

ブラックホールX線連星MAXI J1820+070の  
再増光期における多波長観測

MULTIWAVELENGTH STUDY OF THE  
BLACK HOLE X-RAY BINARY MAXI  
J1820+070 IN THE  
REBRIGHTENING PHASE

OISTER Workshop 2024/3/8

京都大学 博士3年 吉武知紘

共同研究者 上田佳宏 志達めぐみ

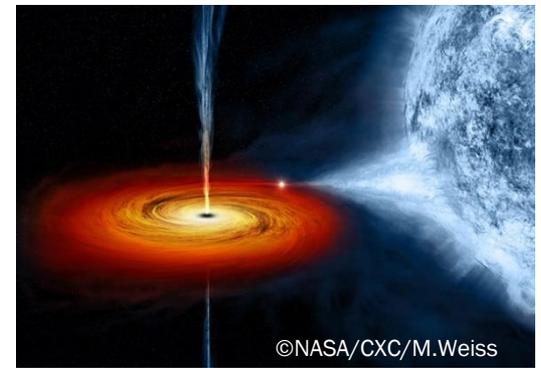
Yoshitake+2024

“Evolution of Accretion Disk Structure  
of the Black Hole X-ray Binary MAXI  
J1820+070 during the Rebrightening  
Phase”

# INTRODUCTION

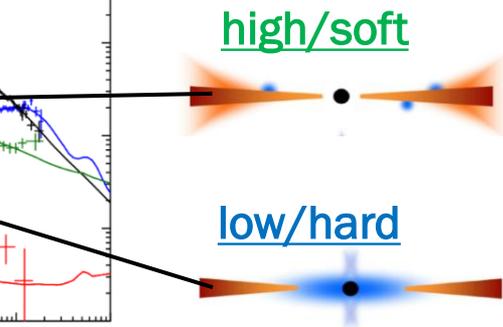
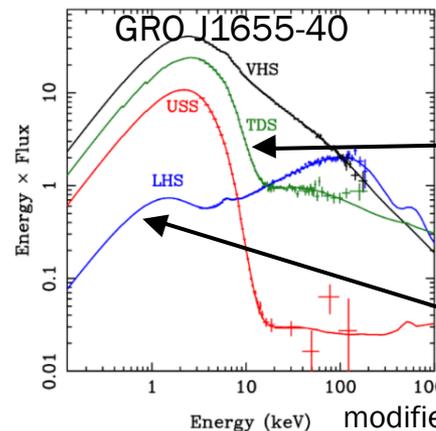
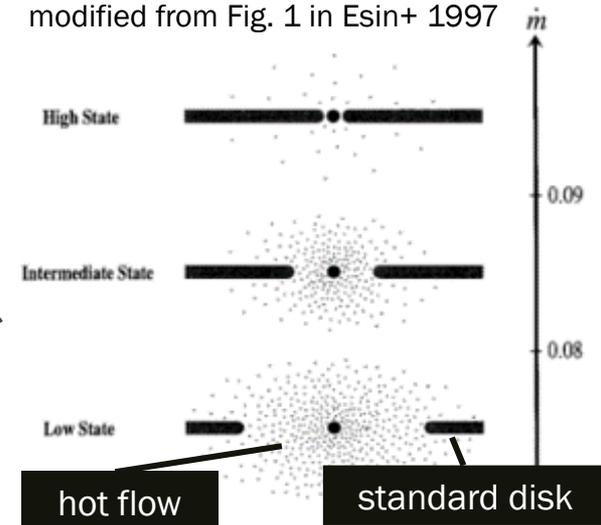


# ブラックホールX線連星 (Black Hole X-ray Binaries; BHXBs)



- ▶ ブラックホールを含む連星系
  - ▶ X線放射: コンプトンや中央からの円盤放射
  - ▶ 可視: 外側円盤放射やジェット、伴星放射
- ▶ 質量降着率に応じて、光度やスペクトラムの形状、円盤の形が変化 (Esin+ 1997, Done+2007)
  - ▶ **low/hard** 状態: ベキ関数
  - ▶ **high/soft** 状態: 多色円盤モデル (Multi-Color Disk; MCD)

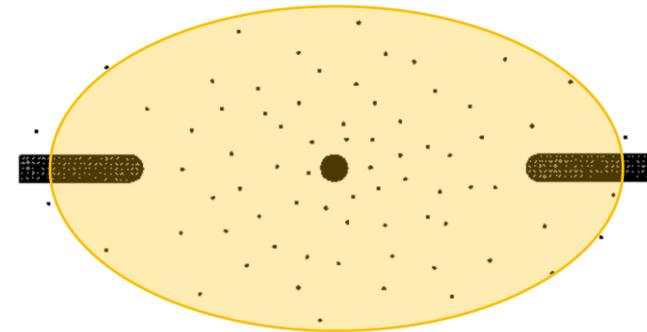
modified from Fig. 1 in Esin+ 1997



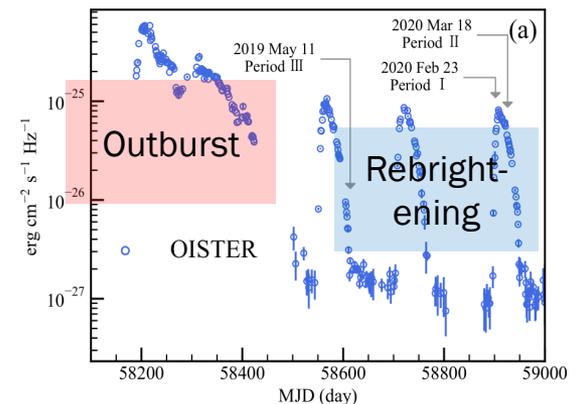
modified from Fig. 9 in Done+ 2007

# ブラックホールX線連星 (Black Hole X-ray Binaries; BHXBs)

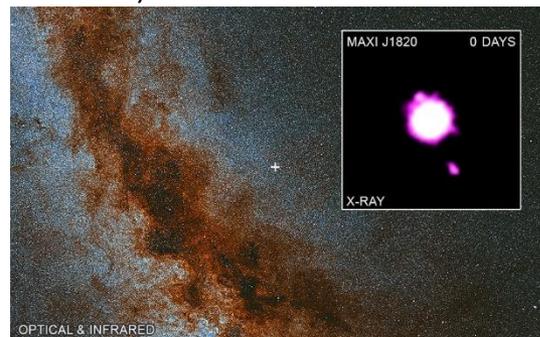
- Radiative Inefficient Accretion Flow (RIAF) :  
low/hard状態の降着円盤は  
最内安定円軌道 (innermost  
stable circular orbit; ISCO)より外側で  
途切れることがある
  - 内側は低密度の*hot flow (RIAF)*で  
置き換えられる
  - 質量降着率が小さくなるほど  
遷移半径は大きくなる
- BHXBsは**突発天体**
  - アウトバーストの後、再増光  
(Rebrightening)をしばしば伴う



modified from Esin+1997 Fig.1



# MAXI J1820+070



- 銀河系内のBHXB (=ASASSN-18ey)
  - 近い:  $\sim 3$  kpc (*Gandhi+ 2019*)
  - $M_{\text{BH}} \sim 7M_{\odot}$ , 傾斜角  $\sim 70^{\circ}$  (*Torres+ 2020*)

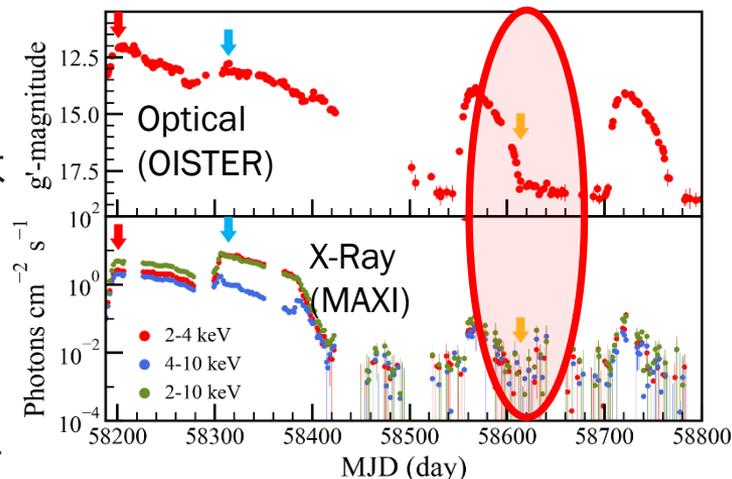
- 過去のアウトバーストと比較して、

2019/5/11の観測データは

**可視とX線の光度比が  
とても大きい**

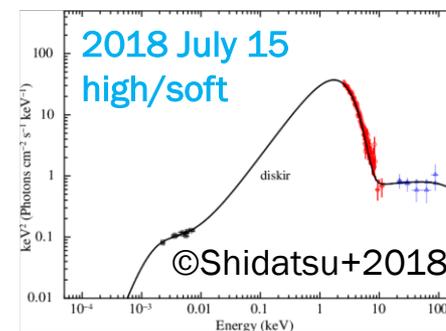
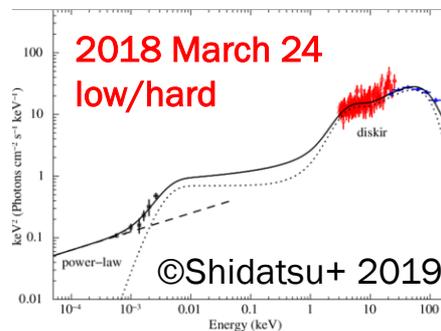
**→特異なlow/hard状態?**

- Yoshitake+2022では  
2019/5/11の観測データに  
ついて詳細に調べた



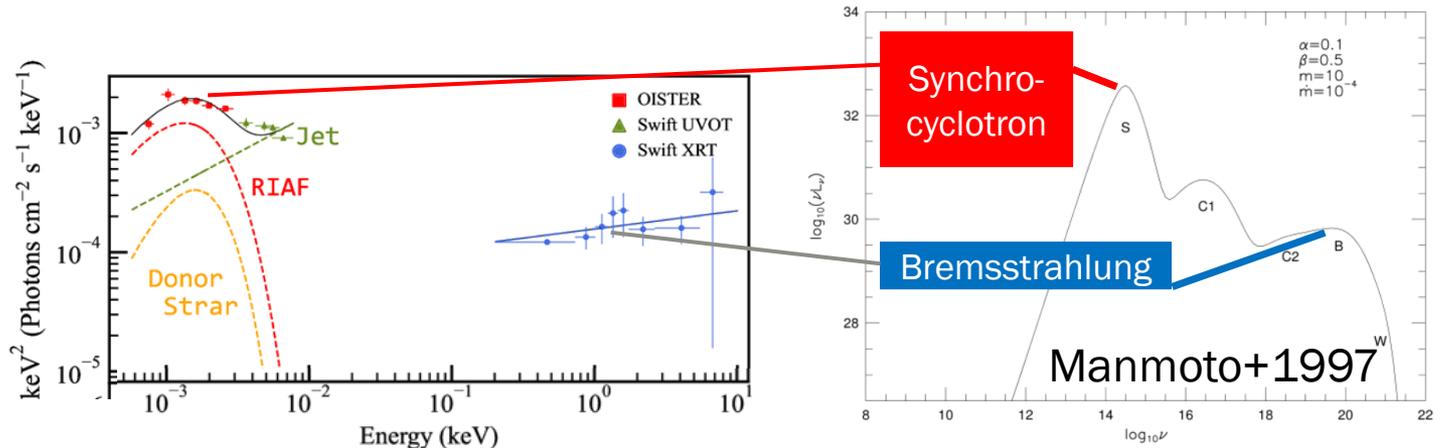
Previous observations  
 ■ 2018 March 24  
 ■ 2018 July 15

Optical spectroscopy  
 (Seimej/KOOLS)  
 ■ 2019 May 11

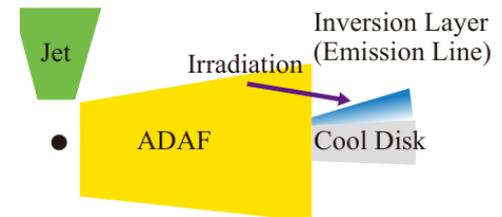


# Yoshitake+2022の結果 (ざっくりと)

- 2019/5/11の観測SEDでは、RIAFにおけるシンクロサイクロトロンが可視の領域で支配的なRIAFモデルを検証した
  - **理論計算**(Manmoto+1997)にScaling Lawを適用して、ピーク的位置や光度の違いを織り込むことで、**RIAFモデルの無矛盾**と他のモデルの矛盾を導いた

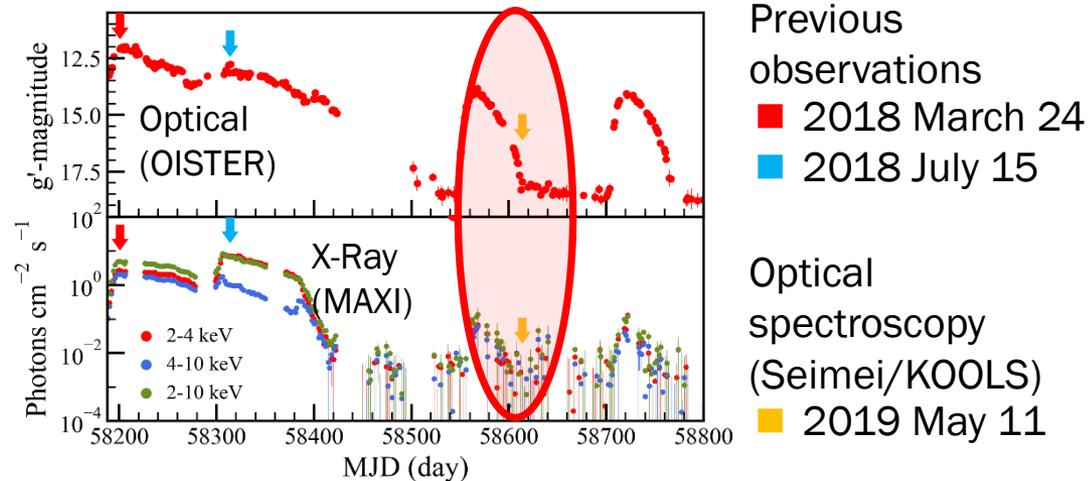


- せいめいの可視分光スペクトルのH $\alpha$ 輝線の放射領域が  $R_{in} \sim 10^5 r_g$  と評価されたが、RIAFがその半径まで伸びているとするとH $\alpha$ 輝線が放射されるには高温すぎる  
**➡RIAFの外側には冷たい物質が広がっている**



# Yoshitake+2024の目的

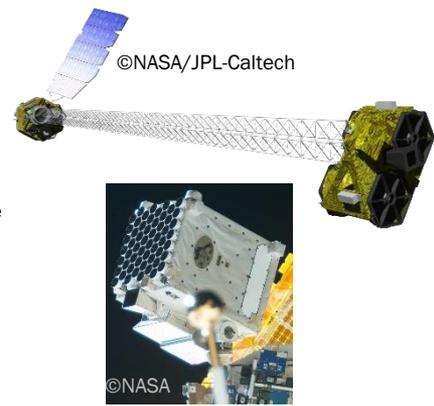
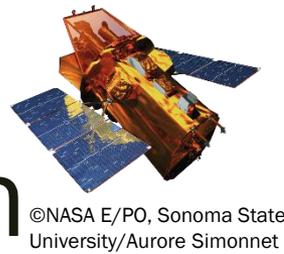
- 特異なlow/hard状態である2019/5/11のSEDはRIAFモデルで説明される  
➡では、普通のhigh/softやlow/hard状態から、**円盤はどのようにRIAFモデルへと進化していくのか**



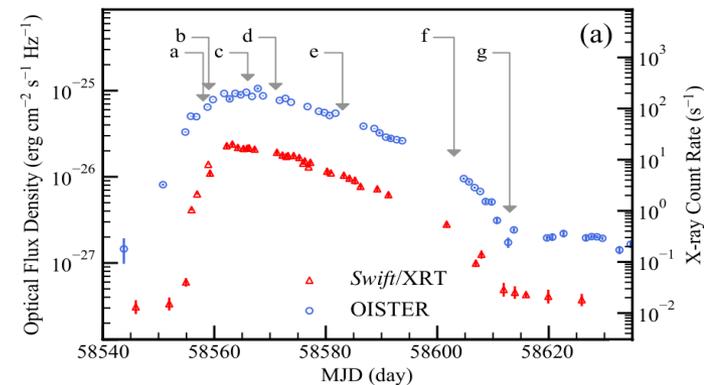
OBSERVATIONS



# Multiwavelength



- Date: 2019/3/16から2019/5/13の  
**8個の準同時観測**  
(Epoch a-g)
- Swift / XRT (X-ray), UVOT(UV)
- NuSTAR (X-ray)
- NICER (X-ray)
- **OISTER** (Optical, NIR)
- Las Cumbres Observatory (LCO)  
(Optical)

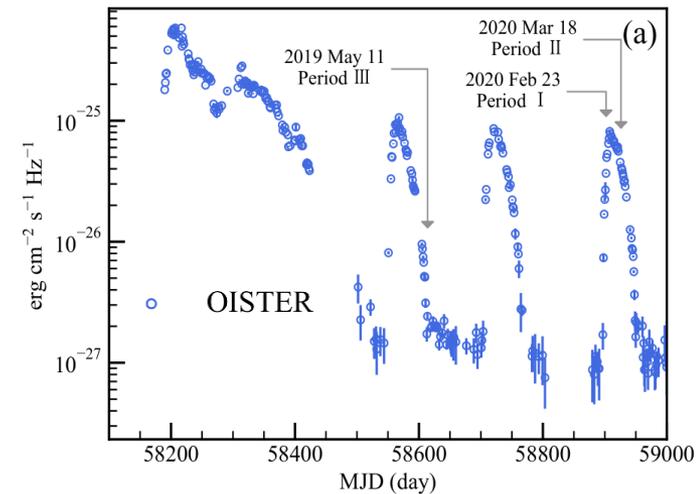


# 可視分光: せいめい望遠鏡

- 京都大学岡山天文台  
3.8 m せいめい望遠鏡
  - *Kyoto Okayama Optical Low-dispersion Spectrograph with an integral field unit (KOOLS-IFU)*
  - *VPH-blue (4000-8900 Å)*
- Date: 2019/5/11,  
2020/2/23,  
2020/3/18
- 可視分光



[https://www.kwasan.kyoto-u.ac.jp/general/facilities/okayama/seimei\\_tel/](https://www.kwasan.kyoto-u.ac.jp/general/facilities/okayama/seimei_tel/)

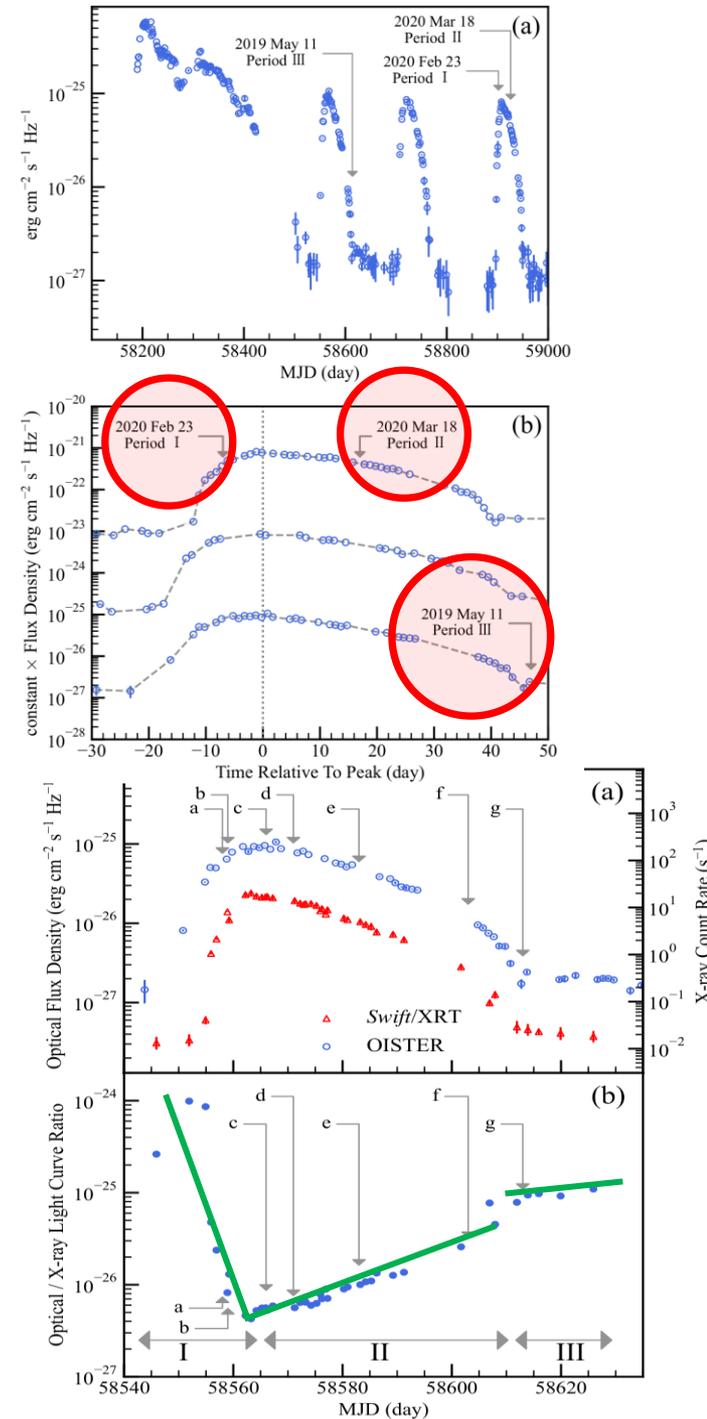


ANALYSIS



# 長期ライトカーブ

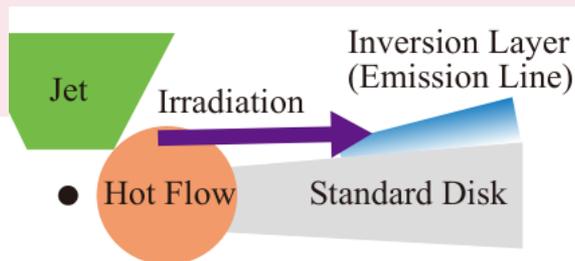
- 再増光期におけるライトカーブは、**とても似た形状**をしている  
 ➔2020年のせいめいでの観測を**ピークとのずれを基準にして**2019年の観測と比較した
- 可視とXの光度比グラフの変化に着目して、2019年の再増光期を3つの期間に分割した
  - *Period I (rise)*  
激しい右肩下がり
  - *Period II (decay)*  
ゆるやかな右肩上がり
  - *Period III (dim)*  
不連続な飛びの後、ほぼ一定



# Multiwavelength SED Model

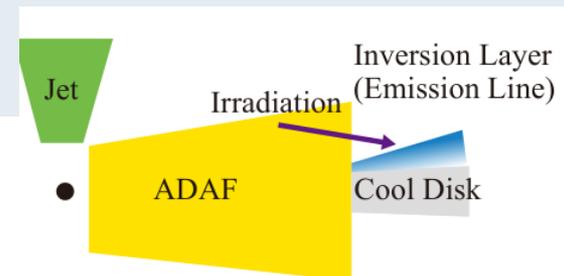
## ■ Period I, II: Diskir

- 標準円盤放射(MCD) が近赤外から紫外にかけて支配的で、そのコンプトン散乱がX線で見られる → **diskir**
- Jetジェットシンクロトロン放射とRIAFにおけるコンプトン成分 → **powerlaw**
- **DISKIR** + **Jet** + **Donor Star**  
**diskir** + **powerlaw** + **bbodyrad**



## ■ Period III: RIAF (Yoshitake+2022と同じ)

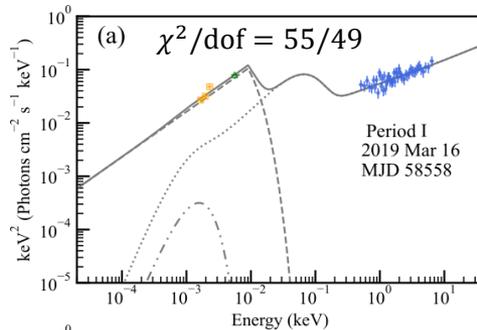
- RIAFにおけるシンクロサイクロトロン放射が支配的で、そのスペクトルは近赤外から紫外にピークを持つ (Manmoto+1997) → **cutoffpl**
- Jetジェットシンクロトロン放射とRIAFにおけるコンプトン成分 → **powerlaw**
- **RIAF** + **Jet** + **Donor Star** + **Compton cutoffpl** + **powerlaw** + **bbodyrad** + **powerlaw**



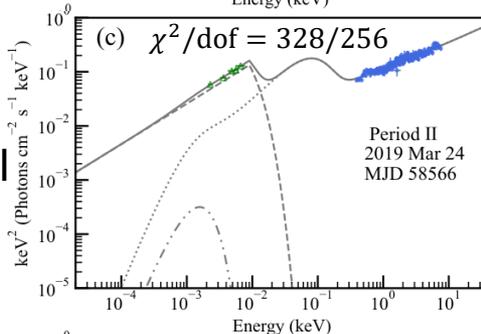
# The Best Fitting Unabsorbed Model

- *Swift*/XRT
- ▲ *Swift*/UVOT
- ▼ OISTER
- LCO
- Total Model
- ⋯ diskir
- - - - highcut\*powerlaw
- · - · cutoffpl
- · · · bbodyrad

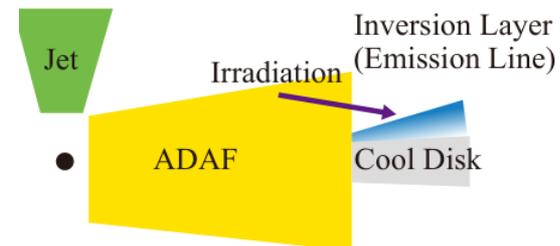
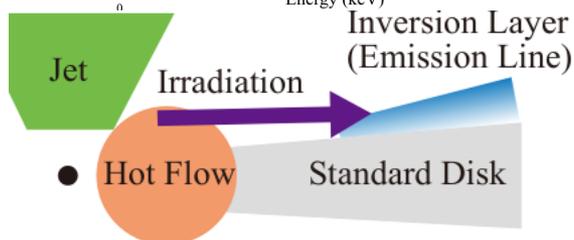
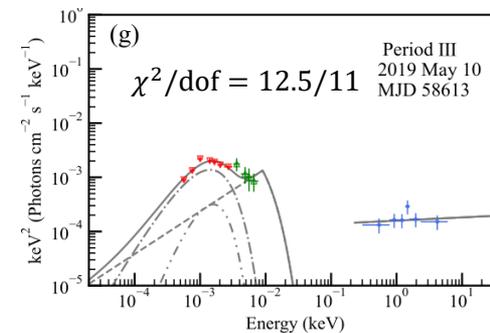
Period I



Period II



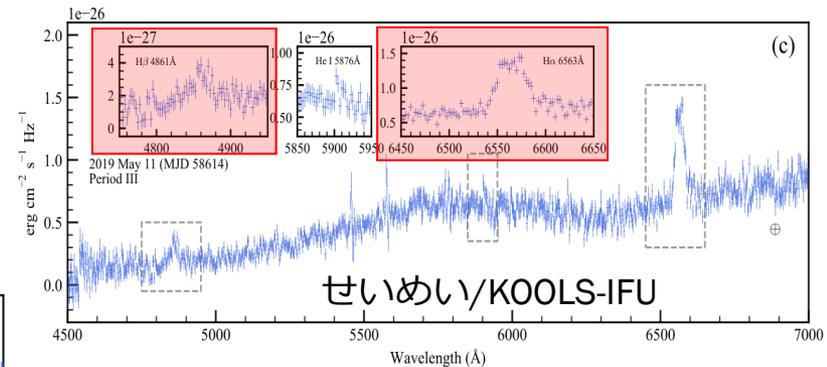
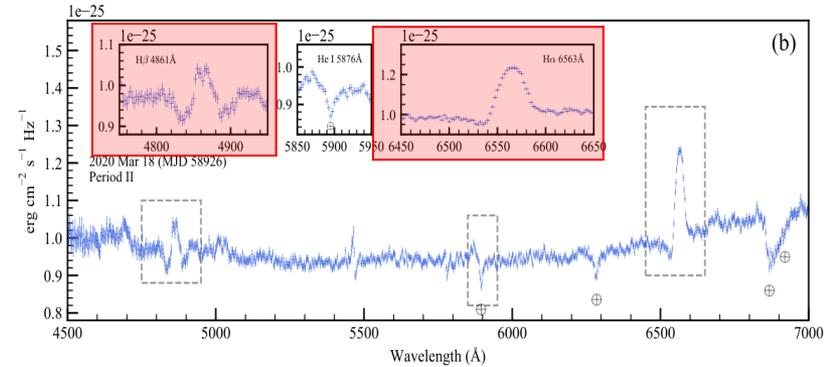
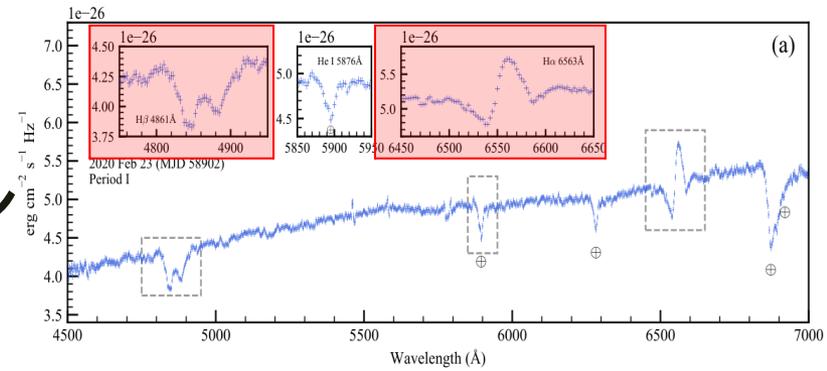
Period III



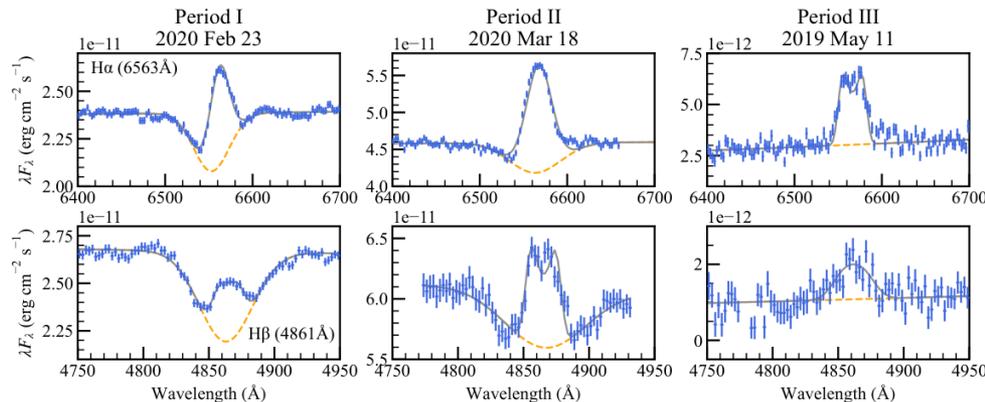
# 可視分光スペクトル

## ▶ H $\alpha$ (6563Å) およびH $\beta$ (4861Å)の SEDモデルの成分

- ▶ 連続成分: power-law
- ▶ 吸収線:  $-1 \times$ Gaussian (Period IIIを除く)
- ▶ 輝線: diskline or Gaussian



## Best Fitting Models



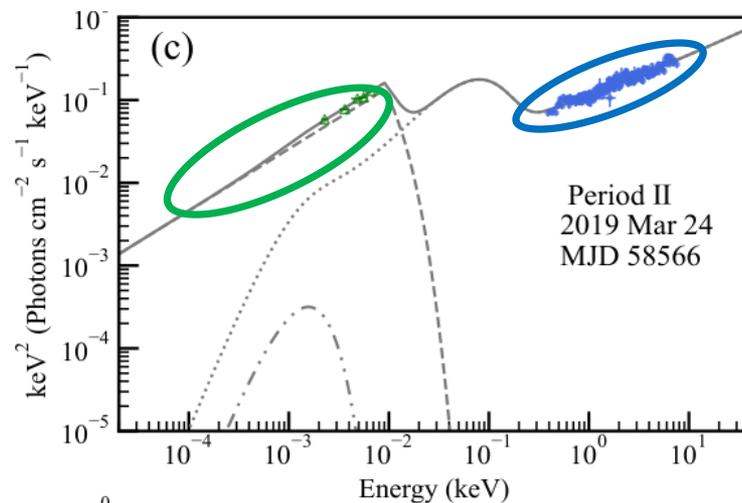
- : 連続成分 + 吸収線
- : モデル全体
- : data

# DISCUSSION

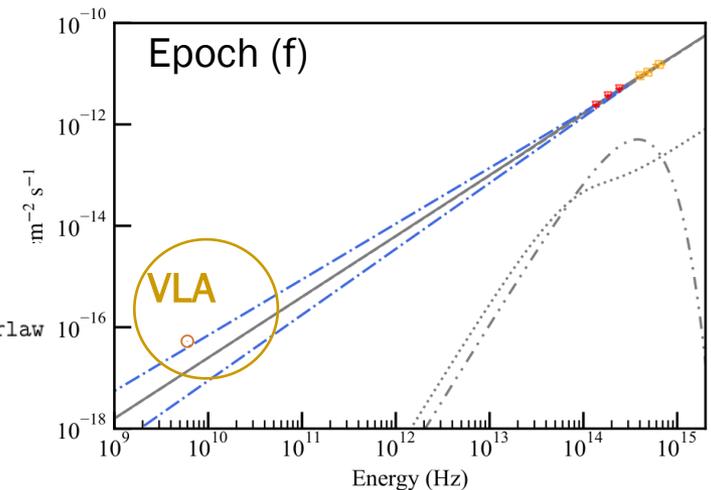


# Period I, IIのSED: 可視におけるべき成分

- X線スペクトル: **power-law** ( $\Gamma \approx 1.6$ )  
 ➔ Period I, IIでは常にlow/hard状態
- **ジェット成分** は常に可視で支配的
- Very Large Array (VLA)による6GHzの電波の同日観測データと比較  
 ➔ **べき成分の外挿と一致**  
 ➔ **べき成分がジェット由来であることを支持**

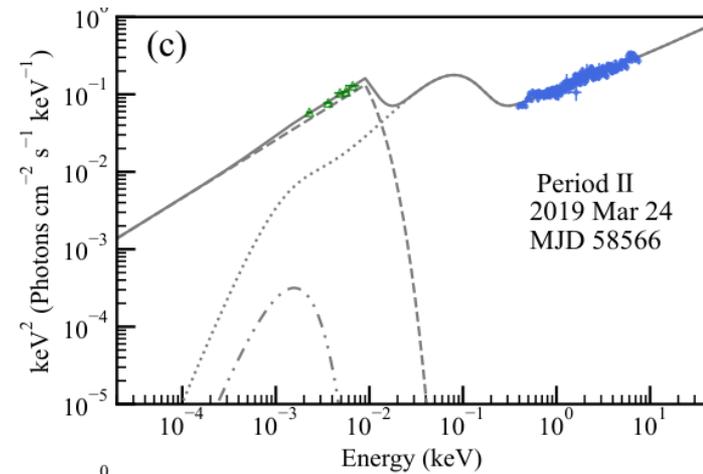


- *Swift*/XRT
- ▲ *Swift*/UVOT
- ▼ OISTER
- LCO
- Total Model
- ⋯ diskir
- - - higecut\*powerlaw
- · - cutoffpl
- - - bbodyrad



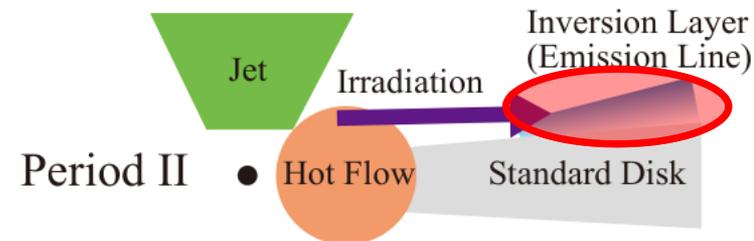
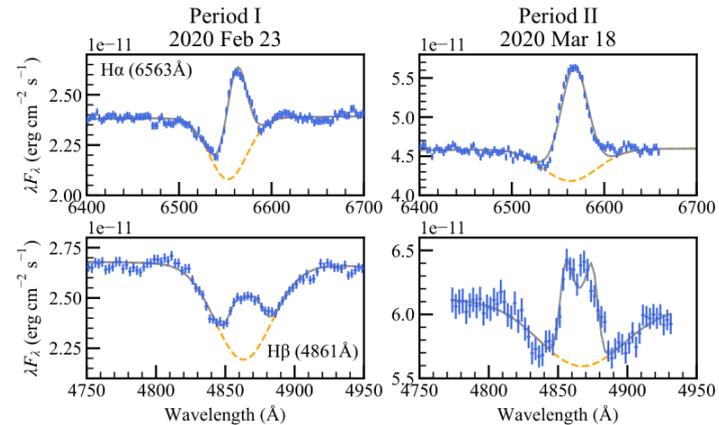
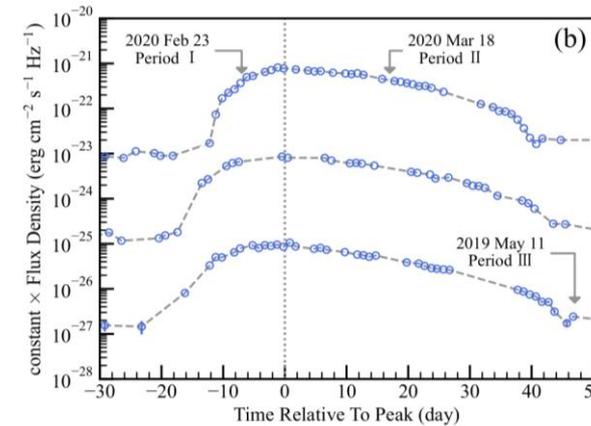
# Period I, IIのSED : Epoch (c)におけるdiskirのBest Fitting Parameters

- Epoch (c)における最内縁半径  
 $R_{\text{in}} \sim 2.6 \times 10^3 \text{ km} (\sim 2.5 \times 10^2 r_g)$   
Shidatsu+2018 におけるlow/hard状態での  
値の $24 r_g$ と比較すると**10倍大きい**
  - ただし、Shidatsu+2018の観測データは  
Epoch (c)より30倍明るい  
➡質量降着率が小さくなると、  
遷移半径が大きくなっている



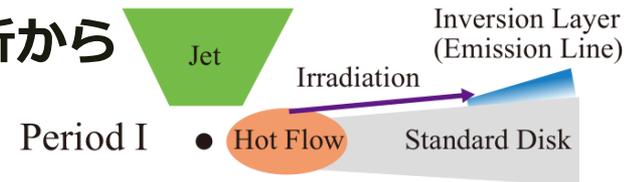
# Period I, IIにおける バルマー線

- ケプラー運動を仮定すれば、  
放射領域をライン幅から評価できる
- 対象はH $\beta$ に限定した
  - 輝線と吸収線がよりきれいに分離されていたため
- H $\beta$ 放射領域の内縁半径は  
**時間とともに大きく減少**
  - Period I:  $2 \times 10^5 r_g$
  - Period II:  $1 \times 10^5 r_g$
- **再放射される領域が(内側に)広がっている**  
 ➔ Period IからIIにかけて、  
**円盤構造が進化している**

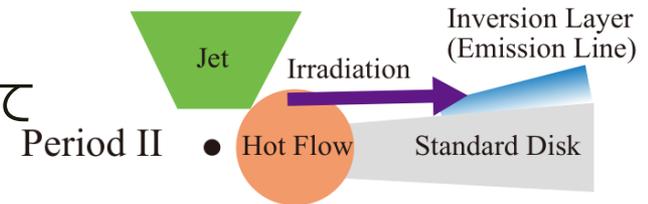


# 降着円盤構造の進化

- 下記の円盤構造進化の描像を、**多波長SED解析とせいめいの可視分光解析から確認した**



- Periods I と II では、遷移半径より内側が hot flowになっており、標準円盤から放射された種光子がコンプトン散乱されてX線を放射している



- Period III では内側が RIAF になっている
  - **紫外やX線は外側のCool Diskから再放射されており、バルマー線もそこで生じている**

