

鹿児島大学 1m 光・赤外線望遠鏡による SiO maser 源の赤外線観測

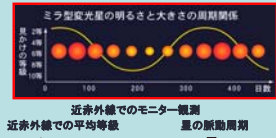
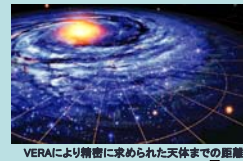
棚田俊介、宮原豪、太田敬、大泉尚太、山本裕之、東島英志、松本尚子、安田樹、荒尾考洋、安藤和真、上田耕祐、黒木美名、児玉喜恵、鈴木美穂、並河大地 (鹿児島大学)

田中培生、本原顯太郎(東京大学)
藤井高宏(国立天文台)

Introduction

・研究の目的

我々の最終目的は、国立天文台 VERA プロジェクトにより導かれた AGB 星までの距離と、近赤外線観測の結果を用いて周期光度関係を精密に決定することである。



近赤外線での絶対等級 → 周期光度関係の決定

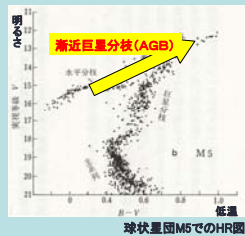
Introduction

・今回の観測天体

このため、今回の観測対象として、AGB 星のなかでも、VERA の観測天体と異なる SiO maser 源から、その強度が 30 Jy 以上の天体を 59 天体選んだ。

・Asymptotic Giant Branch (AGB) 星

AGB 星とは中小質量(太陽の0.8~8倍)の星が進化末期段階に達し、膨張と収縮(脈動)を繰り返しながらその質量を外部に放出(質量放出: mass loss)している天体である。



Introduction

・Asymptotic Giant Branch (AGB) 星の特徴

表面温度が 2000~3000K と低温 → 近赤外線特に明るく輝いている。

脈動を繰り返す → 周期的に光度が変化する(変光周期数十~二千日)

質量放出により星そのものはガスや、ダストに覆われている → ガスから放射される maser ,ダストから放射される中間赤外線が観測される。

SiO maser についてはその励起機構には、collisional (分子の衝突による励起) と、radiative (近赤外線の放射による励起) の二つのモデルが提唱されているが、現在どちらの励起機構により SiO maser が励起されているのかは決着が着いていない。

⇒ 今回、書及することにした。

Data and data reduction

・近赤外線観測

近赤外線観測には、鹿児島大学 農学部入来牧場に設置された口径 1m の光・赤外線望遠鏡に赤外線カメラを取り付けて行った。

観測期間: 2003年12月~2005年5月

観測波長: J (1.25 μm), H (1.65 μm), K (2.2 μm)



解析は、アメリカ国立光学天文台(NOAO)のIRAFを用いて行った。

・可視光データ

可視光の観測データは American Association of Variable Star Observers (AAVSO) の観測データを用いている。

Data and data reduction

・電波観測データ

SiO maser の電波観測のデータは野辺山宇宙電波観測所 45m電波望遠鏡のアーカイブデータを使用している。

解析には、野辺山宇宙電波観測所の New Star を使用した。

・IRASデータ

中間赤外線のデータは、1983年に打ち上げられた赤外線天文衛星 IRAS による観測結果を使用している。

観測波長は 12, 25, 60, 100 μm である。



Results

IRAS two color diagram

IRASの中間赤外線データを用いて今回の観測天体の2色図上の分布を調べた。

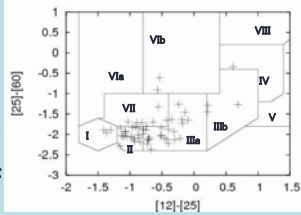


$$[12] - [25] = 2.5 \log (F_{25}/F_{12})$$

$$[25] - [60] = 2.5 \log (F_{60}/F_{25})$$

多くの星がII ~ IIIa 領域に分布している。

今回の天体には中程度に dust が発達した天体は多いことがわかる。



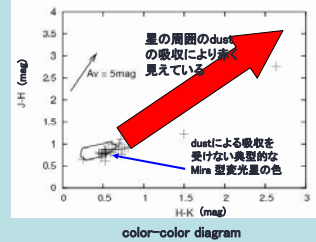
今回の観測天体のIRAS2色図上の分布

Results

color-color diagram

鹿児島大学1m望遠鏡の観測で得られた近赤外線観測の結果を用いて、color-color diagram を作成した。

星周の dust shell により、天体の色が赤化し、また dust そのものが放射する中間赤外線により赤外線超過が存在しているということがわかる。

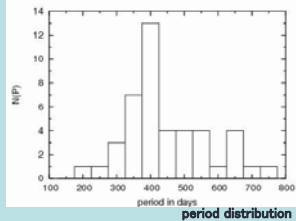


Results

Period distribution

AAVSOのデータに対し、phase dispersion minimization (PDM) 解析を行い、各天体の脈動周期を求めた。

求められた周期の分布を見ると、period = 400 days 付近に集中している。これは今回の観測天体に一般的な Mira 型変光星が多いことを示している。



Results

light curve fitting

PDM 解析により求めた脈動の周期を用いて、可視光及び、近赤外線の光度変化に対し、以下の式を用いて最小二乗法をもちて fitting を行った。

$$Mag = \frac{\Delta Mag}{2} \sin \frac{2\pi}{P} (JD - JD_{zero}) + Mag_{average}$$

ここで、

- Mag : 星の光度(等級)
- ΔMag : 光度変化の振幅
- Mag_{average} : 平均等級
- P : 脈動周期
- JD : ユリウス日
- JD_{zero} : light curve のゼロ点のユリウス日

Results

距離の推定

まず、周期光度関係 (period-luminosity relation) より、その星の絶対等級を求め、観測により得られた実視等級と、絶対等級の比較により、距離を推定する。

$$K = -3.47 \log(P) + 0.84$$

$$K = k - 5 \log d + 5$$

ここで、

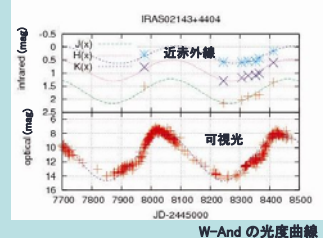
- K : K-band での絶対等級
- k : K-band での実視等級
- d : 目的の天体までの距離

Results

light curve fitting

可視光のデータから求めた period を用いて、赤外線データに対し、light curve を fitting した。これにより、以下に示す赤外線での光度変化のパラメータを得ることができた。

- ◎ 赤外線での光度変化の振幅
- ◎ 赤外線の平均等級



W-And の光度曲線

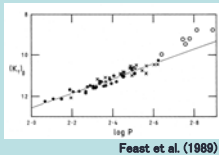
Results

distance

PDM解析、および light curve の fitting から得られた 変光周期と K-band の平均実視等級から大マゼラン雲で求められている Mira型変光星の周期光度関係 (Feast et al. 1989) を用いて、天体までの距離を推定した。

$$K = -3.47 \log(P) + 0.84, \quad K = k - 5 \log d + 5$$

K : K-band の絶対等級
k : K-band の実視等級
P : 光度変化の周期
d : 星までの距離



Feast et al. (1989)

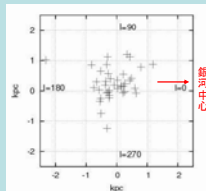
結果として、今回の観測天体はおおよそ、0.2 ~ 1.5 kpc に分布していることがわかった。mesar 強度の強い天体を選んでいため、比較的近い天体が多いことがわかる。

Results

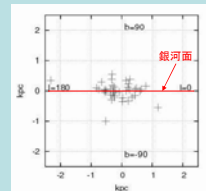
distance

図は観測天体の位置を太陽を中心にプロットしたものだ。

ともに l = 0 (x軸方向) が銀河中心方向



銀河面を上から見たもの



銀河面を横から見たもの

Discussion

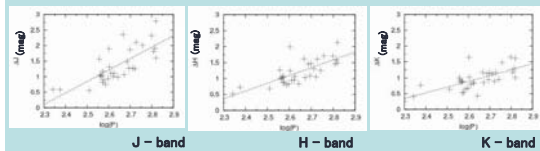
amplitude

light curve の fitting から得られた 光度変化の振幅と 変光周期 との関係調べた。

結果、

変光周期が長いほど振幅が大きくなることわかる。

また、短い周期の天体については波長によらず、振幅がほぼ等しいのに対し、変光周期が長くなるほど、波長間の振幅の落差が大きい。



J-band

H-band

K-band

Discussion

上の結果より、

- 短い波長は星の大気内部からの、長い波長は星の大気上層からの放射を示していることから、脈動が星の内部から外部に伝播するにつれて減衰するためにこのような現象が観測されている

と考えられる。

Discussion

mass loss rate の推定

以下の式により、mass loss rate を算出する。

$$M_{loss} = 1.1 \times 10^{-8} v_{out} D_{kpc}^2 L_4^{-1/2} F_{\nu}(60) \lambda_{10}^{-1/2}$$

ここで、

M_{loss} : mass loss rate
 v_{out} : CO及び、OHの電波観測から得られた out flow の膨張速度
D : 目的の天体までの距離
 L_4 : 天体の光度 (単位 : 10000 solar luminosity)
 $F_{\nu}(60)$: IRASで観測された 60 μm での flux
 λ_{10} : 塵及びdustからの放射の平均波長 (単位 : 10 μm)

Discussion

SiO maser の絶対強度の推定

距離による減衰の補正を行い、SiO maser の絶対強度を算出する。

$$L_{SiO} = 4\pi D^2 F_{SiO}$$

ここで、

D : 目的の天体までの距離
 L_{SiO} : SiO maser の絶対強度
 F_{SiO} : 観測で得られた SiO maser の flux

Discussion

kinematic luminosityの推定

以下の式によって、kinematic luminosity(放出質量のエネルギー変換)を算出する。

$$L_{kinematic} = \frac{1}{2} M_{loss} v_{out}^2$$

ここで、

$L_{kinematic}$: kinematic luminosity

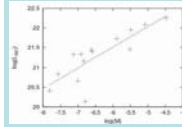
M_{loss} : mass loss rate

v_{out} : CO及び、OHの電波観測から得られた out flow の膨張速度

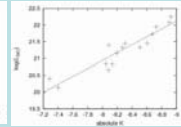
Discussion

mass loss rate

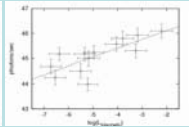
得られたパラメータを用いて、質量放出率 (mass loss rate) と kinematic luminosity、さらには SiO maser の絶対強度を求めた。
求まった SiO maser の絶対強度をそれぞれ Kバンド絶対等級・質量放出率 (mass loss rate) ・ kinematic luminosity に対してプロットし、相関があるか調べた。



mass loss rate vs absolute intensity



absolute K vs absolute intensity



kinematic luminosity vs absolute intensity

Discussion

この結果より、

- mass loss rate が大きい天体ほど SiO maser が強く放射されている
- 星からの近赤外線の放射が強い天体ほど SiO maser が強く放射されている

ことがわかる。

Discussion

mass loss rate

mass loss rate 及び、近赤外線での絶対等級と、SiO maser の絶対強度との相関

↓
これまで知られておらず、今回発見することができた。

mass loss rate と SiO maser

の絶対強度との相関



collisional 励起機構を示唆している

近赤外線での絶対等級と

SiO maser の絶対強度との

相関



radiative 励起機構を示唆している

しかし、どちらの励起機構に SiO maser が起因しているかを言及できるまでには至っていない。

Conclusions

今回、SiO maser 源を59天体中、57天体についてモニター観測を行った。

結果として、

1. 星の変光周期と変光振幅の間の相関の確認。
周期が長いほど、観測波長が短いほど、大きな振幅をもつ。
2. 近赤外線での絶対光度、及び mass loss rate と、SiO maser の絶対強度の間にはっきりとした相関を発見(相関係数 0.8~0.9)。

mass loss rate が大きい天体ほど、近赤外線での絶対等級が明るい天体ほど SiO maser を強く放射しているということを見つけたことができた。

しかし、これらから、SiO maser の励起機構についての切り分けを行うにはいたっていない。

今後、この観測結果に沿うような理論モデルが考案される必要があると考える。