

日本天文学会早川幸男基金による渡航報告書

ALMA2019: Science Results and Cross-Facility Synergies

氏名: 沖野大貴 (東京大学M2 (渡航当時))

渡航先: イタリア・サルディーニャ島/スペイン・
グラナダ

期間: 2019年10月13日~26日

私は、10月14日から10月18日にかけてイタリアのサルディーニャ島南部に位置するカリアリで行われた国際研究会“ALMA2019: Science Results and Cross-Facility Synergies”に参加し、口頭発表を行いました。その後1日の移動を経て、10月20日から25日にかけてスペインのグラナダにあるアンダルシア天体物理学研究所 (Instituto de Astrofísica de Andalucía, 以下IAA) に滞在し、共同研究者の方々に進捗と研究成果の報告、そして今後の研究について議論を行いました。

滞在前半のカリアリでの国際研究会では、チリのALMA望遠鏡によって得られた最前線の科学的成果に触れることができ非常に刺激的でした。また研究内容も多岐にわたり、近傍/遠方銀河、活動銀河核 (AGN)、星間物質・星形成、系外惑星、太陽などALMA望遠鏡を用いて可能なサイエンスを幅広く網羅し、200名に及ぶ参加者による約70件の講演と150件のポスター発表があり、研究会の規模の大きさを実感しました。

余談ですが、今回の渡航出発当日に大型の台風19号が東京に上陸し、一時は会場にたどり着けないのではないかと心配になりましたが、どうにか代替便を手配して、自分の発表の2時間前に無事に会場に到着できてほっとしたのを覚えています。

本研究会で私は「Collimation of the relativistic jet in the quasar 3C 273」という題目で口頭講演を行いました。本講演では、地球規模の超長基線電波干渉計 (VLBI) 観測網である Global Millimeter VLBI Array (GMVA) で観測されたクエー

サー3C 273に付随する電波ジェットの本元最深部の画像から、ジェットの形状を調べ、中心ブラックホールから距離にしてシュバルツシルト半径の約100万倍より内側でジェットが収束を受け、そこを境に形状が変化しているという結果を報告しました。このGMVAの観測にはALMA望遠鏡もVLBIの一局として参加し、高感度かつ、米国・欧州・チリを結ぶ長基線によって60マイクロ秒角を切る高い空間分解能を実現しており、それゆえジェット本元部分の詳細な撮像観測が可能となります。また、Sheperd S. Doleman氏によるM87ブラックホールシャドウ撮像に関する講演及び、Lindy Blackburn氏によるGMVAを用いた銀河系中心Sgr A*の観測成果の講演も行われ、それらと共にALMAが参加するVLBI観測の成果を世界中の研究者の方に示すことができたと思います。

今回は私にとって初の国際研究会での英語の口頭発表で、世界中から集まった大勢の研究者を前に非常に緊張しましたが、事前練習のおかげが無事に発表を終えることができました。幸いにも質問もいくつかただけて、完璧に回答できたかは別として堂々と話すように心がけました。発表の合間のCoffee breakの時間にはMax Planck研究所のEduardo Ros氏とGMVAの結果について議論したり、海外の学生たちと談笑したりと非常に充実した研究会でした。

このサルディーニャでの研究会の後、スペインに移動し、グラナダのIAAに滞在しました。最初に1時間ほど時間をいただき、これまでの研究の進捗と成果を発表しました。正式なセミナーはもう埋まっていたので、滞在中にお世話になった共同研究者のJose L. Gómez氏が臨時セミナーの段取りと研究所内への周知をしてくださいまし

た。発表には Gómez 氏と彼の指導学生である Antonio Fuentes 氏、その他 IAA の学生数名、そして IAA のディレクター Antxon Alberdi 氏が聴きに来てくださいました。ここでも発表は英語でしたが、キャリアの研究会の後だったのでスムーズに話せました。内容についてもポジティブなコメントをいただくことができ、これまでの研究に自信が持てました。

その後は Gómez 氏から 3C 273 の観測データで未着手だった偏波データの解析について手ほどきを受けました。VLBI データの偏波解析は通常の電波マップを書くための解析に加えて、観測装置の偏波特性の補正など、さらなる較正処理が必要となります。今回は実際のデータを用いてチュートリアル形式で解析を教わりました。私は拙い英語で何度も質問しましたが、その度にこちらの意味を汲み取って丁寧に答えてくださいました。そのおかげで、一通り偏波較正の手順を知ることができました。この後日本に戻って偏波解析を進めて、ジェット of 収束に重要な役割を果たしていると考えられる磁場の 3次元構造に迫ることができると期待しています。

滞在中は研究以外にも、お昼には Gómez 氏や Fuentes 氏をはじめ IAA で研究している学生たちと一緒に近くのレストランに食事に行き、お互いの研究や生活について話すことができました。ま



IAA 滞在の最後にお世話になった方々と。左から Gomez 氏、筆者、Fuentes 氏。

た最終日の午後には観光の時間をいただき、市街地を歩いたり有名なアルハンブラ宮殿に足を運ぶことができました。5日間という短い期間でしたが、今滞在を通じて、他の日本人が誰もいない、日本とは異なる文化と風土の中で研究することができたのは自分にとって非常に大きな経験となりました。

最後に、国際研究会への参加と海外での研究滞在という貴重な機会を支援して下さった日本天文学会早川幸男基金とその関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。

今回の渡航で得た経験と成果を元に、今後もより一層研究に精進していきたいと思います。

日本天文学会早川幸男基金による渡航報告書 *Systematic exploration of optical counterparts of DLAs at $z > 2$*

氏 名：玉田望（愛媛大学大学院理工学研究科 M1（渡航当時））

渡航先：チリ・セロパチョン

期 間：2020年1月27日～2月2日

私は「Systematic exploration of optical counter

parts of DLAs at $z > 2$ 」というテーマで採択された、チリの Cerro Pachón にある SOAR 望遠鏡を用いた共同利用観測を行いました。観測の目的は Damped Ly α Absorption System (DLA) の吸収を引き起こしている銀河を同定するため、申請者自身が選出した候補天体に対して可視分光観測を



本観測に用いたSOAR望遠鏡のドーム。

行うことです。

天文学において銀河進化の解明は重要課題の一つですが、その中でも高赤方偏移に存在する形成初期の銀河は詳細な観測が難しいために理解が進んでいません。その理由の一つとして、形成初期の銀河はガスが多くの割合を占めており、星からの放射が相対的に弱いということが考えられます。そこで、我々はクエーサースペクトル上に現れる吸収線系であるDLAについて注目しました。DLAは柱密度が $N_{\text{H I}} > 2.0 \times 10^{20} \text{ cm}^{-2}$ の中性水素によって生み出される吸収線と定義されています(Wolfe et al., 1986, ApJS, 61, 249)。形成初期の銀河がガスを豊富に含むと考えると、高赤方偏移のDLAを生じさせる中性水素が属する銀河(DLA銀河)は形成初期の段階にある銀河だと考えられます。これまで、DLA銀河からの輝線を捉え、DLAを生む中性水素の正体を解き明かす試みがなされてきました。しかし、形成初期の銀河がいると思われる $z > 2$ の高赤方偏移に存在するDLA銀河の分光同定数は最初の発見(Djorgovski et al., 1996, Nature, 382, 234)以降、未だ20天体程度に過ぎません。このサンプル数の少なさから、現在も高赤方偏移のDLA銀河が中性水素とどのような関係にあるか系統的には理解されていない状況にあります。そこで、本研究では高赤方偏移のDLA銀河候補を系統的に選出できる方法を考

案し、DLA銀河のサンプルを増やすことを目標としました。

本研究では銀河の星形成活動が最も活発な時代である $2 < z < 3$ のDLA銀河候補を多く選出することを目標としました。そのため、全天の約4分の1という広範囲を観測したSloan Digital Sky Survey (SDSS: York et al., 2000, AJ, 120, 1579)の分光観測で見つかったDLAサンプル(Noterdaeme et al., 2012, A&A, 547, L1)に注目しました。また、広範囲に分布するDLAの周囲で暗い天体を探す必要があるため、広視野・高感度で観測されたすばる望遠鏡Hyper Suprime-Cam (HSC: Miyazaki et al., 2018, PASJ, 70, S1)によるすばる戦略枠観測(HSC-SSP: Aihara et al., 2018, PASJ, 70, S4)で得られたデータを用いて、このデータ内からDLA銀河候補の探索を行いました。観測天体を選出する際には、撮像データから $2 < z < 3$ の赤方偏移の天体を選出するため、2色図によるカラーセレクションを用いました。しかし、一般的にこの赤方偏移帯の銀河を可視光のカラーだけで選出することは困難であることが知られています。そこで、今回の選出では、なるべく多くのDLA銀河を候補天体内に残すため、コンタミネーションの割合が高くてもコンプライトネスをできるだけ高めるようにカラーの境界条件を採用しました。さらに今回の観測ではSOAR望遠鏡を用いるために、DLA銀河候補天体のうち観測可能な明るめの天体を観測ターゲット候補として7天体選出しました。

本観測は2020年1月29日と30日の2晩の観測を予定していました。現地には観測日の前日に到着し、チリまで2日弱かけた移動の疲れをとり、万全の体制を整えて初日の観測に挑みました。しかし、1晩目は高湿度という恵まれない状況であり、現地の季節が夏なのにもかかわらず望遠鏡のドーム表面に氷が貼っていました。チリの観測所では一般に雨が滅多に降らず、乾燥した観測に適している気候を想定していたため、この状況には

驚きました。結果、望遠鏡のドームを開けることが叶わず、観測を遂行できませんでした。一方で、望遠鏡の装置の扱いなどを望遠鏡スタッフの方に直接教えていただいたため、翌日の観測に向けた準備を整えることができました。2晩目は前日より気温が高く、湿度が下がっておりドームを開けることができました。しかし、運の悪いことに使用予定だった Goodman 分光器の Blue Camera が冷却装置の不具合によって使用不能ということがわかりました。そこで、急遽予定を変更して、使用可能な Red Camera を使用した観測を行うことにしました。観測予定の天体の中から Red Camera の波長領域でカバーできるような天体をその場で選出し、望遠鏡で観測を行いました。同行してくださった共同研究者や現地スタッフの方々に協力いただいた結果、残りの時間で2天体分の分光データを取得することができました。

帰国後にデータを解析したところ、残念ながら、ターゲットの Ly α 輝線は検出できませんでした。しかし、データから本観測の達成感度を見積ると、もしターゲットが実際に DLA 銀河だった場合に輝線を捉えることができるはずの感度を達成していたことがわかりました。このことは、ターゲットが DLA 銀河ではなく、たまたま視線方向の近くにいた DLA と無関係の銀河だったことを意味します。つまり、口径 4 m 程度の望遠鏡で DLA 銀河候補が真に DLA 銀河か否かを判別可能であることを今回の観測により示せました。今



手元でログを取りつつ観測を行っている様子。

後の 4 m 級望遠鏡を用いた観測で、高赤方偏移の DLA 銀河サンプルを増やせると期待できます。

このようにいくつか想定外のトラブルがありましたが、初めての海外観測にもかかわらず無事に観測を終えることができました。また、日をまたぐような長距離の移動や現地の望遠鏡スタッフとのコミュニケーションなど、観測以外の部分でも得難い経験をすることができました。日中には今回観測に使用した SOAR 望遠鏡や現在も建設中の LSST の見学も行うことができ、将来の観測についての理解を深める非常に良い機会をいただくことができました。

最後になりましたが、本観測の渡航に対して多大なご支援をいただき、貴重な経験の機会をくださった早川幸男基金の関係者の皆様に厚く感謝申し上げます。

日本天文学会早川幸男基金による渡航報告書 Space VLBI 2020: Science and Technology Futures

氏名：恒任優（京都大学宇宙物理学教室 M2
（渡航当時））

渡航先：アメリカ・シャーロットビル／ポストン

期間：2020年1月27日～2月4日

この度私は、第108回早川幸男基金の助成によりアメリカ合衆国の2都市を訪問し、自分の研究成果について国際会議での口頭発表および共同研究を行ったので、以下のように報告します。

バージニア州シャーロッツビルで開催された本会議“Space VLBI 2020: Science and Technology Futures”は、近年に入り超長基線干渉計 (VLBI) 観測の分野で盛んに提唱されている宇宙ミッション (Space VLBI) から期待される科学成果とそれを支える技術向上に焦点を当てており、科学と技術の統一的な議論から Space VLBI の動機と方向性を考えるものです。本会議で私は“Polarization Imaging of M87 Jets by General Relativistic Radiative Transfer Calculation based on GRMHD Simulations”と題した口頭発表を行いました。偏波画像観測は昨年4月に活動銀河核M87中心ブラックホールの観測画像を発表した Event Horizon Telescope (EHT) の次なるトピックとして位置付けられており、そこからは長らく謎とされている活動銀河核ジェットの磁場による駆動機構の解明が大いに期待されています。私の取り組んだ研究では、一般相対論的磁気流体計算 (GRMHD) モデルの物理量を参照した輻射輸送計算を行うことで、M87ブラックホール付近の偏波画像をシミュレーション予測しました。それらの計算結果から、ブラックホール直近領域の偏波ベクトルは強いファラデー回転を受けるが、磁場構造の情報は残り、その空間分布はブラックホールのスピンの速さによって異なる。さらにこれまで注目されてこなかった円偏波についても、電子-陽子間の結びつきの強さによってはブラックホール付近の高エネルギー領域で直線偏波からのファラデー変換が起り、強い成分が観測されうる、という結果を提示しました。本発表ではこれらの成果を通じ、将来的な高分解能、高感度の直線偏波・円偏波観測によってジェットを駆動するブラックホールのスピンやその付近の二温度プラズマと磁場の構造が解明できる可能性を提示しました。質疑応答ではVLBI観測に携わる参加者を中心に多くの質問をいただき、休憩時間等での対話も含め、実観測における偏波検出感度の具体的現状や、M87のみならず他の対象天体ごとの天球

面上の位置による観測精度の違いを今回の成果と照らし合わせて議論することができました。

こうした観点からの議論は理論シミュレーションのみに着目しては得難いものであり、今回の結果の観測可能性や今後の研究の方向性を考える上で非常に有意義なものでした。また、本会議の数多くの発表の中でロシアの RadioAstron と並び日本の VSOP および VSOP2 への言及がなされ、Space VLBI ミッションにおける日本の存在感の大きさと世界が寄せる貢献への期待を感じました。

この会議の終了後、私はボストンに移動し、MIT へイスタック天文台の秋山和徳氏と共同研究を行いました。まず同氏と共にハーバード・スミソニアン天体物理センターを訪問し、Ramesh Narayan 氏らのグループセミナーにて研究成果を発表し議論を行いました。同氏からは特に円偏波の増幅に関して興味を持ってもらい質問を受けたので、その場で詳細な過程を解説し、今回得られた成果を宣伝することができました。さらにここでは私と同じく EHT 観測イメージの予測に取り組む研究者たちと情報交換を行い、互いの最新の成果を共有した上で今後の展開の方向性を議論しました。特に、当センターでは M87 の偏波観測で注目されている Rotation Measure (RM) の空間分布のシミュレーション予測に取り組んでおり、観測からの需要に分業によるチームプレイでいち早く応えるその迅速さ、柔軟さを見ることができました。次に私は MIT へイスタック天文台を訪れ、秋山氏ならびに同天文台の森山小太郎氏と今後の具体的な研究について EHT 実観測の見地から議論および解析を行いました。私はこれからの研究で M87 と並び EHT の主要ターゲットとされている銀河系中心の電波源 Sgr A* の偏波画像予測を行うことを考えており、その観測においてネックとされている高い変動性と星間散乱の効果を踏まえた研究の手法と方向性を両氏と議論しました。そこでまとまった今後の方向性として、



国際会議“Space VLBI 2020: Science and Technology Futures”の集合写真。Omni Charlottesville Hotelにて。

Sgr A*の画像予測に際してはVLBI観測のジジビリティや雑音、そして星間散乱の影響を組み込んだモーメント解析、つまりシミュレーション画像に対して模擬観測処理を行った上で、傾斜角やブラックホールスピンをはじめとする未確定な数多くのパラメータについてカタログ的に予測画像を作成し、将来の観測に備えることになりました。さらにそのための準備として、両氏が開発した解析モジュールを導入し、私が計算したイメージに対して星間散乱の効果を与え、さらにそのイメージを干渉計で観測した時の結果をシミュレートす

る環境を整えました。

今回参加した国際会議と共同研究を通して、世界の最前線場でEHTをはじめとするVLBIでの観測研究とそれに関する理論研究に携わる研究者と交流することができました。ここで得られた成果と刺激を、上で述べたSgr A*の偏波画像予測を始めとする今後の研究の糧として活用していきたいと思えます。最後になりますが、今回の渡航に際して多大な援助をしてくださった日本天文学会早川幸男基金のみなさまに心から御礼申し上げます。本当にありがとうございました。

日本天文学会早川幸男基金による渡航報告書

First Star VI

氏 名：平野信吾（九州大学PD: 学振（渡航当時））

渡航先：チリ・コンセプション

期 間：2020年2月29日～3月8日

本渡航では、2020年3月2日から6日にかけてコンセプション大学（チリ）にて行われた国際研

究会“First Star VI”に参加しました。“First Star”は4年ごとに開催されている国際研究会であり、私は前々回（京都）・前回（ドイツ・ハイデルベルグ）とこれまで参加しています。本研究会ではFirst Star（初代星）の形成・進化に加えて、様々な関連研究について議論が行われます。初代星がその後の天体形成に及ぼす影響（第2世代星・初



コンセプション大学内にて撮影。今回の参加者は130名以上となりました。

代銀河・超大質量ブラックホールなど)、また初代星の情報を含む観測(金属欠乏性・矮小銀河・宇宙再電離など)を通じて、未だ直接観測の成らない初代星の正体に迫ろうとしています。

今回のプログラムから、重力波のセッションが新たに設けられました。GW 150914の初検出以降、重力波の検出数は着々と増えており、今後その重要性は増していくと考えられます。重力波の起源天体の1つである大質量ブラックホール連星には、初代星連星から成長するシナリオが考えられています。観測が進みブラックホール連星の質量分布が明らかになることで、初代星の星質量分布に新たな制限をかける議論が展開されています。現在・将来観測の結果を用いた新たな進展が次回の大会で紹介されることを期待しています。

私は“Formation of First Stars with Various Masses”というタイトルで招待講演を行いました。本講演は研究会のオープニングトークとなったため、初代星の性質の中でも特に重要とされる、星の性質を特徴付けるパラメータである星質量について、初代星の理論研究によってこれまで

解明された内容を概観しました。初代星の基本的な形成シナリオは合意を得られているのですが、不定性のある現象がいくつか残されており、それらが初代星の初期質量関数の決定を妨げています。今回、星形成ガス雲内の現象として「熱進化の分散」、「円盤分裂の頻度」、「磁気制動の強さ」を、外部からの影響として「外部輻射」、「バリオン・ダークマター相対速度流」、「宇宙論モデル・ダークマターの性質」をそれぞれ紹介しました。上記の各影響は初代星の初期質量関数をそれぞれ変形させます(質量・数分布の変化)。今後は、上記の影響の中でも初期質量関数を強く左右するものがどれであるかを特定する必要があります。講演の後半では、様々な観測例がそれぞれ初期質量関数のどの範囲への制限となるかを模式図として示しました。これを形成理論の不定性と比較することで、各影響を制限することのできる観測例を把握できます。

会場となったコンセプション大学はチリ国内でも3番目に古い大学であり、美術館・公園を含んだ大学都市を形成しています。よく晴れて過ごし

やすい気候のもとで研究会に参加することができました。チリでは昨年末から反政府デモが続いており、街中では装甲車や武装警官を見かけることがありました。幸いにも大規模なデモ行進については事前に告知されたため、危険な区域・時間を避けることで無事に研究会を終えることができました。詳細な情報をアップデートしてくれた世話人に感謝したいと思います。

今回の渡航は講演・議論を通じて私自身の研究へ多くのフィードバックがあり、充実した内容となりました。このような機会を与えてくださった早川幸男基金、また日本天文学会の皆様に心からの感謝を示し、筆を置きたいと思います。ありがとうございました。



エクスカージョンでは“Devil’s Blast”という炭鉱に潜りました。その後に移動した高台での一枚です。地下からの開放感と南米のからりとした空気があわさり、心地の良い休憩日となりました。