

「あかり」による主系列星の伴星探査とKOOLS等による分光観測

小野綾子 伊藤洋一 (神戸大学) 岩田生(国立天文台)

概要

赤外線天文衛星「あかり」の近中間赤外線カメラIRCを用いて、99天体の主系列星を直接撮像し伴星を探査した。撮像された異なる星の画像を重ね合わせ、それを元の画像から差し引くことによって、中心星の明るい光を抑え、周囲を見やすくして伴星候補を検出する。この解析をした結果、99天体中94天体の主系列星の周囲に暗い点源を834個検出した。背景星を分けるために、これらの点源を測光してSEDを作成し、モデルスペクトルと比較することによって、有効温度を見積もった。そして、それらの点源を主系列星と仮定したときの絶対等級と測光した見かけの等級から距離を求めた。その結果、主系列星52天体の周囲に139天体の伴星候補天体を検出した。これらの伴星候補天体のより正確な質量を決定するため、KOOLS等を用いて可視分光観測も行った。

背景

● 連星系の質量比

連星系の主星と伴星の質量比 $M_2 / M_1 = q$

主星が太陽質量程度の場合

$q = 0.2$ 程度の天体が最も多い (Duquennoy & Mayor 1991)

$q < 0.1$ では発見数が少ない

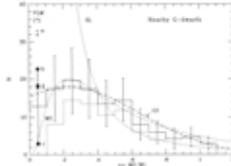


Fig. 1 Duquennoy & Mayor 1991

原因1 観測バイアス

- ・質量の小さい天体の有効温度は低く、可視光では検出が難しい
- ・ドップラーシフト法では軌道長半径の大きな天体は検出しにくい

原因2 形成過程

- ・ q が小さな連星系は、ひとつの分子雲コアの収縮では形成されにくい (Bonnell & Bastien 1992)
- ・星周円盤から褐色矮星質量の天体はできにくい (Rice et al. 2003)
- ・伴星型の褐色矮星は形成過程で連星系を保てずに放出される (Reipurth & Clarke 2001)

理論

- ・別にできた星を捕獲して連星を形成した場合には、 q が小さな連星系も考えられる (Boss 1988)
- ・主星から10AU以上のところには伴星型褐色矮星も誕生しうる (Delgado-Donate et al. 2004)

観測

- ・A3V型星に $q=0.082$ の伴星を検出 (Hinkley et al. 2010)

→ 太陽より重い近傍主系列星の周りを探査する

● 観測方法

赤外線観測

- ・低質量の晩期主系列星や褐色矮星は温度が低いため、放射のピークは近赤外にある
褐色矮星 800~2500K → 1.2~3.7 μm
- ・長波長域で主星と伴星の等級差が小さくなり、伴星を検出しやすい
- ・赤外波長域では地球大気の放射も強く、地上観測は難しい
→ 宇宙望遠鏡

直接撮像

- ・主星と伴星の光を分離できる
- ・ドップラーシフト法で検出が難しい天体も検出できる

赤外線天文衛星「あかり」を用いて直接撮像による伴星探査を行う

「あかり」による伴星探査

● 観測

望遠鏡 赤外線天文衛星「あかり」
装置 近中間赤外線カメラIRC
観測時期 2006.9~2007.8
波長 3.2, 4.1, 7.1, 10.5 [μm]
視野 $9' \times 9'$
積分時間 44.4, 16.4 [s]
ピクセルスケール 1.46, 2.34 [$''$ / pix]

観測対象
主系列星99天体
距離 1.8-109 [pc]
スペクトル型 A0-M5
質量 0.2-2.7 [M_{\odot}]

● 解析

1. 伴星候補天体の検出

- ・PSFの差し引き
- ①異なる星の画像を重ね合わせる
明るさを規格化し、medianを取ることで中心星のPSFのみを残す
- ②重ね合わせた画像の中心星の明るさを解析する画像の中心星の明るさにあわせる
- ③中心星の位置を合わせて差し引きする
中心星の明るさを抑えて周囲を見やすくする

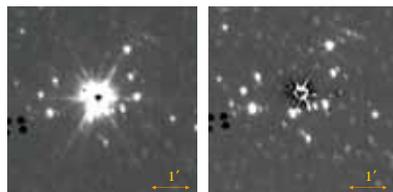


Fig. 2 HIP13665 4 μm の画像

- ・中心星の周囲 $2''$ 以内にある点源を検出する

→99天体の画像を解析し、94天体の周囲に834個の暗い点源を検出

2. 測光

- ・主系列星94天体の周囲にある834個の暗い点源を差し引き後の画像でアパーチャー測光
- ・カタログの値を使用し、可視と近赤外のデータと「あかり」の測光値で、834天体についてSpectral Energy Distribution (SED)を作成

2MASS All - Sky Catalog J, H, K バンド
USNO - B1.0 Catalog B, R バンド

● 結果

1. 伴星候補天体の選別

- ①温度の見積もり
SEDから放射のピークの波長を読み取り、温度を見積もる
ウイーンの変位則: $\lambda_p T_{\text{eff}} = 3000$ (λ_p [μm]:放射ピークの波長 T_{eff} [K]:有効温度)

$$0.44 \mu\text{m} < \lambda_p < 10.45 \mu\text{m} \cdot 42 \text{天体}$$
$$287\text{K} \leq T_{\text{eff}} \leq 6800 \text{K}$$

$$\lambda_p \leq 0.44 \mu\text{m} \cdot 42 \text{天体}$$
$$T_{\text{eff}} \geq 6800\text{K} \rightarrow \text{背景星と考えられる}$$

- ②スペクトル型の決定
ピーク波長が0.4 μm より長かった44天体について、有効温度からスペクトル型を決める (Vrba et al. 2004)

- ③距離の見積もり
主系列星と仮定し、絶対等級と測光した見かけの等級から距離を見積もる
 $m - M = 5 \log d - 5$ (m :見かけの等級 M :絶対等級 d :距離[pc])

- ④中心星の距離と比較
中心星の距離はHipparcosカタログより
中心星の距離 d 、暗い点源の距離の下限値 d_{min} 、上限値 d_{max}
 $d_{\text{min}} < d < d_{\text{max}}$ の暗い点源を伴星候補天体とする

伴星候補天体 139天体
その他の暗い点源は背景星と考えられる

2. 質量比 q の見積もり

- ・SEDと恒星大気モデルをあわせ、有効温度を見積もる
恒星大気モデル
有効温度2050K~4150K (Allard et al. 2000)
- ・スペクトル型の再決定
有効温度からスペクトル型を決め、質量を見積もる (Vrba et al. 2004)
- ・ q の見積もり
 $M_2 / M_1 = q$ (M_1 :主星質量 M_2 :伴星質量)

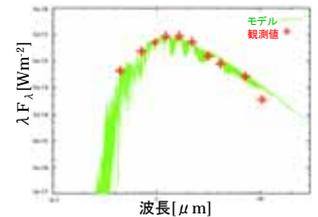


Fig. 3 HIP18170 bのSEDと $T_{\text{eff}}=2950\text{K}$ のモデル各波長でほぼ一致している

3. 主星の質量と q

伴星候補天体139天体と先行研究の q と主星の質量を比較

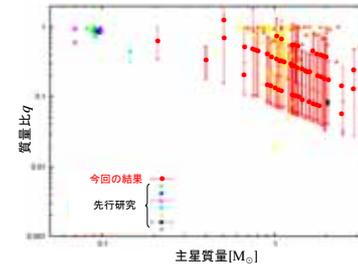


Fig. 4 主星の質量と q

(Siegler et al. 2005, Close et al. 2003, Kraus et al. 2005, Radigan et al. 2008, Metchev & Hillenbrand 2009, Hinkley et al. 2010)

質量が大きな主星に
 q の小さな伴星候補天体を検出

伴星候補天体の可視分光観測

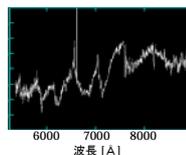
検出した伴星候補天体について、より正確な質量を決定するために、可視分光観測を行った

● 観測

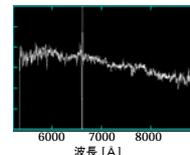
望遠鏡	岡山天体物理観測所 188cm望遠鏡	ハワイ大学 2.2m望遠鏡	インド Iucaa 2m望遠鏡
装置	KOOLS	WFGS2	IFOSC
観測日	2009/10/19-22	2009/11/21	2009/12/18
波長(\AA)	5000-9000	5500-9700	5000-10000
分解能	~800	~700	~700
積分時間(s)	$60 \times 2 - 1800 \times 3$	$300 \times 2 - 800 \times 2$	$1200, 600 \times 1$
天体 I mag	37天体 10.8-16.0mag	14天体 14.9-17.2mag	1天体 13.8mag

● 結果

KOOLSの結果

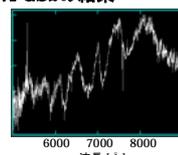


HIP6702B
晩期型星と考えられる

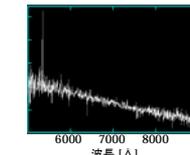


HIP98819D
早期型星と考えられる

WFGS2の結果



HIP18735E
晩期型星と考えられる



HIP23497C
早期型星と考えられる

今後、標準スペクトルと比較し、それぞれのスペクトル型を決定し連星の可能性を議論する。また、より正確な質量比を決定する