

CORNISH H_{II} 領域を対象とした 6.7 GHz メタノールレーザー探査 -H_{II} 領域のサイズとレーザー付随関係の解析-

柴田 裕輝、杉山 孝一郎、米倉 覚則、百瀬 宗武 (茨城大学)

Abstract

6.7 GHz メタノールレーザーは、大質量星形成過程における降着円盤形成段階の星周構造を解明する有力なツールと考えられている。6.7 GHz メタノールレーザーの有無と H_{II} 領域のサイズの関係を探るべく、H_{II} 領域のカタログ Co-Ordinated Radio ‘N’ Infrared Survey for High-mass star formation (CORNISH) database の天体を対象に 6.7 GHz メタノールレーザーのサーベイ観測を実施した。その結果、81 ポインティング (113 天体) からレーザーを検出し、うち 1 ポインティング (2 天体) から新たな放射が検出された。H_{II} 領域とメタノールレーザーの付随率は 22.3% で、両者が共に検出される時期の相関は低いものと考えられる。また、6.7 GHz メタノールレーザーが付随する H_{II} 領域は、付随しない H_{II} 領域に比べてサイズが小さい傾向にあると考えられる。すなわち 6.7 GHz メタノールレーザーは、より若い進化段階で出現している可能性がある。

1 研究背景・目的

大質量星とは、太陽の 8 倍程度以上の質量を持つ恒星である。大質量星は絶対数が少なく、進化のタイムスケールが短いことから進化過程のトレースが難しい。また地球からの距離が遠く、濃いガスに覆われていることが多いため、可視光による直接的な観測が困難である。近年の理論・観測から得られた大質量星形成過程の大枠は以下の通りと考えられている (図 1 を参照)。

- 分子雲中に高密度な「分子雲コア」が形成
- 「分子雲コア」が自己重力などによる収縮をし、「原始星コア」を形成
- ガスの降着による「原始星コア」の成長・降着円盤の形成
- 核融合反応の開始、主系列星として輝く
- 紫外線輻射によって「Hyper Compact (HC)/Ultra Compact (UC) H_{II} 領域 (水素電離領域) の形成
- H_{II} 領域の膨張

ところが、降着円盤形成段階における星周構造の詳細はあまり解明されていない。ここで有力なツールとして、6.7 GHz メタノールレーザーが挙げられる。6.7 GHz メタノールレーザーは大質量星形成領域でのみ観測され、降着円盤上・分子流中に位置していると考えられている。その出現時期については、先行研究として Walsh et al. (1998) が挙げられ、メタノールレーザーが存在する領域に対して、H_{II} 領域が付随しているのかが観測されている。その結果、6.7 GHz メタノールレーザーは UCH_{II} 領域が形成される前の段階で生じ、UCH_{II} 領域が成長するにつれて消滅すると示唆されている [1]。しかしこの先行研究では、レーザーが存在するという基準で観測天体を選出しているため、H_{II} 領域全般との相関が得られていない。そこで本研究ではこれまでとは逆に、H_{II} 領域に対してレーザーを観測し、レーザーが H_{II} 領域にどの程度付随しているのかを調査することにした。観測対象は H_{II} 領域の視直径が記載されている Co-Ordinated Radio ‘N’ Infrared Survey for High-mass star formation (CORNISH) database を用いた。

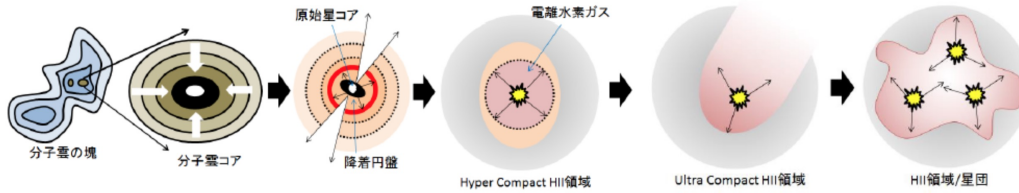


図 1: 大質量星形成過程の大枠 Purcell (2006) より引用 [2]

2 観測

研究対象は CORNISH survey [3][4] により H_{II} 領域と同定された 289 天体である。観測効率を向上させるために以下の 2 つの条件を課し、198 ポインティングを観測した。なお観測には日立 32m 電波望遠鏡 (日立局) を用い、積分時間は各天体 300 秒、検出感度 (5σ) は 1.5 Jy を達成した。

- 既知メーザー源の付随有無

過去のメタノールメーザーサーベイで検出されているメーザー源が、H_{II} 領域の視直径の 2 倍の大きさの中に含まれる場合、そのメーザー源は H_{II} 領域に付随すると判断した。これにより 41 天体の観測は実施しなかった。

- 空間位置比較

日立局の single-dish (4.6 arcmin) では空間分解できないことと、1 arcmin 離れた際の振幅減少率及び絶対フラックス較正精度がほぼ等しいことを踏まえ、1 arcmin 以内に複数の CORNISH H_{II} 領域がある場合は代表 1 ポインティングで実施した。79 天体が当てはまり、29 ポインティングで観測を実施した。

3 結果

81 ポインティング (114 天体) から 5σ 以上、1 ポインティング (1 天体) から $3-5\sigma$ のメーザー放射を検出した。検出されたスペクトルを Methanol Multi-Beam (MMB) survey のカタログ [5][6] と比較したところ、既知天体からの放射が 113 天体 (うち 11 天体 [9 ポインティング] がサイドローブからの混入)、新検出の放射は 1 ポインティング (2 天体) であった。これらをふまえると検出率は 36.9% (73/198 ポインティング) であった。

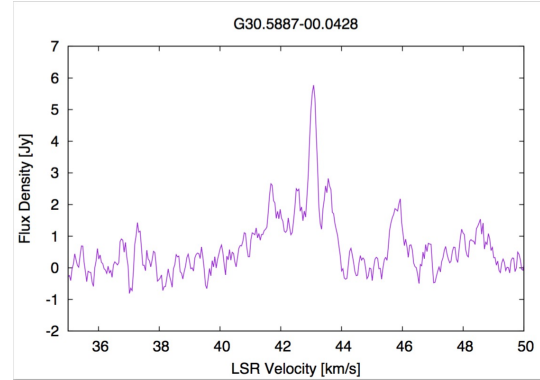


図 2: CORNISH HII 領域 G30.5887-00.0428 からのスペクトル検出例

4 考察

4.1 付随関係の解析

CORNISH database と MMB survey のカタログに記載されている位置から、メーザー源と H_{II} 領域の離角を算出した。両者の離角が H_{II} 領域の視直径の 2 倍の範囲に含まれる場合、H_{II} 領域に付随すると判断した。ここでは 23 天体が当てはまり、最初に観測対象から除外した 41 天体と合わせた 64 天体が付随と判断された。なお、新検出の 1 ポインティング (2 天体) は正確な位置がわからないため、付随の有無の議論は行っていない。付随率は 22.3% (64/287 天体) で、H_{II} 領域全般と 6.7 GHz メタノールメーザー両者が共に検出される時期の相関は低いものと考えられる。

4.2 サイズの解析

H_{II} 領域のサイズを算出するために、H_{II} 領域までの距離を調べた。距離を調べるにあたって、Red MSX Source (RMS) database [7], H_I self-absorption [8], 日立局の観測データによる Kinematic distance 法の順番で用いた。RMS database は、中赤外線天文衛星 MSX の赤外線データにおいて、Spectral Energy Distribution (SED) 上で波長

が長い方のフラックス密度が大きいものを表し、星形成の若い進化段階を示している。

距離が得られた H_{II} 領域は、CORNISH database に記載されている視直径の値を用いて H_{II} 領域のサイズを算出した。これにより、236/289 天体に対してサイズが導出された。

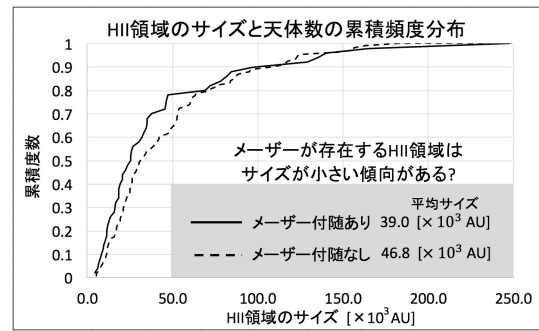


図 4: 図 3 に対する累積頻度分布

4.3 付随関係とサイズの相関

サイズが導出された 236 天体のうち、Kinematic distance 法で距離を求めた天体と 1 arcmin 以内に複数の天体がある場合を除いた 169 天体について、横軸を H_{II} 領域のサイズ [$\times 10^3$ AU]、縦軸を天体数としてヒストグラムを作成した。

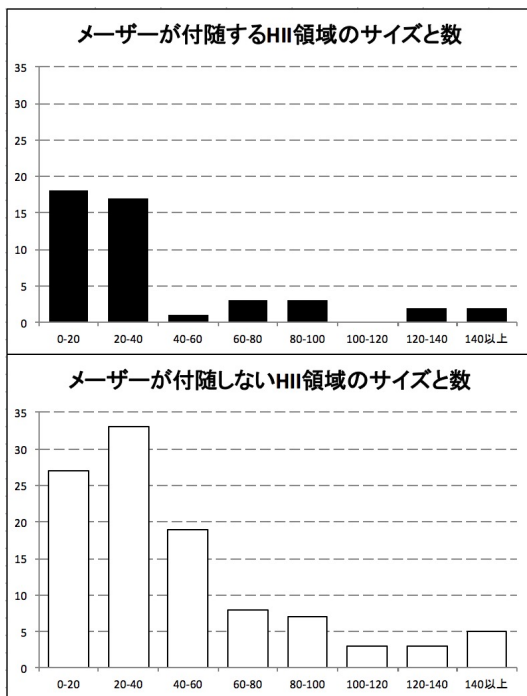


図 3: メーザーが付随する H_{II} 領域 (上) と付随しない H_{II} 領域 (下) のサイズと天体数に関するヒストグラム

両者の天体数が異なるため累積頻度分布を作成し、メーザー付随の有無と H_{II} 領域のサイズの相関を調べた。

図が示す通り、メーザーが付随する H_{II} 領域 (実線) はメーザーが付随しない H_{II} 領域 (破線) に比べてやや左寄り、すなわちサイズが小さい傾向がある。また、それぞれの H_{II} 領域の平均を計算すると、メーザーが付随する H_{II} 領域は典型的に $39.0 [\times 10^3 \text{ AU}]$ 、メーザーが付随しない H_{II} 領域は $46.8 [\times 10^3 \text{ AU}]$ と算出された。この結果は、6.7 GHz メタノールメーザーはより若い進化段階で出現している可能性があることを示唆しており、先行研究と同等の結果が得られた。

5 今後の展望

- 新検出天体の 9 点十字観測による位置の特定及び、H_{II} 領域との付随関係の解析
- 付随関係の切り分けを H_{II} 領域の視直径の 2 倍を基準に実施したが、星周構造を参考により精度の高い解析を検討
- H_{II} 領域の形状との比較
- メーザー放射が消失する時期の考察
- 累積頻度分布の定量的な検討 (K-S 検定)

参考文献

- [1] Walsh A.J., et al. 1998, MNRAS, 301, 640
- [2] Purcell C.R. 2006, ph.D.
- [3] Hoare M.G., et al. 2012, PASP, 124, 939
- [4] Purcell C.R., et al. 2013, ApJS, 205, 1
- [5] Green J.A., et al. 2010, MNRAS, 409, 913
- [6] Breen S.L., et al. 2015, MNRAS, 450, 4109
- [7] Lumsden S.L., et al. 2013, ApJS, 208, 11
- [8] Green J.A., et al. 2011, MNRAS, 417, 2500