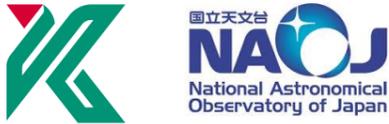


VERAによるミラ型変光星R Peg、X Hya、UU Peg、半規則変光星V637 Perの

年周視差測定



加世田大地¹、中川垂紀¹、面高俊宏¹、半田利弘¹、VERA project²

¹鹿児島大学、²国立天文台水沢VLBI研究所

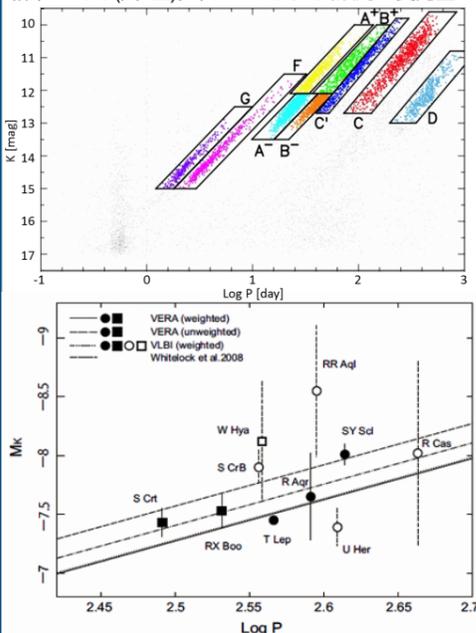
Abstract

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。鹿児島大学では、国立天文台VERA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。私はVERAで観測されたR Peg、X Hya、UU Peg、V637 Perの4天体についてAIPS(Astronomical Image Processing System)を用いて解析を行い、その年周視差を精度よく求めることを目指している。予備の結果として、R Pegの年周視差 $\pi=2.98\pm 0.46$ ミリ秒角、V637 Perの年周視差 $\pi=0.94\pm 0.02$ ミリ秒角が得られた。また、X Hyaの年周視差 $\pi=2.07\pm 0.05$ ミリ秒角の結果が得られた。UU Pegについては、付随しているメーザーを追うことが難しくなり、その年周視差を求めることが出来なかった。X HyaとV637 Perでは各々の天体に付随している水メーザー分布および内部運動を求めた結果、X Hyaの水メーザーはR.A.方向に約28.8AU、Dec.方向に約19.2AUに広がっており、V637 Perの水メーザーはR.A.方向に約31.8AU、Dec.方向に約26.5AUに広がっている分布が見られた。R Peg、X Hya、UU Peg、V637 Perの年周視差はGaiaでも測定されており、VERAで測定された年周視差との比較も行った。

Introduction

位置天文観測

ミラ型変光星はM型のスペクトルを持つ質量が1~8太陽質量程度の変光星である。また、明るさは周期的に変化しその周期は約100~1000日程度である。ミラ型変光星と半規則変光星に明確な違いはほぼなく振幅の大きさが2.5等以上をミラ型変光星、2.5等以下を半規則変光星と分類されている。半規則性変光星には周期性を持ち、その周期は約20日~2000日である。また、周期に不規則な変化を持つこともある。ミラ型変光星の質量放出は、大きな質量放出率を持ち、その大きさは約10⁻⁷~10⁻⁴太陽質量/yrである。放出されたガスにより星の周囲には厚いダスト層が形成される。ダスト層にはSiOメーザー、H₂Oメーザー、OH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、VERAを用いたVLBIによる位置天文観測が可能となる。ミラ型変光星は絶対等級(M_k)と変光周期(P)の間に周期光度関係(PLR:Period-Luminosity Relation)と呼ばれる数量的関係性を持っている。PLRを用いることで、変光周期がすでに分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できる。上記のPLRは大マゼラン銀河において調べられた結果である(図1上)。私たちは天の川銀河の変光星におけるPLRを精度良く求め、PLRを確立することを目指す。



観測天体

天体名	座標	変光周期	年周視差	固有運動
R Peg	R.A. 23h06m39.166890s DEC. +10°32'36.08920"	378 [day](AAVSO ^a)	2.83±0.25[mas] (Gaia ^b)	μ_x 10.79±0.40 [mas/yr] μ_y -1.00±0.33 [mas/yr]
UU Peg	R.A. 21h31m03.8300s DEC. +11°09'32.700"	456.5[day](AAVSO ^a)	3.89±0.33[mas] (Gaia ^b)	μ_x -0.53±0.53 [mas/yr] μ_y -23.79±0.55 [mas/yr]
X Hya	R.A. 09h35m30.2233s DEC. -14°41'28.720"	301 [day]	1.89±0.28 [mas] (Gaia ^b)	μ_x -50.39±0.48 [mas/yr] μ_y -9.55±0.45 [mas/yr]
V637 Per	R.A. 03h54m02.2800s DEC. +36°32'17.600"	180 [day](Gaia ^b)	1.85±0.15[mas] (Gaia ^b)	μ_x 1.44±0.33 [mas/yr] μ_y -1.86±0.22 [mas/yr]

a: <https://www.aavso.org/vsx> b: <https://gea.esac.esa.int/archive>

Observations&Data Reduction

VLBI観測

天体名	観測期間	観測回数
R Peg	2016/02~2018/10	17観測
X Hya	2017/05~2018/05	11観測
UU Peg	2017/11~2018/05	5観測
V637 Per	2016/01~2017/06	15観測

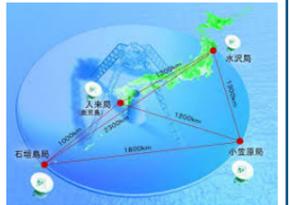


図2. VERA Telescope
・望遠鏡: VERA
・周波数: 22GHz (K band)
・Band幅: 16MHz

VLBI観測は基本的に一ヶ月に一度行われる。

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。メーザーの検出はS/Nが6以上のものとした。

Results 1/2

年周視差

R Pegは、視線速度23.60km/sのメーザースポットが9観測で検出、X Hyaは視線速度25.736~28.256km/sのメーザースポットが9観測で検出、V637 Perは視線速度-94.64~-100.94km/sのメーザースポットが11観測で検出された。また、UU Pegに付随しているメーザーを追いかけることができず、年周視差を求めることは出来なかった。検出されたメーザースポットを用いて、年周視差fittingを行い結果を図3に示す。また、表1に天体毎の年周視差、距離、固有運動を示す。

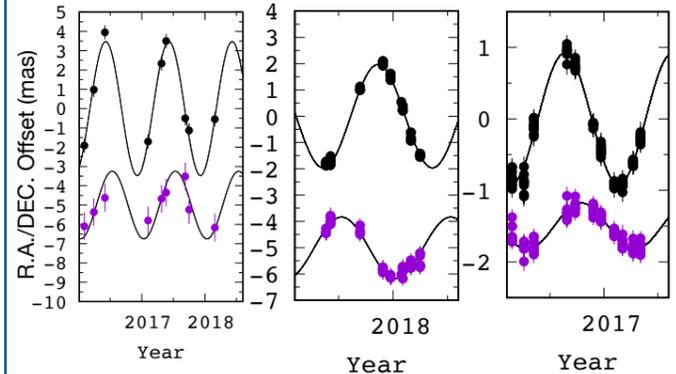


図3. R.A./DEC.方向の運動
(左)R Peg
(中央)X Hya
(右)V637 Per
図中の●はR.A.方向を示す
●はDec.方向を示す

Results 2/2

天体名	年周視差(π)[mas]	距離(D)[kpc]	固有運動(μ_x)[mas/yr]	固有運動(μ_y)[mas/yr]
R Peg	2.98±0.46	0.34±0.05	3.60±1.53	-6.44±0.92
X Hya	2.07±0.05	0.48±0.01	-51.37±0.97	-15.02±1.47
V637 Per	0.94±0.02	1.06±0.02	-0.61±0.43	-0.90±0.37

表1: R Peg, X Hya, V637 Perの解析結果

固有運動の比較

R Peg、X Hya、V637 Perの3天体に関して、VERAとGaiaによって求められた固有運動には大きく違いがある。Gaiaによって測定された固有運動とVERAによって測定された固有運動を比較することで、星に対するメーザーの動きを求めることが出来る。メーザー源の固有運動は、各々異なる。また、X HyaやV637 Perではメーザー源が複数観測されたため、メーザー源の固有運動の平均を取り、系の固有運動とした。その系の固有運動を用いて、比較した。

R Peg: $\Delta\mu=|\mu_{Gaia}-\mu_{VERA}|=(14.56,5.27)$ [mas/yr]、X Hya: $\Delta\mu=(3.77,7.75)$ [mas/yr]、V637 Per: $\Delta\mu=(4.19,4.86)$ [mas/yr]

上の式を速度に変換すると、R Peg: $|\Delta\mu|=15.5$ [km/s]、X Hya: $|\Delta\mu|=8.62$ [km/s]、V637 Per: $|\Delta\mu|=6.42$ [km/s] が得られた。

一般的に、ミラ型変光星の水メーザーは10数km/sで中心から外へ運動していることが分かっている。3天体のうちR Peg、X Hyaはミラ型変光星である。R Pegでは一般的なミラ型変光星の水メーザーの運動であることが分かるが、X Hyaの水メーザーの運動は少し遅いことが分かる。また、V637 Perは半規則変光星であるので、一般的なミラ型変光星の水メーザーの速度と比べるとかなり遅いという結果も得られた。

水メーザーの分布

X Hya、V637 Perのメーザー分布を図4に示している。X Hyaでは10個のメーザーを、V637 Perでは22個のメーザーを検出した。色は視線速度に対応し、検出された固有運動は矢印の向きとその大きさで表現している。X Hyaの水メーザーは、南北方向40mas(19.2AU)程度、東西方向60mas(28.8AU)に分布していることが分かり、V637 Perの水メーザーは、南北方向25mas(26.5AU)程度、東西方向30mas(31.8AU)に分布していた。今後、メーザーの集団がどの方向に運動するかを調べると、より詳細な内部運動が分かる。

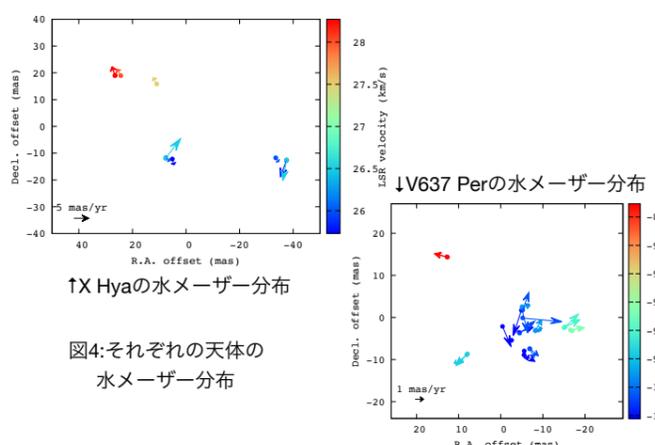
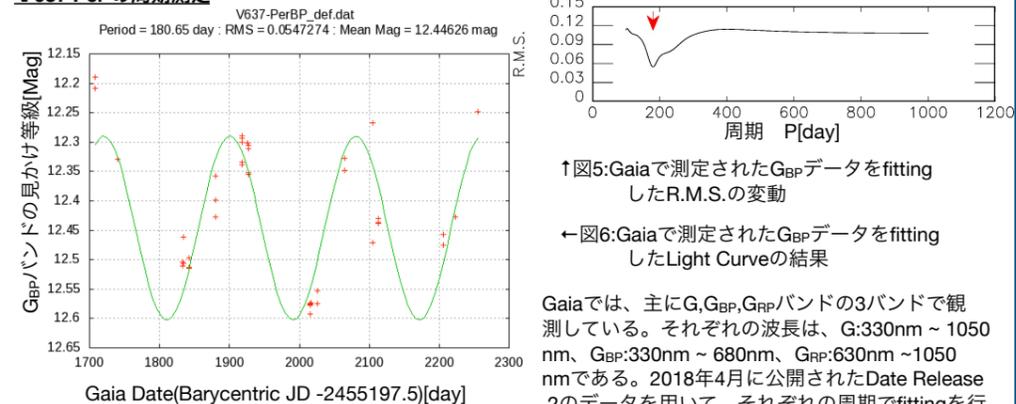


図4:それぞれの天体の水メーザー分布

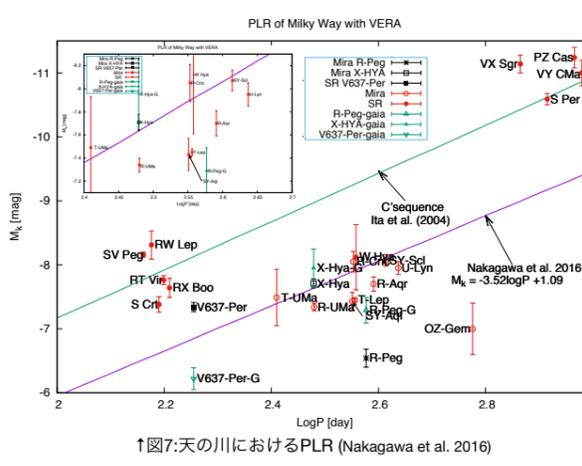
V637 Perの周期測定



↑図5:Gaiaで測定されたG_{BP}データをfittingしたR.M.S.の変動
←図6:Gaiaで測定されたG_{BP}データをfittingしたLight Curveの結果

Gaiaでは、主にG_{BP},G_{RP},G_{RP}バンドの3バンドで観測している。それぞれの波長は、G:330nm~1050nm、G_{BP}:330nm~680nm、G_{RP}:630nm~1050nmである。2018年4月に公開されたDate Release 2のデータを用いて、それぞれの周期でfittingを行った。図5では、fittingに使用したsin関数の周期とR.M.S.の値を示した図である。R.M.S.が一番低い値を得る周期を変光周期としている。また、図6はLight Curveを示した図である。このfittingの結果から、V637 Perの変光周期は約180日、約12.3等~12.6等の間で強度が変動している結果が得られた。Gaiaで観測されたデータを用いる事で、変光周期を求める事が出来た。

天の川銀河におけるPLR



↑図7:天の川におけるPLR (Nakagawa et al. 2016)

それぞれの天体の見かけの等級は、R Peg^{*1}:0.52[mag]、X Hya^{*1}:0.65[mag]、V637 Per^{*2}:2.45[mag]である(*1:Whitlock et al. 2008、*2:2MASS Catalog(<https://irsa.ipac.caltech.edu/cgi-bin/Gator/nph-dd>))。見かけの等級、変光周期から絶対等級を求めることが出来る。現在求められている天の川銀河のPLR上にR Peg、X Hya、V637 Perを図7に示した。以下の表2のように求めた。

天体名	VERAで測定した年周視差 [mas/yr]	Gaiaで測定された年周視差 [mas/yr]
R Peg	-6.54±0.14	-7.29±0.20
X Hya	-7.71±0.07	-7.95±0.30
V637 Per	-7.34±0.07	-6.22±0.17

表2:年周視差の比較

Reference

Wittkowski, M., Boboltz, D. A., Future Directions in High Resolution Astronomy: The 10th Anniversary of the VLBA, ASP Conference Series, 340, 389
Ita, Y., Tanabe, T., Matsunaga, N., et al. 2004, MNRAS, 347, 720 Nakagawa, A., Omodaka, T., Handa, T., et al. 2014, PASJ, 66, 101 Nakagawa, A., Kurayama, T., Matsui, M., et al. 2016, pasj, 68, 78 Whitlock, P.A., Feast, M.W., & van Leeuwen, F. 2008, MNRAS, 386, 313 Riello, F., De Angeli, D. W. Evans et al. 2018, Astronomy & Astrophysics, Volume 616, id. A3, 19 pp.