

# Super-OASIS による中質量 YSOs の $K$ バンド分光観測

石井未来 (国立天文台)、長田哲也、佐藤修二 (名古屋大)、江治波 (紫金山天文台)、柳沢顕史 (OAO)

## 1 Abstract

中質量 ( $2-10 M_{\odot}$ ) の前主系列星である Herbig Ae/Be 型星の近赤外域でのスペクトル線は、これまでの少数の天体を対象とした研究からは明らかでなかった。そこで私達は、55 個天体に対して  $2 \mu\text{m}$  帯の分光観測を行い、Herbig Ae/Be 型星がどのようなスペクトル線を示すのか明らかにし、その検出率とエネルギースペクトル (SED) との関係、スペクトル型との関係を調べた。以上の結果を、Herbig Ae/Be 型星の前の進化段階と考えられる IRAS 天体の分光観測の結果 (Ishii et al. 2001) と比較することによって、中質量の前主系列星の進化段階とスペクトル線との関係を調べた。

## 2 Introduction

Herbig Ae/Be 型星 (HAeBe) とは? スペクトル型が A-B の輝線星で、赤外で超過を示す若い星。T Tauri 型星 (小質量 Class II 天体) の中質量版と考えられている。しかし、一部の HAeBe は、Class I 天体や Class III 天体に似た SED を示す。

進化上の繋がりがあがる天体: HAeBe (可視域で明るい) に対して、より若い段階は赤外域で明るい天体。SED は小質量 Class I 天体に似ているが、光度は HAeBe と同程度 (Ishii et al. 1998)。以下では Class I YSOs と呼ぶ。

HAeBe と Class I YSOs の関係をスペクトル線によって調べたい。

これまでの観測: しかし、HAeBe の近赤外スペクトルをまとめたサンプルで調べた研究が殆どなかった。

例: Harvey (1984) 9 天体; Rodgers & Wooden (1998) 10 天体。HAeBe の中にも多様性があるので ( $M_{*} \sim 2-10 M_{\odot}$ ;  $L \sim 10^{-10}-10^{-5} L_{\odot}$ )、大きなサンプル数が必要。

本研究へ

## 3 Target Objects

Thé et al. (1994) の HAeBe のカタログから 62 天体を観測。このうち 6 天体は他の文献で evolved star や low-mass とされているので、これらを除いた 55 天体で議論する。

スペクトル型: A0 より早期型が 29 個 (HBe)、晩期型が 26 個 (HAe)。

SED:

Class I ( $\alpha < 0$ )	14 個
Class II ( $-1.5 < \alpha < 0$ )	37 個
Class III ( $\alpha < -1.5$ )	1 個
データなし	3 個
$\alpha = d \log \lambda F_{\lambda} / d \log \lambda$ ( $2.2 < \lambda < 25$ )	

## 4 Observations

2001年 11月 23日 ~ 12月 2日

望遠鏡：岡山 1.88m

装置：Super-OASIS

波長：2.02-2.35 $\mu\text{m}$  ( $K$ バンドに相当)

分解能：500 ( $\Delta\lambda \sim 0.004\mu\text{m}$ )

スリット幅：2.4

検出器：HgCdTe (256 $\times$ 256)

## 5 Results

表1、図1参照。Br $\gamma$ 、He I、Fe II、Mg II、CO、Na I、H<sub>2</sub>を検出。殆どの天体は輝線のみを示す。何らかの吸収線 (Br $\gamma$ 、He I、Na I、CO) を示したのは6天体。どのラインも検出されなかったのは3天体。

図1：Herbig Ae/Be 型星の  $K$  バンドスペクトルの例

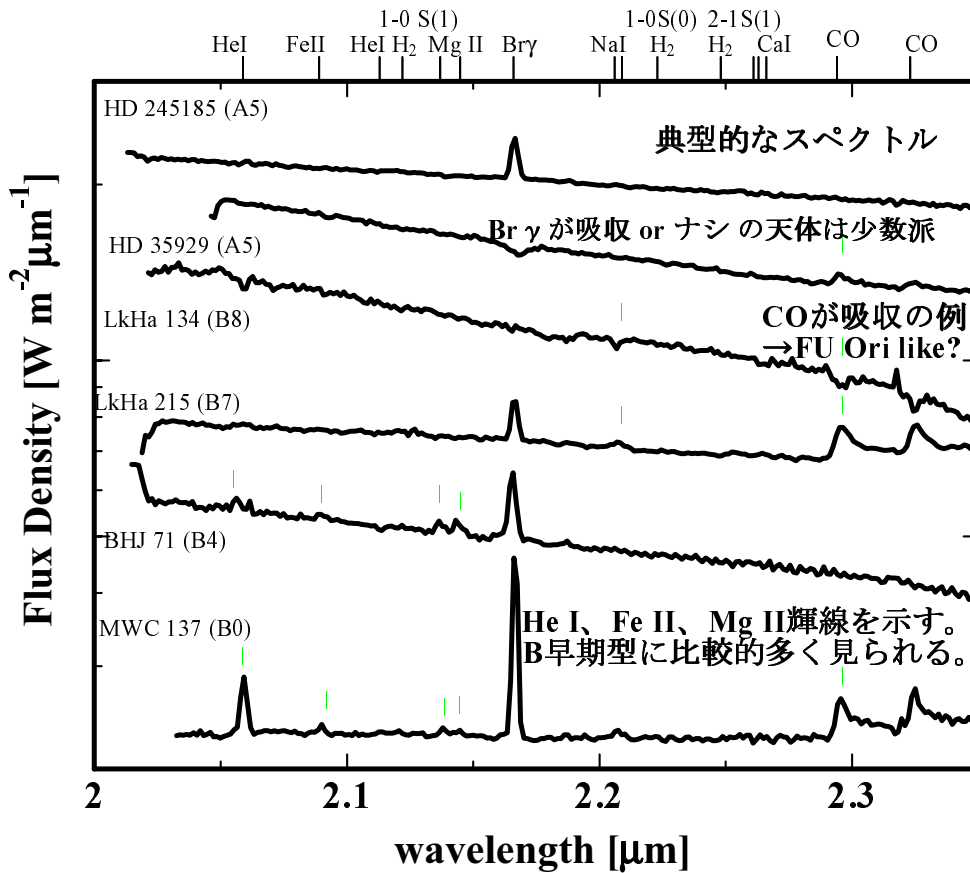


表 1 : 観測天体リストと結果

name	Sp-type	SED	Br	He I	Fe II	He I	H <sub>2</sub>	Mg II	NaI	CO
				2.058	2.089	2.112	2.122	2.137/2.144	2.206/2.208	2.293
V645 Cyg	O7	0.18	e	...	...	...	...	...	...	e?
Haro 13a	B	0.26	e	...	...	...	...	...	...	a
LkHa 147	B	...	e	...	...	...	...	...	...	...
MWC 790	B	-0.08	a	...	...	...	...	...	...	...
MWC 1080	B0	-0.79	e	...	...	...	...	...	...	...
MWC 137	B0	-0.63	e	e	e	e?	e?	e	e	e
MWC 166	B0	-0.57	e	e	...	...	...	...	...	...
MWC 17	B0	0.56	e	e	e	...	...	e	...	...
LkHa 101	B0.5	-0.31	e	e	e	...	...	e	...	...
GU CMa	B2	-0.70	e	e	...	a	...	...	...	...
IL Cep	B2	-0.70	e	...	...	...	...	...	...	...
V1685 Cyg	B2	-0.79	e	...	...	...	...	...	...	...
Omega Ori	B3	-2.01	e	e	...	a	...	...	...	...
BHJ 71	B4	...	e	e	e	...	...	e	...	...
V361 Cep	B5	1.09	e	...	...	...	...	...	...	...
V373 Cep	B5	-0.12	e	...	...	...	e?	...	...	...
V376 Cas	B5	0.45	e	...	...	...	...	...	...	...
HD 259431	B6	-0.45	e	...	...	...	...	...	e	e
LkHa 208	B7	0.37	e?	...	...	...	...	...	...	...
LkHa 215	B7	-0.36	e	...	...	...	...	...	e	e
AS 442	B8	-0.85	e	...	...	...	...	...	...	...
LkHa 134	B8	0.47	...	...	...	...	...	...	a	a
R Mon	B8	0.45	e	...	...	...	...	...	...	...
V590 Mon	B8	0.74	e	...	...	...	...	...	...	...
V594 Cas	B8	-0.63	e	...	...	...	...	...	...	...
HD 37411	B9	-0.56	e	...	...	...	...	...	...	...
MWC 120	B9	-0.51	e	...	...	...	...	...	...	...
MWC 789	B9	-0.20	e	e; ...	...	...	...	...	...	...
V1012 Ori	B9	-0.39	...	...	...	...	...	...	...	...
AB Aur	A0	-0.43	e	...	...	...	...	...	...	...
AS 477	A0	-1.14	e	...	...	...	...	...	...	...
AS 78	A0	-0.57	e	...	...	...	...	...	...	...
RR Tau	A0	-0.67	e	...	...	...	...	...	...	...
VX Cas	A0	-0.12	e	...	...	...	...	...	...	...
V380 Ori	A1	-0.53	e	...	...	...	...	...	...	...
V346 Ori	A2	-0.65	e+a	...	...	...	...	...	...	...
V586 Ori	A2	-0.40	e	...	...	...	...	...	...	...
XY Per	A2	-0.73	e	...	...	...	...	...	...	...
HD 244604	A3	-0.59	...	...	...	...	...	...	...	...
HD 34282	A3	-0.65	e	...	...	...	...	...	...	...
UX Ori	A4	-0.31	e	...	...	...	...	...	...	...
V1686 Cyg	A4	-0.39	e	...	...	...	...	...	...	...
HBC 324	A5	...	e	...	...	...	...	...	...	...
HD 245185	A5	0.48	e	...	...	...	...	...	...	...
MacC H12	A5	-0.08	e	...	...	...	...	...	...	...
MWC 480	A5	-0.49	e	...	...	...	...	...	...	...
V633 Cas	A5	0.41	e	...	...	...	...	...	...	...
VY Mon	A5	-0.10	e	...	...	...	e	...	...	...
HD 35929	A5(or F0)	-1.41	a	...	...	...	...	...	...	e
V892 Tau	A6	0.44	e	...	...	...	...	...	a?	a
IP Per	A7	-0.83	e	...	...	...	...	...	...	...
LkHa 233	A7	0.53	e	...	...	...	...	...	...	...
MWC 758	A8	-0.39	e	...	...	...	...	...	...	...
LkHa 259	A9	1.01	e	e	e	...	...	...	...	...
CQ Tau	F5	-0.09	e	...	...	...	...	...	...	...

## 6 Discussion

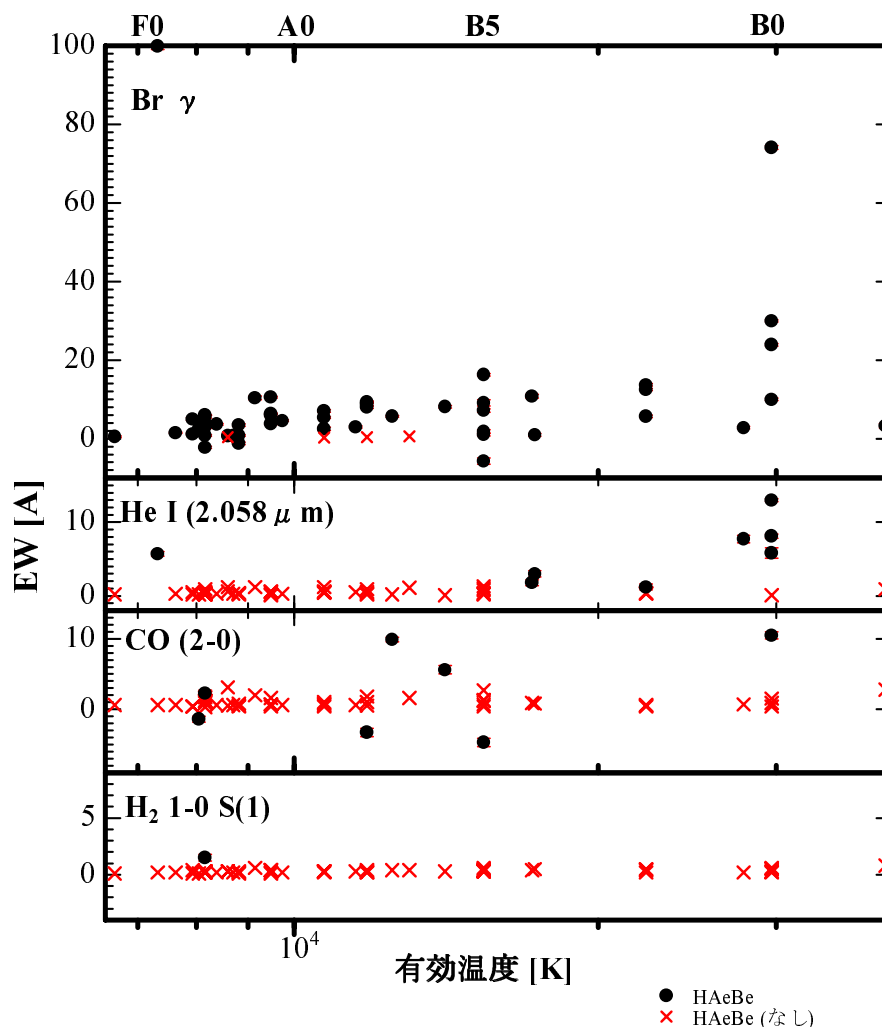
### 6.1 スペクトル型との関係

図2 参照。

$\text{Br}\gamma$  : 9割の天体で輝線が検出された。この検出率は HAe と HBe で殆ど同じ。HBe の方が強い等価幅を示す傾向がある。(しかし、photospheric な吸収を補正すると、輝線等価幅のスペクトル型に対する依存はなくなる。)

He I : 1天体を除くと B 型星で検出されている (検出率は HBe で 24%、HAe で 4%)。  $L \sim 10^4 L_{\odot}$  の明るい天体で検出される傾向。He I の輝線のある天体は、Mg II、Fe II 輝線を伴うことが多い。  
CO、 $\text{H}_2$  : スペクトル型との関係は明らかでない。

図2 : スペクトル型 vs.  $\text{Br}\gamma$ 、He I、CO、 $\text{H}_2$  の等価幅 (正の値は輝線)



### 6.2 SED との関係

図3は、スペクトル線とSEDの傾き ( $\alpha$ ) との関係を示す。 $\alpha > 0$  が Class I like なSED、 $-1.5 < \alpha < 0$  が Class II like なSED (多くの HAeBe がこれに相当)。また、Class I YSOs での結果 (Ishii

et al. 2001) も同時にプロットした。

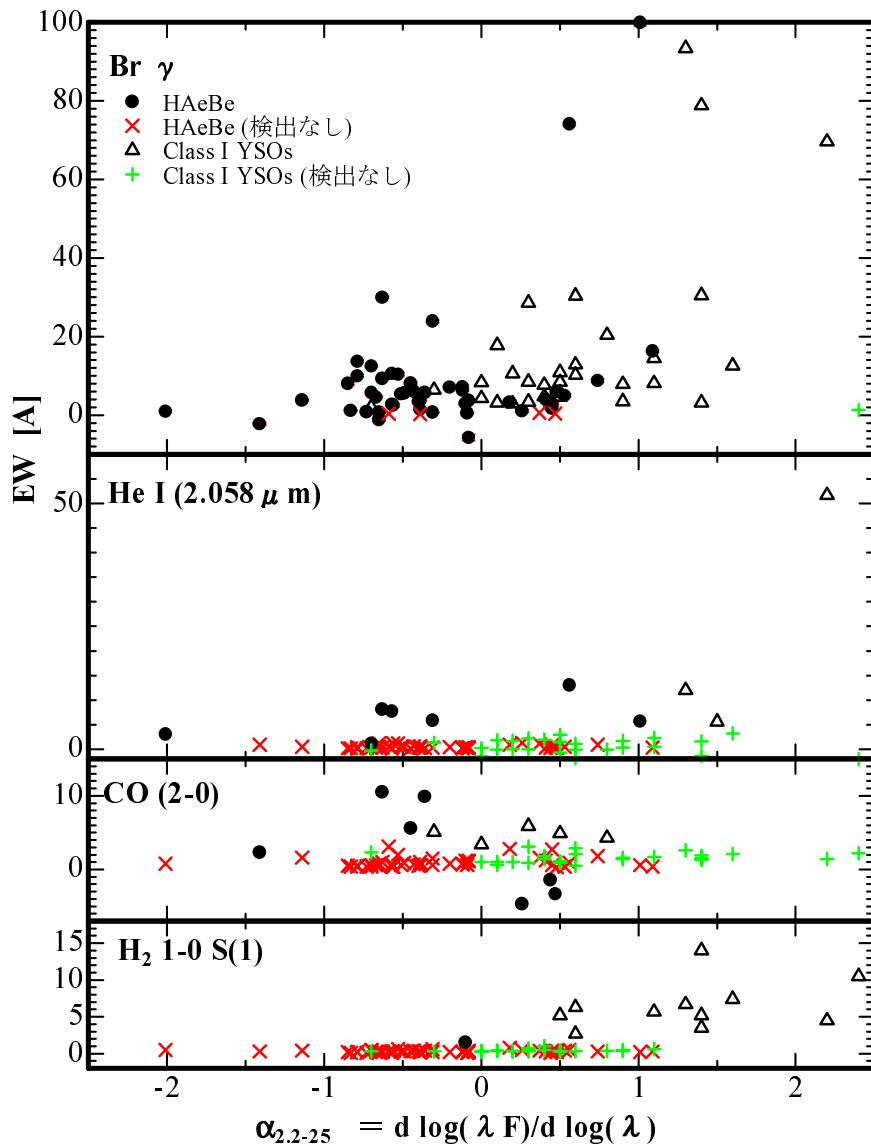
**Br $\gamma$**  : Class I から Class II に至るまで大きな変化はなし。Class I 天体 YSOs では輝線のみ検出されたのに対し、HAeBe では吸収線で検出される例があった。

**He I** : 図からは SED との関係は明らかでない。ただ、HBe での検出率が 24% なのに対し、Class I YSOs での値は ( $L \sim 10^2 - 10^5 L_{\odot}$  と HBe と同様の光度であるのに) 9% と低い。UV 光の硬さの違いか？

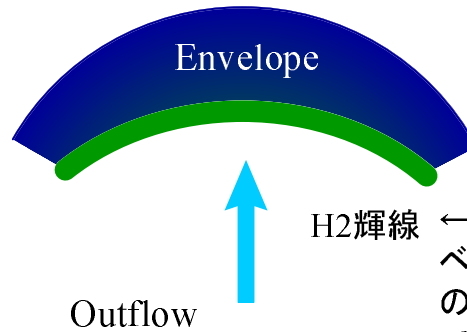
**CO** : Class I YSOs では、すべて輝線として検出されているのに対し、HAeBe では約半数が吸収として検出されている。CO 吸収のある HAeBe は Class I like な SED を示す。

**H $_2$**  : Class I YSOs では 34% の検出率なのに対し、HAeBe では 2%。明らかに SED に依存している。

図 3 : SED vs. 等価幅

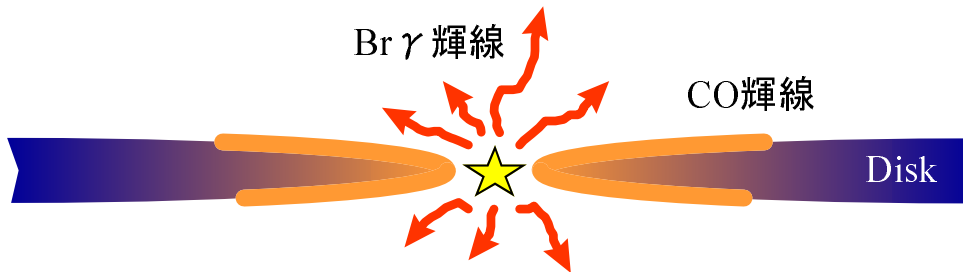


H AeBeは、エンベロープが散逸している（可視光でも見える）  
 Class I YSOsは、エンベロープに包まれた赤外線天体



H<sub>2</sub>輝線 ← Class I 天体のエンベロープとアウトフローの衝突領域？ H AeBeでは既にエンベロープが散逸しているためにH<sub>2</sub>輝線が見つからないのだろう。

Br  $\gamma$  輝線 ← 星の近傍( $\sim 10R_{\star}$ )、星風 or 降着円盤。



CO輝線は、非常に高密度で暖かい領域（密度 $\sim 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ 、温度3000–4000K）でないと生じない。星周円盤起源と考えられている。さらに、中心星からの放射によって円盤が暖められなければならない（小質量星ではこの条件が満たされないためにCO輝線が検出されにくい）。また円盤の質量降着率が高いと吸収として見ると考えられている（Calvet et al. 1991）。CO吸収が見つかったH AeBeは、円盤で激しい質量降着を示すFU Oriタイプの天体ではないか。Na IもCOと似た領域で生じる。

## 7 Conclusion

H AeBeの多くはBr  $\gamma$ 輝線のみを示し、B早期型では、He I (Mg II、Fe II)輝線を伴うこともある。Class I YSOsと比較することによってスペクトル線とSED（進化段階）の関係を調べた：

Br  $\gamma$ 輝線：高い検出率。Class I～Class IIのSEDに依存しない。

CO 輝線：Class I YSOs では輝線のみなのに対して、HAeBe では吸収として検出される割合が高くなる。

H<sub>2</sub> 輝線：Class I YSOs でよく見られるが、HAeBe では殆ど見つからない。

輝線の検出がエンベロープの散逸の度合いと関係

検出率まとめ			
	Herbig Ae	Herbig Be	Class I YSOs
Br $\gamma$ 輝線	88%	86%	97%
He I 輝線	4%	24%	9%
CO 輝線	4%	10%	22%
CO 吸収	4%	7%	0%
H <sub>2</sub> 輝線	4%	0%	34%

## 参考文献

Harvey 1984, PASP, 96, 297

Ishii et al. 2001, AJ, 121, 3191

Ishii et al. 1998, AJ, 116, 868

Rodgers & Wooden 1998, American Astronomical Society Meeting, 191, #47.09

Thé et al. 1994, A&AS, 104, 315