

# FU Ori型星 V960 Mon の分光観測

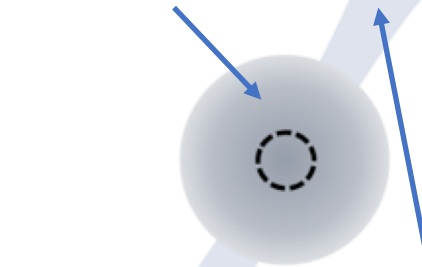
高木悠平（国立天文台）、本田敏志、高橋隼、  
伊藤洋一（兵庫県立大学）、新井彰（京都産業大学）、  
大朝由美子（埼玉大学）

# Young Stellar Object (YSO) の進化

Class I

原始星段階  
年齢:  $10^5$  yr

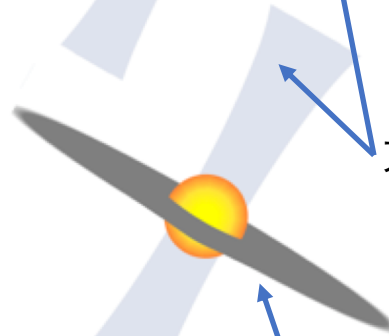
エンベロープ



Class II

≡古典的Tタウリ型星  
年齢:  $10^6$  yr

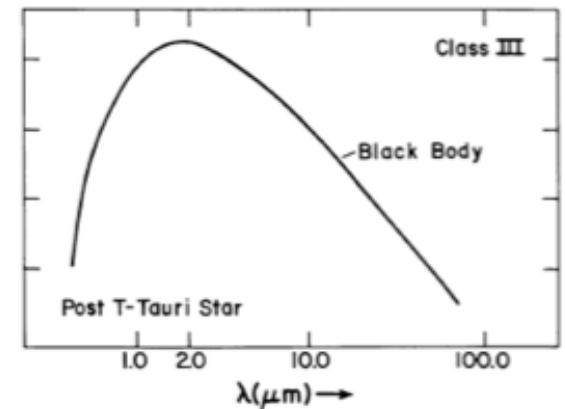
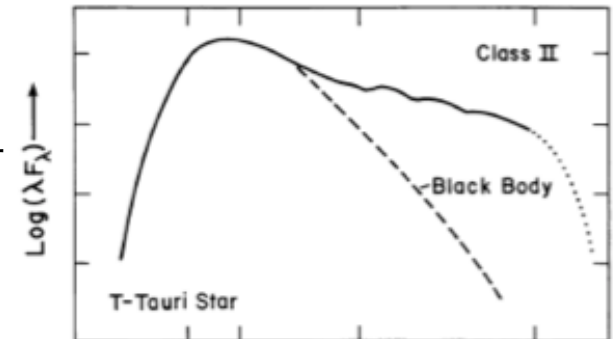
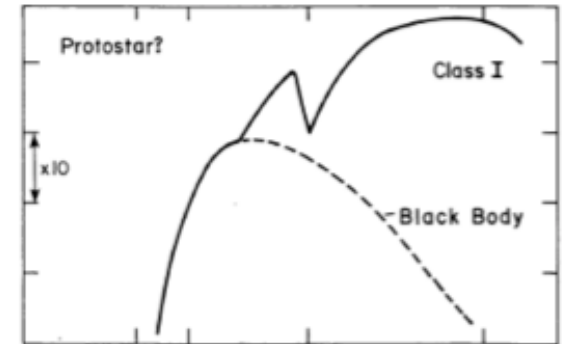
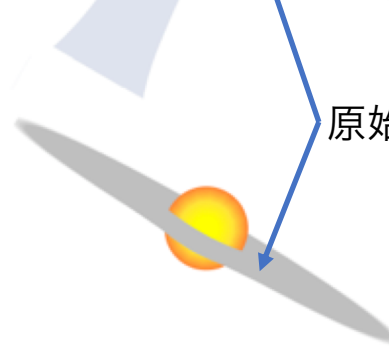
アウトフロー



Class III

≡弱輝線Tタウリ型星  
年齢:  $10^7$  yr

原始惑星系円盤



# FU Ori型星

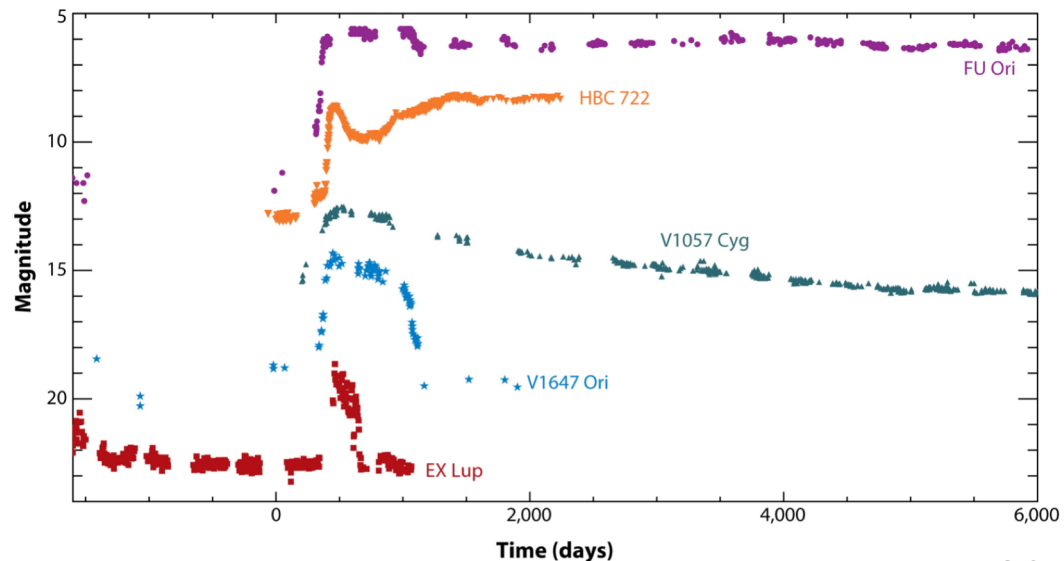
- Class I-II段階のYSOで起こるとされる～5mag程度の増光
- 原始惑星系円盤からの質量降着率の増大によって起こる

静穏期： $10^{-7} M_{\text{sun}}/\text{yr}$

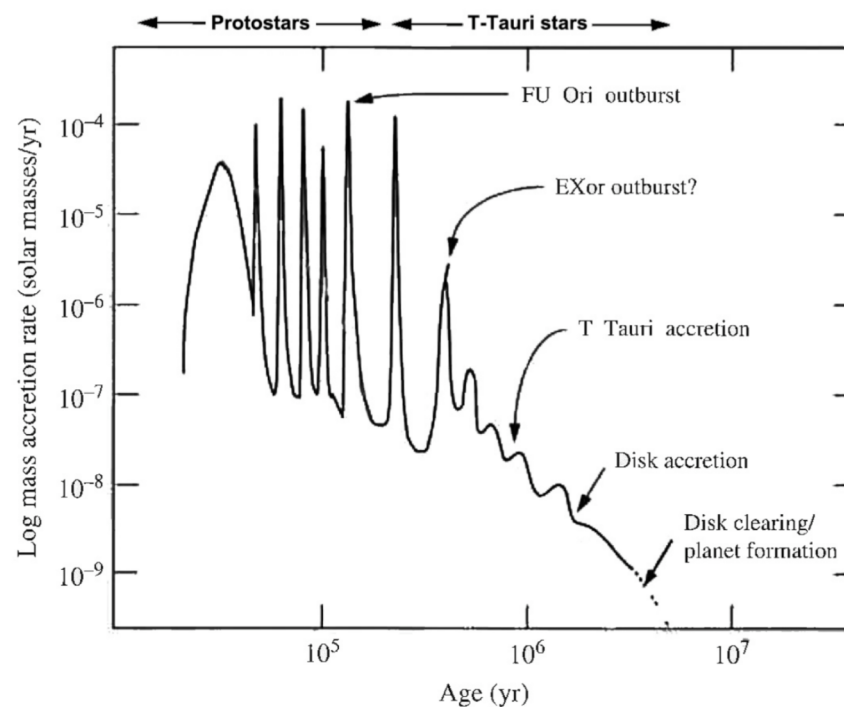
増光期： $10^{-4} M_{\text{sun}}/\text{yr}$

- FU Ori型星と確認された星は数10天体程度 (Audard+ 2014)
- 増光後に発見されるため、増光前の静穏期の情報がわかっている天体はほぼない

FU Ori型の増光はどのような星で起こる？  
そのメカニズムは？



Hartmann+ 2016



Hartmann+ 1998

# FU Ori型星のスペクトル

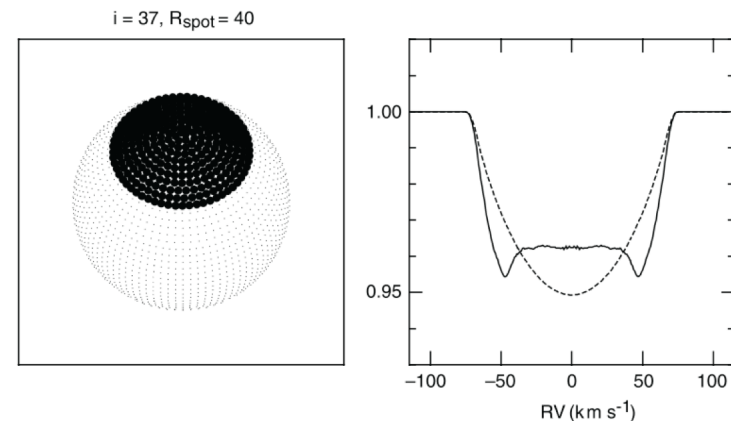
- 可視：G型超巨星に似ている
- 赤外：M型超巨星に似ている
- 吸収線プロファイル：boxy, ダブルピーク  
ダブルピークの間隔が長波長のほうが狭い？

- スペクトルから考えられる増光源

## 1. 温度勾配をもった円盤が光源 (Hartmann & Kenyon 1996)

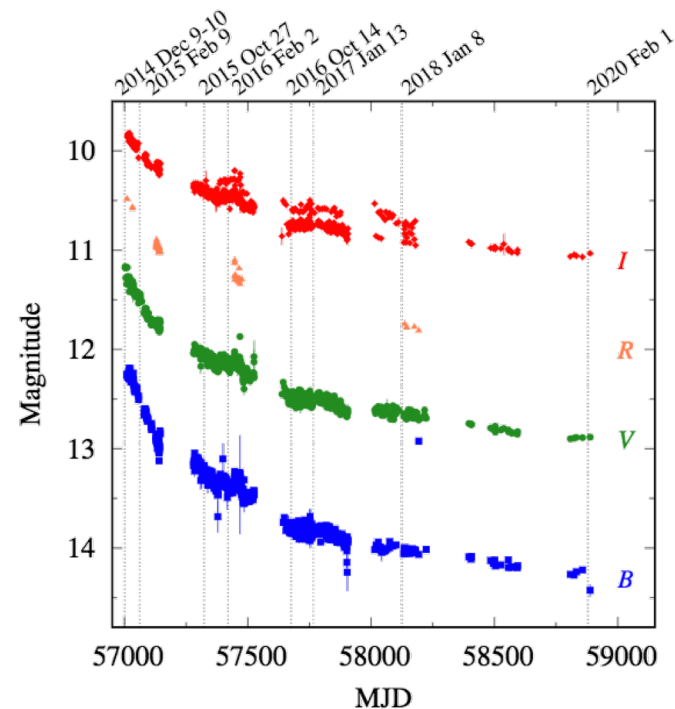


- ## 2. 極に巨大黒点を持つ高速自転する 中心星+冷たい円盤 (Petrov & Herbig 2008)



# V960 Mon

- 2014年11月に増光が確認された  
(Maehara+ 2014)
- 3magほど急激に増光したのち、緩やかに減光
- Pre-outburstのSEDは典型的なClass IIのYSO  
(Kospal+ 2015)



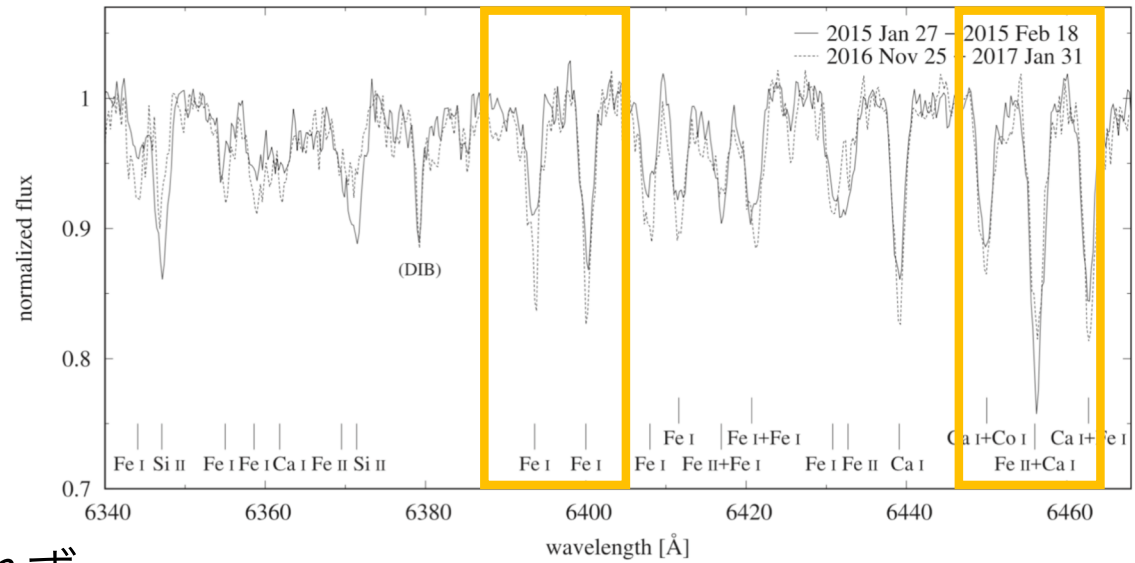
## 分光モニター観測

西はりま天文台なゆた望遠鏡と中低分散分光装置  
MALLSにて分光モニター観測を実施

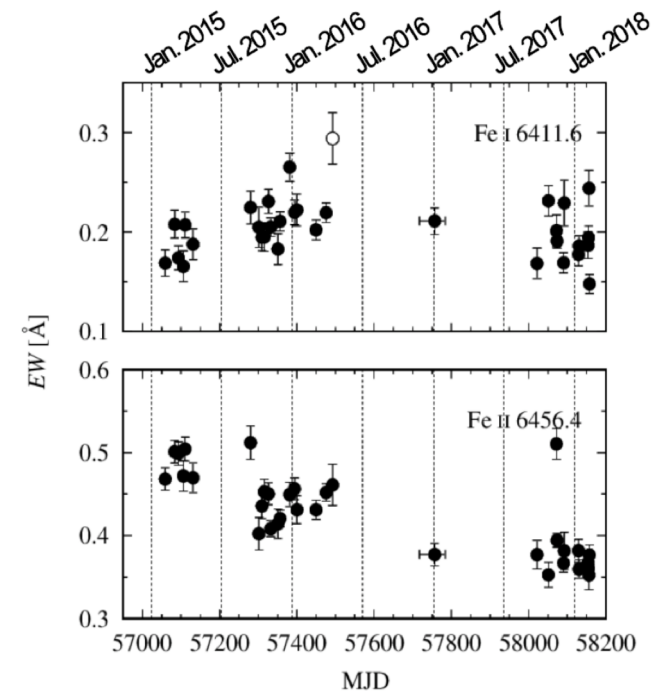
- 波長域：6300 – 6750Å
- 分解能：10000
- 観測日：2015年1月～2018年2月（計69夜）
- S/N： 15-135

# V960 Monスペクトル

- Fe I、Ca Iなどは深くなった
- Fe IIは浅くなった
- 等価幅
  - Fe IIは減少。
  - Fe Iなどは有意な変動がみられず。



- 等価幅変動から示唆される変化 (Takagi et al. 2018)
  - 質量降着率の減少に伴う有効温度の低下?
    - 光度の変動と一致
  - 表面重力が増加?
    - 円盤の鉛直方向の進化を示唆
- 吸収プロファイルの変化
  - 2016年後半ごろから吸収プロファイルの裾が広がっているような兆候があるが、分解能不足で検証できず



# V960 Mon 高分散分光観測

## - すばる / HDS

- 観測日 : 2018年1月8日、  
2020年2月1日
  - 波長域 : 5850 – 8550Å
  - 波長分解能 : 80000
  - S/N : 125 - 200
- 
- Keck / HIRES (Archive)
  - 2014年12月9-10日
  - 2015年2月9日
  - 2015年10月27日
  - 2016年2月2日
  - 2016年10月14日
  - 2017年1月13日 (計7夜)
  - 波長分解能 : 48000~72000
  - S/N : 70~140

Line	Wavelength (Å)	L.E.P. (eV)	log <i>gf</i>	Ref. <sup>a</sup>
Ba II	5853.7	0.604	-0.908	1
Fe I	5934.7	3.929	-1.12	1
Fe II	5991.4	3.153	-3.6	1
Fe I	6003.0	3.882	-1.120	2
Ca I	6122.2	1.886	-0.315	1
Fe I	6265.1	2.176	-2.550	1
Si II	6347.1	8.121	0.149	1
Fe I	6393.6	2.433	-1.576	1
Fe I	6411.6	3.654	-0.718	1
Ca I	6439.1	2.526	0.47	1
Ca I	6471.7	2.526	-0.59	1
Fe I	6546.2	2.759	-1.536	1
Ni I	7555.6	3.847	-0.046	2
Fe I	7568.9	4.283	-0.882	2
Ni I	7727.6	3.678	-0.16	1
Fe I	7937.1	4.312	0.152	2

<sup>a</sup>References. (1) [Kramida et al. \(2018\)](#); (2) [Kurucz \(1993\)](#)

観測波長域内でblendがない  
吸収線

# V960 Mon 高分散分光観測

## Fe I、Ca Iなどの吸収線

- 減光とともに吸収プロファイルが変化
- narrow成分は中心星、broad成分は円盤由来か
- 減光とともに中心星フラックスと円盤フラックスの割合が変化？

モデルスペクトルを作成し、Fe IやCa Iのラインプロファイルを再現

$$I = I_{star} + kI_{disk}$$

- $I_{star}$  : 大気モデルからスペクトルを作成
  - $\log g=3.5$ , 微小乱流速度=1.6km/s, 金属量は太陽程度で固定
  - $T_{eff}$ を4500Kから7000Kまで500K刻みで変化させる
- $I_{disk}$  : 2014年12月の観測スペクトル  
(円盤成分のみで支配されていると仮定)
- $k$  : 中心星フラックスと円盤フラックスの比から算出



# V960 Mon 高分散分光観測

## モデルフィッティングの結果

- いずれの吸収線でも、5500Kのときもっともよく観測スペクトルを再現する。
- 2016年、2018年、2020年のすべての観測スペクトルで、5500–6000Kの中心星スペクトルがよく合う
- 「5500Kの中心星」は、pre-outburstのフラックスとSEDをよく再現する
  - ・ 距離1.6kpc (Gaia DR2)
  - ・ Iバンドでの減光：1.25mag
  - ・ 年齢：0.8–0.9 Myr

# V960 Mon 高分散分光観測

## Fe II、 Si IIの吸収線

- 減光とともに浅くなる
  - 吸収プロファイル変動はみられない
  - 円盤大気の状態の変化を反映？
- 
- Fe IIとSi II の等価幅比を利用し、円盤大気の変動を算出
  - 等価幅比の変化は円盤大気の有効温度の低下を示す
  - これは質量降着率の低下を示唆し (e.g., Kenyon 1988) 、徐々に減光したことも一致する

# まとめ

## 分光観測から示されるFU Ori型星V960 Monのアウトバーストの様子

Takagi+ submitted

- 質量降着率の増大により円盤が増光
- アウトバースト初期の観測スペクトルは円盤成分で支配されている
- 明るさが徐々に減少する（＝円盤大気成分が減少する）につれ、観測スペクトルに中心星成分が現れ始める
  - Fe IIとSi II の等価幅の変化は円盤大気の変動を示す（約1000K低下）
  - Fe Iなどは円盤大気と中心星の両成分の和となっていて、モデルスペクトルから中心星が5500Kであると予想される。