

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6月10日現在

機関番号：13103

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22540249

研究課題名（和文） 局所銀河群銀河の高密度分子ガス広域撮像サーベイに基づく大質量星形成過程の解明

研究課題名（英文） Understanding of massive star formation based on wide-area mapping survey of dense molecular gas toward galaxies in the local group

研究代表者

濤崎 智佳（TOSAKI TOMOKA）

上越教育大学・大学院学校教育研究科・准教授

研究者番号：40356126

研究成果の概要（和文）：

系外銀河における高密度分子ガスの広域サーベイを行うため、ASTE 望遠鏡搭載の 345GHz 帯受信機 CATS345 に対し、導波管型偏波分離器を用いることで 2 偏波同時観測を可能にする改良・性能向上を行った。局所銀河群の銀河 M33 に対し、高密度ガスの効率的なトレーサーである CO(3-2) 分子輝線の広域サーベイを実施、ほとんどの GMC は星形成活動性を示し、その寿命は 20-40 Myr であること等がわかった。

研究成果の概要（英文）：

We improved the 345 GHz receiver for ASTE 10m telescope, CATS345, using Orthomode transducer. We successfully obtained the wide area map of CO(3-2) in the spiral galaxy M33 in the local group. We find that most GMCs in M33 are associated with star formation activity. The lifetimes of GMCs were found to be 20-40 Myr.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
2012年度	200,000	60,000	260,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

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：星形成、星間物質、サブミリ波、超伝導受信機、局所銀河群

1. 研究開始当初の背景

大質量星（OB 型星）は、銀河のスペクトルやそこでの物質循環・重元素汚染を司り、銀河の形成と進化を理解していく上で、極めて重要かつ基本的な天体であるが、その生成過程は、未だ多くの謎に包まれている。その一つの理由は、進化のスピードが速く、適切なサンプルを集めることが容易でないことに

ある。そのため、天の川銀河での研究だけでなく、系外銀河での大質量星形成も併せ、統一的に理解を目指す方向が重要である。特に距離の近い系外銀河である局所銀河群の銀河に対して星の材料となる高密度な分子ガス等を観測するメリットは、(1) 銀河円盤内からの観測になる天の川銀河と異なり銀河面全体を見渡せるため、銀河内での分布を仮

定なく決定できること、すなわち、銀河中心からの距離や渦状腕、棒状構造等の大局的銀河構造との関連を調べることが可能になること、(2) 銀河全体に分布する多数のサンプルを得て統計的議論が可能になること、更に(3) 既存の望遠鏡で、巨大分子雲(GMC)スケール(100pc以下)の構造を分解することが可能になること、すなわち、系外銀河と天の川銀河研究との架け橋となり、星形成プロセスの統一的理解に大きな進歩となることが期待できること、の3点が挙げられる。ただし、これらの銀河は見かけ上のサイズが大きく高空間分解能かつ高感度な広域撮像が必要となるが、装置限界もあり、特に高密度ガスを反映するCO(3-2)等の高励起輝線については、既存のサブミリ波望遠鏡では現実的にほとんど不可能であった。

2. 研究の目的

このような状況に鑑み、我々は局所銀河群中の渦状銀河M33に対し、NRO45m望遠鏡を用いた¹²CO(1-0)全面撮像観測を行い、星形成活動性の異なるさまざまな星形成進化段階の分子雲の存在などを示してきた。さらに、M33で最も明るい星形成領域である超巨大HII領域NGC 604に対するCO(1-0)、CO(3-2)撮像観測から、高温高密度ガスの存在を示すCO(3-2)/CO(1-0)比の高いアーク状の構造が星団を取り囲むように存在、その中で次世代の星形成が進行していることも明らかにした(Tosaki et al. 2007, ApJ, 664, L27)。これはガス密度分布、星形成活動性あるいは進化は同じ分子雲中でも異なる分布を示すこと意味し、分子雲のピーク1点ではその分子雲の性質が必ずしも反映されていないことを示唆、すなわち、撮像観測が本質的な情報をもたらすことが予想された。そこで、分子ガス全体を反映するCO(1-0)に加え、ASTE望遠鏡を用いて典型的なGMCの質量を抑えるのに十分な感度で銀河全面にわたるCO(3-2)の広域撮像観測を行い、M33での空間分解能100pc以下という重要なスケールで銀河全面にわたる高密度ガス分布を得ることを目的とした。このデータと、CO(1-0)が反映する分子ガス全体、H α や24 μ m等大質量星形成のトレーサー、すばる望遠鏡のデータによって推定される星団の年齢等を比較する。同じ局所銀河群の銀河である大マゼラン雲では、分子雲に付随したHII領域と星団の有無等から、星形成タイムスケールを推定しており(Kawamura et al. 2009, ApJS, 184, 1)、同様の手法を適用して分子雲の進化段階を分類し、さらに高密度ガスの情報を付加することができる。これらを通じて、銀河中で大質量星形成を支配するメカニズムに迫る。

3. 研究の方法

これまでの観測、特にCO(3-2)輝線では、観測装置の性能に基づく観測時間の制約によって、ごく一部の領域に対しての撮像観測あるいは各分子雲のピーク1点に対する観測にとどまっていた。本研究のように銀河全面にわたるようなCO(3-2)輝線の高感度・広域撮像を実行していくためには、観測効率向上が必須であった。そこで、CO(3-2)輝線の広域撮像観測を実現するため、受信機性能向上をはかった。この手段として、ASTEに搭載されている345GHz帯受信機のCATS345に、両偏波同時受信を可能にするOMT(Ortho-Mode Transducer)と呼ばれる導波管型偏波計を実装した。OMTは、従来のワイヤグリッド等を用いた準光学方式の偏波計に比べて非常に小さくできることに加えて、ホーンを一つしか使わないため、ビームスクイントと呼ばれる両偏波間の指向性誤差がゼロになるなどの利点がある。これにより、時間的な観測効率を倍に向上させることができる。

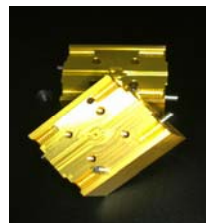


図1: 製作済345GHz帯OMT。下図: リッジ導波管下部。左図: (手前)OMT上部。(奥)OMT下部。



さらに、局所銀河群の構成銀河であるM33に注目し、ASTE望遠鏡を用いてCO(3-2)輝線の数100平方分にわたる広域撮像観測を実行した。観測は典型的なGMCの質量を抑える上で十分な感度で行って、45m望遠鏡で得られるCO(1-0)や可視光等のデータと組み合わせることで、巨大分子雲(GMC)の星形成進行に伴う進化段階を明らかにすることとした。

4. 研究成果

ASTE望遠鏡搭載の345GHz帯受信機CATS345に対して性能を向上させるため、Orthomode transducer(OMT)を用いることで2偏波同時観測を可能にする改良を行い、実験室での性能評価を進め完成させた。さらにASTE望遠鏡に搭載して性能評価を行った。これとともに局所銀河群中に存在する最も近傍の渦状銀河の一つであるM33に対し、45m電波望遠鏡及びASTE望遠鏡を用いてCO(1-0)、CO(3-2)及び1.1mm連続波による星間物質の広域撮像観測を巨大分子雲(GMC)を識別できる分解能で実行してきたが、CO(3-2)での一部領域を除き予定領域の観測をほぼ完遂した。M33はface-onに

近いため、個々の GMC を分解しつつその分布を銀河円盤全体にわたって渦状腕等の大局的構造や個々の星形成領域と対応づけて探ることができる最適の天体である。

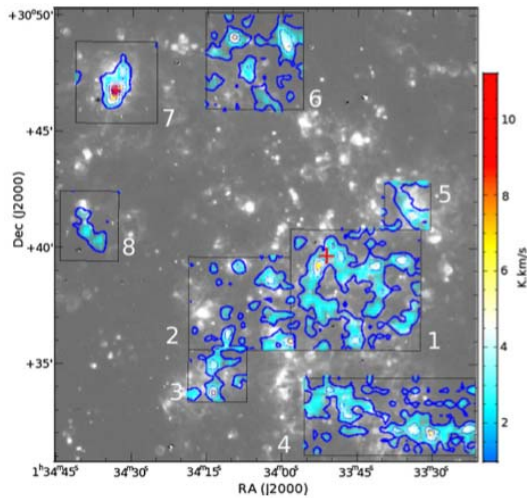


図 2: ASTE 望遠鏡による M33 の CO(3-2) 分子輝線の積分強度図 (カラー)。グレースケールは星形成を反映する $H\alpha$ 。

これらの観測により得られた主たる成果は以下の通りである。

- (1) 星形成則 (Kennicutt-Schmidt 則) は GMC のスケール (≤ 80 pc) では破れている (Onodera et al. 2010)。
- (2) ダスト温度 の分布は、銀河中心から外部へ向けて 21K から 13K という緩やかな下降が見られる。これは K-band の分布と一致しており、ダストの加熱源は中小質量星であると考えられる。(Komugi et al., 2011)。
- (3) ガスの面密度とガス全体に対する分子ガスの比率の関係は、銀河内部と外部で 2 系列に分かれ、銀河内部での分子ガス形成が外部に比べてより効率的に行われていることを示唆する。この 2 系列の存在は、銀河内部で金属量が 2 倍高い、あるいは銀河円盤の厚みが小さくなっていれば説明することができる。(Tosaki et al. 2011)。

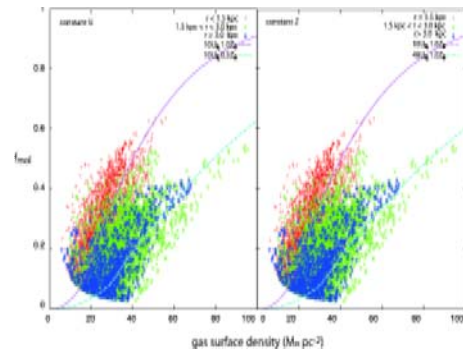


図 3: ガス全体の表面密度とガス全体に対する分子ガスの比率の関係。赤、緑、青は各々半径 1.5kpc 以下、1.5-3.0 kpc、3 kpc 以上の領域での点。左及び右図でのピンク及びブルーの線は各々金属量と放射場の強度を変えた理論計算による。

- (4) 大質量 GMC ほど CO(3-2)/CO(1-0) が高く、質量が大きい GMC ほど高密度ガスの割合が大きいことを示し、効率的な高密度形成が行われている可能性を示唆する。(Onodera et al. 2012)。

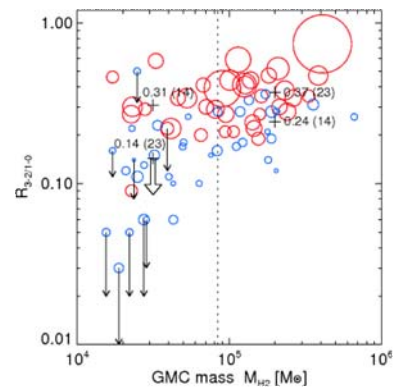


図 4: GMC 質量と CO(3-2)/CO(1-0)比の関係。○の大きさは星形成率を示し、赤、青は各々平均値以上及び以下を示す。

- (5) HII region や若い星団の付随の有無から、GMC を 4 つの進化段階に分類したところ、ほとんどの GMC は星形成進化活動性を示し、その寿命は 20-40 Myr である (Miura et al. 2012)
- (6) Giant HII region のガス面密度と星形成率の関係は、他の ‘normal GMC’ とは異なっており、‘Disk’ ではなく ‘Starburst’ の系列にあ

ることを示している。

これらは、私たちの住む天の川銀河系以外の銀河に対して、個々のGMCを分解する空間分解能でほぼ銀河全域にわたる分子ガスを複数輝線によって描き出した初めての結果であり、渦状銀河における分子ガスの性質と大質量星形成に関する新しい知見をもたらす、天の川銀河と系外銀河研究をつなぐ上で重要な成果となった。

また、これらの観測で得られたデータは、CO(1-0), 1.1mm continuum に関してはホームページで他の研究者が使用できる形でデータを公開している。CO(3-2)や、これらのデータをもとに同定した GMC カタログ等も解析の進行に伴って公開していく予定である。これらデータ公開は、銀河における星間物質と星形成の研究に大きな進展をもたらすことが期待される。

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 Miura, R. E., Kohno, K., Tosaki, T. 他 13名, The Astrophysical Journal, 査読有, 761巻, 2012, 37 (23pp)
- ② Onodera, S., Kuno, N., Tosaki, T. 他 9名, NRO M 33 All-Disk Survey of Giant Molecular Clouds (NRO MAGiC). II Dense Gas Formation, Publication of the Astronomical Society of Japan, 査読有, 64巻, 2012, 133-1 - 133-15
- ③ Muraoka, K. Tosaki, T. 他 6名, $^{13}\text{CO}(J=1-0)$ On-the-Fly Mapping of the Giant H II Region NGC 604, Publication of the Astronomical Society of Japan, 査読有, 64巻, 2012, 3-1 - 3-9
- ④ Tosaki, T., 他 12名, NRO M33 All Disk Survey of Giant Molecular Clouds (NRO MAGiC): I. HI to H₂ Transition, Publication of the Astronomical Society of Japan, 査読有, 63巻, 2011, 1171-1179
- ⑤ Komugi, S., Tosaki, T., 他 20名, Temperature Variations of the Cold Dust in the Triangulum Galaxy M33, Publication of the Astronomical Society of Japan, 査読有, 63巻, 2011, 1139-1150
- ⑥ Onodera, S., Kuno, N., Tosaki, T., 他 9名, Breakdown of Kennicutt-Schmidt Law at Giant Molecular Cloud Scales in M33, The Astrophysical Journal Letters, 査読有, 722巻, 2010, 127-131
- ⑦ Kuno, N., Tosaki, T. 他 11名, NRO Legacy Project: Survey of Giant Molecular Clouds

in M33, 査読無, Highlights of Astronomy, 15巻, 2010, 416-416

- ⑧ Miura, R., Okumura, S. K. Tosaki, T. 他 7名, Aperture Synthesis Observations of CO, HCN, and 89 GHz Continuum Emission Toward NGC 604 in M33: Sequential Star Formation Induced by a Supergiant HII Region, The Astrophysical Journal, 査読有, 724, 2010, 1120-1132

[学会発表] (計3件)

- ① 濤崎智佳, NRO M33 All Disk Survey of Giant Molecular Clouds (MAGiC), 日本天文学会春季年会, 2013年03月20日-03月23日, 埼玉大学
- ② Tosaki, T., Molecular Gas and Star formation in Giant HII regions of M33, New Trends in Radio Astronomy in the ALMA Era: The 30th Anniversary of Nobeyama Radio Observatory, 2012年12月03日-12月08日, Hakone, Japan
- ③ Tosaki, T., NRO legacy project: M33 all disk survey of Giant Molecular Clouds (GMCs) with NRO-45m and ASTE-10m telescopes, The 5th Zermatt ISM Symposium "Conditions and impact of star formation: New results with Herschel and beyond", 2010年9月21日, Zermatt, Switzerland

[その他]

ホームページ等

<http://www.juen.ac.jp/lab/tosaki/m33data/>

<http://www.juen.ac.jp/lab/tosaki/m33/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

濤崎 智佳 (TOSAKI TOMOKA)

上越教育大学・大学院学校教育研究科・准教授

研究者番号: 40356126

(2) 研究分担者

酒井 剛 (SAKAI TAKESHI)

東京大学・大学院理学系研究科・助教

研究者番号: 20469604

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