

論文審査の結果の要旨

氏名 芝塚 要公

本論文は、5章よりなる。第1章はイントロダクションであり、銀河における星形成活動の多様性と、それを理解する上での星間物質、特に、高密度分子ガスの役割とこれまでの研究について概観した後、本論文が明らかにする課題を示している。第2章は、本論文でとった手法と、観測対象とする銀河サンプル、および、野辺山宇宙電波観測所のミリ波干渉計によって行った観測の諸元についてまとめている。第3章は、得られた観測結果をまとめており、第4章では、得られた観測結果に基づき、数10パーセクスケールでの星形成効率を支配する要因について、および、高密度分子ガスの形成メカニズムについて、論じている。第5章は結論である。

第1章では、まず銀河における星形成の多様性について、星形成率や星形成効率の観点から述べている。次に、幅広い星形成率や星形成効率の原因を理解する要因としての分子ガス、特に高密度な ($n(H_2) > 10^4 \text{cm}^{-3}$) 分子ガスの重要性を記述し、さらに高密度分子ガスのトレーサーについて、および、これまでの銀河における高密度分子ガスの観測的研究について概観している。すなわち、銀河における星形成率や星形成効率をコントロールする要因として、分子ガスの「量」に加え、「質」、すなわち、高密度分子ガスが、全分子ガス中に占める割合の重要性が明らかになってきていること、現在までのところ、観測は銀河全体にわたる数キロパーセク・スケールにとどまっていること、したがって多数の銀河で、実際のスターバーストが起きている数100パーセクあるいはそれ以下の空間スケールを調べる必要性があることを述べている。さらに、現在未解明な問題として、星形成をコントロールする上で重要な高密度分子ガスが、どのようにして形成されるか、を明らかにする必要性を述べている。

第2章では、第1章において提示した問題意識に基づき、本論文でとった手法、すなわち、近傍のスターバーストを持つ棒渦巻銀河の、野辺山ミリ波干渉計による、CO(J=1-0) 輝線、HCN(J=1-0) 輝線、および $\lambda = 3\text{mm}$ 連続波での高分解能撮像サーベイ、という観測について述べている。銀河の多くには非軸対称ポテンシャルが見出されており、非軸対象ポテンシャルは、星間物質の分布や力学に重大な影響を与えることが理論的にも観測的にも明らかになっているため、本論文では、まず棒渦巻銀河7天体を観測サンプルとして選んだ。さらに、励起臨界密度の異なる上記2本の分子輝線に着目し、これによって、全分子ガスと、高密度な分子ガスを定量的なパラメーターとし、その比率を探ることとした。また、ミリ波連続波の観測で、星形成領域からの自由-自由放射を捉え、これにより、星間減光のない大

質量星形成率を得ることを狙った。

第3章では、得られた観測結果について詳述している。7つの銀河において、数10パーセク～数100パーセクスケールという高い解像度で、高密度分子ガスの分布が描き出されたのは本論文が初めてである。この結果、(1) HCN分子輝線によって描かれる高密度分子ガスの分布は、この空間スケールにおいても、大質量星形成領域の分布(3mm連続波の分布)と、空間的に大変よい相関を示すこと、(2) 全分子ガス中に占める高密度分子ガスの割合(HCN/CO輝線強度比)は、非軸対称ポテンシャルに起因する軌道集中領域そのものではなく、むしろその下流側において上昇していること、を明らかにした。

第4章では、得られた観測結果をもとに、棒渦巻銀河における高密度分子ガスの形成機構について、および、数10パーセクスケールでの、星形成効率を支配している物理的要因について論じている。観測されたHCN/CO輝線強度比の空間分布、および着目する領域における銀河回転の力学的時間スケールと、重力不安定性の成長の時間スケールとが一致すること、から、高密度分子ガスは重力不安定性によって形成されるとした。これまで、個々の銀河において、高密度分子ガスの成因を議論した例はあるが、本論文では、多数の銀河の観測から、サンプルに共通する性質として、高密度分子ガスの形成機構を初めて明らかにした。また、観測結果から求めた星形成効率と、高密度分子ガスの比率を数10パーセクスケールで比較し、両者が、この空間スケールでもよい相関を示すこと、さらに、この相関関係が、より大きいスケールでの相関則に乗ること、すなわち、数10パーセクスケールから数10キロパーセクまでに普遍的なスケーリング則であることを初めて明らかにした。また、銀河の中におけるガスの流れを、高密度分子ガスの形成が進む過程として解釈して、流れとともに星形成効率が上昇していく様子を初めて捕らえることに成功したことも、注目に値する。

第5章では、以上の結果を簡潔にまとめ、銀河における高密度ガスと星の総合的な形成シナリオを提示している。

以上のように、本論文は、野辺山宇宙電波観測所のミリ波干渉計を用い、その性能を十分に引き出して、これまで容易ではなかった微弱な輝線や連続波の観測を高分解能で実現し、銀河における星形成の研究にインパクトを与えた研究であると言える。

なお、本論文は、川辺良平・河野孝太郎・松下聡樹との共同研究であるが、論文提出者が主体となって、観測計画の立案・観測・データ整約・解析・議論を行っており、論文提出者の寄与が充分であると判断する。よって、博士(理学)の学位を授与できると認める。