

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年5月31日現在

機関番号：62616

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22740127

研究課題名（和文）ALMA を見据えた近傍銀河のサブミリ波観測

研究課題名（英文）Submillimeter Observation of Nearby Galaxies for future ALMA Science

研究代表者

水野 範和（MIZUNO NORIKAZU）

国立天文台・チリ観測所・准教授

研究者番号：20372526

研究成果の概要（和文）：マゼラン銀河および近傍銀河に対して、ASTE を中心としたサブミリ波観測に基づき、巨大分子雲の高密度領域の温度、密度を精度よく決定、これら物理量と星形成の活発さに関連があることを定量的に示すことに成功した。また、巨大シェル構造によるガスの掃き集め効果が分子雲形成に重要な役割をはたす一方、局所的な電離水素領域が分子雲における2次的大質量星形成に直接的な影響を与えていることを明らかにし、局所的な星形成と大局的な現象を結びつけた。

研究成果の概要（英文）：Based on the sub-millimeter wave observations to the nearby galaxies and the Magellanic Clouds with ASTE telescope, the densities and temperatures of the dense regions of the giant molecular clouds were derived accurately, and the relationship between the physical properties and star formation activities of the dense molecular clouds were established quantitatively. In addition, while the effect of the sweeping up by the giant shells in the galaxies may play an important role in formation of the molecular cloud, the ionized atomic hydrogen regions have a direct triggering on the massive star formation secondary in molecular clouds. This shows that the global phenomenon and local star formation can be combined and related each other.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：サブミリ波、分子雲、星形成、マゼラン銀河、近傍銀河

1. 研究開始当初の背景

(1) 国内外の研究の動向

これまでも、近傍銀河の分子雲の電波観測は、内外の研究者によって活発に行われてきたが、観測周波数はミリ波が中心であり、分子ガス

の総量、面密度が求められ、星形成との関連が議論されてきた。一方、サブミリ波の観測は、近年になり、CO(3-2)輝線を中心として行われている。一方CO(4-3, 7-6)といった高励起分子スペクトル、および中性炭素原子(CI)

スペクトルによる観測は、特に高温高密度領域で分子ガスの温度、密度を精度よく決定でき、その重要性にも関わらず、一般にその輝線強度が弱いこと、および、大気吸収の影響を大きく受けるため、観測が立ち遅れていた。

(2) マゼラン銀河

マゼラン銀河は距離も一定であり、視線方向の重なりも少なく、可視光、赤外線等、他波長で多くのデータが存在する他、近年の観測プロジェクトにおいては、Legacy project として必ず観測される重要な天体である。当然 ALMA においては最優先で観測すべきターゲットの一つであり、強力な観測提案の立案が必要となる。

2. 研究の目的

銀河の進化を理解するには、星形成の母胎である高密度分子雲とそこでの星形成の関係を、銀河スケールで、その銀河の環境との関係と合わせて、定量的に明らかにする必要がある。本研究は、マゼラン銀河および近傍銀河をサブミリ波分子輝線 (CO 高励起スペクトル)、原子輝線 (CI) で観測、特に、星・星団形成に密接に関連した高密度分子雲の物理状態の定量、空間分布と運動を解明することにある。これをもとに、分子ガスと環境 (星形成、重元素量、銀河の形態) との関係を確立し、さらに他波長 (赤外線等) のデータとも比較研究を進め、銀河進化の研究に、大きく寄与することを目指す。主として使用する望遠鏡は、チリ・アタカマ高地で稼働中の NANTEN2 望遠鏡、ASTE 望遠鏡ならびにオーストラリア Mopra 望遠鏡である。

3. 研究の方法

主に以下の2つの方法でマゼラン銀河および近傍系外銀河のサブミリ波観測を行い、銀河の多様性 (形態、星形成活動、重元素量) と星形成の母胎である分子雲の性質との関連の解明を目指した。一つは「なんてん」望遠鏡による CO サーベイのデータ (Mizuno et al. 2001) を基にした大小マゼラン銀河の巨大分子雲のサブミリ波観測である。ASTE, NANTEN2 望遠鏡を用い、200-800GHz 帯の分子、原子スペクトル観測を遂行し、大質量星団の形成母体である大質量高密度分子雲クランプの質量、温度、密度等の物理量を求め、データベース化する。同定した分子雲クランプと H α 輝線天体、電波連続波、メーザー源、X線、赤外線、紫外線等のデータと比較し、分子雲コアおよびその近傍で大質量星形成の兆候が見られるか、星形成効率などを定量化する。もう一つは、近傍 (距離 2~20Mpc) の系外銀河に対するサブミリ波分子、原子スペクトルでの観測であ

る。これらの観測を通し、個々の銀河全体における分子ガスの質量・密度・速度幅等の物理量とそれぞれの銀河の星形成活動、重元素量、原子ガス (HI) の分布等との相関を調べる。

4. 研究成果

(1) マゼラン銀河、近傍銀河の分子雲研究

マゼラン銀河については、Mopra 望遠鏡による $^{12}\text{CO}/^{13}\text{CO}(1-0)$ 輝線による観測を推進、NANTEN サーベイで検出した巨大分子雲を 10pc 以下の高角分解能で分解して捉えた。個々の分子雲のサイズ、質量、線幅等の物理量を導出、環境 (紫外線放射場、金属量、星形成活動) との相関を比較研究したが、驚くべき事に、銀河系-LMC-SMC の間で、巨大分子雲スケールでは、その性質に大きな相違がないことが明らかになった。そこで、より星形成と密接に関連した高密度領域の温度、密度といった物理量とそこでの星・星団形成活動を比較するため、ASTE サブミリ波望遠鏡による $^{12}\text{CO}/^{13}\text{CO}(3-2)$ の観測を進めた。既存のミリ波データと合わせた輻射輸送モデルとの比較からは、巨大分子雲の高密度領域の温度、密度を精度よく決定、これら物理量と星形成の活発さに関連があることを定量的に示すとともに、巨大分子雲の進化と関連付けた解釈ができることを大小マゼラン両銀河について示唆した。また、大マゼラン銀河については、NANTEN2 望遠鏡で取得した CO の高励起輝線 $\text{CO}(J=4-3, 7-6)$ ならびに中性炭素原子 (CI) のデータを解析、局所銀河群において最も明るく活発な星形成領域である 30Dor 領域の分子ガスの温度、密度を推定した (図 1)。

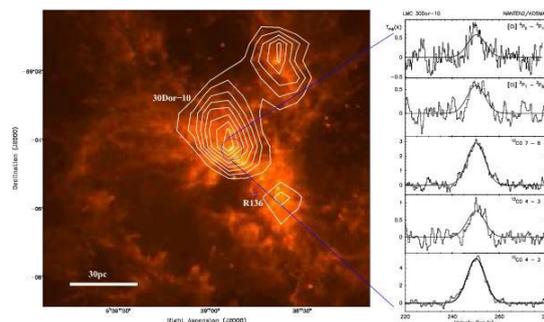


図 1 : (左パネル) 30Dor 領域の Spitzer 8 ミクロンの放射 (Meixner et al. 2006) に Mopra ^{12}CO $J=1 \rightarrow 0$ 放射マップ (Wong et al. 2011) を重ねたもの。(右パネル) それぞれの観測のラインプロファイル結果。(Pineda, Mizuno et al. 2012 から)。CI(2-1) スペクトルはこの観測が 30Dor からは初検出である。

(2)大質量星からのフィードバックによる星形成、分子雲研究

多数の超新星爆発等によって形成された膨張シェルは周囲の低密度ガスを圧縮、誘発的に星、分子雲を形成すると考えられている。LMCには、スーパージアアントシェル(SGSs)と呼ばれる 1kpc を超えるシェル構造が同定されており、銀河全体の大質量星や星団、巨大分子雲の形成効率や銀河の構造にも大きく寄与していることが観測的にも示唆されてきた。LMC の北部に位置する巨大膨張シェル LMC4 と LMC5 に付随する分子雲を ASTE, Mopra 望遠鏡により観測、ミリ波データとサブミリ波データを比較、特に2つのシェルの衝突領域にある分子雲で顕著な温度、密度上昇のあることを示した。原子ガスと分子ガスの分布、速度構造の比較からも巨大膨張シェルによるガスの掃き集め効果により、分子雲が形成されたことを示す一方、局所的な HII 領域が分子雲における大質量星形成に直接的な影響を与えていることも示唆している(図2)。以上の結果は、銀河における星形成について局所的な星形成と大局的な現象を結びつける試みであった。

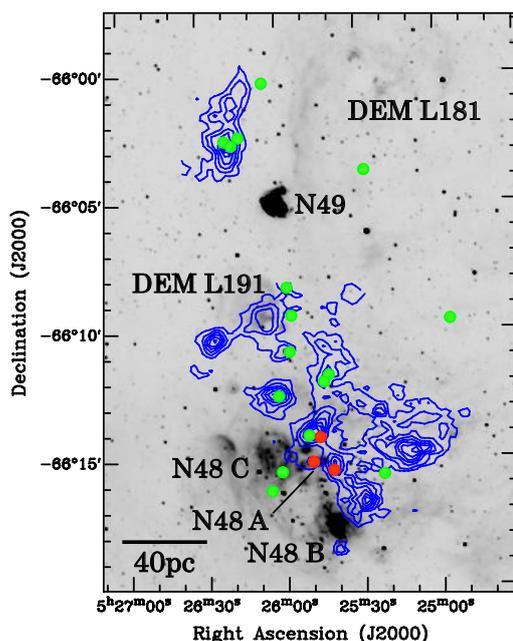


図2： $^{12}\text{CO}(J=3-2)$ の積分強度と、 $\text{H}\alpha$ フラックス(MCELS)、およびYSO(Young Stellar Object)候補天体(Whitney et al. 2008, Gruendl & Chu 2009)の分布図。青コントアが $^{12}\text{CO}(J=3-2)$ 積分強度、スケールが $\text{H}\alpha$ フラックスを表している。緑丸がGruendl & Chu 2009によるYSO候補天体であり、赤丸が大質量(10太陽質量以上)YSO候補天体である。緑色の小中質量YSO天体が、分子雲全体に広がって分布しているのに対して、赤色の

大質量YSOは、電離水素領域(HII領域)のごく近傍にのみ分布している。

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8件)

- ① Espada, D., Komugi, S., Muller, E., Nakanishi, K., Saito, M., Tatematsu, K., Iguchi, S., Hasegawa, T., Mizuno, N. et al., Giant Molecular Clouds and Star Formation in the Tidal Molecular Arm of NGC 4039, *The Astrophysical Journal Letters*, Volume 760, Issue 2, article id. L25, 5 pp. (2012), DOI: 10.1088/2041-8205/760/2/L25.
- ② Pineda, J., Mizuno, N. et al., Submillimeter line emission from LMC 30 Doradus: The impact of a starburst on a low-metallicity environment, *Astronomy & Astrophysics*, 査読有, 544, 2012, DOI: 10.1051/0004-6361/201118321.
- ③ Leroy, A. K., Bolatto, A., Gordon, K., Sandstrom, K., Gratier, P., Rosolowsky, E., Engelbracht, C. W., Mizuno, N., Corbelli, E., Fukui, Y., Kawamura, A., The CO-to-H2 Conversion Factor from Infrared Dust Emission across the Local Group, *The Astrophysical Journal*, 査読有, 737, 2011, DOI: 10.1088/0004-637X/737/1/12.
- ④ Gordon, K. D. et al. including Mizuno, N., Surveying the Agents of Galaxy Evolution in the Tidally Stripped, Low Metallicity Small Magellanic Cloud (SAGE-SMC). I. Overview, *The Astronomical Journal*, 査読有, 142, 2011, DOI: 10.1088/0004-6256/142/4/102.
- ⑤ Minamidani, T., Tanaka, T., Mizuno, Y., Mizuno, N. et al., Dense Clumps in Giant Molecular Clouds in the Large Magellanic Cloud: Density and Temperature Derived from $^{13}\text{CO}(J=3-2)$ Observations, *The Astronomical Journal*, 査読有, 141, 2011, DOI: 10.1088/0004-6256/141/3/73
- ⑥ Röllig, M., Kramer, C., Rajbahak, C., Minamidani, T., Sun, K., Simon, R., Ossenkopf, V., Cubick, M., Hitschfeld, M., Aravena, M., Bensch, F., Bertoldi, F., Bronfman, L., Fujishita, M., Fukui, Y., Graf, U. U., Honingh, N., Ito, S., Jakob, H., Jacobs, K., Klein, U., Koo, B.-C., May, J., Miller, M., Miyamoto, Y., Mizuno, N. et al., *Astronomy and Astrophysics*, 査読有, 525, 2011, A8, DOI: 10.1051/0004-6361/201014765

- ⑦ Hughes, A., Wong, T., Ott, J., Muller, E., Pineda, J. L., Mizuno, Y., Bernard, J.-P., Paradis, D., Maddison, S., Reach, W. T., Staveley-Smith, L., Kawamura, A., Meixner, M., Kim, S., Onishi, T., Mizuno, N., Fukui, Y. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 査読有, 406, 2010, 2065-2086, DOI: 10.1111/j.1365-2966.2010.16829.x.
- ⑧ Muller, E., Ott, J.; Hughes, A., Pineda, J. L., Wong, T., Mizuno, N. et al., Characterizing the Low-Mass Molecular Component in the Northern Small Magellanic Cloud, ApJ, 査読有, 712, 2010, pp.1248-1258, DOI: 10.1088/0004-637X/712/2/1248.

〔学会発表〕(計3件)

- ①水野範和他、分子雲衝突によって誘発された大質量星形成 6: スーパースタークラスター [DBS2003]179、日本天文学会秋期年会、2012年09月19-21日 大分大学、大分
- ②NORIKAZU MIZUNO、Triggered Massive Star/Cluster Formation by Cloud-Cloud-Collisions、ALMA Workshop、2012年9月12-13日、Korea Astronomy and Space Science Institute、韓国
- ③ NORIKAZU MIZUNO、New Views of the Molecular Clouds and Star Formation in the Magellanic System、Magellanic Clouds、Splinter meeting of the Annual Meeting of Astronomische Gesellschaft、2010年9月14-15日、Bonn大学、ドイツ

6. 研究組織

(1) 研究代表者

水野 範和(MIZUNO NORIKAZU)
国立天文台・チリ観測所・准教授
研究者番号: 20372526

(2) 研究分担者

該当なし。

(3) 連携研究者

該当なし。