

# 変光星資料の活用について

長野市立博物館

陶山徹

# 変光星資料の活用

- ◇ 保存も大事だけど、やっぱり活用したい！
- ◇ ヒントはもらった
  - ◇ 2022年シンポ（野上さん、渡辺さん）
  - ◇ 2023年変光星観測者会議
  - ◇ 2024年Bradleyさん講演会
- ◇ 付け焼き刃だけど考えてみる

# 野上さんの提案（2022）

## ◇ 高速観測

- ◇ 例：木星閃光現象（PONCOTS）

## ◇ 継続観測

- ◇ 例：ベテルギウスの20年超の変動（大金さん）

## ◇ 公開データ

- ◇ 気象衛星ひまわり画像に写ったベテルギウスの減光（Taniguchi et al. 2022）

## ◇ 偶然性

- ◇ 重力波対応天体とか？小口径望遠鏡は視野が広い。

# Bradleyさんの提案（2024）

## ◇ 新星の特徴を測る

- ◇ 軌道周期、ピーク光度、光度曲線など

- ◇ VSOLJ、KISO Wide-field survey、ZTF、AAVSO

## ◇ 超巨星の変化を探る

- ◇ Great-Dimmings（例：ベテルギウス）と速い進化

- ◇ VSOLJ、DASCH、Almagest/LaCallie/BD Catalogs、AAVSO

# Bradleyさんの提案（2024）

- ◆ 古いデータから突発現象を探す
  - ◆ T CrB（何回も増光してるはず）、Cas A（1681）、Vela-Junior、AT CnC、Z Cam
  - ◆ 日記など過去の文献を探す
- ◆ 標準星の変化を測る
  - ◆ Landolt standards, HST standardsはどれくらい一定？
  - ◆ TESS、DASCH plates、ZTF

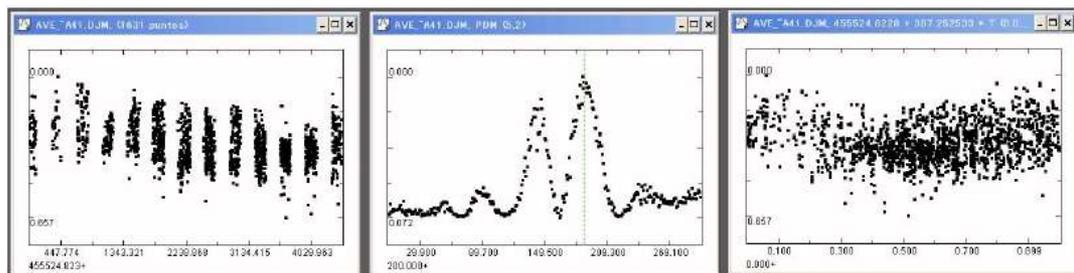
# 具体的には何をすれば…

## KWSの周期解析

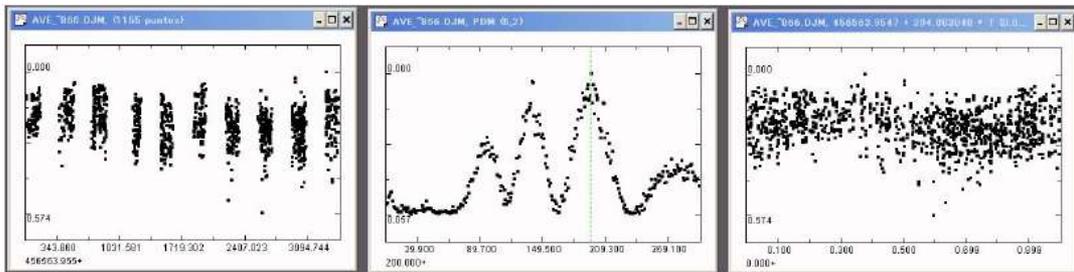
- KWSの周期解析を行った、1年強の周期が見られた
- Ic: 338.9/394.8day , 394.8の3倍は3.24年
- V : 341.9/387.3day , 387.3の3倍は3.18年

- 活動領域の切替と関係があるか？

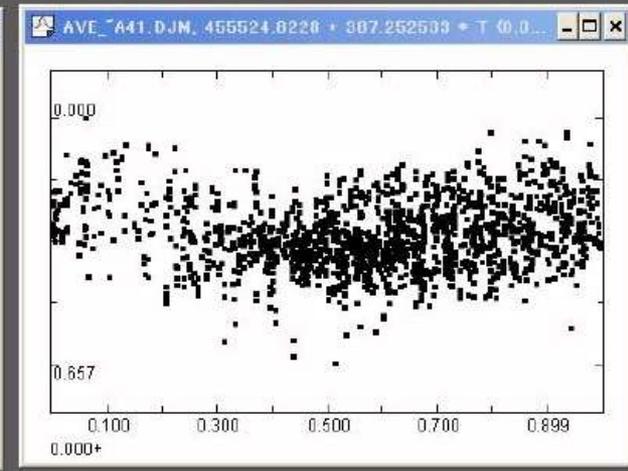
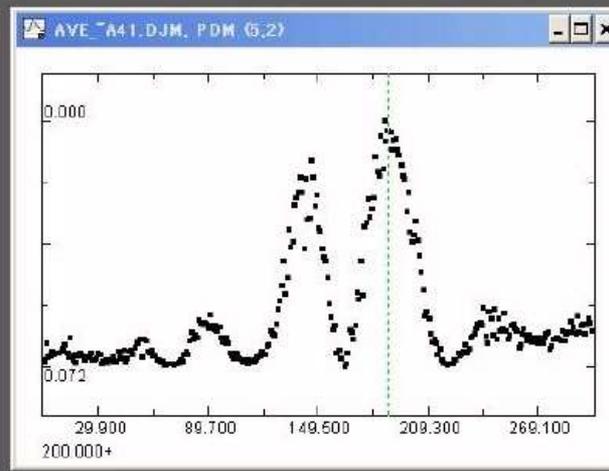
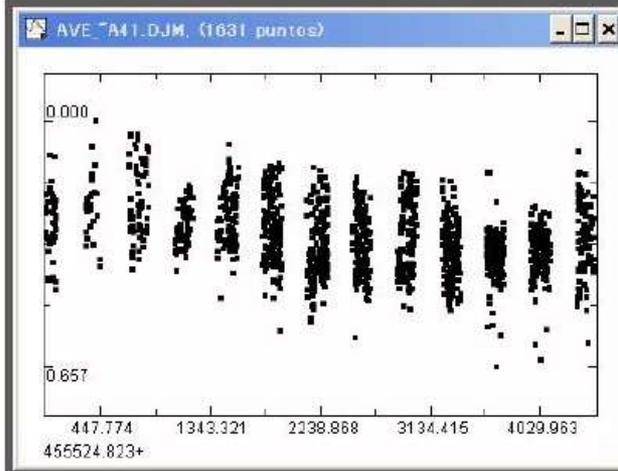
V band



Ic band



# 周期解析



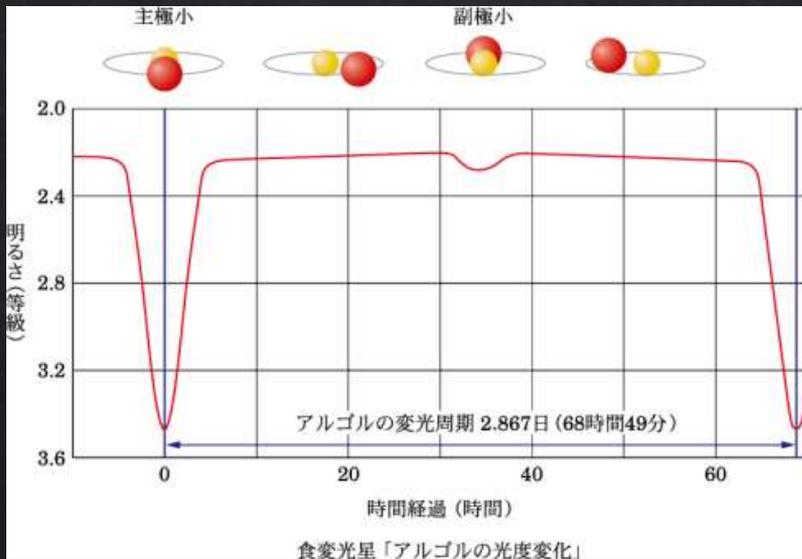
観測データ  
時間（ユリウス日） vs 光度

周期解析  
変動周期を求める

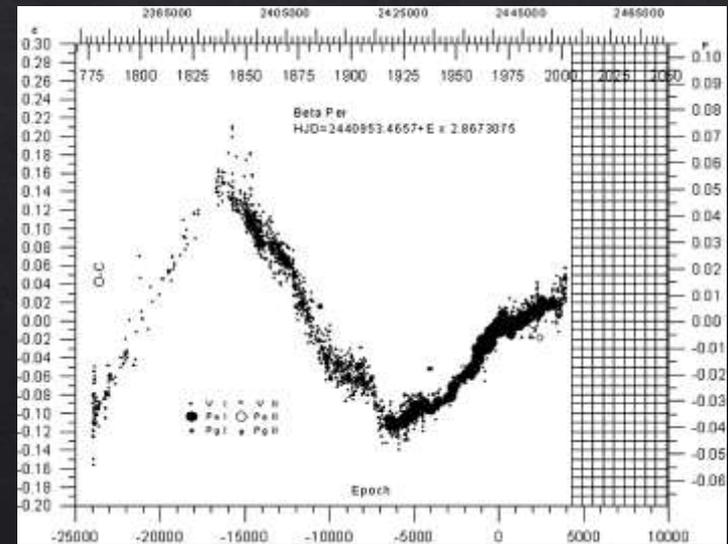
周期でたたみこむ  
位相 vs 光度

# O-C

Observation (観測時刻) - Calculation (予測時刻)  
周期変動を見るのに便利！  
AAVSOの資料がとてもわかりやすかった！



アルゴルの光度曲線  
(天文学辞典)



アルゴルの O-C 図。  
(引用元: AN ATLAS OF O-C DIAGRAMS OF ECLIPSING BINARY STARS)。

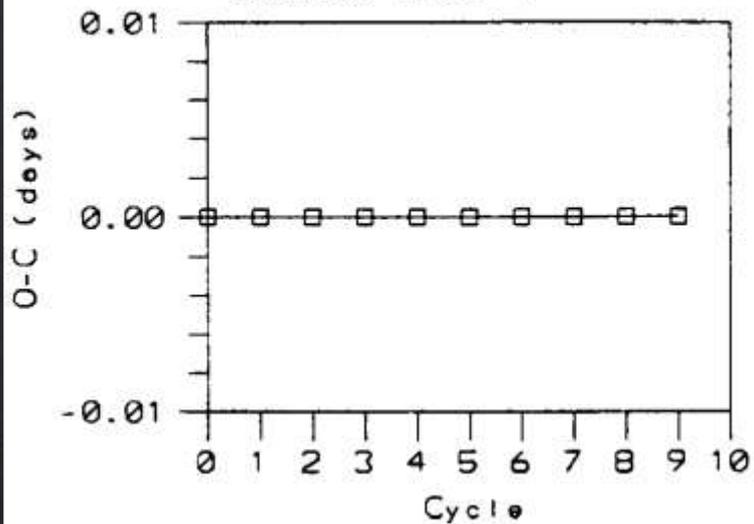
O-C

If the star is perfectly periodic, has a maximum at time  $t_o$  (the *epoch*), and the period is  $P$ , then we know that the *next* maximum will occur at time  $t_o + P$ . The next maximum after that will be at time  $t_o + 2P$ , then next at  $t_o + 3P$ , etc. In fact, if we choose  $t_o$ , our *epoch*, to be the time of maximum for cycle number *zero*, then the *computed time of maximum* for any cycle number  $n$ , which we can call  $C_n$ , is easy to calculate:

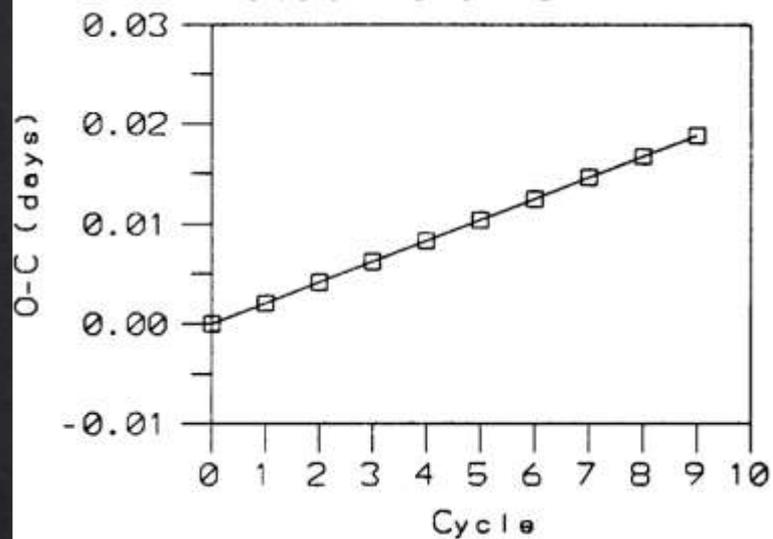
$$C_n = t_o + nP.$$

With this one formula, we can compute the times of all maxima, past, present, and future.

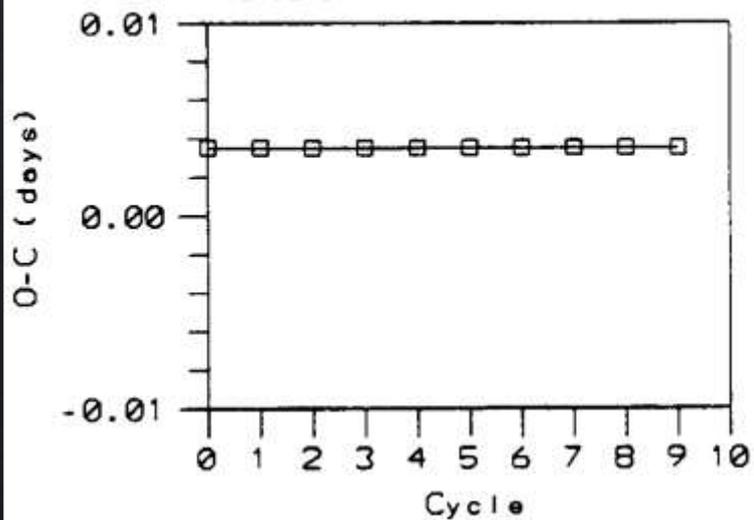
*Clock No. 1*



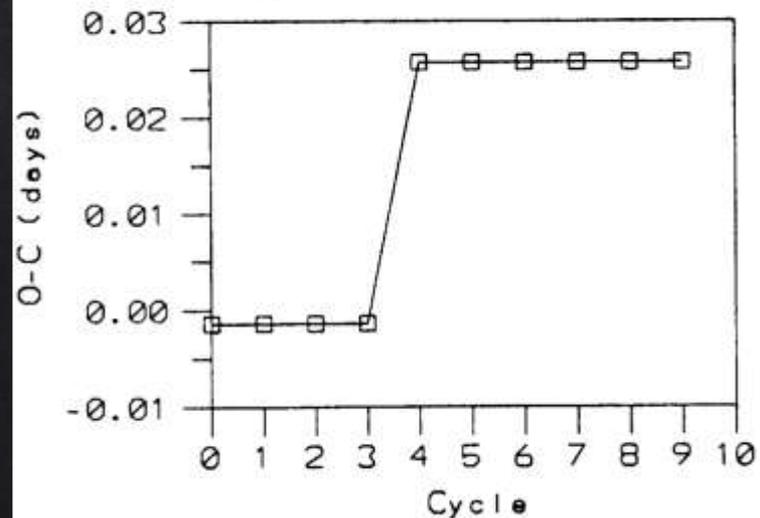
*Clock No. 3*



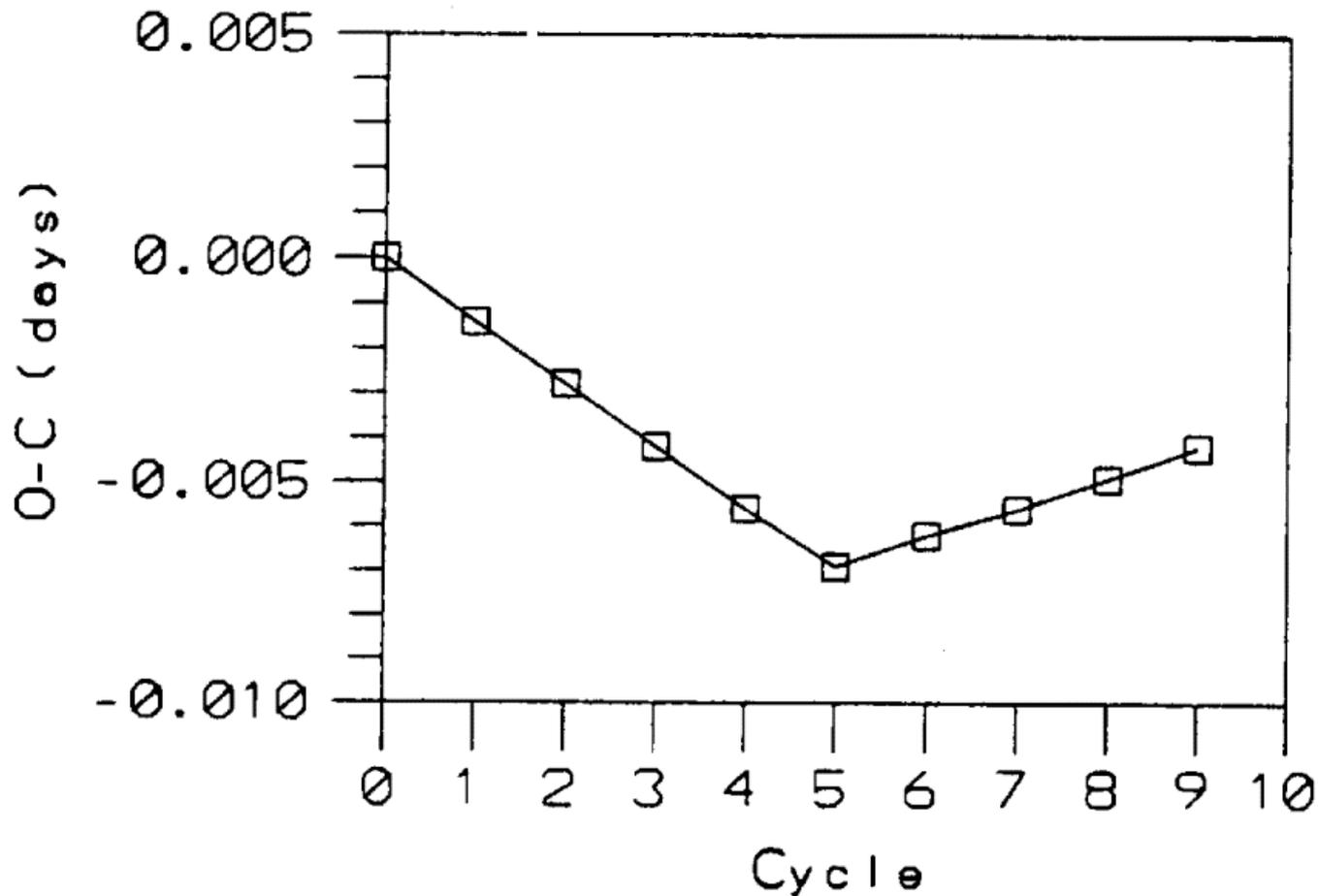
*Clock No. 2*



*Clock No. 4*

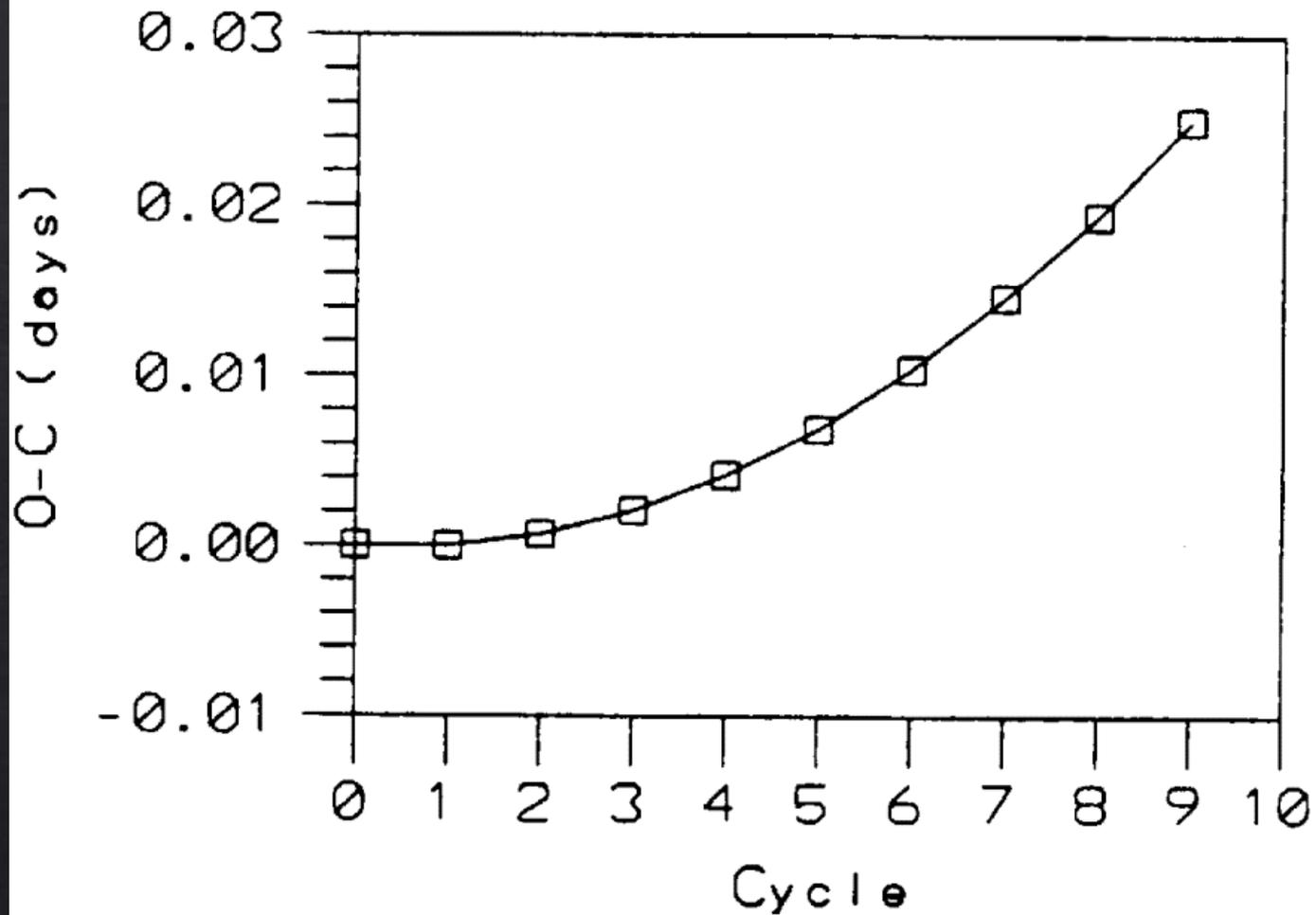


## Clock No. 5



This gives us one of the most important clues to look for in *O-C* diagrams: **when the *O-C* values change from one straight line to another which has a different slope, the period has changed. The slope of each line is the difference between its period and the estimated period.**

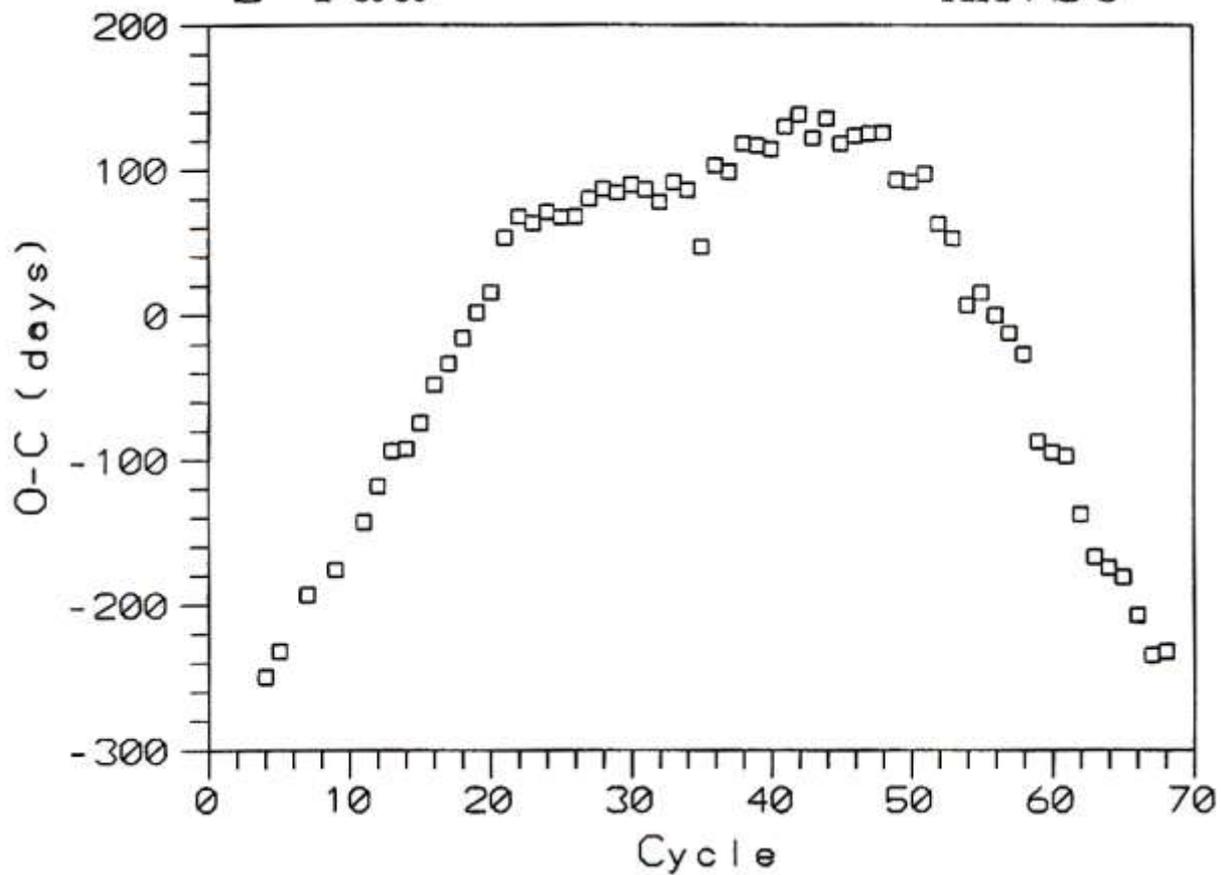
## Clock No. 6



diagrams: when the  $O-C$  values do not follow a straight line, the system is not perfectly periodic.

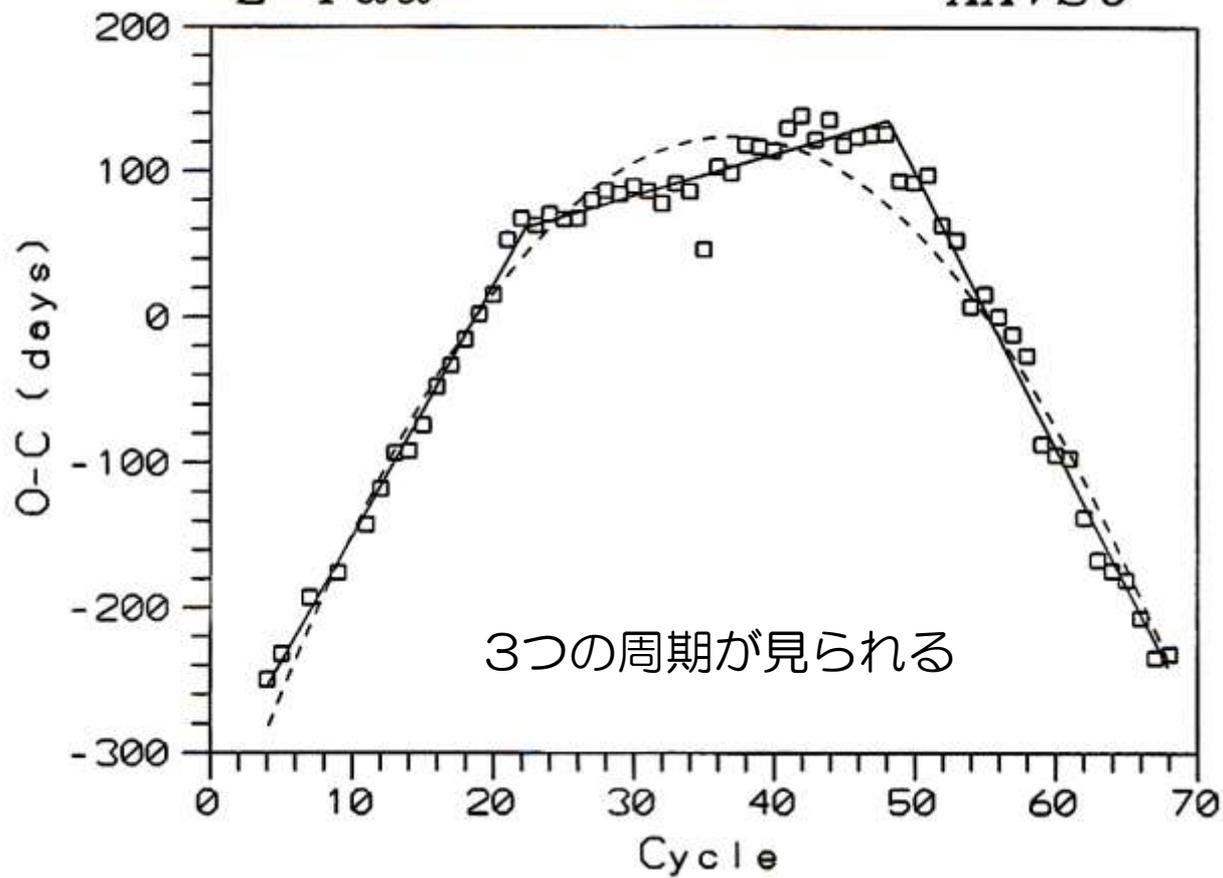
*Z Tau*

*AAVSO*



*Z Tau*

*AAVSO*



3つの周期が見られる

# 変光星観測は何かうれしいか？

- ◇ 光度変化は何を見ているか？
- ◇ なぜ面倒な周期解析を一生懸命してるのか？

周期変動は  
星で起こっている現象と対応。

# 変光星とは

- ◇ 明るさが変化する恒星の総称。変光の原因によっていくつかに分類される。星自身が膨張したり収縮したりすることで変光する脈動変光星、フレア活動によるフレア星、爆発的な現象による激変星、星の周囲の現象に関連するTタウリ型星等がある。連星系において、星が周期的に隠されることによって変光するものは、食変光星と呼ばれる。（引用元：天文学辞典）

変光星の種類によって

周期の原因は違う！

⇒周期変動が何を表すかが違う！

# 脈動変光星

- ◇ 星自身が膨張と収縮を繰り返すために明るさが変化。
- ◇ セファイドやミラ型変光星では星全体がほぼ球対称形を保ったまま膨張と収縮（動径振動）をしており、基準振動を行うもののほか、半径方向に複数の節をもつ倍振動をしているものもある。
- ◇ 脈動は、収縮膨張に際してガスの不透明度が変化することによって励起される（カッパ ( $\kappa$ ) 機構）と考えられている。
- ◇ セファイドやミラ型変光星のように変光周期と星の光度の間に相関がみられるものがあり、それらは距離指標として用いられる。
- ◇ 一方、星の表面の一部が膨張し、ほかの部分が収縮する非動径振動が検出される例も増えており、太陽型振動星、高速振動Ap星、ケフェウス座 $\beta$ 型星などが知られている。

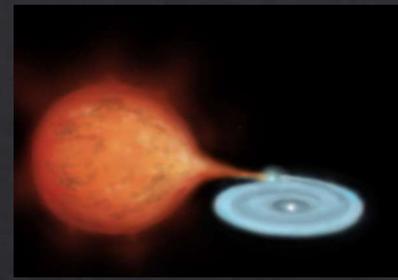
# フレア星

- ◇ フレア活動を示す恒星のこと。閃光星ともいう。
- ◇ 古典的なフレア星の一つはくじら座のUV星に代表される、UV Cet型星と呼ばれる変光星のクラスに属する**晩期型の主系列星**である。自転が速いので、**深い対流層中で恒星ダイナモ作用が働いている**と考えられる。
- ◇ りょうけん座RS星を代表とする、RS CVn型星も古典的なフレア星である。公転周期が短い、**分離型の近接連星系**（連星をなしている恒星と恒星の距離が近いが、まだ接触はしていない系）であって、潮汐力によって自転が高速に保たれているのが、活発な恒星ダイナモ作用の原因であると考えられている。

# 激変星

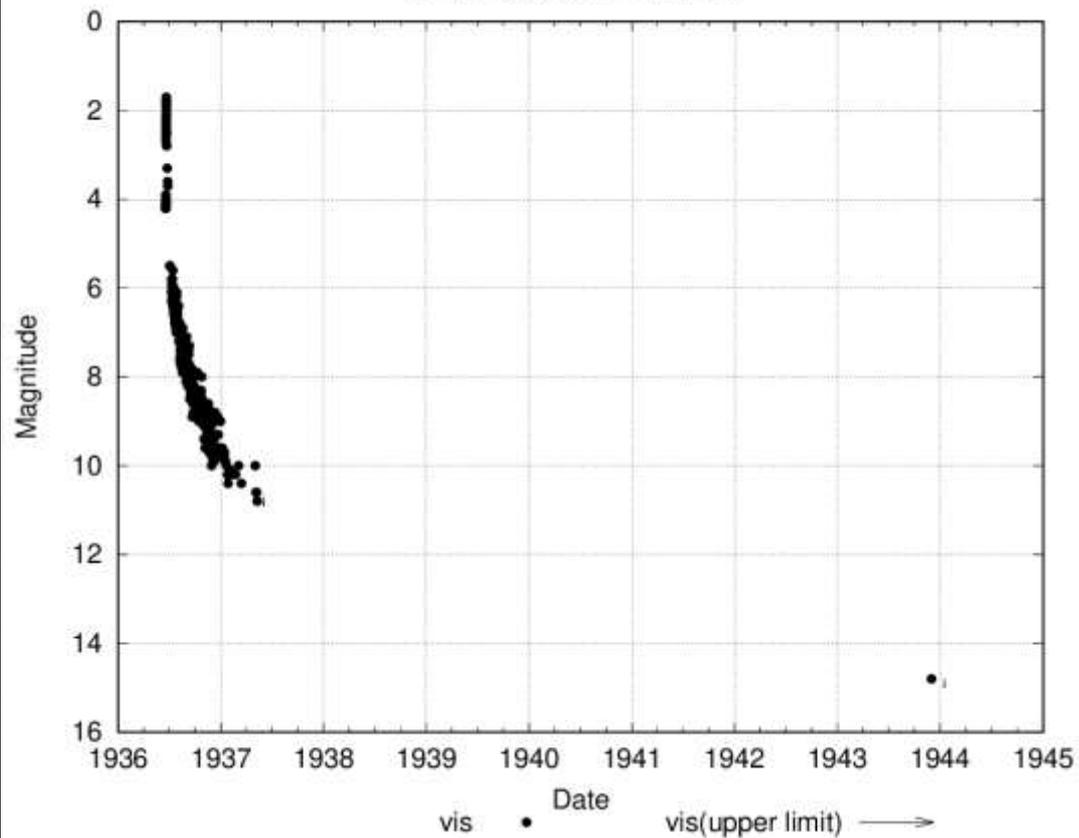
- ◇ 白色矮星とロッシュローブを満たす晩期型主系列星からなる近接連星系の総称。大きな変光現象を伴う。
- ◇ 連星間距離は太陽半径程度、軌道周期は1～10数時間。
- ◇ 白色矮星表面で降り積もったガスが起こす水素の熱核暴走反応による新星、降着円盤の物理状態の変化により大きな光度変化を起こす矮新星などがある。
- ◇ 矮新星では、晩期型星表面から流れ込むガスが白色矮星の周りで降着円盤を形成し、やがて主星に落ち込んでいくが、白色矮星の磁場が強くて降着円盤の形成が妨げられる場合があり、強磁場激変星と呼ばれる。
- ◇ 伴星から流入するガスが降着円盤にぶつかる点は明るく輝き、ホットスポットと呼ばれる。ホットスポットは軌道位相によって見え方が変わり、系全体の明るさが変化するるので、軌道周期を求めるのに利用される。

# 新星（激変星の一種）



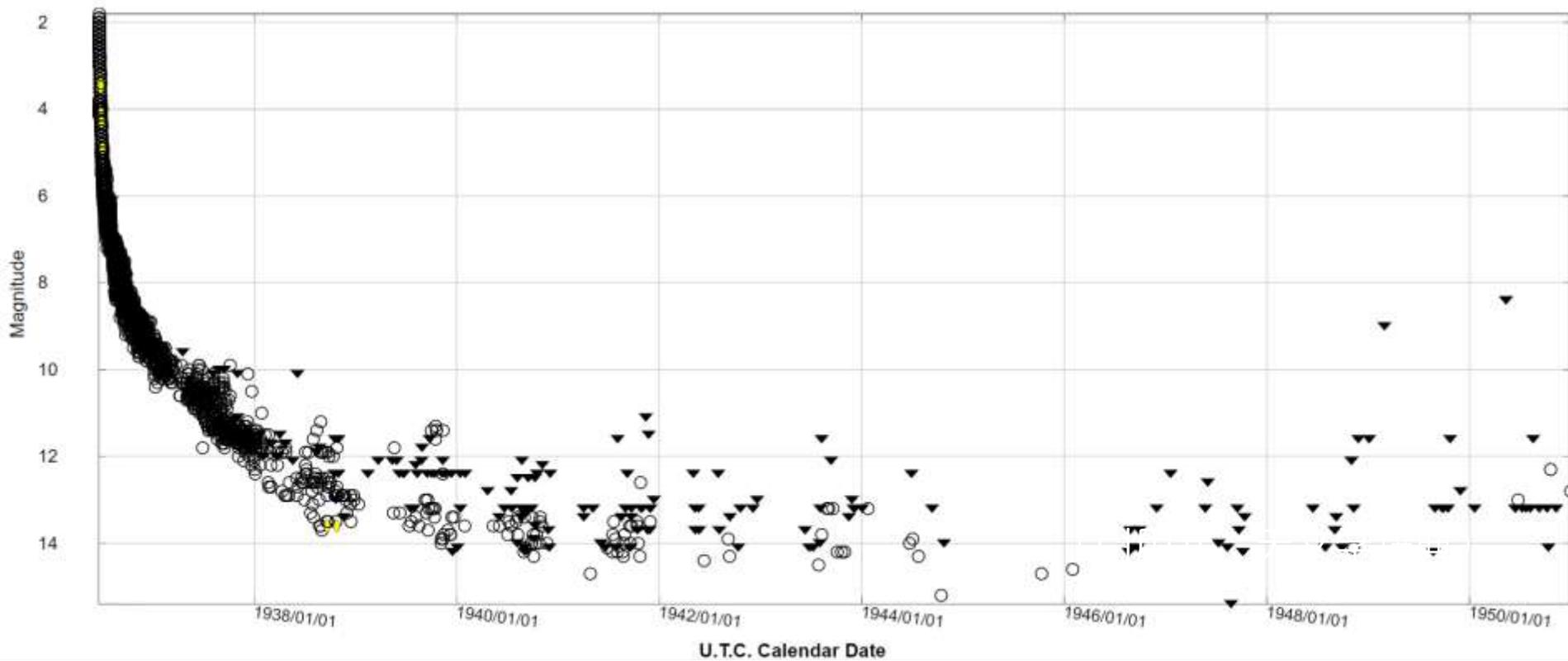
- ◇ 星が突然明るくなり、数か月から数年かけてゆっくり暗くなっていく現象。
- ◇ 白色矮星と晩期型星からなる連星において、ロッシュローブを満たす晩期型星から白色矮星にガスが降り積もり、ある質量や温度に達したときに起こる水素の熱核暴走反応による爆発現象である。
- ◇ 増光幅は8等から15等以上にもなる。
- ◇ 爆発の際に白色矮星の表面部分が吹き飛ばされることにより新星シェルが形成される。
- ◇ 新星爆発は、すべての激変星において、質量降着率と主星の質量に応じて1000年から数100万年程度の時間尺度で繰り返されると考えられており、数10年ごとに新星爆発を繰り返すものは再帰新星（回帰新星）と呼ばれる。

VSOLJ light curve of LACCP



# CP Lac

☑ All (3189) ○ (3179) ☑ Vis ▼ (184) ☑ Faint 🟡 (10) ☑ NA



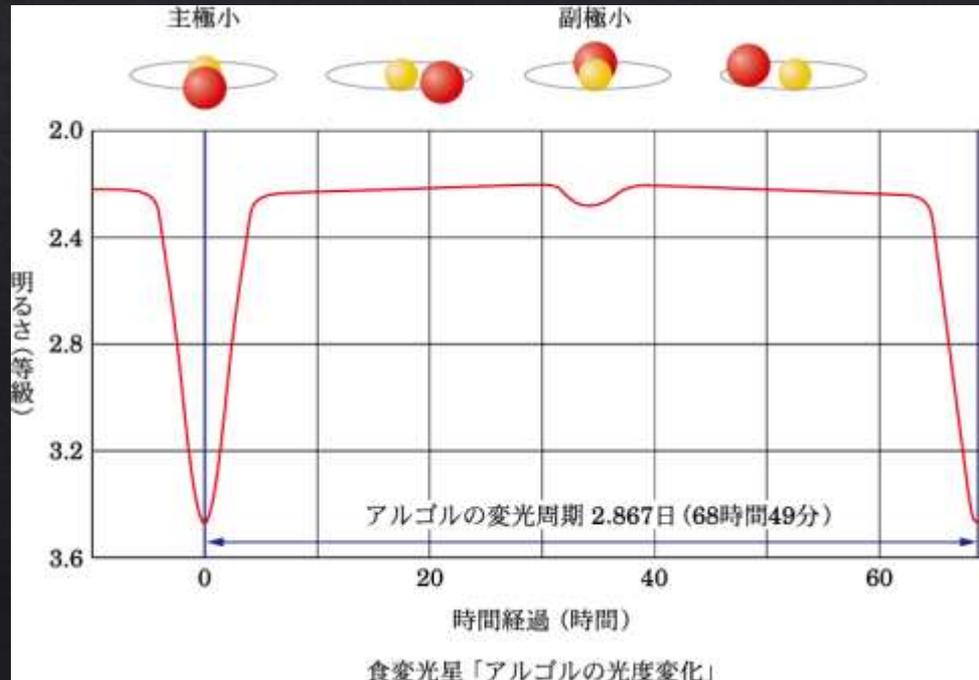
(引用元 : AAVSO)

# Tタウリ

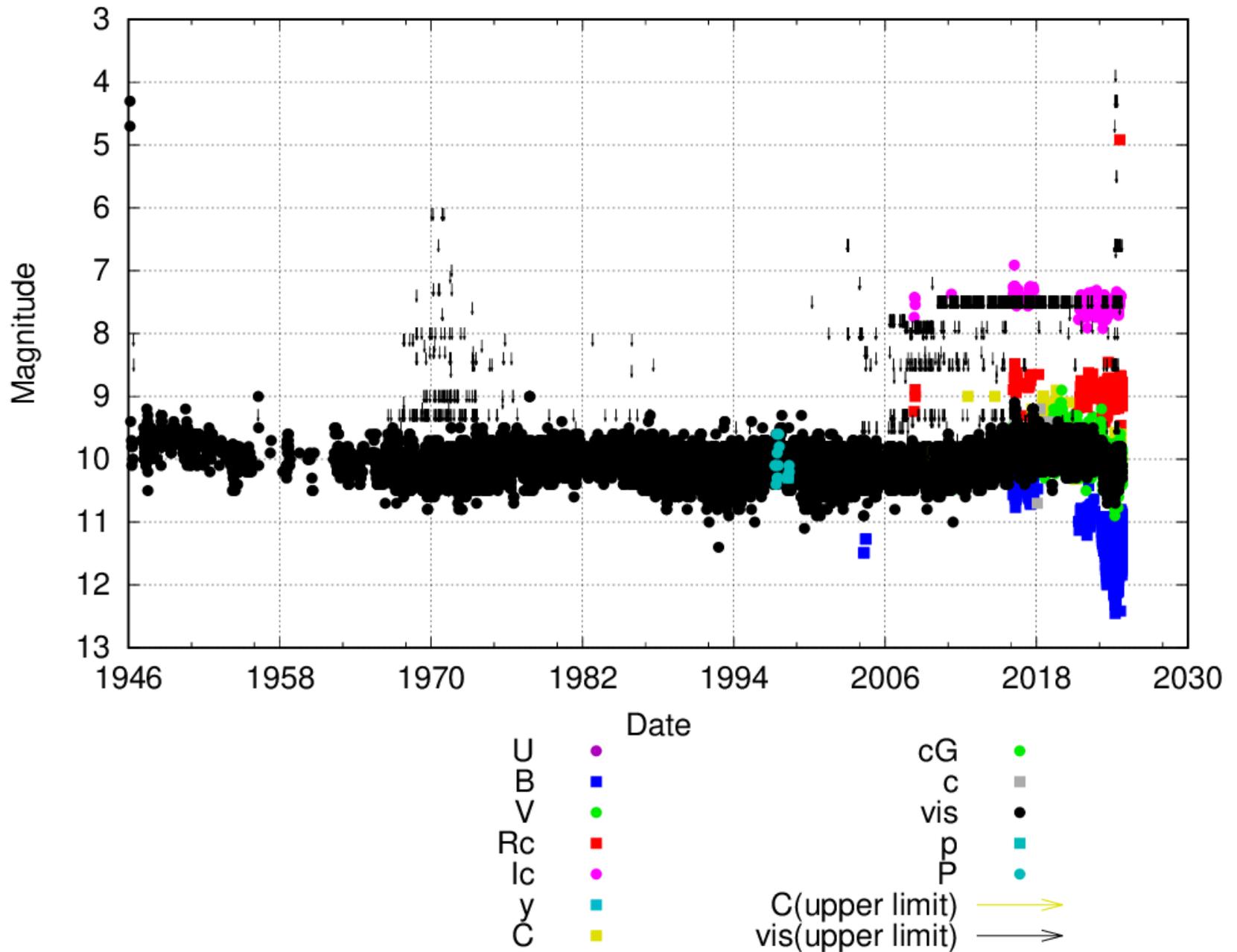
- ◇ 可視光でも観測される若い星のことであり、**前主系列星**の一種。
- ◇ スペクトルにH $\alpha$ 線などの輝線が見られる。原始星が進化して、周りのガスが少なくなった状態の星であり、内部構造において対流が卓越していると考えられる。HR図の林トラック上にある。
- ◇ 中心での水素の核融合反応はまだ始まっておらず、重力収縮に伴う重力エネルギーを解放することで輝いている。
- ◇ 光学ジェットにより励起されたハービッグ-ハロー天体などを伴って観測される場合がある。

# 食変光星

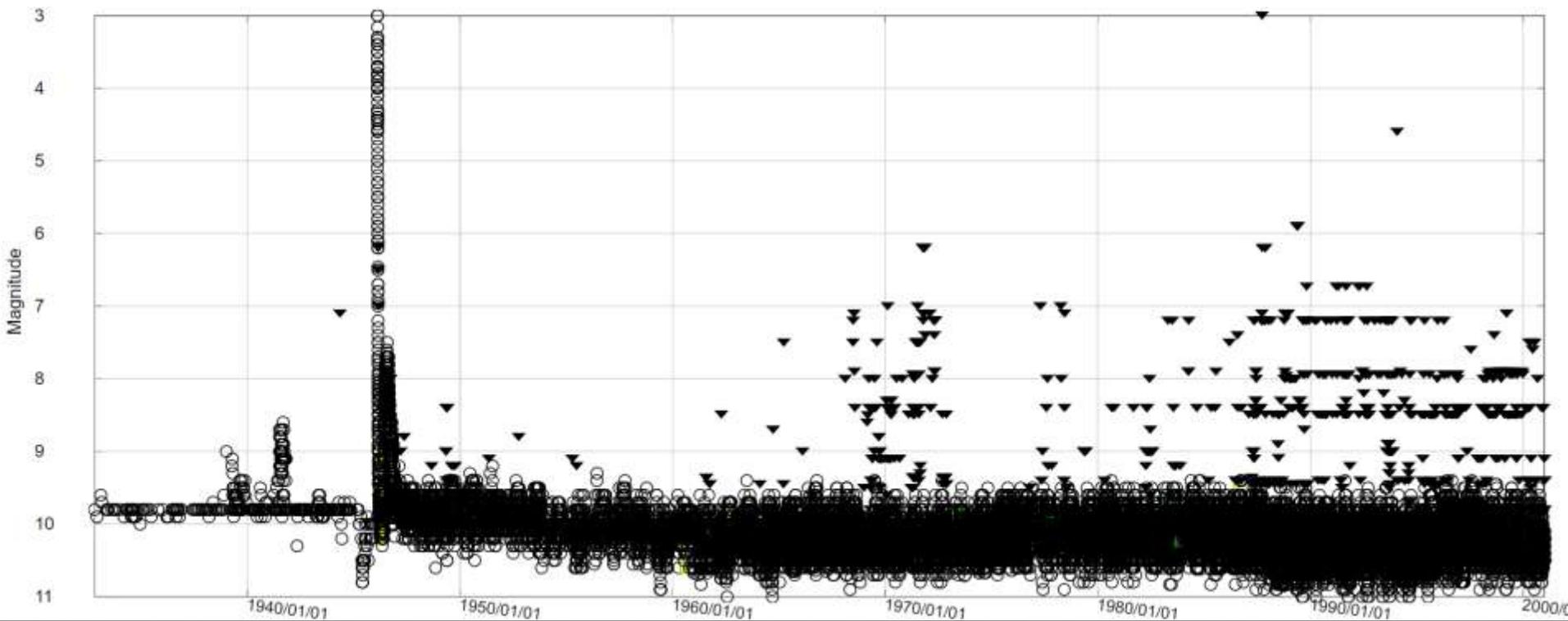
- ◆ 食現象による変光を示す星。光度曲線に二度の減光が現れる。地球から観測して、伴星が主星の手前を通過して起こる減光を主極小、主星が伴星を隠して起こる減光を副極小という。



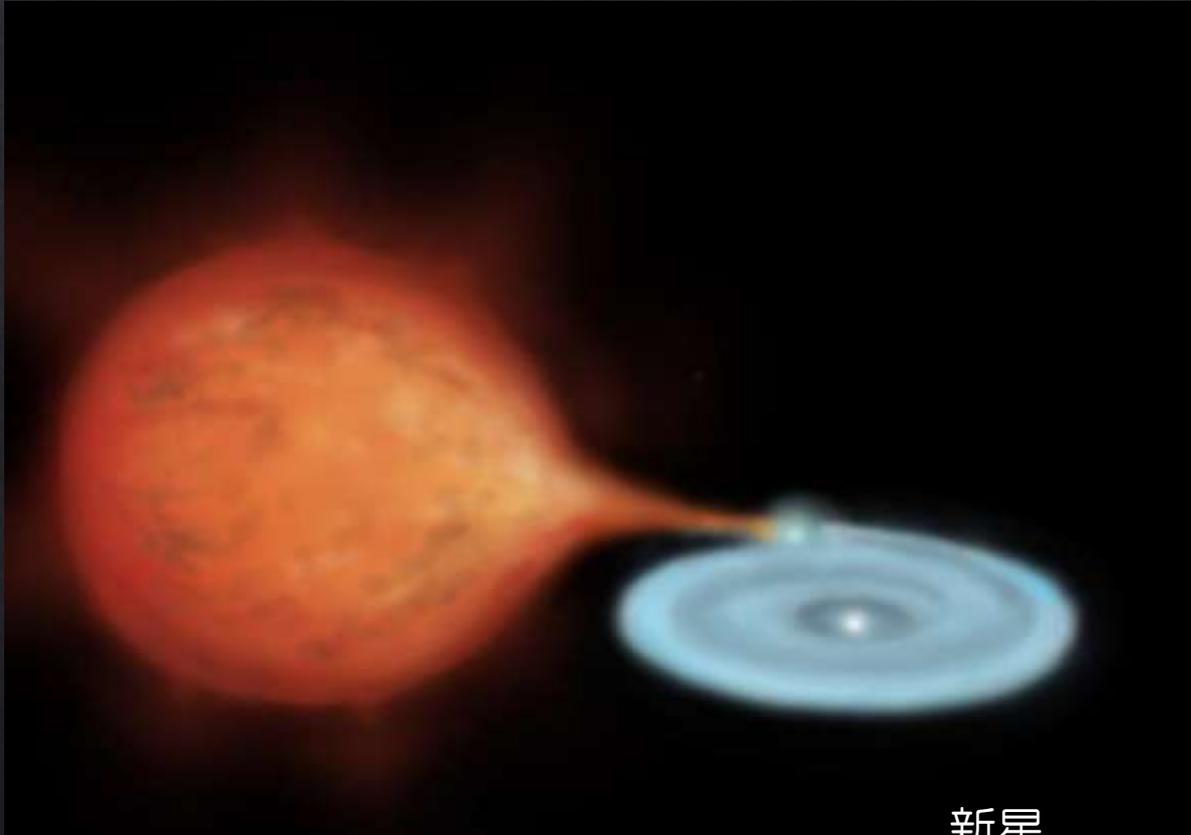
# VSOLJ light curve of CRBT



☑:All (85460) ○(85366) ☑ Vis ▼(1412) ☑ Faint ■(46) ☑ V ★(10) ☑ CV ○(1) ☑ TG ●(37) ☑ NA



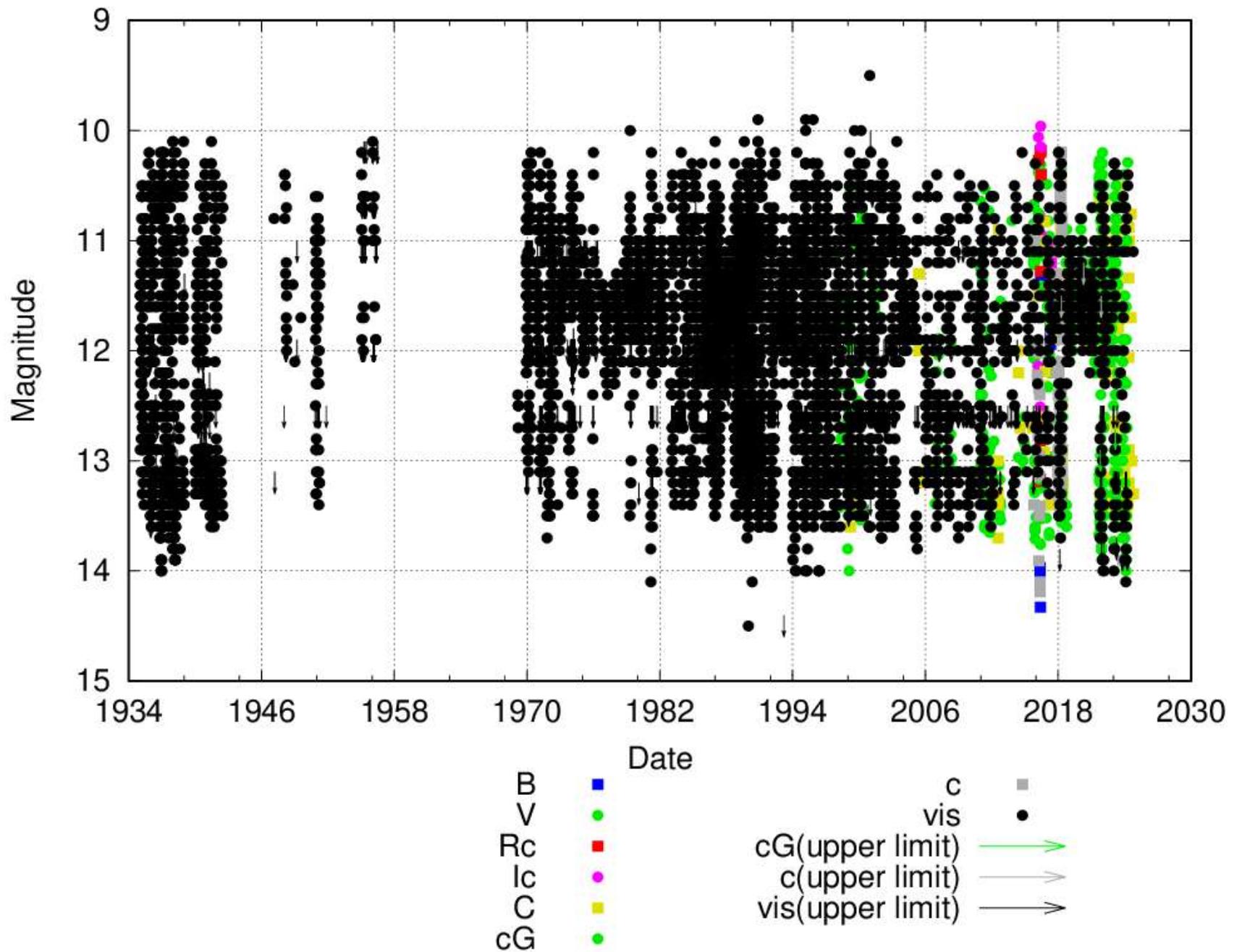
# TCrB



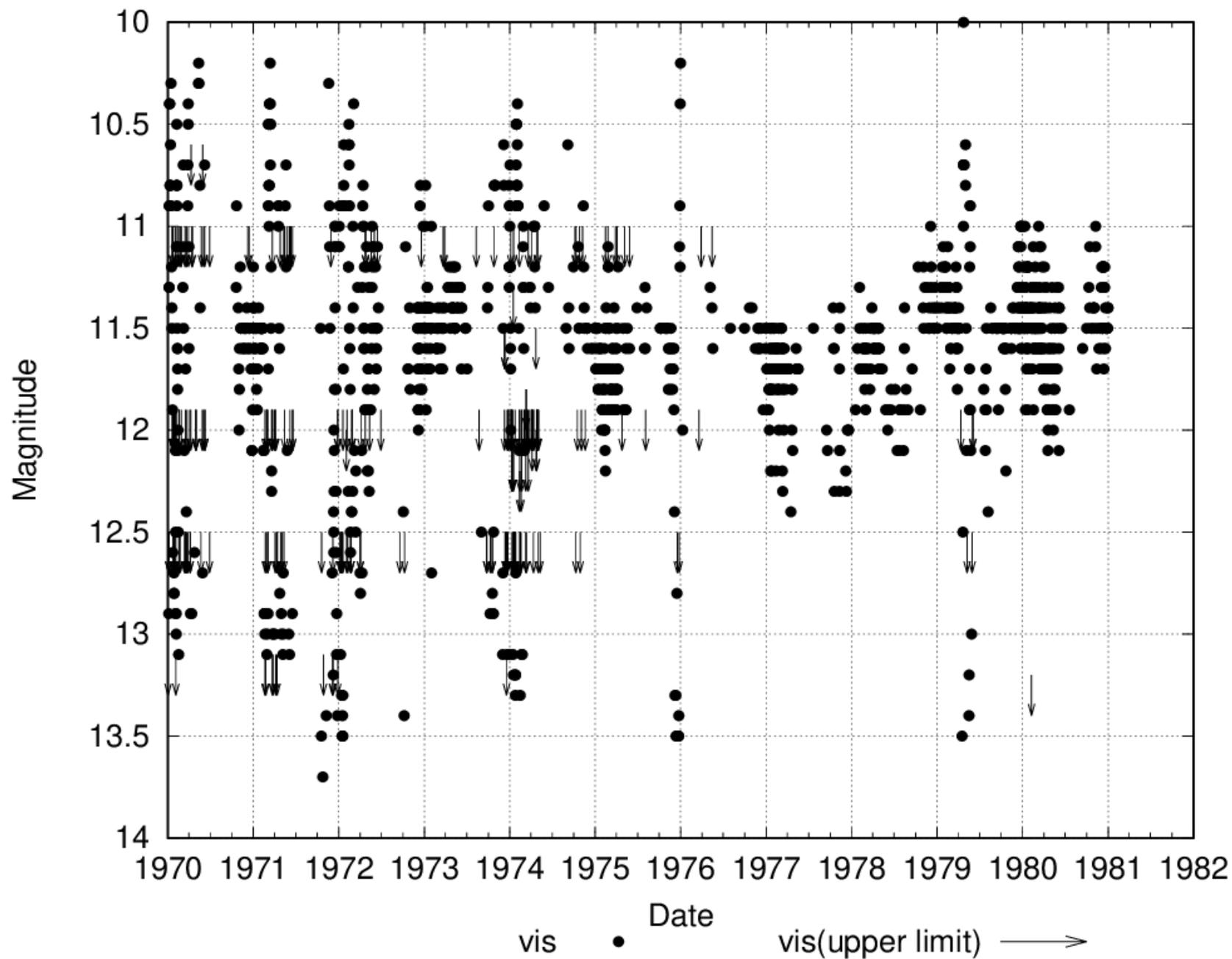
## 新星

白色矮星と赤色巨星の連星系。  
赤色巨星のガスが白色矮星に降り積もっている。降り積もったガスの質量が臨界を超えると、核融合反応が起こり爆発！

# VSOLJ light curve of CAMZ



VSOLJ light curve of CAMZ



# ZCam



**ZCAM型**

質量移動率が高く、矮新星型の増光を繰り返す時と継続的な増光状態を保つ時期とがある。

白色矮星と赤色星との近接連星。

# これから

- ◇ とりあえず変光星の種類を勉強
  - ◇ 変光星詳しい人に教えてほしい
- ◇ O-Cのグラフを作ってみる
  - ◇ まずはVSOLJデータで練習
  - ◇ これも誰か教えてくれると嬉しい
  - ◇ というか、誰かやってくれると嬉しい
- ◇ おもしろそうな天体を見つける
  - ◇ 特定の天体を集中的にやるのがよさそう
  - ◇ VSOLJ、AAVSOと茅野市資料を比較
    - ◇ 欠け、ずれがないか？