

近傍活動銀河核の可視 X 線 同時モニター観測

東京大学天文学教育研究センター
峰崎岳夫

野田博文(理化学研究所)、他

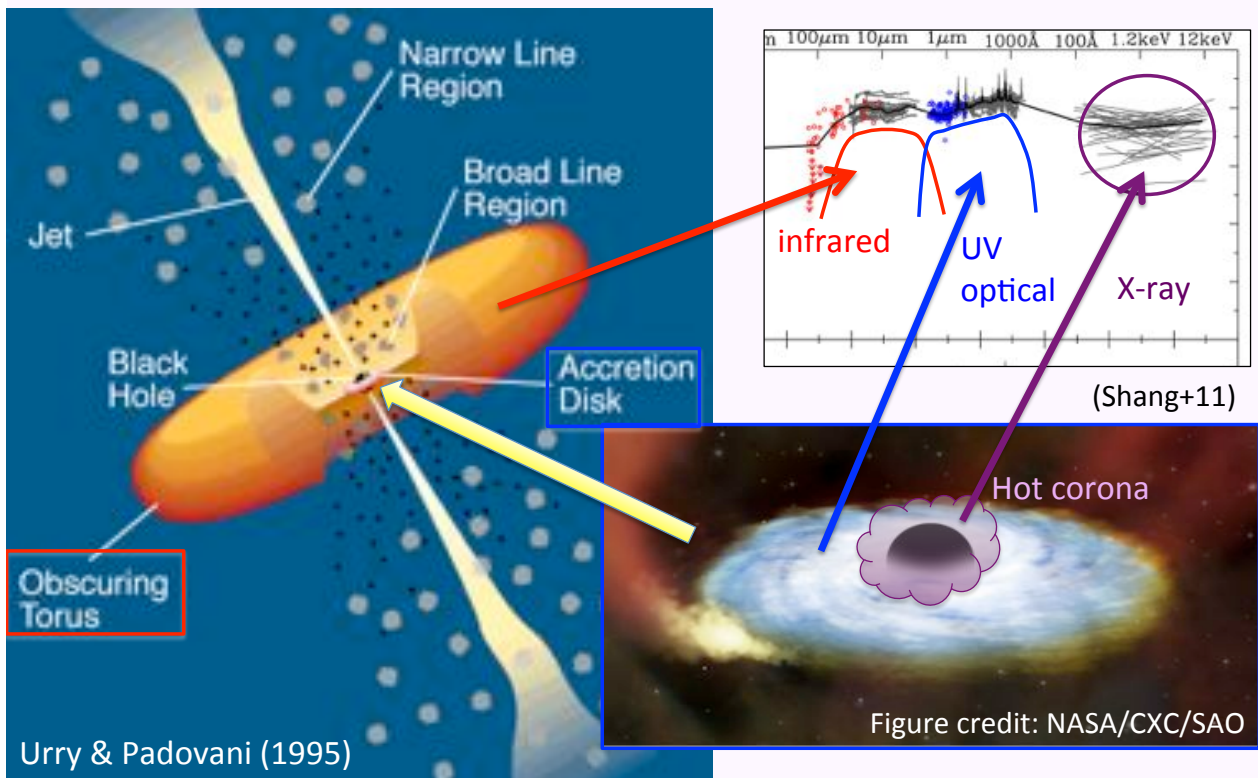
内容

- 大学間連携観測
 - MCG-06-30-015 : 可視多波長モニター観測(2012年)
 - NGC3516 : X線可視同時モニター観測(2013-2014年; 2015年)
 - 光赤外大学間連携観測の利点
- 研究の背景と目的
 - 活動銀河核(AGN)のセントラルエンジンの解明
- 観測成果
 - NGC 3516 のX線可視変光相関
- 解析と系統誤差
 - Differential imaging photometry の近傍 AGN への応用
 - 観測所間の測光値の系統誤差

活動銀河核モニター観測における 光赤外大学間連携の利点

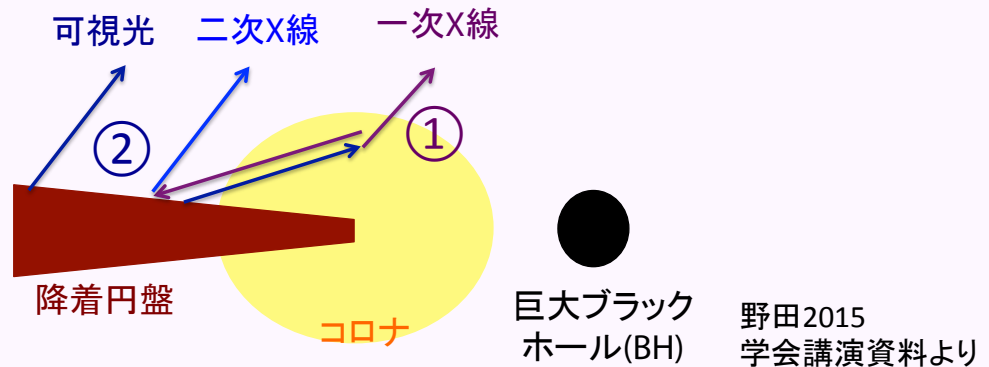
- Weather risk の低減
 - 絶対に外せないタイミングでの観測 (例: 衛星との同時観測)
 - 同じ観測バンドを備えた観測装置が複数拠点に存在
- 各観測所の特長を活かした観測
 - 北天/南天
北大ピリカ望遠鏡・・NGC3516 (北天)の通年観測が可能
東大miniTAO、名大IRSF、石垣島・・MGC-06-30-011 (南天)
 - 多様な観測装置
東大木曾観測所 KWFC の広視野→参照星のフラックス較正
多波長観測→reverberation mapping
- 多経度連続観測による短タイムスケール変光観測
 - 日本→南アフリカ→チリ→日本 (MGC-06-30-011)

活動銀河核の内部構造



X線放射と降着円盤放射の相関

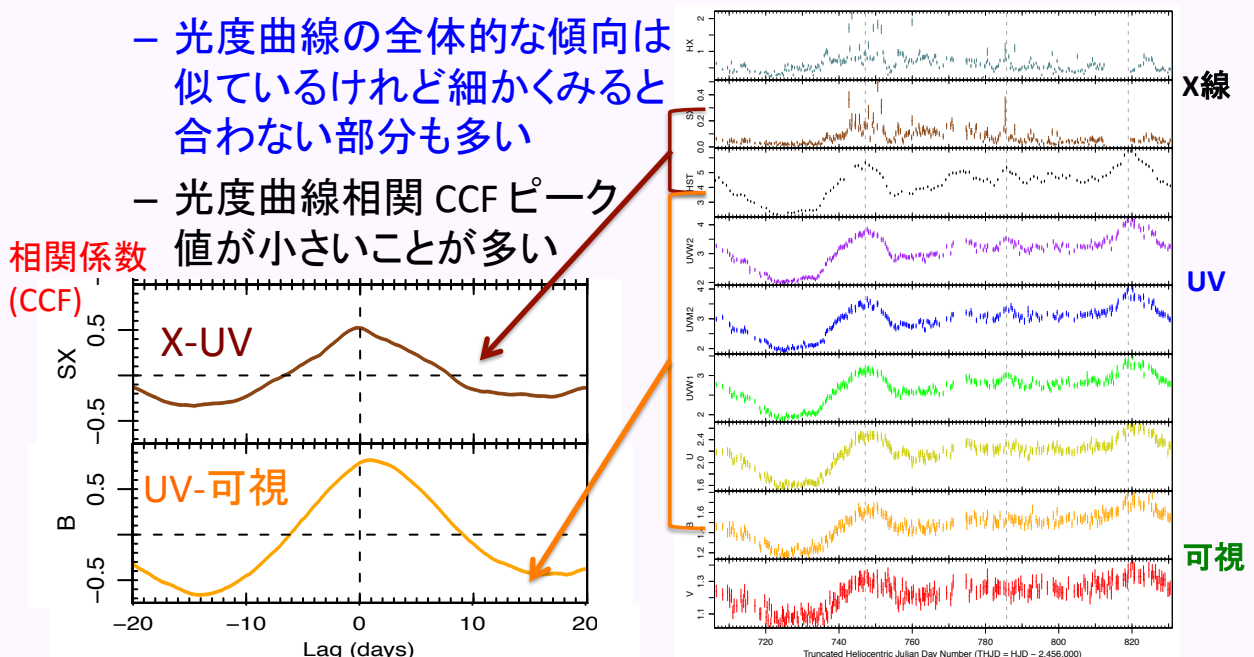
- 互いのフラックス時間変動に相関をもたらすメカニズム
 - ① 降着円盤の紫外線の逆コンプトン散乱によるX線の生成
 - 紫外線可視変光に続いてX線が変光する
 - ② X線光子による降着円盤加熱が紫外線可視放射に寄与
 - X線変光に続いて紫外線可視が変光する
- (X-ray reprocessing model)



X線放射と可視降着円盤放射の相関

- 観測:
 - 光度曲線の全体的な傾向は似ているけれど細かくみると合わない部分も多い
 - 光度曲線相関 CCF ピーク値が小さいことが多い

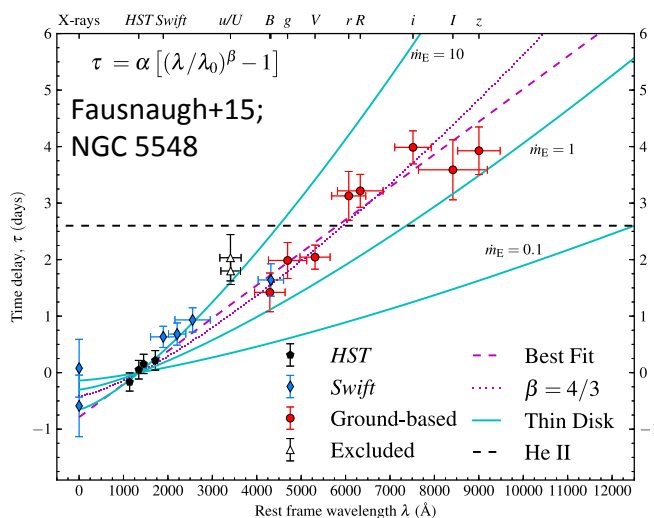
Edelson+15; NGC 5548
光度曲線



X線変光に対する可視降着円盤放射変光の遅延の波長依存性

- 観測とモデルとの比較

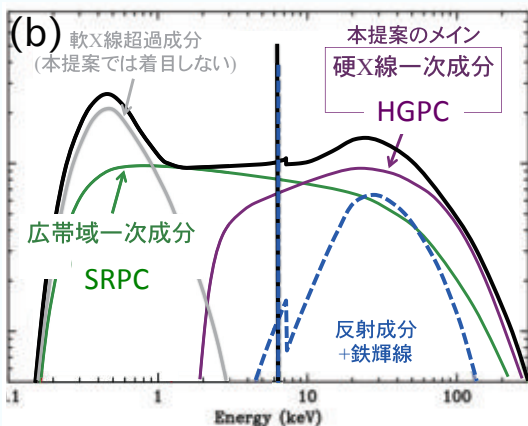
- X線変光→可視連続放射変光 (X-ray reprocessing model)
- その際、可視連続放射の変光は長波長ほど遅れる傾向



遅延 = Light travel time と解釈すると、標準降着円盤モデルから期待される値に対して、観測される遅延が大きすぎる

AGN の X線可視同時モニター観測

- 観測されたX線放射変動の性質に基づく放射領域モデルによらない一次X線放射成分分離 (Noda+11,13)
 - 速い変動成分: 広帯域一次X線成分 (SRPC)
 - 比較的ゆっくりとした変動成分: 硬X線成分 (HGPC)



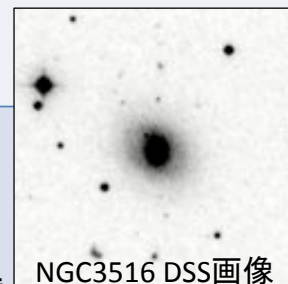
X線可視同時モニター観測の目的

- X線放射領域の降着円盤に対する位置・大きさの情報を得る
- X線可視変光相関の弱さの原因を解明する

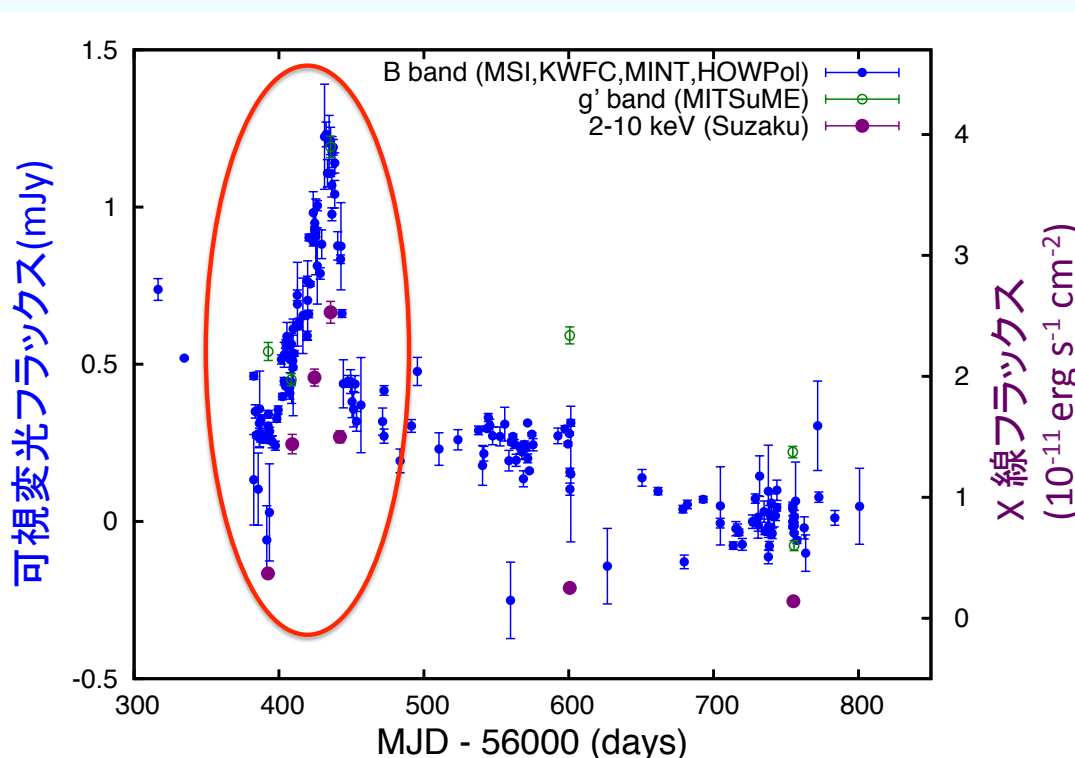
→ NGC 3516 のモニター観測を遂行

観測諸元

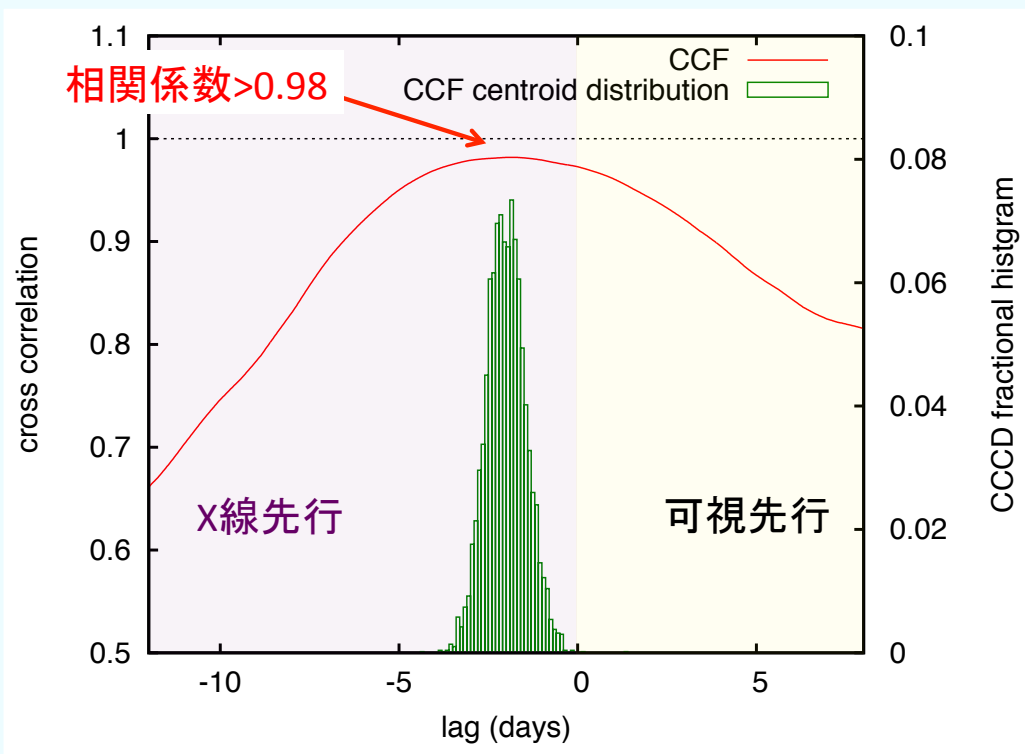
ターゲット	NGC 3516 (11h06m47.5s +72d34m07s; Sy1.5)
X線観測	すざく衛星(AO-8, AO-9)+すざく衛星ToO(AO-10)
	第1期: 2013.04.10-11, 26-27, 05.12-13, 23-24, 29-30 第2期: 2013.10.07-08, 11.04-05 第3期: 2014.04.08-09 ToO : 2015.05.12-16
可視観測	北海道大学附属天文台ピリカ望遠鏡 東京工業大学みつめ望遠鏡 (明野) 東京大学木曾観測所 兵庫県立大学西はりま天文台なゆた望遠鏡 広島大学かなた望遠鏡 + 光赤外線大学間連携
	撮像測光観測 (B, V バンドを中心に)
	すざく衛星観測と同時観測 + 長期モニター観測



NGC 3516 光度曲線(2013-2014年)



NGC 3516 X線可視変光相関

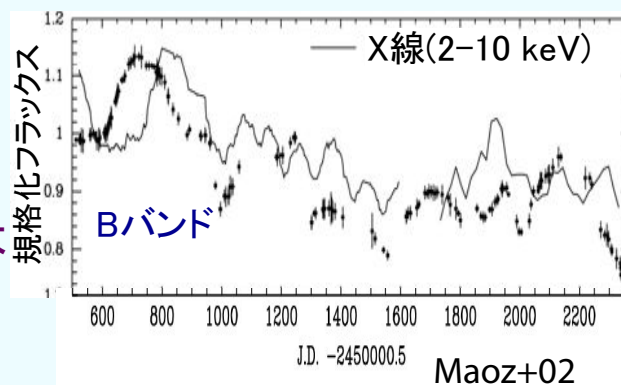


NGC 3516 2013-2014年長期モニター観測結果のまとめ

- 光度曲線
 - X線、可視ともに観測史上かなり暗い状態
 - X線一次放射成分は HGPC が卓越

- X線可視変光相関
 - CCF ピークでの相関係数 >0.98
 - X線変光が可視変光に対して $\tau \sim 2$ days 先行
 - X線 reprocess を示唆
 - しかし+標準円盤モデルに対して観測遅延は過大

- 先行研究(Maoz+02;右図)
 - かつては明るく、相関小

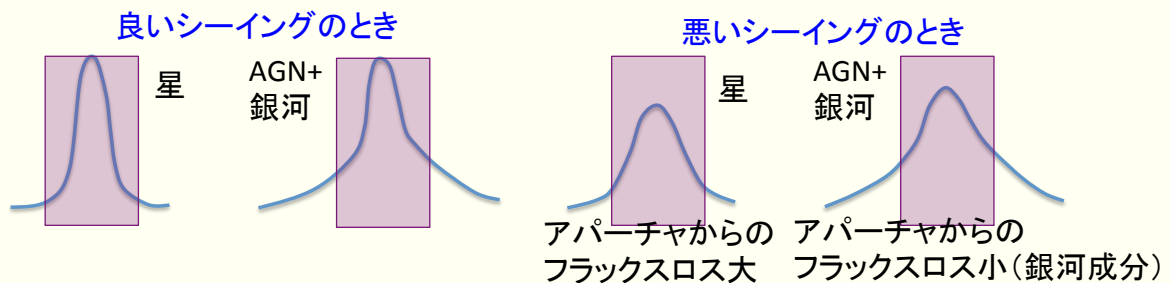


NGC 3516 の ToO 観測

- 目的と方針
 - Maoz+02(明るい&相関小)→HGPC成分以外の一次X線成分？
 - 可視変光とX線 SRPC 変光の相関を調査
 - SRPC の速い変光→短期間のX線可視同時集中モニター観測
 - X線増光時に SRPC が出現(Noda +13, 14)→ToO 観測
- ToO 観測結果(2015年5月)
 - 5/1 Swift で X線増光確認→5/12-16 Suzaku/大学間連携 ToO
 - ToO 観測時点ではすでに減光してしまった！
可視、X線ともにおよそ 2013年5月のピーク時くらいの明るさ
 - X線データには有意な SRPC 成分が確認できず
 - X線 HGPC 成分変光と可視変光の短タイムスケール(< day)での相関調査に目標を切り替え

開口測光の問題点

- 母銀河とシーイングの変化の影響
 - 単純なアパーチャ測光を例に考える
 - 明るさ分布がPSFである星やAGNと、広がった明るさ分布をもつ母銀河とでは、シーイング変化に対する明るさ分布の変化が異なる
 - 母銀河の影響が大きい場合、星とAGN+母銀河の相対測光値は、シーイングによって系統的に変化してしまう。



Differential Imaging Photometry (DIP)

☆ 解析の手順

基準画像



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

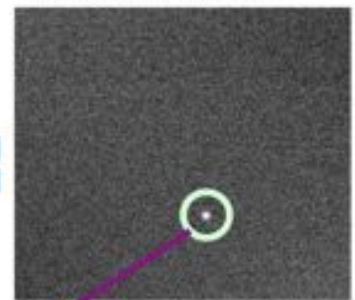
- ・母銀河などのオフセットの漏れ込みを取り除ける

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



差し引き画像



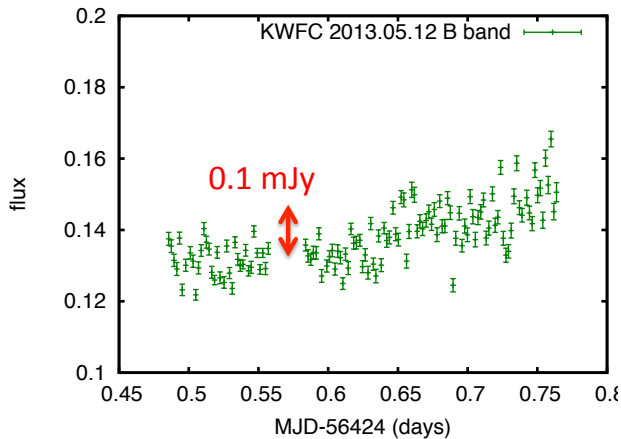
開口測光、比較

DIP 測光の効果

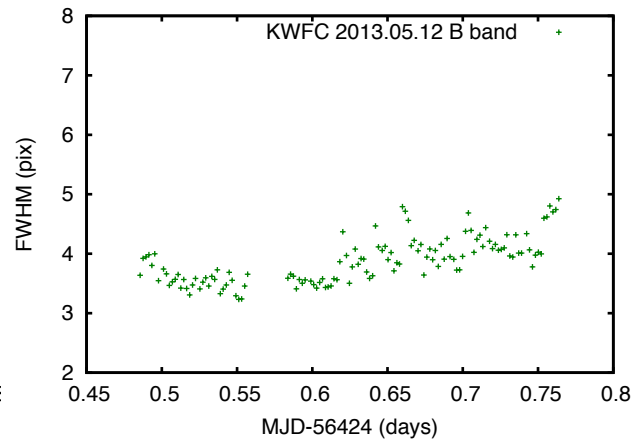
- 測光値のシーイング依存性の検証

- KWFC の例(2013.05.12)

フラックスの時間変化



シーイングの時間変化



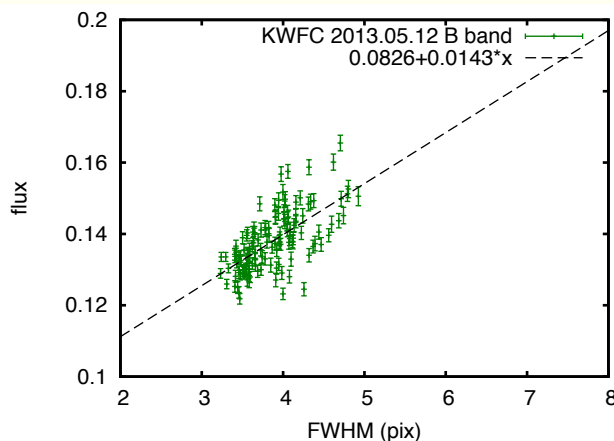
フラックスの時間変化とシーイングの時間変化との相関
→ AGN 可視放射の短タイムスケール変光とは考えにくい

DIP 測光の効果

- 測光値のシーイング依存性の検証

- KWFC の例(2013.05.12)

フラックスのシーイング依存性



何らかの理由で測光値のシーイング依存性が残ったと判断

- 多観測所間の光度曲線合成における測光値の系統誤差要因
- 短タイムスケール変動の研究に障害

観測装置、観測日によってシーイング依存性は異なる

DIP 測光の効果

- 測光値のシーイング依存性の影響

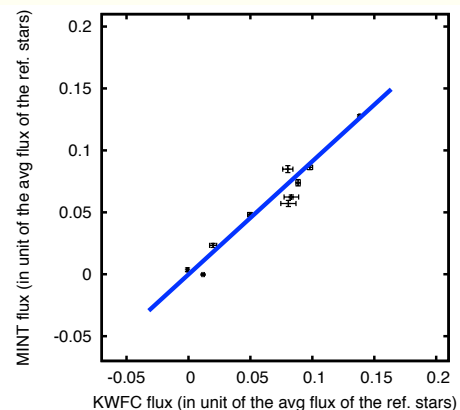
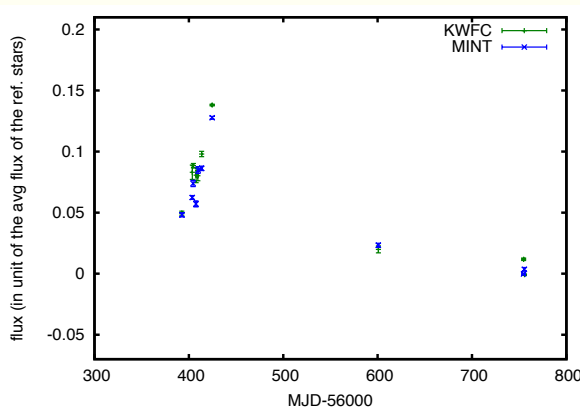
	測光値のFWHM (pix) 依存性	全観測期間における観測日平均シーイングの変化 (1 σ)	測光値のシーイング性による測光誤差の予想値(1 σ 相当)
KWFC	0.035-0.10 (mJy/pix)	1.3 (pix)	0.04-0.13 mJy
MSI	~ -0.010 (mJy/pix)	1.9 (pix)	~ 0.02 mJy
MINT	~ -0.014 (mJy/pix)	3.0 (pix)	~ 0.04 mJy

- Φ 8.3 arcsec (FWHM=2 arcsec でのDIP測光アパーチャにおよそ相当)内の銀河成分フラックスは $f_{gal} \sim 9$ mJy (Sakata+10)
 → シーイングの影響はアパーチャ内銀河成分の $\leq 1\%$ 程度
- KWFC の測光誤差が良くないのはシーイングが悪いから？

複数観測所の光度曲線の合成

- 手順

- 異なる観測所で同一夜に観測されたデータを抽出
- 同一観測夜の KWFC flux と MINT flux を線形回帰
- ベストフィットの回帰直線を使って相互のフラックスを補正 (傾きはスケーリング、切片はオフセットに相当)



複数観測所の光度曲線の合成

- 観測所間の測光値の系統誤差評価
 - 複数観測所データの線形回帰のさいの scatter は各観測日のデータに評価された測光誤差からの予想よりも大きい
→ 余剰 scatter ぶんを観測所間の測光値の系統誤差と考える
 - 測光値系統誤差(1σ) ~ 0.06 mJy
DIP 測光値のシーイング依存性の影響の評価値にほぼ一致
→ 観測所間系統誤差の主要要因は DIP で除去しきれなかったシーイングの影響と思われる
 - 2013-2014年変光全幅(~ 1 mJy)の $\sim 5\%$
 - 測光アパーチャ内銀河成分のおよそ $< 1\%$
 - 全銀河成分(~ 50 mJy)の $\sim 0.1\%$
- ※そもそもシーイングがよければ、シーイング変化のDIP測光値への影響も小さい

NGC 3516 の ToO 観測

- ToO 観測結果(2015年5月)
 - X線 HGPC 成分変光と可視変光の短タイムスケール相関

ToO 観測時のX線光度曲線(野田氏提供)

