



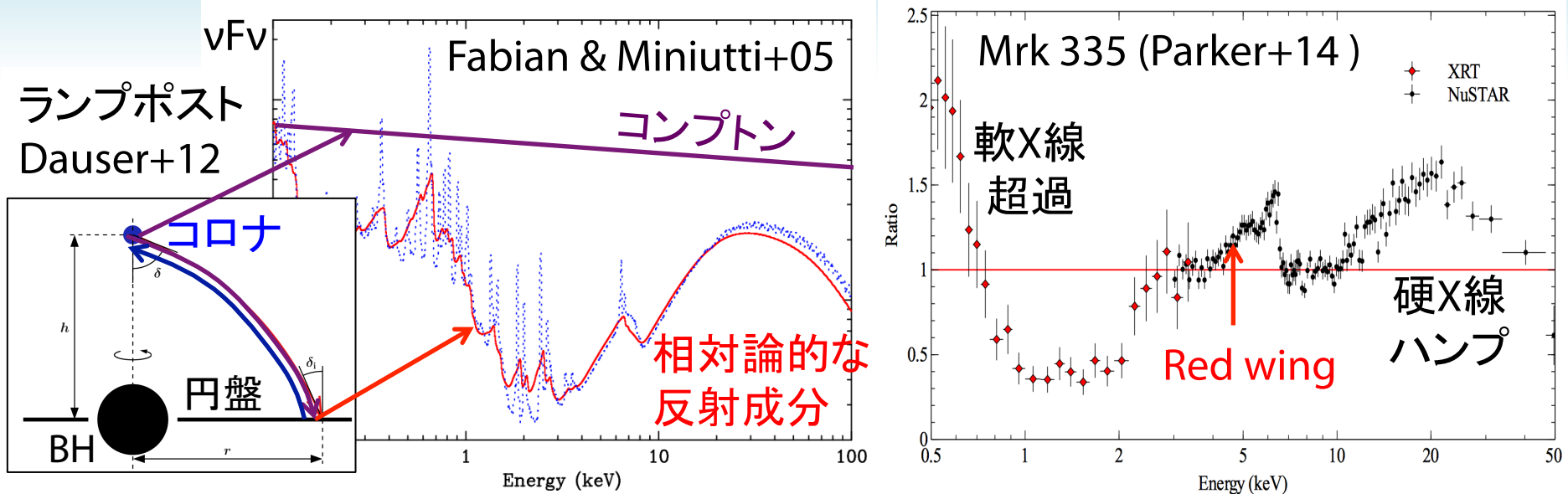
X線と可視光の同時観測で調べる 巨大ブラックホール周辺の降着流の幾何

理化学研究所 仁科センター

野田 博文

共同研究者: 峰崎岳夫 (東大理)、牧島一夫 (東大理/理研)、中澤知洋、
諸隈智貴、小久保充、土居守 (東大理)、河口賢至、伊藤亮介、川端弘治、
深沢泰司 (広大理)、中尾光、渡辺誠 (北大理)、森鼻久美子、
伊藤洋一 (兵庫県立大理)、斉藤嘉彦 (東工大理)、山田真也 (首都大理)

1. AGN研究で仮定されるランプポスト型コロナ



☆ 田中他(1995): MCG-6-30-15 で相対論的に広がった鉄輝線、BHスピンは最大

☆ *Chandra*、*XMM-Newton*、「すざく」、*NuSTAR* の登場により、多くの AGN で硬X線ハンプや軟X線超過成分も相対論的な反射成分の一部と解釈

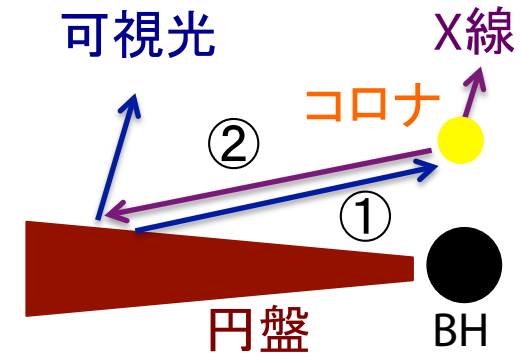
- ・ 相対論的反射はコンプトン成分に比べ時間変動が乏しい (e.g., Matsumoto+03)
- ・ 3–4 keV におよぶ鉄輝線 (@ 6.4 keV) の red wing を説明するためには、BH近傍の円盤からの反射光子が多くなてはならない (e.g., Wilkins+15)

(前提) 円盤内縁がBH近傍 (High/Soft状態)、ランブポスト型コロナ ($< 10 R_s$) → 本当?

2. コロナ位置の手掛かり: X線-可視光の相関

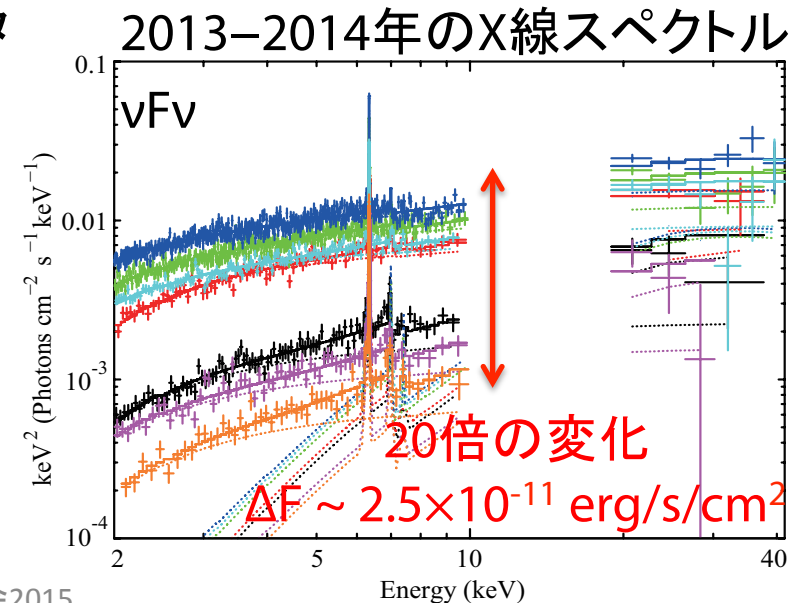
☆ X線の情報だけでは、相対論的反射モデルや電離吸収モデル (海老沢さんトーク) など異なるモデルが縮退 (昨日の川口さんトーク) → **X線と可視光の相関に着目**

- ① コロナ中のコンプトンの種光子は円盤から
- ② コロナのX線が円盤を照射して可視光が増光
 - ・ どちらが先行するかは未決着
 - ・ (コロナと円盤の距離)/ c の遅延を伴う → 幾何情報
e.g., Suganuma+06, Breed+09, McHardy+14



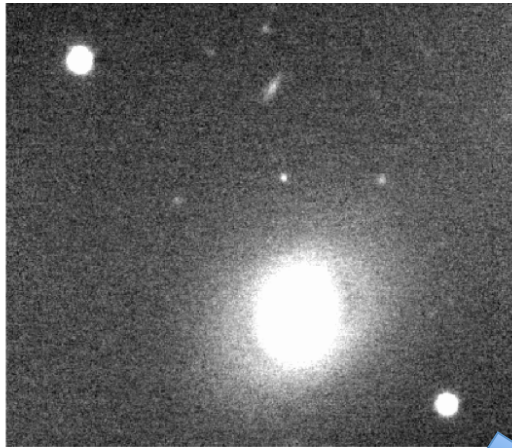
☆ 野田他が 2013–2014年にX線-可視同時モニタ

- ・ ターゲット: 標準的セイファート NGC 3516
- ・ X線観測: 「すざく」50 ks露光の観測 7回
→ Vasudevan+08 (XMMの可視-X線同時) との比較から Edd.比 $\eta \sim 5 \times 10^{-4} - 0.01$
- ・ Bバンド観測: 日本の5つの地上望遠鏡
ピリカ、木曽、MITSuME、なゆた、かなた



3. 差分測光でBバンドのフラックス変動の抽出

基準画像



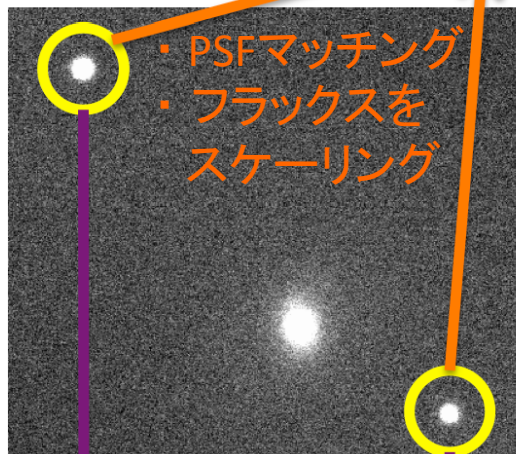
☆ 解析の手順

1. ある観測日のデータから基準画像を作成
2. 観測日の各画像から基準画像を差し引き
3. 残存するAGN成分を周辺参照星と比較して開口測光

☆ 得られる利点

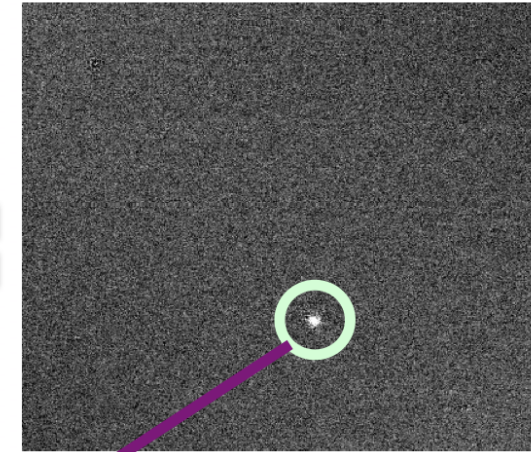
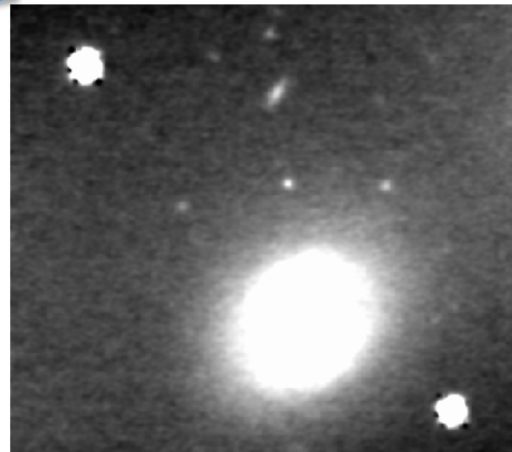
- ・ 母銀河などのオフセットの漏れ込みを取り除ける
- ・ 基準画像の観測日からのフラックス変動成分を抽出

観測データ



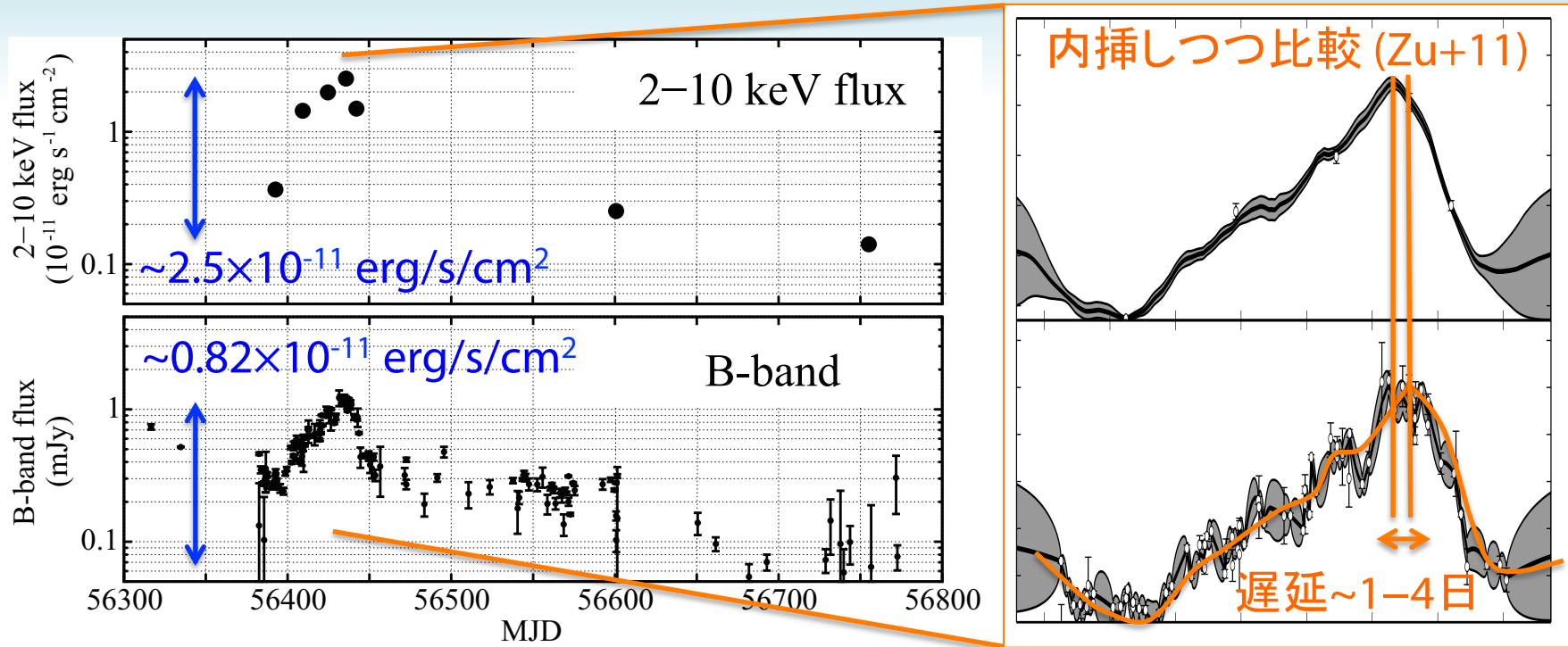
- ・ PSFマッチング
- ・ フラックスを
スケーリング

差し引き画像



開口測光、比較

4. NGC 3516で初めて得られたX線-Bバンドの相関



- ☆ NGC 3516 では、非常に暗い時間帯のX線と可視光の相関を初めて確認
 ⇨ 明るい時間帯を捉えた 1997-2002年のモニタでは相関無し (Maoz+02)
- ☆ **Zu+11** の手法 (JAVELIN) から、X線が可視光より 1-4日先行して変動したと判明
- ☆ 可視光の flux増加は、X線照射で得る温度の黒体放射のみ (α 粘性加熱項なし) でも概ね説明可能

$$T = \left(\frac{3GM_{\text{BH}}\dot{M}}{8\pi R^3\sigma} + \frac{(1-A)L_{\text{X}}}{4\pi R_{\text{X}}^2\sigma} \cos\theta \right)^{\frac{1}{4}}$$

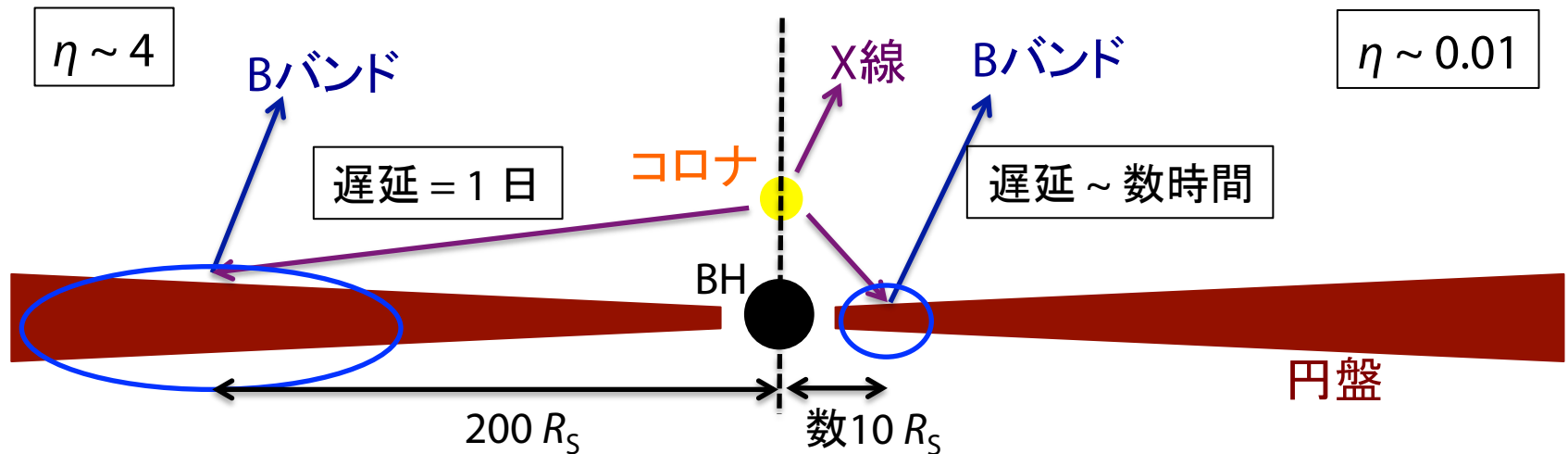
5. ランプポスト型コロナの遅延と η の矛盾

☆ NGC 3516 の観測結果とそこから分かる情報

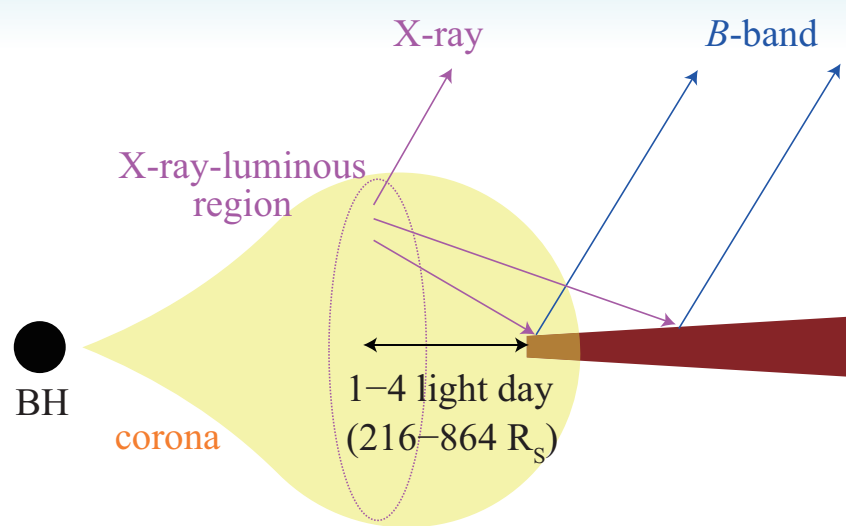
1. X線の変動がBバンドを先行 → X線照射によって可視光が変動
2. BバンドのX線に対する遅延は1–4日 → $200\text{--}800 R_S/c$ ($M_{\text{BH}} \sim 2.5 \times 10^7 M_\odot$)
3. 非常に暗いフェーズ → $\eta = 5 \times 10^{-4} \text{--} 0.01$
4. X線照射だけでBバンドの増光を概ね説明 → 標準円盤 flux が小さくても可

☆ 遅延の大きさと η が大きく矛盾 (遅延が、 η から期待される値を ~ 20 倍も上回る)

→ 多くのAGNで仮定されるランプポスト型コロナ (High/Soft状態) が不適切



6. X線と可視光の双方から考えるコロナの幾何



Noda et al. (2015) in prep.

☆ 遅延1-4日と $\eta \sim 5 \times 10^{-4} - 0.01$ を両立するには、円盤の内側が truncated

- Low/Hard状態的ホットな降着流
- X線で明るい場所と円盤間が1-4光日
- 可視光 flux は、 α 粘性加熱ではなく、X線照射が主 (※ 今回が特別か)

☆ 多くのセイファート銀河で、ランプポスト型コロナを仮定すると、得られた可視光遅延が明るさ η に対して大きすぎる矛盾 (e.g., Cackett+07)

- Mrk 335、NGC 4051 ... → 遅延が η から期待される大きさの ~2倍
- Mrk 509、MCG+8-11-11 → 遅延が η から期待される大きさの ~3倍
- NGC 5548 → 遅延が η から期待される大きさの ~5倍

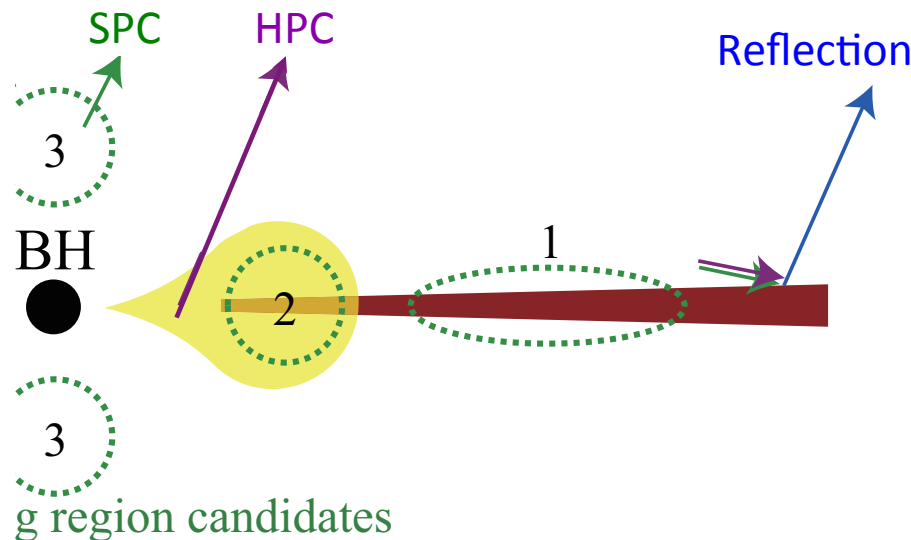
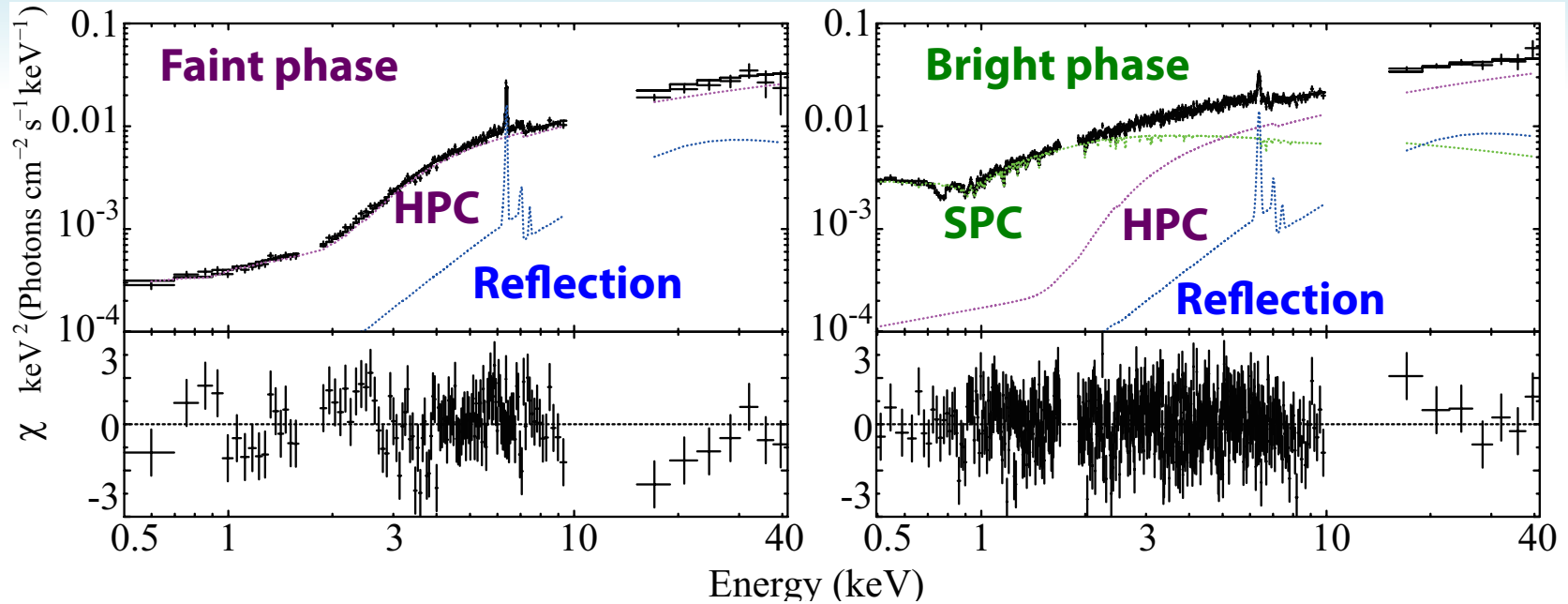
一般に、円盤内縁が Truncated しホットな降着流 (Low/Hard状態)

相対論的反射は生じず、吸収も相関を作れない → 一次X線固有の特徴 (野田+14)

7. まとめ

- ☆ 2013–2014年に、「すざく」と日本の5台の地上可視望遠鏡 (ピリカ、木曾シュミット、MITSuME、なゆた、かなた) を用いて、セイファートNGC 3516 の X線–可視光の同時モニタを行った。
- ☆ X線で $\eta \sim 5 \times 10^{-4} - 0.01$ という非常に暗い時間帯を捉えた。PSF を補正し、オフセットを差し引いて得られる可視光 flux の変動が、X線と良く相関することを初めて確認。
- ☆ X線は可視光より $\sim 1-4$ 日ほど先行してフラックスが変動。しかし、この可視光の遅延の大きさは、ランプポストモデルで $\eta \sim 5 \times 10^{-4} - 0.01$ から期待される値より大きすぎる矛盾。
- ☆ この矛盾を解消するには、ランプポスト型のコロナではなく、円盤内縁部が truncated し、内側にホットな降着流というジオメトリが考えられる。他のセイファートも同様か。

(付録) NGC 3227のX線成分 (野田+14)



- ・ 周波数の違う2つの一次X線
- ・ HPC ($\tau \sim$ 数日) が可視光とよく相関
 - ➔ HPC + Reflection のスペクトルが相対論的反射に似ているため、間違えられていた!
- ・ SPC ($\tau \sim$ 数時間) は可視と無相関
 1. 円盤表面の局所的なフレア?
 3. ジェットコア?