

連星系の食の周期変動を探る

2015年度 天文・天体物理若手夏の学校
@信州圓山荘
2015. 7. 29 (水)

高妻 真次郎 (中京
大)

自己紹介

- ・夏の学校への参加
—2007～2008 (D1～D2)

- ・研究遍歴

➡ “変光”と“アーカイブ”がキーワード

ト
修士課程：

変光星と銀河系構造

博士課程～その後：

活動銀河中心核の探索や変光

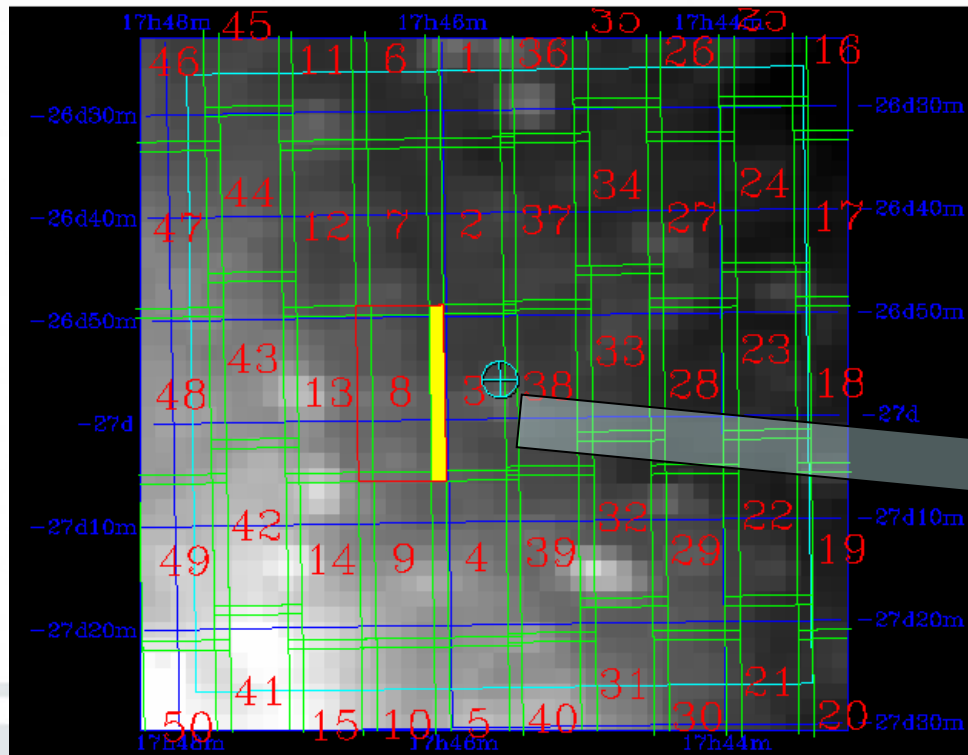
最近（この1年くらい）：

食連星

サーベイ画像を利用した変光星の探索

2MASS (Two Micron All Sky

Survey)(1.25 μm)、H (1.65 μm)、Ks (2.17 μm)
で全天サーベイ



オーバーラップ領域の
比較により変光天体を
検出

- ・ 赤い枠線が一枚の画像
- ・ 黄領域が隣り合う画像 (3と8) のオーバーラップ部分

調査領域・結果



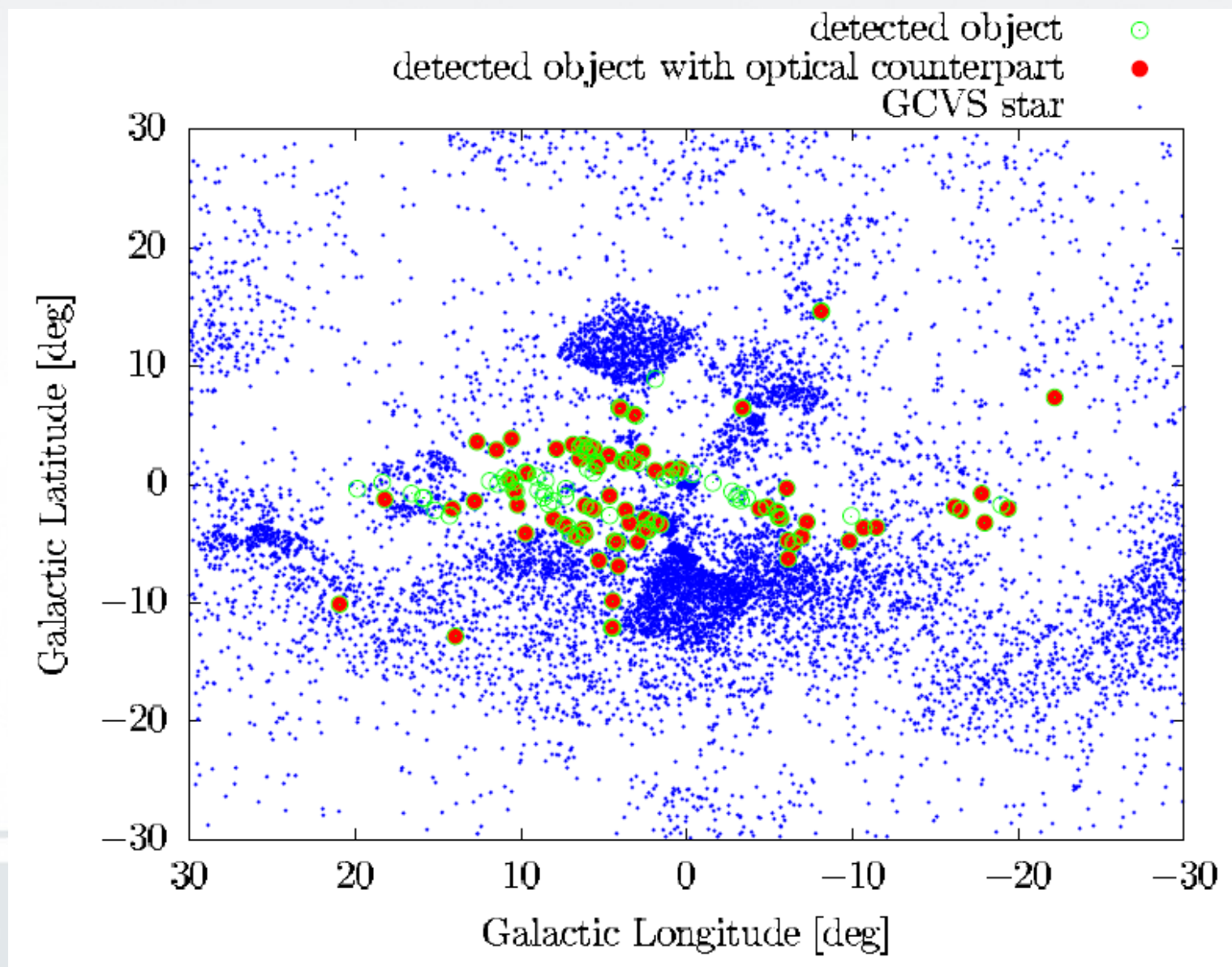
139の変光天体を検出

$|l| \leq 20^\circ, |b| \leq 5^\circ$
(118天体)

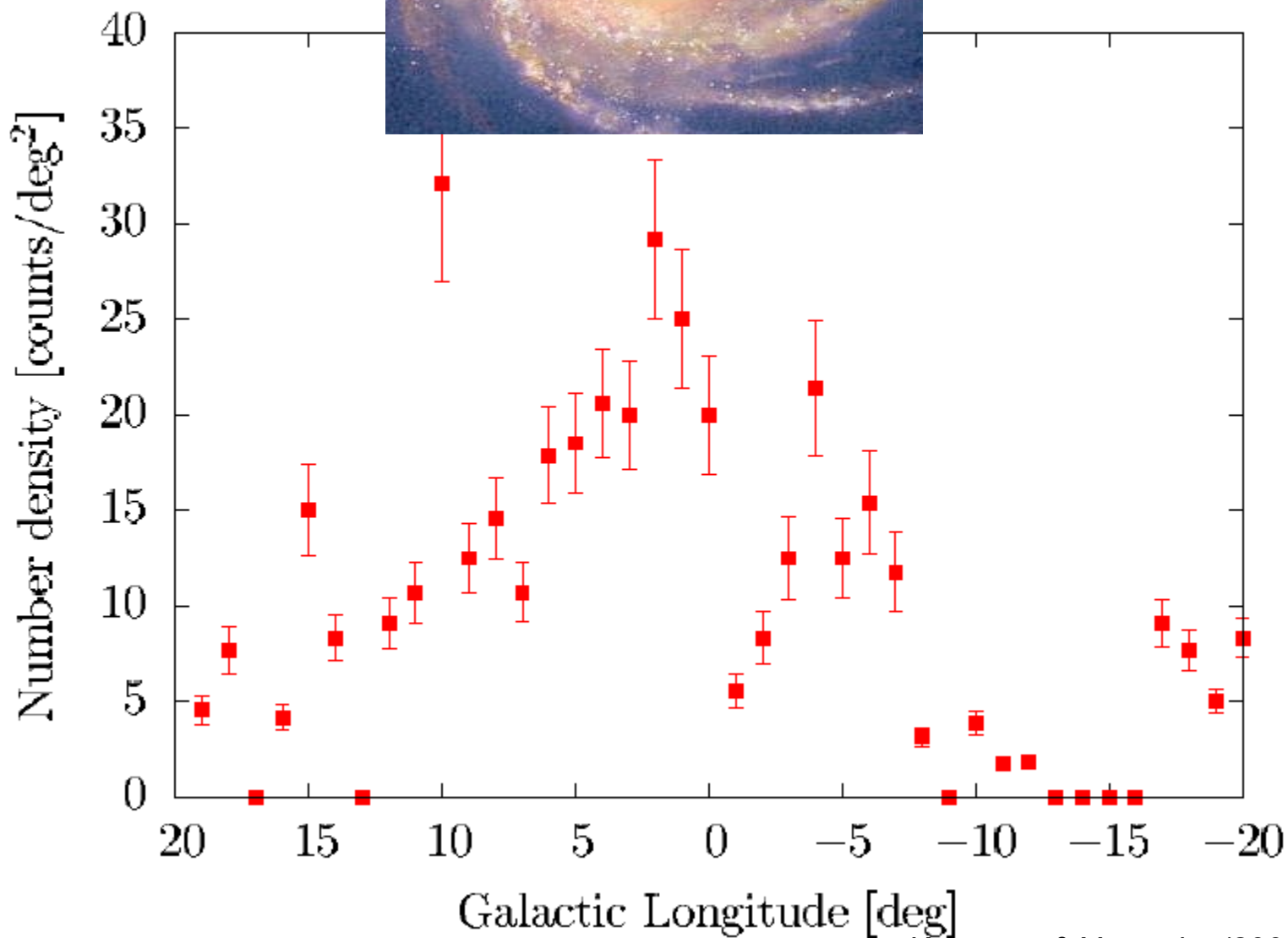
Two Micron All Sky Survey Image Mosaic: Infrared Processing and Analysis Center/Caltech & University of Massachusetts

全天の8%程度、約10万枚の画像 (J-band)

空間分布



数密度分布



The background features a light blue sky with several stylized birds in flight, represented by simple curved lines. Below the sky is a dark blue horizontal band representing the ground or water, with a white horizon line separating the two. The overall style is minimalist and clean.

連星系の食の周期変動を探る

連星系とその進化

連星系

→ 2つの恒星が重力的に束縛された系



お互いの周りを回転



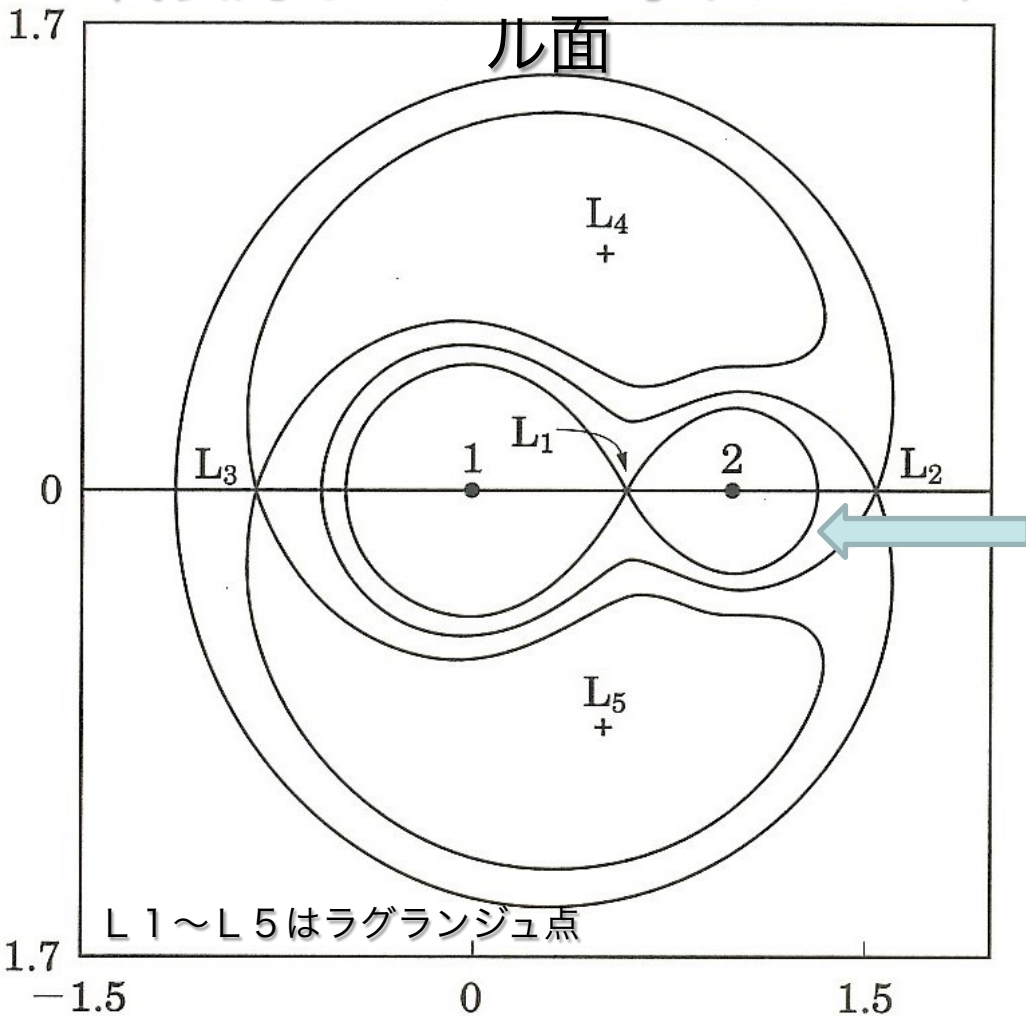
ESO/
LCalçada

進化は？

→ 単独の恒星の進化（だけ）を考えればよいわけではない！
→ 相互作用が進化を複雑に

ロッシュローブ (Roche lobe) I

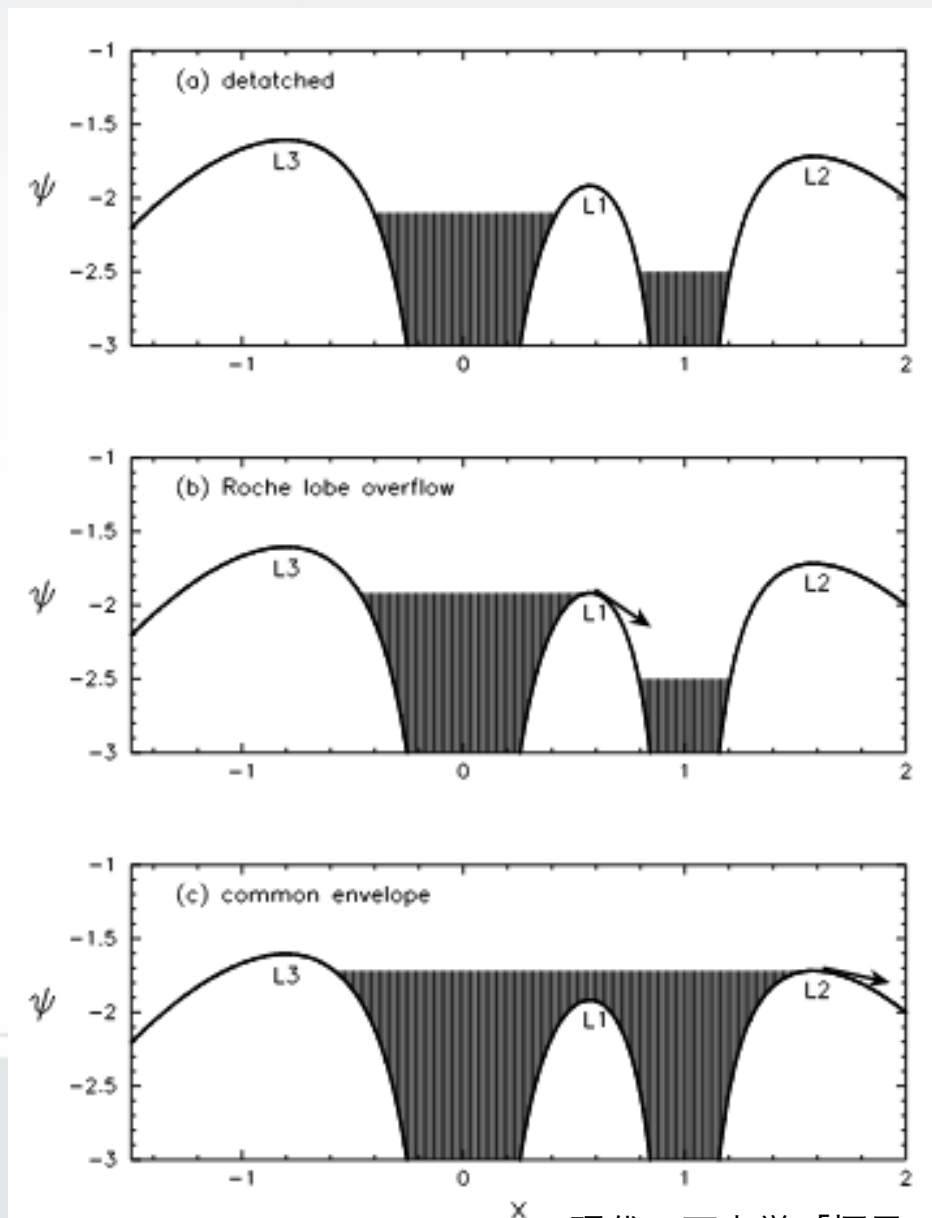
代表的なロッシュ等ポテンシャル面



ロッシュポテンシャル
= 重力ポテンシャル
+ 遠心力ポテンシャル

(内部臨界) ロッシュ
ローブ → 各星の重力が優勢な領域

ロッシュロブII



質量移動が進化に与える影響

～アルゴルパラドックス～

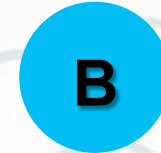
連星系の形成初期

主系列星

主系列星



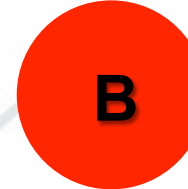
軽い



重い

先に巨星へ進化

質量移動



質量の大きさが逆転



重い



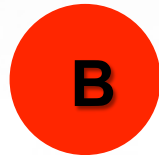
軽い

アルゴル (β

Per) 巨星



重い



軽い



単独の恒星の進化を考えると矛盾

連星の見つけ方

- 実視連星

見た目で分離できる

- 分光連星

スペクトル線が、波長方向に周期的な位置変化を示す

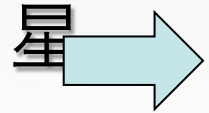
- 食連星

互いに隠しあう食現象が見られる

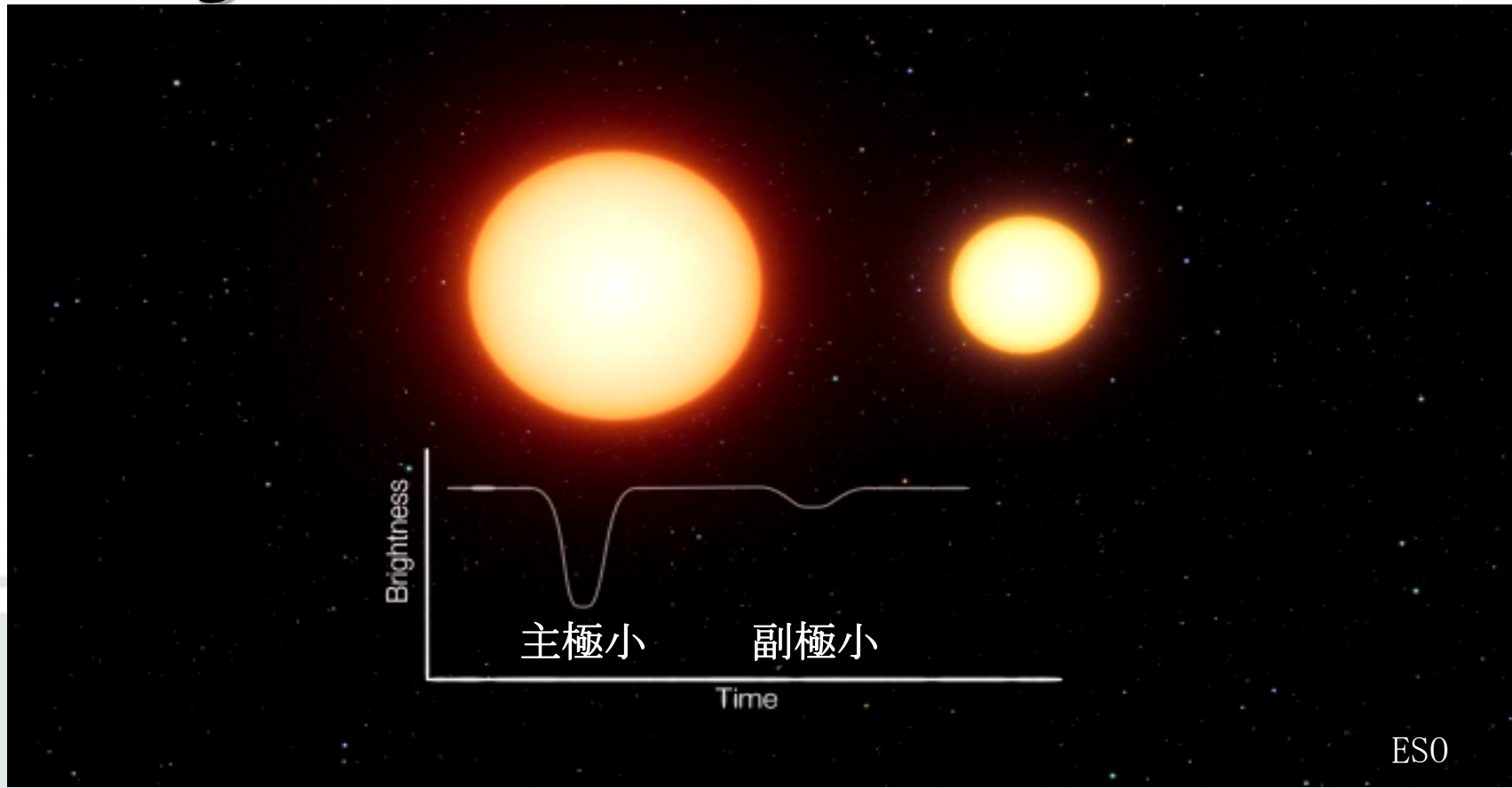
➡ 一番発見されやすい

食連星 (Eclipsing Binaries)

2つの星が互いに隠しあう食現象によって変光を示す連

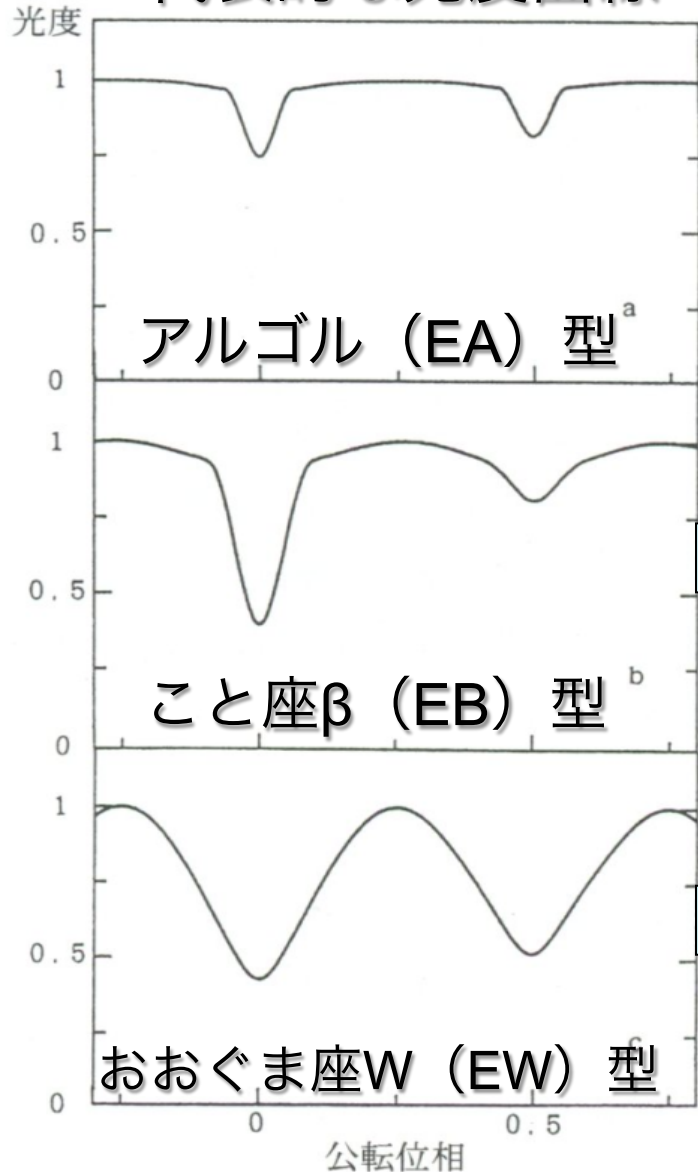


星 → 光度曲線中には、主極小と副極小が繰り返し現れる

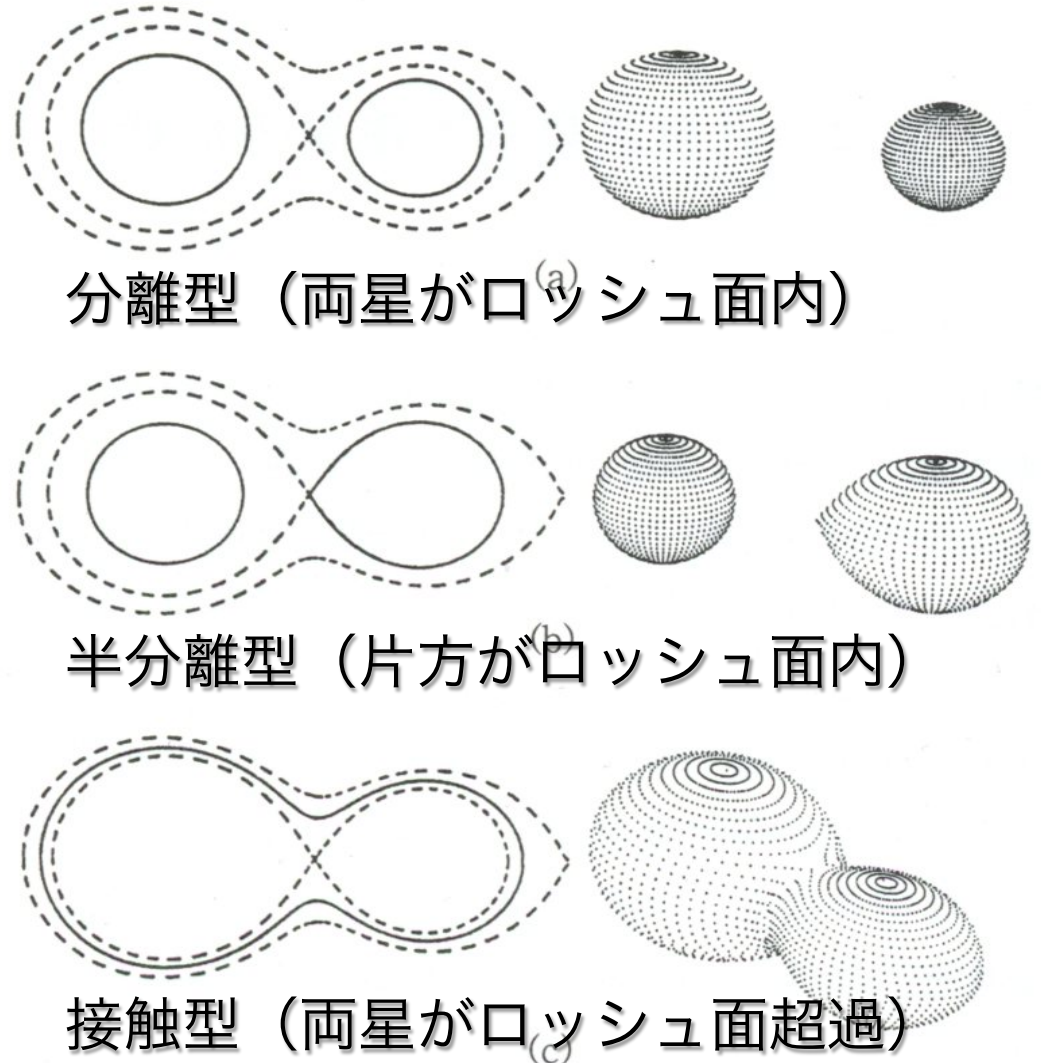


光度曲線の形状とコパールの分類

代表的な光度曲線



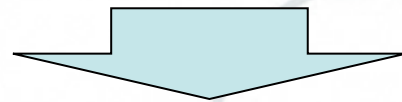
コパールの分類



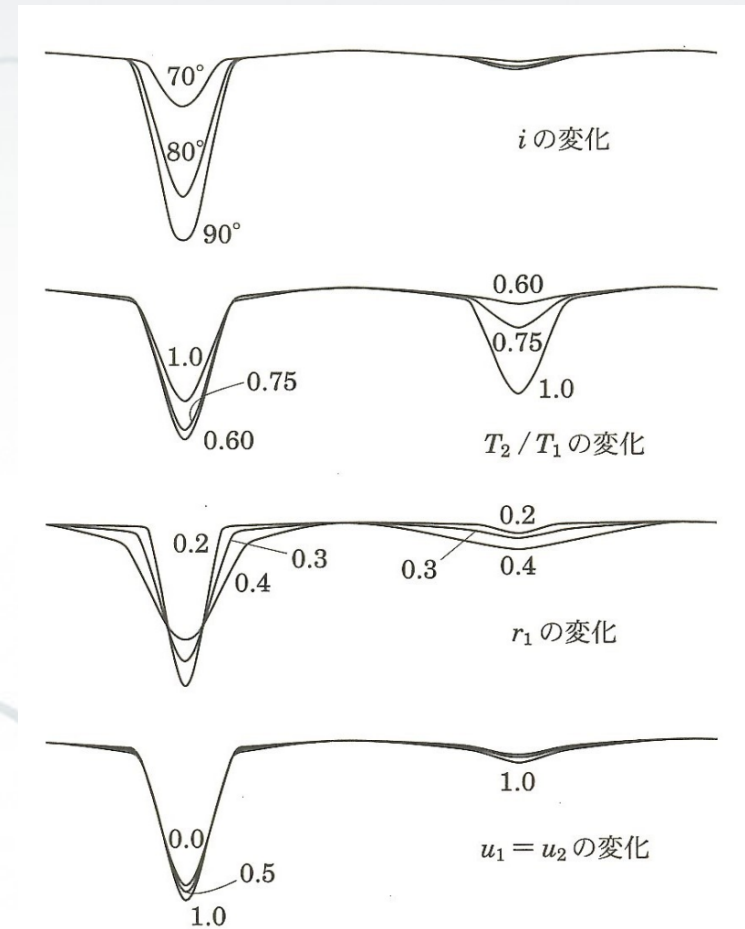
光度曲線の形状を変える要素

- 測光要素

- 質量比
- 相対半径
- 公転軌道面の傾斜角
- 表面温度比
- 光度比
- 周辺減光



光度曲線からさまざまな物理量を得ることができる



(b)

現代の天文学「恒星」

良（公転運動）の同期も変動する

O-C 図

O-C :
極小時刻（観測値:O）
の計算予報時刻（C）
からのずれ

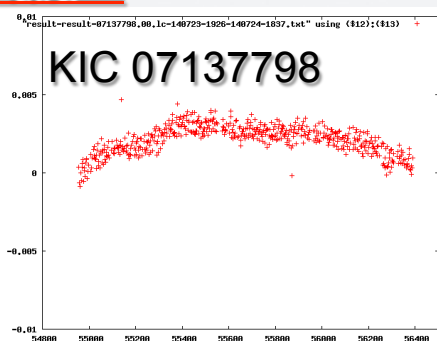
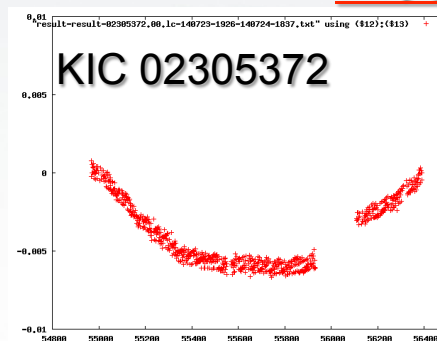
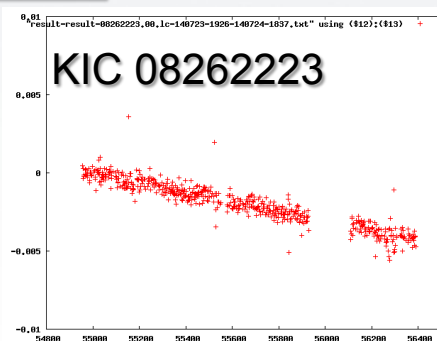
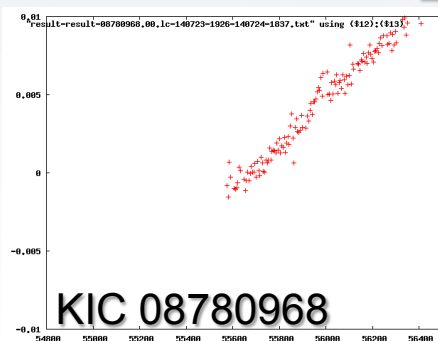


E : 食の周期の位相
(または、観測時刻)

O-C図上でのさまざまな分布

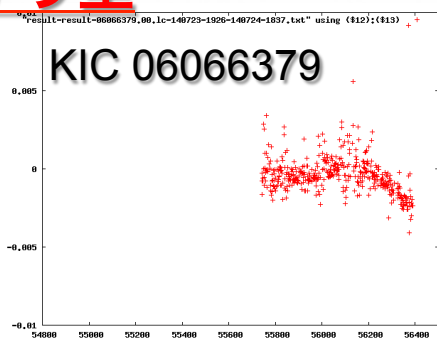
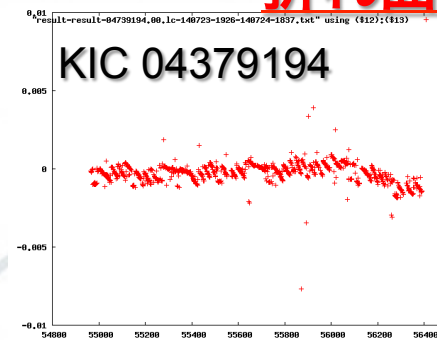
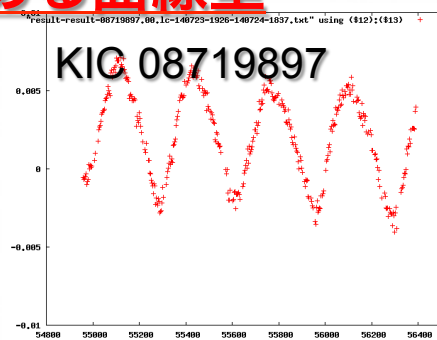
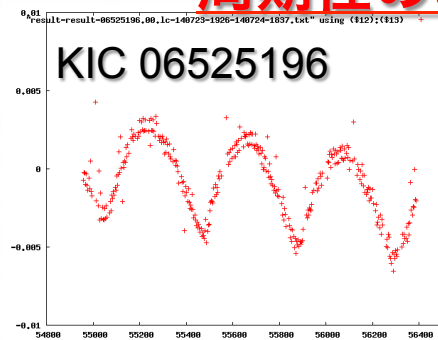
直線型

二次曲線型

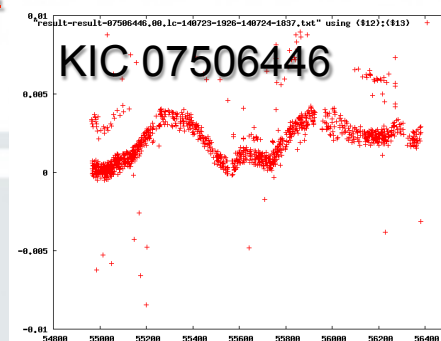
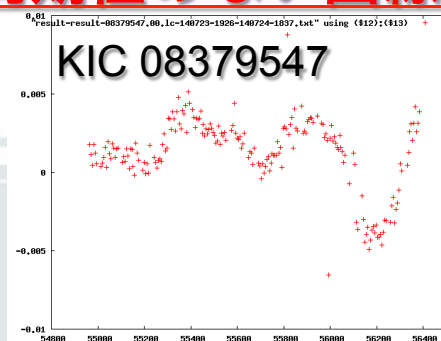
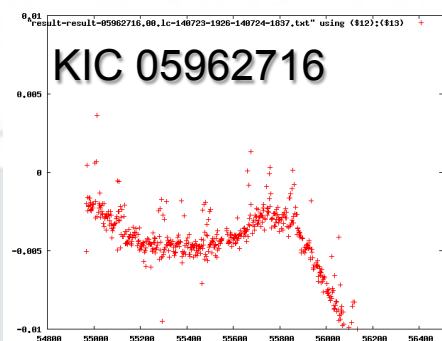


周期性のある曲線型

折れ曲がり型



周期性のない曲線型



周期変動はなぜ起こる？

・ 質量交換・質量損失

Conservative mass

$$P/P = 3m_1 (m_1 - m_2) / (m_1 + m_2)$$

Non-conservative mass transfer:

$$P/P = -2m_1 / (m_1 + m_2)$$

Hilditch (2001)

・ 連星系の周りにおける第3の天体による影響

$$\Delta P/P = A_{LTTE} [(1 - e^2)^{-1/2} \sin E(t) \cos \omega + (\cos E(t) - e) \sin \omega]$$

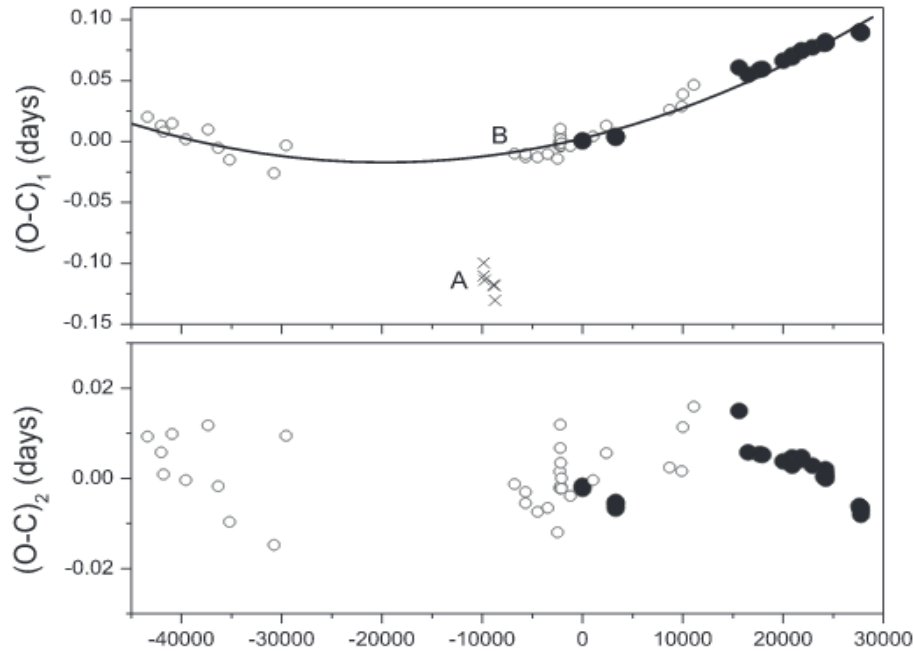
$$E(t) = M(t) + e \sin E(t), \quad M(t) = (t - t_0) 2\pi / P, \quad A_{LTTE} = G^{1/3} / c (2\pi)^{2/3} [m_3 / m_1^{1/2} m_2^{1/2} \sin i] P^{2/3}$$

Conroy et al. (2014)

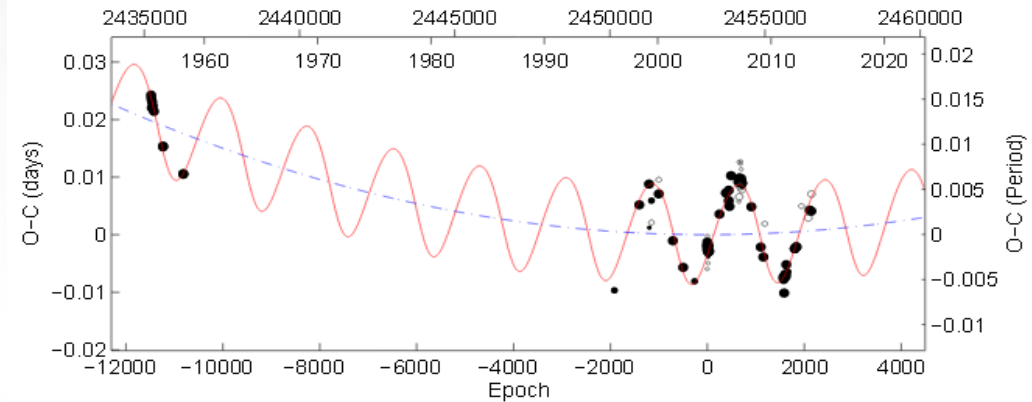
・ 角運動量の損失

— 磁気制動 (magnetic braking) など

先行研究における問題点



E Xaing et al. (2009)



Zasche et al.
(2014)

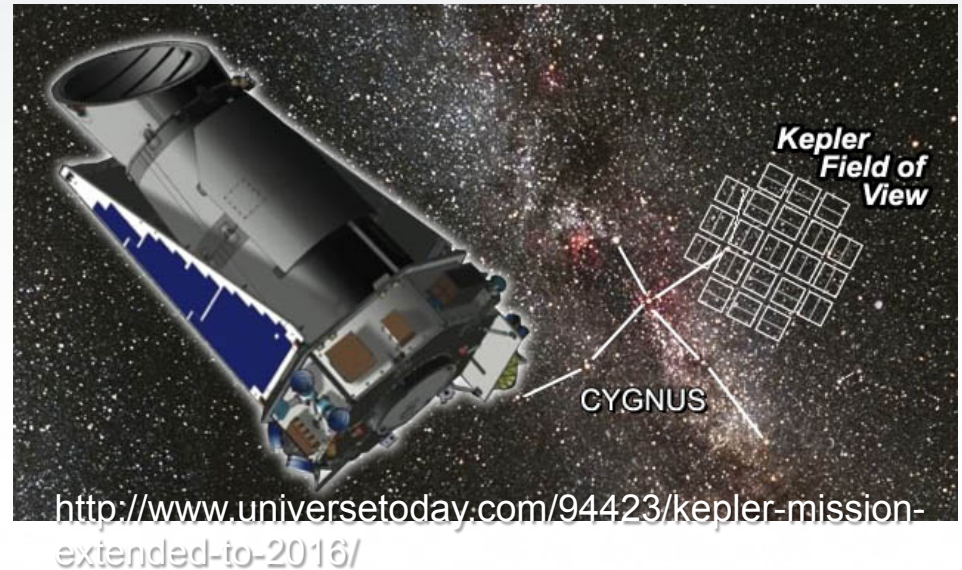
- 複数の観測データを組み合わせている
- 時間間隔がまばら
- サンプル数が少ない

Kepler宇宙望遠鏡

- 2009年3月～2013年8月
にわたり観測
(主観測ミッション)
- 口径95cmの望遠鏡
- 約16万天体の明るさを
継続的に測定
- 太陽系外惑星の探査が目的のひとつ

➡ 時間分解能が(比較的)良く、わずかな明るさの変化も検出できる

食連星の研究にも最適



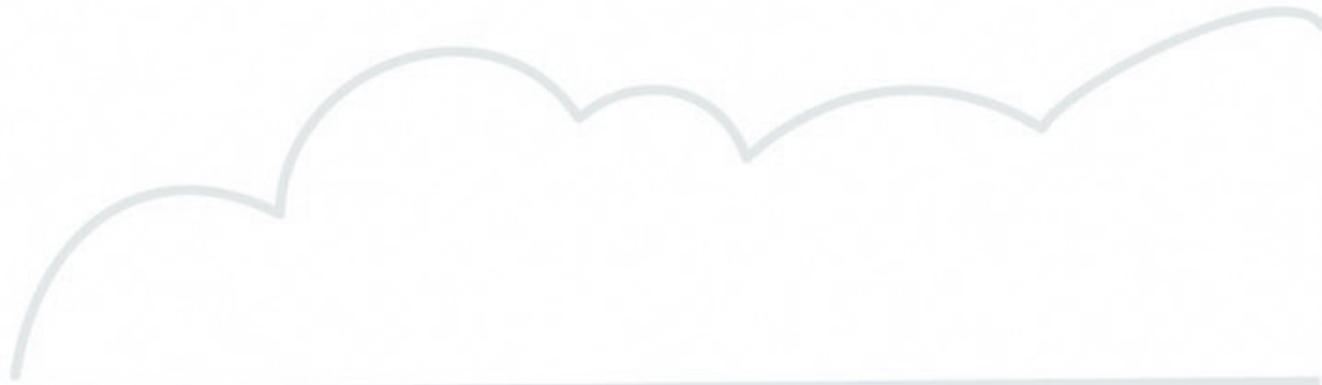
Kepler望遠鏡：測光データ

- 4300Å～8900Åの単色測光
- およそ9～16等までの恒星をカバー
- 数万分の1程度の明るさの変化も検出可能
- 積分時間の異なる2つのモードで観測
 - LC (Long Cadence): **～29.4分**
 - SC (Short Cadence): **～1分**
- 測光値には2種類
 - Sap flux (測定したままの値)
 - PDCSap flux (補正を行った値)
- Quarter (Q) によってデータが分けられている
 - 約3か月ごとに行われる姿勢回転が基準
 - Q0～Q17まで取得可能

Kepler Eclipsing Binary Catalog (Revision 3)

- 2013年11月に公開
- およそ**2600天体**の食連星を収録
- KIC (Kepler Input Catalog)のIDによって天体を
區別
- 形状や軌道周期、等級などに加え、**光度曲線**の
データも取得可

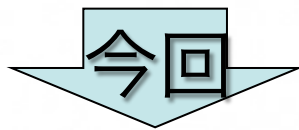
- ・ 質量移動／損失の定量的見積もり
- ・ 食の周期変動をひき起こす要因の究明



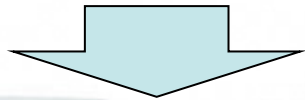
O-Cの決定

O-C :

極小時刻 (観測値:O)
の計算予報時刻 (C)
からのずれ



計算予報時刻 (C)
周期は一定と仮定

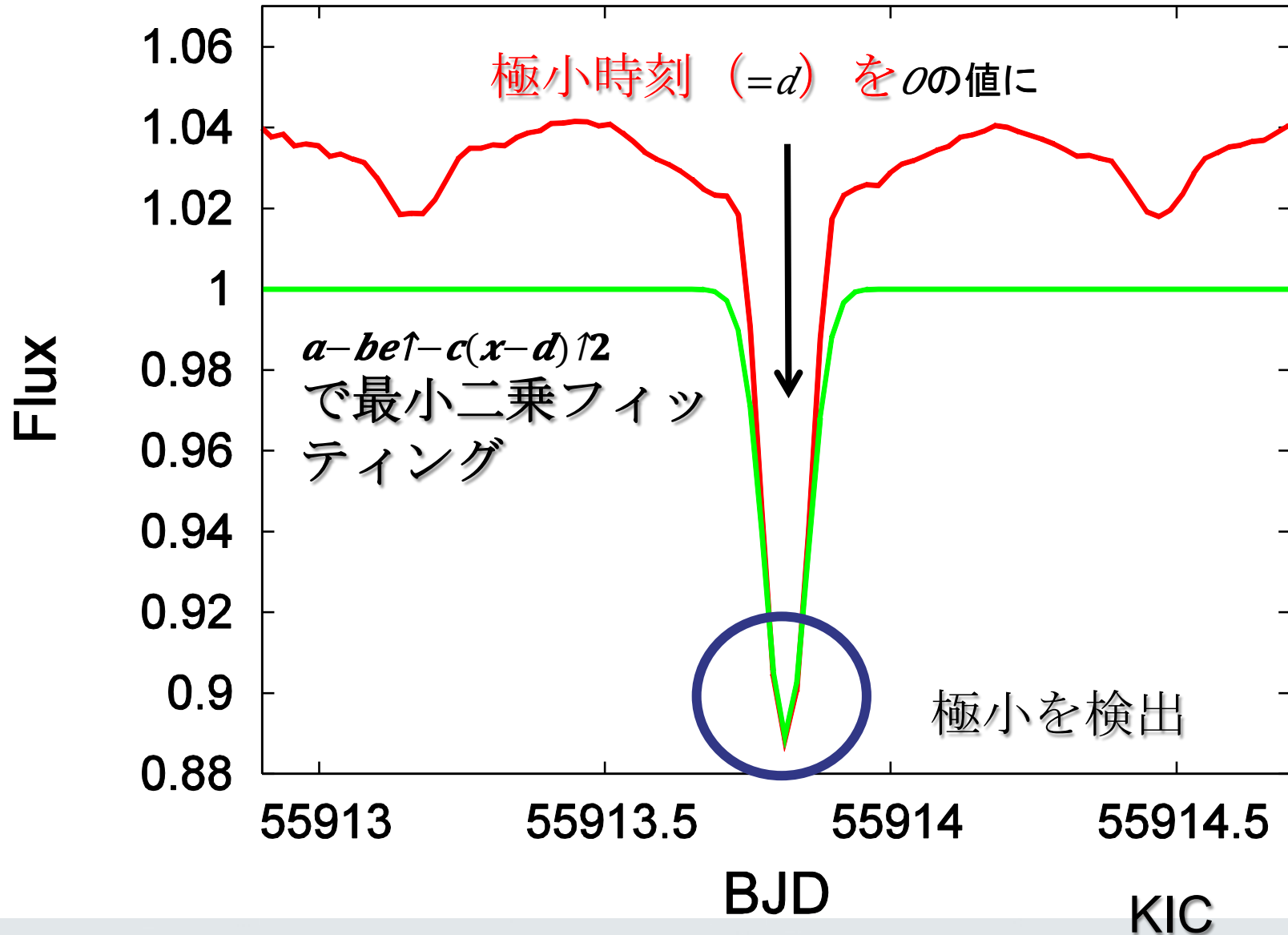


$$\text{Min} \downarrow C = B \downarrow D \downarrow 0 + P \times E$$



E : 食の周期の位相
(または、観測時刻)

食が起きる時刻の検出と測定

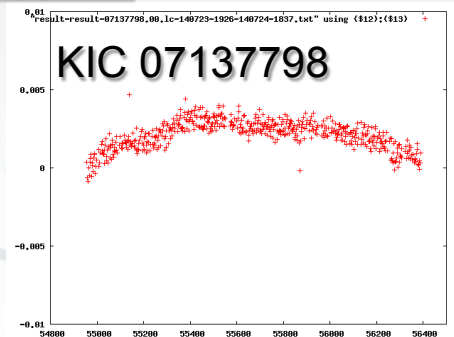
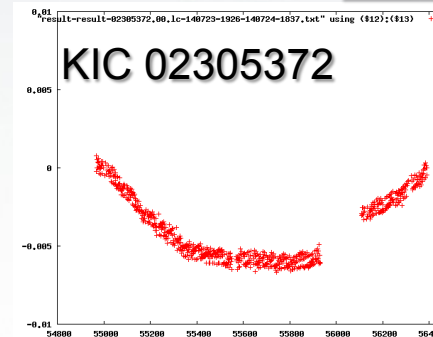
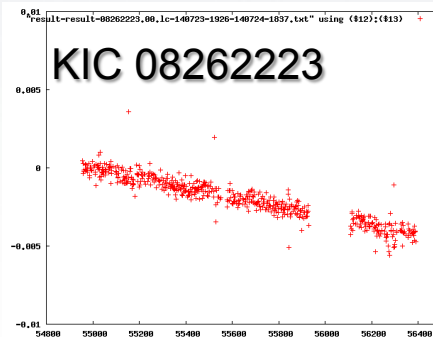
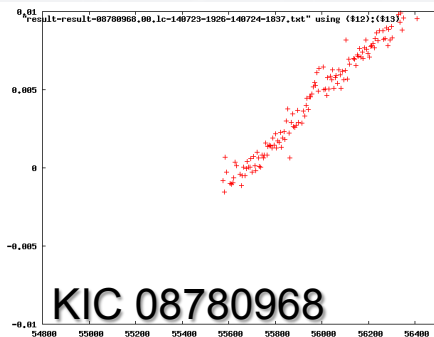


Kepler長連星から得られたO-

C図

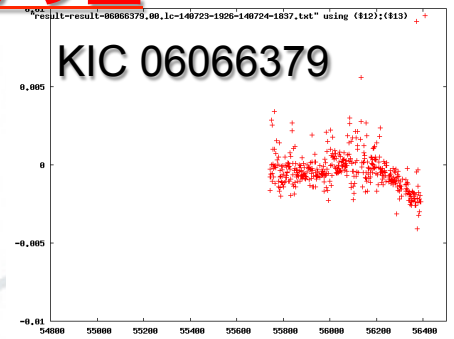
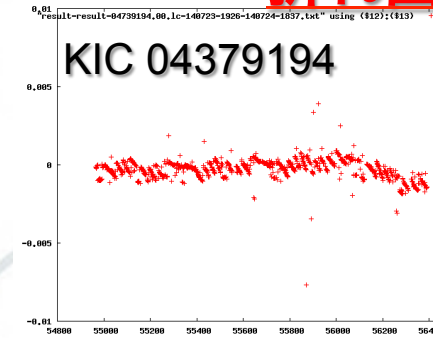
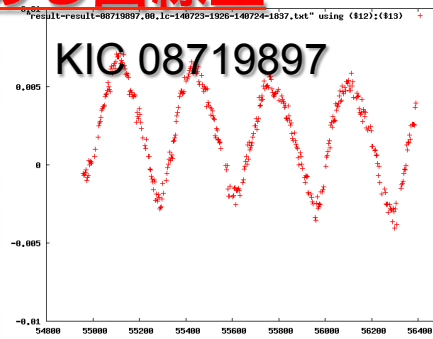
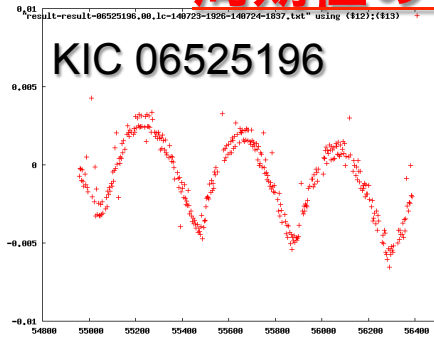
直線型

二次曲線型

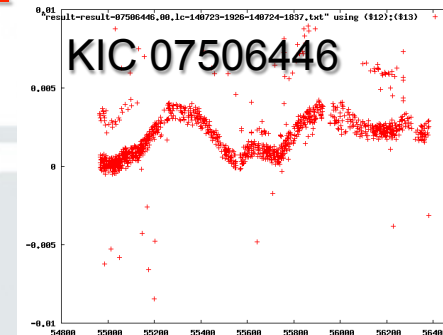
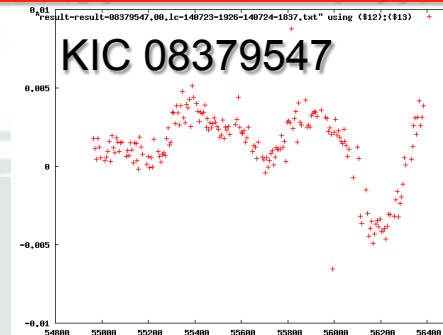
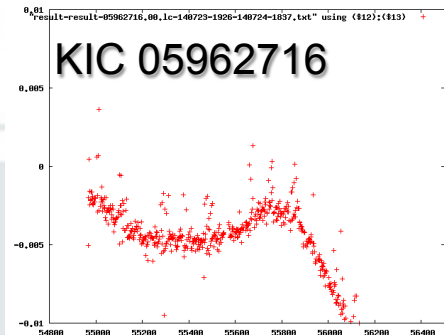


周期性のある曲線型

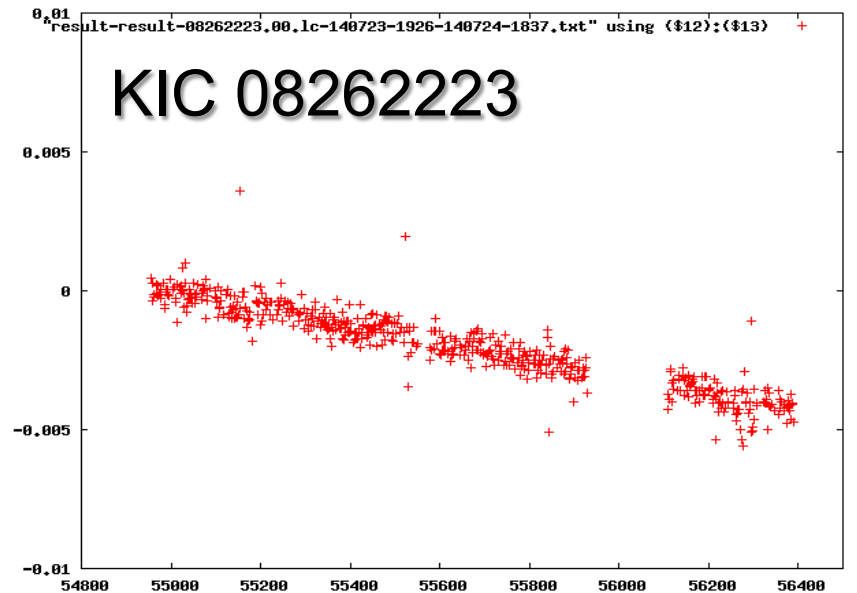
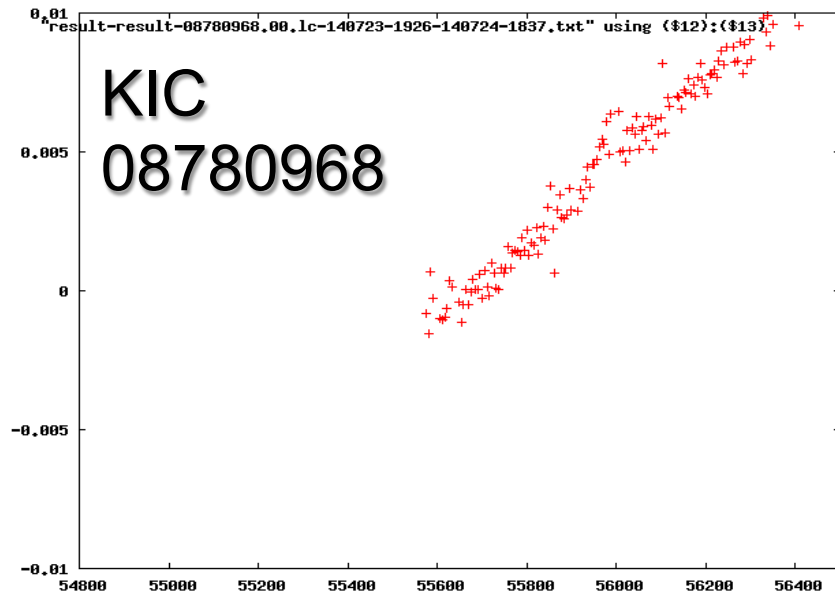
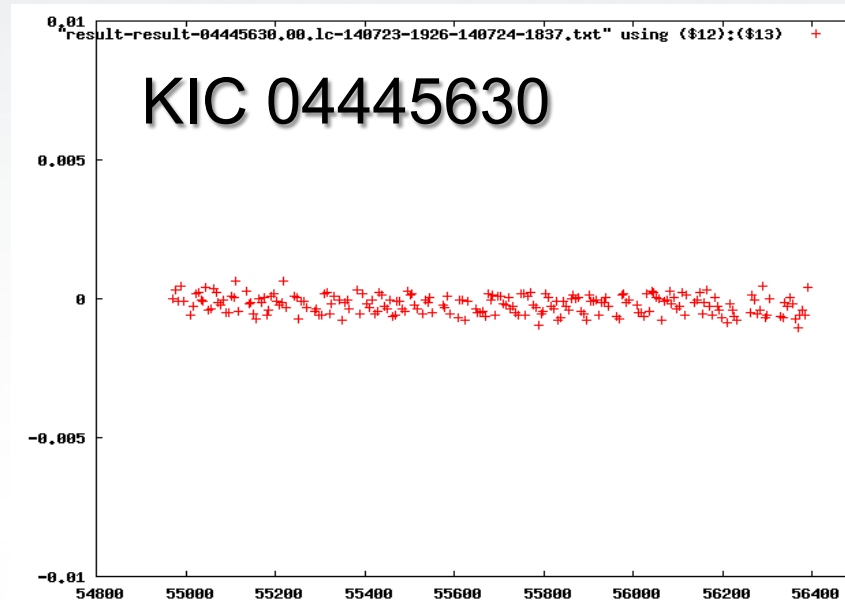
折れ曲がり型



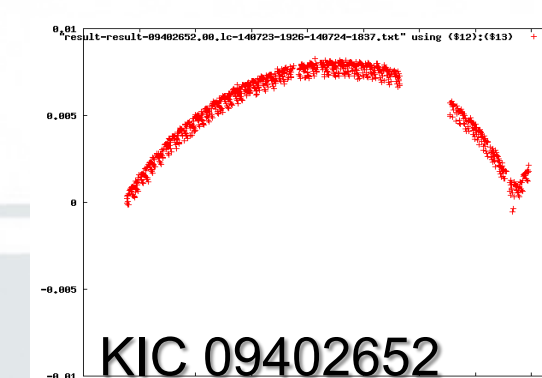
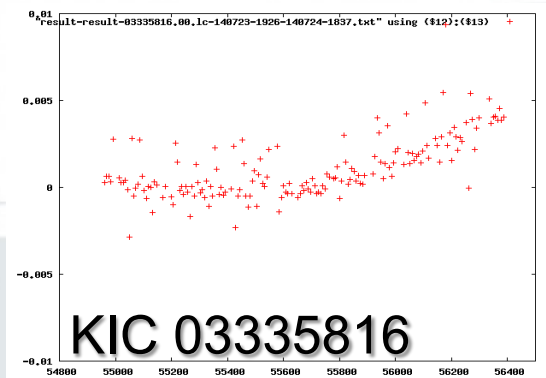
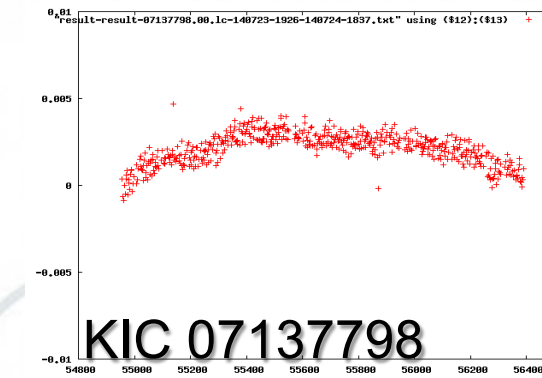
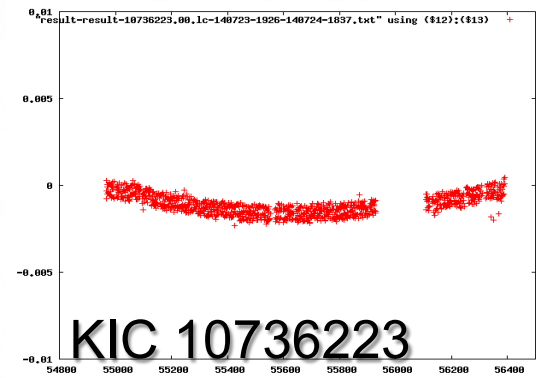
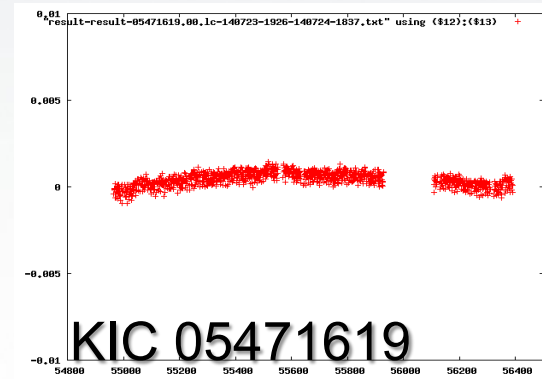
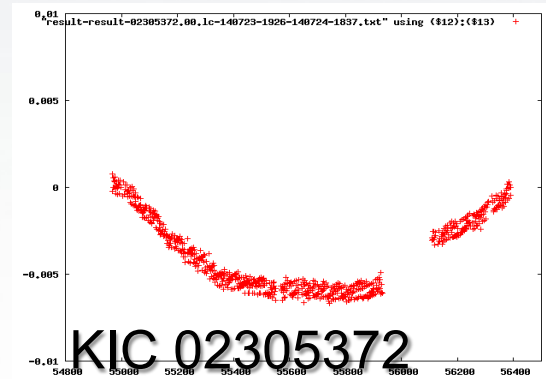
周期性のない曲線型



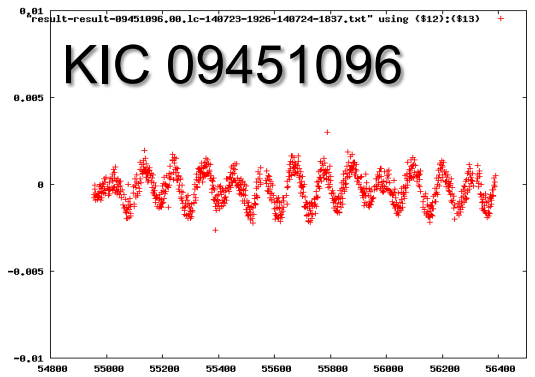
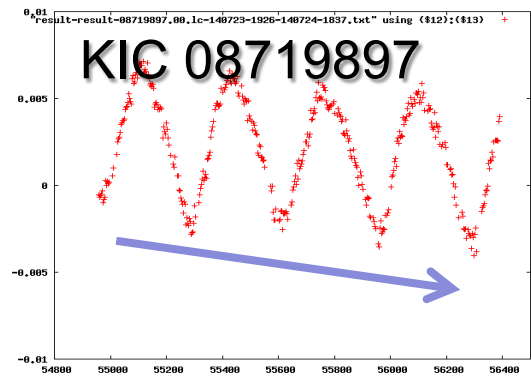
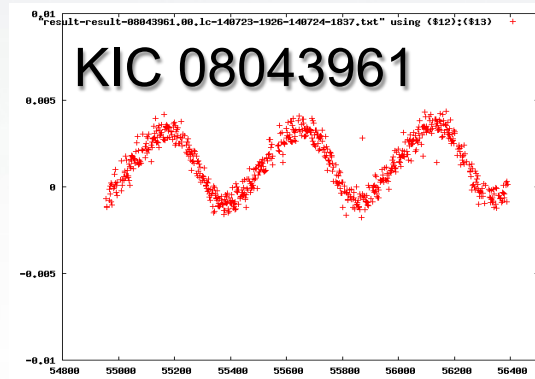
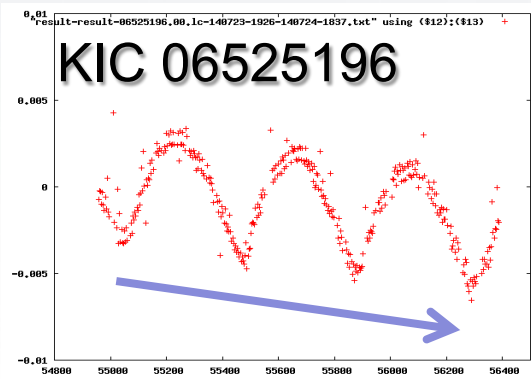
直線型



二次曲線型



周期性のある曲線型

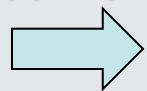


第3の天体が連星系に及ぼす影響のため

Rappaport et al.
(2013)

Conroy et al. (2014)

一部の天体では、周期的な変動とは別に、全体的な変化がみられる



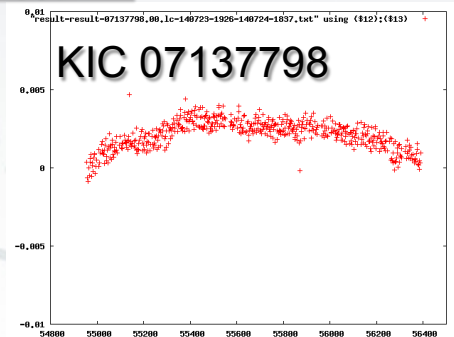
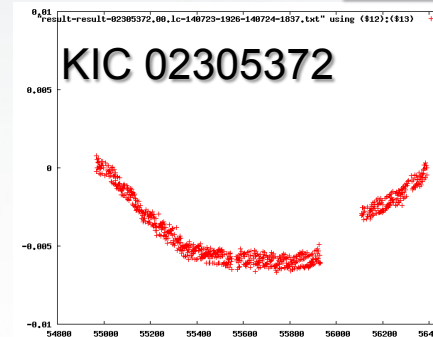
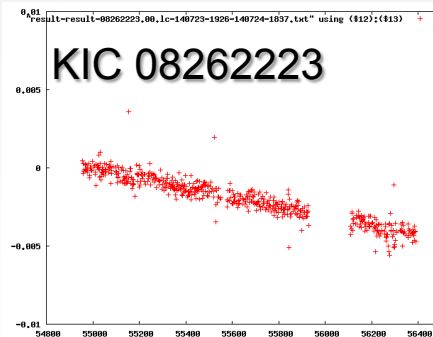
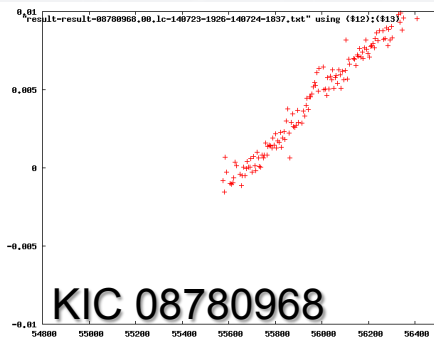
質量移動／損失を見積もることができる？

Kepler長連星から得られたO-

C図

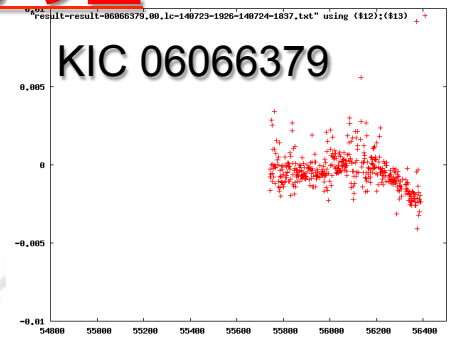
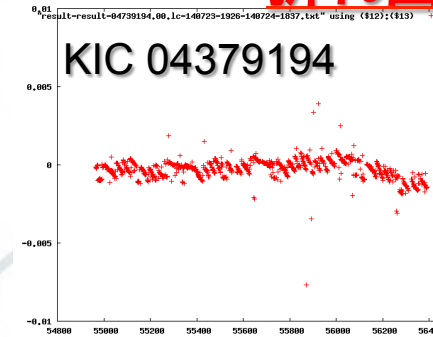
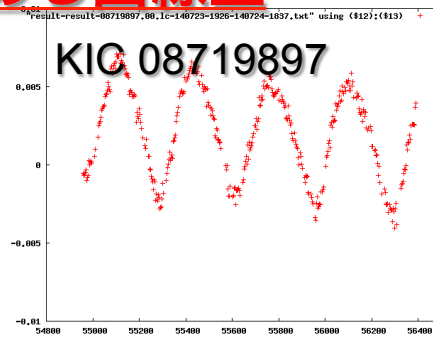
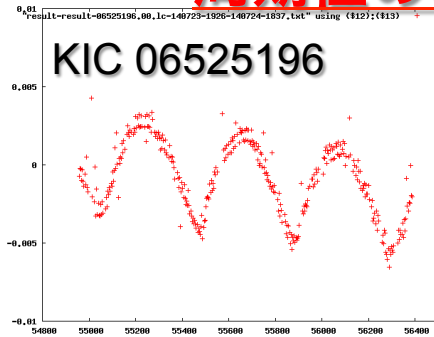
直線型

二次曲線型

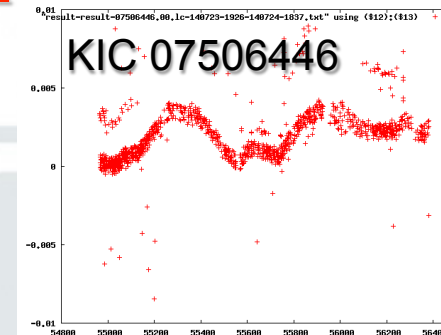
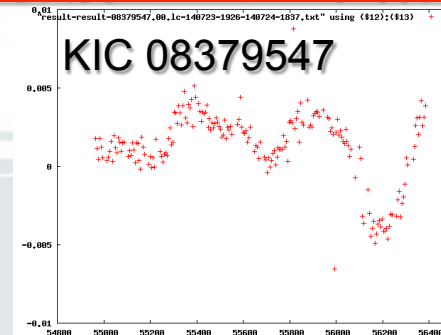
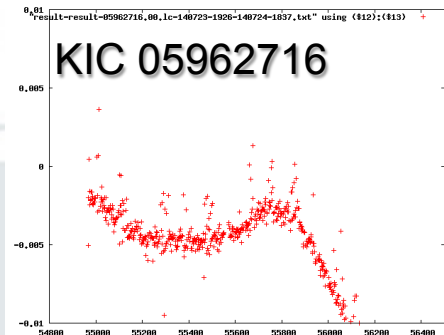


周期性のある曲線型

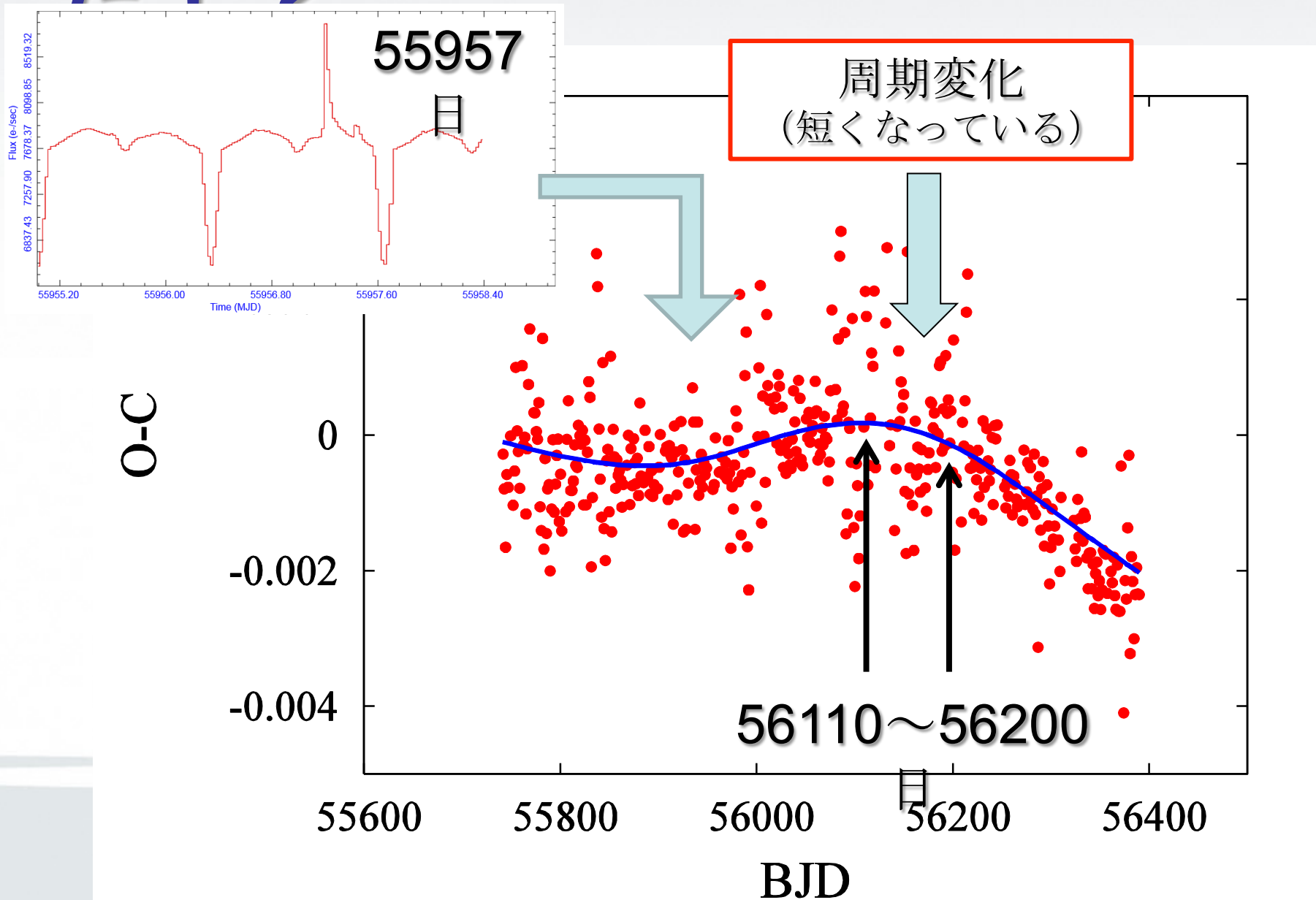
折れ曲がり型



周期性のない曲線型



フレアが同期変動をひき起こした？



まとめ

- ・ 連星系の進化を考えるのは複雑
 - 相互作用が影響
- ・ 食の周期変動から、進化過程に関する情報
 - 質量移動 / 放出現象
 - 磁場など
- ・ 周期変動の原因は？