

短周期食連星 OT Lac の eccentricity

永井和男 pxs10547@nifty.ne.jp (VSOLJ), 笠井潔 (VSOLJ), 広沢憲治 (VSOLJ)

はじめに

OT Lac は 1949 年から 1954 年の観測で発見され、1971 年に W. J. Miller, A. A. Wachmann によって発見報告が出版されました。発見以降の観測は全くない。2014 年、VSOLJ の笠井・広沢の観測によって周期が 5 日の EA 型食連星とわかった。同時に軌道が楕円軌道である事と近星点移動も検出した。今回は軌道離心率を求め、さらにロッシュモデル解析も行ったので報告する。

OT Lac の発見

OT Lac は 1949 年から 1954 年の観測で発見され、1971 年に W. J. Miller, A. A. Wachmann によって報告された (05862. W. J. Miller, A. A. Wachmann, RIC Astr 8, N12, 1971.)。この 1950 年前後の写真観測はわずかに 6 件しかない。よって、報告も「E? 11.2-11.9(p) B5」と曖昧な内容である。

翌年の 1972 年に 1972 IBVS 717 name list 58th によって GCVS に登録され OT Lac という名称になった。GCVS の内容は現在も「E: 11.2-11.9(p) B5」となっている。要するに発見以降の観測が無く変光型・周期・元期など不明である。

Spectral Type

OT Lac のスペクトルタイプは 1964 年の Hardorp, J, Theile, I and Voigt, H. H によって B5 と報告されている (Hamburger Sternw., Warner & Swasey Obs., 3 (1964))。論文のタイトルは Luminous Stars in the Northern Milky Way で、この時期にこのタイトルの論文が何件か出ており広域の観測の中の一つに OT Lac が含まれていると思われる。残念ながら論文の閲覧は出来ていない。

笠井・広沢の観測

ドイツ BAV のサイトに「ほとんど観測されていない食連星」のリストがあり、2014 年 9 月にスイスの笠井は OT Lac が発見以降にまったく観測されていない事を知り 2014 年 9 月 16 日に測光観測を行った。

幸運にも初観測で減光を検出し自身のブログで報告した。これを見た愛知県の大沢が観測に加わった。

測光観測

観測期間は 2014 年 9 月 16 日から 2014 年 12 月 23 日までの約三ヶ月でした。

それぞれ以下の観測機器を用いて測光した。

笠井 28SC ST-7XME (Kodak KAF-0402ME) Vband

広沢 20L ST-402ME (Kodak KAF-0402ME) Vband

いずれも 20cm クラスの望遠鏡で冷却 CCD カメラは異なるがイメージャーは同じで、共に V band で測光されている。測光数は

笠井 24 夜 4385 測光

広沢 1 夜 426 測光

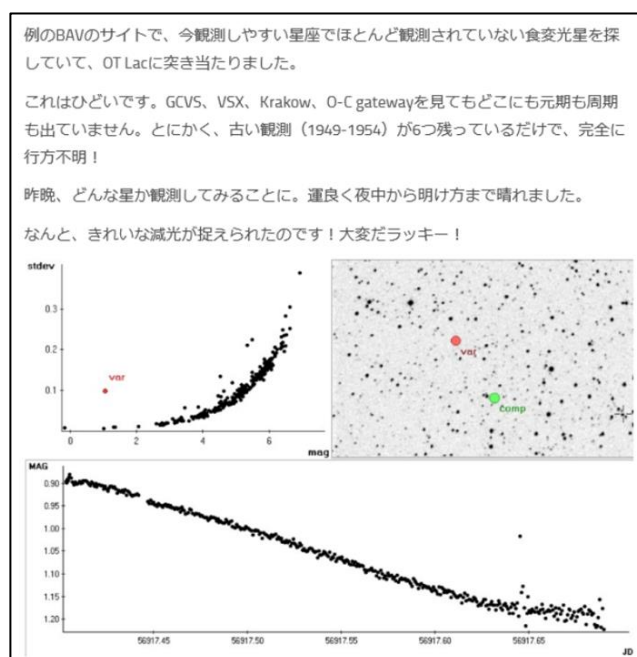


図-1 2014 年 9 月 18 日の笠井のブログ
OT Lac の初観測で減光を検出している

となっているが両者が同じ日に観測しており計 24 夜 4811 測光となった。

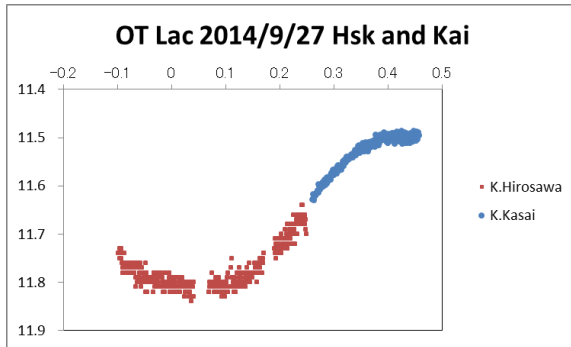


図-2 2014 年 9 月 27 日は広沢・笠井の両名が観測を行った。日本の広沢が観測し、その後スイスの笠井が観測し連携観測が出来た

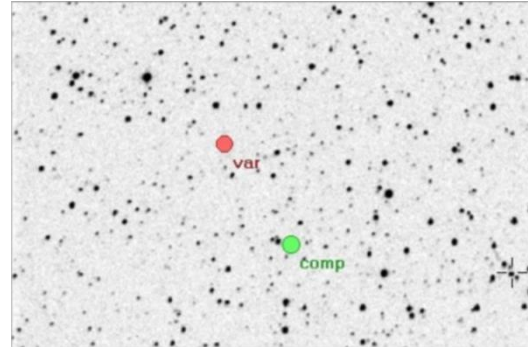


図-3 2014 年 9 月 18 日の笠井が撮影した CCD 画像。Comp は比較星。Aladin の画像と比較すると同じ数の星が写っている

Chart

図-3 は笠井の撮影した画像で FOV は(アマチュアの機器としては) 8.5' x 5.6' と狭い。比較星は TYC 3991-2054-1 10.63V(B-V=0.51) 11.277(BT) 10.682(VT)を用いた。

ライトカーブ

笠井は自身らの測光データを用いて PDM 解析を行い周期 5.15 日の食連星である事を明らかにした。求めた周期で光度曲線を作成し副極小が位相 0.5 よりも少ない 0.44 にある事も発見した。位相が 0.5 に無いことから連星の軌道が楕円軌道である事は明らかである。

元期も定め Light Element を決定した。

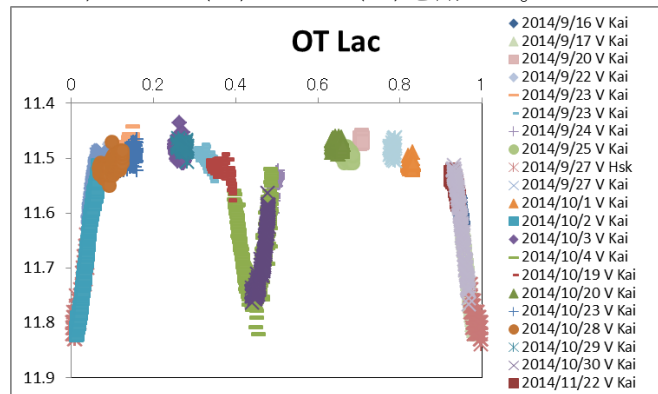


図-4 笠井(Kai)と広沢(Hsk)の観測から作成した光度曲線。Light Element は笠井が求めた値を用いた。明瞭な EA 型の食連星で副極小が 0.5 に無く連星が楕円である事がわかる

以下は笠井が求めた Light Element

minI = 2456928.0492 + 5.14992xE (K. Kasai, 2014)
minII = 2456935.4708 + 5.14992xE (K. Kasai, 2014)

これを AAVSO VSX に登録し受理された。

Variability type EA
Spectral type B5
Mag. range 11.33 - 11.68 V
Discoverer --
Epoch 27 Sep 2014 (HJD 2456928.0492)
Outburst --
Period 5.14992 d
Rise/eclipse dur. 12%

表-1 笠井が AAVSO VSX に投稿し登録された OT Lac の Element

Apsidal motion

図-5 は笠井が作成した光度曲線である。これを見ると発見以降の観測が無いのではなくサーベイによる測光データはあった。これらのデータも笠井・広沢の光度曲線と一致している。VSX 登録の際に S. A. Otero より近星点移動の可能性が指摘された。S. A. Otero は 1950 年前後の観測でもかろうじて副極小が観測されているが、それは現在の位相 0.44 になく、副極小が 0.5 より大きな値に見える事から近星点移動の可能性を指摘した。これが正しければ 65 年間の motion を捉えた事になる。現時点ではこれ以上の事はわからない。

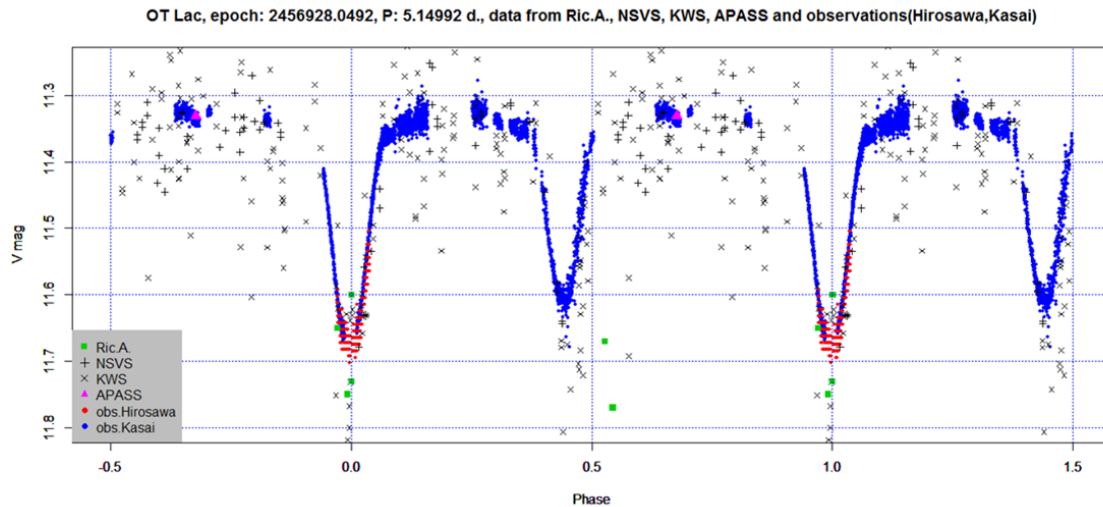


図-5 笠井が評価に用いた光度曲線。VSX の投稿に際してこの光度曲線を S.A.Otero に送っている。1950 年前後の副極小が位相 0.5 か 0.5 より大きな値の所にある事が S.A.Otero によって指摘された

ロッシュモデル解析

永井は笠井・広沢の測光観測データを用いて WDcode による解析を行った。

Free	mass ratio = 0.6~1.0
Free	r1(back) = 0.25
Free	r2(back) = 0.25
Free	Eccentricity = 0.085
Free	inclination = 76.8°
Free	wavelength = 5500 Å
Assume	temperature 1 = 15500K
Free	temperature 2 = 14165K
Assume	luminosity 1 = 0.5571
Assume	luminosity 2 = 0.4429
Assume	gravity coefficient 1 = 1.00
Assume	gravity coefficient 2 = 1.00
Assume	limb darkening 1 = 0.50
Assume	limb darkening 2 = 0.50
Assume	reflection 1 = 1.00
Assume	reflection 2 = 1.00

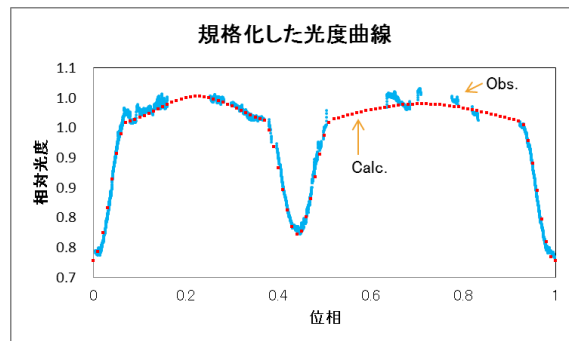


図-6 光度曲線 Fitting の結果。青は観測値、赤は理論値。Eccentricity = 0.085 で副極小がフィットした。

表-2 表で Free をフリーパラメータとし解析を行った。Mass ratio は 0.6~1.0 となり値は定まらなかった。

連星は分離型で質量比は 0.6~1.0 の範囲、主星・伴星共に半径は 0.25 となった。軌道傾斜角は 76.8 度で Eccentricity は 0.085 となった。光度比は主星の表面温度を 15500K とすると伴星は 14165K となった。重力減光指数・周辺減光・反射率は早期星の標準値とした。単色の測光であることと、欠測部分、Real と思えない光度曲線の歪があり解析はこのレベルまでとした。より精密な観測によって質量比も推定出来るかも知れないが視線速度の観測が望まれます。

Eccentricity とロッシュモデル

表-3 左は Hegedus, T. (1988) がまとめた Apical motion の有る短周期食連星のリストです。

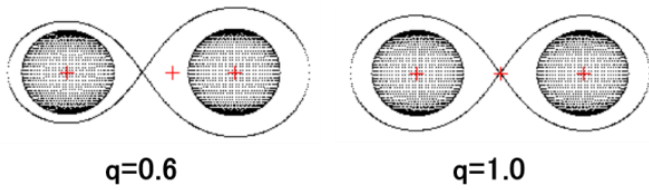


図-7 $q=0.6$ と $q=1.0$ とで比較したロッシュモデル。
 $r_1=0.25, r_2=0.25$ では質量比による形状の変化が
 無く光度曲線は同じものになる

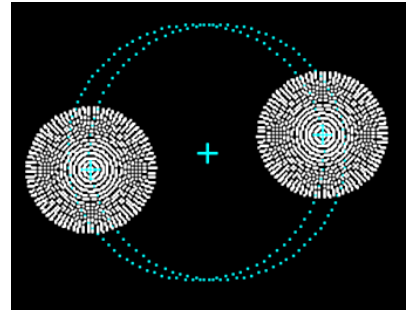


図-8 真上から見た離心率 0.085 の軌道

star	period	Min II - Min I (p)	Apsidal motion(yr)	e	$\Omega 1$	$\Omega 2$	q	D/SD
BW Aqr	6.72	0.478		0.18	12.906	10.755	0.93	D
V889 Aql	11.12	0.36		0.37	19.969	20.378	1	D
AS Cam	3.43	0.437	2.2					
GL Car	2.42		25.22					
AR Cas	6.07							
OX Cas	2.49	0.412						
PV Cas	1.75	0.48		0	5.864	5.932	1.021	D
V346 Cen	6.32			0.288	5.729	8.16	0.71	D
CW Cep	2.73	0.478	1972	0.038	5.01	6.246	0.939	D
EK Cep	4.43	0.545		0.083	12.233	9.063	0.55	D
Y Cyg	3.00	0.1458	47.6	0.14	6.721	5.473	1	D
V380 Cyg	12.43	0.418	1490					
V477 Cyg	2.35		349					
V541 Cyg	15.34	0.453						
V1143 Cyg	7.64	0.743		0.5406	17.879	20.5	0.979	D
DI Her	10.55	0.77	29000					
CO Lac	1.54		42.3	0	5.143	4.704	0.82	D
RU Mon	3.58		285	0.385	8.928	8.895	0.925	D
FT Ori	3.15	0.73	520					
delta Ori	5.73		210	0.04	3.015	3.024	0.4	D
AG Per	2.03			0.053	5.67	6.628	0.91	D
beta Per	2.87			0	5.151	2.299	0.227	SD
VV Pyx (V059)	4.60	0.48	3200	0.096	9.761	9.76	1	D
YY Sgr	2.63							
V1647 Sgr	3.28	0.262	592.5	0.41	9.793	9.904	0.9	D
V2283 Sgr	3.47		560					
DR Vul	2.25		37.8					
OT Lac	5.15	0.44		0.085	4.765	3.828	0.60	D

Hegedus, T.(1988) D.Terrell, J.Mukherjee, R.E.Wilson (1992) This study

表-3 Hegedus, T.(1988)がまとめた Apsidal motion の有る短周期食連星で中には R.E.Wilson(1992)らがロッシュモデル解析した系があり、それらと OT Lac が分離型か調べた。その結果、楕円軌道の連星のすべてが分離型となっている。

これらは楕円軌道でもあります。R.E.Wilson(1992)らは多数の連星のロッシュモデル解析を行っている。その中に Hegedus, T. のリストと一致する系もある。表-3 の右はそれらを記述したものである。その $e, \Omega 1, \Omega 2, q$ から連星が Detached か Semi-detached を判定した。その結果、Eccentricity のある全ての連星が Detached である事を確認した。OT Lac も同様である。アルゴルが記述されているが R.E.Wilson の解析では円軌道とされている。

まとめ

解析結果を以下にまとめる。

- 変光型： EA 型
- 周期・元期： $\text{minI} = 2456928.0492 + 5.14992 \times E$ (K. Kasai, 2014)
- 副極小位相： Likely eccentric system with Min II at phase 0.44
- 連星形状： Apsidal motion, 全て detached
- 離心率： Eccentricity 0.085
- ロッシュモデル： $q=0.6 \sim 1.0, r_1=0.25, r_2=0.25, \text{inc.} = 76.8$