A型接触連星における質量交換率と質量損失率の割合の試算

2021.1.29（Fri.）～1.31（Sun.）

連星系・変光星研究会2020@オンライン

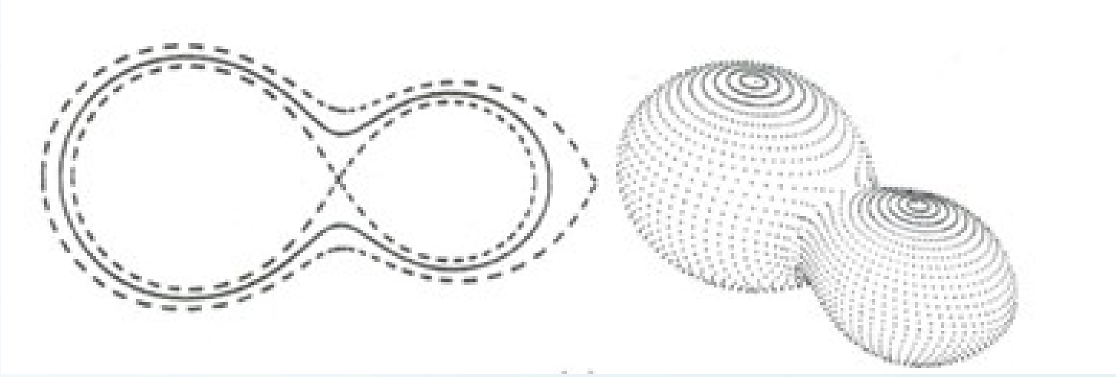
高妻 真次郎（中京大学）

Introduction： 接触連星とは？

（過剰）接触連星とは？

✓各星のロッシュローブが満たされている連星系

本研究の対象



中村ほか（2003）

W UMa型接触連星

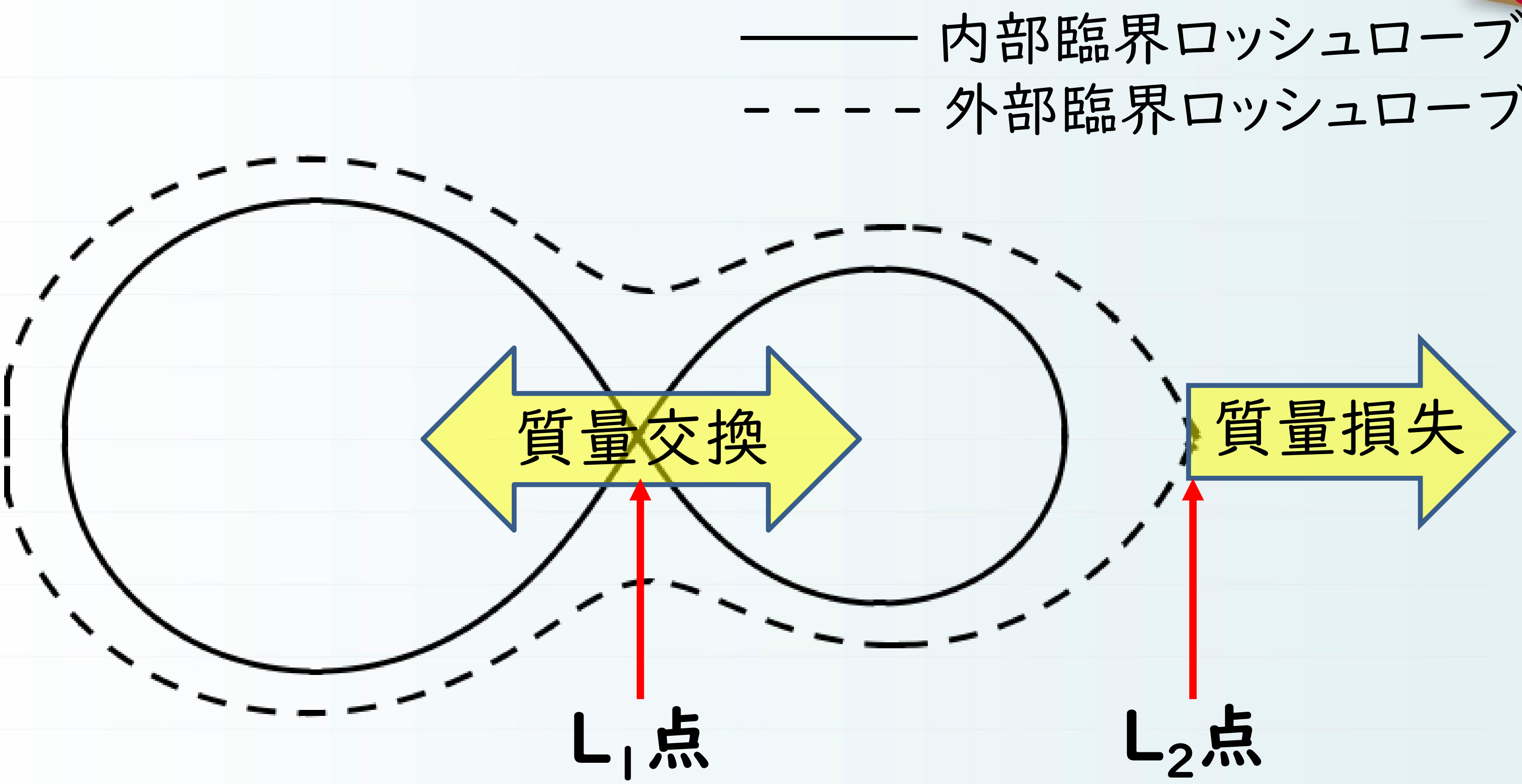
✓成分星のスペクトル型がF～K、公転周期は1日に満たない

✓さらに、W型、A型に細分

W・A型の観測的特徴の違い

	公転周期	スペクトル型
W型	$P < 0.5$ d	G-K
A型	$P > 0.3$ d	A-F

Introduction：連星での質量移動の重要性



質量が変動するため、連星の進化等にも大きく影響

しかし

質量移動の観測的な性質については、不明な点が多い

質量移動による公転周期の変動

<u>質量交換</u>

$$\dot{M}_1 = \frac{M_1 M_2}{3(M_1 - M_2)} \frac{\dot{P}}{P}$$

$M_1 > M_2$のとき、$\dot{P} < 0$

$M_1 < M_2$のとき、$\dot{P} > 0$

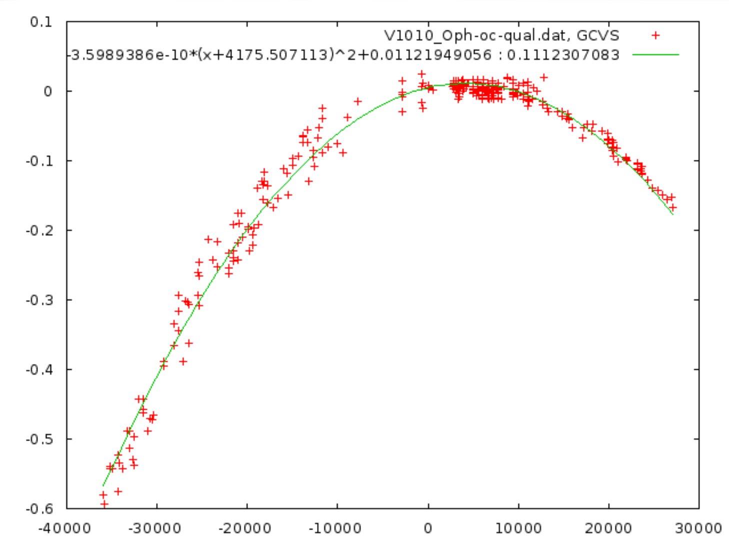
<u>質量損失</u>

$$\dot{M}_1 = -\frac{M_1 + M_2}{2} \frac{\dot{P}}{P}$$

常に$\dot{P} > 0$

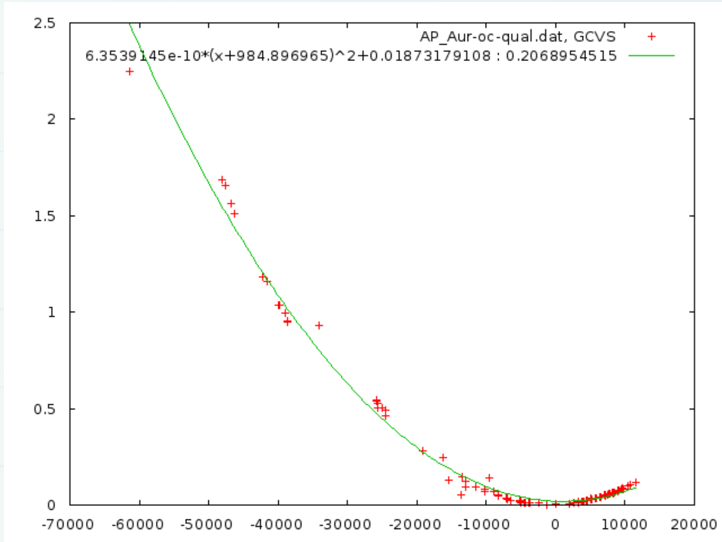
公転周期変動が生じる

$\dot{P} < 0$



$O - C$図では
放物線型になる

$\dot{P} > 0$



Data：質量移動がある可能性の高い連星サンプル

両星間で質量移動している可能性の高い接触型食連星サンプル

➡ 過去文献から収集

選抜基準

✓公転周期変動が二次関数型（O−C図が放物線型）

➡ 質量移動が定常的なら、一定割合で公転周期が変化

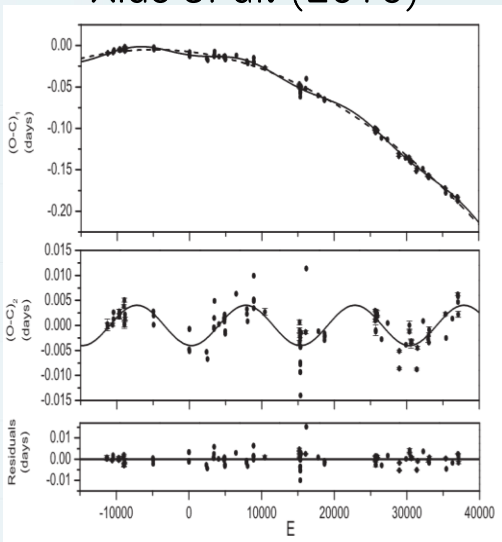
✓振動成分があるものに限定

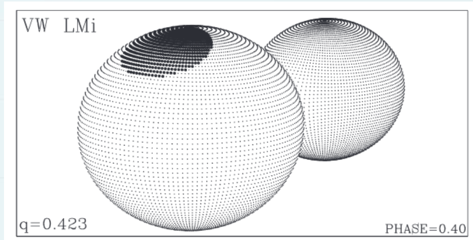
➡ 第3天体による周期変動の影響を除くため

✓連星パラメータを光度曲線解析で算出

➡ 連星パラメータを精度よく求めるためには不可欠

Xiao et al. (2016)





Djuraševic et al. (2013)

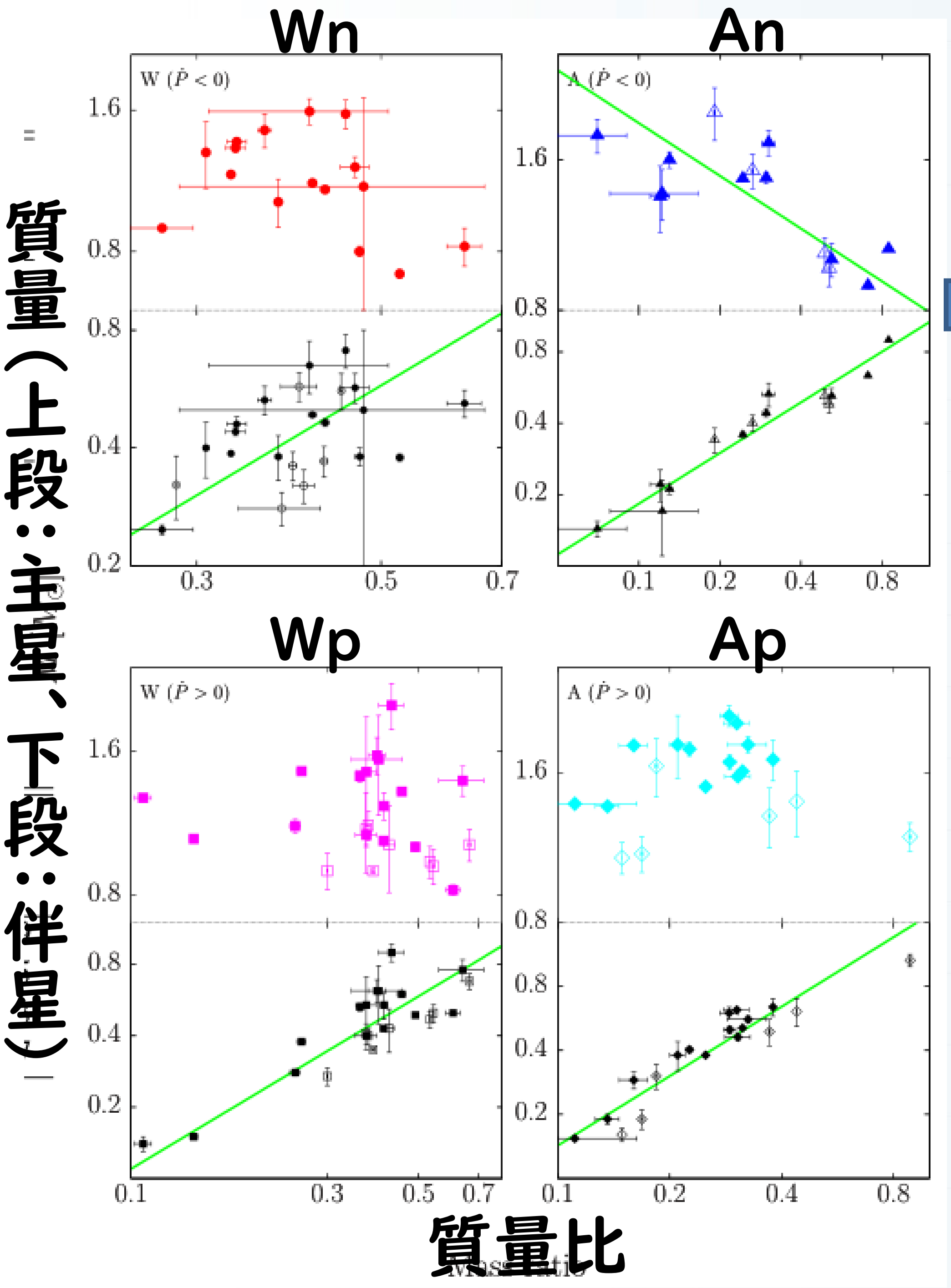
W（$\dot{P} < 0$）→ Wn：23天体

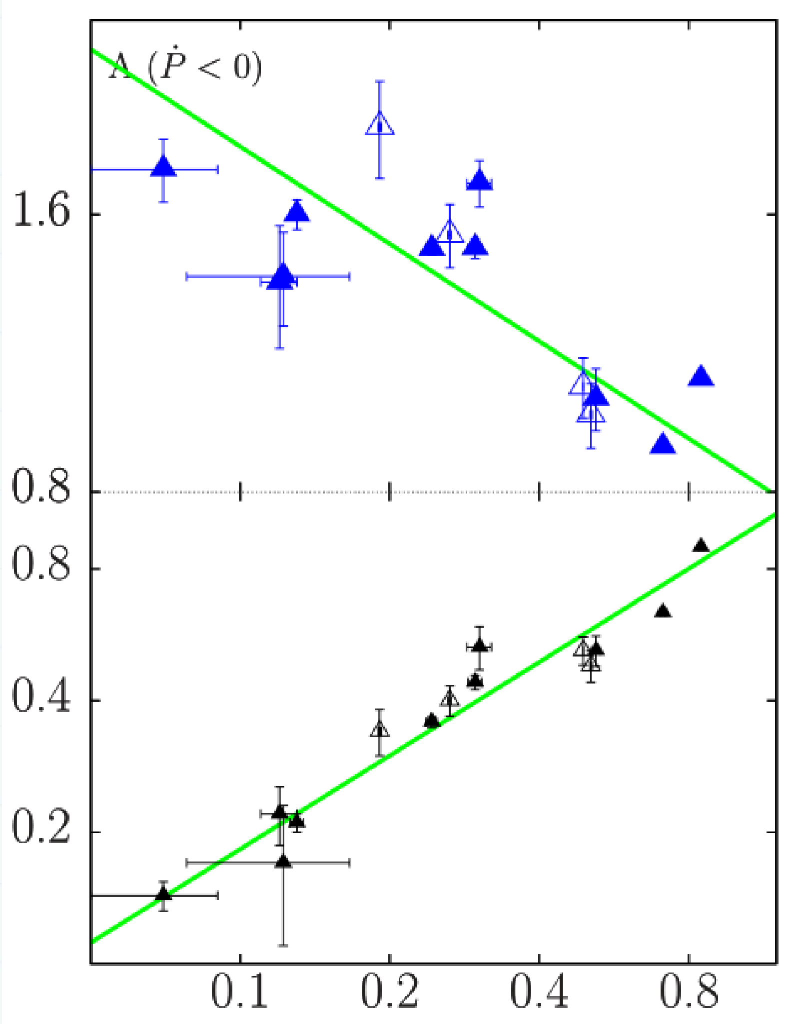
W（$\dot{P} > 0$）→ Wp：24天体

A（$\dot{P} < 0$）→ An：14天体

A（$\dot{P} < 0$）→ Ap：19天体

Anサンプルで見つかった特徴的な相関関係





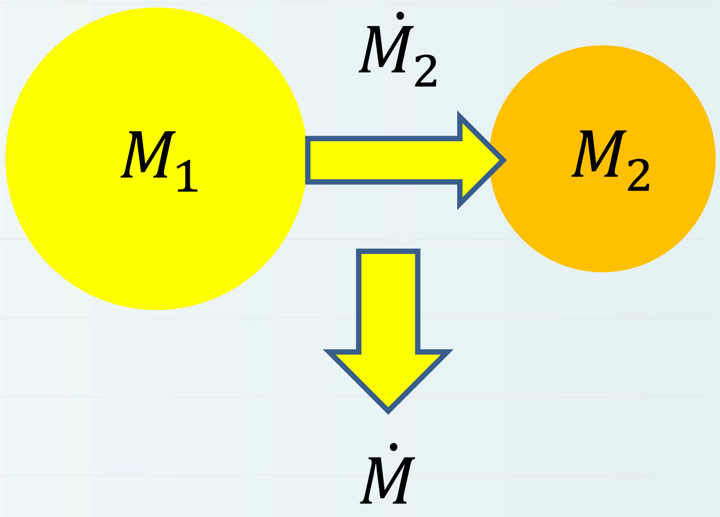
Assumption

$q - M_1$（負相関）、$q - M_2$（正相関）が、二星間での質量交換と系からの質量損失によって生じたと仮定

質量比　：$q = \dfrac{M_2}{M_1}\ (< 1)$

質量損失率：$\dot{M} = \beta \dot{M}_1$

質量交換率：$\dot{M}_2 = -(1-\beta)\dot{M}_1$



より、

$$\frac{\dot{q}}{q} = \frac{\dot{M}_1}{M_1} - \frac{\dot{M}_2}{M_2}$$

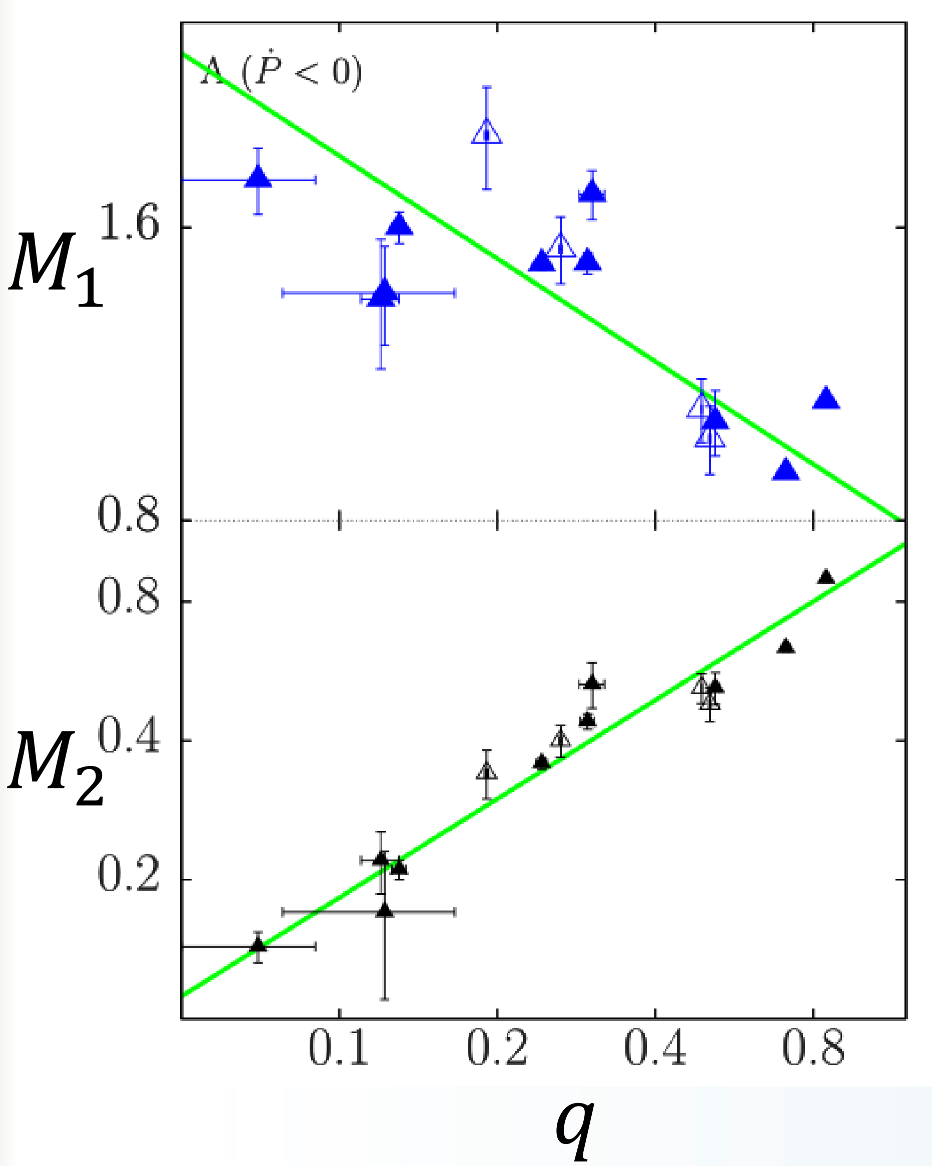
$$= -\left(1 + \frac{1-\beta}{q}\right)\frac{\dot{M}_1}{M_1} = -\left(1 + \frac{q}{1-\beta}\right)\frac{\dot{M}_2}{M_2}$$

$M_1 \propto q^{\alpha_1}$、 $M_2 \propto q^{\alpha_2}$という関係があるとすれば、

$$\boxed{\beta = 1 + \left(1 + \frac{1}{\alpha_1}\right) q} \quad \text{または} \quad \boxed{\beta = 1 - \frac{\alpha_2}{1-\alpha_2} q}$$

質量比と質量の相関関係

$q-M$関係を最小二乗フィッティング（bisector法; Isobe et al. 1990）



$$\log_{10} M_i = \alpha_i \log_{10} q + \beta_i \ (i=1,2)$$

$$\alpha_1 = -0.35 \pm 0.05$$
$$\beta_1 = -0.07 \pm 0.03$$

$$\Rightarrow M_1 \propto q^{-0.35\pm0.05}$$

$$\alpha_2 = \quad 0.71 \pm 0.03$$
$$\beta_2 = -0.03 \pm 0.03$$

$$\Rightarrow M_2 \propto q^{0.71\pm0.03}$$

Result：質量交換と質量損失の割合（I）

M_1**について**

$$M_1 \propto q^{-0.35\pm0.05}$$

$$\beta = 1 + \left(1 + \frac{1}{\alpha_1}\right) q$$

$$\beta = 1 - (1.86 \pm 0.41) q$$

M_2**について**

$$M_2 \propto q^{0.71\pm0.03}$$

$$\beta = 1 - \frac{\alpha_2}{1 - \alpha_2} q$$

$$\beta = 1 - (2.45 \pm 0.36) q$$

$$\boldsymbol{\beta = 1 - (2.21 \pm 0.38) q}$$

Result：質量交換と質量損失の割合 (2)

$$\boxed{\beta = 1 - (2.21 \pm 0.38)q}$$

✓$q = 0.07$（Anサンプルの最小値）で、$\beta = 0.85 \pm 0.03$

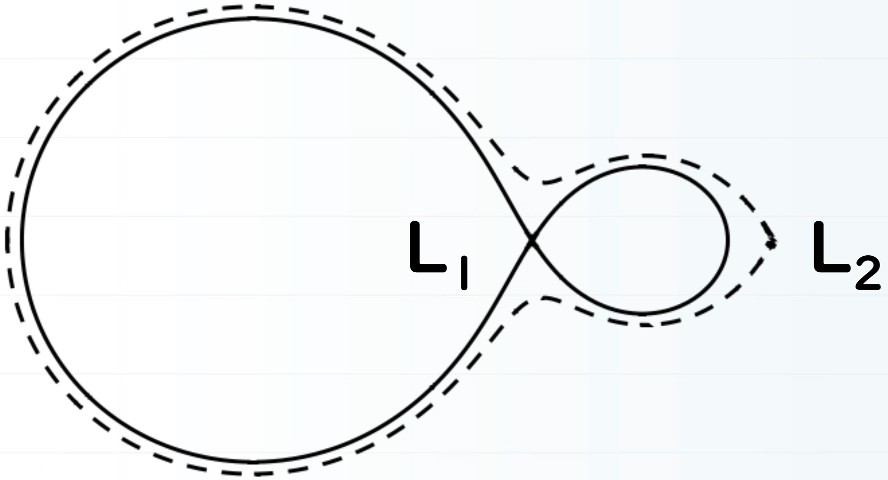
➡ 質量の大きな成分星から移動した質量のうち、
約85%が系から失われ、残りが質量の小さな成分星へ

✓$\beta = 0$となるのは、$q = 0.45 \pm 0.08$のとき

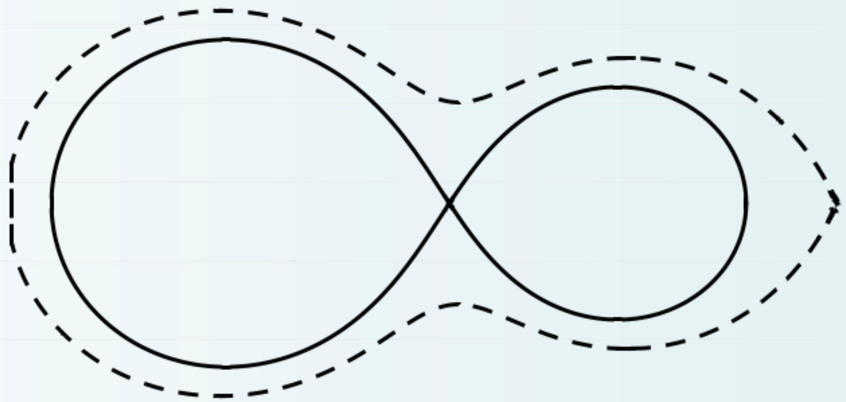
➡ 質量比が大きいほど質量損失の割合は低く、
$\boldsymbol{q \sim 0.5}$より大きいとほぼ発生していない

Discussion：質量比が質量移動に影響するか？

<u>$q = 0.1$のとき</u>



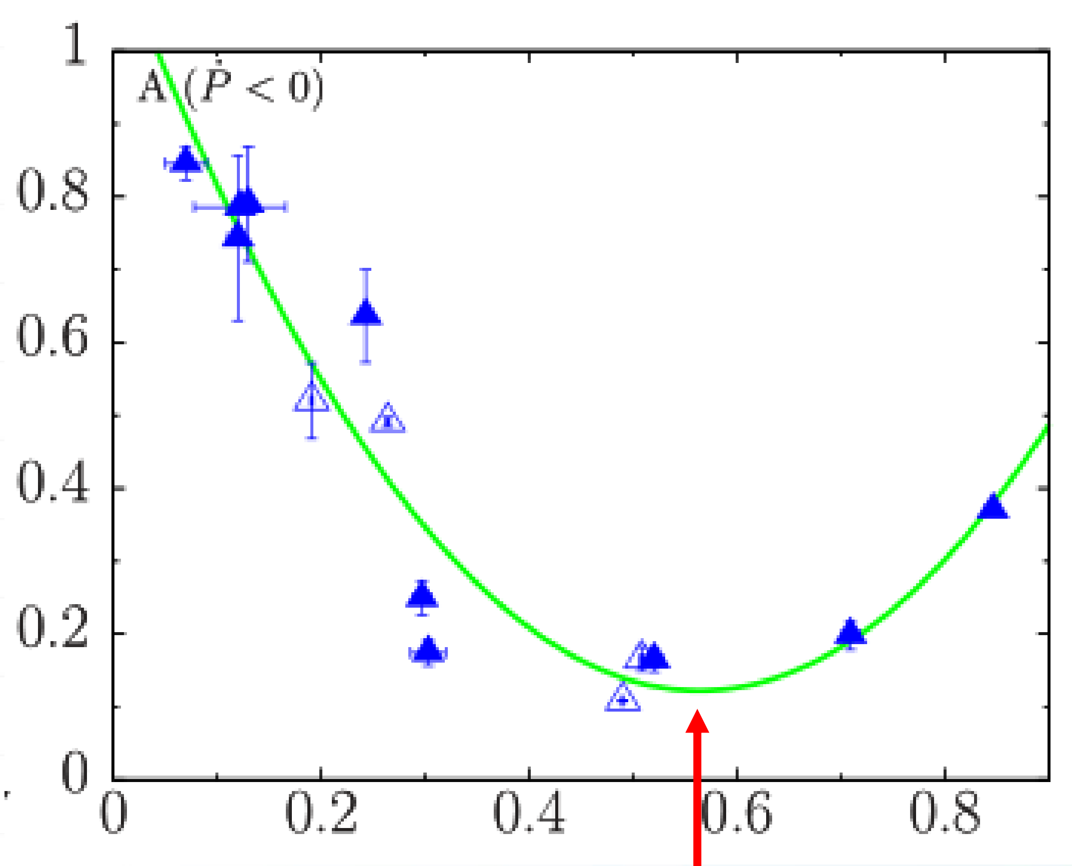
<u>$q = 0.5$のとき</u>



実線：内部臨界ロッシュローブ
破線：外部臨界ロッシュローブ

・質量の移動先が小さいと、物質が溢れやすい？
・内部と外部の臨界ロッシュローブ間が狭く、物質が溢れやすい？

Discussion: 連星パラメータの相関 (1)



充填率

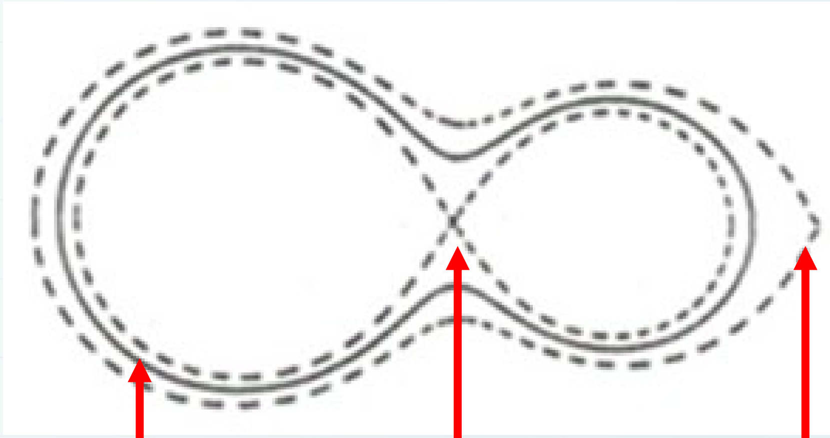
質量比

$q = 0.56$で極小

充填率 (fill-out factor)

$$f = \frac{\Omega_{\mathrm{in}} - \Omega}{\Omega_{\mathrm{in}} - \Omega_{\mathrm{out}}}$$

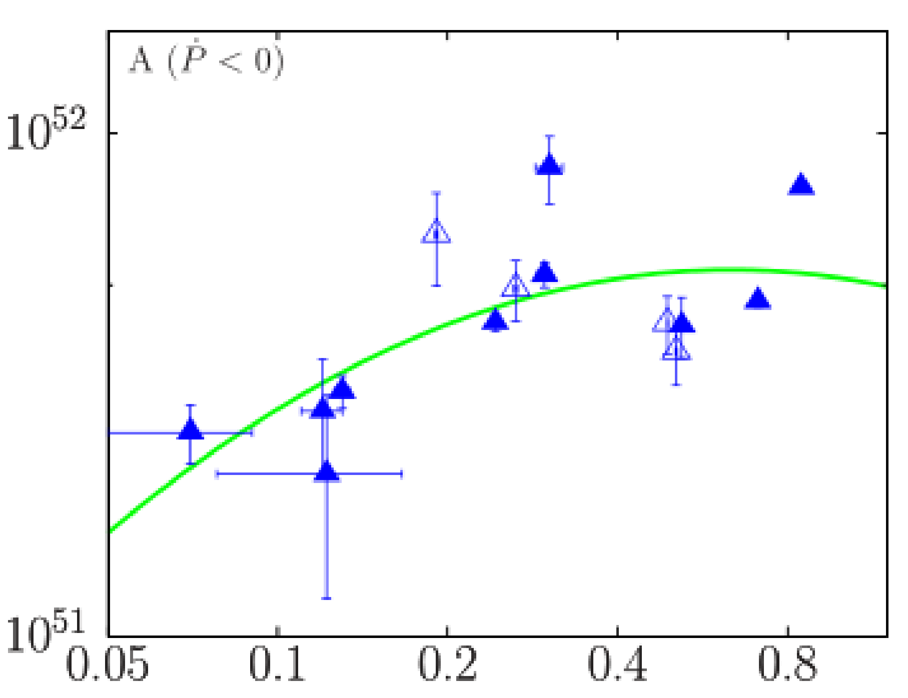
Ω：ポテンシャル



Ω　Ω_{in}　Ω_{out}

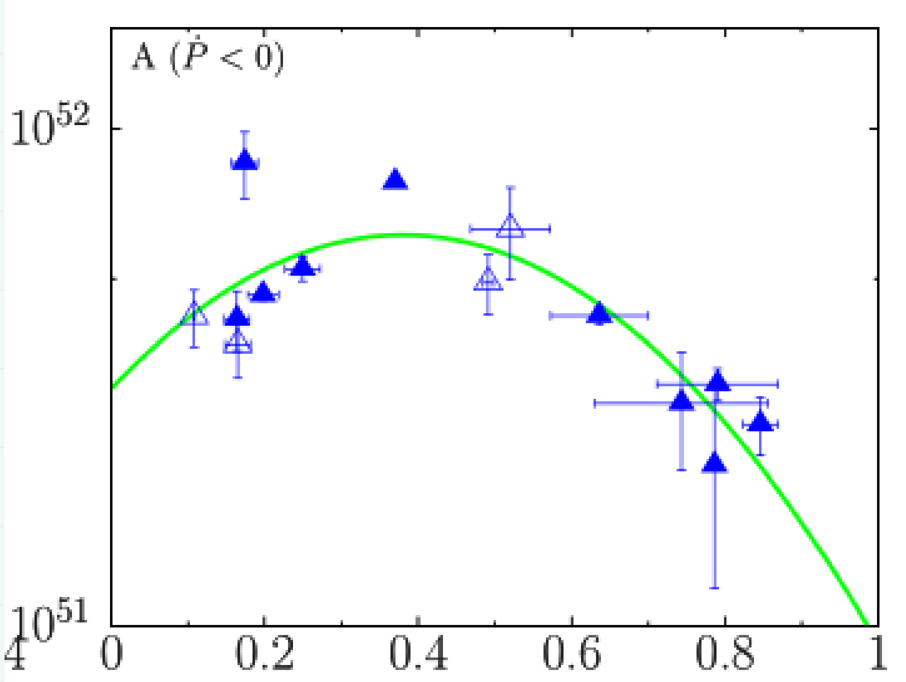
Discussion: 連星パラメータの相関(2)

全角運動量



質量比

全角運動量



充填率

Summary

W UMa型接触連星のうち、公転周期が定常的に減少しているA型において、**質量比と各成分星の質量との間に正反対の強い相関**

仮定： 2つの相関が、二星間での質量交換と系からの質量損失に起因

結果：
✓総質量移動率のうち、最大9割近くが質量損失
✓質量比の増加とともに、損失の割合は低下
✓質量比0.5では、質量損失はほぼなくなる

質量比に応じた連星の形状、連星パラメータ同士の相関関係でも整合的な結果