

2016年7月05日(火) - 06日(水) 木曾シュミット・シンポジウム2016@木曾

# Kiso 105+2k CCD+4度プリズムによる 対物分光データの教材化. II



**西浦慎悟** 東京学芸大学・教育・理科

三戸洋之 東京大学・理・天文センター・木曾

伊藤信成 三重大学・教育・理科教育

山縣朋彦 文教大学・教育・学校教育・理科

濱部 勝 日本女子大学・理・数物科学

中田好一 東京大学

2003年度 観測実習中田班(東大・天文・3年生)

本研究は、学術振興会 学術研究助成基金助成金(26350193:代表者 伊藤信成、16K12750:代表者 西浦慎悟)の支援を受けています。心から感謝申し上げます。



# 1. はじめに ~ 高等学校教育における恒星スペクトル ~

## 現行の高等学校学習指導要領および同解説

### 【地学基礎】

- ・ 「太陽の表面の現象」でスペクトルを扱う
- ・ 恒星の進化過程で元素の生成に触れる

→ { 簡易分光器による太陽などのスペクトル観察  
吸収線、連続スペクトルと輝線スペクトルの理解

### 【地学】

- ・ 恒星の「性質」でスペクトル型を扱う

→ 太陽などの種々の光源のスペクトル観察による探求

- ・ コンピュータや情報通信ネットワークなどの適切な活用

→ 豊富なアーカイブ・データやVOシステム、充実した解析ソフトウェアなど、天文学との親和性が高い

次へ

## 観測データを用いた天文教材：

- 1980年代：図表を読み取る、または、データ点をプロットするだけの受動的な教材。→ 誰が行っても全く同じ結果
- 1990年代：公開天文台ネットワーク(PAONET)による天体画像公開。
- 2000年代：PAOFITS WGによる天体のFITS画像を用いた能動的な天文教材セットの開発。研究機関による研究体験イベントの実施。
- 21世紀：「誰もが容易に観測データに触れることができる時代」の到来。

## 本研究の目的：

- ・ 典型的な恒星スペクトルに関する教材の開発(意外と少ない)。
- ・ より本格的な研究体験のための「自習用」教材の開発。

生データからの  
画像解析

・ 『画像解析実習用FITSデータ集』  
様々な天体の広帯域B、V、Rc、Ic 撮像  
(西浦ほか, 2012, 東京学芸大学紀要, 64, 45)

これに分光データを加えることで、さらなる充実化を図る。

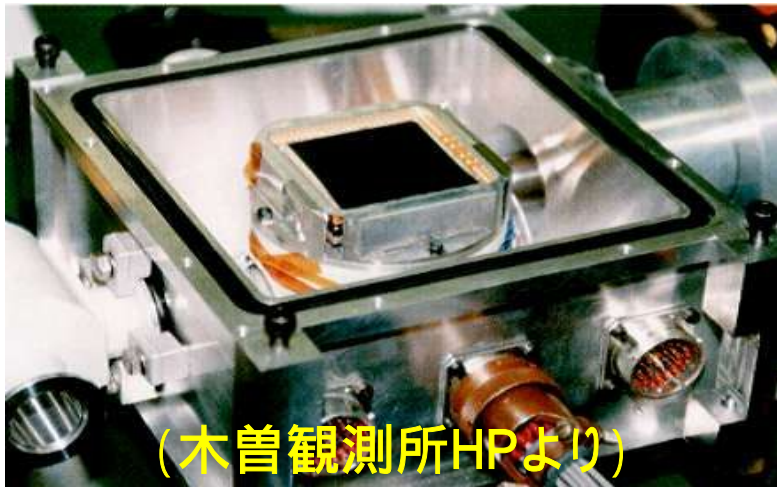
→ 今回は、データの波長較正・フラックス較正に関して報告する。



## 2. 観測機器



木曽105cmシュミット望遠鏡



(木曽観測所HPより)

2k CCDカメラ



4度対物プリズム

有効口径: 105 cm

視野 : 50' × 50'

ピクセル分解能: 1.5"/pixel

波長分解能: 170 /mm @H

700 /mm @H

1000 /mm @A-band

→ 有効口径世界第4位の  
広視野対物分光観測装置

次へ



### 3 . 観測、サンプル、画像解析

**観測期間:** 2000年07月04日/12月04 ~ 10日 (三戸、青木、樽沢)  
2001年07月23日 (2001年度 東大B3観測実習・中田班)  
2003年07月24日 (2003年度 東大B3観測実習・中田班)

#### 観測天体:

- ・ 比較的明るい**恒星**が中心に存在する**28天域**。教材には、2003年07月24日に取得され、スペクトル型が既知の恒星を多く含む4天域を使用。
- ・ 惑星状星雲、銀河、銀河群、クエーサーが存在する4天域

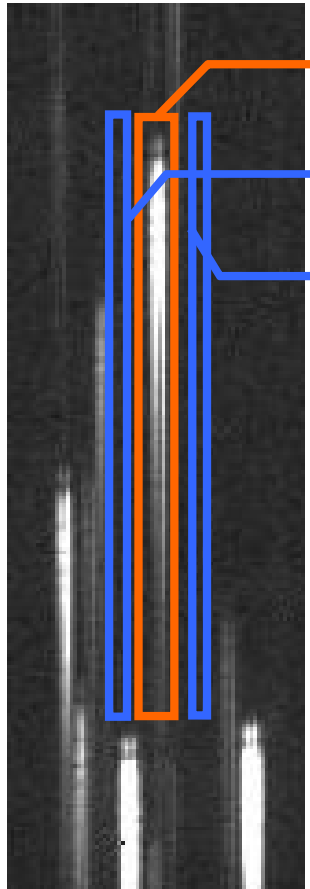
**観測:** フィルター**無し**、露光時間**1s-300s**、バイアス、  
ドームフラット(フィルターNONE)

**画像解析:** **マカリイ** (Horaguchi et al., 2006, ASP Conf. Ser., 351, 544) 使用  
リダクションは、典型的な手法(バイアス成分の除去、フラット・フィールドニング)による。  
フラット・フィールドニング以降は、スペクトルをテキスト・データ(CSVファイル)化し、表計算ソフト上で、背景光除去、波長較正、フラックス較正を行う。

次へ

# 背景光(スカイ)除去:

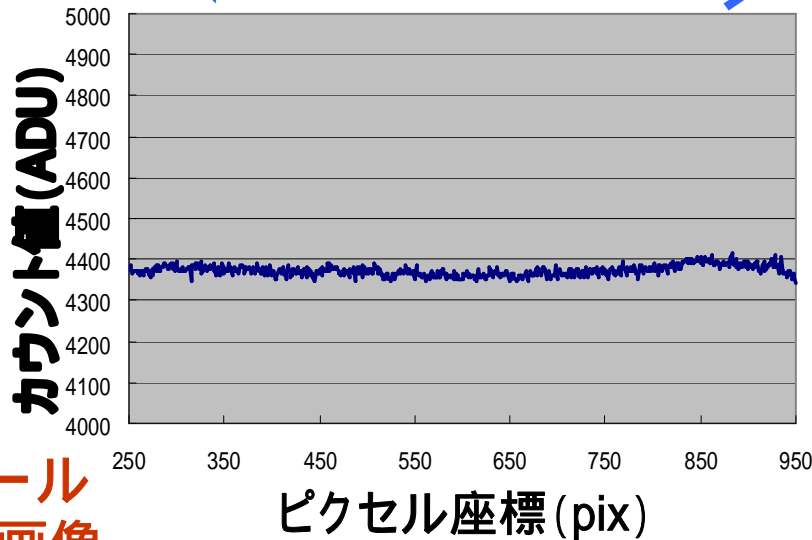
目標天体に隣接する領域を、背景光成分として、目標天体のスペクトルから差し引く。



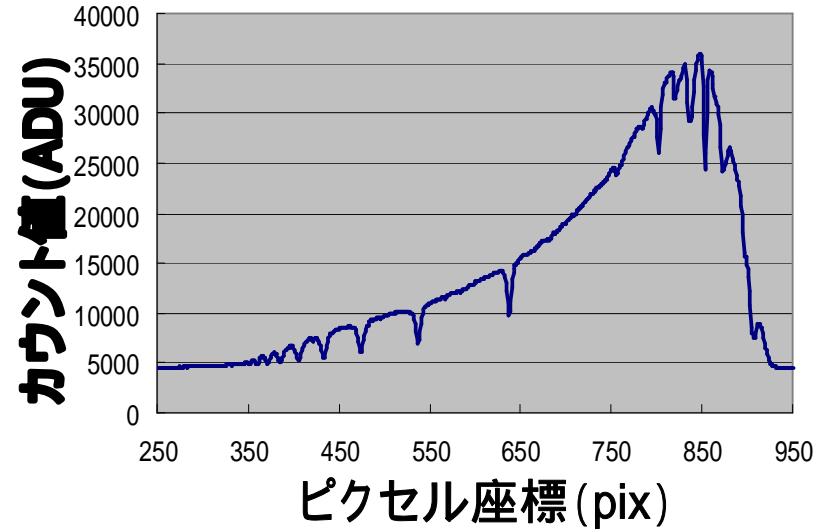
天体のスペクトル

背景光のスペクトル

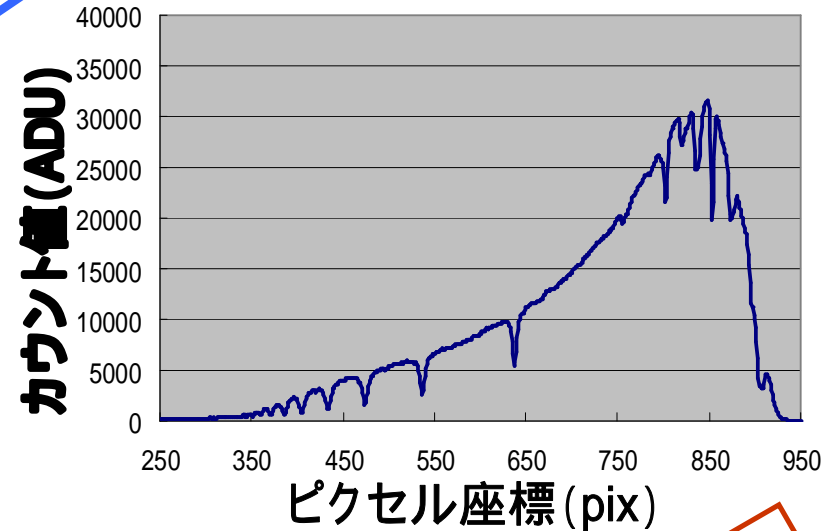
片方が両方の平均を背景光成分とする。



フラット・フィールド  
ディング済みの画像



背景光除去



左下へ

## 4. 波長較正の方法と精度

・ スペクトルの**波長** は、分散方向の**ピクセル座標  $z$**  を用いて、

$$\lambda^{-n} = a \times z + b$$

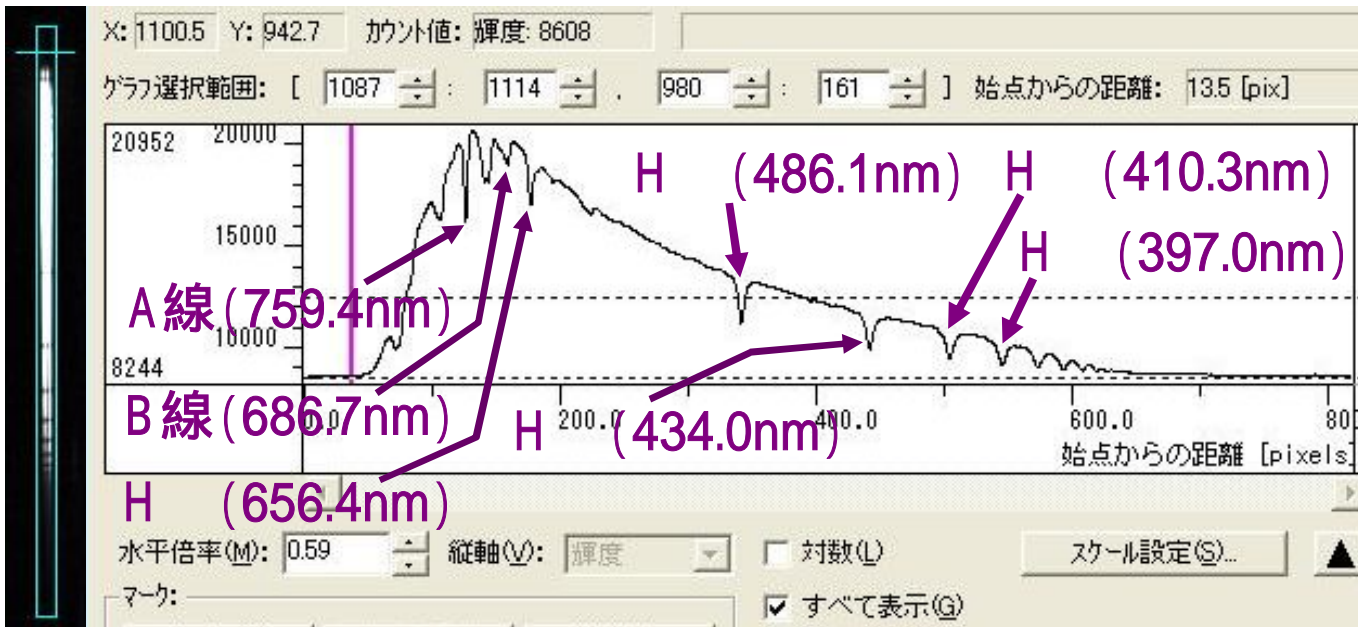
( $a, b, n$  = 定数で、 $n \sim 2-3$ )

と表すことができる。

・ 吸収線の位置は、カウント値が極小となるピクセル座標とし、**A線**をその**原点**とする。

(**疑問点**) ベキ  $n$  の値は、どの程度ばらつくのか？

波長決定の精度はどの程度か？

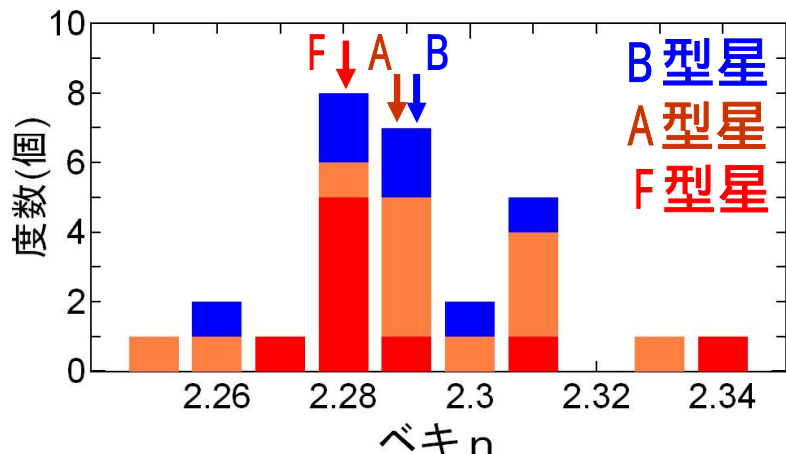


観測期間内に得られたB型星7個、A型星12個、F型星9個のスペクトルと、各々7本の吸収線(A線、B線、H、H、H、H、H)を用いて、分析と確認を行う。

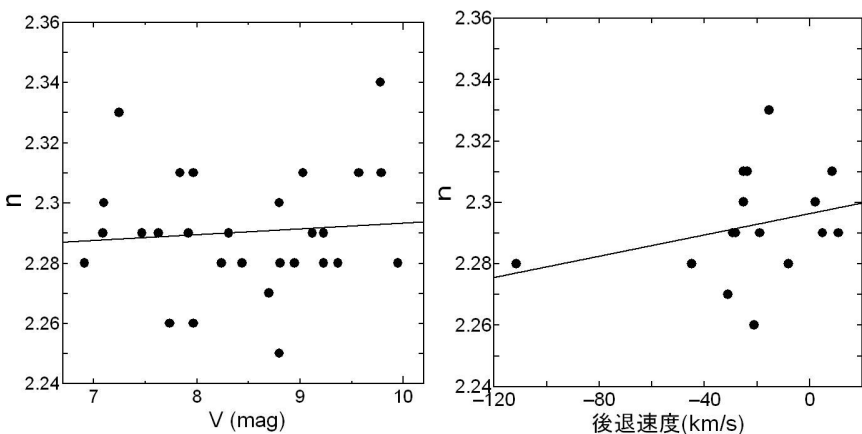
マカリイによるピクセル座標の原点と吸収線の同定

次へ

## 個々のスペクトルに対する フィッティングに関する調査:



ベキnの分布。矢印は各型での中央値。



ベキnと、左) 見かけのV等級、  
右) 後退速度との相関図。

→ ベキnと、恒星のスペクトル型、見かけのV等級、後退速度は無関係。

## 波長較正方法の違いによる 波長決定精度の違い:

(方法1) 全28個の恒星スペクトルに対して、ベスト・フィットとなる a、b、n を用いる。

$$a = 2.090 \times 10^{-9}, b = 2.506 \times 10^{-7}, n = 2.29$$

(方法2) 個々の恒星に対して n = 2.29 として、a、b を導出する。

(方法3) 全28個の恒星スペクトルに対して、個別に a、b、n を導出する。

r.m.s.	方法1	方法2	方法3
全7吸収線	1.87nm ± 0.36	1.81nm ± 0.52	1.81nm ± 0.40
H	- 2.35nm ± 1.29	- 2.35nm ± 0.76	- 2.35nm ± 0.74
H	0.46nm ± 0.42	0.46nm ± 0.21	0.46nm ± 0.21

→ 波長較正方法による違いは殆ど無く、決定精度は波長分解能程度。

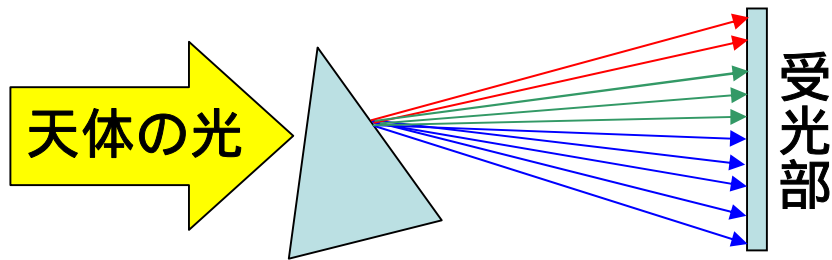
次へ



## 5. フラックス較正のための補正関数 ( ) の導出

対物分光では、長波長側で分散が低く、反対に短波長側で分散が高くなるため、分散の波長依存性の補正が必要。

波長較正の式より導出



対物分光の分散のイメージ

$$I = \frac{dI}{d} = \frac{dI}{dz} \frac{dz}{d} = I_z \frac{dz}{d}$$

単位波長あたり  
の光の強度
単位ピクセルあたり  
の光の強度 ( $I_z$ )

光学系の波長依存性やCCD感度の波長依存性に関する補正が必要。

上記 と はどちらも波長 のみの関数と考えられるため、真のスペクトル  $F$  が既知の天体に対して、観測で得られるスペクトル  $I$  との比 ( )、

$$F = ( ) I$$

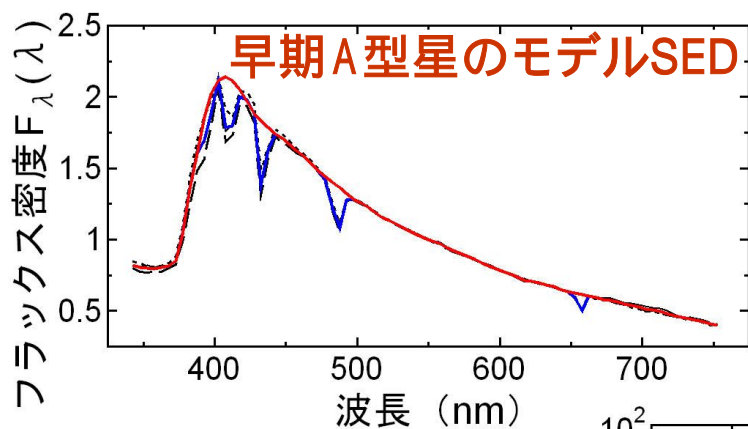
を用いて、分散・光学系・CCDの波長感度を同時に補正できる。

$F$  が既知の天体には、バルマー線が顕著な早期A型星を用いる。



## 真のスペクトルが既知の早期A型星:

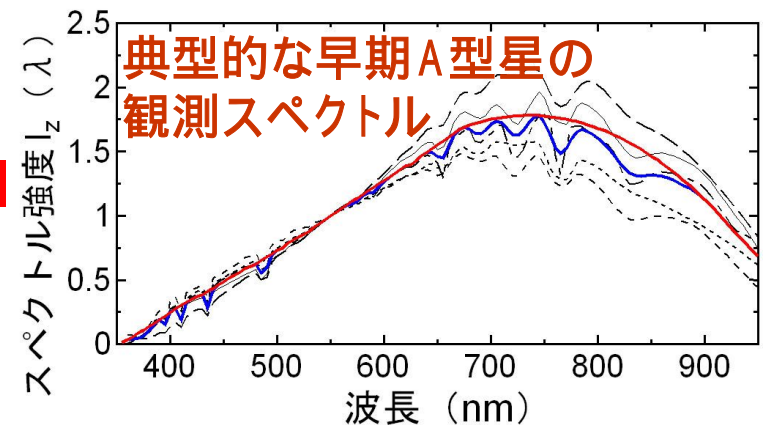
- Borisov et al. (1998, AAT, 17, 309) から、3つのA0-A2型星 (HD197573, HD209665, HD26141) のSEDを選出。  
→ 550nm のフラックス密度で規格化、平均、吸収線部を内挿して**早期A型星のモデルSED**を作成。



3つの黒線は各早期A型星のSED、青実線はその平均、赤実線は早期A型星のモデルSED。

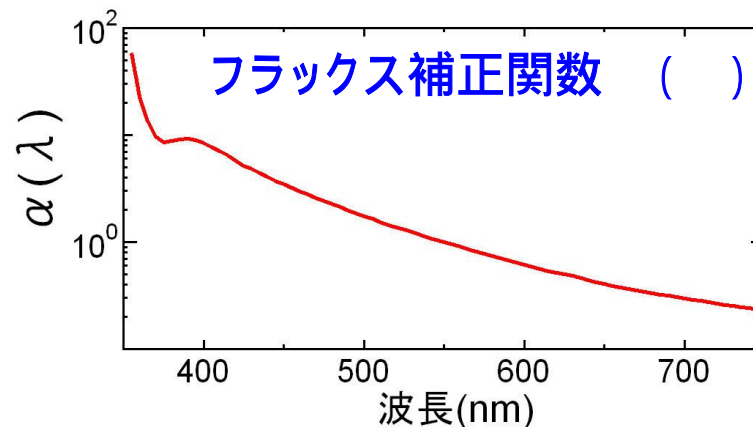
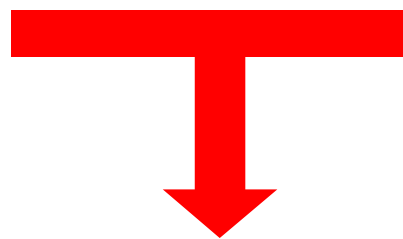
## 観測された早期A型星:

- 本観測で得られた5つのA0-A2型星 (HD23634, HD59889, HD182312, HD182991, HD191874)。  
→ モデルSEDと同様の処理により、**典型的な早期A型星の観測スペクトル**を作成。



5つの黒線は各早期A型星のスペクトル、青実線はその平均、赤実線は典型的な早期A型星の観測スペクトル。

$$(\quad) = F / I$$

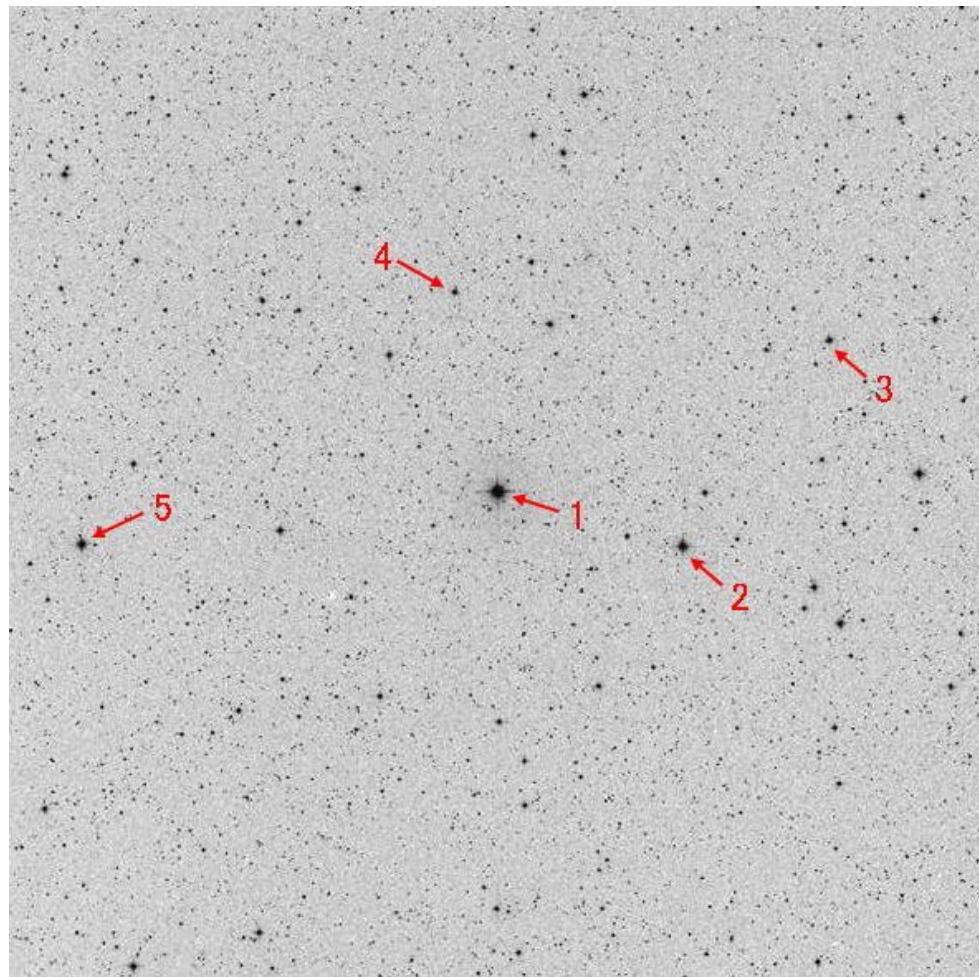
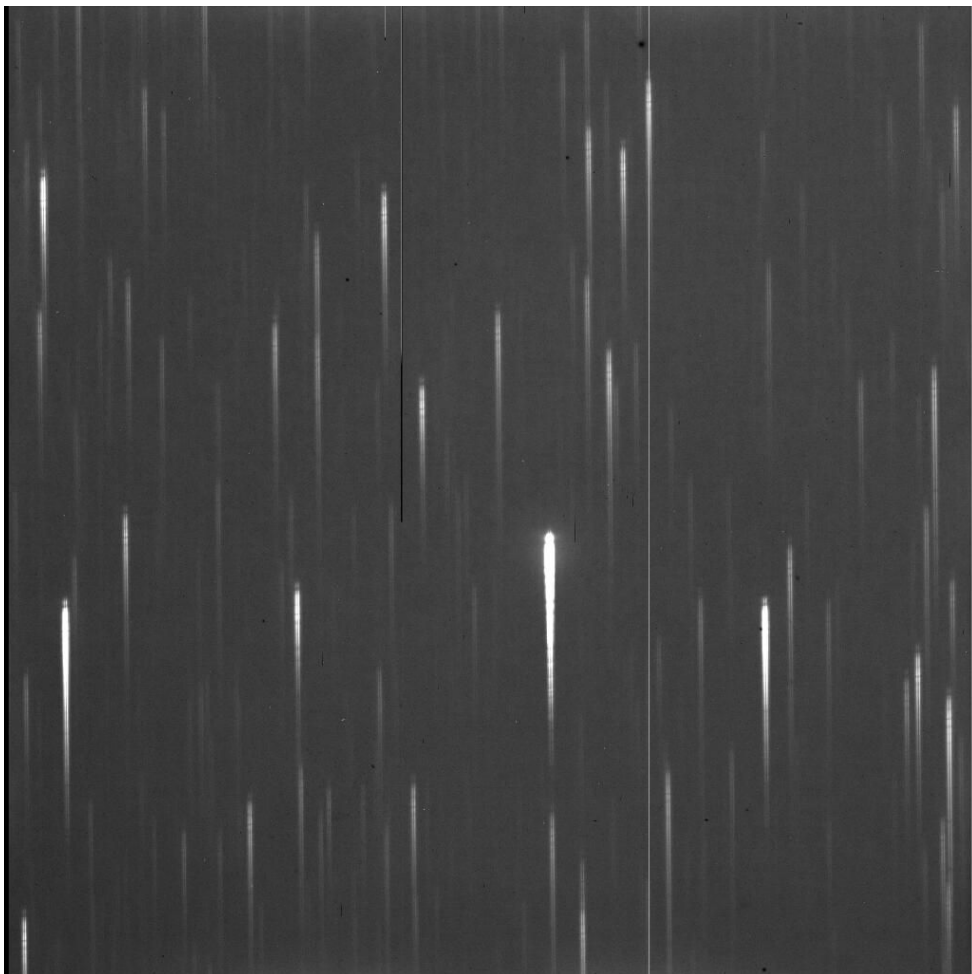


## 6. 実習用データの作成

### ・ HD159608領域

天体分類: M 2 III  
RA (2000) : 17h 34m 21.5s  
DEC (2000) : +29d 45m 46.4s

- 1: HD159608 (M2III)
- 2: BD+29 3047 (KO)
- 3: BD+30 3015 (A5)
- 4: TYC2087-255-1 (GOIV)
- 5: BD+29 3061 (G5)



(左)2kCCD+4度プリズム画像、(右)DSSから作成したFinding Chart。視野は約 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 、方角は上が北、左が東。スペクトル型はSIMBADより。

次へ

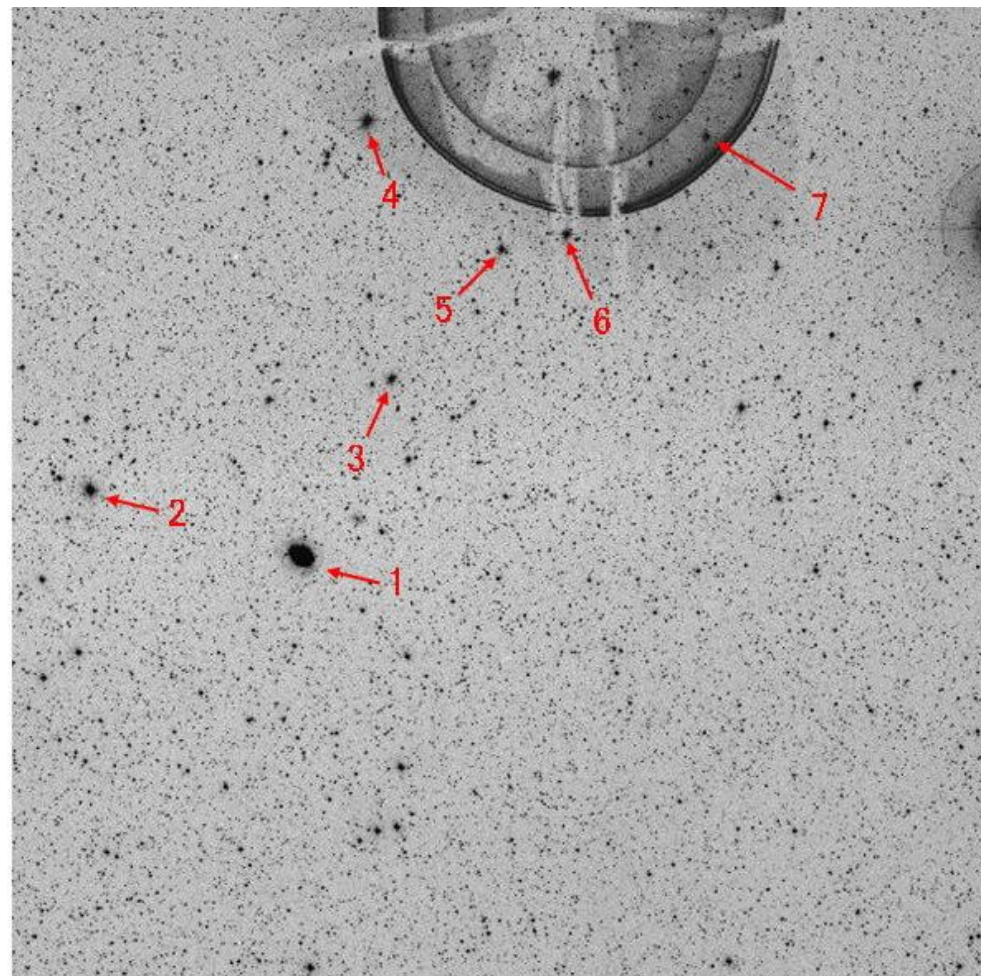
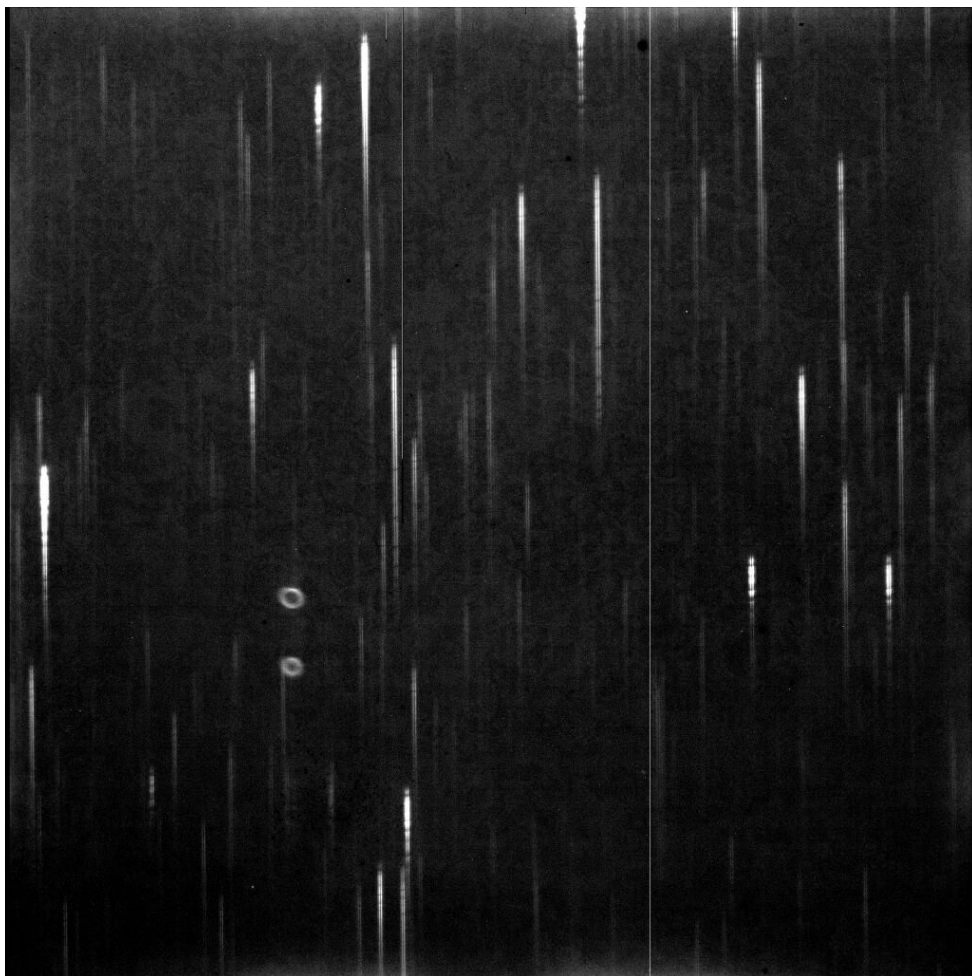


・ M 5 7 領域

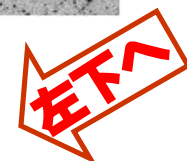
天体分類：  
PN

RA(2000) : 18h 53m 35.1s  
DEC(2000) : +33d 01m 45.0s

- |                 |                    |
|-----------------|--------------------|
| 1: M57 (PN)     | 3: HD175267 (AO)   |
| 2: HD175577 (M) | 4: HD175291 (K)    |
|                 | 5: BD+33 3243 (K2) |
|                 | 6: HD175082 (AO)   |
|                 | 7: BD+33 3236 (FO) |



(左)2kCCD+4度プリズム画像、(右)DSSから作成したFinding Chart。視野は約 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 、方角は上が北、左が東。スペクトル型はSIMBADより。

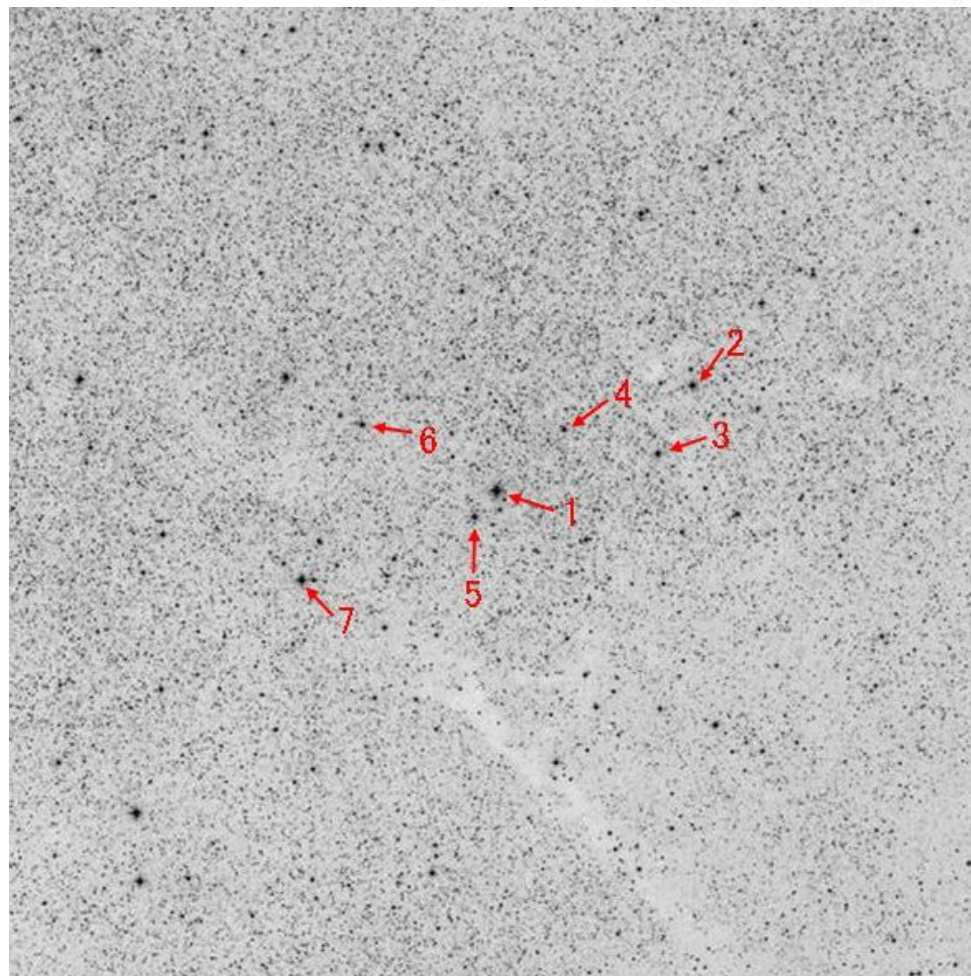
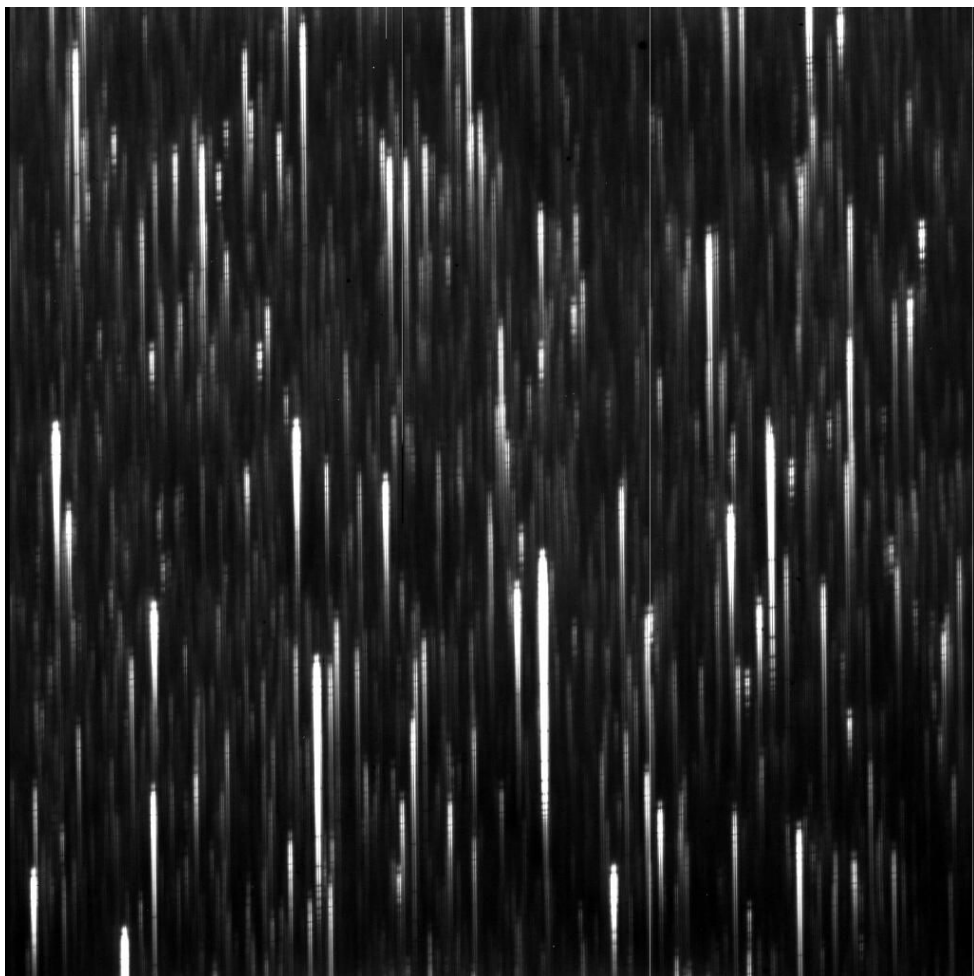




## ・ HD182489領域

天体分類: RA(2000) : 19h 24m 12.7s  
B 8 V DEC(2000) : +18d 44m 28.2s

- 1: HD182489 (B8V)
- 2: HD182312 (A2V)
- 3: HD350016 (G5V)
- 4: HD350015 (FOV) 6: HD350011 (K2V)
- 5: HD350014 (K5V) 7: HD231357 (FOV)



(左)2kCCD+4度プリズム画像、(右)DSSから作成したFinding Chart。視野は約 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 、方角は上が北、左が東。スペクトル型はSIMBADより。

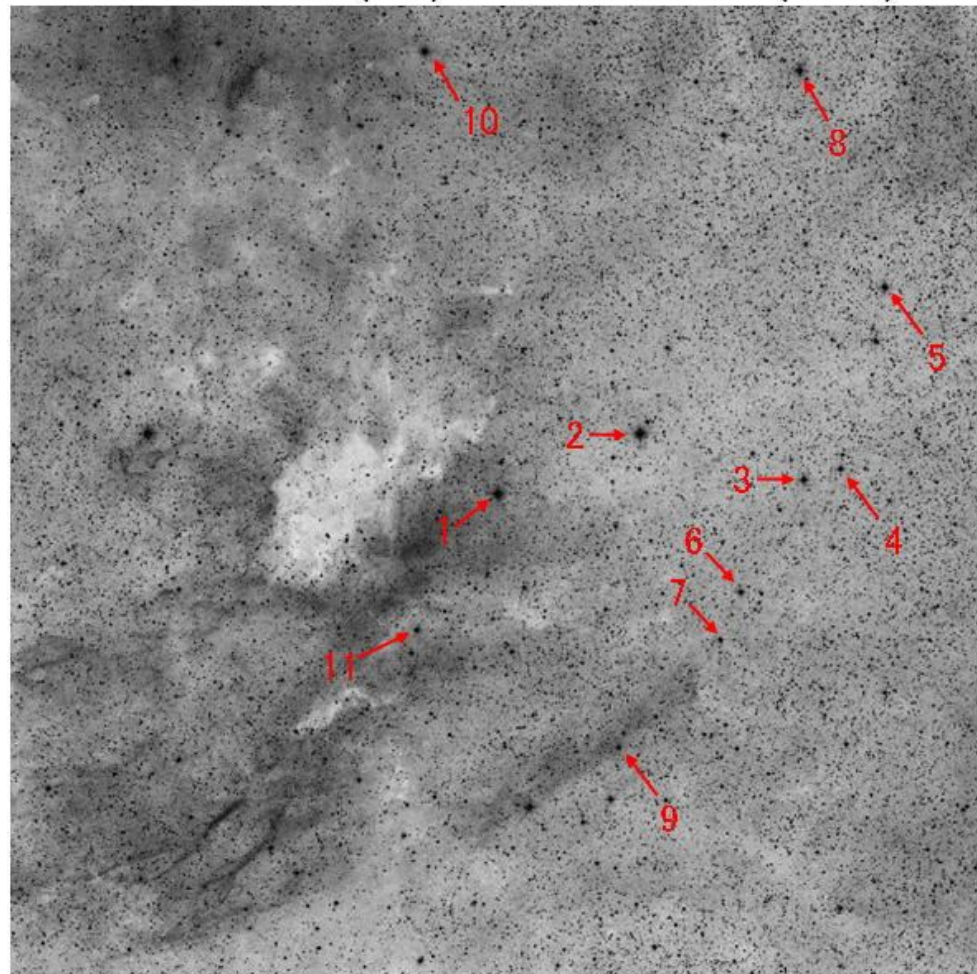
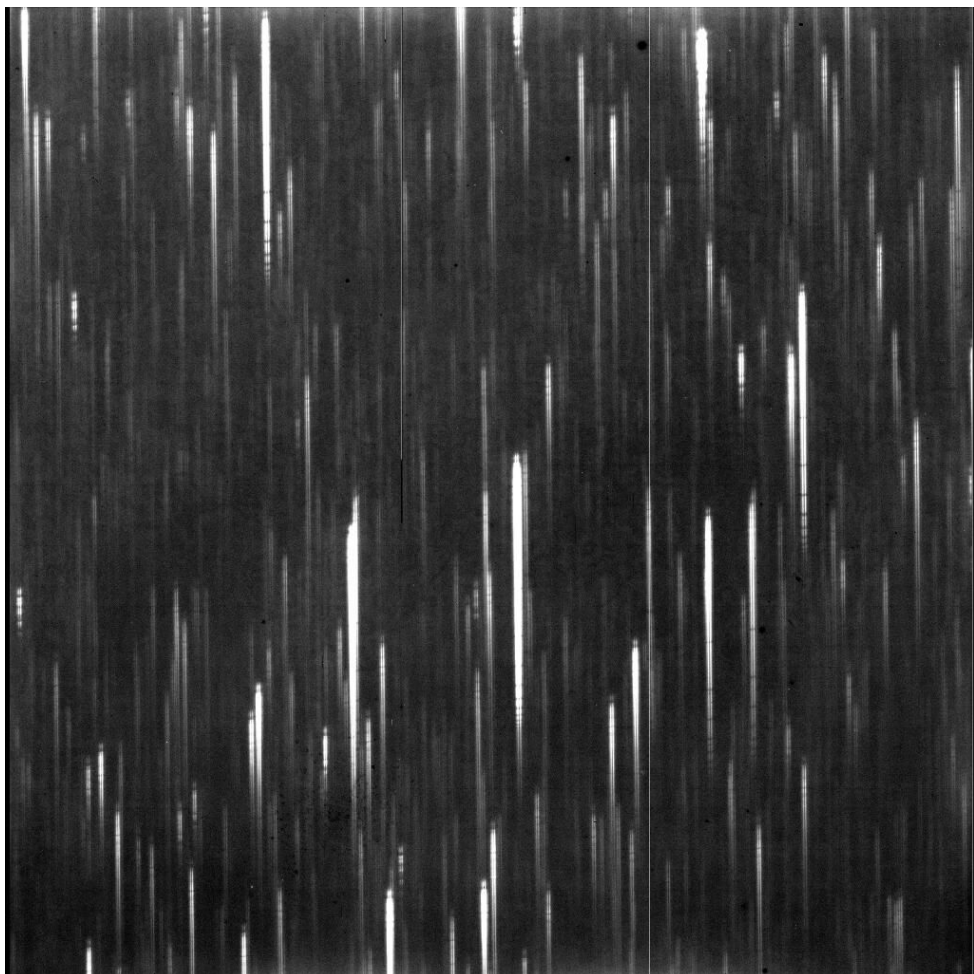




## ・ HD192281領域

天体分類: RA(2000) : 20h 12m 33.1s  
O5V DEC(2000) : +40d 16m 05.4s

- |                   |                      |
|-------------------|----------------------|
| 1: HD192281 (O5V) | 6: HD228197 (B8)     |
| 2: HD192143 (B9)  | 7: HD228227 (G5)     |
| 3: HD228160 (F0)  | 8: HD191964 (M)      |
| 4: HD228134 (B8)  | 9: HD228256 (Beq)    |
| 5: HD191874 (A0)  | 10: HD192381 (A0)    |
|                   | 11: HD228353 (A7Iab) |

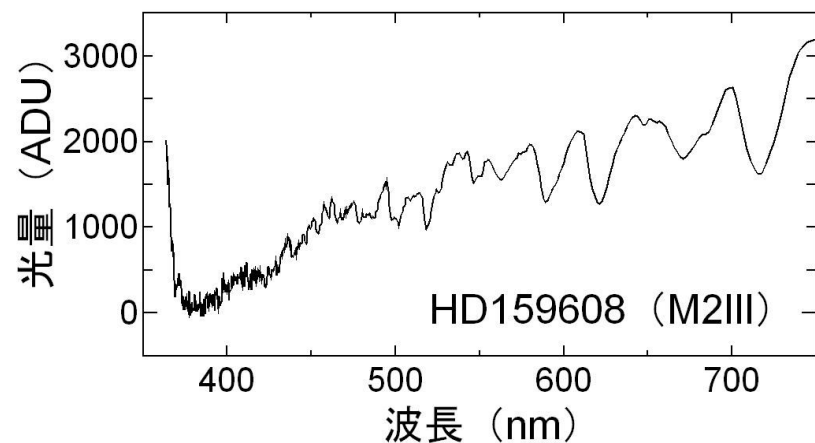
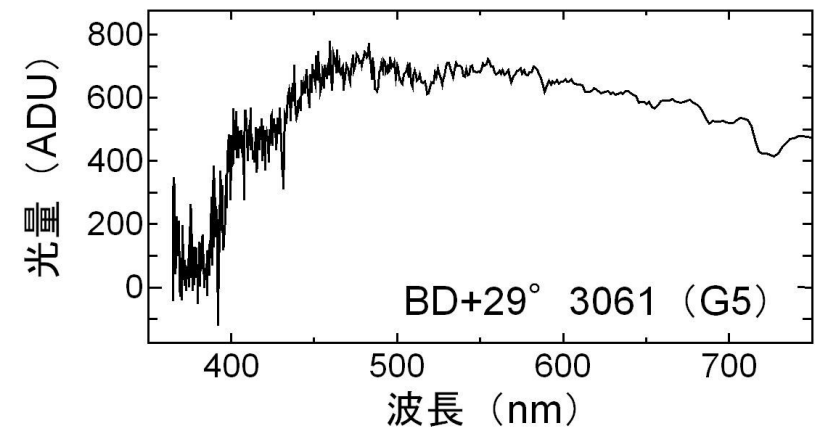
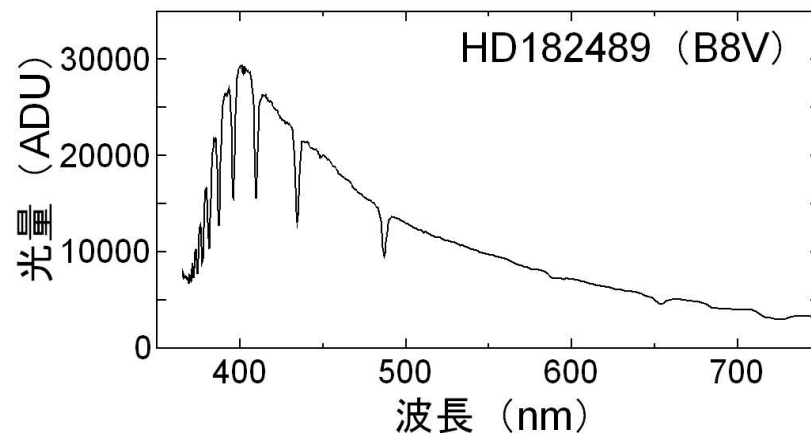
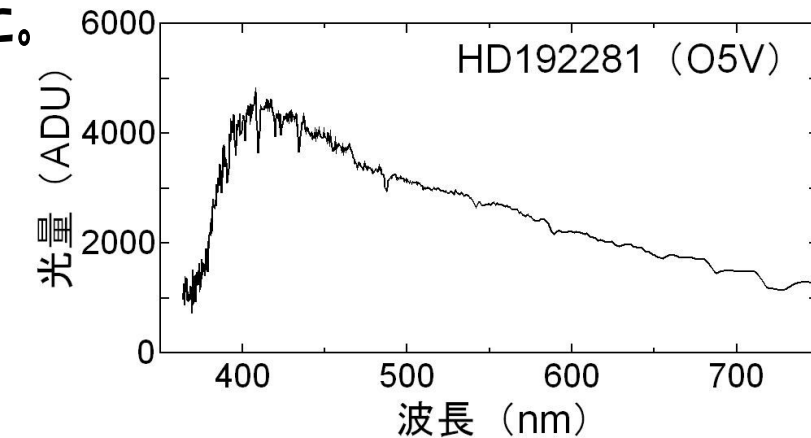


(左)2kCCD+4度プリズム画像、(右)DSSから作成したFinding Chart。視野は約 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 、方角は上が北、左が東。スペクトル型はSIMBADより。



## 7. 本教材から得られた恒星のスペクトル

本ポスターの方法に従ってリダクション、背景光除去を行い、「方法1」で波長較正、( )を用いてフラックス補正を行った。



暫定版WEBページ(本ページ最下部)にて、本教材を公開しております。皆様のアクセスをお待ちしております。

<http://astro.u-gakugei.ac.jp/~nishiura/edu/edu-fits.html>

最終頁