

ドップラーシフト法による分光連星系の 星周に付随する巨大惑星の探査

加藤 則行

神戸大学 理学研究科 D2

伊藤 洋一(神戸大), 豊田 英里(神戸市立青少年科学館), 佐藤 文衛(東工大)

2011/08/10 岡山ユーザーズミーティング@広島大学

系外惑星の探査対象

- 単独星：~500個

FGK型主系列星

G型巨星

M型主系列星

- 実視連星系の星周：~60個

連星間距離 $\geq 20\text{AU}$

主星：FGK型主系列星

- 分光連星系：0個

連星間距離 $< 20\text{AU}$

全体で100個規模の探査

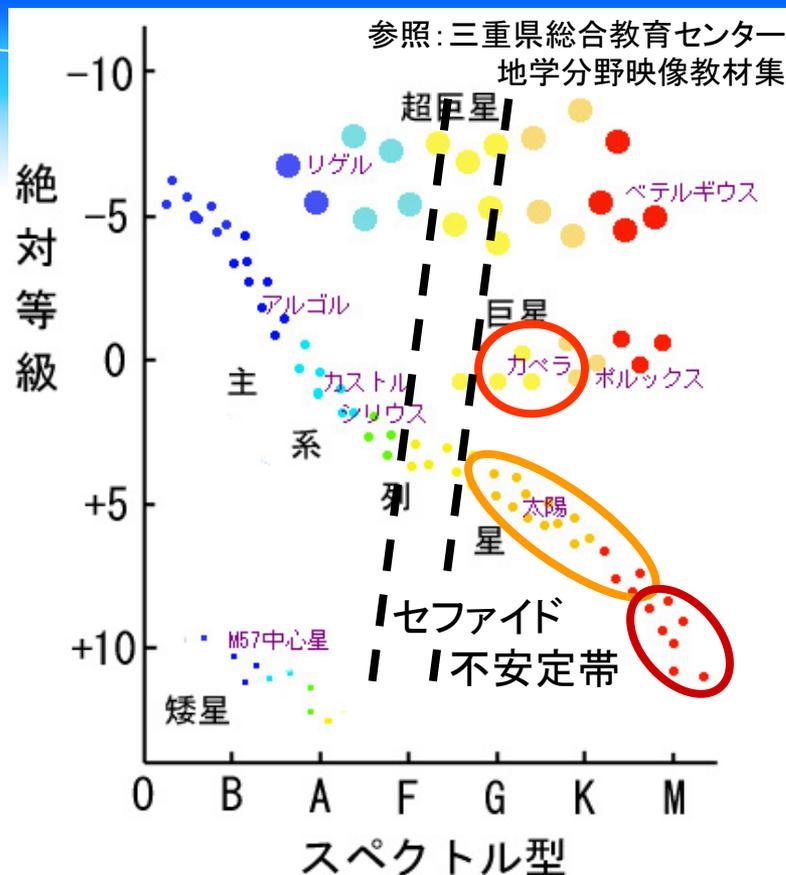


図. HR図上での系外惑星の探査領域

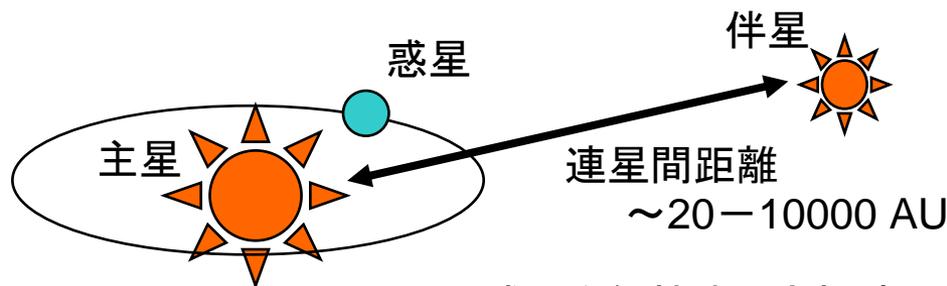


図. 惑星を保持する実視連星系

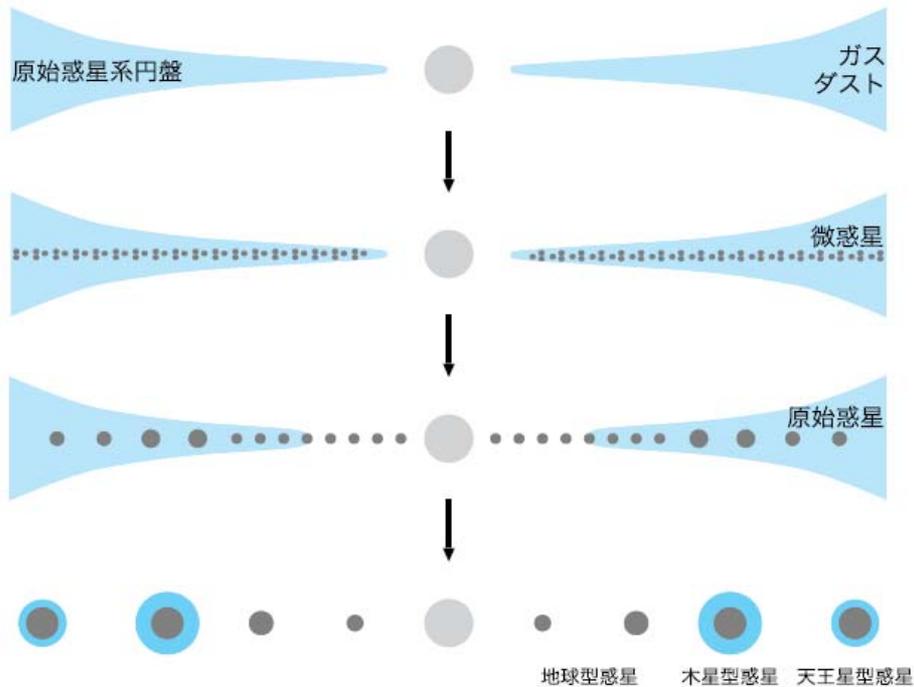
惑星系の形成 - 京都モデル v.s. Cameronモデル -

● 京都モデル (Hayashi et al. 1985)

円盤質量 ~ 0.01 太陽質量

微惑星・原始惑星の形成

質量が異なる惑星を形成可能

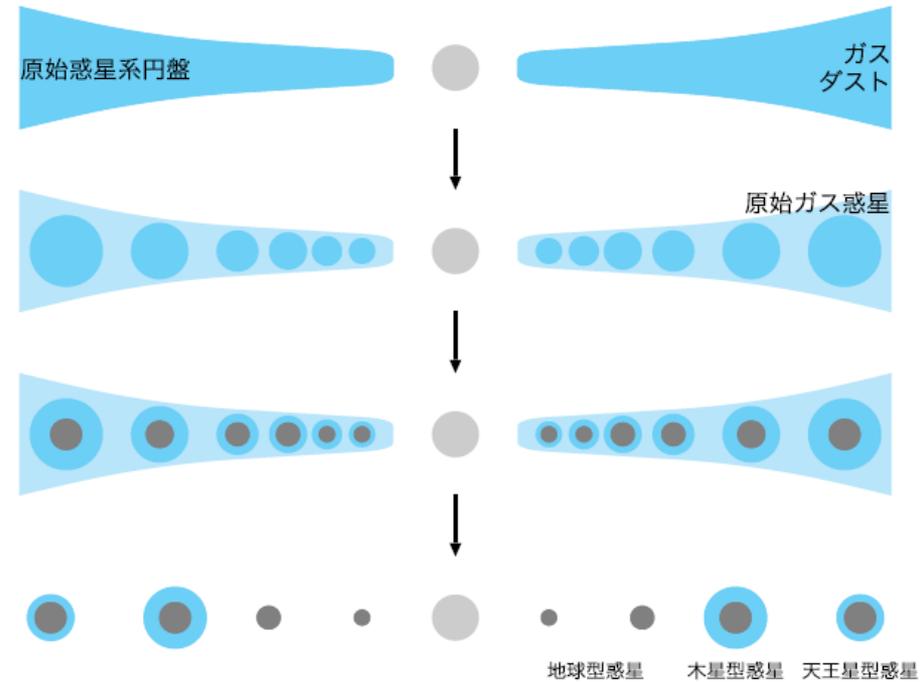


● Cameronモデル (Cameron 1976)

円盤質量 ~ 1 太陽質量

重力不安定によるガス塊の形成

巨大惑星を簡単に作れる



「惑星系の起源—Cameronモデル対京都モデル—」, 小久保英一郎, 2006年5月 天文月報 第99巻 5号 より抜粋

既知の巨大惑星の形成は、どちらでも説明できる

分光連星系における巨大惑星の形成 1/2

- 連星間距離 $\leq 10\text{AU}$ の分光連星系の星周円盤

一方の星による円盤半径の制限 (Artymowicz & Lubow 1994)

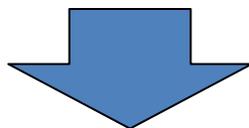
⇒ 質量差10倍, 円軌道: 主星周り 連星間距離の~50%
伴星周り 連星間距離の~20%

スノーラインの位置 (Hayashi 1981, Kokubo & Ida 2002)

$$r_{ice} \sim 2.7 \left(M_{star} / M_{sun} \right)^2 \text{ AU} \quad [0.5 \leq M_{star} / M_{sun} \leq 3]$$

⇒ FGK型主系列星: ~3AU

固体物質が不足: ガス捕獲可能な原始惑星が形成できない



京都モデルでは、巨大惑星の形成を説明できない

分光連星系における巨大惑星の形成 2/2

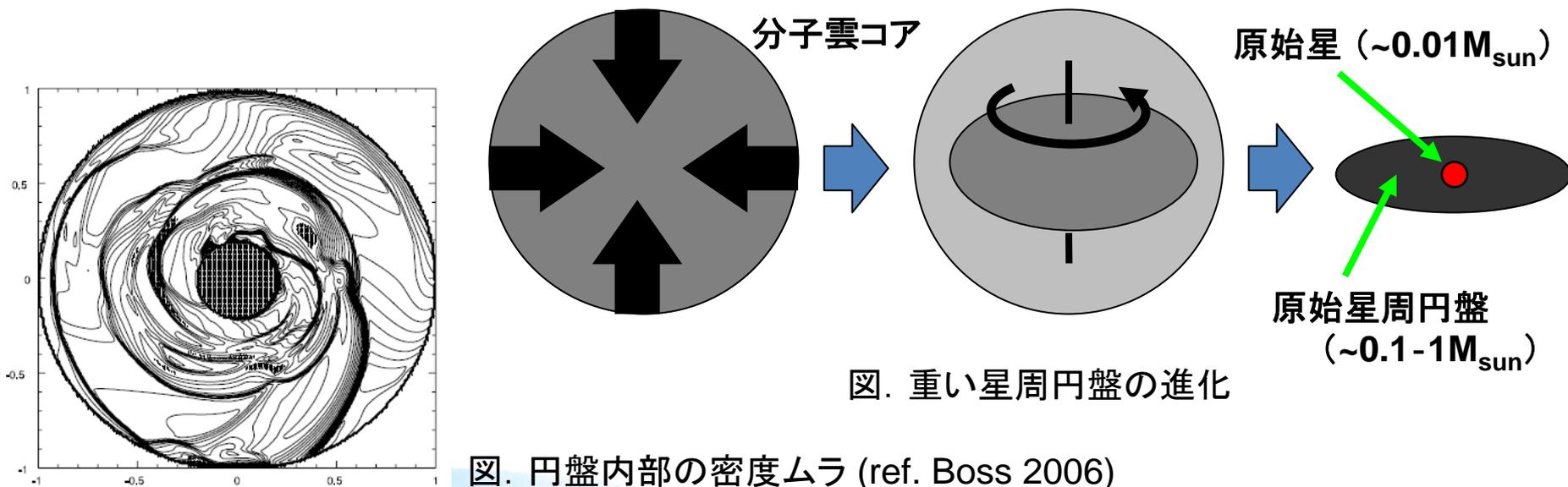
- Cameronモデルなら説明できそう

一方の星からの摂動により円盤内部に濃い密度ムラができやすくなる (Boss 2006)

⇒ 密度ムラから巨大惑星ができる可能性がある

{ 中心の原始星より10-100倍も重い原始星周円盤が形成し得る
{ この円盤は重力不安定を起こし複数のガス塊を作り得る (Machida et al. 2010)

⇒ ガス塊から伴星と巨大惑星が形成する可能性がある



目的&観測

- 分光連星系には巨大惑星が数多く存在しそう

理論: Cameronモデルを考えると存在し得そう

観測: FGK型主系列星の半数は伴星を持つ (Duquennoy & Mayor 1991)

若い連星系の星周円盤は十分重い場合もある (Duchene 2010)

⇒ **重力不安定で形成した可能性が高い巨大惑星を探查**

- 分光連星系を対象とした巨大惑星の探查

手法: ヨードセルを用いた高精度ドップラーシフト測定法

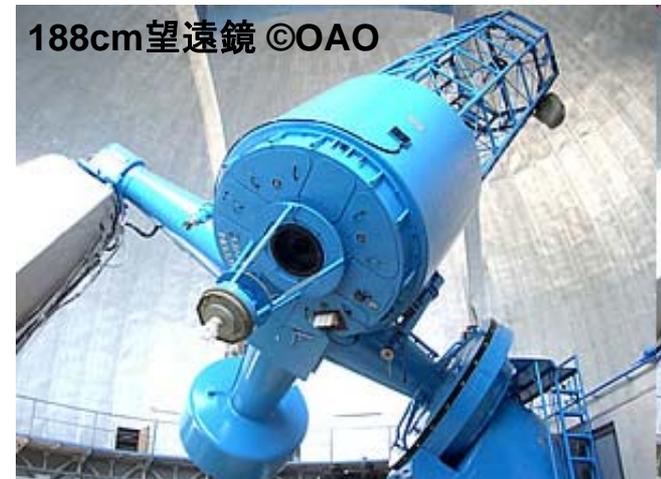
対象: 分光連星系37天体

装置: 188cm望遠鏡 + 高分散分光器HIDES

波長: 3750-7500 Å 分解能: ~60000

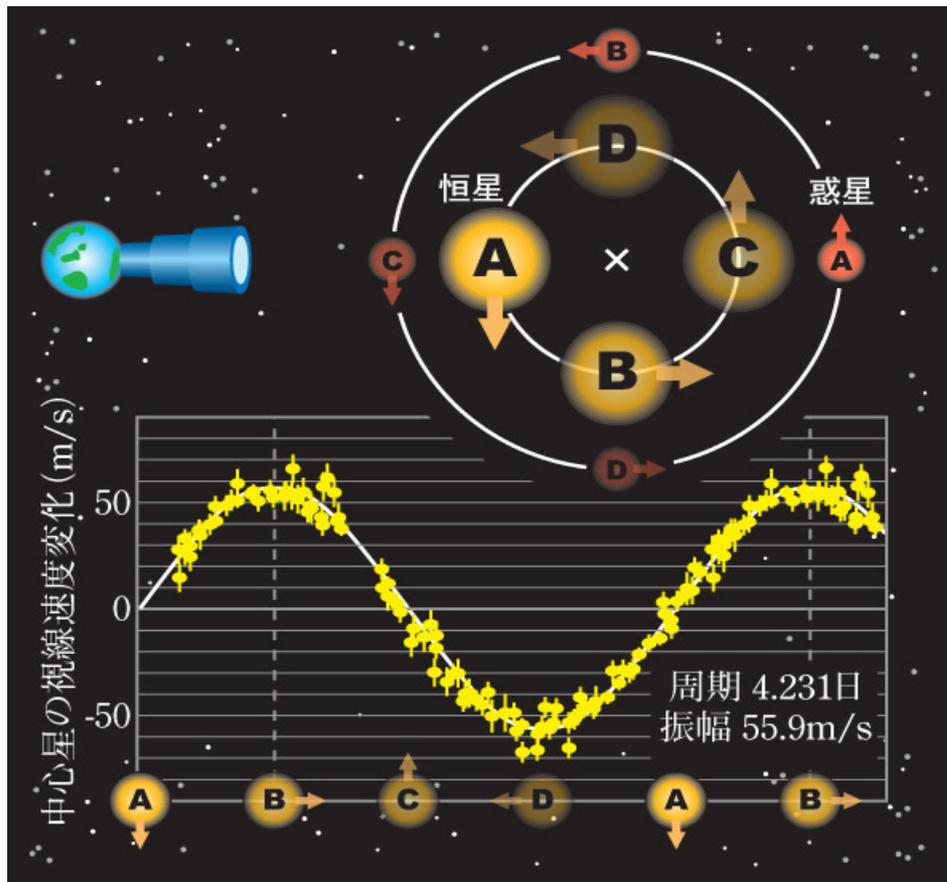
期間: 2005年-2009年 毎月2-3晩

2009年-2010年 約1週間の連続観測 × 4回



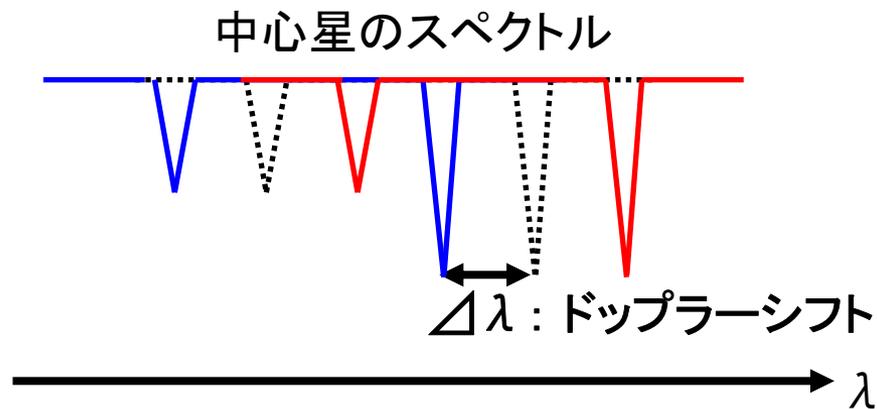
ドップラーシフト法

- 中心星のドップラーシフト(視線速度)から惑星を間接的に検出



理科年表オフィシャルサイトより抜粋

- D: 青方偏移 ——
- B: 赤方偏移 ——
- A, C: 偏移なし - - - - -



$$\Delta\lambda = \lambda \frac{v}{c}$$

v : 視線速度
 c : 光速
 λ : 波長

解析

- 一次処理

IRAF を使用:

bias, flat 処理 → バックグラウンド除去 → 次元化 → 波長較正 → 規格化

- 視線速度計算

Sato et al. (2002)のコードを使用:

$$\underbrace{I(\lambda)}_{\text{観測スペクトル}} = \underbrace{k[A(\lambda)S(\lambda + \Delta\lambda)]}_{\text{モデルスペクトル}} * IP$$

⇒ 左辺と右辺が一致するようにドップラーシフト($\Delta\lambda$)を決定する

視線速度の測定精度 ~ 10 m/s (2005-2010)

結果

- 確からしい周期を持つSB1分光連星系

連星間距離: 1.962 AU

視線速度の測定誤差: ~ 12 m/s

残差をフーリエ解析

⇒ 404.80日の確からしい周期

Secret

Secret

1個の惑星による視線速度の
変動である可能性が高い

⇒ 質量: 1.3 木星質量
軌道長半径: 1.1 AU

議論 1/2

- 恒星の表面活動による見かけの視線速度

表面活動の指標: Ca II のHK輝線の強度 $R'_{HK} \propto$ 視線速度 (Saar et al. 1998)

$$\log R'_{HK} > -4.8 \Rightarrow \text{活発 (Henry et al. 1996)}$$

確からしい周期を持つ主星の表面活動度: $\log R'_{HK} = -5.133 \Rightarrow 2.74 \text{ m/s}$

表面活動だけでは、 $\sigma \sim 30 \text{ m/s}$ の視線速度の変動を説明できない

- Hipparcos衛星のphotometry

B-band: 観測期間=763日

周期=9.89日

V-band: 観測期間=763日

周期=9.92日

**404.80日相当の
光度変化は見られない**

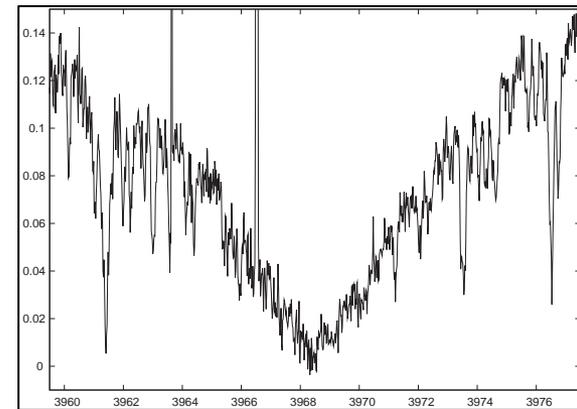
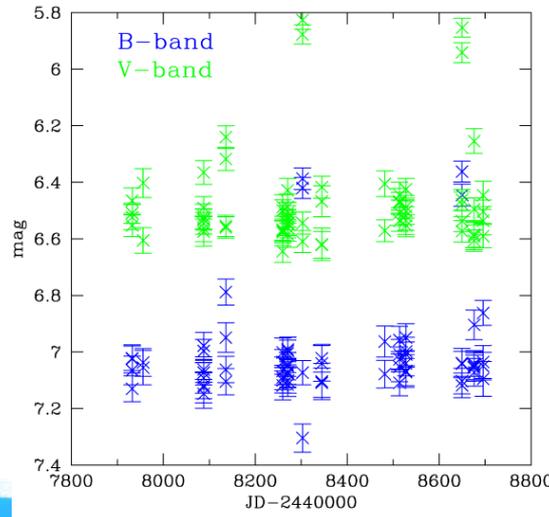


図. Ca II H 輝線@3968.49 Å

図. Hipparcosのphotometry

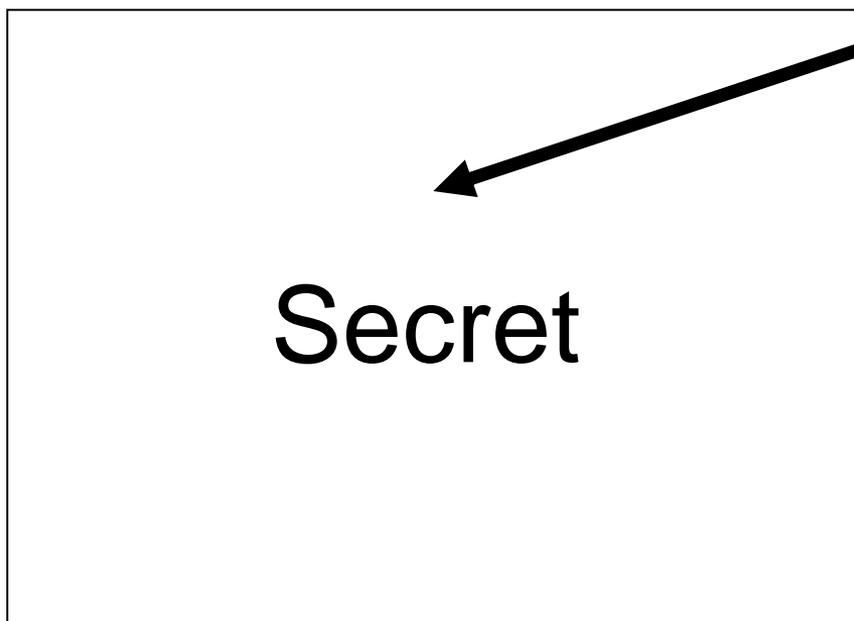
議論 2/2

- 連星系の公転軌道の不定性

ドップラーシフト法による分光連星系の系外惑星の検出:

観測点 - **連星系の公転運動による視線速度** = 残差 の周期変動の有無

⇒ 連星軌道の不定性により残差のバラつきが変わり得る



実線: 連星系の公転運動による視線速度

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{振幅} = 10.45 \pm 0.06 \text{ km/s} \\ \text{公転周期} = 844.52 \pm 0.08 \text{ 日} \\ \text{軌道離心率} = 0.833 \pm 0.001 \end{array} \right.$$

実際に

振幅 + エラー: 852.21 日

軌道離心率 - エラー: 24.78 日

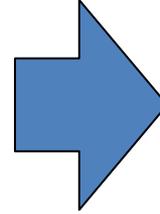
と異なる周期が出てしまう

まとめ

- 分光連星系の星周に付随する巨大惑星

形成: Cameronモデルで形成可能

観測: FGK型主系列星の半数が伴星を持つ
若い連星系に十分重い円盤

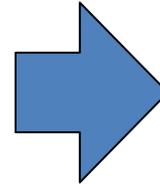


数多く存在し得る

- ドップラーシフト法による探査

対象: 分光連星系37天体

装置: 188cm望遠鏡+HIDES @ OAO



1天体の有力候補

- 連星軌道の不定性問題

残差のバラつきが変わり、周期解析による結果が変わってしまう

⇒ 解決策を検討