

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 19 日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K17657

研究課題名(和文) 巨大分子雲形成と星形成史を繋ぐ化学診断法の開拓

研究課題名(英文) Development of Astrochemical Diagnostic Method for Formation of Giant Molecular Clouds and Starformation History

研究代表者

渡邊 祥正 (WATANABE, Yoshimasa)

筑波大学・数理物質系・助教

研究者番号：20586929

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：我々の天の川銀河や近傍銀河における分子雲の化学組成には多様性があるのか、それを決める要因は何か、についてはまだ十分に理解されていない。本研究では、分子雲の化学組成に着目し、その多様性の有無を探った。IRAM 30m(スペイン)、Mopra 22m(オーストラリア)、国立天文台野辺山45mなどの電波望遠鏡を使い、銀河系内と近傍銀河の分子雲を調べた。その結果、重元素の組成が似ている銀河同士は、分子の化学組成が似ていることが分かった。ALMAを使った高空間分解能観測では、分子雲同士の衝突により、化学組成が変化することも明らかにした。この結果は、銀河における星形成過程の解明につながると期待される。

研究成果の概要(英文)：Revealing a diversity of chemical composition among molecular clouds and its origin is one of important issue to be addressed in the starformation studies. In this research, we have explored the diversity by observation toward molecular clouds in our Galaxy and nearby galaxies with radio telescopes. From the observation with IRAM 30 m, Mopra 22 m, and NRO 45 m radio telescopes, we found that the chemical compositions are similar to each other among molecular clouds in our Galaxy and nearby galaxies, which possess similar elemental abundance of heavy atoms. In addition, we have conducted high angular resolution observation toward nearby galaxy M83 and NGC 3627 with ALMA. In NGC 3627, we found that abundance of CH₃OH is enhanced by interaction between the molecular clouds. Our results give insights into the starformation process in the galaxies.

研究分野：電波天文学

キーワード：分子雲 星間分子 星形成 近傍銀河

1. 研究開始当初の背景

星形成過程の研究は半世紀にわたって活発に繰り返され、そのマイクロプロセスについての理解はかなり進んできている。一方で、星は質量、存在形態(単独、連星、クラスター)において広い多様性を持っており、その多様性の起源は母体となる分子雲の形成過程によるものと考えられている。従って、大部分の星が生まれる巨大分子雲(GMC)が、銀河系の中でどのように作られ進化してきたのかを理解することは、星形成分野と銀河天文学分野を繋ぐ重要な研究課題である。銀河スケールの運動や現象が、GMCの形成やそこでの星形成に影響を与えることは古くから予想され、議論されてきた。しかし、銀河スケールの現象と星形成とは観測される構造のスケールが大きく違い(銀河のkpcスケールから星形成の0.1 pcスケール)、両者の関係の研究は未だに立ち遅れており、これを解決することが近傍銀河における星形成研究の喫緊の課題である。

2. 研究の目的

本研究では、銀河スケールの現象とGMCの形成やその中で星形成を繋ぐ方法として分子ガスの化学組成に着目した。分子ガスの化学組成は、物理状態や進化段階を鋭敏に反映する。たとえば、SiO(一酸化ケイ素)やCH₃OH(メタノール)などの分子は衝撃波領域で存在量が劇的に増加することが近傍分子雲における研究で知られている。同様に、CCHやCNなどの分子は、光解離領域で存在量が増加することも知られている。さらに、化学反応により分子が形成されるのには時間がかかるため、分子雲の進化も反映する。銀河系内の星形成研究は、化学指標を用いた物理現象の診断(化学診断)の研究手法を導入することにより飛躍的に進展してきた。近傍銀河においても、GMC同士の衝突による衝撃波や、星形成活動に伴う強い紫外線がGMCに影響を及ぼすことが予想される。もしこれらの物理現象が、GMCの化学組成に及ぼすのであれば、近傍銀河の星形成研究においても、化学診断の手法を確立できる可能性がある。

そのために、本研究ではGMCスケールの分子ガスの化学組成を調べ、銀河内の位置、GMC周囲の環境、内部の星形成活動性との関連を系統的に理解することを目指した。この目標を達成するために、(1)近傍銀河の円盤領域に存在する個々のGMCの化学組成、(2)GMC内部の星形成活動などが全体の化学組成に及ぼす影響について観測的に探索した。そして、(1)と(2)の研究を統合し、近傍銀河研究における化学診断の手法の確立を模索した。

3. 研究の方法

2の研究の目的で述べた(1)のGMCの化学組成を調べるために、ALMAを用いて、近

傍の銀河の円盤領域に対して高感度の観測を展開した。化学組成に影響する要因として、GMC内部の星形成、渦状腕や棒状構造で生じる衝撃波などの銀河のダイナミクスなどが考えられる。そこで、GMCスケールを空間的に分解する観測を行い、分子ガスの運動の上流・下流、棒状構造や渦状腕などの銀河の中で場所の違い、星形成活動の有無に着目し、各GMCの化学組成を調べた。M83とNGC3627という2つの銀河をサーベイ観測し、異なる銀河間でGMCの化学組成がどの程度類似しているのかについても確認した。

(2)のGMC内部の星形成活動の影響は、GMC全体で平均した化学組成を解釈する上で不可欠な情報である。近傍銀河の観測では、空間的に広がった冷たい分子ガスが化学組成に寄与していることが示唆されており、GMC内部の星形成の影響は小さいと考えられる。そこで、銀河系のGMCであるW51についてMopra 22m電波望遠鏡を用いてマッピングラインサーベイ観測を行い、GMC全体で平均した化学組成を求めた。平均するスケールを変えることにより、化学組成がどのように変化するのかについて調べた。

4. 研究成果

ALMAを使い、近傍の棒渦巻銀河M83のGMCスケールの分子ガスの化学組成の探索を推進した。渦状腕領域と棒状構造における、HCN、HCO⁺、CCH、CS、やメタノールなどの基本的な分子の組成を比較した結果、メタノールの存在量が棒状構造で高い傾向を発見した。銀河系内における観測研究から、メタノールは衝撃波に伴う加熱により星間塵表面の氷に含まれるメタノールが蒸発することで存在量が増加することが知られている。棒状構造内部では、GMC同士の衝突などにより衝撃波が発生することが、これまでの数値シミュレーションから予測されている。本観測の結果は、棒状構造内部で衝撃波が発生していることを裏付ける結果である。

M83に加え、別の棒渦巻銀河NGC3627についてもALMAを使い観測した。NGC3627では、渦状腕と棒状構造の接続領域を観測し、M83と同様の基本的な分子の組成を調べた。NGC3627においても、メタノールの存在量が卓越する領域を見出した。その領域の速度構造を詳細に調査した結果、2つのGMCが衝突していると解釈できる構造を発見した。これは、M83と同様にメタノールが、GMC同士の衝突による衝撃波加熱により星間塵から蒸発し、存在量が増加したことを示唆する結果である。

一方で、M83とNGC3627の大質量星形成領域の周辺のGMCの化学組成を、他の領域のものと比較したところ、大きな違いは見出されなかった。これは、星形成によって放射される紫外光の影響はGMCの表面のごく浅い領域に限られ、大部分の分子ガスは紫外光から遮蔽された環境に存在している可能性が考え

られる。

NGC 3627 については、ALMA の観測に加えて国立天文台野辺山 45 m 電波望遠鏡と IRAM 30 m 電波望遠鏡を使い、円盤領域と銀河中心核領域のスペクトル線サーベイ観測を行なった。観測領域ごとの化学組成の違いはほとんど見られなかったことから、1 kpc スケールで観測した化学組成は星形成や銀河中心核の影響をほとんど反映しないことを確認できた。

Mopra 22m 電波望遠鏡を使った、銀河系内の GMC W51 のマッピングスペクトル線サーベイ観測では、約 40 pc×50 pc 四方の領域を観測した。観測領域全体で平均した化学組成は、近傍銀河 M51 を 1 kpc スケールで観測した化学組成とよく似たものであった。多くの分子で、検出した光度の 70%程度が GMC の外側に広がった領域からのもので、星形成領域からの寄与は小さいことが分かった。このことから、W51 は大規模な大質量星形成領域を含む GMC であるが、GMC スケールの化学組成にはその影響がほとんど反映されないと考えられる。この結果は、M83 や NGC 3627 の大質量星形成領域周辺での結果とおおむね一致するものであった。

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7件)

(1) Miyamoto Yusuke, Seta Masumichi, Nakai Naomasa, Watanabe Yoshimasa, 他、ALMA [CI] observations toward the central region of Seyfert galaxy NGC 613, Publications of the Astronomical Society of Japan, 査読有、2018、印刷中
DOI: 10.1093/pasj/psy016

(2) Nishimura Yuri, Watanabe Yoshimasa, 他、Molecular-cloud-scale Chemical Composition. II. Mapping Spectral Line Survey toward W3(OH) in the 3 mm Band, The Astrophysical Journal, 査読有、848 巻、2017、17
DOI: 10.3847/1538-4357/aa89e5

(3) Watanabe Yoshimasa, 他、Discovery of Striking Difference of Molecular-emission-line Richness in the Potential Protobinary System NGC 2264 CMM3, The Astrophysical Journal, 査読有、847 巻、2017、108
DOI: 10.3847/1538-4357/aa88b6

(4) Watanabe Yoshimasa, 他、Molecular-cloud-scale Chemical Composition. I. Mapping Spectral Line Survey toward W51 in the 3 mm Band, The

Astrophysical Journal, 査読有、845 巻、2017、116

DOI: 10.3847/1538-4357/aa7ece
(5) Yuri Nishimura, Takashi Shimonishi, Yoshimasa Watanabe, 他、Spectral Line Survey toward a Molecular Cloud in IC10, The Astrophysical Journal, 査読有、829 巻、2016、94
DOI: 10.3847/0004-637X/829/2/94

(6) Ana Lopez-Sepulcre, Yoshimasa Watanabe, 他、The role of SiO as a tracer of past star-formation events: The case of the highmass protocluster NGC 2264-C, The Astrophysical Journal, 査読有、822 巻、2016、85

DOI: 10.3847/0004-637X/822/2/85
(7) Junko Ueda, Yoshimasa Watanabe, 他、ALMA observations of the dense and shocked gas in the nuclear region of NGC 4038 (Antennae galaxies), Publications of the Astronomical Society of Japan, 69 巻、査読有、2017、6
DOI: 10.1093/pasj/psw110

[学会発表](計8件)

(1) Yoshimasa Watanabe, 他、Chemical Characteristics of Young Massive Protostar Candidate NGC 2264 CMM3, High Mass Starformation Workshop 2018, 2018 年 3 月 23 日、山口大学

(2) Yoshimasa Watanabe, 他、Striking richness of molecular lines in the proto-binary system NGC 2264 CMM3, The origin of galaxies, stars, and planets in the era of ALMA, 2017 年 11 月 29 日-12 月 1 日、Caltech Astronomy & Astrophysics, CA, USA

(3) 渡邊祥正、他、NGC 3627 における分子雲同士の相互作用の化学組成への影響、日本天文学会 2017 年秋季年会、2017 年 9 月 13 日、北海道大学

(4) Yoshimasa Watanabe, 他、Striking richness of molecular lines in the proto-binary system NGC 2264 CMM3, Symposium Molecular Evolution in Space, 2017 年 6 月 28-29 日、北海道大学

(5) Yoshimasa Watanabe, 他、Molecular-Cloud-Scale Chemical Compositions in W51, Astrochemistry VII - Through the Cosmos from Galaxies to Planets, 2017 年 3 月 20-24 日、Puerto Varas Chile

(6) Yoshimasa Watanabe、他、Spectral Line Survey toward NGC 2264 CMM3 with ALMA、Workshop on Interstellar Matter 2016、2016年10月19-21日、北海道大学

(7) 渡邊祥正、他、NGC 2264 CMM3 におけるALMAを用いた高空間分解能観測、日本天文学会2016年秋季年会、2016年9月14日、愛媛大学

(8) Yoshimasa Watanabe、他、CH₃OH Enhancement in the Bar of M83 Observed with ALMA、Half a Decade of ALMA: Cosmic Dawns Transformed、2016年9月20-23日、Indian Wells、USA

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渡邊祥正 (WATANABE, Yoshimasa)

筑波大学・数理物質系・助教

研究者番号：20586929