

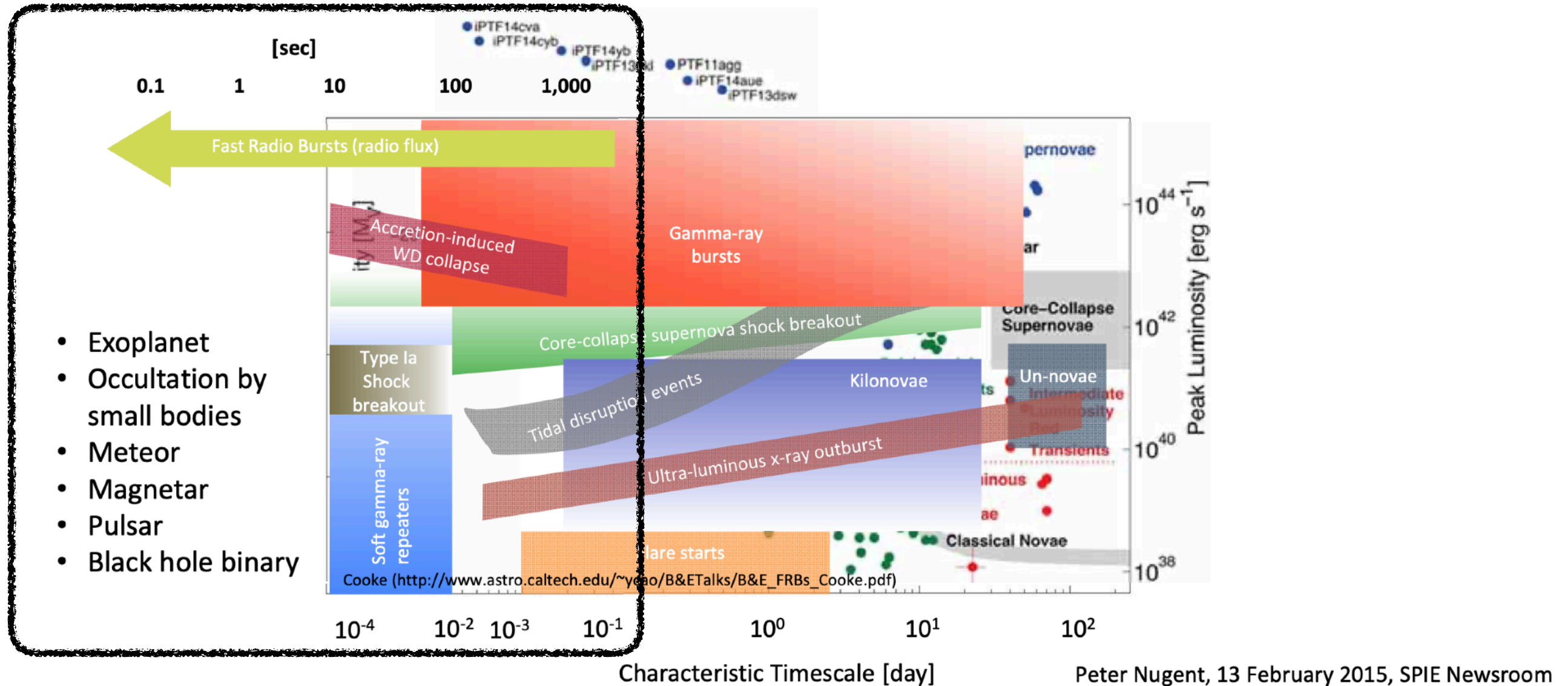
第11回 光赤外線大学間連携ワークショップ (2020.11.10-12)

X線と可視光の高速同時観測で 拓くサイエンス

発表者：木邑 真理子

(理化学研究所 榎戸極限自然現象理研白眉研究チーム)

▶ 可視光の突発天体の穴場



- ミリ秒から数時間のタイムスケールの可視光変動はよく調べられていない

↑ 可視光の高速観測装置がないから

▶ 可視光観測装置の発達

日本の可視光高速観測装置

- Tomo-e Gozen (木曽観測所)

広視野サーベイ

- TriCSS (岡山天文台)

ターゲット観測, 3-band (g' , r' , i'), 分光 ($H\alpha$)

- MPPC (山形大学)

ターゲット観測・超高速

どんなターゲットがあるの？

- Tomo-e Gozen → 流れ星 (大澤さん)、小惑星 (紅山さん、吉田さん) ..

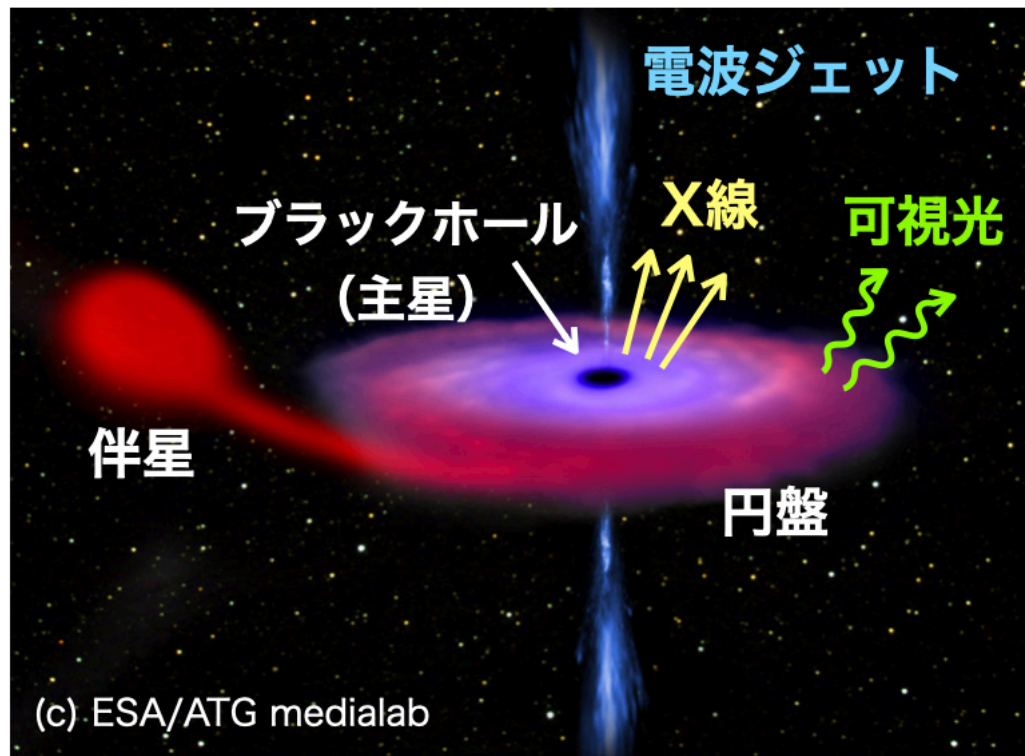
可視光域で新しい分野を開拓

- X線連星など、すでに他の波長域 (X線・電波など) で短時間変動が知られている天体を、可視光でも観測する

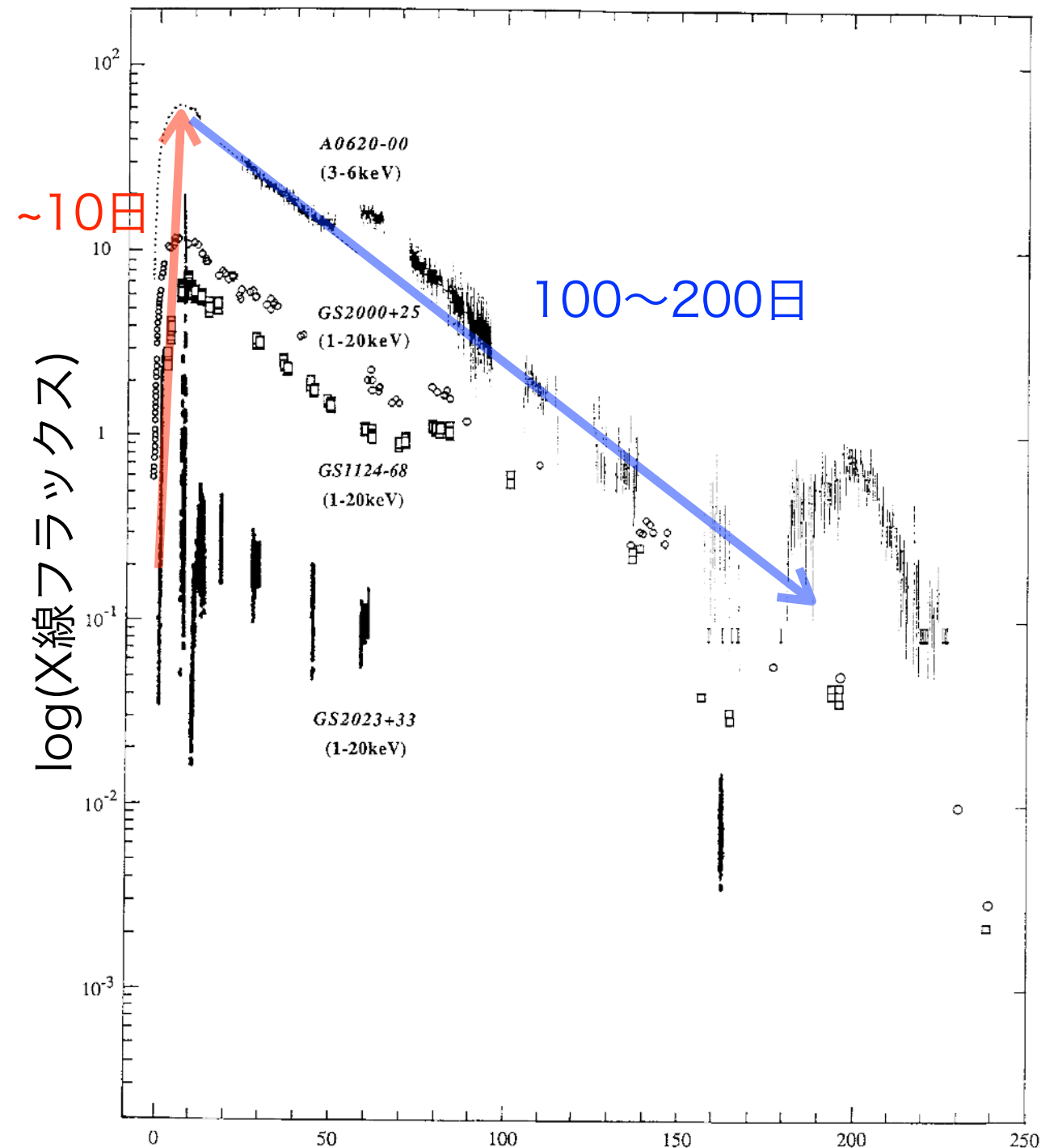
既知の天体現象 + 多波長同時観測

→ 新しいサイエンス

▶ 低質量X線連星について



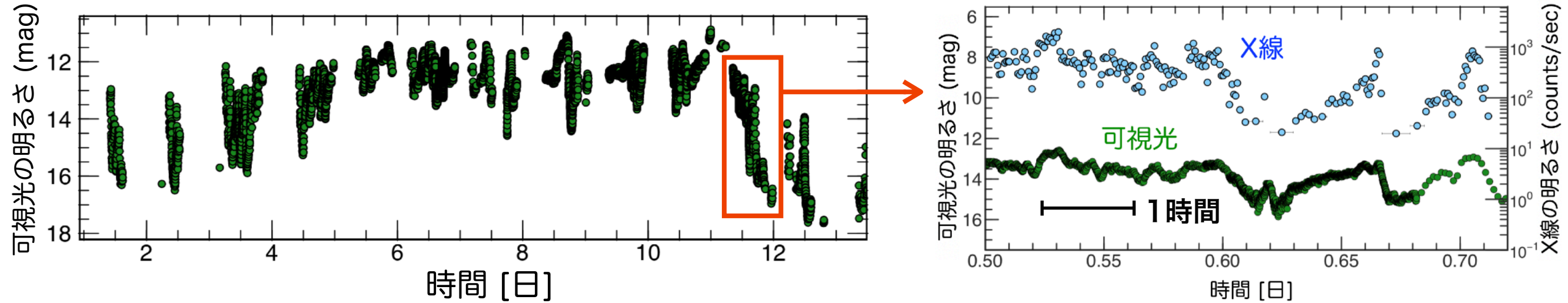
- ブラックホール or 中性子星（主星）と低質量の恒星（伴星）から成る近接連星系
- 円盤はX線から可視光まで多波長域で輝く
- アウトバーストと呼ばれる突発的増光を示す



アウトバーストが始まってからの日数

(Tanaka 1992)

▶ 規則的なパターンを持つ可視光短時間変動



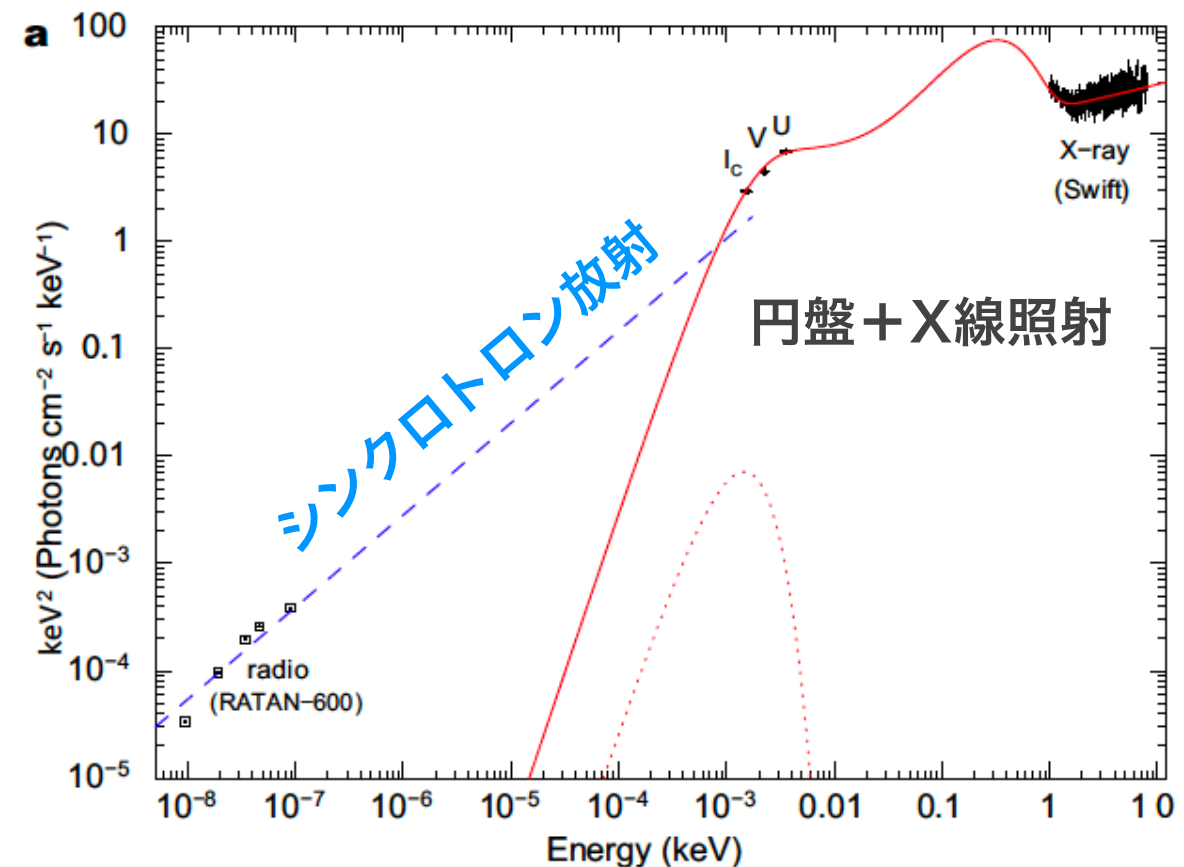
V404 Cygの2015年のアウトバースト中のデータ (Kimura et al., 2016, *Nature*, 529, 64)

- 5分～2時間程度のタイムスケール
- X線変動と相関しており、delayは1分程度
- X線照射で多波長スペクトルを説明できる
- 光度が低い時にも起こる

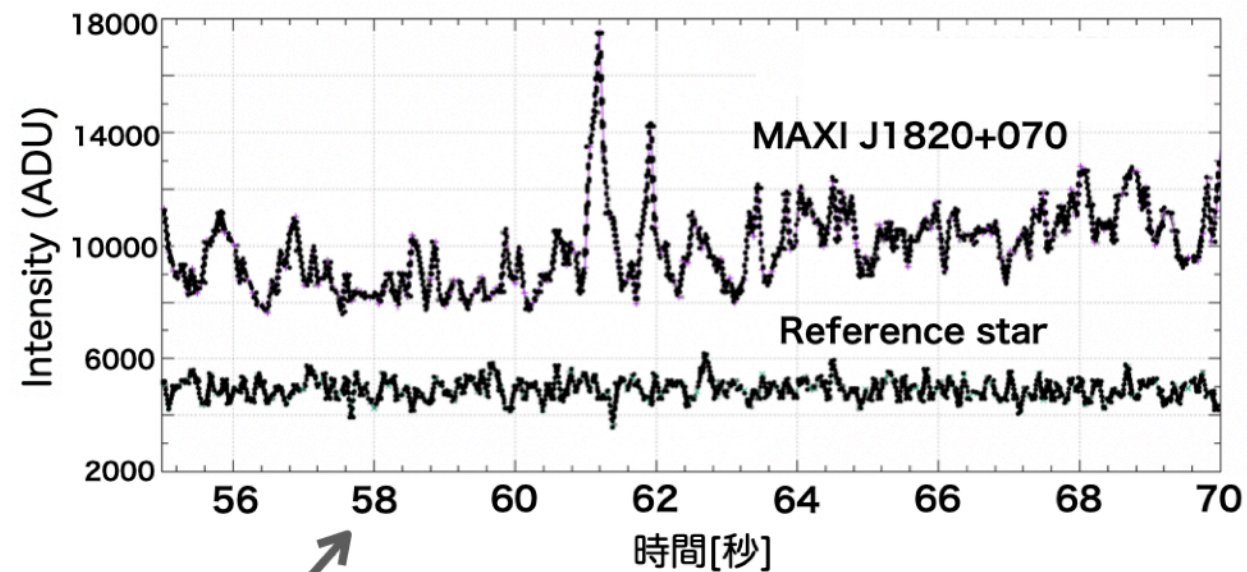
→ 可視光でも、ブラックホール近傍
の激しい活動が見える

既存の理論では説明できない現象

→ 新しいタイプの円盤不安定？



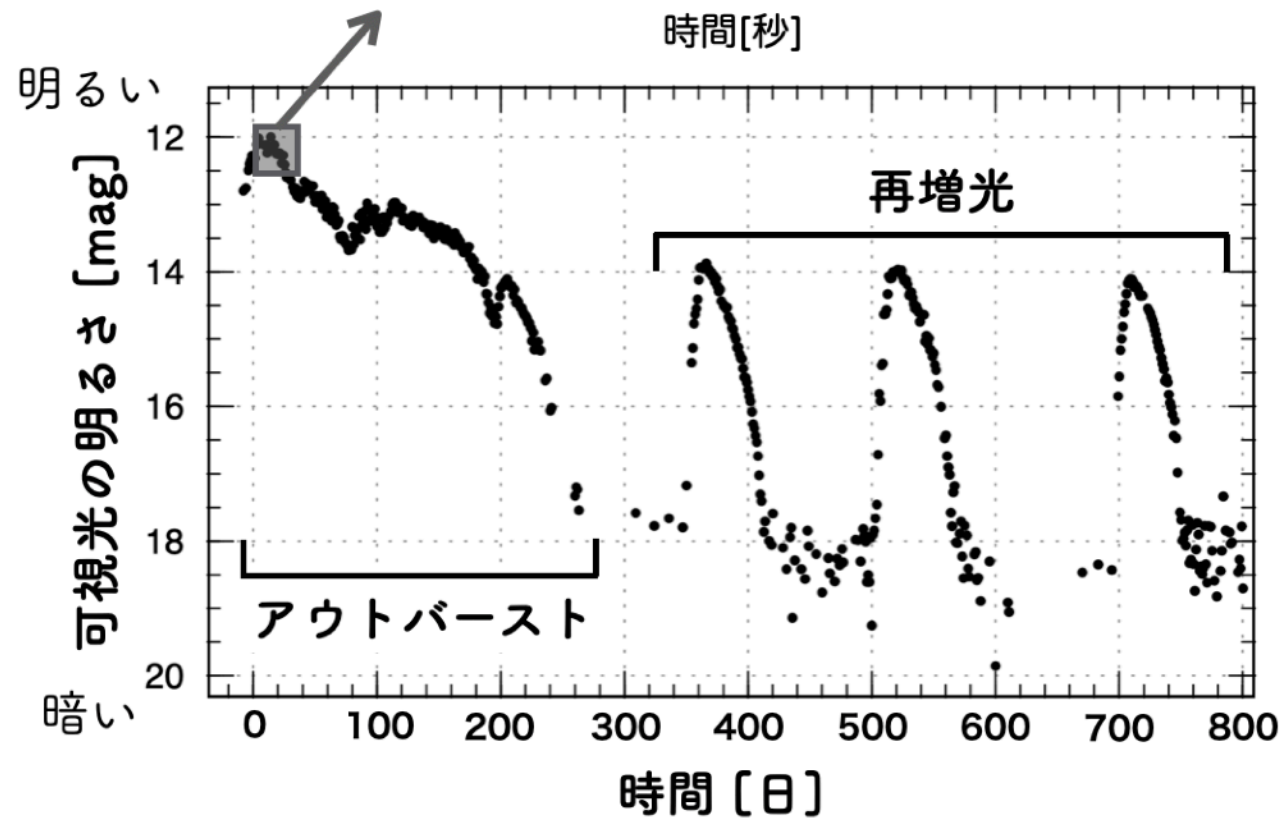
▶ ミリ秒スケールの可視光フレア



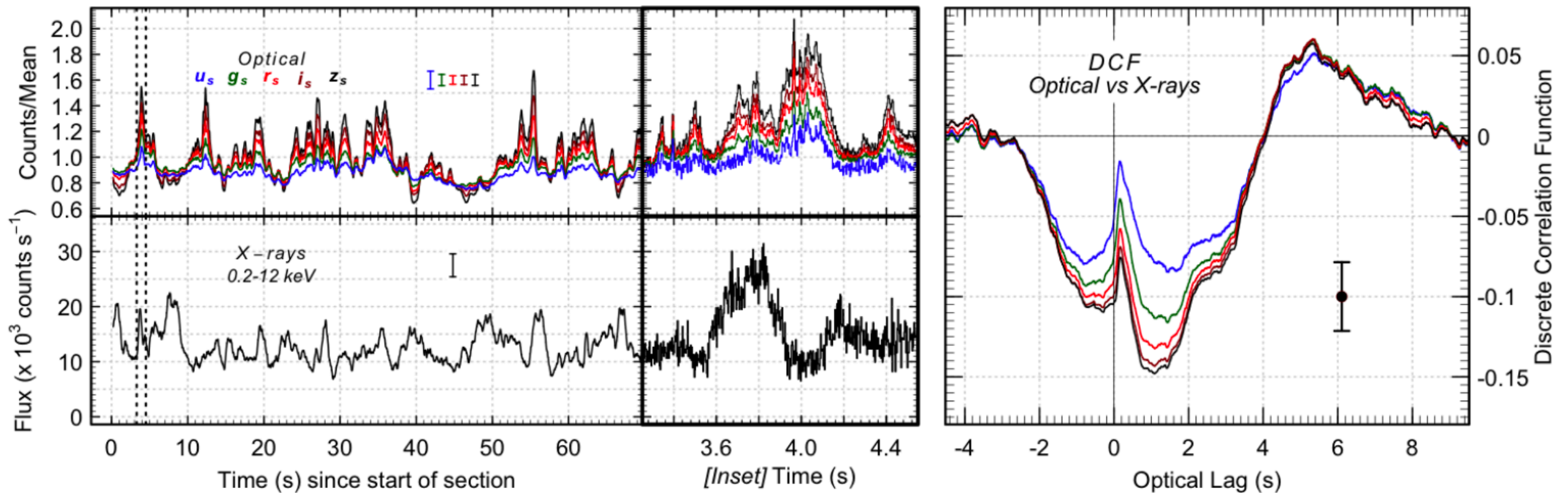
← MAXI J1820+070のアウトバースト
(下, AAVSO) とミリ秒の可視光フレア
(上, Tomo-e Gozen)

いつ、どの天体で見えるのか？

物理メカニズムは？



▶ ミリ秒スケールの可視光フレア



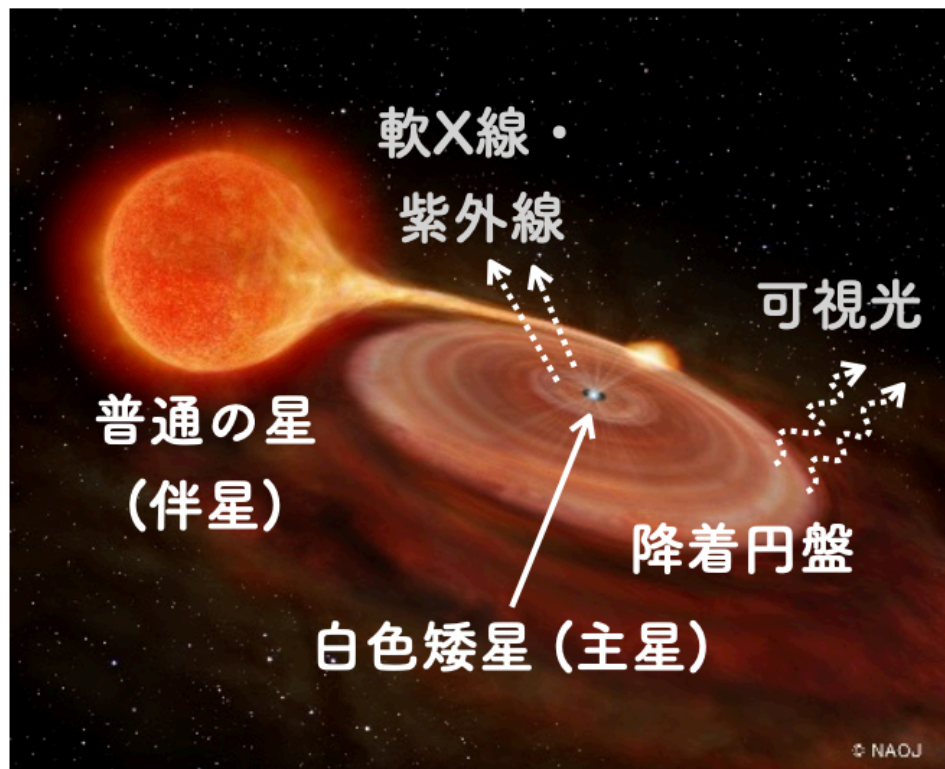
↑ MAXI J1820+070について、多波長同時観測とその解析 (ULTRACAM, NICER)

(Paice et al. 2019)

相対論的ジェット中での内部衝撃波からのシンクロトロン放射？

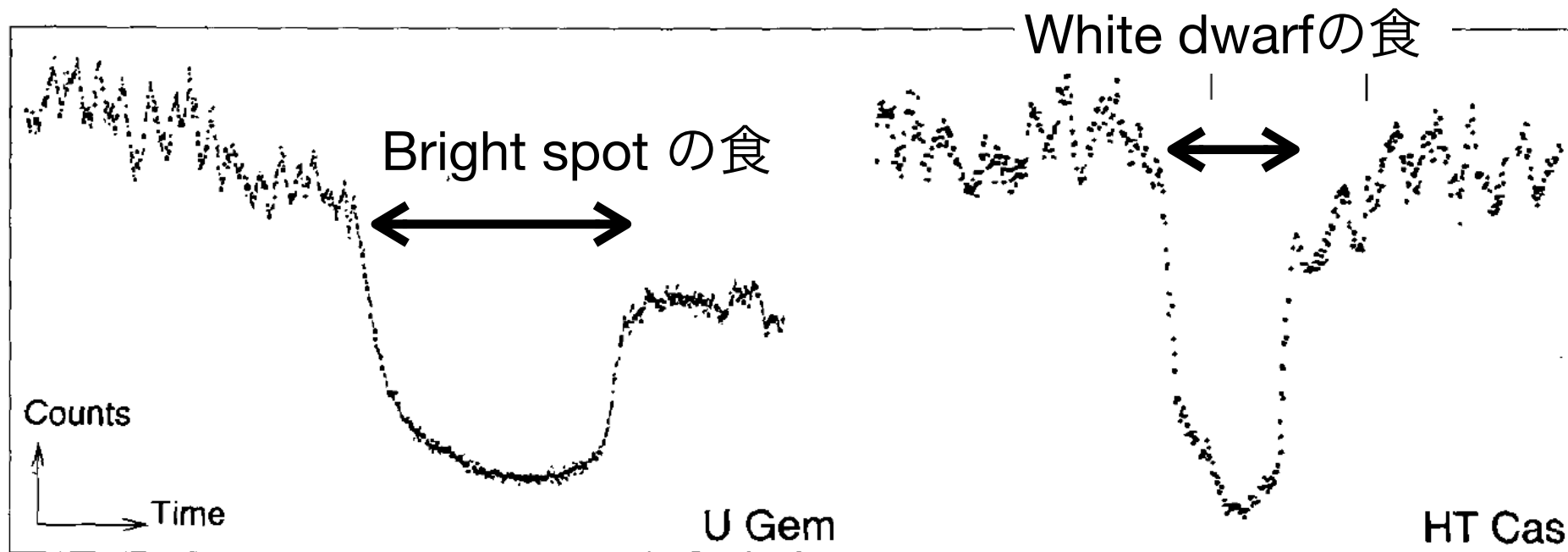
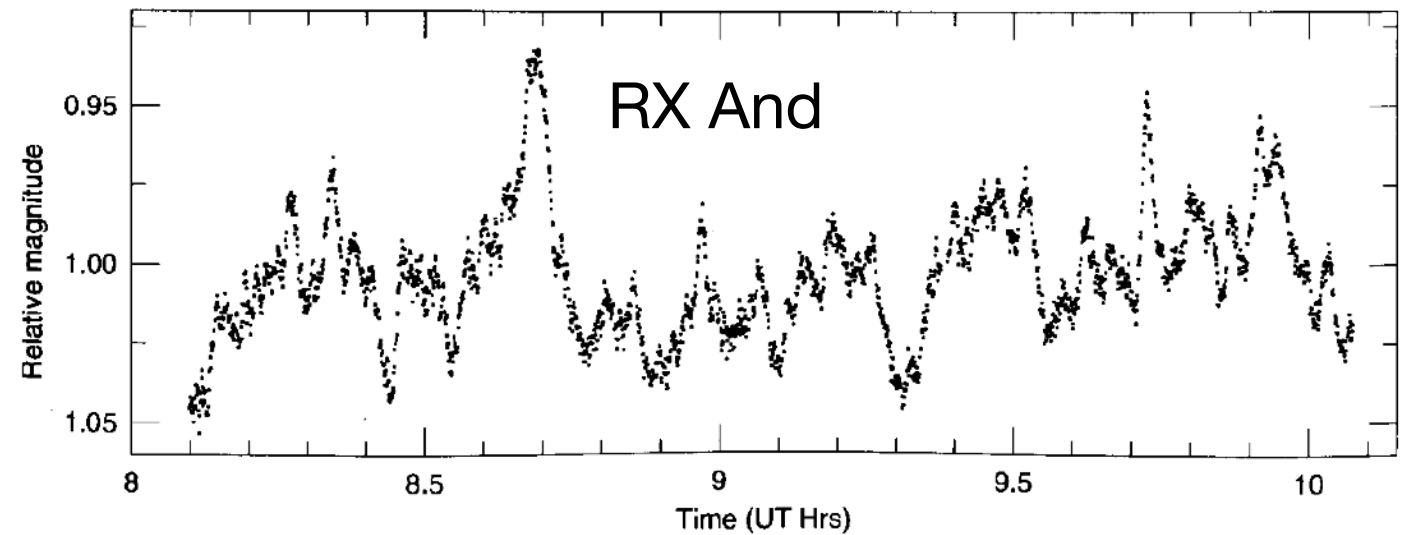
→ 確かめるためには、近赤外線や電波での同時観測が必要

▶ 矮新星の短時間変動



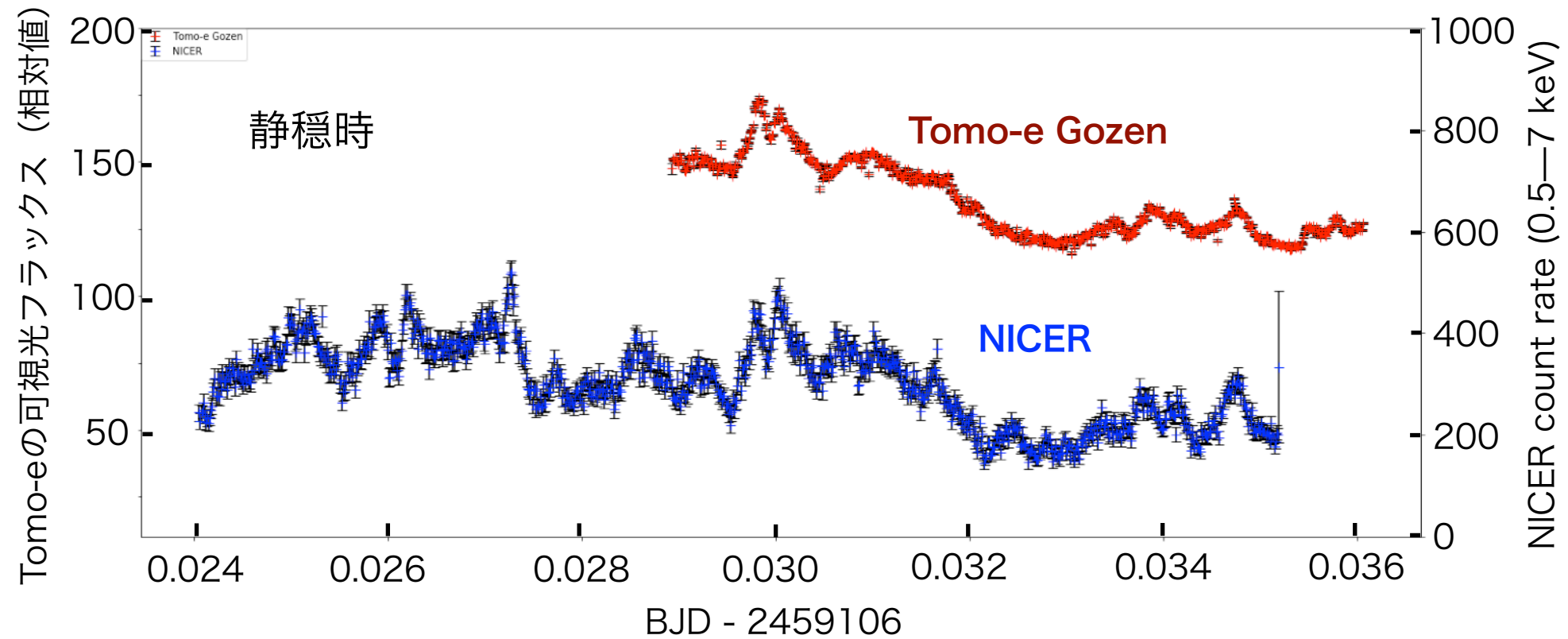
- Flickering: 静穏時に見えるstochastic oscillations

Bright spot由来? 円盤内側由来?



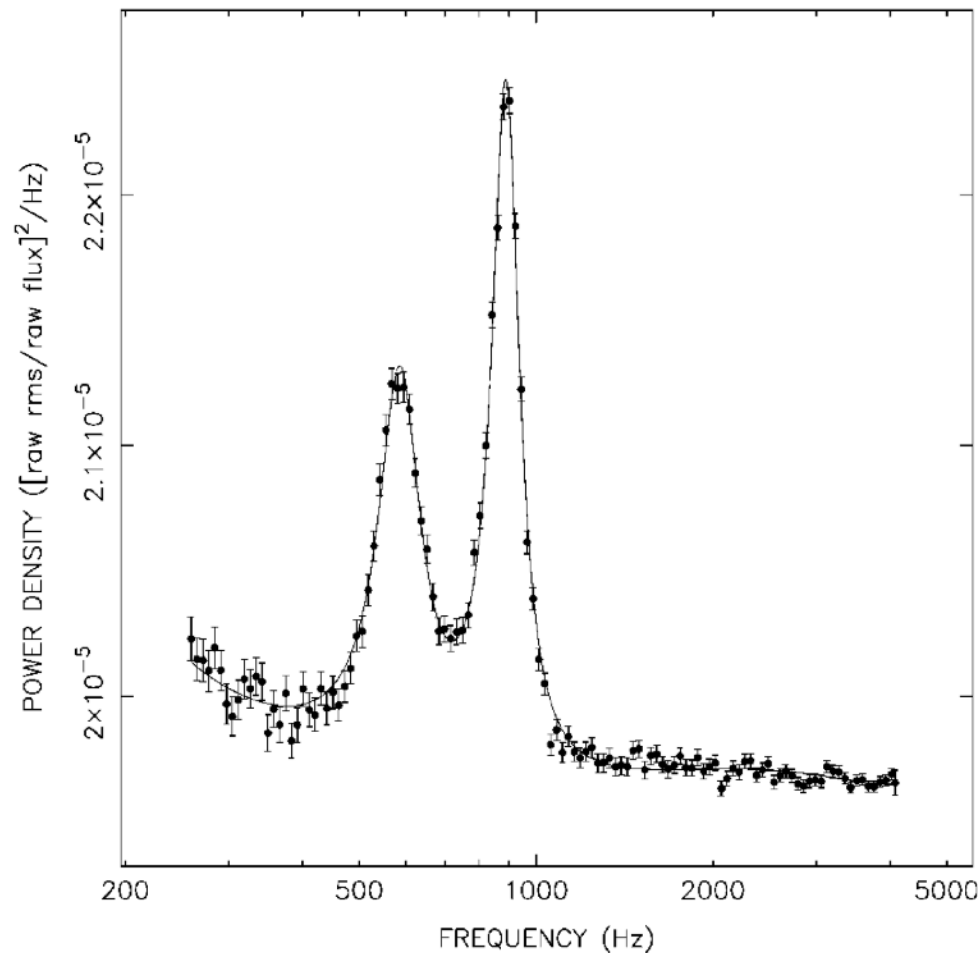
(Helier 2001)

▶ 矮新星SS Cygの多波長高速観測



- X線と可視光の相関が強いが、完全に相関しているわけではない
→ 白色矮星付近の円盤内縁部での粘性の揺らぎに起因するのではないか
X線照射だけで複雑な相関を説明することは難しい
- 東京大学の西野さんが解析中

▶ Quasi-periodic oscillations (QPOs)と重力波



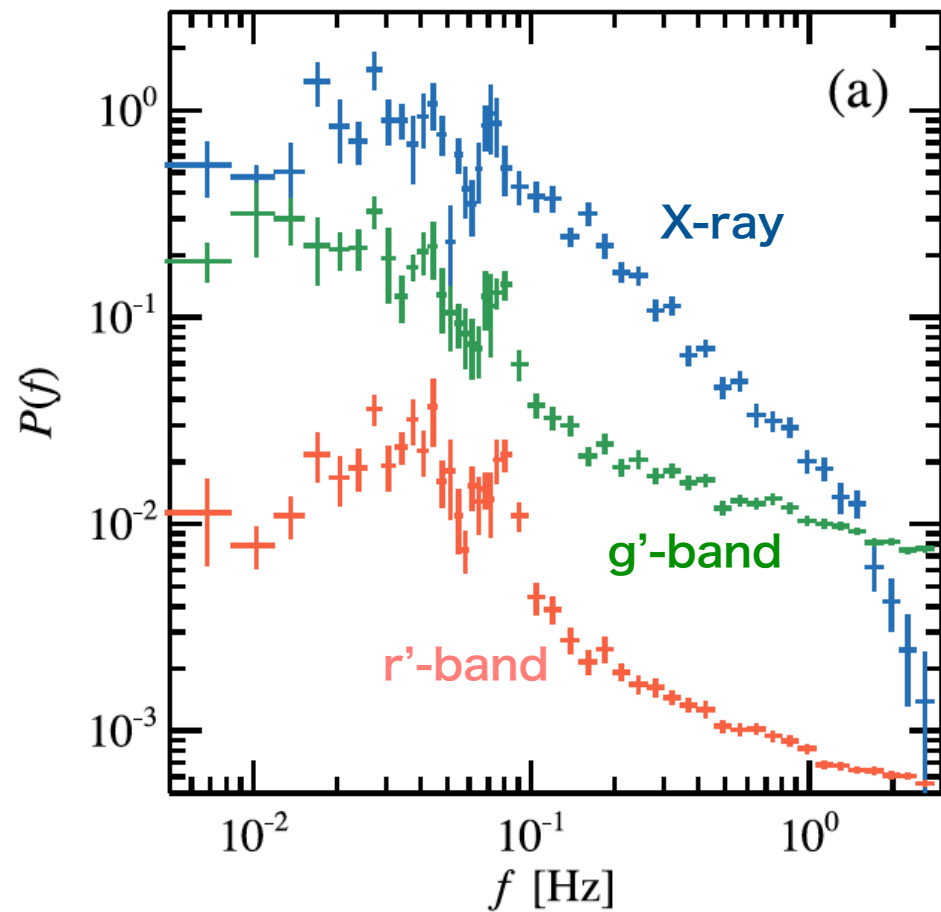
↑ Sco X-1のkHz QPOs (van der Klis et al. 1997)

- 一部の中性子星連星では、QPOsから中性子星のspin periodを推定できると考えられている
- Spinは、中性子星へのmass accretionによって速くなる
- しかし、観測のspin frequencyは理論予想値より小さい

→ 定常重力波による角運動量損失？

明るいSco X-1の長期的なX線高速観測で、定常重力波の検出の予想を立てる
(LIGO, LISA, eLISA, ..)

▶ Quasi-periodic oscillations (QPOs)の起源

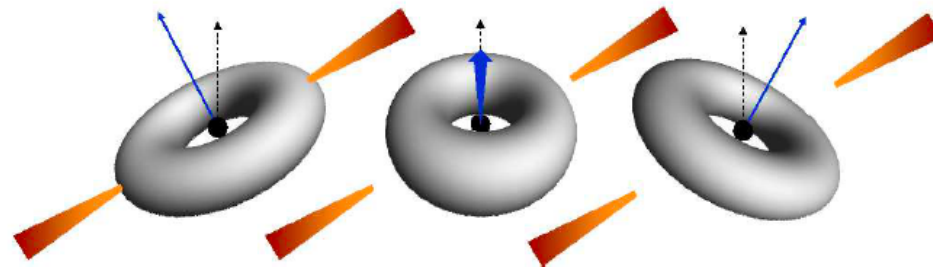


(Veledina et al. 2015)

- QPOsは可視光でも見えるが、可視光の高速観測の不足により発見数は非常に少ない
- QPOsの起源はよく分かっておらず、可視光の放射機構も不明

もしX線と可視光の同時観測ができれば。。

- 可視光の放射機構特定への一歩
- 強重力場の影響による、ブラックホール近傍の geometry の変化の可視化への一歩



(Ingram et al. 2009)

▶ 多波長高速観測によるサイエンスを推進する

必要なこと

- 突発天体の定期的・長期的な観測
- 高速観測できる装置



機動力の高い中小望遠鏡・小型衛星などに装置をつけて観測

考えられる多波長ネットワーク

可視光

- Tomo-e Gozen (木曾観測所)
- TriCSS (岡山天文台)
- MPPC (山形大学)
- TriCSS 2号機、3号機？

X線

- NICER (NASA) 柔軟な運用・高速観測
- NinjaSat (理研) 長期モニタ・高速観測

電波

- 32, 34m 電波望遠鏡 (山口大学)

柔軟な運用ができるOisterの中小望遠鏡を用いて、多波長高速観測ネットワークを作るチャンス！

▶ まとめ

多波長高速観測にはどんな魅力があるか？

- V404 Cygで見えるような規則的なパターンを持つ変動の観測
→ 未知の円盤不安定の正体
- ブラックホール連星のミリ秒フレア
→ 相対論的ジェットの内層衝撃波で全て説明できるのか？
- 矮新星の分スケールの短時間変動
→ 円盤内縁部の乱流の効果、白色矮星のスピンなど
- Quasi-periodic oscillations (QPOs)
→ 定常重力波の検出をサポート、円盤内縁部の幾何学構造の可視化など

必要なもの

- 柔軟な運用のできる望遠鏡や観測装置（Oister向き）