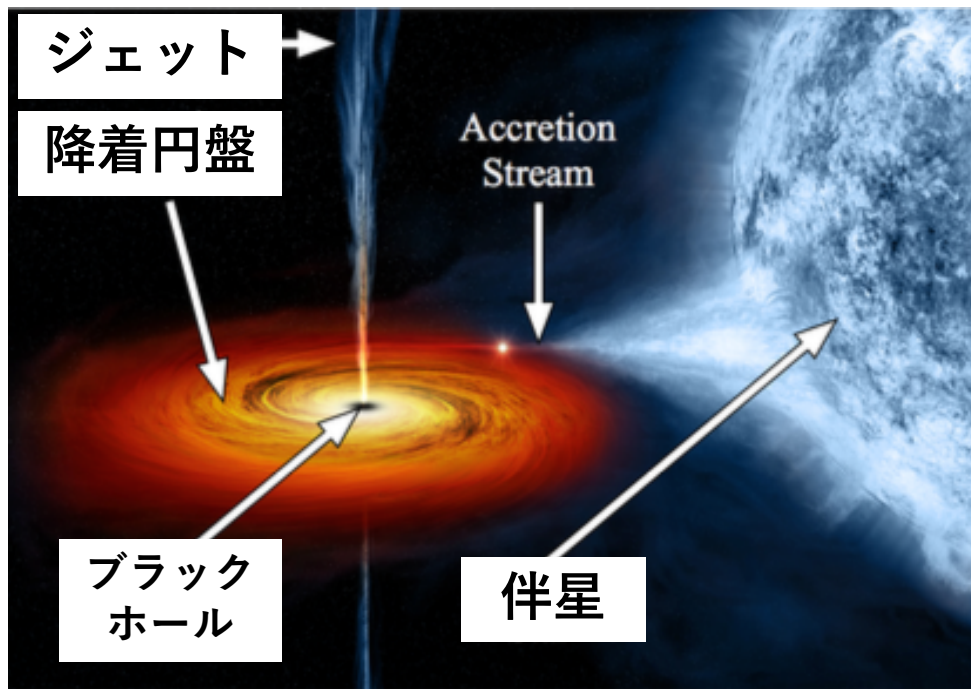


ブラックホールX線連星GRS 1915+105の  
X-ray low luminous state時の近赤外線  
の長期変動成分の放射起源について

広島大学 今里郁弥

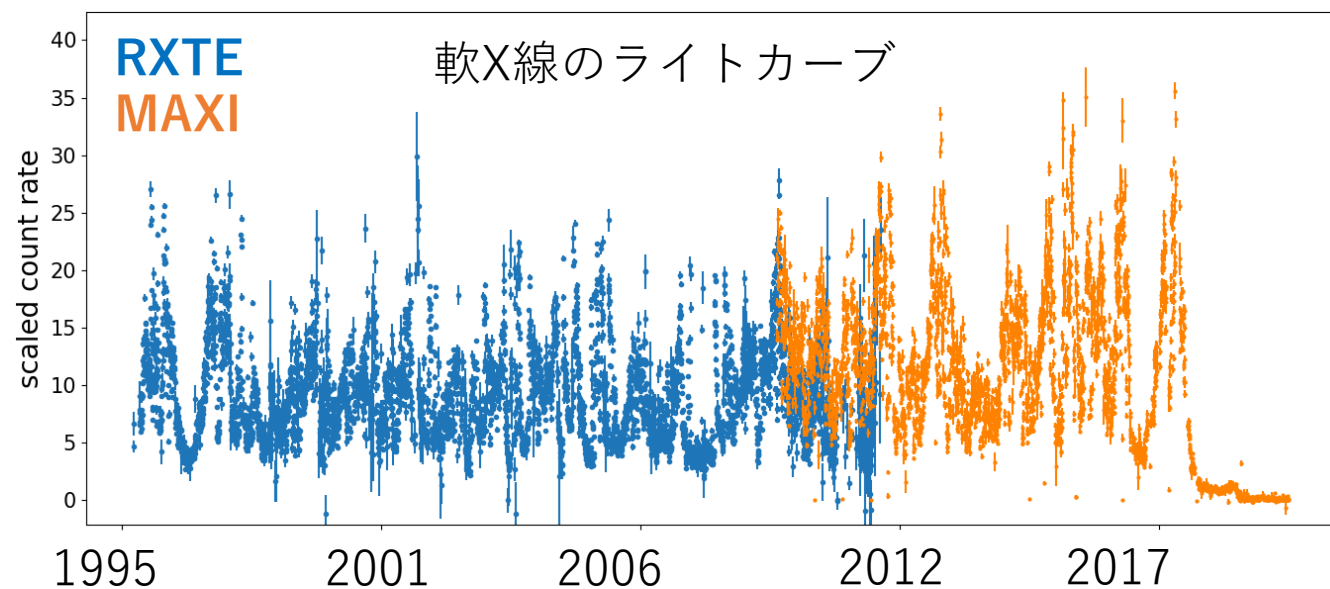
笹田真人、植村誠、深沢泰司、中岡竜也、高橋弘充、秋田谷洋、  
川端弘治、高木健吾 (広島大学)、穂本正徳、藤沢健太(山口大学)

# GRS 1915+105について



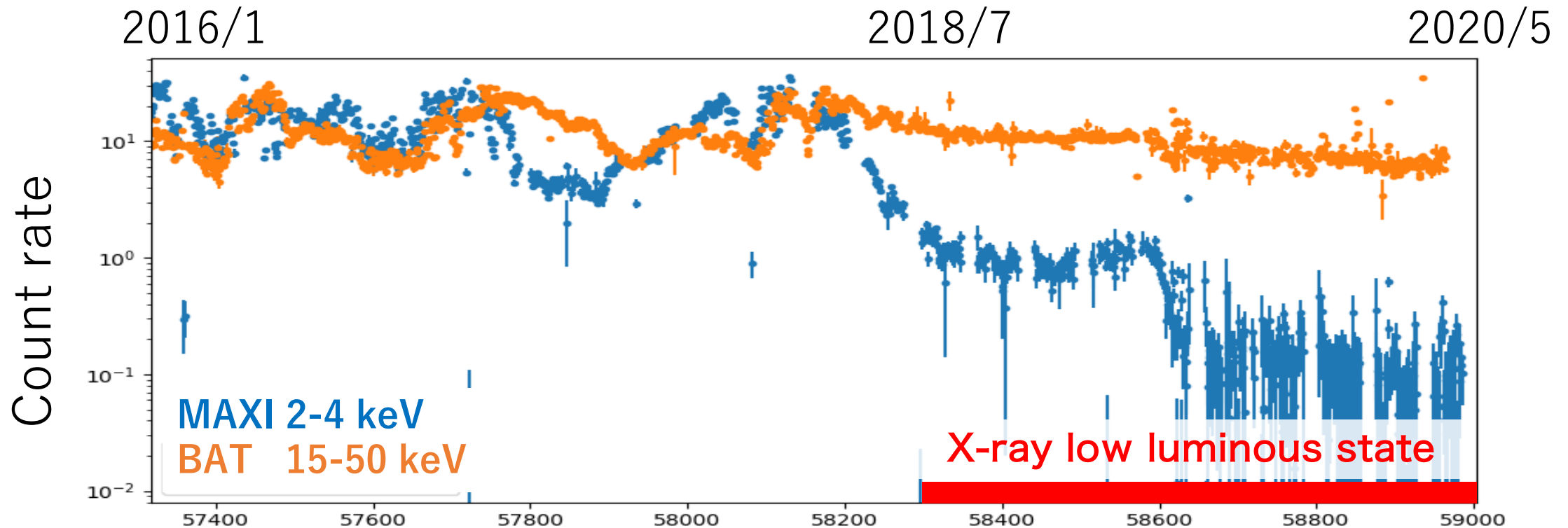
ブラックホール低質量X線連星のイメージ.<sup>5</sup>

1. 低質量X線連星. ブラックホール質量:  $14 \pm 4.4 M_{\odot}$ .<sup>1</sup>
2. 伴星はK giant ( $0.8 M_{\odot}$ ), 公転周期は $\sim 33.9$ 日.<sup>2</sup>
3. 星間吸収 ( $A_V \sim 19.6$ )<sup>3</sup> がきつく, 可視光は観測が難しい.
3. 相対論的速度のジェットを時々示す.<sup>4</sup>
4. X線で明るく高い活動性を継続的に示していた.
5. X線の放射起源は降着円盤, 電波はジェット.



1. Harlaft & Greiner 2004
2. Steeghs et al. 2013
3. Chapuis & Corbel 2004
4. Mirabel & Rodriguez 1994
5. Salgado 2015

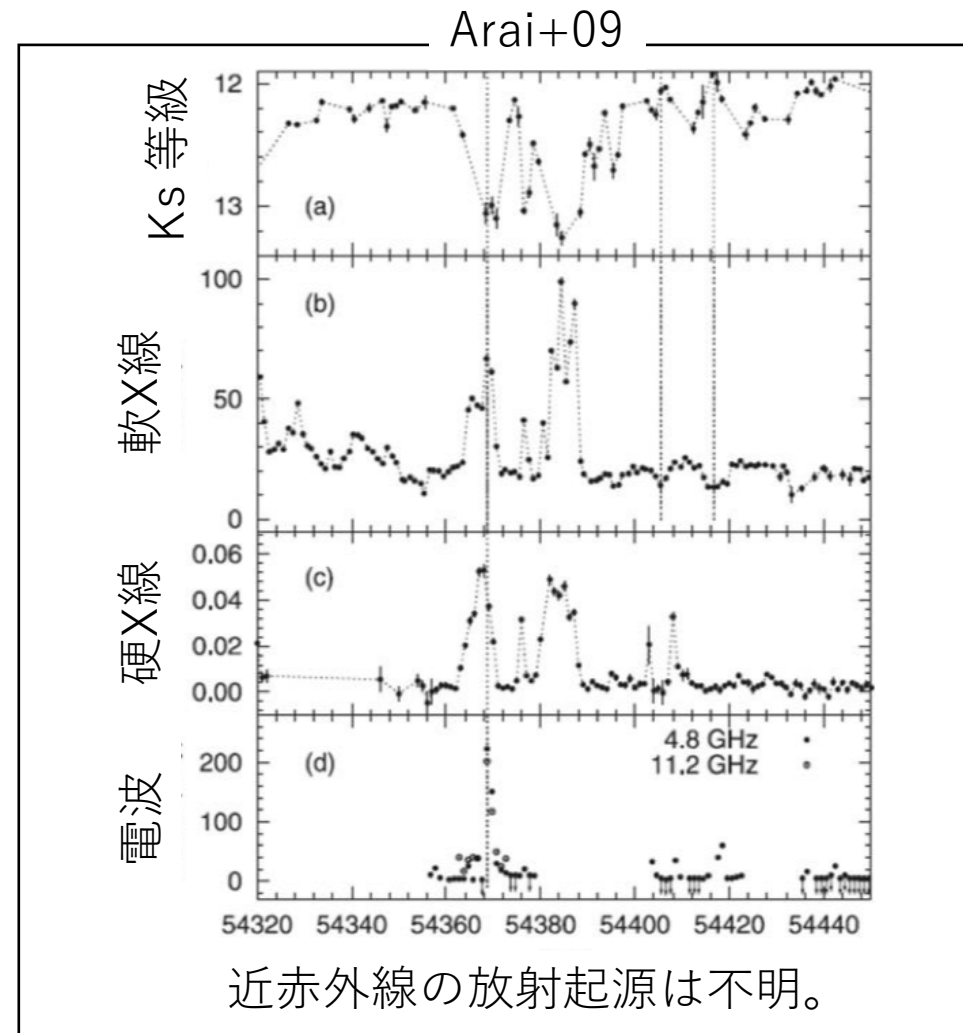
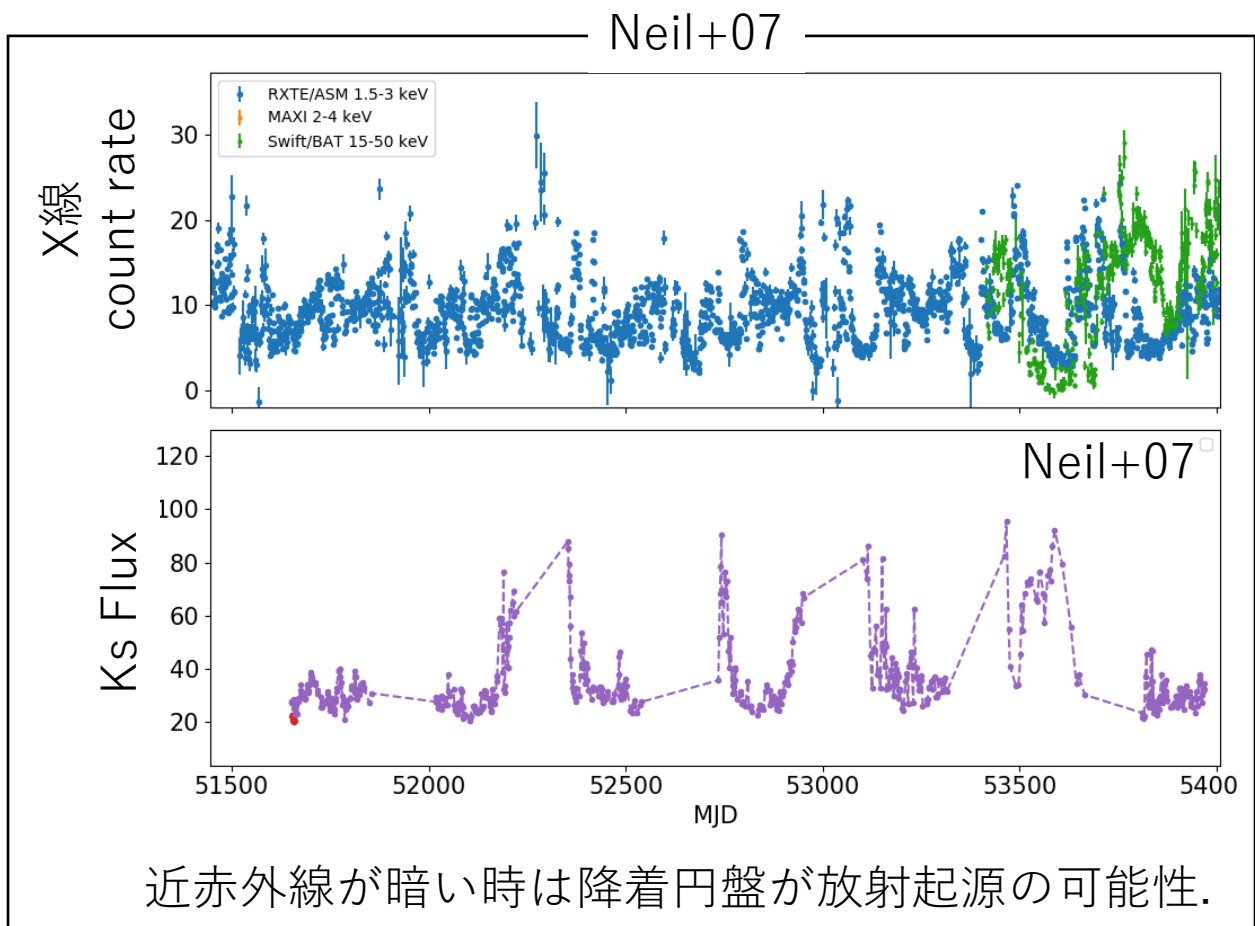
# 2018年7月から軟X線で観測史上最も暗くなった



- 軟X線で突然暗くなった(Negoro+18). X-ray low luminous state中にもX線減光の長期変動が見える.
- 降着率が低くなったこととBH周辺に遮蔽体が形成されていることが原因の可能性(Koljonen, Tomsick 2020, Miller et al. 2020).
- この期間の近赤外線がどのような状態なのか・放射起源は何なのか分かっていない.

非常に珍しい状態なのでかなた望遠鏡で2019年4月頃より近赤外線でもニタ一観測を開始

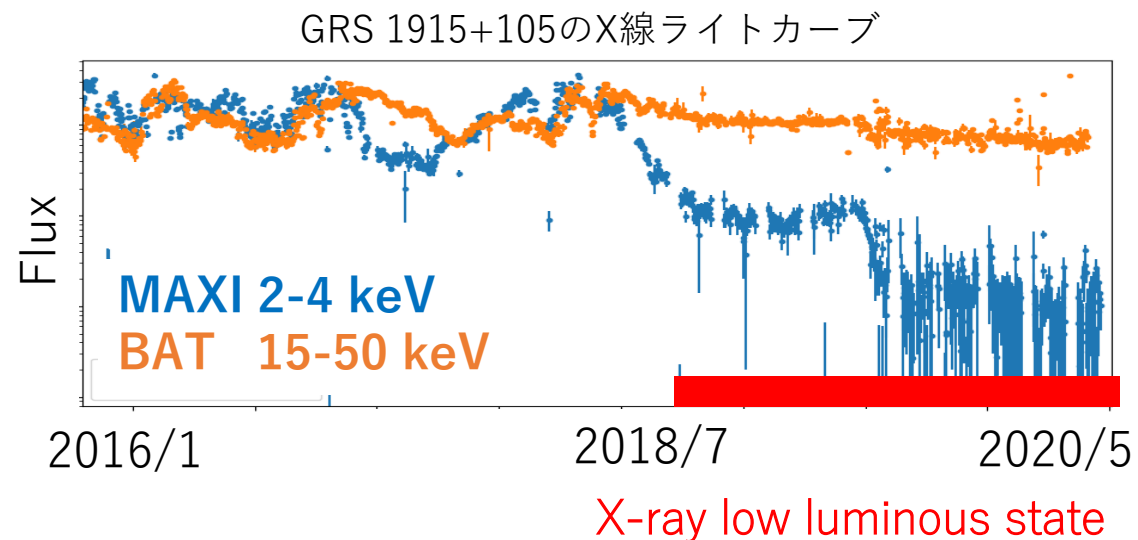
# これまでのGRS1915の近赤外線放射の放射起源: 数日以上の長期変動成分



GRS1915のNIRの長期変動成分の放射起源や変動メカニズムは通常状態でもまだよく分かっていない。高頻度でのNIRと電波の共同観測があまり実施されていないことが原因のひとつ。

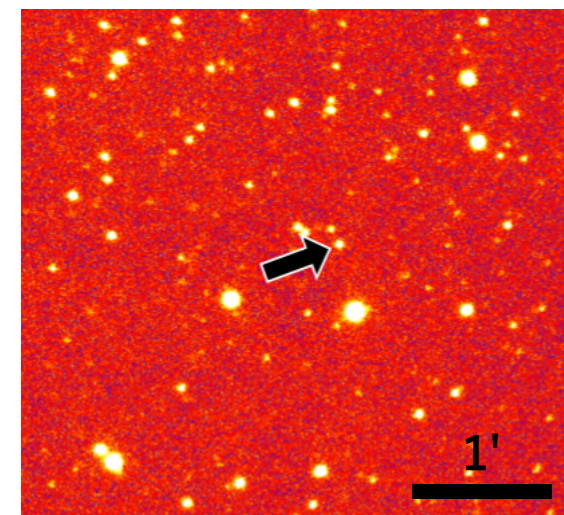
# 研究目的

X-ray low luminous stateの近赤外線の様子を調べる。  
また近赤外線に長期変動成分がある場合は放射起源  
や変動メカニズムを探る。



# 近赤外線の観測について

かなた望遠鏡/HONIRの撮像モードと偏光モードで観測。  
主にKs, Hバンドの2色で観測。  
2MASSカタログを用いて相対測光を行った。



Kanata/HONIRの測光モードの画像 (Ks band)

# 近赤外線の長期変動成分の放射起源を知るための手段

- ・ **近赤外線フラックスの変動を他波長と比較**

例えば, 近赤外線の放射起源がジェットの場合: 電波(ジェット)と近赤外線のフラックスで正の相関.

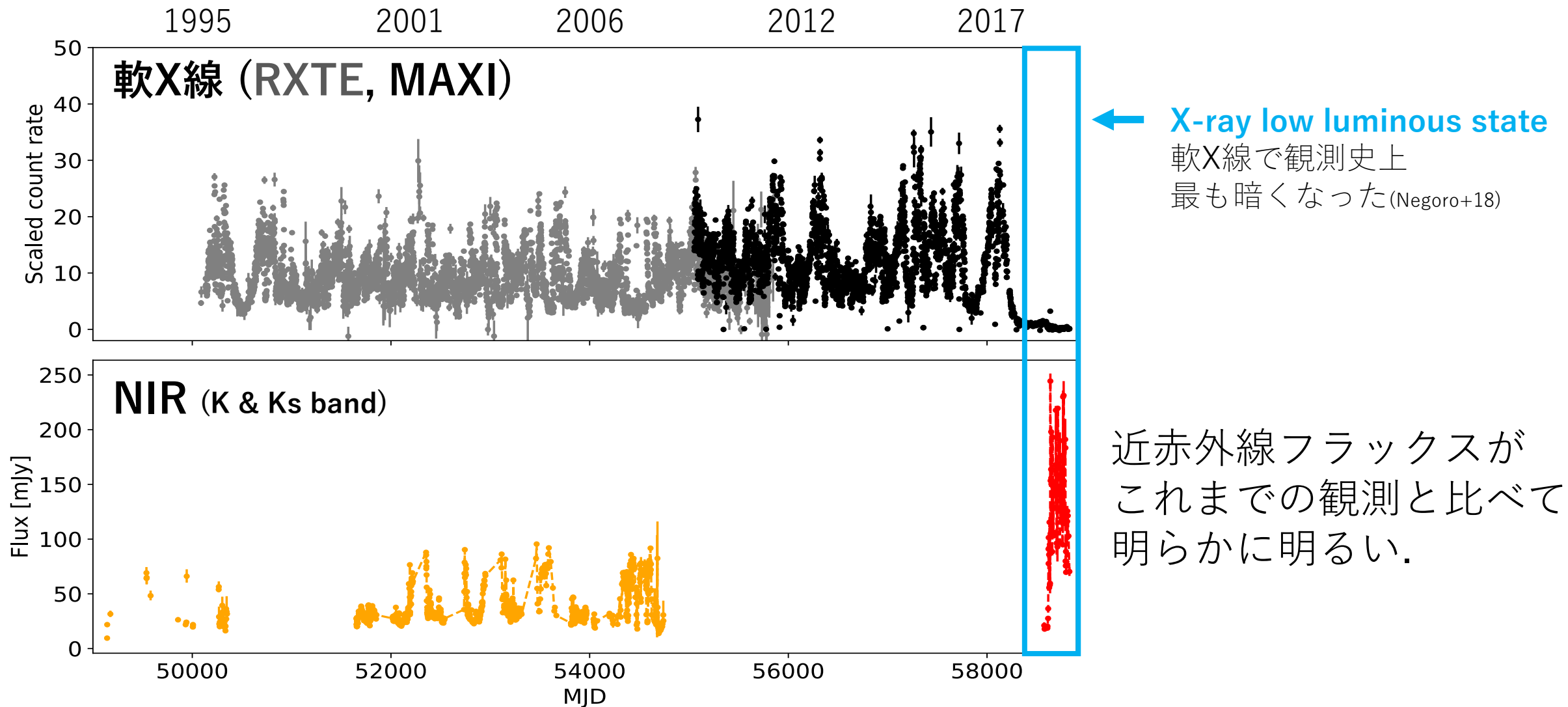
- ・ **近赤外線の偏光を検出し、光度との関係を調べる**

近赤外線の放射起源がジェットの場合, ブレーザージェットのようにフラックス変動時に偏光の変動が見えるかもしれない.

- ・ **近赤外線を含む多波長スペクトルを各モデルでフィット**

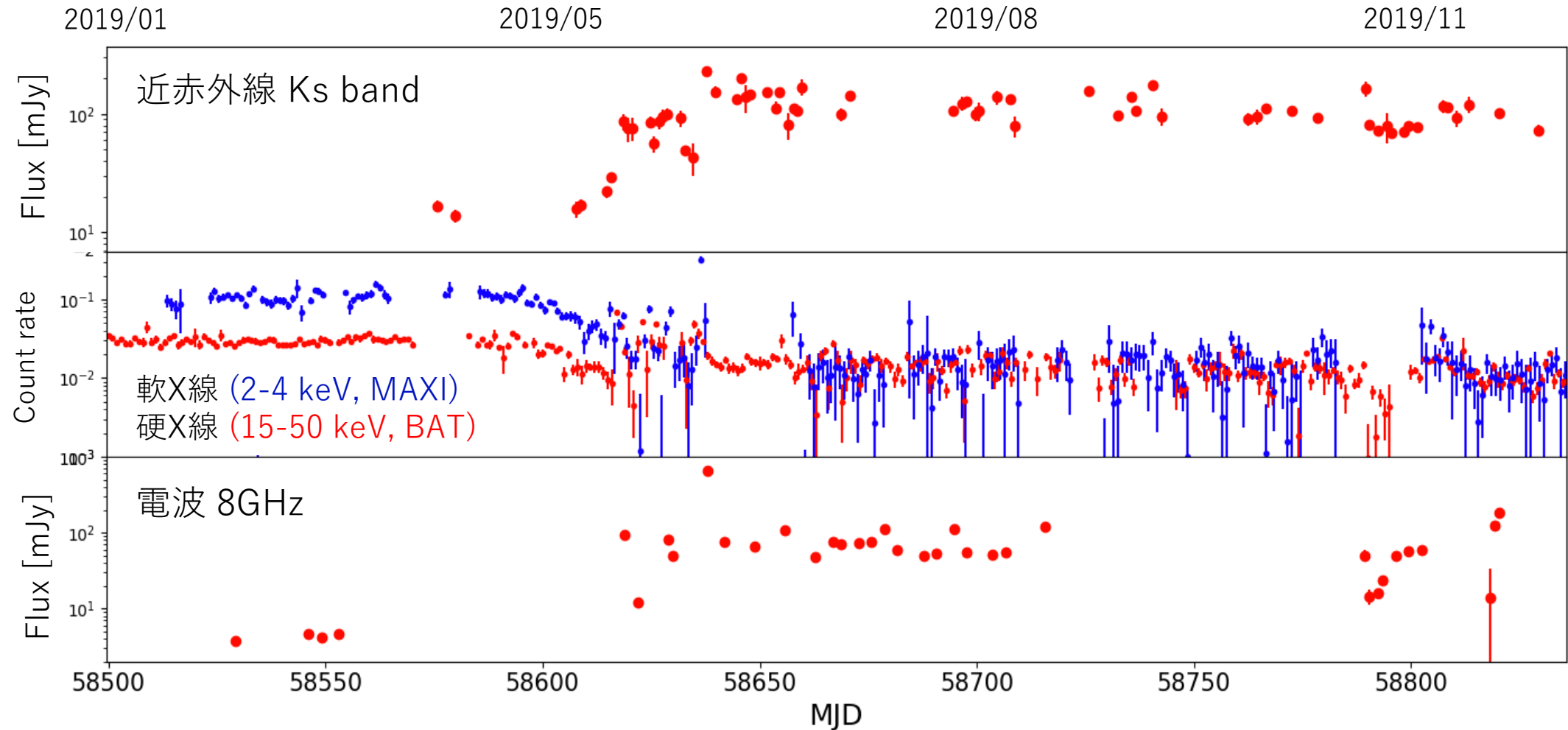
近赤外線以外他波長データとして, 山口大学の電波干渉計の8GHz電波データとX線アーカイブデータを使用.

# 結果: 近赤外線のhistoricalライトカーブ



※ 近赤外線フラックスは以下の論文から引用. 全てのデータに対してChapuis&Cobel 2004の星間吸収補正を適応.  
Neil+07, Arai+09, Eikenberry+97, Bandyopadhyay+98, ueda+02, Mirabel+96, Chaty+96

# 結果: X-ray low luminous stateの近赤外線&電波ライトカーブ

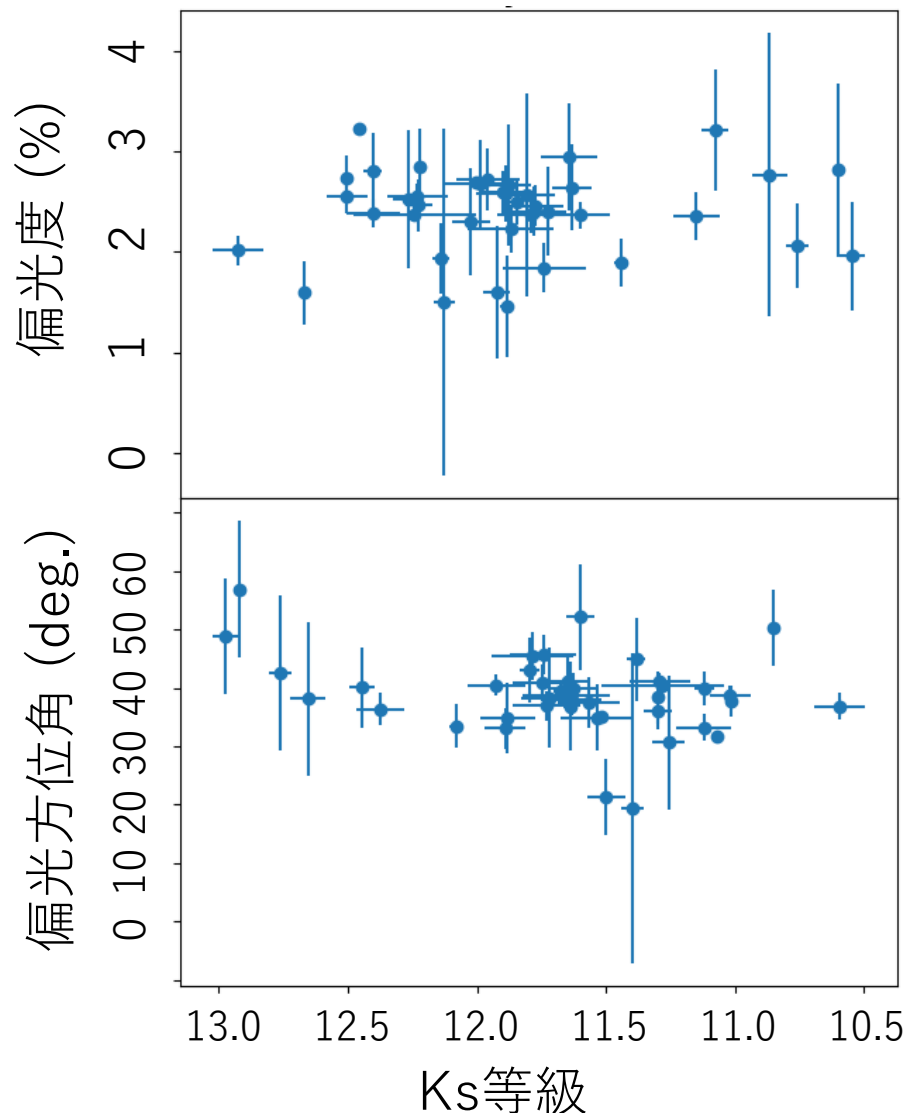


58600<MJD<58630で, X線と近赤外線フラックスが負の相関, 電波と近赤外線のフラックスが正の相関.  
X-ray low luminous stateの更に暗い時期(MJD>58630)に明るいジェットが存在.  
単純に考えると近赤外線の増光は明るいジェットの寄与のせい?



# 結果: 近赤外線のパolarization

近赤外線でジェットの寄与が大きい場合は、高い偏光度や偏光と光度との相関を期待



今回の偏光結果  
偏光度:  $2.84 \pm 0.04 \%$   
偏光方位角:  $40.4 \pm 1.0 \text{ deg.}$   
状態: 近赤外線明るい, 電波明るい

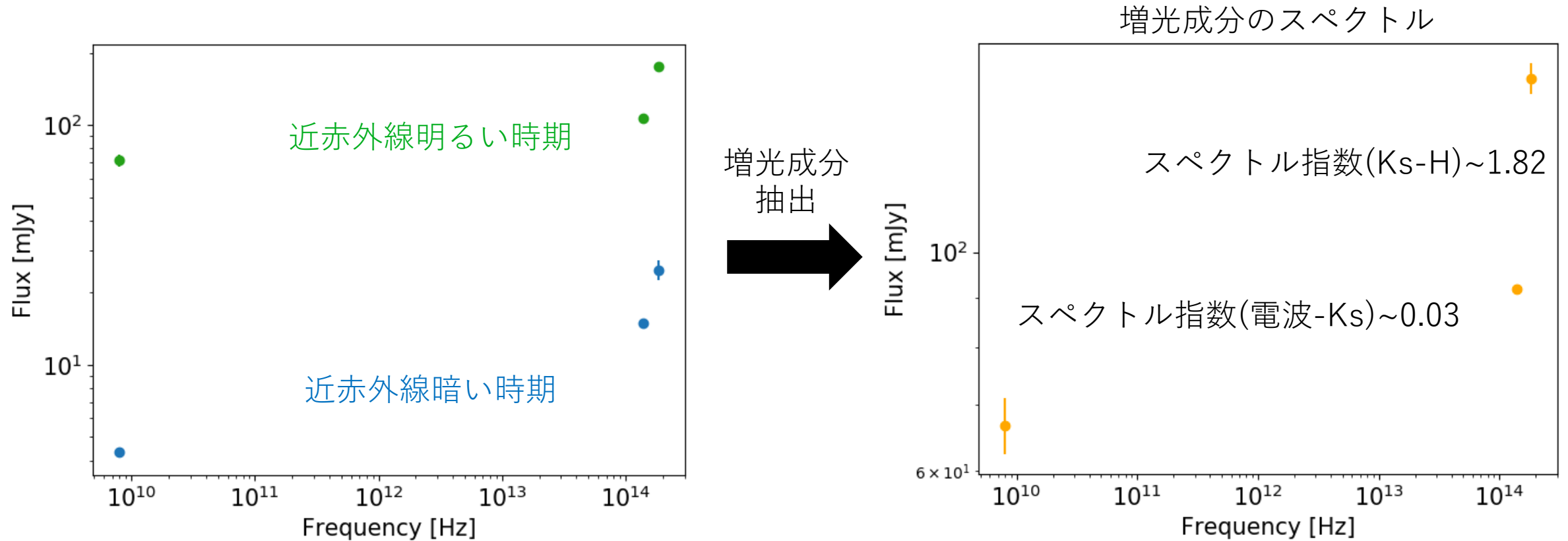
過去の偏光結果(Shahbaz+08)  
偏光度:  $3.7 \pm 1.1 \%$   
偏光方位角:  $\sim 50 \text{ deg.}$   
状態: 近赤外線暗い, 電波暗い

偏光と光度に明らかな相関は見えない。

最大星間偏光度(3.3%, Shahbaz+08)と無矛盾。

近赤外線のメインの放射起源をジェットだと断定できない。  
ただしもしジェットの場合は無偏光な光学的に厚いジェットか。

# 結果: 増光成分のスペクトルから近赤外線放射起源推定

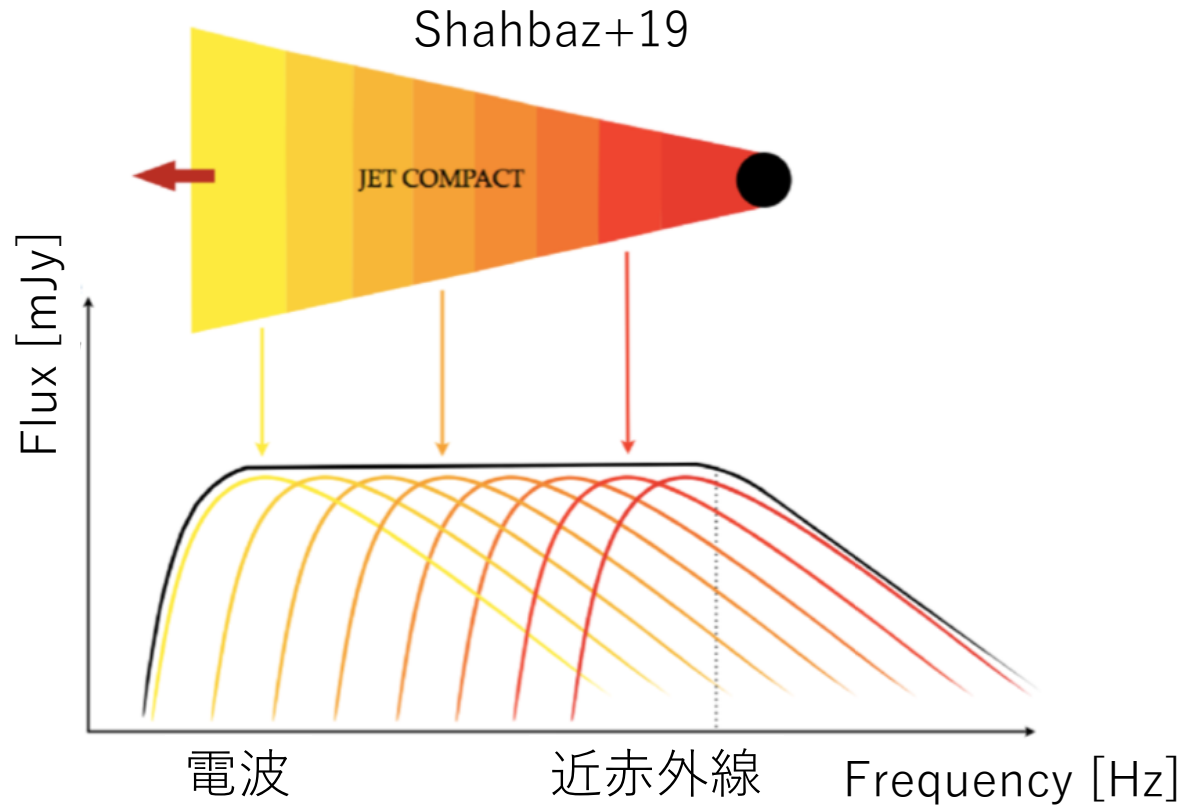


2つの周波数間でベキの値が異なる.

近赤外線の増光はジェットだけでは説明できない.

ジェットとは別の放射成分が必要. 黒体放射(降着円盤?)がすぐ思いつく.

# X線連星のジェットのスเปクトルについて



フレア以外の時期のX線連星のジェットは光学的に厚い領域と光学的に薄い領域からのシンクロトロン放射が合算されたものが見えていると考えられている。

もし増光成分がジェットの場合、左図のようなスペクトルが見えるはず。

# X-ray low luminous state中の近赤外線の放射起源と増光メカニズム

近赤外線の増光成分のスペクトルが黒体放射で再現できることが分かった。

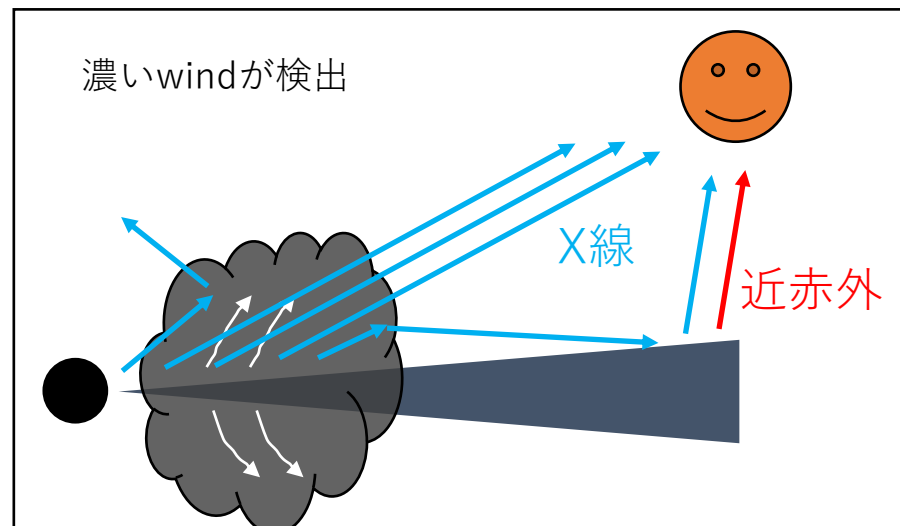
この黒体放射が降着円盤からの場合, 増光原因に, 質量降着率の増加 or 効率的なReprocessingが考えられる。

X線解析(Koljonen&Tomsick 2020, Miller et al. 2020)からX-ray low luminous state中の質量降着率は通常状態よりも低いと分かっている。

そのため, 降着円盤の増光は質量降着率の増加が原因ではなく, 通常状態よりも強い Reprocessing が起こり, 円盤外縁が暖められたことが原因であると考えられる。

X線解析から近赤外線が増光し始めた時期に濃いdisk windが検出された。また近赤外線が増光後の解析からは, BH周辺を覆い隠すより濃い遮蔽体が形成されていることが分かった。

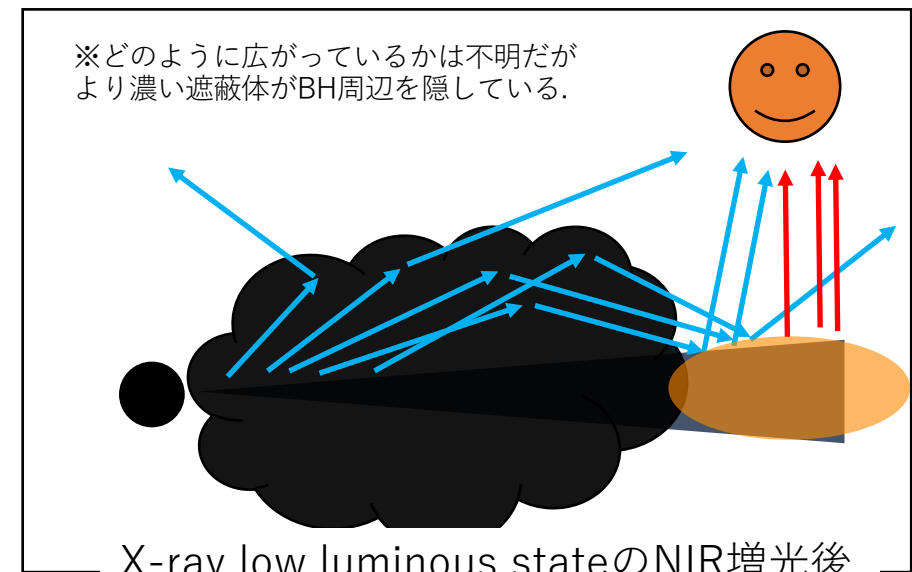
この濃いdisk windや遮蔽体によって円盤内縁付近のX線がコンプトン散乱され, 通常よりも効率のいいReprocessingで円盤外縁が暖められ, 黒体放射が増光したと考えることができる。



X-ray low luminous stateのNIR増光し始めの時期



NIR増光  
X線減光



X-ray low luminous stateのNIR増光後

# まとめと今後

## 近赤外線の長期変動についてのまとめ

- ・ X-ray low luminous stateのX線が更に暗くなった時期に, 近赤外線フラックスがこれまでの観測と比べても非常に明るくなった. 電波も明るくなった.
- ・ 近赤外線の偏光とフラックスの間に明らかな相関は見えず, 星間偏光と無矛盾.
- ・ 近赤外線の増光成分のスペクトルはジェットのみでは説明できない. 黒体放射で説明可能.
- ・ X線遮蔽体の形成によって近赤外線が増光した可能性.

## 今後について

- ・ 近赤外線分光観測の実施・解析
- ・ 1日以内の近赤外線の変動も見えているため, 短時間変動の原因を調べる.