

W UMa 型食連星 TZ Boo の O'Connell 効果について

大島 修 (岡山理科大学/食連星合宿ゼミ)・赤澤秀彦 (岡山理科大学/食連星合宿ゼミ)・
藤井貢 (FKO 藤井黒崎観測所)

1. 研究のきっかけ

発表者の一人 (赤澤) が、いつものように手当たり次第に短周期食連星系を測光していて、TZ Boo の光度曲線で2つの極大に大きな光度差があること (O'Connell 効果) に気付き、Facebook に投稿した。大島が過去の論文を調べたところ、これほど大きな光度曲線の非対称は過去に例がないことがわかり、継続して観測する重要性を指摘した。また、この非対称は成分星の光球上の黒点によるものであれば、何かスペクトルに特徴が現れないか、藤井に分光観測を依頼した。

2. 測光観測

測光観測の期間は2016年5月13日から7月30日までの全20夜で、Bバンド (口径28cm, 180秒積分)、Vバンド (同25cm, 120秒) および Rcバンド (同20cm, 120秒)、比較星はHD134304、チェック星はGSC 03045-01068を使った。HD134304は変光しているという報告もあったが、チェック星との比較により今季は変光は見られないと判断し、そのまま比較星として使用した (図1)。

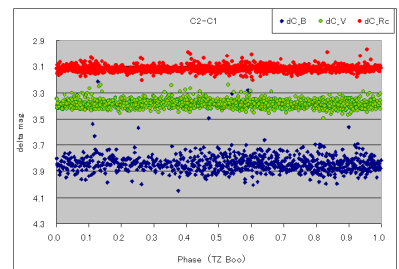


図1、比較星とチェック星の比較

ほぼ全位相をカバーした光度曲線が2,3夜につき1本程度観測でき、全部で、BVRcが5本 (図2)、Rcのみが1本、BVが2本 (図3) ほど得られた。

図4に過去のVバンドの光度曲線と今回の典型例を同じスケールで示す。2つの極大の高さの違いは過去最大になっている。

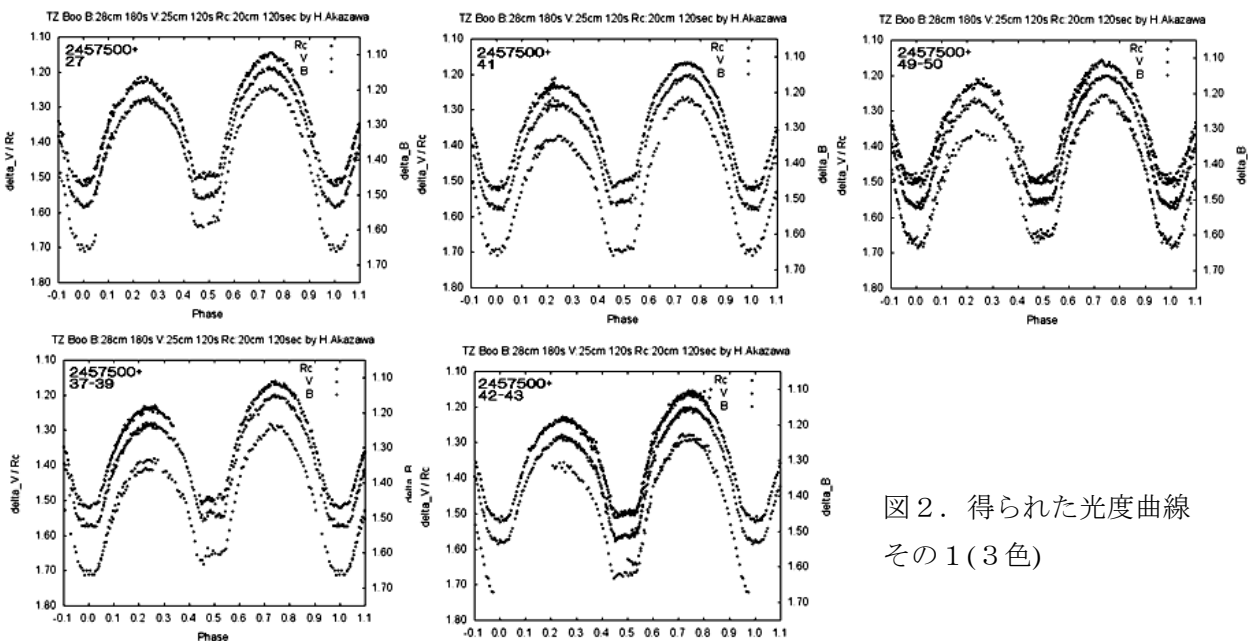


図2. 得られた光度曲線
その1 (3色)

図5に、各光度曲線における MaxI および II、MinI および II の変化を示す。(MaxI は主極小 MinI に引き続く極大) MinI と MinII の高さが JD=245700+50 と +75 の間で入れ替わっている。この現象は過去に

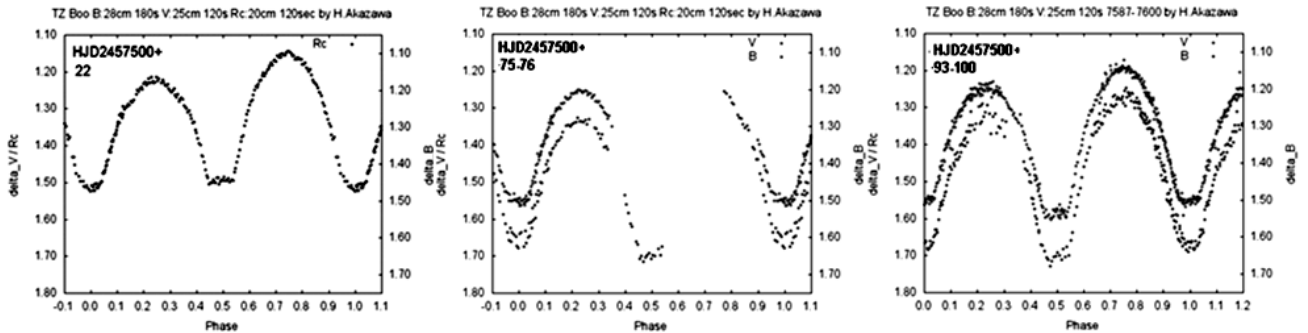


図3. 得られた光度曲線 その2 (Rc と BV) 中と右は、MinIIの方がMinIより暗い。

も数年間の間に入れかわった例が報告されているが、2週間程度の短期間で入れ替わった観測は初めてである。この現象は、通常の系では成分星間で光度 and/or 半径の大小関係が入れ替わることを意味していて大変な出来事である。それがさらに2週間程度の間には起こるとは考え難いので、巨大なspotの消長移動を示すと考えるべきであろう。O'Connell効果の原因も一般的にはいくつか提案されているが、この系では、やはりspotの消長によるものと考えれば、極小の入れ替りとも一貫して説明できそうである。

3. 分光観測

分光観測は、同年5月21日に藤井黒崎観測所の40cm望遠鏡に低分散分光器 (R=600@H α) で、MaxI, MaxII 共に20分積分を3回づつ行った。図6の上2本のスペクトルのうち、MaxIは下側、MaxIIが上側、一番下はその差分を示す。全体のスペクトルの特徴はG2型に似ている。差分スペクトルから、次の2つの特徴があることがわかる。すなわちMaxIIの方が、(1)連続光が相対的に青いこと、(2)バルマー線の吸収が強いことから、より早期型を示していることがわかる。つまり、MaxIとMaxIIとでは、相対的に平均有効温度に違いがあり、hot spotあるいはcool spotの存在でその光度差を説明することができそうである。確定的な証拠としては磁場の存在を示す観測データが欲しいところである。

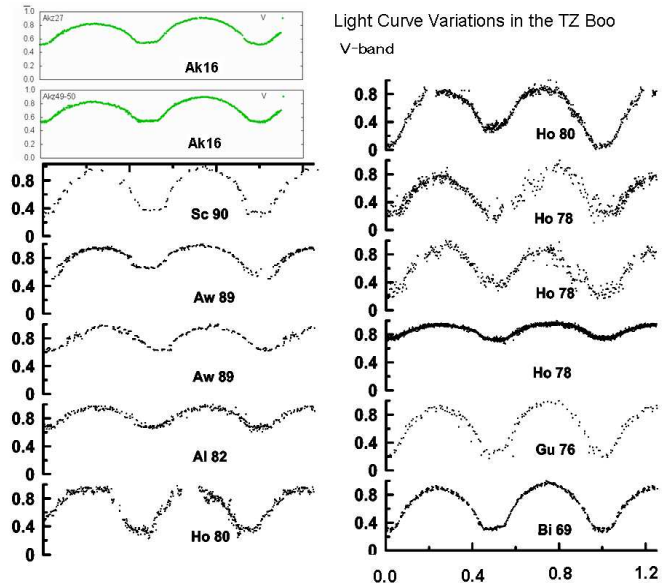


図4. 過去に得られている TZ Boo の多様な光度曲線(Christopoulou 2011)に今回の観測 (右上の2個)を加えたもの (Vバンド 今季は、O'Connell効果は大きいものの曲線全体の変光範囲はやや小さい方に属する。図中の数字は西暦の下2桁を示す。

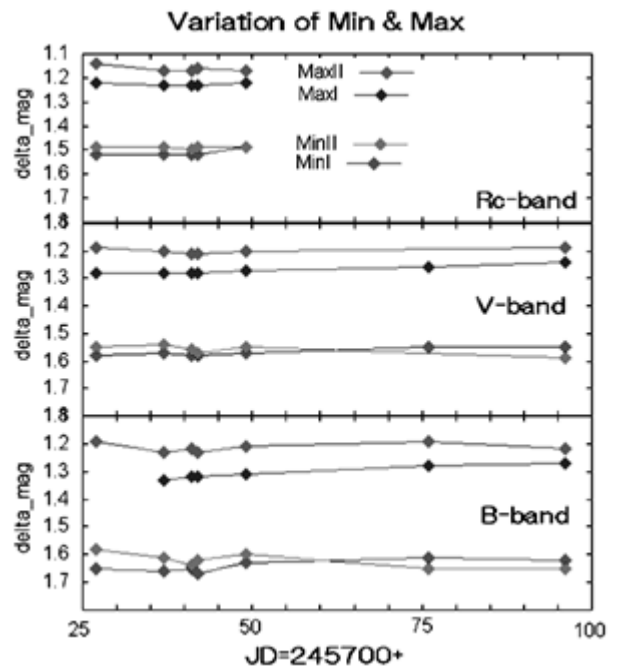


図5. 2つの極大と2つの極小のレベルの変化

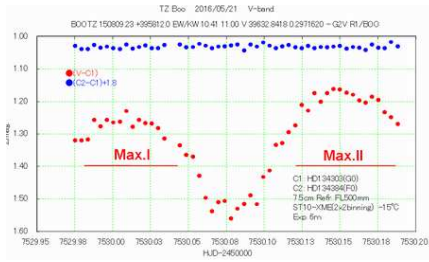
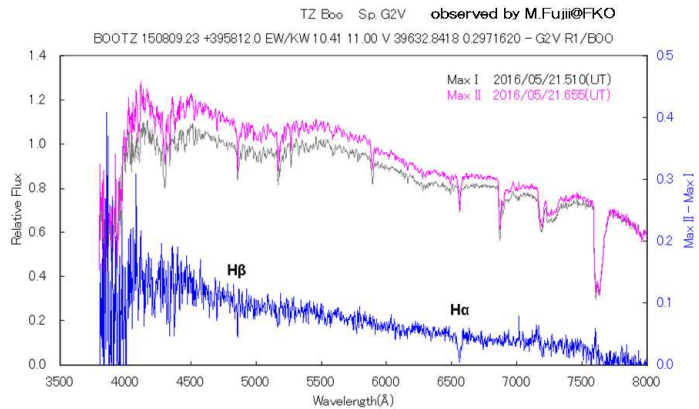


図 6. TZ Boo の低分散スペクトル
2016年5月21日、左図の線で示した時間帯に露出した。FKO40cm 望遠鏡



4. Spot model で今季の光度曲線の変動をすべて説明できるか

この系の観測歴史上最大の O'Connell 効果と短期間内の MinI と MinII のレベルの入れ替わりという今季の変化を、成分星のパラメータ自体は固定して spot の存在とその変化(位置とサイズ)という spot モデルだけで説明しきれるかどうかを、WD コードを取り入れた光度曲線解析ソフト Phoebe(ver.0.31a)を使って検討した。

解析にあたって採用した連星系のパラメータは右表のとおりで、今季だけのものである。ここでは半径の大きくて光度の大きい方を星 1 とした。主要な Spot の効果として、MaxI と MaxII の光度差は cool spot で、MinI と MinII のレベルの入れ替りは hot spot で説明し、それぞれ 1 個の Spot を置く方針とした。

表 1. 採用した連星パラメータ (固定)

	star1	star2
q=M1/M2	0.207	
T(K)	5930	5870
M(sun)	0.99	0.21
R(sun)	0.66	0.33
L(sun)	1.26	0.33
Ω	2.18	2.18
fill	52%	
SMA (Rsun)	1.99	

検討 1 : Cool spot があるのは、星 1 か星 2 か

→実際に光度曲線合成を行って検討した。時期により面積の大きな spot を配置する必要があり、星 2 では spot を置くために必要な面積が得られない。また、副極小の底が傾く現象も星 1 に spot を置くことで O'Connell 効果と同時に説明ができた→星 1 しかあり得ない

検討 2 : Hot spot があるのは、星 1 か星 2 か

→図 6 のように星 2 では、光度曲線のフィッティングが星 1 の場合より悪いことと、ほぼ星 2 の半球全部を覆う Hot spot になり、やや考え難いことから、星 1 に置いた方がよい。

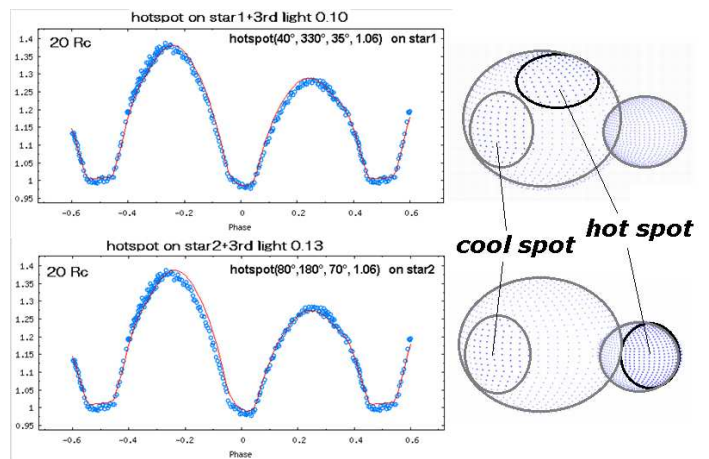


図 6. Hot spot は、星 1 にあるか、星 2 にあるか

こうして、Hot と cool の spot を星 2 に置くのは星 1 に置くのよりも少し考え難い。両方を星 2 に置くのは、星 2 の表面積が不足することがわかり。どちらも星 1 に置くモデルで検討した。

[例]JD2457500+27 の場合

図 7 のような緯度経度に hot spot と cool spot を置いた。spots の温度は、Hot spot が 1.06 倍(=6290K),

Cool spot が 0.85 倍(=5040K)の 때가 BVRc の各バンドによく合致した。図 8 に観測と合成光度曲線を示す。以下同様にして、JD2457500+41,+50,+100 の光度曲線に合う spots モデルを検討した。その結果を表 2 に示す。

5. まとめ

- (1) 今シーズンの TZ Boo の急激な変動を密な観測から捉えることができ、2つの極小のレベルの入れ替わりが、2週間という短期間で起こることを初めて捉えた。
- (2) この系の O'Connell 効果の原因は、主星の cool spot の消長と移動で説明が可能である。また、同時に副極小(皆既食)の底の傾きも同時に説明できた。
- (3) 2つの極小が入れ替わる現象は、hot spot の消長で説明が可能である。
- (4) Cool spot の温度は約 5000K となり、太陽黒点暗部(4000K)と較べると、光球の温度との中間の値となった。これは、ここで言う1つの「cool spot」は、単一の巨大黒点というよりは、多数の小さな黒点からなる1つの黒点群を示唆しているのかも知れない。

今後は、過去数10年間の光度曲線の変動も、一組の連星系パラメータ+spots モデルで説明可能化かどうか、検討したい。

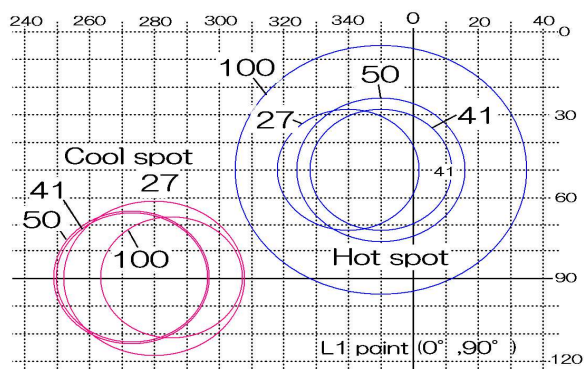
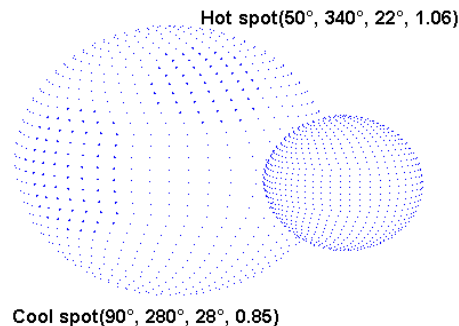


図 9. Hot spot Cool spot の位置とサイズの変化
数字は、JD245750+を表す



Cool spot(90°, 280°, 28°, 0.85)

図 7. JD2457500+27 の spots model (結果)

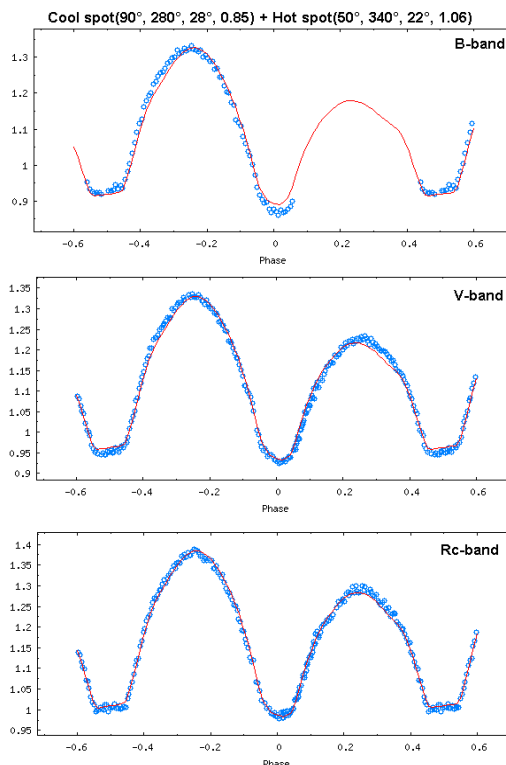


図 8. 図 7 の spots 配置における合成光度曲線と観測とのフィッティングの様子

表 2. 光度曲線を説明する Spots の変化

D 2457500+	Cool spot				Hot spot			
	緯度	経度	半径(度)	温度	緯度	経度	半径	温度
27	90	280	28	0.85	50	340	22	1.06
41	90	273	23.4	0.85	50	350	22	1.06
50	90	273	24	0.85	50	350	26	1.06
100	90	285	22	0.85	50	350	45	1.06