

OCTAVE システムを用いた SiO メーザー広帯域 VLBI 観測の技術開発

桑原 翔 (東京大学大学院 理学系研究科 天文学専攻)

Abstract

SiO メーザーは漸近巨星分枝 (AGB) 星等の星周外層から生じる誘導放射であるが、その励起機構はいまだ理解がされていない。今回、我々はこの励起機構の解明のためにうみへび座 W 星 (W Hya) に対して広帯域での VLBI 観測を行い、同時刻における複数の振動レベルの SiO メーザーの分布を明らかにしようとした。この観測では新しい記録装置である OCTAVE システムを用いたので、位相残差補正を行うために新たに補正用スクリプトを開発した。また、野辺山 45m 電波望遠鏡 (NRO45) を広帯域観測で使用するために、私は NRO45 の GPS 測位を行って局位置誤差を改善し、更にアンテナ変形による遅延残差補正のスクリプトを開発して位相残差補正を行った。この結果、SiO メーザーの異種 3 輝線を同時に撮像することに成功し、 $^{29}\text{SiO } v=0(J=1-0)$ メーザー輝線を撮像することに成功した。更に、 $^{29}\text{SiO } v=0(J=1-0)$ のメーザー輝線の他の輝線に対する相対位置については先行研究 (Soria-Ruiz et al., 2005) の結果にほぼ一致した。

1 Introduction

SiO メーザーの励起機構は議論の多いところであり、現在も結論が出ていない。その中で提唱されている励起機構は大きく分けて 2 種類、すなわち放射励起と衝突励起に分けられる。放射励起は中心星や水素分子からの赤外線による励起であり、衝突励起は星から噴出したガスが重力で引き戻される際に生じる衝突の shock による励起である。これらの励起機構は異種メーザー間でのメーザースポット分布に密接に関係していることがわかっている。

故に、我々は複数の異種メーザーを同時に撮像して、各メーザースポットの相対的な位置関係を知る必要がある。しかし、比較的放射が強い $\text{SiO } v=2(J=1-0), v=1(J=1-0)$ などはよく研究されている一方で、放射の弱いメーザーは検出が難しく、撮像に関しても十分なサンプルがあるとは言えない。また、3 輝線以上の異種メーザー振動励起輝線を同時撮像した例はなく、従来の VLBI 観測では、異種メーザー輝線の相対分布からメーザー励起機構を解明する手法に限りがあった。そこで今回我々は、国立天文台水沢 VLBI 観測所で開発された新しい記録装置 OCTAVE(Optical ConnecTed Array for VLBI Exploration) システムを VERA(VLBI Exploration of Radio Astrometry), NRO45 (野辺山 45m 電波望遠鏡) の 5 つの電波望遠鏡に搭載してうみへびぎ W 星 (W

Hya) に付随する SiO メーザーの広帯域 VLBI 観測を行った。

2 Observations and Analysis

観測を行った SiO メーザーは、 $\text{SiO } v=3(J=1-0)$, $v=2(J=1-0)$, $v=1(J=1-0)$ の 3 輝線と $^{29}\text{SiO } v=0(J=1-0)$ の 1 輝線であり、観測周波数の幅としては約 42.5GHz($v=3$) から 43.1GHz($v=1$) の 600MHz に渡っている。この広帯域観測を実現するために OCTAVE システムが導入された。この装置は、記録速度が約 2Gbps/ch であり、帯域幅にして 512Mhz/ch をカバーすることができる。本観測はこの内 2ch を用いて行うことで 1024MHz の帯域幅をカバーしている。

また、今回解析で扱った観測データは 2013 年 5 月 9 日 (t13129a) と 2013 年 5 月 27 日 (t13147a) のものの 2 つである。広帯域観測によって得られたデータは AIPS (Astronomical Image Processing System) を用いて解析した。新しい記録装置を用いた観測データであるため、フリッジ位相残差計算は現在の AIPS に対応していない。また、NRO45 の不確定な局位置及びアンテナの変形による焦点距離の変動のために無視できない遅延時間残差が生じる。このうち、アンテナ変形による遅延時間残差は具体的には下記の

式によって計算される。

$$c\tau_{\text{inst}}[\text{mm}] \approx 2(32 \sin(EL) + 5 \cos(EL))$$

図 1: アンテナ変形による遅延時間残差計算式。EL はアンテナ仰角、c は光速を示す。

そのため私は独自に位相残差補正を行うスクリプトと遅延残差補正を行うスクリプトを開発し、新記録装置における解析手法を確立した。

3 Methods

SiO $v=2(J=1-0)$ メーザーデータで得られた位相残差補正解を残りのメーザーデータへ適用すると、SiO $v=2(J=1-0)$ を基準とした異種メーザー間の相対分布が得られる。しかし、群遅延時間残差（周波数方向での位相残差の傾斜）が残っていると、余分な位相オフセットを加えてしまい、その分メーザー分布のマップがずれてしまう。512MHz 帯域で得られた群遅延時間補正解は、0.1 ナノ秒の精度を持つ。これは、512MHz 帯域内での位相回転 ($\Delta\phi [\text{rot}] = \Delta\tau\Delta\nu$) を 0.05 周以内まで小さくできるので、512MHz 帯域データの参照周波数で求められた位相残差から、8MHz 帯域（メーザー源）データの参照周波数における位相残差を計算した。

一方、NRO45 の GPS 測位を行うことで NRO45 の局位置誤差による広帯域 VLBI 観測における遅延追尾の際の位相補正精度を改善した。また、アンテナの変形によって主鏡と副鏡の焦点距離がアンテナの仰角に依存して変化することで遅延時間残差として更に加わることに關しては、これを器械遅延として扱って遅延残差補正解を作成するスクリプトを独自に開発して適用することで対応した。

4 Results

解析の結果得られた Total power spectra を観測コードごとにわけて図 2、図 3 に示す。それぞれ異種 3 輝線以上のメーザー検出に成功している。ま

た、各々の観測コードごとに異種メーザー輝線の相対分布を表したマップを図 4、図 5 に示す。これらは SiO $v=2(J=1-0)$ の位相残差補正解を基準に作成されたものであり、リング状の破線はおおよその SiO $v=2(J=1-0)$ の分布を示している。このリングサイズは直径約 70mas 程である。

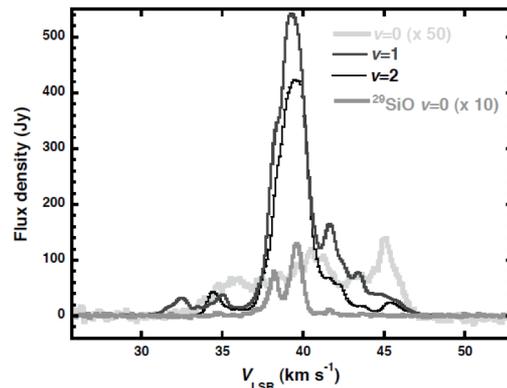


図 2: Total Power Spectra(t13129a)

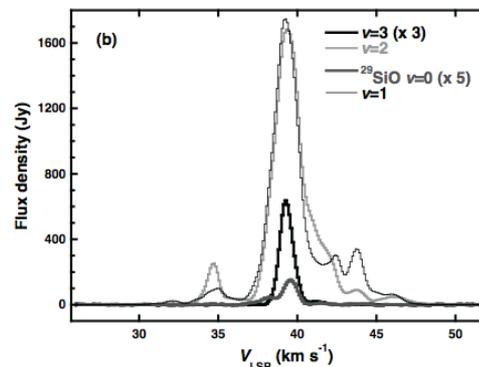


図 3: Total Power Spectra(t13147a)

5 Discussion

今回の解析結果と先行研究から 2 つのことが述べられると考える。

最初に、t13129a の解析結果 (図 4) から ^{29}SiO は SiO $v=2$ 及び $v=1$ のリングの外側に存在する可能性が高いと思われる。この考察は先行研究 (Soria-Ruiz

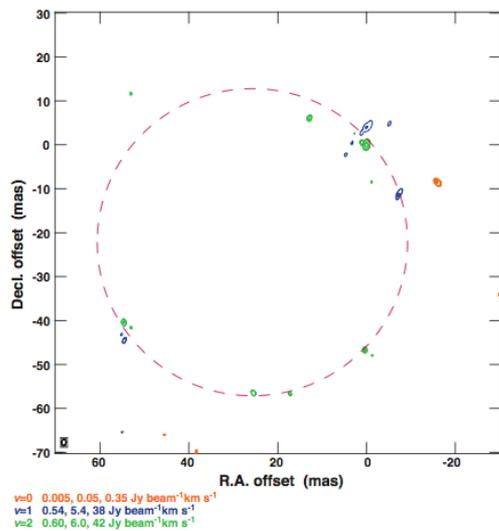


図 4: Velocity-integrated brightness contour maps of $v=1$ (blue contours), $v=2$ (yellow-green) SiO $J=1 \rightarrow 0$ and $v=0$ $^{29}\text{SiO } v=0$ (orange) $J=1 \rightarrow 0$ maser lines observed on 2013 May 9 (t13129a)

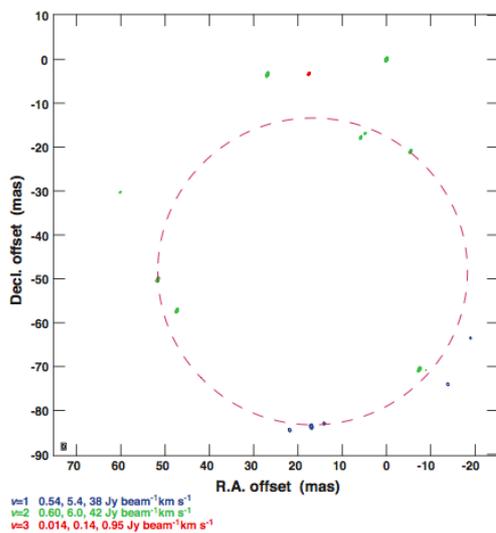


図 5: Same as figure 4 but for the $v=1$ (blue contours), $v=2$ (yellow-green), and $v=3$ (red) SiO $J=1 \rightarrow 0$ maser lines observed on 2013 May 27 (t13147a)

et al., 2005) の結果によっても支持される。次に、 $\text{SiO } v=3$ の分布は $v=2$ 及び $v=1$ のリングに対して

大きな offset をもち、変光フェーズによってリングの外側にも位置がずれると考えられる。

今回の t13147a の解析結果 (図 5) においては、 $\text{SiO } v=3$ のメーザーは $\text{SiO } v=2$ 及び $v=1$ のリングの外側に確認された。これは先行研究 (Imai et al., 2010) の結果とは異なっている。先行研究 (Imai et al., 2010) の観測結果では、 $\text{SiO } v=3$ の分布が時期によって変動しており、 $\text{SiO } v=2$ 及び $v=1$ のリングとほぼ同位置か若しくは内側に確認されている。しかしこれらの位置変化は W Hya の光度変化にも関係しており、光度が最大の時期では各々のリングは殆ど同じ位置に観測されるがそれ以外の phase では $\text{SiO } v=2$ 及び $v=1$ のリングと $\text{SiO } v=3$ の間に大きな angular offsets が存在している。すなわち W Hya の変光フェーズによって各リングの位置が変化し、支配的な励起機構が変化すると考えられる。

6 Conclusion

OCTAVE システムを用いて観測したデータの位相残差及び遅延時間残差補正スクリプトを開発し適用したことでイメージングの画質を改善することができた。そして $\text{SiO } v=3 (J=1-0)$ と $^{29}\text{SiO } v=0 (J=1-0)$ の撮像に成功することができ、3 輝線以上の異種メーザー振動励起輝線の同時撮像に成功した。この結果から、 $^{29}\text{SiO } v=0$ の分布は $\text{SiO } v=2$ 及び $v=1$ のリングの外側に存在する可能性が高いことが示唆される。また、 $\text{SiO } v=3$ の分布は中心星の変光フェーズによって変動し、支配的な励起機構が変化すると思われる。

Reference

- Soria-Ruiz et al., 2005 A&A, 432, L39L42
- Imai et al., 2010, PASJ, 62, 431439
- Imai et al., 2012, PASJ, 64, L6
- Hagiwara, Y. 1998, Ph.D. thesis, the Graduate University for the Advanced Sciences