

2023.09.14 なゆた望遠鏡ユーザーズミーティング

# 近傍セイファート銀河 NGC 4151 の 最高エネルギー分解能X線観測との 同時赤外線モニター観測

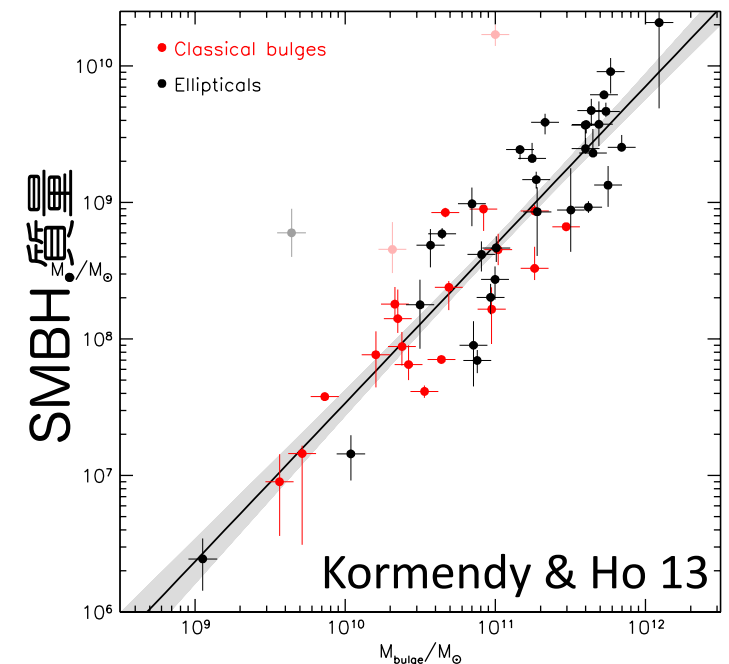
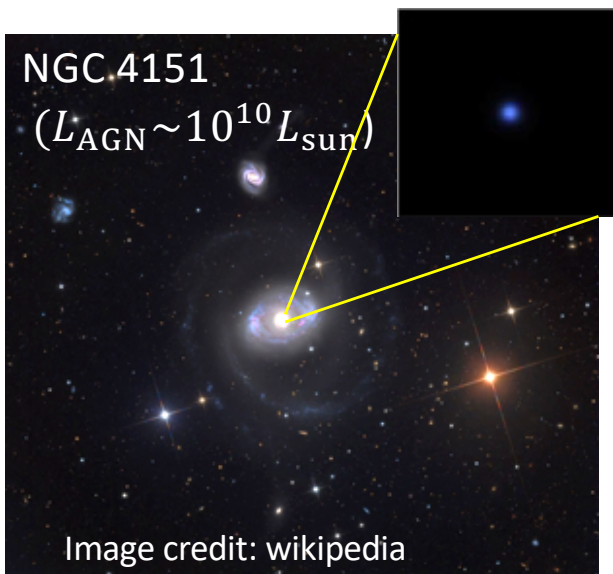
峰崎岳夫、葉与衡（東京大学）

野田博文（大阪大学）、小久保充（国立天文台）、

齋藤 智樹（兵庫県立大学）

# 活動銀河核 (Active Galactic Nuclei)

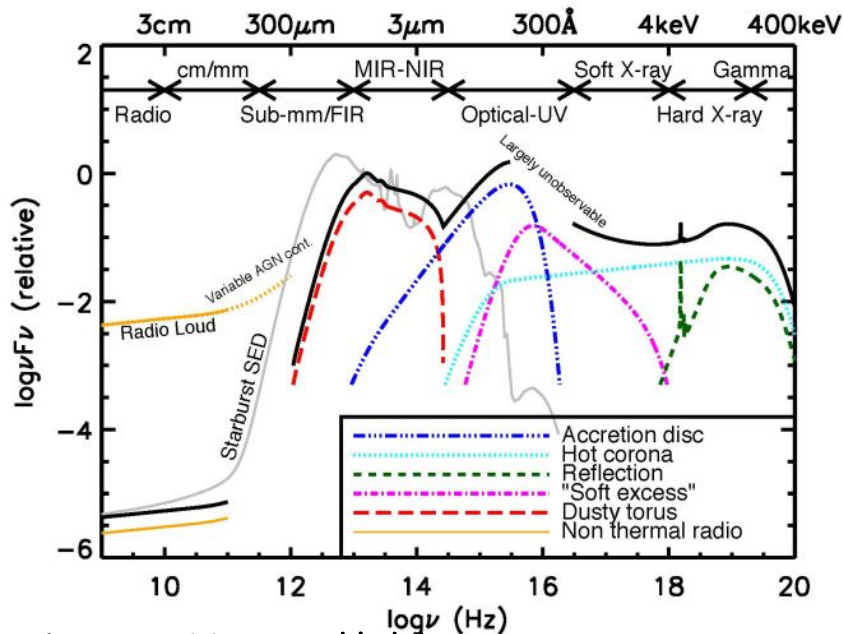
- 銀河中心部の狭い領域からの巨大な放射
  - 銀河中心超巨大ブラックホール (SMBH) への質量降着
- SMBH 成長と銀河進化の関係 (共進化)
  - AGN 現象の発現と進化のメカニズム (feeding)
  - AGN 現象の銀河星形成活動への影響 (feedback)



銀河のバルジ成分の恒星の質量

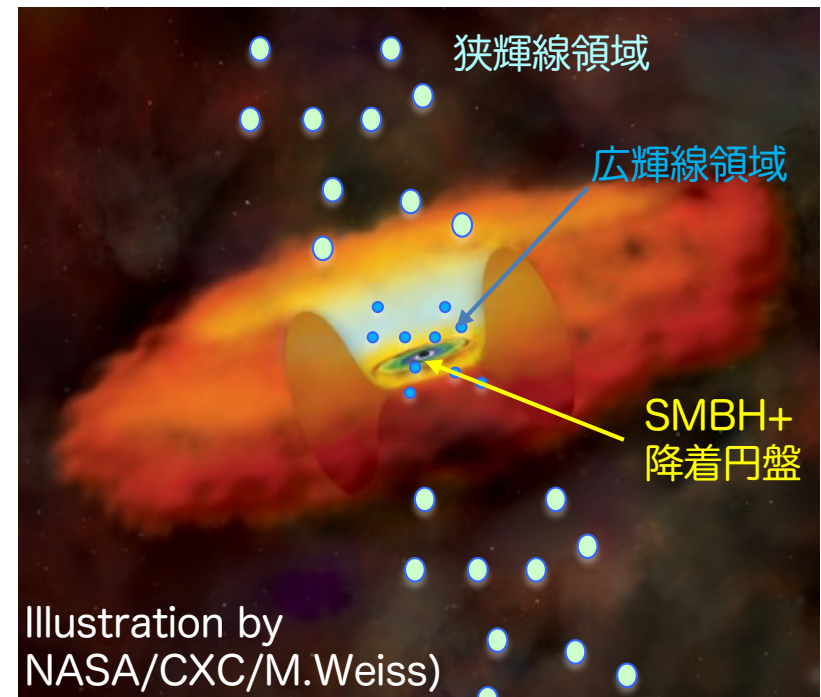
# 活動銀河核 (AGNs)

- 広い波長範囲で強い放射
  - SMBH 周囲の様々な構造から様々な波長の放射
    - 降着円盤、ホットコロナ、電離ガス雲、ダスト
  - 非球対称の遮蔽構造
    - 観測者の視線方向によってスペクトルの特徴が異なる



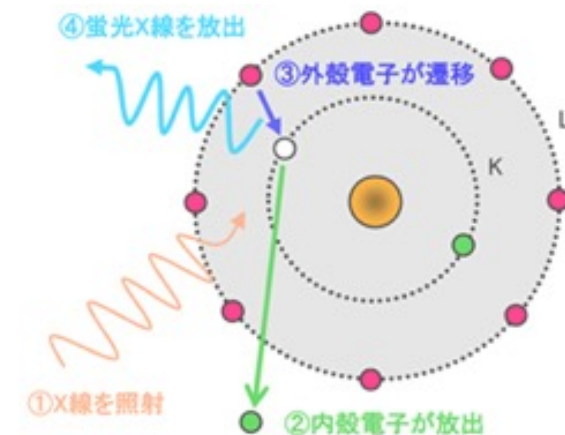
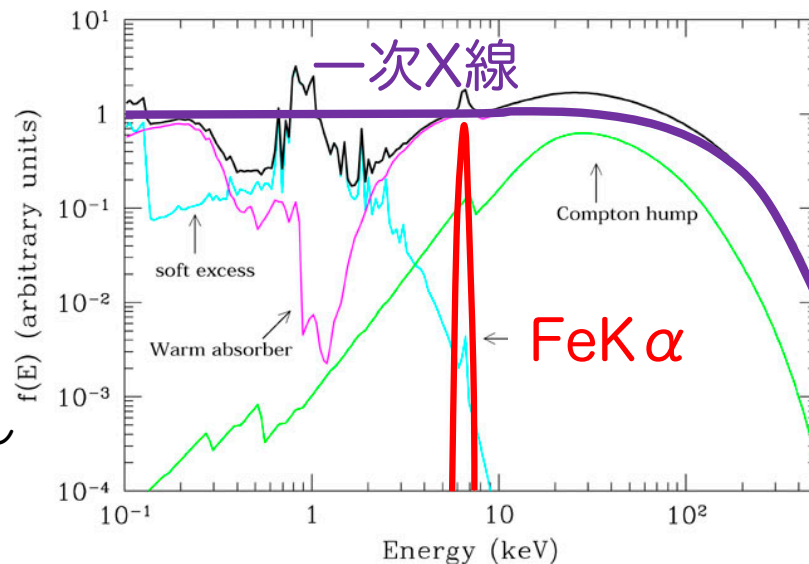
クエーサーの放射の  
スペクトルの模式図

Hickox & Alexander 18



# 中性鉄蛍光輝線

- AGN の X 線放射
  - SMBH 近傍の hot corona からの一次X線 (power-law 的)
  - 「反射」成分 (蛍光輝線、Compton hump)
- X線蛍光鉄輝線
  - 鉄の内殻電子の光電効果にともなう準位間遷移で生じる輝線
  - FeK $\alpha$  輝線：鉄の L 殻電子の K 殻への遷移
    - $E(\text{FeK}\alpha) = 6.4 \text{ keV}$  (鉄原子)



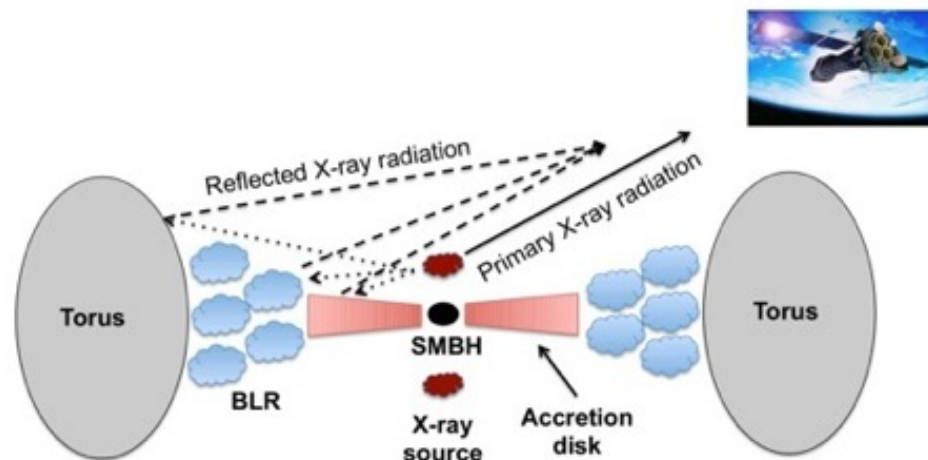
<https://www.mst.or.jp/method/ta/bid/168/Default.aspx>

# 中性 FeK $\alpha$ 輝線

- FeK $\alpha$  輝線

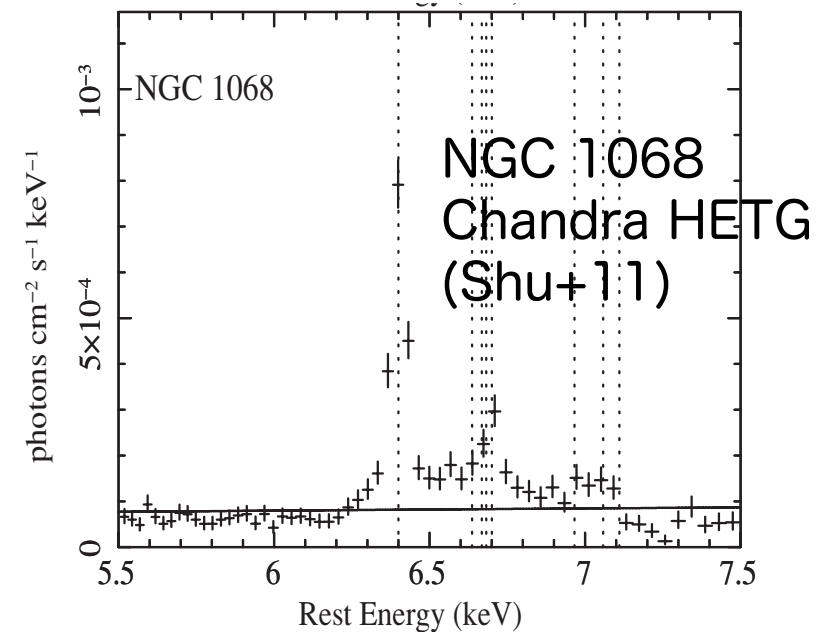
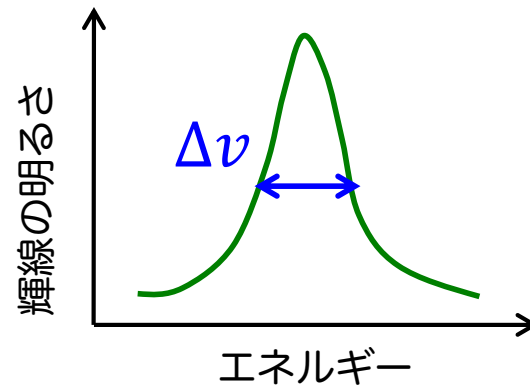
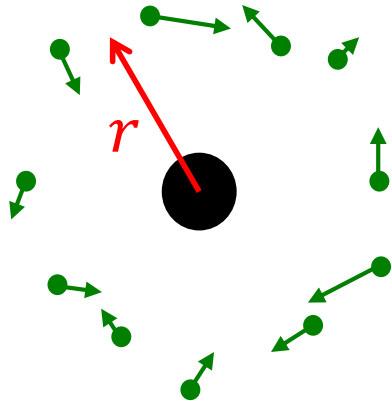
- 周囲にある物質中の鉄が一次 X 線を吸収・再放射（「反射」）
- 低電離鉄イオンの FeK $\alpha$  輝線のエネルギーは鉄原子の場合とあまり変化しない（→まとめて「中性」FeK $\alpha$  輝線）
- 低電離ガス、中性ガス、分子ガス、ダストの有無など、ガスの状態によらず同様に生じる
- 遮蔽構造に対して透過力が高い
  - →AGN 内部の SMBH 周囲の構造の質量分布のトレーサー

AGN での FeK $\alpha$  輝線の発生メカニズムの模式図  
Ricci+ 11



# 中性 FeK $\alpha$ 輝線放射領域

- **ダストトーラス**による反射
  - 一次X線放射に対して FeK $\alpha$  輝線が強い
  - 大きな被覆率、柱密度が必要
- **放射領域が異なる成分が存在？**
  - 輝線幅 (ビリアル関係:  $M_{\text{BH}} \propto r \times (\Delta v)^2$ )
    - BLR ~ dust torus (TM&KM 15)
    - 時間変動する輝線成分はもっと幅が広い (Miller+18)



# 中性 FeK $\alpha$ 輝線放射領域

- 放射領域が異なる成分が存在？

- 反響探査

- BLR (Noda, TM+22)

- BLR でも内側より (Zogbhi+ 19)

- 時間変動タイムスケール

- order of 1 pc (Andonie+ 22)

- 直接撮像

- 広がった成分の存在 (e.g., Arevalo+14)

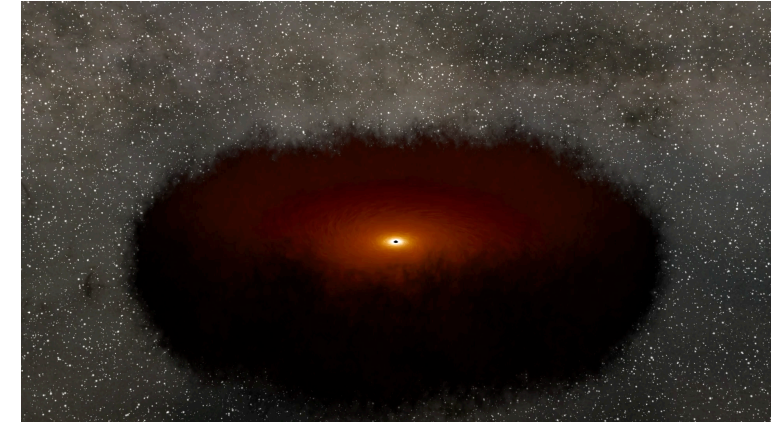
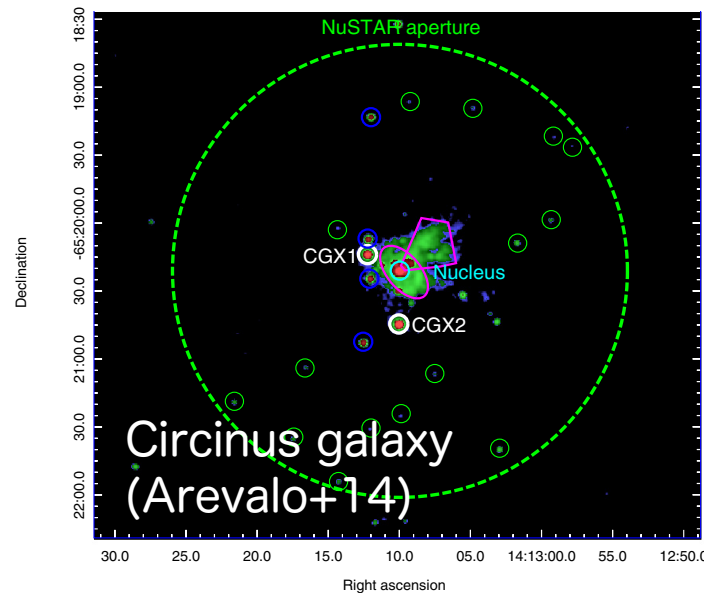
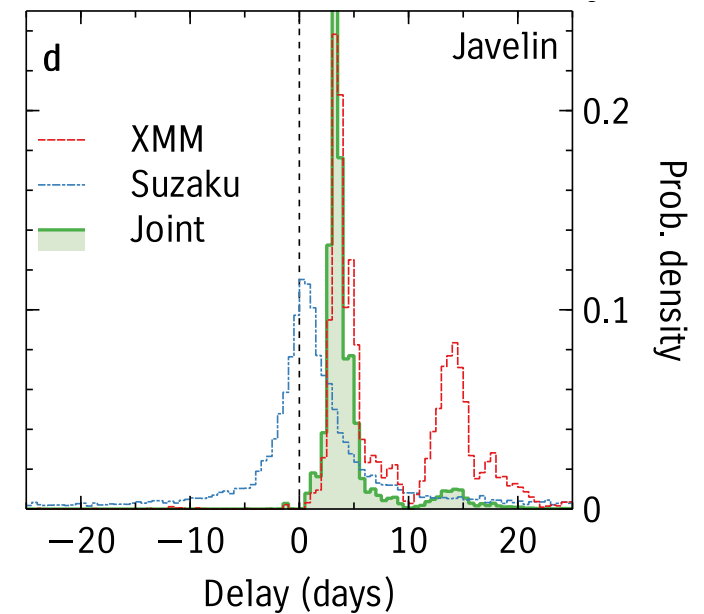


Image Credit : NASA/JPL-Caltech

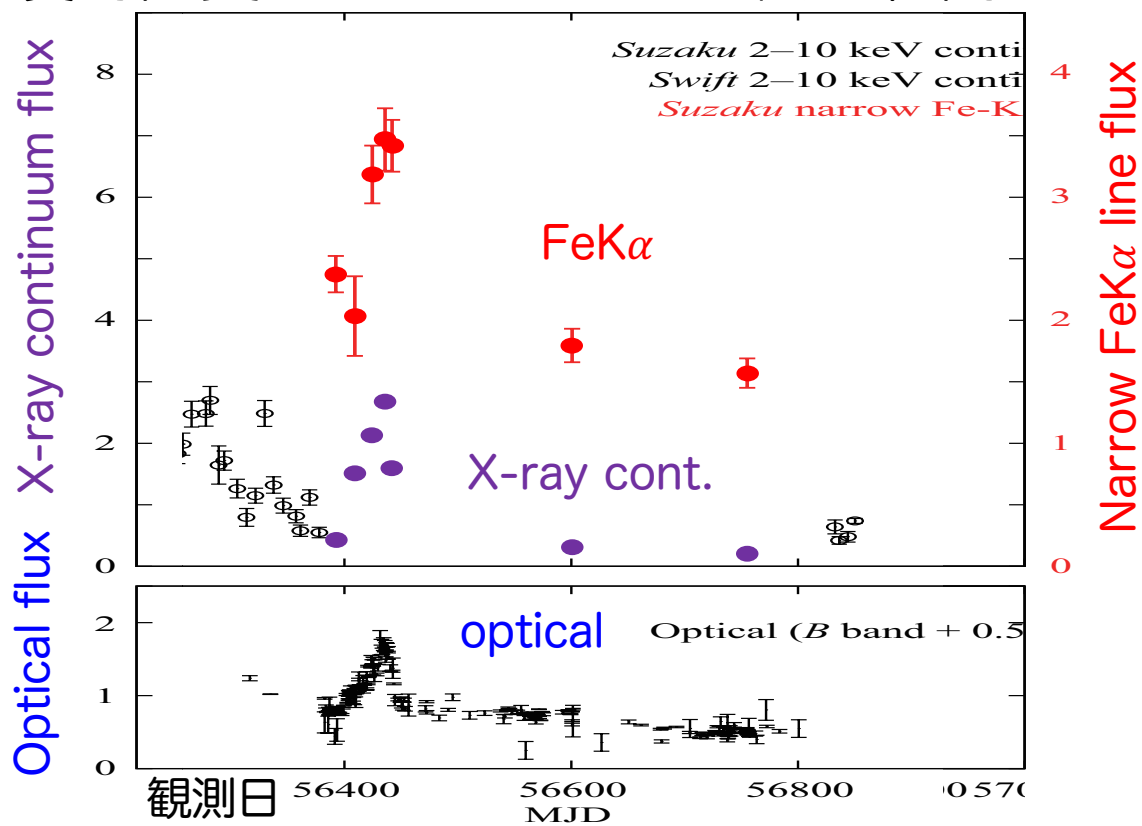


NGC 4151  
Zogbhi+19



# X線可視多波長モニター観測

- NGC 3516 (Noda, TM+16, 23)
  - すざく衛星と国内地上望遠鏡（ピリカ、みつめ、木曾シュミット、なゆた、かなた）との同時観測（~1年）
  - 可視光、一次X線放射、中性 FeK $\alpha$  輝線いずれも大きな変光
    - 光度時間変動について互いに高い相関



NGC 3516,  
Noda, TM+15, 23

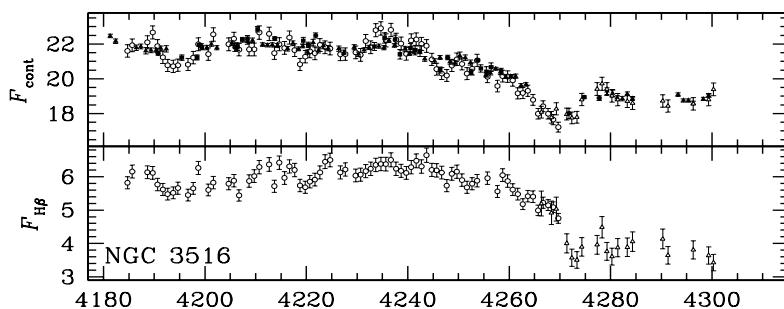


# X線可視多波長モニタ一観測

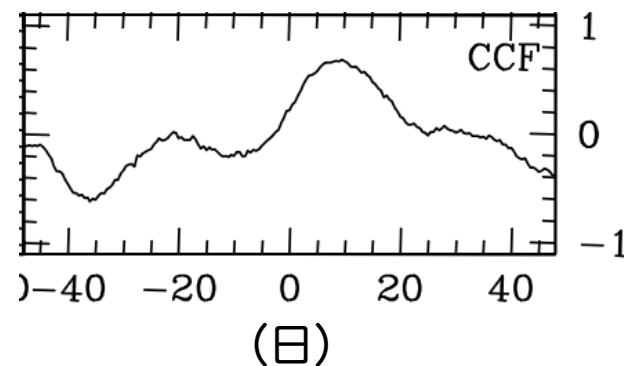
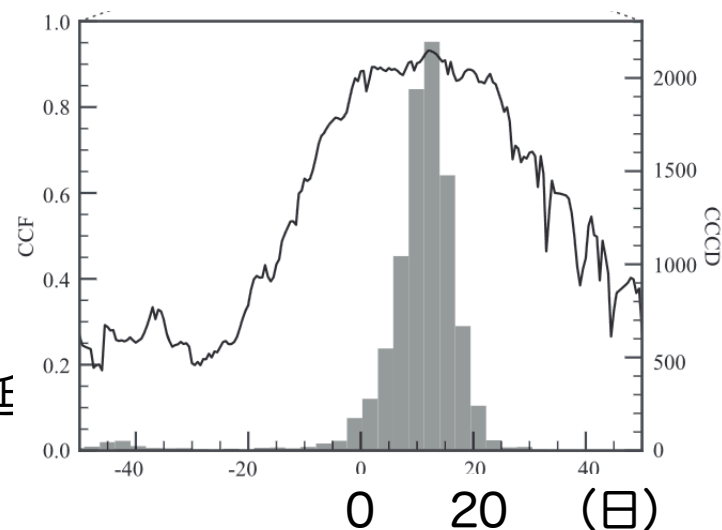
- 中性 FeK $\alpha$  輝線の反響探査

- X線連続光・可視連続光の変光に対する FeK $\alpha$  輝線変光の遅延時間の測定： $\tau(\text{FeK}\alpha) \sim 10$  日
- 過去の可視連続光に対する広幅 H $\beta$  輝線変光の遅延時間に近い
- FeK $\alpha$  輝線は BLR のガス雲で生じている

FeK $\alpha$  輝線変光の可視変光に対する遅延 (Noda, TM 23)

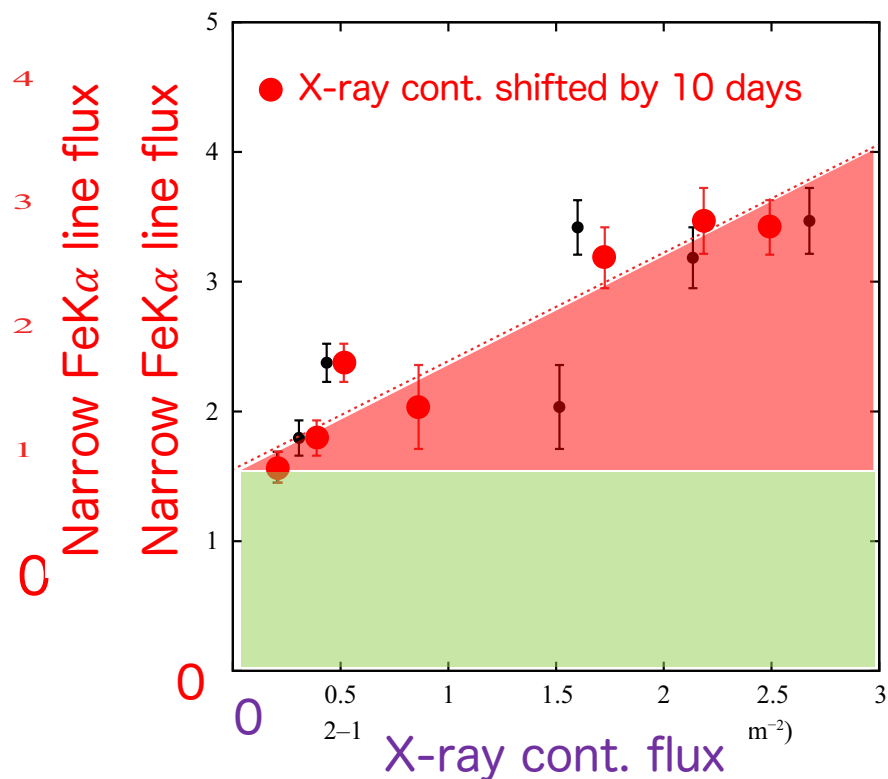
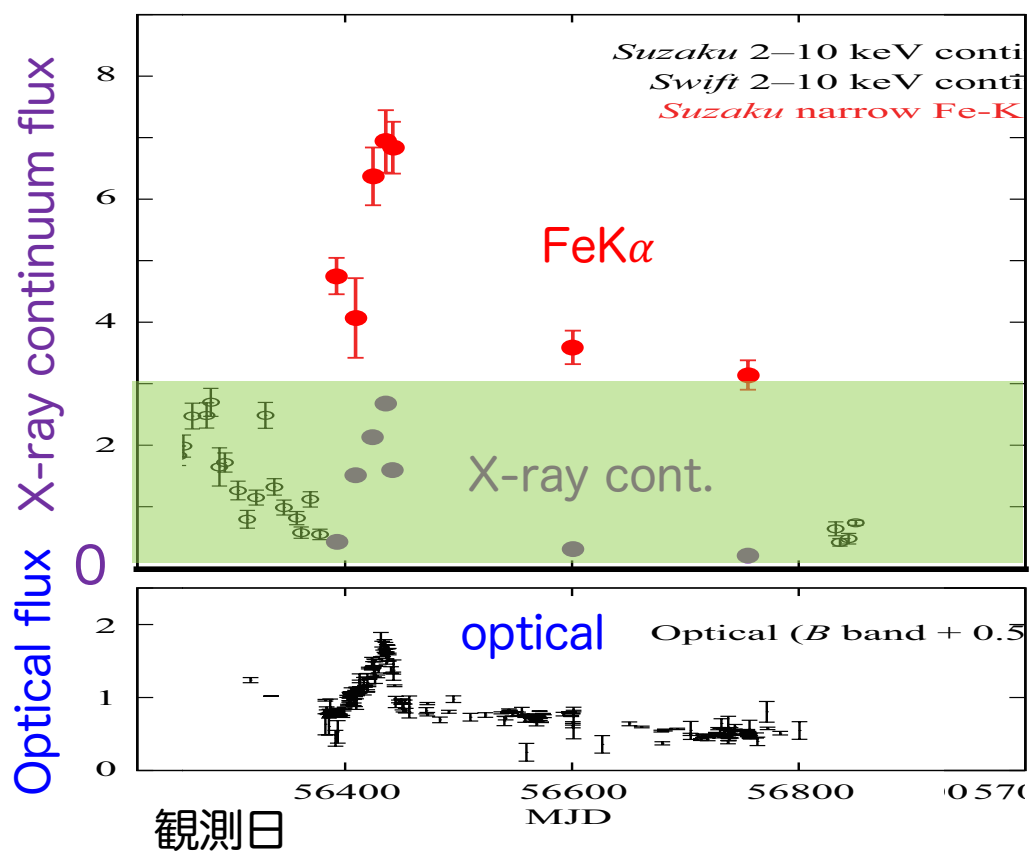


可視連続光と広幅H $\beta$  輝線の光度曲線と広幅H $\beta$  輝線の遅延 (Denney+ 10)



# X線可視多波長モニタ—観測

- 中性 FeK $\alpha$  輝線と一次X線の光度変動の相関
  - 中性 FeK $\alpha$  輝線は異なる放射領域を起源とする2成分よりなる
    - X線連続光と強い相関を示す大きな変光成分( $\sim$ BLR)
    - 時間変動が小さい $\rightarrow$ 大きく広がった ( $>$ pc) 放射領域



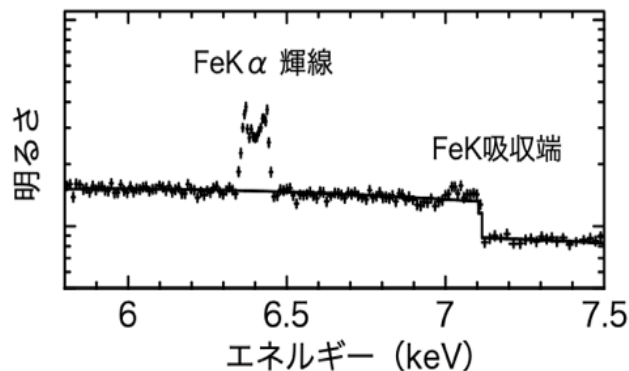
# XRISM 衛星

- 2023年9月7日うちあげ成功

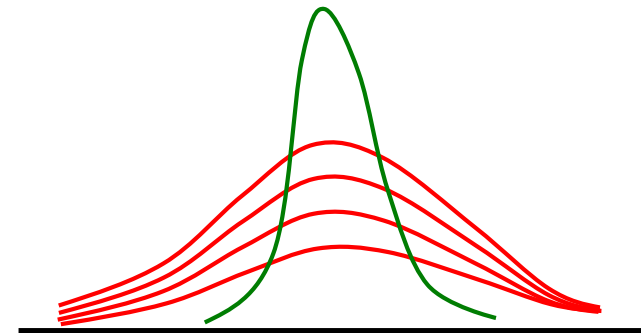
ライブ中継: <https://www.youtube.com/watch?v=RV59wONfrHU>

# XRISM 衛星による NGC4151 PV phase 観測

- XRISM 衛星 軟X線分光装置 Resolve
  - 最高エネルギー分解能@FeK $\alpha$ 輝線: 200-300 km/s  
(Chandra HETG : ~1900 km/s)
- NGC 4151 の性能検証期間(PV phase) 観測
  - 2023年12月-2024年1月、2024年4-7月に4回の観測
    - FeK $\alpha$ 輝線フラックスの時間変動
    - FeK $\alpha$ 輝線プロファイルとその時間変動
  - 峰崎は XRISM Guest Scientist として参加



回転運動する放射領域の  
シミュレーション



放射領域半径の異なる成分の  
輝線プロファイル変化の模式図

# NGC4151 フォローアップ観測計画

## • 概要

- 異なる領域・構造からの光赤外線放射の時間変動を観測する
  - 紫外線可視連続放射（降着円盤）、広幅 H $\beta$  輝線（BLR）、近赤外線連続放射（ダストトーラス）
- XRISM PV フェーズ観測との同時モニター観測を遂行し、中性 FeK $\alpha$  輝線放射領域を同定する
  - 異なる放射変動の時間相関（反響探査）、光度相関
  - 輝線プロフィールとビリアル関係、運動情報

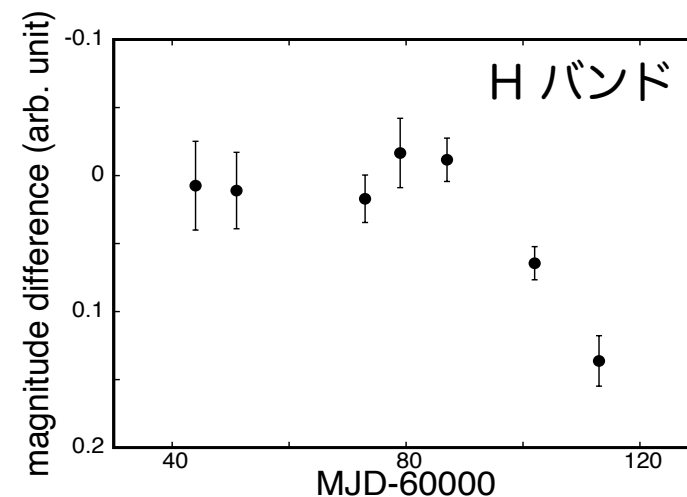
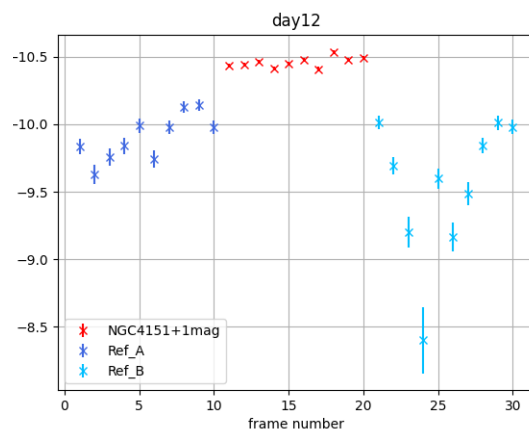
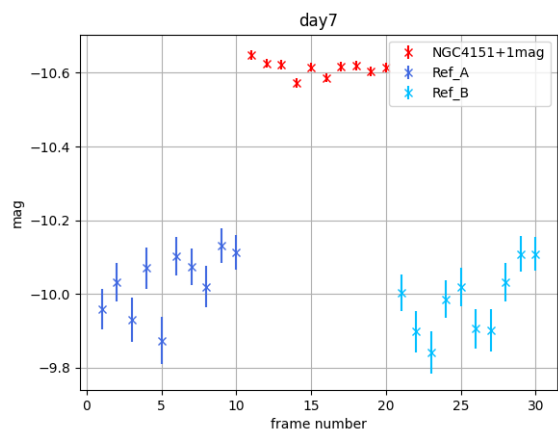
## • 観測計画

- 可視連続測光：木曾観測所（全天モニター観測データ）
- 可視分光：せいめい望遠鏡（2023B採択、2024A申請予定）
- 近赤外線測光：なゆた望遠鏡（2023A採択、2023B申請審査中）、岡山 OAOWFC（2023年～）

# なゆた望遠鏡による NGC 4151 モニター観測

- なゆた望遠鏡 NIC

- J, H, K バンド、5 秒積分 x 10 dithering positions
- 2024年4月～、おおむね1回/週（一般共同利用継続観測枠）
- 良シーイングによる高い空間分解能
  - 母銀河を差し引いて AGN 赤外線フラックスを抽出
  - フラックスの時間変動成分だけでなく、絶対値を議論可能に
- 試験的解析→赤外線光度の長期的な時間変動を検出
  - 精度と効率向上のため 2023B 観測・解析手順にフィードバック



# まとめ

- NGC 4151 の XRISM による観測
  - 世界最高エネルギー分解能による FeK $\alpha$  輝線の時間変動観測
  - SMBH を取り巻くのガスの分布と運動情報
- NGC 4151 の光赤外線同時モニター観測
  - 様々な放射の時間変動からからガスの「状態」と構造
  - 降着円盤、BLR、ダストトラス
- FeK $\alpha$  輝線の光度・プロファイル変動との相関解析
  - FeK $\alpha$  輝線の放射領域の同定
  - SMBH を取り巻くのガスの分布・構造・状態・運動を理解

2023B~2024A が本番です  
よろしくお願ひします