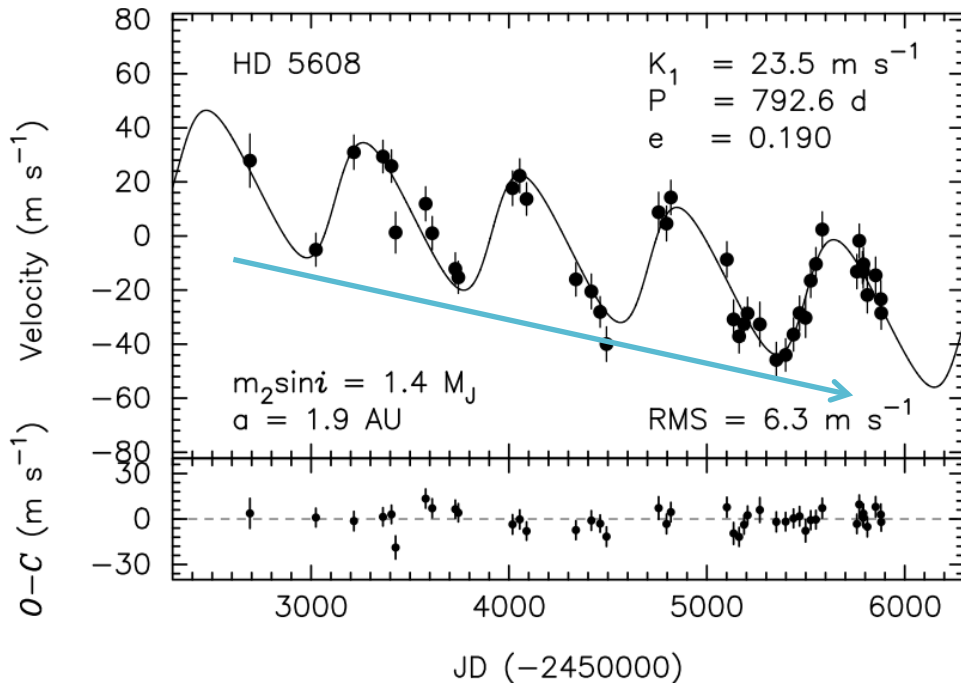


中質量巨星が示す長周期視線速度変動の 直接撮像による特定と制限

笠 嗣瑠(総合研究大学院大学), 田村元秀
(東京大学/国立天文台), 成田憲保(国立
天文台), 高橋安大(東京大学), 佐藤文衛
(東京工業大学), 岡山G型巨星惑星探索
チーム, SEEDS/HiCIAO/AO188チーム

長周期視線速度トレンド

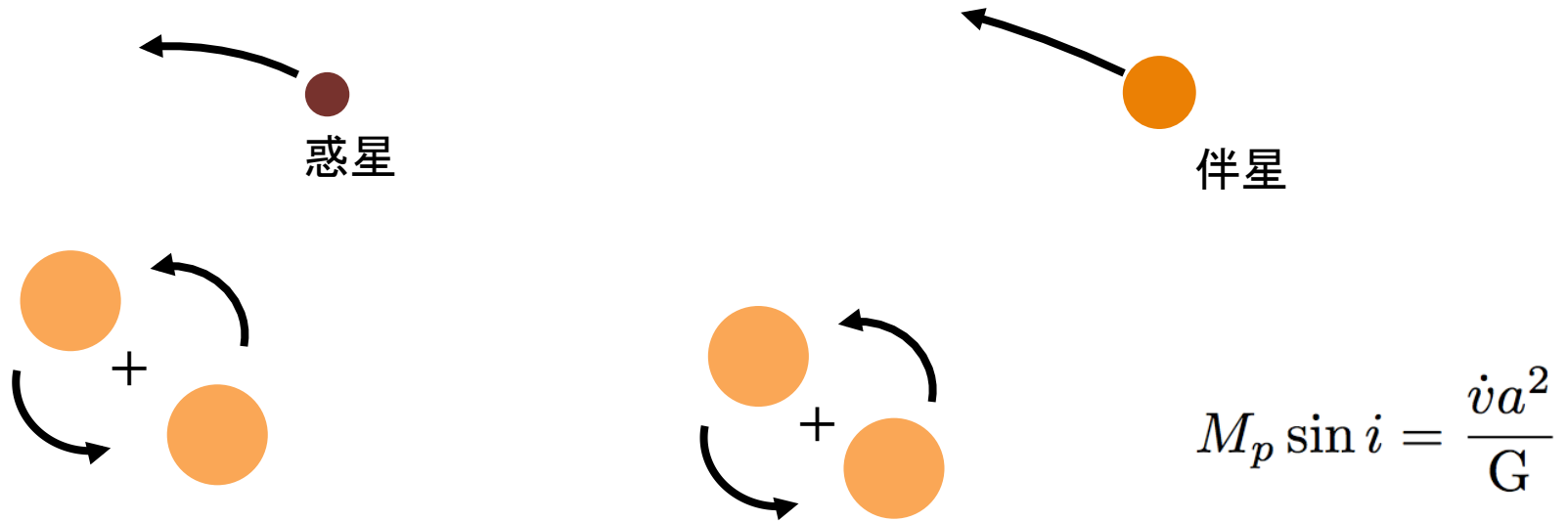


Sato+ 2012

2001年から岡山天体物理
観測所での中質量巨星の
RVサーベイ
→RVの長周期トレンドを持
つ天体が観測された

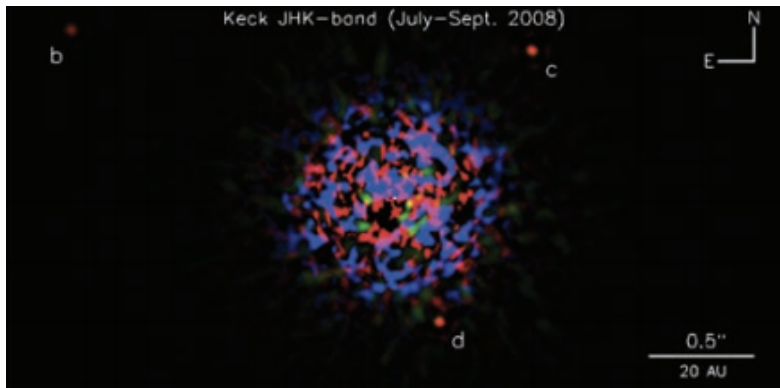
遠方に天体が存在すること
を示唆

トレンド原因天体の縮退

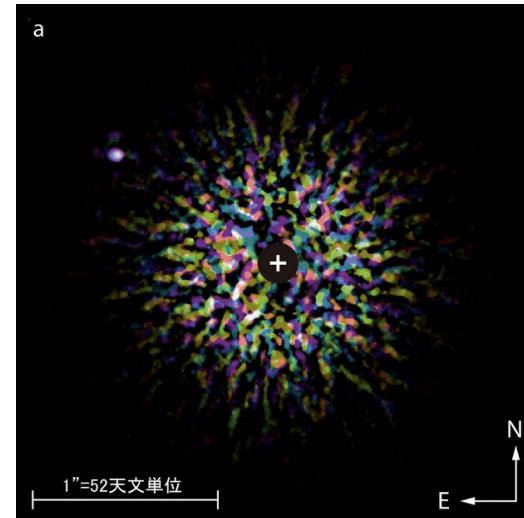


10AUに位置する惑星質量天体によるRVトレンドの量と
遠方の恒星質量伴星によるRVトレンド量は同程度になる

系外惑星の発見方法—直接撮像



Marois+2008によるHR8799 (A型星) 周りの系外惑星の近赤外直接撮像画像

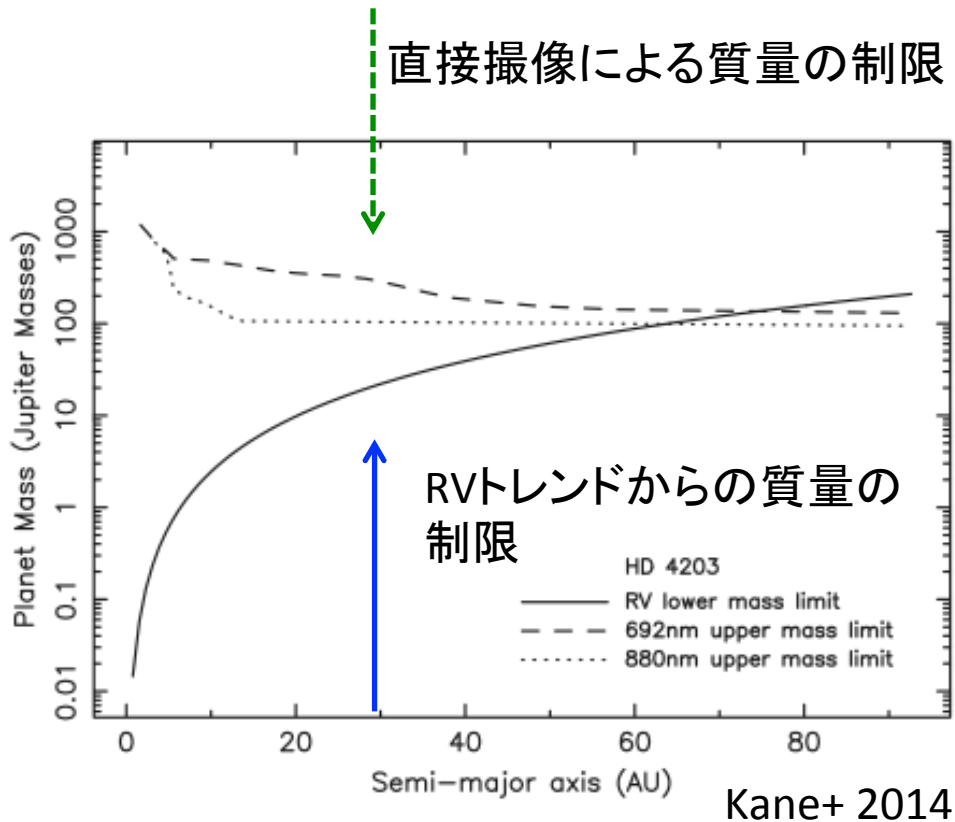


Carson+2012によるκ Andromedae (B型星) 周りの褐色矮星

直接撮像法の特徴

- 遠方 (>10AU) の惑星を観測しやすい
→ 質量推定は公転運動からではなく、光度を低質量天体の進化モデルを使って変換し質量を算出
- 系の年齢が若いほど検出がしやすい

直接撮像による縮退の解消



直接撮像によって伴星の有無を確認することで
RVトレンドの原因が伴星由来なのか惑星由来なのかを確認

伴星がなかった場合、
RVトレンドを引き起こしている天体の質量と軌道長半径の範囲を制限することが可能

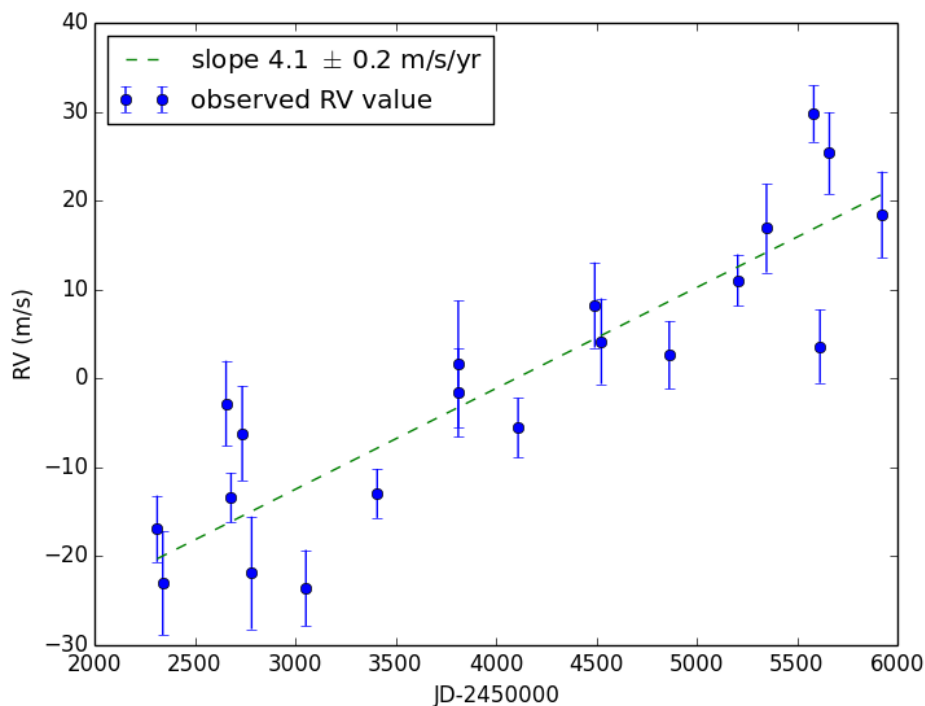
太陽型星に対しては先行研究としてTRENDSグループが存在
→中質量星周りではまだない

本研究の動機

- 中質量星周りの惑星分布は太陽型星とは異なることがわかってきており、遠方のサンプル数は少ない
- 岡山天体物理観測所での10年以上にわたるRV法での惑星サーベイの結果、RVトレンドを持つ天体が見つかっている
- 直接撮像法を用いて伴星の有無を確認することでRVトレンドの原因(恒星or惑星)を特定する
- 先行研究のTRENDSのターゲットは基本的にはFGKの主系列星で中質量星はCrepp+2013aでのG8IVの巨星1つのみ
- 中質量巨星に対するまとまった直接撮像観測は本研究のみ

観測天体

γ HyaにおけるRVトレンド



岡山天体物理観測所の観測で
RVトレンドを持つとわかった
5天体、その他1天体の計6天体

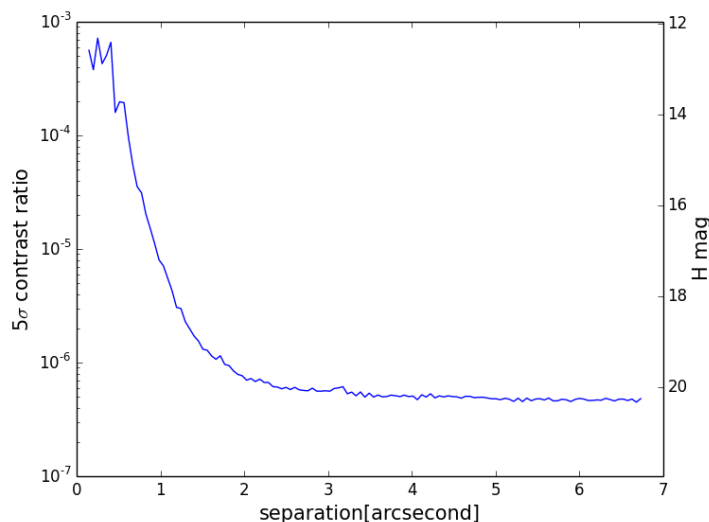
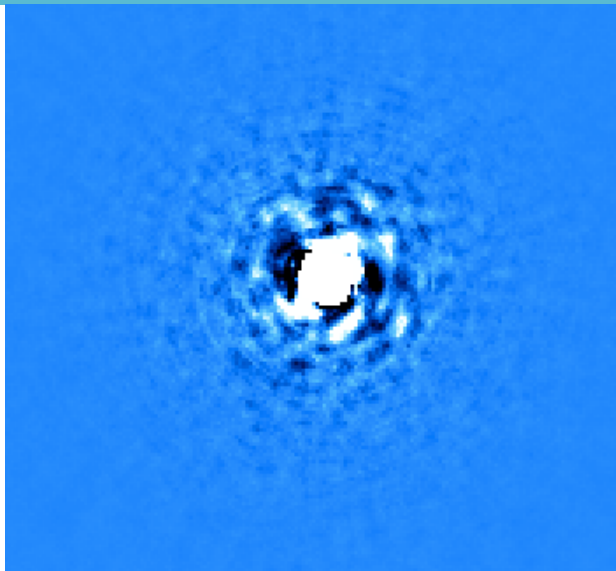
質量: 1.55-2.94 Msun

年齢: 0.37-2.5 Gyr

スペクトル型: G6III-K2III

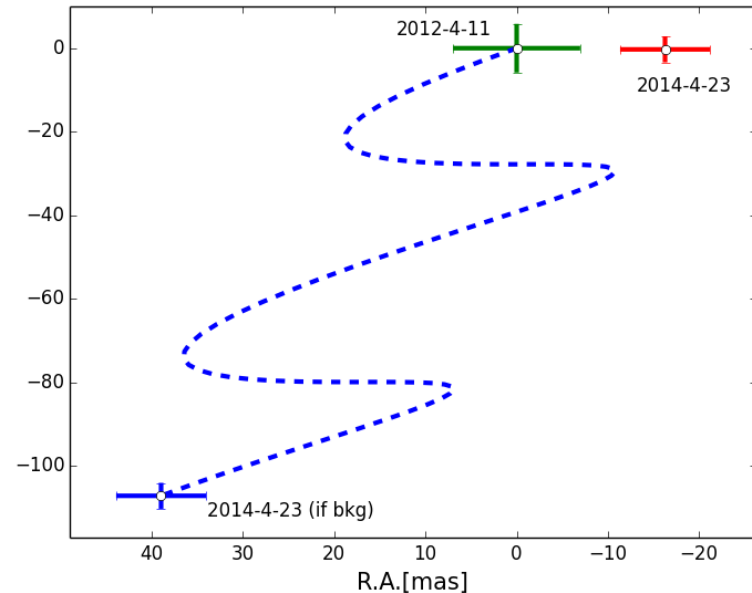
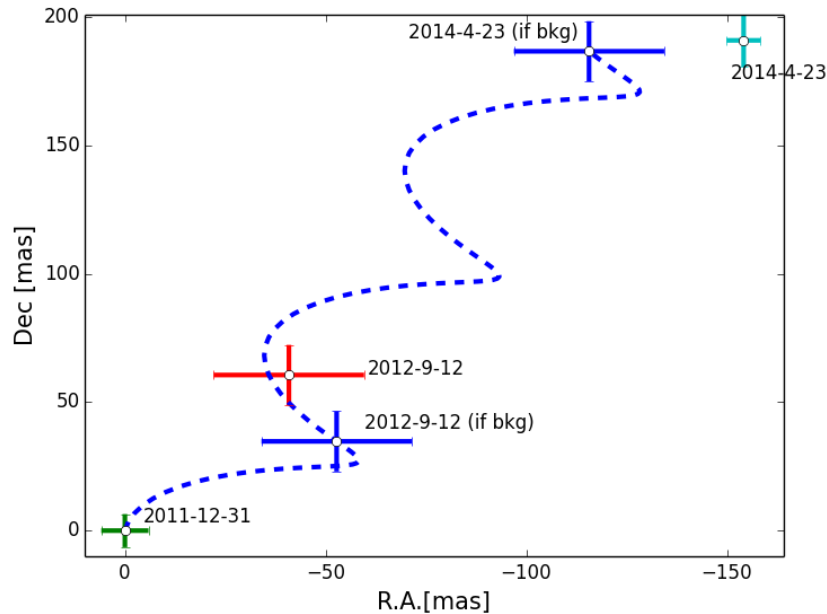
6天体のうち4天体には内側
(<4 AU)に惑星(1-13木星質量)
が存在

観測&解析



- SEEDSプロジェクトの一部として観測
- すばる望遠鏡HiCIAO+AO188
- 2011-2012年に1回目の観測(Hバンド(1.6 μ m))
- 2014年に追観測(J,H,Ksバンド)
- 解析はLOCI(Lafrenière+2007)を使用
- ノイズから主星に対するコントラストを評価
→円環に区切ってその中の標準偏差を計算
- H等級をCONDモデル(Baraffe+1998)を用いて検出限界質量を算出
- 伴星質量は3色のカラーから算出される質量が合うDustyモデル(Chabrier et al., 2000) or CONDモデルを使用

追観測と伴星の確認



検出された伴星候補は背景星の可能性があり、追観測によって共通固有運動を持つか確認する。

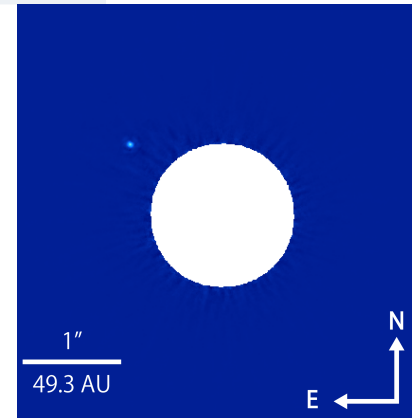
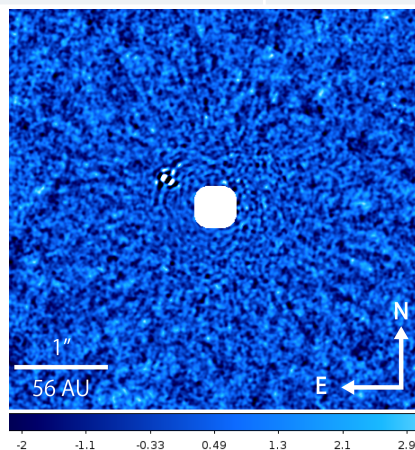
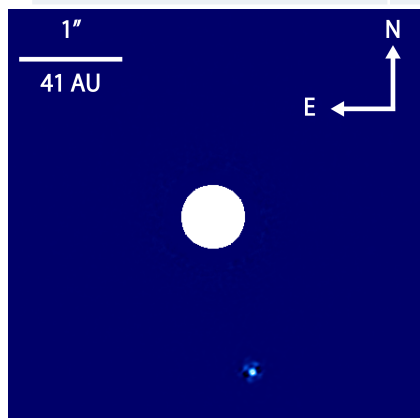
背景星場合、遠方に位置しているので固有運動は小さく、止まっているとみなせるので、主星の固有運動によって追観測においては位置が大きく変化する。

結果一概要

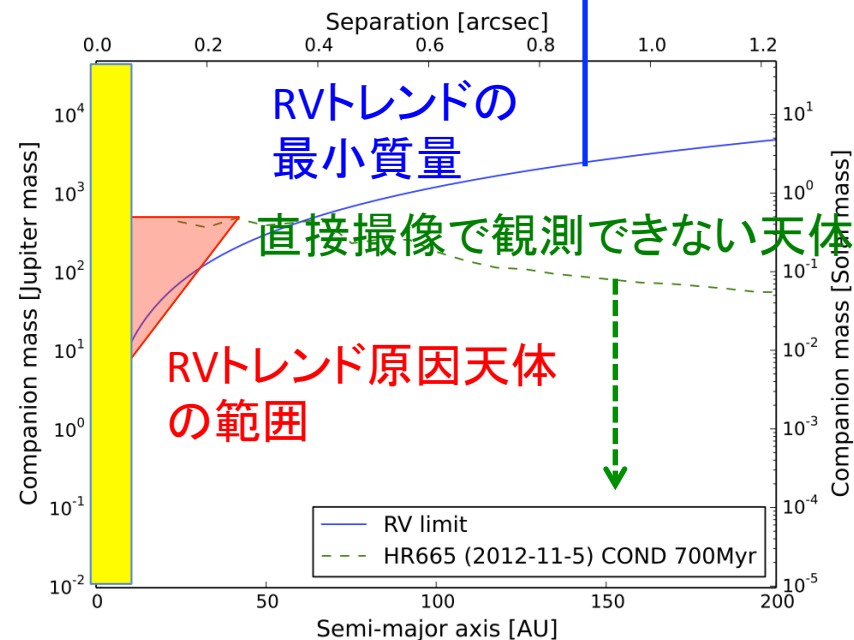
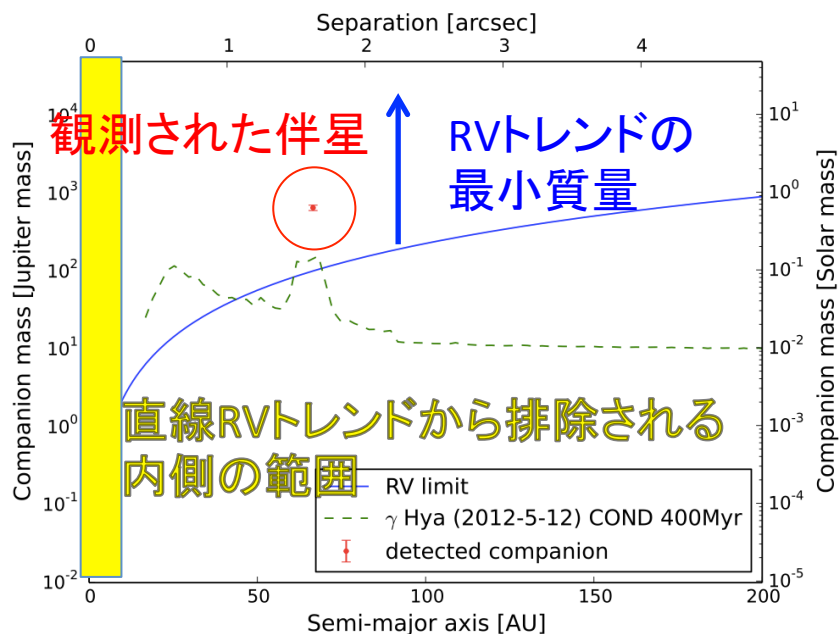
天体名	伴星候補	共通固有運動
γ Hya	○ γ Hya B	○
HR 275	○ HR 275 B ○ HR 275 C	○ ×
HR 4779	○ HR 4779 B	○
18 Del	○ 18 Del C	×
ι Dra	×	-
HR 665	×	-

6天体のうち4天体で伴星候補が5つ検出された。

追観測の結果、共通固有運動を持ち、重力的に束縛されていると考えられる伴星は3天体に3つ。



RVトレンドの原因の特定



伴星が存在する場合

→ 伴星がRVトレンドを引き起こすための最小質量を上回っているかの確認

伴星が存在しない場合

→ 直接撮像の検出限界質量と組み合わせることで

RVトレンドの原因となっている天体の質量と軌道長半径を制限

視線速度トレンドの原因

天体名	伴星の有無	トレンドの原因	軌道長半径
γ Hya	γ Hya B	γ Hya B	66.5 AU
HR 275	HR 275 B	HR 275 B	35.11 AU
HR 4779	HR 4779 B	HR 4779 B	58 AU
18 Del	(18 Del B)	惑星 or 褐色矮星	10-50 AU
ι Dra	×	褐色矮星 or M型星	10-30 AU
HR 665	×	褐色矮星 or M型星	10-50 AU

3天体では**観測された伴星がRVトレンドの原因**

残りの3天体は**観測できなかったより内側に存在している惑星、褐色矮星からM型星が原因**

→M型星かは、より内側を深く直接撮像観測をすることで判別可能

RV天体が惑星に与える影響

惑星名	最小質量(M_{Jup})	軌道長半径(AU)	軌道離心率
HR 275 b	1.4	1.9	0.19
18 Del b	10.3	2.6	0.08
ι Dra b	12.6	1.34	0.713
HR 665 b	7.8	3.4	0.53

4天体に惑星があるがこのうち3天体では離心率が大きい。

→伴星による影響(古在機構)の可能性

18 Delを除く3天体に対して古在機構のタイムスケールを計算したところ、全ての系で年齢よりも古在機構のタイムスケールのほうが小さい結果($\sim 0.4\text{Myr}$)になった

→内側の惑星の離心率が大きい原因は外側のRVトレンドを引き起こしている天体による古在機構で説明できる

結論

- RVトレンドは遠方の天体の存在を示唆しているが天体の質量と軌道長半径が縮退している
- RVトレンドが見られる中質量巨星に対して直接撮像を行い、RVトレンド原因となっている伴星を3天体で3つ発見した
- RVトレンドが見られる中質量巨星まわりで一度複数のトレンド天体の原因を特定したのは本研究が初めて
- 残りの3天体ではRVトレンド原因天体の質量と軌道長半径の制限を行った
- 内側に軌道離心率が大きい惑星を持っている系ではRVトレンド天体による古在機構が原因で軌道離心率が大きいと考えられる
- 今後、他の岡山でRVトレンドが見られる10数天体に対して同様にRVトレンド原因天体を特定することで遠方惑星の頻度の議論を行う