

学位論文支援プログラム
ドップラーシフト法による
連星系の系外惑星探査

神戸大学 加藤 則行
2009/08/20
岡山ユーザーズミーティング
@ 国立天文台三鷹

2009/8/20

岡山UM@三鷹

発表の流れ

- 概要
- 観測
- 解析手法
- これまでの成果
- まとめと今後

1/17

2009/8/20

岡山UM@三鷹

概要 1

• 連星系における太陽系外惑星

FGK型主系列星・・・単独星で系外惑星探査が最も進展
50%以上が連星系を形成
(Jahreiss & Wielen 2000, Duquennoy & Mayor 1991)
見つかった惑星・・・連星間距離が20AU以上の連星系に存在
主星が伴星の一方に付随する星周惑星タイプ



2/17

2009/8/20

岡山UM@三鷹

概要 2

• 連星系における系外惑星の課題

惑星の形成率は高い or 低い?
- 伴星が惑星形成に及ぼす影響
惑星は長期間安定して存在できるのか?
- 伴星が惑星の存在領域を制限



⇒ 連星間距離が10AU以下の連星系では、惑星は未発見

周連星惑星が未発見
- 周連星領域の惑星形成率と存在度が不明
探査数が少ない
- Eggenbergerらのグループ：50-100個程度
Grattonらのグループ：100個程度

3/17

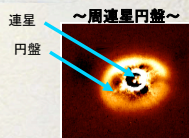
2009/8/20

岡山UM@三鷹

概要 3

• これまでの先行研究

惑星形成と存在可能領域についての数値計算
Boss (2006)：伴星が惑星形成を促進
Nelson (2000)：連星間距離が100AU以下の連星系での惑星形成率は低い
Holman & Wiegert (1999)：連星間距離の1/4以下 or 4倍以上の領域で惑星が安定に存在
連星系の軌道要素や質量比と相関



周連星円盤の観測

Trilling (2007); Hioki et al. (2007); Itoh et al. (2002)
⇒ 周連星惑星の形成現場

連星系全般にもっと多くの惑星が存在しても良いのでは?

4/17

2009/8/20

岡山UM@三鷹

観測 1

• 目的

観測面から次のことを明らかにする。

惑星が存在できる領域を制限
その領域と軌道要素などの連星系パラメータとの相関

• 主な観測ターゲット

SBI(Single-lined)分光連星 ($a \leq 10AU$)
⇒ 主星のスペクトルのみが観測：高精度でドップラーを測定可能
伴星からの重力作用が強い

$V\text{-mag} < 7.0$, $\delta > -16^\circ$, F5-K9型主系列星

5/17

観測 2

- 手法・・・ドップラーシフト法
- 装置・・・岡山1.88m望遠鏡
高分散分光器HIDES
- 観測波長・・・3750-7500Å
(解析範囲：5000-6000Å)
- スリット幅・・・200μm
- 波長分解能・・・~70000
- 観測天体・・・SB1-type：43天体
実視連星：12天体
標準星：5天体
- 積分時間・・・120-1800s
- S/N・・・100-200
- 波長較正・・・Th-Arランプ使用

～ドップラーシフト法～



1.88m望遠鏡

観測 3

2009aの実施状況

- 観測割当夜数：8夜
- 観測実施時間：51時間 (実施時間/割当時間 = 68%)
- 観測天体数：延べ 84天体

2/12, 13 & 4/1, 2 & 4/28, 29 & 5/24-30に観測を実施。
1天体につき、最大で9つの観測点を取得
(これまでの観測点と併せると、最大で70観測点程度)
5月24日～30日の観測：ホットジュピタータイプの星周惑星探索。
⇒悪天候のため、3観測点以上取得できたものは3天体のみ

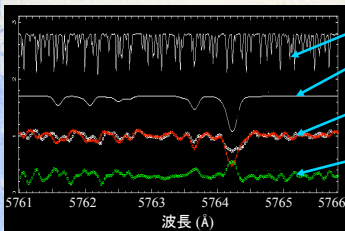
解析手法

視線速度の計算

Sato et al. (2002) の計算コードを使用。

$$I(\lambda) = k[A(\lambda)S(\lambda + \Delta\lambda)] * IP$$

機器による吸収線のゆがみ具合



- A(λ)：ヨウ素のスペクトル
- S(λ)：星のテンプレートスペクトル
- I(λ)：観測スペクトル (白)
- k[A(λ)S(λ+Δλ)]*IP：モデルスペクトル (赤)
- 残差 = 6.40%

測定精度～10 m/s

これまでの成果

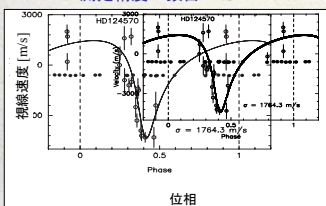
- 連星軌道の再決定
- 星周惑星の存在領域の制限
- 短周期星周惑星の探査

連星軌道の再決定 1

先行研究における視線速度の測定精度

ターゲットのSB1分光連星の軌道要素
⇒ほとんどが1970-1980年代もの
測定精度～数百 m/s

より良い精度の視線速度で再決定が必要

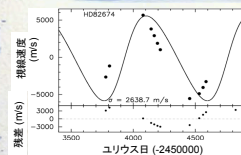


例) HD124570

今回、単独星だと判明。
黒丸：本研究
白丸：先行研究

同様の天体が他に4天体存在した。

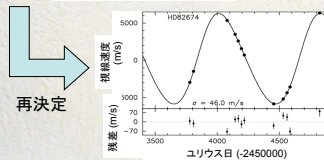
連星軌道の再決定 2



軌道要素の計算コード：Sato et al. (2002)

初期値：先行研究の軌道要素

29天体の軌道を再決定
(内15天体は先行研究の観測点と併せて再決定)



再決定

9天体：観測期間 < 連星周期
5天体：単独星

以上の成果について、

- 論文を投稿予定 (近日中)
- 09秋季年会でポスター発表を予定

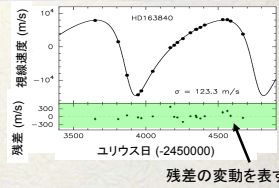
星周惑星の存在領域の制限 1

分光連星での惑星検出

残差が周期的に変動するか？

- 残差の周期
- 周期のFAP (偽である確率)

⇒Sato et al. (2002)の計算コードを使用



残差の変動を表す

解析で得られた周期(解析周期)とFAP

単独星であった5天体を除く、38天体の解析周期とFAPを求めた。

解析周期が30日以上 : 4天体, 最小のFAP~16 %
 解析周期が30日未満 : 34天体, 最小のFAP~4 %

星周惑星の存在領域の制限 2

存在できる領域を制限

解析周期と惑星が持ちえる最大周期(Holman & Wiegert 1999)から制限する。



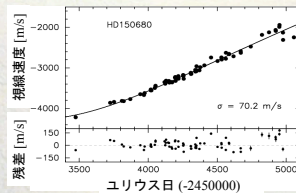
- (a) 最大周期 < 30日 : 18天体
数日周期の星周惑星が存在する可能性がある。
- (b) 最大周期 > 30日 & 解析周期 < 30日 : 18天体
周期30日以上星周惑星を持つ可能性は低い。
- (c) 最大周期 > 30日 & 解析周期 > 30日 : 2天体
周期30日以上星周惑星を持つ可能性が高い。

短周期惑星探索へ

星周惑星の存在領域の制限 3

周期30日以上星周惑星

存在する可能性がある2天体について議論。



HD150680
 2天体中、最小のFAPを持つ。
 スペクトル型 : G0IV
 V-mag : 2.80
 最大周期 : 959.70日
 データ数 : 71
 観測期間 : 1582日
 解析周期 : 403.84日
 FAP : 16.21%

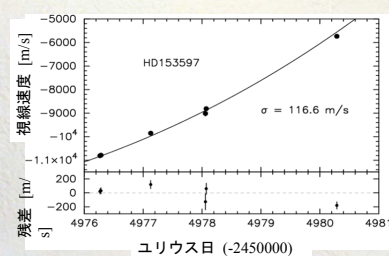
残りの1天体は、FAP-45%と大きいため、保持の可能性は低い。

⇒ HD150680以外の系に周期30日以上惑星は存在しない

短周期星周惑星の探査 1

HD153597

3観測点以上取得できた天体のうち、周期的な残差変動が見られた。



スペクトル型 : F6V
 V-mag : 4.89
 最大周期 : 10.30日
 解析周期 : 6.03日
 FAP : 15.50%

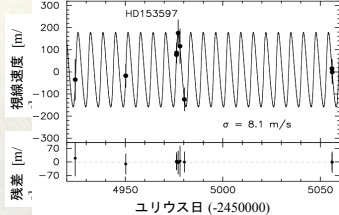
残差が116.6 m/sと大きく変動

短周期星周惑星の探査 2

残差を周期解析

2009年に取得した観測点を用いて解析周期と軌道要素を求めた。

データ数 : 9
 観測期間 : 132日
 解析周期 : 6.37日
 FAP : 0.11%
 軌道要素) ω : 287.86(74.27)
 K : 168.48(45.28)m/s
 P : 6.42(0.06)日
 e : 0.20(0.29)
 T : 2454899.14(0.98)
 χ^2 : 0.03



⇒ 9月の短周期惑星探査で再確認

まとめと今後

- SB1分光連星43天体の視線速度をモニター
- 29天体 : 軌道要素を新たに再決定
9天体 : 観測期間 < 連星周期
5天体 : 単独星であったと判明
⇒論文を投稿予定
- HD150680 : 公転周期30日以上星周惑星の可能性
残りの連星系 : 周期30以上の領域に星周惑星なし
- HD153597に星周タイプのホットジュピターが付随?
⇒9月に10日間の連続観測の割当
周期的な変動を確認