

Abstract

私たちは鹿児島大学は国立天文台VERAを用いたVLBI観測による年周視差の測定と、鹿児島大学1m赤外線望遠鏡によるミラ型変光星のモニタリング観測で得られた変光周期・見かけの平均等級を用いて、天の川銀河のミラ型変光星の周期光度関係(PLR:Period-Luminosity-Relation、以下PLR)の高精度化を図り、銀河系内の距離尺度として使用する事を目指している。

ミラ型変光星は100日から1000日の比較的長い変光周期を持つ進化段階末期の星であり、PLRと呼ばれる変光周期と絶対等級との間に成り立つ比例関係を持つことが知られている。今回は、ミラ型変光星RS Virに付随する水メーザーを対象としたVLBI観測の位相補償解析を行った。解析の結果、21観測中7観測でメーザーを検出することができたが、異なる視線速度で空間的に南北に分散しており、同一のメーザースポットを追尾することができず、年周視差を測定することができなかった。それに続き行ったミラ型変光星BX Camの位相補償解析では、8観測全てで水メーザーを検出することができ、年周視差 $\pi=1.83\pm 0.10$ ミリ秒角(距離 $D=546\pm 37$ [pc])という結果を得た。

Introduction

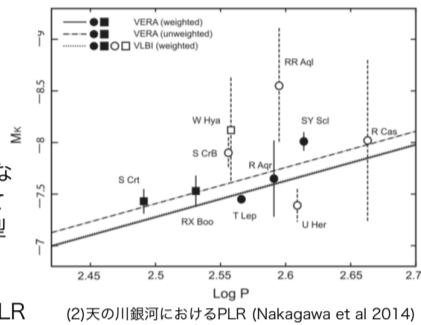
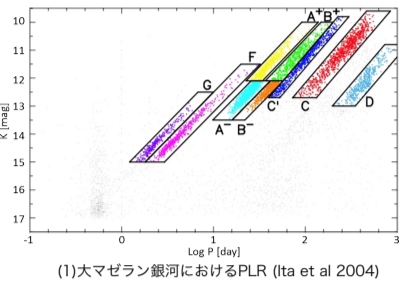
1. 周期光度関係について

ミラ型変光星は100日~1000日の変光周期を持つ脈動型変光星であり、その変光周期と絶対等級の間にはPLRという比例関係が成り立つ。PLRを用いることで、光学観測から見かけの等級(mk)・変光周期(P)が得られている天体の絶対等級を見積もることができ、得られた絶対等級によって天体までの距離を推測することができる。

光学観測 $\rightarrow mk \cdot P$
VLBI観測 \rightarrow 距離 D

$$M_k = mk - 5 \log(D/10)$$

我々の目的は、天の川銀河におけるPLRを確立し正確な3次元構造を得ることである。しかし、現在議論されているPLRは、大マゼラン雲と小マゼラン雲にあるミラ型変光星の研究から得られたものであり、天の川銀河におけるPLRを構築するために使用されている天体のサンプルはまだ少ない。よって天の川銀河内におけるPLRの精度向上のためには、より多くの天体を観測し、Kバンドでの絶対等級を得る必要がある。



2. 本研究の観測天体

RS Vir (おとめ座 RS星)

- 座標
- 赤経(R.A.) 14h27m16s39
- 赤緯(DEC.) +4°40'41.0857"
- 変光周期 353[day] (GCVS)^{(1)†}
- 年周視差 1.624 ± 0.19 [milliarcsecond(mas)] (GAIA DR2)
- 固有運動
- 東西方向(μ_x) 1.6243 ± 0.19 [mas/year]
- 南北方向(μ_y) -6.122 ± 0.34 [mas/year] (GAIA DR2)

BX Cam (きりん座 BX星)

- 座標
- 赤経(R.A.) 05h46m44s32
- 赤緯(DEC.) +69°58'24.4080"
- 変光周期 486[day] (AAVSO)^{(2)†}
- 年周視差 4.134 ± 0.25 [milliarcsecond(mas)] (GAIA DR2)
- 固有運動
- 東西方向(μ_x) 15.531 ± 0.32 [mas/year]
- 南北方向(μ_y) -33.656 ± 0.32 [mas/year] (GAIA DR2)

Results & Future works

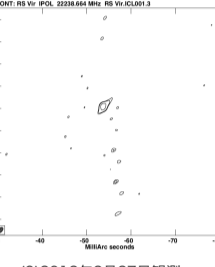
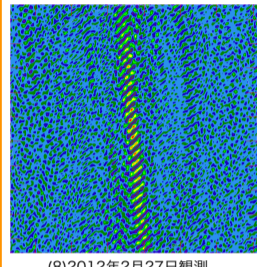
1. RS Vir

RS Virでは視線速度-14.10[km/s]のメーザースポットが7観測で検出でき、追尾しているメーザーだと推測した3観測のみで年周視差フィッティングを行ったところ、図(7)のような結果が得られた。年周視差・距離・固有運動は表(1)示す通りである。検出回数が少ないためフィッティングに使用できるデータが少なく、エラーが30%と大きくなってしまったため、年周視差としては信用に値しないと判断した。

年周視差[mas]	距離(kpc)	μ_x [mas/yr]	μ_y [mas/yr]
1.75 ± 0.50	0.57 ± 0.16	5.25 ± 0.22	-0.62 ± 0.17

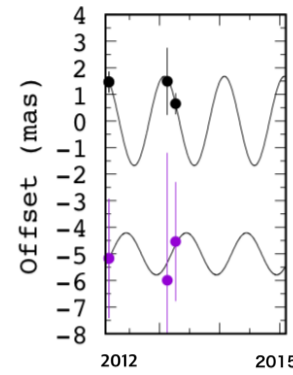
表(1) RS Virの年周視差・距離・固有運動

なぜ測定できなかったのか?



RS Virの年周視差を測定できなかった理由は

- (i) メーザーが南北に分散しており同一のメーザースポットを追尾できなかった
 - (ii) 2012年~2015年に渡る観測でメーザーが検出できた回数が7回と少なく、2014年以降はS/Nが6以上のメーザーが検出できなかった(図(5))以上の2つが挙げられる。
- 図(8)は2012年2月27日に観測された視線速度-14.10[km/s]のメーザースポットのDirty mapで、強度の高い赤のスポットが南北方向に分散して複数存在している。



2.1 BX Cam

BX Camでは、視線速度-12.75[km/s]のメーザースポットが8観測で検出できた。検出したメーザースポットを用いて年周視差フィッティングを行い、図(10)のような結果が得られた。求められた年周視差・距離については、表(2)に示す通りである。

年周視差[mas]	距離[pc]
1.83 ± 0.10	546 ± 37

表(2) BX Camの年周視差・距離

この結果を、GAIA DR2の年周視差 $\pi=4.134\pm 0.25$ [mas]と比較すると、約2倍の違いがある。今回の場合、GAIAはVERAによって得られた結果と比べると天体までの距離を近く見積もっていたということとなる。

また、今回追尾した視線速度=-12.75[km/s]のメーザーの固有運動の平均は、

$$\mu_x = 14.61\pm 2.05[\text{mas/yr}]$$

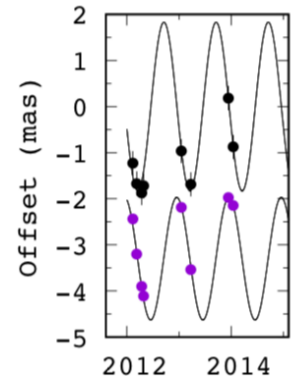
$$\mu_y = -32.05\pm 0.73[\text{mas/yr}]$$

となる。このVERAで求められた固有運動の値と、GAIA DR2の固有運動の値を比較すると、

$$\Delta \mu_x = 0.99[\text{mas/yr}] \rightarrow \Delta \mu_x = 2.380[\text{km/s}]$$

$$\Delta \mu_y = 1.60[\text{mas/yr}] \rightarrow \Delta \mu_y = 4.157[\text{km/s}]$$

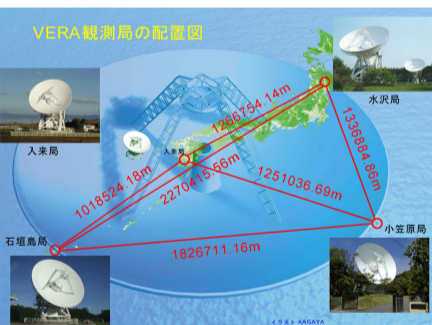
となる。一般的にミラ型変光星の水メーザーは、星の中心から外部に向かって10[km/s]程度で運動することが知られている。これより、BX Camの水メーザーの運動は一般的なミラ型変光星と比べると遅いことがわかる。



Observation & Data Reduction

1. VLBI観測

- | | |
|---------------------------|-----------------------------|
| RS Vir | BX Cam |
| ・参照電波源: J1424+0434 | ・参照電波源: J0554+6857 |
| ・観測期間: 2012/2/27-2015/5/7 | ・観測期間: 2012/2/10-2014/11/24 |
| ・観測回数: 21観測 | ・観測期間: 25観測 |

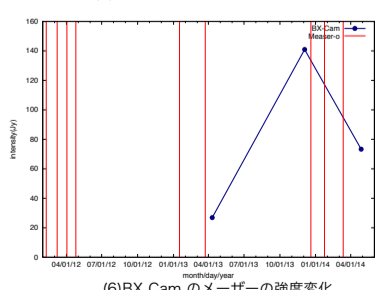
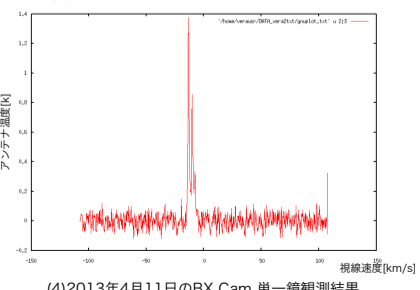
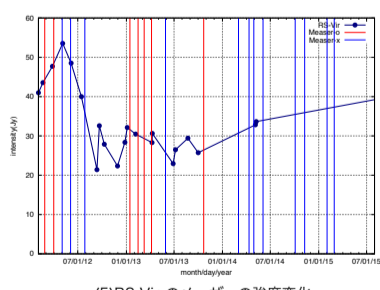
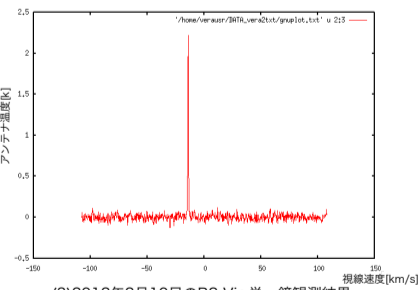


- 望遠鏡: VERA 4局 (水沢局・入来局・小笠原局・石垣局)
- 観測周波数: 22[GHz]
- Band幅: 16[MHz]

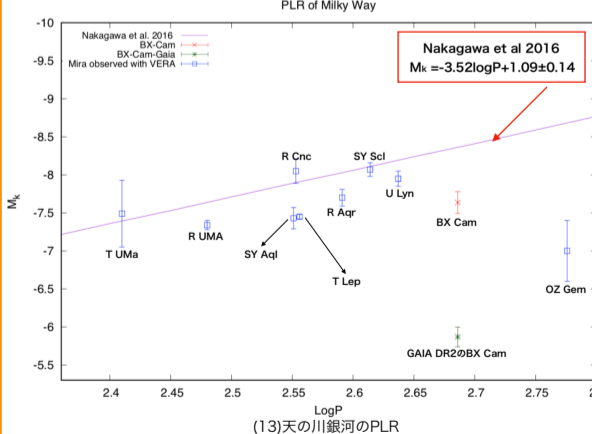
観測で得られたデータは、AIPS(Astronomical Image Processing System)を用いて位相補償解析を行った。水メーザーの検出は、S/Nが6以上とした。

2. VERA入来局を用いた単一鏡観測

入来局を用いた単一鏡観測は、VLBI観測期間中にRS Virが21回、BX Camが3回行われている。それぞれRS Vir:-14.0[km/s]付近、BX Cam:-13[km/s]付近の視線速度でメーザーのエミッションが見られた(図(3)・(4))。また、それぞれの単一鏡観測の結果を用いたメーザーの強度変化が図(5)・(6)である。赤線・青線はVLBI観測が行われた日を示し、それぞれ赤: VLBI観測でメーザーを検出、青: VLBI観測でメーザー非検出を表す。



2.2 天の川銀河でのPLR



Kバンドでの絶対等級 $M_k = -5.869 \pm 0.13$ となった。この値はPLRと比べると約2.5等、今回VERAで得られた結果と比べると、約1.8等暗いことがわかった。

3. Future Works

今回、BX Camの年周視差をエラーが10%以内で測定することができたが、8観測のみしか使用していないため、R.A.方向の振動の頂点部分を解析しきれておらず、フィッティングの空白部分がある。より高精度な年周視差決定のためには、頂点部分を決定する必要がある。

また、BX Camは年周視差測定に使用した視線速度=-12.75[km/s]のメーザースポットだけでなく、複数のメーザースポットが存在していることが判明している。年周視差の高精度化だけでなく、星に対する水メーザーの固有運動や、メーザースポットの分布、内部運動を判明させるためにも、位相補償解析を引き続き行う。

- 今回VERAによって求められたBX Camの距離 $D=546\pm 37$ [pc]と
- 変光周期 $P=486$ [day] (AAVSO)
 - Kバンドの見かけの平均等級 $mk=1.05$ [mag] (Olivier et al 2001)
- を用いると、
- $\log P=2.686$
 - Kバンドでの絶対等級 $M_k = -7.634\pm 0.143$
- という結果を得た。この値をPLR(Nakagawa et al 2016)に表記すると図(13)のような結果となり、PLRと比べると約0.7等暗いことがわかる。

また、GAIA DR2の結果(距離 $D=242\pm 15$ [pc])を用いると、

Reference

- (1)†: General Catalog of Variable Stars, <http://www.sai.msu.su/gcvs/index.htm>
- (2)†: American Association of Variable Star Observers, <https://www.aavso.org>

- Ita, Y., Tanabe, T., Matsunaga, N., et al. 2004a, MNRAS, 347, 720
- Nakagawa, A., Omodaka, T., Handa, T., et al. 2014, PASJ, 66, 101
- Enrico A. Olivier, Patricia Whitelock and Fred Marang MNRAS, 326, 490-514 (2001)
- Nakagawa A. et al., 2016, PASJ(2016), Vol.68, No5, 78(1-14)