

振動アルゴル系 ～主極小時の光度曲線形状変化からみつかるか？～

鳴沢真也（兵庫県立大学）、中村泰久（福島大学名誉教授）

1. はじめに

Olson (1982: 以下 O82) は 16 の Algol 系について、合計 108 回の主極小の測光観測をもとに、そのうち 5 つの系 (U Cep, RW Tau, U Sge, RZ Cas, U CrB) の光度曲線の形状が一時的な変動を示すこと(以下 TPD)を報告、この 5 系を **Active Algols** と命名した。TPD の例としては、本来は皆既食である光度曲線が部分食的になったり、部分食の場合でも食の深さが変化することなどがあげられる。O82 は、これら TPD の原因は主星周辺に存在する星周物質による影響と考えた。ところが、筆者らは O82 の考察では説明ができない TPD を RZ Cas に見出した(例えば、Narusawa et al. 1994)。この系の主極小は部分食であるが、頻繁に皆既食を思わせる平底が観測されるのである。その後、Ohshima et al. (2001) は、RZ Cas の主星は δ Sct 型星であることを発見し、これによって平底出現の理由を説明することできた。すなわち、同現象は食と振動の両光度曲線が合成されることにより出現するものである(食の中央と振動の極大がちょうど重なることにより、両者の増光・減光が相殺されて平底となる)。

ところで、RZ Cas では主極小中の食の成分を差分した光度曲線(以下、差分光度曲線)の振幅は、食外のそれと比較すると大きな値を示す。Rodriguez et al. (2004)によると、RZ Cas は ($l=2$, $|m|=1, 2$) の非動径振動 (NRP) が励起されているが、NRP はそのモードによっては、食外に比べて食中で振幅が増加する現象は以前から知られている。さらに Gamarova et al. (2003) は、RZ Cas のモードと食中の振幅について数値計算 (Spatial Filtering 法) をを行い、食中で確かに振幅が増加することを示している。この系はシーズンによっては食外で波動が観測されない場合すらある。これは多重周期のビートによる現象であるが、例えば 2016 年 11 月の観測でも振動が見えていない(赤澤 2016)。他の食連星においても、食外を観測しても振動は検出されないが、主極小では振幅が増加し、それが TPD として現れる可能性がある。ならば、部分食であるにもかかわらず主極小で平底タイプの TPD が検出できたら、主星の NRP 振動を発見することができるのではなかろうか。

ところで、RZ Cas での発見以降、食連星に續々と振動が検出されている。最近発表された Liakos & Niarchos (2016) では、199 個の δ Sct 型を成分星としている食連星がリストアップされている。よく知られているように NRP 星は星震学の対象となる。そのためには星の物理諸量が判明していると好都合であるが、食連星からはそれらを精

確に算出することが可能である。そのため食連星の成分星が振動星となっている場合は、天体物理学的に貴重なサンプルとなりうる。また、潮汐力のみならず質量移動の影響を受けるアルゴル系の成分星での場合は、振動が単独星とはどう異なるかという研究が進みつつある。このためサンプルをさらに増やすことも重要な課題となっている。

2. 調査

上記をモチベーションとして、筆者らは主極小が部分食であるアルゴル系について、主極小中央に平底が出現していないか光度曲線を調査することにした。手始めにすでに何らかの TPD が見られる 15 系 (XZ And, KO Aql, V346 Aql, TV Cas, R CMa, U CrB, BR Cyg, AI Dra, δ Lib, β Per, V505 Sgr, HU Tau, TX UMa) を調査の対象に選択した。調査に用いた光度曲線は自前のもの (鳴沢・中村 2014) と文献に測光値が掲載されているもの、そして永井和男氏が管理している VSNET-ECL によるものを用いた。また赤澤秀彦氏からは XZ And の、伊藤芳春氏からは HU Tau のデータをそれぞれ提供していただいた。 δ Sct 型は短波長ほど振幅が大きいので R バンドより長波長での観測は対象外とした。文献に記載されている測光データでも、使用された比較星がその後に変光星だと判明したケースは本調査からは除外した。

調査できた主極小は合計 145 回である。BR Cyg については、これらとは別に Kepler のデータベースから 92 回の主極小が利用できた。

光度曲線に平底が見られた場合、それを含む同一観測セットによる複数回の食を合計した。さらに減光・増光両枝の非対称をキャンセルするため、食中央でそれを折り返し、2 次または 3 次の曲線で近似した (簡易的な理論光度曲線とみなす)。平底が見える元の光度曲線から近似曲線を引き、それを差分光度曲線とした。そこに波形が見られたものについてはフーリエ変換 (Period04) で周波数解析を行った。

3. 結果

RZ Cas のように頻繁に TPD が出現する系はなかったが、TV Cas では 16 回の主極小中で 7 回の平底 (または関連形状) が見られる (図 1、2)。差分光度曲線には 2.5 時間程度の周期が認められる (図 3)。U CrB は 8 回の主極小中 2 回、HU Tau では 8 回中 3 回に平底 (または関連形状) があり、差分光度曲線にはそれぞれ周期 2.5 時間 (図 4) と 1.4 時間程度 (図 5) の波形が見られる。また XZ And, AI Dra, R CMa の光度曲線にも平底にも見える形状が出ている。これらを考慮すると、調査した 15 系のうち 8 系が振動星かまたはその候補系となるので、アルゴル系における振動星の割合を知る上では興味深い結果が得られた。

4. 考察

O82はTPDは星周辺物質が原因で起こる現象であると説いた。しかし筆者らは、TPDは星周物質の他に振動が要因となっているタイプもあると考える。星周物質が原因でTPDが見られる系の代表は、U CepとRW Tauである。一方で、U CrB, HU Tauの場合は、TPDの原因は振動にあると思われる (AI Dra, XZ Andも可能性がある)。RZ CasとTV Casは、光度曲線に(主星からの光を吸収したり、逆に余分な光を放射する)星周物質の影響を受けている非対称性が見られることがあるので、ハイブリッド型であろう (R CMaもその可能性がある)。筆者らが提唱する TPD の分類を図6に示す。

ところで、今回新たに振動の兆候が伺える系を HR 図上にプロットすると、U CrB と HU Tau は SPB の領域に位置している (図 7)。ところが、その振動周期は SPB のそれ (数日程度) よりずっと短い。また TV Cas, AI Dra, XZ And は、SPB とセファイド不安定帶青側境界の間に位置している。この領域には、かつてから MAIA 型とよばれる変光星のタイプが存在するという主張があったが (例えば、Kallinger et al. 2004)、最近 Kepler の観測データから確かに同領域には変光星が存在していることが判明した (例えば、Balona et al. 2016)。また、Liakos & Niarchos (2016) の 199 系のサンプルのうち 15% もが、境界より高温度側に位置していることを彼らも指摘している。これらも含め U CrB, HU Tau などは、MAIA 型星の可能性があると筆者らは考えている。

今後、さらに多くの系に対して今回と同様の調査を行うことで、振動と TPD の関連や振動の種類などについてより詳細な考察が可能となるであろう。

本研究を行うにあたり、大島 修氏と故森本雅樹氏には貴重な助言をいただいた。御礼を申し上げたく、謝辞にかえさせていただく。

＜参考文献＞

- Balona et al. 2016 MNRAS 460, 1318
Gamarova et al. 2003 ASPC 292, 369
Kallinger et al. 2004 in IAU Symposium, Vol 224, The A-star Puzzle, pp.848-852
Liakos & Niarchos 2016 arXiv:1611.00200
Narusawa et al. 1994 AJ 107, 1141
Ohshima et al. 2001 AJ, 122, 418
Olson 1982 ApJ, 259, 702
Rodriguez et al. 2004 MNRAS 347, 1317
赤澤秀彦 2016 private communication
鳴沢・中村 2014 連星系・変光星・低温度星研究会集録 p.123

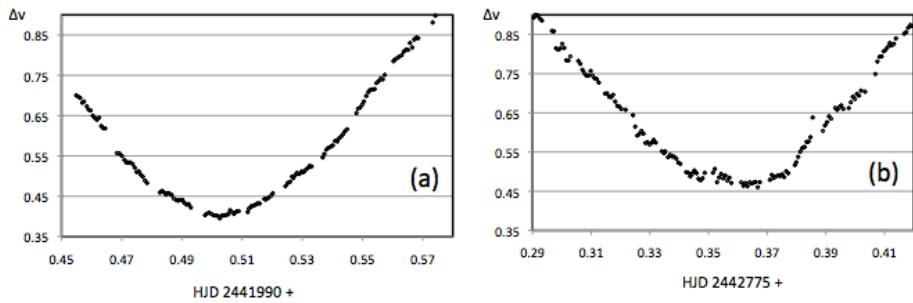


図1：TV Cas の主極小時光度曲線の一例。Tremko & Bakos 1977 BAICz 28, 41 による観測。

(a):本来の部分食タイプ。 (b)：平底が出現したケース。平底継続時間は 47 分

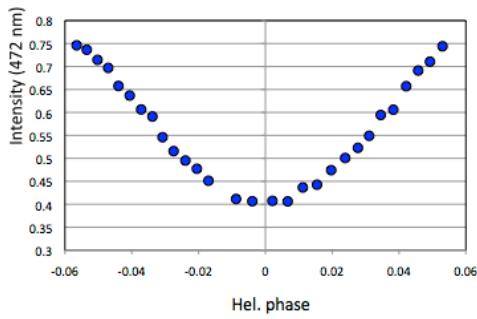


図2：TV Cas の平底の別の例。継続時間 43 分。

de Landtsheer 1983 AApSS 52, 213 による観測

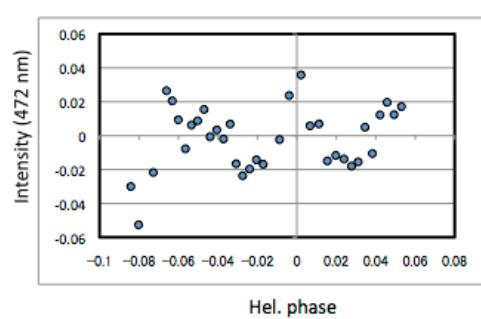


図3：左の差分光度曲線。周期約 2.5 時間

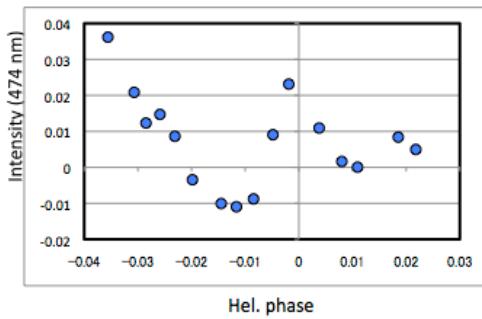


図4：U CrB の差分光度曲線。継続時間は約 2.5 時間

元データは van Gent 1987 AApSS 77, 471。

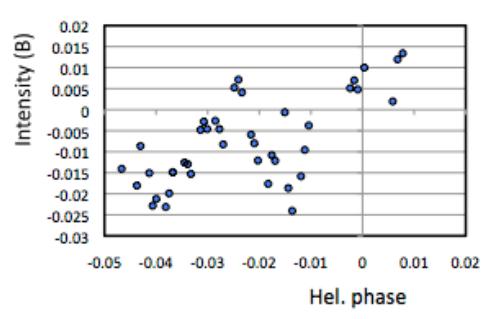


図5：HU Tau の差分光度曲線。周期約 1.4 時間

元データは、伊藤芳春氏提供

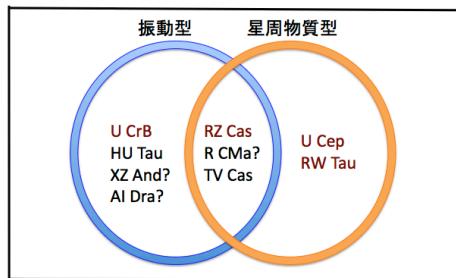


図6：筆者らが提案する TPD の新分類

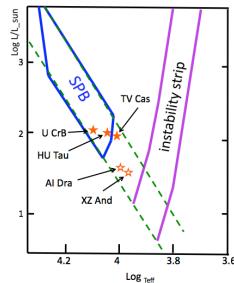


図7：本研究にて振動が疑われる系の HR 図上の位置