

# CORNISH H<sub>II</sub> 領域を対象とした 6.7GHz メタノールメーザー 探査に基づく大質量星形成過程の研究

柴田 裕輝, 杉山 孝一郎, 米倉 覚則, 百瀬 宗武 (茨城大学)

## 概要

無バイアス観測に基づく UCH<sub>II</sub> 領域 240 天体をサンプルに、日立 32m 電波望遠鏡による 6.7GHz メタノールメーザーの探査を実施した。観測の結果、UCH<sub>II</sub> 領域の 12% から 6.7GHz メタノールメーザーが検出され、共存期間は  $5 \times 10^3$  年と判明した。メタノールメーザーが消失する前後の相関を (1) H<sub>II</sub> 領域のサイズと (2) UCH<sub>II</sub> 領域を取り巻くダストによる赤化の度合いから考察した。その結果、メタノールメーザーの付随有無により、UCH<sub>II</sub> 領域のサイズに差異は見られなかった。また、赤外線での 2 色図からも有意な差は確認できなかった。これらは、メタノールメーザーが UCH<sub>II</sub> 領域の進化段階と相関がなく、局所的な物理状態に依存する可能性を示唆している。

## 1 研究背景・目的

6.7GHz メタノールメーザーは主に原始星の段階から放射が見られ、星形成初期に出現するとされる。一方で、H<sub>II</sub> 領域は主系列に達した恒星が周囲の中性水素を電離することで生じる領域のため、星形成後期の指標として捉えることができる。しかし、星形成後期の H<sub>II</sub> 領域からメタノールメーザーが検出される例もあり、両者の共存期間や詳しい共存の様子はまだよくわかっていない。両者の共存期間を定量的に導出することができれば、メーザーや各種分子輝線の付随有無で明確に進化段階を切り分けられる可能性がある。また複数の指標を組み合わせることで、星形成全体の時間を解明できると考えられる。

UCH<sub>II</sub> 領域と 6.7GHz メタノールメーザーの関連性を調べた先行研究に Walsh et al. (1997, 1998) が挙げられる。この先行研究では、IRAS の中間赤外線 3 波長 (12, 25, 60 $\mu$ m) のフラックス比で選出した原始星候補天体に対し、Parkes 64m 鏡による 6.7GHz メタノールメーザーの観測を実施した [1]。さらに、メタノールメーザーが検出された領域に対しては、Australia Telescope Compact Array (ATCA) を用いて UCH<sub>II</sub> 領域の付随有無を調査した。その結果、233 のメーザー領域のうち、8% に UCH<sub>II</sub> 領域が付随していることが明らかになった [2]。しかし、この先行研究ではメタノールメーザーの寿命が未解明であるため、付随率から共存期間の長さの特定ができなかった。

そこで本研究は、発現期間が既に解明されている

UCH<sub>II</sub> 領域を対象に 6.7GHz メタノールメーザーの付随率の導出、及び両者の共存期間の特定を試みた。

## 2 観測

### 2.1 観測の実施

観測には日立 32m 電波望遠鏡 (日立局) を使用し、231/240 天体を 6 日間に分けて実施した (観測期間: 2014/8/19 ~ 2016/2/10)。1 天体につき 300 秒の積分を実施し、最終検出感度 ( $5\sigma$ ) ~ 1.5 Jy を達成した。

### 2.2 観測対象の選出

観測対象は CORNISH (Co-Ordinated Radio 'N' Infrared Survey for High-mass star formation) データベースに記載された UCH<sub>II</sub> 領域 240 天体である。CORNISH survey は銀河面高分解能探査プロジェクトの一環で、Spitzer 宇宙望遠鏡による中間赤外線探査領域 northern GLIMPSE I region ( $10^\circ < l < 65^\circ$ ) を対象に、Very Large Array (VLA) を用いた 5GHz 電波連続波の観測を実施した [4][5]。

本研究では観測効率を向上させるため、次の条件を課して観測対象数に制限をかけた。銀経  $10^\circ < l < 20^\circ$  の範囲は、既に Methanol Multi-Beam (MMB) survey [5] による 6.7GHz メタノールメーザーの無バイアス観測が実施されている。このプロジェクトでは Parkes 64m 鏡及び ATCA を用いて、高感度 ( $1\sigma$  ~ 0.17 Jy) かつ高い位置精度 (~ 0.4") で 119 のメーザーを同定した。そのため、5GHz 電波

連続波で  $7\sigma$  以上の強度を示す UCH<sub>II</sub> 領域上に、既知のメタノールメーザー源が存在する場合を「UCH<sub>II</sub> 領域に付随する」と判断し、9 天体は観測しなかった。

### 3 結果

231 の観測対象のうち、106 の UCH<sub>II</sub> 領域からメタノールメーザーを検出した。また同時期に、本観測と並行して実施された銀経  $20^\circ < l < 60^\circ$  の範囲における MMB survey のカタログ [6] が公表された。したがって、UCH<sub>II</sub> 領域のマッピングデータに対し、カタログに記載された精度の高い MMB survey の位置座標を用いてメーザーの付随有無を判断した (§2.2 の選出方法に同じ)。その結果、MMB survey でも発見されなかったメーザーを持つ UCH<sub>II</sub> 領域が 2 天体、メーザーが付随する UCH<sub>II</sub> 領域が 28 天体、メーザーが付随しない UCH<sub>II</sub> 領域が 210 天体であることがわかった。新検出のメーザー源については、単一鏡観測ではどちらの UCH<sub>II</sub> 領域に付随するかを分離することができないため、今後の統計から除外した。よって、UCH<sub>II</sub> に対する 6.7GHz メタノールメーザーの付随率は 12% (28/238) と求まった。

### 4 考察

#### 4.1 6.7GHz メタノールメーザーと UCH<sub>II</sub> 領域の共存期間の導出

Strömgren 球モデルに従って形成された初期 H<sub>II</sub> 領域が、圧力平衡に達するまでの過程を理論的に計算することで、UCH<sub>II</sub> 領域の寿命は  $4 \times 10^4$  年と求められている [8]。本観測により、UCH<sub>II</sub> 領域に対するメタノールメーザーの付随率は 12% と判明したため、共存期間は  $5 \times 10^3$  年と算出できた。

#### 4.2 UCH<sub>II</sub> 領域のサイズと 6.7GHz メタノールメーザーの付随有無の相関

H<sub>II</sub> 領域は電離領域を広げながら成長する。よって進化早期段階を特徴付ける 6.7GHz メタノールメーザーが付随する UCH<sub>II</sub> 領域は、メーザーが付随しない UCH<sub>II</sub> 領域よりもサイズが小さい傾向にあると仮説を立てた。UCH<sub>II</sub> 領域のサイズの導出に先立ち、UCH<sub>II</sub> 領域までの距離を以下の方法で推定した。

- 電波によるアストロメトリ観測
- フォトメトリ観測

- kinematic distance 法 & H<sub>I</sub> Self-Absorption の原理

距離の決定精度の関係上、優先的にアストロメトリ観測及びフォトメトリ観測の結果を使用した。これにより 183/238 天体 (付随あり: 27 天体, 付随なし: 156 天体) の距離及びサイズが求められた。

ここでメタノールメーザーの付随有無ごとに、UCH<sub>II</sub> 領域のサイズに対する天体数の累積頻度分布を作成した (図 1)。一見すると、メーザーが付随する UCH<sub>II</sub> 領域 (赤線) の方が左へ寄っており、サイズが小さいように見受けられる。しかし Kolmogorov-Smirnov 検定により有意水準 5% で検定を行なったところ、メーザーの付随有無により UCH<sub>II</sub> 領域のサイズに相関はないと結果が得られた。

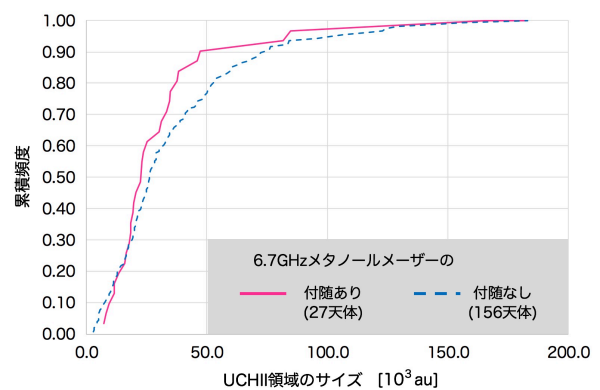


図 1 メーザー付随有無ごとの UCH<sub>II</sub> 領域のサイズに対する天体数の累積頻度分布。kinematic distance 法により距離の不定性が残るものは除外した。

#### 4.3 UCH<sub>II</sub> 領域を取り巻くダストによる赤化と 6.7GHz メタノールメーザーの付随有無の相関

H<sub>II</sub> 領域は主に制動放射による電波連続波とダストからの熱放射が支配的である。6.7GHz メタノールメーザーは、ダストの赤外線再放射により励起されると考えられている。したがって、メーザーの消失に、UCH<sub>II</sub> 領域を取り巻くダストの量が影響する可能性がある。

メタノールメーザーが UCH<sub>II</sub> 領域の成長に伴う時間経過により消失する場合、メーザーが付随する UCH<sub>II</sub> 領域は初期段階、付随しない UCH<sub>II</sub> 領域は後期段階に相当すると考えることができる。H<sub>II</sub> 領域は成長するにつれ、紫外線放射や恒星風により周囲のダストを吹き飛ばし、晴れ上がっていく。よって、

メーザーの付随する UCH<sub>II</sub> 領域はダストによる赤化(吸収)が大きく、2色図上で赤い(若い)ほうへ偏った分布を示すと仮説を立てた(図2)。

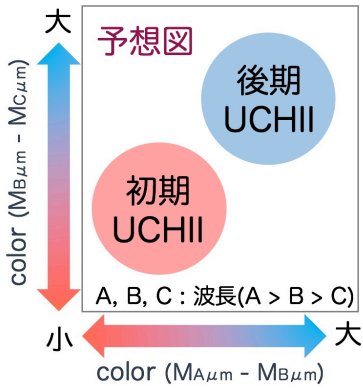


図2 付随有無ごとの2色図上での分布予想図

中間赤外線 Spitzer IRAC(3.6, 5.8, 8.0 $\mu\text{m}$ ), MSX(8, 12, 21 $\mu\text{m}$ )のフラックス情報を絶対等級に換算し、2色図を作成した。なお付随する赤外線源の検索には観測機器の分解能を考慮し、UCH<sub>II</sub>領域からの離角による条件を課した(Spitzer IRAC: 2''以内、MSX: 18''以内)。

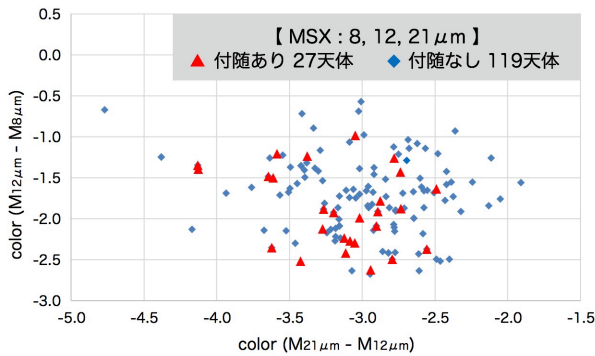


図3 MSXによる2色図

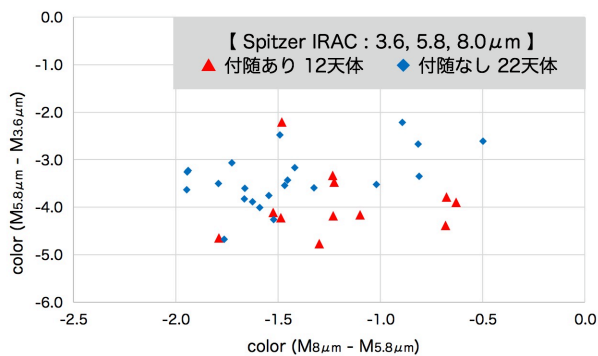


図4 Spitzer IRACによる2色図

分解能の高い( $\sim 2''$ ) Spitzer IRACの2色図は、原

始星近傍の情報を精度良く反映すると考えたが、サンプル数が少なく、有意な差があるかを結論づけることは難しい。一方でMSXによる2色図はサンプルを多く得ることができた。しかし、MSXの分解能は18''以下であるため、集団で生まれた大質量原始星の個々の情報を反映できない問題がある。仮に1個または数個の大質量星原始星が支配的であった場合を考えると、この2色図からメタノールメーザーの付随有無とダストの量に目立った相関はないと思われる。

## 5 結論

本研究の観測を通じて、UCH<sub>II</sub>領域の12%から6.7GHzメタノールメーザーが検出され、 $5 \times 10^3$ 年の共存期間があることが明らかになった。

UCH<sub>II</sub>領域のサイズとダスト由来の赤化による6.7GHzメタノールメーザーの消失仮説を立てたが、どちらの仮説も真であるとは言い難い。先行研究ではメタノールメーザーはUCH<sub>II</sub>領域が成長すると消失するとされていた。しかし、UCH<sub>II</sub>領域に限定して消失の要因を考えた場合、メタノールメーザーはUCH<sub>II</sub>領域内部の局所的な物理条件を反映している可能性がある。6.7GHzメタノールメーザーの励起環境の典型値として、ダスト温度  $T_{\text{dust}}: 100\text{-}300\text{K}$ , 水素個数密度  $n_{\text{H}}: 10^4 \leq n_{\text{H}} \leq 10^9 [\text{cm}^{-3}]$  が提唱されている[8]。したがって、UCH<sub>II</sub>領域内部に上記の条件を満たせなくなった際にメーザーが消失する可能性がある。

今回の解析では、電離星の成長速度を考慮できていない。成長速度は質量に依存するため、スペクトルタイプが良い指標と考えられる。今後はメーザーの付随有無とスペクトルタイプの相関調査を通じて、メタノールメーザーの消失要因の解明を目指す。

## 参考文献

- [1] Walsh, A. J., et al., 1997, MNRAS, 291, 261
- [2] Walsh, A. J., et al., 1998, MNRAS, 301, 640
- [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] Wood, D. O. S., & Churchwell, E., 1989, ApJS, 69, 831
- [8] Cragg, D. M., et al., 2005, MNRAS, 360, 533