

# 高変動を示す 6.7 GHz メタノールメーザは大質量星からのアウトフローに付随するのか

中村 拓、藤沢 健太、新沼 浩太郎、元木 業人(山口大学) 松本 尚子、蜂須賀 一也(NAOJ)

## 1 研究背景

大質量星(太陽の8倍以上重い恒星)は周囲に濃い星間物質が存在するなどの理由からその形成過程は未解明である。しかし、近年の分子線を用いた電波観測や星周ダストの赤外線観測から大質量星周囲にもガス/ダスト円盤の存在が明らかになってきたことから、大質量星も小質量星と同様に円盤からのガス降着によって形成されることが示唆されている。この降着円盤の構造及び運動を調査することは大質量星形成過程を理解する上で不可欠である。さらに、アウトフローによる質量放出現象も大質量星の形成過程の解明に欠かせない要素である。

降着円盤やアウトフローの運動を高分解能(数ミリ秒角)で捉えることが出来るツールとして期待できるのが、大質量星形成領域のみに付随する 6.7 GHz メタノールメーザの VLBI 観測である。6.7 GHz メタノールメーザはすでに、降着円盤のトレーサーとして研究が行われている(e.g., Bartkiewicz et al. 2005; Sanna et al. 2010)。しかし、アウトフローのトレーサーになる可能性も近年の研究から示唆されている。例えば、Moscadelli et al. (2011) で報告されている IRAS 20126+4104 に付随する 6.7 GHz メタノールメーザである。この天体では、アウトフロートレーサーである水メーザと 6.7 GHz メタノールメーザの運動の比較から 6.7 GHz メタノールメーザがアウトフローに付随するとされている。しかし、これまでに 6.7 GHz メタノールメーザと水メーザの運動を比較した研究例は少ないため、6.7 GHz メタノールメーザがアウトフローに付随する条件や頻度は分かっていない。

我々は、6.7 GHz メタノールメーザがアウトフローに付随することが確かな天体を探索するために 6.7 GHz メタノールメーザと水メーザの VLBI 観測を実施した。観測天体は G59.78+00.06 で、この天体に付随する 6.7 GHz メタノールメーザはアウトフロートレーサーである水メーザと同様に非常に激しい強度変動(速度構造の変動)を示す。本発表では、VLBI 観測から明らかとなった G59.78+00.06 に付随する 6.7 GHz メタノールメーザの特徴及び今後の研究計画について紹介する。

## 2 観測/観測結果

6.7 GHz メタノールメーザの VLBI 観測は、2016 年 8 月 25 日と 2016 年 10 月 31 日の 2 度に渡って JVN(Japanese VLBI Network)を用いて行った(図 2 左図)。水メーザの VLBI 観測は 2016 年 2 月 10 日から 1 か月間隔で 4 度に渡って VERA(VLBI Exploration of Radio Astrometry)を用いて行った(図 2 中央図)。

VLBI 観測の結果、6.7 GHz メタノールメーザと水メーザの空間分布はメーザの集団が東側と西側に 1 つずつ存在し、両メーザの空間位置及び視線速度が一致した。しかし、水メーザの固有運動はアウトフロー付随を示唆する双極に離れ合うような運動を示したのに対し、6.7 GHz メタノールメーザの固有運動は明瞭な運動傾向を示さなかった(図 2 右図)。この結果は、6.7 GHz メタノールメーザと水メーザが同じ領域で異なった運動をしている、もしくは両メーザが別の領域に付随していることを示唆している。

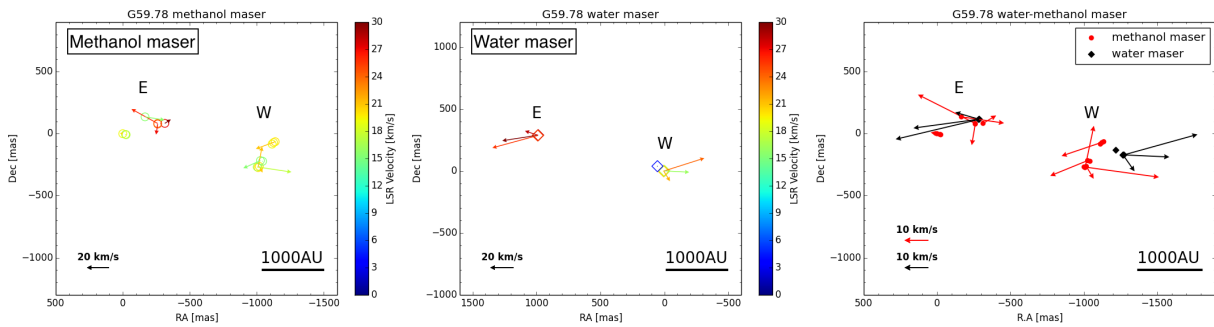


図1 G59.78+00.06 の(左)メタノールメーザの固有運動,(中央)水メーザの固有運動,(右)両メーザの重ね合わせ。縦軸、横軸は赤経、赤緯の相対位置を示している。色は横のカラーバーに対応した視線速度を示している。また矢印の向きがメーザの運動の向き、長さが運動の大きさを示している。

### 3 6.7 GHz メタノールメーザの付随領域の推定

6.7 GHz メタノールメーザの付随領域を推定するために、従来考えられてきた edge-on 星周円盤やアウトフローモデル、連星モデルを適用したがどのモデルも観測結果に適合しなかった。そこで我々は、アウトフローの2層構造モデル及び間欠的なアウトフローモデルの2つのモデルを提案する。

#### 1. アウトフローの2層構造モデル

アウトフローの2層構造モデルは小質量星の数値シミュレーション及び観測で示されており、原始星近傍からは高速で放出角の狭いジェット、このジェットを取り囲むように星周円盤から低速で放出角の広いアウトフローが放出されるモデルである (Machida et al. 2004 : Santiago-Garcia et al. 2009)。G59.78+00.06 の水メーザの固有運動平均速度は  $25.6 \text{ km s}^{-1}$  に対して、6.7 GHz メタノールメーザの固有運動平均速度は  $18.2 \text{ km s}^{-1}$  と低速である。さらに両メーザの見込み角(視線方向に対するメーザの3次元運動の傾き)及び位置角(天球面上でのメーザの運動方向の傾き)を比較した時、見込み角はおおよそ  $80^\circ$  で一致する。しかし、水メーザの位置角は  $90^\circ$  で東西方向を向いているのに対し、6.7 GHz メタノールメーザの位置角は  $-150^\circ \sim -170^\circ$  と幅広く南北方向にも拡がっている。この結果から水メーザは高速で放出角の狭いジェット、6.7 GHz メタノールメーザは低速で放出角の広いアウトフローに付随している可能性がある。さらにこれまでの観測結果から低速アウトフローが回転を伴って放出されることが明らかとなった (Per Bjerkeli et al. 2016)。G59.78+00.06 に付随する6.7 GHz メタノールメーザの複雑な固有運動はこの回転運動を伴った低速アウトフローに起因している可能性がある。しかし、6.7 GHz メタノールメーザが低速アウトフローを捉えた例は少なく今後多天体での検証が必要であると考えられる。

#### 2. 間欠的なアウトフローモデル

間欠的なアウトフローモデルはアウトフローが間欠的に吹き出すことによって、6.7 GHz メタノールメーザの付随領域が変化するモデルである。間欠的なアウトフローは理論的にも観測的にも証明されており、その変動間隔は1~10年であると言われている (Machida et al. 2014 : Marti et al. 1995)。Bartkiewicz et al. (2014) で報告されている2010年のEVN(European VLBI Network)観測と本研究のJVN観測の結果からメタノールメーザの長期的固有運動(約6年)を導出すると運動は互いに近づきあう運動になる(図1左図)。JVN観測結果で得られた短期的固有運動(2か月)と比較すると、運動の傾向が変化している。G59.78+00.06のアウトフローの変動間隔が1~10年であると仮定すると、メタノールメーザはアウトフローの静穏期は降着するガス(JVN-EVN間)、アウトフローの活動期(JVN間)は降着するガスとアウトフローに引きずられるガスの両方に付随する可能性がある(図1右図)。今後このモデルを検証するためには長期的かつ高頻度の固有運動観測が必要である。このモデルが正しければアウトフローの変動に伴った固有運動の変化が検出できる可能性がある。

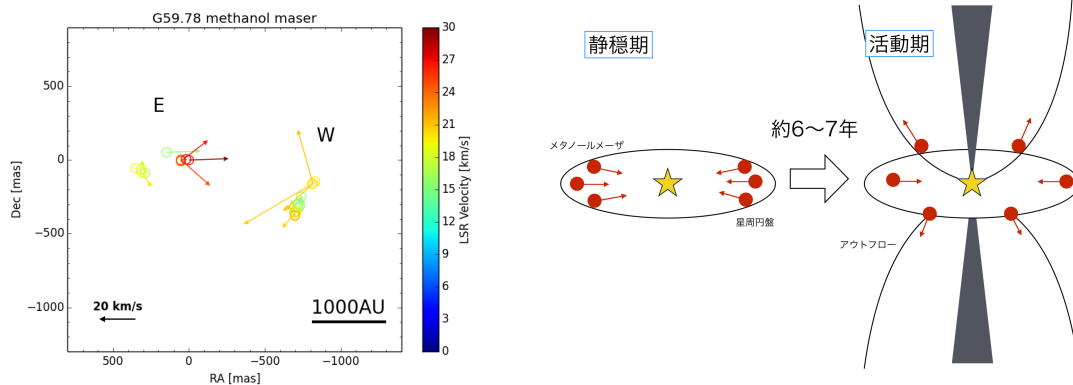


図1 (左)EVN-JVN間(6年)で導出した6.7 GHzメタノールメーザの固有運動。(右)間欠的なアウトフローモデル

## まとめ

高変動天体 G59.78+00.06 の 6.7 GHz メタノールメーザがアウトフローに付随するのか検証するために、6.7 GHz メタノールメーザと水メーザの空間位置及び固有運動の比較を行った。6.7 GHz メタノールメーザの VLBI 観測は、2016 年 8 月 25 日と 2016 年 10 月 31 日の 2 度に渡って JVN を用いて行った。水メーザの VLBI 観測は 2016 年 2 月 10 日から 1 か月間隔で 4 度に渡って VERA を用いて行った。VLBI 観測の結果、6.7 GHz メタノールメーザと水メーザの空間位置及び視線速度が一致した。しかし、水メーザの固有運動はアウトフロー付随を示唆する双極に離れ合うような運動を示したのに対し、6.7 GHz メタノールメーザの固有運動は明瞭な運動傾向を示さなかった。

6.7 GHz メタノールメーザの付随領域を推定するために、従来考えられてきた edge-on 星周円盤やアウトフローモデル、連星モデルを適用したがどのモデルも観測結果に適合しなかった。我々は、アウトフローの 2 層構造モデル及び間欠的なアウトフローモデルの 2 つのモデルを提案し、観測結果に矛盾しないことを明らかにした。今後は 6.7 GHz メタノールメーザの長期的かつ高頻度の固有運動観測及びサンプル天体を増やすことがひつようであると考えられる。

## 参考文献

- 1) Patel, N. A., Curiel, S., Sridharan, T. K., et al. 2005, *nature*, 437, 109
- 2) Bartkiewicz, A., Szymczak, M., van Langevelde, H. J. 2005, *A&A*, 442, L61
- 3) Bartkiewicz, A., Szymczak, M., & van Langevelde, H. J. 2014, *A&A*, 564, A110
- 4) Machida, M. N. 2014, *ApJ*, 796, L17
- 5) Marti, J., Rodriguez, L. F., & Reipurth, B. 1995, *Apj*, 449, 184
- 6) Moscadelli, L., Cesaroni, R., Rioja, M. J., Dodson, R., & Reid, M. J. 2011, *A&A*, 526, A66
- 7) Bjerkeli, P., van der Wiel, M. H. D., Harsono, D., Ramsey, J. P., & Jørgensen, J. K. 2016, *Natur*, 540, 406
- 8) Sanna, A., Moscadelli, L., Cesaroni, R., et al. 2010, *A&A*, 517, A71
- 9) Santiago-García, J., Tafalla, M., Johnstone, D., & Bachiller, R. 2009, *A&A*, 495, 169