

変光星観測者会議 2019 集録



2019年6月8-9日 於 明治大学生田校舎

2019 変光星観測者会議

場所 明治大学生田キャンパス 第2校舎 5号館 5203教室(小田急線生田駅)

6月8日

13:00 開会・自己紹介・近況報告

14:00 研究発表

RX Hya, UY Vir の分光測光観測 永井和男

14:30 連星勉強会活動報告 永井和男

14:50 多重連星 GSC03807-00759 の観測と解析 赤澤秀彦

15:20 休憩

15:30 新変光星を探して見つけて VSX に登録 笠井潔

16:00 講演

若い星の周辺構造と惑星の形 武藤恭之

17:00 1日目終了

18:00 懇親会

6月9日

9:30 変光星この1年 前原浩之

10:00 研究発表

6cm 望遠鏡による CCD 測光と極小時刻 伊藤芳春

10:30 座談会・情報交換

12:30 終了

RX Hya, UY Virの分光測光観測

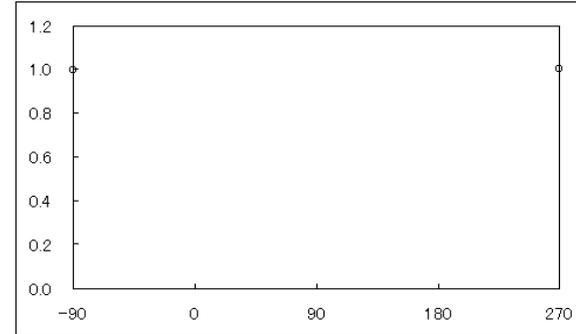
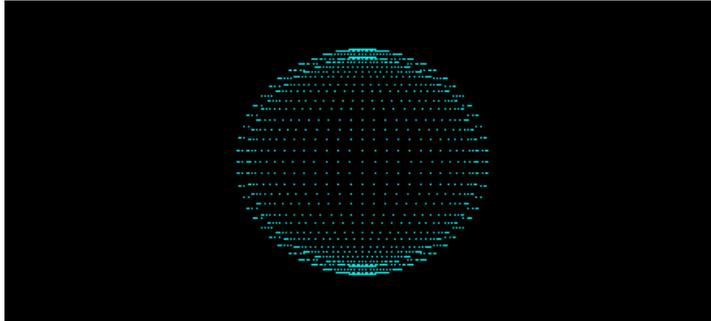
変光星観測者会議 8-9/Jun/2019

VSOLJ 永井和男

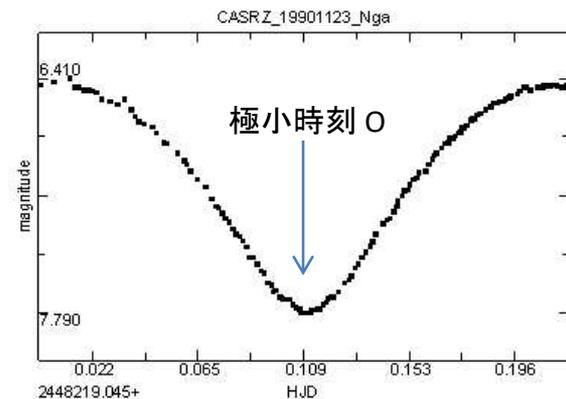
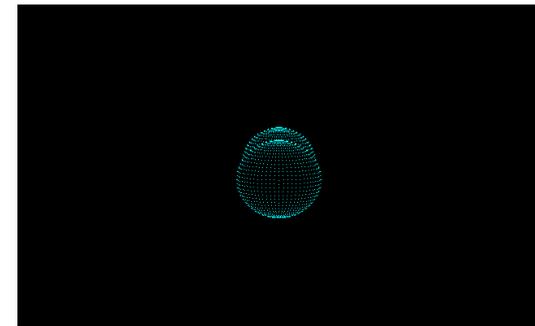
明治大学 生田キャンパス

第2校舎 5号館 5203教室

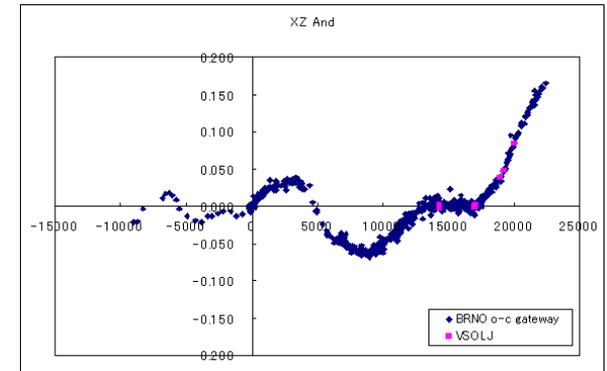
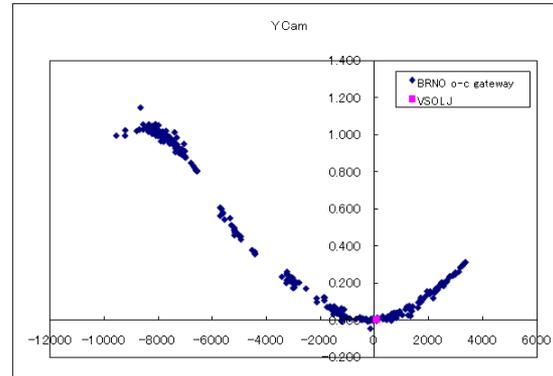
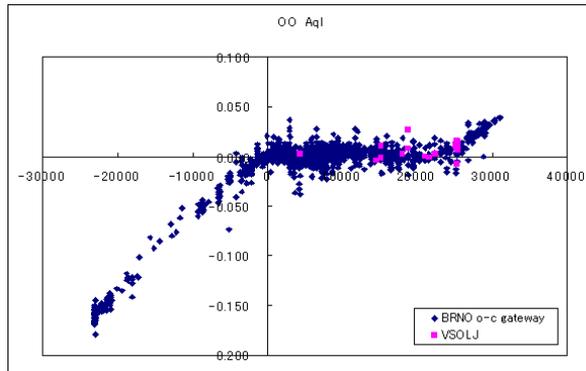
連星の公転周期



- 連星は規則正しく公転しています
- 軌道が視線と重なっている連星は食を起こします
- これを食連星(食変光星)と言っています
- 食の時刻は予報できます
- $$\text{min} = E0 + P \times E = \text{元期} + \text{周期} \times \text{周期回数}$$
- 予報式で求めた極小時刻を C とします
- 観測で求めた極小時刻を O とします
- 予報と計算との差を O-C と言います
- 予報式が正しければ O-C は 0 になります



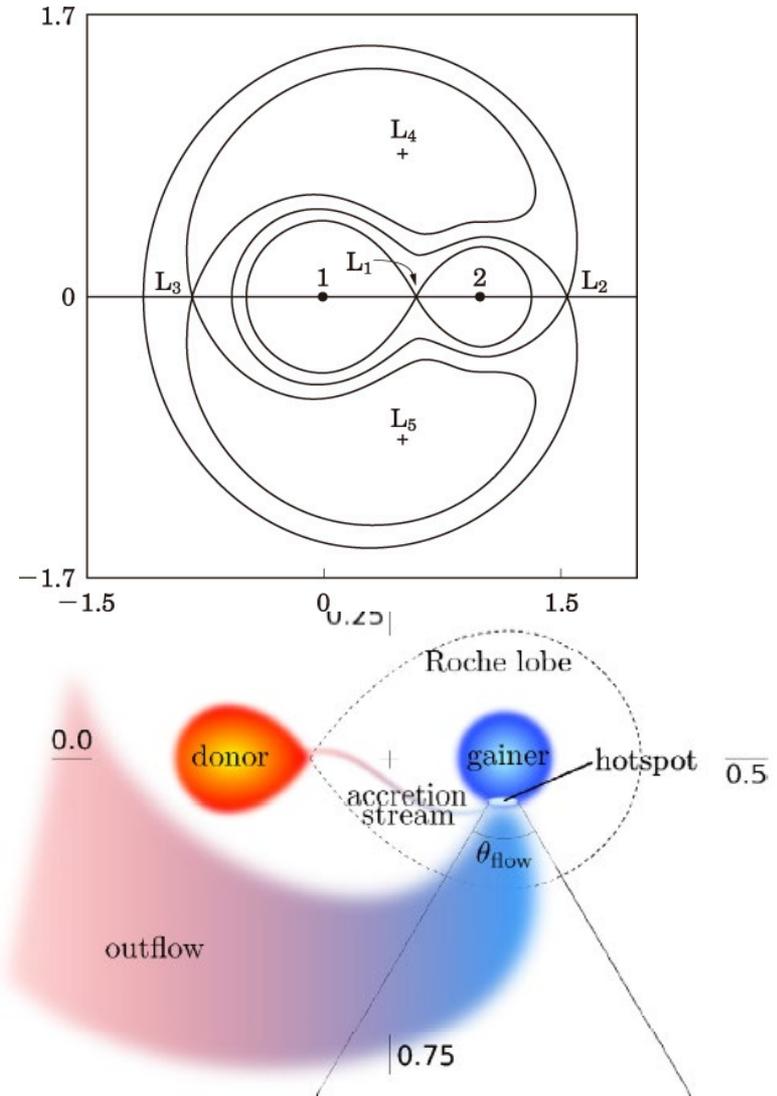
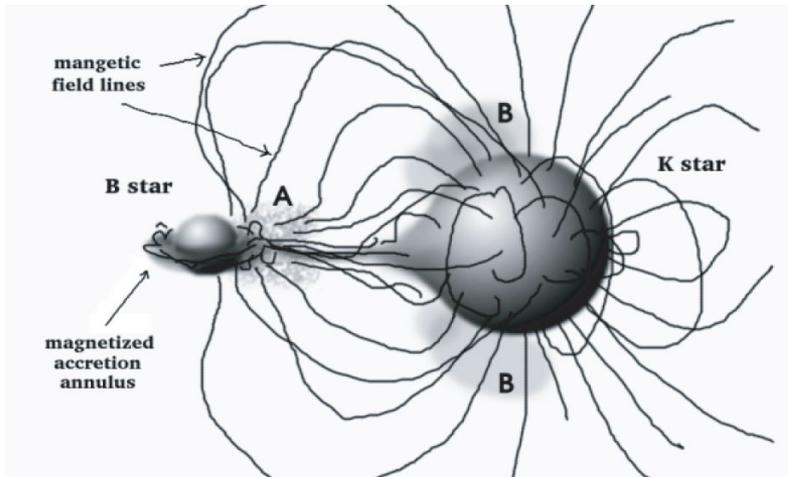
O-C曲線



- 極小予報式が正しければO-C曲線はX軸上に描かれます
- 周期変化があるとO-C曲線は折れ曲がります
- 周期が連続して変化している場合はO-C曲線は二次関数になります(質量移動)
- ところが、連星の中には不規則に周期が減ったりする物が少なくないです
- 周期変化は古くから質量移動によって説明されていました
- これでは不規則な変化の説明が難しく、のちに現れた磁場による影響で説明される事ができるようになりました(磁場ブレーキ)
- 一方、連星の中には連星誕生時より質量が大幅に減っている物が見つっています
- この不思議な現象が半分離型連星に見られています

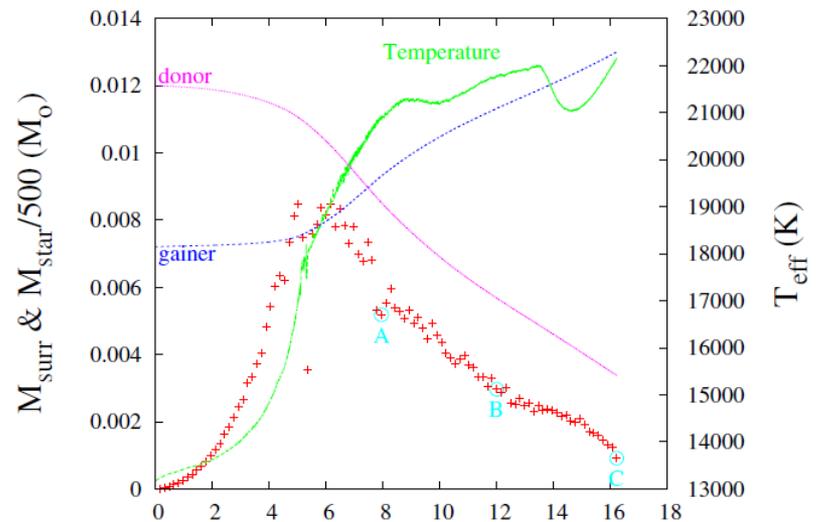
連星の周期変化

- なぜ連星は周期変化するのか？
 - 質量移動 (Lagrange point)
 - 磁場によるブレーキング
 - 黒点とX線フレア
 - ホットスポットモデル
 - ?



ホットスポットモデル

- アルゴル(半分離型連星)は進化の間に最初の総質量の15%の質量が失われている(全角運動量損失30%)
- これには、幾つかのシナリオが考えられます
 - 双極ジェット
 - エンハンスドウインド
 - ラグランジュ点からの放出
 - ホットスポット



HotSpotからの質量損失は質量比の逆転の前に最大になる

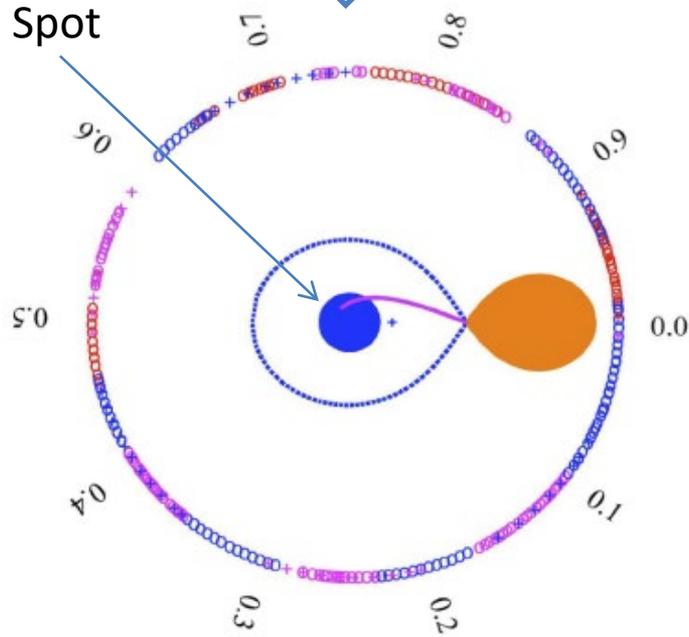
- 最初の3つで説明するには少なすぎホットスポットが有力とされています
- ロッシュ・ローブ・オーバー・フローが降着星に当たって表面を加熱し光度を上げると外へ質量を放出します
 - 観測例: Banks et al. 1990; Weiland et al. 1995; Richards & Albright 1999, in case of direct accretion on the stellar surface and Harmanec 2002; Soydugan et al. 2007 in case of accretion on the edge of a disc

ホットスポットはどこにある

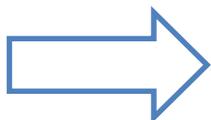
ホットスポットが見える



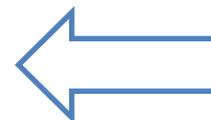
Hot Spot



副極小



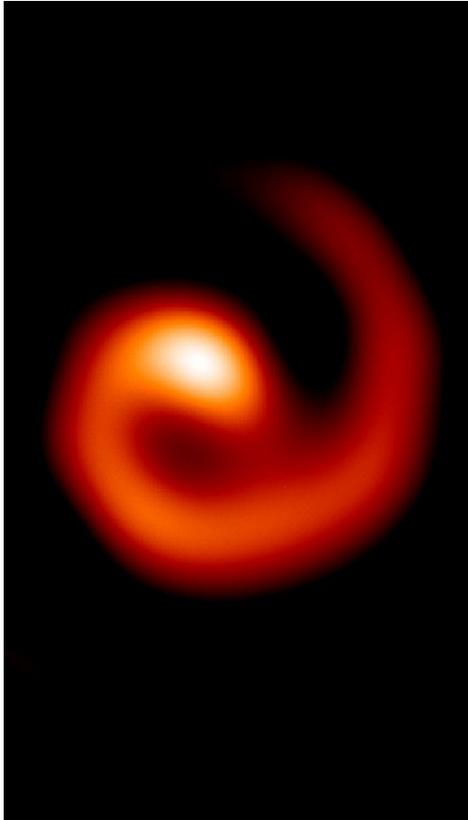
主極小



ホットスポットは見えない

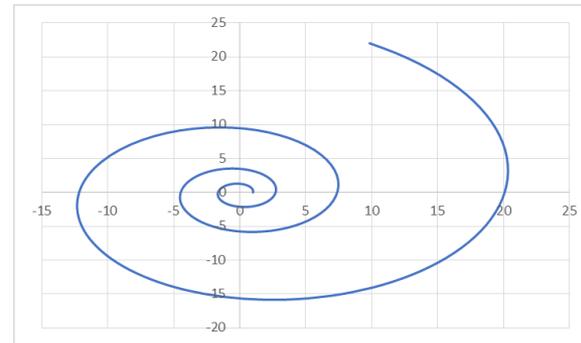


星周Dust構造



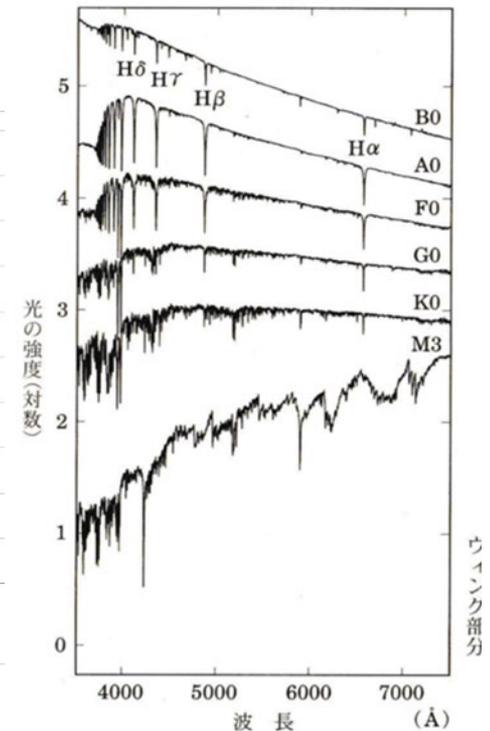
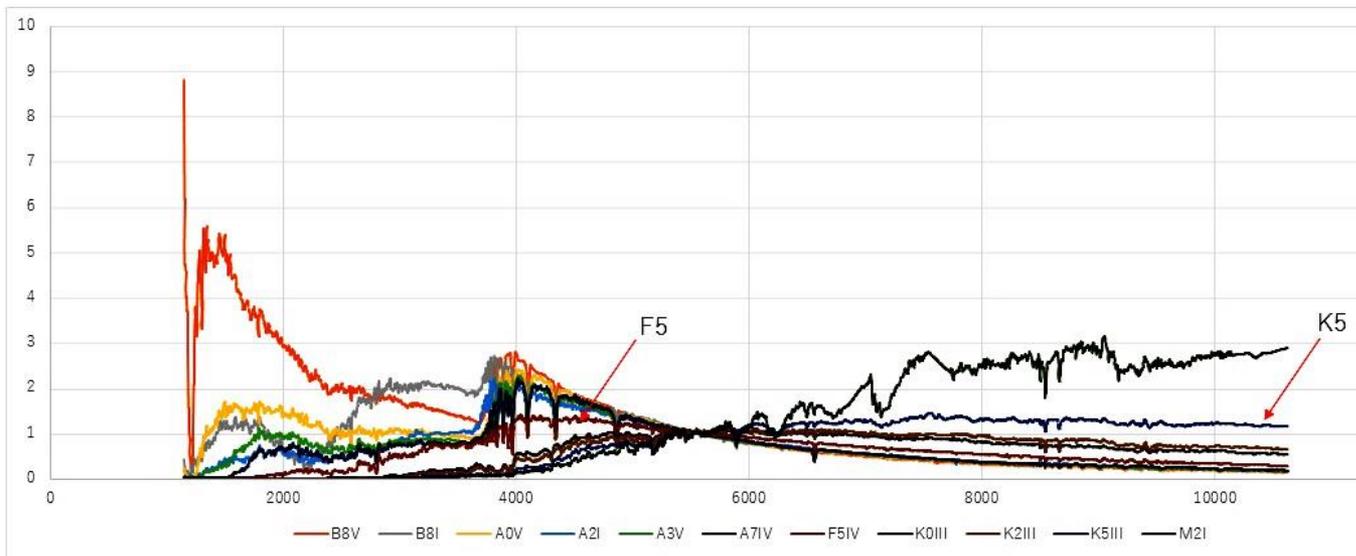
ホットスポットから放出されるWindowは軌道運動により「らせん形」となり、円錐状に放出され広がりながらなりやがて減少してゆく

左はウォルフライエ星を撮影した画像
これと似ている



Hot SpotやDustはSEDで分かる

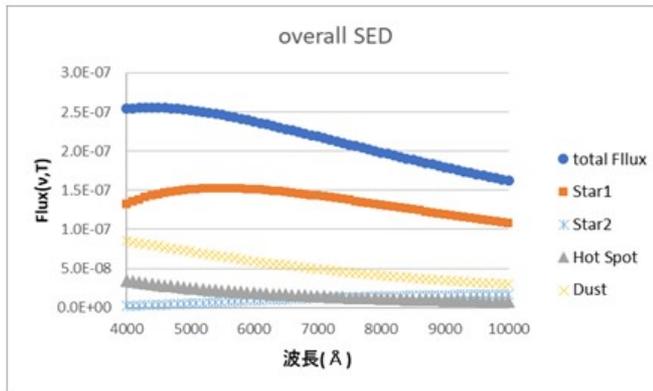
- Hot SpotやDustによってthe spectral energy distribution (SED) がかわる
- 有効表面温度によって連続光成分のシェイプがきまるが
- これにHot SpotとDustが加わる
- これらの要素の合成が観測される
- これを連星の位相毎に観測する



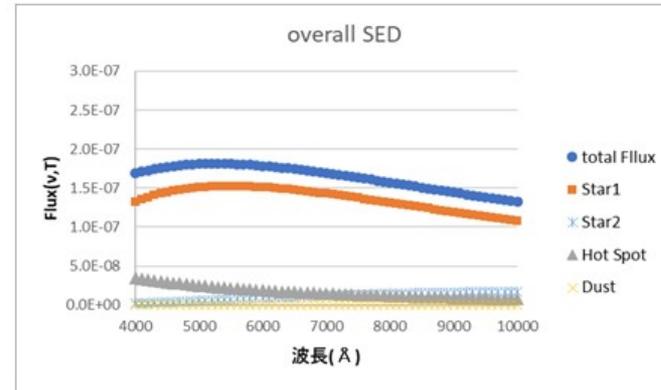
SEDの予想

各温度を、Star1=9,300K, Star2=4,500K, Hot Spot=35,000K, Dust=星との距離で17,000K~180K
ここから要素のサイズとダスト温度を変えてSEDを求める

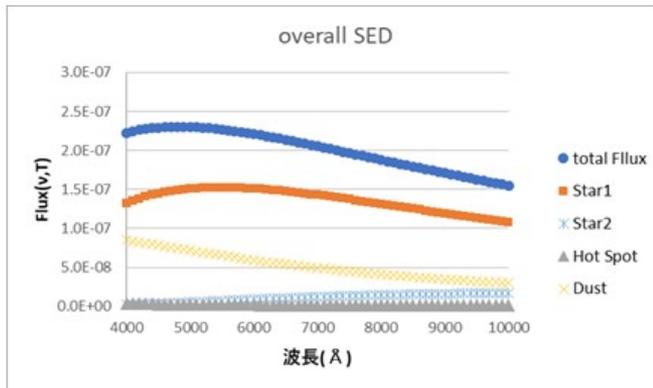
Spot
35000K 1/100
Dust
17000K 1/10



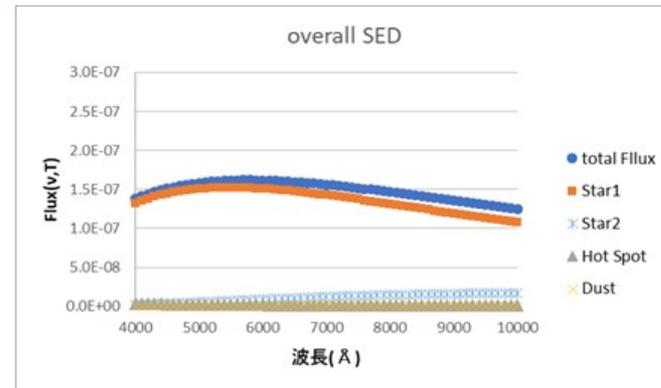
Spot
35000K 1/100
Dust
300K 100



Spot
35000K 1/1000
Dust
17000K 1/10



Spot
35000K 1/1000
Dust
300K 100

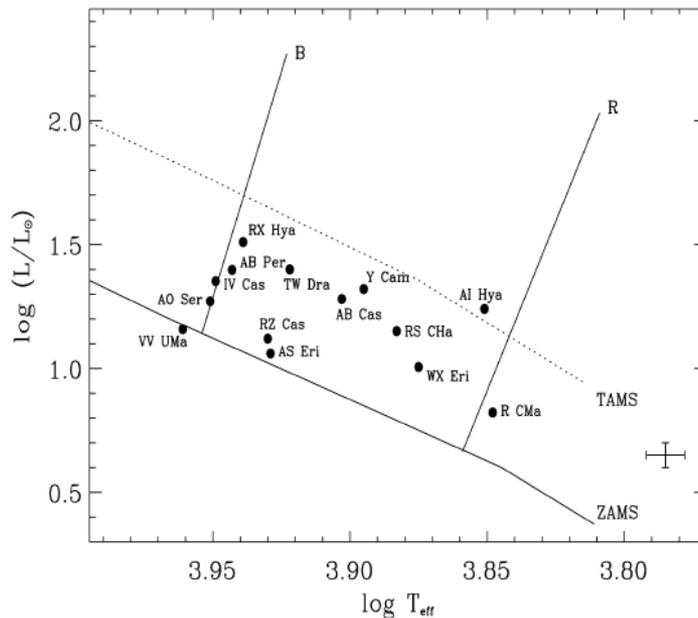


スポットの面積が下がったり、ダストの温度が下がると検出できない
よって高温の領域ならば探せそう(位相0.75の時の Hot Spot と星近傍の高温Dust)

RX Hya と UY Vir の基本データ

AAVSO VSX

| Name | RX Hya | UY Vir |
|----------|----------|---------|
| Type | EA+DSCT | EA/DM |
| spectral | A8 | A7V |
| range | 8.9-11.6 | 8.0-8.8 |
| period | 2.28 | 1.99 |



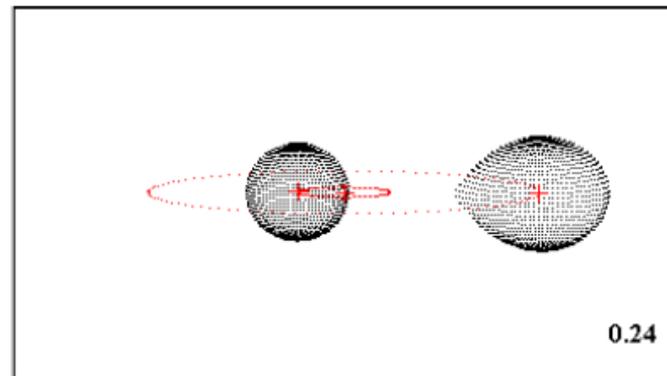
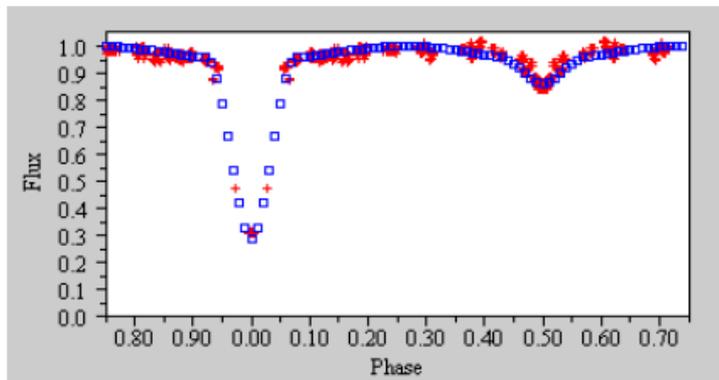
これもEA

DMは分離型で両
星共に主系列

RX Hyaの諸量

| spectral | A8+K5IV |
|----------|---------|
| q | 0.238 |
| r1 | 0.211 |
| r2 | 0.287 |
| T1 | 7616 |
| T2 | 4900 |
| i | 83.5 |
| g1 | 1 |
| g2 | 0.32 |
| u1 | 0.5 |
| u2 | 0.5 |
| A1 | 1 |
| A2 | 0.5 |

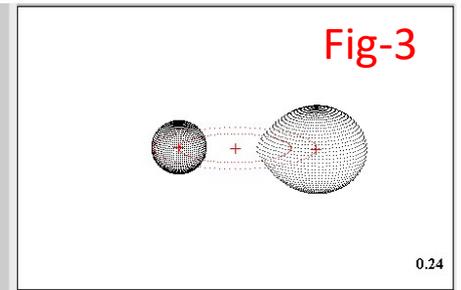
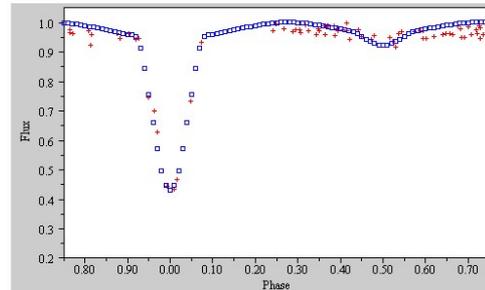
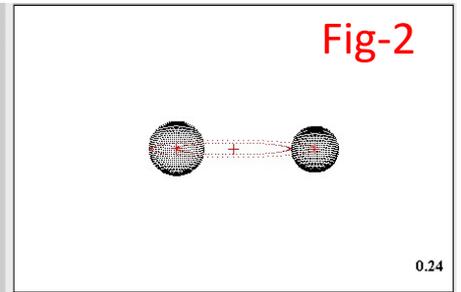
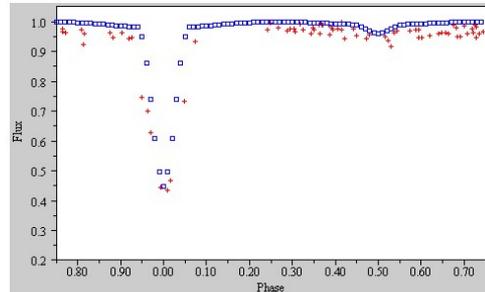
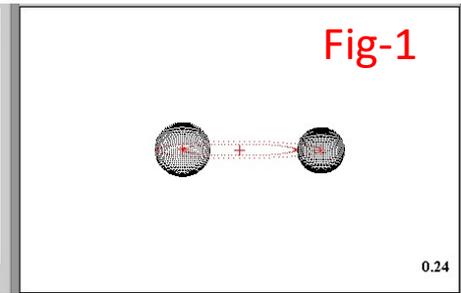
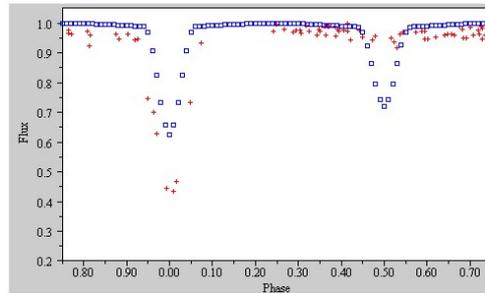
- ロッシュモデルはNagai,2015で2015年の愛媛大学での変光星観測者会議で報告
- 先行研究の E. Soydugan et. al., Mon. Not. R. Astron. Soc. 370, 2013–2024 (2006) をベース
- SD型の連星



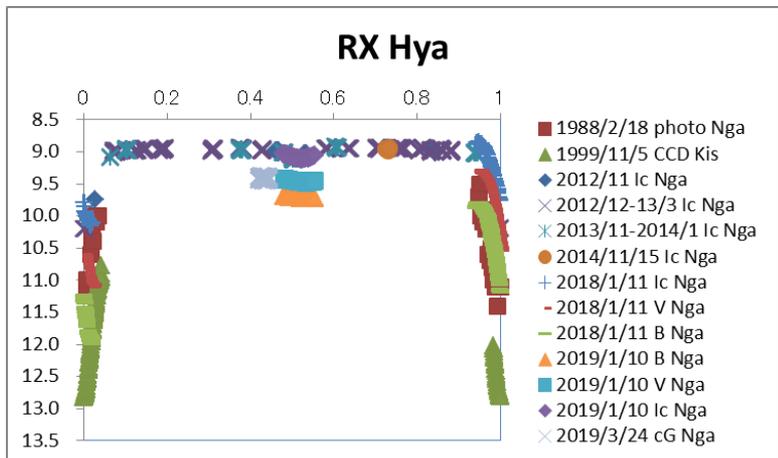
UY Virの諸量

| | Fig-1 | Fig-2 | Fig-3 |
|----|--------------|-------|-------|
| | Budding 2004 | D | SD |
| q | 0.69 | 0.69 | 0.69 |
| r1 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| r2 | 0.17 | 0.17 | 0.37 |
| T1 | 7882 | 7882 | 7882 |
| T2 | 7213 | 4000 | 4500 |
| i | 84 | 84 | 75 |
| g1 | 1 | 1 | 1 |
| g2 | 0.32 | 0.32 | 0.32 |
| u1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| u2 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| A1 | 1 | 1 | 1 |
| A2 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |

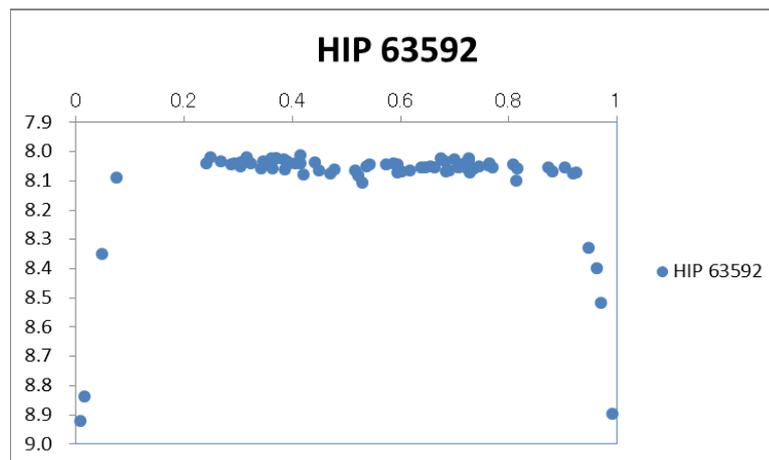
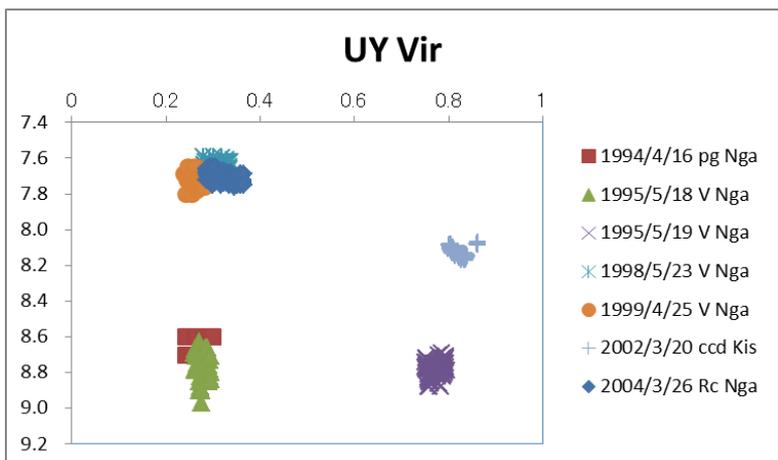
- Budding et al. (2004)ではD型で諸量ももとまっているが光度曲線とフィットしない(Fig-1)
- 伴星の温度を下げると似てくる(Fig-2)
- 温度差が大きく同じ進化とは考え難くSD型で解析すると光度曲線とフィットしてくる
- 以降SD型の連星と考える
- 光度曲線が不明瞭なので追測光観測が必要



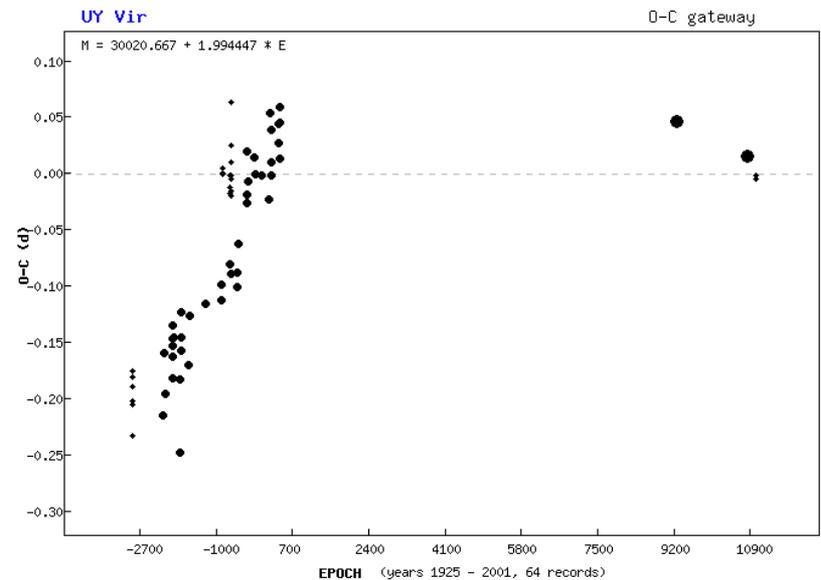
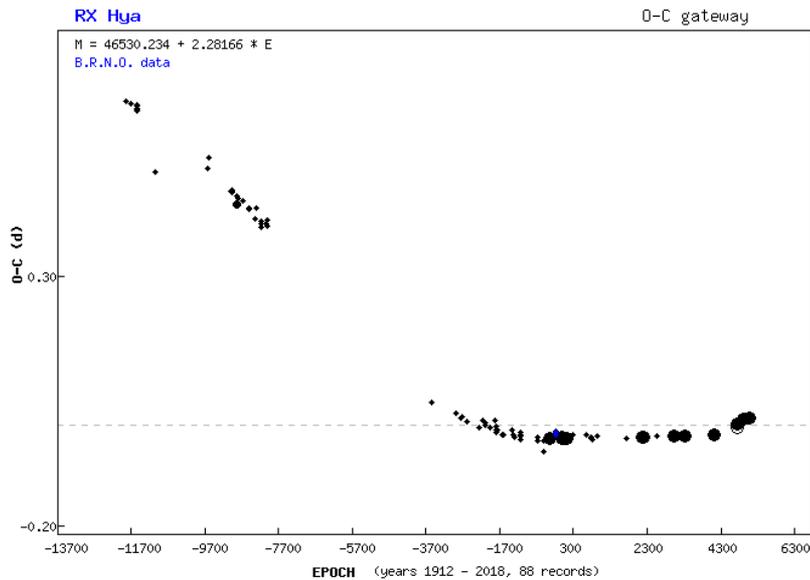
測光観測



- RX Hyaは2012～2103の自動測光で光度曲線が取得できている
- UY VirはVSOLJの観測が少ない
- HIPPARCOS(HIP63592)では光度曲線が描ける



極小時刻のO-C



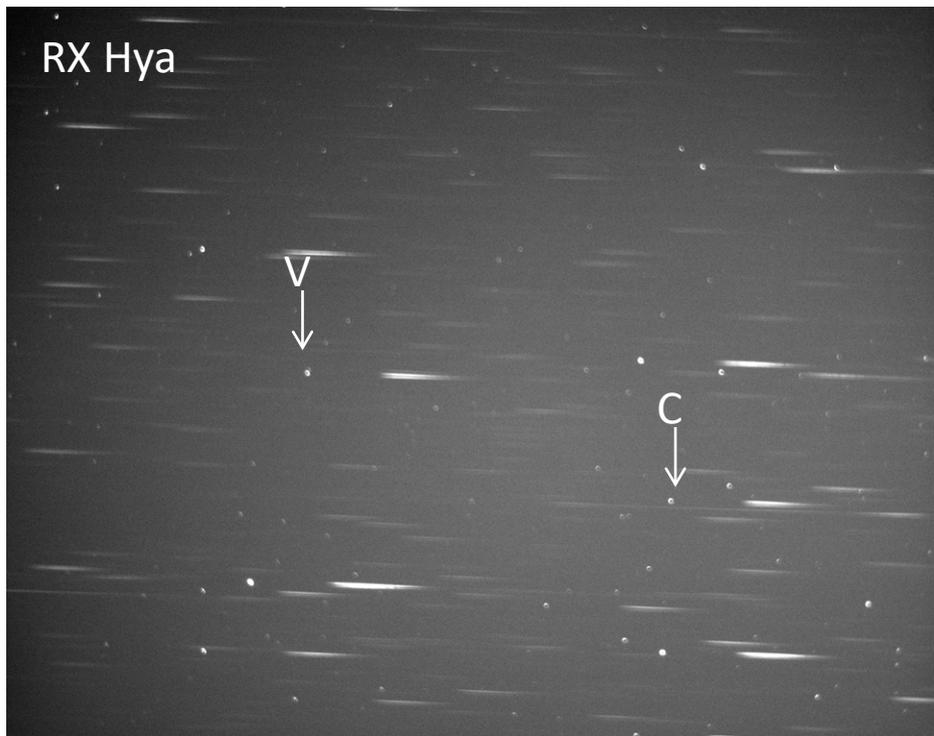
- O-C曲線はBRNOより取得した
- O-C曲線が放物線の場合が質量移動中と考えられる
- L1ポイントからの質量移動で主星に高温斑点が出来、そこからマスフローが発生するとO-Cは急変する(折れ曲がるなど)

観測装置

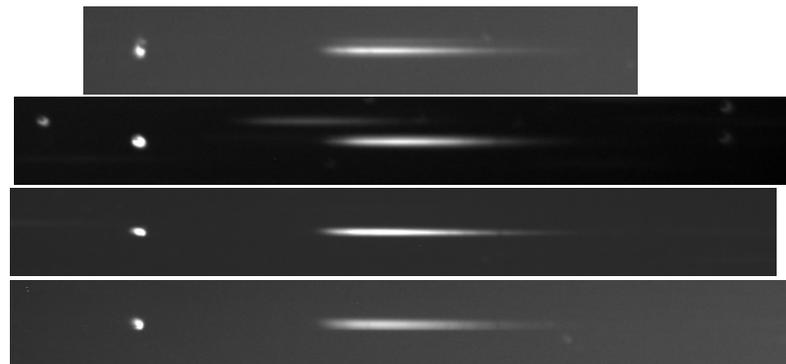


- 分光 15cm F4, ATIK-490EX, SA-100, 180sec exp.
 - 望遠鏡制御 EQMOD / サブスコープ 6cm F4, ST-402 でオートガイド
- 測光 8cm F5, CANON EOS Kiss X4, 30sec exp. (今回は古い測光結果を使用)
 - ステラショットで導入・導入補正・撮影⇒自動撮影機能で自動観測
 - 測光はUGEM

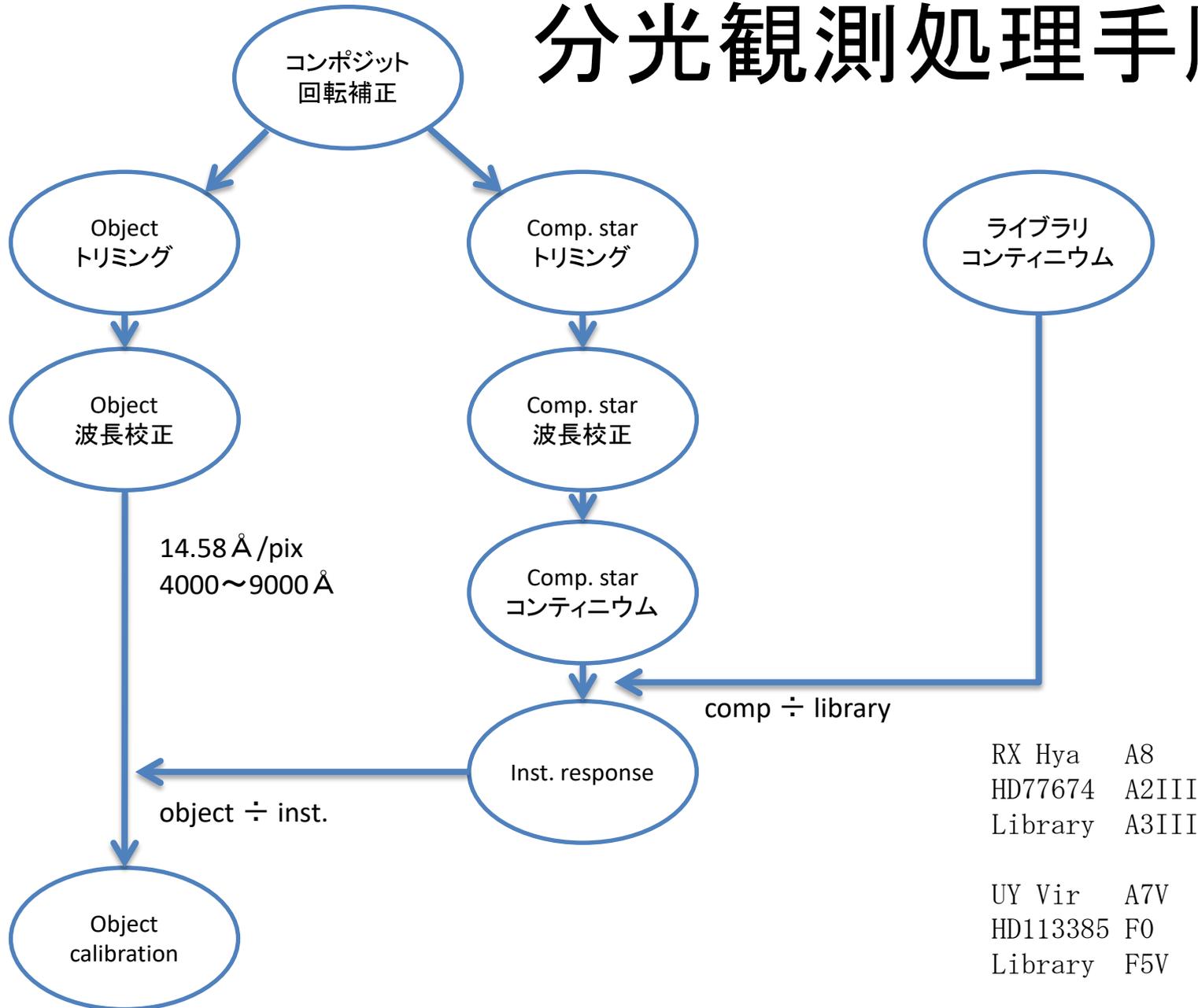
分光観測



- 分光標準星は使っていません
- RX Hya(A8)の比較星はHD77674(A2III)
 - 09h03m46s -08°23' 9.55V B-V=0.17
- UY Vir(A7)の比較星はHD113385(F0)
 - 13h03m28s -19°40' 9.10V B-V=0.34



分光観測処理手順



分光観測ログ

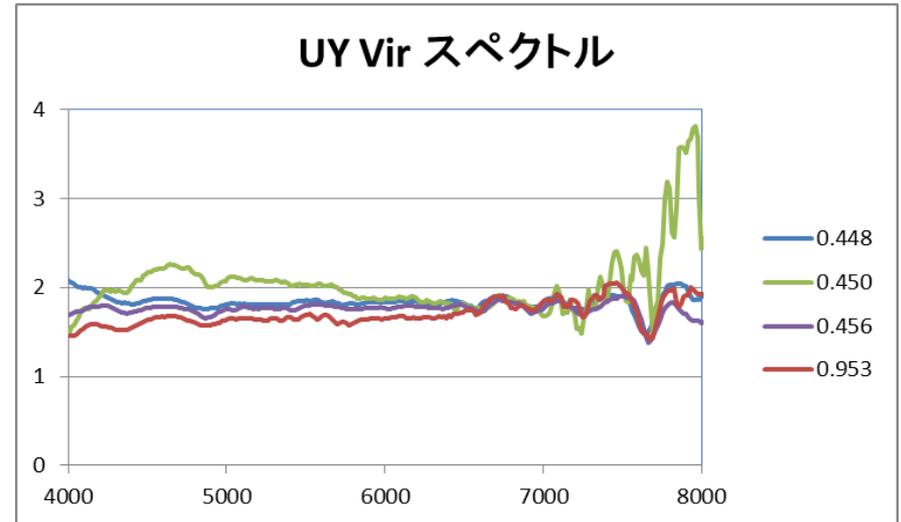
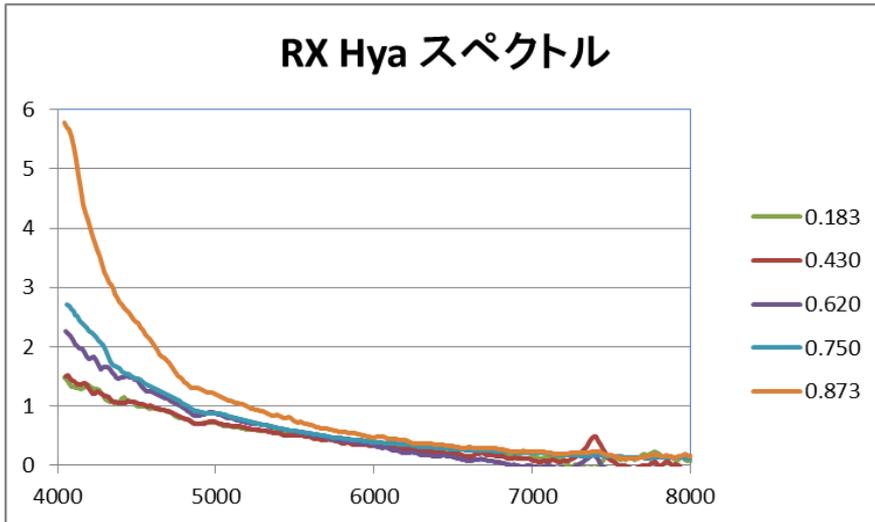
RX Hya min=2452501.318+2.2816596xE (cracow 2018iii)

| 撮影時刻 | ユリウス日 | 位相 | 中心位相 |
|-------------------------------------|-----------------------------|-------------|-------|
| 2019/03/09 19:37 - 2019/03/09 21:54 | 2458551.94236-2458552.03750 | 0.852-0.894 | 0.873 |
| 2019/03/11 19:10 - 2019/03/11 22:21 | 2458553.92361-2458554.05625 | 0.721-0.779 | 0.750 |
| 2019/03/12 18:36 - 2019/03/12 22:16 | 2458554.90000-2458555.05278 | 0.149-0.216 | 0.183 |
| 2019/03/13 18:37 - 2019/03/13 22:14 | 2458555.90069-2458556.05139 | 0.587-0.653 | 0.620 |
| 2019/03/24 18:59 - 2019/03/24 20:35 | 2458566.91597-2458566.98264 | 0.415-0.444 | 0.430 |

UY Vir min=2452500.088+1.9944478xE (cracow 2018iii)

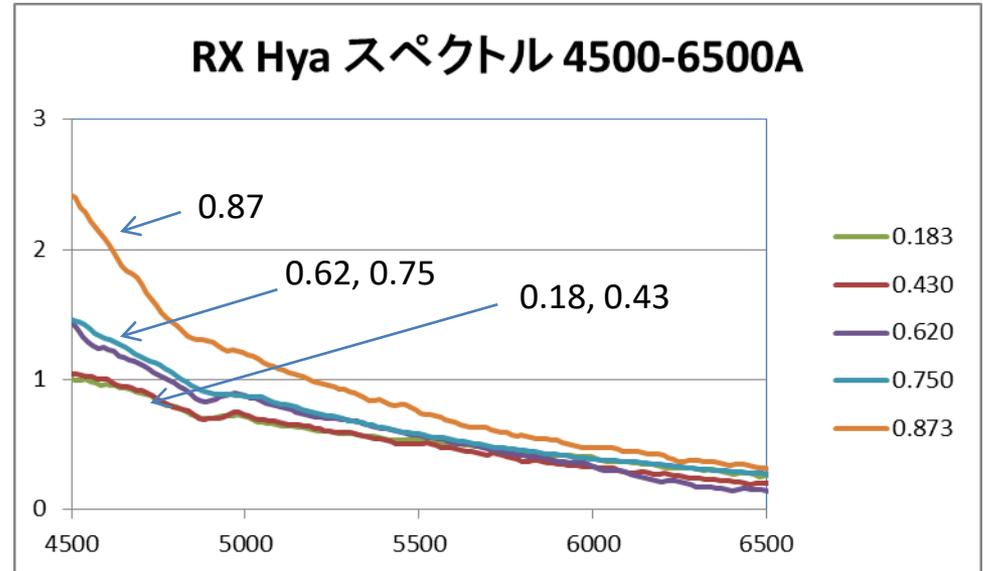
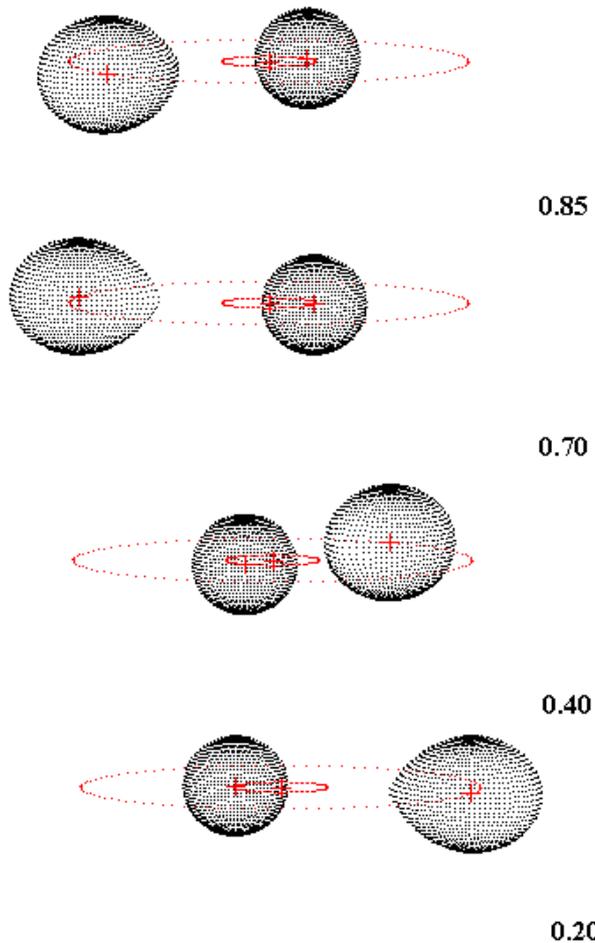
| 撮影時刻 | ユリウス日 | 位相 | 中心位相 |
|-------------------------------------|-----------------------------|-------------|-------|
| 2019/04/02 21:00 - 2019/04/02 24:18 | 2458576.00000-2458576.13750 | 0.413-0.482 | 0.448 |
| 2019/04/04 21:39 - 2019/04/04 24:09 | 2458578.02708-2458578.13125 | 0.430-0.482 | 0.456 |
| 2019/04/06 20:55 - 2019/04/06 24:03 | 2458579.99653-2458580.12708 | 0.417-0.482 | 0.450 |
| 2019/04/15 20:40 - 2019/04/15 23:25 | 2458588.98611-2458589.10069 | 0.924-0.982 | 0.953 |

感度補正後のスペクトル



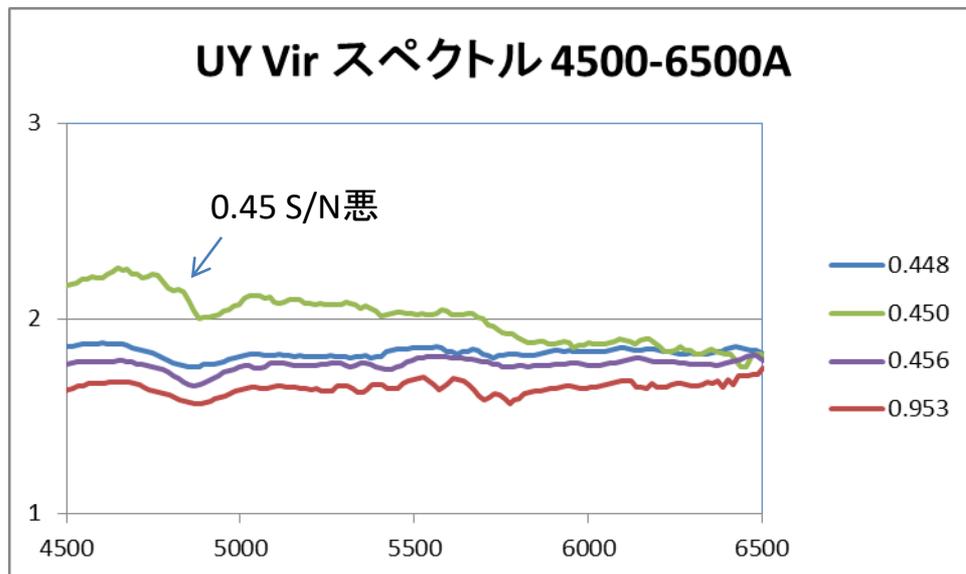
- 位相別のスペクトル
- RX Hyaの位相0.87が他と比べて高温に見積もられる
- UY Virは比較星選定ミスと思われるがこの状態で温度を評価する
 - ライブラリが低温度星なので単波長域のFluxを下げる補正をしていると思われる
 - 0.450は他の観測よりもS/Nが多い

スペクトルと位相 (RX Hya)

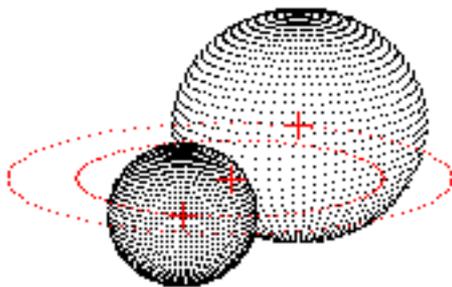


- 観測から位相0.25側よりも0.75側の方が高温の可能性がありHot Spotを見ているのか？
- 今後のO-Cの観測を使って評価する

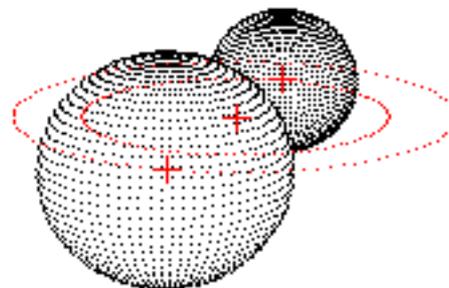
スペクトルと位相 (UY Vir)



- 目立った変化は見当たらなかった
- 0.75付近の観測がない



0.45



0.95

まとめと今後

- ダストの判定は難しいか？
 - 8000 Å程度で良いのか？
- この観測で温度変化を測定できそう
 - 分散・分解能が少ないので吸収線での温度測定が難しい
 - フレーム内の星を比較星にして相対評価する事ができる
 - 比較星・ライブラリの選定を慎重に行う
 - 表面有効温度を求める方法の考察も課題
- 分光も測光と同じなので観測バラツキがある
 - 今回は試験観測だったので観測数が少ない(本当はお天気が悪かった)
 - もっと観測数を増やす
 - エラー量を知る・位相ごとの中央値で評価する
- 測光は多色測光にして分光観測と併せて評価すべき

連星勉強会活動報告

関東での連星ゼミ

変光星観測者会議 8-9/Jun/2019

VSOLJ 永井和男

明治大学 生田キャンパス

第2校舎 5号館 5203教室

発足の経緯

2016年10月に慶応大学で行われた連星系・変光星・低温度星研究会にて岡山県の大島修氏を中心とする数名のグループが「連星ゼミ」を行っていて3件の研究発表が行われました。他に矢田猛士氏(島根県立三瓶自然館)も連星解析ソフトを使ってその成果を報告されていました。

昨今、クラシカルな測光連星の研究が他の分野に比べて勢いが失われつつある中で連星の研究発表は他の観測者・研究者に新たな刺激を与えるものになりました。これを受けて東日本でも同様なゼミを行うアイデアができ、今回の運びとなりました。

最近の傾向ははじめに解析ソフトがあり、その使い方を調べるのが研究とされてしまうようでパラメータの意味が不明であってもソフトによって解が得られます。

このゼミでは解析のパラメータを正しく意味を共有する事が一つの目的でもあります。ですが、あまり堅苦しくならないように全般に雑談をするような感じで進められるようになって欲しいと思います。

それぞれに思いがあり

1. ケプラー衛星のデータを解析し多数のEW型の解析をする
2. 測光・分光観測を自ら行って解析論文を出す

などのお話も頂いております。

初心者の皆様には変光星の観測、特に食連星の観測が好きになって、その観測・解析・研究の各場面で私達が何かのお役に立ちたいと思っています。

発足にあたって

発起人

筆頭 岡崎彰(元群馬大)

中村泰久(福島大学名誉教授)

VSOLJ 清田誠一郎、永井和男

目的

正しく光度曲線合成法を理解する

当座の目標

- 1: ケプラー衛星のデータを解析し多数のEW型の解析をする
 - 2: 測光・分光観測を自ら行って解析論文を出す
- 解析にはFree softのPhoebeを使う

開催日と会場

会場は武藤恭之先生(工学院大学)と工学院大学自然科学研究部のご好意によって工学院大学が多い。
大学の都合で教室が借りれない時は明治大学天文部にお世話になっています。

★東日本・連星ゼミ(仮名)

- 01 2016/12/11 工学院大学 新宿キャンパス A-0471教室
- 02 2017/03/12 工学院大学 新宿キャンパス A-0475教室
- 03 2017/06/04 工学院大学 新宿キャンパス 28階第4会議室

★連星勉強会

- 04 2017/10/01 工学院大学 新宿キャンパス A-0656教室
- 05 2017/12/17 工学院大学 新宿キャンパス A-0471教室
- 06 2018/03/11 工学院大学 新宿キャンパス A-2161教室
- 07 2018/06/10 明治大学 生田キャンパス 第2校舎5号館 5203教室
- 08 2018/07/22 工学院大学 新宿キャンパス A-0471教室
- 09 2018/10/14 工学院大学 新宿キャンパス A-2410共同セミナー3教室
- 10 2018/12/16 工学院大学 新宿キャンパス A-2610教室
- 11 2019/03/10 工学院大学 新宿キャンパス A-0511教室
- 12 2019/06/09 明治大学 生田キャンパス

時間は 10:00-17:00(第12回は変光星観測者会議後の13:00-17:00)

★食変光星観測基礎編

- 01 2019/05/19日 工学院大学 新宿キャンパス B-0567教室

基礎編は 13:00-17:00

主な出席者

これまでの主な出席者は

- 中村泰久(福島大学名誉教授)、岡崎彰(元群馬大)、西城恵一(元国立科学博物館)、吉岡一男(前放送大学)などの天文の先生
- 荒井菊一・大金要次郎・伊藤芳春・下地安男などベテランアマチュアとVSOLJの観測者
- 他に工学院大学・明治大学・東京理科大学等から大学天文部の方
- 博物館などの天文サークル

が出席されています

出席者名簿

第01回

岡崎彰、中村泰久、武藤恭之(工学院大学)、杉本芳秋
荒井菊一、大金要次郎、伊藤芳春、清田誠一郎、齊藤啓子、永井和男
工学院大学自然科学研究部：加藤一輝、佐藤裕太、塙将也
栄光学園物理部：田中匠、三輪駿大、塙開継

第02回

岡崎彰、中村泰久、大金要次郎、清田誠一郎、下地安男
佐藤裕太、森谷諒、柴田海那、相合一毅、長澤遼
小澤優、野田凜太郎、桑久保朱音、永井和男
田中匠、三輪駿、塙開継

第03回

中村泰久(福島大学名誉教授)、岡崎彰(元群馬大)、荒井菊一
工学院大学 加藤一輝、長澤祐太、塙将也
明治大学 柴田海那、片岡航星、相合一毅
栄光学園高校 田中匠、三輪駿、塙開継
VSOLJ 鈴木仁、大金要次郎、清田誠一郎、永井和男

第04回

永井和男(VSOLJ)、塙将也(工学院大)、荒井菊一、小木美奈子(岡山理科大)
中村泰久(元福島大学)、下地安男、齊藤春子(平博 天体観察会)
吉岡一男(前放送大学)、柴田海那(明治大学)、小林祐太(明治大学)
西城恵一(元国立科学博物館)、杉本芳秋、清田誠一郎(VSOLJ)
伊藤芳春(聖和学園高校)、岡崎彰(元群馬大学)、鈴木仁(VSOLJ)

第05回

永井和男(VSOLJ)、下地安男、荒井菊一、大金要次郎、清田誠一郎(VSOLJ)、
中村泰久(元福島大)、佐藤祐太(工学院大)、伊藤芳春(聖和学園高校)、
小木美奈子(岡山理科大)、鈴木仁(VSOLJ)、佐藤英男(元国立天文台)、
岡崎彰(元群馬大)、吉岡一男(元放送大)、西城恵一(元国立科学博物館)
齊藤啓子(平塚市博物館天体観察会)

第06回

永井和男(VSOLJ)、清田誠一郎(VSOLJ)
森谷諒(明治大学)、柴田海那(明治大学)
岡崎彰(元群馬大学)、小木美奈子(岡山理科大)、大金要次郎(VSOLJ)
下地安男、中村泰久(元福島大学)、佐藤裕太(工学院大)

第07回

中村泰久(福島大学名誉教授)、岡崎彰(元群馬大)
杉本芳秋(元相模原市博物館)
斎藤衛(元京都大学)、西城恵一(元国立科学博物館)
伊藤芳春(聖和学園高校)、美濃山蛭(宮城教育大学)
東京理科大 廣田碩人、細川透
明治大学 森谷諒、柴田海那
法政大学 奥田航大
VSOLJ 清田誠一郎、鈴木仁、永井和男、大金要次郎

第08回

中村泰久(福島大学名誉教授)、岡崎彰(元群馬大)
杉本芳秋(元相模原市博物館)
西城恵一(元国立科学博物館)、齊藤啓子(平博 天体観察会)、荒井菊一
工学院大自然科学研究部：上利優斗、中林庄、薄出光一、佐藤裕太
東京理科大天文研究部：宮本将成、細川透
VSOLJ：清田誠一郎、鈴木仁、永井和男

第09回

中村泰久(福島大学名誉教授)、岡崎彰(元群馬大)
西城恵一(元国立科学博物館)、荒井菊一、大金要次郎
明治大学天文部：森谷諒、柴田海那
工学院大自然科学研究部：佐藤裕太、薄出光一
VSOLJ：清田誠一郎、永井和男

第10回

中村泰久(福島大学名誉教授)、岡崎彰(元群馬大)
荒井菊一、大金要次郎、下地安男
工学院大自然科学研究部：薄出光一
VSOLJ：鈴木仁、清田誠一郎、永井和男

第11回

元福島大学 中村泰久、元群馬大学 岡崎彰、元国立科学博物館 西城恵一
元相模原市博物館 杉本芳秋、工学院大学 佐藤裕太、薄出光一、中林在
栄光学園高校 田中匠、VSOLJ 清田誠一郎、永井和男、大金要次郎

第12回

主な内容と収穫

今までの主な内容

普通に変光星・食連星などの座学

光度曲線合成法の原理とPhoebeが行っている処理・注意点

観測する食連星を決めて観測し食連星の光度曲線合成を行う

(急いで解を求めるのではなく、一步一步理解しながら進める)

観測面 (AstroImageJ や SExtractor の実習)(日心補正などの解析方法)

話題提供 (近着の変光星情報、他の研究会参加報告、などなど)

論文紹介 (近着のAstrophysicsから食連星の論文を取り上げて解説)

今までの主な成果・収穫

B, V, Ic 測光から赤化を見積もる

(EAの)周期解析は極小だけ使ったほうがよかった

Phoebeは初期値によって結果が異なる

各回のAgenda -1

第01回

永井 開会挨拶・会趣旨説明
永井 伊勢原で行った変光星の講演
永井 変光星の入門的話(分類、食連星の分類)
岡崎 変光星観測の歴史
中村 連星系へのお誘い(抜粋)
岡崎 重なり合う面積, 重力減光指数(崖と砂浜)
清田 CCDカメラの選び方(バイヤーズガイド)
清田 b Per(3重連星), CzeV343(ダブル食連星)

第02回

永井 変光星の分類(やや難し目)
永井 前回のおさらい(食連星分類・観測)
清田 測光と星図, Astro Image J
中村 光度曲線の解析に向けて(その1)
周期を探す、相対光度、初期パラメータ設定
測光要素(形状歪面, 重力増光, 反射効果, 物質移動)
先行研究がないときは、etc
岡崎 連星と分光観測
観測とケプラーの法則etcの関係・導き方
清田 話題 KIC 9832227
マージによるフィードバック現象の予報

第03回

次回内容、今回に引き継いで

永井 測光・分光、観測面の話(手順, 日心補正とか)
中村 光度曲線の解析に向けて(その2)
岡崎 分光連星の続き, 便利マクロ紹介, 観測面の話
清田 話題・測光観測

第04回

連星系・変光星・低温度星 報告 ---- 清田
観測星候補の選定 ----- 永井
おうし座RV型変光星の話 ----- 吉岡
光度曲線の解析に向けて(その3) --- 中村
ケプラー衛星のデータ利用方法 ---- 岡崎

第05回

観測結果集計と考察 ----- 永井
光度曲線の解析に向けて(その4) ---- 中村
食連星の公転周期変動 ----- 岡崎
Phoebe実演(予告編) ----- 永井
話題・測光観測など ----- 清田
Kepler衛星の測光バンド ----- 清田

第06回

Phoebe実演 ----- 永井
観測結果集計と考察 ----- 永井
ガイド用CMOSカメラで食変光星観測 ----- 下地

天文基礎集中講義 ----- 佐藤
光度曲線に解析に向けて(その5) その他の話題 -- 中村
話題・測光観測など ----- 清田
一年の振り返りと今後 ----- 永井

第07回

Linux上で動く天文ソフト紹介 ---- 下地
変光星の分類 ----- 永井
SExtractorの続きと話題 ----- 清田
V888 Monの解析実演・実習 ----- 永井
Phobeの注意点等 ----- 中村
岡崎さんcode(仮) ----- 岡崎
一年の振り返りと今後 ----- 永井

各回のAgenda -2

第08回

V888 Monのスペクトルタイプ ----- 永井
V888 Monの周期解析 ----- 永井
V888 Monの周期解析(★印の所) ----- 岡崎
The Program Star Selection in Bright ECL --- 永井
観測面の話(AstroImageJを使った測光例) --- 永井
Phoebe続き or 論文紹介 ----- 中村
論文紹介 ----- 岡崎
話題提供 ----- 清田

第09回

観測面の話
共同観測星中間報告(PP Del,V481 Peg測光) --- 永井
天体測光基礎(単色のナチュラルシステムまで) - 永井
V888 Monの温度見積
画像中のB~F型星のH β ・H γ のEW比 ----- 永井
二色図を作って色指数 ----- 鈴木
話題提供 ----- 清田
Phoebe続き ----- 中村
論文紹介続き ----- 中村
論文解説の続き ----- 岡崎
V888 MonのWDcode解析
光度曲線の等級光度変換の実演 ----- 永井
初期値決定各自の手法 ----- 中村・岡崎・永井

第10回

観測面の話
CCDリニアリティ測定 ----- 荒井
AstroImageJによる差測光 ----- 下地
V888 Monの温度見積
画像中のB~F型星のH β ・H γ のEW比 ----- 永井
二色図を作って色指数 ----- 鈴木
V888 MonのWDcode解析
初期値検討
球形モデルによる評価(各自のPCで実習) - 永井
話題提供 ----- 清田
論文解説 ----- 中村
食変光星観測基礎編のリスケ ----- 永井

第11回

V888 Monの温度見積
Spectrum、このあたりの基本のお話 -- 岡崎
画像中のB~F型星のH β ・H γ のEW比 ----- 永井
二色図を作って色指数 ----- 鈴木
V888 MonのWDcode解析
Phoebe初期値決定・解析 ----- 全員
V481 Pegの温度見積 ----- 鈴木
V481 Pegの解析
手順・スケジュールの相談 ----- 永井
話題提供 ----- 清田

第12回

鈴木さん V888Mon,V481 Pegの二色図
岡崎先生 YYGem解説
岡崎先生 SPECTRUMを使った温度・吸収線プロファイル
永井
PhoebelによるWDcode解析
V888Mon 横軸を位相、ノーマルポイント算出しWD解析
V481 Per P=0.422028で光度曲線を作ってWDcode解析に進む
全般 もう一度使い方実習、他

議事録の例 (第九回の例)

観測面の話

共同観測星中間報告 (PP Del, V481 Peg 測光結果) ----- 永井

PP Delは周期が1.02日、全位相の観測が難しく、中止します。

V481 Pegの解析を試みる

鈴木さんのIc bandが明るいB-V=V-Iで再計算をお願いする

V481 Pegの観測は少なく、解析例は無い(中村先生)

天体測光基礎 (単色のナチュラルシステムまで) ----- 永井

ナチュラルシステムの説明

標準システムは鈴木さんの二色図レポートで代用

どちらも実演・実習を食変光星観測基礎編で行う

V888 Monの温度見積

画像中のB~F型星のH β ・H γ のEW比 ----- 永井

ノイズ成分を除去してEWを再測定する

外灯の成分を除去していない

H γ とTeffの関係図を説明(岡崎先生)

B8星はMSでは無いのでは？

それにしてもA型は間違いないだろう

二色図を作って色指数 ----- 鈴木(欠席)

パワポの詳細説明を、次回、鈴木さんをお願いする

観測値中で食中央はどこ？P/Sを示してほしい

使用した二色図の箇所の赤化トレンドから赤化の見積

それにしてもA7よりは早期と思われる

B,V,Rc,Icの4色で測定しているのでRcも使った二色図を作って評価する

(永井・鈴木)

話題提供 ----- 清田

白鳥座のRedNovaの予報は嘘だった。JDとMJDを混同していた。

連星の主星が準巨星か巨星で大規模黒点があり大きな変光を起こす、その光度曲線中に浅い食を検出

γ Per次回の極小予報 (Mid eclipse 2019/12/25)

Phoebe続き ----- 中村

V888 Monの光度曲線からPhoebeに代入するパラメータの初期値を検討

こちらは次回の勉強会で光度曲線を見ながら、一つ一つのパラメータを推定してゆきます(永井?)

論文紹介続き ----- 中村

1. polytropesを組み合わせた恒星モデルをつかって共通大気を持った接触連星の進化

KeyWord: 共通包皮CEE、質量移動が進み $q=1$ 付近での激しい質量移動はL1ポイントだけではならず系周辺に放出

形成から合体までのシミュレーション

2. 食を起こさない連星のELL変光(ETV)

3. Pre-MSが星周円盤から質量をもらって大質量連星になる様子

論文解説の続き ----- 岡崎

1. 食連星解析の初期パラメータ決定法を解説

V888 Monは球形モデルで検討しても良いのでは(次回実施、永井)

2. R CMa type説明、現在はlow q , low p

3. EPIC 249432662 3重食連星(次回も引き続き解説、岡崎先生)

V888 MonのWDcode解析

光度曲線の等級光度変換の実演 ----- 永井

初期値決定各自の手法 ----- 中村・岡崎・永井

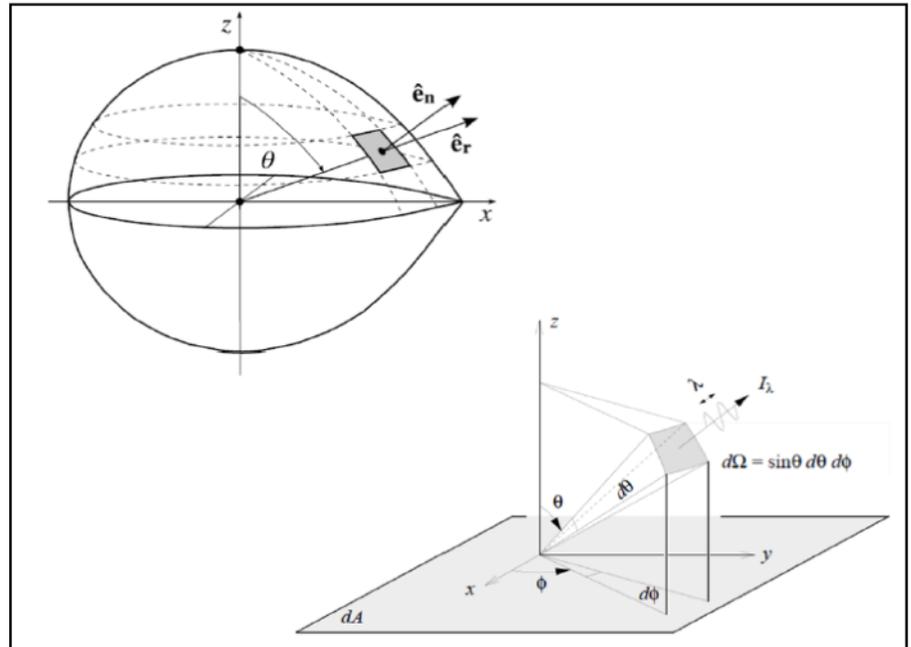
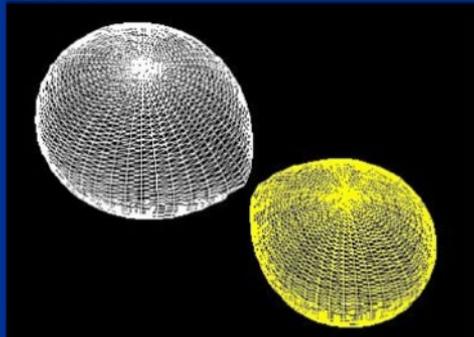
光度曲線合成法の理解

- 光度曲線の解析に向けて 1～4
- Phoebeについてのこと 1～3
 - Phoebeは3以降も続いています

反射効果のたいへんさ

- 厳密にやれば $\sim N^2$ 回
- とくに表面斑点あればすべて
- 繰り返しモデル計算に

表面分割の一例



Phoebeは初期値が大事

Phoebeが扱うパラメータ

| | |
|-------------|--------------------|
| HJD0 | 元期 |
| PERIOD | 周期 |
| DPDT | 周期変化率 |
| PSHIFT | 一定量の元期シフト量 |
| SMA | 軌道長半径(太陽半径単位) |
| RM | 質量比 m2/m1 |
| INCL | 軌道傾斜角 |
| VGA | システムの視線速度 |
| PERR0 | 近星点移動量 |
| DPERDT | 近星点位置初期値 |
| ECC | 軌道離心率 |
| F1 | 主星の公転・自転シンクロパラメータ |
| F2 | 伴星の公転・自転シンクロパラメータ |
| TAVH | 主星温度 |
| TAVC | 伴星温度 |
| PHSV | 主星 Ω ポテンシャル |
| PCSV | 伴星 Ω ポテンシャル |
| MET1 | 主星の金属量 |
| MET2 | 伴星の金属量 |
| ALB1 | 主星の反射率 |
| ALB2 | 伴星の反射率 |
| GR1 | 主星の重力減光指数 |
| GR2 | 伴星の重力減光指数 |
| X1,X2,Y1,Y2 | 周辺減光係数 |

初期値の違いやFitting判定の方法で解析結果が違う
RT CMaの例

| | CALEB | Phoebe | 手動 | WDLG2 |
|------|----------|----------|---------|----------|
| RM | 0.4 | 0.4 | 0.31 | 0.22 |
| INCL | 85 | 85.79572 | 85.2254 | 90.15795 |
| TAVH | 6200 | 6029 | 7254 | 5805 |
| TAVC | 4100 | 4221 | 4469 | 4281 |
| PHSV | 4.463750 | 4.47375 | 5.31600 | 4.24800 |
| PCSV | 2.678096 | 2.67810 | 2.47600 | 2.23300 |

※1 PhoebeはCALEBの値を初期値としたもの

※2 手動は「手作業」で初期値を探してPhoebeで解析したもの

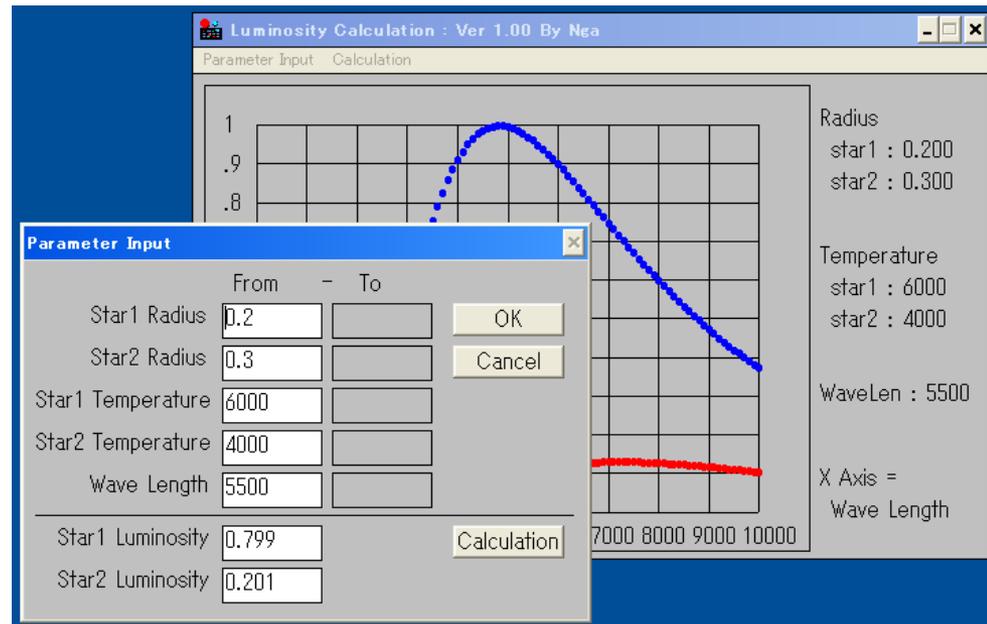
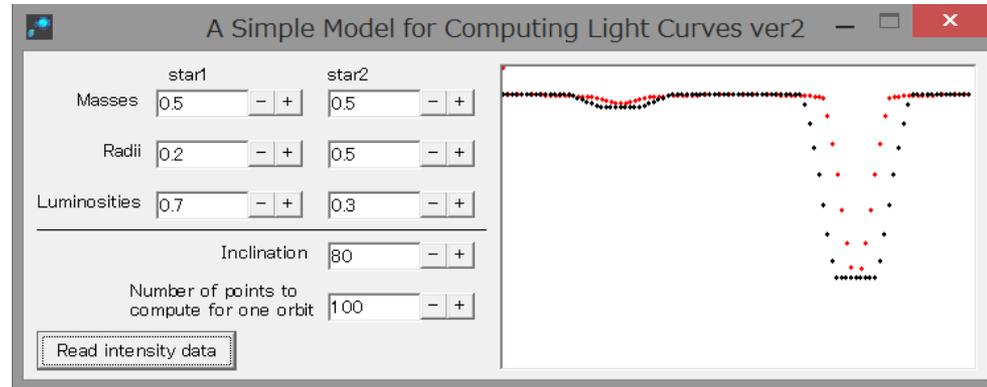
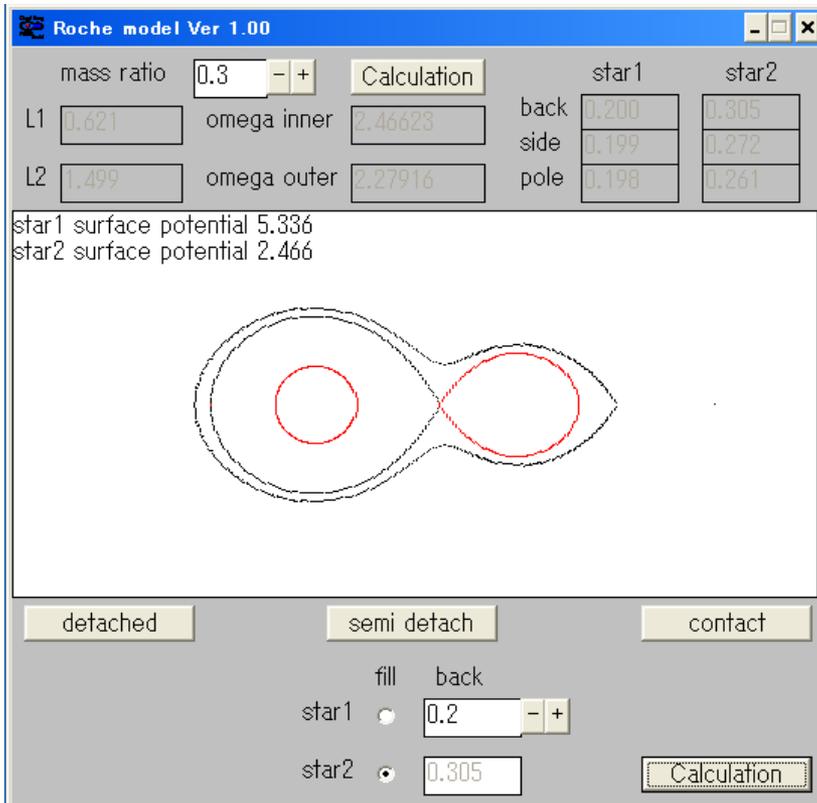
※3 WDLG2は「自動解析」で初期値を求めてPhoebeで解析したもの

共通して言える事

- ・初期値から大きく離れないので初期値の決定を慎重に行う
- ・温度は大きく離れる場合があるのでTAVHはcolor indexなどから
assumeし固定した方が良い
- ・mass ratioはRVの観測があった方が良い

手作業

1. 球形モデルで大凡の諸量を求める
2. ロッシュモデルを描いて質量比を求める
3. 表面ロッシュポテンシャルを求める
4. 光度曲線の光度比と半径から温度を求める



WDLC2自動解析

Wilson-Devinney Light Curve : Detached Version 1.23

| | | | | | | |
|------------------|-------------|-----|---|-----|------|-----|
| inclination | (0-90) | 60 | - | 90 | step | 1 |
| Mass Ratio | (0.01-1.00) | 0.5 | - | 1.0 | step | 0.1 |
| star1 Radius | (0.00-1.00) | 0.2 | - | 0.6 | step | 0.1 |
| star2 Radius | (0.00-1.00) | 0.2 | - | 0.6 | step | 0.1 |
| star1 luminosity | (0.01-0.99) | 0.3 | - | 0.8 | step | 0.1 |

| | | | |
|-----------------------|-----|-----------|-----|
| star1 | | star2 | |
| Limb Dark (0.00-1.00) | 0.5 | Limb Dark | 0.5 |
| Albedo (0.00-1.00) | 1.0 | Albedo | 1.0 |
| Gravity (0.00-1.00) | 1.0 | Gravity | 1.0 |

B
 V
 Rc
 Ic

| item | value |
|-------------|--------------------|
| inclination | 60~90 , step 1 |
| mass ratio | 0.5~1.0 , step 0.1 |
| r1 | 0.2~0.6 , step 0.1 |
| r2 | 0.2~0.6 , step 0.1 |
| Lumi. 1 | 0.3~0.8 , step 0.1 |
| Limb Dark | 0.5 |
| Albedo | 1.0 |
| Gravity | 1.0 |

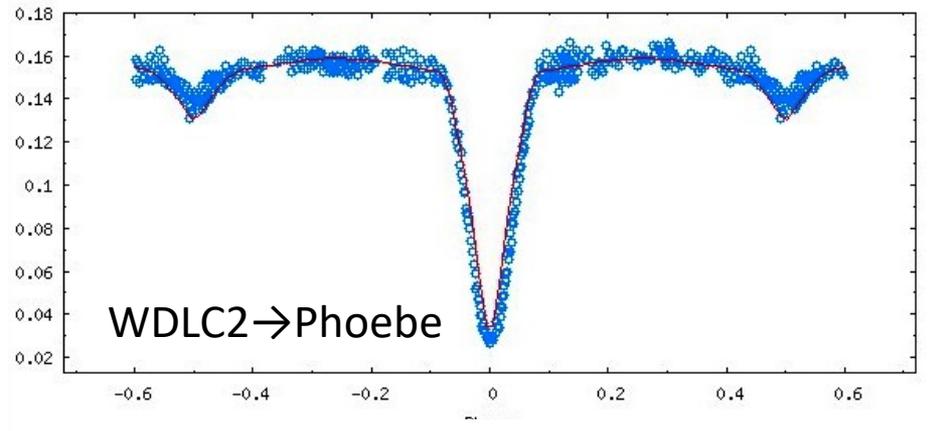
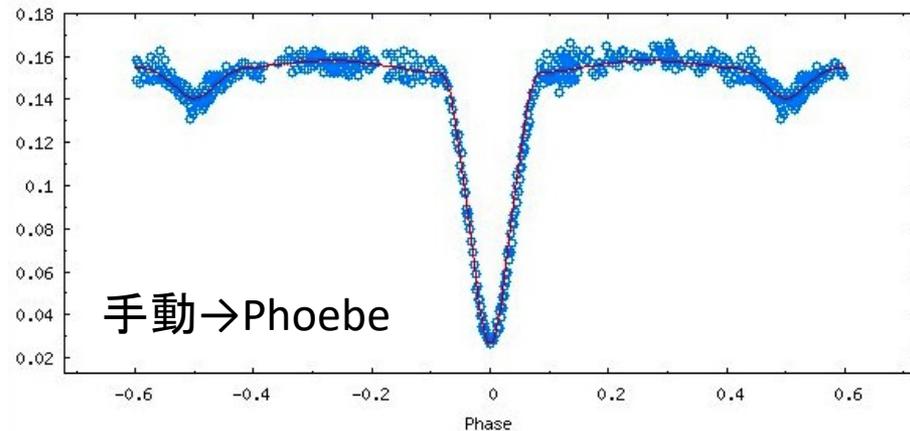
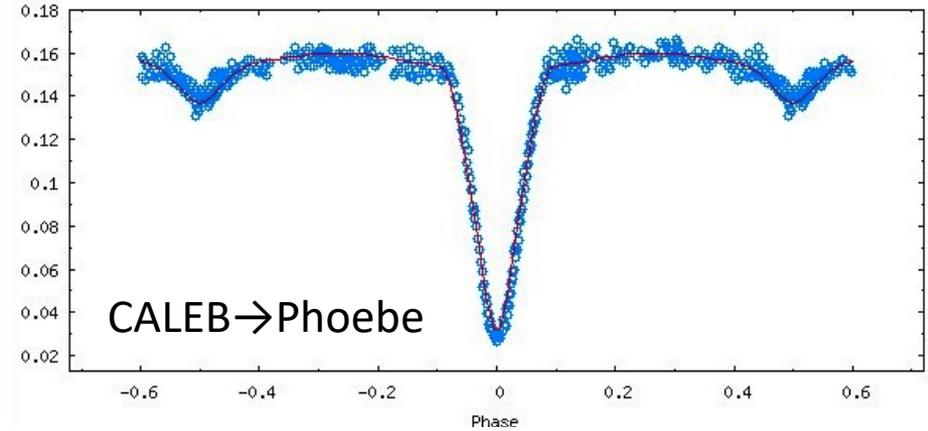
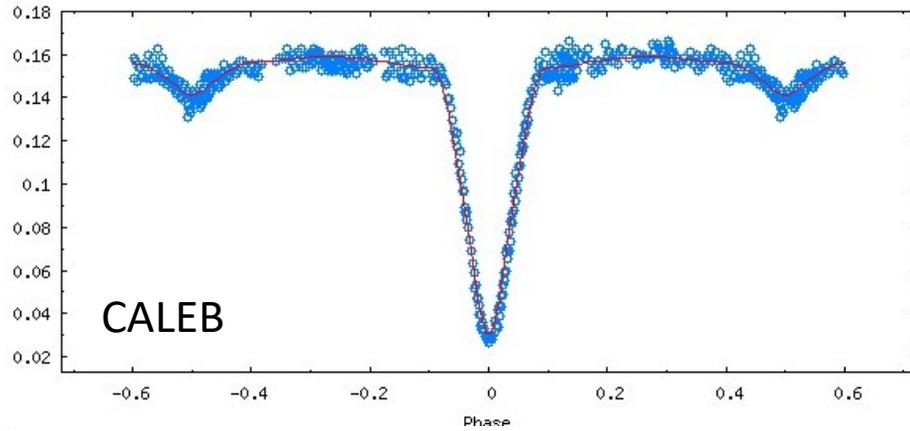
O-C.DAT - メモ帳

ファイル(F) 編集(E) 書式(O) 表示(V) ヘルプ(H)

| sigma | Mass | star1 | star2 | Limb. | Albedo | Grav. | Limb. | Albedo |
|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| (O-C)^2 | Inc. | Ratio | r1 | r2 | Lum1 | 1 | 2 | 2 |
| 1.21835 | 60.0000 | 0.5000 | 0.2000 | 0.2000 | 0.3000 | 0.5000 | 1.0000 | 1.0000 |
| 1.21729 | 60.0000 | 0.5000 | 0.2000 | 0.2000 | 0.4000 | 0.5000 | 1.0000 | 1.0000 |
| 1.19912 | 60.0000 | 0.5000 | 0.2000 | 0.2000 | 0.5000 | 0.5000 | 1.0000 | 1.0000 |
| 1.20186 | 60.0000 | 0.5000 | 0.2000 | 0.2000 | 0.6000 | 0.5000 | 1.0000 | 1.0000 |
| 1.20379 | 60.0000 | 0.5000 | 0.2000 | 0.2000 | 0.7000 | 0.5000 | 1.0000 | 1.0000 |
| 1.20516 | 60.0000 | 0.5000 | 0.2000 | 0.2000 | 0.8000 | 0.5000 | 1.0000 | 1.0000 |
| 0.63893 | 60.0000 | 0.5000 | 0.2000 | 0.3000 | 0.3000 | 0.5000 | 1.0000 | 1.0000 |
| 0.64148 | 60.0000 | 0.5000 | 0.2000 | 0.3000 | 0.4000 | 0.5000 | 1.0000 | 1.0000 |
| 0.64148 | 60.0000 | 0.5000 | 0.2000 | 0.3000 | 0.5000 | 0.5000 | 1.0000 | 1.0000 |
| 0.64282 | 60.0000 | 0.5000 | 0.2000 | 0.3000 | 0.6000 | 0.5000 | 1.0000 | 1.0000 |



初期値による結果の差



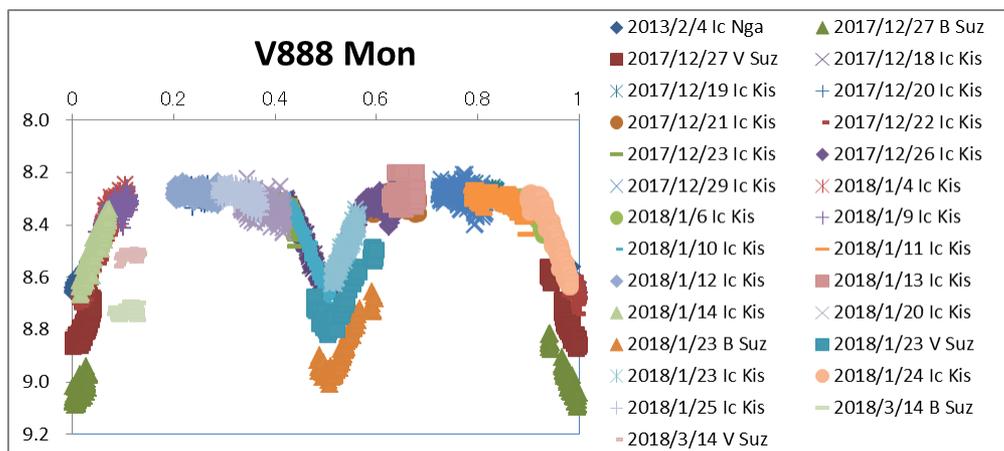
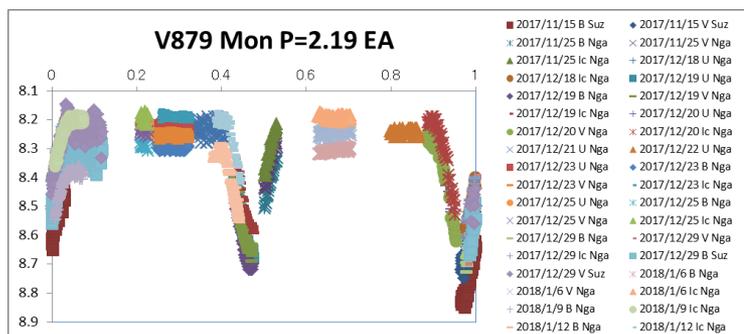
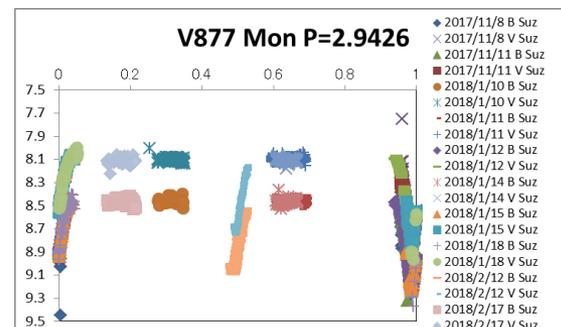
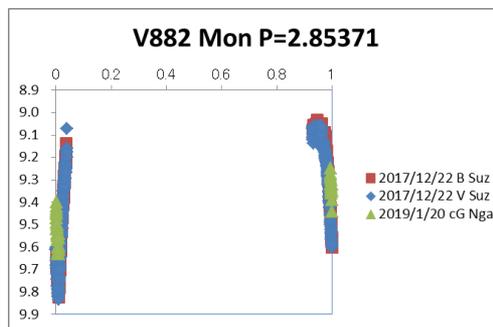
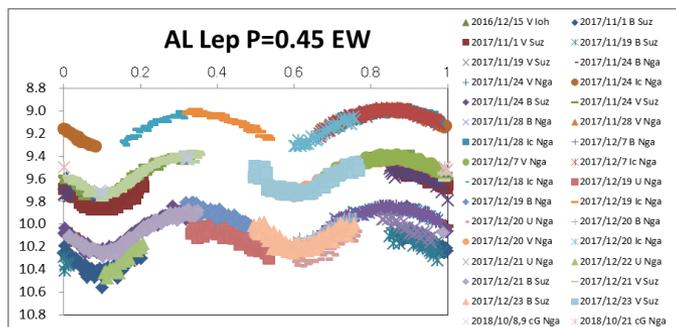
| | CALEB | Phoebe | 手動 | WDLC2 |
|------|----------|----------|---------|----------|
| RM | 0.4 | 0.4 | 0.31 | 0.22 |
| INCL | 85 | 85.79572 | 85.2254 | 90.15795 |
| TAVH | 6200 | 6029 | 7254 | 5805 |
| TAVC | 4100 | 4221 | 4469 | 4281 |
| PHSV | 4.463750 | 4.47375 | 5.31600 | 4.24800 |
| PCSV | 2.678096 | 2.67810 | 2.47600 | 2.23300 |

観測星の選定

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P |
|----|----|----------|-------------|------------|-------|-------|---------|-------|------|------|------|-------|-------------------------|-----|--|---|
| 1 | No | name | E0 | P | RA(h) | RA(m) | RD(deg) | RD(') | Type | mag1 | mag2 | range | SB9 | oEA | Remarks | |
| 2 | 1 | ANDBX | 2452500.345 | 0.6101119 | 2 | 9 | 40 | 48 | EB | 8.9 | 9.5 | 0.6 | | | 2010年にRV,LO観測し解析あり | |
| 3 | 2 | ANDRT | 2451421.737 | 0.6289216 | 23 | 11 | 53 | 2 | EA | 9 | 9.8 | 0.8 | http:// | | | |
| 4 | 3 | ANDV0372 | 2451483.584 | 2.940986 | 2 | 5 | 45 | 6 | EA | 9.1 | 9.5 | 0.4 | | | 特にPhotometryも無い | |
| 5 | 4 | ANDV0613 | 2455823.333 | 1.875798 | 23 | 10 | 47 | 34 | EA | 9.2 | 9.6 | 0.4 | | | NSVSの変光星、極小観測は多々あり | |
| 6 | 5 | ANTS | 2452627.797 | 0.6483489 | 9 | 32 | -28 | 38 | EW | 6.3 | 6.8 | 0.5 | http:// | | | |
| 7 | 6 | AQLKO | 2454357.615 | 2.8640668 | 18 | 47 | 10 | 46 | EA | 8.3 | 9.4 | 1.1 | http:// | | | |
| 8 | 7 | AQLV0337 | 2452136.721 | 2.733881 | 19 | 4 | -2 | 2 | EB | 8.6 | 9.3 | 0.7 | http:// | | | |
| 9 | 8 | AQLV0805 | 2452414.779 | 2.4082369 | 19 | 6 | -11 | 39 | EA | 7.6 | 8.3 | 0.7 | http:// | | | |
| 10 | 9 | AQLV0822 | 2454697.72 | 5.2950786 | 19 | 31 | -2 | 7 | EA | 7 | 7.6 | 0.6 | http:// | | | |
| 11 | 10 | AQLV0889 | 2452821.719 | 11.1205339 | 19 | 18 | 16 | 15 | EA | 8.5 | 9.1 | 0.6 | | | Apsidal Motion, RVあり, Third Body, early-type detached, | |
| 12 | 11 | AQLV1426 | 2455047.684 | 1.175157 | 19 | 12 | 4 | 24 | EA | 9.2 | 9.6 | 0.4 | | | NSVSの変光星, 解析ありSD | |
| 13 | 12 | AQLV1439 | 2452815.843 | 8.1497537 | 19 | 0 | 14 | 33 | EB | 7.6 | 8 | 0.4 | | | 特になし | |
| 14 | 13 | AQLV1450 | 2453832.811 | 4.8126847 | 19 | 17 | 8 | 37 | EA | 8.8 | 9.2 | 0.4 | | | 2010年にRV,LO観測し解析あり | |
| 15 | 14 | AQLV1461 | 2452964.51 | 1.7630645 | 19 | 43 | -9 | 4 | EA | 8.8 | 9.2 | 0.4 | | | oEAらしい(2014) | |
| 16 | 15 | AQLV1808 | 2452812.702 | 0.423796 | 19 | 23 | 8 | 18 | EW | 9.1 | 9.5 | 0.4 | | | NSVSの変光星、2016年解析論文あり | |
| 17 | 16 | AQLV1817 | 2452383 | 0.781565 | 20 | 1 | 7 | 59 | EA | 9.6 | 10 | 0.4 | | | 極小観測は有り | |
| 18 | 17 | AQLV1825 | 2452879.64 | 1.705523 | 20 | 13 | 10 | 21 | EA | 8.8 | 9.3 | 0.5 | | | NSVSの変光星、極小観測は有り | |
| 19 | 18 | AQRDV | 2452500.21 | 1.575529 | 20 | 58 | -14 | 29 | EB | 5.9 | 6.3 | 0.4 | http:// | | | |
| 20 | 19 | AQRDX | 2451808 | 0.9450106 | 22 | 2 | -16 | 58 | EA | 6.4 | 6.9 | 0.5 | http:// | | | |
| 21 | 20 | AQREE | 2452500.055 | 0.50899582 | 22 | 34 | -19 | 52 | EB | 7.9 | 8.6 | 0.7 | | | 観測・解析、たっぷり有り | |
| 22 | 21 | AQRHS | 2452500.695 | 0.7101875 | 20 | 40 | 0 | 36 | EA | 9.1 | 9.5 | 0.4 | http:// | | | |
| 23 | 22 | AQRIO | 2452530.452 | 2.368091 | 20 | 40 | 0 | 56 | EA | 8.8 | 9.2 | 0.4 | | | すばらしい観測・解析の論文あり(2015) | |
| 24 | 23 | AQRKX | 2452444.834 | 2.073225 | 22 | 31 | -22 | 60 | EA | 8.1 | 8.6 | 0.5 | | | ROSATソース, 太陽型星, 測光もきれい、論文あり | |
| 25 | 24 | AQROO | 2453551.797 | 0.586615 | 20 | 49 | -13 | 8 | EW | 9.2 | 9.6 | 0.4 | | | STEREOとか、いろいろ研究あり | |
| 26 | 25 | AQRQS | 2452445.749 | 5.78261 | 20 | 58 | -13 | 22 | EA | 7.5 | 8.1 | 0.6 | | | まったくADSになし! | |
| 27 | 26 | AQRST | 2452500.58 | 0.7809919 | 22 | 21 | -6 | 58 | EB | 9.2 | 9.7 | 0.5 | | | ROSATソース, Near-Contact, Nakamura/Kitamura 1992 | |
| 28 | 27 | ARIAL | 2452892.849 | 3.747457 | 2 | 42 | 12 | 44 | EA | 9.2 | 9.8 | 0.6 | | | ROSATソース, 太陽型星, 測光もきれい、論文あり | |
| 29 | 28 | AURAR | 2452501.392 | 4.134651 | 5 | 18 | 33 | 46 | EA | 6.2 | 6.8 | 0.6 | http:// | | | |
| 30 | 29 | AURBF | 2452500.95 | 1.5832232 | 5 | 5 | 41 | 17 | EB | 8.7 | 9.5 | 0.8 | http:// | | | |
| 31 | 30 | AURCQ | 2443814.05 | 10.62251 | 6 | 3 | 31 | 20 | EA | 9 | 9.4 | 0.4 | | | RS type, たくさん論文あり | |
| 32 | 31 | AI IREO | 2452500.255 | 4.0856497 | 5 | 18 | 36 | 38 | FA | 7.6 | 8.1 | 0.5 | http:// | | | |

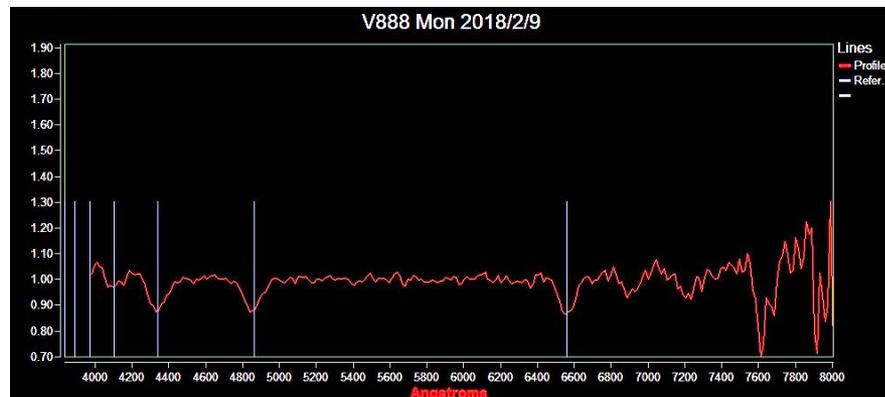
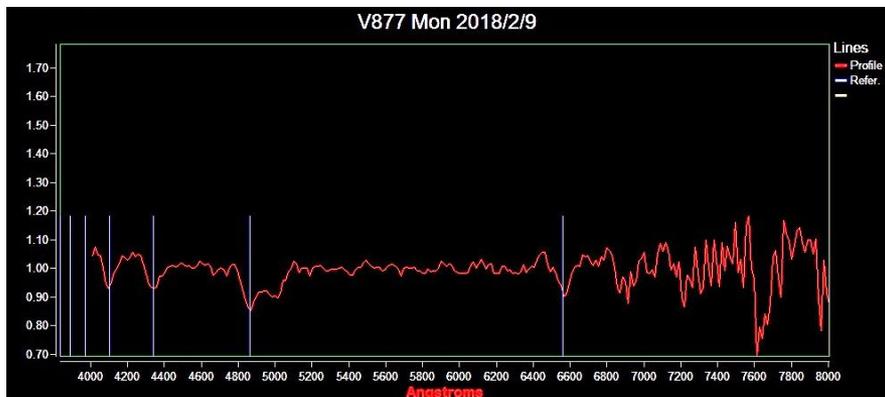
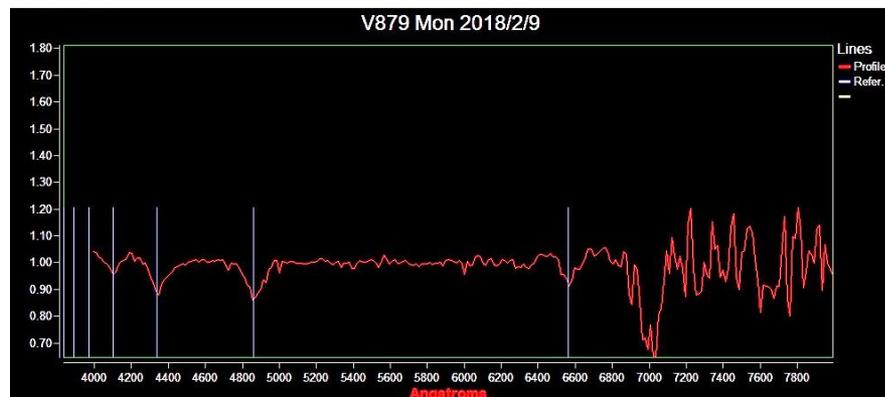
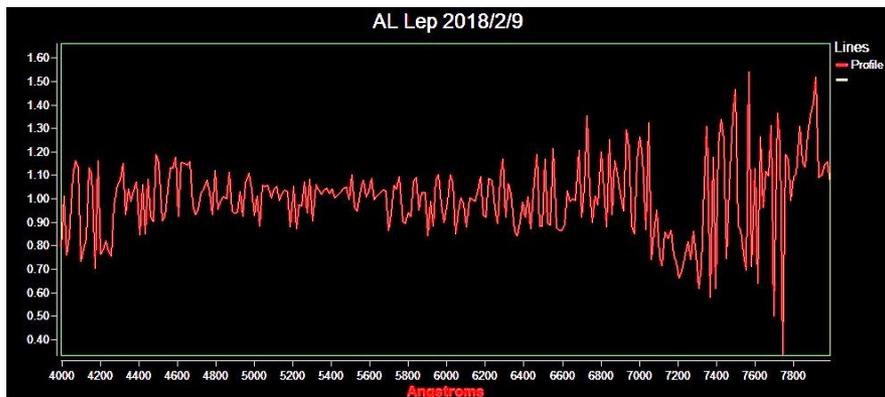
- GCVSから明るい食連星を選定: 10等、RD-30以北、 $p < 2$ 、 $range > 0.3$
- 判定基準: 観測・解析状況 / SB9に無い / 今のところoEAでない / 季節
- 結果: AL Lep、V877, 879, 882, 888, 917 Mon

測光観測

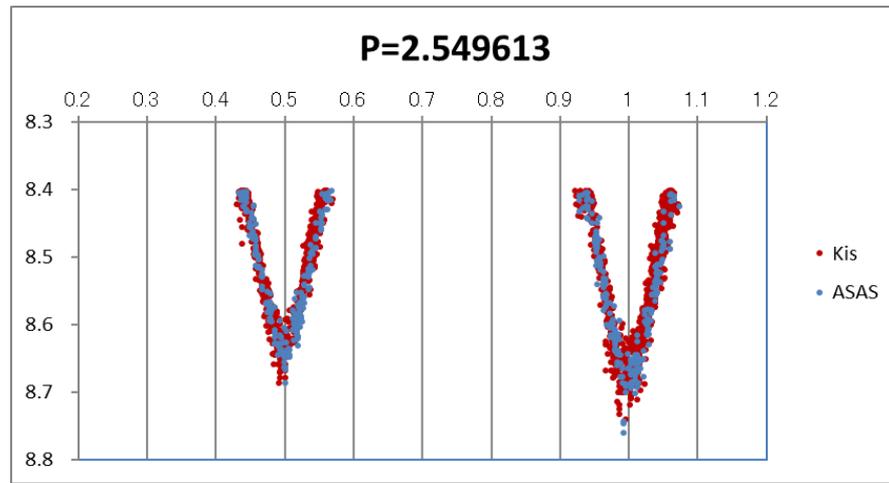
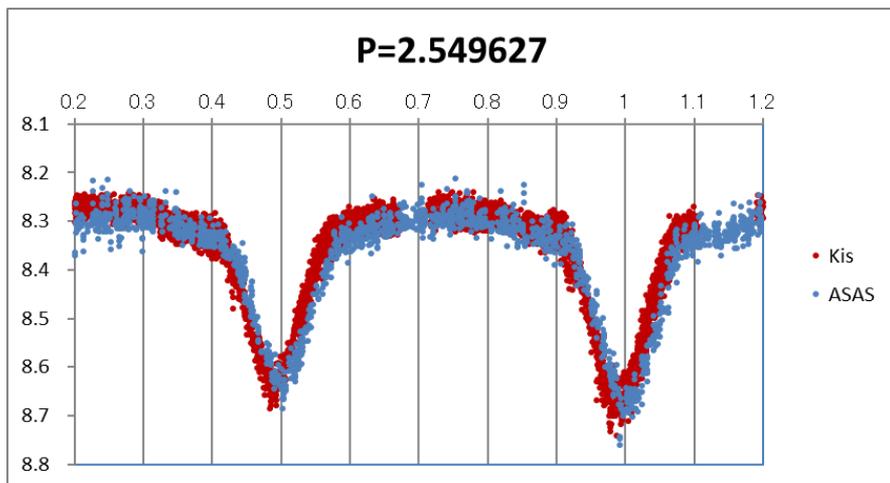


- 今回の観測期間だけで全位相が観測できたものは V888 Mon
- V888 Mon を解析する事となった

分光観測

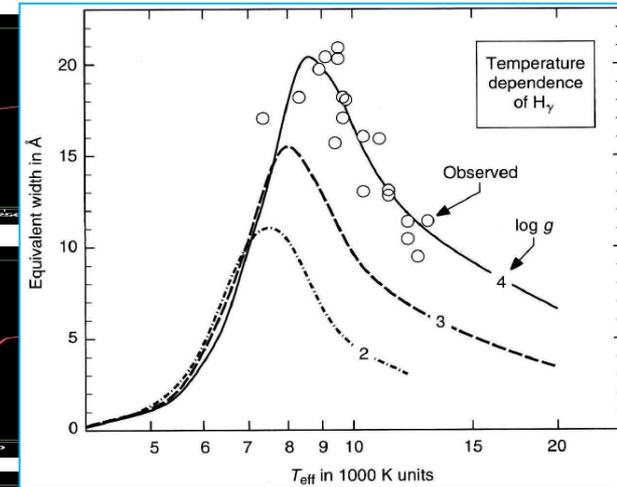
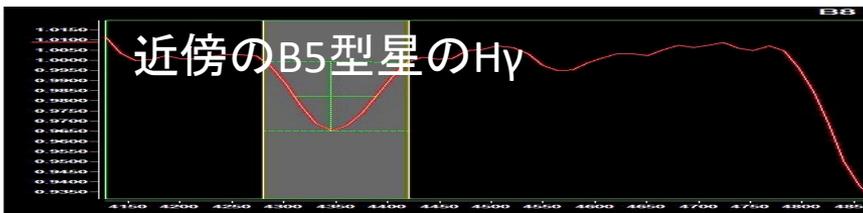
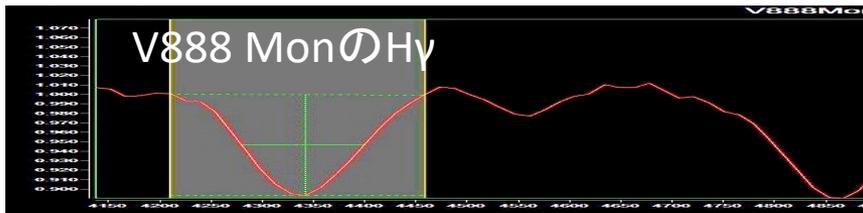
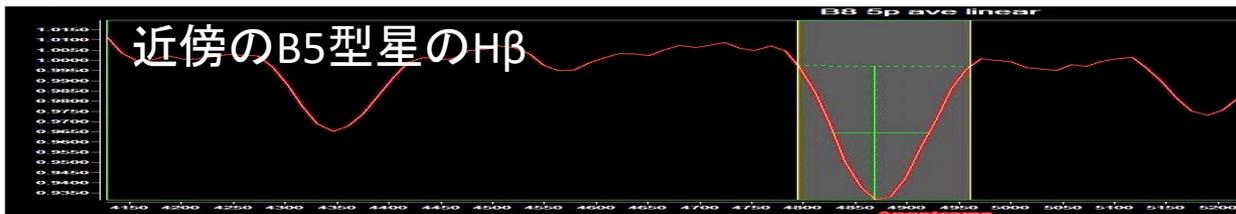
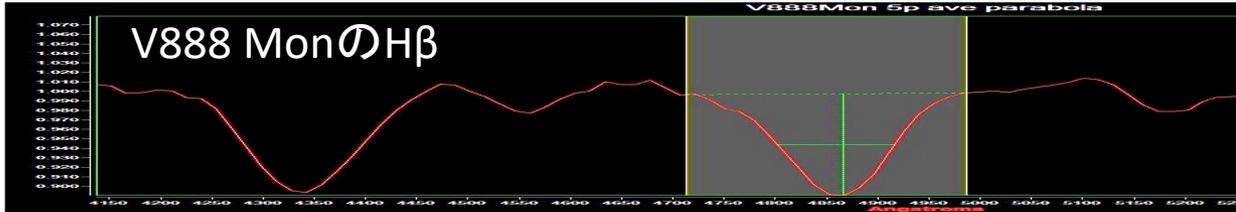


周期解析



- 今回の観測 (Kis: Ic band) これとASAS-3をPDM解析
- 食の部分だけでPDM解析をした方がよくフィットした
 - 光度変化の少ない部分は解析に含めない方が良さそう
- ASAS-3の観測期間は長いので今日まで周期変化していないとも言える

H β ・H γ 吸収線の等価幅EWと表面有効温度T_{eff}



二色図を用いた赤化の見積もり

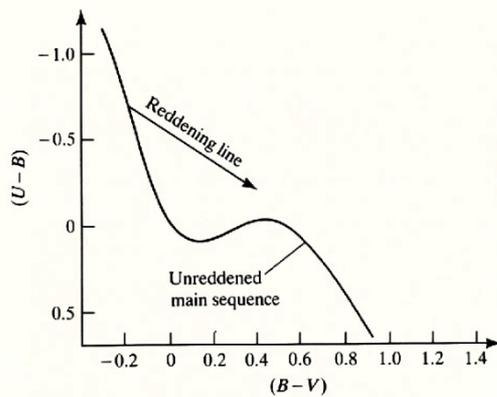
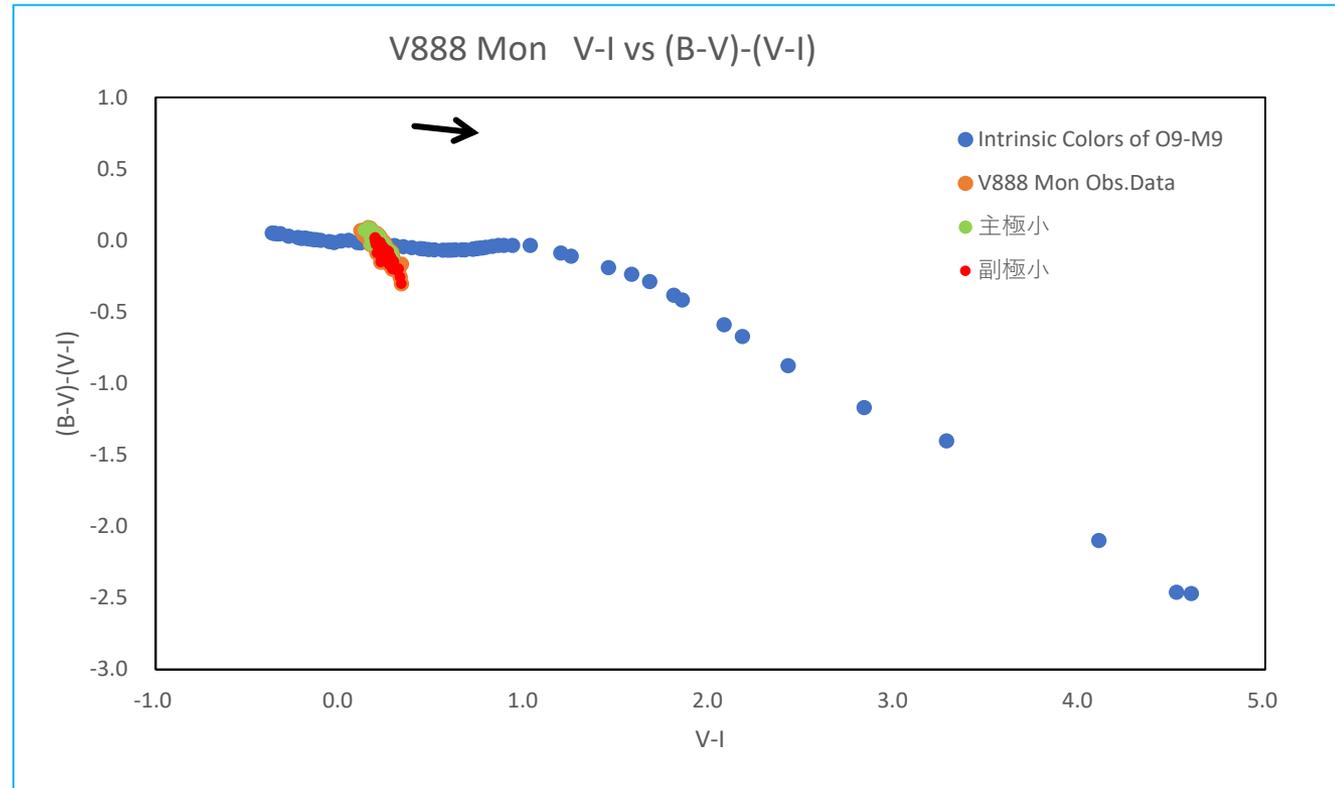


Figure 3-26. Effects of interstellar reddening in the *UBV* system two-color diagram.

U-B, B-Vは
Uが測定できない

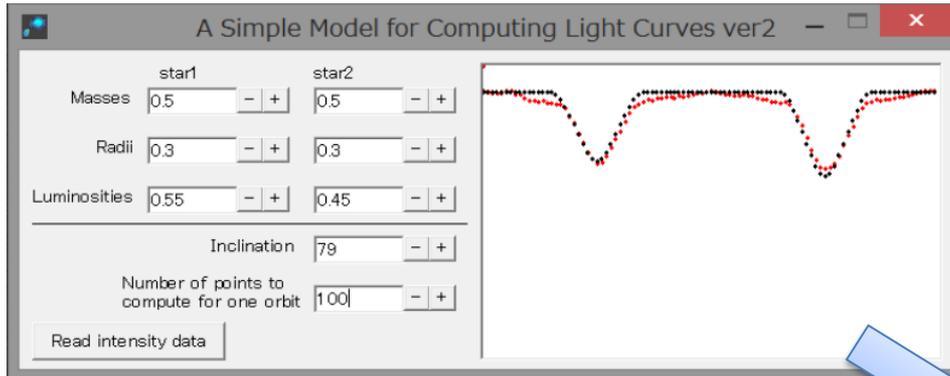


この2つを用いた

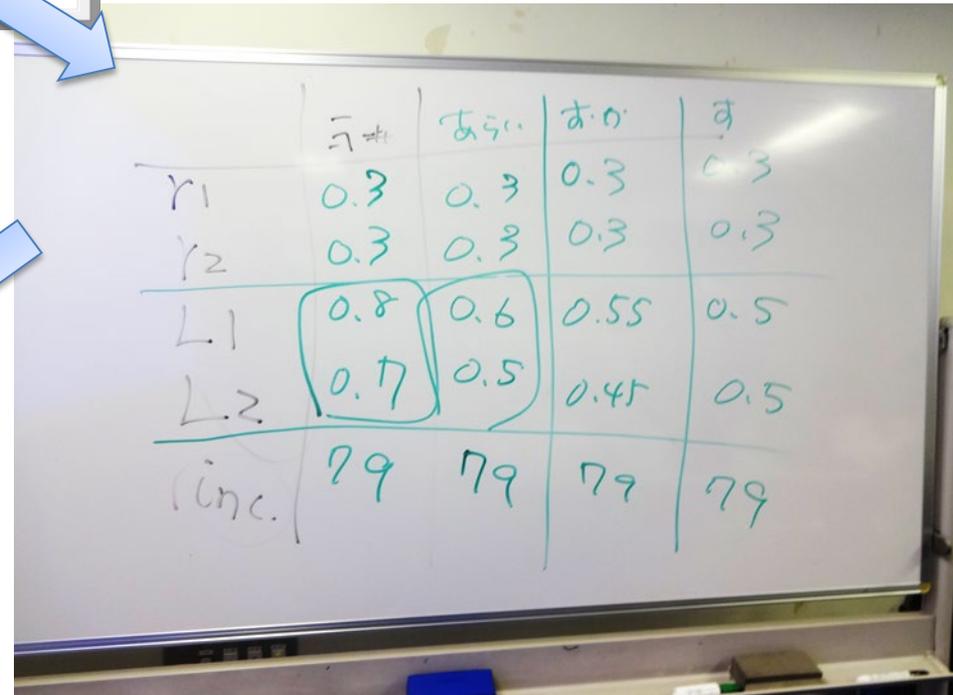
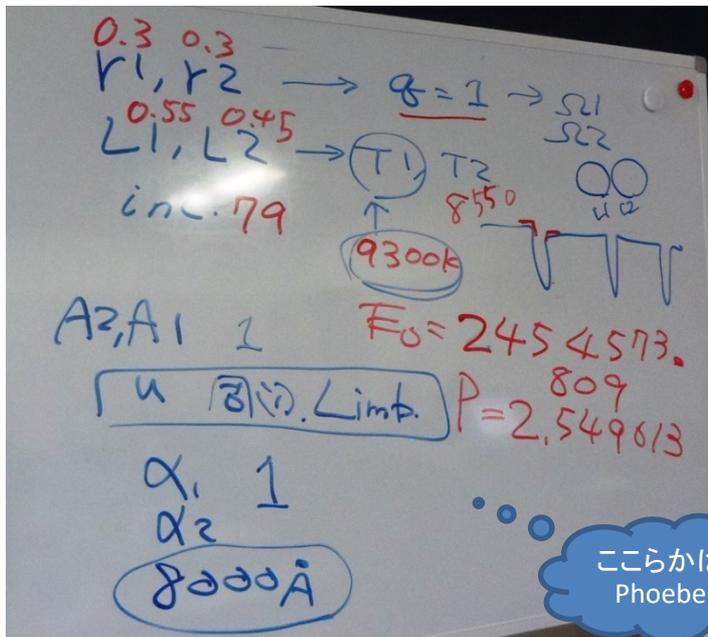
INTRINSIC COLORS, TEMPERATURES, AND BOLOMETRIC CORRECTIONS OF PRE-MAIN-SEQUENCE STARS,
Mark J. Pecaut and Eric E. Mamajek (2013)

Reddenings of Cepheids using BVI photometry

初期値決定



- みんなで球形モデルで評価を行った
- 自身のPCで見積もって結果を集計した
- 初期値を決めた



ここからは
Phoebe

その他の勉強会

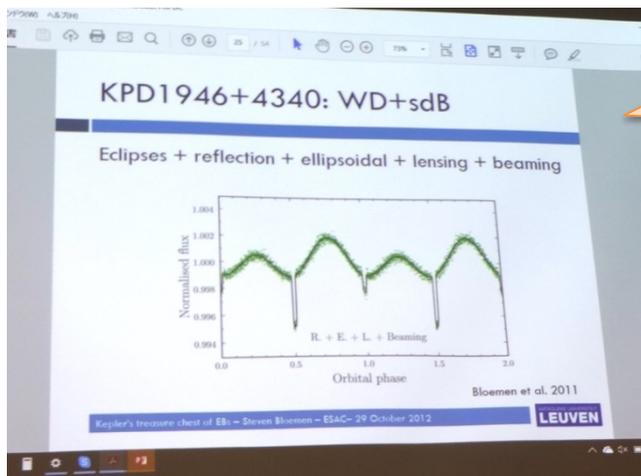
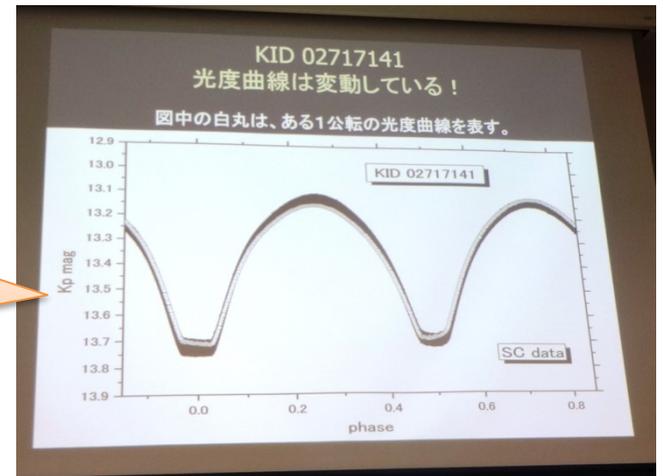
RV Tau型星の分類
 スペクトルによる分類

RVA型: 酸素過剰
RVB型: 炭素過剰
RVC型: CH、CN等がない

Preston et al.(1963)

RV Tauのレクチャ

Kepler衛星データを使ったEWの光度曲線の不連続



連星特有の光度曲線への効果

論文解説

2. A NEW MECHANISM FOR PERIOD VARIATION

In addition to the two other mentioned behaviors of the orbital period of WD binaries, a possibility should be considered for those systems which are also eclipsing binaries, or have some mechanism which may also cause the orbital period to change. This mechanism is based on the fact that the orbital period of a WD binary is strongly dependent on the eccentricity of the orbit. In order to make contact with the Roche surface, the eccentricity must be small and will change with the binary period.

2.1. The effective radii of contact binaries

The preceding discussion of contact binaries implies that the effective radii of the stars are not constant, but vary with the orbital phase. Based on the definition, the radii of components of a contact binary are not defined by the corresponding radii of the Roche lobes described by Roche potential. Under the assumption of zero point, the Roche potential under an orthogonal coordinate system can be written as

$$V = \frac{GM_1}{r_1} + \frac{GM_2}{r_2} + \frac{1}{2} \left(\frac{R_1}{r_1} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{R_2}{r_2} \right)^2 \quad (1)$$

where r_1 and r_2 are the distances from the center of mass to the two stars, M_1 and M_2 are the masses of the two stars, R_1 and R_2 are the radii of the two stars, and ψ is the angle between the line of sight and the line connecting the two stars. The effective radii of the stars are defined as the radii of the Roche lobes at the contact point. The effective radii of the stars are defined as the radii of the Roche lobes at the contact point. The effective radii of the stars are defined as the radii of the Roche lobes at the contact point.

2. 公転周期変動(P)の新たなモデル

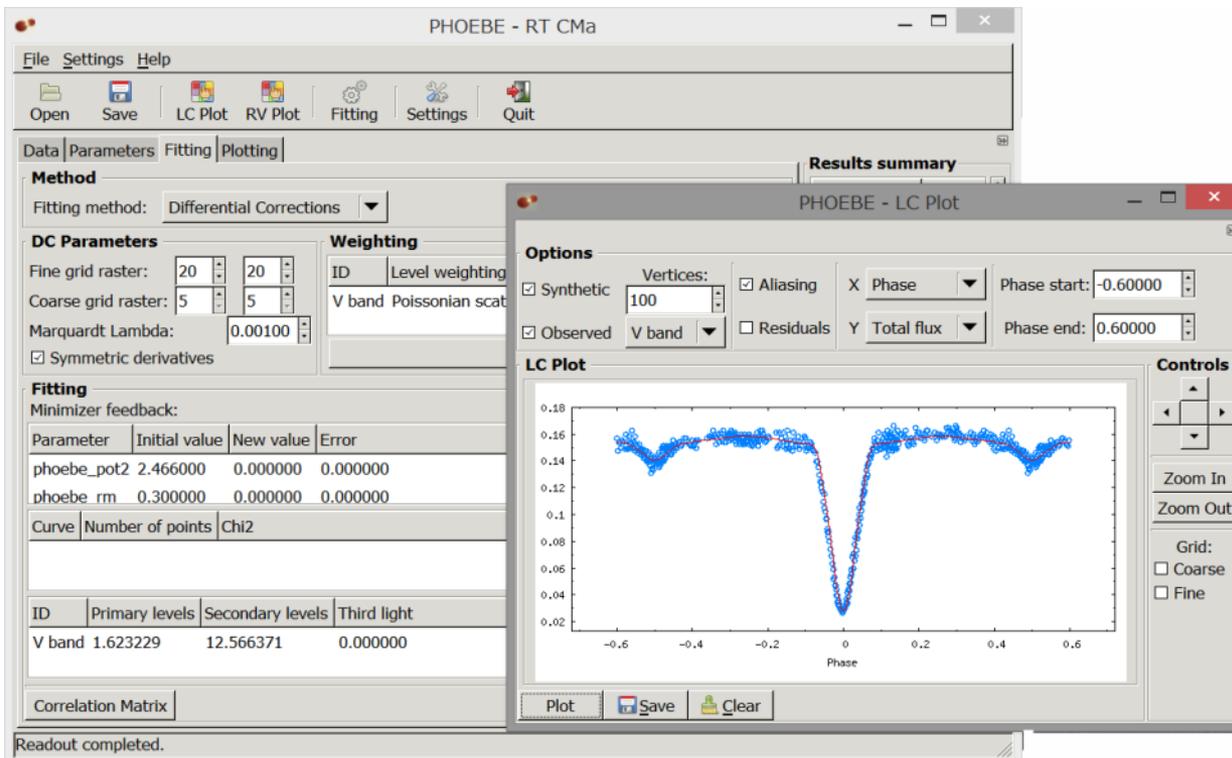
- W UMa型連星のPの長期的な振動的な変動は広く観測されている。
- これらの変動は質量移送によるもの見方が有力だが、新たな機構を提案する。
- この機構では、PはCCEの厚さに依存、後者の厚さは充填率fと強く相関する。
- Pとfは接触連星の動的パラメータ。

2.1 接触連星の有効半径

- ロッシュポテンシャルの説明(次のスライド参照)
- (1)式は(単位が無次元の)規格化したポテンシャルψの計算。

おしまい

- まだ当座の目標が一つも終わっていませんが
- ゆっくりと勉強しながら進めています
- どなたでも出席できます、興味ある方は是非ご参加願います



GSC 03807-00759の 測光観測とデータ解析

赤澤秀彦(倉敷 船穂天文台)
笠井 潔(スイス・バーゼル)
大倉信雄(岡山 妹尾観測所)

2019.06.08-06.09 「変光星観測者会議2019」川崎

本日の内容

- 報告者紹介
- GSC 03807-00759 の観測結果
フレアを観測したこと
解析のため静穏レベルを求める
Period 04によるフーリエ解析
- エクセルによる食の分離
(+食の予報)
- まとめ

報告者紹介 赤澤秀彦 「船穂天文台」

過去資料

倉敷市船穂町 自宅の離れを天文台に

3. 2mの半自作ドームがメイン

現在4台の望遠鏡が稼働中

(最終目標は6台フル稼働)



笠井 潔さん

- スイス・バーゼル在住46年のフルート奏者
- バーゼルオーケストラとバーゼル音大で演奏と教育活動を行う。
- 定年退職後、趣味の変光星観測に打ち込んでいる。
(Facebookによる)
- 28cm SC + SBIG ST-7で高精度な測光観測を行い、新変光星の発見や要素が未確定の変光星の確定作業を行っている。



大倉信雄さん

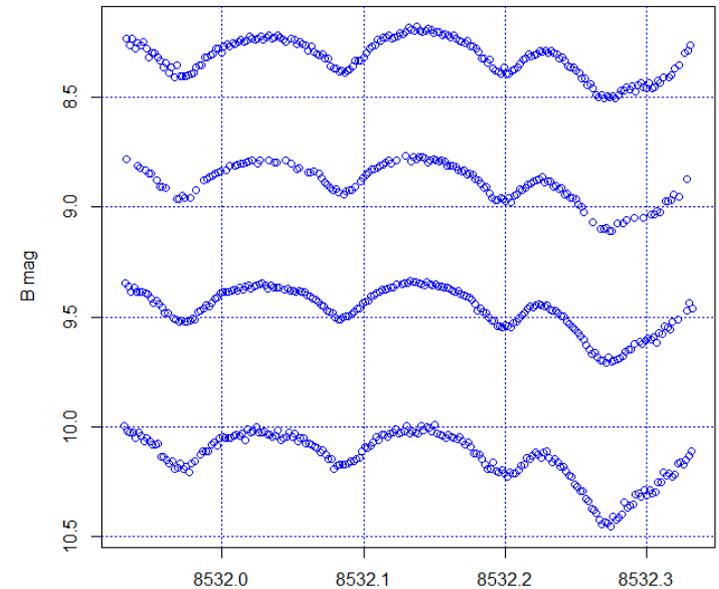
- 岡山市妹尾
- 光電測光観測以前からの協同観測者
- Misao Projectで多くの
新変光星を発見
- 現在は自宅裏庭で細々と観測
- 写真はサイクルハウス内に格納された機材と観測環境



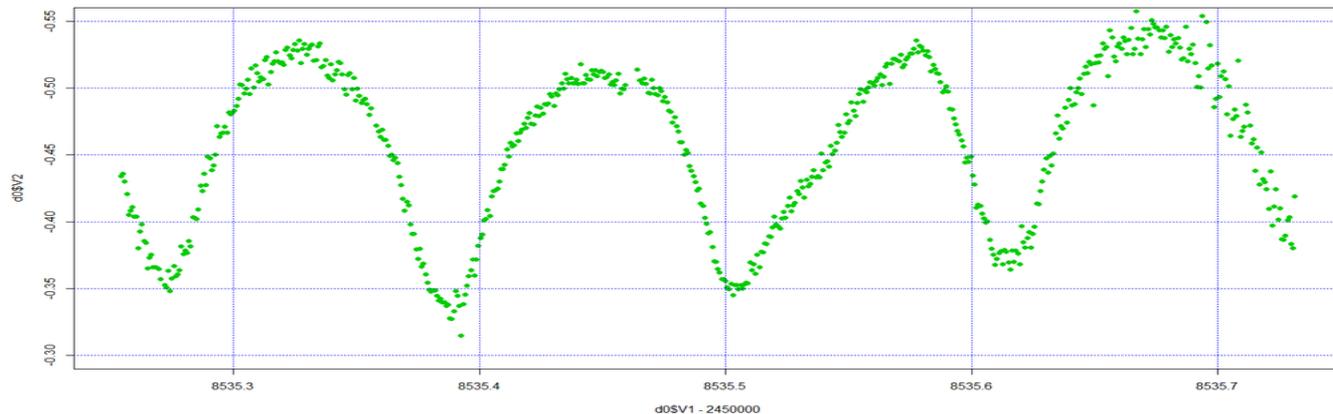
きっかけは笠井さんのブログ(2019/02/21)

VSOLJの観測報告(東京・鈴木さん)を見て02/20に観測し、異常な光度変化をとらえた。

GSC03807-00759



GSC 03807-00759, observations 2019.02.20.



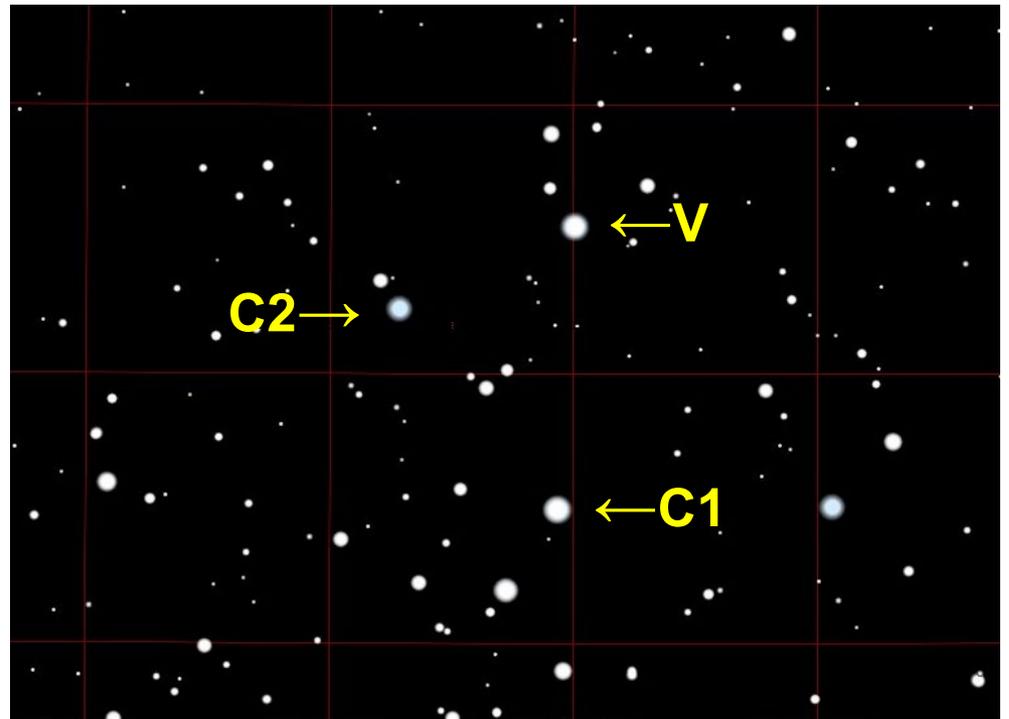
GSC 03807-00759

- SIMBAD---Double or multiple star
09:30:10.77 +53:38:59.6
V=9.59mag.

- VSXでは
V0441 UMa(EA)
+V0442 UMa(EW)
離角2.2秒角

C1=GSC 03807-00054

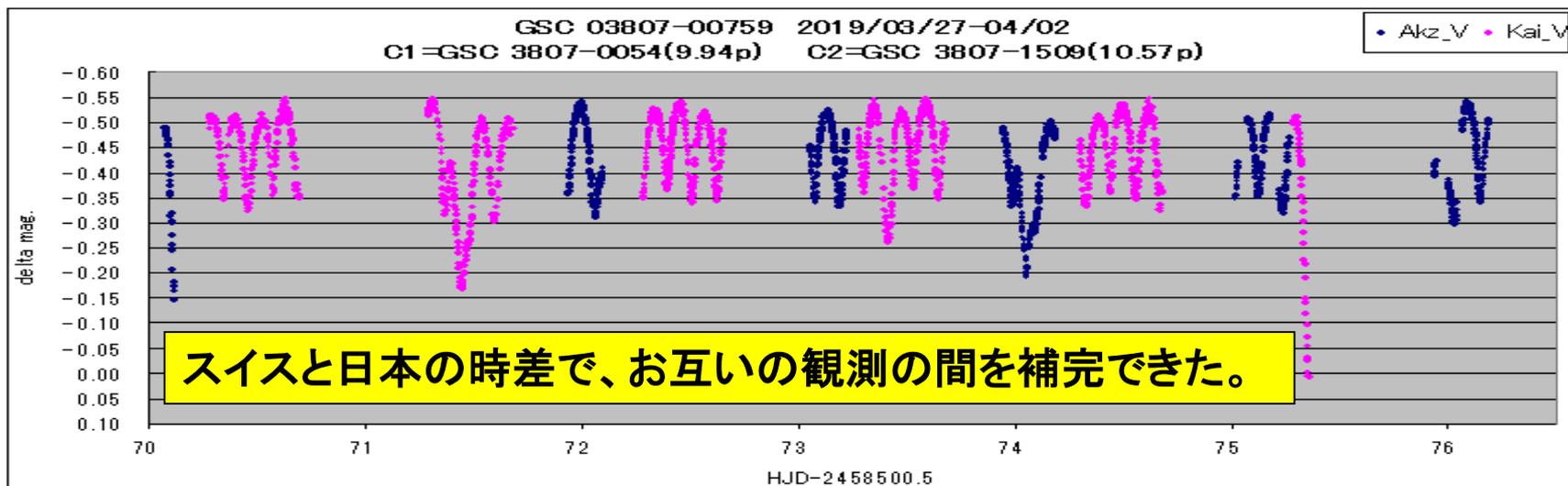
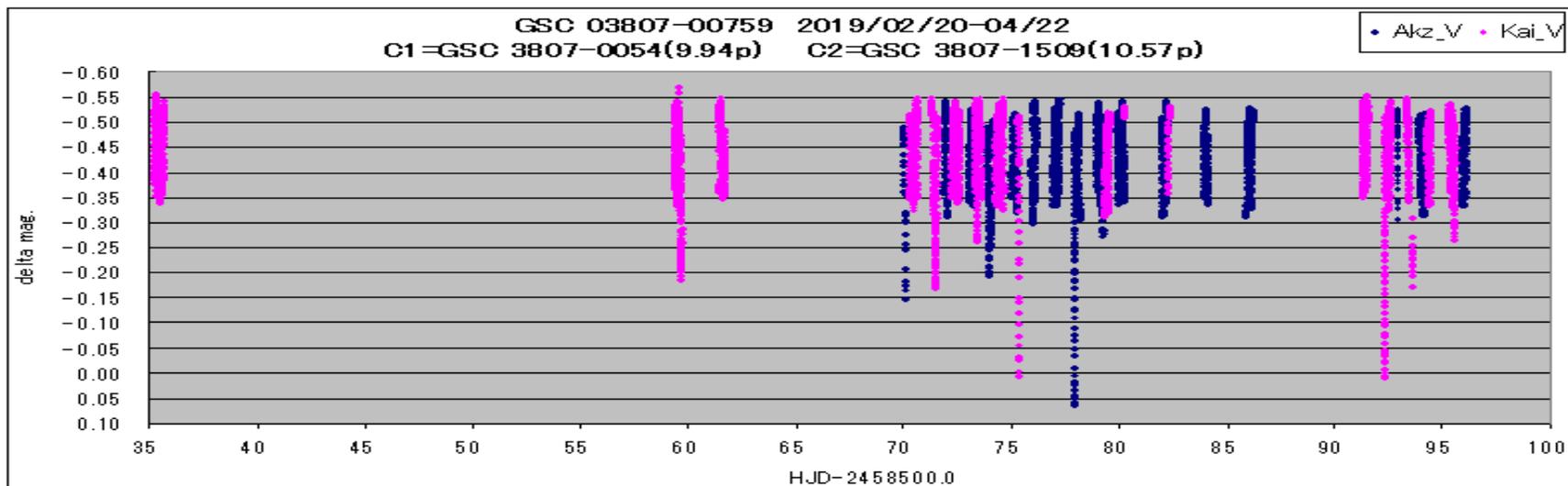
C2=GSC 03807-01509



赤澤・笠井の観測(V)

2019/02/20-04/22

赤澤 28cm SC , 笠井 28cm SC



赤澤の観測開始

V 2019/03/27から

Rc 2019/03/24から

気になりながらも笠井さんに遅れること約1ヶ月が経過

その間は新発見のAkaV010の観測、登録(03/25)を行っていた。

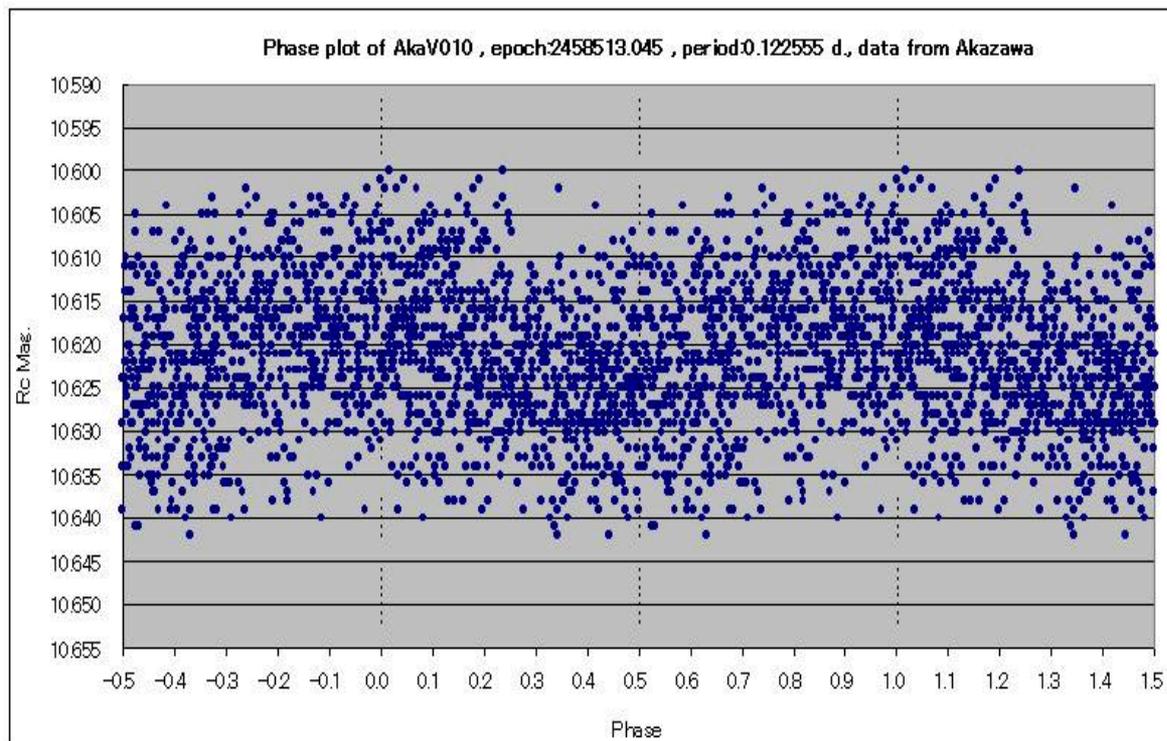
Aka V010

=GSC03715-00530

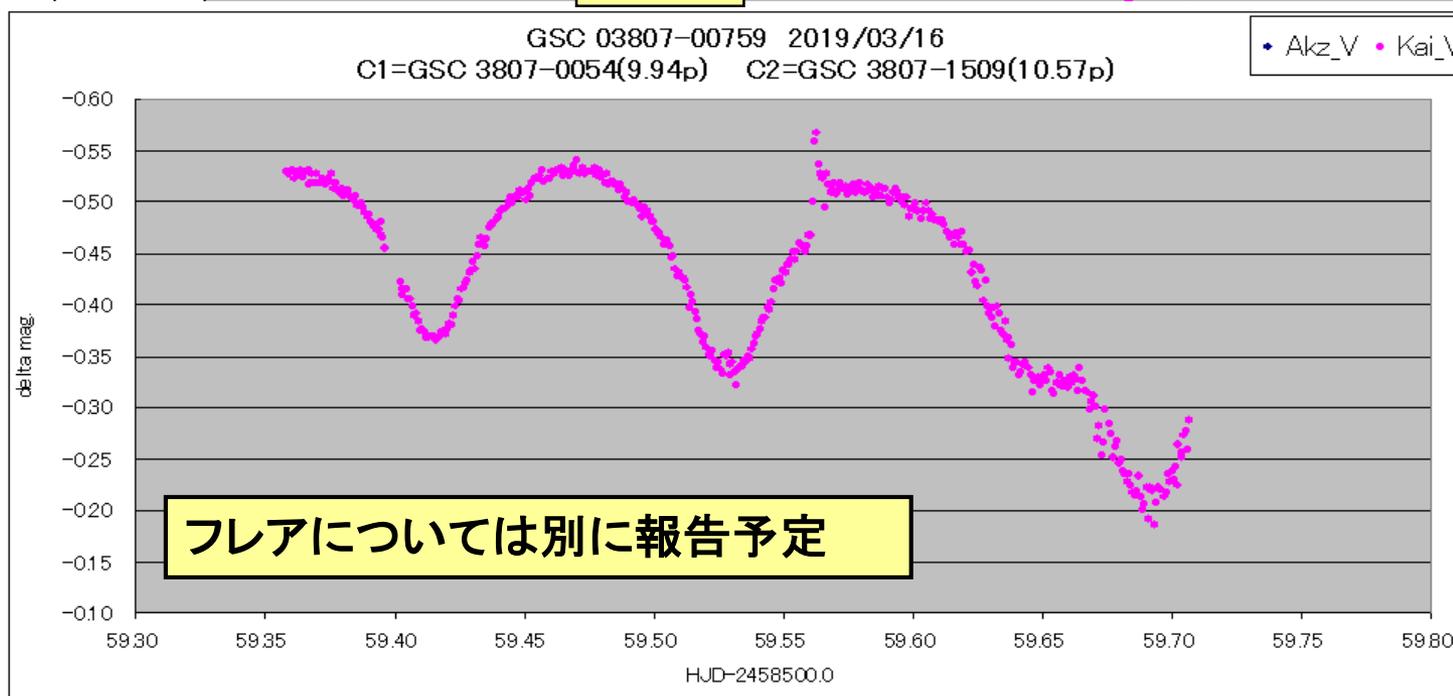
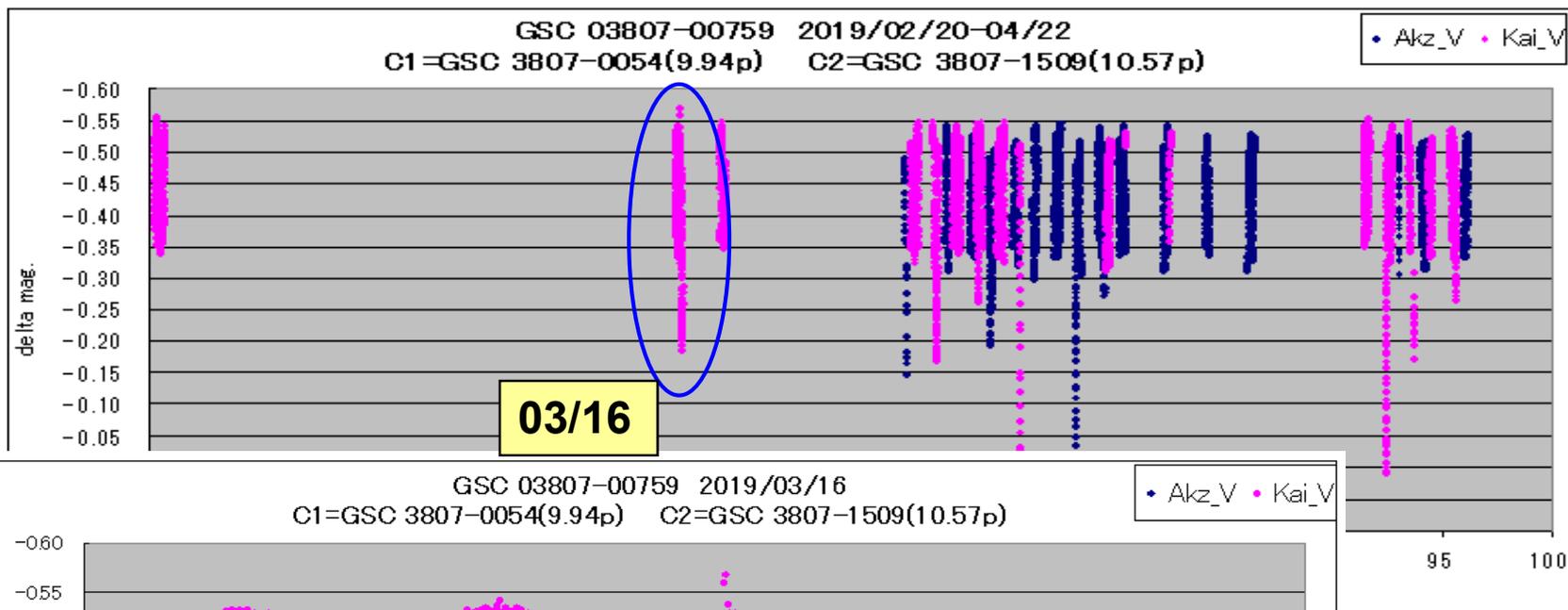
周 期 約3時間

変光幅 約0.01等

Type DSCT

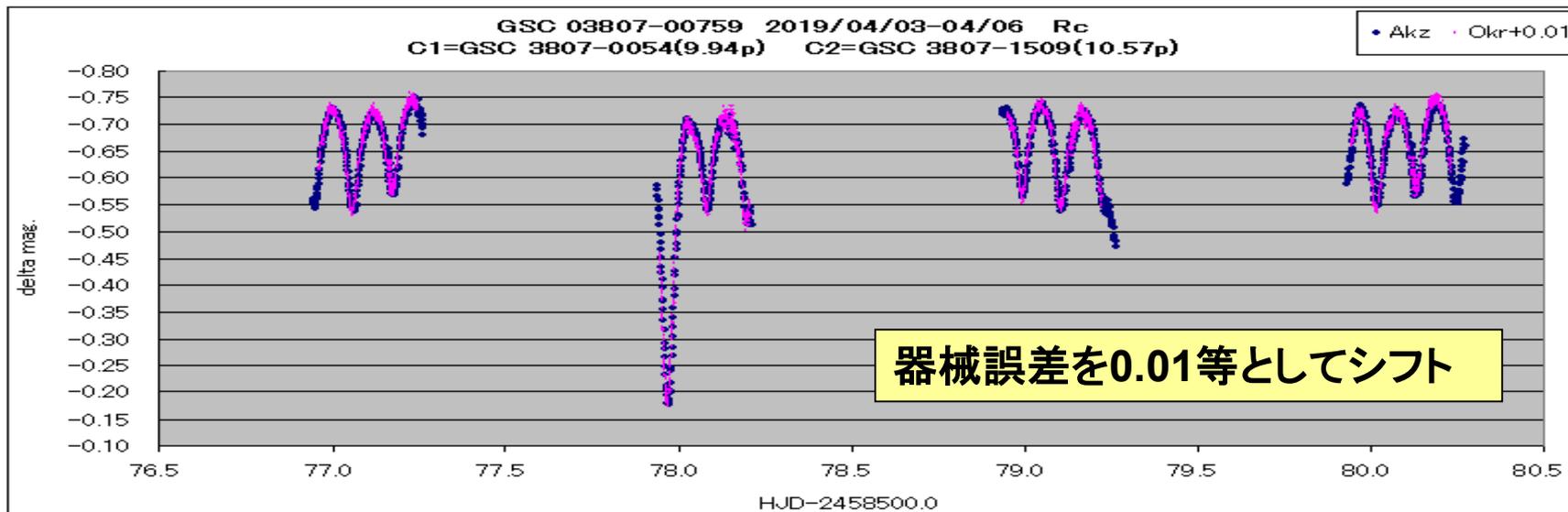
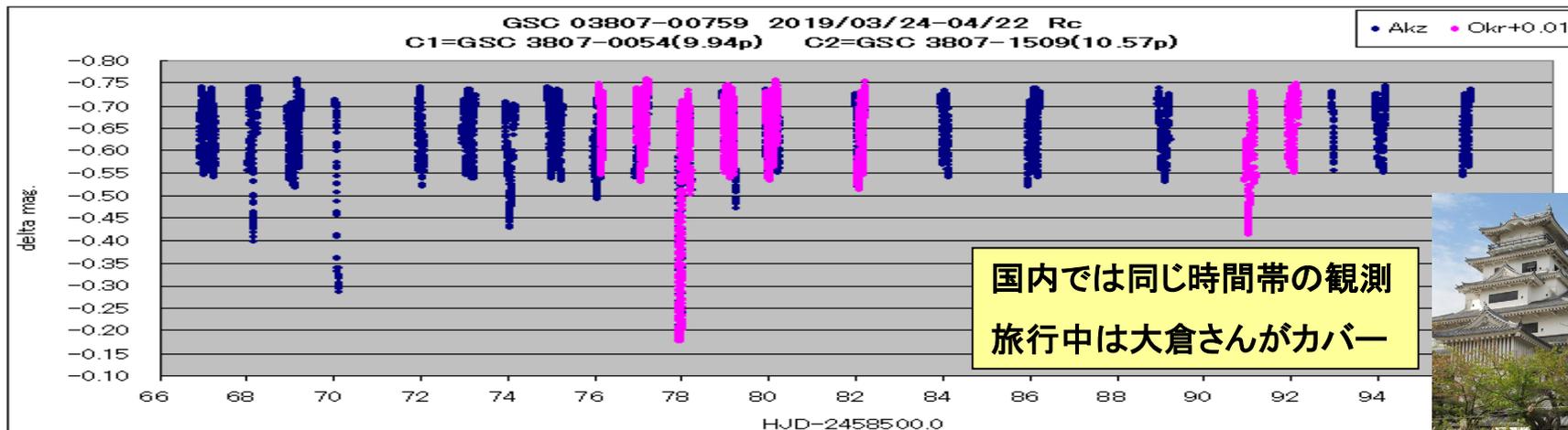


笠井さん 2日目の観測でフレアを検出

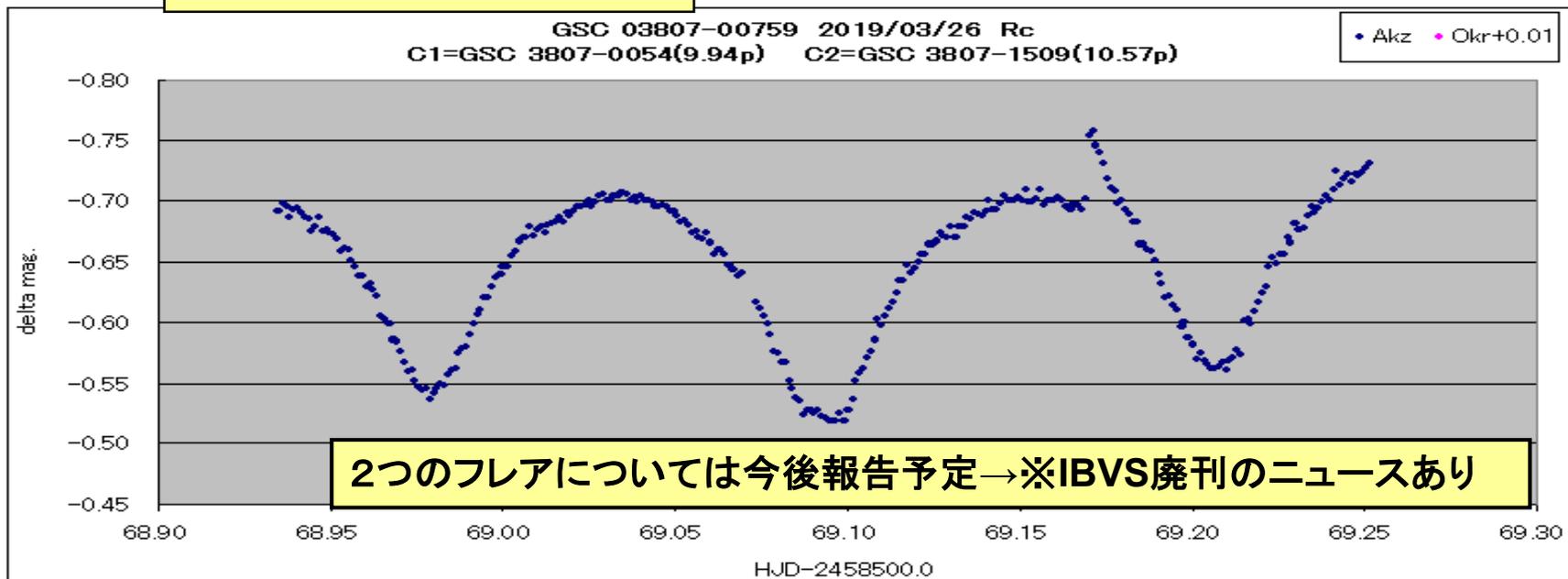
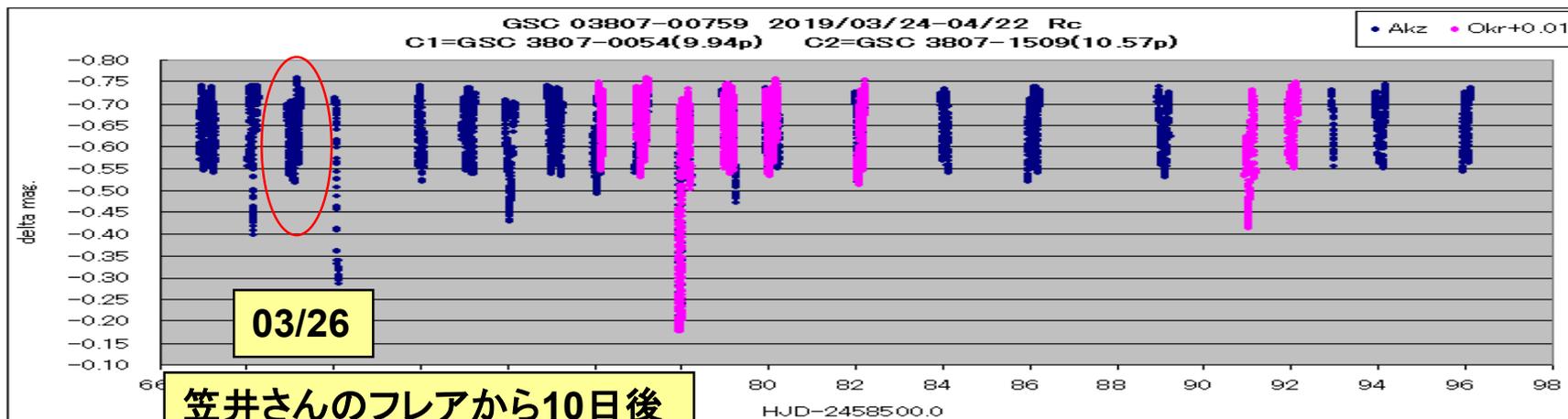


赤澤・大倉の観測 (Rc) 2019/03/24-現在まで

赤澤 20cm SC(03/24-), 大倉 25cm RC (04/02-)

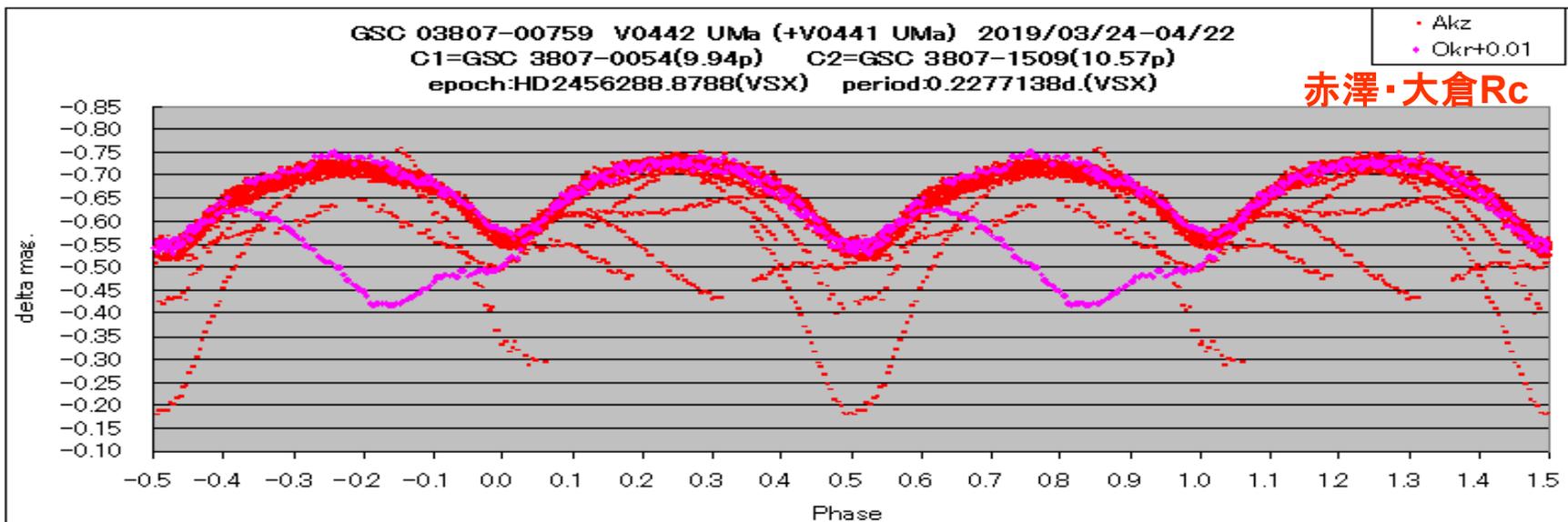
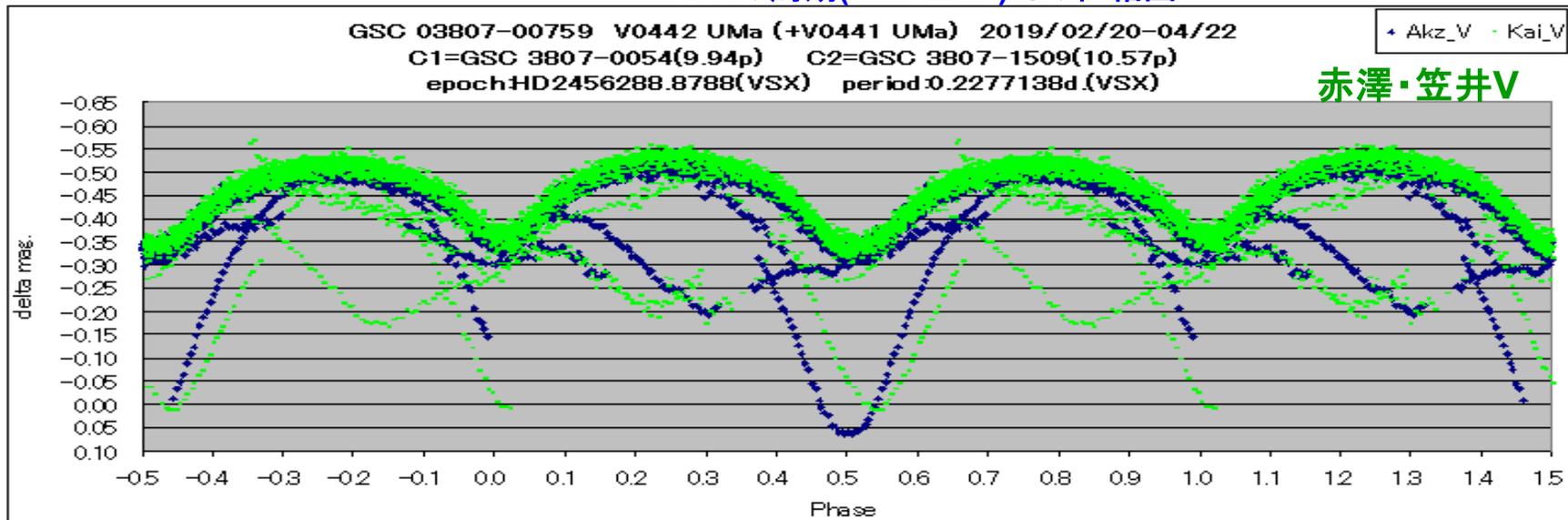


赤澤 3日目の観測でフレアを検出



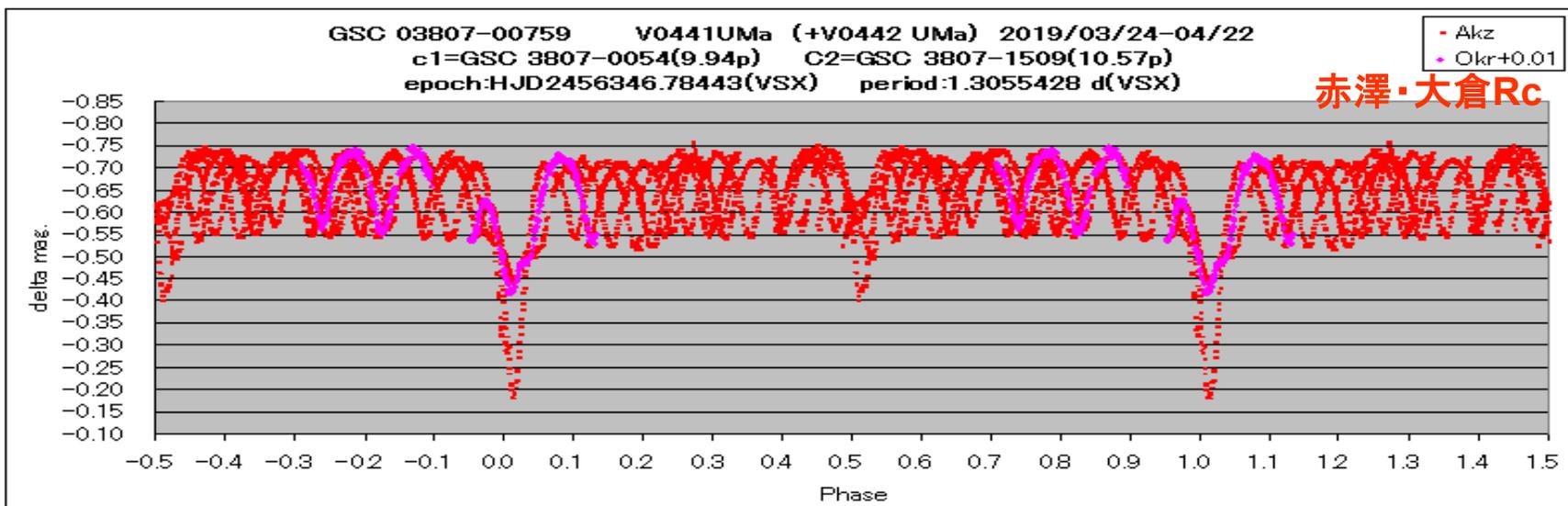
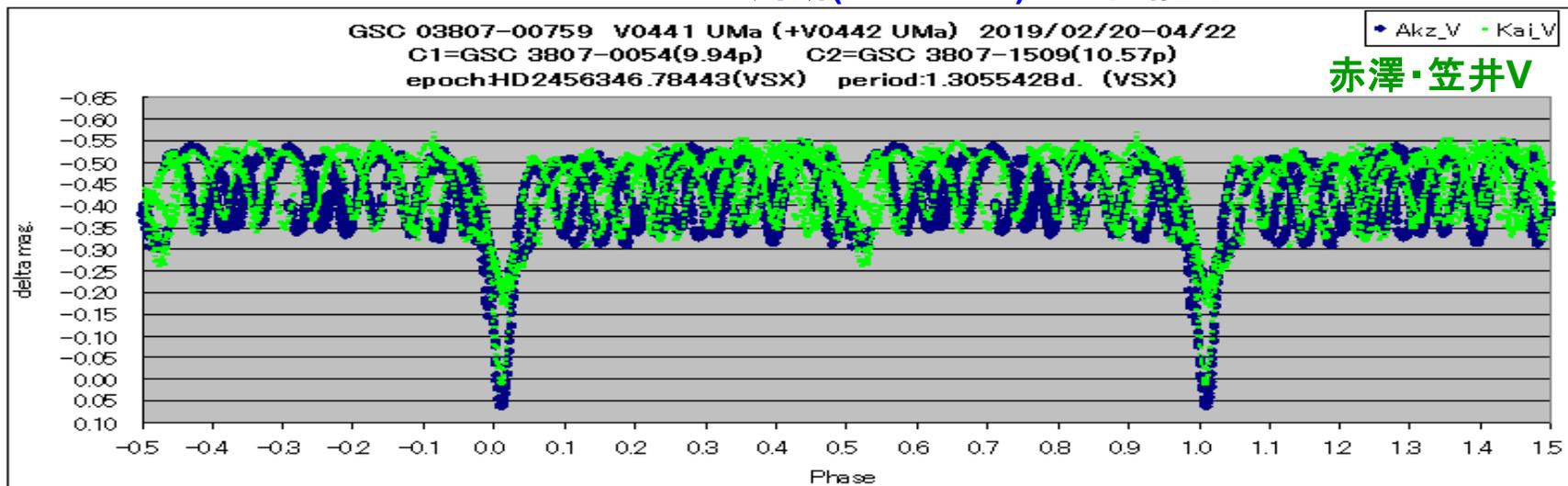
V0442 UMa(+V0441 UMa) EW VSX (2019/05/13)

EWの周期(P=0.228d)での位相図

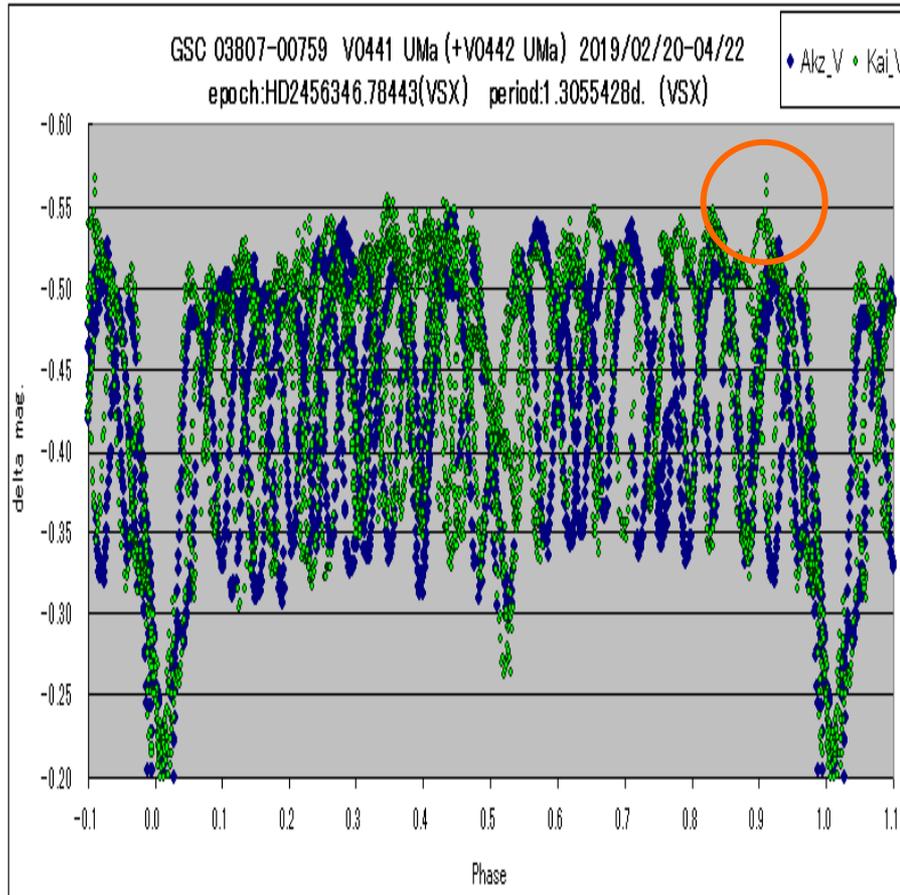


V0441 UMa(+V0442 UMa) EA VSX(2019/05/13)

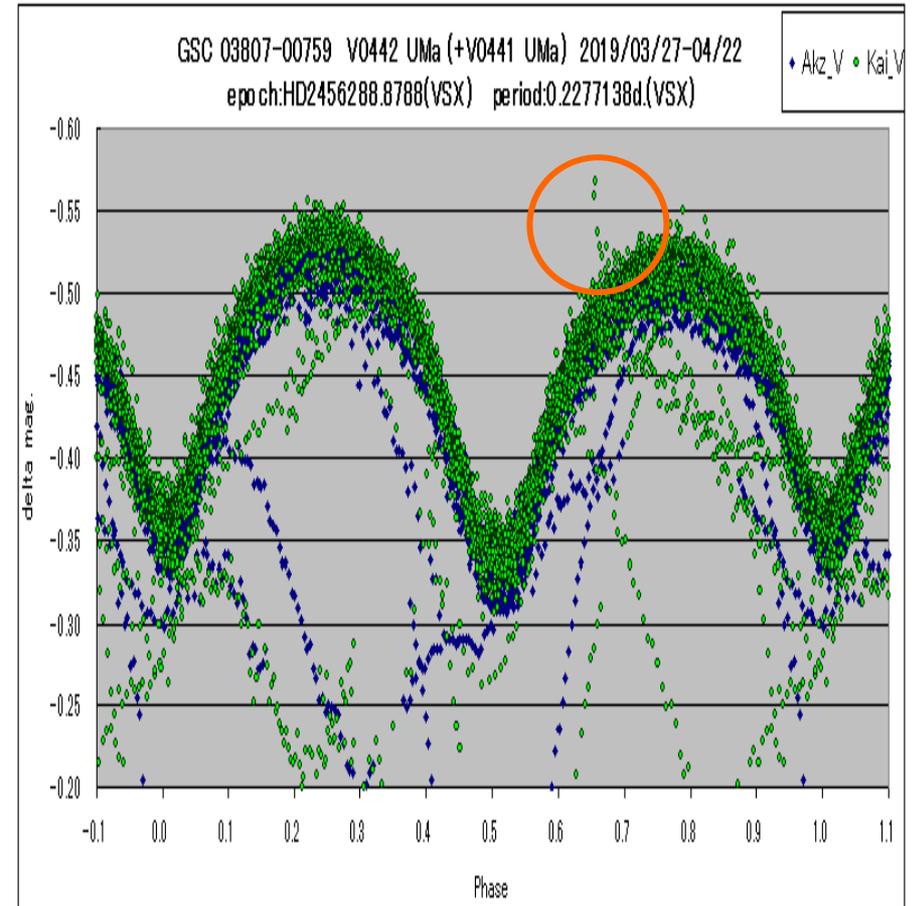
EAの周期(P=1.306d)での位相図



笠井さんがとらえたFlare 03/16

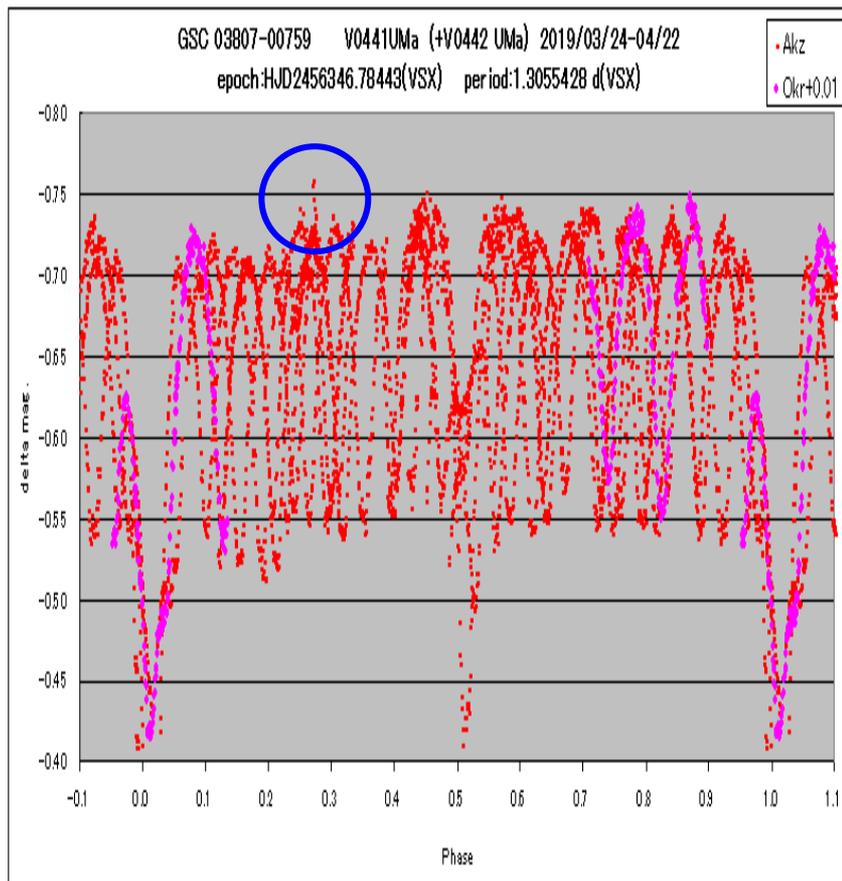


V0441 UMa Phase=0.91

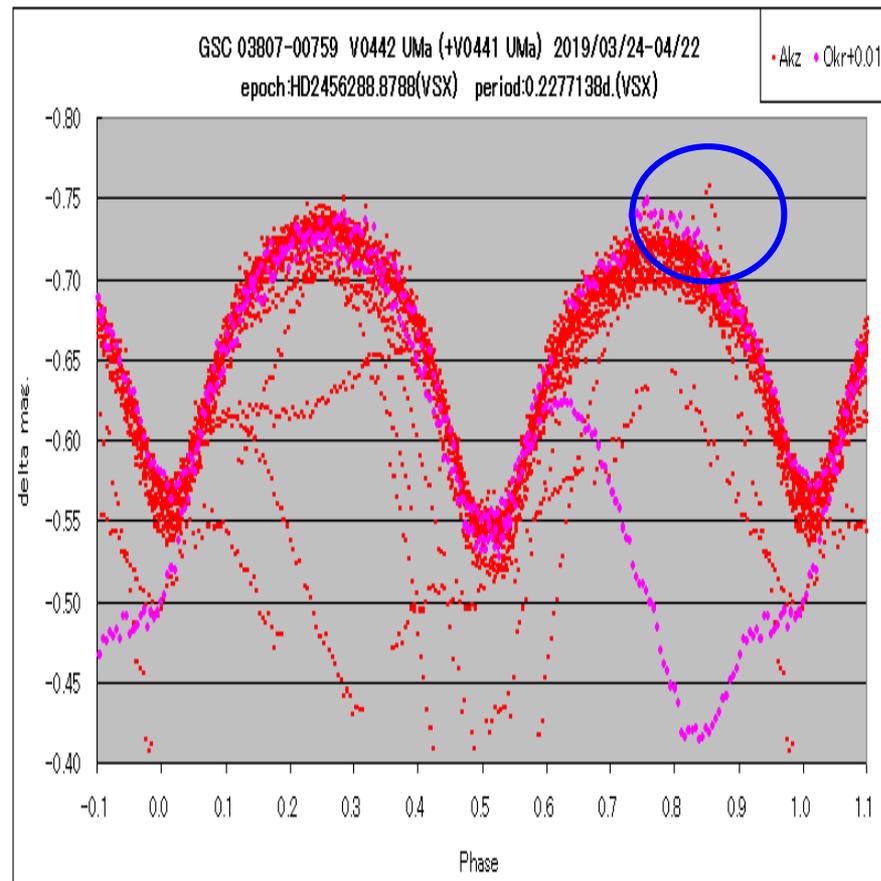


V0442 UMa Phase=0.65

赤澤がとらえたFlare 03/26



V0441 UMa Phase=0.27



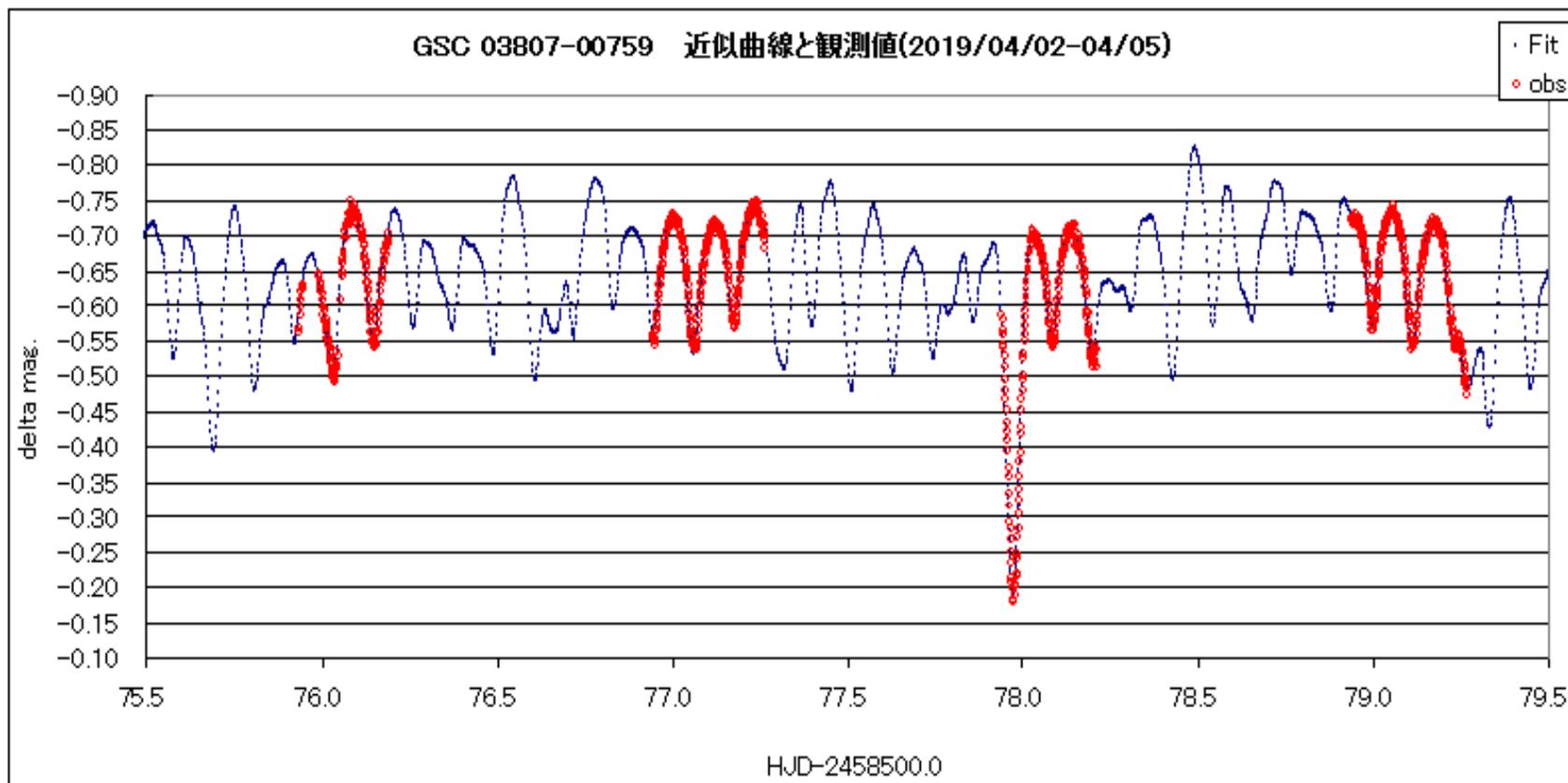
V0442 UMa Phase=0.85

Period04によるフーリエ解析

20cm Rc , 03/24-04/06, F40まで
初めてのフーリエ解析でした。

近似曲線と観測値のグラフをエクセルで作成

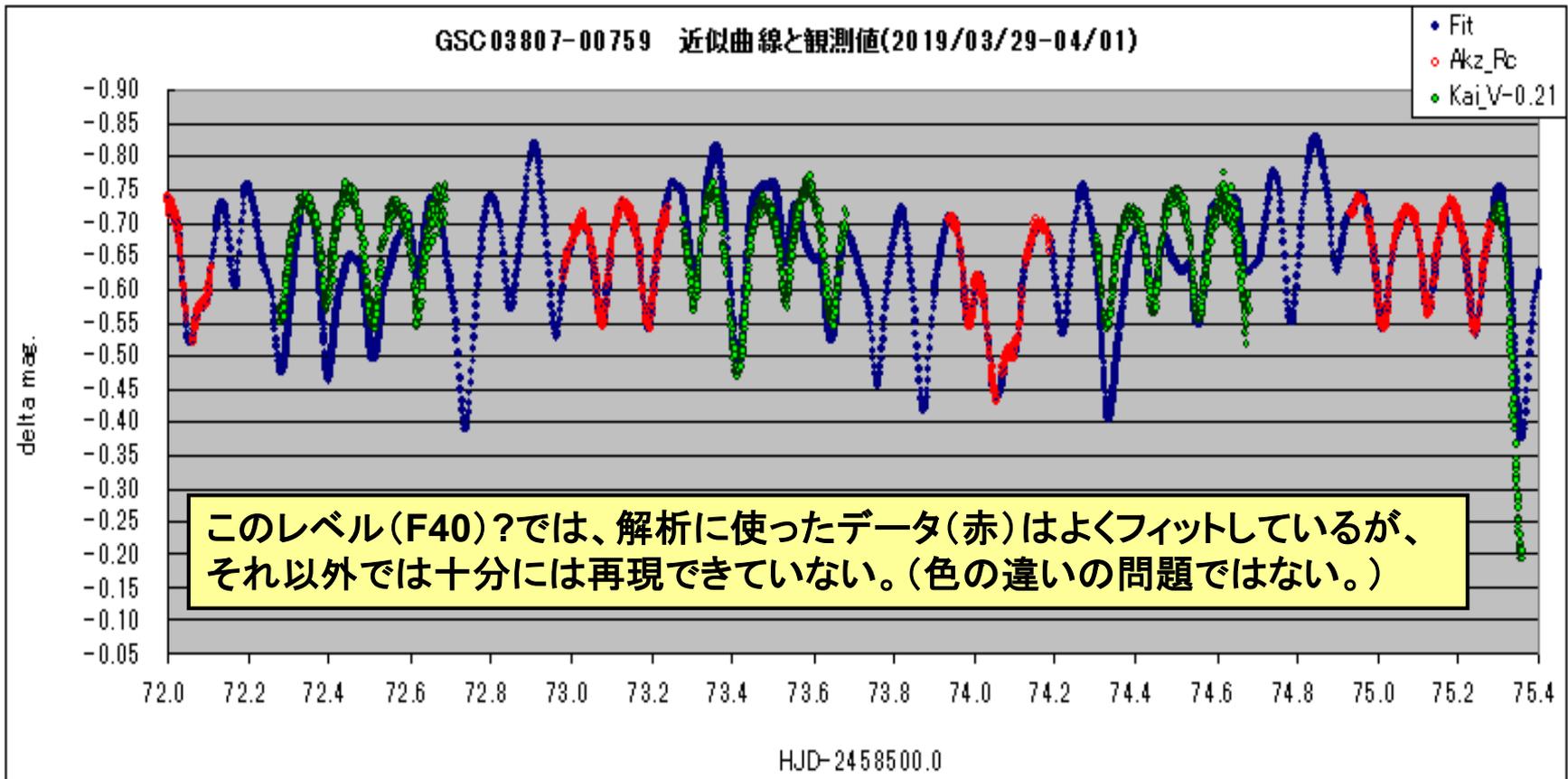
(←Period04の機能を知らなかったためエクセルを使用した。)



40個の周波数でうまくフィットできた。→この結果に笠井さんの観測をプロットしてみる。

フーリエ解析で得られた近似曲線は ライトカーブを再現できているか？

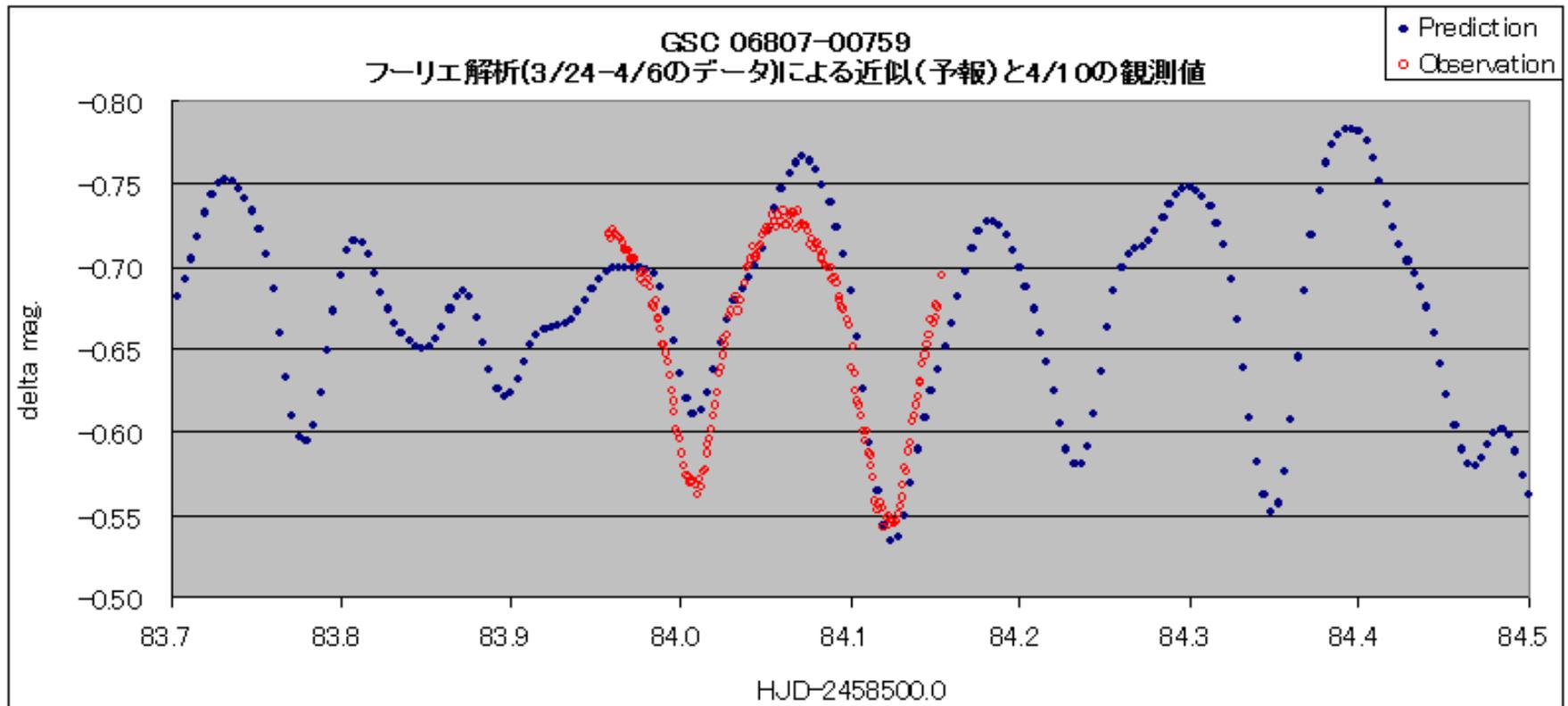
赤澤Rc(3/24-4/6)のフーリエ解析(F40)で得られた近似曲線(青)に、
笠井V(緑, -0.21)をプロットしてみた。



フーリエ解析による近似を、食の予報に利用

フーリエ解析による近似曲線を将来(未来)に延長(=予報、青)し、観測と比較した。

期間外の観測結果(赤)をプロット←エクセルを使ったおかげで解析範囲外でもグラフ化が可能。



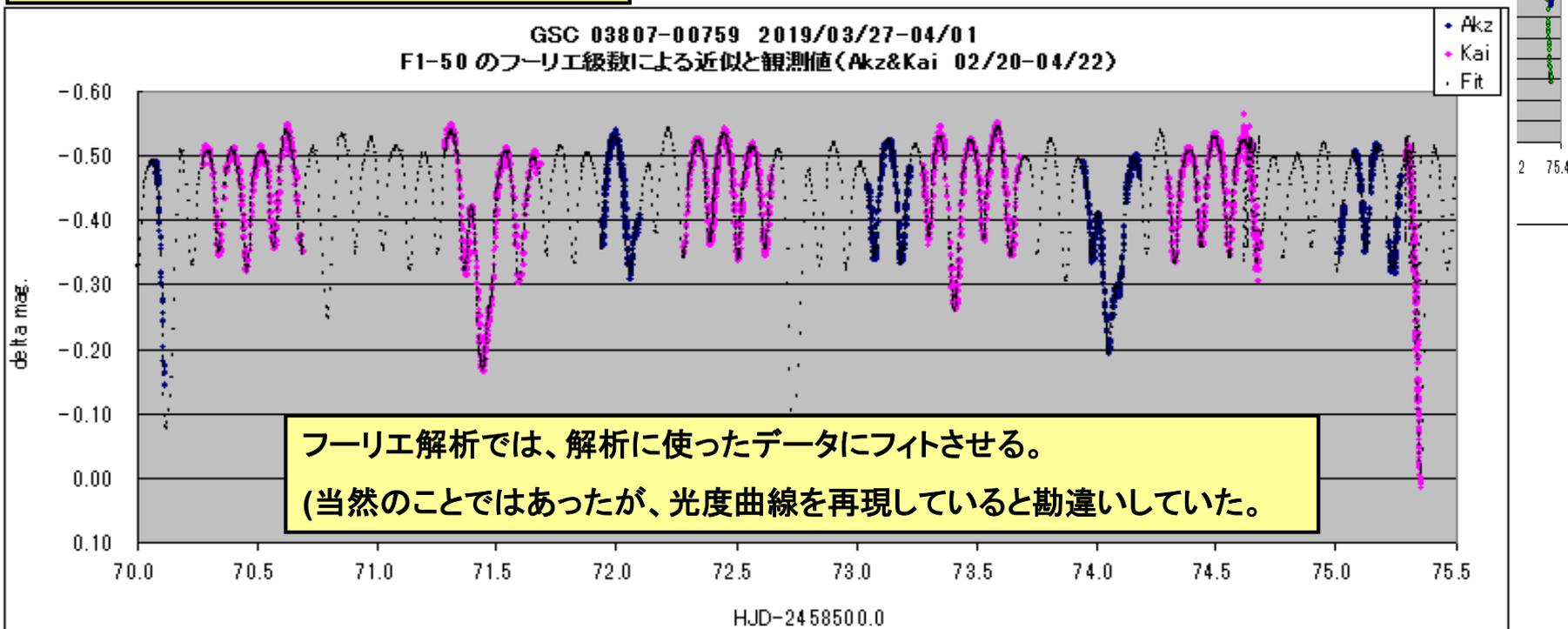
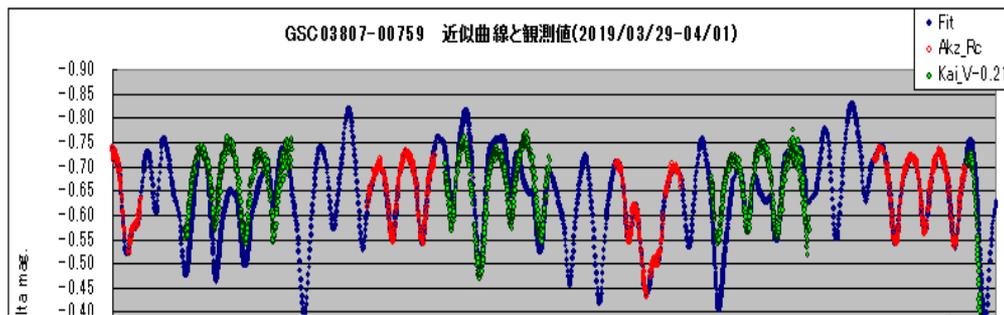
このレベル(F40)?では、解析に使ったデータ範囲外では十分にはフィットできていない。

フーリエ解析の精度を上げる

解析に使うデータの期間と数を
増やし(赤澤・笠井のV,2/20-4/22)、
周波数を50まで求める。

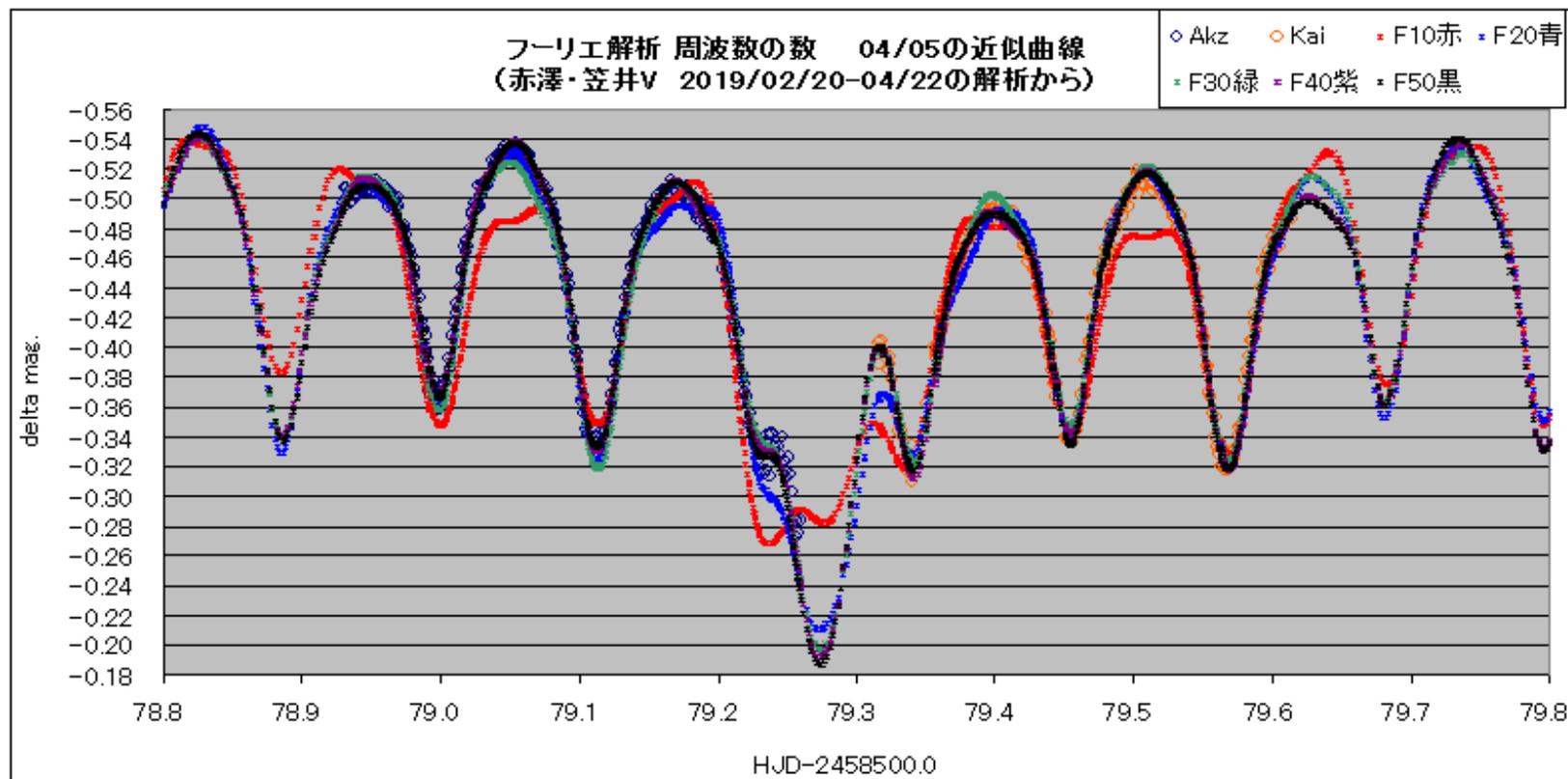
ふたりの観測によくフィットできた。

赤澤のデータだけについての解析では、笠井のデータについてはうまくフィットできていなかった。



周波数Fはどこまで求める？

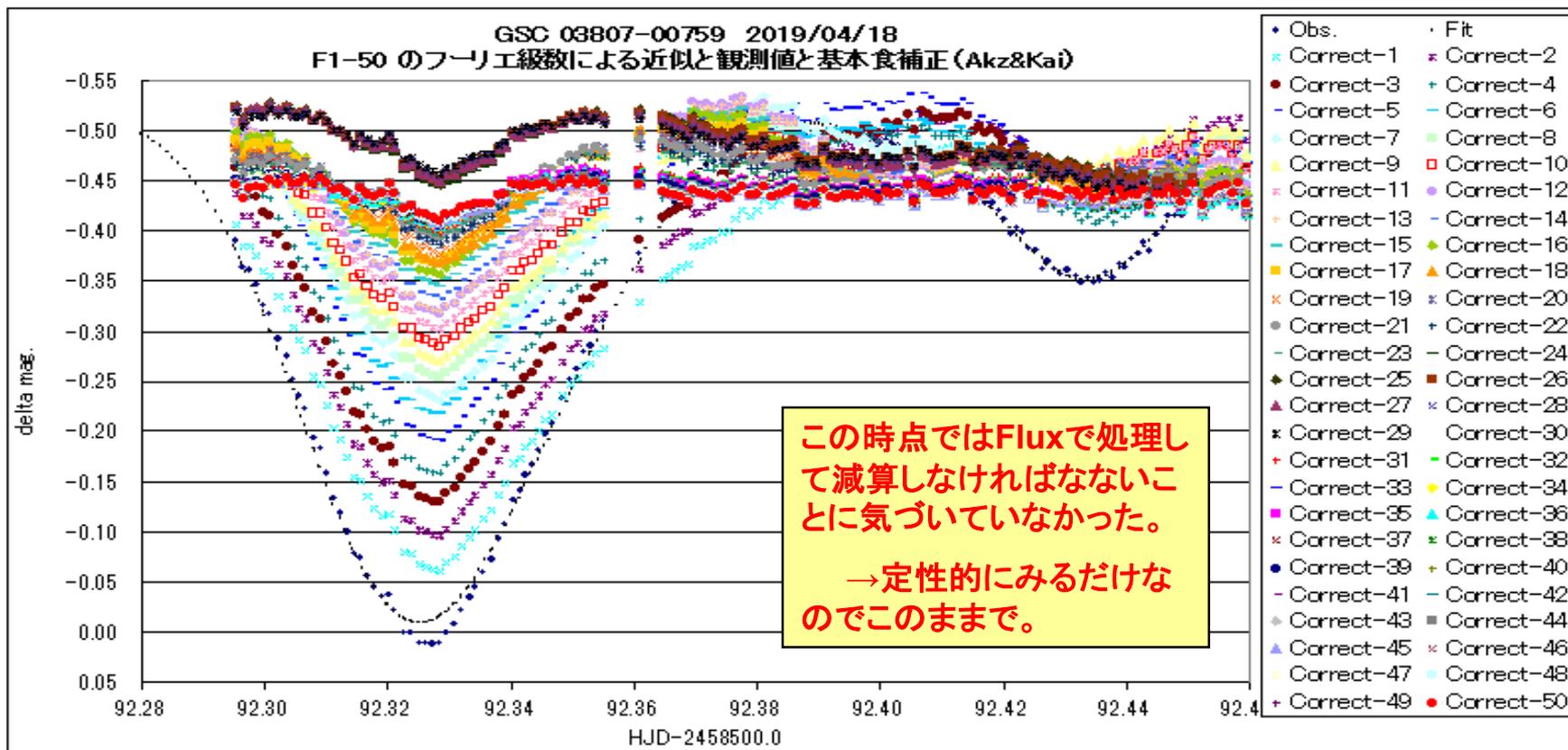
周波数を、F10,F20,F30,F40,F50までに分けて、どこまで近似できるか比べる。



今回のデータでは、F40,F50まででかなり近似できる。

4/18の観測値からF1-F50を順次減算して補正してみる。

Zero point(Z_0)=-0.436 , 近似式が完全であればF50までの減算(赤)は Z_0 に近づく。



深い食(EA関係)はたくさんのコンポーネントにより少しずつ Z_0 に近づくが、近似は不十分。
浅い食(EW関係)は一気に Z_0 に近づき、よく近似されている。

エクセルによる食の分離

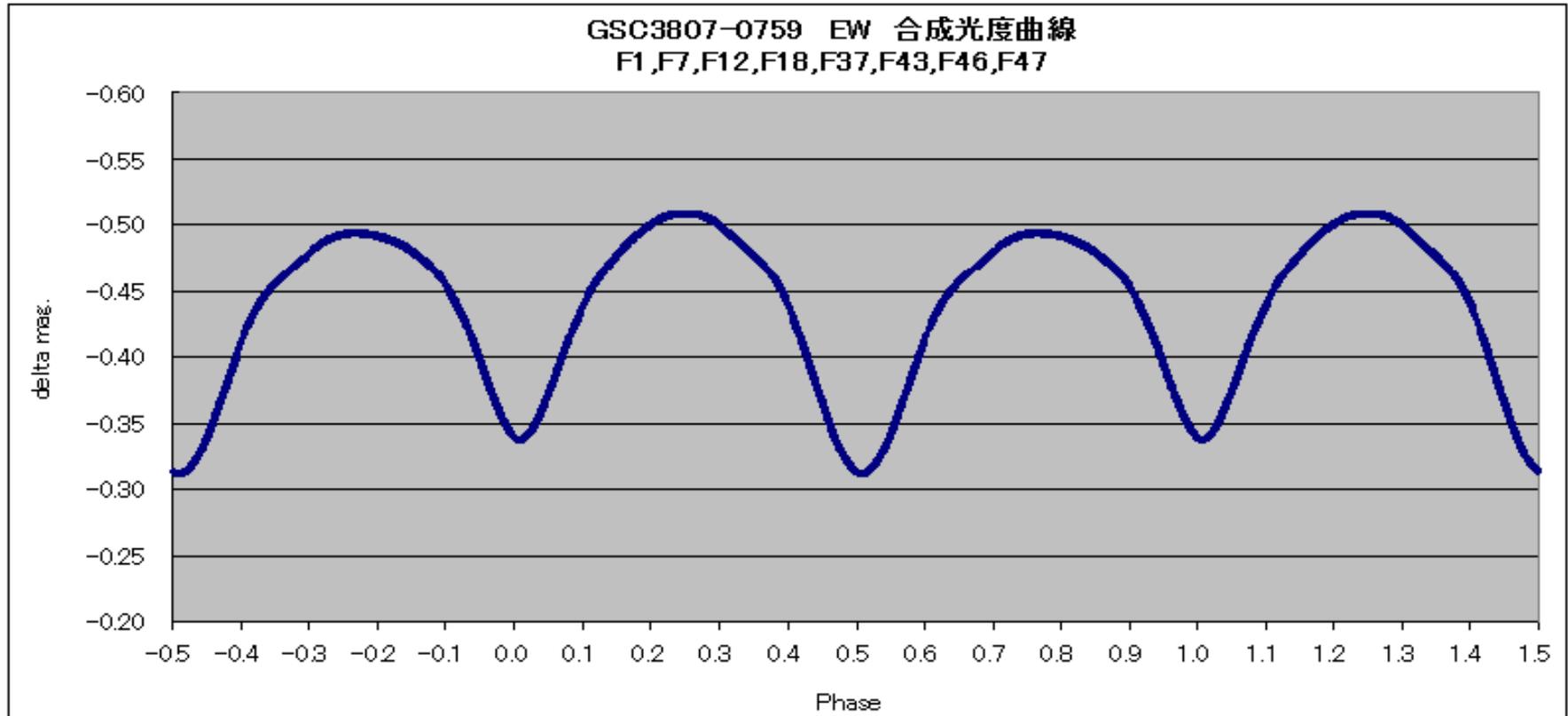
(Fluxでの処理はしていません。)

- ①VSXの周期を周波数に直す。Fa=1/Pa, Fw=1/Pw
- ②F1からF50を①の周波数で割る。
- ③商が整数に近いものがそれぞれの食に関係する。

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | S |
|----|-----|--------------|-------------|------------|------------|-----|---|----------|---|---------|---|-------|---|----|-----|-----------|----|---|---|
| 1 | | Zero point= | -0.43607866 | Residuals= | 0.00680004 | | | II EA | | EW | | | | | Fa= | 0.7659736 | | | |
| 2 | | Ω =Frequency | A=Amplitude | Φ =Phase | Period | | | II Fn/Fa | | Fn/Fw | | | | | Fw= | 4.3911978 | | | |
| 3 | F1 | 8.78285749 | 0.08001452 | 0.41357195 | 0.11385816 | F1 | | 11.46627 | | 2.00011 | | | | | | | | | |
| 4 | F2 | 1.53117828 | 0.03486275 | 0.85381089 | 0.65309181 | F2 | | 1.99900 | | 0.34869 | | FA | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | | |
| 5 | F3 | 3.06389825 | 0.03380817 | 0.35781968 | 0.32638160 | F3 | | 4.00000 | | 0.69774 | | 1 | 1 | 1 | | | | | |
| 6 | F4 | 4.59547455 | 0.02936105 | 0.92925739 | 0.21760538 | F4 | | 5.99952 | | 1.04652 | | 2 | 1 | | | 1 | | | |
| 7 | F5 | 0.76667844 | 0.03246880 | 0.44437167 | 1.30432780 | F5 | | 1.00092 | | 0.17459 | | 3 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 8 | F6 | 6.12666176 | 0.02758236 | 0.56126387 | 0.16322102 | F6 | | 7.99853 | | 1.39521 | | 4 | 1 | 1 | | 1 | | | |
| 9 | F7 | 17.56589549 | 0.02278488 | 0.56564465 | 0.05692850 | F7 | | 22.93277 | | 4.00025 | | 5 | 1 | 1 | | | | | |
| 10 | F8 | 7.65904405 | 0.02181325 | 0.07021264 | 0.13056460 | F8 | | 9.99910 | | 1.74418 | | 6 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 11 | F9 | 9.19273956 | 0.01732184 | 0.48914124 | 0.10878150 | F9 | | 12.00138 | | 2.09345 | | 7 | | 1 | | | | | |
| 12 | F10 | 3.83019727 | 0.01477520 | 0.59707078 | 0.26108316 | F10 | | 5.00043 | | 0.87224 | | 8 | 1 | | 1 | | | | |
| 13 | F11 | 2.29677262 | 0.01751371 | 0.16379474 | 0.43539356 | F11 | | 2.99850 | | 0.52304 | | 9 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 14 | F12 | 4.39302390 | 0.01516451 | 0.61977176 | 0.22763364 | F12 | | 5.73522 | | 1.00042 | | 10 | 1 | 1 | | | | | |
| 15 | F13 | 10.71875159 | 0.00263941 | 0.69279385 | 0.09329445 | F13 | | 13.99363 | | 2.44096 | | | | | | | | | |
| 16 | F14 | 10.72355311 | 0.01342517 | 0.10413605 | 0.09325267 | F14 | | 13.99990 | | 2.44206 | | | | | | | | | |
| 17 | F15 | 5.35994292 | 0.01417560 | 0.32882812 | 0.18656915 | F15 | | 6.99756 | | 1.22061 | | FW | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | | |
| 18 | F16 | 6.89330332 | 0.01149479 | 0.78858713 | 0.14506833 | F16 | | 8.99940 | | 1.56980 | | 1 | 1 | | | | | | |
| 19 | F17 | 12.25565128 | 0.00971339 | 0.67952908 | 0.08159501 | F17 | | 16.00010 | | 2.79096 | | 2 | | 1 | | | | | |
| 20 | F18 | 26.34907710 | 0.00817848 | 0.71418609 | 0.03795199 | F18 | | 34.39946 | | 6.00043 | | 3 | | | | | | 1 | |
| 21 | F19 | 8.42578460 | 0.00960346 | 0.29412417 | 0.11868331 | F19 | | 11.00010 | | 1.91879 | | 4 | | | | | | | |
| 22 | F20 | 9.95935292 | 0.00806540 | 0.71199222 | 0.10040813 | F20 | | 13.00221 | | 2.26803 | | 5 | | | | | | | |
| 23 | F21 | 13.78729423 | 0.00763560 | 0.25089958 | 0.07253055 | F21 | | 17.99970 | | 3.13976 | | 6 | | | | | | 1 | |
| 24 | F22 | 1.00150713 | 0.00600047 | 0.23526189 | 0.99849514 | F22 | | 1.30750 | | 0.22807 | | 7 | 1 | | | | 1 | 1 | |
| 25 | F23 | 11.49115658 | 0.00626109 | 0.28577117 | 0.08702344 | F23 | | 15.00203 | | 2.61686 | | 8 | | 1 | | | | | |
| 26 | F24 | 0.86787577 | 0.08158745 | 0.26817959 | 1.15223835 | F24 | | 1.13304 | | 0.19764 | | 9 | | | | | | | |
| 27 | F25 | 0.57394837 | 0.00465378 | 0.28264016 | 1.74231698 | F25 | | 0.74931 | | 0.13070 | | 10 | | | | | | | |
| 28 | F26 | 15.31911886 | 0.00335792 | 0.81829955 | 0.06527791 | F26 | | 19.99954 | | 3.48860 | | | | | | | | | |
| 29 | F27 | 2.66048553 | 0.00480277 | 0.85306291 | 0.37587124 | F27 | | 3.47334 | | 0.60587 | | | | | | | | | |
| 30 | F28 | 13.02175114 | 0.00414796 | 0.93605312 | 0.07679459 | F28 | | 17.00026 | | 2.96542 | | Othre | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | | |
| 31 | F29 | 14.55346945 | 0.00301117 | 0.55337632 | 0.06871214 | F29 | | 18.99996 | | 3.31424 | | 1 | | | | 1 | 1 | | |
| 32 | F30 | 0.86688774 | 0.07979714 | 0.84182093 | 1.15355190 | F30 | | 1.13175 | | 0.19741 | | 2 | | | 1 | | | 1 | |
| 33 | F31 | 0.67800617 | 0.00465993 | 0.26051704 | 1.47491263 | F31 | | 0.88516 | | 0.15440 | | 3 | | | | 1 | | | |
| 34 | F32 | 16.85348866 | 0.00262932 | 0.17200365 | 0.05933490 | F32 | | 22.00270 | | 3.83802 | | 4 | | | | 1 | | 1 | |

V0442 UMa (EW) の合成光度曲線

8個の周波数のフーリエ級数で作った合成光度曲線(位相図)

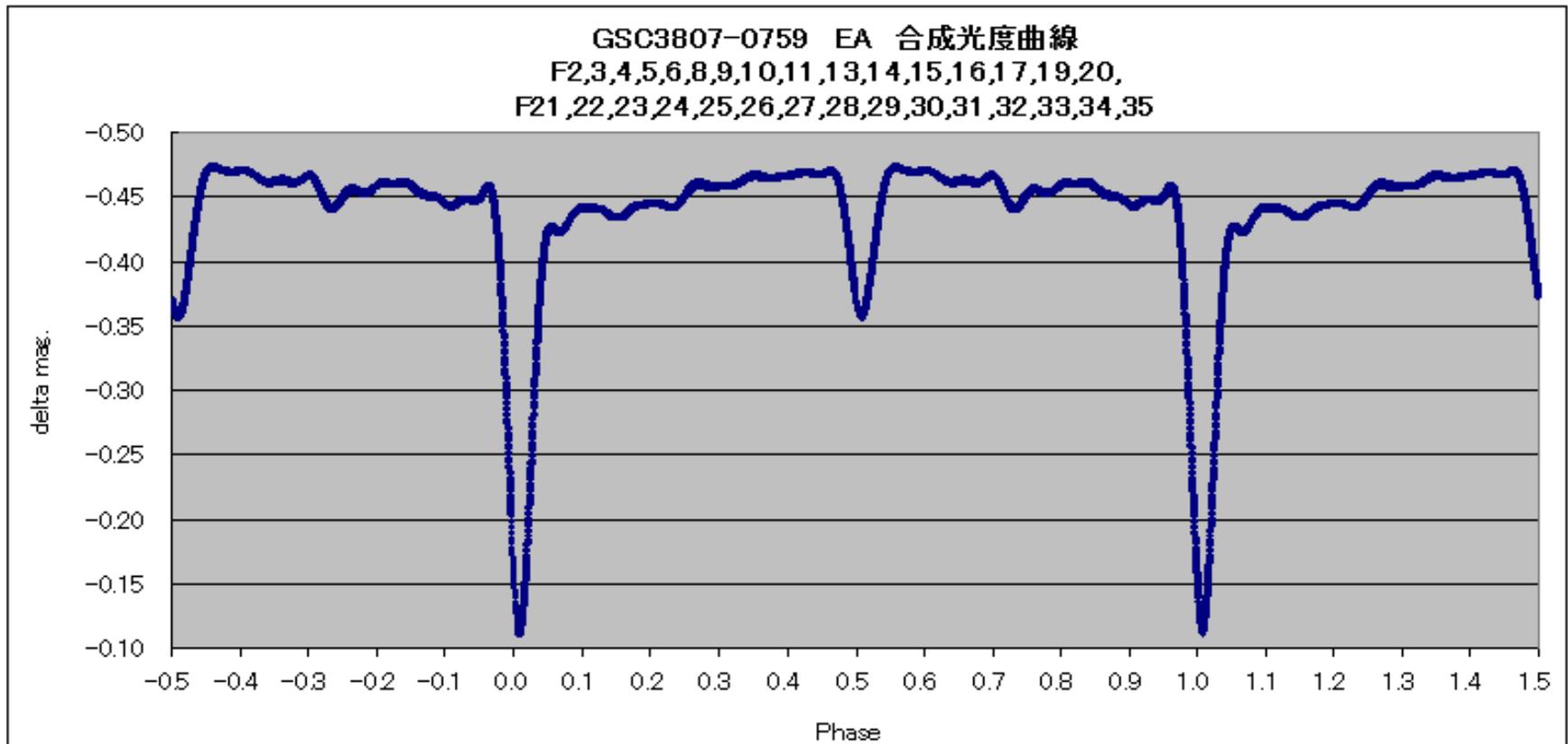


この時点で問題点を認識

- ・ フーリエ解析ではmagnitudeに基づくデータを解析した。
- ・ 星の光度を足し引きする際は、いったんFluxに直して足し引きして、それをまた光度magに戻す必要がある。

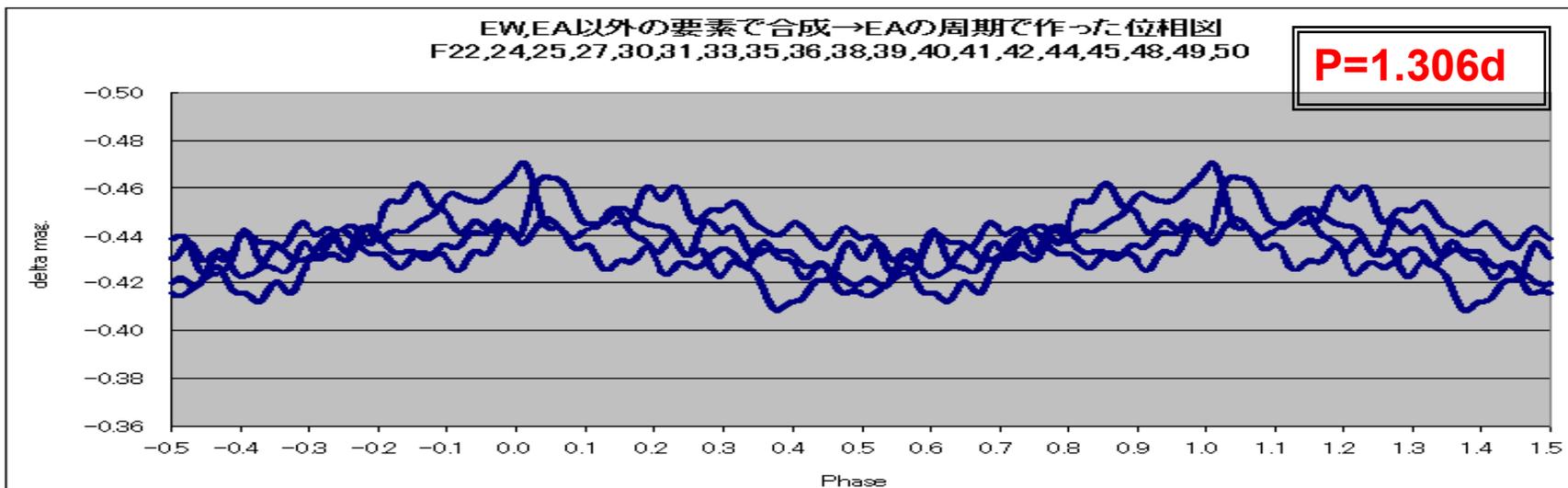
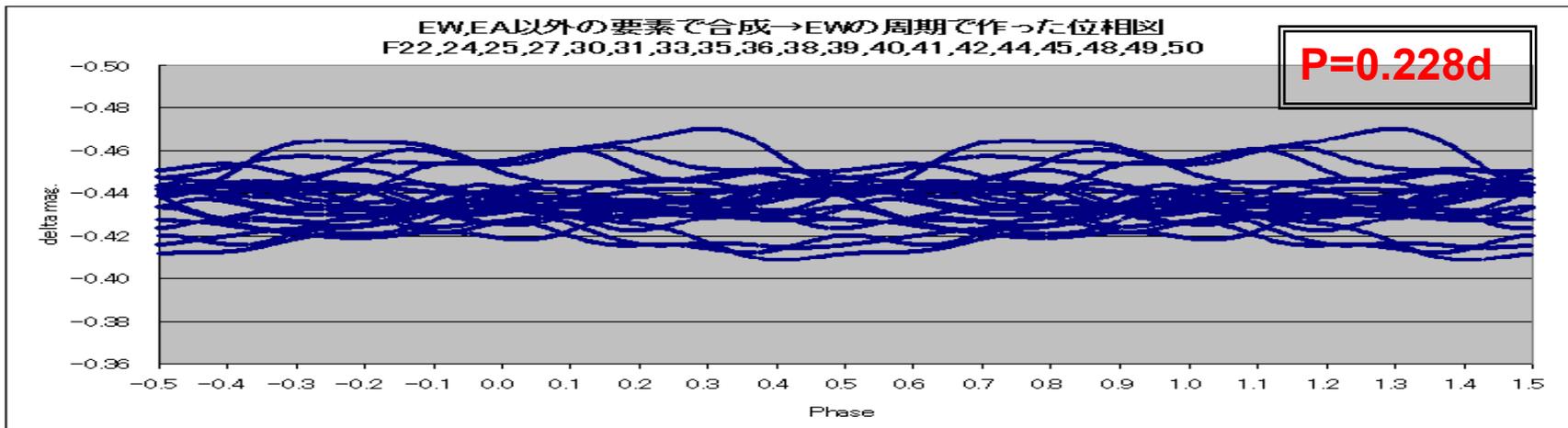
V0441 UMa (EA) の合成光度曲線

23個の周波数のフーリエ級数で作った合成光度曲線(位相図)



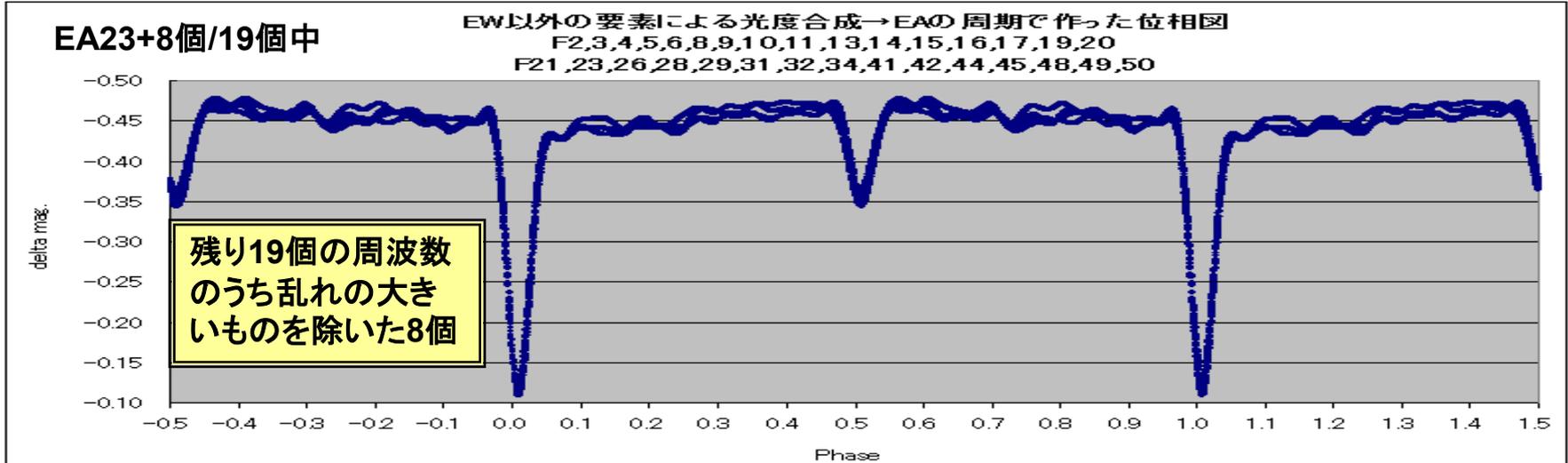
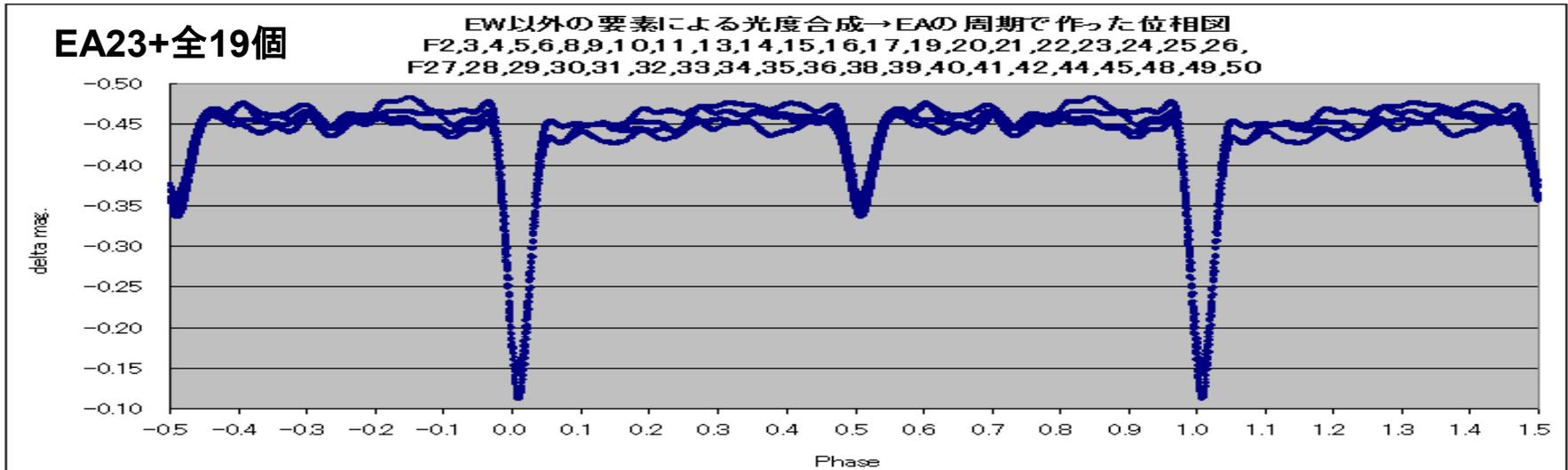
magnitudeのままの処理で、Fluxに直しての処理は行っていない。

EA,EW関連以外の周波数(19個)について合成



EAの周期で作った位相図には、周期性がみられる。これらの残り19の周波数はEA 関連か？

EA関連周波数(23個) + EA,EW以外(19個)の周波数による合成

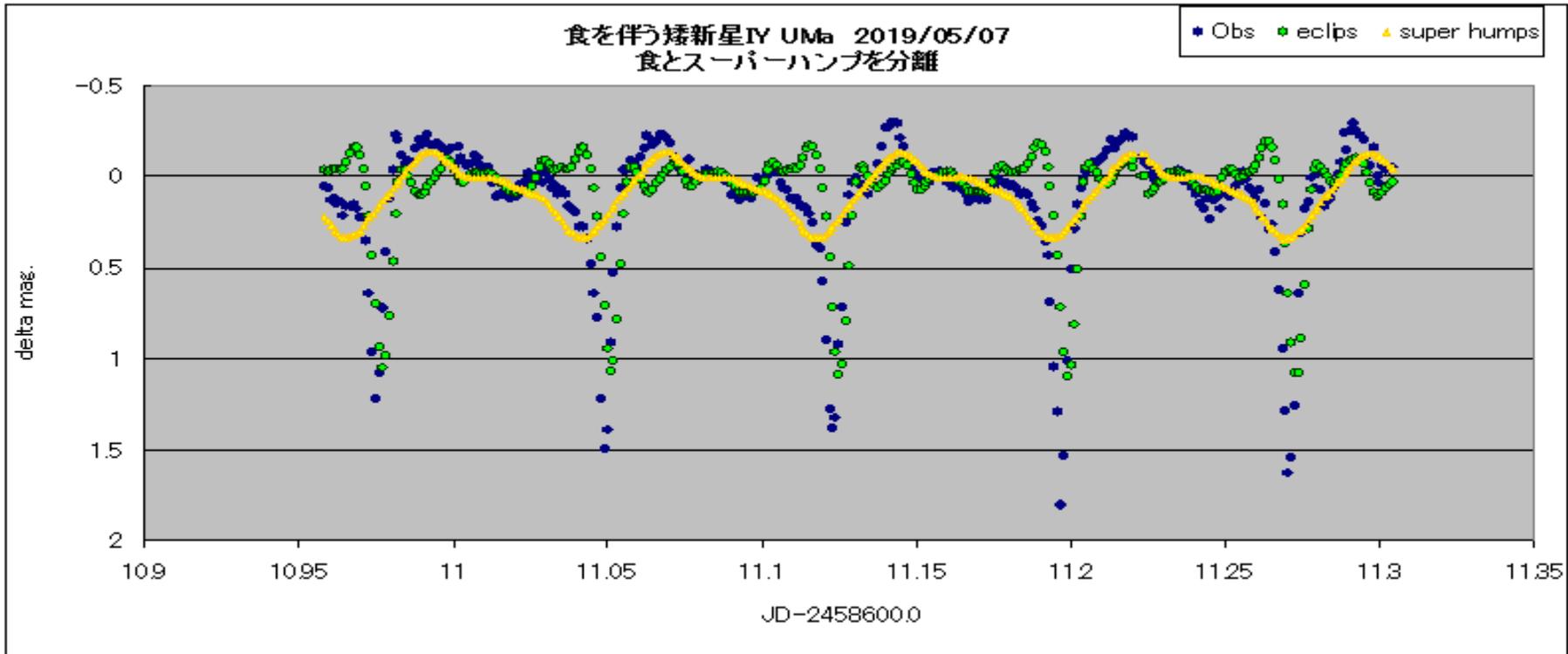
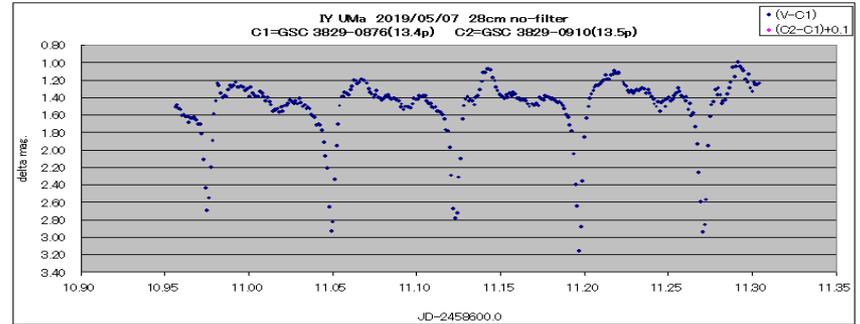


1つひとつの周波数の効果についてグラフで確認できる。

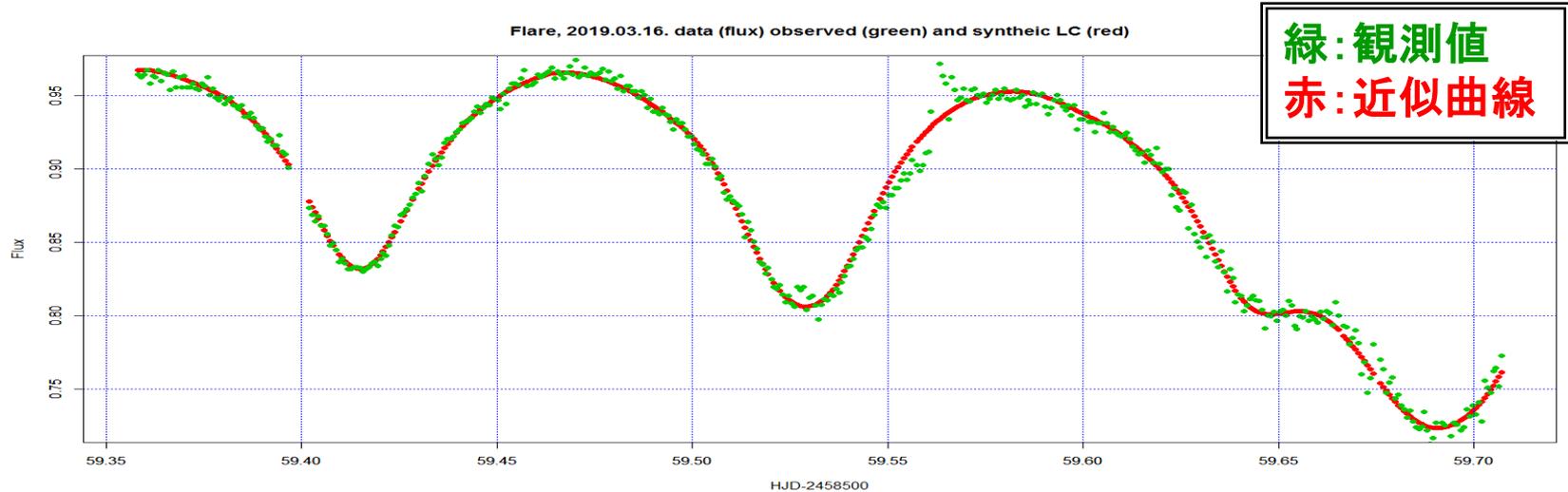
時間があればデモします。

食の分離を矮新星に応用

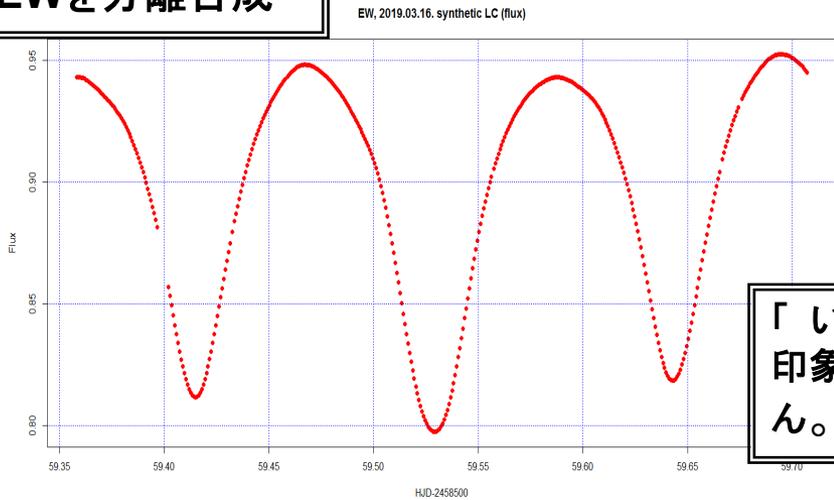
食を伴う矮新星IY UMaのアウトバーストから、食とスーパーハンプを分離してみた。



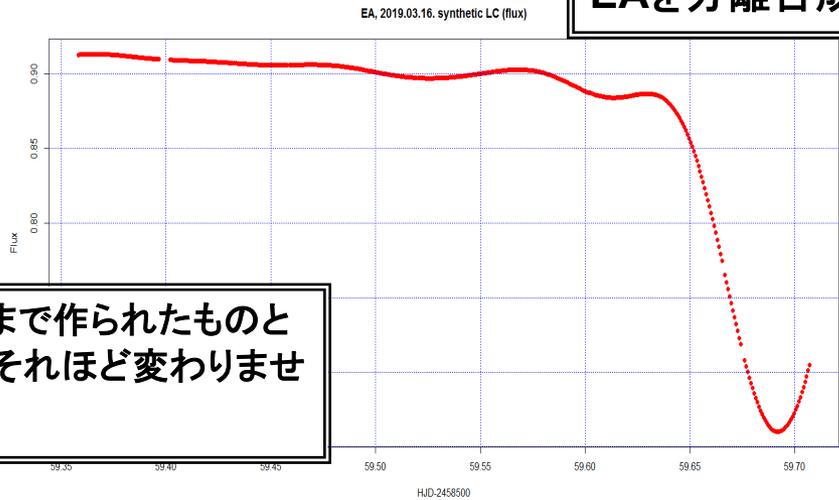
Fluxに直してフーリエ解析 (笠井)



EWを分離合成



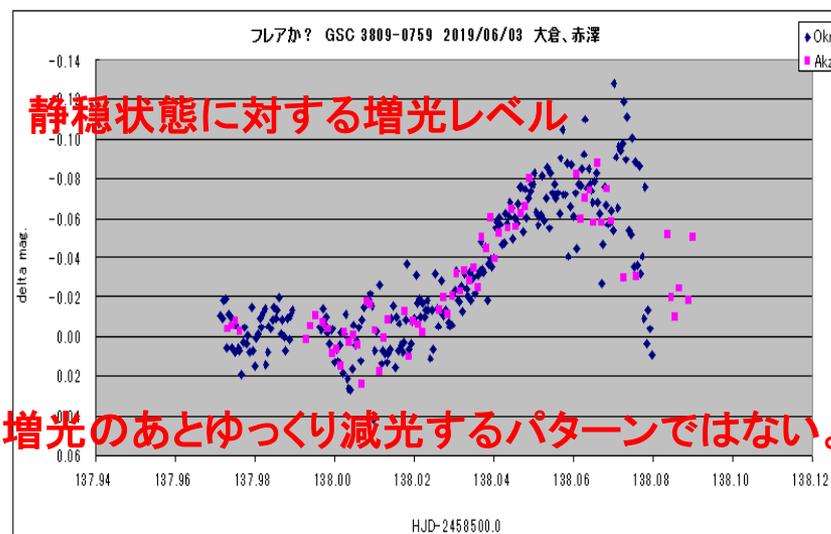
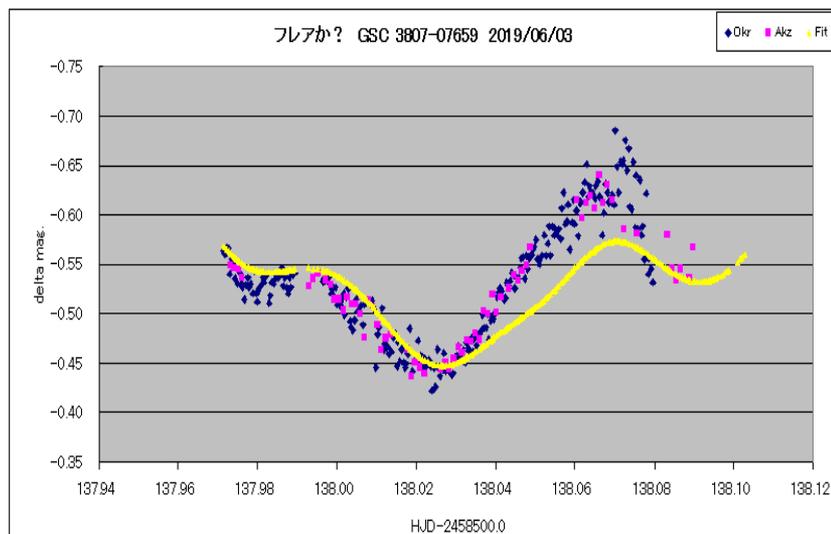
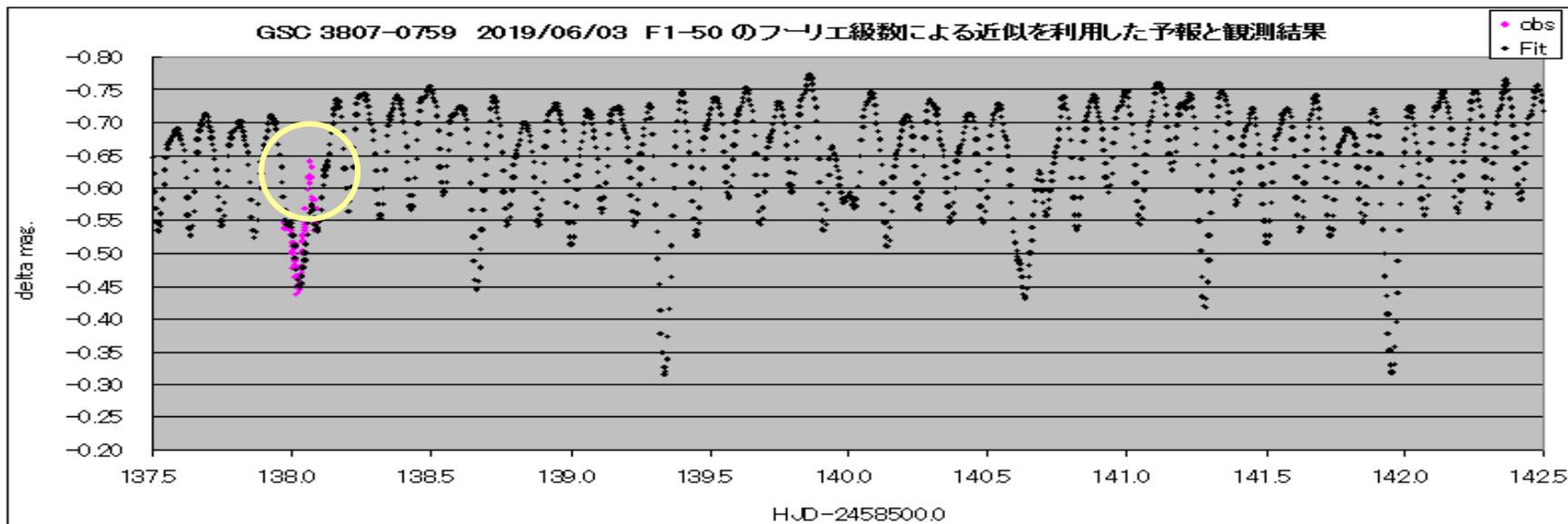
EAを分離合成



「いままで作られたものと印象はそれほど変わりません。」

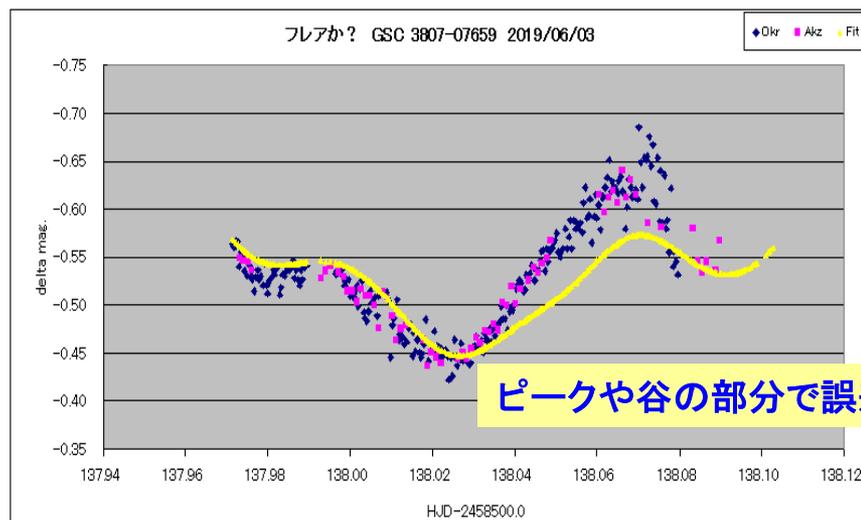
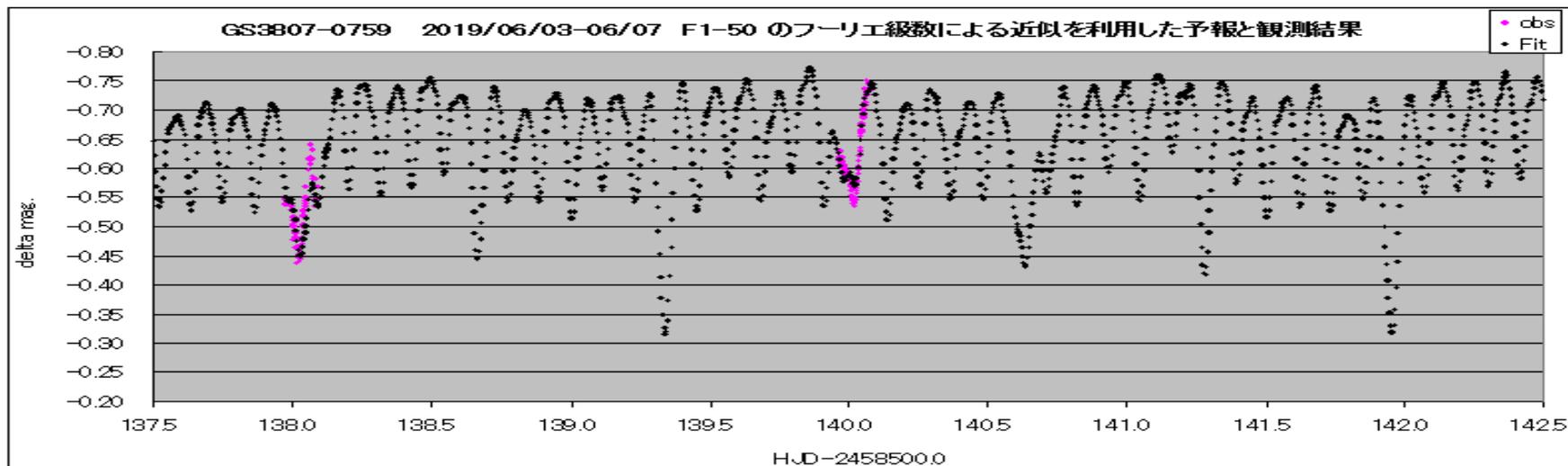
最新の観測 フレア検出か？

2019/06/03

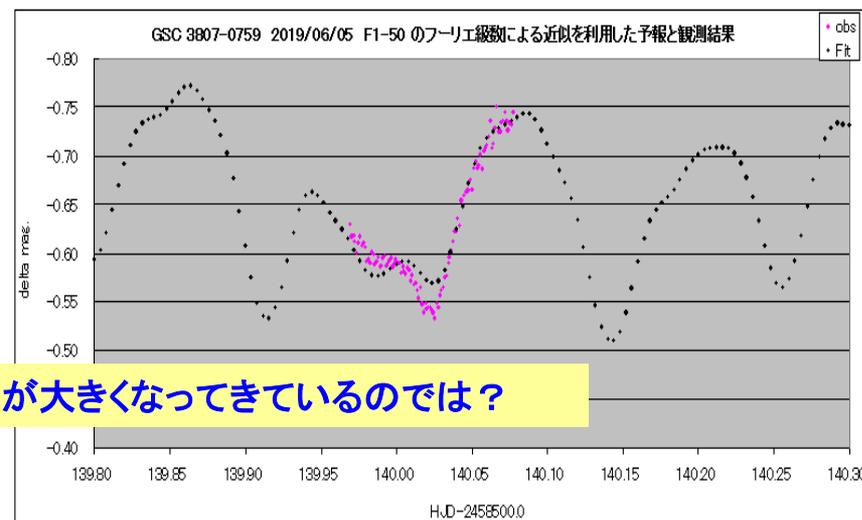


原因は解析データの期間から離れたため？

解析データの期間は2019/03/24-04/22 42日経過している。



ピークや谷の部分で誤差が大きくなってきているのでは？



※単色の観測ではフレアの判断が難しい。今後の観測は多色で。

まとめ

- 2つのフレアをとらえることができた。
現在もモニター観測を継続中。
- Period 04でフーリエ解析を行い、小望遠鏡では分離できない近接二重連星の観測から、2つの食を分離し、おおまかな位相図を得ることができた。
- エクセルを使った処理で食予報に発展できた。

(変化が大きくて、観測していて楽しい天体でした。)

VSX改訂

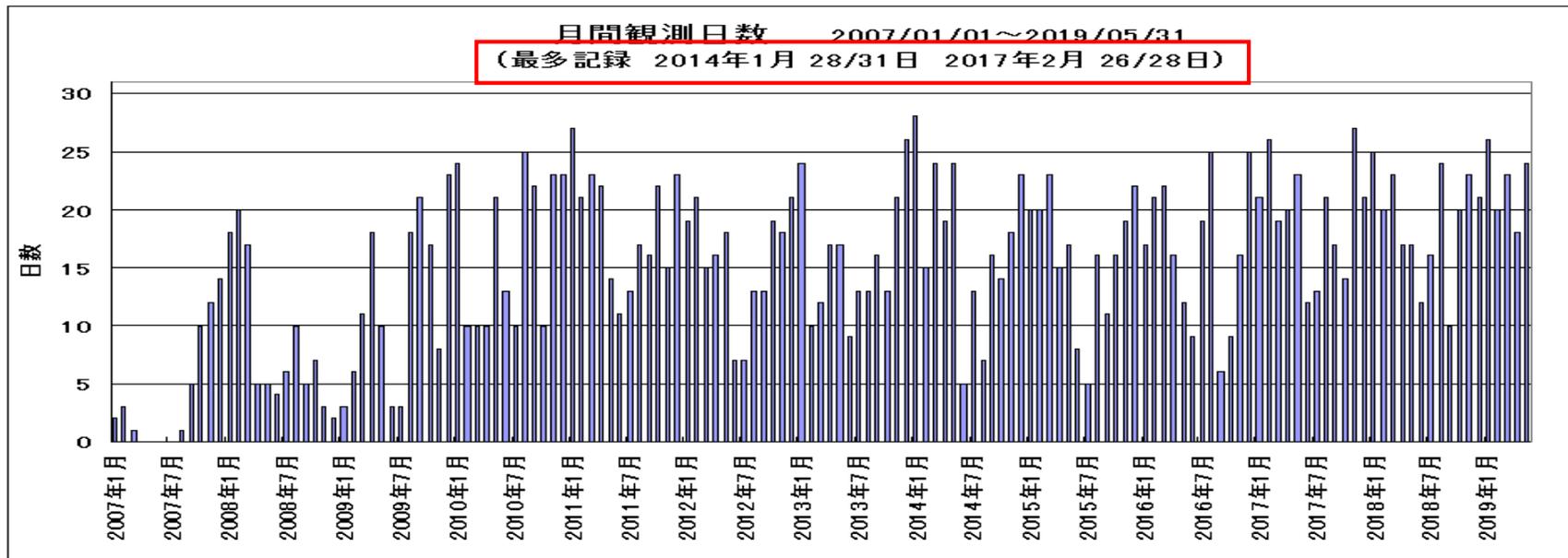
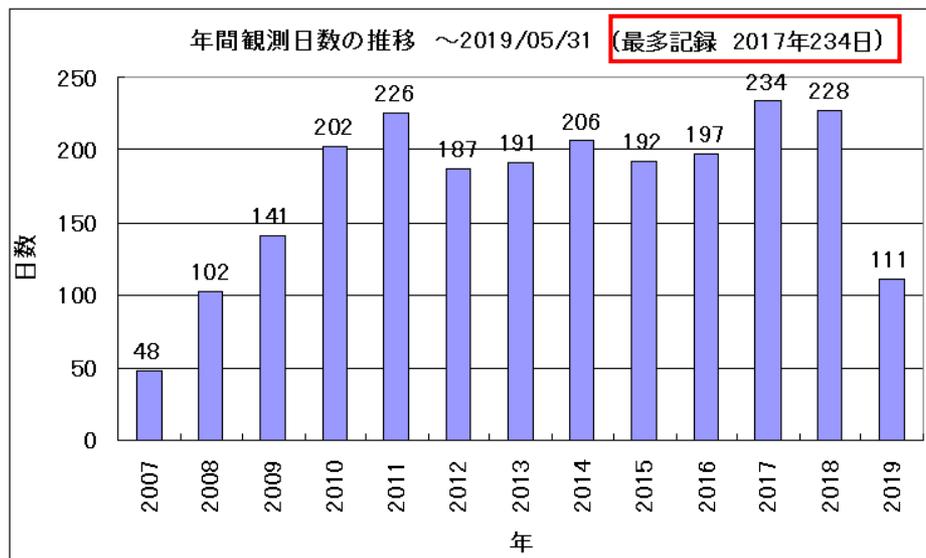
- V0441 UMa, V0442 UMaのVSXにミスがあった。
とりあえず、Koo et al, 2014から
V0441 UMa(EA) $P=1.305502d$
V0442 UMa(EW) $P=0.2277135d$ で改訂申請
その後我々の観測から正式の改訂をしたい。
- Sebastian Otero氏の提案
Lohr et al, 2015などを元に、早急に改訂を。
 $P(EA)=1.3055428d$, $P(EW)=0.2277138d$, その他を提示。
→ Sebastian Otero氏に改訂を依頼。
タイプ、周期、元期、スペクトル型、光度、位置などを改訂。

別話題

船穂天文台の間観測日数

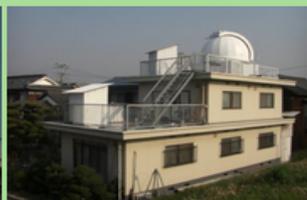
CCD観測を始めた2007年から、
有効なデータが得られた観測
日数をカウントしている。

2019年は5月末までで111日



船穂天文台の詳細は

赤澤秀彦(船穂天文台)のホームページ

英語版 [ENGLISH PAGE](#) [click here !!](#)

勤務先 岡山理科大学 非常勤講師 平成26年4月より
 所属 JAPOA (日本光電測光観測者協会) [天文同好会「夜とう虫」](#)
 天文略歴 更新(2010.03.05)
 船穂天文台の紹介 更新(2009.05.17) ベランダ観測所を更新
 船穂天文台の観測日数の記録 更新(2015.01.28)

これまでの観測の成果 更新(2015.01.28)
 「食連星、激変星、新星など、過去4年間のデータをまとめて更新(2015.01.28)」

天体写真アルバム 更新(2010.10.28) 月面写真、木星写真を追加
 バンスターズ彗星(C/2009-R1) (2013.07.26 追加) アイソン彗星(C/2012-S1) (2014.01.29 追加)
 ラブジョイ彗星(C/2013-R1) (2014.02.16 追加) M82の超新星(SN2014J) (2014.02.16 追加)
 カタリナ彗星(C/2013-US10) (2016.05.17 追加)
 ST2000-XCMによる星雲・星団のカラー画像 (2010.10.28 追加)

恒星のスペクトルアルバム (2016.07.26 追加)

更新記録 2015.01.28

[天文関係者へのリンク](#)

最新の観測はFacebookをごらんください。

過去資料

赤澤 秀彦

基本データを編集 2 | アクティビティログ 2 | ...

タイムライン | 基本データ | 友達 215 | 写真 | アーカイブ | その他

確認待ちのアイテムが2件あります

自己紹介
簡単な自己紹介を追加しよう。
自己紹介を追加

岡山県 倉敷市在住

akazawa-hide.sakura.ne.jp

12月2日 10:28

11/30のIP Pegの観測結果です。水谷さんのFBでアウトバーストを知りました。できるだけ長時間撮りたいところでしたが、途中で雲が厚くなってしまいました。登録されている元期、周期で位相図を描いてみると食外の短時間変動はそんなに大きくはないようでした。副極小は短時間変動に隠されているのかもしれないと思いますが、副極小の深さそのものが小さいようです。

IP Peg 2018/11/30 28cm Rc
C1=GSC 1716-2348(10.85p) C2=GSC 1716-231(12.7p)

285 52.90 52.95 53.00 53.05 5310
HJD-24584000

IP Peg 2018/11/30 28cm Rc
C1=GSC 1716-2348(10.85p) C2=GSC 1716-231(12.7p)
E=HJD2445615.417(VSX) P=0.15820609 d(VSX)

<https://www.facebook.com/akazawa.hide>

おわり

笠井さん、大島さん、大倉さんとメールやFacebookで情報交換をしながら観測や解析を楽しく続けることができました。特に大島さんからは的確なアドバイスをいろいろといただきありがとうございました。そのほか、VSXの改訂を一気に進めてくださったSebastian Oteroさん、FBでコメントや解析のお手伝いの申し出をくださった清田さん、浦川さんなど、いろいろな方とのつながりを感じながらの取組になりました。関係の皆様感謝申し上げます。

ご清聴ありがとうございました。

6cm 望遠鏡による CCD 測光と極小時刻

伊藤芳春

概要

60mm 望遠鏡で 7 等級程度の食変光星の観測を始めたので装置と観測方法の概要を報告する。また、極小時刻を求める方法については、Minima や AVE 等の便利で優れたフリーソフトがあるが、昔組んだプログラムを Python の勉強がてら組んでみた。トレーシングペーパー法をエクセルで組んでみたので紹介する。

1 口径 6cm 望遠鏡による CCD 測光観測

1.1 目的

CCD カメラを使用するようになってから 11 等級より暗い変光星の観測ができるようになった。光電測光観測時代に対象とした 7 等級より明るい食変光星の観測は、明るすぎるだけならピントをボカせばいいが比較星がとりにくいため観測しにくい。最近、以前に観測した食変光星についてその後変化が無いかなど調べたくなり観測を始めた。

1.2 装置

のんびり星をながめるため使っていた口径 60mm、焦点距離 355mm の屈折望遠鏡に CCD カメラを取り付け観測することにした。装置を図 1 及び表 1 に示す。課題は長年使っていて、それなりに古くなっていたマーク X 赤道儀 (五藤光学研究所) である。数年前ステッピングモーターを採用した 2 軸モータードライブが販売され購入した。何とありがたいことにオートガイダー端子が付いており、食変光星の長時間観測が可能になった。

1.3 観測

変光星の導入には明るい恒星をファインダーに入れ、そこから星をたどって目的星を入れたり、最近ではファインダーは使わず、赤緯目盛を合わせパソコンのオートガイダーの視野を見ながら導入している。露出時間は 30 秒または 60 秒で 30000 カウントになるようピントをぼかし B, V, R_c, I_c フィルターで観測している。観測を始めたらず午線通過または食変光星の高度が低くなる時刻まで自動で観測ができるので便利である。CCD カメラ、オートガイダーの制御には MaxImDL を使っている。観測結果を図 2 に示す。天気によりばらつきの大きい日もあるが十分な精度が出ていると思っている。

表 1 観測機器

| | |
|---------|------------------------------------|
| 望遠鏡 | 口径 60mm 焦点距離 355mm |
| CCD カメラ | SBIG ST-9XEi (NABG) |
| CCD 素子 | Kodak 社製 KAF-0261E・NABG |
| 受光面 | 10.2 × 10.2mm |
| 解像度 | 512 × 512 画素 (20 μ角) |
| 視野画角 | 1.66° |
| 架台 | 五藤光学マーク X 赤道儀 |
| パソコン | Windows7(中古デスクトップ) |
| オートガイダー | SBIG ST-i |
| CCD 素子 | Kodak 社製 KAI-340M(ABG) |
| 受光面 | 4.73 × 3.55mm |
| 解像度 | 648 × 486 画素 (7.4 μ角) |
| ガイド鏡 | 口径 36mm 焦点距離 100mm LM100JC(コーワ) |
| 視野角 | 2.7 × 2.0° |



図 1 口径 6cm CCD 測光望遠鏡

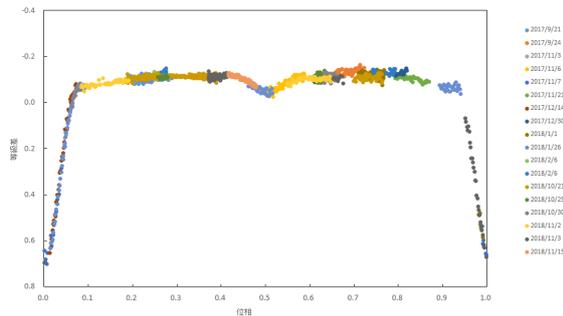


図 2 HU Tau の光度曲線

2 極小時刻の求め方

極小時刻を求める方法には、二次曲線（放物線）近似法、ヘルツスプルング法、トレーシングペーパー法、2分割法、キュー&バンウォーディング法、フーリエ近似法、スライディング積分法などがある。ここでは、二次曲線近似法、ヘルツスプルング法、キュー&バンウォーディング法を紹介する。計算機があまり発達していない時代には、トレーシングペーパーに光度曲線を描き折って左右重ねた時の折り目を極小時刻とするトレーシングペーパー法がよく使われたという。Hertzsprung 法のオリジナル論文は入手できなかった。Kwee and Van Woerden 法の論文は 3 ページほどの論文で極小時刻の計算法の説明は半ページであるが、図がなく分かりにくい。

3 二次曲線近似法

これはうまくいかない方法であるため、注意すべき点を説明する。エクセルで極小観測のグラフを描かせると二次曲線のようなグラフが現れる。グラフにマウスを当て右クリックして近似曲線の書式設定をすることにより二次式が得られる。

$$y = a x^2 + b x + c \quad (1)$$

二次式（放物線）の最小値 \min は次式で求められる。

$$\min = \frac{b^2}{4a} \quad (2)$$

極小時刻 t は次の式で求められる。

$$t = -\frac{b}{2a} \quad (3)$$

図3はKM UMaの観測結果である。この場合、光度曲線と二次曲線は一致していない。非対称であったり、対称でも減光の始まりで合っても極小では一致しなくなっていたりする。二次ではなく三次、四次と次数を上げては合わない。

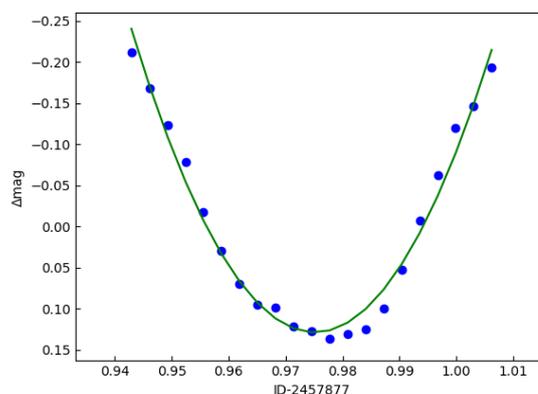


図3 2017年5月3日KM UMaの極小の二次曲線近似

4 Hertzsprung 法

この方法が考案された当時は、50 × 100cmの方眼紙に食の光度曲線が45度を開くようにグラフをプロットして行っていたそうである。作業手順は多いものの様々な偏りを避けることができる。

はじめに、図4のグラフを見て極小時刻と思われる時刻を t_0 とする。この場合 $t_0 = 0.5850$ である。ふつう観測時間間隔は一定ではないので、等時間間隔の等級データに変換する。等時間間隔 $\Delta t = 0.003$ とする。 t_0 の両側に時間間隔 Δt で10本以上矢印を入れる。矢印と直線の交点から Δm を読み取る。

t_0 から等時間間隔の Δm を一組として記録し、差の絶対値を求める。表の中央の3つの欄は測定値及び差の絶対値である。もし仮定した t_0 が正しく光度の観測誤差がなく対称ならば、差の欄は0になる。次からの過程は同じ測定値を別の欄に移し替えて繰り返す。はじめの極小時刻と思われる時刻の右の欄の矢印の値を t_0 として同様に求めたのが表の右の3つの欄の値である。ここでそれぞれの値の差の2乗の和を Y^-, Y^0, Y^+ とすると極小時刻 t_{min} は次式により求められる。

$$t_{min} = t_0 + \frac{1}{2} \left(\frac{Y^- - Y^+}{Y^- - 2Y^0 + Y^+} \right) \Delta t \quad (4)$$

この場合、

$$t_{min} = 0.5850 + \frac{1}{2} \left(\frac{0.02834 - 0.02553}{0.02834 - 2(0.000650) + 0.02553} \right) 0.003 \quad (5)$$

$$= 0.58508 \quad (6)$$

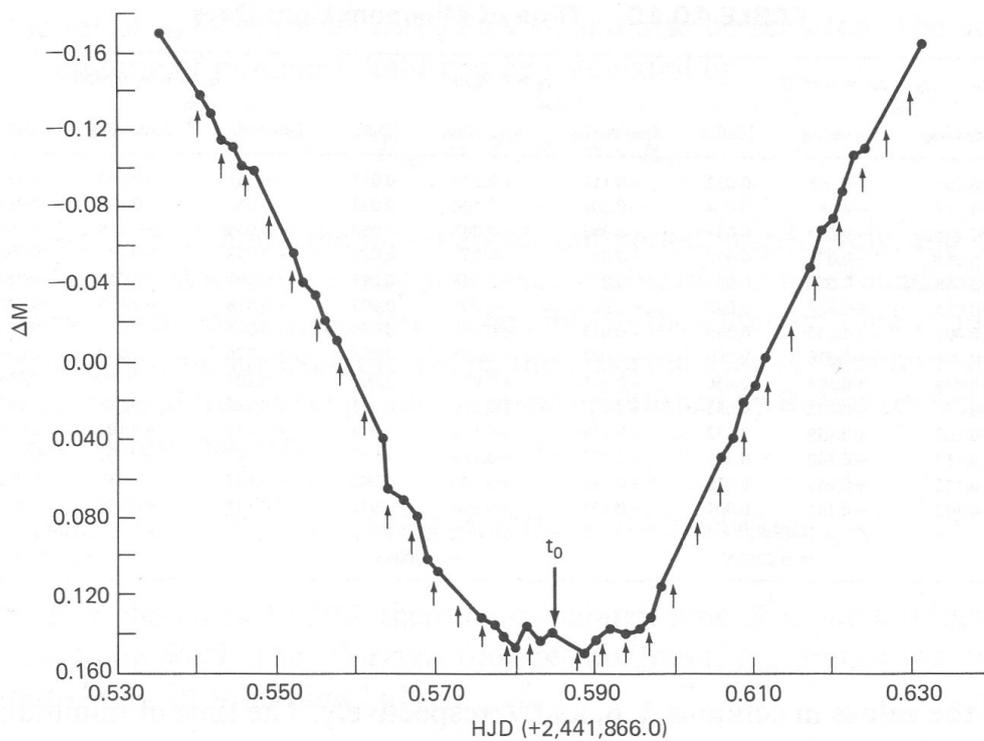


図4 Hertzsprung 法,Astronomical Photometry より

表2 Time of Minimum Light Data,Astronomical Photometry より

| $t_0 - \Delta t =$ | 0.5820 | | $t_0 =$ | 0.5850 | | $t_0 + \Delta t =$ | 0.5880 | |
|--------------------|-----------------------|---------|---------|-----------------------|---------|--------------------|-----------------------|---------|
| 減光 | 増光 | 差 | 減光 | 増光 | 差 | 減光 | 増光 | 差 |
| -0.141 | -0.108 | 0.033 | -0.117 | -0.130 | 0.013 | -0.101 | -0.152 | 0.051 |
| -0.117 | -0.083 | 0.034 | -0.101 | -0.108 | 0.007 | -0.083 | -0.130 | 0.047 |
| -0.101 | -0.057 | 0.044 | -0.083 | -0.083 | 0.000 | -0.058 | -0.108 | 0.050 |
| -0.083 | -0.028 | 0.055 | -0.053 | -0.057 | 0.001 | -0.033 | -0.083 | 0.050 |
| -0.058 | -0.004 | 0.054 | -0.033 | -0.028 | 0.005 | -0.007 | -0.057 | 0.050 |
| -0.033 | +0.022 | 0.055 | -0.007 | -0.004 | 0.003 | +0.018 | -0.028 | 0.046 |
| -0.007 | +0.053 | 0.160 | +0.018 | +0.022 | 0.004 | +0.048 | -0.004 | 0.052 |
| +0.018 | +0.078 | 0.060 | +0.048 | +0.053 | 0.005 | +0.076 | +0.022 | 0.054 |
| +0.048 | +0.104 | 0.056 | +0.076 | +0.078 | 0.002 | +0.107 | +0.053 | 0.054 |
| +0.076 | +0.132 | 0.056 | +0.107 | +0.104 | 0.003 | +0.119 | +0.078 | 0.041 |
| +0.107 | +0.139 | 0.032 | +0.119 | +0.132 | 0.013 | +0.132 | +0.104 | 0.028 |
| +0.119 | +0.140 | 0.021 | +0.132 | +0.139 | 0.007 | +0.142 | +0.132 | 0.010 |
| +0.132 | +0.148 | 0.016 | +0.142 | +0.140 | 0.002 | +0.137 | +0.139 | 0.002 |
| +0.142 | +0.141 | 0.001 | +0.137 | +0.148 | 0.011 | +0.141 | +0.140 | 0.001 |
| $Y^- =$ | $\Sigma \text{差}^2 =$ | 0.02834 | $Y^0 =$ | $\Sigma \text{差}^2 =$ | 0.00065 | $Y^+ =$ | $\Sigma \text{差}^2 =$ | 0.02553 |

この値を新しい t_0 の値として繰り返すことにより、より高精度な値を求めることができる。しかし観測データが高精度でなければ正しい値は求まらない。極小時刻の誤差は Δt を変え t_{min} を再計算することにより求められる。

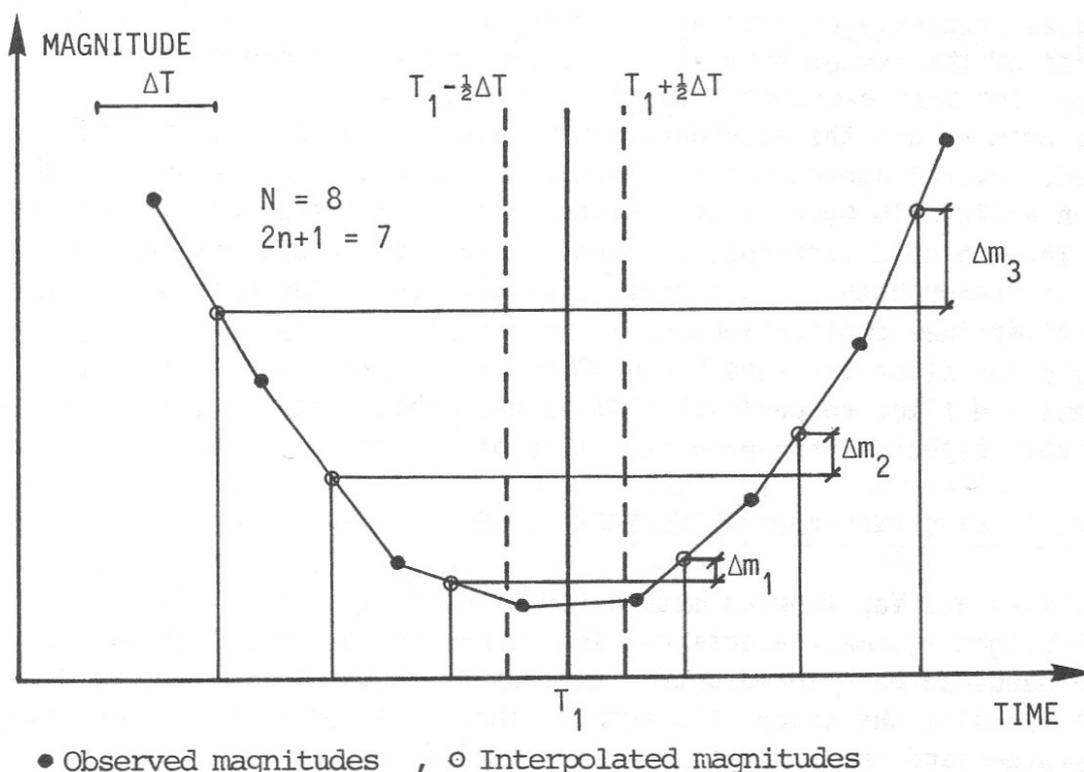


図5 Kwee and Van Woerden 法, Software for Photometric Astronomy より

5 Kwee and Van Woerden 法

Kwee and Van Woerden 法は最も多く使われている方法で、Minima でも AVE でも使うことができる。Hertzprung 法と似ていて、図5の時刻と等級の観測データを補間法により等時間間隔の等級データに変換し、極小時刻と思われる時刻を中心に等時間間隔どうしの等級差の二乗和を求め、次に先の極小時刻と思われる時刻をわずかに前後にずらし同様に二乗和を求める。3つの二乗和のうち真ん中の二乗和が最小値になるまで極小時刻と思われる時刻を二乗和の小さい方へ移し繰り返し求めていくものである。具体的には次の手順で行う。

N:観測データ数

ΔT :時間間隔。(終わりの時刻 - 初めの時刻)/観測データ数。ただし、Nが偶数の時は分母は観測データ数 + 1にする。

2n + 1:区間数。(終わりの時刻 - 初めの時刻)/時間間隔。

T_1 :極小時刻と思われる時刻。

手順1 等時間間隔の観測データに変換する。実際の観測時間は等間隔ではないため、線形補間法 (linear interpolation) により変換する。線形補間法の一般的な式は次の通りである。

$$mag = mag_0 + (mag_1 - mag_0) \frac{t - t_0}{t_1 - t_0} \quad (7)$$

便宜上 T_1 軸と呼ぶことにする。 T_1 の時刻を基準に前後の観測データを全て ΔT 間隔の時刻の等級を線形補間法で求める。

手順2 T_1 から等時間間隔の等級差 Δm を求める。

T_1 から ΔT 離れた時刻どうしの等級差を Δm_1 とする。

T_1 から $2\Delta T$ 離れた時刻どうしの等級差を Δm_2 とする。

T_1 から $3\Delta T$ 離れた時刻どうしの等級差を Δm_3 とする。

手順3 全ての等級差の二乗和を求める。

$$s(T_1) = \sum_{k=1}^n (\Delta m_k)^2 \quad (8)$$

手順4 次に T_1 軸を $T_1 - \frac{1}{2}\Delta T, T_1 + \frac{1}{2}\Delta T$ ずらし同様に等級差の二乗和 $s(T_1 - \frac{1}{2}\Delta T), s(T_1 + \frac{1}{2}\Delta T)$ を求める。3つの二乗和のうち $s(T_1)$ が最小値の場合次の手順6へ進む。

もし、 $s(T_1 + \frac{1}{2}\Delta T) < s(T_1)$ の場合、 $t = T_1 + \Delta T$

もし、 $s(T_1 - \frac{1}{2}\Delta T) < s(T_1)$ の場合、 $t = T_1 - \Delta T$

これを繰り返す。

手順5 3つの時刻と二乗和をグラフに表す (図6)。最小二乗法により二次式で近似する。

$$s(T) = aT^2 + bT + c \quad (9)$$

手順6 最小値、極小時刻、誤差を求める。二次式 (放物線) の最小値は次式で表せる。

$$s(T_0) = \frac{b^2}{4a} \quad (10)$$

極小時刻は次の式で求められる。

$$T_0 = -\frac{b}{2a} \quad (11)$$

平均誤差は次の通りである。

$$\sigma_{T_0}^2 = \frac{4ac - b^2}{4a^2(Z - 1)} \quad (12)$$

ここで Z は独立した等級ペアの数で、次の式が使われている。

$$Z = \frac{1}{4}N \quad (13)$$

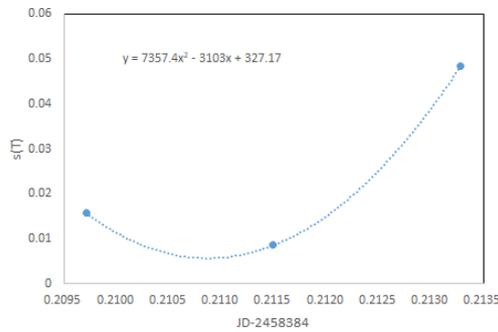


図6 時刻と $s(T)$ 二次曲線で近似

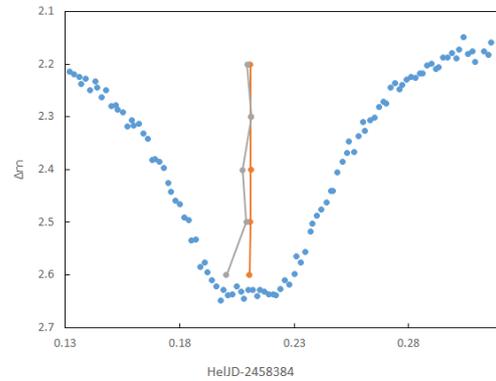


図7 Minima (灰色) と自作プログラム (橙) による極小時刻

6 極小時刻の値がおかしいという話

ある時メールでフリーソフトの極小時刻がおかしいという話があった。GR Tau の観測結果を使い比較してみた。図7は等しい等級の範囲で極小時刻を求め点を打ったものである。2.2等では観測データ数が多く、2.6等では少なくなる。2.4等と2.6等の範囲のところでは極小値が異なり Minima の方がバラつきが大きかった。光度曲線と極小時刻をグラフ上で確認することが必要である。

7 エクセルを用いたトレーシングペーパー法

エクセルで極小時刻を含むグラフを表示させ、目で見て極小時刻と思われる時刻で反転させてグラフ表示し判断する方法で、至って原始的な方法である(図8)。極小時刻を手で入力しグラフがピッタリ重なったことを目で確認し極小時刻と判断しする。

t_{min} : 極小時刻

t_{obs} : 観測時刻

t_r : 反転してグラフ表示するための時刻

$$t_r = (t_{min} - t_{obs}) + t_{min} \quad (14)$$

$$= 2t_{min} - t_{obs} \quad (15)$$

極小時刻を入力するときにキーボードから数値を入力するよりは図のようにスピノボタンを使い 0.1 日, 0.01 日, 0.001 日, 0.0001 日を設定しておくとう便利である。0.001 日 (1 分 26 秒) までは判断できるが, 0.0001 日 (9 秒) はかなり難しい。

この方法を少し変更すると、減光だけまたは増光だけの光度曲線でも予め食の光度曲線が得られている場合、重ね合わせにより極小時刻を推定することができる。

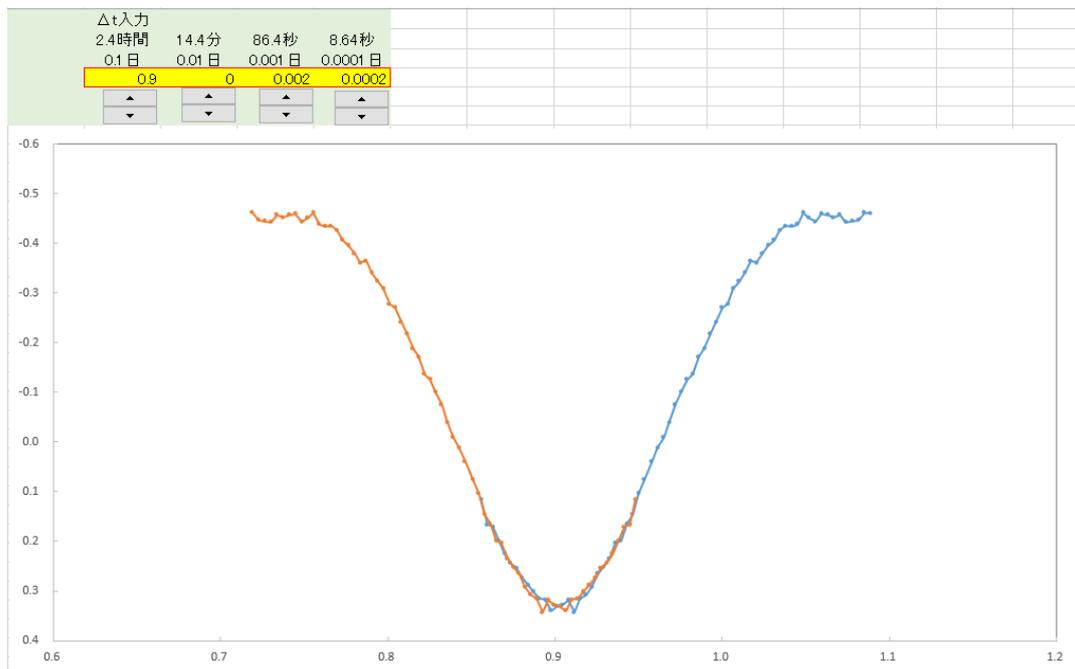


図8 エクセルによるトレーシングペーパー法

8 おわりに

特に新しい内容ではなく、自分の記録用に作成しました。数式が記述できるということで Tex で書いたため、図や表は自動的に配置されるのですが習熟していないため見づらいところが多々あります。分かりやすいように別々の引用文献の図を用いたため全体を通しては記号が統一されていません。

参考文献

- [1] Hertzsprung, E. 1928. *Bul. Astr. Inst. Neth.* 4, 179.
- [2] Kwee, K. K., Van Woerden, H., 1956, *B. A. N.*, 12, 327
- [3] Silvano Ghedini, *Software for Photometric Astronomy*, 1982
- [4] Aren A. Henden, Ronald H. Kaitchuck, *Astronomical Photometry*, 1982