

変光星星周SiOメーザー励起機構と変光位相の相関性

M. Oyadomari¹, H. Imai¹, Y. Tamura², T. Nagayama², T. Oyama², N. Matsumoto², J. Nakashima³, S. -H. Cho⁴
¹Kagoshima University, ²Mizusawa VLBI Observatory, National Astronomical Observatory of Japan
³Ural Federal University, ⁴Korean Astronomy and Space Science Institute

長周期変光星 (LPVs) 星周のSiOメーザーの励起機構には (1) stellar radiation pumping, (2) collisional pumping, (3) H₂O-SiO line overlapping がある [1][2][3][4]. 我々は2輝線のメーザーの相対分布の様相から優勢な励起機構が推察可能で、その相対分布の様相は中心星の変光位相と相関性があると考えている。先行研究のW Hyaの観測において、変光位相 $\phi \sim 0.0$ ($\phi = 0.0$ および 1.0 で可視光ライトカーブ最大)の観測時には、 $v=3$ メーザーは中心星に近い領域で、 $v=1$ と $v=2$ メーザーは $v=3$ より中心星から離れた領域で観測され、 $v=3$ と $v=1, 2$ メーザー領域は空間的に重なることはなかったが、 $\phi \sim 0.2$ の観測時には $v=2$ メーザー領域が中心星に近くなり $v=3$ メーザー領域と空間的・速度分布的にも重なる分布を示した [5]. W Hyaの $\phi \sim 0.2$ 観測時のように、 **$v=2$ メーザーがよりエネルギー準位が高い $v=3$ メーザーと同じ領域または $v=3$ メーザーより中心星に近い領域に存在するのは、H₂O-SiO line overlappingが優勢な励起機構になっている時と考えられる [3].** また、変光星星周のSiOメーザー強度は、赤外線放射と同じように、可視光ライトカーブピークを過ぎた位相 $\phi = 0.1 \sim 0.2$ あたりで最大となる。これは中心星からの赤外線放射強度が増すことで、H₂O-SiO line overlappingの起因となる星周の水蒸気分子からの中間赤外線 ($\sim 8 \mu\text{m}$) が増すためと考えられる。我々はVERAと野辺山45m望遠鏡を用いた長周期変光星12天体の星周の一酸化珪素 (SiO) $v=2, v=3$ $J=1 \rightarrow 0$ メーザーの2輝線同時観測を行い、星の変光位相とメーザー励起機構との相関性について考察した。

● H₂O-SiO line overlapping mechanism

水蒸気分子の振動-回転エネルギー遷移によって放出された中間赤外線 $11_{6,6} \nu_2=1 \rightarrow 12_{7,5} \nu_2=0, 50_{5,5} \nu_2=2 \rightarrow 6_{3,4} \nu_2=1$ が、SiO 分子のエネルギー準位 $v=1$ ($J=0$) $\rightarrow v=2$ ($J=1$)、 $v=2$ ($J=0$) $\rightarrow v=3$ ($J=1$) にそれぞれ汲み上げることによって、 $v=2$ ($J=1 \rightarrow 0$) および $v=3$ ($J=1 \rightarrow 0$) メーザーが生じるのである。この状況では、 $v=1, v=2, v=3$ メーザー放射が空間的・速度分布的にも相関をもち、メーザースポットの領域が重なることが予想される。

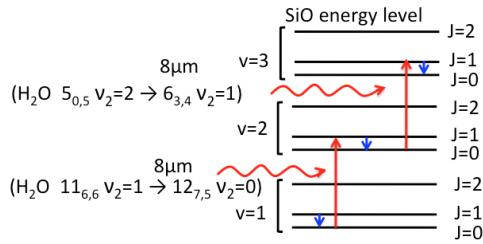


Figure 2 H₂O-SiO line overlapping mechanism

● T Cep

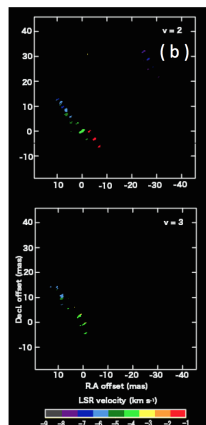
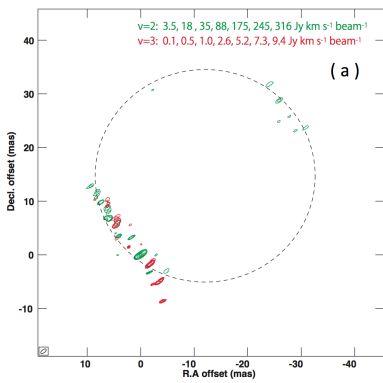


Figure 3 (a): T Cep $v=2$ (緑) $v=3$ (赤)メーザー合成マップ。2012年5月20日 ($\phi \sim 0.2$)に観測。 $v=2$ と $v=3$ メーザーのマップ合成には、 $v=2$ メーザーの最も明るい速度チャンネルの解を他の $v=2$ および $v=3$ メーザーに適応させる phase-referencing を使用、その際にアンテナ局位置精度の不確定性の大きい野辺山45m望遠鏡のデータを使用しているため、マップ合成精度は1mas程度。点線 (黒) は $v=2$ メーザーが星を中心に円状の分布していると仮定し目視で描いた。(b): $v=2$ (上図)、 $v=3$ (下図)の視線速度分布図。視線速度 -4km/s のメーザースポット群は $v=2, v=3$ メーザー存在領域が重なっている。

● W Hya

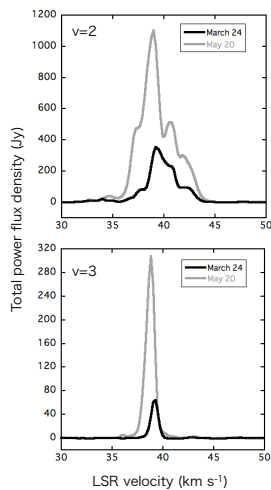
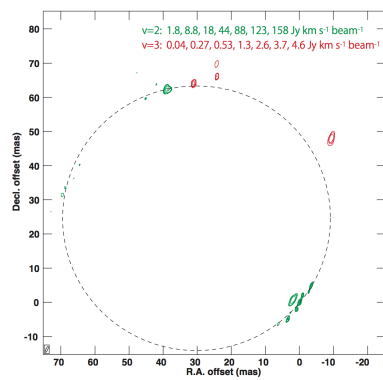


Figure 5 W Hya $v=2$ (緑) $v=3$ (赤)メーザー合成マップ。2012年5月20日 ($\phi \sim 0.0$)に観測。 phase-referencingによるマップ合成には野辺山45mを除いたVERA4局のみデータを使用したため合成精度は $50 \mu\text{as}$ 程度。 $v=3$ メーザーは、 $v=2$ メーザーが星を中心に円状の分布していると仮定し目視で描いた点線 (黒) より外側に存在している。

Figure 6 W Hya $v=2$ (上図)、 $v=3$ (下図) トータルパワーフラックス密度。野辺山45m望遠鏡で取得したデータ。2012年3月24日 ($\phi \sim 0.8$)と5月20日 ($\phi \sim 0.0$)に観測。

● Results and Discussions

観測した長周期変光星12天体のうち T Cep (Fig. 3), W Hya (Fig. 5), WX Psc, R Leo の4天体で $v=2, v=3$ のマップ合成に成功した (Table 1). T Cep (Fig. 3)は $\phi \sim 0.2$ の時期に観測されていることから、中心星の赤外線放射強度が強くH₂O-SiO line overlappingの効果も高いと推察していた。結果はそれと矛盾なく、 $v=2$ メーザー領域は $v=3$ メーザー領域と中心星からほぼ同じ半径の領域に存在していることから $v=2$ メーザーはline overlappingの影響を受けていると考えられる。また、 $v=3$ の視線速度 -4km/s のメーザースポット群は、 $\phi \sim 0.0$ の観測時には観られず $\phi \sim 0.2$ の観測時に現れているが、 $v=2$ メーザー領域と空間的・速度分布的に良く相関していることから、line overlappingによって $v=2$ ($J=0$) $\rightarrow v=3$ ($J=1$)へ励起した可能性がある。W Hyaでは、 $\phi \sim 0.8$ より $\phi \sim 0.0$ の時が $v=2, v=3$ ともに強度が強くなっている。W Hyaの $v=2$ メーザーは $v=3$ メーザー領域より中心星に近い領域に存在しており、位相 $\phi \sim 0.0$ の時に既にline overlappingの効果が見れている可能性がある。一方、 $v=3$ メーザーは $v=2$ メーザー領域と空間的・速度分布的相関が全く見られないことから、 $v=3$ メーザーの励起機構とはline overlappingではないと推察できる。

References

- [1] Lockett, P., Elitzur, M, et al. 1992, ApJ, 399, 704
- [2] Bujarrabal, V., 1994, A&A, 285, 953
- [3] J. -F, Desmurs, et al. 2014, A&A, 565, A127
- [4] Soria-Ruiz, R., et al. 2004, A&Ap, 426, 131
- [5] Imai, H., et al. 2010, PASJ, 62, 431

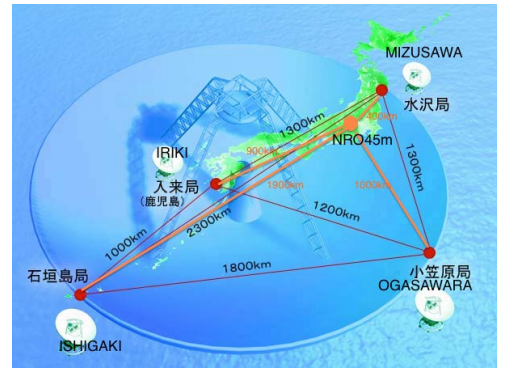


Figure 1 The baselines of VERA and NRO45m.

Table 1 Parameters of observations

Source name	Scan (hr) *1	ϕ *2	observation date *3	$v=3$ maser
WX Psc	2.6	N/A	B	detected
U Ori	0.8	0	A	
AP Lyn	1.3	N/A	B	
VY CMa	2.4	0	A	
R Leo	3.8	0.15	B	detected*4
W Hya	2.8	0	B	detected
RS Vir	0.9	0.1	B	
RU Her	1.6	0.7	A	
U Her	1.7	0.2	A	
V4120 Sgr	2.8	N/A	B	detected*5
V1111 Oph	2.3	N/A	A	
T Cep	2.6	0.2	B	detected

*1 Total integration time in hour

*2 Light curve phase (0.0 and 1.0 at the light maximum)

*3 A: March 24-25 in 2012; B: May 20-21 in 2012

*4 We could not obtain a meaningful composite map due to a too small number of the $v=2$ and $v=3$ maser spots to find a ring-shaped structure.

*5 There was only one maser spot detected.

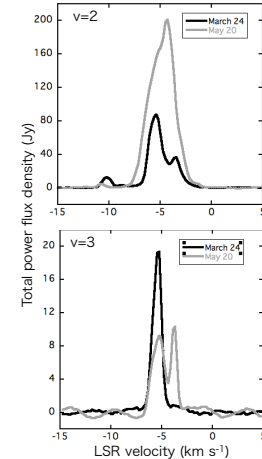


Figure 4 T Cep $v=2$ (上図)、 $v=3$ (下図) トータルパワーフラックス密度。野辺山45m望遠鏡で取得したデータ。2012年3月24日 ($\phi \sim 0.0$)と5月20日 ($\phi \sim 0.2$)に観測。