

日本天文学会早川幸男基金による渡航報告書

Observation by New Technology Telescope (NTT) at La Silla Observatory

氏 名: 水本岬希 (JAXA 宇宙科学研究所 D3 (渡航当時))

渡航先: チリ

期 間: 2018年2月25日~3月9日

チリ La Silla 観測所の New Technology Telescope (NTT) において、申請者を PI とする公募プロポーザル “Near-infrared observation of shock fronts created by ultrafast outflows as a trigger of AGN feedback” に基づく観測を実施してきました。

活動銀河核 (Active Galactic Nuclei; AGN) に存在する超巨大ブラックホール (SuperMassive Black Hole; SMBH) の質量と、その母銀河のバルジの速度分散には、強い相関が見られることが知られています (Kormendy & Ho 2013 for review). このことから、SMBH と母銀河は互いの成長を制御し合いながら共に進化している (共進化) と考えられています。しかし、SMBH の重力圏は数パーセク程度でしかなく、銀河バルジのサイズと比べると圧倒的に小さいです。したがって、共進化を説明するには、何らかのエネルギーのアウトプットが AGN 領域から母銀河に対して起こっている必要があると考えられています (King & Pounds 2015 for review). 近年、このエネルギー伝達の担い手として、AGN アウトフローが注目されています。X線観測から、多くの AGN で光速の 10-30% もの速度を持つ超高速アウトフロー (UltraFast Outflow; UFO) が観測されました。UFO は星間空間を旅する間により大きなスケールのアウトフローを作り、それを介して母銀河に運動エネルギーを渡すことで共進化を起こしているのではないかと考えられています (King 2003). 実際に、ALMA などの電波干渉計

の観測から数 kpc 程度に広がる分子アウトフローが観測されており、このアウトフローによって星形成領域のガスが吹き飛ばされて星形成が停止し、さらに SMBH へのガス降着も抑えられてしまう、というフィードバックシナリオが提案されています。しかし、SMBH から数 pc 以内で観測される UFO が本当に kpc スケールの母銀河にまで影響を与えているのかについて、観測的な証拠は乏しい状態でした。

そこで我々は AGN 領域で作られる衝撃波に着目しました。もし UFO あるいは UFO に端を発するアウトフローが星間空間内を旅するのであれば、その過程で星間物質と相互作用を起こして衝撃波を作るはずで、UFO が存在している天体は衝撃波を有しているという傾向が見つかれば、アウトフローによるフィードバックシナリオの妥当性を観測的に示す一歩目の手がかりとなると考えました。そこで我々は、AGN での衝撃波をトレースするために、近赤外の [Fe II] 1.257 μm と [P II] 1.188 μm の 2 本の輝線に着目した観測を行うことにしました。これら 2 本の輝線比は衝撃波のよい指標となることが知られており、衝撃波が起こっている環境では [Fe II]/[P II] > 20 と大きくなることが期待されます (Oliva et al. 2001). 幸運にもこれらの輝線は共に J バンドに入っているため、1 回の近赤外線分光観測で両者の輝線強度を求めることができます。そこで、UFO を有しており、かつ電波ジェットを有していない (すなわち電波ジェットによる衝撃波の影響を受けない) AGN の赤外線分光観測を行うことで、両輝線の強度比を求め、UFO 由来の衝撃波、すなわち UFO のエネルギーが分子アウトフローに伝達されている現場を初めて観測することを試みました。観測は、La Silla 天文台 NTT 望遠

鏡に visitor instrument として取り付けられている近赤外高分散分光器 WINERED 分光器を用いました。

観測は、2018年3月1日から5日の5日間を、他の WINERED チームの観測とシェアして行いました。装置のインストール作業やエンジニアリング観測、キャリブレーションを含め、自分のデータを手ずから取得することができたのは貴重な体験でした。また、やはり観測には多かれ少なかれトラブルがつきもので、そのたびにその場の判断で観測計画の変更・修正を行って限られた観

測時間を最大限に利用するためには、リモート観測が主流となりつつある現在においても望遠鏡のあるサイトに直接出向くことがたいへんに重要であると実感しました。結果として、UFOを有する天体は高い $[\text{Fe II}]/[\text{P II}]$ 比を示すという、当初の期待通りの結果が得られました。論文化するための作業を現在行っており、近いうちに学術誌に投稿できると考えています。

今回の渡航に際し多大な援助をいただきました、日本天文学会早川幸男基金および関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。

日本天文学会早川幸男基金による渡航報告書 *Anglo-Australian Telescope Observation of High-z Radio Galaxies*

氏 名：山下拓時（愛媛大学宇宙進化研究センター 研究員（渡航当時））

渡航先：オーストラリア

期 間：2018年6月13日～6月20日

私は2018年6月13日から20日にかけて、オーストラリア天文台が所有する Anglo-Australian 望遠鏡（AAT）を使った観測を行うためオーストラリアへ渡航しましたので報告します。

この観測の目的は、すばる望遠鏡と米国 Very Large Array 電波干渉計の観測データから同定した遠方電波銀河について正確な赤方偏移の取得と詳しい性質を調査するために、AAT 4 m 望遠鏡を使って可視光スペクトルを得ることです。電波銀河は、電波帯で非常に明るいジェットを持つことで知られています。その母銀河は典型的に大質量であり、中心の巨大ブラックホールもまた大質量のため、銀河進化の最終段階にある天体とも考えられています。そのため、遠方の電波銀河を調べることは、銀河及び超巨大ブラックホールの進化の理解において重要です。これまで知られている電波銀河は、SDSS と FIRST 電波サーベイによって同定された可視光で明るく低赤方偏移

（0.5以下）の天体や、極めて電波光度の高い遠方電波銀河に限られていました。しかしこれらのサンプルは電波銀河の姿を包括的に調査するには、偏りがあります。そこで、我々のグループは SDSS でも可視光同定できなかった FIRST 電波源が全 FIRST 電波源の半分以上もあることに注目しました。そして、これらの未同定電波源を可視光同定すべく、すばる望遠鏡 Hyper-Suprime Cam 戦略枠プログラム（HSC-SSP）の深い可視光撮像データ（SDSS より約3等以上深い）を用いた調査を開始しました。その結果、新たに高赤方偏移の電波銀河を多数同定することに成功し、それらは近傍電波銀河とは異なる興味深い特徴を示すことがわかりました。

しかし、より正確な赤方偏移と詳しい性質を知るためには、分光観測が必要です。この目的で、私はオーストラリア天文台の AAT 望遠鏡を用いた分光観測のため今回渡航しました。この観測は、東北大学の何晩秋氏らのグループと共同で行いました。AAT 望遠鏡の2平方度という広い視野を活かして、何氏らがクエーサー天体へ向けた視野の中に存在する我々の電波銀河を分光観測するという戦略です。

AAT望遠鏡は、シドニーから飛行機で1時間移動し、さらに車で（カンガルーとの衝突に注意を払いながら）3時間走った先の小高い山の上にあります。周囲にはUK Schmidt望遠鏡やSky-Mapper望遠鏡など多数の望遠鏡が並んでいて、まさに南半球における天体観測の一大拠点となっています。我々の観測には4日間の半夜が割り当てられていました。

まず観測前日には、観測所のChris Lidman氏と観測戦略について打合せをしました。観測当日は、観測支援天文学者とエンジニアの協力の下、スムーズに観測を進められました。何度か装置トラブルがありましたが、現地チームの見事な連携でそれらを解決しており、彼らはとても頼もしかったことが印象的です。あいにく天候には恵まれません、最小限のデータの取得にとどまりましたが、観測操作やデータ解析を現地で学ぶことができました。

簡易解析の結果、ターゲットの中でも特に可視光で明るい天体に限って、スペクトルを取得できていることがわかりました。サンプルが限られますが、これらのデータによって、事前に測光データのみから推定した赤方偏移との比較ができます。さらに、取得したスペクトルを用いて、AAT望遠鏡をはじめとする4 m級望遠鏡や、さらに暗い天体の分光を目指して8 m級望遠鏡への



観測前のAAT 3.9 m望遠鏡と筆者

観測提案を行っていきたいと考えています。今回のデータと今後のデータをあわせて、すばる望遠鏡HSCを軸として初めて同定できた遠方電波銀河の正体を解明していくつもりです。

最後になりますが、今回の渡航に関して多大なご支援いただきました日本天文学会早川幸男基金および関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。

日本天文学会早川幸男基金による渡航報告書 *Constraining the Clustering of “Typical” Quasars in the Early Universe*

氏名：何 晩秋（東北大学D2（渡航当時））

渡航先：オーストラリア

期間：2018年6月13日～6月21日

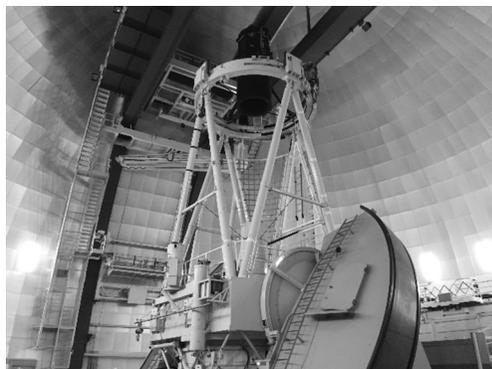
We used the 2dF-AAOmega spectrograph mounted on the 3.9 m Anglo-Australian Telescope (AAT) at the Siding Spring Observatory in Australia to conduct the optical spectroscopic

observation of the $z \sim 4$ low-luminosity quasars, which are photometrically selected from the imaging of the HSC-SSP S16A Wide2 dataset (Akiyama et al. 2019). These low-luminosity quasars have magnitudes around the knee of the $z=4$ quasar luminosity function, suggesting they can represent the typical rapidly accreting supermassive black holes at the epoch. Our main purpose

of this observation is to investigate the evolution of this unique quasar sample by probing how they occupy within the halo, i.e., the small-scale spatial clustering, at $z=4$. The follow-up optical spectroscopic observation to obtain their spectrum and determine their precise redshift. We were allocated with 4 first half nights from Jun. 15–18.

On each afternoon, we focused the spectrograph and configured the first field for the night observation, which started around 6:30 pm local time. After focusing the telescope, we started taking the calibration (fibre flat and arc) and science frames following the observation plan. The supporters from Australian side are quite nice. Before the run, we carefully discussed on our configuration designs through e-mail. After getting the site, they patiently taught us how to do spectrograph/telescope focusing, to configure a field, to check the seeing, and to take the calibration and science frames.

Although we only obtained an exposure time of ~ 3 hours due to the cloudy weather, we still gain valuable scientific results. The preliminary reduced data suggests we may detect 11 new $20 < i < 22.6$ quasars at $z \sim 3.5$, which are still ~ 2 mag fainter than the current known luminous quasars at the epoch. Moreover, we included some radio galaxy/dusty obscured galaxy (DOG) sample from our collaborators in the configuration. There are around 20 new radio galaxies identified in this observation. We will continue working hard on the data. Beyond the scientific results, we took valuable discussions with the Australian astronomers. The local support from the AAT side may be limited from the next semester, so we hope our experience in the run can help other astronomers having/applying for the AAT time in Japan. In a word, we gained a lot from the trip and I am



AAT3.9 m 望遠鏡

greatly indebted to you for all of your support.

私はオーストラリアのサイディングスプリング天文台にある 3.9 m AAT 望遠鏡と 2dF-AAOmega 分光器を用いて、HSC 戦略枠観測プロジェクトで得られたデータ S16A Wide2 から測光的に選択された赤方偏移 4 の低光度クェーサーに対して、可視分光観測を行いました。これらの低光度クェーサーは赤方偏移 4 のクェーサー光度関数の折れ曲がりに相当する光度を持ち、その時代の降着を通じて急速に成長している巨大ブラックホールを代表する種族となっています。この観測の主要な目的は、このクェーサー種族の分光観測により赤方偏移を決定し、特に小さい空間スケールのクラスター統計について制限をつけることにあります。これにより、このユニークなクェーサー種族がどのような暗黒物質ハローに付随するかを調べることができます。我々の観測は 6 月 15 から 18 日の 4 半夜が割り当てられていました。

各観測日の午後には、分光器の焦点合わせをし、午後 6:30 頃から始まる観測の最初のターゲット領域に向けて光ファイバーを配置します。望遠鏡の焦点を合わせたのち、データ較正用のフラットやアークランプ画像を取得し、そのあとは観測プランに従って、科学画像を取得します。オーストラリアのサポート研究者はしっかりと観測サポートをしてくれました。観測前には e-mail の



望遠鏡制御室の様子

やり取りで、ファイバー配置を十分に議論しました。観測所につくと分光器と望遠鏡の操作，焦点合わせ，ファイバー配置，シーイング確認，科学および較正データの取得についてきっちりと教えてもらいました。

残念ながら，今回は天気が曇り露出時間3時間分のデータしか取得できませんでしたが，それで

も十分に価値のある結果を得ることができました。ざっとした解析ではバンドの等級で20-22.6等の11個の赤方偏移3.5のクェーサーを確認することができました。これら天体の光度はその時代に見つかっている多くのクェーサーよりも2桁程度暗いものです。さらに今回は共同研究者のターゲットである電波銀河や赤外線銀河も同時に観測し，20個の電波銀河の分光同定に成功しました。データの解析は継続して行っています。現地の研究者とは，天文学についてだけでなく様々な有益な議論をすることができました。次のセメスターからは現地の研究者の支援が限られることになり，他の日本の研究者がこの装置を用いる場合には我々の経験が役立つことがあるかもしれません。この観測において多くの経験を得ることができました。旅費に対する支援について感謝します。