

変光星周期位相と一酸化珪素レーザー分布の相関関係

親泊美哉子¹, 今井裕¹, 永山匠², 小山友明², 松本尚子², 中島淳一³, S.-H. Cho⁴

¹ 鹿児島大学, ² 国立天文台,

³ Ural Federal University, ⁴ Korean Astronomy and Space Science Institute

E-mail: ¹k7219031@kadai.jp

Abstract

VLBI Exploration of Radio Astrometry (VERA) と野辺山 45m 望遠鏡を用い, 長周期変光星に対して一酸化珪素 (SiO) メーザー $v = 2/v = 3 J = 1 \rightarrow 0$ の VLBI 撮像観測を行った. 中心星の変光周期と SiO $v = 2/v = 3$ メーザーの相対分布に相関がある可能性を示す.

1. Introduction

SiO メーザーは酸素過多の長周期変光星星周 (星半径の 1-2 倍の領域) で検出されることから, 星周の物理条件の変化や中心星から放出されたガスの運動に影響されると考えられる. 星周の SiO メーザー励起機構には (1) 中心星からの赤外線放射による励起, (2) 衝突励起, (3) line-overlapping の 3 つのモデルがある (Lockett & Elitzur 1992; Bujarrabal et al. 1994; Desmurs et al. 2014). line-overlapping は星周にある水蒸気分子から放射される $\sim 8\mu\text{m}$ の中間赤外線が SiO 分子を励起する機構で, 低い振動エネルギー準位の回転エネルギー準位 $J = 0$ から一つ高い振動エネルギー準位の回転エネルギー準位 $J = 1$ へ励起する. この場合, $v = 3$ メーザーは $v = 1/v = 2$ メーザーと空間的相関があると考えられる. また, SiO 分子を振動回転エネルギー準位 $v = 3 J = 1$ まで励起するには温度換算したエネルギーレベルで 5,000 K 以上が必要なのに対して, 中心星の表面温度は 2,500 - 3,500 K と低いため, 中心星からの赤外線放射では $v = 3 J = 1$ までの励起は難しい. また, $v = 2$ と $v = 3$ メーザーの相対分布は中心星の変光周期と相関がある可能性が提示されている (Imai et al. 2010).

2. Observations

2012年3月と5月に, VERA 4局と野辺山 45m 望遠鏡を使用し SiO $v = 2/v = 3 J = 1 \rightarrow 0$ メーザーの同時観測を長周期変光星 12 天体に対して実施した. さらに, 2014年12月から2015年1月にかけて, VERA 4局と野辺山 45m 望遠鏡を使用して R Leo と TX Cam を2週間間隔で3回, SiO $v = 1/v = 2/v = 3 J = 1 \rightarrow 0$ メーザーの同時観測を行った. また, 2015年3月に VERA 4局, 野辺山 45m, 鹿島 34m 望遠鏡を使用して R Cas の SiO $v = 0/v = 1/v = 2/v = 3 J = 1 \rightarrow 0$ メーザーの同時観測を行った.

3. Results and Discussion

2012年の長周期変光星12天体(WX Psc, AP Lyn, U Ori, VY CMa, R Leo, RS Vir, W Hya, U Her, RU Her, V1111 Oph, V4120 Sgr, and T Cep)の観測では、5天体で $v=3$ メーザーが検出され、そのうちWX Psc, R Leo, W Hya (Fig.1), T Cep (Fig.2)で $v=2$ と $v=3$ メーザーのマップ合成に成功した。T Cepでは $v=3$ メーザーは $v=2$ メーザーと空間的(数mas以内)、視線速度的(1 km s^{-1} 以内)に相関が見られた。 $v=3$ メーザーが $v=2$ メーザーと空間的・速度的相関をもつのはline-overlappingの特徴であり、観測時T Cep星周では、 $v=3$ メーザーの励起はline-overlappingが優勢であったと推察される。一方、WX Psc, W Hyaは、 $v=3$ メーザー領域が $v=2$ メーザー領域と明らかに異なり、相関が見られないことから衝突励起が優勢な励起機構であると推察できる。また、いくつかの $v=3$ メーザースポットは $v=2$ メーザーよりも中心星から離れた領域に存在していた。R Leoは $v=2$ メーザースポット数が少なくリング状の分布を仮定することができず、中心星の位置を推定することができなかった。

T CepとWX Pscについては、American Association of Variable Star Observers (AAVSO)が提供している可視光ライトカーブと $v=2/v=3$ メーザー相対分布に相関がないか調査した。 $v=2$ と $v=3$ メーザーの空間的相関が見られたT Cepを観測したのは変光周期が $\phi\sim 0.2$ の時であり、 $v=3$ メーザー領域が $v=2$ メーザー領域と相関がないW Hyaを観測したのは変光周期が $\phi\sim 0.0$ の時であった。赤外線放射が最大になると考えられる $\phi\sim 0.2$ (Smith et al. 2006; Zhao-Geisler et al. 2011)あたりでline-overlappingの影響が大きくなると推察される。その過程は次の通りである。(1)水蒸気分子からの $\sim 8\mu\text{m}$ の放射が $\phi\sim 0.2$ で増加する、(2)SiO分子が $11_{6,6}\nu_2=1\rightarrow 12_{7,5}\nu_2=0$ によって $v=1J=0$ から $v=2J=1$ へ、また $5_{0,5}\nu_2=2\rightarrow 6_{3,4}\nu_2=1$ によって $v=2J=0$ から $v=3J=1$ へと励起される、(3) $v=3$ メーザーが $v=2$ 周辺で増加する。これはImai et al. (2010)がW Hyaを異なる周期位相($\phi\sim 0.0$, $\phi\sim 0.1$)で観測した結果とも一致している。しかし、2015年1月に観測したR Leo($\phi\sim 0.15$)及び2015年3月に観測したR Cas($\phi\sim 0.23$)ではline-overlappingが優勢な励起機構となることが期待されたが、 $v=3$ メーザーと $v=1/v=2$ メーザーの間に空間的相関は見られなかった。line-overlappingが優勢となるのは赤外線放射が最大となる $\phi\sim 0.2$ あたりと考えられるが、その時期は短く、ほとんどの時期は衝突励起が主な励起機構となっていると推察できる。

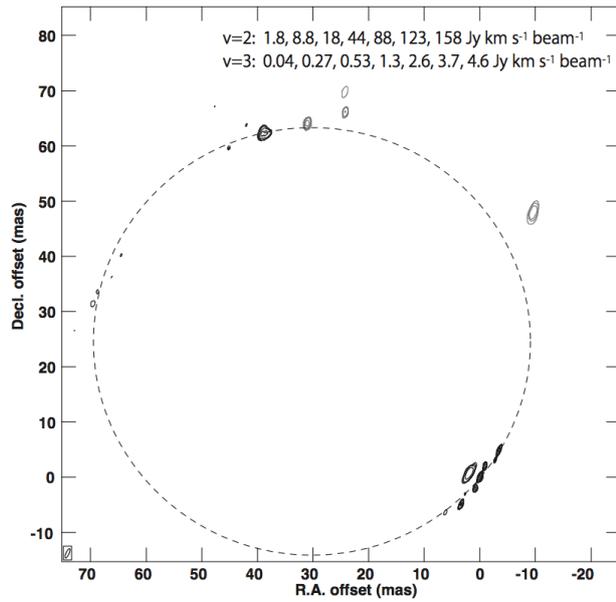


Fig. 1. W Hya SiO $v=2$ (黒) / $v=3$ (グレー) メーザー合成マップ. 破線の円は $v=2$ メーザーが星を中心にリング状に分布すると想定して目測で描いたもの. 励起に高いエネルギーを要する $v=3$ メーザーが $v=2$ メーザーよりも中心星から離れた領域に存在している. 観測時の星の変光周期位相は $\phi \sim 0.0$.

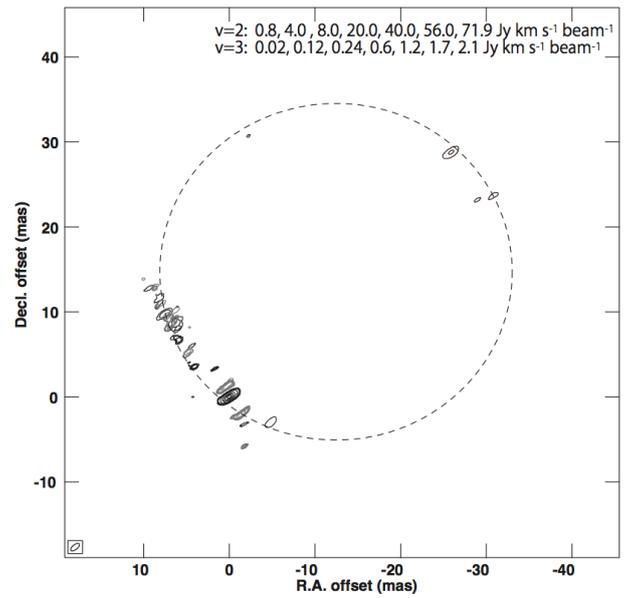


Fig. 2. T Cep SiO $v=2$ (黒) / $v=3$ (グレー) メーザー合成マップ. 破線の円は Fig.1 と同じ. $v=2/v=3$ メーザースポットが数 mas 以内で重なっており空間的に相関があると推察される. 観測時の星の変光周期位相は $\phi \sim 0.2$.

References

- Lockett, P., Elitzur, M, et al. 1992, ApJ, 399, 704
 Bujarrabal, V., 1994, A&A, 285, 953
 J. -F, Desmurs, et al. 2014, A&A
 Cho, S.-H., Kaifu, N., 1996, A&AS, 115, 117
 Cho, S.-H., Lee, C. W., & Park, Y. -S, 2007, ApJ, 657, 482
 Soria-Ruiz, R., et al. 1004, A&Ap, 426, 131
 Imai, H., et al., 2010, PASJ, 62, 431
 Smith, B.J, Price, S.D., & Moffett, A.J., 2006, AJ, 131,612
 Zhao-Geisler, R., et al., 2011, A&A, 530, A120