

食連星系IK Virの 非動径振動について

大島 修・赤澤秀彦

岡山理科大

(加計学園)

2017/9/16

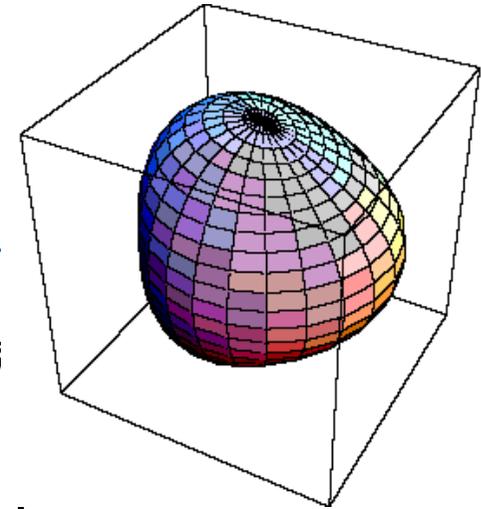
連星系変光星低温度星研究会
2017@名寄

概要

- 非動径振動発見の経緯
- IK Virの観測
- 食連星系の周期と暦
- 多重周期の検出
- 食による位相シフトが顕著
- 食連星系のパラメータを決定して、食マッピングによるモード同定へ
- 比較星はセファイド(δ Cep) ?

連星系の δ Sct 星

- Eclipsing Binaries with Pulsating Component の一つ
- Ohshima et al.(1998), [Ohshima et al.\(2001\)](#) 以来、集中的に観測が進む。
「これまでアルゴル型で測光精度が良くないと思われていたが実はこのタイプで説明がつく系がいっぱいあるのではないか (伊藤芳春)
- "oEA" (oscillating eclipsing binaries of Algol type) Mkrtychian et al.(2002)
- このテーマで[国際会議が開かれた](#)(2004)
- 199(87) binary systems at least one pulsating component of delta Sct type stars in binaries.
"Catalogue and Properties of δ Sct Stars in Binaries"
Liakos & Niarchos(2017)



連星系の δ Sct (oEA) 研究の意義

- 単独の δ Sct 星の研究だけでは得られない精度の良い、星の物理パラメータ (絶対量)
- 単独の δ Sct 星とアルゴル系の δ Sct 星は、違いがあるのか？
 - 伴星からの質量移動 (半分離型)
 - 潮汐力による変形脈動パラメータや進化は異なってよいのでは

赤澤によるIK Virの振動現象の 発見とその後の経緯

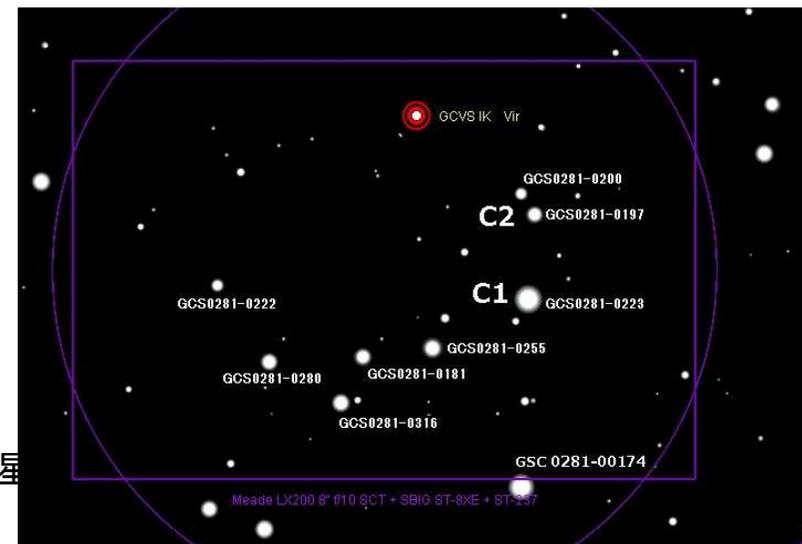
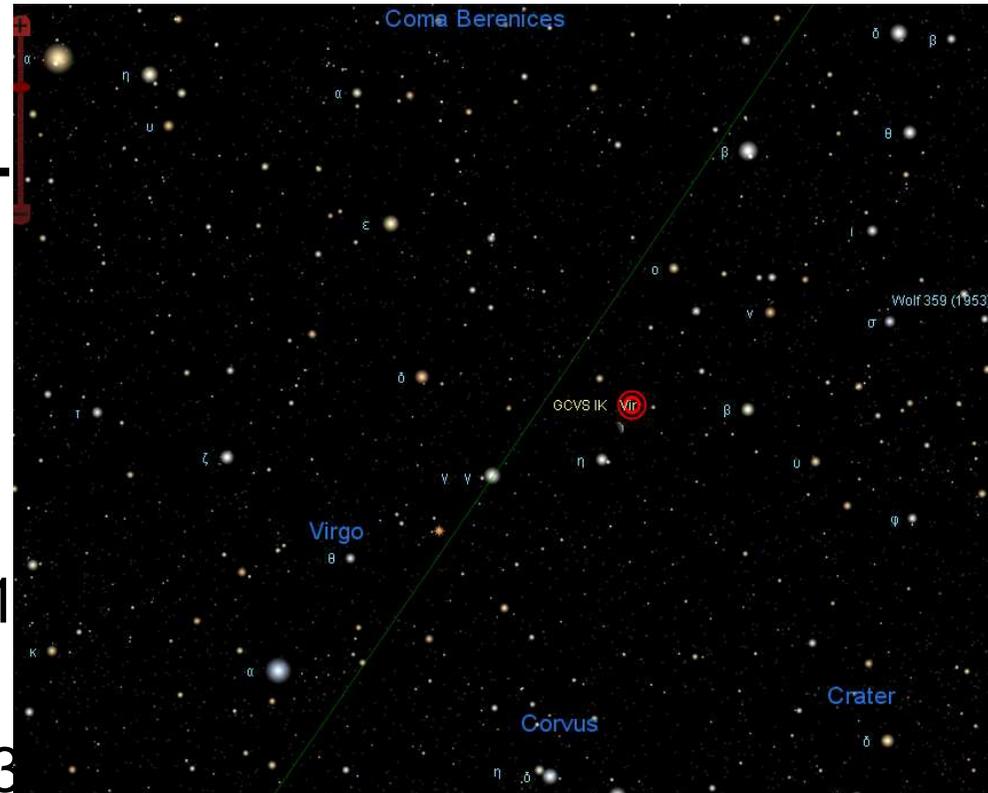
- 2015年春に、赤澤が進めている「[手当たりの次第の食連星観測](#)」で短周期変光に気づく。
- FR Oriの苦い経験から天体名を伏せて観測をすすめる。(Vバンドのみ)
- 2017年1月「共著でIBVSへ発表して欲しい」と依頼あり。
- 2017年の観測をBVRcバンドで開始。
- 2015年のデータの解析を行い6月末にIBVSへ投稿。
- 改訂版が7月下旬に受理され、No.6210として出版予定という連絡あり(最近No.6210まで出版されたが、)。
- ここでは、その内容(2015年データ)を中心に、2017年の観測にも触れる。

おとめ座IK星

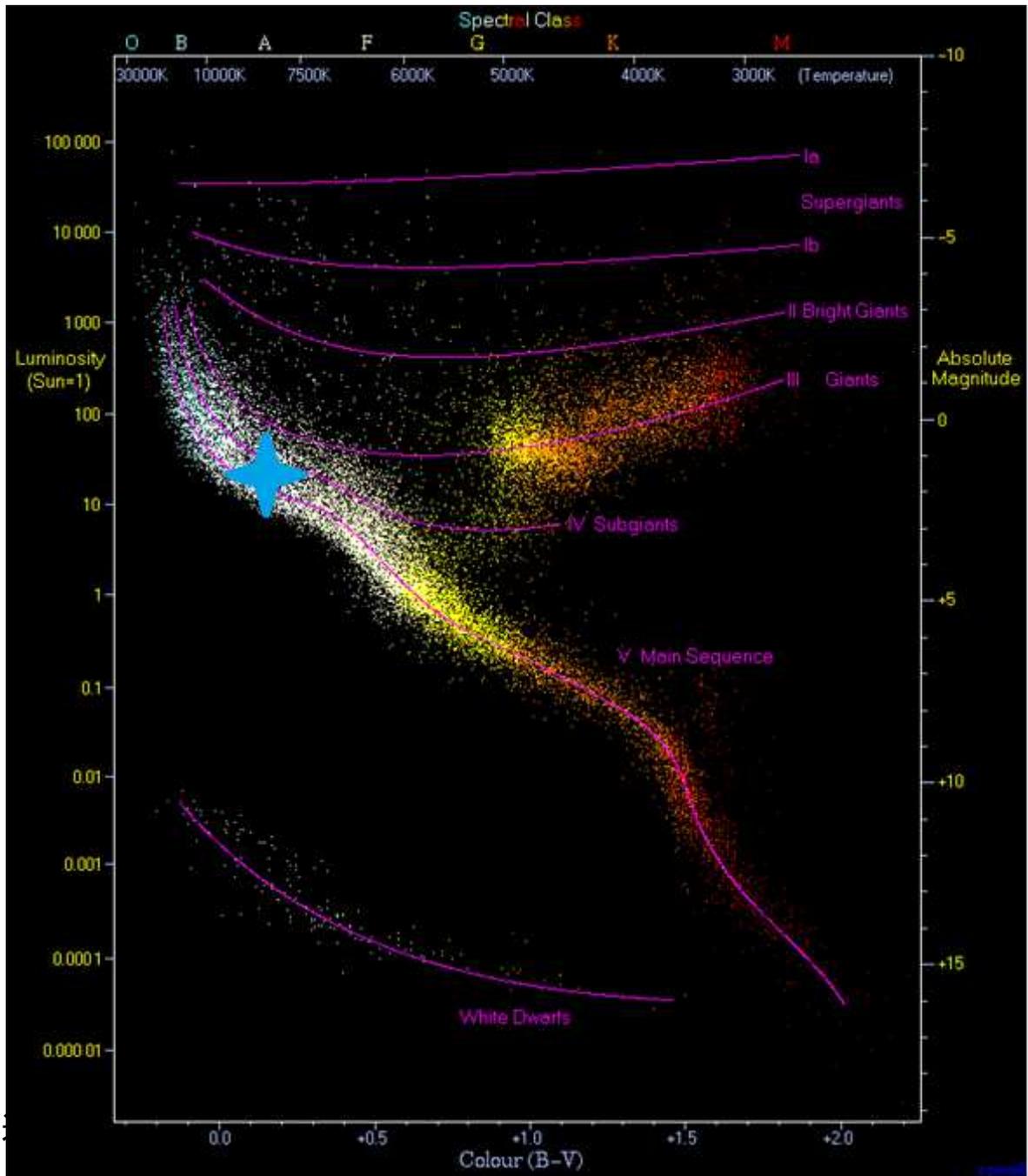
- $V=11.54$, $B-V=0.03$
- Sp:A6
- Parallax:1.24mas
($M_v=2.01$ 、伴星の寄与は小→晩期型)
- 食連星としての発見は1991年Velichkoらによる.
- Name Listへの登録は1993年 "EA:"
- 周期 0.74day
- 光度曲線は解析されていない。連星系パラメータは未決定。

2017/9/16

連星系変光星低温度星
2017@名寄



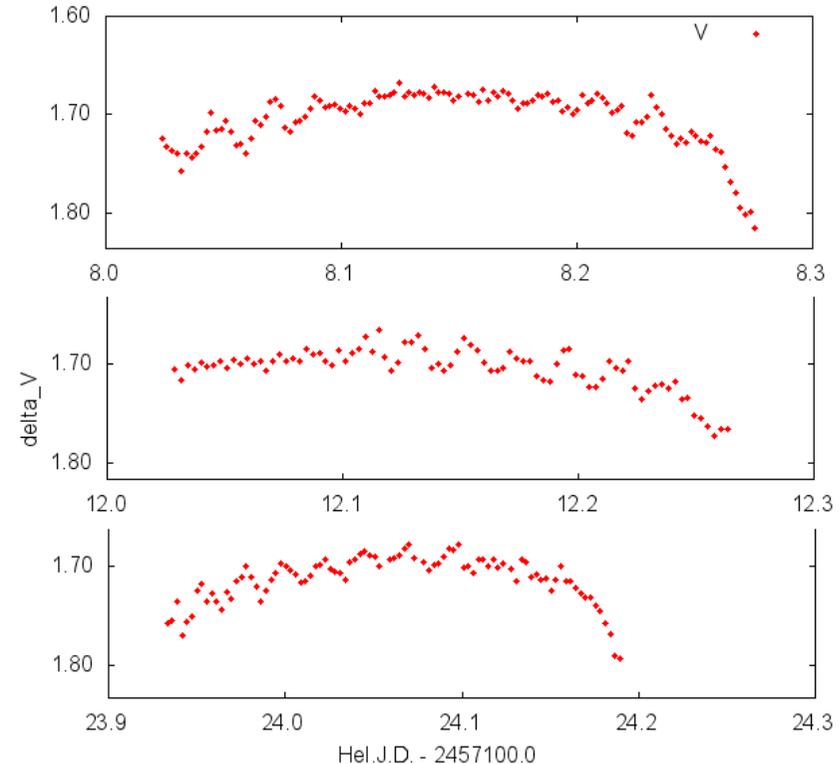
- 合成等級は、
A型主系列星



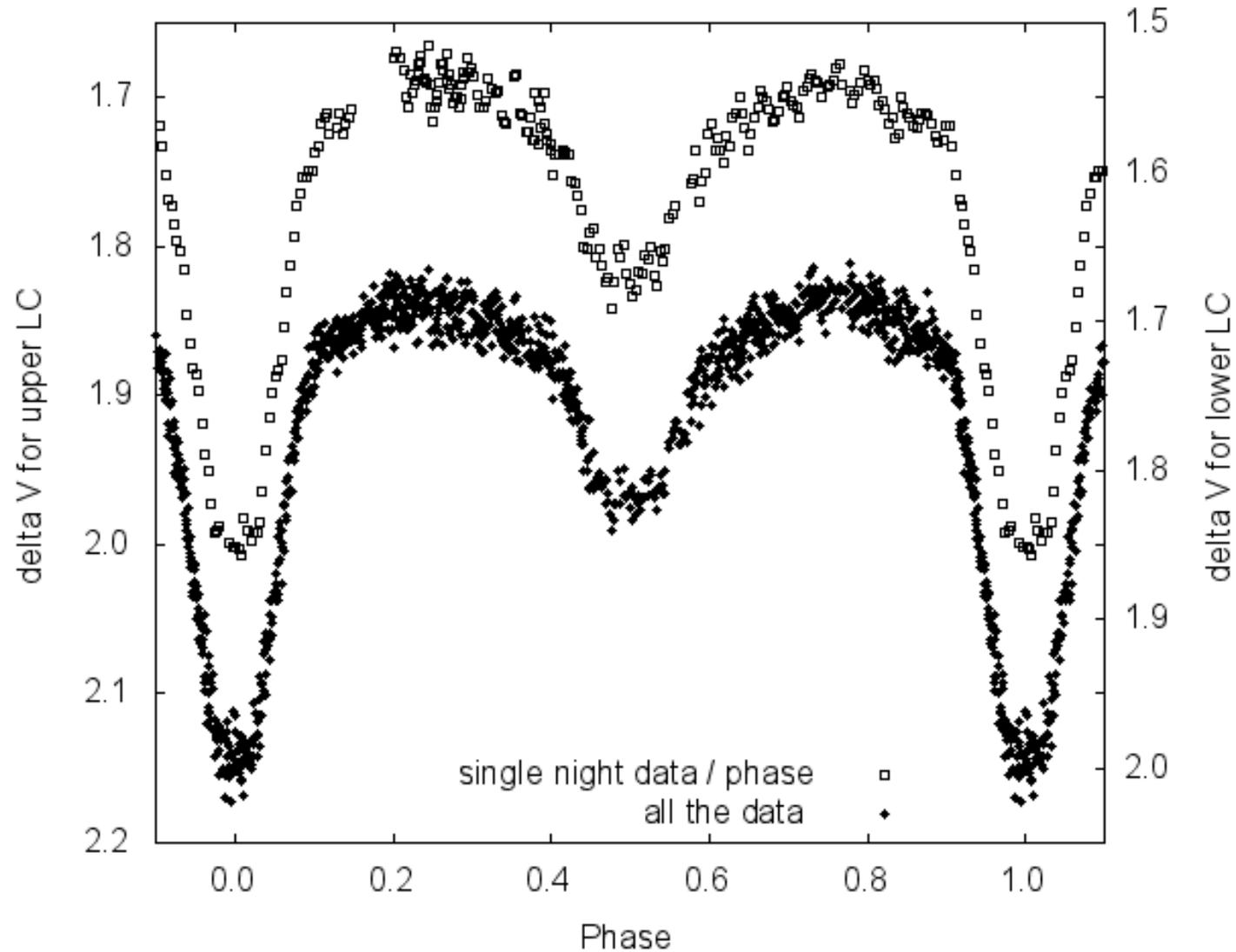
2017/9/16

2015年の観測

- 望遠鏡28cm SC @赤澤船穂観測所
- CCDカメラ Moravian G2-1600
- V-band, 180sec
- 比較星 BD+02 2522 = GSC 0281-00223
- 短周期振動現象とうなり現象(半周期~0.3d)が見られる



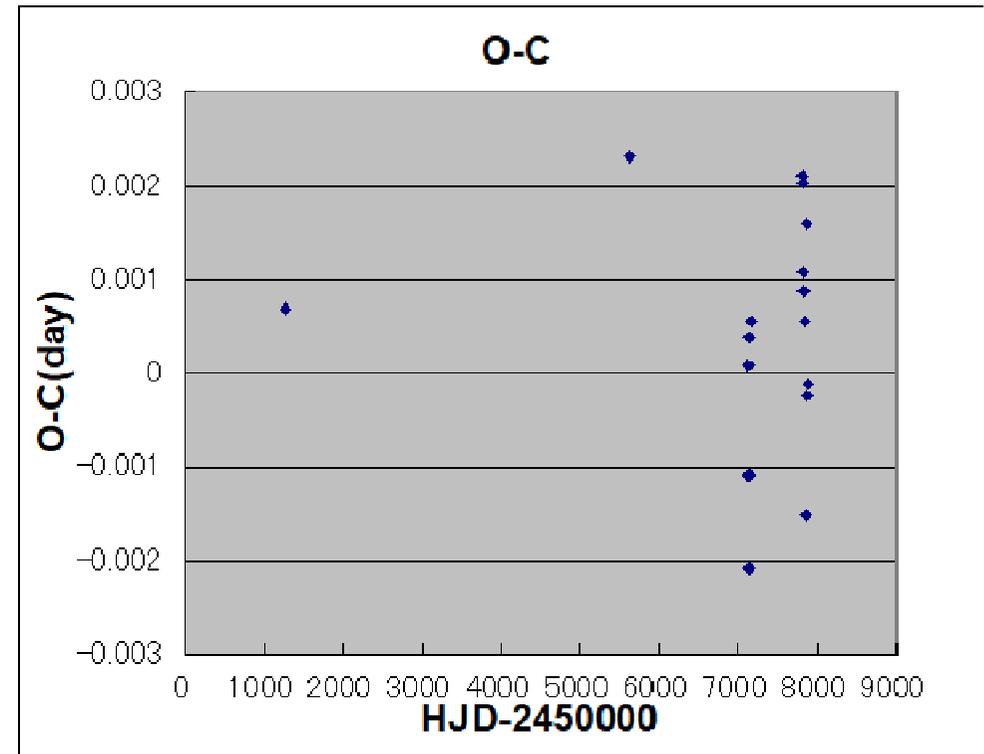
全位相に渡る光度曲線 (2015年V-band)



2017/9/1

周期と暦の決定

- Akazawa以前は、
Velichko(1991)と
Masek(2011)の2点
- $\text{MinI}=2451275.36431$
 $42+0.7236022 * E$



予定していた解析手法

1. 食外データから非動径振動成分を抽出し
2. 光度曲線から、非動径振動成分を差し引く
3. 残差から、食連星系のパラメータを決定
4. 元の観測データから食連星系の理論光度曲線を差し引く
5. 全位相に渡る非動径振動の光度曲線が得られる
6. 非動径振動について詳しく調べる

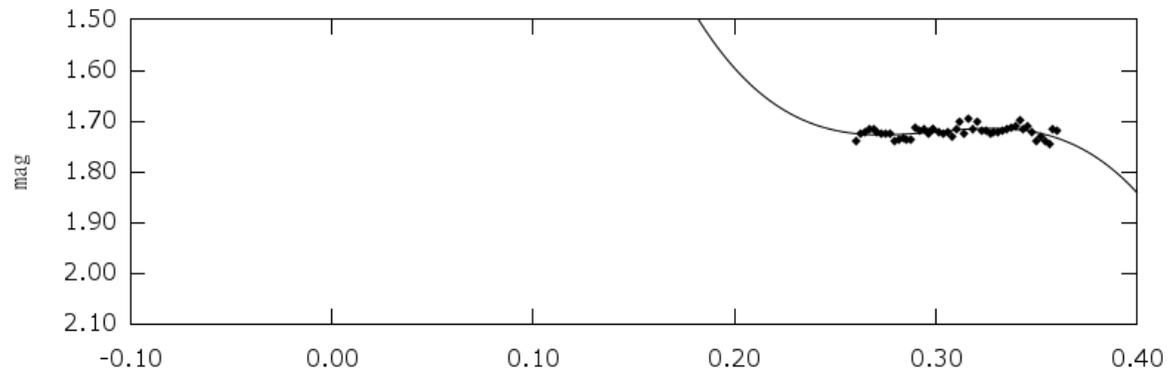
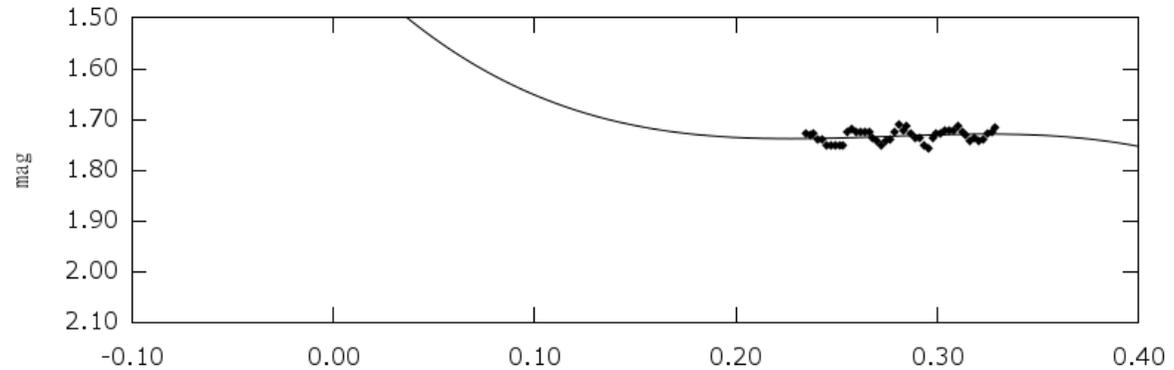
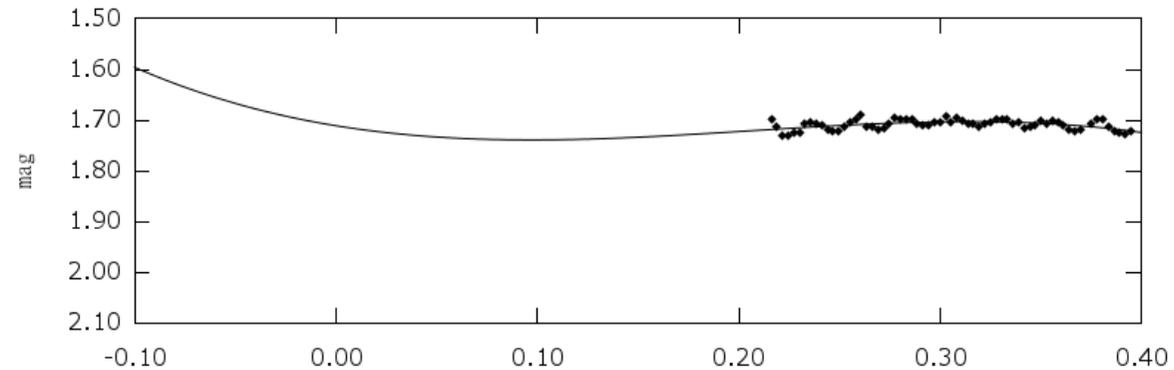
非動径振動の解析手順

1. 1晩の観測データの位相を調べ
2. 主極小を挟む位相 ± 0.2 以外で、滑らかに近似できそうな光度曲線を選び
3. 3次曲線でフィッティングし、その残差を短周期変動成分として抽出
4. その短周期成分をPeriod04で解析

$$\sum_i A_i \sin(2\pi(\omega_i t + \phi_i))$$

3次式によるフィッティングの例

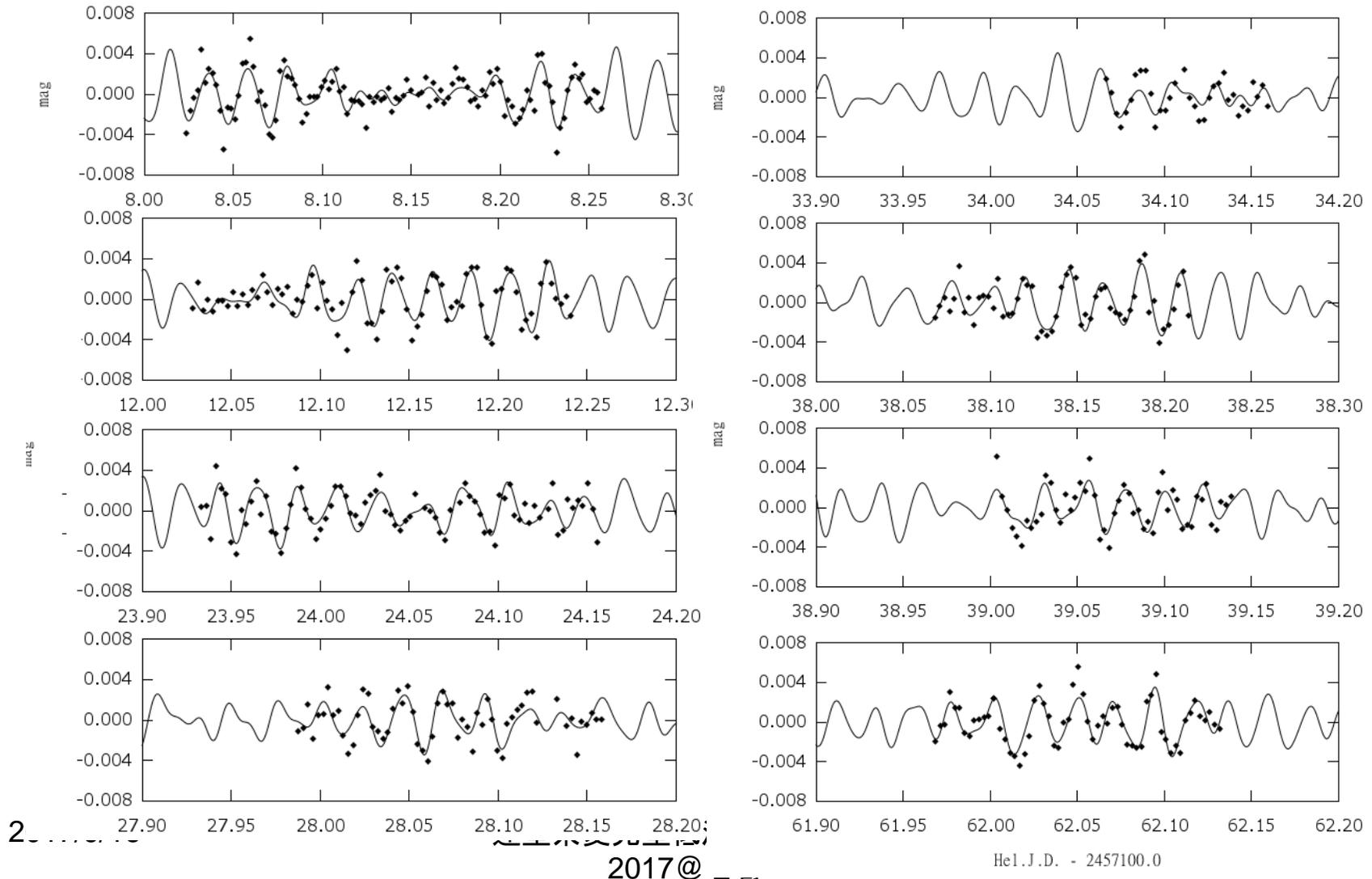
1晩ごとの食外
データは、
3次式でうまく
フィットできる



2017/9/16

得られた振動数と観測との比較

- 9個の振動数を合成



Period04による解析から 得られた多重振動

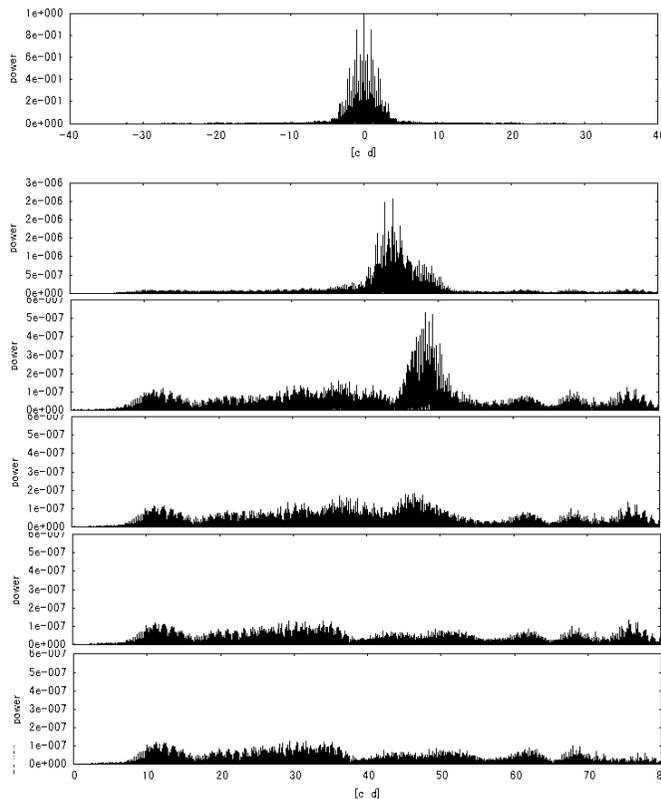
その短周期成分をPeriod04 (Lenz and Berger, 2005)で解析

$$\sum A_i \sin(2\pi(\varpi_i t + \phi_i))$$

#	frequenc	amplitude
F1	43.87960	0.00167
F2	48.22544	0.00074
F3	46.69045	0.00049
F4	38.87607	0.00041
F5	75.70104	0.00037
F6	29.40399	0.00044
F7	32.85924	0.00039
F8	12.56633	0.00034
F9	24.52729	0.00032

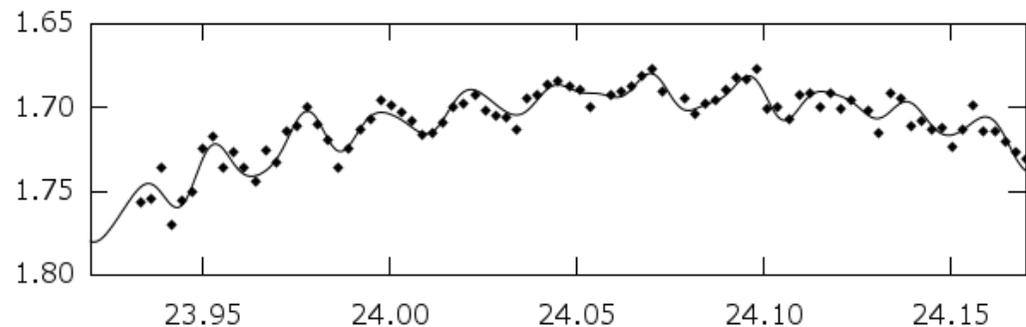
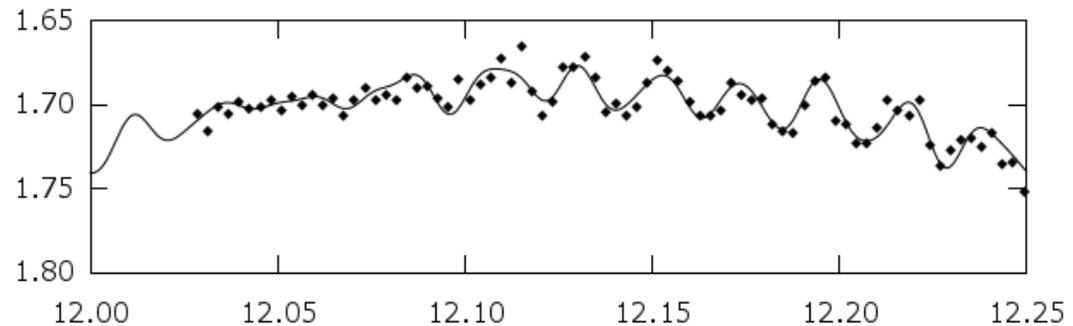
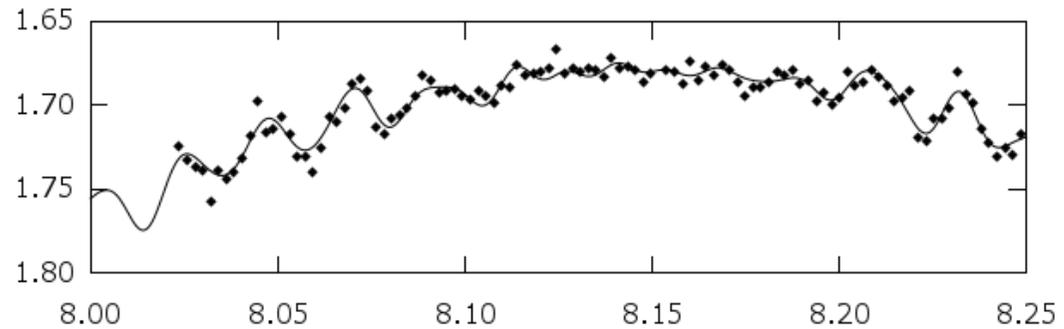


この2つの振動数の差は1.53であり、ビート現象を生じさせている



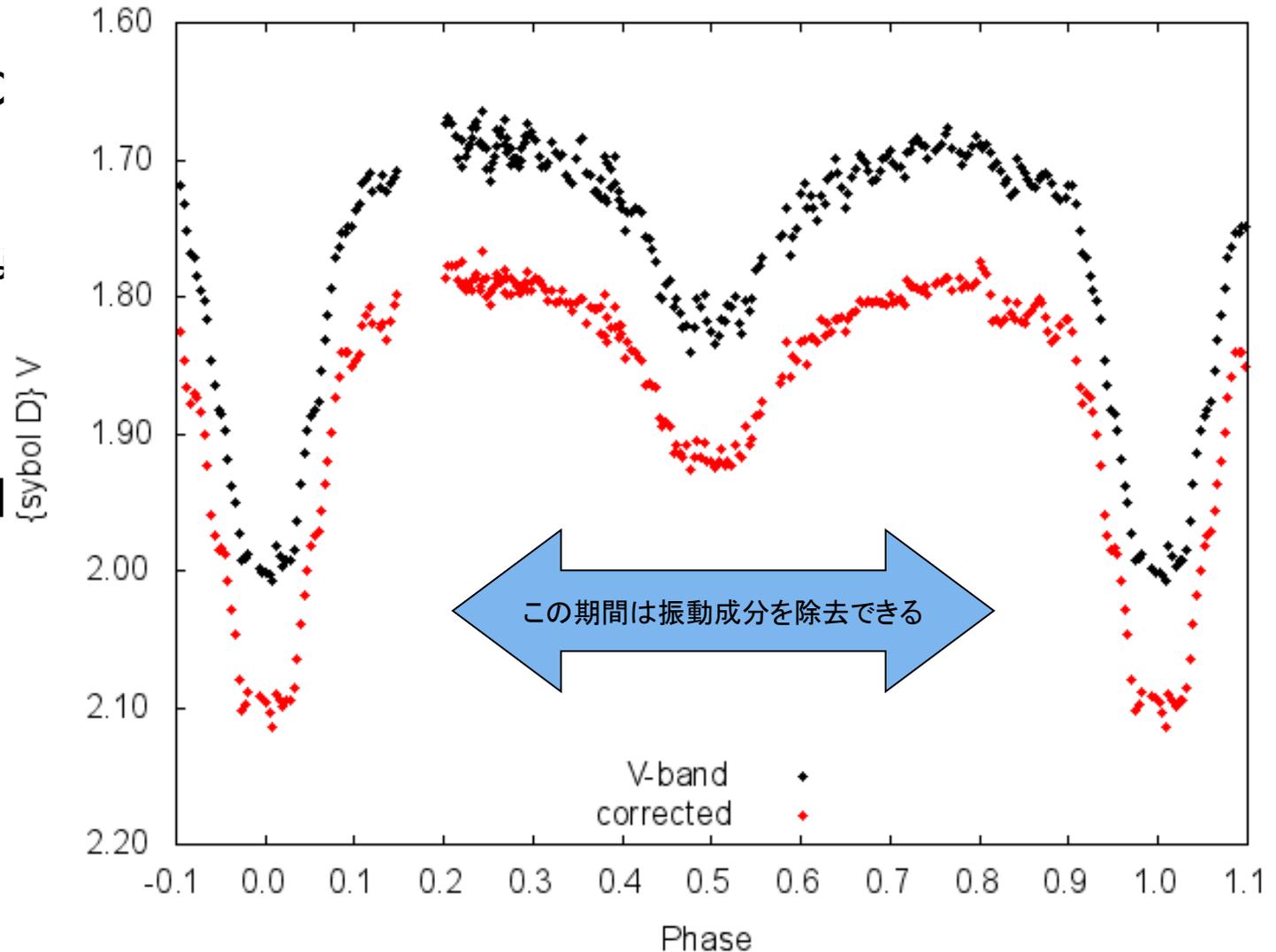
食外の観測データのフィット

- 1晩の傾向をフィットする3次式
- 短周期変光から解析して得られた多重周期
- 両者を合成すると観測を再現できる

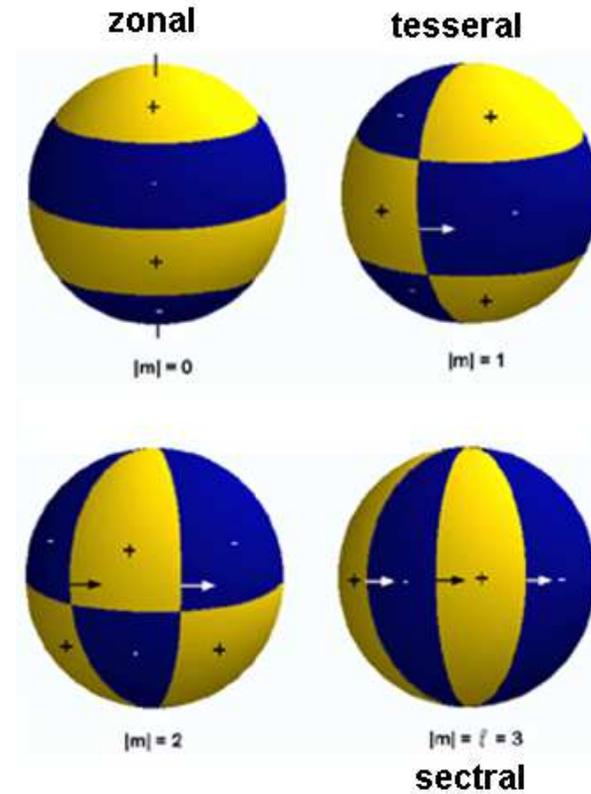
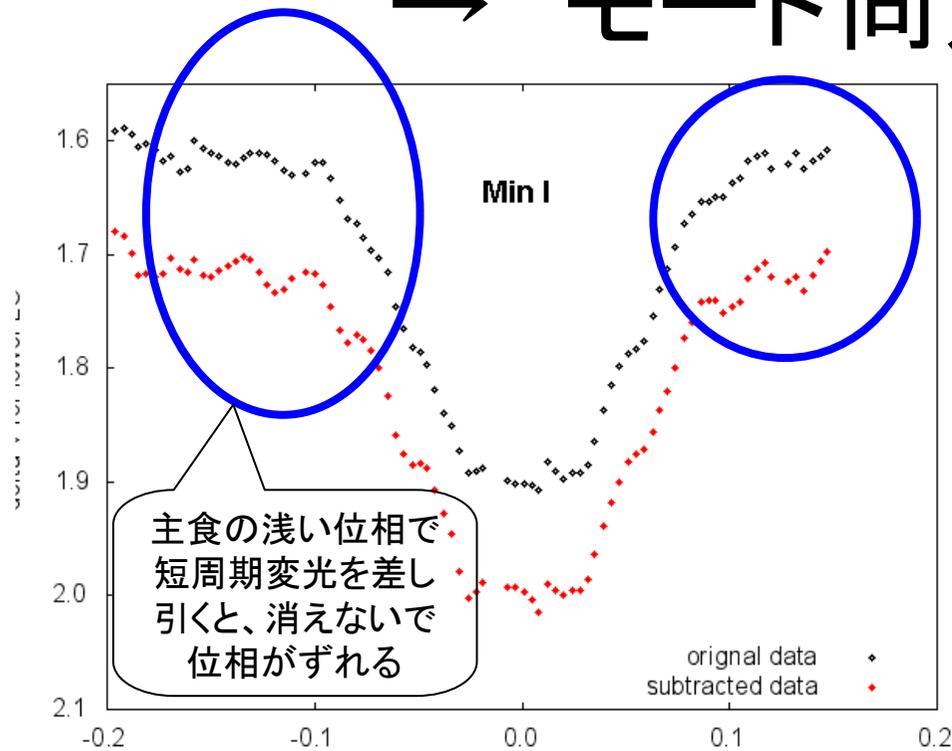


非動径振動を取り除く

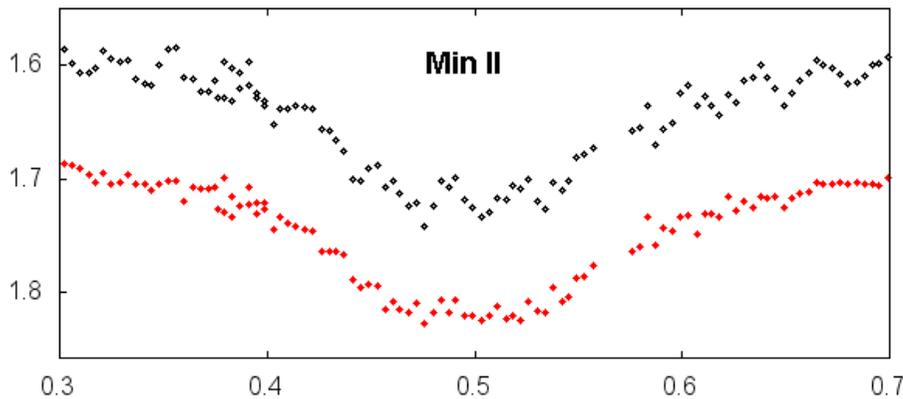
- 位相0.2~0.8の間は、ほぼ、純粋な食連星系の光度曲線になる(皆既食か)
- 主極小を含む ± 0.2 の間は、返って振動が目立つようになり
- さらに、振動の位相がずれる



主食が進行すると位相シフトを生じる → モード同定の手がかり



IK Virは、sectral modeが卓越しているか

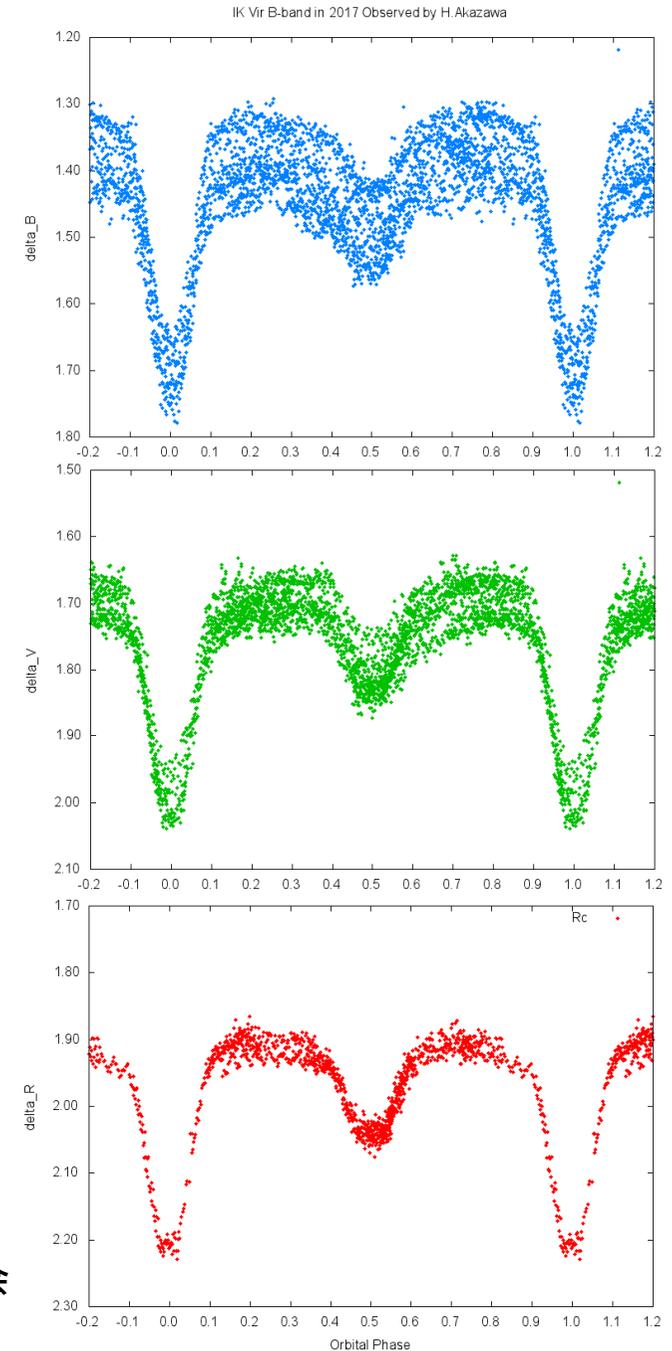


2017年の観測

- BVRcバンドによる測光観測
→非動径振動による短周期変光を差し引く
→光度曲線解析により食連星系のパラメータ決定（ここま
でを2017年の観測データで
行う予定であった）
- Biro and Nuspl(2011)による
eclipse mappingを用いた
モード同定法を適用してみた
い。
- しかし、右図のように比較星
が変光していることが確定。

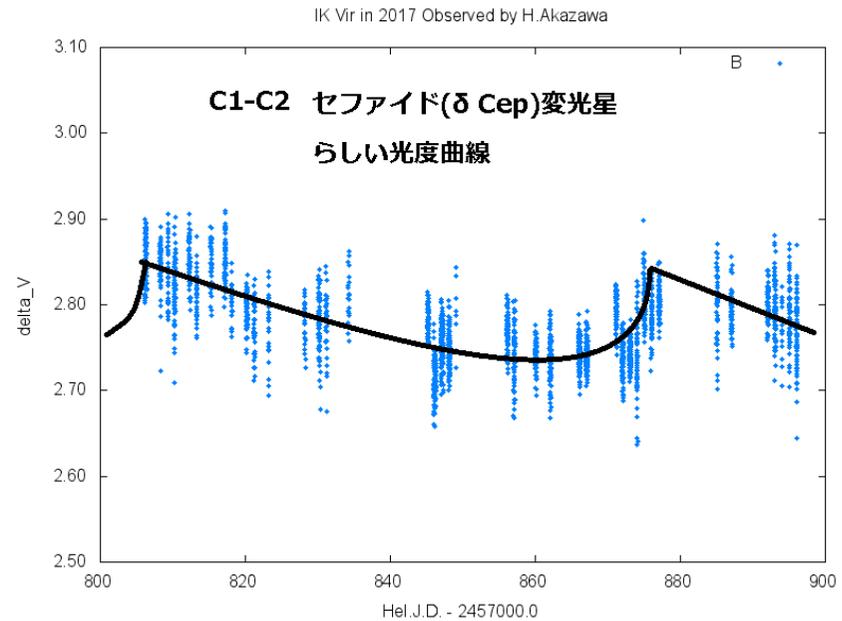
2017/9/16

連星系変光星低温度星研究会
2017@名寄



比較星はセファイドか？

- B-bandで最も変光幅が大きい
- Sp.:F8
- V 9.84, B-V= +0.46
- gaiaデータベースによれば視差は、 $5.03 \pm [0.36 \text{ mas}]$
→ $M_v = -6.65$
光度階級 Ia~Ib
- 単一星だとするとかなり進化した星で、HR図上では、R CrB または $\delta \text{ Cep}$ に近い
- 光度曲線もセファイドらしい形



セファイドの周期光度関係

$$M_v = - [2.76 (\log_{10}(P) - 1.0)] - 4.16$$

(Ferrarese et al.(1996), ApJ.464.568)

- P=70とすると、 $M_v=-6.49$ 。視差からの見積もりとほぼ一致
- ただ、変光幅が約0.1等と小さいのは、どのような意味があるのか

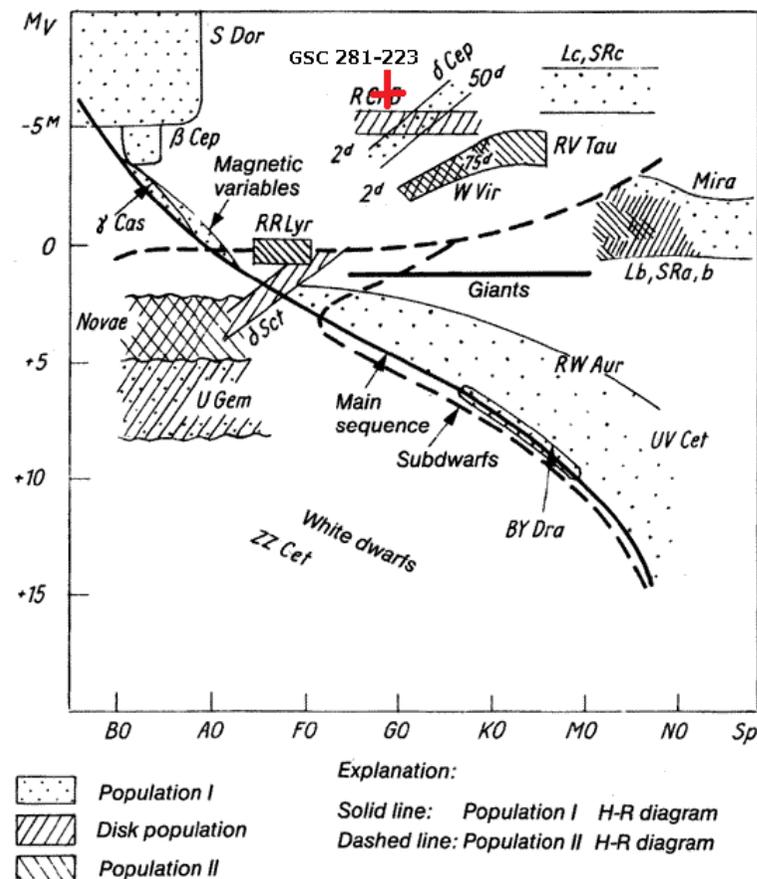


Fig. 163. The position of various classes of variable stars on the Hertzsprung-Russell diagram

今後

- 比較星を変更して2017年のBVR_cデータの再測定を行う。

ただし、明るい比較星がない

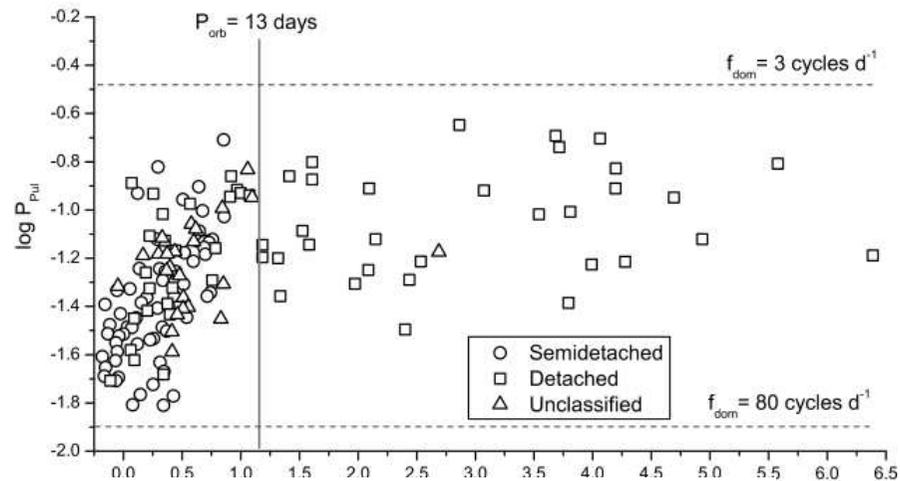
→やや暗い星4,5個の合成フラックスを比較星と見做す「アンサンブル測光」

- Phoebeによる光度曲線解析から連星系パラメータの決定
- 食マッピングによる非動径振動のモード同定へ

振動周期と軌道周期の関係(1)

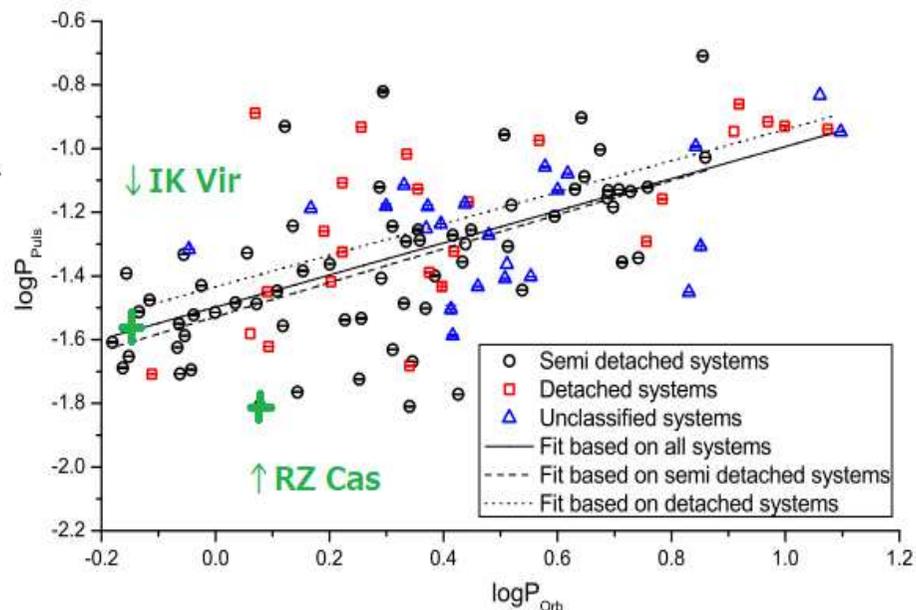
- 観測では

Catalogue and Properties of δ Sct Stars in Binaries
(Liakos&Niarchos 2017) より



$$\log P_{\text{pul}} = -1.53(3) + 0.54(8) \log P_{\text{orb}}, \text{ with } r = 0.62$$

相関係数はあまり良くないが、
軌道周期13日以下では、ある程度
の相関はありそう。



振動周期と軌道周期の関係(2)

- 理論的には, Zhang(2013)による

Keplerの法則

$$P_{orb}^2 = \frac{4\pi^2 A^3}{GM_1(1+q)} \quad (1)$$

A : 星間距離, q : 質量比(M_2/M_1)

Rochelobeの有効半径は $R_{crl} = r_{crl} A$

ここで r_{crl} は、Eggleton(1983)の近似式

$$r_{crl} = \frac{0.49q^{-2/3}}{0.6q^{-2/3} + \ln(1+q^{-1/3})} \quad (2)$$

また、主星(振動星)の半径 R_1 は、充填係数を f_1 とすると、 $R_1 = f_1 r_{crl} A$ と書ける。

星の平均密度は、

$$\rho_1 / \rho_{sun} = \frac{4\pi^2}{Gf_1^{3/2} r_{crl}^{3/2} (1+q) P_{orb}^2} \quad (3)$$

脈動定数 $Q = P_{pul} (\rho / \rho_{sun})^{1/2}$ を適用すると次のような脈動と軌道周期の関係式を得る。

$$P_{pul} = \frac{G^{1/2}}{2\pi} Q f_1^{3/2} r_{crl}^{3/2} (1+q)^{1/2} P_{orb} \quad (4)$$

パラメータ P_{orb} , P_{pul} , Q の単位を日に、質量と半径を太陽単位にとると(4)式の対数をとると、

$$\log P_{pul} = \log \alpha + \log P_{orb} \quad (5)$$

ここで、 α は連星系ごとの定数になり

$$\alpha = \frac{Q}{0.116} f_1^{3/2} r_{crl}^{3/2} (1+q)^{1/2} \quad (6)$$

例 RZ Casでは

(5)式 $\log P_{pul} = \log \alpha + \log P_{orb}$

$$\alpha = \frac{Q}{0.116} f_1^{3/2} r_{crl}^{3/2} (1+q)^{1/2}$$

にRZ Casのパラメータを代入すると

左辺の値は、 -1.81

右辺の値は、 -1.75

となる。

「手当たりの次第の食連星観測」

赤澤によると以下の方針で、観測星を選んでいる

- 永井リスト(Webページ上の食連星の食の予報)を使う。
 - 自分の未観測の対象から
 - その観測日に食が観測できる対象を選び
 - 比較的周期が短い対象を選ぶ。
(これは、全位相のライトカーブを得るのが目的なので。)
 - その中で、EAタイプは優先的にという気持ちで(δ Sctが多いようなので)

連星の振動分野で国際会議が開かれた

TIDAL EVOLUTION AND OSCILLATIONS IN BINARY STARS THIRD GRANADA WORKSHOP ON STELLAR STRUCTURE

Proceedings of a workshop held in
Granada, Spain
26-28 May 2004

6. The group of *oEA* stars

In recent years, the interest in mass-accreting pulsators in Algol-type eclipsing binaries (*oEA* stars) has been increased thanks to results of collaborative survey for pulsating components (Mkrtichian et al. 2002a, Kim et al. 2003). The *oEA* stars lie in the instability strip and show all the pulsation characteristics relevant to δ Scuti stars but have another evolutionary status. Remarkable peculiarities of *oEA* stars are (1) the co-existence of pulsation and accretion; (2) the thermal imbalance caused by accretion; (3) their slow evolution along the Main Sequence. Since the last review of the *oEA* group (Mkrtichian et al. 2004) new systems with *oEA* pulsators were discovered. Table 1 lists presently known *oEA* stars and the tentative values of dominant pulsation periods.

7. RZ Cas system - abrupt changes of the pulsation spectrum

The short-term changes in the light curve of bright ($V=6.26$ mag) Algol-type eclipsing binary system RZ Cas have already reported by some authors, but Ohshima et al. (1998, 2001) were the first who found and correctly interpreted the rapid 22.4 min oscillations in the primary A3V component as pulsations.

Mkrtichian D.E.

Astrophysical Research Center for the Structure and Evolution of the Cosmos(ARCSEC), Sejong University, Seoul 143-747, Korea

Rodríguez E.

Instituto de Astrofísica de Andalucía, CSIC, PO Box 3004, E-18080 Granada, Spain

Olson E. C.

Department of Astronomy, University of Illinois, 1002 West Green Street, Urbana, IL 61801-3074, USA

Kusakin A. V.

Sternberg State Astronomical Institute, Universitetsky prospect, 13, Moscow, 119899, Russia

Table 1. The list of spectral classes, orbital and the dominant pulsation periods of *oEA* stars. References are given for pulsation periods.

Name	Sp (Pr. + Sec.)	P_{orb} (days)	P_{puls} (min)	References
Y Cam	A7 V+K1 IV	3.3055	95.74	Kim et al. (2002)
AB Cas	A3 V+K0 IV	1.3669	83.93	Rodríguez et al. (2004b)
RZ Cas	A3 V+K0 IV	1.1953	22.43	Lehmann & Mkrtichian (2004)
R CMa	F1 V+K2 IV	1.1359	68.5	Mkrtichian & Gamarova (2004)
V469 Cyg	A+	1.3125	40	Caton (2004)
AS Eri	A3 V+K0 III	2.6642	24.39	Mkrtichian et al. (2004a)
TZ Eri	A5 V+K0 IV	2.6060	76.9	Mkrtichian et al. (2004b)
TZ Dra	A7 V+	0.8660	28	Mkrtichian et al. (2004c)
TW Dra	A6 V+K0 IV	2.8069	80	Kusakin et al. (2001)
CT Her	A3 V+	1.7863	27	Kim et al. (2004a)
EF Her	F0+KIV	4.7291	145	Kim et al. (2004a)
TU Her	A5 V+	2.2671	≈80	Lampens et al. (2004)
RX Hya	A8 V+K5	2.2816	74.26	Kim et al. (2003)
AB Per	A5 V+G9 IV	7.16028	282.02	Kim et al. (2003)
AO Ser	A2 V+G5 IV	0.8793	70	Kim et al. (2004b)