

Abstract

ミラ型変光星を含む長周期変光星には、変光周期と明るさに周期光度関係(PLR:Period-Luminosity Relation)と呼ばれる関係がある。PLRを用いることで、変光周期がすでにわかっている天体の絶対等級を求めることができ、それによって得られた絶対等級と見かけの等級から距離を見積もることが可能になる。しかし、このPLRは大マゼラン銀河のミラ型変光星において調べられた結果であり、天の川銀河のミラ型変光星におけるPLRは精度が不十分である。鹿児島大学では、国立天文台VERA(20m電波望遠鏡)を用いたVLBI観測による高精度な年周視差測定と、鹿児島大学1m赤外望遠鏡による見かけの等級と変光周期の測定を行い、それらの結果を用いて天の川銀河のミラ型変光星におけるPLRを確立させることを目的とした研究を行っている。今回私たちは、ミラ型変光星R Hyaの水メーザーをVERAで観測し、結果として年周視差 $\pi=7.93\pm 0.18$ ミリ秒角(mas)(距離 $D=126\pm 3$ pc)を得た。また、ミラ型変光星S SerとW Leoの水メーザーをVERAで観測し、予備的結果としてS Serの年周視差 $\pi=1.33\pm 0.06$ mas(距離 $D=754\pm 31$ pc)、W Leoの年周視差 $\pi=0.91\pm 0.08$ mas(距離 $D=1.09\pm 0.10$ kpc)を得た。これらのVERAによるVLBI観測によって得られた結果とGaia Data Release 2(Gaia DR2)との比較を行なった。

1. Introduction

1.1 ミラ型変光星の位置天文観測

ミラ型変光星は脈動変光星の一種で、変光周期は100~1000日程度であり、太陽の1~8倍の質量を持つ。質量放出によって光球はダストや分子ガスに覆われている。このダストや分子ガスの領域にメーザー源が存在し、極めて高い輝度温度を示す。そのため、このメーザーが検出されたミラ型変光星はVERAを用いたVLBIによる位置天文観測が可能となる。2ビーム位相補償により、クエーサーを参照電波源としてメーザー源の位置を求める。長期に渡り観測し、メーザーの年周視差を測定することで距離を精度よく決定できる。

1.2 観測天体

R Hya (IRAS 13269-2301)

・座標
R.A. 13h29m42.7819s
DEC. -23°16'52.775"
・変光周期: 380 [day] (AAVSO*1)
・固有運動 (Gaia*2)
 $\mu_x -46.66\pm 1.44$ [mas/yr]
 $\mu_y 7.98\pm 1.51$ [mas/yr]

S Ser (IRAS 15193+1429)

・座標
R.A. 15h21m39.5348s
DEC. +14°18'53.100"
・変光周期: 372 [day] (AAVSO*1)
・固有運動 (Gaia*2)
 $\mu_x 0.98\pm 0.33$ [mas/yr]
 $\mu_y 2.34\pm 0.63$ [mas/yr]

W Leo

・座標
R.A. 10h53m37.4324s
DEC. +13°42'54.367"
・変光周期: 392 [day] (AAVSO*1)
・固有運動 (Hipparcos)
 $\mu_x -11.61\pm 6.96$ [mas/yr]
 $\mu_y -6.40\pm 3.57$ [mas/yr]

2. Observations & Data Reduction

2.1 VLBI観測

- 望遠鏡: VERA (水沢局、入来局、小笠原局、石垣局)
 - 観測周波数: 22GHz (K band)
 - 周波数幅: 16MHz
- 観測で得られたデータはAIPS(Astronomical Image Processing System)を用いて位相補償解析を行った。解析の中で、メーザーの検出はS/Nが6以上のものとした。



2.2 単一鏡モニター観測

入来局の20m電波望遠鏡を用いた単一鏡モニター観測によるメーザースポットの視線速度(VLSR)は、
R Hya: VLSR = -7.5[km/s]付近
S Ser: VLSR = 24.3[km/s]付近
W Leo: VLSR = 47.0[km/s]付近と得られた(図1,2,3)。

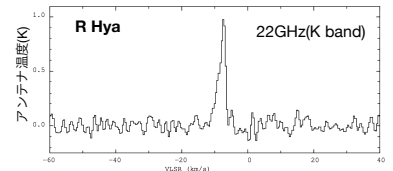


図1. R Hyaの2016年9月30日の単一鏡観測の結果

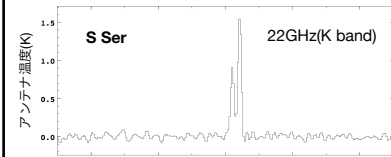


図2. S Serの2017年11月18日の単一鏡観測の結果

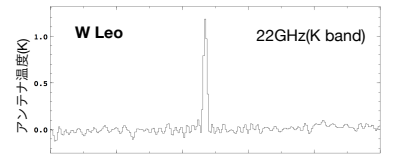


図3. W Leoの2017年11月26日の単一鏡観測の結果

3. Results & Discussion

3.1 年周視差: R Hya, S Ser, W Leo

位相補償解析を行った結果、検出されたメーザースポットはそれぞれ以下になった。

R Hya: 16観測のうち10観測で検出 (VLSR = -8.42[km/s]~-7.17[km/s]の合計7スポット)

S Ser: 7観測のうち7観測で検出 (VLSR = 20.96[km/s]~25.16[km/s]の合計7スポット)

W Leo: 6観測のうち6観測で検出 (VLSR = 46.64[km/s]~47.48[km/s]の合計3スポット)

これらの検出されたメーザースポットを用いて年周視差を求めた(図4,5,6)。

(点の色の違いは視線速度の違いを示す。)

以上のことから得られた結果は表1に示す通り。(固有運動は全スポットの平均値)

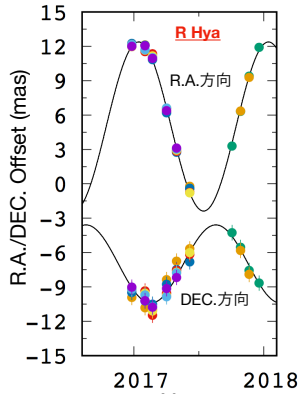


図4. R HyaのR.A./DEC.方向の運動

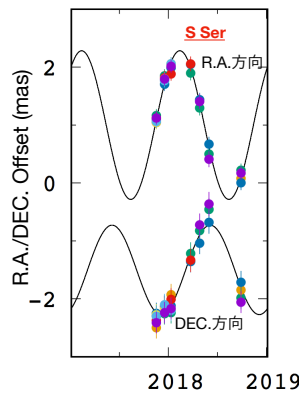


図5. S SerのR.A./DEC.方向の運動

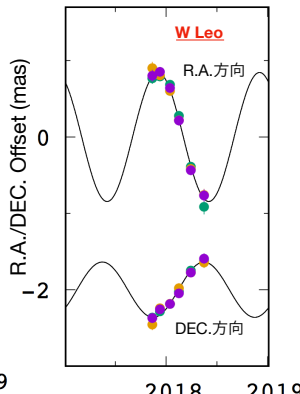


図6. W LeoのR.A./DEC.方向の運動

	年周視差	距離	固有運動(μ_x)	固有運動(μ_y)
R Hya	7.93 ± 0.18 [mas]	126 ± 3 [pc]	-53.79 ± 1.05 [mas/yr]	16.14 ± 1.82 [mas/yr]
S Ser	1.33 ± 0.06 [mas]	754 ± 31 [pc]	-1.26 ± 0.46 [mas/yr]	3.25 ± 0.73 [mas/yr]
W Leo	0.91 ± 0.08 [mas]	1.09 ± 0.1 [kpc]	-7.43 ± 0.35 [mas/yr]	-8.41 ± 0.22 [mas/yr]

3.2 固有運動: R Hya, S Ser, W Leo

VERAを用いたVLBI観測で得られた固有運動の値と、Gaia(Hipparcos)で求められた値の差を計算することで、星の静止系から見たメーザーの運動が求められる。計算すると以下のような結果になった。

R Hya

$\Delta\mu = |\mu_{\text{VERA}} - \mu_{\text{Gaia}}|$
 $\Delta\mu_x = 7.13$ [mas/yr]
 $\Delta\mu_y = 8.16$ [mas/yr]
[km/s]に変換
 $\Delta V_x = 4.26$ [km/s]
 $\Delta V_y = 4.88$ [km/s]

S Ser

$\Delta\mu = |\mu_{\text{VERA}} - \mu_{\text{Gaia}}|$
 $\Delta\mu_x = 2.24$ [mas/yr]
 $\Delta\mu_y = 0.91$ [mas/yr]
[km/s]に変換
 $\Delta V_x = 8.01$ [km/s]
 $\Delta V_y = 3.25$ [km/s]

W Leo

$\Delta\mu = |\mu_{\text{VERA}} - \mu_{\text{Hipparcos}}|$
 $\Delta\mu_x = 4.18$ [mas/yr]
 $\Delta\mu_y = 2.01$ [mas/yr]
[km/s]に変換
 $\Delta V_x = 21.61$ [km/s]
 $\Delta V_y = 10.39$ [km/s]

3.3 メーザー分布: S Ser, W Leo

位相補償解析で検出されたメーザースポットの追尾中心からの広がりを視線速度ごとに表現すると、図7,8のようになる。(R Hyaはメーザーの広がりが見られないため掲載せず。)各図の矢印は内部運動を示す。

結果として、以下のような広がりが見られた。

S Ser: 東西約18.8[AU]

南北約11.3[AU]

W Leo: 東西約10.9[AU]

南北約21.8[AU]

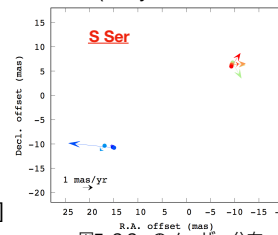


図7. S Serのメーザー分布

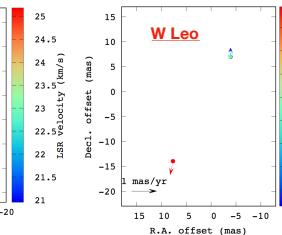


図8. W Leoのメーザー分布

3.4 Gaia DR2との比較: R Hya, S Ser

VERAを用いたVLBI観測で得られた年周視差と、Gaia DR2の年周視差の値を比較すると表2のようになる。(W LeoはGaiaの結果なし)

表2

	VERAによる年周視差	Gaiaによる年周視差
R Hya	7.93 ± 0.18 [mas]	4.47 ± 0.89 [mas]
S Ser	1.33 ± 0.06 [mas]	-0.51 ± 0.32 [mas]

表2より、2つの天体に対してVERAによって求められた年周視差の方が誤差が小さく、信頼できる結果となった。

3.5 天の川銀河におけるPLR: R Hya, S Ser, W Leo

Kバンドの見かけの等級、R Hya: -2.51[mag](#1), S Ser: 1.68[mag](#2), W Leo: 2.02[mag](#1)と、今回VERAで求められた距離(表1)を用いることで、それぞれのKバンドの絶対等級を、R Hya: -8.01[mag], S Ser: -7.71[mag], W Leo: -8.17[mag]と得ることができた。(#1: Catalogue of Stellar Photometry in Johnson's 11-color system, #2: 2MASS All Sky Catalog)

以上の結果から天の川銀河におけるPLR (Nakagawa et al.2016 *3) 上にR Hya, S Ser, W Leoを表現すると、

図9のようになる。

エラーは年周視差の誤差によるものである。

また、Gaia DR2の年周視差を用いた結果も同様に求めた(図9の黄色)。

ただし、S Serは年周視差がマイナスのため導出せず。

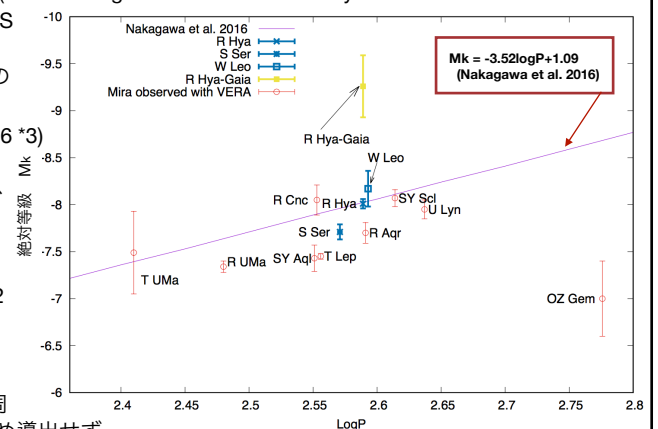


図9. 天の川銀河におけるPLR

4. Reference

*1: <https://www.aavso.org/vsx>

*2: <https://gea.esac.esa.int/archive>

*3: Nakagawa, A., Kurayama, Y., Matsui, M., et al. 2016, PASJ, 68 78