

# アルゴル型食連星 XZ And の光度曲線解析

矢田猛士（島根県立三瓶自然館）、鳴沢真也（兵庫県立大学）

## 1. はじめに

典型的なアルゴル型食連星である XZ And は、Leavitt により発見され (Shapley 1923)、これまでに眼視 (例えば Lause 1934)、光電測光 (例えば Blitzstein 1954) および CCD (例えば Yang 2013) 等による観測が報告されている。スペクトル型は、主星は Hill et al. (1975) により暫定的に A4IV-V と報告された後、Halbedel (1984) により A1V に再同定され、伴星は G5 (Giuricin et al. 1983) に分類されている。また、XZ And は公転周期が変化することで知られており、周期的な成分については、伴星の磁気活動が原因のひとつとして指摘されている (Demircan et al. 1995)。

表 1 XZ And について

Type:	Eclipsing binary of Algol type (EA)
Position (2000.0):	01h 56m 51.5s, +42d 06' 02"
Brightness:	9.91 to 12.45 mag
Ephemeris of the Min I:	2452500.599 + E * 1.3572795 days
Source:	GCVS

島根県立三瓶自然館は、大山隠岐国立公園三瓶山地区に位置する自然系博物館で、国立公園のビジターセンターとして 1991 年に三瓶山の北の原に開館した。その後、三瓶山の噴火で埋もれた縄文時代の森（三瓶小豆原埋没林）の発見などを受け、2002 年に拡充整備が行われ、あわせてカセグレン式 60 cm 反射望遠鏡 (F10、西村製作所) 1 基、クーデ式 20 cm 屈折望遠鏡 (F9、五藤光学研究所) 4 基が設置された。これらは公開天文台の望遠鏡として、自分の目で本物の天体を観察する体験を通して、来館者の生涯学習や科学リテラシーの涵養に貢献している。また、2012 年 11 月には冷却 CCD による UBVRcIc 測光システムが整備され、公開天文台における中小口径望遠鏡を使った観測テーマの開拓と普及の一環として XZ And の多色測光観測に取り組んでいる。本稿では、これまでに得られた観測データをもとにした光度曲線解析の結果について報告する。

## 2. 観測装置および観測星野

観測では、望遠鏡は三瓶自然館の 60 cm 反射望遠鏡 F10 (図 1)、冷却 CCD は SBIG ST-10XME、フィルタホイールは SBIG FW8-8300 をそれぞれ使用している。観測時はレデューサを使用し、観測の視野角は 28.6 分角 × 19.2 分角 (図 2) となっている。望遠鏡および CCD の制御は、それぞれ、Nishimura The Master of Telescope および MSB Astroart5 を使用した。相対測光のための比較星として BD+41°379 および BD+41°383 を選択し、標準的な露出時間は、それぞれ、B バンドでは 45 秒、V バンドでは 20 秒程度である。観測データ

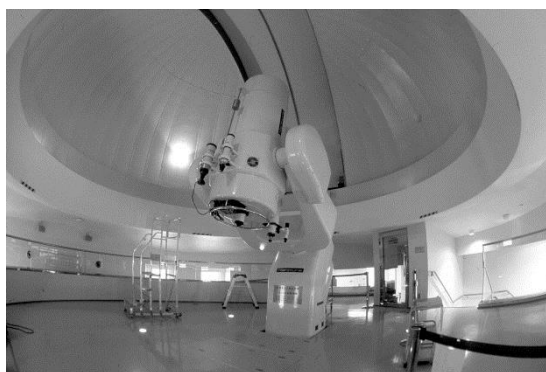


図 1 三瓶自然館 60 cm 反射望遠鏡

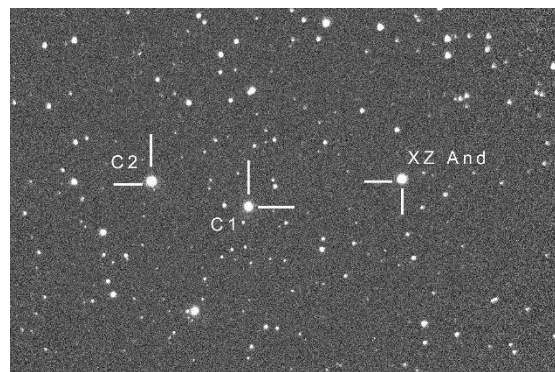


図 2 観測星野 (28.6 分角 × 19.2 分角)

の整約には、AIP4Win (Astronomical Image Processing for Windows) を使用し、ダーク処理、フラット処理を行った後、アパーチャー測光を行っている。

### 3. 使用した光度曲線解析ソフト

光度曲線解析は、PHOEBE (PHysics Of Eclipsing BinariEs) を使用した。PHOEBE は、観測データ (測光および分光) をもとに食連星のモデリングを行うパッケージであり、Prša (2005) を中心に Wilson-Devinney (WD) コードをベースに、オープンソース (GPL2) としてコミュニティ開発が行われている。安定版は PHOEBE 1.0 (legacy) であり、現在、PHOEBE 2.0 の開発が行われている。使用できる OS は、PHOEBE 1.0 については、Ubuntu、MS Windows、Mac の 3 種類がある。今回の解析では、Mac 版の PHOEBE 1.0 ver 3.1 を使用した。

### 4. 解析結果および考察

解析は、2012 年 11 月から 2015 年 9 月までの観測で得られた B バンドと V バンドの測光データをもとに行った。今回の PHOEBE による XZ And の解析では、主星を輻射平衡型、伴星を対流平衡型とし、反射効果については  $A_1=1$  および  $A_2=0.5$  (Rucinski 1969)、重力減光指数については、 $g_1=1$  および  $g_2=0.32$  (von Zeipel 1924; Lucy 1967) とした。図 3 に観測データと PHOEBE で得られた解による理論光度曲線を示す。今回の解

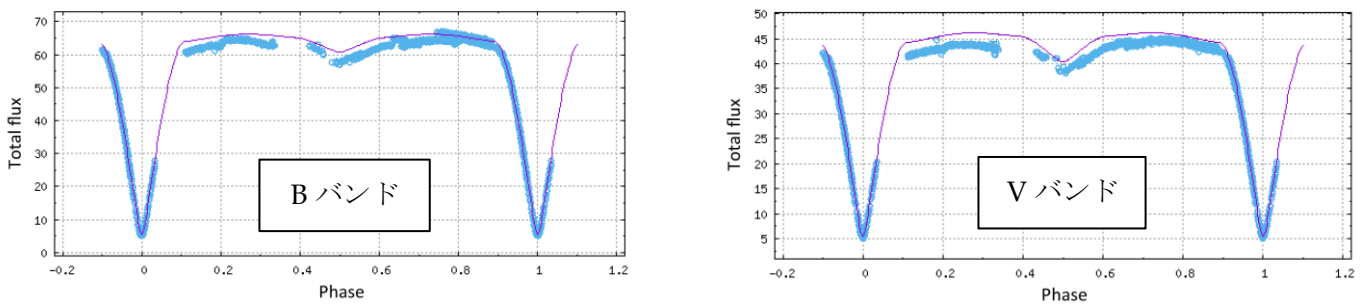


図 3 XZ And の光度曲線  
(実線が PHOEBE で得られた解による理論光度曲線)

析では、光度曲線のうち、主極小は比較的良好に再現できているが、副極小や食外の位相では理論曲線と観測データに乖離が残っていることがわかる。

また、PHOEBE による解析では、理論光度曲線のほかに、それぞれの位相での成分星の形状を得ることができる (図 4)。今回の結果から、XZ And は、連星を構成する恒星の片方がロッシュ・ローブを満たしており、もう一方は満たしていない、半分離型 (semi-detached) の形状が再現された。

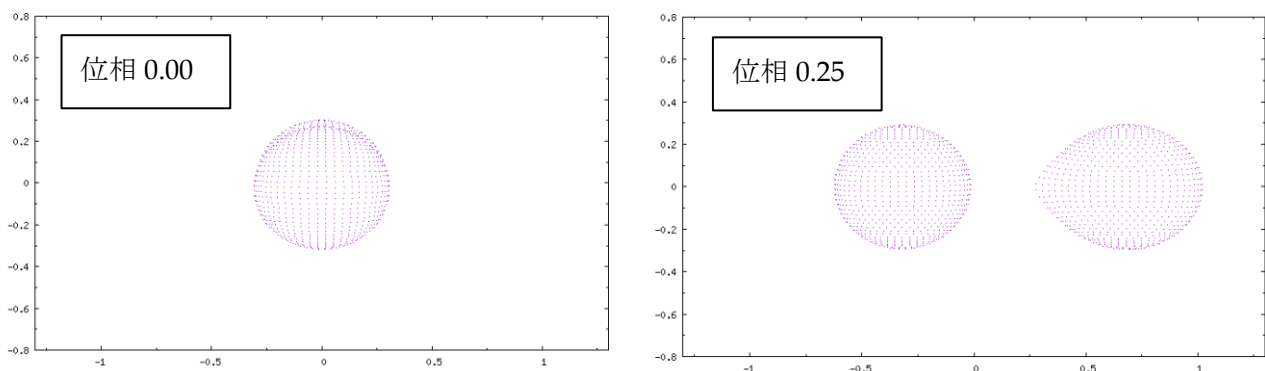


図 4 XZ And の成分星の形状

表 1 に、今回の解析で得られたパラメータと、以前に報告されている WD コードによる XZ And の光度曲線解析 (Yang 2013) の比較を示す。それぞれの恒星の質量の値に違いがあるが、それ以外のパラメータについては、おおむねよく一致をしている。

表 1 XZ And の光度曲線解析の結果の比較

Parameter	今回	Yang (2013)
Teff_1 (K)	9582 ± 332	9400
Teff_2 (K)	5009 ± 72	5094
inclination (deg)	88.146 ± 0.006	88.40
Mass ratio ( $m_2/m_1$ )	0.480 ± 0.001	0.474
Mass 1 ( $M_\odot$ )	2.723 ± 0.003	2.15
Mass 2 ( $M_\odot$ )	1.306 ± 0.003	1.02
Radius 1 ( $R_\odot$ )	2.451 ± 0.001	2.30
Radius 2 ( $R_\odot$ )	2.601 ± 0.002	2.59
$L_1/(L_1+L_2)_B$	0.9641 ± 0.0006	0.9609
$L_2/(L_1+L_2)_B$	0.0359 ± 0.0006	0.0391
$L_1/(L_1+L_2)_V$	0.9234 ± 0.0009	0.9198
$L_2/(L_1+L_2)_V$	0.0766 ± 0.0009	0.0802

## 5. 今後の展望

三瓶自然館では、XZ And の全位相をカバーできるよう、引き続き B および V バンドでの観測を行い、その後は、近年、アルゴル型連星系で見つかっている主星の短周期振動の検出を目的に、単バンド (B バンド) で観測を行う予定である。また、XZ And のモデリングの精度を上げるための分光観測を実施し、測光データとあわせた解析を行いたい。

## 参考文献

- Blitzstein, W. 1954, AJ 59, 251  
Demircan, O., Akalin, A., Selam, S., Derman, E., & Mueyesseroglu, Z. 1995, A&AS 114, 167  
Giuricin, G., Mardirossian, F., & Mezzetti, M. 1983, ApJS 52, 35  
Hill, G., Hilditch R.W., Younger, F., & Fisher, W.A. 1975, Mem, R. Astr. Soc. 79, 131  
Halbedel, E.M. 1984, IAU-IBVS No. 2549  
Lause, F. 1934, AN 253, 403  
Lucy, L.B. 1967, Z. Astrophys. 65, 89  
Prša, A., & Zwitter, T. 2005, ApJ. 628, 426.  
Rucinski, S.M. 1969, Acta Astron. 19, 245  
von Zeipel, H. 1924, MNRAS 84, 665  
Wilson, R. E., & Devinney, E. J. 1971, ApJ. 166, 605  
Yang, Y.-G. 2013, New Astron. 25, 109