

日本天文学会早川幸男基金による渡航報告書

East Asia ALMA Science Workshop

氏 名: 大西響子 (愛媛大学宇宙進化研究センター 研究員 (渡航当時))

渡航先: 韓国

期 間: 2017年11月26日~11月30日

日本天文学会早川幸男基金第100回による渡航支援を受けて、East Asia ALMA Science Workshopにおいて招待講演者として口頭発表を行った。その内容と成果について報告する。

発表した研究内容の背景

銀河進化のプロセスを解明することは、近代の天文学において最も重要な課題のうちの一つである。近年では、ほぼ全ての銀河中心に超巨大ブラックホールが存在することが明らかになってきている。また、ブラックホール (Black Hole: BH) 質量 (M_{BH}) とそれを含む銀河 (母銀河) の基本的な物理量 (特に星の速度の分散値 σ 等) との間に強い相関があることも観測と数値シミュレーションの両方から知られはじめている (Kormendy & Ho 2013等)。この二つの事実は銀河とBHが互いに影響を及ぼし合いながら成長してきたこと (銀河とBHの共進化) を示唆しており、銀河進化の解明の示準となる物理量として M_{BH} が注目されている。これまでの力学的な M_{BH} 導出手法では、メーザや電離ガスや星の回転運動から比較的確度の高い M_{BH} が求まっていた。しかし、BHまわりにメーザを持つ天体が少ないこと、電離ガスの運動が多くの場合回転だけでモデル化できないこと、そして、星の運動を用いる手法がバルジの大きい早期型銀河にしか適用できないことから、現状の $M_{\text{BH}}-\sigma$ 関係のサンプルは数が多くなく (~80天体)、早期型銀河に偏っている (~65%が早期型)。これを受けて申請者は、近年アルマ望遠鏡

によって達成された高い空間分解能を用い、近傍銀河で観測できる分子ガスの運動から力学的に M_{BH} を求める手法を確立してきた (Onishi et al. 2015, 2017, Davis et al. 2017a, b)。

本手法はこれまでの $M_{\text{BH}}-\sigma$ 関係のサンプルに多くの晩期型銀河を含む様々な天体を増やすことができ、関係式そのものの精査を可能にする。

一方で、銀河とBHの共進化過程の解明に向けては、理論と観測の両方の側面から様々な研究が進められてきた。数値計算による理論的研究では、共進化過程として銀河がBHに質量を供給し、BHがジェットを噴出する等の活動から銀河に物質を再供給 (フィードバック) するというシナリオが提案されている (King et al. 2015等)。このような具体的シナリオを検証する観測を行うためには、共進化過程を反映しているとされる $M_{\text{BH}}-\sigma$ 関係の中で、銀河とBHがどのような経路を辿って進化するかという具体的な議論が必要になる。そのため、BHの成長過程、つまりは M_{BH} の増加過程を直接観測し、 $M_{\text{BH}}-\sigma$ 関係に反映することが不可欠である。アルマ望遠鏡や近年の面分光装置によって、近傍の巨大銀河では数十パーセクスケールでのガス運動の観測が可能になってきた。これを用いてBH周辺での運動を詳細に観測し、非回転運動 (銀河中心に落ちるインフローや、銀河核周辺の輻射圧を受けたアウトフロー等) を検出することで、 M_{BH} の成長過程を定量的に定義できる。

研究と講演の内容

そこで申請者は、先述の M_{BH} 導出手法の中で作られるガスの回転運動モデル (BHや星等の重力場に準拠) を応用し、非回転運動 (銀河中心に落ちるインフローや、銀河核周辺の輻射圧を受け

たアウトフロー等)を正確に検出する手法の開発に着手した。この手法では、これまでの同様の研究とは異なり回転運動モデルが力学的な根拠を持つため、検出される非回転運動の確度が高いと考える。また、一元化したモデルを用いることができるため、これまであまり行われてこなかった電離ガスと分子ガスの非回転運動の比較が可能であり、銀河中心における物理状態とその進化の様子を直接追うことができる。これによって、銀河とBHの共進化過程についてこれまでより多角的に迫ることができると思われる。

講演では、これまでにアルマ望遠鏡等による分子ガスの高分解能観測から M_{BH} を導出した研究をレビューし、これまでの $M_{\text{BH}}-\sigma$ 関係と我々の新手法を用いて導出した結果を紹介した。ここまでに本手法で導出できた M_{BH} は、本手法を用いない結果のみで作られた $M_{\text{BH}}-\sigma$ 関係とよく一致し、そのサンプルを増やすに当たって効果的であることが証明できた。また、同じ銀河に対して本手法と異なる手法を独立に適用した結果、求まる値が一致するものとしらないものが一天体ずつあり、手法による系統誤差が存在するかどうかを調べる必要性が強調された。次に、アルマ望遠鏡を用いて ~ 50 パーセク程度の分解能で観測したNGC 4501のCO ($J=2-1$)の運動情報から、非回転運動を検出し、先行論文にある電離ガス(N_{II}; Repetto et al. 2017)や温かい分子ガス(H₂; Mazzalay et al. 2014)での観測と比較した結果を紹介した。2型セイファート銀河であるNGC 4501において

は、電離ガスでは非回転運動の兆候は見られないが、H₂やCO輝線ではハッブル宇宙望遠鏡の撮像で見られるダストの減光領域に沿って非回転運動が存在することが分かった。この運動は銀河の傾きからアウトフローであるとされる(Repetto et al. 2017)が、銀河核からの輻射を起源とするアウトフローとしてはスケールが大きく、起源を精査する必要がある。アウトフローの根の位置がVLBIで観測されているAGNの位置と同じであるかどうかまでは本データから特定できないが、更に高い分解能のデータ(~ 5 パーセクスケール; データ取得済み)を用いることでより詳細に迫れると期待する。

渡航による成果

今回支援いただいた渡航によって実現した講演では、東アジア地域のアルマ望遠鏡利用者のコミュニティに向け、 M_{BH} 導出手法に関する成果を報告するだけでなく、その他のサイエンスへの活用方法を紹介することができた。また、発表の中で紹介したデータと他の観測波長で検出できるガス等のプロパティとの比較について、韓国や台湾の研究者と議論することができた。これによって、本研究から派生する研究を東アジア地域に広げることができ、多様な観測機器を用いて銀河とBHの共進化解明という最終目標に多角的な視点から迫るような研究に発展させることができると考える。