

JCMT 望遠鏡と野辺山 45 m 望遠鏡による コンパクト HII 領域の CO 分子輝線観測

河野 樹人 (名古屋大学大学院 理学研究科)

Abstract

大質量星の形成過程は、現代天文学の最も重要な課題の 1 つである。本研究ではハワイにある JCMT 望遠鏡で得られた $^{12}\text{CO}(3-2)$ と、野辺山 45 m 銀河面サーベイプロジェクトで得られた $^{12}\text{CO}(1-0)$, $^{13}\text{CO}(1-0)$, $\text{C}^{18}\text{O}(1-0)$ のデータを用いて大質量星形成領域 W33 の解析を実施した。W33 は、距離 2.9 kpc にあるコンパクト HII 領域を伴った大質量星形成領域である (Urquhart et al. 2013)。解析の結果、視線速度 35 km s^{-1} の成分と、 45 km s^{-1} の成分の 2 つの分子雲を検出した。また、コンパクト HII 領域の存在する場所で、ウイングの速度成分と 2 つの速度をつなぐブリッジ状の速度成分があることがわかった。コンパクト HII 領域は、分子雲に埋もれた若い天体であることから、ウイング成分は原始星からの双極分子流 (アウトフロー) であると考えられる。2 つの速度をつなぐブリッジ成分の成因としては、原始星からのアウトフローと分子雲衝突の 2 つの可能性が考えられる。

1 Introduction

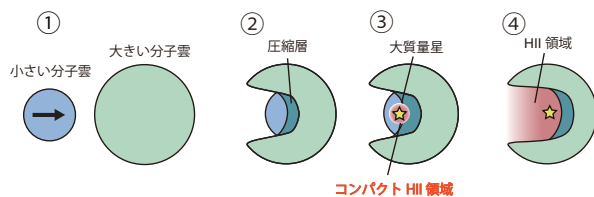


図 1: 分子雲衝突とコンパクト HII 領域の関係

太陽の 8 倍以上の質量の星は、大質量星と呼ばれる。大質量星は、紫外線を多く放射し周囲の星間ガスを電離して HII 領域を形成する。また、進化段階の最後には、超新星爆発を起こし、重元素を星間空間に放出する。大質量星の形成過程については、これまで小質量星と同様の質量降着や恒星同士の合体による形成が議論されてきたが、その形成過程は未解明である。近年我々は、NANTEN2 望遠鏡を用いた一酸化炭素分子 CO による分子雲の観測を行い、分子雲同士の衝突が星団・大質量星の形成を誘発するモデルを提案した (Furukawa et al. 2009; Fukui et al. 2014)。図 1 に分子雲衝突のモデルを示す。図 1 のように分子雲同士の衝突による大質量星形成初期には、サイズの小さいコンパクト HII 領域が形成

されることが考えられる。コンパクト HII 領域は、サイズが $0.1-0.5 \text{ pc}$ であり、やがて膨張し通常の HII 領域になると考えられている (Kurtz 2002)。したがって、コンパクト HII 領域とその周辺を取り巻く分子雲は、分子雲衝突の痕跡が残されていると考えられ、分子雲衝突による大質量星形成のプロセスを解明する上で非常に重要である。

W33 は、距離 2.9 kpc にある大質量星形成領域である (Immer et al. 2013)。W33 にはコンパクト HII 領域、超新星残骸、水メーザーが存在し、活発に星形成が行われていることが示唆されている (Immer et al. 2013 ; Urquhart et al. 2013)。本研究では、W33 のコンパクト HII 領域に着目し、コンパクト HII 領域と分子雲衝突の関係について調べることを目的とした。

2 Observations

2.1 Nobeyama 45 m observations

観測データは国立天文台野辺山 45 m 電波望遠鏡による銀河面サーベイで得られた $^{12}\text{CO}(1-0)$, $^{13}\text{CO}(1-0)$, $\text{C}^{18}\text{O}(1-0)$ を用いた。銀河面サーベイは、国立天文台野辺山のレガシープロジェクトの 1 つであり、

観測範囲は、銀経が 10° から 50° 、 198° から 236° 、銀緯が -1° から 1° である。今回使用したデータは、2013 年 12 月から 2014 年 5 月までの期間で得られたものである。観測は OTF (On-The-Fly) モードで、45m 望遠鏡に新たに搭載されたマルチビーム受信機 FOREST (FOur beam REceiver system on 45m-Telescope) を用いて行われた。分光計はデジタル分光計 SAM45 を使用した。45m 望遠鏡の $^{12}\text{CO}(1-0)$ でのビームサイズは $15''$ であり、速度分解能は 1km s^{-1} である。

2.2 JCMT 15m observations

野辺山 45 m 鏡で得られた $^{12}\text{CO}(1-0)$ のデータと比較するために、高励起の $^{12}\text{CO}(3-2)$ のアーカイブデータを利用した。 $^{12}\text{CO}(3-2)$ のアーカイブデータは、ハワイにある JCMT 望遠鏡 (James Clerk Maxwell Telescope) による銀河面サーベイで得られたものである (Dempsey et al. 2013)。JCMT の $^{12}\text{CO}(3-2)$ でのビームサイズは $14''$ であり、速度分解能は 1km s^{-1} である。

3 Results

図 2 に W33 の $^{12}\text{CO}(1-0)$ 、図 3 に $^{12}\text{CO}(3-2)$ の分布を示す。W33 の中心部の十字がコンパクト HII 領域である。図 2, 図 3 より $^{12}\text{CO}(1-0)$ 、 $^{12}\text{CO}(3-2)$ の強度が最も強い W33 の中心領域にコンパクト HII 領域が存在することがわかった。

図 4 に W33 の $^{12}\text{CO}(3-2)$ の銀経速度図を示す。銀経速度図から W33 には強度の強い 35km s^{-1} の速度成分と強度の弱い 45km s^{-1} の速度成分の 2 つがあることがわかった。2 つの速度成分は青い点線で示した。また、銀経が 12.8° 付近で、 20km s^{-1} から 55km s^{-1} にわたって広がるウイング成分を検出した。ウイング成分は緑の点線で示した。図 5 に W33 の $^{12}\text{CO}(3-2)$ の銀緯速度図を示す。銀緯速度図から、銀緯が -0.20° 付近に銀経速度図と同様に 20km s^{-1} から 55km s^{-1} にわたって広がるウイング成分を検出した。

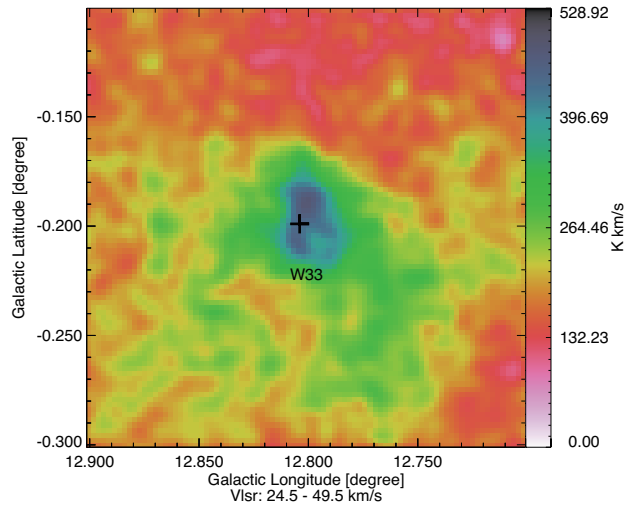


図 2: W33 領域の $^{12}\text{CO}(1-0)$ 積分強度図。中心部の十字がコンパクト HII 領域を示す。

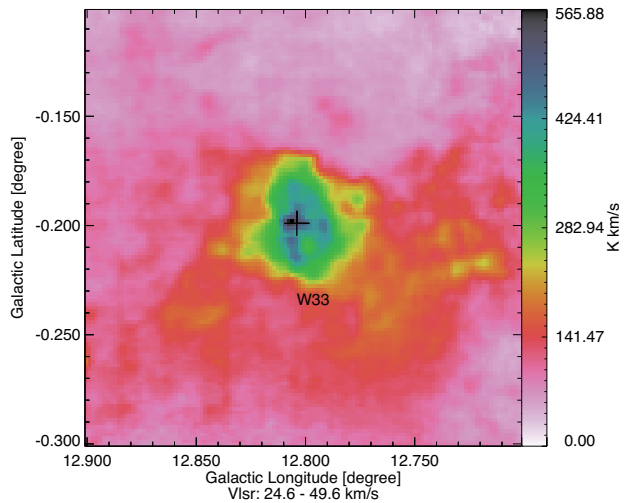


図 3: W33 領域の $^{12}\text{CO}(3-2)$ 積分強度図。中心部の十字がコンパクト HII 領域を示す。

4 Discussion

4.1 ウイング成分

図 4、図 5 のように $^{12}\text{CO}(3-2)$ データの解析からコンパクト HII 領域のある付近でウイングの速度成分が存在することわかった。コンパクト HII 領域とウイング成分の関係を考察するため、ウイングのレッ

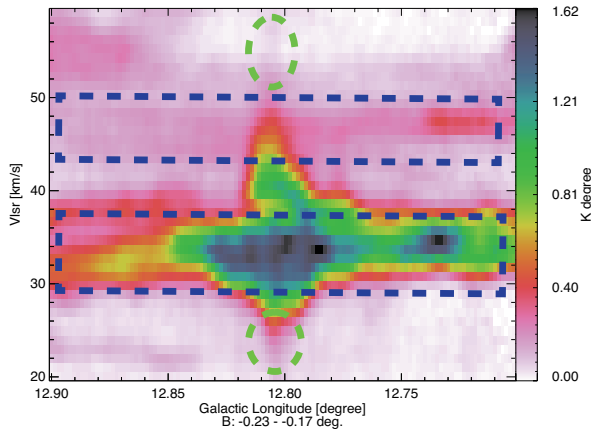


図 4: W33 領域の $^{12}\text{CO}(3-2)$ 銀経速度図。青い点線が 2 つの速度成分を示し、緑の点線がウイング成分を示す。

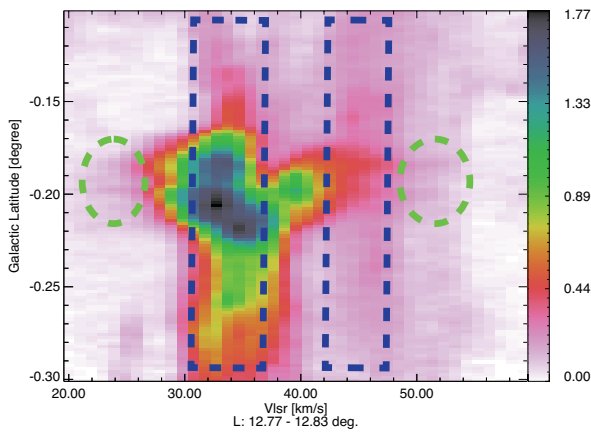


図 5: W33 領域の $^{12}\text{CO}(3-2)$ 銀緯速度図。青い点線が 2 つの速度成分を示し、緑の点線がウイング成分を示す。

ドシフトした成分 ($V_{\text{LSR}}=45.6 - 55.6 \text{ km s}^{-1}$) とブルーシフトした成分 ($V_{\text{LSR}}=15.6 - 25.6 \text{ km s}^{-1}$) の比較を行った。図 6 は、赤外線天文衛星 *Spitzer* によって得られた波長 $8\mu\text{m}$ の画像に 2 つのウイング成分を重ねたものである。コンパクト HII 領域を中心にウイングのレッドシフトした成分とブルーシフトした成分が広がっていることからことから、ウイングの速度成分は、コンパクト HII 領域を形成する原始星からの双極分子流 (アウトフロー) であると考

えられる。また、W33 の水メーザーによる観測から W33 にはアウトフローが存在することが示唆されている (Immer et al. 2013)。

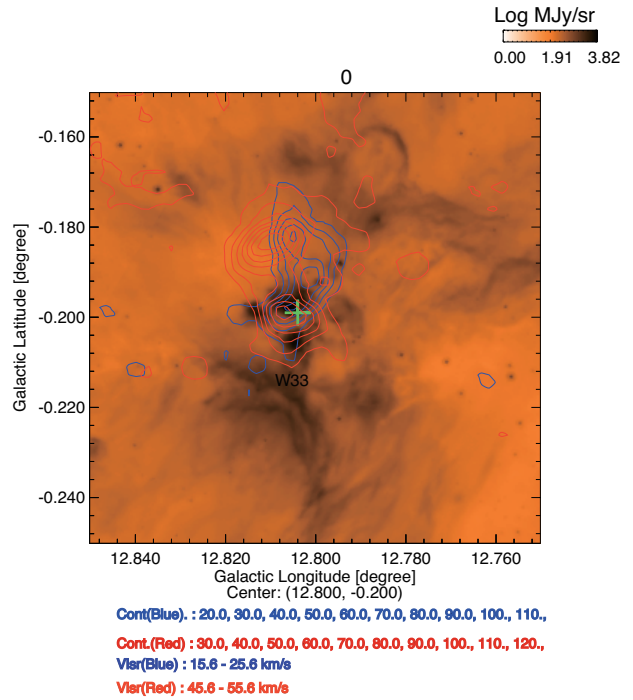


図 6: *Spitzer* $8\mu\text{m}$ と $^{12}\text{CO}(3-2)$ のウイング成分を重ねたもの

4.2 W33 における分子雲衝突の可能性

図 4 の銀経速度図と図 5 の銀緯速度図から、コンパクト HII 領域のある場所には 35 km s^{-1} の速度成分と強度の弱い 45 km s^{-1} の速度成分をつなぐ速度成分が存在する。2 つの速度成分をつなぐブリッジ状の分布は、分子雲衝突の際に見られる特徴的な速度構造である。このことから W33 のコンパクト HII 領域は異なる速度の分子雲同士の衝突によって形成された可能性が考えられる。しかし、W33 領域のブリッジ成分は、アウトフローによる影響も考えらため、今後さらなる解析を進めてることでブリッジ成分が衝突によるものなのかアウトフローによるものなのかを区別したいと考えている。

4.3 Mopra,ASTE による他のコンパクト HII 領域の観測

コンパクト HII 領域と分子雲衝突の関係を明らかにするためには、観測天体のサンプル数を増やし統計的な議論を行うことが重要である。我々は、2015 年 5 月から 7 月にかけて、計 13 のコンパクト HII 領域に対してオーストラリアにある Mopra 望遠鏡、チリにある国立天文台の ASTE 望遠鏡を用いて、 $^{12}\text{CO}(1-0)$ 、 $^{12}\text{CO}(3-2)$ の観測を行った。観測の結果、すべてのコンパクト HII 領域で 2 つの速度成分を検出した。今後、さらに NANTEN2 を加えてコンパクト HII 領域とそれを取り巻く分子雲に対して観測を実施することで、コンパクト HII 領域と分子雲衝突の関係を明らかにしていきたいと考えている。

5 Conclusion

本研究の結論をまとめると以下ようになる。

- 野辺山 45m 望遠鏡と JCMT のデータを用いて、コンパクト HII 領域のある大質量星形成領域 W33 の解析を行った。
- 解析の結果、35km/s と 45km/s の 2 つの速度成分を検出した。
- 銀径速度図、銀緯速度図からウイングの速度成分を検出した。ウイング成分は、コンパクト HII 領域を形成している原始星からのアウトフローである考えられる。
- コンパクト HII 領域のある場所で、35km/s と 45km/s の 2 つの速度成分をつなぐブリッジ成分を検出した。ブリッジ成分の成因としては、アウトフローと分子雲衝突の 2 つの可能性が考えられる。
- コンパクト HII 領域のサンプル数を増やし、統計的な議論を行うため、Mopra、ASTE を用いて計 13 のコンパクト HII 領域の観測を実施した。観測の結果、すべてのコンパクト HII 領域で 2 つの速度の異なる分子雲を検出した。今後、さらなる解析を実施し、コンパクト HII 領域と分子雲衝突の関係を明らかにする予定である。

Reference

- Dempsey, J. T., Thomas, H. S., et al. 2013, ApJ
- Furukawa, N., Dawson, J. R., et al. 2009, ApJ
- Fukui, Y., Ohama, A., et al. 2014, ApJ
- Immer, K., Reid, M. J., et al. 2013, A&A
- Kurtz 2002, in ASP Conf. Ser. 267, Hot Star workshop III
- Urquhart, J. S., Thompson, M. A., et al. 2013, MNRAS