

W43 における分子雲衝突と大質量星形成の関係

切通 僚介 (大阪府立大学大学院 理学系研究科)

Abstract

W43 は太陽系から距離約 6 kpc に位置し、大質量星を含む星団を持つ活発な大質量星形成領域である。我々は大阪府立大学の 1.85 m 電波望遠鏡、FCRAO の 14m 電波望遠鏡で得られた $^{12}\text{CO}(J=2-1)$, $^{13}\text{CO}(J=1-0, J=2-1)$ 輝線のデータを用いて、W43 内の三つの領域 (W43-Main, South, Middle) で星団、H II 領域への付随が示唆される二つの異なる速度を持つ分子雲を同定した。それぞれの領域の二つの雲のうち少なくとも一つは星団や H II 領域に付随していることは明らかであり、また二つの雲同士も互いに反相関な分布を示していることから付随関係にあることが示唆される。また、JCMT の高分解能なアーカイブデータを用いて、同定した分子雲の分布を $8\ \mu\text{m}$ の赤外線と比較すると、明らかに赤外線源の構造に沿った分布をしていることがわかった。いずれの分子雲も星団や H II 領域近辺で $J=2-1/1-0$ 輝線強度比が高く、W43 に存在する星団、H II 領域からの影響を受けていると考えられる。以上の結果から我々は、同定した分子雲は互いに大きな速度差を持ちながらも、大質量星を含む星団、H II 領域に付随していると結論付けた。W43 における今回の結果は近年報告されている分子雲衝突による大質量星形成と類似しており、W43 に存在する星団は分子雲衝突をトリガーとして形成された可能性が高い。※ページ数制限の都合上、W43-Main の結果のみ載せる。

1 Introduction

太陽の 8 倍以上の質量を持つ大質量星は、恒星風や紫外線、超新星爆発によって周囲の星間物質に強い影響を与えることから、銀河の進化において重要な役割を担っていると考えられるが、その形成過程は未だ多くが謎に包まれている。それは大質量星が太陽系のごく近傍に存在しないことや、その活動性ゆえに母体となる分子雲を散逸してしまうなど観測の難しさが主な原因である。

大質量星の形成メカニズムとして議論されてきたものは二つある。一つは降着円盤からの質量降着によって形成されるというメカニズム、もう一つが恒星同士の衝突、合体により形成されるというメカニズムである。しかし、前者では $10^{-4} - 10^{-3} M_{\odot}/\text{yr}$ もの非常に高い質量降着率が必要となり、後者では 10^6 個/ pc^3 もの高い星の密度が必要となるという問題がある。つまりいずれのメカニズムにも、星間空間のごく狭い領域に大量のガス・ダストや恒星を集中させなければならない。これらの問題を解決するものとして提案されているシナリオが分子雲衝突である。近年、Furukawa et al. 2009 や Torii et al.

2011、Fukui et al. 2014 などにおいて分子雲衝突をトリガーとした大質量星形成の観測結果が報告されている。これらは分子雲同士の衝突のショックにより通常の自発的収縮では形成されない大質量星の形成を可能にするという観測結果である。さらに最近、NGC6334, 6357 において 100 pc の規模での連鎖的な分子雲衝突による大質量星形成の可能性も示唆されている (鳥居 2014 年日本天文学会秋季年会)。これらの観測結果をより確実にするためには、さらに様々な領域で分子雲衝突と大質量星形成の関係を検証していくことが重要であると考えられる。

本研究では、太陽系からおおよそ 6 kpc 離れた Scutum-Centaurus 腕と銀河のバーのタンジェントポイントにある W43 領域 (Nguyen Luong et al. 2011) をターゲットとしている。W43 は、互いに 100 pc ほど離れた、大質量星を含む若い星団が存在する二つの領域 (W43-Main, W43-South) を持ち、領域全体に H II 領域が広がっている活発な大質量星形成領域である (図 1)。W43-Main では W-R 星が一つ (WN7 型)、O 型星が二つ (O3 - O5 型) 確認されており (Blum et al. 1999)、W43-South でも O 型星 (O5 - 7 型) が

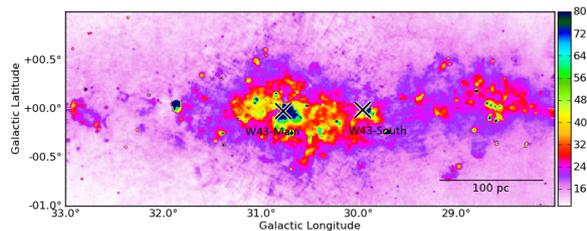


図 1: W43 に広がる電波連続波 (VLA 1.4GHz) のカラーイメージ。H II 領域をトレースしている。x-mark は W43-Main, W43-South の星団の位置。

確認されている (Watson and Hanson 1997)。また銀河の腕とバーのタンジェントポイントは複雑なダイナミクスを持ち、星間物質同士の高速度な衝突が予測される。これらのことから W43 は前述の NGC6334, 6357 で示唆されたようなような連鎖的な分子雲衝突と大質量星形成の関係を研究する上で理想的なターゲットであるといえる。

本集録では、大阪府立大学の 1.85 m 電波望遠鏡、名古屋大学の NANTEN2、FCRAO の 14m 電波望遠鏡、EAO の JCMT の $^{12}\text{CO}(J = 1-0, 2-1, 3-2)$, $^{13}\text{CO}(J = 2-1)$ 輝線のデータ解析によって得られた結果・考察を記す。Section 2 では観測について、Section 3 では各データの結果、Section 4 では考察、Section 5 では結論を述べる。

2 Observations

$^{12}\text{CO}(J = 2-1)$, $^{13}\text{CO}(J = 2-1)$ の分子輝線観測は 2010 年から 2012 年にわたって大阪府立大学の 1.85 m 電波望遠鏡によって行われた。1.85 m 電波望遠鏡は口径 1.85 m の電波望遠鏡であり、日本の長野県の野辺山宇宙電波観測所に設置されている。 $\text{CO}(J = 2-1)$ での空間分解能は 2.7 分角程度であり、速度分解能は 0.08 km/s。 ^{12}CO , ^{13}CO , $\text{C}^{18}\text{O}(J = 2-1)$ を OTF 観測で 1 分角グリッドで同時観測している。今回の観測データの典型的な rms 雑音は 0.5K 程度である。リダクション後のデータの分解能は 3.35 分角となっている。

FCRAO のデータは 1.85 m 望遠鏡の分解能 (3.35 分角) に合わせている。JCMT のデータは 25 秒角に

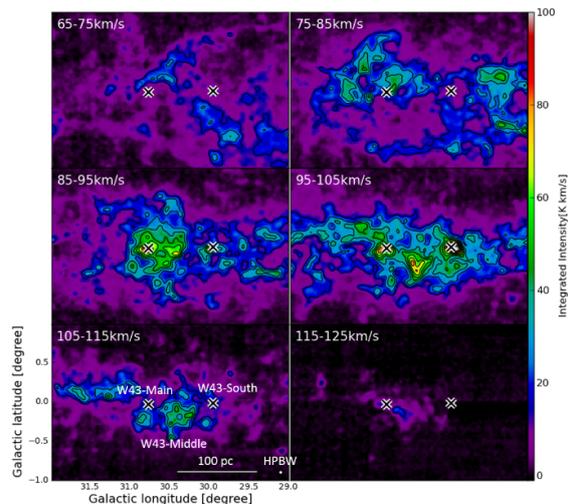


図 2: 速度 65 km/s から 10 km/s 刻みの W43 に広がる分子雲の分布。x-mark は W43-Main, W43-South の星団の位置。

落としている。

3 Results

図 2 は W43 における $^{12}\text{CO}(J = 2-1)$ の積分強度のチャンネルマップである。W43 全体において分子雲の速度範囲が 50 km/s 程度と広く、空間的にも入り組んだ複雑な構造で分布していることがわかる。W43-Main, South の星団付近とその中間の領域 (W43-Middle) で非常に強いピークを持っている。

図 3 はそれぞれ W43-Main 領域での Spitzer 8 μm のカラーイメージに異なる二つの速度の $^{12}\text{CO}(J = 2-1)$ 積分強度のコントアを重ねたものである。W43-Main の最も強いピークは星団の西側に 90-100 km/s の辺りにあり、他の弱いピークが星団の北東側に 75-85km/s の辺りに存在する。便宜上それぞれの領域の高速度側の雲を Red 成分、低速度側の雲を Blue 成分と呼ぶ。Red 成分と Blue 成分は互いに反相関的な分布をしている。

図 4 はそれぞれ W43-Main の領域での Spitzer 8 μm のカラーイメージに異なる二つの速度の、JCMT $^{12}\text{CO}(J = 3-2)$ 積分強度のコントアを重ねたものである。高分解能で見ると 8 μm の赤外線源の構造に沿った分布が見られる。

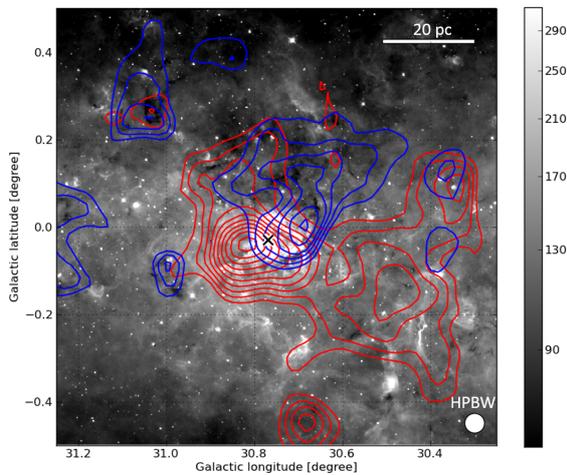


図 3: W43-Main の Spitzer $8 \mu\text{m}$ のカラーイメージに $^{12}\text{CO}(J = 2-1)$ の積分強度コントアを重ねた図。赤コントアが Red 成分 (92-100 km/s)、青コントアが Blue 成分 (75-88 km/s)。黒の x-mark は星団の位置。

図 5 は Main 領域での Red 成分、Blue 成分の ^{13}CO の $J = 2-1/1-0$ 積分強度比のマップとその領域の赤外線三色合成図 (blue : $5.8 \mu\text{m}$, red : $8 \mu\text{m}$, green : $24 \mu\text{m}$) である。W43-Main 領域では、三色合成図で示された H II 領域付近で ^{13}CO の $J = 2-1/1-0$ 積分強度比が高い傾向がみられる。

図 6 は、LVG 解析により $^{13}\text{CO } J = 2-1/1-0$ 比と温度を振り、ある個数密度の時の比-温度の関係をグラフにしたものである。 $X(\text{CO})dv/dr$ は 10^{-4} に設定。 $^{13}\text{CO } J = 2-1/1-0$ 比が 0.9 以上だと 10 K より優位に高く加熱されていることがわかる。

4 Discussion

1.85 m 電波望遠鏡の $^{12}\text{CO}(J = 2-1)$ 観測結果から、W43-Main では Red 成分、Blue 成分が互いに反相関的な分布をしていることがわかる。また JCMT の $^{12}\text{CO}(J = 3-2)$ の高分解能データで同領域を見ても明らかに星団付近の赤外線構造に沿った分布をしている。

別の観点から考えてみると、星団に近くなるにつれ、 $^{13}\text{CO } J = 2-1/1-0$ 比が高くなり、MSX で同定された Compact H II 領域も星団付近の赤外線源に集

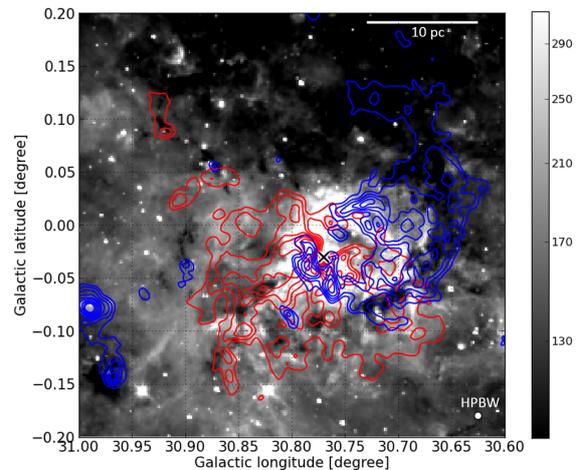


図 4: W43-Main の領域で Spitzer $8 \mu\text{m}$ のカラーイメージに Red 成分と Blue 成分の $^{12}\text{CO}(J = 3-2)$ 積分強度のコントアを重ねた図。赤コントアが Red 成分 (92-100 km/s)、青コントアが Blue 成分 (75-88 km/s)。黒の x-mark は星団の位置。

中していることがわかる。これは Red 成分、Blue 成分共に星団に付随する H II 領域の影響を受けていると考えられる。さらに二つの成分が H II 領域に付随していることを強く示唆する指標として図 6 のグラフを見てみると、今回同定した各領域の雲は H II 領域に近いほど比の大きさが 0.9 程度またはそれ以上となり、温度が 10 K を超えていることがわかる。その加熱原因として考えられることは H II 領域による加熱である。

以上のことから、W43-Main の Red 成分と Blue 成分は大きな速度差を持ちながらも星団、H II 領域への付随していることを強く示唆している。今回同定した Red 成分と Blue 成分が衝突したことにより大質量星を含む星団が形成されたということを提案する。

5 Conclusion & Future Works

結論としては、

・ W43-Main, South, Middle の三つの領域で衝突の可能性のある分子雲をそれぞれ二つ同定した。(本集録では Main の結果のみ載せた。)

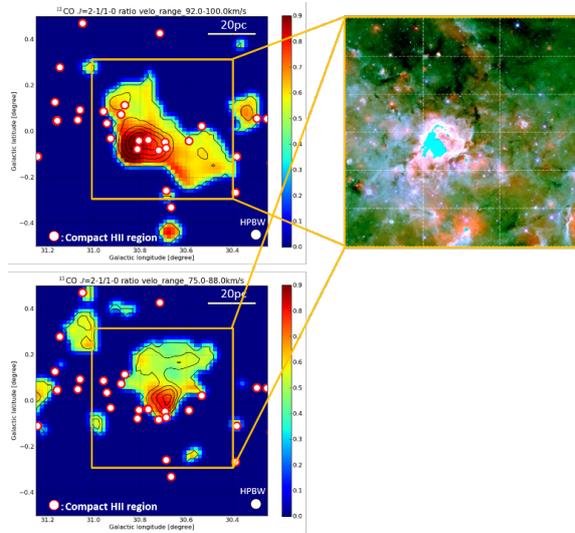


図 5: 左上の図が Red 成分 (92-100 km/s)、左下の図が Blue 成分 (75-88 km/s) の ^{13}CO の $J = 2-1/1-0$ 積分強度比のマップ。赤枠の白い丸は MSX で同定された Compact HII 領域。右上の図が Spitzer の三色合成図。青 $5.8 \mu\text{m}$ 、赤 $8 \mu\text{m}$ 、緑 $24 \mu\text{m}$

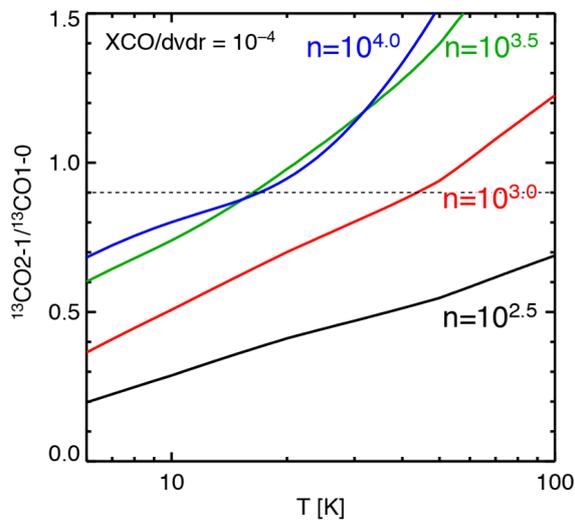


図 6: LVG 解析を用いて導出した、ある個数密度の時の (^{13}CO $J = 2-1/1-0$ 比) - (温度) の関係。点線は ^{13}CO $J = 2-1/1-0$ が 0.9 の位置に引いてある。 $X(\text{CO})dv/dr$ は 10^{-4} 。密度のパターンは、 $n = 10^4$, $10^{3.5}$, 10^3 , $10^{2.5}$ の四つ。

・それぞれの成分は互いに反相関的な分布をしており、互いに付随していることがわかった。

- ・星団に付随する HII 領域との空間分布の対応も見られた。
- ・ ^{13}CO $J = 2-1/1-0$ 比は星団に近づくほど高く、同時に温度も高くなっていることから同定した雲は HII 領域による加熱を受けていることがわかった。
- ・これらから同定した雲の Red 成分と Blue 成分は互いに大きな速度差を持ちながらも星団、HII 領域に共に付随していることが強く示唆されることがわかった。
- 今後としては、
- ・高分解能データでのより具体的な分子雲の温度の導出 (LVG 解析)
- ・South 領域の加熱要因の調査
- ・分子雲の質量導出
- などを行っていく。

6 Reference

- Furukawa et al. 2009, APJ
- Torii et al. 2011, APJ
- Fukui et al. 2014, APJ
- Nguyen Luong et al. 2011, A&A
- Blum et al. 1999, APJ
- J. T. Dempsey et al. 2013, APJ
- Watson & Hanson 1997, APJ

Acknowledgement

基礎物理学研究所 (研究会番号: YITP-W-15-04) 及び国立天文台からのご支援に感謝いたします。