

食連星の極小時刻 $O-C$ 図に現れるある特徴の一解釈

中村 泰久・加藤 篤

1 はじめに

食連星系は、その食などによる光度変化が起こり、それを観測して得られる光度曲線の詳しい解析によりその連星系の諸要素などが得られるという、たいへん重要な存在となっている。同時に、その光度が低下する極小時刻においては、その極小中央時刻の観測もまた、別の貴重な情報を与えている（たとえば、北村 1992, Hilditch 2001）。通常は、1 公転の間に 2 回起こる食による極小は一定周期で繰り返され、その中央時刻は予報式で正確に与えられる。

一方、食が予測より早めに、ないしは、遅めに起こることがあると、それは予報時刻 (C) と観測値 (O) との時刻差 $O-C$ 値として得られる。この $O-C$ 値の振る舞いを長期的に集積していくと、連星系によって、直線状、2 次曲線状、正弦曲線状、あるいは、不規則な変化形状を示す場合などさまざまな様相を示すことがわかる。その連星系のいわゆる“周期変化”によっては、その解析から、場合によっては両星間の質量移動、ないしは、系からの質量放出などの現象についての重要な情報も引き出すことができる。あるいは、離心軌道を持つ食連星の場合には近点移動から内部構造理解に対する手がかりとしても活用されている（たとえば、Claret & Giménez 1993）。第 3 体の周りを連星が回っているときには、第 3 体の軌道を光が通過することにより極小がずれる光路差効果というものもある（たとえば、Malkov et al. 2006）。

そのような重要な情報提供であるので、多くの食連星系の極小中央時刻の観測データはいくつかのデータベースなどに集積されており（たとえば、Kreiner et al. 2001, Kreiner 2004, Nelson 2008 など）、さまざまに利用されている。

それらの振る舞いの中に、短期間で直線状にデータが分布する傾向が時々見られることがある。この傾きは右上がり、右下がりともにあるが、もしそれが真の周期変化を示しているとする、一定割合での急激な周期増、周期減となる。ここでは、そのような振る舞いが真の周期変化からではなく、見かけ上のものではないかという可能性について検討してみた。具体的には観測データが稠密にある接触連星系を対象を限り、表面斑点を仮定して光度変化を計算し、説明可であるかどうかについて調べた。

2 極小時刻の $O-C$ 図と観測データ

2.1 極小時刻 $O-C$ 図のふるまい

前節で述べたように、周期変化らしき様相を示すものの中に、急な傾きの直線として見られる連続的な変化の様子も時々現れている。図 1 の左は AD Andromedae, 右は CC Coma Berenices という食連星系の観測データの一部である。

これは周期変化としてとらえるには期間が短いため、真の周期変化として考えてよいか検討が必要で、これを真の周期変化によるものとすると、相当に急激な周期増ないしは周期減となり、連星系ではかなり激しい現象が生じていることとなる。一方、単なるばらつきの結果ととらえるにすれば、直線的なデータが数個以上並び、それなりに規則的な挙動であるし、いろいろな系で生じているので、観測誤差と片付けるには無理がある。そこで、今回はこれを見かけ上の“周期変化”ととらえ、この直線的な変化を表面斑点の存在とその移動によって説明できると仮定した。具体的には、表面に低温斑点（黒点）があると仮定して、その移動による見かけの見積もりでの可能性があるかどうかについて検討した。

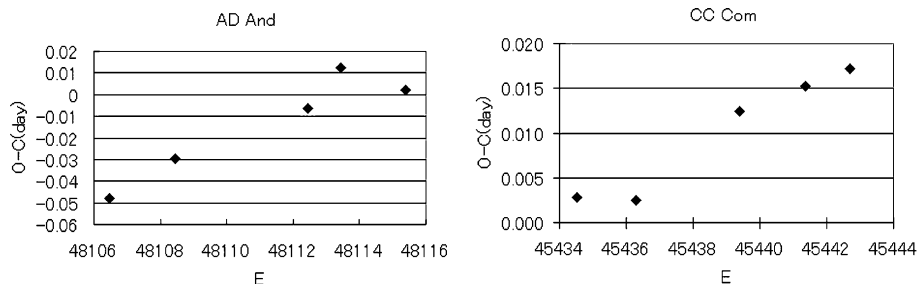


図1. 直線的な観測データの例。横軸 E は食の繰り返し回数を表す。

採取データとしては、均一性なものというの観点から集積数の多いデータベースの一つである Nelson (2008) による極小時刻のデータベースから取得することとした。Nelson のデータベースから約 2,400 の $O-C$ 図を参照し、それらを 1 つずつ吟味検討して、計 183 の極小時刻の直線的な変化が見られるデータ例を収集した。その際には、偶然による直線状分布の可能性を避けるため、4 つ以上連続して周期が直線状に変化しているという傾向が見られる部分を選択して使用した。また、変化量 (Δd) が小さすぎるものも候補から外した。今回は、次節で述べるように、これらのうち代表的な 3 つの観測例について計算結果と比較することとした。

2.2 周期変化の観測データ

対象系としては、極小中央時刻に関しての稠密な観測データが揃っている必要があり、一方、解析面からは関連パラメータが少ない方がパラメータ依存性の不確定さが少ないことなどから、今回は接触連星系、さらにいうなら、W UMa 型接触連星系について調べることにする。必要なパラメータの数の観点から、すなわち、接触連星あるために、両星の半径 r_1, r_2 という 2 個のパラメータの代わりに接触度 f という 1 個のパラメータで大きさを記述できるため、接触連星についての例を取り上げた。その中で観測データの稠密性などから、観測期間がまとまっていて、詳しい観測が行われている系を検討の対象として選んだ。W UMa 型系には半径が大きい方が高温の A-subtype と半径が小さい方が高温の W-subtype

表 1. OO Aql (上) と V781 Tau (下) の使用観測データ

HJD	E	$O-C$ (d)	Reference
2444487.413	11591	0.006	BBSAG Bull.51
2444488.426	11593	0.005	ibid.
2444489.440	11595	0.005	ibid.
2444490.452	11597	0.004	ibid.
2444491.464	11599	0.002	ibid.
2444492.478	11601	0.003	ibid.
2444493.491	11603	0.002	ibid.
HJD	E	$O-C$ (d)	Reference
2452991.2278	1424	-0.0024	Nakajima
2452992.2626	1427	-0.0023	Nakajima
2452995.0233	1435	-0.0008	Nakajima
2452996.0572	1438	-0.0017	Nakajima
2452997.0935	1441	0.0001	Nakajima
2453346.1392	2453	-0.0012	Nakajima
2453348.2089	2459	-0.0009	Nakajima
2453353.0377	2473	-0.0008	Nakajima
2453360.2811	2494	-0.0005	Nakajima
2453362.0065	2499	0.0003	IBVS 5694

E は予報式元期から数えた主極小の繰り返し回数を表す。

の 2 種類が存在する。今回の目的に適する観測例として、多数の観測例のうち、具体的には、W-subtype 連星の代表例として V781 Tauri を、A-subtype 連星の代表例として OO Aquilae を選び、その多数の観測データの中から、表 1 に示すものを採用した。

3 解析

3.1 解析手順

解析に使用した光度曲線合成コードは福島大学で作成、使用されているものである。すでに別報

告も行っているの、ここでは概略についてのみ述べる。

- ・両星の形状はロッシュ・モデル近似に基づく。
- ・重力増光は通常のように、各点 i および極点 0 での表面温度 T 、表面重力 g に対し、

$$T_i/T_0 = (g_i/g_0)^{\alpha/4}$$

で表し、 α は 1 (高温星の場合) および 0.5 (低温星の場合) を取る。

- ・反射効果(照射効果)も全輻射を一旦吸収し、そのうちの A だけを再放射するとして温度上昇を計算する。アルベド A は通常行うように、 $A=1.0$ (高温星の場合)、 $A=0.5$ (低温星の場合) とした。
- ・周辺減光については、ここでは視線向きの放射強度 I に対し、次の 1 次の周辺減光の式：

$$I(\theta) = I(0) (1 - u + u \cos \theta)$$

を採用した。ここで、 θ は視線と各表面点での法線とのなす角であり、周辺減光係数 u_1, u_2 は関係論文の表 (Díaz-Cordovés et al. 1995) から取った。

3.2 表面斑点モデル

ここでの表面斑点モデルは次のようなパラメータを使って、(円形)斑点領域の影響を計算した：

- 1) 斑点の中心位置 (経度 λ , 緯度 β),
- 2) 斑点の広がり r_s ,
- 3) 斑点の相対温度比 (対周囲) f_s 。

経度 λ , 緯度 β を地球にならって与える。すると、斑点の中心位置の座標値 (x_c, y_c, z_c) は、次の空間直線

$$\frac{x}{\cos \lambda \cos \beta} = \frac{y}{\sin \lambda \cos \beta} = \frac{z}{\sin \beta}$$

と表面ロッシュローブとの交点として与えられる。両星の公転軸の外側を 0° としたときに範囲を緯度、経度ともに $-50^\circ \sim 50^\circ$ とした。

斑点の大きさ (広がり) を相対半径 r_s で与える。この場合は、ある表面点 (x_i, y_i, z_i) が斑点に含まれるかどうかは簡単に判定できる。

$$(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2 + (z_i - z_c)^2 < r_s^2$$

今回は斑点の広がりを $r_s=0.1-0.3$ の範囲で与

え、系統的な変化を計算した。

斑点の強度を、もともとのその温度との相対比 f_s で与える。つまり、

$$T_i^{new} = f_s T_i^{old}$$

として、 $f_s < 1$ なら黒点 (dark spot), $f_s > 1$ なら高温斑点 (hot spot) となる。今回は斑点の強度を 0.9~0.7 という範囲に設定した。

3.3 連星系のパラメータ

この研究で選んだ W-subtype 連星の代表としての V781 Tau のパラメータ (Nakamura 2008), A-subtype 連星の代表としての OO Aql のパラメータ (Djurašević 2001) は表 2 にあるとおりである。

表 2. 採用連星系 V781 Tau と OO Aql の諸要素

System	V781 Tau	OO Aql
q	0.405	0.843
$f(\%)$	24.8	22.0
i°	66.1	87.7
$T_1(K)$	5,780	5,700
$T_2(K)$	6,000	5,680
u_1	0.6	0.6
u_2	0.6	0.6

3.4 極小中央時刻の見積もり方

上記手順で表面斑点を導入し光度変化を計算する。極小 (ここでは主極小のみ) 付近での光度変化に対し、Gaussian で近似し、その中央の時刻を採った。図 2 がその一例である。この他に、2 次曲線、4 次曲線での近似も検討したが、これらの場合は、どのあたりまで観測データを取るかという、やや不明確な点に結果が大きく影響するので、その影響が比較的小さい Gaussian での近似を採用したものである。ここではすべてこの均一な方法によって極小中央時刻のずれを求めた。

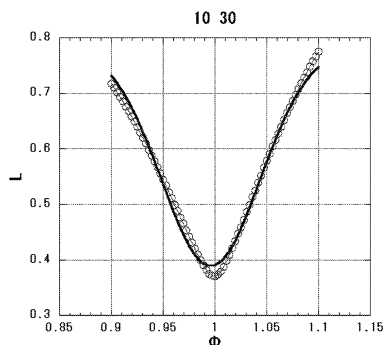


図2. 極小での光度変化の例とその中央時刻の見積もり。丸が計算結果で、曲線がそれを近似したもの。

4 結 果

4.1 適用結果

試行の結果，ここでは基本斑点として黒点を採用し，基準の値として $r_s=0.2, f_s=0.8$ とした。計

算と観測との比較は V バンドのみで行い，低温度星であるので，どちらも $\alpha_1=\alpha_2=0.32, A_1=A_2=0.5$ と取った。

この基準値をもとに，パラメータを変えながら，位相のずれの見積もりを種々行った。まず，斑点の大きさによる影響の見積もりが，表3(OO Aql)と表4(V781 Tau)に示されている。

続いて，斑点強度の違いによる位相のずれへの効果を表5と表6に示した。

最後に，斑点中心位置の変化による影響を表7(OO Aql)と表8(V781 Tau)で与えてある。

これらの結果は，同時に，図3にも示されている。これらの結果より1つの低温斑点を導入する際， $\Delta\phi$ の値に最も大きく影響するのは半径の値を変化させたときで，変化の割合は $-30^\circ \sim +30^\circ$ までの範囲が大きい。1つのスポットで $O-C$ を説明する場合， $\Delta\phi > 0.01$ のケースを説明するには大きく稀なパラメータを導入する必要がある。

表3. OO Aql ($f_s=0.8$)

	0.3 0.8	0.2 0.8	0.25 0.8	0.1 0.8	0.15 0.8
-50	0.010	0.006	0.008	0.002	0.003
-45	0.010	0.005	0.008	0.002	0.003
-40	0.009	0.005	0.007	0.001	0.003
-35	0.009	0.005	0.007	0.001	0.003
-30	0.008	0.004	0.006	0.001	0.003
-25	0.007	0.004	0.005	0.001	0.002
-20	0.005	0.003	0.004	0.001	0.002
-15	0.004	0.002	0.003	0.001	0.001
-10	0.003	0.002	0.002	0.000	0.001
-5	0.001	0.001	0.001	0.002	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	-0.001	-0.001	-0.001	0.000	0.000
10	-0.003	-0.002	-0.002	0.000	-0.001
15	-0.004	-0.002	-0.003	-0.001	-0.001
20	-0.005	-0.003	-0.004	-0.001	-0.002
25	-0.007	-0.004	-0.005	-0.001	-0.002
30	-0.008	-0.004	-0.006	-0.001	-0.003
35	-0.009	-0.005	-0.007	-0.001	-0.003
40	-0.009	-0.005	-0.007	-0.001	-0.003
45	-0.010	-0.005	-0.008	-0.001	-0.003
50	-0.010	-0.006	-0.008	-0.001	-0.003

表4. V781 Tau ($f_s=0.8$)

	0.15 0.8	0.3 0.8	0.1 0.8	0.25 0.8	0.2 0.8
-50	0.007	0.022	0.003	0.017	0.012
-45	0.007	0.021	0.003	0.016	0.011
-40	0.006	0.019	0.003	0.015	0.011
-35	0.006	0.018	0.003	0.014	0.010
-30	0.005	0.016	0.003	0.012	0.009
-25	0.005	0.013	0.002	0.011	0.008
-20	0.004	0.011	0.002	0.009	0.006
-15	0.003	0.008	0.002	0.007	0.005
-10	0.002	0.006	0.001	0.005	0.003
-5	0.001	0.003	0.000	0.002	0.002
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	-0.001	-0.003	0.000	-0.002	-0.002
10	-0.002	-0.006	-0.001	-0.005	-0.003
15	-0.003	-0.008	-0.001	-0.007	-0.005
20	-0.004	-0.011	-0.002	-0.009	-0.006
25	-0.005	-0.013	-0.002	-0.011	-0.008
30	-0.005	-0.016	-0.003	-0.012	-0.009
35	-0.006	-0.018	-0.003	-0.014	-0.010
40	-0.006	-0.019	-0.003	-0.015	-0.011
45	-0.007	-0.021	-0.003	-0.016	-0.011
50	-0.007	-0.022	-0.003	-0.017	-0.012

表 5. OO Aql ($r_s=0.2$)

	0.2 0.85	0.2 0.9	0.2 0.75	0.2 0.8	0.2 0.7
-50	0.004	0.003	0.006	0.006	0.007
-45	0.004	0.003	0.006	0.005	0.007
-40	0.004	0.003	0.006	0.005	0.006
-35	0.004	0.003	0.006	0.005	0.006
-30	0.004	0.002	0.005	0.004	0.005
-25	0.003	0.002	0.004	0.004	0.005
-20	0.002	0.002	0.004	0.003	0.004
-15	0.002	0.001	0.003	0.002	0.003
-10	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002
-5	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	-0.001	0.000	-0.001	-0.001	-0.001
10	-0.001	-0.001	-0.002	-0.002	-0.002
15	-0.002	-0.001	-0.003	-0.002	-0.003
20	-0.003	-0.002	-0.004	-0.003	-0.004
25	-0.003	-0.002	-0.004	-0.004	-0.005
30	-0.004	-0.003	-0.005	-0.004	-0.005
35	-0.004	-0.003	-0.006	-0.005	-0.006
40	-0.004	-0.003	-0.006	-0.005	-0.006
45	-0.004	-0.003	-0.006	-0.005	-0.007
50	-0.004	-0.003	-0.006	-0.006	-0.007

表 6. V781 Tau ($r_s=0.2$)

	0.2 0.75	0.2 0.7	0.2 0.85	0.2 0.9	0.2 0.8
-50	0.013	0.014	0.010	0.007	0.012
-45	0.013	0.014	0.009	0.007	0.011
-40	0.012	0.013	0.009	0.006	0.011
-35	0.011	0.012	0.008	0.006	0.010
-30	0.010	0.011	0.007	0.005	0.009
-25	0.009	0.009	0.006	0.005	0.008
-20	0.007	0.008	0.005	0.004	0.006
-15	0.005	0.006	0.004	0.003	0.005
-10	0.004	0.004	0.003	0.002	0.003
-5	0.002	0.002	0.001	0.001	0.002
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	-0.002	-0.002	-0.001	-0.001	-0.002
10	-0.004	-0.004	-0.003	-0.002	-0.003
15	-0.005	-0.006	-0.004	-0.003	-0.005
20	-0.007	-0.008	-0.005	-0.004	-0.006
25	-0.009	-0.009	-0.006	-0.005	-0.008
30	-0.010	-0.011	-0.007	-0.005	-0.009
35	-0.011	-0.012	-0.008	-0.006	-0.010
40	-0.012	-0.013	-0.009	-0.006	-0.011
45	-0.013	-0.014	-0.009	-0.007	-0.011
50	-0.013	-0.014	-0.010	-0.007	-0.012

表 7. OO Aql ($f_s=0.8$, $r_s=0.2$) の計算結果

	0	10	20	30	-10	-20	-30
-50	0.006	0.006	0.005	0.004	0.005	0.005	0.004
-45	0.005	0.005	0.005	0.004	0.005	0.005	0.004
-40	0.005	0.005	0.005	0.004	0.005	0.004	0.004
-35	0.005	0.005	0.004	0.004	0.005	0.004	0.004
-30	0.004	0.004	0.004	0.003	0.004	0.004	0.003
-25	0.004	0.004	0.003	0.003	0.004	0.003	0.003
-20	0.003	0.003	0.003	0.002	0.003	0.003	0.002
-15	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
-10	0.002	0.002	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001
-5	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001
10	-0.002	-0.002	-0.001	-0.001	-0.002	-0.001	-0.001
15	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
20	-0.003	-0.003	-0.003	-0.002	-0.003	-0.003	-0.002
25	-0.004	-0.004	-0.003	-0.003	-0.004	-0.003	-0.003
30	-0.004	-0.004	-0.004	-0.003	-0.004	-0.004	-0.003
35	-0.005	-0.005	-0.004	-0.004	-0.005	-0.004	-0.004
40	-0.005	-0.005	-0.005	-0.004	-0.005	-0.005	-0.004
45	-0.005	-0.005	-0.005	-0.004	-0.005	-0.005	-0.004
50	-0.006	-0.005	-0.005	-0.004	-0.005	-0.005	-0.004

横は斑点中心の緯度を，縦は経度を示す。

表8. V781 Tau ($r_s=0.2, f_s=0.8$) の計算結果

	0	10	-10	20	-20	30	-30
-50	0.012	0.012	0.010	0.012	0.008	0.011	0.006
-45	0.011	0.012	0.010	0.012	0.008	0.011	0.006
-40	0.011	0.011	0.009	0.011	0.008	0.010	0.006
-35	0.010	0.010	0.009	0.010	0.008	0.009	0.006
-30	0.009	0.009	0.008	0.009	0.007	0.008	0.005
-25	0.008	0.008	0.007	0.008	0.006	0.007	0.005
-20	0.006	0.006	0.006	0.006	0.005	0.006	0.004
-15	0.005	0.005	0.004	0.005	0.004	0.004	0.003
-10	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002
-5	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.002	0.001
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.001	-0.002	-0.001
10	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.002
15	-0.005	-0.005	-0.004	-0.005	-0.004	-0.004	-0.003
20	-0.006	-0.006	-0.006	-0.006	-0.005	-0.006	-0.004
25	-0.008	-0.008	-0.007	-0.008	-0.006	-0.007	-0.005
30	-0.009	-0.009	-0.008	-0.009	-0.007	-0.008	-0.005
35	-0.010	-0.010	-0.009	-0.010	-0.008	-0.009	-0.006
40	-0.011	-0.011	-0.009	-0.011	-0.008	-0.010	-0.006
45	-0.011	-0.012	-0.010	-0.012	-0.008	-0.011	-0.006
50	-0.012	-0.012	-0.010	-0.012	-0.008	-0.011	-0.006

横は斑点中心の緯度を, 縦は経度を示す。

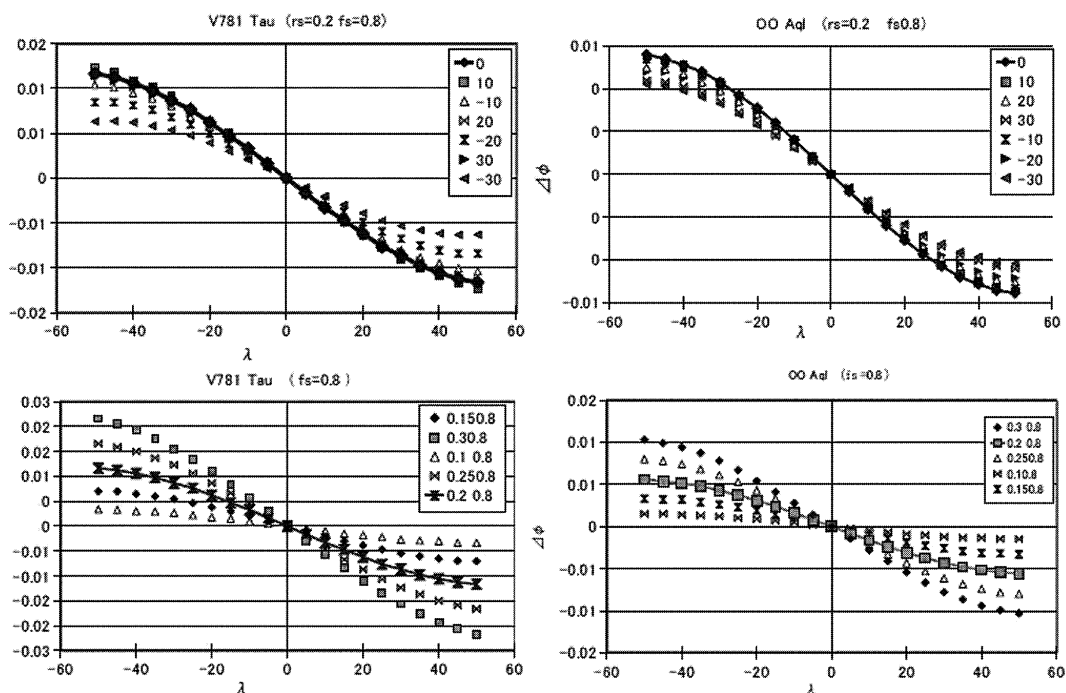


図3. 斑点移動モデルによる計算例。標準斑点とそれからのずれによる位相変化の計算結果。横軸は斑点中心の経度を表す。

4.2 観測データとの比較

どちらのケースでも、斑点移動による変化の傾向は同程度であった。

OO Aql の場合

OO Aql では、表 7 のような計算を行ってその結果と観測を見比べ、 $f_s=0.8$, $r_s=0.3$, 0° のときの挙動が観測の傾きとほぼ一致すると判断した。

V781 Tau の場合

表 8 のような計算結果と観測を見比べて、2 例観測に近似させることができたと言える。 $f_s=0.8$, $r_s=0.2$ で、緯度を -20° にしたとき、もう 1 例は $f_s=0.9$, $r_s=0.15$ で緯度を $+30^\circ$ にしたときである。

これらの系統的に得られたデータと観測で得ら

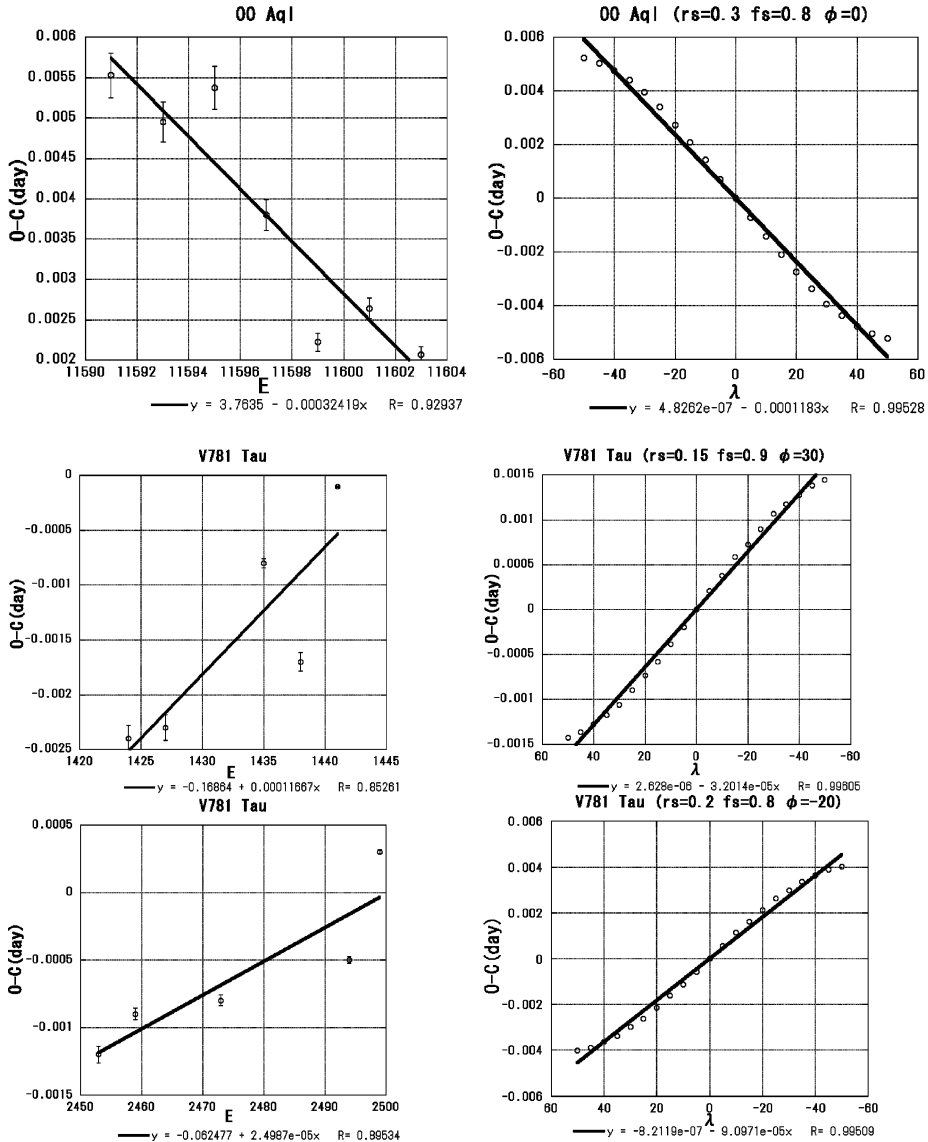


図 4. 観測データと解析結果。一番上が OO Aql, 下 2 つが V781 Tau で、それぞれ左側が観測、右側が解析結果である。

れた極小時刻を重ね合わせて得られた結果が図4のグラフである。観測結果に関しては観測時のエラーバーを考慮しつつ極小時刻の点を最少二乗法で直線的に近似したグラフの傾きで比較を行った。

軌道面傾斜角 i について、対象のパラメータは V781 Tau が 64.3° (Nakamura 2008), OO Aql が 86.5° (Djurašević 2001) という値になっている。結果をみると OO Aql の方は斑点の緯度を 0° にした場合に最も変化の幅が大きく出ている。しかし V781 Tau の結果では、軌道面の正面よりも下の位置に導入した場合の方が変化量が大きくなったという結果となった。斑点の強さより大きさを変化させた方が極小時刻のずれが大きくなったという結果も出た。今回は光度曲線の極小近辺に Gaussian 近似で極小時刻のずれを取得するという方法だったため、局所的な光度曲線の落ち込みよりもある程度長い期間あらわれる斑点の影響による歪みが全体に影響を与えたということが推測できる。

5 考 察

5.1 斑点の移動についての見積もり

(見かけの)周期変化が表面斑点移動モデルで再現できたとすると、観測での移動時間と理論での経度変化から、斑点の実際の移動の様子について見積もることが可能である。OO Aql と V781 Tau の採用観測値についてこれを行うと、表9のようになる。

太陽以外の一般の恒星、とくに近接連星系を構成している恒星について、その表面上の斑点がどれくらいの移動速度をしているかについてはまだほとんどわかっていない。そのため、上記の見積

もりの妥当性については断定できないが、太陽からの類推が成立すると考えると、あり得そうな値となっている。したがって、見かけの周期変化量ともども、採用したケースについては、今回のモデルでの説明がつけられると判断して良いであろう。

5.2 複数斑点の場合

代表的な単一斑点のパラメータでは $\Delta\phi=0.02$ 程度の変化が限界のようであるが、実際にはさらに大きな連続的な変化も見られる。そのためには強烈な黒点を想定せざるを得ないが、それは実際上考えにくい。そこで、並の強さの複数の黒点が現れ、それがたまたま集合した場合に、 $O-C$ のより大きな変化が説明しうるかどうかを調べた。

基本パラメータは V781 Tau と同様な斑点を3個導入し、分散させた場合と収束させた場合の2パターンで計算を行い、その効果を比較した。パラメータは表10のとおりである。

結果として $\Delta\phi$ の変化量は、収束ケースが -0.01787 、分散ケースが -0.00086 となり、収束させても劇的な変化は起きなかった。

代表的な単一黒点のパラメータでは、収束させても $\Delta\phi=0.02$ 程度の変化が限界であった。複数のスポットがたまたま近くに現れる場合でもほとんど差がなく、 $\Delta\phi=0.02$ 程度までの変化量しか与えることができなかった。したがって、 $O-C$ 図上の連続的な直線の変化は、表面斑点の移動による見かけの周期変化だけでは現象の説明ができないということになる。

しかし、質量移動が数日で周期に大きな影響を

表9. 斑点パラメータと移動量

	r_s	f_s	公転周期 (d)	移動期間 (d)	$\Delta\lambda_s$ ($^\circ$)
OO Aql	0.3	0.8	0.51	6.08	35
V781 Tau	0.15	0.9	0.34	15.87	25
	0.2	0.8	0.34	5.86	20

表10. 収束時(上)と分散時(下)の斑点パラメータ

	λ_s	β_s	r_s	f_s
0	-30	20	0.2	0.8
0	20	20	0.2	0.8
0	-5	70	0.2	0.8
0	30	-50	0.2	0.8
0	30	90	0.2	0.8
0	-30	20	0.2	0.8

与えるほど起きるとは考えにくい。今回取得したデータ 2,400 のうち、系の連続的変化が 4 回以上続いた例が 3 パターンという結果から偶然の挙動に含まれると考えられる可能性が大きい。ある程度までは斑点の移動で説明が付けられるが、大きな範囲での連続的変化には、斑点の移動ではなく、真の周期変化を含めたもっと別の要因が含まれていると考えるのが妥当であろう。他の要因との複合的な現象で起こっている可能性も十分あり、今後もさらに研究を続けていくことが重要であると考ええる。

(2008 年 10 月 6 日受理)

文 献

- BBSAG Bulletin* **51**, 1980, *84th List of Minima of Eclipsing Binaries*
- Claret, A., Giménez, A. 1993, *Astron. Soc. Pacific Conf. Ser.* **40**, 469
- Díaz-Cordovés, J., Claret, A., Giménez, A. 1995, *Astron. Astrophys. Suppl.* **110**, 329
- Djurašević, G. 2001, *Ap. Space Sci.* **123**, 321
- Hilditch, R.W. 2001, *An Introduction to Close Binary Stars*, Cambridge Univ. Press, Cambridge
- Kim, C.-H.W., Lee, C.-U., Yoon, Y.-N., Park, S.-S., Kim, D.-H., Cha, S.-M., Won, J.-H. 2006, *Inf. Bull. Var. Stars* **5056**
- 北村正利：「測光連星論」宇宙物理学講座第 2 巻，ごとう書房，1992
- Kreiner, J.M. 2004, *Acta Astron.* **54**, 207
- Kreiner, J.M., Kim, C.-H., Nha, I.-S. 2001, *An Atlas of O-C Diagrams of Eclipsing Binary Stars*, Wydawnictwo Naukowe AP, Cracow, Poland
- Malkov, O.Yu., Oblak, E., Snegireva, E.A., Torra, J. 2006, *Astron. Astrophys.* **446**, 785
- Nakajima, K. 2004, *Vaiable Star Bulletin* No. 42
- Nakamura, Y. 2008, Private Communication
- Nelson, R.H. 2008, Nelson's $O-C$ Files, <http://www.aavso.org/observing/programs/eclipser/omc/>

An Interpretation of a Feature in *O-C* Diagrams of the Times of Minima of Eclipsing Binary Systems

NAKAMURA Yasuhisa and KATO Atsushi

In *O-C* diagrams for the times of minima of eclipsing binary systems, observed data show various behaviour, some of which indicate real changes of the orbital period. Among them, a linear feature is sometimes seen. In this work it is investigated whether these may not be real changes but only seeming ones. Here we suppose that its light curve should be deformed around the minimum because of the presence of a star spot/star spots on the surface of either of the components of a binary system, and thus the central time of the minimum would be erroneously estimated. And moreover, due to the migration of the spot/spots on the surface, apparent “period change” should appear as a linear feature in the *O-C* diagram. This interpretation is examined by calculating light changes with a light-curve synthesis code, including a dark spot or spots for the case of W UMa-type contact binaries. It is concluded that our interpretation of the feature can be applied to only a few cases, and that other cases should require the other interpretations, including real period changes.

Key words: Eclipsing binaries—(*O-C*)-diagram for minimum times—Apparent period changes—Contact binaries—Surface spots