

# 恒星の質量，半径等の導出過程を学ぶ

2011.12.26(Mon)

福島大学人間発達文化学類

中村泰久

● 全国の皆さん，福島へのご支援  
● ありがとうございます。

近接連星系：

それ自体さまざまな物理現象を提供しており興味深い。  
が、同時に・・・，  
質量，半径などの恒星物理学上の基礎となる物理量の重要な  
情報源でもある。

#### ☆恒星の基礎的諸量

- ・質量
- ・半径
- ・元素組成
- ・年齢
- .....
- ・光度
- ・表面温度
- ・質量放出量
- .....



## 基礎的諸量（質量等）の導出

※恒星の質量，半径などを見積もる方法

現在でも基本的には，

分光連星 かつ 食連星 である連星系の

☆分光観測 → 視線速度曲線 と

☆測光観測 → 光度曲線

の解析による。

# 分光観測と解析

## 分光観測

スペクトル線の偏移を調べ，視線速度の変化を知る  
(視線速度は km/s という単位付きの量として得られる)。

視線速度曲線 (radial velocity curves)

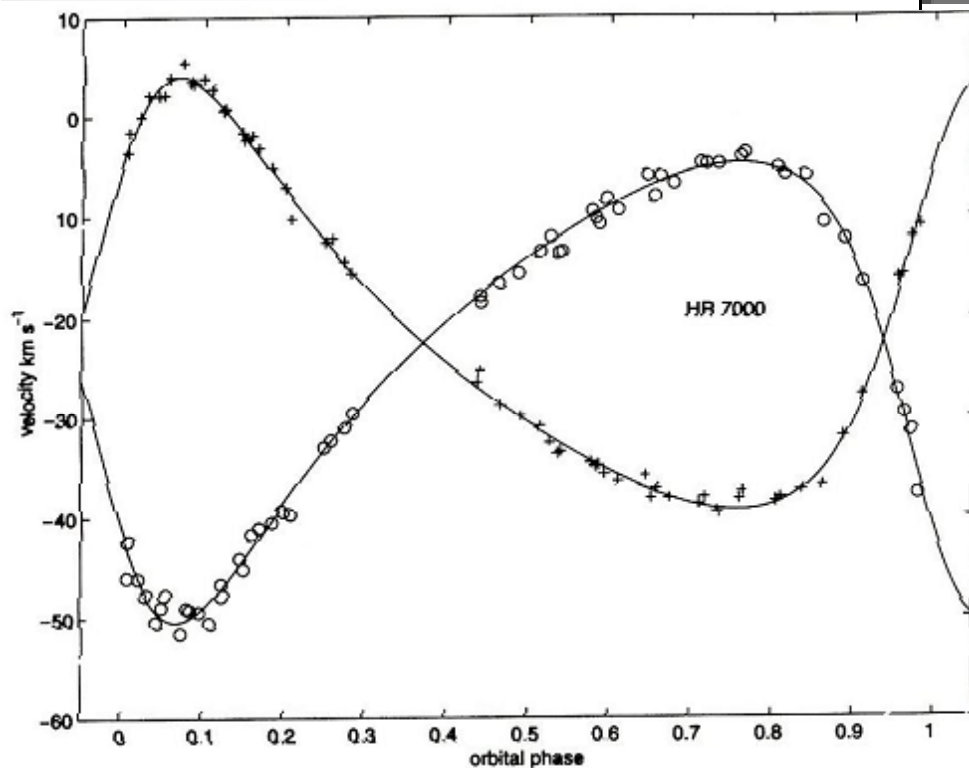
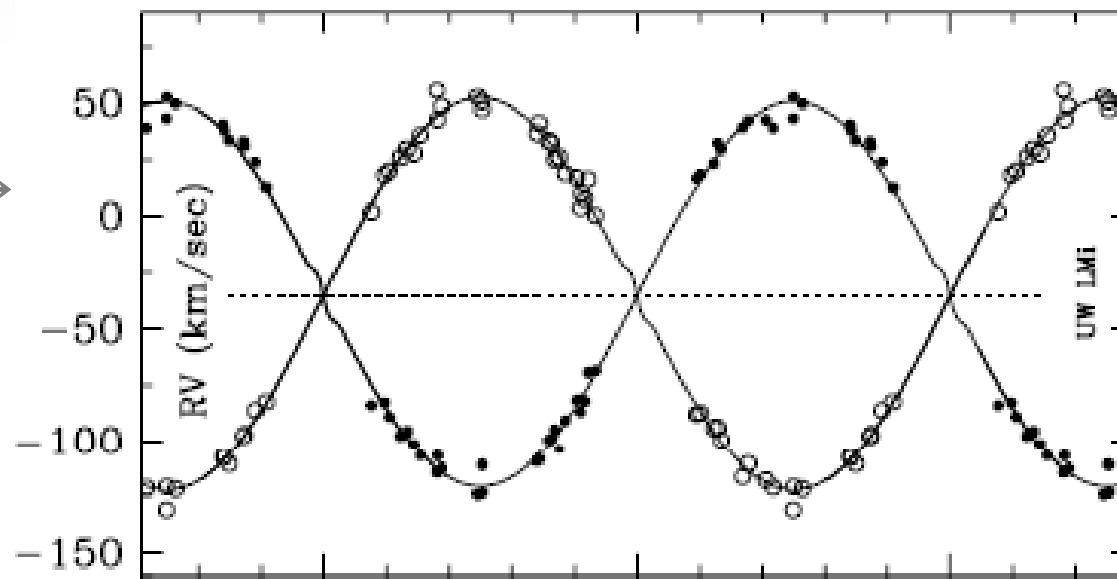
- 二重線分光連星 double-line spectroscopic binaries
- 単線分光連星 single-line spectroscopic binaries



円軌道 正弦曲線的 →

離心軌道 さまざま

↓  
 $e, \omega$



最大振幅  $K_1, K_2$

$$\begin{aligned} \rightarrow \text{質量比 } q &= m_2/m_1 \\ &= K_1/K_2 \end{aligned}$$

質量比  $q$  は  
連星系で一番大事なパラメータ

# 視線速度曲線の解析

視線速度曲線の解析から，次の量が分かる。

\* 二重線連星の場合

$$V_{1,2} = V_0 + K_{1,2} \{ e \cos \omega + \cos(v_{1,2} + \omega) \}$$

$$K_{1,2} = \frac{2\pi a_{1,2} \sin i}{P\sqrt{1-e^2}}$$

$$a_{1,2} \sin i = 1.976 \times 10^{-2} K_{1,2} P (1 - e^2)^{\frac{1}{2}} \quad (R_{\odot})$$

$$M_{1,2} \sin^3 i = 1.036 \times 10^{-7} (K_1 + K_2)^2 K_{2,1} P (1 - e^2)^{\frac{3}{2}} \quad (M_{\odot})$$

## 視線速度曲線の解析－ 2

- \* 単線分光連星の場合は，代わりに質量関数mass functionのみが分かる。

$$f(M) = \frac{(M_2 \sin i)^3}{(M_1 + M_2)^2}$$
$$= 1.036 \times 10^{-7} K_1^3 (1 - e^3)^{\frac{3}{2}} (M_{\odot})$$

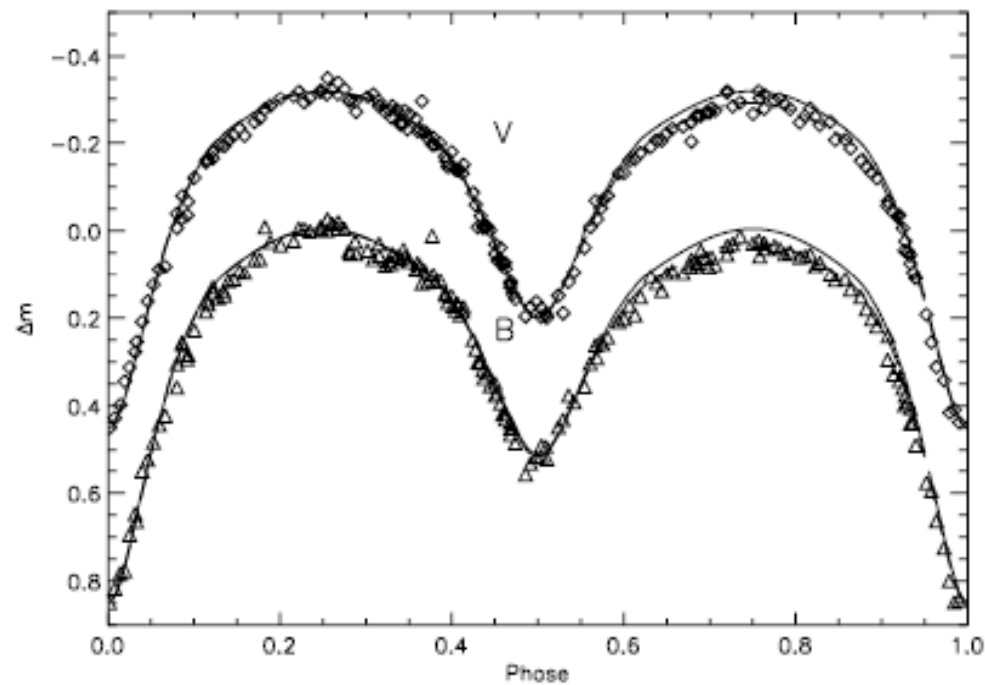
$$\alpha^3 / P^2 = \uparrow 73.36 (M_1 + M_2)$$

- \* 分光解析からは，単位付き絶対量が求まる。  
しかし，軌道面傾斜角  $i$  は決められない。

# 測光観測と解析

測光観測によって光度変化を測定し、公転位相にしたがってプロットしたものの **光度曲線(light curve)**

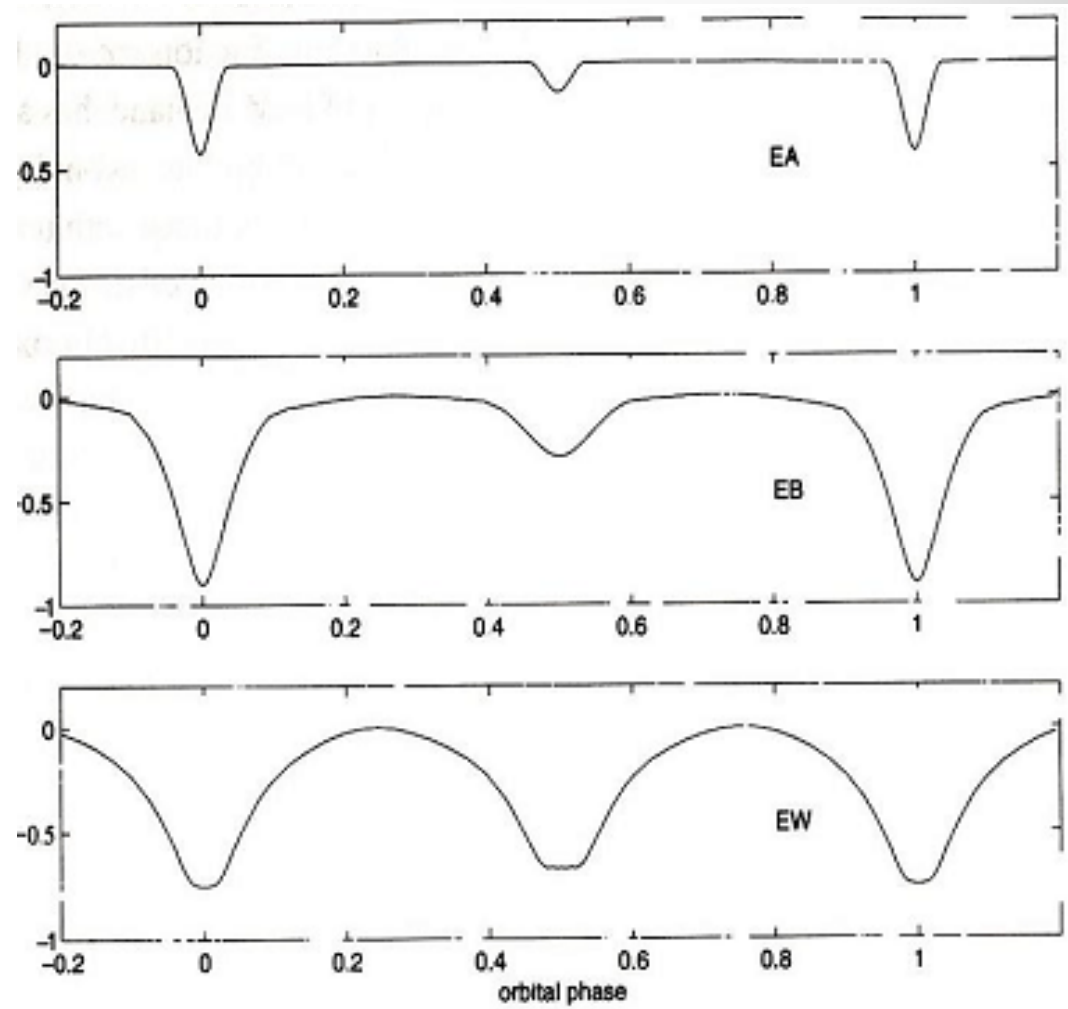
通常は近くの比較星との相対変化を測る（相対測光）。



← YY CMi



光度曲線の形状はさまざま



## 測光観測と解析－2

光度曲線から測光要素を導き出すこと：「光度曲線を解析する」「光度曲線を解く」

測光要素を仮定して理論光度曲線を計算し，観測光度曲線との差を最小にするようなパラメータの組み合わせを決定する方法：**光度曲線合成法**

\* 光度曲線の形を決める**測光要素**：

- 両星の質量比  $q (=M_2/M_1)$ ,
- 両星間隔を1としたときの両星の相対半径  $r_1, r_2$
- 公転軌道面の傾斜角  $i$ ,
- 両星の表面温度比  $T_2/T_1$ ，あるいは両星の光度比  $l_2/l_1$

\* その他に近接効果を表すパラメータ

\* 近接効果 :

反射効果 反射率  $A_1, A_2$

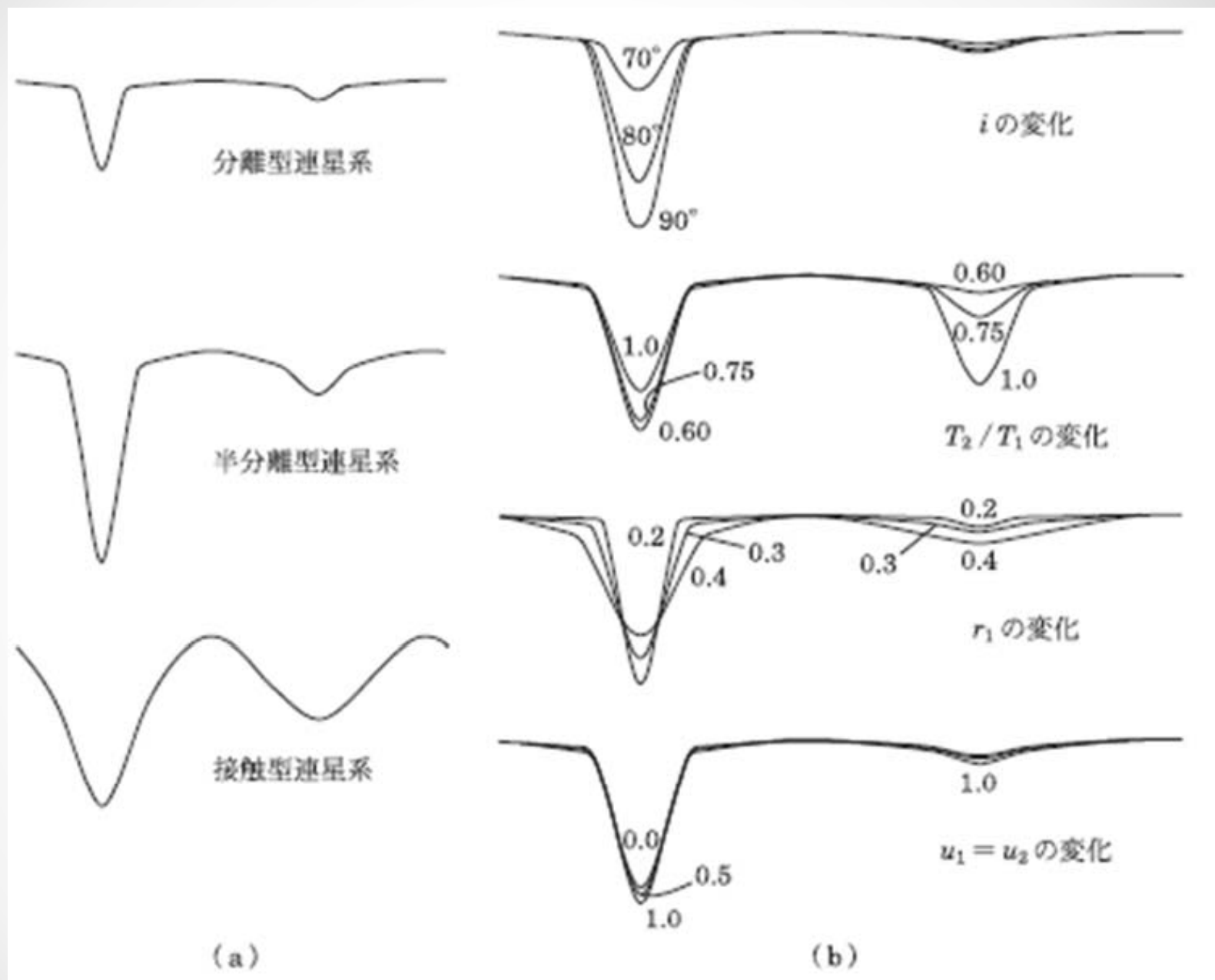
重力増光効果 重力増光指数  $\alpha_1, \alpha_2$

周辺減光効果  $u_1, u_2, \dots$   $\frac{T}{T_0} = \left(\frac{g}{g_0}\right)^{\alpha/4}$

(これらは与えることが多い。)

○なぜ、それぞれが決まるのか。

← 光度曲線の形への効き方が異なっている。



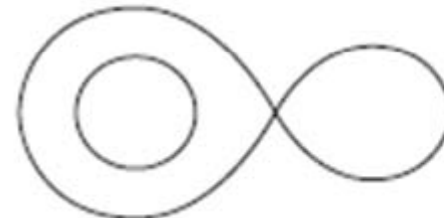
◆一つの典型的な導出手順:

質量比 $q$ は, 場合によって  
測光解析でも。

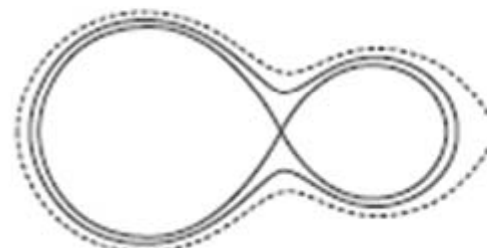
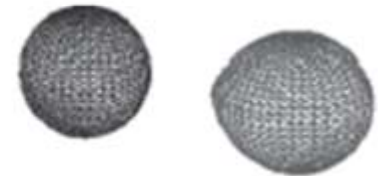
形状に歪みが生じている。  
Roche modelに基づく  
 $q = 0.4$  の例



(a) 分離型連星系



(b) 半分離型連星系



(c) 接触型連星系



近接連星系の観測によって恒星の諸量が分かるわけ

ケプラーの第3法則から

$$a^3/P^2 = 73.36(M_1 + M_2).$$

視線速度曲線(光度曲線)解析から質量比が分かる

$$q = M_2/M_1 = K_1/K_2$$

視線速度曲線解析から、両星間距離が分かる

$$a \sin i = a_1 \sin i + a_2 \sin i$$

すると、光度曲線解析による  $i$  から、それぞれの質量が分かる。また、次の式により、半径や光度も分かる

$$R_1 = r_1 a, \quad R_2 = r_2 a$$

$$L_1 = 4\pi R_1^2 \cdot \sigma T_1^4, \quad L_2 = 4\pi R_2^2 \cdot \sigma T_2^4$$

→ 距離  $D$  の見積もり

諸量が求まることの要諦は・・・

- ・分光観測 → 全体の絶対量が求まる (km/s)
- ・測光観測 → 相対量が決まる

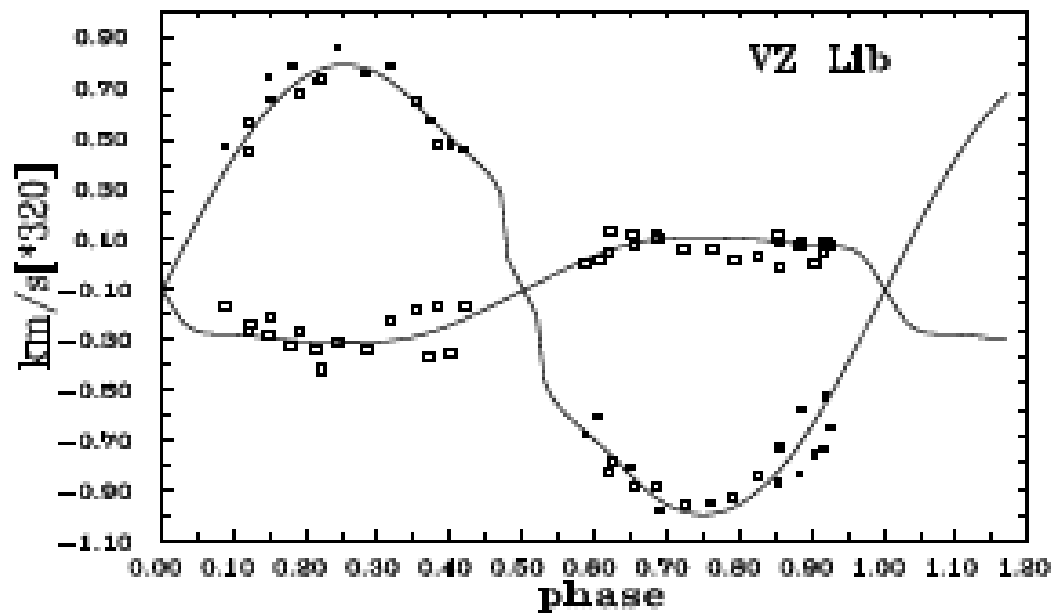
⇒組み合わせると, 個々の量が求まる。

## 解析法（手順）の補足

視線速度曲線について:

正弦的なら 最小二乗法でフィット

ただし、形状のゆがみが大きければ。そこからのズレがある。



Zola et al. (2004)



## 解析法（手順）の補足（続）

ただし、形状のゆがみが大きければ。そこからのズレがある。

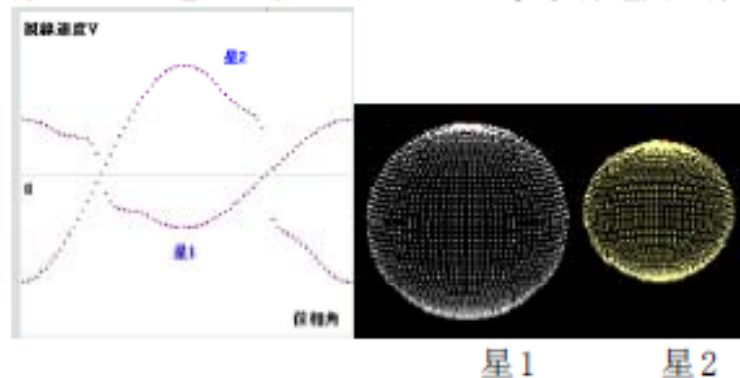
→ ならば、光度変化を計算するのと併せて

$$L(\theta) = \sum_k J_{\lambda k} \cos \gamma_k \Delta S_k,$$
$$v_{\text{rad}}(\theta) = \frac{\sum_k v_{rk} J_{\lambda k} \cos \gamma_k \Delta S_k}{L(\theta)}$$

※とくに離心軌道の連星系の場合は必須である。

→ 食される面積が第1, 第2極小で違う。

光度曲線だけでは連星の諸量は決まらない。視線速度曲線との同時解析が必要



## 解析の現状と今後のことー1

○世界的はいわゆるウィルソン・コードが“寡占”状態

Wilson, R.E. & Divenney, E.J. (1971) から始まり・・

WD法と言われる。

↑

“アフターケア”の良さ

視線速度曲線と光度曲線同時版も、離心軌道版もあり。

○大量データの解析:

恒星の物理学＋“幾何学”的關係

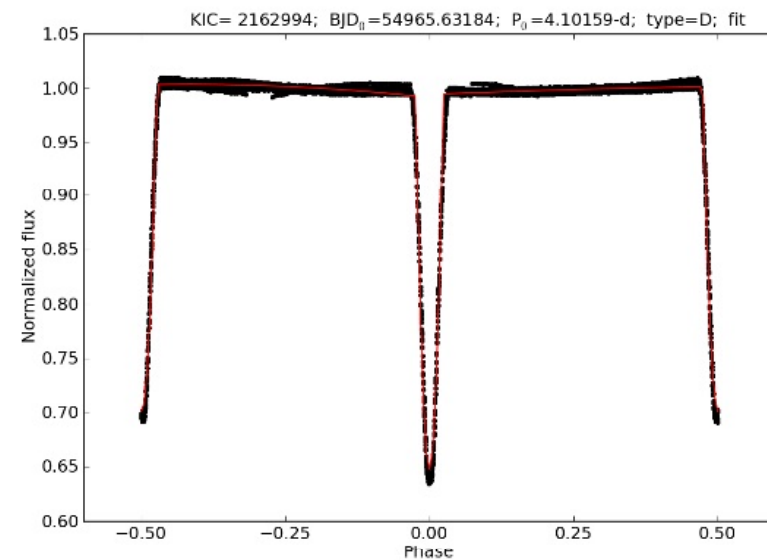
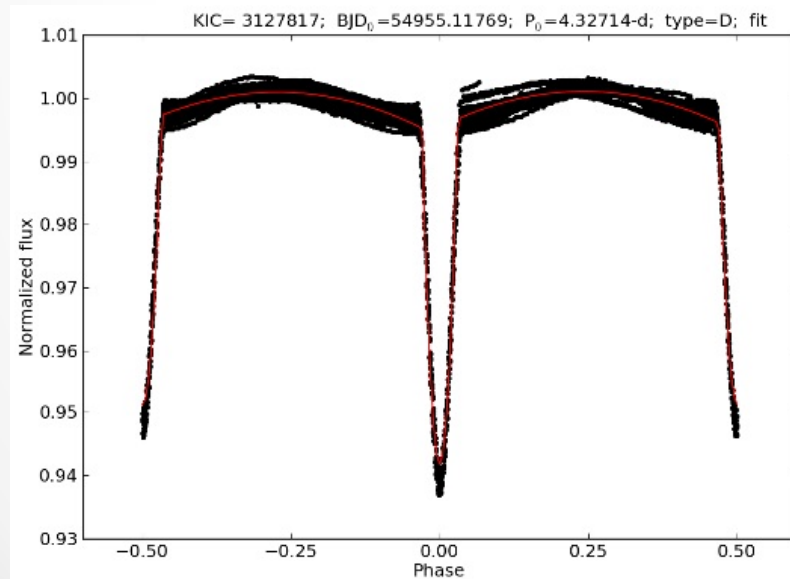
精度を上げたような一斉解析になじみにくい面あり

※ massive photometry data あまり活用されず

○現行までの大規模測光(分光)などについて  
諸量導出用に最適化されていない。

OGLE, ASAS, MOA, . . . .

Hipparcos, CoRoT, Kepler(下記の例), . . .



## 解析の現状と今後のことー2

○超高精度観測に対応するモデルはどのようなのか

印象では・・・今の観測精度レベル  $\leftrightarrow$  現行解析法

今後，milli mag/sub-milli mag 精度の観測に対応するよう  
な光度変化観測

← 解析モデルをより精緻化する必要があるのでは

○今後の，それ専用の大規模観測に対して --- 解析態勢はどのようなのか

ESAの「GAIA project」は今後どうなる？

当初の計画：20等までの10億個の星の測光観測と17等までの星の分光観測→多数の食連星と二重線分光連星のデータ  
しかし，遅れ気味で，当初の計画からの修正も。

○ Traditional observations are not obsolete. (Prsa & Zwitter 2007)