

日本天文学会早川幸男基金による渡航報告書

Observation by James Clerk Maxwell Telescope (JCMT)

氏名：辻本志保（慶應義塾大学M2（渡航当時））
 渡航先：アメリカ合衆国
 期間：2017年6月14日～23日

私は今回の渡航において、James Clerk Maxwell Telescope (JCMT) による観測を行いました。JCMTはハワイ島、マウナケア山頂にある電波望遠鏡です。口径は15 mであり、350 GHz帯においておよそ15"という高い空間分解能を持っています。また16ビーム搭載の受信機HARPによって短時間に広い範囲のマッピング観測を行うことが可能です。本渡航ではこの高い分解能とマッピング効率を活かして、銀河系中心部、銀経 $l = -1.2^\circ$ に位置する特異分子雲の観測を行い、同領域の分子雲の起源に迫る貴重なデータを取得することに成功しました。

銀河系中心部には中心から半径約200 pcにわたってCentral Molecular Zone (CMZ) と呼ばれる領域が広がっています。CMZは銀河系円盤部と比較して、高温・高密度かつ広い速度幅 ($\Delta V \geq 20 \text{ km s}^{-1}$) を示す分子ガスが集中している領域です。私たちがこれまでに行ってきたCMZに対する分子輝線観測から、この領域には空間的にコンパクト ($d < 5 \text{ pc}$) でありながら、CMZの中でも際立って広い速度幅 ($\Delta V > 50 \text{ km s}^{-1}$) を示す特異分子雲、高速度コンパクト雲 (High Velocity Compact Cloud; HVCC) を多数発見してきました。これらCMZ内のHVCCの中には極めて高いCO $J=3-2/1-0$ 輝線強度比 ($R_{3-2/1-0} \geq 1.5$) を示すものが4つ発見されています。中でも銀経 $l = +1.3^\circ$, -1.2° に位置するHVCCは、銀河系中心に対して天球面上において対照的な位置にあり、多重膨張シェルに付随していること、速度幅がおよそ100 km s^{-1} にもものぼることなど複数の類似点を持つ

ていることが明らかとなってきました。特に $l = +1.3^\circ$ 領域のシェルに関してはCO分子輝線に加えて、複数分子種の輝線を用いた追観測が行われ、衝撃波の兆候が捕らえられたこと、その膨張エネルギーが数十から数百回の超新星爆発に匹敵することなどから、複数回の超新星爆発により圧縮・加速されて形成されたmolecular bubbleであると報告されています。

これに対し、 $l = -1.2^\circ$ 領域についてはこれまで主にCO分子輝線によるCMZのサーベイ観測で取得されたデータのみを元に研究を進めてきました。これらのデータから、同領域には5つ膨張シェルが検出され、膨張エネルギーは数回から十数回程度の超新星爆発に匹敵するものであると見積もられました。またシェルが比較的若いことから、その超新星頻度は非常に高いものとなり、Scaloが提唱している初期質量関数を適用すると、同領域に $10^{5-6} M_\odot$ の星団が存在することが示唆されました。この質量は銀河系内の星団の中でも最大級であり、そのような星団の存在を確認することは銀河系中心部の研究において非常に重要です。このシナリオの確認には、まずシナリオの根幹である「多重膨張シェルの加速起源が超新星爆発であるか否か」を明らかにすることが求められました。超新星爆発が同領域の分子ガスを圧縮・加速しているのであれば、高密度領域や衝撃波のプロープが検出されることが期待されます。そこで本観測では、高密度領域のプロープであるHCN, HCO^+ , H^{13}CN , H^{13}CO^+ 分子の $J=4-3$ 輝線や衝撃波プロープであるSiO分子の $J=8-7$ 輝線を用いて $l = -1.2^\circ$ 領域のイメージング観測を行いました。計32時間にわたる長時間の観測によって、 H^{13}CO^+ 分子輝線を除く全ての輝線が、同領域内の5つの膨張シェルのうち2つに付随して検出さ

れました。特に SiO J=8-7 輝線の検出は同領域の多重膨張シェルが爆発現象起源であることを強く支持するものであり、本研究において極めて重要な結果です。

今回の渡航によって、銀河系中心 $l = -1.2^\circ$ 領域の多重膨張シェルの起源に迫る非常に重要なデータを取得することができ、また、国外での長期にわたる観測という貴重な経験を積むことができました。本渡航により得られた貴重なデータはすでに論文として *Astrophysical Journal* に掲載済みです。また本観測では励起状態の高い輝線による観測を行ったため、輝線の検出は局所的でしたが、本観測と同一分子種の低い励起状態の輝線を観測することにより、残る3つのシェルについても爆発現象の兆候を捉えることを目指す予定です。今後はこれらのデータを元にさらなる研究の発展を目指すとともに、本渡航で痛感した英語力不足を克服すべく今後も積極的に国際会議や国外

での観測にも力を入れていきたいと思っております。最後になりましたが、本渡航に際しましてご支援を賜りました「日本天文学会早川幸男基金」関係者各位、ならびに日本天文学会の皆様にご心より御礼申し上げます。



観測後の日の出の眺め。雲にマウナケア山の影が映っている。

日本天文学会早川幸男基金による渡航報告書

The galaxy ecosystem. Flow of baryons through galaxies

氏名：菅原悠馬（東京大学D1（渡航当時））

渡航先：ドイツ

期間：2017年7月24日～28日

私はドイツの南ヨーロッパ天文台で開催された研究会 “The galaxy ecosystem. Flow of baryons through galaxies” に参加し、口頭講演を行いました。この研究会の目的は、銀河進化を支配する三つのガスの流れ、すなわち [1] 銀河への冷たいガスの流入（インフロー）、[2] ガスから星への変換（星形成）、[3] 銀河からのガスの流出（アウトフロー）、に焦点を当てながら銀河進化について議論することでした。これら “Galaxy Baryon Cycle” と呼ばれる物質循環は、星形成のような小スケールから銀河間物質のような大スケールまで様々な

物理が絡み合う複雑な問題です。今回、関連分野の研究者が観測・理論問わず100人以上集まり、多くの招待講演を交えながら5日間にわたって最新の研究について議論しました。

本研究会で私は “Redshift Evolution of Galactic Outflows Revealed with Spectra of Large Surveys” というタイトルで、星形成銀河のアウトフローについて口頭で講演しました。星形成銀河で一般に観測される星形成駆動アウトフローは、星形成を抑制し、ネガティブフィードバックとして銀河進化を制御すると考えられています。近年、解析的モデルによる理論研究と FIRE 数値シミュレーションは、アウトフローの物理量の一つである mass loading factor が高赤方偏移ほど大きくなるという結果を示しました。この結果は、高赤方偏移は

どアウトフローによって星形成が効率よく抑制されていることを示唆します。過去の観測的研究では銀河とアウトフローの物理量の相関関係が各赤方偏移で調べられていましたが、その進化に焦点を当てた論文はこれまでありませんでした。また、各先行研究において解析手法が異なるため、結果を研究間で直接比較することができませんでした。そこで私たちは大規模なサンプルを構築し、同一の手法で解析することによって、理論研究が示した赤方偏移進化が存在するかどうか調べました。解析に使用したのは $z \sim 0, 1, 2$ の星形成銀河の可視光スペクトルです。スペクトル中の金属吸収線を2成分でフィッティングすることでアウトフローガスによる吸収成分を抜き出し、その速度と質量を推定しました。その結果、アウトフロー速度とmass loading factorが $z \sim 0$ から2で増加することを示し、アウトフロー速度の進化は近傍銀河と銀河進化の観測を組み合わせることで説明できる可能性、アウトフローの進化は高赤方偏移における銀河の冷たいガス質量の増加と関連する可能性、の二つの可能性を議論しました。

講演終了後、アウトフローやスターバースト銀河の研究で著名なM. Lehnert氏からとても面白い研究だとコメントを頂きました。さらに私たちが議論していなかった観点から、私たちが示したアウトフローの進化は銀河活動が活発化する傾向を示すのではないか、という意見を頂きました。一部、私の知識不足のため理解しづらかった箇所は、昼食の時間を使って丁寧に議論を進めてくださりました。シンプルながらとても有用な指摘であり、今後さらに議論が進展すると思います。また、他の研究者からは $z \sim 1$ 銀河のスペクトルについてコメントを頂き、吸収線解析に利用できそうなデータを提案していただきました。様々な意見を頂きながら、自分の研究を多角的に捉え直す

良い機会となりました。

吸収線を使ってガスの運動を調べている研究者は日本では少なく、本研究会では自分と似た研究テーマを掲げたアウトフローの観測研究者と初めて直に交流できました。超新星・AGN駆動アウトフローの観測研究者であるD. Rupke氏と昼食を共にし、その後も研究会全体を通してお話してきたことはとても刺激的でした。研究会では驚いたことに、私が現在進めている研究とそっくりな内容を発表した方もいました。先を越されたかもしれないとドキドキしながら講演後に話しかけたところ、私の研究とは対象が少しズレており、解析や議論の方向性が異なりそうだということを確認しました。対立する研究者のいない日本ではできない生々しい体験で、気を引きしめて研究に臨まなければならないと改めて認識できました。そのほか国際研究の大きな動向として、まず星形成フィードバックと比べてAGNフィードバックに取り組む研究者の数がとても多いことが印象的でした。そしてMUSE, KMOSや、CALIFA, MaNGAなどの大規模サーベイの結果が続々と報告されたことも印象に残りました。これら面分光観測の進展は、銀河進化を周辺環境(CGM・IGM)との物質循環から理解するという現在の風潮に即した自然な流れだと思います。海外の大規模な面分光観測に対し、どのように関わりを持ち、どのような点で勝負するかを考える必要があると感じました。

初の国際研究会では、最新の研究動向を知ることから、英語の会話になかなか参加できないもどかしさなども含め、大きな刺激を受けました。このような貴重な機会を支援していただいた日本天文学会早川幸男基金並びに関係者の方々に深く感謝申し上げます。