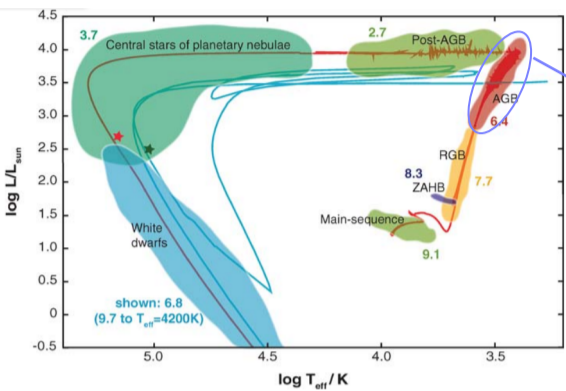
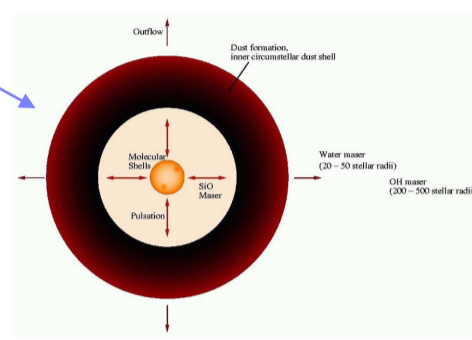


1. 導入

ミラ型変光星とは200日～800日の変光周期を持つ長周期変光星であり、Asymptotic giant branch(AGB)の代表的な1つである。質量放出により星の表層の物質を吹き払い、白色矮星へと進化する。質量放出率は $10^{-8} \sim 10^{-6} [M_{\odot}/\text{yr}]$ にまで到達し、外層には厚いダストや分子ガスの領域が存在、そのため赤外線領域での放射が卓越している。その中にはexpanding dust shellの内側にSiOメーザー、外側にH₂OメーザーやOHメーザーが存在する天体がある。中でもH₂Oメーザーはアウトフロー領域で発生、かつVLBIによる位置天文観測の対象となるため、星周構造やアウトフロー、進化について議論する上でも非常に重要である。



↑ Fig.1 Herwig 2005よりHR diagram

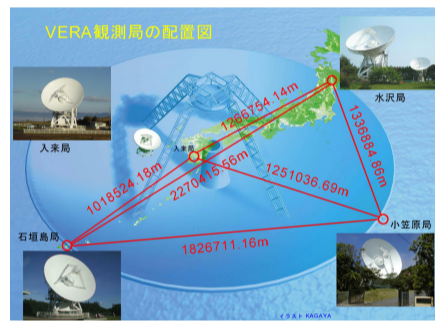


↑ Fig.2 Wittkowski et al.2005よりAGBの断面図

我々はミラ型変光星 BX Camの周りに付随するH₂OメーザーのVLBI観測を2年に渡り行い、年周視差とガス運動・分布を計測した。

2. 観測概要

2.1 VLBI観測



↑ Fig.3 VERA Telescope

- ・望遠鏡 : VERA4局 (水沢・入来・小笠原・石垣島)
 - ・周波数 : 22GHz帯 (H₂Oメーザー)
 - ・バンド幅 : 16MHz
 - ・期間 : 2012年2月~2014年12月
 - ・観測回数 : 24回 (およそ月に一回)
 - ・対象 : BX Cam & J0554+6857
- 得られたデータはAIPS(Astronomical Image Processing System)を使い解析した。

2.2 単一鏡観測

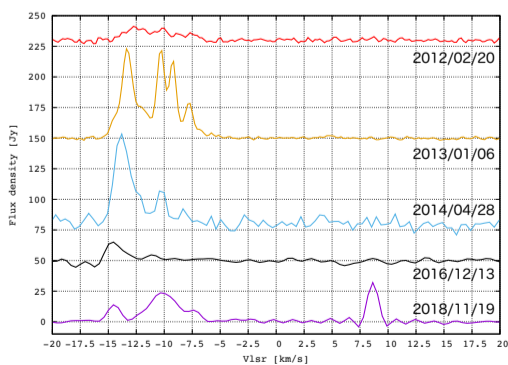


- ・望遠鏡 : VERA入来局20mアンテナ
 - ・周波数 : 22[GHz] H₂O maser
43[GHz] SiO maser (ν=1,2) (SiOメーザーを参考にV_{sys}を決定)
 - ・観測期間 : 2009年11月~2019年3月(H₂O)
2018年6月~2019年10月(SiO)
 - ・速度分解能 : 0.42[km/s] (H₂O)
0.21[km/s] (SiO)
 - ・積分時間 : 10分
- 得られたデータはJava NewStarを使い解析した。
←Fig.4 VERA 入来局

3. 結果・考察

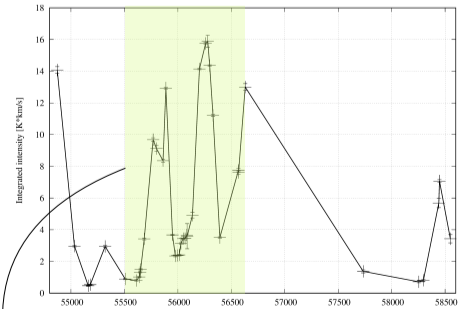
3.1 単一鏡

長期にわたる単一鏡観測により、BX Camの速度プロファイル・時間変動を得た。Fig.5より、2018年にVLBI期間中は見えなかったred-shift成分が存在していることがわかる。

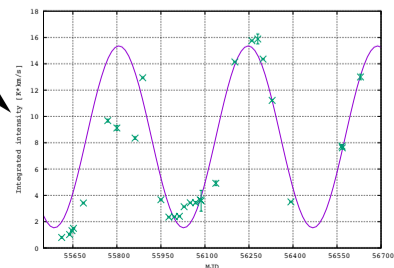


↑ Fig.5 Total power spectra of H₂O maser

また、比較的密に観測されていて、VLBI期間中だったMJD:56500~56700でメーザーの積分強度の変動周期を求めたところ 440 ± 2.2 日となり、光学変光周期486日⁽¹⁾と大きく矛盾しない結果が得られた。

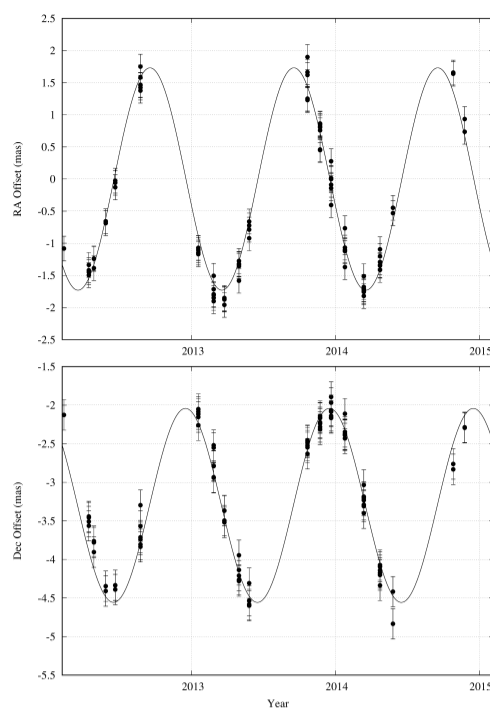


↑ Fig.6 -20~0[km/s]で積分を行なった積分強度の時間変化



↑ Fig.7 周期フィッティングの結果

3.2 VLBI



↑ Fig.8. RA(上)とDec(下)のメーザースポットの年周視差振動成分

3.2.1 年周視差

位相補償解析により、24観測中21観測でH₂Oメーザーを検出
→視線速度 $-9.81 \sim -14.43$ [km/s]で検出した7つのH₂Oメーザースポットを使用し、年周視差を導出

年周視差 $\pi = 1.73 \pm 0.03$ [mas]

距離 $D = 0.58 \pm 0.01$ [kpc]



Gaia DR2

年周視差 $\pi = 4.13 \pm 0.25$ [mas]

距離 $D = 0.24 \pm 0.04$ [kpc]

3.2.2 運動

視線速度 $-7.29 \sim -15.69$ [km/s]で計69のH₂Oメーザースポットを検出。うち23スポットにおいて固有運動・内部運動を導出できた。

系全体の運動

$\mu_x = 13.11 \pm 0.14$ [mas/yr]

$\mu_y = -33.42 \pm 0.17$ [mas/yr]

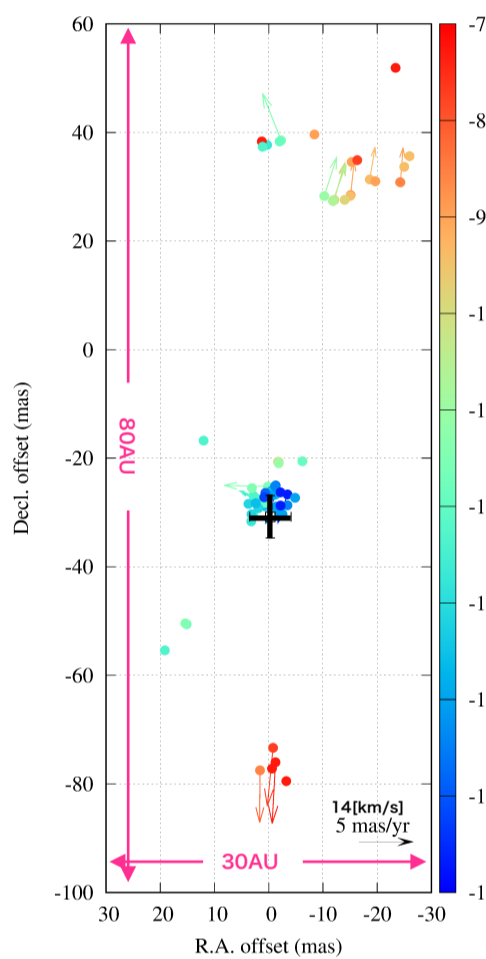


Gaia DR2

$\mu_x = 15.53 \pm 0.32$ [mas/yr]

$\mu_y = -33.66 \pm 0.32$ [mas/yr]

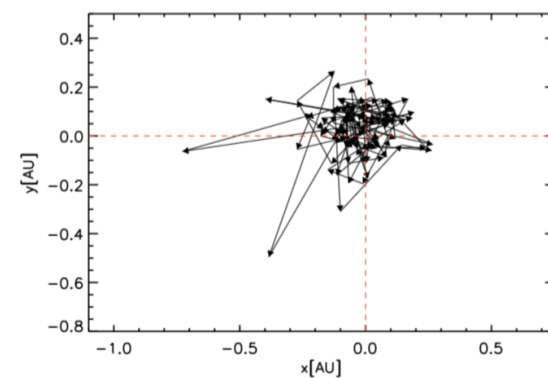
また、推定した星の位置に対し(Fig.9 黒十字)、天球面横断方向上でおおよそ ± 4 [mas/yr](± 12 [km/s] at 0.58[kpc])で運動する双極流的アウトフローを捉えた。



←Fig.9メーザースポット分布&内部運動

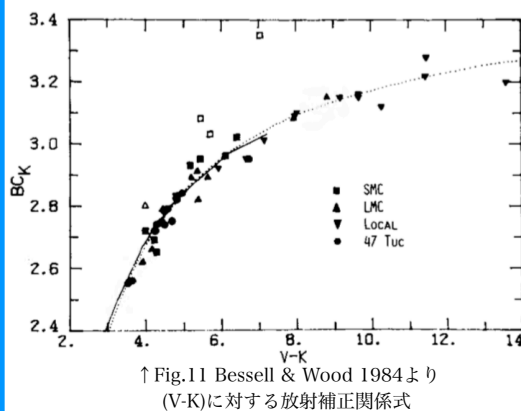
3.3 GaiaとVLBI

BX Camの固有運動は、 ~ 2 [mas/yr]程度の違いはあったが、大きな差はなかった。一方年周視差は、VLBI・Gaiaともに10%以内の誤差にも関わらず、2.4倍の大きな差がある。これは、GaiaがAGBのようなダストや対流により、光学重心の追尾が難しい天体の測定は得意ではないことが原因の1つであると考えられる。



↑ Fig.10 Chiavassa et al.2018よりRHD simulationで得られた光学重心の変化

今回は得られた距離を使い光度を計算する事で、年周視差の妥当性を考えた。Vband見かけ等級: 15.00[mag]⁽¹⁾ / Kband見かけ等級: 1.05[mag]⁽²⁾ Bessell & Wood et al.1984の放射補正関係式らを使い計算・比較したところ



↑ Fig.11 Bessell & Wood 1984より(V-K)に対する放射補正関係式

VLBI : $\text{Log}(L^*/L_{\odot}) = 3.68$

$L^* = 4900[L_{\odot}]$ ①

Gaia : $\text{Log}(L^*/L_{\odot}) = 2.94$

$L^* = 866[L_{\odot}]$ ②

この結果、AGBの光度としては①が妥当である、つまりBX Camの年周視差についてはVLBIで計測した値がより信頼性があると結論づけた。