

— KWFC共同利用 P0023 報告 —

可視光多バンド測光モニタ観測による
活動銀河核
PG 2308+098の降着円盤サイズ測定

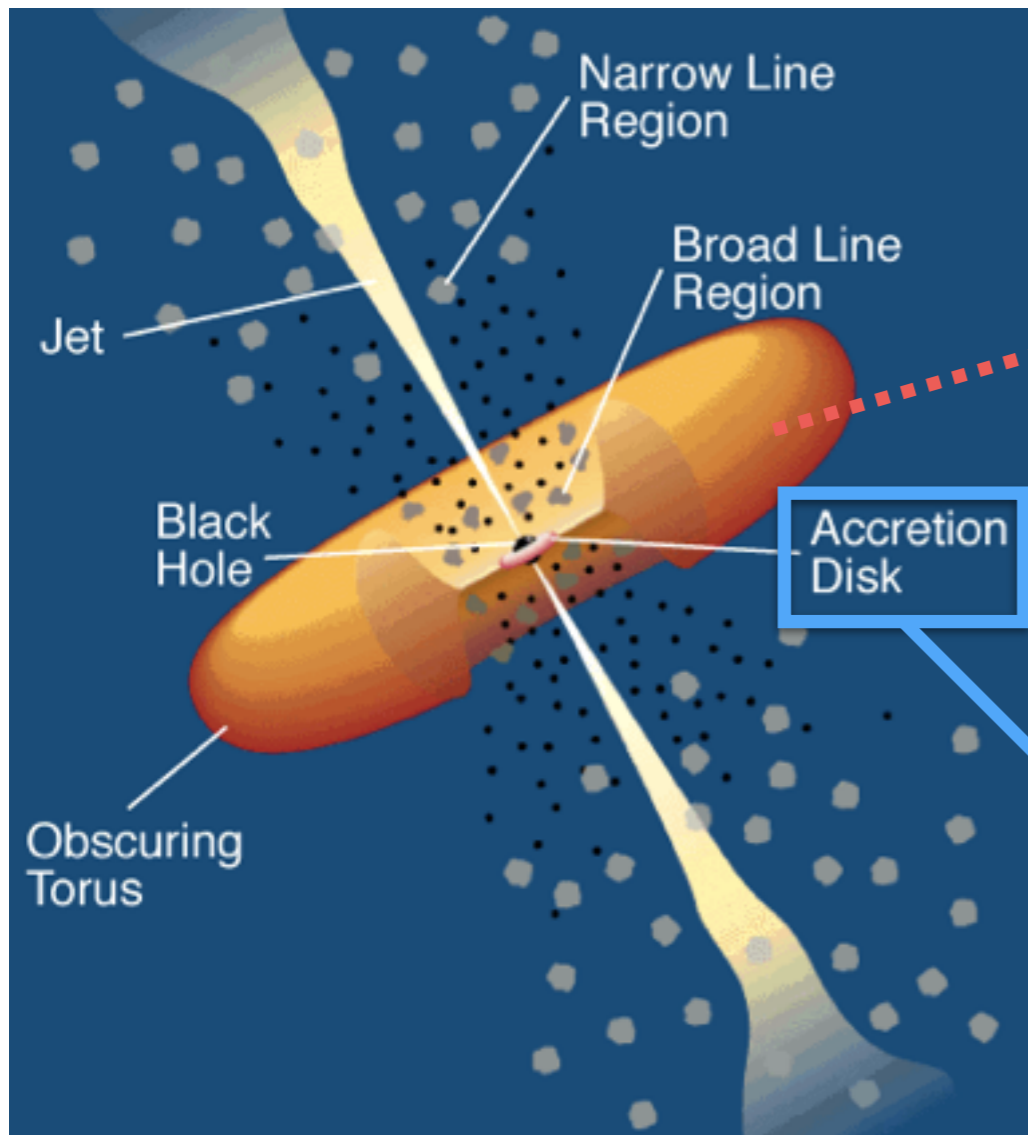
小久保 充 (東北大学)

Kokobo 2016, PASJ, 68, 52

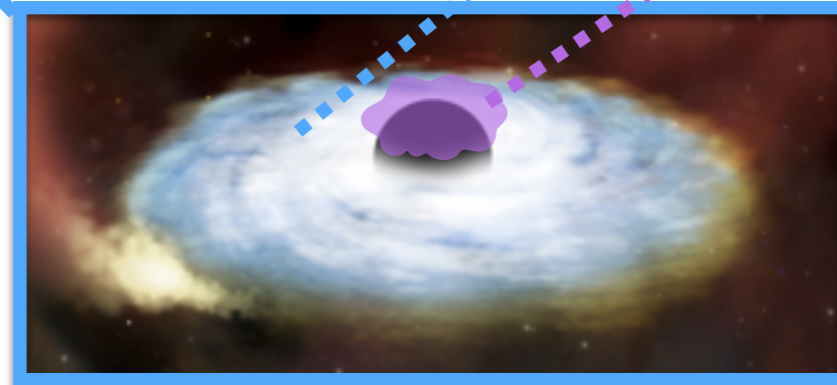
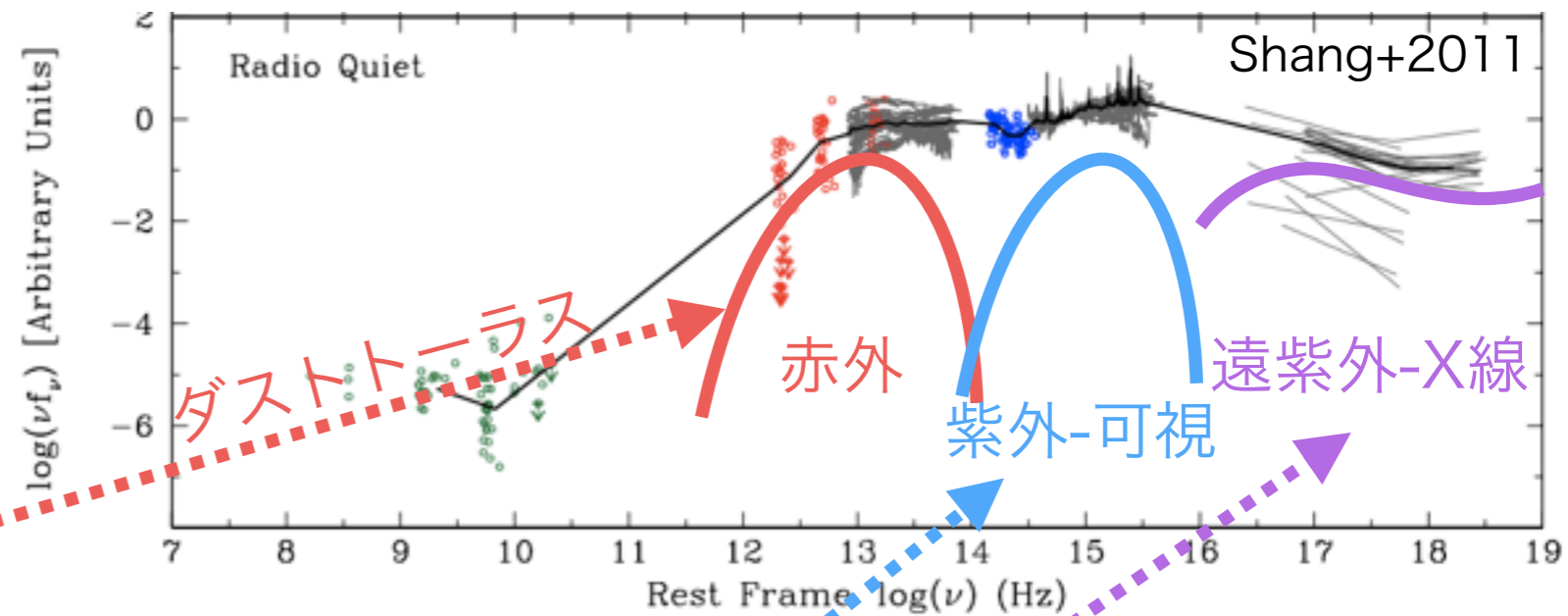
Kokobo 2018, in prep.

Kiso Schmidt Symposium, July 10-11, 2018

活動銀河中心核の可視光放射



Urry & Padovani 1995



超巨大ブラックホール降着円盤放射は紫外-可視光で明るい。

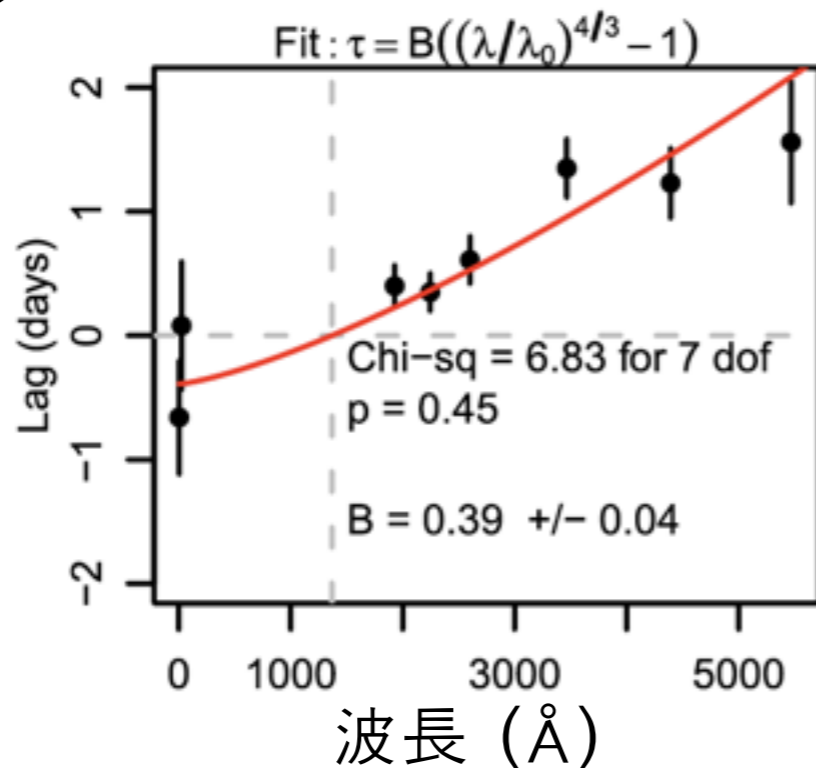
X線の”再放射”による可視光光度変動

・ 近傍セイファート銀河に対する(**Swift衛星**による)長期の密な観測の登場 (NGC5548, 2617, 7469 ...)

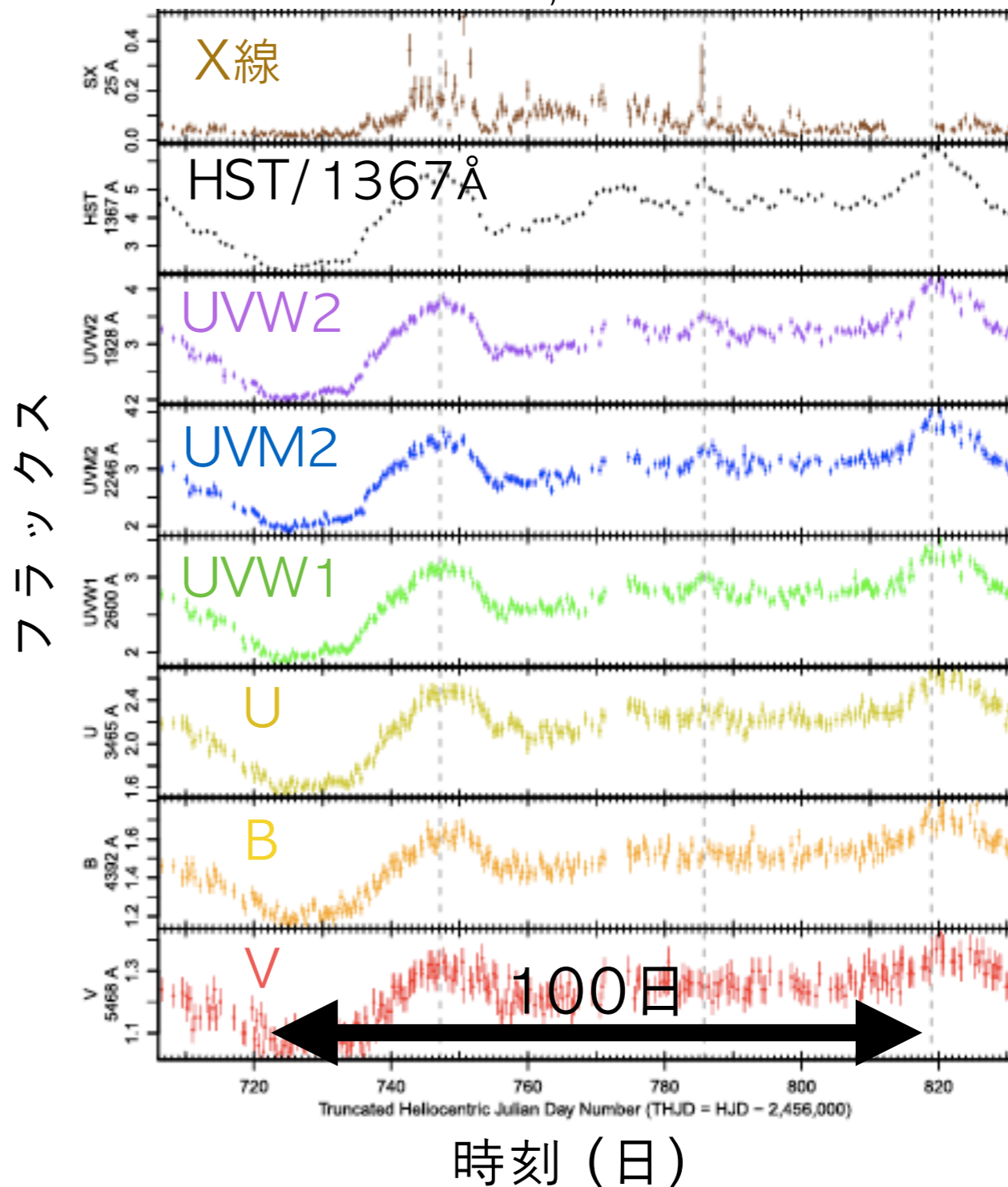
・ X線から可視光まで、**長波長側ほど遅れて変動する**

← ブラックホール近傍起源の高エネルギーX線放射の変動が、円盤の可視光変動を作る”再放射モデル”

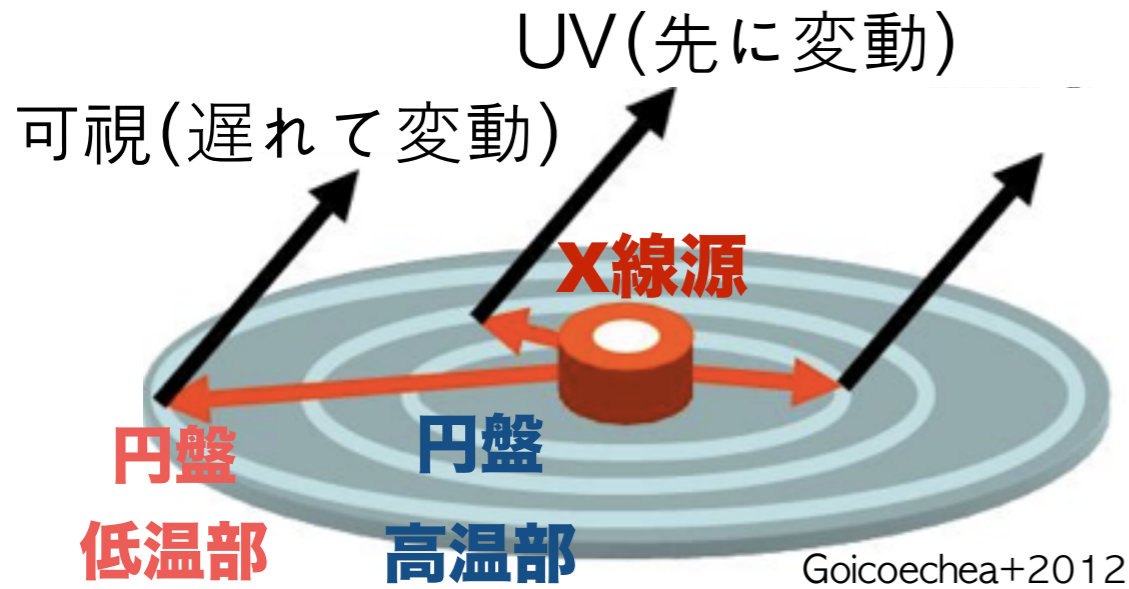
1367Å光度曲線に対する遅延 (日)



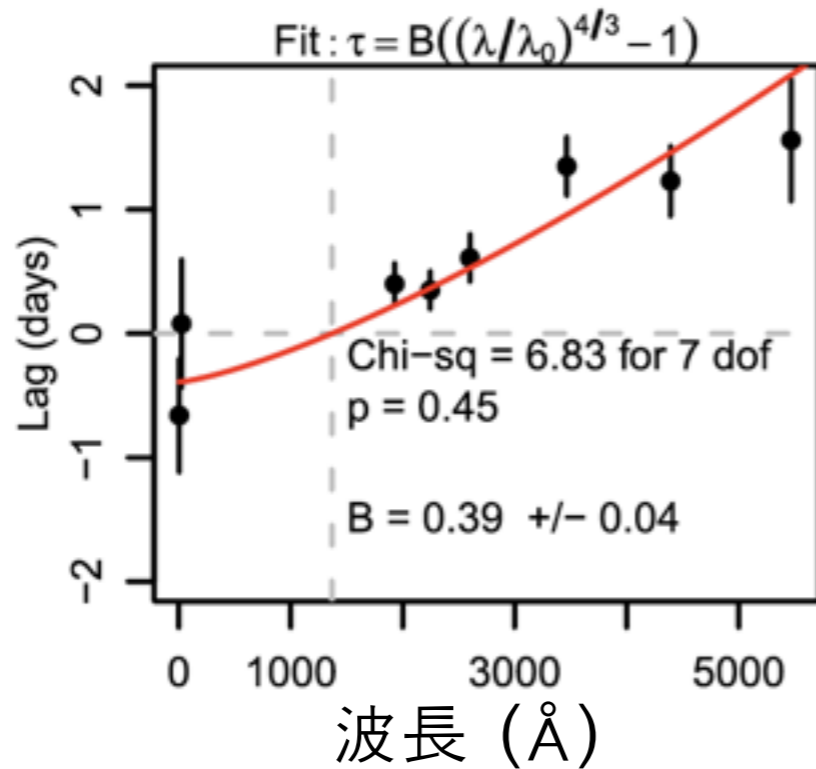
NGC5548; Edelson et al. 2015



X線の”再放射”による可視光光度変動

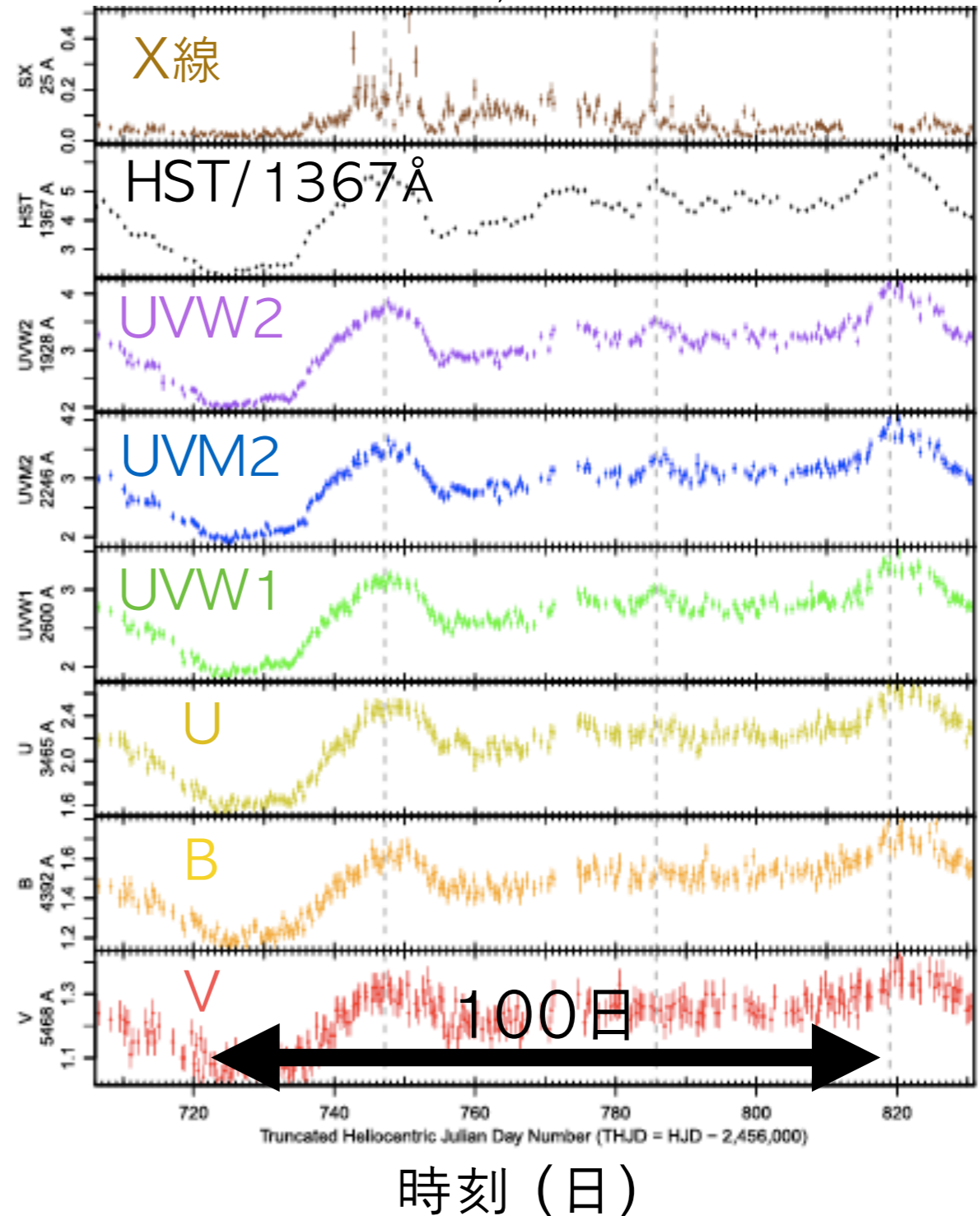


1367Å光度曲線
に対する遅延 (日)

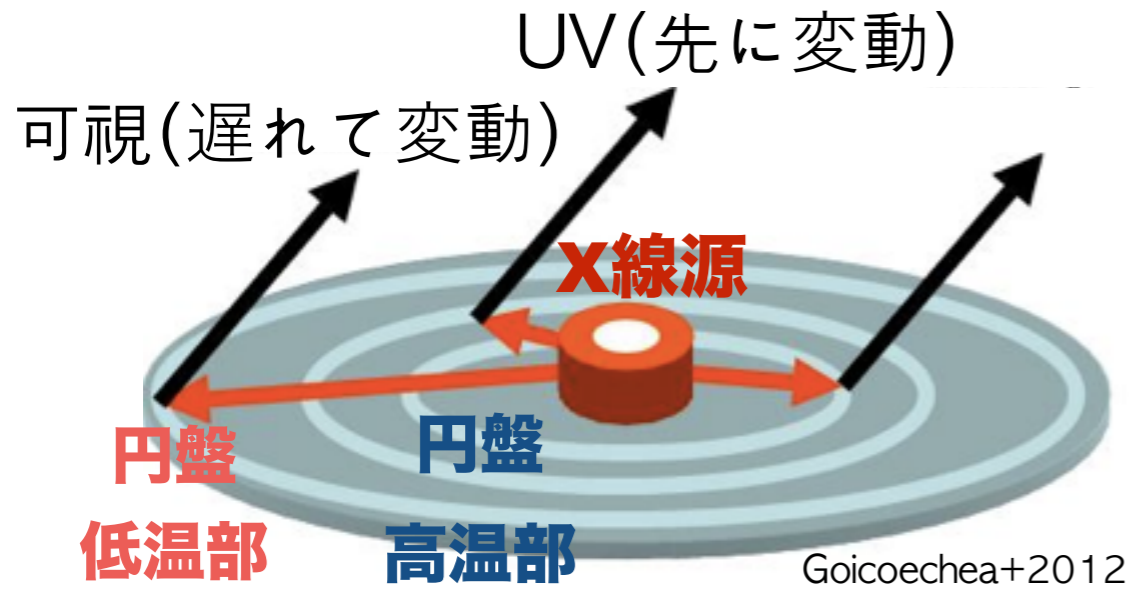


NGC5548; Edelson et al. 2015

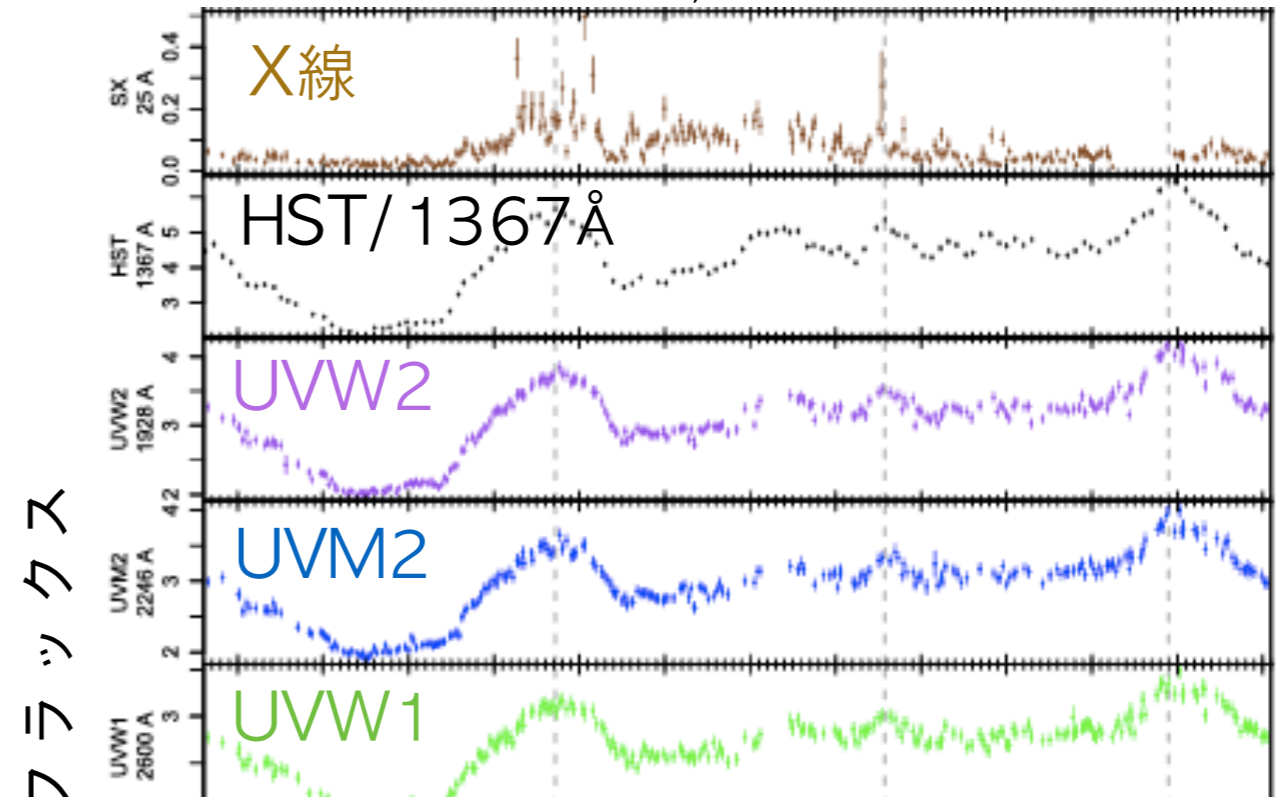
フラックス



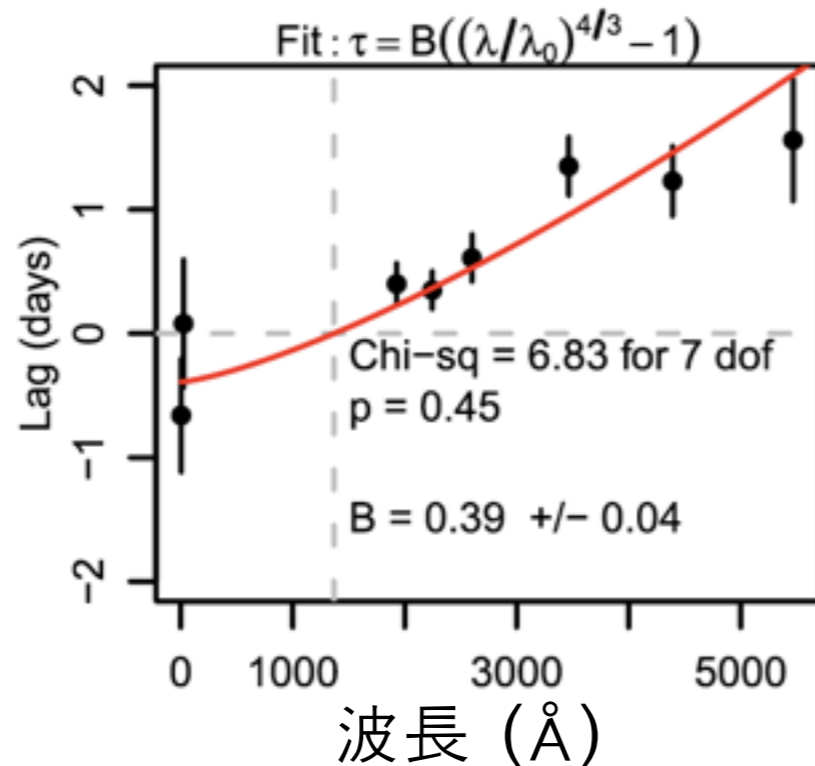
X線の”再放射”による可視光光度変動



NGC5548; Edelson et al. 2015



1367Å光度曲線
に対する遅延 (日)



$$R_{\text{disk}} = \left[\left(\frac{hc}{k\lambda_{\text{rest}}X} \right)^{-4} \left(\frac{3GM_{\text{BH}}\dot{M}f_i}{8\pi\sigma_{\text{SB}}} \right) \right]^{1/3}$$

$$= 4.29 \text{ light days}$$

$$\times \left(\frac{\lambda_{\text{rest}}}{2500 \text{ \AA}} \right)^{4/3} \times \left(\frac{M_{\text{BH}}}{10^9 M_{\odot}} \right)^{2/3} \times \left(\frac{\dot{M}}{\dot{M}_{\text{Edd}}} \right)^{1/3}$$

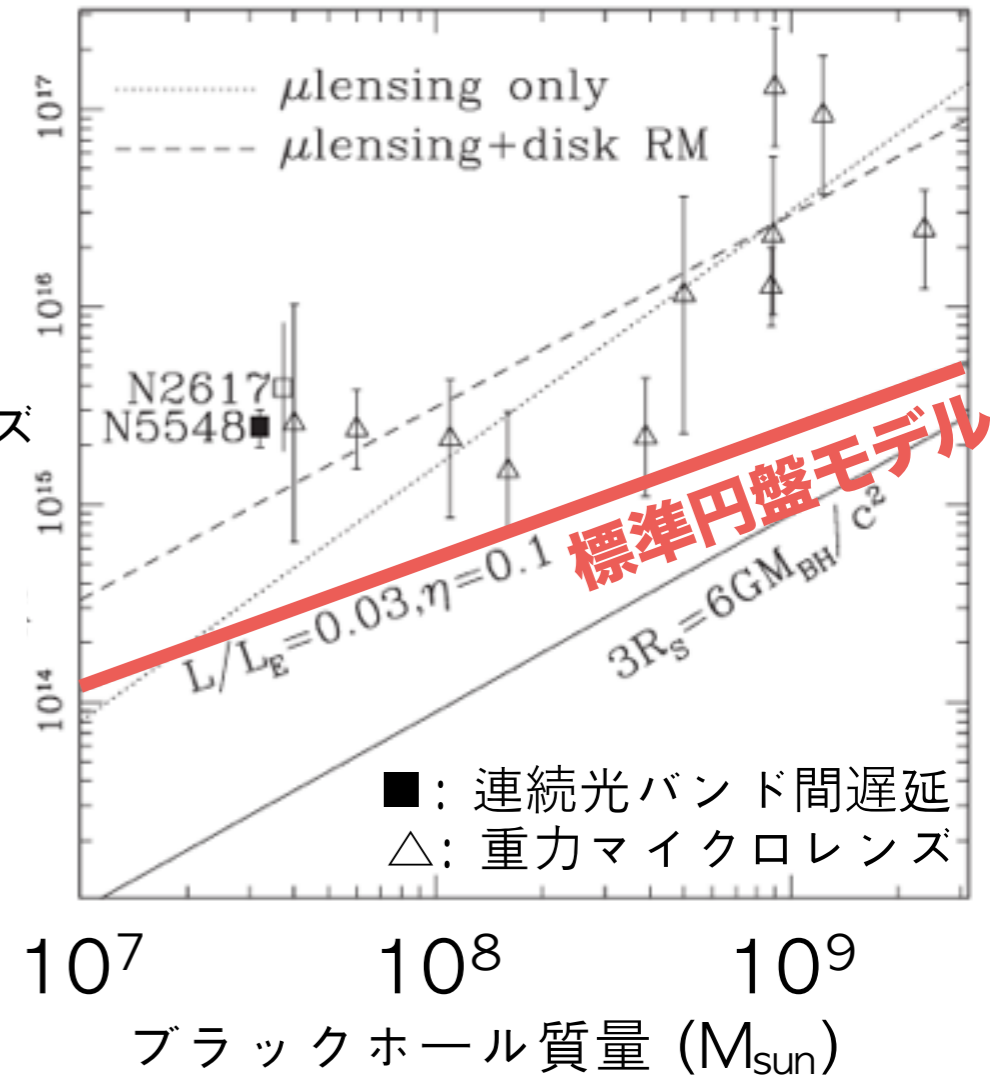
$$\times \left(\frac{\eta}{0.1} \right)^{-1/3} \times \left(\frac{X}{2.49} \right)^{4/3} \times \left(\frac{f_i}{1} \right)^{1/3},$$

新たな問題: 円盤の大きさ

- 再放射モデル: バンド間の遅延は**降着円盤の大きさ** (light-crossing時間) に対応
← 円盤サイズの直接測定
- “円盤サイズ問題”:
測定値が 標準円盤モデル(Shakura & Sunyaev 1973)の予言に比べて**約4倍大きい!** (NGC5548, 2617, 7469 ...)
- 重力レンズクエーサーにおけるマイクロレンズ現象の観測でも同様の結果 (e.g., Morgan et al. 2010)
- 標準円盤モデルの反証?
サンプルバイアス?

Edelson et al. 2015

降着円盤サイズ
at 2500Å
[cm]



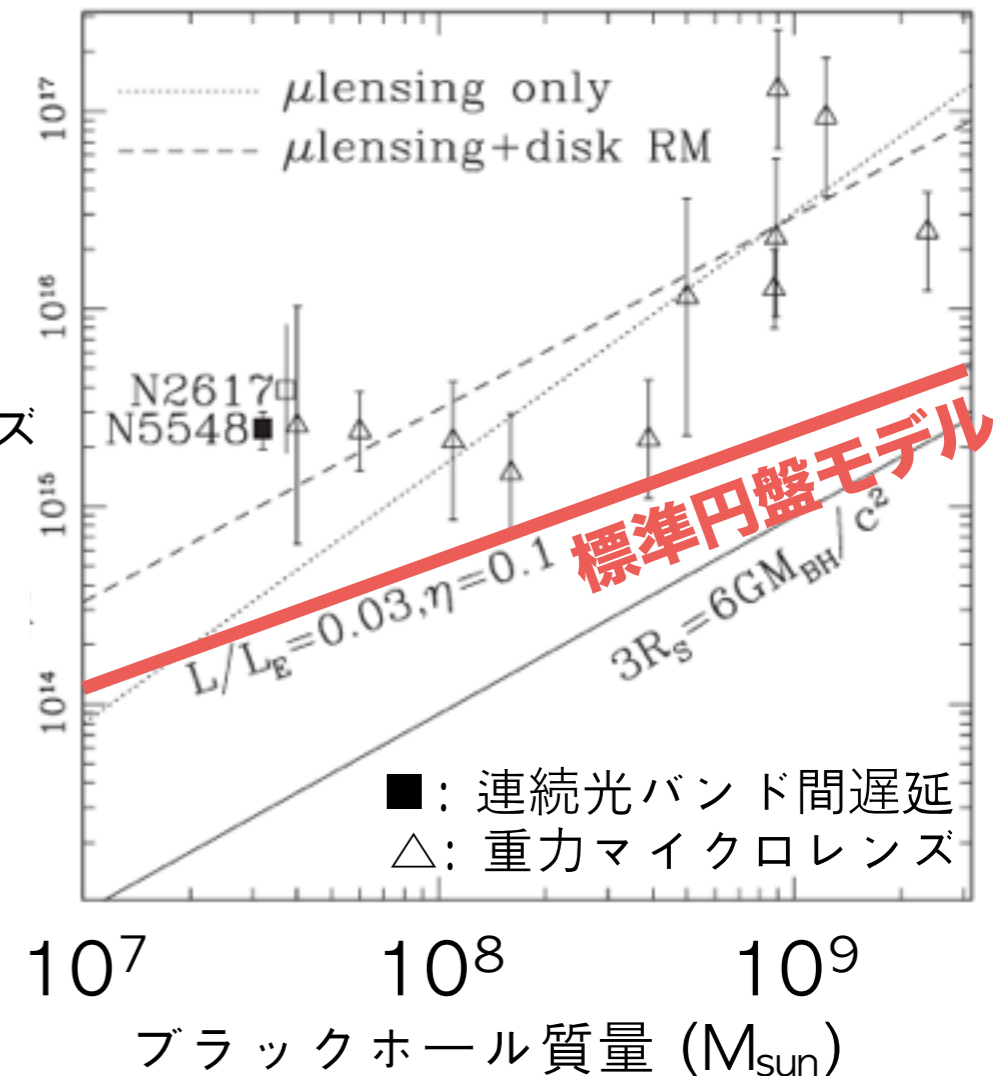
本観測のねらい

- 連続光バンド間遅延による円盤サイズ測定は、近傍セイファート銀河(=比較的**低質量**ブラックホール)に集中.
- マイクロレンズ測定は重力レンズクエーサー(=遠方の**巨大質量**ブラックホール)に限られる.
- 両者のギャップを埋め、**降着円盤のサイズ-BH質量関係**を広いBH質量範囲で観測的に確認する

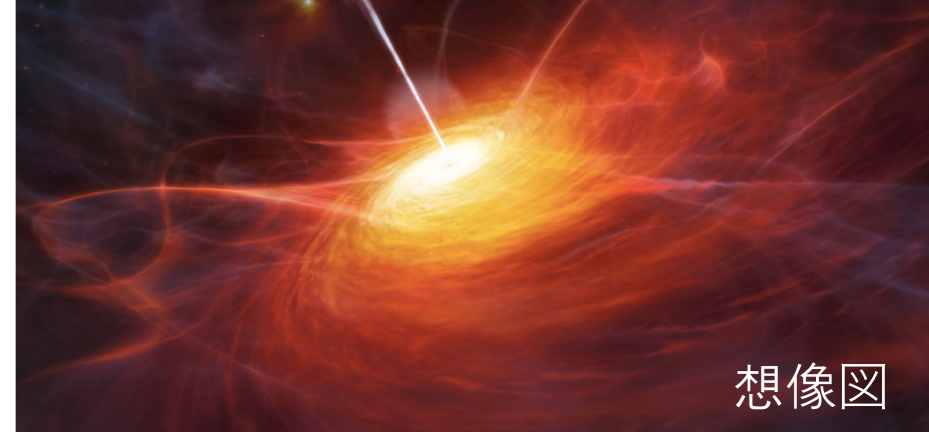
→ ブラックホール質量の大きい活動銀河核の**長期**モニタリングでバンド間遅延検出と円盤サイズ測定!

Edelson et al. 2015

降着円盤サイズ
at 2500Å
[cm]



Target



- **PG 2308+098**

- Palomar-Green クエーサー
— 明るい ($V \sim 16$ mag)
比較的近傍の活動銀河核

- Redshift = 0.433

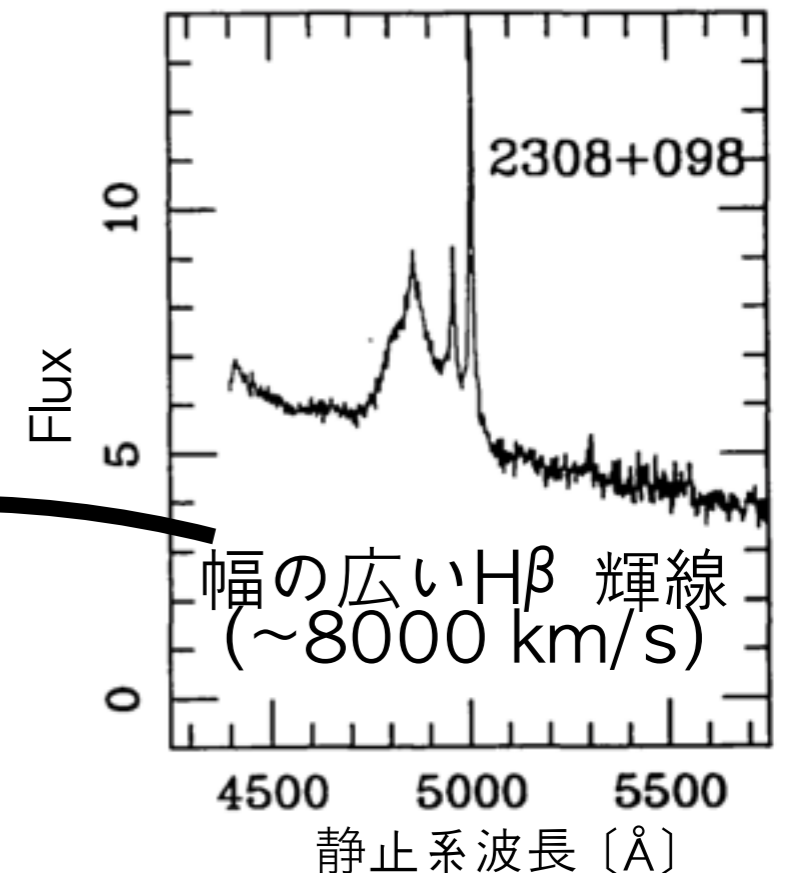
- ブラックホール質量

$$M_{\text{BH}} = 10^{9.6} M_{\text{sun}}$$

(cf. NGC5548: $M_{\text{BH}} = 10^{7.5} M_{\text{sun}}$)

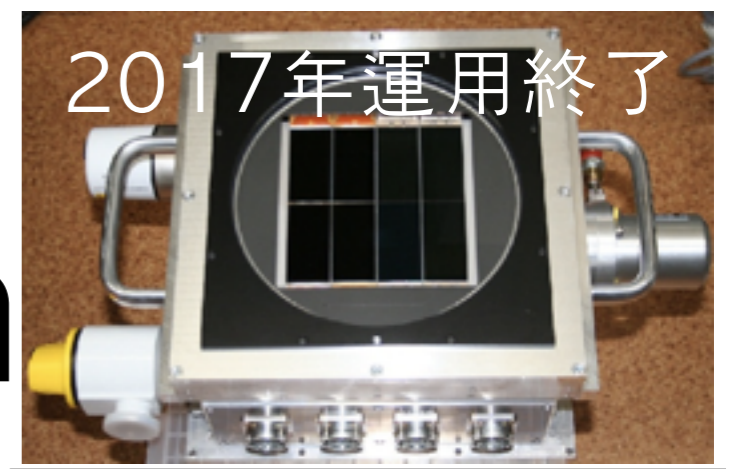


Boroson&Green 1992



Observation

2017年運用終了



Seeing FWHM統計

u $4.8^{+1.1}_{-0.8}$

g $4.5^{+1.0}_{-0.8}$

r $4.2^{+1.5}_{-0.9}$ arcsec

i $4.0^{+1.4}_{-0.7}$

z $3.8^{+0.8}_{-0.6}$

- 木曾シュミット/KWFC
- **u**, g, r, i, z-band
- 期間: 2015年4月 - 2017年6月
(キュー観測)
- 頻度: 月に2回程度
- 積分時間: 各epochで
60sec x 4 (gri), 120sec x 4 (uz)

(2016年木曾シュミットシンポの小久保発表スライドより)

KWFCデータの一次処理

- ・ ターゲットはCHIP#3に導入した.
- ・ CHIP#3の、上下半分ずつの画像(1アンプ)解析
- ・ Overscan (各画像), Bias (各観測日)
- ・ Dome-flat (各観測日) for ピクセル感度フラット
- ・ Sky-flat (全天体画像) for 大域感度フラット



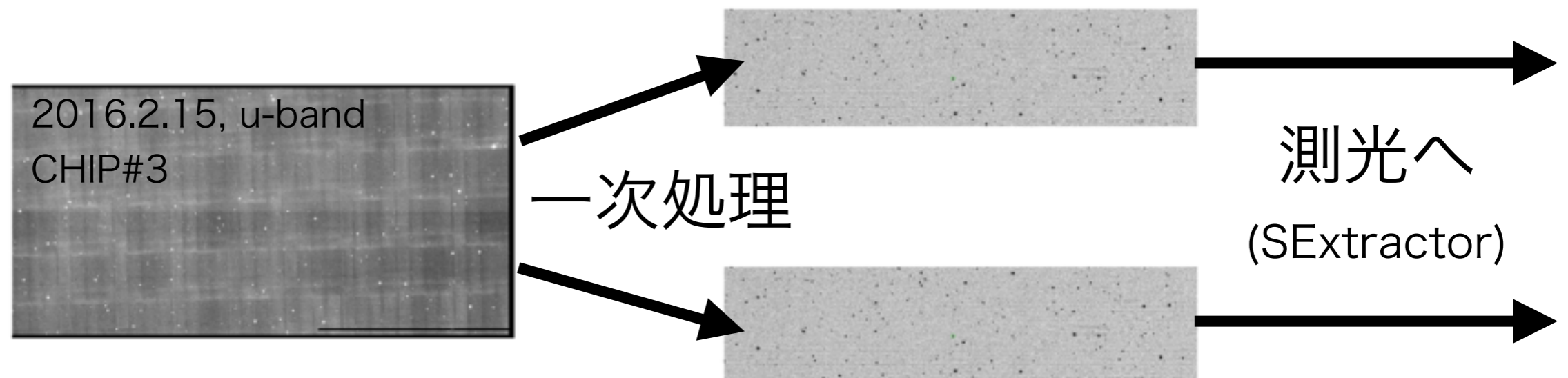
BIAS



DOMEFLAT

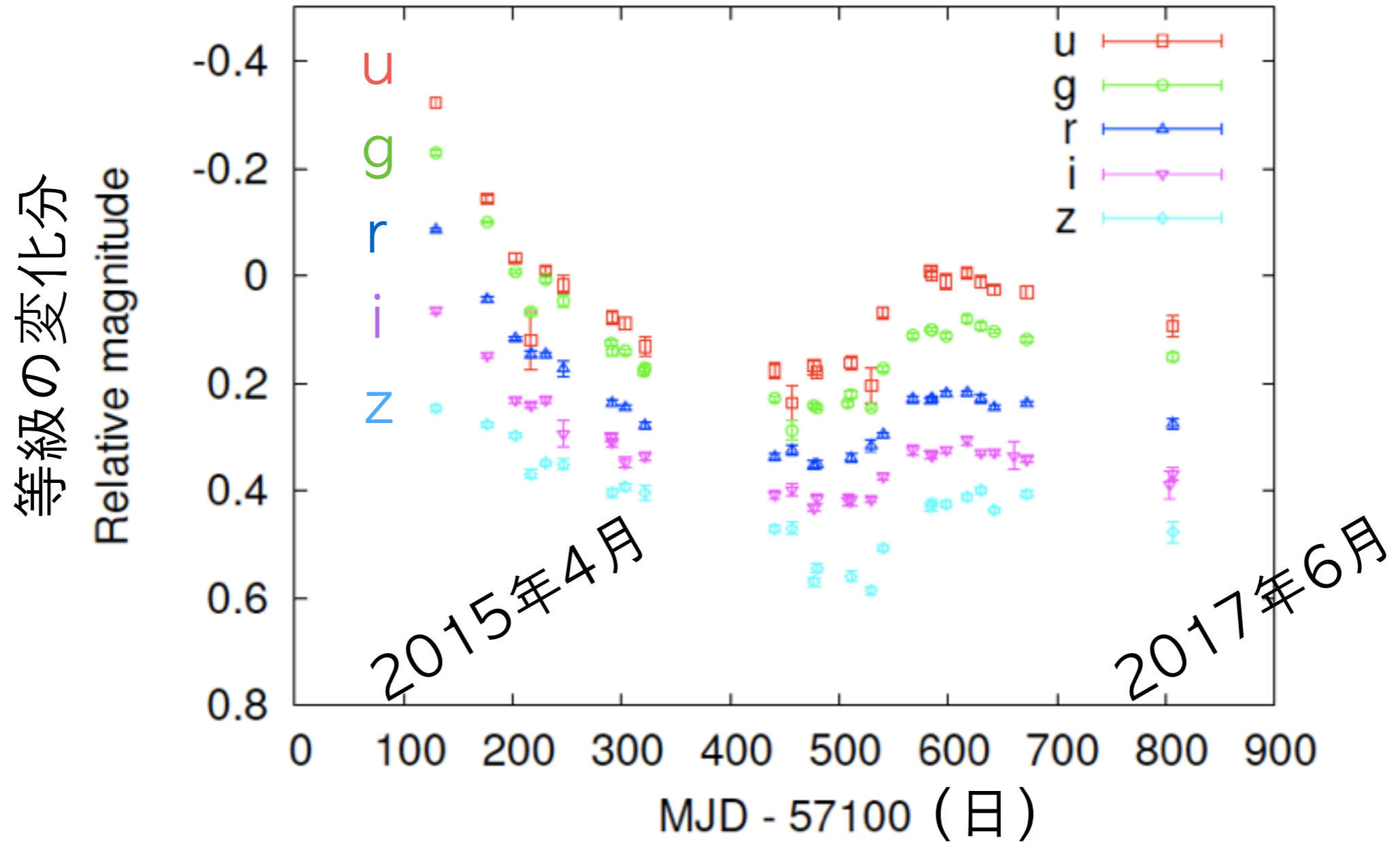


SKYFLAT



Result

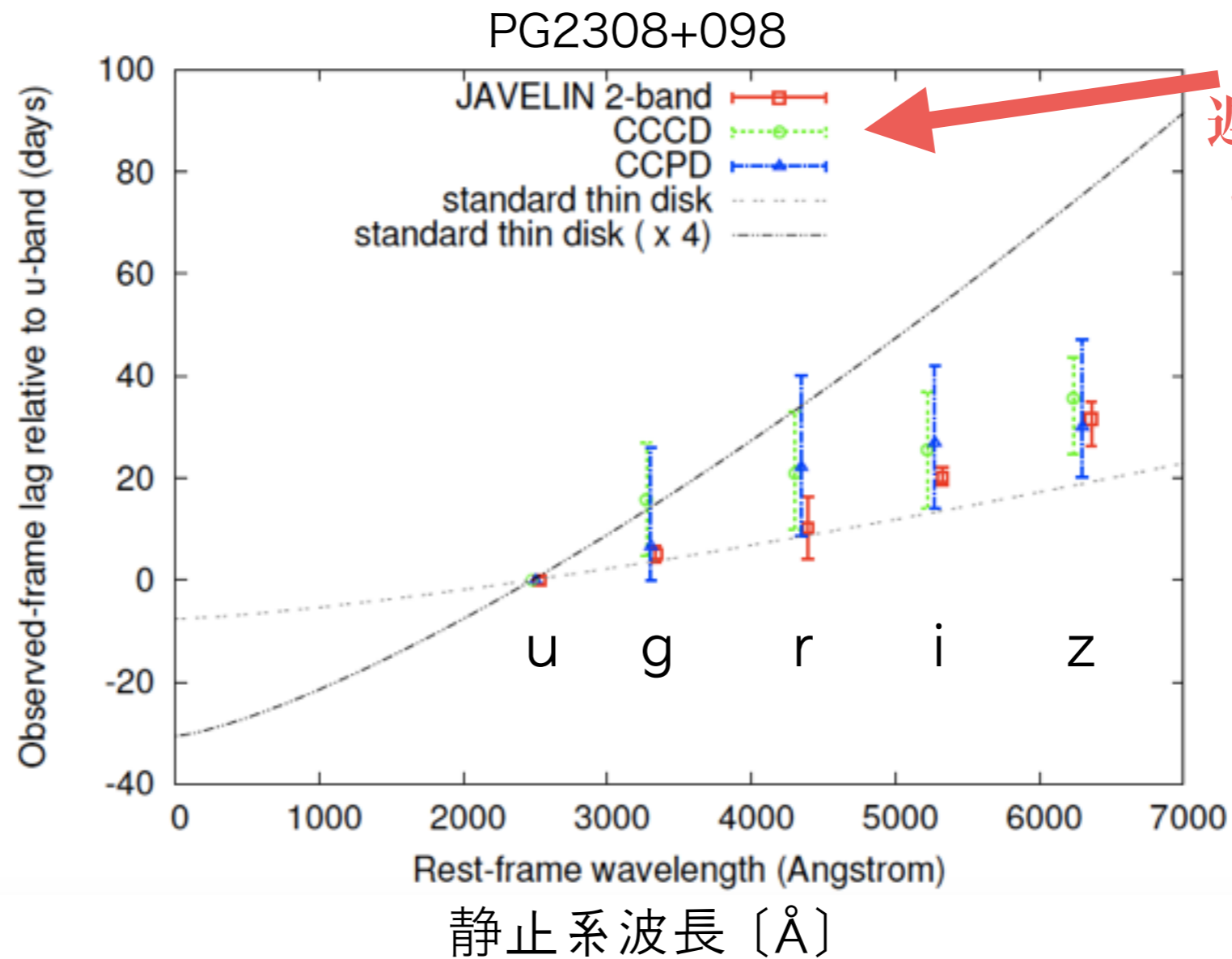
PG2308+098



なめらかな凸凹のlight curve → バンド間の遅延測定が可能

遅延解析 (cross-correlation) の結果

uバンドに対する
遅延 (日)



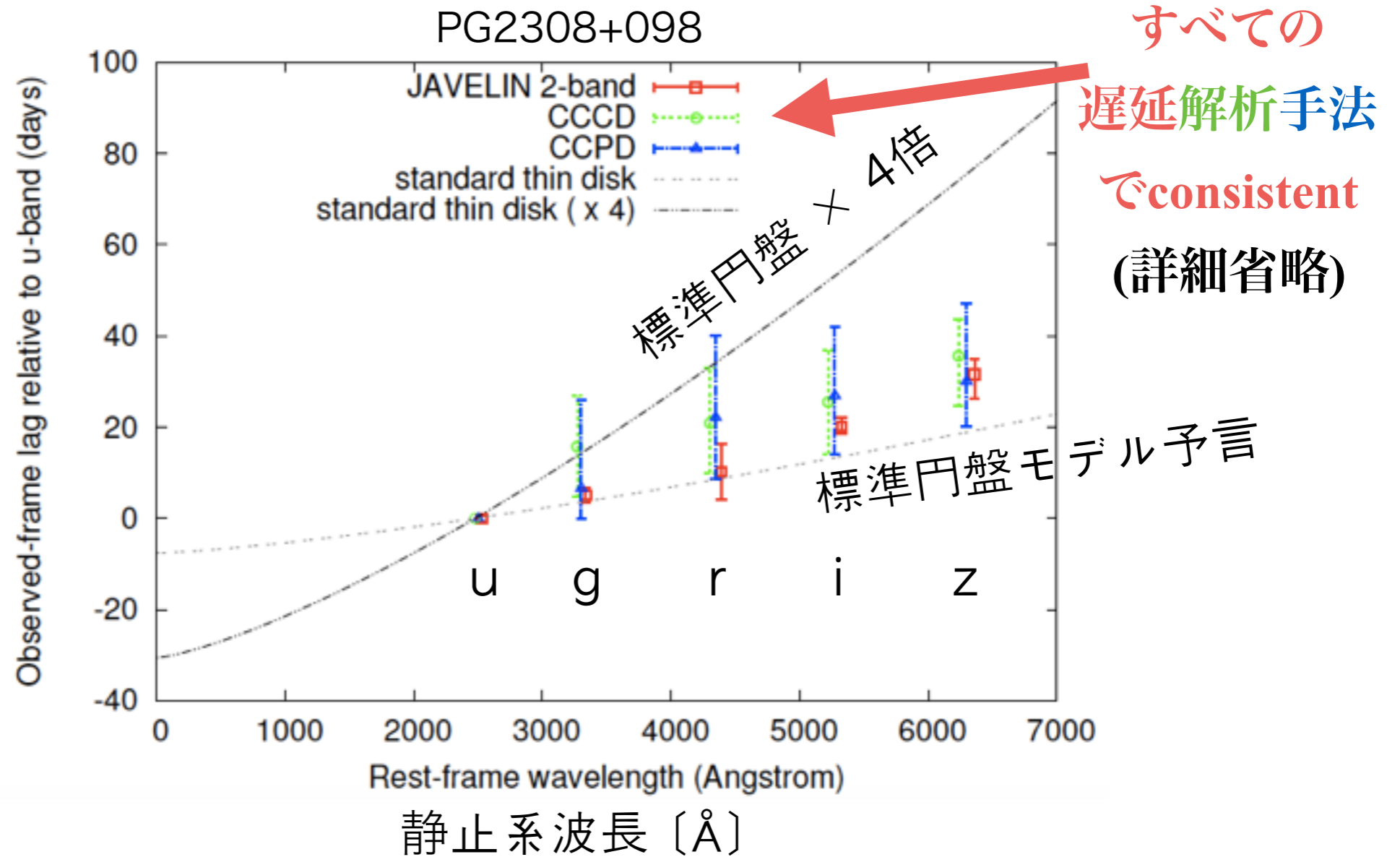
すべての
遅延解析手法
でconsistent
(詳細省略)

長波長側ほど大きくなる遅延を検出

= 降着円盤のlight-crossing時間 (assuming “再放射モデル”)

遅延解析 (cross-correlation) の結果

uバンドに対する
遅延 (日)

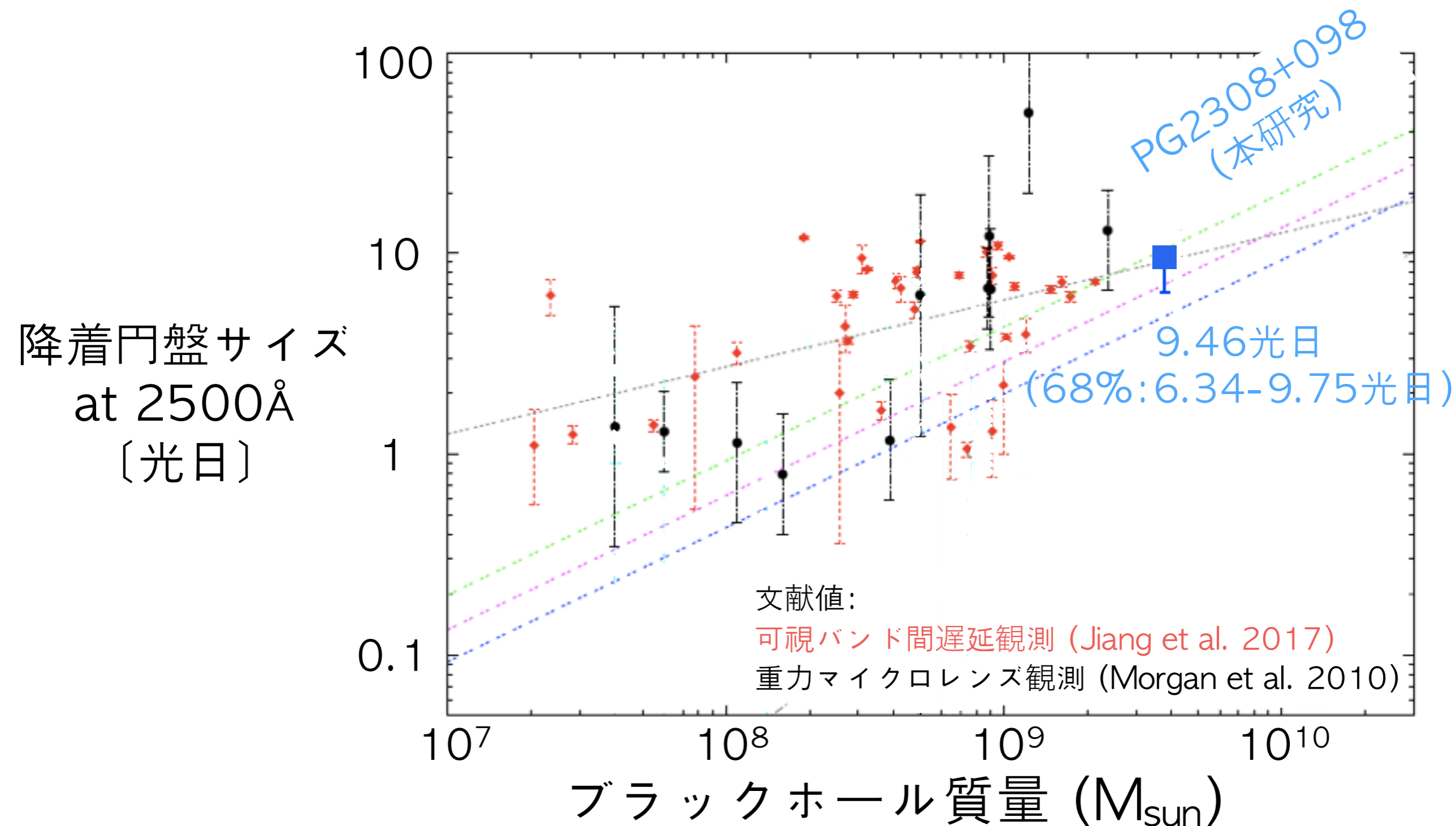


長波長側ほど大きくなる遅延を検出

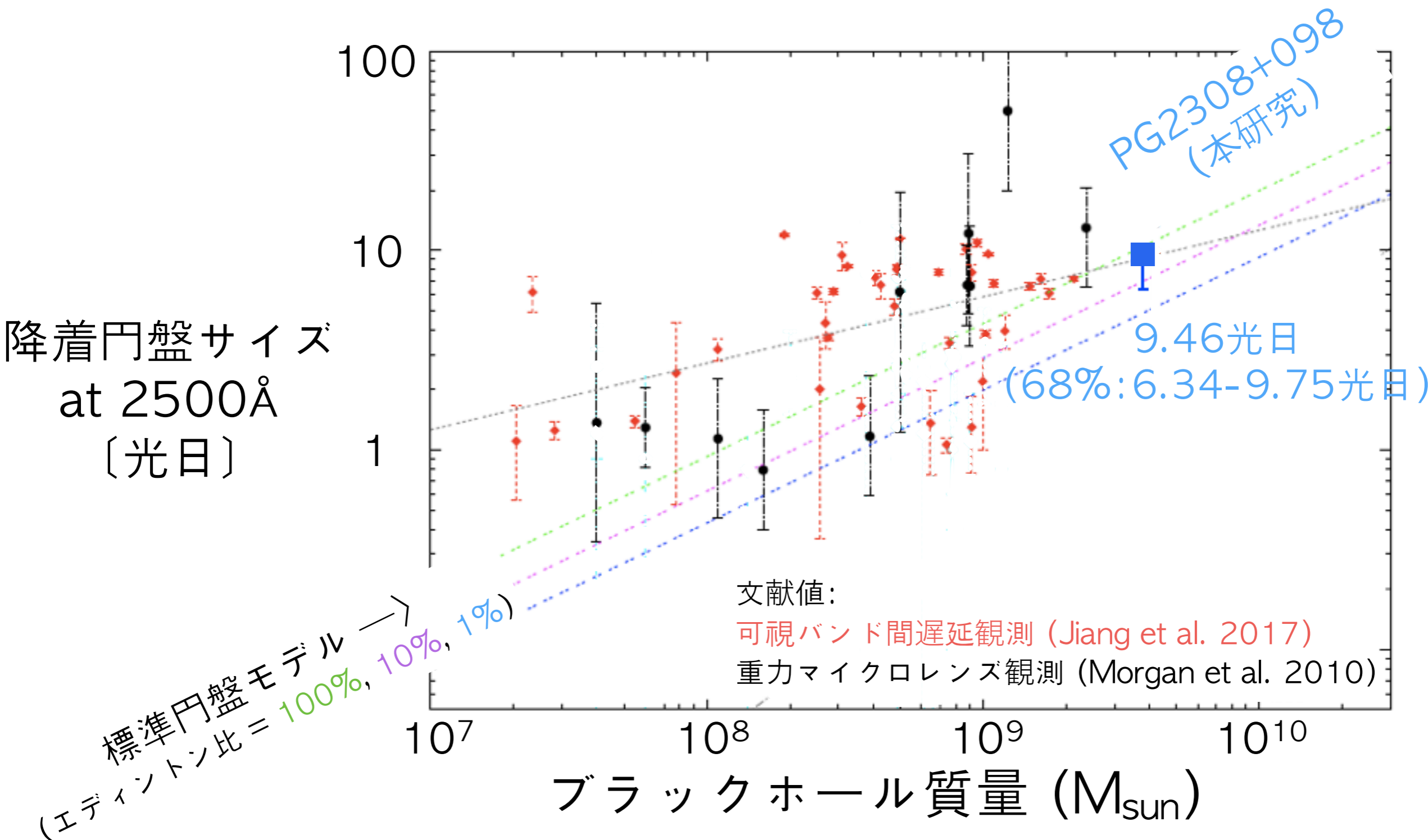
= 降着円盤のlight-crossing時間 (assuming “再放射モデル”)

(先行研究とちがい) 標準円盤モデルの予言とほぼ一致

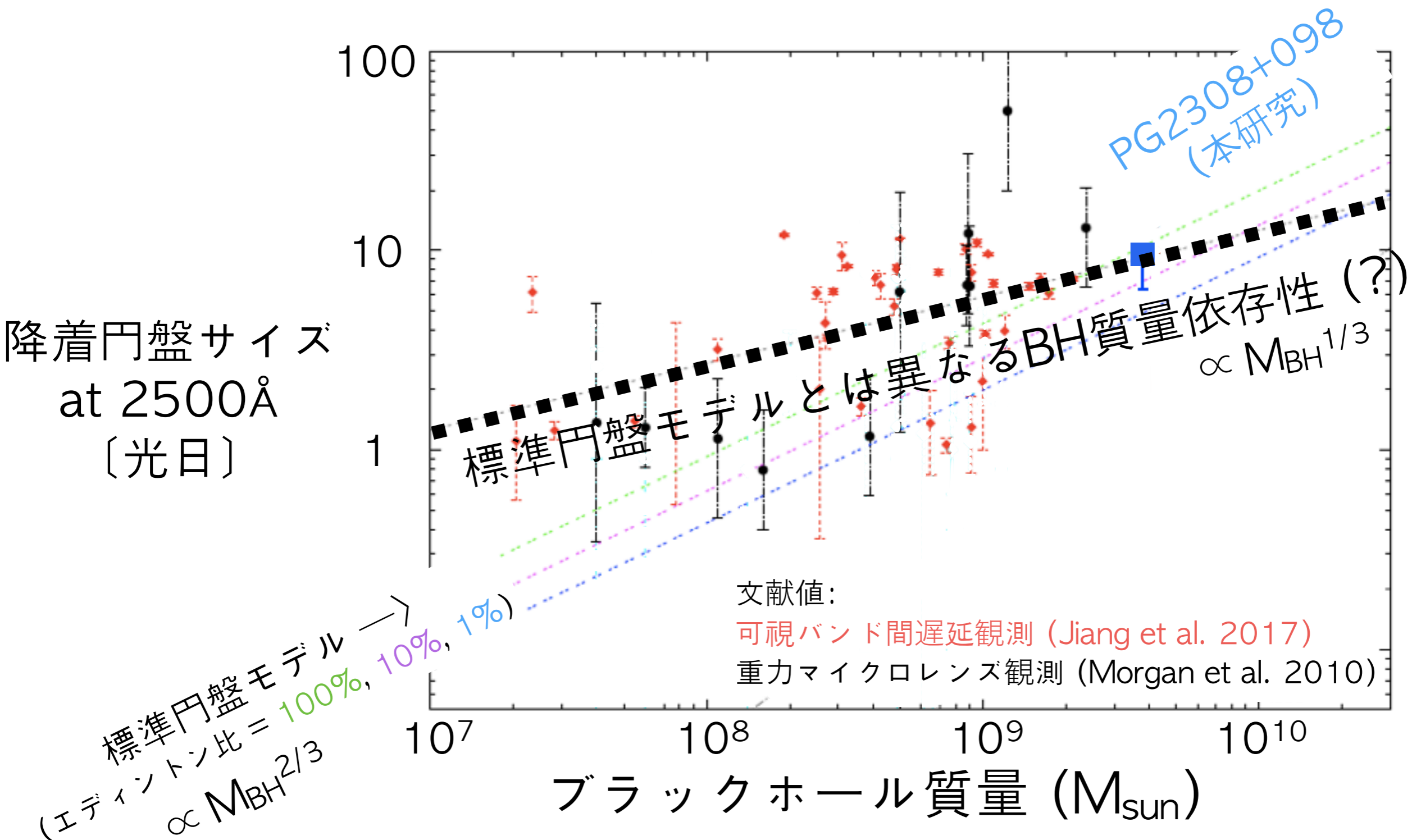
活動銀河核の ブラックホール質量 - 円盤サイズ関係



活動銀河核の ブラックホール質量 - 円盤サイズ関係



活動銀河核の ブラックホール質量 - 円盤サイズ関係



まとめ

- ・ 近年のSwift衛星等の活躍で、活動銀河核の**可視光度変動**が”再放射モデル”で説明可能であるという証拠がでてきた。
一方、”円盤サイズ問題”という新たな問題も浮き彫りに。
 - ・ 広いブラックホール質量範囲での”**円盤サイズ-BH質量関係**”を確立するため、木曾/KWFCでPG 2308+098($M_{\text{BH}} = 10^{9.6} M_{\text{sun}}$)の2年間のモニタリングを実施。
 - ・ 円盤サイズ@2500 Å ~ 9.46光日, **標準円盤モデル予言とほぼ一致**
 - ・ 文献値と組み合わせると、**円盤サイズのBH質量依存性**が標準円盤モデルと異なることが示唆された
← 活動銀河核の降着円盤についての基礎物理がBH質量によって変化 …?
-
- ・ KWFC → Tomo-e Gozen Camera
 - ・ **フィルター無し, 単色** … AGN光度変動は他の望遠鏡/サーベイと相補的にならないをえぬ? (AGN変動はタイムスケール長い)