

Tomo-e GozenとOISTERによる ブラックホールX線連星 MAXI J1820+070の観測

村田勝寛, 安達 稜 (東京工業大学)

安達さんの昨年度の修士論文

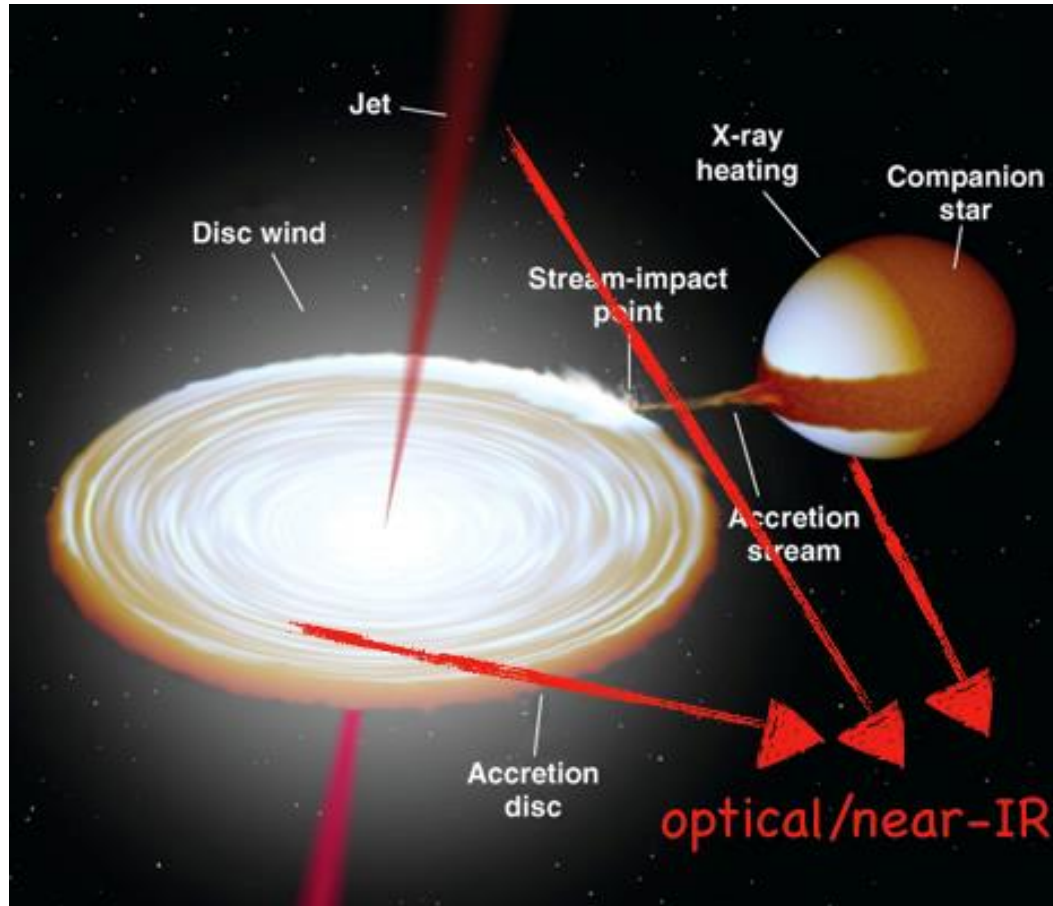
共同研究者

庭野聖史, 細川稜平, 河合誠之, 東工大MITSuMEチーム(東京工業大学),

伊藤亮介(美星天文台), 志達めぐみ(愛媛大学),

諸隈智貴, 大澤亮(東京大学), 花山秀和, 堀内貴史(国立天文台)ほか

X線連星



Credit: NASA/R. Hynes

連星系を成す星の一つがコンパクト星（ブラックホール・中性子星）

- 伴星からのガスが降着円盤を形成し、中心に落下するに伴い重力エネルギーを解放し、その一部を放射エネルギーに転換
- X線アウトバーストすることでMAXI/GSCなどのX線検出器で発見される
- 我々が注目しているのは伴星が太陽質量以下の低質量X線連星

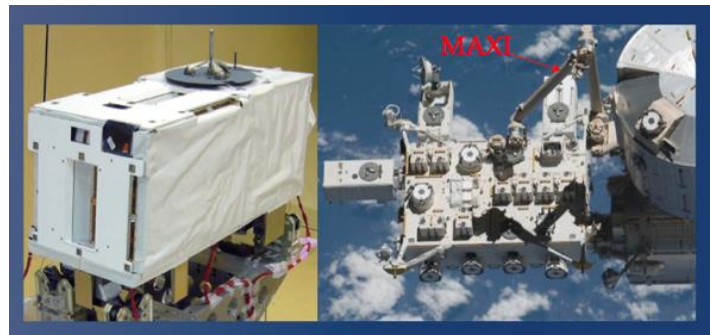
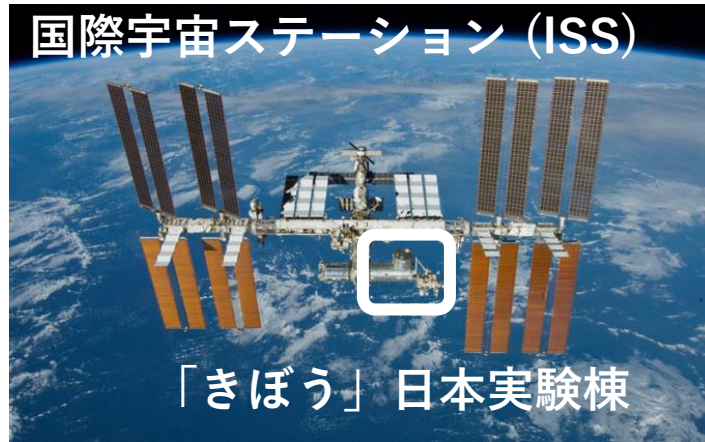
X線連星の可視・近赤外線

- ジェットからのシンクロトロン放射
- X線が照射された降着円盤の外側、又は伴星からの熱放射

様々な時間尺度で変動

→ 可視・近赤外線の色や変動、他波長との関係を調べることで放射源に制限

全天X線監視装置 MAXIによるブラックホールX線連星の発見



ISSの地球周回で約92分ごとに掃天

2009年にミッション開始

MAXIによるブラックホールX線連星の発見数 14個

(2020年10月時点 <https://iss.jaxa.jp/kibouser/pickout/71943.html>)

X線で（フラックスが）明るいTOP 3

- 2017年9月発見 MAXI J1535-571
- 2018年3月発見 MAXI J1820+070
- 2019年1月発見 MAXI J1348-630

2年間に明るいブラックホールX線連星が立て続けに発見された

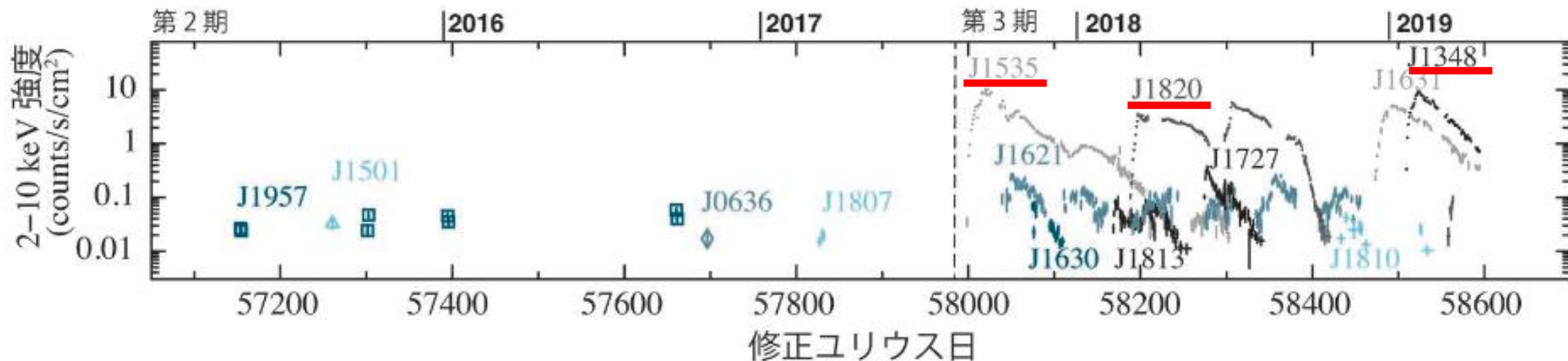
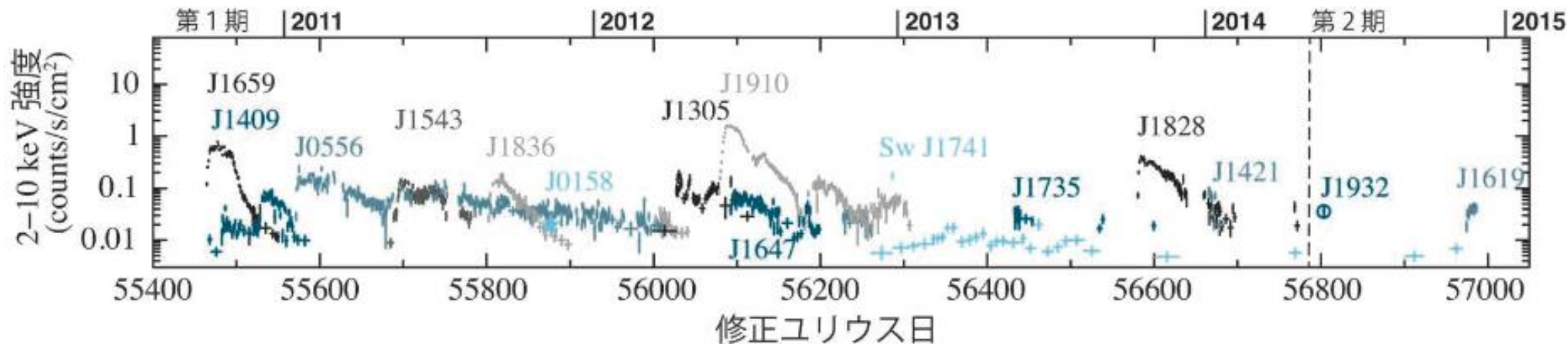
→ 発見から数日以内に可視光・近赤外線で同定

→ 可視光・近赤外線でも明るく、精力的に観測された

加えて、メインアウトバースト後に再増光も見られた

MAXIが発見したX線連星の光度曲線

黒、灰色線がブラックホール



ブラックホールX線連星 MAXI J1820+070

2018年3月11日にMAXIで発見された (Kawamuro+2018, ATel #11399)

- $(l, b) = (35.85, +10.160)$
- $D \sim 3 \pm 1$ kpc (Gaia, Gandhi et al. 2018)
 2.96 ± 0.33 kpc (VLBI, Atri et al. 2020)
- $N_H \sim 1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2} \Leftrightarrow$ 減光 $A_V \sim 0.3$

比較的によく減光が小さい

→ 可視光・近赤外線で明るい

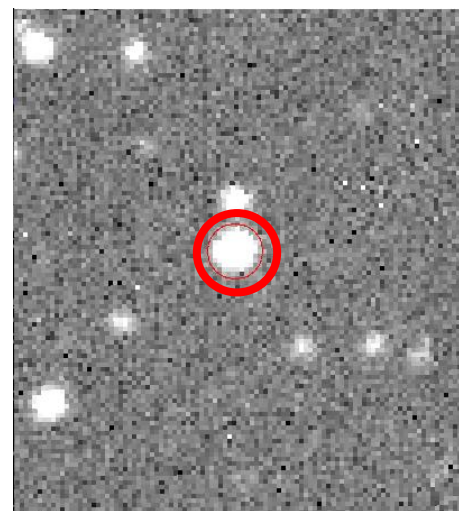
Rc~12等 メインアウトバーストのピーク

Rc~13等 再増光のピーク

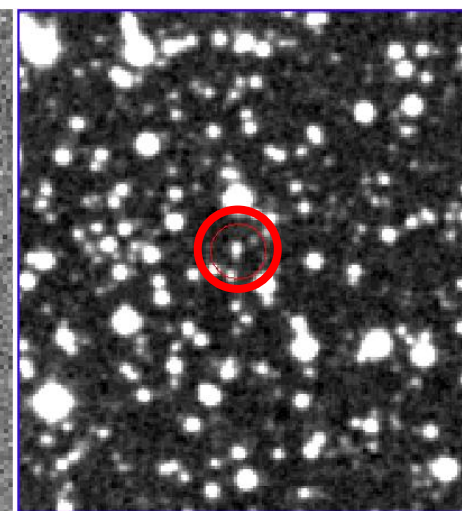
非常に活発な追観測が世界中で行われた

T~20日からOISTER ToO、MITSuMEで観測

MITSuME Ic, 3/24



DSS, アウトバースト前



MAXI J1820+070 : 800日間の光度曲線

2018年11月

2019年7月

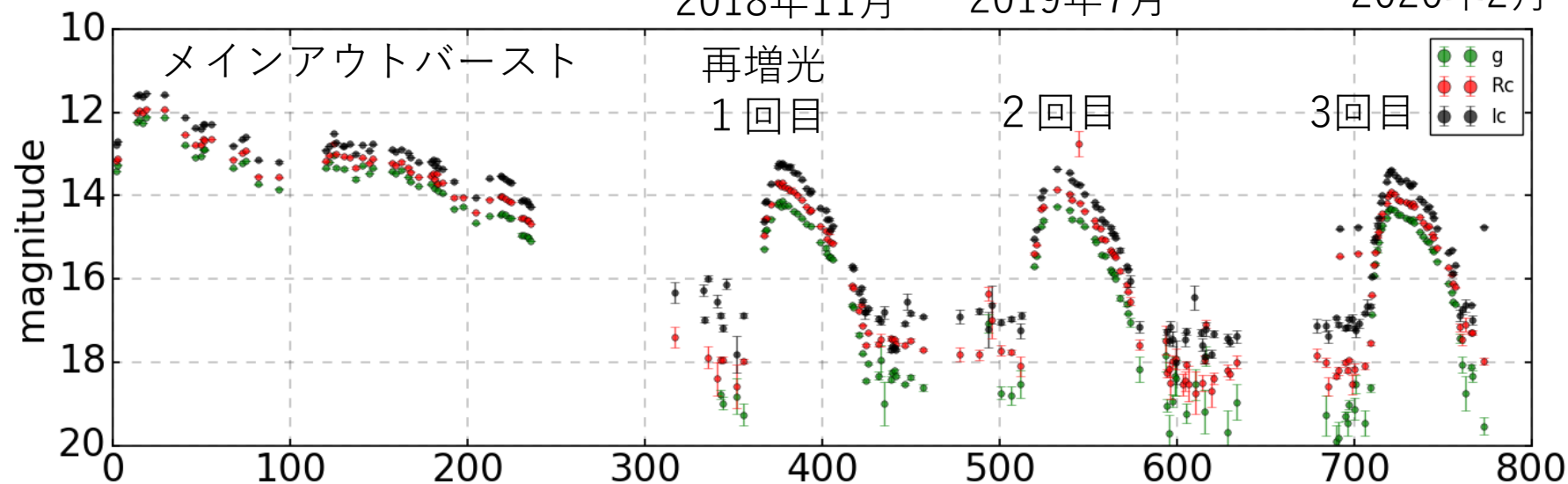
2020年2月

MITSuME望遠鏡

g (緑丸)

Rc (赤丸)

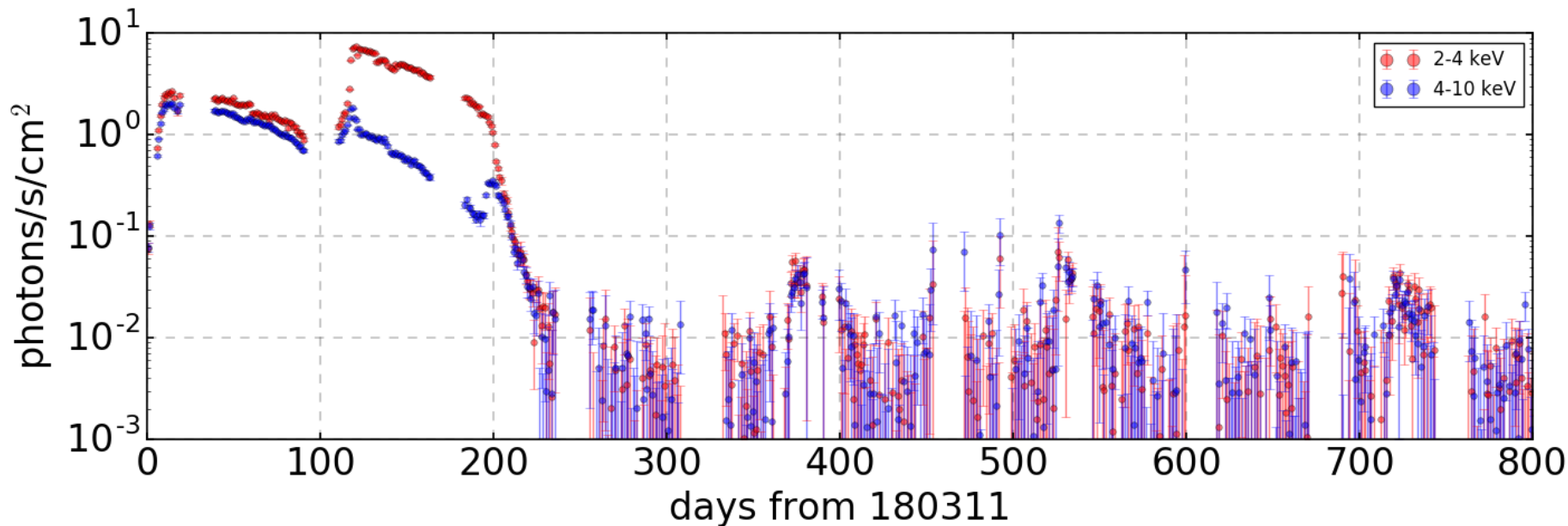
Ic (黒丸)



MAXI

2-4 keV (赤丸)

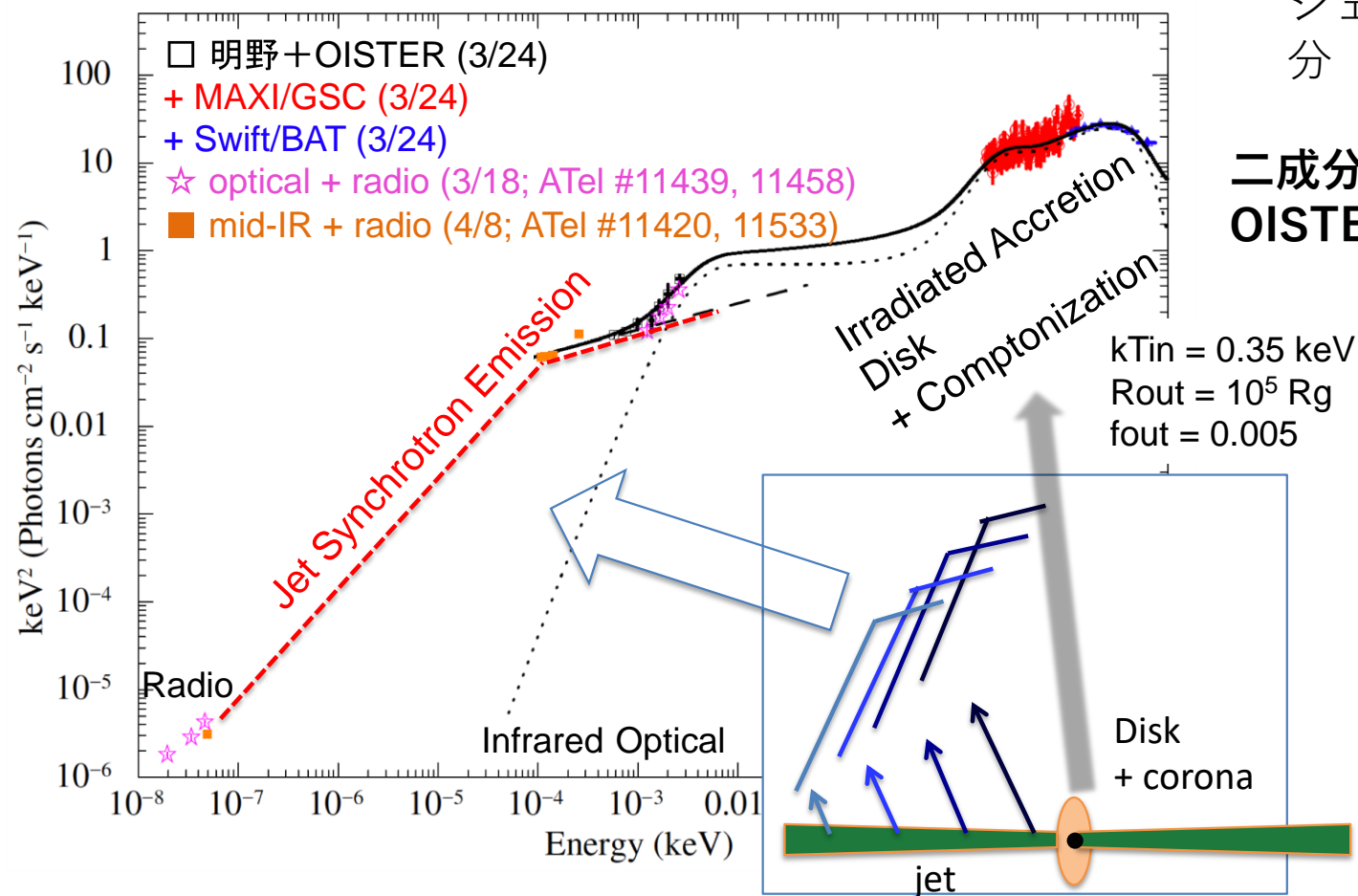
4-10 keV (青丸)



メインアウトバースト期のX線・可視近赤外線SED

2018年3月末の可視光・X線・電波SED

(Shidatsu+18を改変)

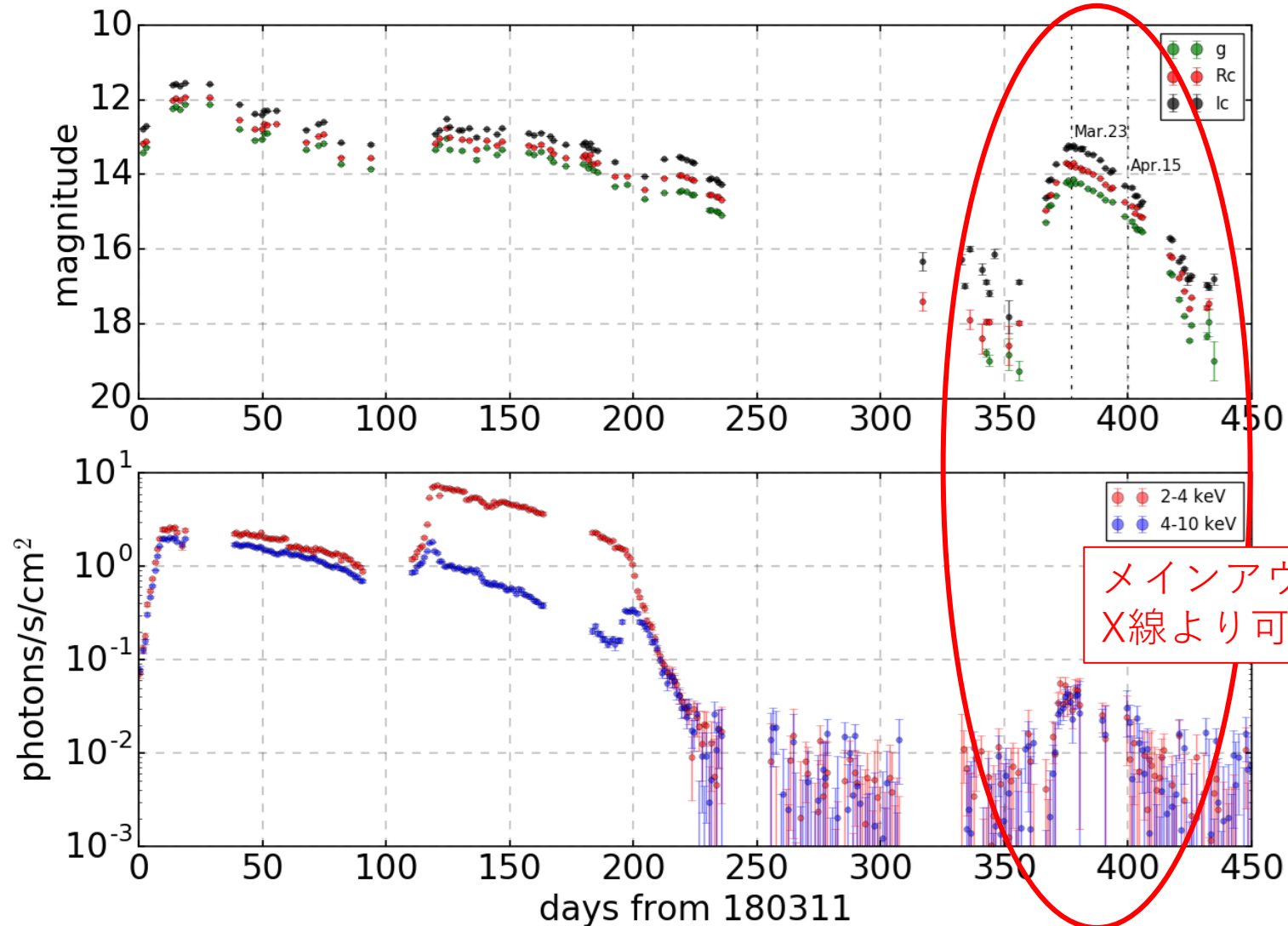


可視光・近赤外線のSEDに折れ曲がり

→ 照射円盤成分(irradiated accretion disk)と
ジェットからのシンクロトロン放射の二成分

二成分分離するには、
OISTERの近赤外線・可視光の同時観測が重要

今回の報告：1回目の再増光での観測

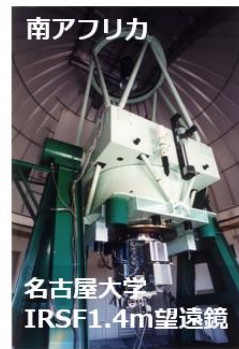
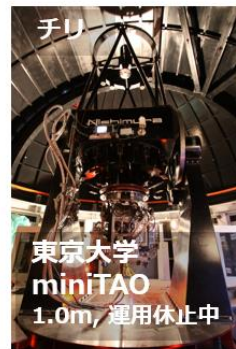
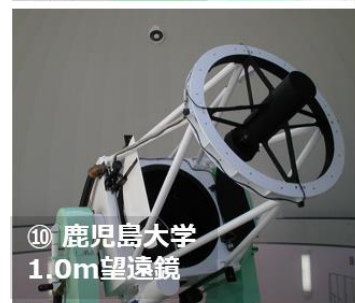
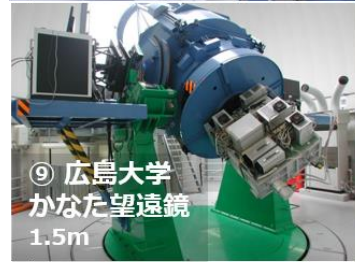


3/23と4/15に
多波長で集中的な同時観測

4/15はTomo-e, NICERなど
の可視光・X線同時の
高時間分解観測

メインアウトバースト (0-250 days) に比べて、
X線より可視光の方が明るい現象

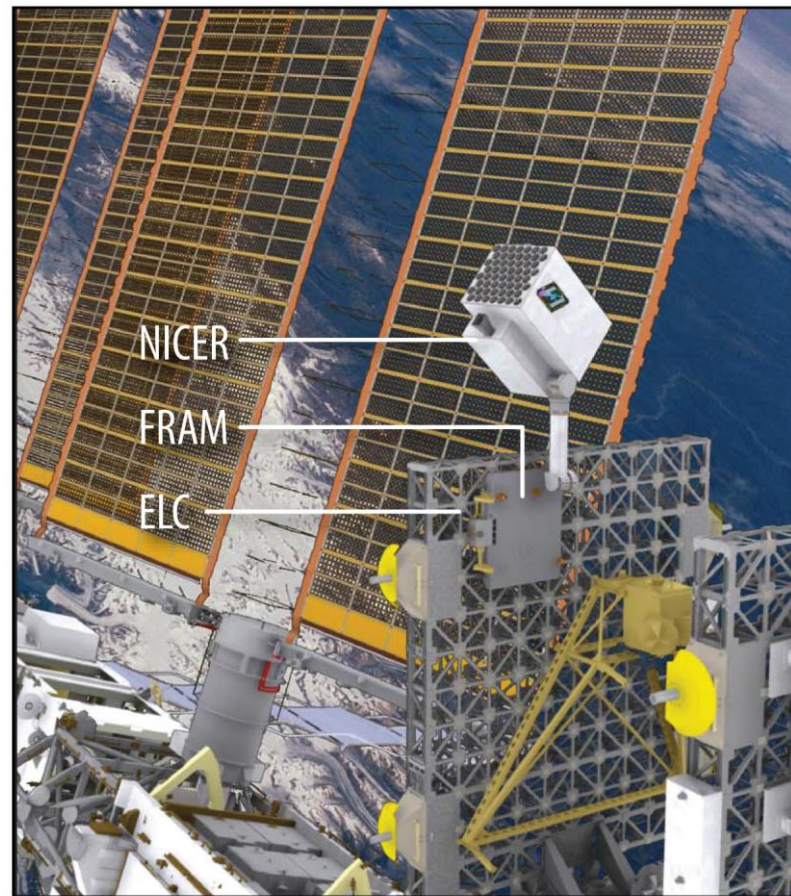
観測 - 光赤外線大学間連携



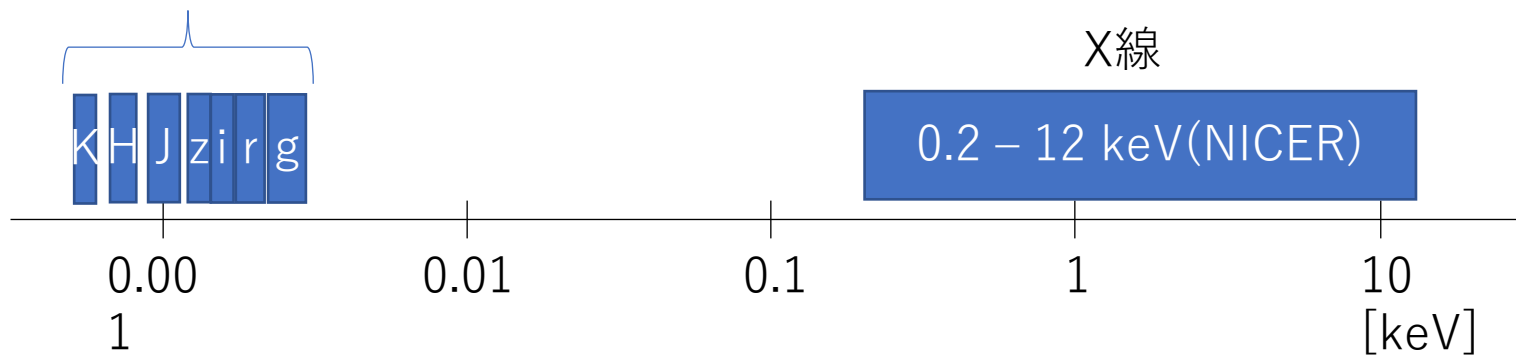
観測 – NICER

- X線観測装置@ISS
- 0.2 – 12keV

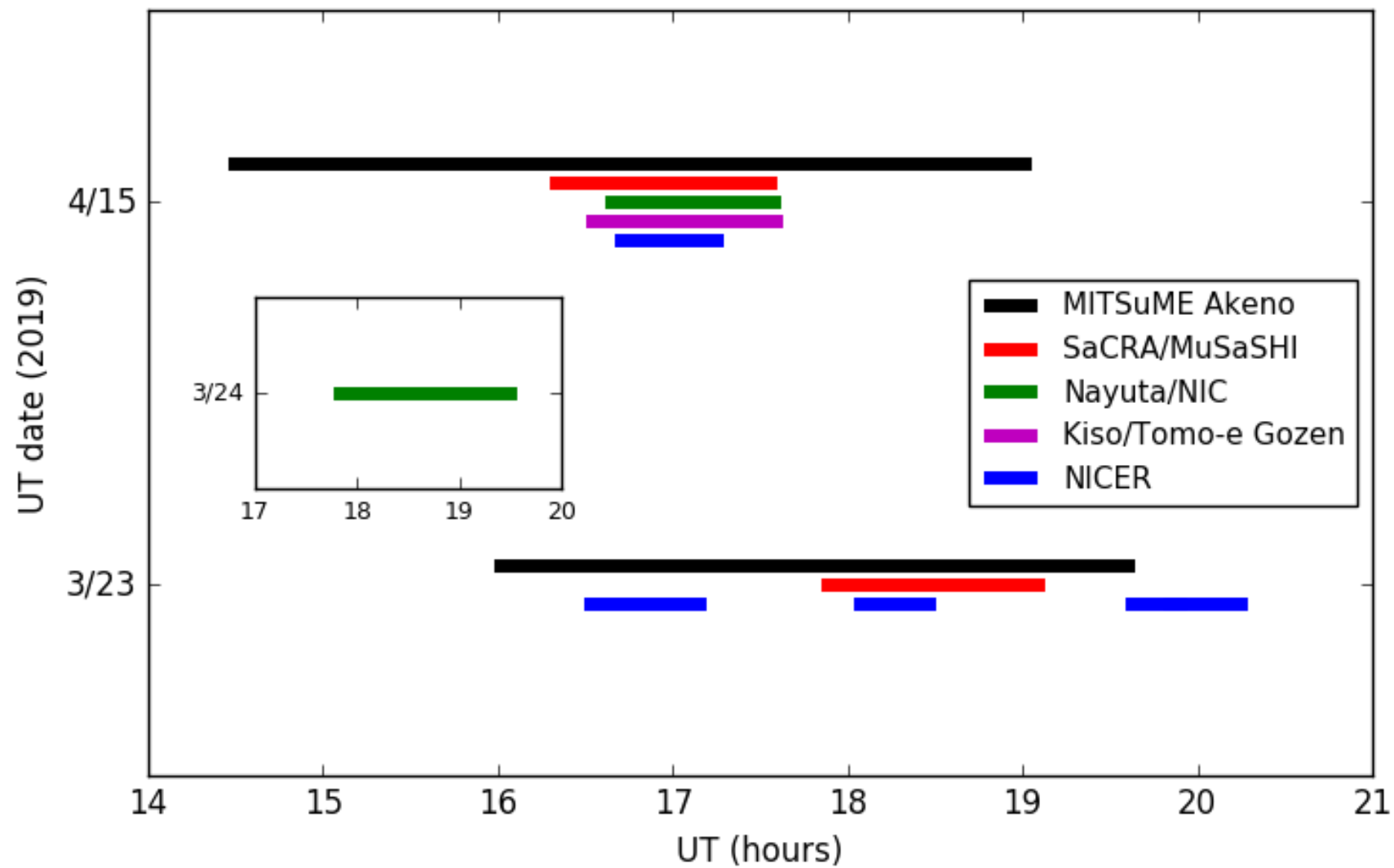
引用：<https://heasarc.gsfc.nasa.gov/>



可視・近赤外



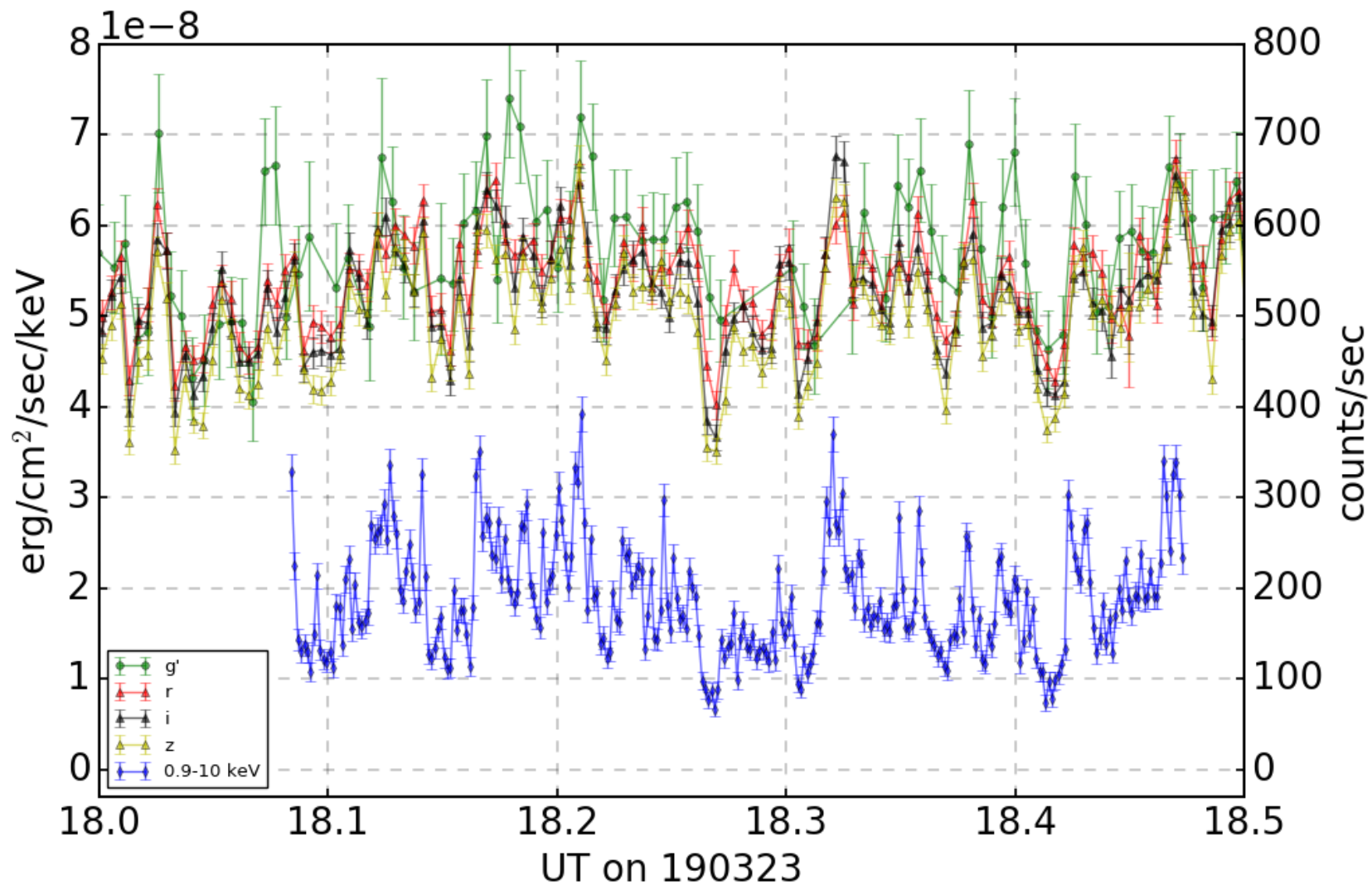
観測時間



一晩の光度曲線 (3/23)

可視光 + X線

数十秒スケールの変動が相関

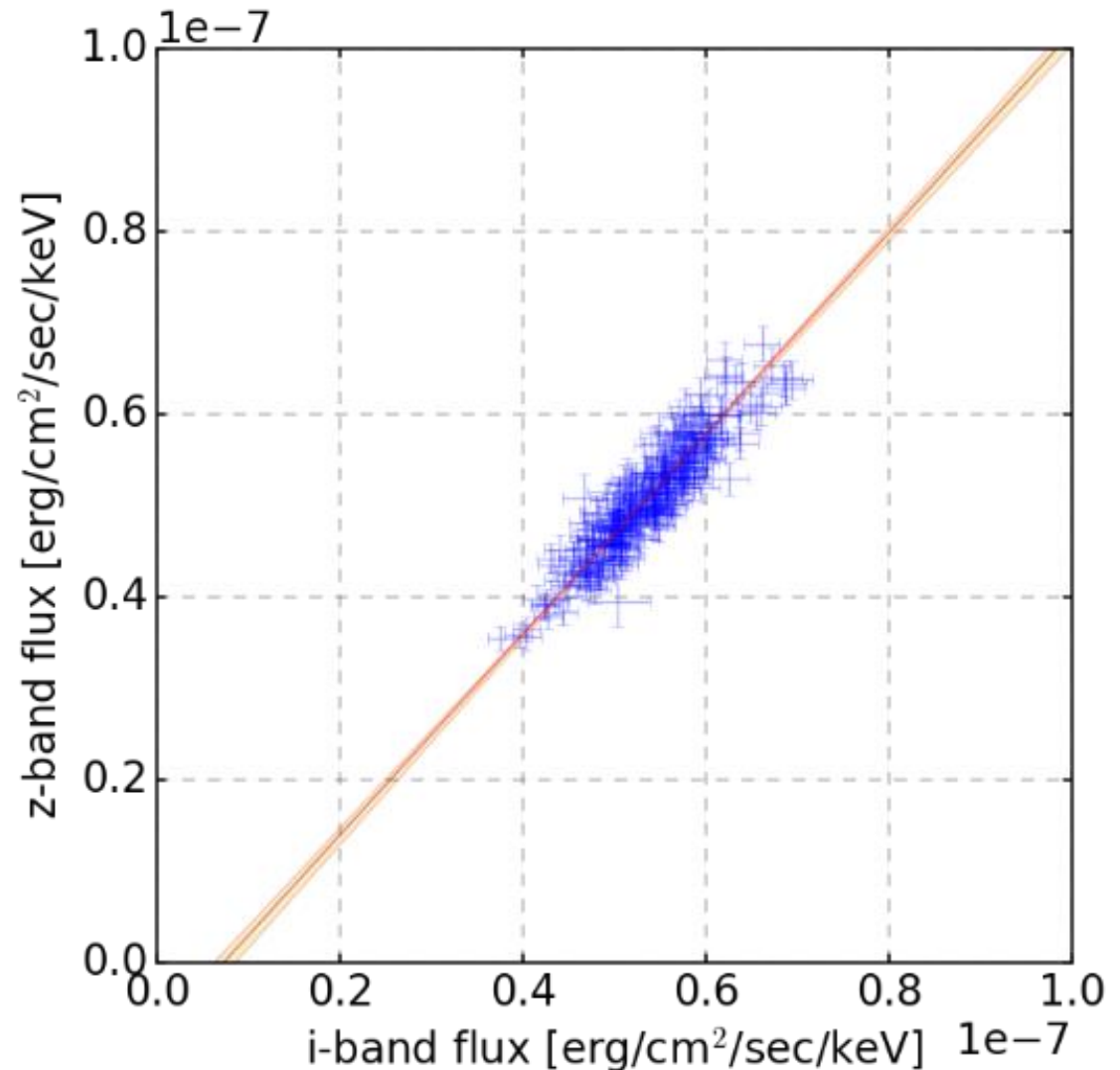


変動成分のスペクトルを調べる

- flux-flux plotから各バンド間の比率を計算

$$\text{傾き } a = \frac{F_{\nu}(z\text{-band})}{F_{\nu}(i\text{-band})}$$

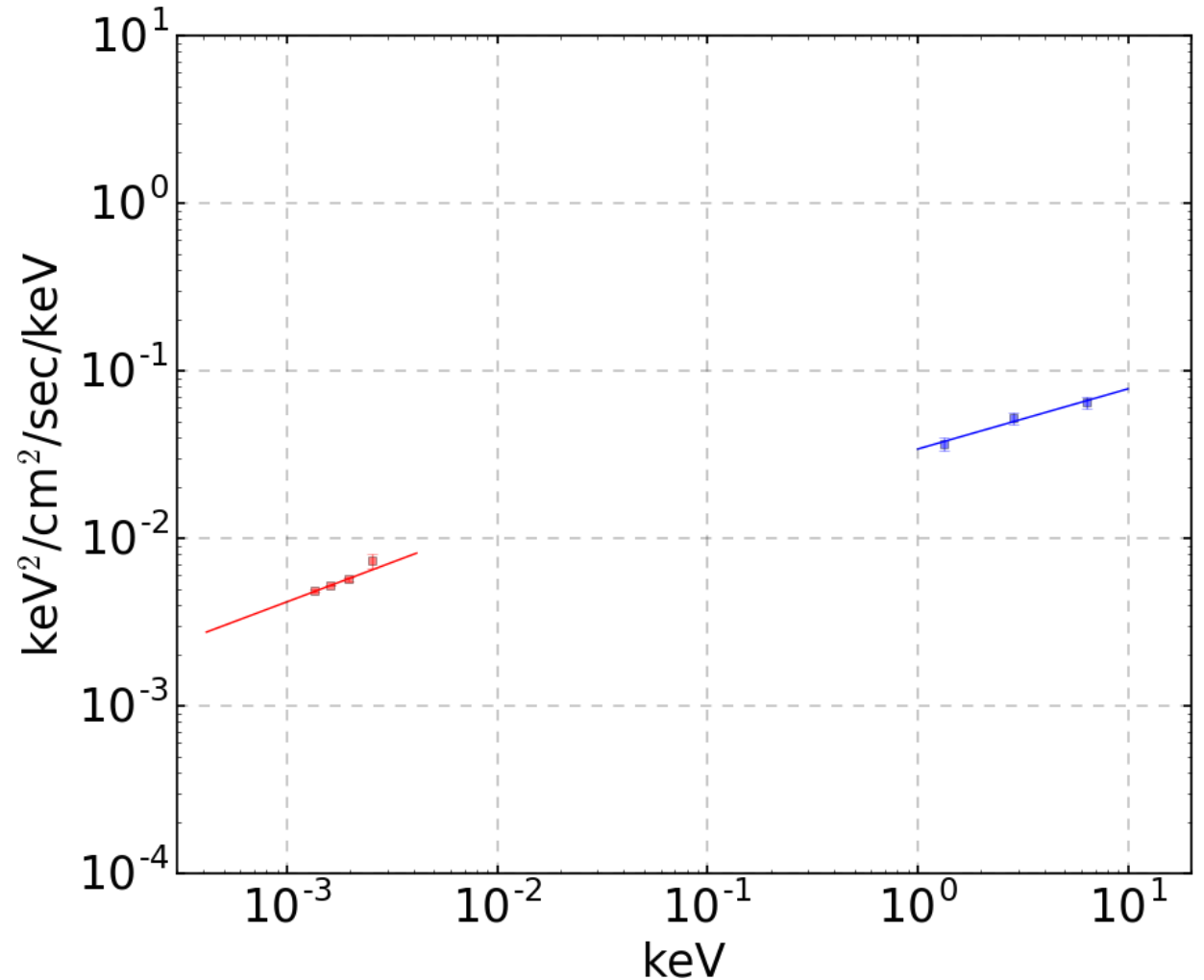
- i-bandを基準としてfluxの相対量をとる



Spectral Energy Density (3/23)

変動成分 $F_\nu \propto \nu^\alpha$

- 傾きが矛盾しない
(可視光: $\alpha \sim -0.6$)
- 一直線上に乗るかもしれない

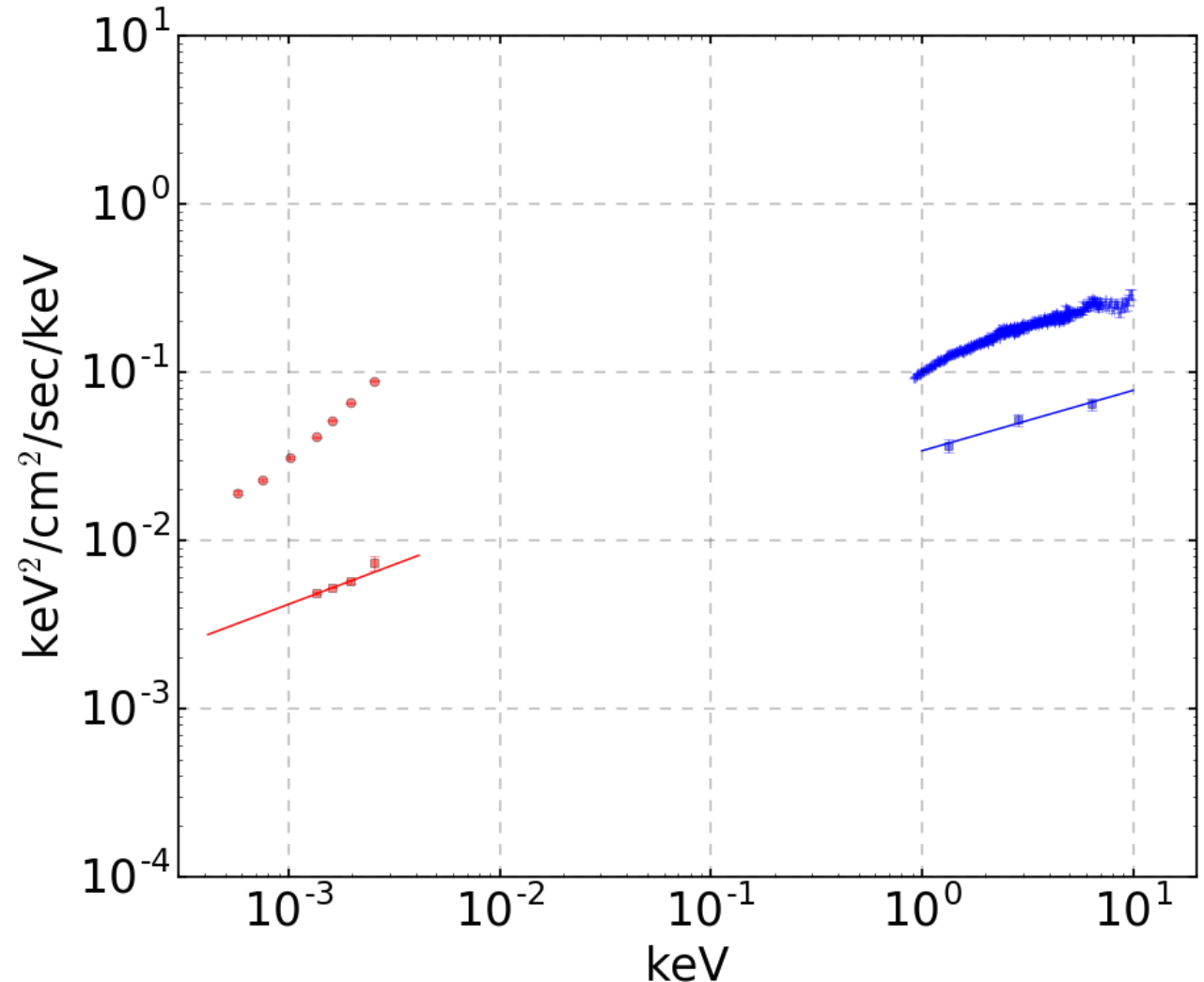


Spectral Energy Density (3/23)

X線: 平均の明るさも変動成分と同じ形

可視光: 変動成分と傾きが違う

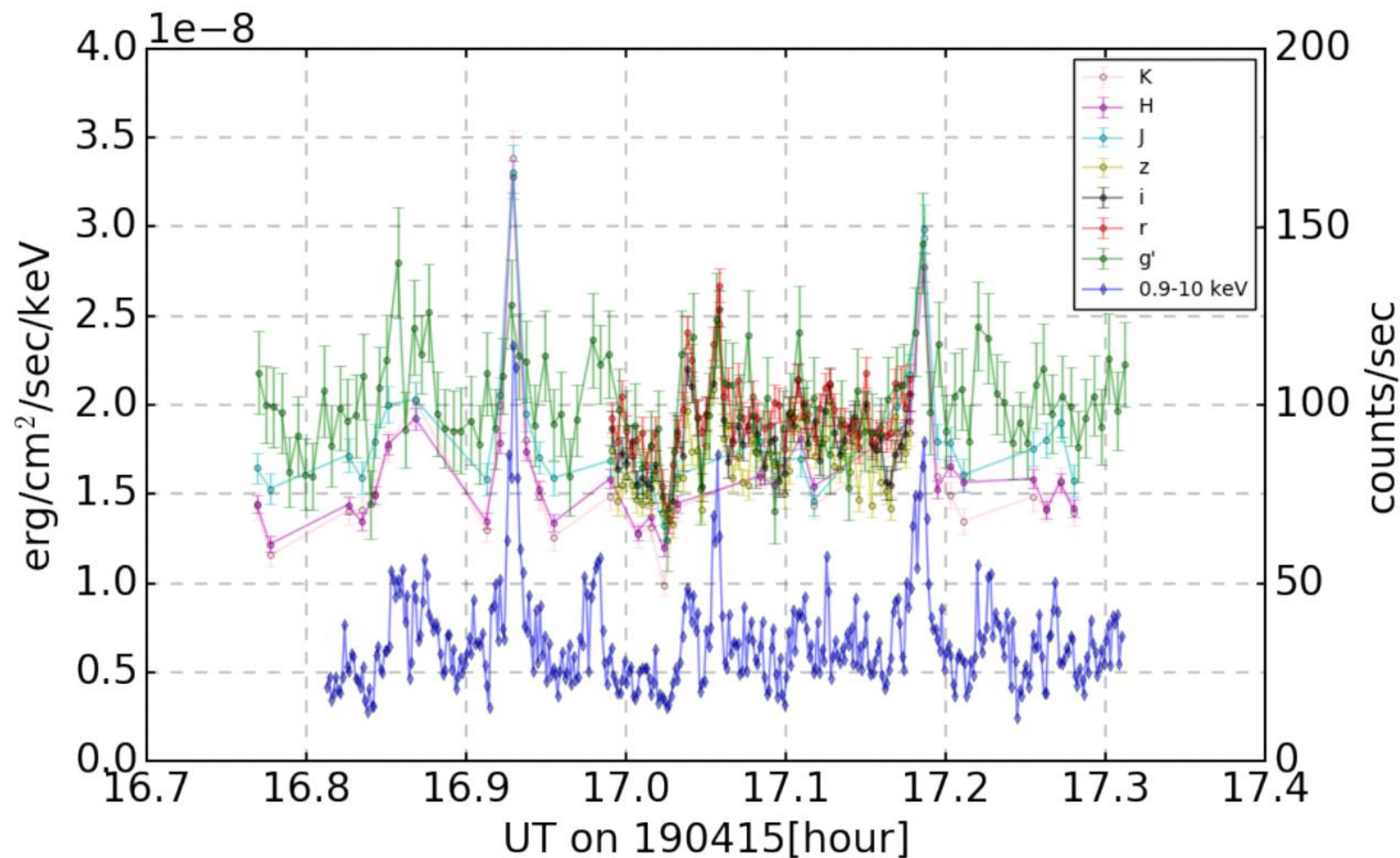
- 変動成分+定常成分



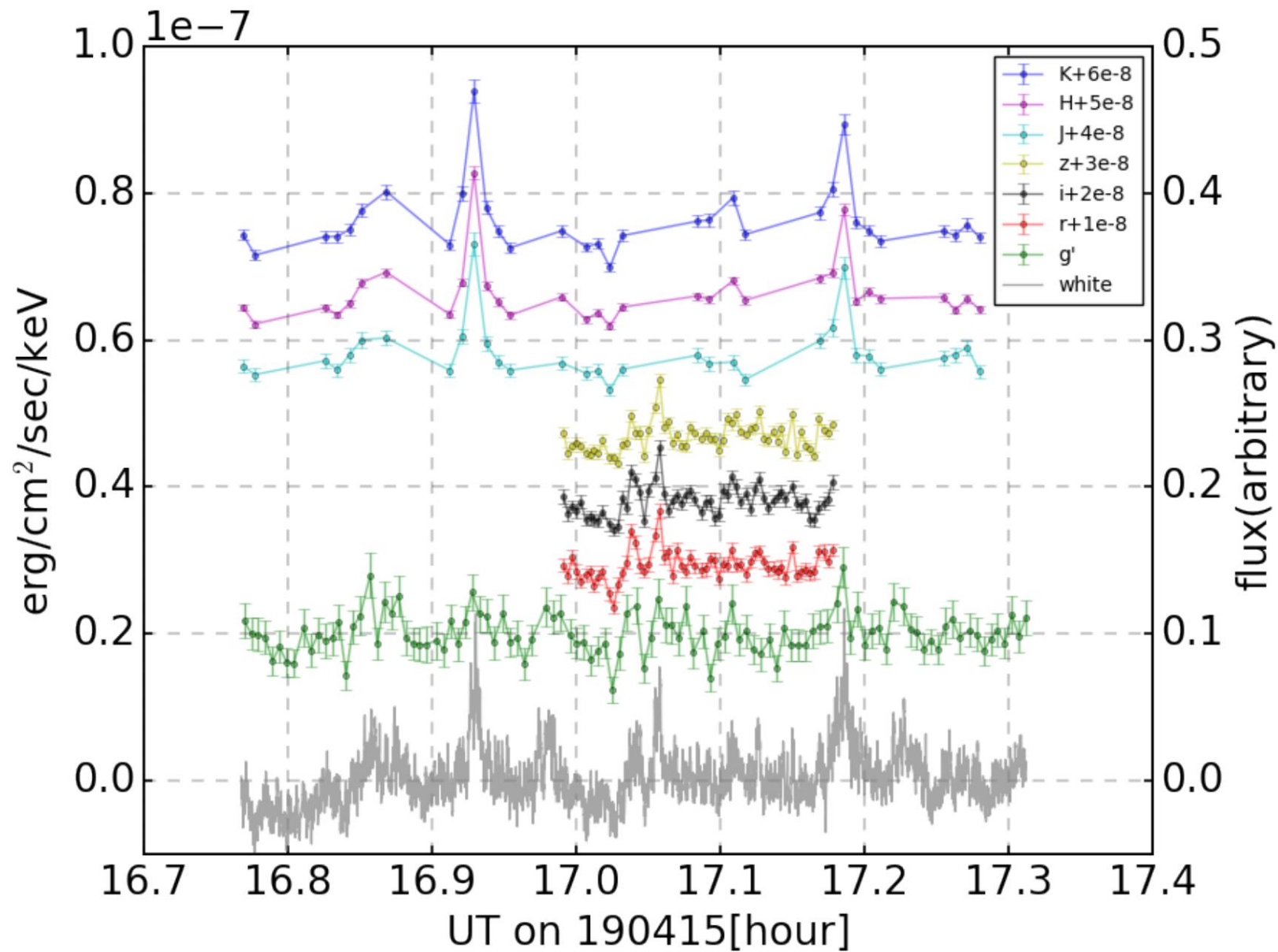
一晩の光度曲線 (4/15)

可視光 + 近赤外線 + X線

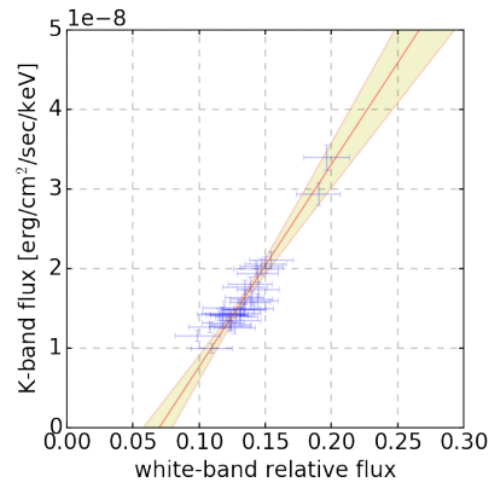
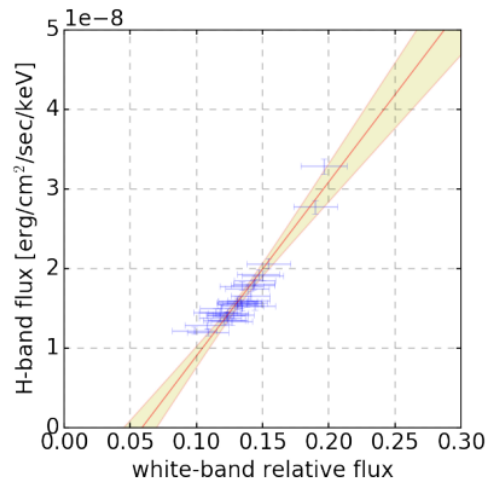
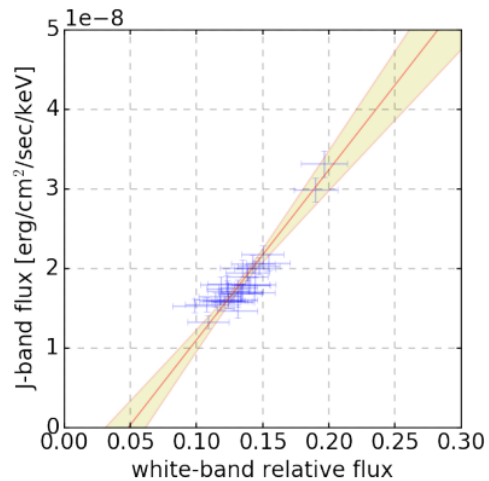
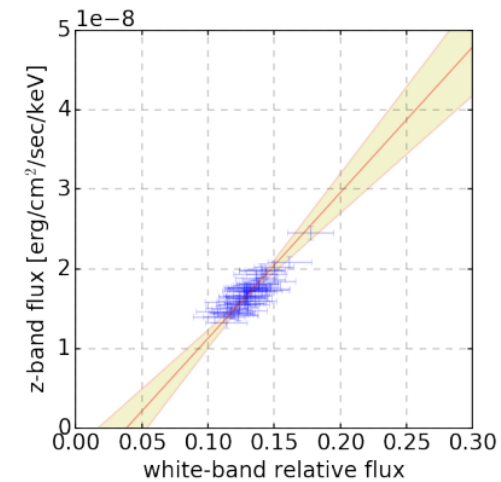
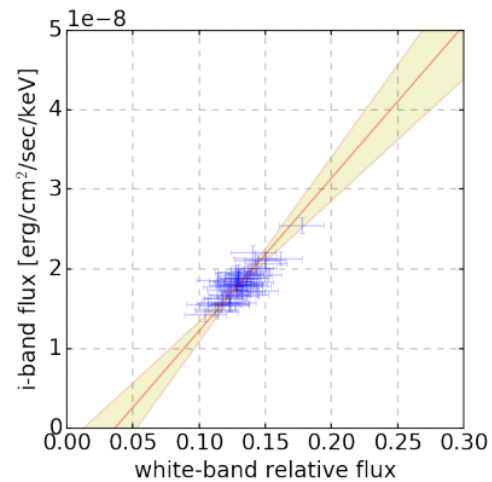
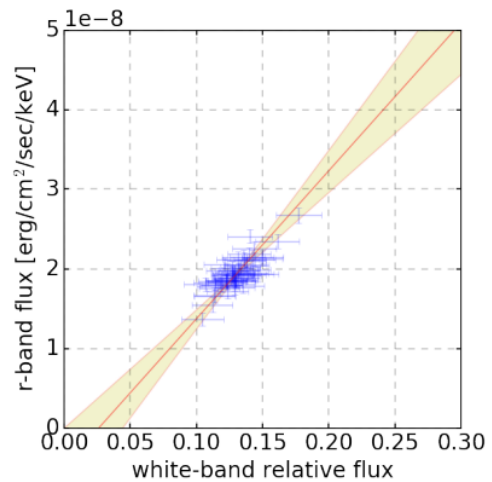
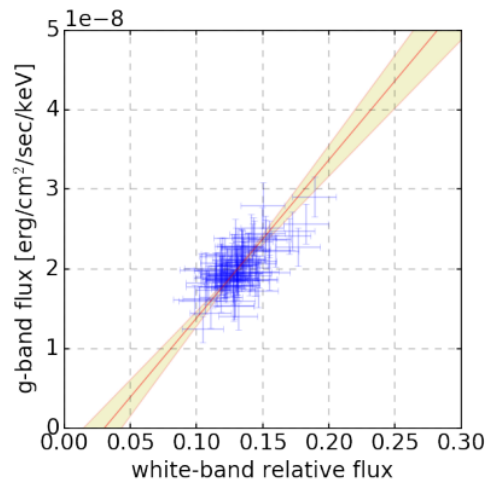
数十秒スケールの変動が相関



4/15のTomo-eと可視光・近赤外線



4/15のTomo-eと可視光・近赤外線



Spectral Energy Density (4/15)

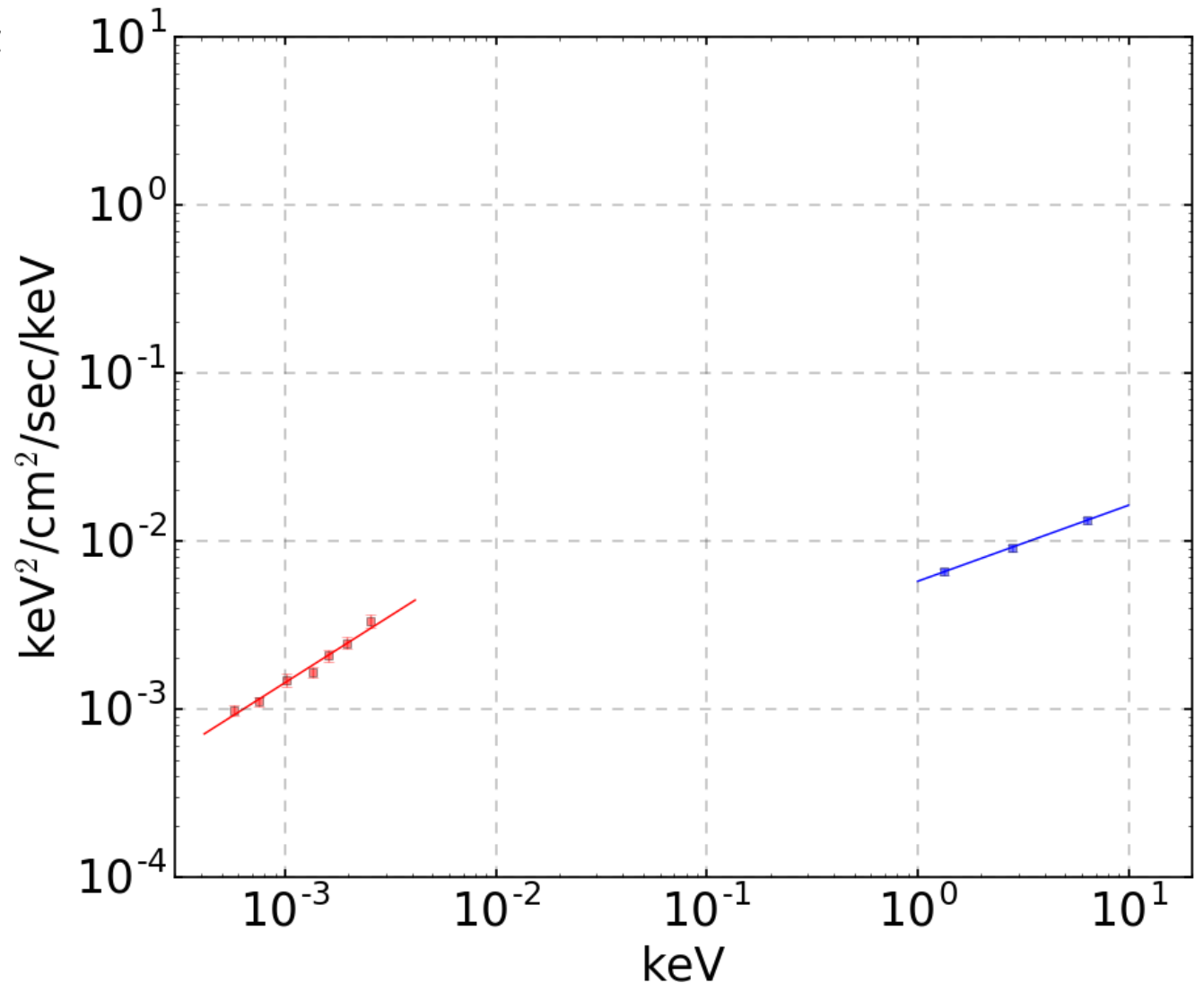
変動成分

- 傾きが異なる

$$F_\nu \propto \nu^\alpha$$

可視光: $\alpha \sim -0.2$, X線: $\alpha \sim -0.5$

- 一直線上に乗らない

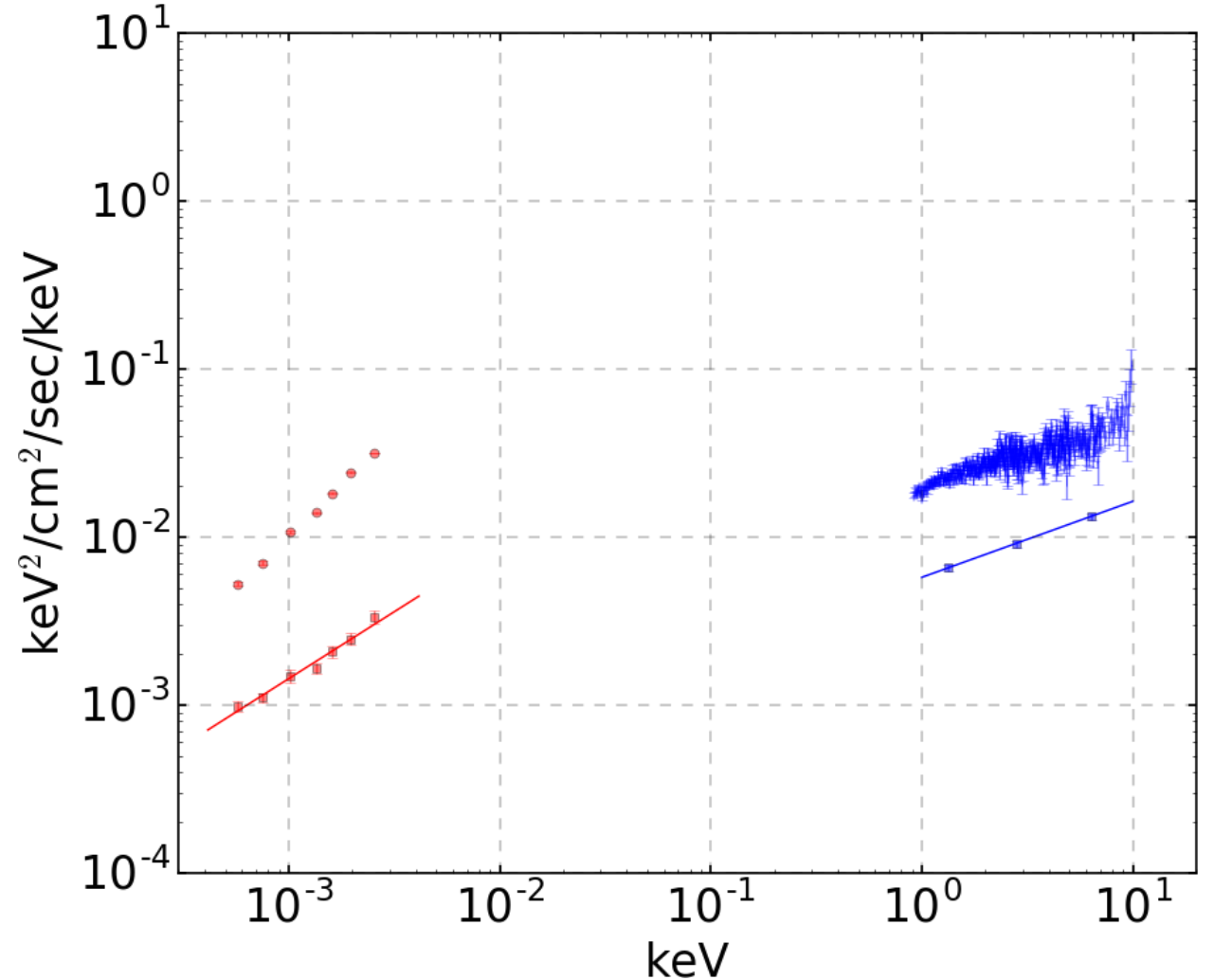


Spectral Energy Density (4/15)

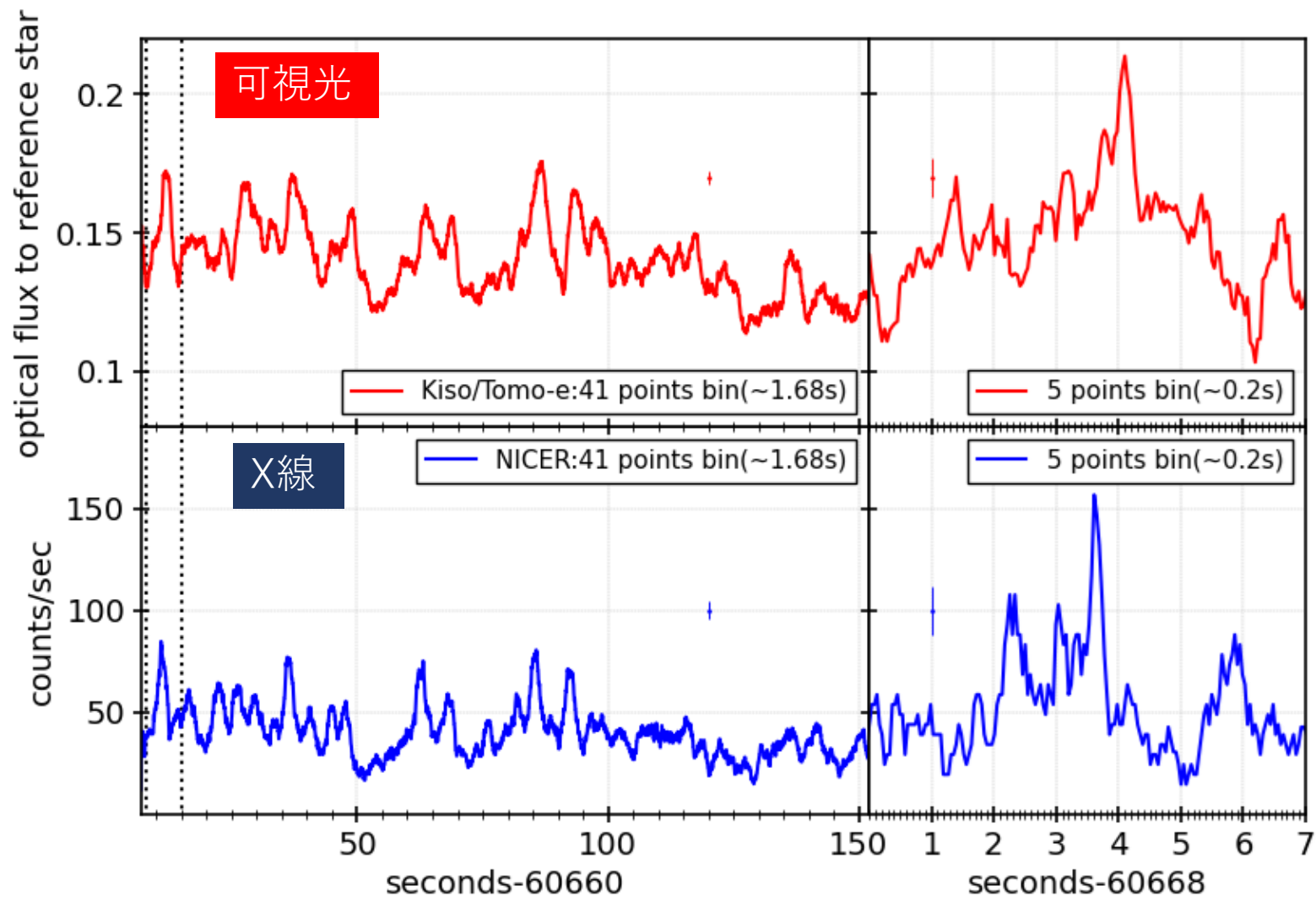
X線: 平均の明るさも変動成分と
同じ形

可視光: 変動成分と傾きが違う

- 変動成分+定常成分



Tomo-eとNICERの高時間分解光度曲線 (4/15)

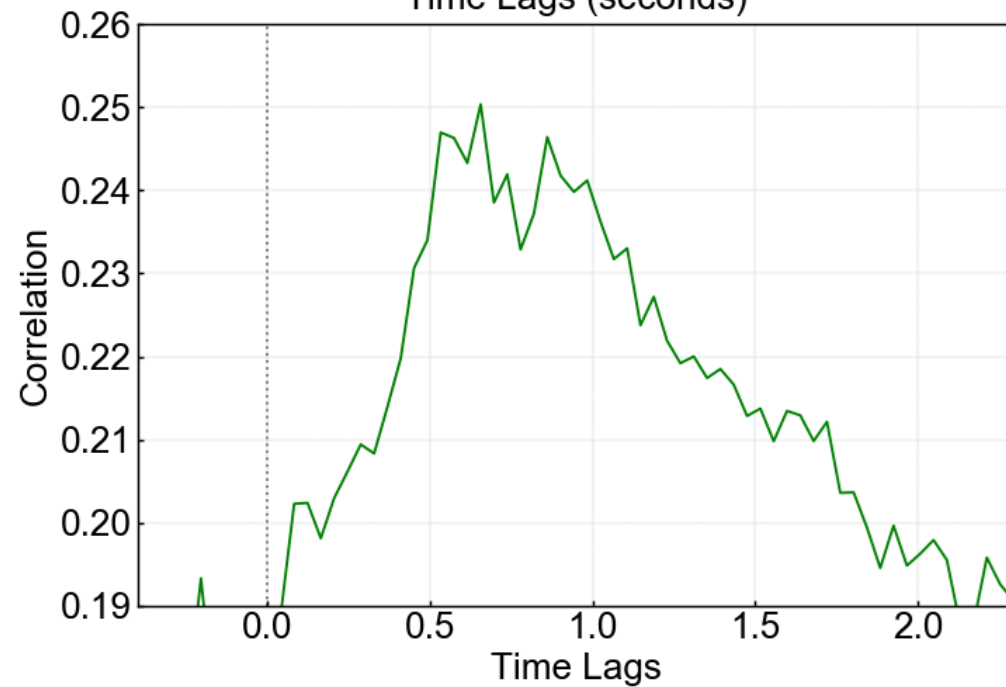
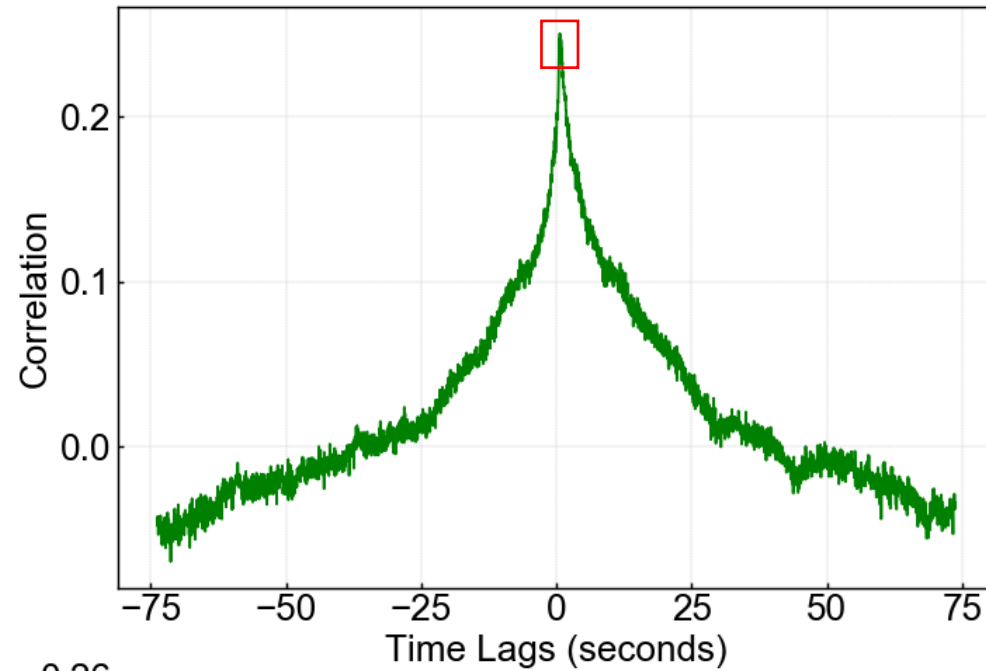


可視光・X線
- 秒程度の時間スケールの変動
- 相関

可視光とX線の間ラグが存在

相互相関関数

- 頂点がシャープでない
- 0.5-1秒X線が先行する



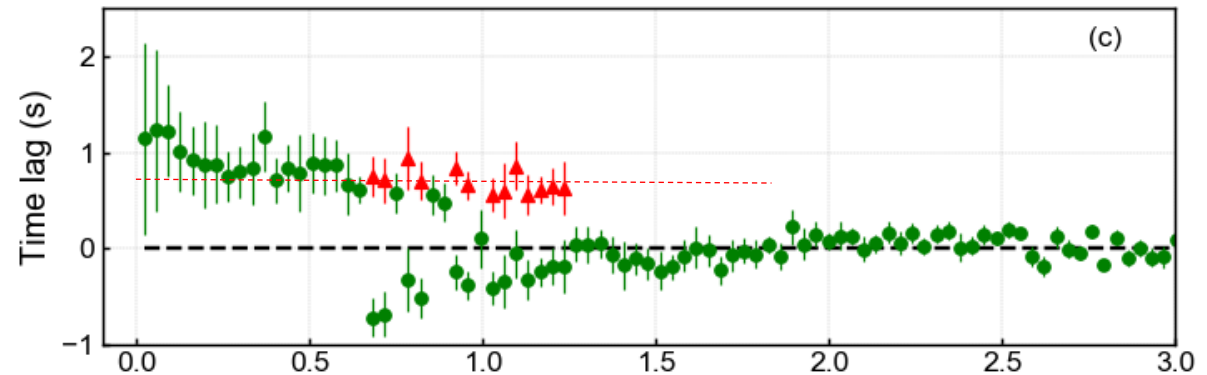
時系列解析

(上パネル) X線と可視光の遅延時間
(下パネル) Phase lag

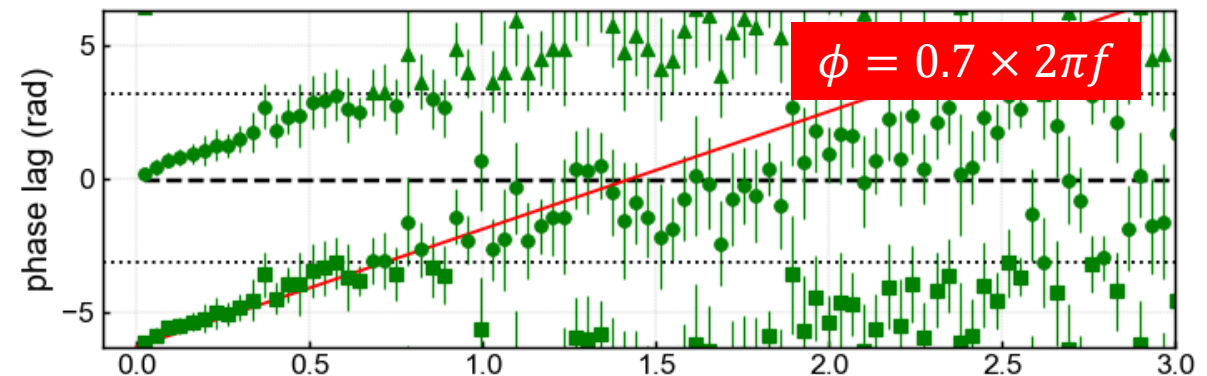
- 1.3Hz以下の
変動に~0.7秒の
time lagがある
- 秒程度の変動が
数十秒の変動を
作る

X線が先行

0.7秒 lag



X線が遅れる



Frequency [Hz]

結果のまとめ

スペクトル

- 可視光とX線の明るさの平均(SED)が同程度
- 可視光：変動成分+定常成分
- X線：変動成分
- 4月15日では変動成分が一直線に乗らない

時系列解析 (Tomo-eとNICER)

- 可視光とX線で変動が相関する
- 変動の時間スケールは秒程度
- X線が可視光に対して ~ 0.7 秒先行する

放射機構を考えたい