

銀河ガスの定量に向けた基礎研究：一酸化炭素輝線比の銀河内分布の解明

Underpinning the CO line ratio; towards precision gas measurement in extra-galactic astronomy

所属機関： 工学院大学

代表研究者氏名：小麥 真也

研究期間： 2024年8月11日～2024年9月25日

区分：個人A

滞在研究機関： Department of Physics and Astronomy, Stony Brook University
Stony Brook, NY 11794-3800, United States

共同研究者等： Prof. Jin Koda

The project aims to understand the variation of the line ratio between carbon monoxide (CO) J=2-1 and J=1-0 line in nearby galaxies. We have completed the low spatial resolution study using Total-Power array data obtained at ALMA. The low resolution study revealed the radial variation in the line ratio, and discovered for the first time, that the radial trend is dependent on whether the galaxy hosts a large stellar bar structure. In addition, we also find that the line ratio changes not only spatially but spectrally, indicating that gas dynamics affect the line ratio, either via change in gas density or temperature.

海外研究活動概要

本研究では、銀河内に分布する水素分子ガスの指標として広く利用されている一酸化炭素 (CO) の2つの回転励起輝線の比が空間的にどのように変動するかを明らかにすることを目的としている。水素分子ガスは星を形成するための材料であるため、その分布を定量的に理解することは銀河が時間とともにどう変化するか（銀河進化）を理解する鍵となる。しかし、水素分子は無極性であるため通常の星間空間では電磁波を放射しない。そのため、水素分子との存在比が凡そ一定であることが知られている CO の輝線を測定することでガスを定量する。この際の CO は波長 2.6mm の J=1-0 輝線がガスの総量を最もよく定量できるとして、50年に亘って利用されている。近年、この状況が一変した。観測装置や技術の発達によって、より感度がよく、観測の空間分解能が高い波長 1.3mm の J=2-1 輝線が利用され始めた。ただし、従来ガス量を推定するために使われてきた J=1-0 輝線の強度に変換する必要がある。現在銀河研究をとりまく問題の1つが、J=2-1 輝線強度を J=1-0 輝線強度に変換する際にその比 R が一定値であると仮定していることにある。理論的には R はガスの温度や密度によって 0.3-1.0 程度の間で変動することが

わかっている。もし銀河内部の大局的な構造（渦状腕や棒構造）、あるいは局所的な構造（個別の分子雲）によって R が変動するとしたら、R が定数であるとする仮定はガスの測定量に系統的な誤差を生じることとなる。我々は、ALMA-FACTS プロジェクトとして近傍の銀河 12 天体について、CO(J=1-0) と CO(J=2-1) の両方の高空間分解能・高感度のデータを取得し、実際に銀河内部で比 R がどのように変動しているかを探った。対象となる 12 天体は、これまでの CO(J=2-1) 輝線での大規模サーベイ PHANGS の対象となっているもので、しかもさまざまな形態や質量のものを網羅している。

成果

本滞在では、ALMA-FACTS の中でも分解能の低い Total Power (TP) array データを利用した。TP データは単一鏡観測によるものであるが、強度測定精度が高く (<2.4%)、干渉計イメージングをとりまくフーリエ変換に伴う誤差も生じないため、高分解能データを扱うガイドとして重要である。解析の結果、CO 輝線比 R は空間的な変動のみならず、ガスの速度によっても大きく異なることが判明した (fig.1)。図1は銀河 NGC1097 の主軸にそってガスの後退速度に

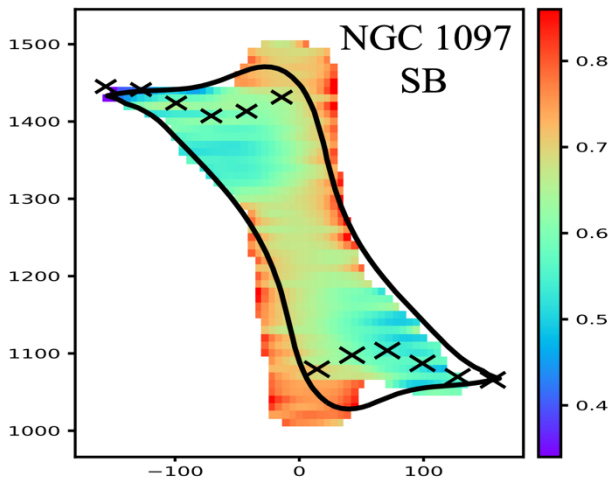
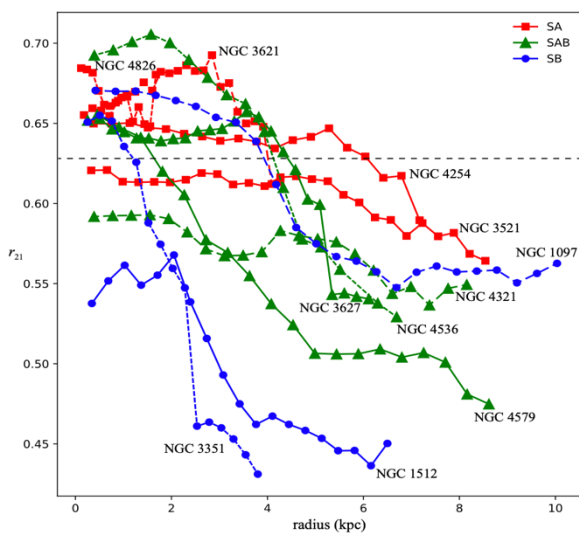


Fig.1: The CO line ratio R along the major axis of galaxy NGC1097 for different gas recession velocity. Contours



correspond to the region modeled by rotating concentric rings (i.e., galactic rotation)

Fig.2: Radial variation of R in ALMA-FACTS galaxies. Square, Triangle and Circle plots correspond to non-barred (SA), intermediate bars (SAB) and barred (SB) galaxies.

対して R がどう変動するかを示している。黒線で表された領域内はガスの運動が純粋な円運動からない銀河回転で説明される領域であるが、この領域内外では比の値(カラースケール)が系統的に異なる。このように、力学的な構造による R の変動は本プロジェクトで発見された。さらに、この円運動からなる銀河回転領域で銀河の中心から動径方向に R がどう変動するかを fig2 (図 2) にしめす。多くは中心から外縁部に向かって R が減少するが、棒構造を持たない銀河(形態分類 SA)は動径変化が弱く、強い棒構造を持つ銀河(同 SB)は動径変化が大きく、銀河半径の 15%に達すると R=0.4 程度まで減少することが判明した。銀河形態によって R の変動が系統的に異なることは初めてわかった。

今後の展望

本滞在では低分解能データについて論文投稿段階まで進んだが、高分解能の干渉計データについては解析が端緒についたばかりである。今後は本研究結果をもとに共同研究者と高分解能データで同様に輝線比を描き出し、輝線比の動径変化および棒構造の有無による違い、銀河回転に伴ったガスとそうでないガスとの違いについて検証を進めることとなる。

研究の発表

口頭発表

1. Komugi et al., “ALMA-FACTS : 近傍銀河の CO(J=2-1)/CO(J=1-0)比の空間変動に関する系統的サーベイ”, 日本天文学会 2023 秋季年会
2. Komugi et al., Stony Brook Astronomy seminar “Initial results from ALMA-FACTS”, Sep.6, 2024, Stony Brook U.