelength Science Working Group et al.: 2021, *ApJL*, **911**, L11.
- [6] Kino et al.: 2018, *ApJ*, **864**, 118.

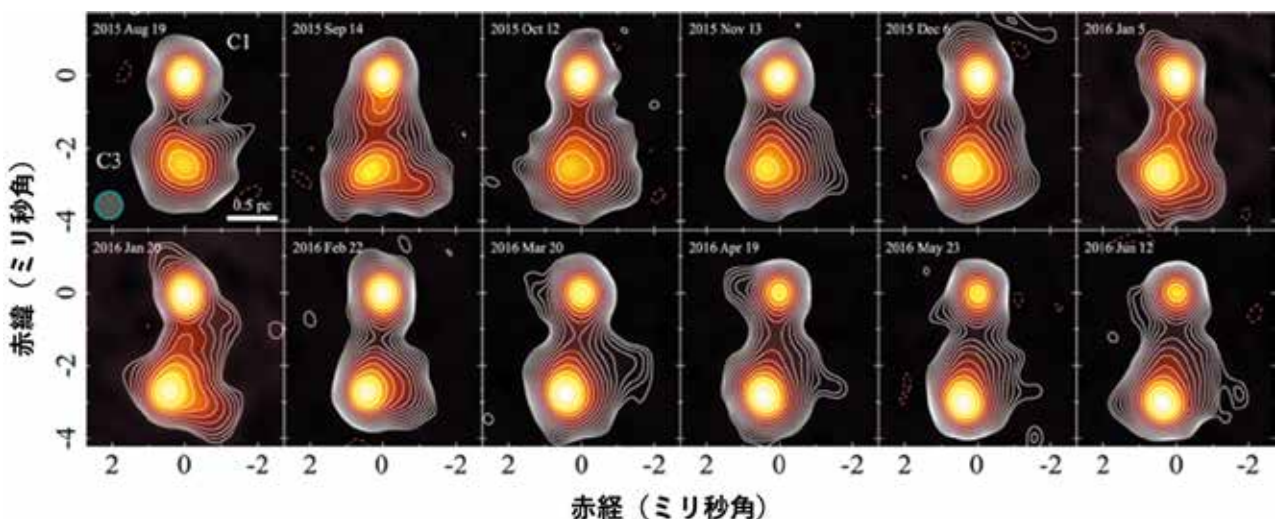


図03 3C 84をKaVAでモニター観測した様子。南側の電波放射領域が北側の電波放射領域から離れ、徐々に南へと動く様子を捉えた[6]。

VERAの新天地・ 中性子星の研究と展望

イ・スジン
(東京大学大学院)



宇宙の灯台に例えられる「パルサー」や、宇宙最強の磁場を持つ「マグネター」は、中性子星であると理解されています。近年盛り上がりを見せる「高速電波バースト(FRB)」★01の起源の一つとしても知られるようになり、中性子星に今、注目が集まっています。

電波パルスの発見から半世紀が経ちますが、電波がどのように放射されているのか、実はまだ十分に理解されていません。定常電波パルスに加えて、パルサーの巨大電波パルス(GRP)★02、マグネターのMRO(Magnetar Radio Outburst, マグネター電波アウトバースト)、そしてFRBが知られるようになり、放射メカニズムの解明はますます重要になっています。

中性子星が灯台と異なるのは、平均的には200 km/sというものすごい速さで、宇宙空間を移動しているということです。この高速な固有運動の起源は、超新星爆発の反動だろうと考えられています。中性子星は比較的重たい星の超新星爆発によって生まれるのが定説です。しかし、位置天文観測による中性子星と超新星残骸の対応付けが進んでいないために、様々な種族に分類される中性子星がそれぞれどのような超新星爆発によって生まれるのか理解が進んでいません。超新星爆発のメカニズムとも深く関わる問題です。

従来、中性子星はVERAの有力な観測対象ではありませんでした。パルサーの定常パルスは暗いため、感度が足りなかったためです。しかし、VERAの広帯域化による感度の向上、そしてミリ秒スケールのパルスを検出・解析するプログラムの整備により、明るい現象(GRP, MRO, FRB)が検出可能なターゲットになりました。世界の大型鏡の中性子星研究では主流ではない22/43 GHz帯そしてVLBIによる世界最高精度の位置速度決定を提供できる、ユニークな望遠鏡になったのです。

我々は、2018年末にいて座の方向にあるマグネターXTE J1810-197で発生したアウトバーストをVERAで観測しました。しかし明るい較正天体が近くなかったため、残念ながらVLBI位置天文観測は達成できませんでした。達成できていれば位置速度を割り出して、どの超新星爆発で生まれた中性子星かを特定できたことでしょう。観測から解析までの流れを確立することはできたので、次のアウトバーストでは

VLBIを成功させたいと考えています。

一方で、協力を要請していた国内の飯館・鹿島・日立の各望遠鏡とVERAのデータを組み合わせ、アウトバースト電波のマルチバンドスペクトルとその時間変化を捉えることに成功しました[1]。図01(上)が表している平均波形からは時間または観測周波数による電波マグネターの大きい変動性が見えています。また、我々が観測した周波数帯で電波スペクトルが凹んだ、ダブルピークをもつ電波スペクトルであった可能性が明らかになりました(図01下)。このようなマルチピーク型のスペクトルはマグネターを除く他の中性子星からは観測されないことであり、中性子星の多様な放射メカニズムの理解のために重要な情報を得ることができました。

将来は、このような広帯域な電波スペクトルの特性や、偏波の特性の研究を進めたいです。国内の望遠鏡で機動力のある観測を継続しつつ、SKAなどの大望遠鏡でのサイエンスも展開していきたいと考えています。

赤堀卓也
(水沢 VLBI 観測所)



★ newscope <解説>

★01 FRB (Fast Radio Burst, 高速電波バースト)

数百ナノ秒-数ミリ秒の非常に短い時間の突発的な電波パルス。発生機構はいまだに未解明である極めて高エネルギーな爆発現象であります。マグネターやコンパクト天体の合体などが発生源として提案されています。

★02 GRP (Giant Radio Pulse, 巨大電波パルス)

定常パルスより10倍以上明るい散発的な電波のパルス。かにパルサーを含む20個未満のパルサーから観測されていますが、放射メカニズムが知られていない高エネルギー現象であります。

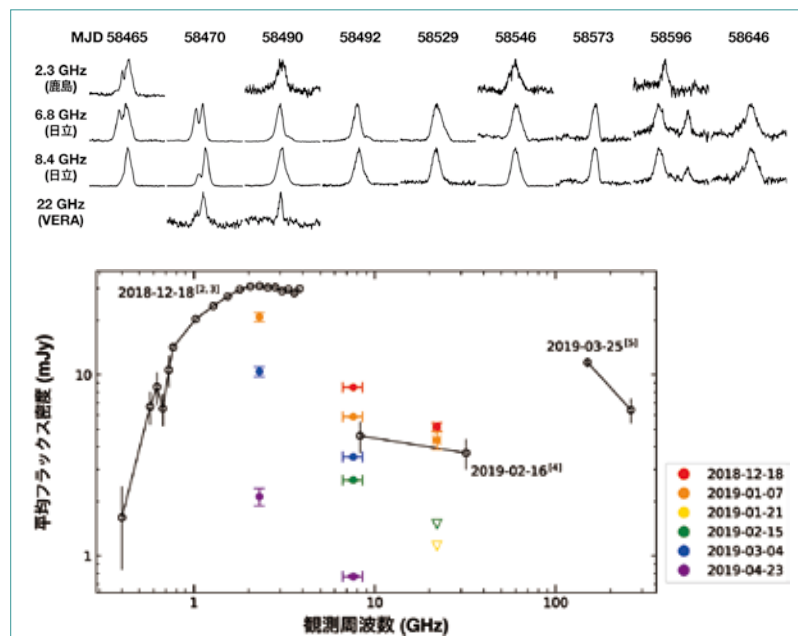


図01 マグネターXTE J1810-197で2018年から2019年に発生したアウトバースト。上段は正規化されたパルスのプロファイル、下段は電波スペクトル(22 GHz帯の赤・橙色のデータ点がVERAのデータ)。VERAの初めてのマグネターアウトバーストの検出となった。

●参考文献

- [1] Eie et al.: 2021, *PASJ*, submitted.
- [2] Maan et al.: 2019, *ApJL*, **882**, L9.
- [3] Dai et al.: 2019, *ApJL*, **874**, L14.
- [4] Pearlman et al.: 2020, arXiv:2005.08410.
- [5] Torne et al.: 2021, *A&A*, **650**, A95.

VERA-upgrade

日本から東アジア、グローバルアレイへ 位置天文から精密天体物理への発展

小山友明
(水沢 VLBI 観測所)



VERA は定常運用開始から15年が経過し、銀河系基本パラメーターの決定、渦巻き構造の詳細を明らかにするなど成果をあげてきました(7~9ページ参照)。この間観測システムも以下のように3段階にわたりアップグレードしてきました。1) DIR2000磁気テープ記録装置、ハードウェア三鷹FX相関器のリプレイス、2) 広帯域化による感度向上、3) EAVN へ向けた各種整備(両偏波、異周波(22 GHz帯、43 GHz帯)同時受信、RF(受信電波)ダイレクトサンプラーを用いた超広帯域化)。最初のリプレイスに関しては、VERA建設当初より用いていたテープレコーダーDIR2000の設計寿命10年が過ぎ、また三鷹FX相関器はVSOP時代より20年を超えて運用していたことから、HDD-Raidを用いたFPGAベースの記録装置OCTADISK、相関器に関しては汎用サーバーを用いたソフトウェア相関器にリプレイスを実施し、2015年に三鷹キャンパス南棟3階より水沢キャンパス実験棟2階へ相関局を移設することで完了しました。

その後観測が進むにつれVERAの位置天文計測に必要な参照電波源の不足が、特に主要な天体(銀河中心いて座A*やはくちょう座領域等)で顕著になり、またより狭い離角で観測することによるさらなる精度向上を目指す必要が生じてきました。そこでNICT開発のADS3000+サンプラー、光伝送装置OCTAVIA、ソフトウェアレコーダVSRECを開発することで1 Gbps→8 Gbpsへの記録速度向上(帯域幅4倍)を達成し、2017年より定常観測を開始しました。現在VERA観測の半数以上が感度の高い広帯域観測となっており、いて座A*などの重要天体含め広帯域2ビーム観測が継続されています。

VERA建設開始から20年が経過し、その間国内ではJVN、海外では韓国KVN、上海65m局等が立ち上がり、これらを含めたVLBIアレイとしてEAVNが構築され、徐々にEAVNとしてのVERA観測が増えつつあります(10ページ、12~13ページ参照)。EAVNはVERAとは異なり汎用VLBIアレイであることから、2ビーム位相準拠アストロメトリに特化したVERAをより多彩な観測システムにアップグレード、変革する要望が増えてきました。まずは天体の磁場等を測定するため

に必須の両偏波化について22, 43 GHz帯の受信機改修、ダウンコンバーター新設等をVSOP地上局整備より受け継ぎ行い、2020年度にVERA全局で22, 43 GHz帯の両偏波化を達成しました。次にVERAの主要な国際共同アレイであるKaVA(KVN+VERA)では、KVN局が4周波同時受信というユニークな特徴を持っており、VERAも22, 43 GHz帯同時受信を達成すべく、KVNチームと協力して観測システムの設計、搭載を行い、2016年度より試験観測を開始、現在共同利用観測が実施されています。さらには両偏波と異周波同時受信を同時に可能にすべく観測チャンネル数の増加(2→4)、さらなる広帯域化による感度向上(8 Gbps→32 Gbps)、また今後の運用を考慮し、経過年数20年近くになるアナログ、デジタル装置のリプレイス、簡略化(ベースバンドコンバータ、光伝送装置なし)などを計画、実施中です。具体的には超高速RFダイレクトサンプラーOCTAD+統合RF、IF(中間周波数)スイッチ(16入力4出力)の開発、搭載、試験観測をEAVNメンバーと共同で継続しています。2022年度からのEAVN試験運用開始を目指しており、その際にはVERAの持つ5つのバンド(1, 6.7, 8, 22, 43 GHz帯)、両偏波のRF、IF信号から任意の4チャンネルを8 Gbps(2 GHz帯域幅)で観測することが可能となり、現在1 Gbpsのみで運用しているEAVNを大幅にアップグレードしたシステムとなる予定です。上記観測システムを備えたEAVNでは、EHTで成果を挙げたM87、また磁場観測が重要な他のAGN、多数の輝線が存在する晩期型星や、星形成領域での観測で大きな成果が得られると期待しています。今後VERAはEAVNサイエンスへ発展し、合わせて観測システムも進化し続けます。



図01 VERA広帯域観測システム(2018)。

水沢 VLBI 観測所の将来計画

— EAVN, Global VLBI array, SKA —

小林秀行
(水沢 VLBI 観測所)



日本におけるVLBI研究の将来計画は、VLBI懇談会将来計画WG (VLBI懇談会) において検討が進められてきました。VLBI観測の持つ他の観測装置を圧倒する空間分解能・位置決定精度を強い独自性として、他の研究手法とも相補的かつ強いシナジーを持ち、星の誕生と終焉およびコンパクト星の起源と進化の解明、および銀河と超巨大ブラックホールの形成と進化の解明の2つを国内VLBIコミュニティの将来計画の柱として提案されています。上記の柱を実現するために、

- ①センチ波帯を網羅した観測システムの開発およびアレイの拡張により、高空間分解能観測によるコンパクト天体の研究分野の開拓と大学を中心に実績を積み重ねているメタノールメーザーモニターを基軸とした大質量星形成過程の観測的研究を発展させる。
- ②従来のミリ波帯を中心とした高齢星における質量放出過程の観測的研究、天の川銀河中心領域の位置天文観測、超巨大ブラックホールおよび活動銀河核ジェットの観測的研究の継続および、86GHz など、より高い周波数のアレイへ拡張し研究を発展させる。
- ③アレイの超広帯域化による地球内部の流体核自由章動/内核自由章動の高精度計測により、内部組成・構造・運動の理解を目指す。としています。これらを実現するために、日本・韓国・中国のVLBI局で構成される東アジアVLBI観測網 (EAVN) の観測時間・観測性能を向上させることがまず行うべきことであり、VERA観測網は、両偏波化、広帯域化、高周波化などを踏まえて、発展的に東アジアVLBI網に統合する方針で進んでいます。さらに国内大学連携VLBI観測網や野辺山45m鏡もさらに多くの参画が求められており、検討中です。EAVNは、中国で100m級の大口径望遠鏡2基の建設や韓国のVLBI網の拡張などが進められており、世界でもっとも感度の高いVLBI網になることが見込まれます。また大きな研究成果を上げたサブミリ波VLBI観測網EHTの第2期のネットワーク整備が検討されており、これへの継続的な参画も検討されています。さらに並行して、建設の開始されるSKA1計画および建設の検討されているngVLA計画を契機としてヨーロッパ、オーストラリア、北米のVLBIを結合したGlobal VLBI Array (図01) の議論の

ためにIAUにWGが組織されており、2名の発起人の1人として日本からも参画しています。世界中のVLBI観測局を結合して、高感度、高空間分解能、高頻度の観測を達成することが地上VLBI観測網の究極の姿であり、日本の積極的な参画が、世界からも求められています。これらの活動を通して、上記の日本の研究コミュニティの研究目標を達成していくために、さらに具体化に向けて水沢VLBI観測所を中心にVLBI研究コミュニティと検討を進めています。

また水沢VLBI観測所は、これまでの研究開発の実績を踏まえて、SKA1計画自体(図02)への参画も進めており、SKA1検討グループが組織され、In-kindな参加を始めており、科学面での研究の発展、SKA研究コミュニティとの共同を行いつつ、VLBI観測で求められる高い精度達成の実績をもとに技術的な貢献も求められています。

● VLBI 懇談会

<https://www2.nict.go.jp/sts/stmg/vcon/>



図01 Global VLBI arrayのアンテナ配置図、世界の50局程度のVLBI局が参加することが見込まれている。



図02 SKAの構成イメージ図 南アフリカに199台のパラボラアンテナ、オーストラリアに512の低周波数アンテナステーションで構成される。(クレジット: SKA Observatory <https://www.skatelescope.org/news/skao-is-born/>)

日本天文遺産に選ばれた 水沢地区の機器と建物

亀谷 収
(水沢 VLBI 観測所)



2021年3月18日に眼視天頂儀1号機に加えて旧眼視天頂儀室、目標台及び覆い屋の3点が、「臨時緯度観測所眼視天頂儀及び関連建築物」という内容で日本天文学会が選定する日本天文遺産(第3回)に認定されました。

これらの3点は、水沢 VLBI 観測所の前身の臨時緯度観測所で1899年12月より観測を開始した地球の極運動の国際共同観測で、一つの観測システムとして使用されました。そして初代所長の木村榮による1901年のZ項発見に直接貢献しました。この内、木村榮記念館内に現在設置されている眼視天頂儀1号機は、ドイツのヴァンシャフ社製で、昭和初期まで使用され、その後観測網の南半球への拡大の為にオーストラリアのアデレードでも使われました。

日本天文遺産に認定された国立天文台の機器としては、第2回で認定された6mミリ波電波望遠鏡に続き、とても喜ばしい事です。

国立天文台水沢 VLBI 観測所では、多くの歴史的に貴重なものが最新鋭の観測装置、スーパーコンピュータ等と共存しています。これまでも、今回、日本天文遺産に認定された旧眼視天頂儀室、目標台及び覆い屋に加えて、木村榮

記念館(臨時緯度観測所本館)、奥州宇宙遊学館(旧緯度観測所本館)の計4件が、文化庁登録有形文化財(建物)に2017年に選ばれています。

また、今回の日本天文遺産登録認定には至りませんでしたが、緯度観測所時代に導入された当時の最新鋭の観測装置が多数あります。例えば、昭和になって導入された眼視天頂儀2号機、浮遊天頂儀、写真天頂筒などは、Z項の原因が地球内部の流体核(外核)とマントルとの相互作用で引き起こされる事だと1970年に解明されるために、重要な役割を果たしました。貴重な観測記録も多数保存されており、これらについても、この機会に皆様の目に留まれば、喜ばしいと思います。



図01 眼視天頂儀1号機。

広報・教育活動 (アウトリーチ)

小澤友彦
(水沢 VLBI 観測所・
広報担当)



広報や教育活動を通して、地域の皆さんや企業団体の方々からよりたくさんの声をいただけるようになりました。そんな中からほんの一部ですが、ご紹介できればと思います。

●地域の皆さんとのつながり

2019年4月世界を席巻した史上初となるブラックホール撮影では、観測所を広く一般の方にも知っていただき、たくさんの反響がありました。観測所のある岩手県奥州市では、テレビや新聞、市の広報誌などで取り上げていただくだけでなく、水沢菓子組合の皆さんが協力し



図01 みずさわ観光物産センター Zプラザアテルイ外観(上)とブラックホール菓子販売の様子(左)。

てブラックホールをモチーフにお菓子やお煎餅が製作されました。観測所近くの物産センター(図01)などで今でも購入できます。またブラックホールカラーで色付けされた南部鉄器の茶釜など、地域の名産としても取り上げていただきました。

この年は、臨時緯度観測所としてこの地に設置されて以来、120年を迎える年でした。そこで地域の方々や観測所の退職者の皆さんにご協力いただき、記念式典や講演会、展示会を行いました。式典ではブラックホール菓子をお土産としてご用意し、展示会では新聞社協力のもと観測所にまつわる歴史的な記事を展示しました。

このようなことを通じて地域の皆さんとより一層つながりを深めたように思います。岩手県県南広域振興局とは、2020年度から県南地域の図書館等を対象に巡回展(図02)を行うことになりました。コロナ禍で集客イベントが制限される中、県南広域振興局ならびに各市町の皆さんには感染対策など多大なご尽力をいただき、展示会や講演会、ワークショップを無事開催することができました。研究成果など最新情報を直接見て感じていただく機会として今後も継続してゆきたいと思います。

このつながりは全国へと広がりました。石垣島天文台とVERA石垣島観測局がある沖縄県石垣市では、2005年から廣田助教、花山特任専門員、堀内特任研究員が中心となり、高校生を対象とした美ら星(ちゅらぼし)研究体験隊を実施しています。この活動は、日本学術振興会の「平成30年度ひらめき☆ときめきサイエンス推進賞」を受賞するだけでなく、「恋する小惑星(アステロイド)」(©Quro・芳文社)というアニメ作品で描かれました。幼い頃から小惑星発見の夢を抱く高校生たちの物語、そのクライマックスという華やかな場所へ取り上げていただき、関係者は予想もしない驚きと感動を覚えていました。

地域や年代、興味の対象を越えた広がりは、ファンクラブや応援団のような活動へとつながりました。岩手ではVERAサポーターズクラブとして、また石垣島では高校生が中心となりベラジニアとして、地元の皆さんによる応援活動へと広がりました。地元の皆さんが心をつなげて応援してくださることは、職員にとって何よりの励みとなりました。

●観測所に届けられるさまざまな声

120年を越える歴史を持ち、今もなお最先端の研究を続ける観測所として、多くの方に知っていただいたことで、さまざまな評価をいただきました。地域を代表する新聞社からは、岩手日報文化賞、河北文化賞を、また奥州市から市勢



図02 県南広域振興局による図書館巡回展。金ヶ崎町立図書館での展示(上)と花巻市立図書館でのワークショップ(下)の様子。

功労表彰特別功労賞を授与いただきました。

また歴史的に貴重な天文学・暦学関係の遺産として、国立天文台水沢VLBI観測所にある建物や機器を「臨時緯度観測所眼視天頂儀及び関連建築物」として、2020年度(第3回)日本天文遺産に日本天文学会より認定いただきました。

企業や団体、また多くの方々に知っていただき応援いただけることに、職員一同、本当に感謝しています。また研究や教育活動への助けとして、多くの個人団体の皆さんからご寄付をお寄せいただきました。先端的な研究や若手の指導育成、また歴史的な施設の保存展示、広報活動などへと活用して参ります(図03)。今後もより広く、より多くの皆さんに知っていただけるよう努めて参りますのでご声援いただければ幸いです。



図03 寄付で製作したクリアファイル(ブラックホールデザイン)と次期配布予定のクリアファイルデザイン(銀河地図とVERA)。

「天文シミュレーションプロジェクト 2020年度流体学校」開催報告

石川将吾 (天文シミュレーションプロジェクト)

2021年3月10日から12日(基礎編)、22日から23日(応用編)とおおよそ3週間にわたり、天文シミュレーションプロジェクト(以下、CfCA)は2020年度流体学校を開催いたしました★01。CfCAでは天文学専用の数値シミュレーション用大規模並列計算機であるCray XC50(通称:アテルイII)を運用しています。XC50の新規ユーザの獲得やユーザビリティの向上のために、実際にXC50を用いて数値流体シミュレーション実習を行うスクールをこれまでにも開講してきました。

本年度は講師として富田賢吾氏(東北大学)、高棹真介氏(大阪大学)、小野智弘氏(東京工業大学)をお招きして、Athena++による磁気流体シミュレーションの講義と実習を行いました★02。講師の富田氏はAthena++コード開発者の一人であり、また高棹氏と小野氏もAthena++を用いて卓越した研究を多数発表しています。今年度は新型コロナウイルスの感染拡大防止のため、流体学校では初となるZoomを用いたオンライン講習会となりました。オンラインのため参加がしやすく、また講習内容も過去2年間続いた粒子法から格子法へ変更されたこともあり、計65名もの参加者が集いました。また参加者は学部2年生から大学院の教授まで非常に幅広い層から構成されており、流体学校の注目度の高さが伺えました。

基礎編では、まず富阪幸治教授(国立天文台)が数値流体力学の基礎や磁気流体力学方程式の性質についての講義を行い、シミュレーション実習の基礎となる物理について解説を行いました。その後、富田氏が磁気流体シミュレーションコードAthena++の導入を行い、コード内でどのように磁気流体力学方程式を解いているか、また空間全体に対して一部領域を細かい物理スケールで分解して天体現象を追う必要がある際に、必要な領域の空間分解能のみを上げる適合格子細分化(AMR)法について解説しました。一通り数値流体力学やコードに関しての解説が終了したのちに、実際にXC50を用いたシミュレーション実習が行われました。数値流体シミュレーションでは、異なる種類の流体を壁を隔てて置き、壁を取り払った後の時間進化を追う衝撃波管問題

と呼ばれるよく知られたテスト問題があります。参加者はXC50を用いてAthena++で衝撃波管問題を自ら計算し、磁場を入れた場合と入れない場合での時間発展の違いなどを調べました。また、自ら行ったシミュレーション結果の可視化をgnuplotとVisitを用いて行い、計算機の中でどのように物理が解かれ、そしてそれがどのように時間進化するのかを視覚的に調べる方法を学びました。

応用編では、より実践的なAthena++の利用法に主眼が置かれて講義と実習が行われました。まず富田氏が計算の高速化を実現するためにAthena++に施した工夫や利用者が気をつけるべきこと、またAthena++の富岳への対応状況や利用する際の注意事項を解説しました。また、高棹氏や小野氏がAthena++を用いてこれまでにどのような天体現象を解き明かしてきたのかを紹介しました。応用編での講義は数値流体シミュレーションで実際に研究を行う際に留意すべき注意点やノウハウの解説を通して、シミュレーションにより得られた計算結果を盲信せずに自ら物理学に基づいてその現象の理解や解釈を行うことがいかに重要かという点を参加者へ伝えていました。実習では、基礎編でシミュレーションを行なった衝撃波管問題を特殊相対論の条件下で解くなどより実際の研究に近い環境でのシミュレーションを行いました。

本年度はオンライン講習会であったので参加者と講師のコミュニケーションはZoomやSlackを通して行われましたが、意欲的な参加者は与えられた実習を手早くこなした後に講師のサポートのもと独自の初期条件や境界条件を設定したり、自身の研究テーマと近い状況でのシミュレーションを行う様子などが見受けられました。また、シミュレーション結果を可視化した図をSlackで共有し、ソフトウェアの利用法やパラメータを変えてシミュレーションを実行した際の結果の比較など参加者間で互いに学び合う姿勢も多く見られました。流体学校後に参



講師と参加者の集合写真。

加者へ実施したアンケートによると、回答者のほぼ全員が講習会の内容に満足であったとの回答をいただきました。来年度以降もXC50利用者の拡大や数値流体シミュレーションコミュニティの活性化のため、参加者にご満足いただける流体学校を開催する所存です。

最後になりますが、講師を務めていただいた富田氏、高棹氏、小野氏に心より感謝を申し上げます。3週間という長期間にわたり参加者の満足度が非常に高い講習会を実施できたことは、ひとえに講師の方々の多大なるご尽力のおかげです。また、2000年に開催された流体学校から長きにわたりCfCAの流体学校に携わっていただいた富阪幸治教授にも心より感謝とお礼を申し上げます。

★01 本講習会は、「富岳」成果創出加速プログラム「宇宙の構造形成と進化から惑星表層環境変動までの統合的描像の構築」の後援を受けて開催されました。

★02 講習会で利用した講義資料やコードは以下のサイトからダウンロードすることができます。
<https://www.astr.tohoku.ac.jp/~tomida/athena/tutorial.html>

国立天文台研究集会

「(サブ) ミリ波単一鏡の革新で挑む、天文学の未解決問題」の舞台裏

古屋 玲 (徳島大学)

●私たちの挑戦、皆さんとの挑戦へ

3月31日18時、国立天文台退職者記念パーティが始まり、長谷川哲夫さん、富阪幸治さんや立松健一さんらが抜けたあとも、徳田一起さんの声が響いていた。10分遅れで始まった「議論」において、星形成を軸に近傍宇宙においてチャレンジしたいことを早口でまとめている。108名は、最終日のクライマックスに不足はない参加者数だ。一般論に絞って、「議論」をまとめるならば、20年後の展開を意識しつつ、ひとりひとりがサイエンスの間口を広げつづけること、そして「つなぐ」ことの重要性だ。アタリマエだろう。

望遠鏡が巨大化し、運用は国際化や複雑化している。個々の研究は深化、細分化が進んでいる。気がつけば、あちこちで、あるべき姿からの乖離が甚だしい。敢えて、強い言葉で言う。「望遠鏡ができれば、使わせてもらう」という姿勢の研究者ばかりのコミュニティから、真のブレークスルーがうまれるだろうか？ 現代科学のほとんどは、分業なしに進展しない。頭ではわかっていながら、私たち世話人の多くは、研究会準備の初期段階では“science driven”の言葉がもつ心地よさに満足していた。

3月29日から31日にかけて、表題のオンライン研究会を開催した。実は、このタイトル、開催3ヶ月前に再々変更したものなのだ。準備のプロセスで、私たちの意識に変化がおきた。その変化が何であるかを私たち自身が咀嚼し、言葉を与えるのに、11ヶ月を要した。それは、「ひとりひとりに科学研究と技術開発研究をつないでほしい」、という願いであり、「(サブ) ミリ波単一鏡の革新で挑む」に凝縮させた。世話人の意図を汲んでいたが、わずか2ヶ月で魅力ある尖った講演を準備して下さった招待講演者の皆さん、ご参加いただいたすべての皆さん、支えていただいた研究推進課と科学研究部スタッフに感謝の気持ちをお伝えしたい。100名を超える参加者が何を議論したかは、研究交流委員会のHPで公開さ

れている報告書★01や研究会HP★02をご覧ください。ここでは、舞台裏を思い出すままに綴る。

●そもそも、野辺山

まだ暑さも感じられる2019年9月の野辺山。本館閉鎖の数週間まえ、「Nobeyama Science Workshop - 令和元年」が開かれた。合宿形式ともいえる3日間、コロナ禍の今振り返ると、古き良き時代の最後の研究会だった。そこで議論されたことのひとつが「将来は？」だった。

野辺山WSで将来について、大きなクチを叩いた手前、何らかの形で責任をとらないといけないなあとの思いは、8名の方へのメール「“SPICA時代”の(sub) mm single-dish 科学：国立天文台研究集会応募？」(2019年12月)につながる。全員から快諾をいただき、世話人グループ結成へと進んだ。

当時のやりとりを発掘すると、「以下のような中堅若手が理想的です。さまざまな観点で、多角的に俯瞰できること、合意したスケジュールで合意した水準で仕事をできる最低限のビジネス・スキルがある人」とあった。理論や技術開発の研究者の参加も得て、20名の世話人グループを結成できたのは、国立天文台研究会助成〆切の前日。目標の共有のためのネット議論の余裕など皆無。2020年代をどう捉えるかの考え方の違いから、“SPICA時代”の語を削り、「2020年代の(サブ) ミリ波単一鏡サイエンスを展望する」として〆切に滑り込ませた(2020年1月)。

●何とかなるだろう

何の仕事であれ、引き受けるべきか、提案すべきか、を判断するとき、私なりの基準がある。それは「全員がまったく働かない場合、仕事をぜんぶかぶっても、独りでやりきれるか？」の見極めである。応募直前に揃った世話人の顔ぶれをみて、この懸念はあっさり消えた。

実は私、逃げ足が速い。ほとんどの場合、空振りに終わって家族から笑われるのだが、締め切り前後に武漢から伝わるニュースを聞き、深夜の帰宅時にマスクを買い求めた。その時点では、2009年の新型肺炎騒ぎでの「すばる春の学校」(当時、世話人のひとりだった)へのインパクトくらいは想定しておくべきかなあと考えていた。

そうこうするうちに、採択通知がくる。研究交流委員会からの審査コメントのうち、「宇宙電波懇談会シンポとの違いは？」は、我々のやりたいことをやればよいと開き直すことにした。一方、「プログラムが盛りだくさんすぎる」と「装置や波長が限定されている」との指摘には、最後まで悩み続けることになる。

採択通知を受け取って、2時間もしないうちにやったことがある。すばる棟大講義室を抑えること。1年以上まえの予約なので、システムからは無理。富阪幸治さんが事務室へ足を運んでくださった。数日後、tennetへ開催通知を投函。そのときの研究会タイトルは、何と「2020年代の(サブ) ミリ波単一鏡サイエンスの展望：地上大型サブミリ波単一鏡がほしい」であった。これは他の世話人に相談もなく、無断で私を変えたもので、完全に暴走。不思議とお叱りはなかった。ともあれ、ひとまずの準備は完了。新型コロナウイルスの影響で、研究会中止のお知らせが毎日のように流れる2020年3月だったが、1年後には「何とかなるだろう」と根拠もなく考えていた。思い出すと、ちょっぴり恥ずかしい。

●秋、方向性も世話人の足並みもバラバラ

2020年度前半は、毎週3コマのオンライン授業の準備地獄で、何も進まなかった。世話人ほぼ全員でのオンライン会議を初めてできたのは、9月24日。国立天文台研究集会に応募するまに終わらせておくべき、ゴールに関する合意形成が中心となる有り様で、具体的なことは何一つ決められなかった。「若手には目先

のサイエンスを示すのも重要」との意見もある一方、「2030年代の“大型”装置は、宇宙での生命の起源、基本天体の形成、基本的な構造などに関してなにがしかの大きな貢献が必要」との一般論には皆、異論がなかった。しかし、それを具体化する道具としての「特定のプロジェクトを意識したセッション構成」には、強い反対意見がだされた。このときの会合資料を振り返ると、2030年代を牽引する望遠鏡の技術開発研究は付け足し程度の扱いであった。

先行きに不安を覚えたのであろう。ひとりから後日、「中心となる世話人がある程度エゴイストになって進めないと」というメールをいただいた。そんなところへ青天の霹靂というべき報せが飛びこんでくる。サブミリ波単一鏡によるサイエンスと親和性の高い、SPICA計画の中止である。遠赤外線観測に大きな期待を寄せてきたSPICAユーザの受け皿として、地上サブミリ波・テラヘルツ単一鏡の役割りは質的に変わるだろう。深まりゆく秋、誰もが身の引き締まる思いを持った。

●1月末、招待講演者が決まりはじめる

年内に招待講演者を確定させ、一般講演を募集してから屠蘇を迎える、と秋には皆考えていた。それが遅れに遅れ、2月18日となってしまふ。私が天文学会キャリア支援委員会の毎月のオンライン・イベントと1月5～7日に開催した、JCMTワークショップの準備を優先させていたからである。世話人組織としての仕事放棄に等しい、ひどい話である。しかし、後者はサブミリ波単一鏡を用いた研究者が議論する機会であったので、無駄ではなかった。3月末の研究会本番に向け、各分野の研究の動向を前もって知ることができた。何よりもオンライン研究会実施のテスト・イベントとなった。

1月24日、世話人のほぼ全員がZoom会議室に揃う。さまざまな望遠鏡や計画の情報を共有したのち。招待講演者の決めるまでの流れを話し合った。技術開発研究の重要性を踏まえ、研究会の3/8の時間を投入することも合意された。研究会の主題を大まかに星間物質・星形成・太陽系内惑星、銀河（系）中心、銀河・銀河間物質（IGM）、技術開発とわけ、



（サブ）ミリ波単一鏡として活躍する望遠鏡たち。（上）ASTE望遠鏡（クレジット：国立天文台）、（背景）JCMT（Credit: EAO/JCMT）。

担当者とリーダーを決めた。“星形成班”は立松健一さんを核に岩崎一成、土井靖生、塚本祐介、前澤裕之、川邊良平、長谷川哲夫の諸氏、“銀中班”は竹川俊也さんがリーダーで本間希樹、田村陽一、井上茂樹、河野孝太郎、富阪幸治の皆さん、“銀河・IGM班”は井上茂樹さんが牽引し、竹川、田村、大藪進喜、河野、中井直正の諸氏、“技術班”は田村さんが遠藤 光、前澤、瀬田、大藪、川邊の諸氏をまとめあげた。松村雅文、川端弘治の両氏は、同時期のIAUシンポジウムの世話人であること、お二人のムラのない仕事ぶりも踏まえ、岡目八目のご意見番と緻密なチェック仕事をお願いした。

さて、翌25日から各班が取り組んだのは、Key questionsで表現される主題の絞り込みだった。招待講演を依頼するときに必須だからである。各班のZoom会議情報は、世話人全員へ流され、誰もがどの班の議論にも参加できた。班員以外の参加は、専門家である班員には思いつかない視点をもたらし、他の班との科学的つながりを認識させた。各班は複数回の会合をもち、どの議論もざっくばらんでおらかな雰囲気、班員以外にとっては専門外を集中的に勉強する機会ともなった。それゆえ、しばしば脱線し、長時間に及んだ。世話人として、もっとも楽しい2週間だった。こうして、科学的論点が明瞭にあぶりだされると、招待講演者20数名★03も自ずと決まっていって

●3月21日、仕事はおわったなあ

蓋をあけてみれば、一般講演も15件の申込みがあった。すべての研究発表を口頭講演という方針のため、プログラムは朝9時から夕方7時まで詰め込まざるをえなかった。世話人の論理だけで進めてしまい、参加者への配慮がなかった。これは強烈な反省材料である。

最後に各分野をリードする研究者に座長を依頼した。仕上げて世話人それぞれが思い々々に参加の呼びかけをして、事前参加登録を行わなかった穴埋めをした。3月21日、プログラムのすべてが確定する。「（野辺山での）約束は、果たしたなあ」とつぶやいた。研究会本番まで8日あり、少し手が空いた。「次を」と考え、秋の天文学会・企画セッション「次世代サブミリ波・テラヘルツ地上単一鏡」の提案書を6名の仲間とサブミットしたのは、3月26日だった。

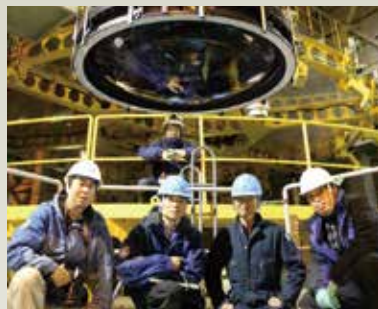
★01 2020年度国立天文台研究集会開催報告書
https://www2.nao.ac.jp/~open-info/kouryuu/subject/report2020/2001-0205_DrFuruya.pdf

★02 研究会HP
<https://sites.google.com/view/ng-singledish-ws2021>

★03 招待講演者一覧（ご講演順）

長谷川 哲夫／岩崎 一成／立原 研悟／富阪 幸治／中村 文隆／佐川 英夫／中井 直正／Pamela Klaassen／河野 孝太郎／井上 茂樹／浦田 裕次／北山 哲／榎谷 玲依／齋藤 正雄／遠藤 光／Shan Wenlei／谷口 暁星／竹川 俊也／秦 和弘／稻吉 恒平／大西 利和／市来 淨與

追悼 高遠徳尚 ハワイ観測所教授



高遠徳尚教授。(左) 2014年11月、モントリオールSPIE 会場にて (クレジット：柳澤顕史)。(中) 2015年12月、HSC 受け入れ検査での高遠氏 (前列左) (クレジット：ハワイ観測所)。(右) 1990年1月、ラパルマ山頂の高遠氏 (右) (クレジット：家正則[左])。

高遠徳尚ハワイ観測所教授が出張先の台湾で5月14日に急逝されました。関係者一同、未だに信じられない想いです。ご家族の皆様にご心よりお悔やみ申し上げます。

高遠さんは1987年に東京大学大学院理学系研究科天文学専攻に進学され、木曾観測所の105 cm シュミット望遠鏡に、液体窒素充填の不要なジュール・トムソン冷却方式のCCDカメラを修士論文研究として開発されました。当時、その出来栄から「高遠CCDカメラ」と呼ばれていました。博士論文では日本の天文業界初となる補償光学用の37素子可変形鏡の開発に取り組み、1993年に学位を取得されています。最初から研究テーマも開発方針も自分で考えて進めることができる人でした。

1990年には、この「高遠CCDカメラ」で見出した赤方偏移3.2のライマン α 銀河候補の分光観測を、すばる時代に先駆けてラパルマ島の4.2mウィリアム・ハーシェル望遠鏡で試みられています。高遠さん主著の論文の中では、乱流のスペクトルがべき乗則からずれるスケールを数値計算した論文が最も引用されており、その数学的力量的証左となっています。



2011年1月、南極ドームふじにて雪焼けした高遠氏 (前列左) (クレジット：沖田博文[前列右])。

高遠さんは学位取得の前年より理化学研究所基礎特別研究員となり、1994年からは国立天文台助手として、すばる望遠鏡の第一期補償光学系開発に従事され、2000年の観測開始の立役者となりました。すばる望遠鏡の建設でも、追尾システム・周辺光学系の設計や鏡面測定に大きな寄与をされました。2002年からはハワイ観測所に移り、第二世代の補償光学系と主鏡の傷検査システムの開発に尽力され、主焦点ファイバー多天体分光器FMOS (Fiber Multi-Object Spectrograph) をはじめとする新しい観測装置の受け入れ責任者として、活躍されました。

観測装置が所期の性能・効率を満たし、安全・安定な運用ができる合格レベルかどうかの高遠さんの判定は、装置開発者側には時には厳しく写ったかもしれませんが、柔和な笑顔で説得力のある判定には皆が納得したものです。2010年には南極第52次調査隊の一員として、自作したシーイング測定装置を持参して、ドームふじ基地にも半年間遠征されています。

観測研究においてはすばる望遠鏡を用いた木星の第5衛星アマルテアの分光観測の論文などがScience誌に発表されています。

高遠さんは、観測装置開発において、背景となる物理についての極めて深い理解と多方面にわたる高いエンジニアリング能力に加えて、抜群のバランス感覚をもつ稀有の研究者でした。その温かい人柄から、一緒に仕事をした多くの人に慕われ頼られた方でした。

高遠さんは、2011年からはすばる望遠鏡の国際共同プロジェクトである超広視野多天体分光器 PFS (Prime Focus Spectrograph) 計画の国立天文台側の責任者を務められています。2012年に准教授、2019年には教授とられました。終始一貫して現場を大切にされ、今回、台湾でのPFS関連の試験に出張されている中、急に体調を崩し、緊急手術の甲斐なく亡くなられたとのことでした。

心よりご冥福をお祈り致します。

(家正則・高見英樹)

岡山分室が「岡山県観光物産事業功労者」として表彰されました

岡山県の観光と物産に功績があったとして、岡山分室が岡山県観光連盟より「令和3年度 岡山県観光物産事業功労者」と選定されました。表彰は6月21日（月）にオンラインで行われ、泉浦秀行分室長が代表して表彰をいただきました。

推薦を頂いた浅口市からは「日本初の大型望遠鏡を備えた天文台として開所。数々の研究成果を挙げてきたほか、開所以来一般公開を年間を通じて行い、これまでの見学者数は約200万人を数える。浅口市と連携し、国内最大級188cm反射望遠鏡を使用した観望会が開催され、“天文王国おかやま”を代表するスポットとして注目されている。」との選定理由に関するコメントをいただきました。

泉浦秀行分室長のコメント：

「最初にお話をいただいた時は少々驚きました。なぜかといえば、私たちの施設は本来、天文学の研究施設だからです。しかしながら、開設当初から見学室を設け望遠鏡を間近で観望できる

ようにするなど、一般公開にも努めて参りました。このたび岡山県の観光振興への貢献が認定されたことに職員一同たいへん喜んでおります。

私たちは1960年に、当時の浅口郡鴨方町と小田郡矢掛町の境の山の上に、東京大学東京天文台岡山天体物理観測所として始まりました。これまで60年余り、188cm反射望遠鏡を中心に、宇宙からやってくる微かな光を望遠鏡で捕まえ、天体の研究にいそしんで参りました。途中数回の組織改変があり、2018年度からは自然科学研究機構国立天文台ハワイ観測所岡山分室となっています。そして京都大学岡山天文台と協力して口径3.8mのせいめい望遠鏡で共同利用を展開し、より高い能力で宇宙の探究を進めています。一方、浅口市、東京工業大学理学院系外惑星観測研究センターと国立天文台の三者で協力し

て188cm望遠鏡の活用を進めています。現在の山の上は、天文学関連施設が並び立つ国内では他に類を見ない場所となっています。これからも宇宙の謎に挑み続けることで魅力ある場所として在り続けたいと思います。観測環境の保全、暗い夜空の維持にご協力いただけますよう、どうぞよろしくお願いいたします。」



編集後記

在宅勤務の私に加えて、カイコ蛾約50匹（とそれらが産んだ卵）、カブトムシ5匹（うち1匹は乾燥中の死骸）、コクワガタ1匹が冷房の効いた部屋の中にいます。昆虫好きの息子を持つとこんなことになるのかと実感します。(G)

前回出版から少し時間がたちもう秋めいてきました。今回も静かな夏になりましたが、岩手は大谷選手の活躍に湧いています。このままあと少しがんばってほしいですね。(は) コロナ対策で、自宅に家族にバリカンで髪を切ってもらった。確認のために鏡で自分の顔をいつもは見えない方向から見て、頭頂部の髪の薄さに我ながら驚く。もう秋風が吹き始めますね。(I)

6月から、周波数資源保護室へ異動。電波天文学に使う周波数の保護活動にはこれまで無意識に恩恵に預かってきたわけですが、これからは主体的に取り組むことになります。引き続きご支援よろしくお願いします。(h)

この間、観測装置の国内開発分が完了してドイツへ出荷。ドイツへ到着後は、現地の方に多大にヘルプをしてもらいつつ、日本からネット接続で操作して装置が無事に動いていることを確認できた。一つの山場を超えましたが試験は来年の夏まで続く。(K)

暑い日が続くうち、国際天文学連合総会も無事に終了。初のバーチャル会議となったが、思いの外スムーズだった。執行部の事務打ち合わせが終わる頃には、木星が西に傾き、東からは冬の星座が上ってきていた。(W)

山歩き中にミヤマクワガタを見つけ、小学生のころの虫好きの気持ちが蘇ってきました。夏の虫取り、楽しかったなあ。(e)

国立天文台ニュース NAOJ NEWS

No.334 2021. 夏号

ISSN 0915-8863

© 2021 NAOJ

(本誌記事の無断転載・放送を禁じます)

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）／渡部潤一（副委員長）／石井未来（TMTプロジェクト）／秦和弘（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（チリ観測所）
●編集：天文情報センター出版室（山岡 均／高田裕行／ランドック・ラムゼイ）●デザイン：久保麻紀（天文情報センター）

★国立天文台ニュースに関するお問い合わせは、上記の電話あるいはFAXでお願いいたします。
なお、国立天文台ニュースは、<https://www.nao.ac.jp/naoj-news/>でもご覧いただけます。

発行日／2021年8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

次号では特集
「アルマ望遠鏡10周年」を予定。11月末
ころの発行を目指し
ています。

次号では特集



すばる望遠鏡 HSC Cosmic Gallery

14 Palomar 3

田中賢幸 (ハワイ観測所)

Sextans Cとも呼ばれる天体で、一見、銀河のようにも見えるが、実は天の川銀河に付随する球状星団だ。球状星団の中では最も遠くにあるものの一つで、100 kpcほどの距離にある。一般に球状星団は古い星で構成されていて、Palomar 3もおおよそ100億歳ほどと言われている。古い星ばかりではあるが、青い色の星が混ざっていたり、実は球状星団の星も色とりどりであることがわかる。宇宙初期にほぼ同時期に生まれた星々でも、それぞれの重さの違いによって現在は異なる進化段階にいる。それがこの色の違いを生み出している。

★HSC：すばる望遠鏡「超広視野主焦点カメラ（Hyper Suprime-Cam/ハイパー・シュプリーム・カム）」
★HSCの観測データを活用した市民天文学プログラム「ギャラクシークルーズ」もお楽しみください。
<https://galaxycruise.mtk.nao.ac.jp/>