

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 29 日現在

機関番号：24403

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24740126

研究課題名(和文) 近傍銀河における星間物質の物理状態診断に基づく、高精度な星形成則の構築

研究課題名(英文) Formulation of high-accuracy star-formation law based on the diagnostic of inter-stellar medium in nearby galaxies

研究代表者

村岡 和幸 (Muraoka, Kazuyuki)

大阪府立大学・理学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：40571287

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,700,000円、(間接経費) 510,000円

研究成果の概要(和文)：本研究において私は、ミリ波サブミリ波帯の一酸化炭素分子輝線を活用し、近傍銀河における分子ガスと星形成の定量関係を詳細に調べた。渦巻銀河では、棒状構造の有無に関わらず、分子ガスを銀河中心領域に落とし込む機構が強い銀河ほど、効率の良い星形成を引き起こすことを明らかにした。さらに、棒状構造を持つ渦巻銀河では、その非軸対称性が強いほど(つまり、棒状構造が目立つほど)中心領域での高密度ガス形成が効率よく促進され、非常に大規模な星形成、即ちスターバーストを引き起こす原因となりうるということがわかった。

研究成果の概要(英文)：In this study, I investigated the quantitative relationship between molecular gas and star formation in nearby galaxies utilizing emission line of carbon monoxide at the millimeter/sub-millimeter wave length. High-efficient star formation can occur in spiral galaxies having strong mechanisms which high concentrate molecular gas into their nuclei, regardless of the existence of bar-structures. In addition, for the barred spiral galaxies, the strong non-axially symmetry of bar-structures can promote high-efficient dense-gas formation. This might become the cause of the extremely massive star formations, i.e., the starbursts.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：天文学

キーワード：電波天文学 分子ガス 星形成

1. 研究開始当初の背景

この宇宙において、星形成が定量的に従う法則、すなわち分子ガスと星形成の定量関係を『星形成則』と呼ぶ。一般的によく知られた星形成則に Kennicutt-Schmidt 則 (K-S 則) がある。これは分子ガスの質量面密度 (Σ_{GAS}) と星形成率 (Σ_{SFR}) の間に、 $\Sigma_{\text{SFR}} \propto \Sigma_{\text{GAS}}^N$ (N は 1~2) で表される関係があるというもので、5 桁以上のダイナミックレンジがある。しかし、近傍の渦巻銀河から遠方のサブミリ銀河まで、さまざまな銀河で K-S 則を描くと、同じ分子ガス質量でも星形成率が 10 倍以上異なるケースがあり、分散が大きかった。

星形成則にこうした分散を生む原因として、「銀河の構造 (たとえば銀河中心で起こるスターバーストや棒状構造、渦巻腕)」と、「分子ガスの物理状態 (特に分子ガス密度)」の 2 つが大きく影響しているのではないかと考えられている。しかし、このような銀河の構造や分子ガスの物理状態まで考慮して星形成則を研究した例は存在していなかった。

2. 研究の目的

本研究の最終的な目標は、まだまだ分散の大きな星形成則を高精度化し、近傍銀河から遠方宇宙まで通用するような、分子ガスと星形成率に関する新たな定量関係を構築することである。

上記の目標を達成するため、まずは銀河の各種構造が分子ガスの分布や質量にどのような影響を与えているかを解明することを目指した。これに続いて、特に星形成に直結した高温かつ高密度の分子ガスの分布や量を詳しく調べることで、分子ガスの物理状態が星形成率をどう増減させるのかを定量的に明らかにすることを目指した。

3. 研究の方法

(1) 本研究では、まず銀河の構造が分子ガスの分布や星形成にどのような影響を与えているか (もしくは支配しているか) を、29 個の近傍銀河について行った。その内訳は、棒渦巻銀河 22 個と、棒状構造を持たない渦巻銀河 7 個である。

まず、これらの銀河に対し、「分子ガスの中心集中度」という新たなパラメータを定義し、計算した。これは銀河全体の分子ガス質量に対する、銀河中心領域 (銀河半径の 1/8 以内) の分子ガス質量の比として定義した。分子ガスの中心集中度は、各々の銀河が持つ構造 (特に棒状構造の有無) によって大きく異なってくるもので、銀河の各構造・領域で

の分子ガス分布や星形成活動を特徴づける、重要なパラメータとなりうる。分子ガスの中心集中度の導出には、一酸化炭素 (CO) 分子の回転遷移輝線 ($\text{CO}(1-0)$ 及び $\text{CO}(2-1)$) のマップを使用した。これらの CO マップは、野辺山 45-m 鏡や IRAM 30-m 鏡による大規模なサーベイによって得られているので、そのアーカイブデータを活用した。

(2) 続いて、銀河中の分子ガスの物理状態が星形成率にどのような影響を与えるかを調べた。星形成に直結した高温かつ高密度の分子ガスのトレーサーとして、 CO 分子の回転遷移輝線の中でも、より準位が高く、臨界密度の高いサブミリ波帯の $\text{CO}(3-2)$ 輝線のデータを用いた。また、ダストに埋もれた星形成を定量的に正しく評価するために、Spitzer 宇宙望遠鏡で観測された波長 $24\mu\text{m}$ の連続波を星形成率の指標とした。

合計で 7 つの銀河について、銀河の各場所における $\text{CO}(3-2)$ 輝線強度と $24\mu\text{m}$ 光度の定量関係を調べた。さらに、 $\text{CO}(3-2)/\text{CO}(1-0)$ 輝線強度比の分布を得ることで、高温高密度ガスが高い割合で存在する場所を調べた。

4. 研究成果

(1) まず、各々の銀河について得られた分子ガスの中心集中度について、頻度分布を調べた。図 1 は、横軸に分子ガスの中心集中度を、縦軸にその頻度を取ったもので、渦巻銀河に比べて棒渦巻銀河の方が中心集中度が高い傾向にあることがわかる。過去の研究でも、棒渦巻銀河は棒状構造のトルクによって効率よく分子ガスを中心領域に落とし込むことができると言われており、これはそれらの知見と合致する結果である。しかし、渦巻銀河の中にも、分子ガス中心集中度が 15% と非常に高い銀河があることもわかった。

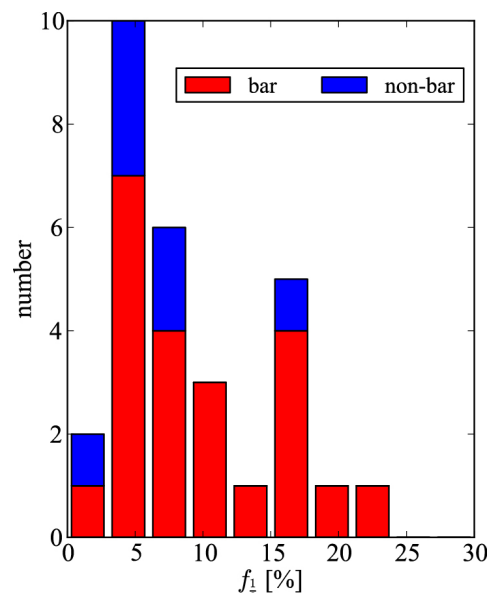


図 1: 分子ガス中心集中度の頻度分布

(2) 続いて、各銀河の分子ガスの中心集中度と分子ガスの質量面密度を比較した(図2)。両パラメータの間に強い相関関係が見えていることから、まず中心領域の分子ガス質量が増加すること(即ち、銀河の円盤領域から中心領域への分子ガスの流入)がガス中心集中度を支配している可能性が高いことを示唆する。さらに注目すべきは、棒渦巻銀河と渦巻銀河それぞれのプロット点に明確なズレがなく、同じ相関の系列上に位置していることである。これは、棒状構造を持たない渦巻銀河でも効率よく分子ガスを中心領域に落とし込む機構が存在することを示唆する。たとえば、渦巻腕によるトルクや衝撃波などがその原因として挙げられるが、理論計算による裏付け等はまだまだなく、より詳細な研究が必要である。

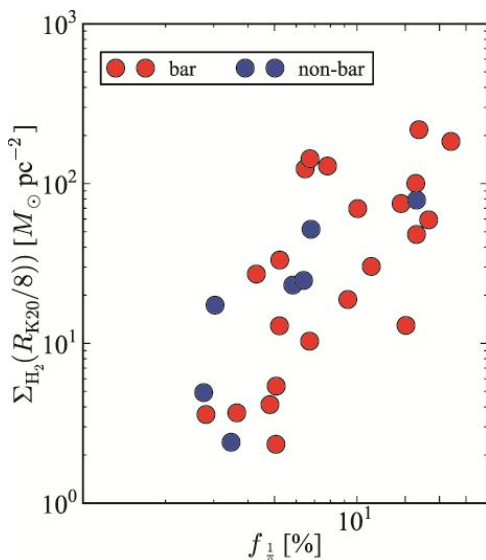


図2: 各サンプル銀河の、分子ガスの中心集中度と、銀河中心領域のガス質量の関係。

(3) CO(3-2)輝線のマップが取得されている7個の銀河に対して、CO(3-2)輝線の光度と24 μ m光度を比較した(図3)。すると、これら2つのパラメータの定量関係は、銀河によって大きく異なり、その傾きによって3つのグループに大別されることがわかった。

一つ目は、傾きが0.5以下のも(NGC 628, NGC 3938)、二つ目は、傾きが0.8前後のもの(NGC 4254, NGC 4321, NGC 5055)、最後は傾きが1を超えるもの(M 83, NGC 986)である。これらを順にグループ1, 2, 3とする。

このうち、傾きが最も小さいグループ1はいずれも渦巻銀河で、しかも分子ガスの中心集中度が非常に小さく(3%程度)、中心領域の星形成が不活発である。

傾きが0.8前後のグループ2は、渦巻銀河(NGC 4254, NGC 5055)と棒渦巻銀河(NGC 4321)の両方が存在する。分子ガスの中心集中度そのものは渦巻銀河(5-10%)よりも棒渦巻銀河(17%)の方が大きい、高密度分子ガスと星形成率の定量関係にお

いては、これらの銀河は非常に似通っている。

傾きが1を超えるグループ3は、いずれも中心領域の星形成が非常に活発な棒渦巻銀河で、分子ガスの中心集中度も高い(>20%)。特にM 83は典型的なスターバースト銀河の1つとしてよく知られている。

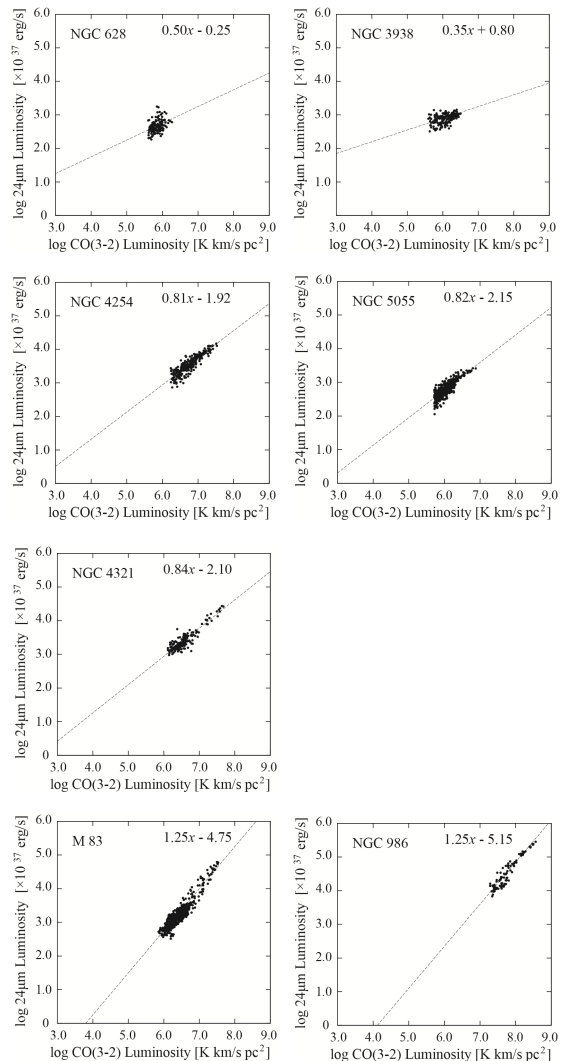


図3: それぞれの銀河における、CO(3-2)輝線の光度と24 μ m光度の比較。

これら3つのグループの性質の違いをより明確にするため、これら7つの銀河について、CO(3-2)/CO(1-0)輝線強度比の空間分布、および棒状構造の非軸対称性の大きさ、の2点を調べ、以下のことを明らかにした。

グループ1の銀河はCO(3-2)/CO(1-0)比が中心領域でも円盤領域でもほぼ同じだが、グループ2, 3の銀河は中心領域の方が円盤領域よりもCO(3-2)/CO(1-0)比が1.5倍ほど高くなっていた(つまり、中心は分子ガスがより高密度の状態にある)。

グループ3の銀河は、グループ2に比べ棒状構造の非軸対称性が大きい(棒状構造が目立つ)。言い換えると、グループ2の銀河はたとえ棒状構造を持っていたとしても、その働きが比較的弱い。そのた

め、分子ガスを中心へ落としこむ機構の強さや星形成則が渦巻銀河と棒渦巻銀河で似たものになる可能性がある。

これらの結果を総合的に解釈し、銀河中の分子ガスと星形成について、最終的に以下に示すような知見を得た。

- ・渦巻銀河は、棒渦巻銀河に比べて分子ガスを中心領域に落としこむ機構が弱いものが多い、そのような銀河は中心領域の星形成がさほど活発でない。そのため、星形成則の傾きも小さい (NGC 628, NGC 3938)。
- ・しかし、一部の渦巻銀河は、おそらく渦巻腕のトルクや衝撃波等により、分子ガスを効率よく中心領域に落とすことができる (NGC 4254, NGC 5055)。このような渦巻銀河は、棒状構造の非軸対称性が弱い銀河 (NGC 4321) と、中心領域での高密度ガス形成や星形成の活発さが似ている。即ち、単純な棒状構造の有無ではなく、その非軸対称性の強さが星形成則を支配する大きな要素となっていることを示唆する。
- ・棒状構造の非軸対称性が特に強い棒渦巻銀河 (M 83, NGC 986) は、中心領域に分子ガスを集中させ、高密度ガス形成を促進する機構が強く、非常に効率の良い星形成 (スターバースト) を引き起こしていると考えられる。

このように、銀河の形態と分子ガスの物理状態、そして星形成則の相互関係について、一定の理解を得ることに成功した。今後は、より多くの銀河について CO(3-2)輝線のデータを蓄積すること、棒状構造の非軸対称性を適切に定量化し、星形成則に反映させることを目指していく。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 0 件)

[学会発表](計 3 件)

馬路博之、村岡和幸、金子紘之、「近傍銀河における分子ガス中心集中度と星形成の関係」、日本天文学会 2014 年春季年会、国際基督教大学、2014 年 3 月 19 - 22 日

馬路博之、村岡和幸、金子紘之、「銀河のガスの中心集中度と星形成の関係」、第 31 回 NRO ユーザーズミーティング、国立天文台野辺山、2013 年 7 月 24 - 25 日

馬路博之、村岡和幸、瀧崎智佳、南谷哲宏、小野寺幸子、田中亜矢子、藤井浩介、河野孝太郎、「M 83 における 13CO(J=3-2)輝線の OTF 広域マッピング観測」、日本天文学会 2013 年春季年会、埼玉大学、2013 年 3 月 20 - 23 日

[図書](計 0 件)

[産業財産権]
出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

村岡 和幸 (MURAOKA, Kazuyuki)
大阪府立大学・大学院理学系研究科・助教
研究者番号：40571287