

氏 名（本 籍 地）	田 中 隆 広	
学 位 の 種 類	博 士（理 学）	
学 位 記 番 号	博 甲 第 9723 号	
学位授与年月日	令和2年10月31日	
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当	
審 査 研 究 科	数理物質科学研究科	
学 位 論 文 題 目	Effect of the bar pattern speed on the molecular gas dynamics in galaxy NGC 7479 (NGC7479 における分子ガスの運動に及ぼす棒状構造のパターン速度の影響)	
主 査	筑波大学 教授	理学博士 梅村 雅之
副 査	筑波大学 教授	博士(理学) 久野 成夫
副 査	筑波大学 准教授	博士(理学) 徂徠 和夫
副 査	上越教育大学 教授	博士(理学) 濤崎 智佳

論 文 の 要 旨

審査対象の論文は、棒渦巻銀河における棒状構造のパターン速度が分子ガスの運動に及ぼす影響に着目し、分子ガスの高分解能観測と数値シミュレーションの詳細な比較から、パターン速度の違いが棒状構造でのガスの運動と星形成活動へ及ぼす影響を明らかにしている。

第1章では、初めに銀河において棒状構造の果たす役割と、棒状構造のパターン速度を測定することの必要性について述べている。また、棒状構造がパターン速度によって fast-bar と slow-bar に分類されることを述べている。続いて、棒状構造のパターン速度の測定方法について、特に本研究で採用する Kuno et al. (2000)による方法について解説している。最後に本研究の目的が述べられている。

第2章では、観測対象の NGC7479 についての説明ののち、Atacama Compact Array (ACA)を用いて行った CO (J=1-0) 観測の諸元およびデータリダクションについて述べている。NGC7479 は、棒状構造と銀河の長軸の方向がそろった銀河であり、Kuno et al. (2000)の手法が使える銀河であることが述べられている。また、特徴として、他の棒渦巻銀河と違い棒状構造での星形成活動が円盤部と同程度である珍しい銀河であることが述べられている。

第3章では、最初に積分強度図、速度場、位置－速度図といったCO観測の結果がまとめられている。速度場から棒状部分での非円運動が示され、位置－速度図から、棒状構造で予想通り剛体回転のように見える成分が存在することが示されている。続いて、このデータに Kuno et al (2000)で提案された手法を適用することで、棒状構造のパターン速度を求めている。その結果、NGC7479 のパターン速度の上限値として $\Omega_p = 24 \pm 14 \text{ km}^{-1}\text{kpc}^{-1}$ を求めている。さらに、剛体回転部分にオフセットが見られることを示し、これがガスの中心方向への運動によるものと推測している。その効果を補正する独自の手法を提案し、パターン速度を求めた結果、NGC7479 のパターン速度の下限値として $\Omega_p = 18 \pm 11 \text{ km}^{-1} \text{ kpc}^{-1}$ を求めて

いる。これらの結果から、NGC7479 が fast-bar であることを明らかにしている。

第 4 章では、最初に観測データとの比較に用いる数値シミュレーションの SPH 法について説明している。続いて、本シミュレーションで用いた星およびダークマターの重力ポテンシャルの決定方法を含めたシミュレーションの設定について述べられている。

第 5 章では、SPH シミュレーションの結果が述べられている。観測的に得られたパターン速度の制限に基づき、fast-bar である $\Omega_p = 18 \text{ km}^{-1} \text{ kpc}^{-1}$ 、 $24 \text{ km}^{-1} \text{ kpc}^{-1}$ 、比較のために slow-bar である $\Omega_p = 12 \text{ km}^{-1} \text{ kpc}^{-1}$ について、2 種類の音速 $c_s = 10 \text{ km s}^{-1}$ 、 15 km s^{-1} の合計 6 パターンが実行されており、それぞれの結果が示されている。

第 6 章では、ACA による CO 観測の結果と SPH シミュレーションの詳細な比較を行っている。ガスの 2 次元分布および動径分布、棒状構造でのガスの運動を比較することで、slow-bar である $\Omega_p = 12 \text{ km}^{-1} \text{ kpc}^{-1}$ よりも、fast-bar である $\Omega_p = 18 \text{ km}^{-1} \text{ kpc}^{-1}$ 、 $24 \text{ km}^{-1} \text{ kpc}^{-1}$ のほうが観測結果をよく再現できることが示されている。特に、 $\Omega_p = 18 \text{ km}^{-1} \text{ kpc}^{-1}$ が最も観測結果をよく再現し、観測的に求めたパターン速度が正しいことが確認されている。

第 7 章では、SPH シミュレーションの結果をもとに、NGC7479 におけるガスの運動と星形成について議論されている。最初に、位置-速度図上に見られたオフセットの原因について調べ、その原因が予想通り、棒状構造に沿った中心方向への運動によるものであることが示されている。次に、fast-bar と slow-bar の違いに着目し、ガスの運動と棒状構造での星形成活動との関係について述べられている。slow-bar では、重力不安定性の成長のタイムスケールよりシエアによる破壊のタイムスケールが短いため、星形成が抑制される傾向にあるが、NGC7479 のような fast-bar では重力不安定性の成長のタイムスケールのほうが短く、円盤部と同程度の星形成活動を保てることが明らかにされている。さらに、この違いが、パターン速度の違いによる棒状構造付近でのガスの軌道の違いに起因することが示されている。

第 8 章では、本論文の結論が述べられている。

審 査 の 要 旨

〔批評〕

本研究は、棒渦巻銀河 NGC7479 について分子ガスの高分解能観測データと数値シミュレーションの詳細な比較を行った重要な研究である。特に、棒状構造のパターン速度に着目して棒渦巻銀河におけるガスの運動と星形成活動について調べている点に独自性がみられる。本研究のように観測的に求めたパターン速度を用いて数値シミュレーションを行った例は、まだほとんどない。また、パターン速度の測定に関しても、先行研究の手法を独自のアイデアで発展させている点が高く評価できる。さらに、シミュレーションの結果を詳細に解析することで明らかにされた、パターン速度とガスの運動および棒状構造での星形成活動との関係は、非常に興味深い結果である。今後、中心でのスターバーストや活動銀河核へのガス供給との関係や、銀河の進化に伴うパターン速度の変化と宇宙の星形成史との関係などへの発展が期待される。

〔最終試験結果〕

令和2年9月14日、数理物質科学研究科学位論文審査委員会において審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって、合格と判定された。

〔結論〕

上記の論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士(理学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。