

## アルゴル型食連星 XZ And の光度曲線解析

矢田 猛士\*・鳴沢 真也\*\*

### Light Curve Analysis of Algol-type Eclipsing Binary XZ Andromedae

Takeshi Yada and Shin-ya Narusawa

**Abstract :** The Shimane Nature Museum of Mt. Sanbe is working on multicolor photometric observation of eclipsing binary as an observation target using a small and medium-sized telescope at the public observatory. The results of light curve analysis of Algol-type Eclipsing Binary XZ Andromedae were reported in this paper.

**要旨 :** 島根県立三瓶自然館では、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として食連星の多色測光観測に取り組んでいる。本稿では三瓶自然館におけるアルゴル型食連星 XZ And の観測と光度曲線解析の結果を報告する。

**キーワード :** 食連星, 光度曲線解析, PHOEBE (PHysics Of Eclipsing BinariEs)

#### 1. はじめに

典型的なアルゴル型食連星である XZ And は、Miss 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)、CCD (例えば Yang, 2013) および視線速度 (例えば Manzoori, 2016) 等の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

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                   |
| Epoch and Period:  | 2452500.599 + E * 1.3572795 days    |
| Source:            | GCVS                                |

摘されている (Demircan et al., 1995)。

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天体望遠鏡として活用され、来館者の生涯学習に貢献している。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 (例えば矢田, 2015)。本稿では、これまでに得られた観測データについて、PHOEBE (PHysics Of Eclipsing BinariEs) を使用した光度曲線解析の結果について報告する。

\* 島根県立三瓶自然館, 〒694-0003 島根県大田市三瓶町多根 1121-8

The Shimane Nature Museum of Mt. Sanbe (Sahimel), 1121-8 Tane, Sanbe-cho, Ohda, Shimane, 694-0003, Japan

\*\* 兵庫県立大学西はりま天文台, 〒679-5313 兵庫県佐用郡佐用町西河内 407-2

Nishi-Harima Astronomical Observatory, Center for Astronomy, University of Hyogo, 407-2, Nishigaichi, Sayo-cho, Sayo, Hyogo, 679-5313, Japan

## 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。また、観測時はレデューサを使用し、視野角は28.6 分角 × 19.2 分角 (図2) である。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。観測データの整約は、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。



図1 三瓶自然館60 cm 反射望遠鏡

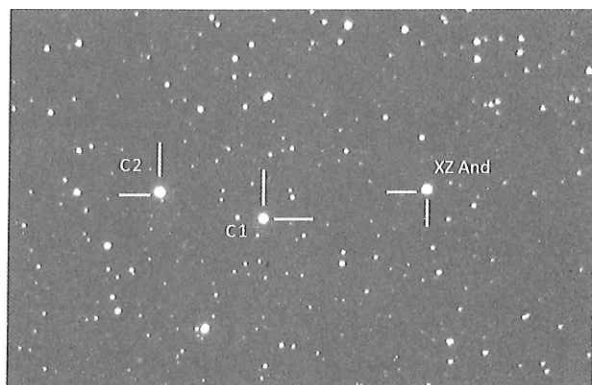


図2 観測星野 (28.6 分角×19.2 分角)

## 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、Prsa (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 $A1 = 1$ および $A2 = 0.5$  (Rucinski, 1969)、重力減光指数については、 $g1 = 1$ および $g2 = 0.32$  (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。今回の解析では、光度曲線のうち、主極小は比較的よく再現できているが、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。

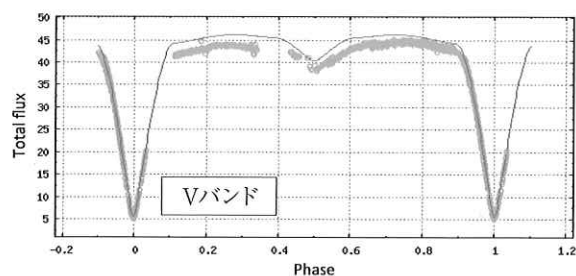
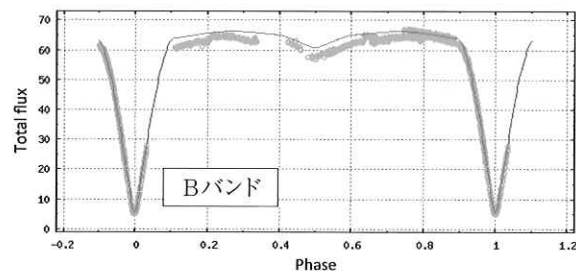


図3 XZ Andの光度曲線  
(実線がPHOEBEで得られた解による理論光度曲線)

また、PHOEBEでは、解析により光度曲線のほかに、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。

主極小 (位相0.00) のようすを見ると、背後の主星がわずかにみ出しており、皆既食に近い部分食、いわゆる Grazing Eclipse (かすり日食) に限りなく近い状態になっている。Blitzstein (1954) による観測およ

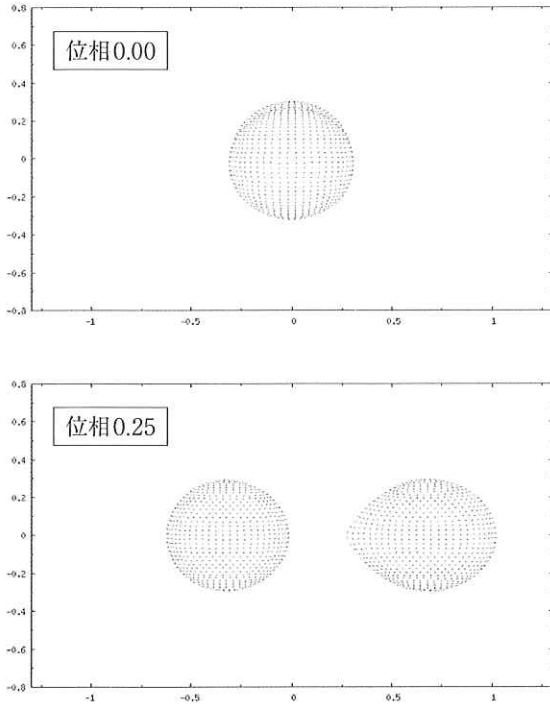


図4 XZ And の成分星の形状

び解析では、主極小は11分継続する皆既食とされているが、Grazing Eclipse に近いいため、実際は部分食であるが皆既という結果になったと考えられる。

表2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多色測光と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。

視線速度の観測結果(Manzoori, 2016)よりMass ratio ( $m_2/m_1$ ) は  $q = 0.485 \pm 0.021$  であり、今回の解析の方がより近い値となっている。

表2 XZ And の光度曲線解析の結果の比較

| Parameter               | 本研究                 | Yang (2013) |
|-------------------------|---------------------|-------------|
| Teff_1(K)               | 9582 $\pm$ 332      | 9400        |
| Teff_2(K)               | 5009 $\pm$ 72       | 5094        |
| inclination(deg)        | 88.146 $\pm$ 0.006  | 88.40       |
| Mass ratio( $m_2/m_1$ ) | 0.480 $\pm$ 0.001   | 0.474       |
| Mass 1( $M_\odot$ )     | 2.723 $\pm$ 0.003   | 2.15        |
| Mass 2( $M_\odot$ )     | 1.306 $\pm$ 0.003   | 1.02        |
| Radius 1( $R_\odot$ )   | 2.451 $\pm$ 0.001   | 2.30        |
| Radius 2( $R_\odot$ )   | 2.601 $\pm$ 0.002   | 2.59        |
| $L_1/(L_1+L_2)_B$       | 0.9641 $\pm$ 0.0006 | 0.9609      |
| $L_2/(L_1+L_2)_B$       | 0.0359 $\pm$ 0.0006 | 0.0391      |
| $L_1/(L_1+L_2)_V$       | 0.9234 $\pm$ 0.0009 | 0.9198      |
| $L_2/(L_1+L_2)_V$       | 0.0766 $\pm$ 0.0009 | 0.0802      |
| A( $R_\odot$ )          | 8.21 $\pm$ 0.01     |             |

## 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た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。

2018年に打ち上げられたトランジット系外惑星探索衛星(Transiting Exoplanet Survey Satellite, TESS)では、全天を600nmから1000nmのバンドパスフィルターで撮影しており、公開されているデータを解析し、比較を行いたい。

## 参考文献

- Blitzstein, W. (1954) The eclipsing variable XZ Andromedae. *Astronomical Journal*, 59, 251-256
- Demircan, O., Akalin, A., Selam, S., Derman, E., & Mueyesseroglu, Z. (1995) A period study of XZ Andromedae. *Astronomy and Astrophysics Supplement*, v.114, p.167
- Giuricin, G., Mardirossian, F., Mezzetti, M. (1983) General properties of Algol binaries. *Astrophysical Journal Supplement Series*, 52, 35-60
- Halbedel, E. M. (1984) Spectral Types of Eclipsing Binaries. *Information Bulletin on Variable Stars*, 2549
- Hill, G., Hilditch, R. W., Younger, F., Fisher, W. A. (1975) MK classifications of some Northern Hemisphere binary systems. *Royal Astronomical Society, Memoirs*, 79, 131-144
- Lause, F. (1934) Beobachtungen von Bedeckungsveränderlichen. II. *Astronomische Nachrichten*, 253, 403-408
- Lucy, L.B. (1967) Gravity-darkening for stars with convective envelopes, *Zeitschrift fur Astrophysik*, 65, 89-92
- Manzoori, D. (2016) XZ And a semidetached asynchronous binary system, *Astronomy Letters*, 42, 329-338
- Prša, A. ; Zwitter, T. (2005) A Computational Guide to Physics of Eclipsing Binaries. I. Demonstrations and Perspectives, *The Astrophysical Journal*, 628, 426-438
- Rucinski, S.M. (1969) The Proximity Effects in Close Binary Systems. II. The Bolometric Reflection Effect for Stars with Deep Convective Envelopes, *Acta Astronomica*, 19, 245
- von Zeipel, H. (1924) The radiative equilibrium of a rotating system of gaseous masses, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 84, 665-683
- Wilson, R. E. and Devinney, E. J. (1971) Realization of Accurate Close-Binary Light Curves: Application to MR

Cygni, *Astrophysical Journal*, 166, 605-619

Yang, Y.-G. (2013) A new photometry and period analysis of the Algol-type binary XZ And, *New Astronomy*, 25, 109-113

矢田猛士 (2015) 三瓶自然館での冷却CCDカメラによる多色測光システム整備およびアルゴル系XZ Andの観測, 島根県立三瓶自然館研究報告, 13, 45-49