

KOOLS-IFUによる超大質量ブラックホールバイナリ 候補SDSS J1430+2303のH α 広輝線の調査

2023/09/12

2023年度せいめい望遠鏡UM

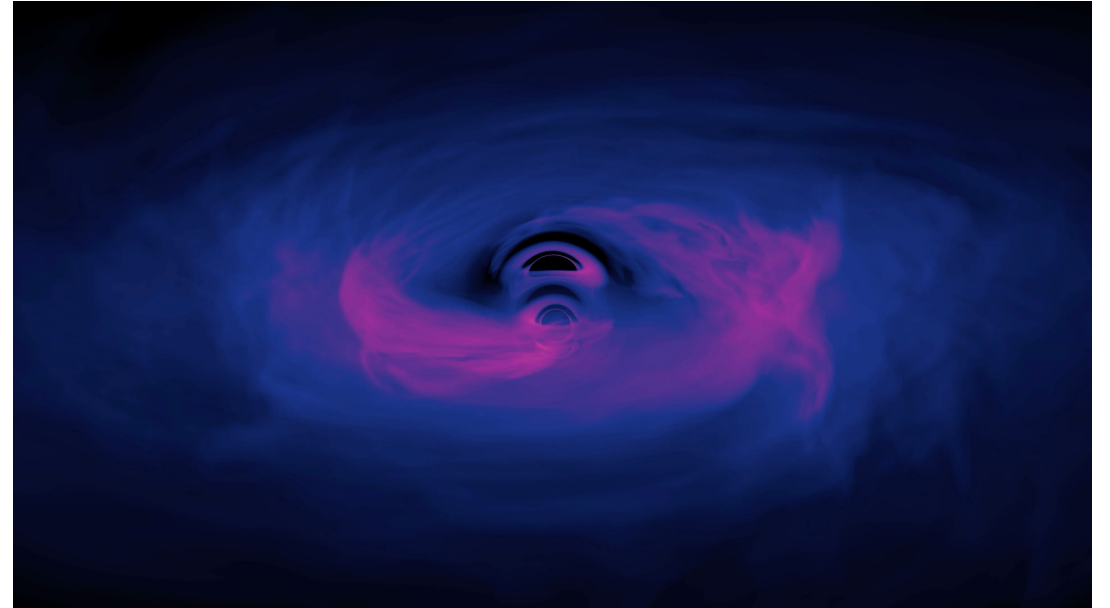
星篤志(東北, ISAS)、山田亨(ISAS, 東北)、太田耕司(京都)

超大質量ブラックホールバイナリ (Supermassive Black Hole Binary)

- 2つの超大質量ブラックホール(SMBH)がバイナリになっている系を超大質量ブラックホールバイナリ (SMBHB) システムという。
- 銀河同士が衝突合体を繰り返し、銀河が進化していく中でSMBHBが形成されると考えられている。

SMBHB 候補 (KOMOSSA et al.2021)

name	(AGN) type	redshift	waveband	method
NGC 6240	ULIRG	0.024	X-ray	imaging spectroscopy
0402+379	radio galaxy	0.055	radio	imaging spectroscopy
SDSS J1502+1115	Seyfert	0.39	optical	[OIII] double-peaks & radio imaging
OJ 287	BL Lac	0.306	optical	semi-periodic light curve
Mrk 501	BL Lac	0.034	radio	semi-periodic jet structure
3C 66B	radio galaxy	0.021	radio	semi-periodic astrometric position
PG 1302-102	FSRQ	0.3	optical	semi-periodic light curve
SDSS J1201+3003	quiescent	0.146	X-ray	TDE lightcurve
NGC 4151	Seyfert	0.003	optical	semi-periodic light curve & broad line

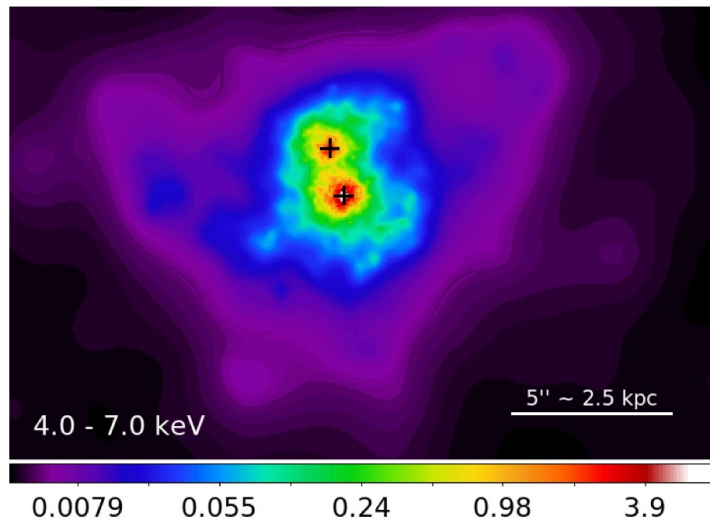


NASA Goddard youtube channel
<https://www.youtube.com/watch?v=i2u-7LMhvwE>

SMBHBの特徴

- 2つの活動銀河核 (Dual AGN) の特徴 (core, torus, jet)

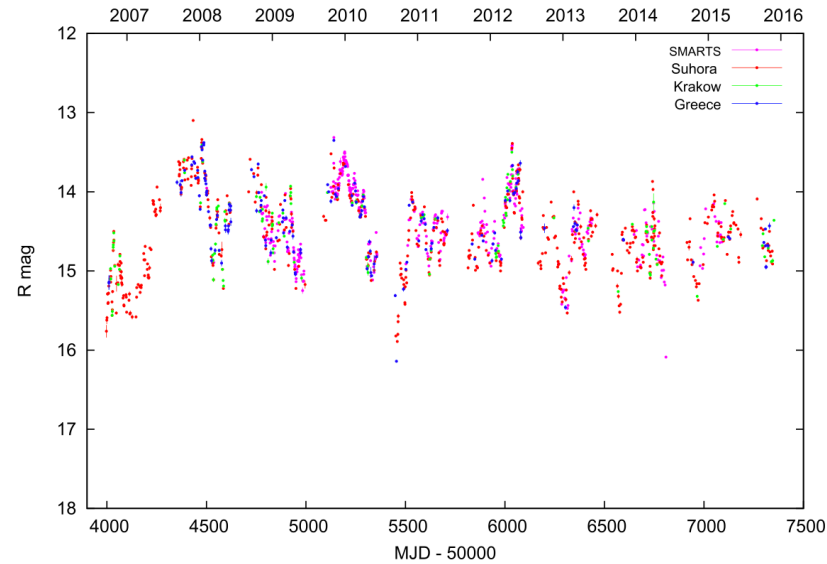
NGC 6240



A. Paggi+22

- 準周期的な光度変動

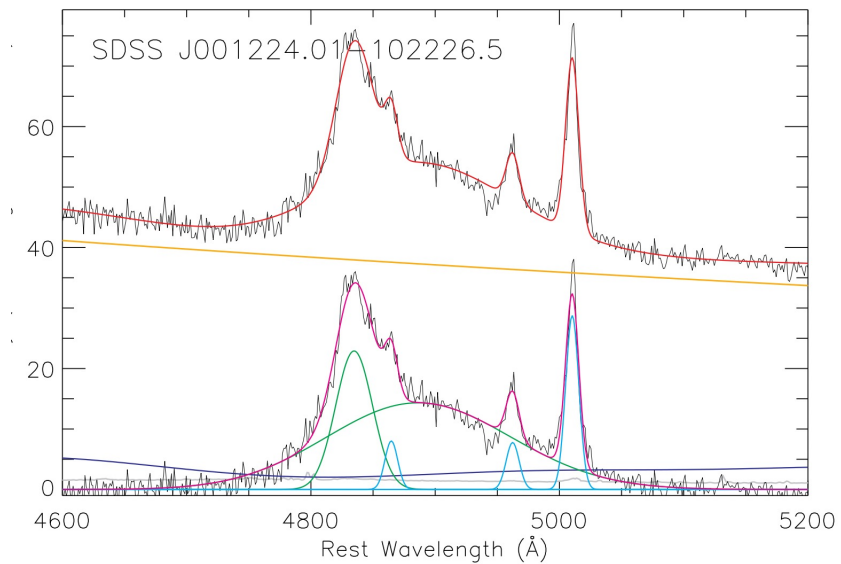
OJ 287



G. Bhatta+16

- 広輝線領域(BLR)のシフト

SDSS J001224.01-102226.5



Y. Shen and A. Loeb+10

SDSS J1430+2303 (AT2019cuk and Tick Tock)

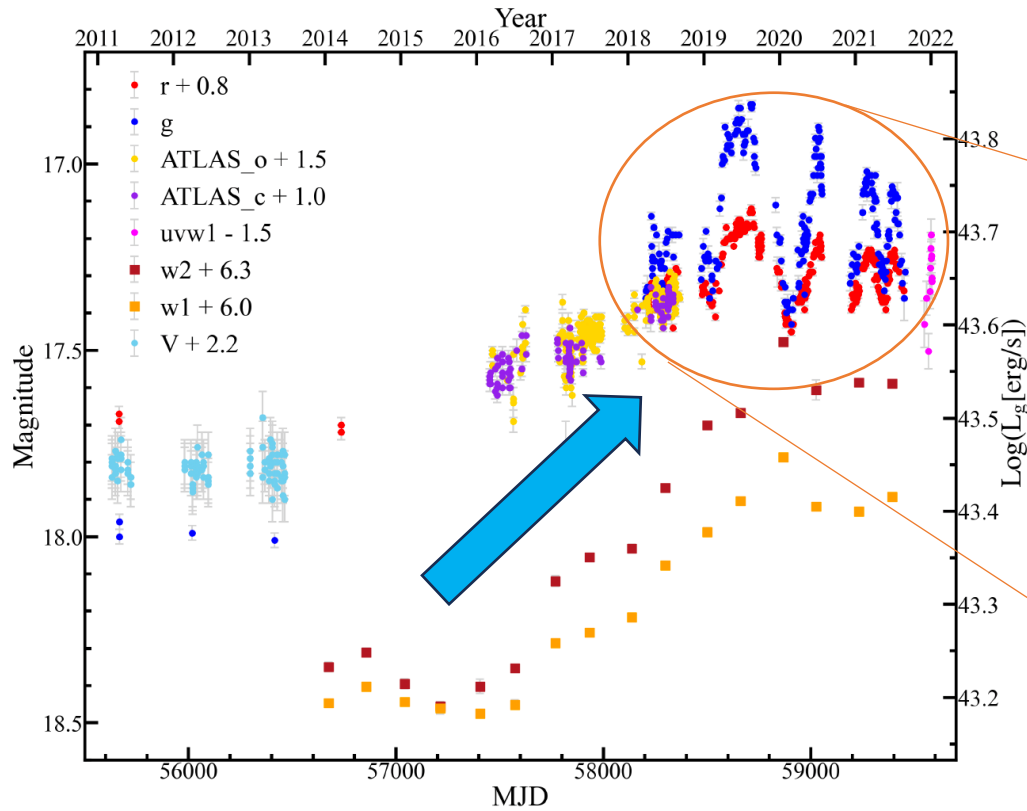


Elliptical Galaxy

$$M_{\text{star}} \sim 1.5 \times 10^{11} M_{\odot}$$

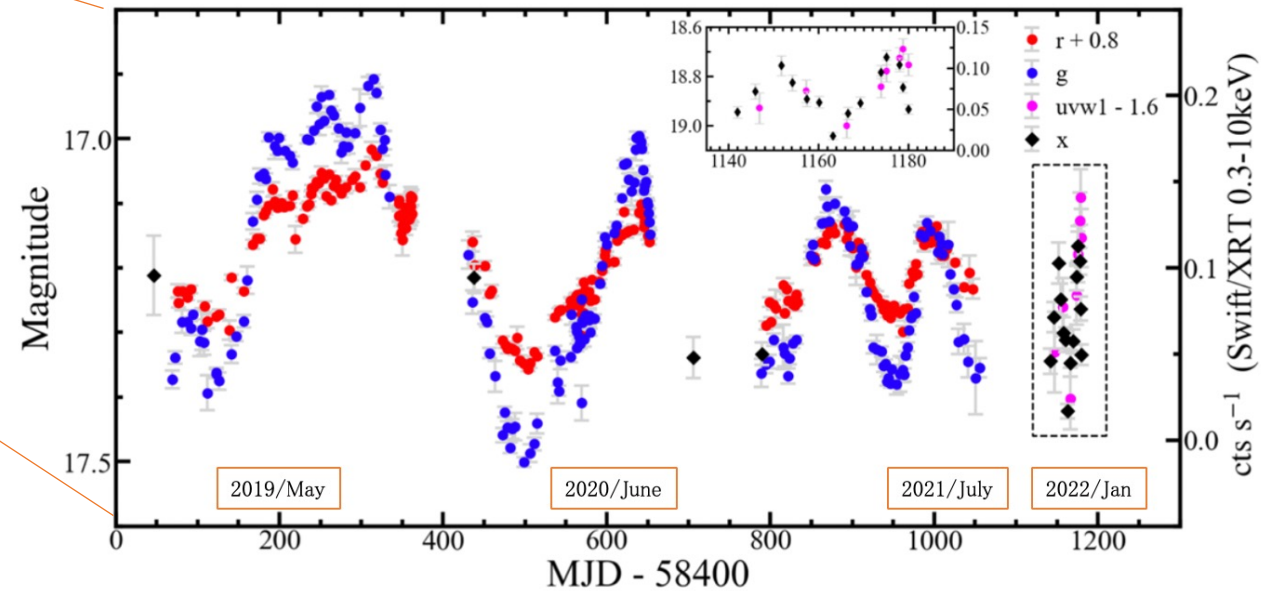
$$z = 0.0815$$

特徴① X線-IRまでの準周期的な光度関数 Jiang+22



2016年頃に急激な増光

光度変動の周期減衰から3年以内に合体すると示唆されている。

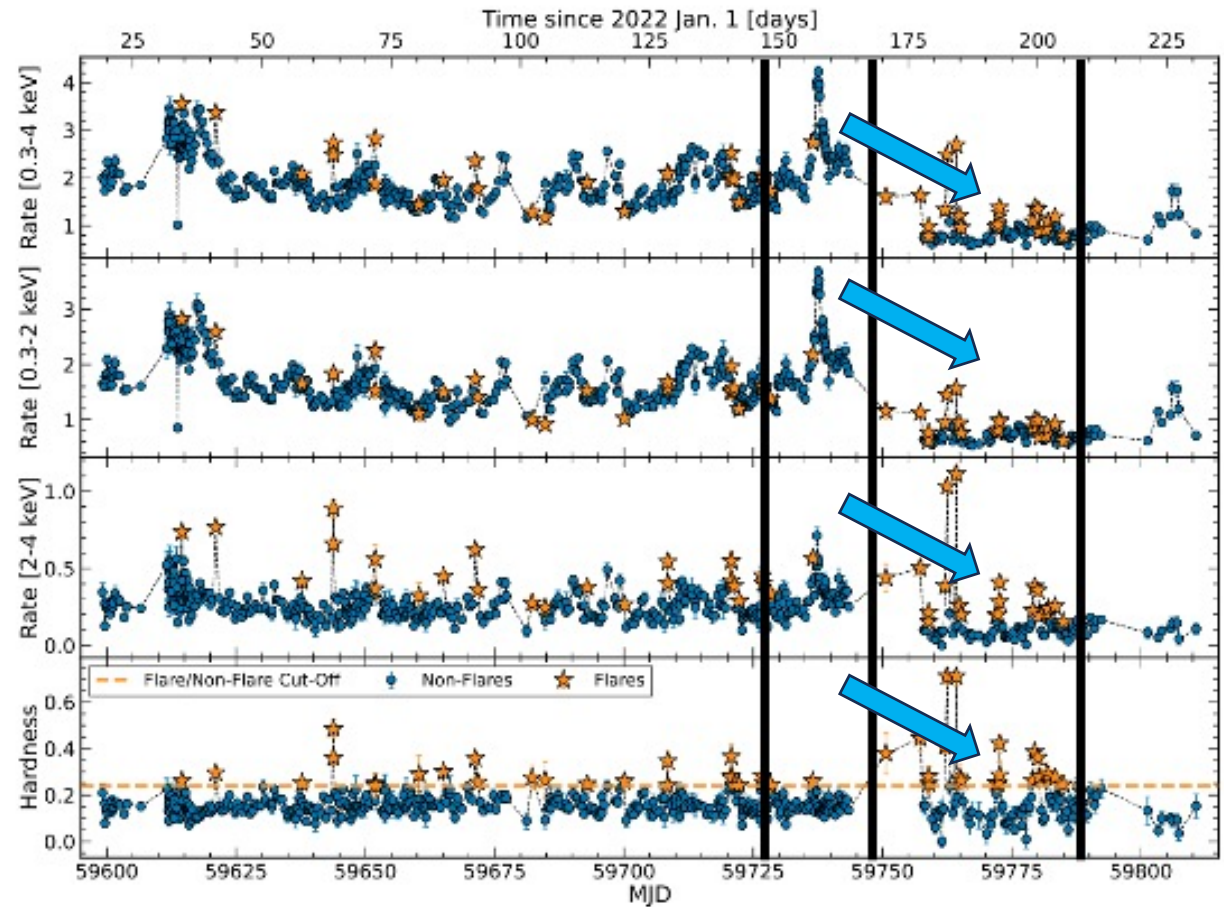
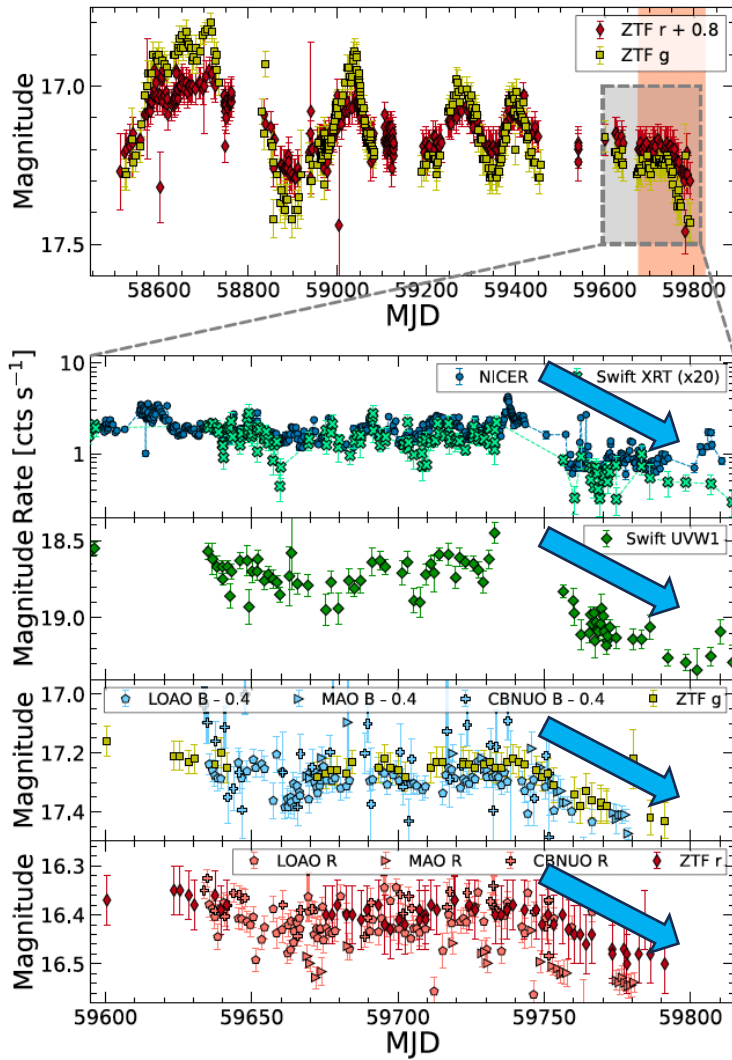


ZTF による 2018 年以降の可視光光度曲線(青・赤)と X 線光度変化(黒・ピンク、図中拡大図あり)

SDSS J1430+2303 (AT2019cuk and Tick Tock)

フレア

観測日 (a) ↓ (b) (c) (d)



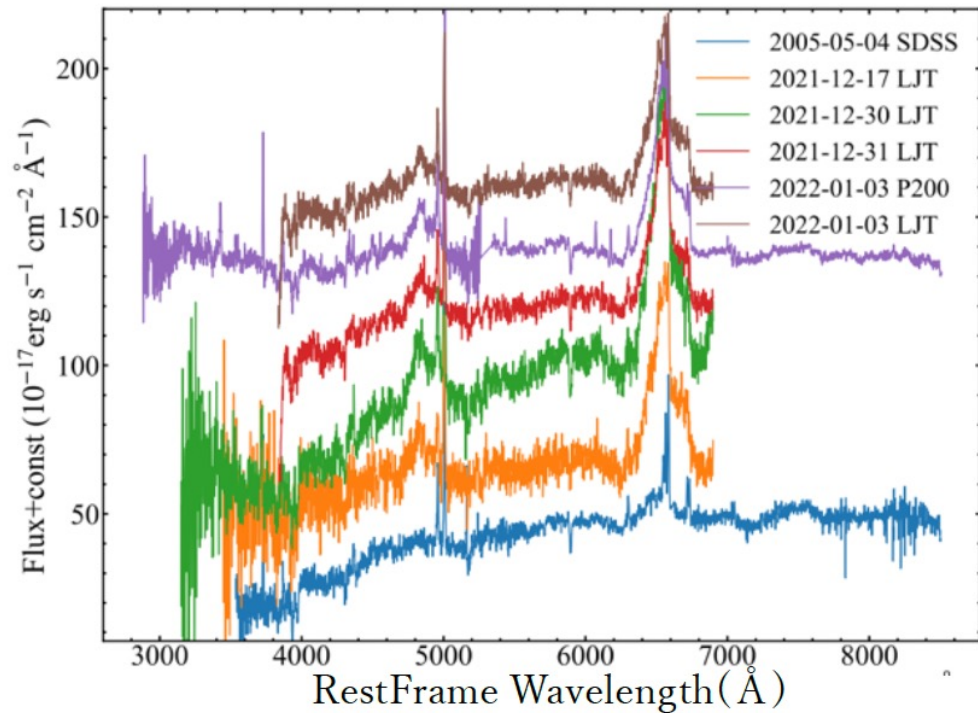
NICERによる追観測

Masterson+22

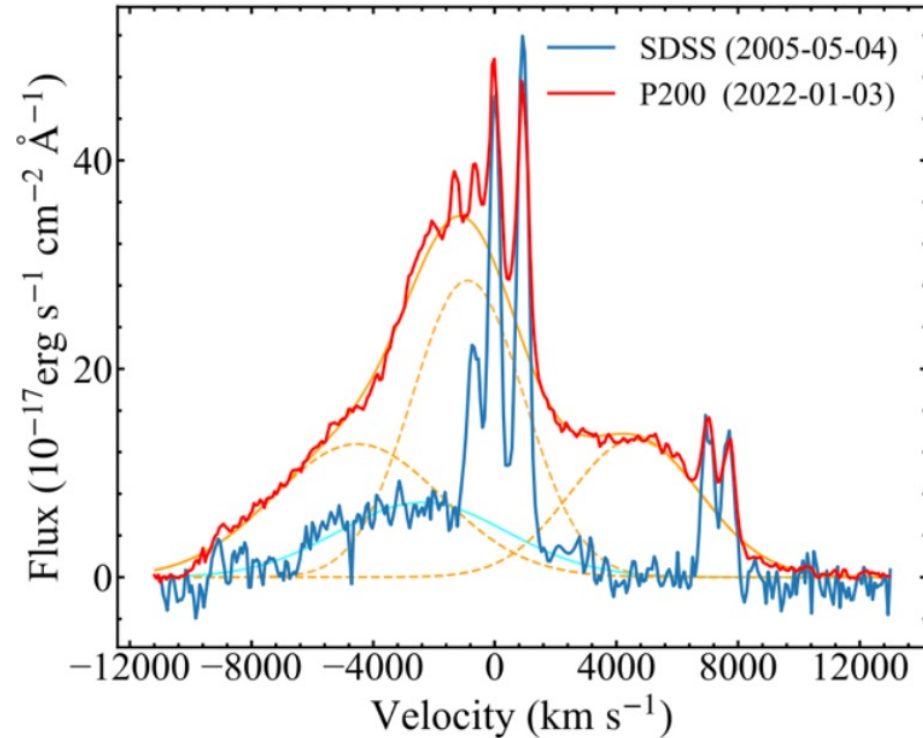
SDSS J1430+2303 (AT2019cuk and Tick Tock)

特徴② BLRのスペクトル変化

2005年：狭輝線と青方偏移した広輝線
2022年：狭輝線と3つの広輝線成分



(左) バルマー輝線強度の変化



(右) H α 領域のスペクトル変動。ともに(Jiang et al.)

本研究の目的

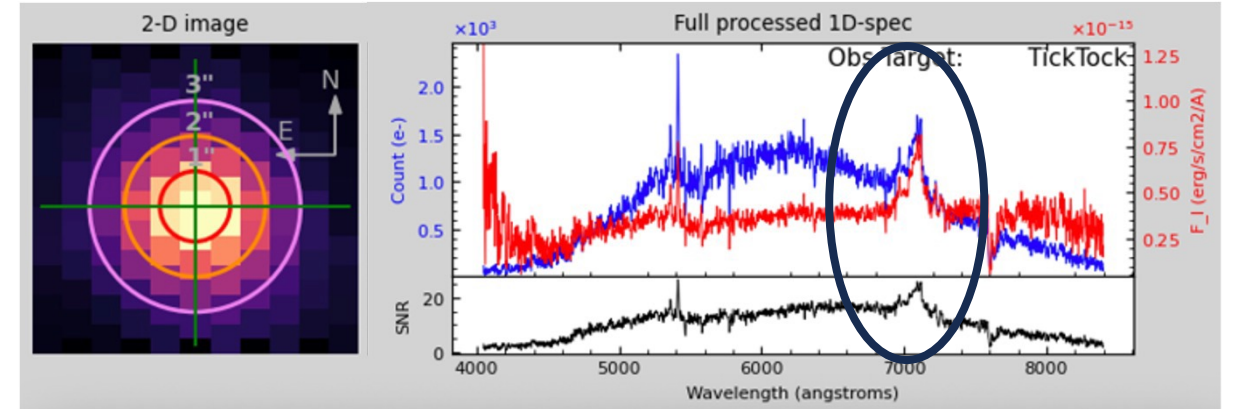
わずか数年で広輝線領域に大きな変化が生じた。

合体直前では更なる変化が生じるか？

複雑な広輝線の起源はどこか？

KOOLS-IFUを用いて4回にわたってH α 広輝線を分光した結果を報告する。

H α 広輝線領域を詳細に調査する！



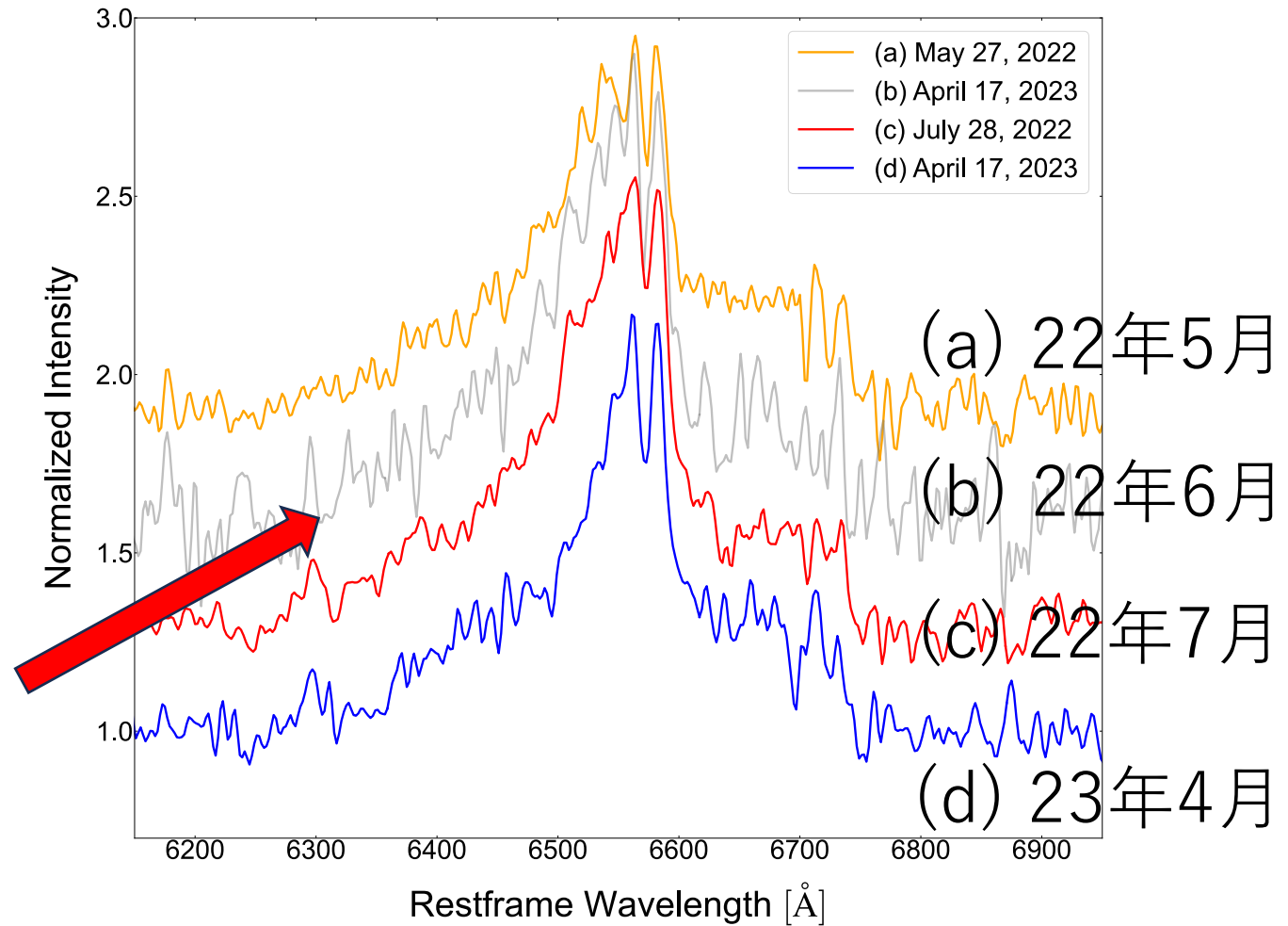
2023年4月にVPH-blueで分光したQL

Epoch	Proposal ID	Date	MJD	From Jan 1, 2022	Grism	Exposure	Frame	Standard star
(a)	22A-K-0029	May 27, 2022	59726	146 days	VPH-blue	600 sec	3	HZ 44
(b)	22A-K-0029	June 18, 2022	59748	168 days	VPH683O56	1200 sec	3	BD+33°2642
(c)	22B-N-CN05	July 28, 2022	59788	208 days	VPH-blue	600 sec	3	BD+33°2642
(d)	23A-N-CT01	April 17, 2023	60051	471 days	VPH-blue	600 sec	3	BD+33°2642

結果：連続光で規格化したH α 広輝線のスペクトル

どの観測時期においても全体的なプロファイルに大きな変化はなさそうに見えるが、、、

22年6月だけVPH-683056を用いた。
S/Nが少し悪い。



結果：H α 広輝線領域のモデルフィット

モデルフィットの手法

python ベースのcurve_fitを使用

連続光は線形、それ以外は全てガウス関数

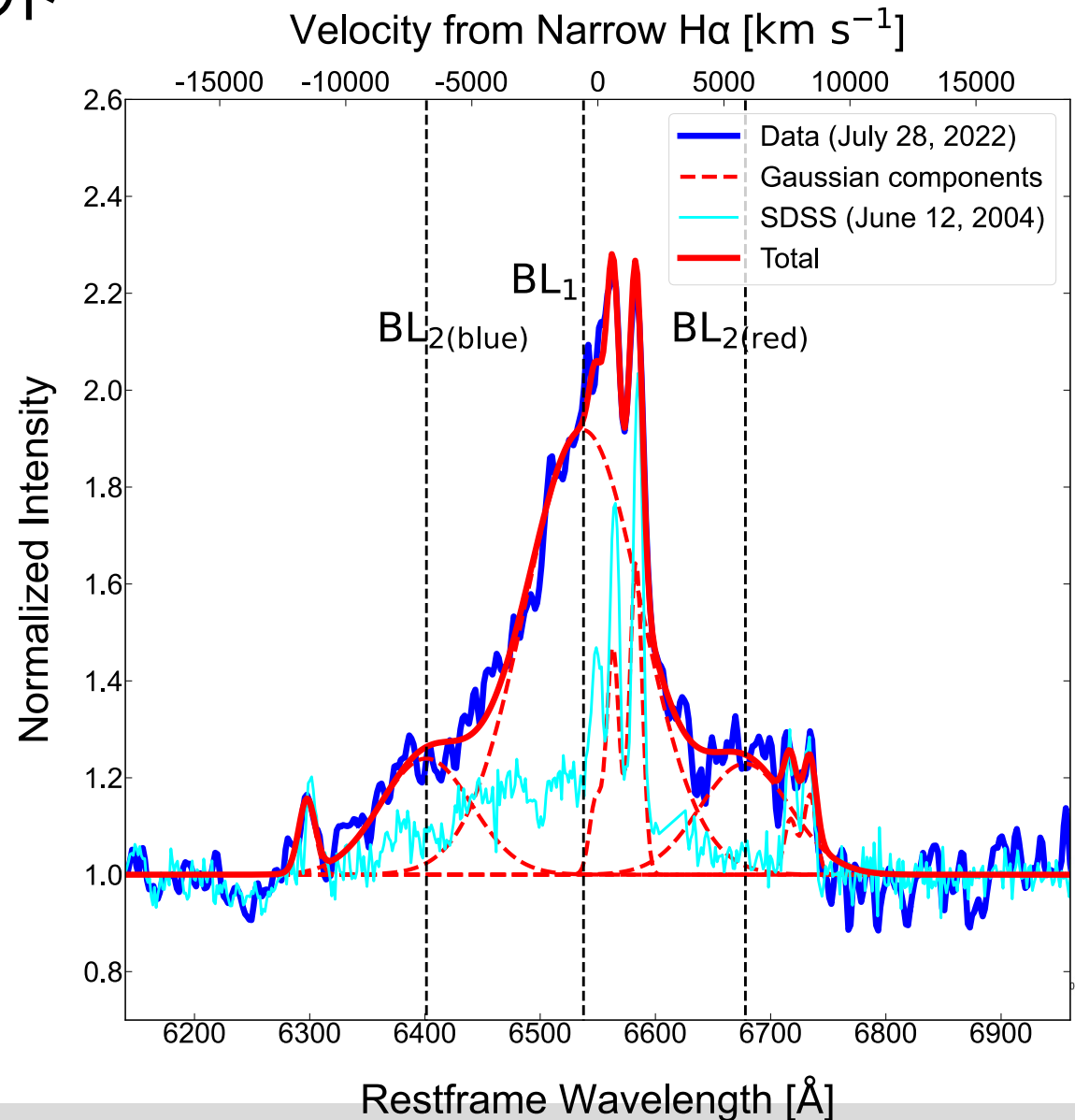
広輝線は中心に1成分と対称性を持った2成分

狭輝線は同じ速度幅で5成分

[N II](6549,6583Å) H α (6563Å)

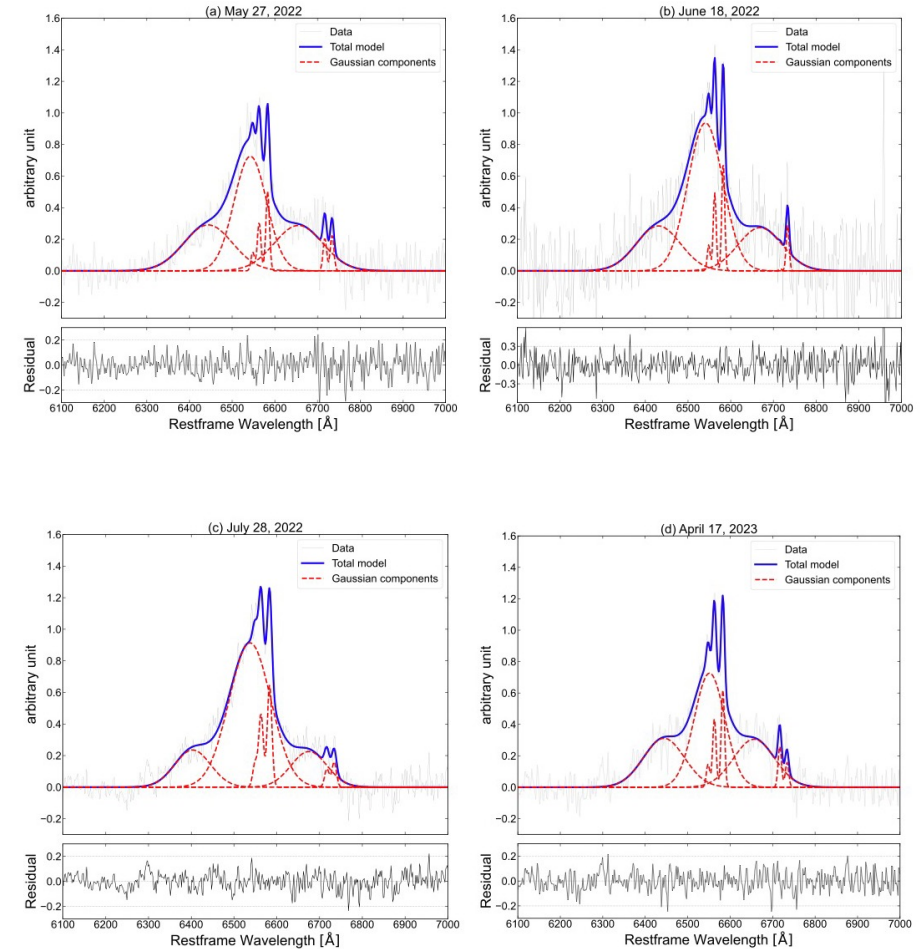
[S II](6717,6734Å)

O I (6300Å)もガウシアンでフィット



結果：H α 広輝線領域のモデルフィット

どの観測時期においても狭輝線と3つの広輝線成分が存在し、広輝線に関して、H α 狭輝線から少し青方偏移したBL1成分と、対称性を持ったBL2(blue)とBL2(red)成分が存在した。



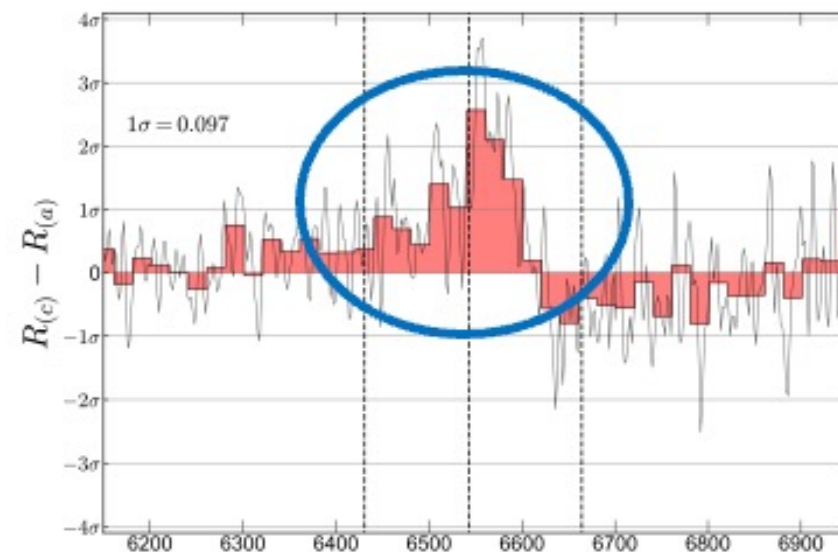
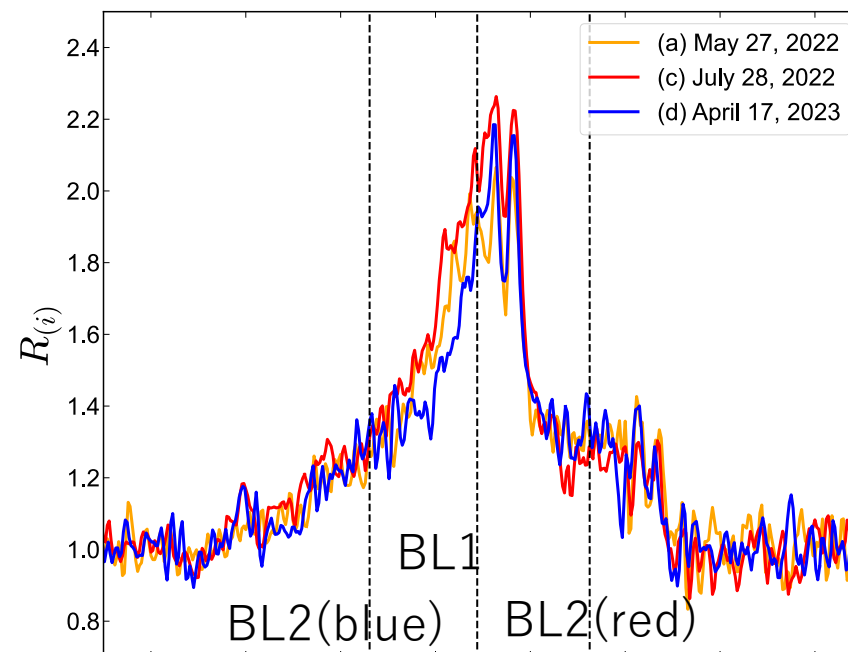
議論：複雑な広輝線成分の起源

H α 広輝線領域の変化を調査するためにそれぞれの連続光で規格化した。連続光は線形関数でフィットした。

BL1の前後で顕著な時間変動を示しているが、BL2の前後では変動は見られない。

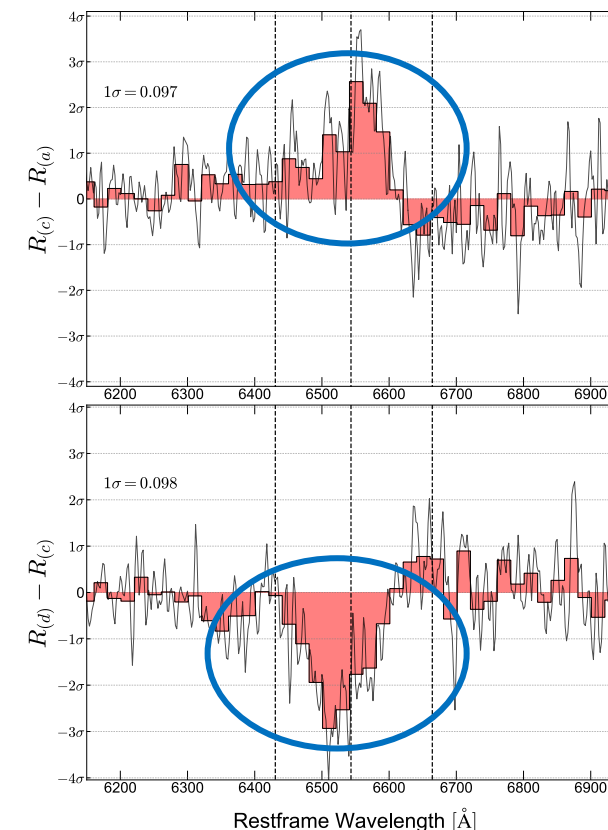
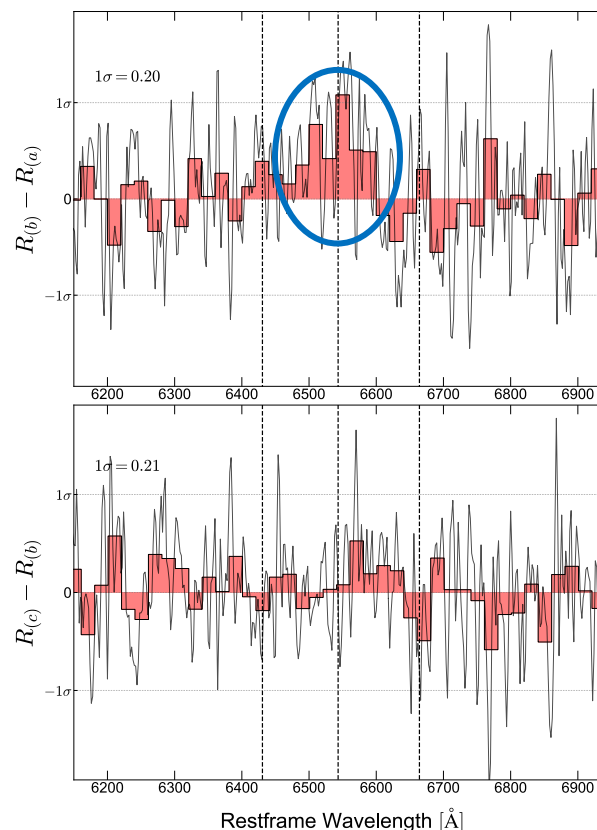
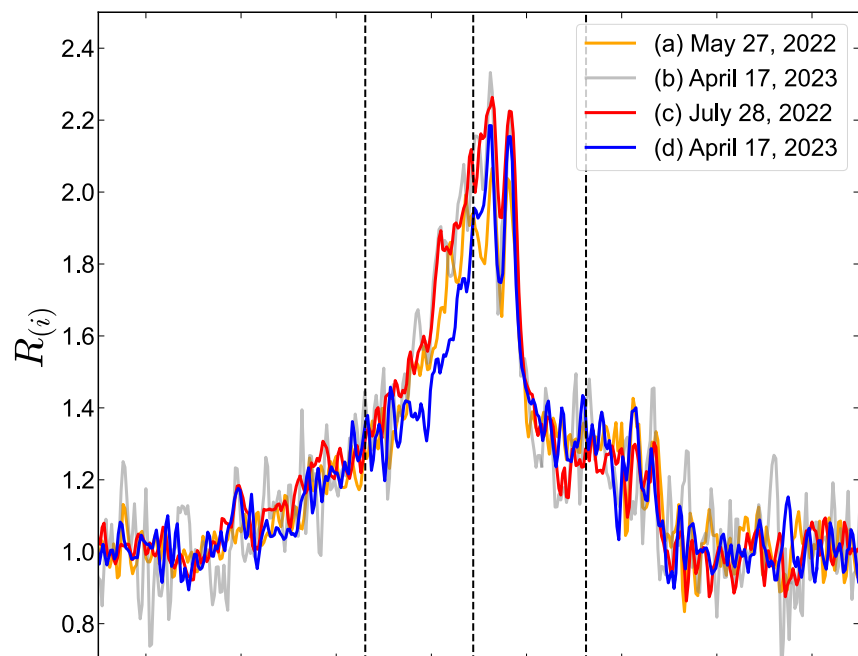
22年5月から7月にかけてBL1成分が連続光に対して大きくなっている。

これは、Masterson+23の光度曲線で大きく減光している期間に対応していて連続光が減少したことでこのような変化を示していると考えられる。



議論：複雑な広輝線成分の起源

他の時期の観測と比較してもBL1は連続光に対して変動を示すがBL2は変動を示さない。(d)以外は光度曲線(Masterson+23)との傾向と一致。



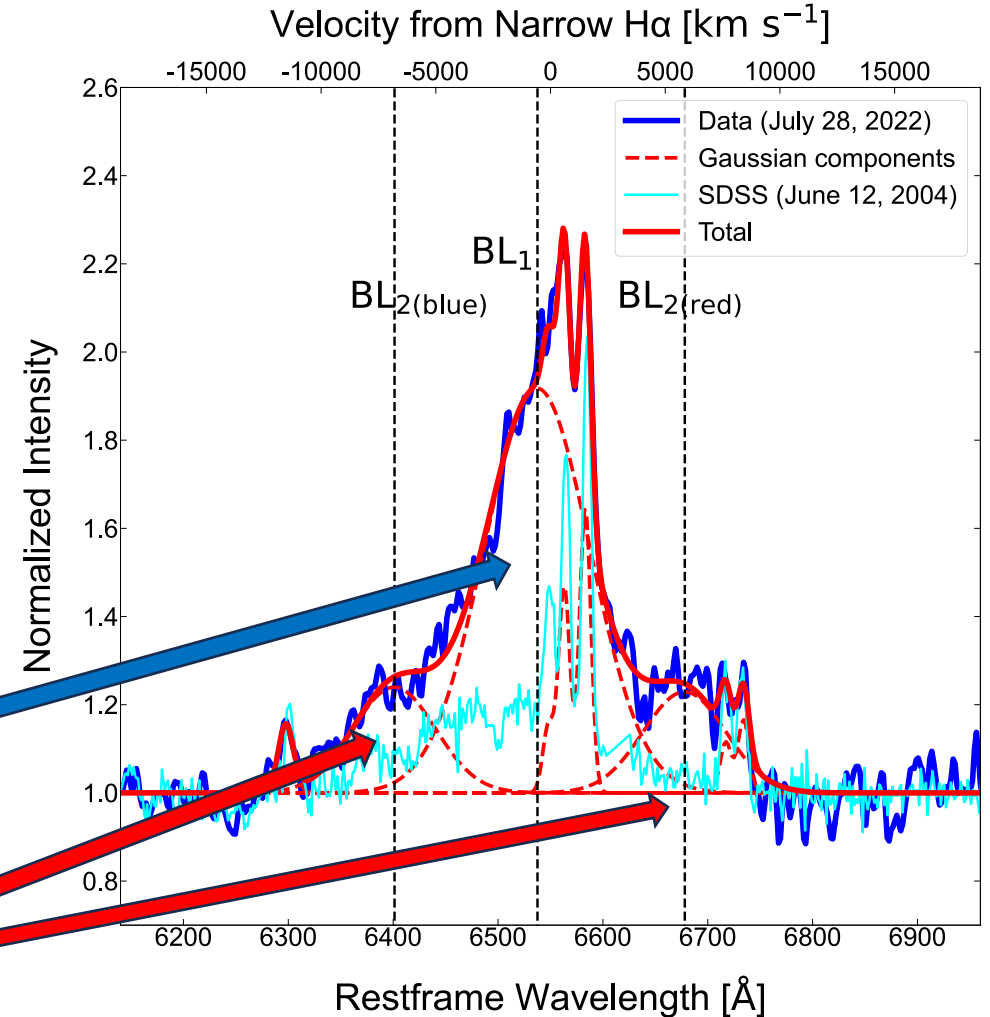
複雑な広輝線成分の起源

中心の広輝線成分のみ顕著に変化が確認された、連続光の光度変動からのタイムラグがあったので降着円盤から離れた領域に存在する(典型的なBLR)成分と考えられる。

左右のダブルピークの成分は連続光の変化に対して変化が生じていないことからSMBH近傍で生じている可能性がある。

連続光に対して変化有り
SMBHから離れた領域、 ~ 10 光日 : BLR由来

連続光に対して変化無し
SMBH近傍に由来 : コロナや降着円盤など



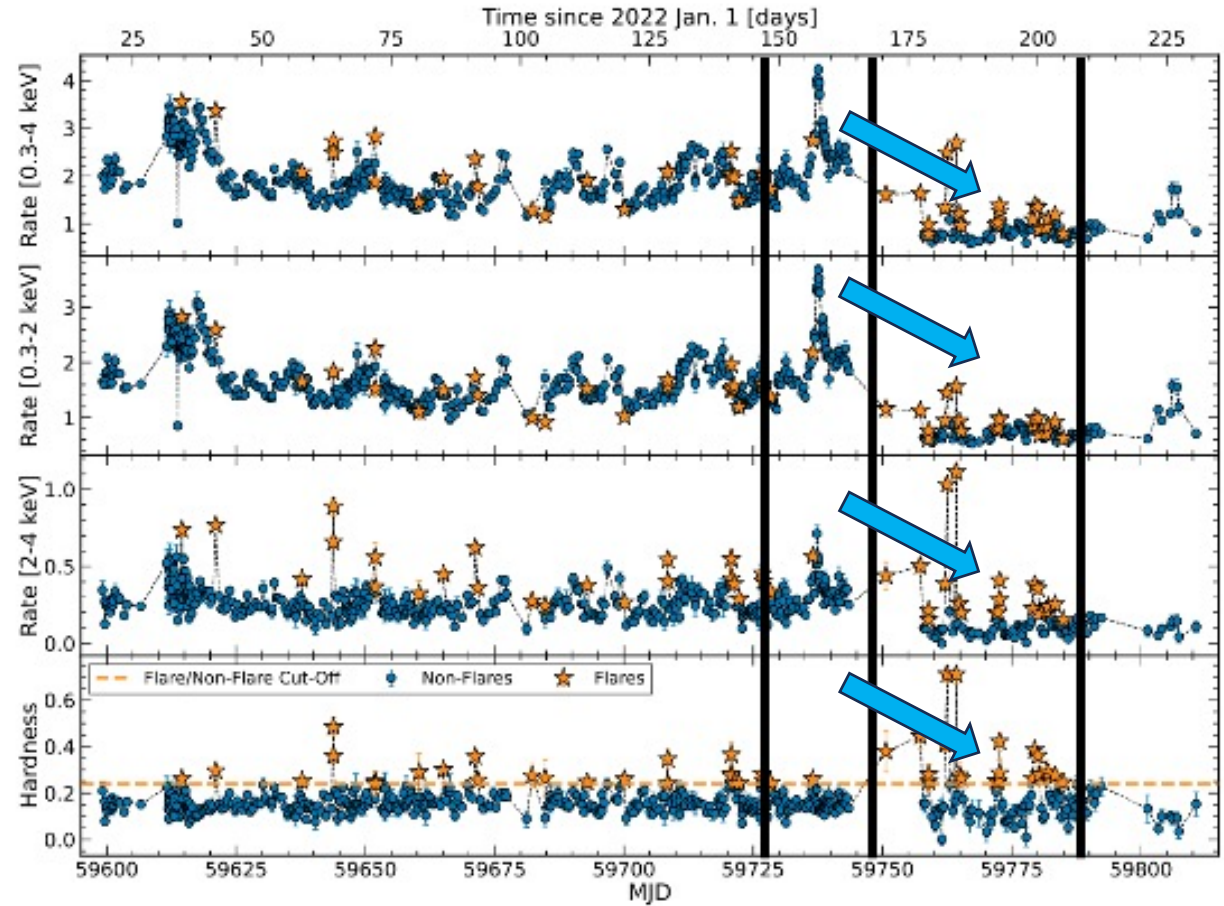
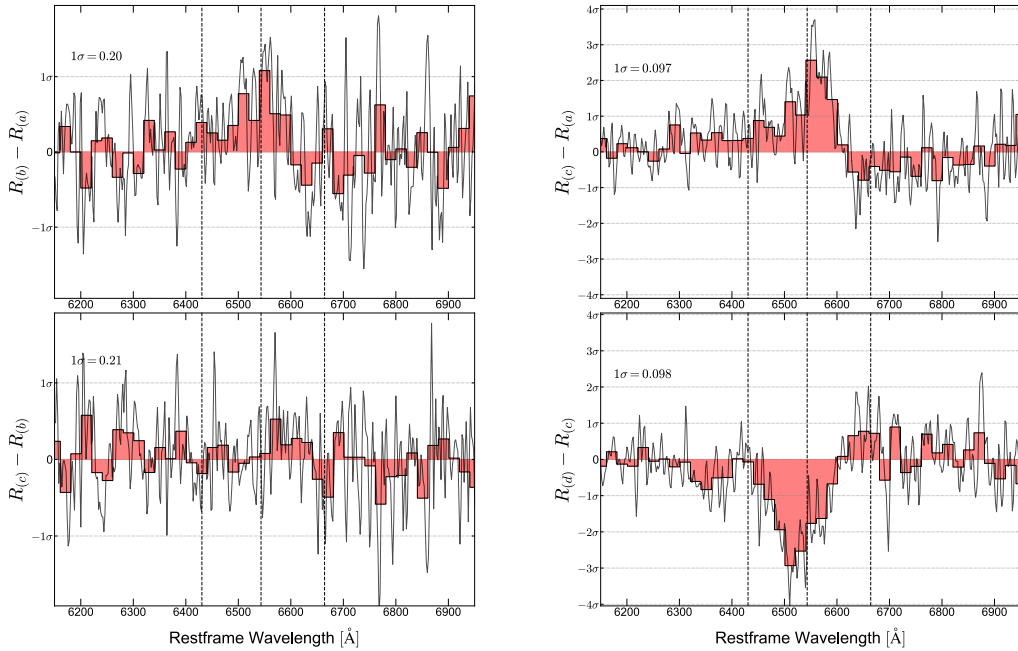
まとめ

- SMBHBは周期的な光度変動とシフトしたBLRが観測される、SDSSJ1430+2303 はさらに複雑なプロファイルをしている。
- 合体直前のSMBHBを候補SDSSJ1430+2303を可視分光した結果、 $H\alpha$ 広輝線に関して連続光で規格化した変動を調査したことで変動を示すBL1と変動を示さないBL2(blue)とBL2(red)が存在することがわかった。
- 連続光に対して変動を示すBL1はcontinuum sourceから離れた領域から放射され、BL2はcontinuum sourceと追隨していることからSMBH近傍から放射されていることが示唆された。
- SMBHBを持つのか否か、合体するのか否か、未だ議論が続いている状況であるが、今後モニター観測して詳細を明らかにしていく必要がある。

SDSS J1430+2303 (AT2019cuk and Tick Tock)

フレア

観測日 (a) (b) (c) (d)



NICERによる追観測 Masterson+22