

令和 4 年 8 月 30 日現在

機関番号：13103

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2021

課題番号：18K13593

研究課題名(和文)世界最大の一酸化炭素輝線撮像観測で探る銀河群環境が星間ガスに及ぼす統計的研究

研究課題名(英文)Statistical studies of galaxy environments on ISM using the largest CO imaging survey data

研究代表者

金子 紘之(Kaneko, Hiroyuki)

上越教育大学・大学院学校教育研究科・特任助教

研究者番号：10648702

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,700,000円

研究成果の概要(和文)：銀河は宇宙の基礎的な構成要素で、大集団の銀河団、数十程度の銀河からなる銀河群、孤立銀河に分類されます。銀河群は約半数の銀河が所属する環境ですが、あまり研究されてきていませんでした。本研究では、銀河群に着目し、恒星、原子ガス、分子ガスの質量、分布を大規模撮像データを使って詳しく調べました。銀河団では原子ガスが剥ぎ取られて質量が減ることが知られていますが、銀河群では、分子、原子ガス質量は孤立銀河とほとんど変わりませんでした。一方、分布を見ると、分子ガスは銀河円盤部にやや集まっていることがわかりました。銀河群のような数十程度の銀河集団でも、他の銀河からガス分布には影響を与えている可能性があります。

研究成果の学術的意義や社会的意義

私たちの住む天の川銀河は、局所銀河群、という銀河群の一員です。天の川銀河がどのようにできたのか、を知ろうと思ったとき、天の川銀河の周りの銀河からの影響を調べることも必要です。また、天の川銀河や宇宙全体が今後どう変化していくのか、を理解しようとする、現在の宇宙で最も一般的な環境である銀河群の研究が重要になります。この研究では、今まであまり調べられていなかった銀河群の分子ガス研究、特に分布がわかる撮像データを使って統計的に調べたことに意義があります。銀河同士は離れて見えますが、天の川銀河のような銀河群では、影響を及ぼしあっていて、分子ガスの分布が銀河の外側の方に偏っている傾向にあるようです。

研究成果の概要(英文)：Galaxies are fundamental structures of the Universe. They are not uniformly distributed in space. They are categorised into three groups: a galaxy cluster, which is made of more than 100 galaxies, a galaxy group, which consists of several to a few tens of galaxies, and an isolated galaxy. While a galaxy cluster and an isolated galaxy have well been studied, the properties of a galaxy group, to which about half of the local galaxies belong, are not understood yet.

I focused on the environmental effect of galaxy groups in this study. The properties of stars, atomic hydrogen, and molecular hydrogen are investigated using large imaging survey data. In a galaxy group environment, the amounts of atomic and molecular gas are similar to isolated galaxies. This result suggests that these gas are not removed from the environment, effective in the galaxy cluster environment. On the other hand, molecular gas distributions are less concentrated toward the centre of a galaxy.

研究分野：天文学

キーワード：系外銀河 分子ガス 銀河環境

### 1. 研究開始当初の背景

銀河の数密度、つまり銀河環境は、形状などの銀河の進化に対して大きな影響を与えることが知られている。数～数十の銀河からなる銀河群は、近傍でおよそ半数の銀河が所属する最も典型的な環境であり、銀河群で銀河が受ける影響を理解することが銀河進化の理解にもつながる。特に、銀河進化は星形成活動のサイクルによって進むため、恒星の原料である分子ガスの理解が重要であるが銀河群では系統だった分子ガス研究が行われていなかった。

### 2. 研究の目的

本研究では、環境効果が与える影響の中で、ほとんど理解されていない数密度の低い銀河環境である銀河群において、星間ガスがどのような影響を受けているのかを明らかにし、更に銀河進化に直結する星形成活動との関係を解明することが目的である。

特に本研究が着目する点は、銀河群が、直接星形成活動に寄与する分子ガス、分子ガスの材料である原子ガス、そして星形成活動の三つに対してもたらす影響を、空間分布、温度や密度の物理状態の2点に対して定量的に評価することにある。この研究では、孤立銀河との差を明らかにするだけでなく、既に研究が進んでいる銀河団とも比較し、宇宙・銀河進化がどのように進行するかを示すことを目指した。

### 3. 研究の方法

本研究の主なデータとなる分子ガス撮像データは、CO Multi-line Imaging of Nearby Galaxies (COMING)のCO(1-0)分子輝線データを用いる。COMINGで観測された127銀河中、50銀河が孤立銀河であり、77銀河が銀河群に所属している。この割合は概ね、近傍銀河の典型的な孤立銀河、銀河群の割合と同等であり、本研究に最適なデータである。このデータから、本研究では、COMINGデータを銀河群、孤立銀河に分け、分子ガスの分布、正確な質量を導出し、それにより銀河群において以下の3つの検証を行う。

#### (1) 星間ガスの剥ぎ取り効果の銀河群での検

分子ガス、原子ガス、恒星それぞれ銀河中心集中度と分布の非対称性を定量化し、銀河群と孤立銀河に対して統計的に評価する。これにより銀河団で顕著な水素原子ガスの選択的剥ぎ取りが、銀河群でも生じているのか明らかにする。

#### (2) 銀河群内の星間ガスの物理状態変化の検証

銀河群では銀河団に比べると銀河間ガス量が少ないため、ラム圧による低温ガスの剥ぎ取りが効きづらいが、低温ガスの供給源となる高温ガスは剥ぎ取られる可能性が数値シミュレーションから示唆されている。銀河の外側に分布する高温ガスが水素原子、分子ガスを經由して星形成が行われていくことから、このシナリオに従うのであれば、銀河群では孤立銀河に比べて、原子ガス、分子ガス、星形成率の低下、銀河の外縁部から内側へと向かって星間ガス中の分子ガス比が上昇、銀河のガス密度が外側に向け低下など、星間ガスの物理状態の変化が期待される。この仮説は水素原子ガス、水素分子ガス、星形成効率の3つの指標を組み合わせ、星間ガス中の分子ガス比の空間分布と解析モデル計算、 $^{12}\text{CO}(1-0)/^{13}\text{CO}(1-0)$ 輝線強度比と輻射輸送モデル計算を駆使することで得られる星間ガスの原子ガス-分子ガス相転移状態、ガス温度・密度などの物理状態の空間分布から直接検証する。

#### (3) 銀河群の星間ガスが星形成活動にもたらす影響の解明

ガスの剥ぎ取り効果が星形成活動の抑圧に働く一方、銀河群のような比較的少数の銀河から構成されるコンパクトな集団においては、銀河間近接重力相互作用による星形成活動の活発化が支配的になっている可能性がある。このような銀河では星形成率/ガス質量で定義される星形成効率が低いことが知られているため、孤立銀河と銀河群で星形成効率を比較して、この可能性を検証する。更に、星形成率と星間ガス量間の関係(Kennicutt-Schmidt 則)を銀河群、孤立銀河別に空間分解して調べることで、星形成活動性に質的な変化が生じているかどうかを合わせて検証する。これらを通じて、銀河団を含めた銀河環境が宇宙・銀河進化の主体となる星形成活動に対して与える影響を示す。

### 4. 研究成果

(1) 恒星質量で規格化した分子ガス、原子ガス質量を導出した。さらに全ガス質量中に分子ガスが占める割合を算出し、各銀河環境(孤立銀河、銀河群、銀河団)間での比較を行った。孤立銀河と銀河団の間ではこれら3つのパラメータのうち、原子ガス質量のみ、過去の研究と同様に、減少傾向が見られた。一方、孤立銀河と銀河群では、いずれのパラメータでも差は見られなかった。これらの結果は、原子ガスの選択的剥ぎ取り、衝撃波加熱によるガス供給の抑制、銀河間相互作用による効率的な分子ガス形成などが働いていないことを示し、銀河群が単純に小型の銀河団である、という仮説を否定する結果となる。

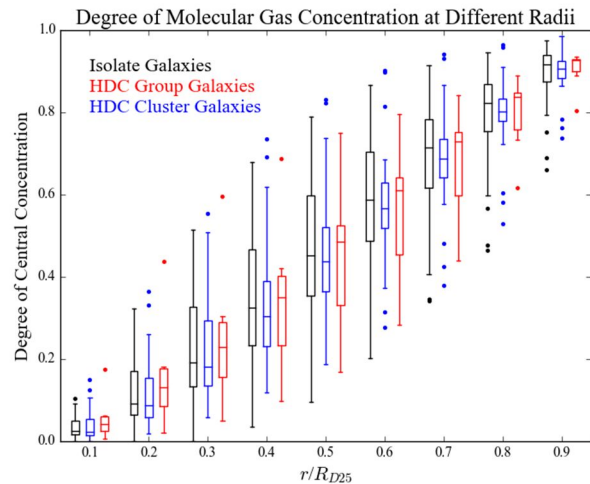
(2) 銀河群、銀河団内では銀河間重力相互作用の影響も考えられるため、これらの影響程度を検

証するため、COMING 等のデータを用いて、孤立銀河と相互作用銀河のデータを抽出し、分子ガスの空間分布と恒星の空間分布の比較を試みた。ここでは銀河の中心への集中度に着目した。銀河を3つの領域(銀河全体、銀河半径の1/2、銀河半径の1/4)に分け、その中に含まれる分子ガス、恒星の質量を導出、それぞれの比によって3種類の中心集中度を定義した。これにより、近接重力相互作用を受けた場合に分布に偏りが発生するのか、発生した場合にはどの領域に影響が及びやすいか、を評価した。

この結果、恒星の分布には差は見られなかったが、分子ガスの分布は定義した3つの中心集中度いずれもわずかに相互作用銀河の方が高い(中心に集中している)ことが明らかになった。この差は、過去の研究による銀河が棒状構造を持っていた時に中心集中度が高くなる効果に比べて弱い。どの領域でも相互作用銀河の方が、中心集中度が高いことから、分子ガスは相互作用を受けてゆっくり外側から中心へと落ちていくものと解釈できる。これは、シミュレーションによる急速な落下予測とは異なる結果である。

(3) 銀河内部での分子ガス、恒星が銀河中心に対してどれくらい集中しているか、をそれぞれの環境、および半径を変えて調べた。成果(2)で示されたように、銀河間の直接的な重力相互作用の影響があるため、これを避けるため、相互作用銀河を除外し、残った銀河を孤立銀河、銀河群、銀河団のそれぞれの密度環境へ分類した。ここでは先行研究に基づいて、2種類の方法で銀河環境を分類し、それぞれで比較を実施した。

分子ガス、恒星、またどの半径でも銀河環境間で中心集中度に有意な差が無いという結果が得られた。ガスや星の質量の間には環境による差がみられないことから、これは分子ガスや恒星分布に対する銀河の置かれた環境からの影響は 図1:異なる銀河半径内に含まれる分子ガス質量 銀河内部の構造を乱すほど大きくはないことを意味すると考えられる。

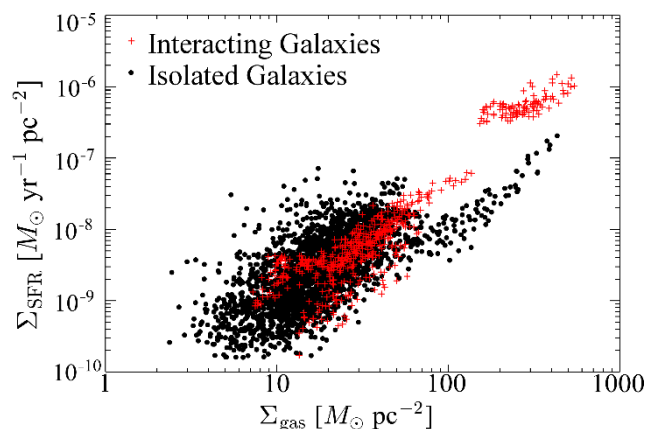


(黒：孤立銀河、赤：銀河群、青：銀河団)

(4) 比較対象群である孤立銀河の基礎的解析研究としてCOMINGのCO( $J=1-0$ )データとHERACLESサーベイのCO( $J=2-1$ )撮像データを用いて、キロパーセクスケールでのCO( $J=2-1$ )/CO( $J=1-0$ )比の変動を孤立銀河に対して調べた。先行研究ではこの比はほぼ一定と仮定されることが多いが、銀河の中心で0.8程度と高く、円盤部では0.6程度でほぼ一定となることがわかった。近年ではCO( $J=2-1$ )撮像データを用いる研究が精力的に進められているが、そのようなデータから求めた分子ガス質量は系統誤差が大きくなることが分かる。これにより、COMINGデータの有用性がより大きくなったといえる。

(5) 銀河環境の違いによる銀河の星形成活動を比較するにあたり、成果(2)に示したように、相互作用銀河ではガス分布に影響が見られたことから、このような銀河間相互作用が働いている場合の星形成活動を評価した。銀河全体では大きな星形成率の超過が見られない相互作用銀河でも、キロパーセクスケールで見ると、部分的な超過が見られるものの、銀河衝突の初期段階であれば、星形成率と星間ガス量間の関係は孤立銀河と大きく変わらないことが確認できた。これにより、直接、銀河群が星形成活動-分子ガス間にある関係性に与える影響を評価可能となった。

図2: 相互作用銀河(赤)と孤立銀河(黒)における星形成率と星間ガス量間の関係(Kennicutt-Schmidt 則)



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yajima Yoshiyuki, Sorai Kazuo, Miyamoto Yusuke, Muraoka Kazuyuki, Kuno Nario, Kaneko Hiroyuki, Takeuchi Tsutomu T, Yasuda Atsushi, Tanaka Takahiro, Morokuma-Matsui Kana, Kobayashi Masato I N	4. 巻 73
2. 論文標題 CO Multi-line Imaging of Nearby Galaxies (COMING). IX. 12CO(J=2-1)/12CO(J=1-0) line ratio on kiloparsec scales	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 257 ~ 285
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psaa119	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Sorai Kazuo, Kuno Nario, Muraoka Kazuyuki, Miyamoto Yusuke, Kaneko Hiroyuki, 他34名	4. 巻 71
2. 論文標題 CO multi-line imaging of nearby galaxies (COMING). IV. Overview of the project	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 S14-1 ~ S14-42
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psz115	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Kaneko Hiroyuki, Kuno Nario, Iono Daisuke, Tamura Yoichi, Tosaki Tomoka, Nakanishi Kouichiro, Sawada Tsuyoshi	4. 巻 74
2. 論文標題 Properties of molecular gas in galaxies in early and mid stages of Interaction. III. Resolved Kennicutt?Schmidt law	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 343 ~ 363
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psab129	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 三浦飛未来、金子紘之、小野寺幸子
2. 発表標題 銀河重力相互作用下における分子ガス中心集中度
3. 学会等名 日本天文学会2021年春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金子紘之, 宮本祐介, 俣徠和夫, 矢島義之, 柴田修吾, 梶川明祐実, 八嶋裕, 久野成夫, 田中隆広, 保田敦司, 諸隈佳菜, 竹内努, 村岡和幸, 中井直正, Dragan Salak, 瀬田益道, 中西裕之, Pan Hsi-An, ほかCOMING メンバー
2. 発表標題 NRO レガシープロジェクト COMING(27): 銀河環境間の分子ガス、星質量 中心集中度の比較
3. 学会等名 日本天文学会2019年秋季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金子紘之
2. 発表標題 Does A Galaxy Group Environment Affect Molecular Gas Properties in Galaxies?
3. 学会等名 International Astronomical Union XXX General Assembly (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三浦飛未来、金子紘之、小野寺幸子他
2. 発表標題 NRO レガシープロジェクト COMING 銀河間重力相互作用下における分子ガスと星の中心集中度
3. 学会等名 日本天文学会2019年春季年会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

PASJ特集号「野辺山45m電波望遠鏡：レガシープロジェクトとFOREST受信機」の刊行  
[https://www.nro.nao.ac.jp/news/2020/0109-pasj\\_si.html#nmnews](https://www.nro.nao.ac.jp/news/2020/0109-pasj_si.html#nmnews)

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
ドイツ	Max Plank Institute for Astronomy			
チリ	Joint ALMA Observatory			