



1型AGNの紫外可視変光に伴う スペクトル形状変化

東京大学 博士2年
坂田 悠

峰崎岳夫、吉井譲、越田進太郎、青木勉(東大天文センター)
小林行泰(国立天文台)、塩谷圭吾、菅沼正洋(JAXA/ISAS)
菅原章太(日興コーディアル)、富田浩之(スズキ自動車)



内容

■ イントロ

- ★ AGN紫外可視光度変動モデル
- ★ 紫外可視カラー変動

■ 可視カラー変動観測

- ★ MAGNUM長期モニター
- ★ 母銀河成分の評価

■ 光度変動モデルの制限

- ★ 降着率変化(Pereyra+2006)

■ SWANS (HSCサーベイ)への期待

- ★ $z \sim 1 - 2.5$ のQSO(静止波長)紫外カラー変動観測



紫外可視光度変動モデル

いくつか提案されているが、決定的なものは存在しない、
複数の変動観測を定量的に説明できるものがほとんどない

降着円盤不安定

- セルオートマトンモデル (Kawaguchi+1998)
- 一様な降着率変化 (Pereyra+2006)
- Hot spotモデル

Poisson process

- 多重超新星爆発 (Terlevich+1992)
- 恒星衝突モデル (Courvoisier+1996)

重カマイクロレンズ (Hawkins 1993)

X-ray reprocess (Collier+1999; Kawaguchi & Itagaki in prep)



紫外可視カラー変動(1)モデル予測

	紫外カラー変動	可視カラー変動
セルオートマトンモデル (Kawaguchi+1998)	?	?
一様な降着率変化 (Pereyra+2006)	明るくなると青くなる※	ほぼ一定
Hot spot モデル	明るくなると青くなる	明るくなると青くなる
多重超新星爆発 (Terlevich+1992)	明るくなると青くなる	明るくなると青くなる
恒星衝突モデル (Courvoisier+1996)	?	?
重カマイクロレンズ (Hawkins 1993)	ほぼ一定	ほぼ一定
X-ray reprocess (Collier+1999; Kawaguchi & Itagaki in prep)	ほぼ一定※	ほぼ一定※

※はモデルやAGNパラメタにより異なりうる

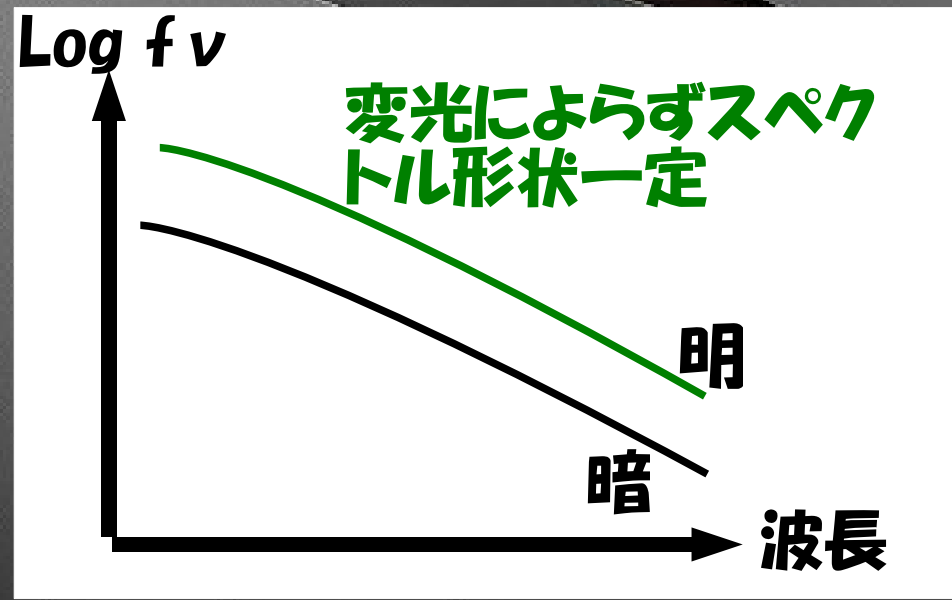
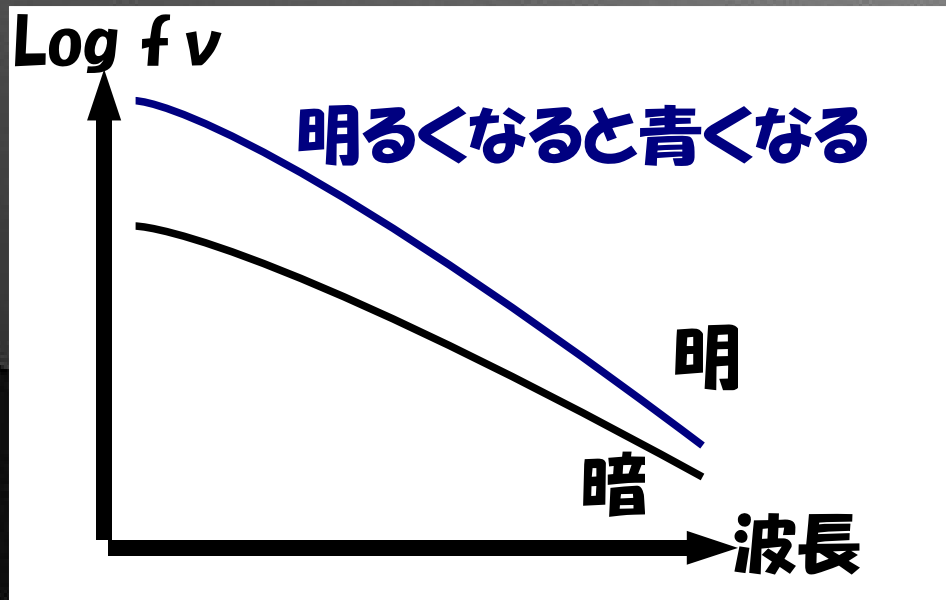
紫外可視カラー変動の観測⇒モデルを制限



紫外可視カラー変動(2)これまでの観測

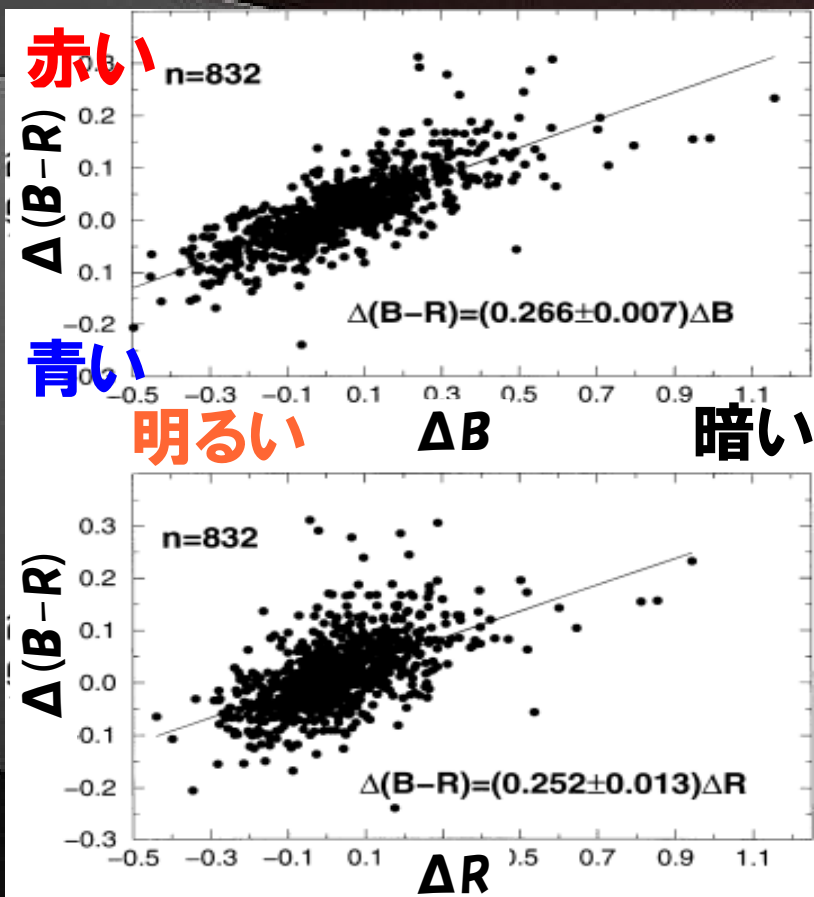
対立する2つの主張が存在

明るくなると青くなる(Spectral hardening) (Giveon+1999 など)
変光によらずスペクトル形状は変化しない(Winkler+1992など)

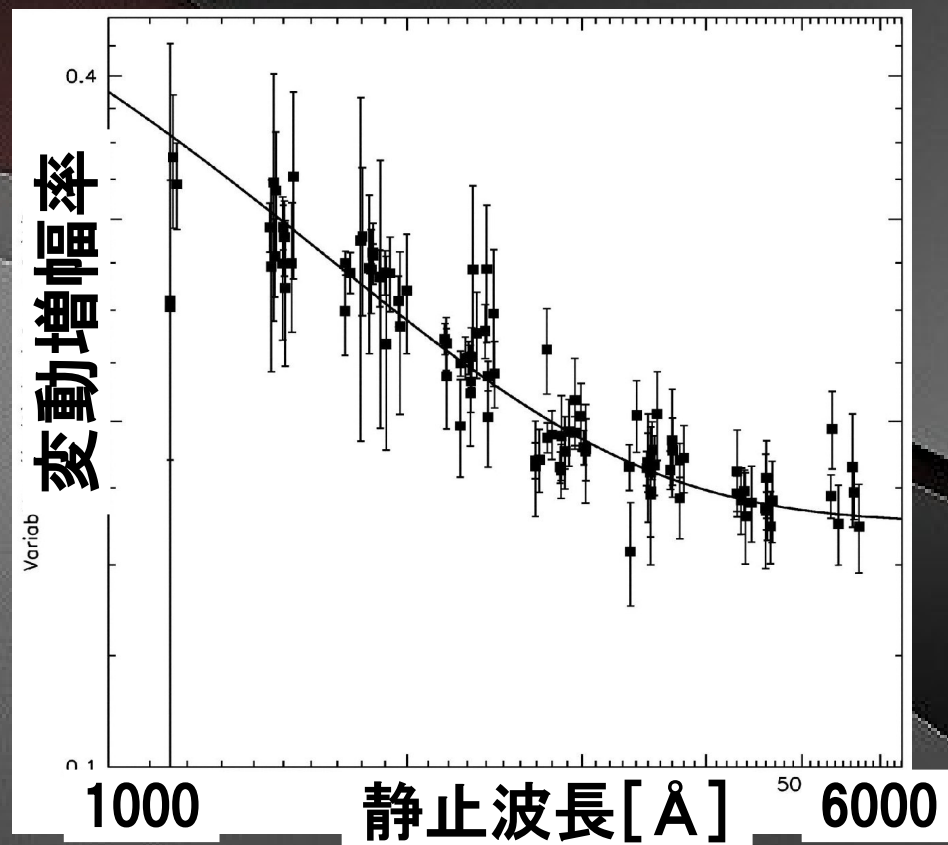




紫外可視カラー変動(3) spectral hardening



QSOの変光と可視カラー(B-R)
Giveon+(1999)
(~7年のモニター観測)



SDSS クエーサの変動増幅率と静止波長
Vanden Berk+(2004)
(2epoch 観測の統計的性質)



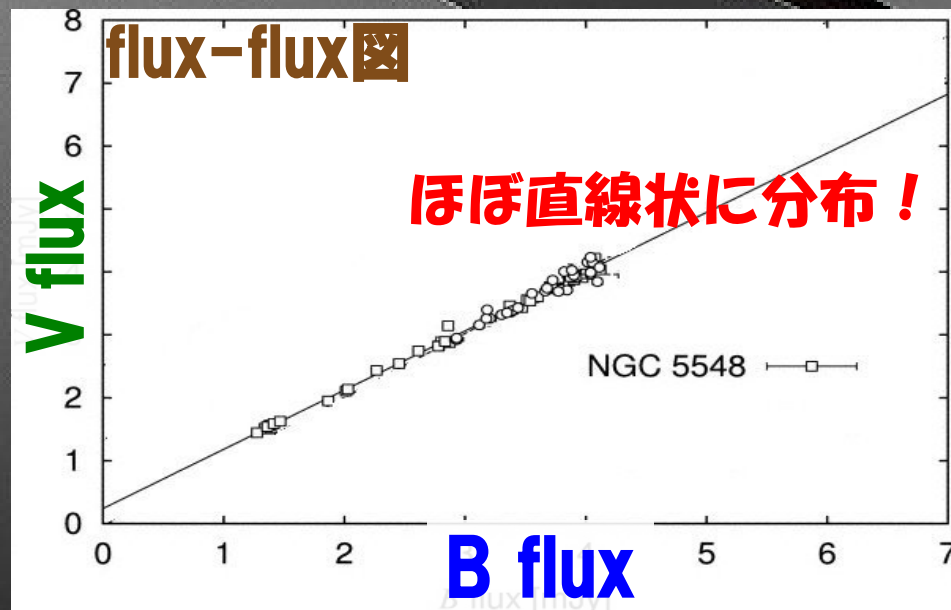
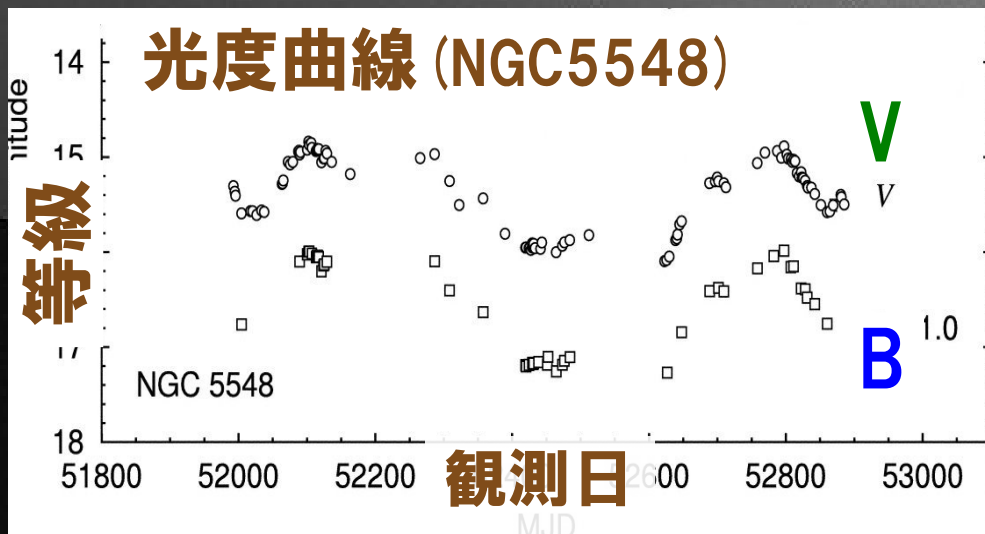
紫外可視カラー変動(4) スペクトル形状一定

1型AGNの多色モニター観測

同日観測の2バンドフラックスをflux-flux図にプロット

⇒ **ほぼ直線状に分布**

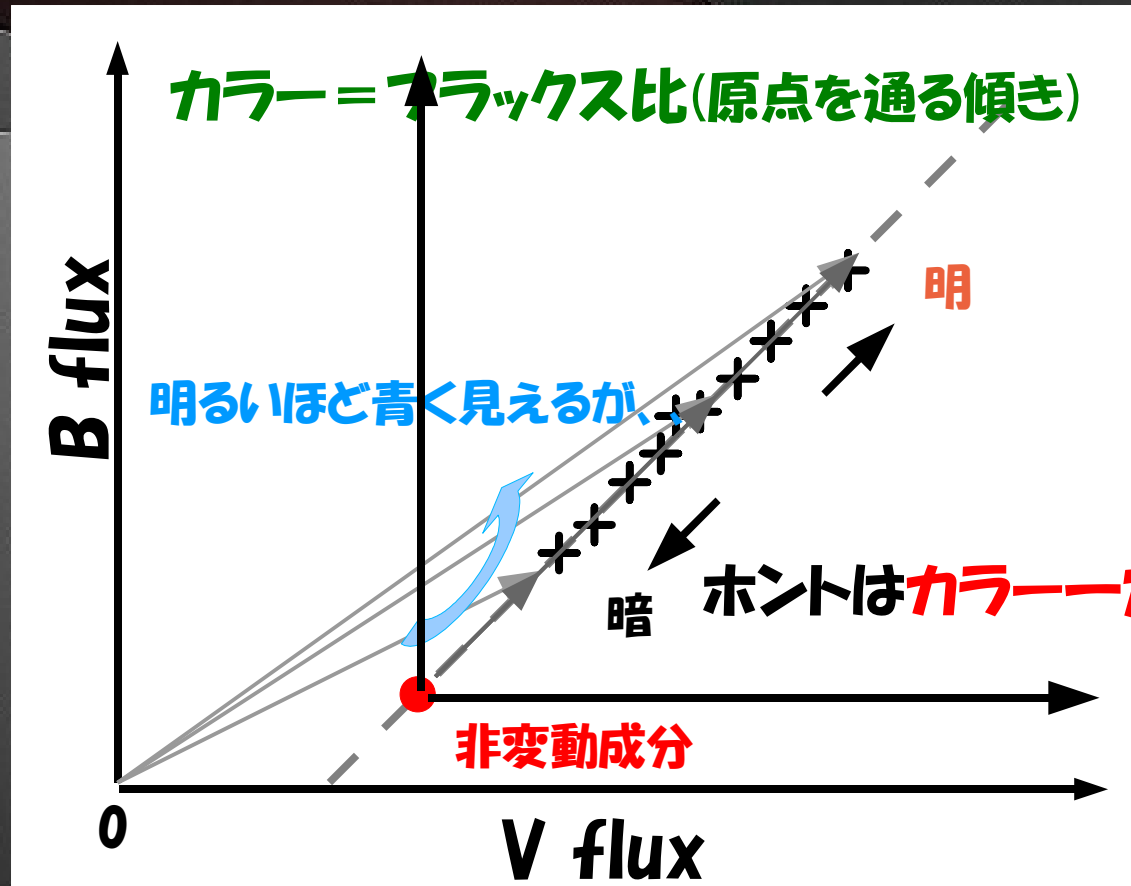
(可視 : Winkler+1992, 1997; Suganuma+2006; Tomita+2006
紫外 : Rodriguez-Pascual+1997; Santos-Lleo+1995)



Suganuma+(2006)より抜粋



紫外可視カラー変動(5) スペクトル形状一定



観測flux = カラー一定の光度変動成分 + 非変動成分と解釈

母銀河などの非変動成分の混入⇒見かけ上明るくなると青くなる
(AGN連続光より一般的に赤い)



本研究の目的

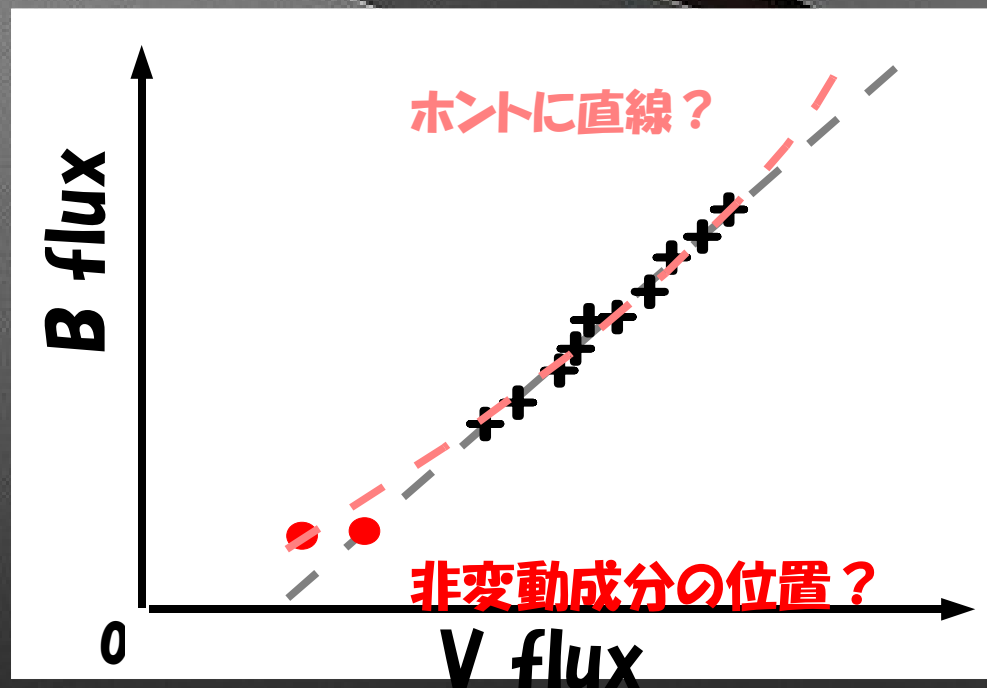
★ 高精度可視多色モニター観測

- 変光データのflux-flux plotの直線性を検証

★ 非変動成分の高精度評価

- 非変動成分と変光データのフィット直線の位置関係
- 非変動成分 = 母銀河 + 狭輝線

可視域でのカラー変動を検証





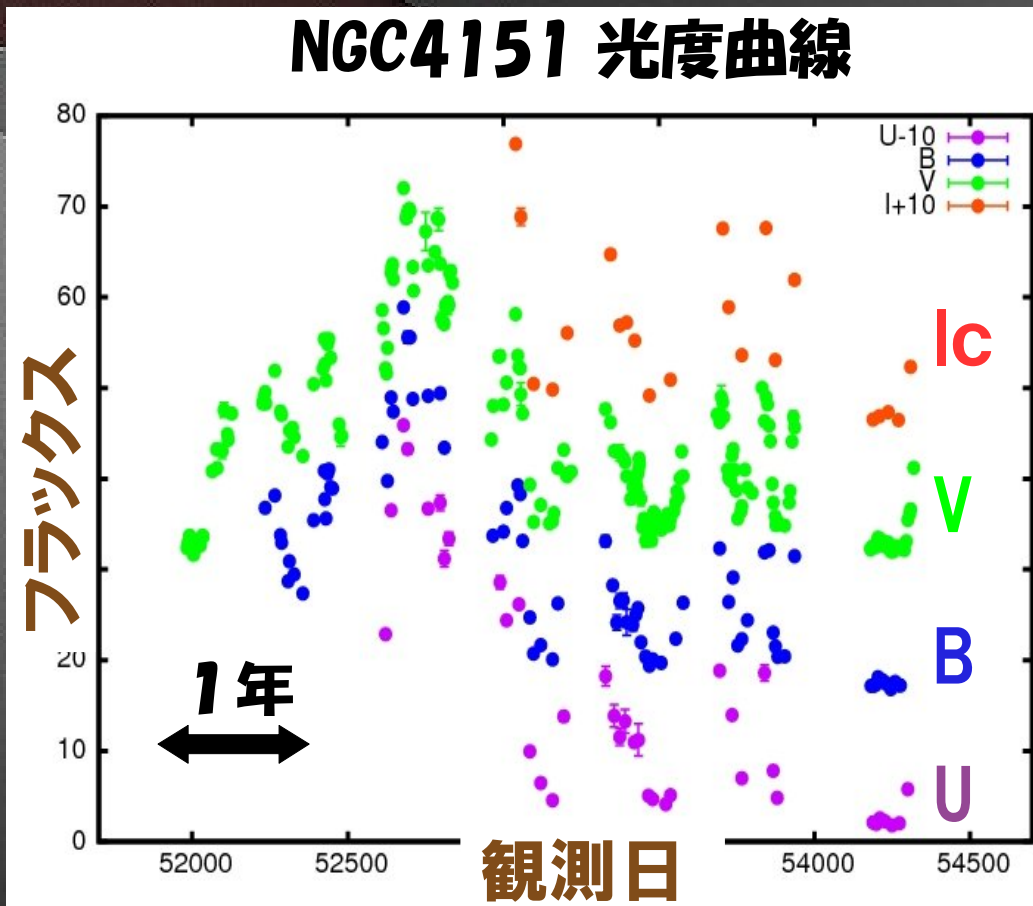
可視多波長モニタ一観測

- ★ 近傍1型低中光度AGN 11天体
 - Seyfert x9、QSO x2
 - $z = 0.002-0.06$
 - $M_B > -22.1$
 - HST/ACSアーカイブが存在

★観測装置：MAGNUM望遠鏡

★観測フィルタ：B, V, Ic

★観測期間：最大～7年





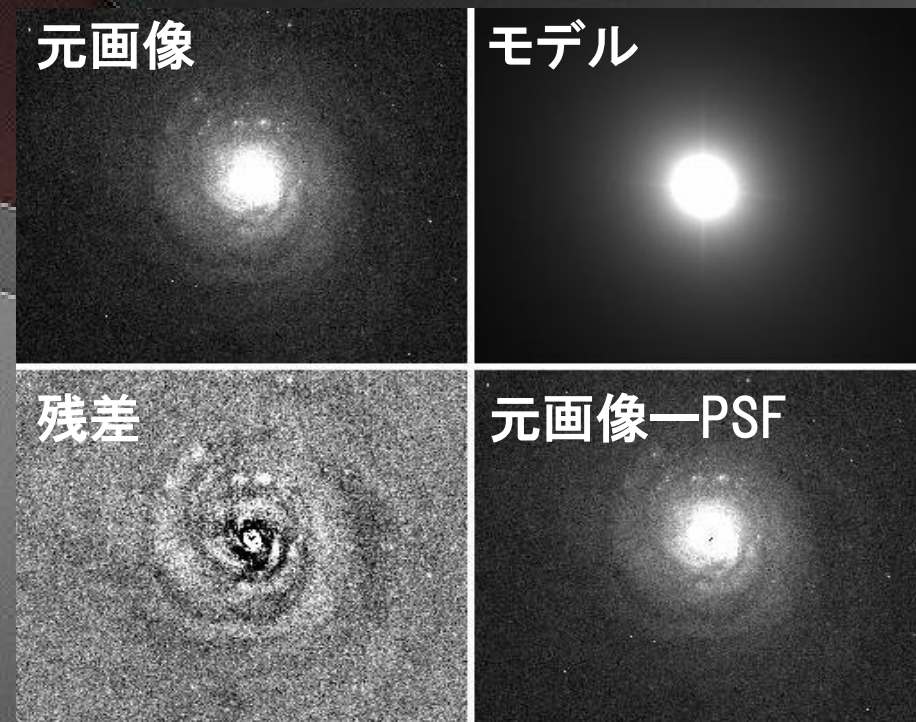
非変動成分の評価

★ 母銀河成分

表面輝度分布フィットで評価

HST高空間分解画像を利用

AGN : 中心PSF
バルジ : de Vaucouleurs
ディスク : exponential

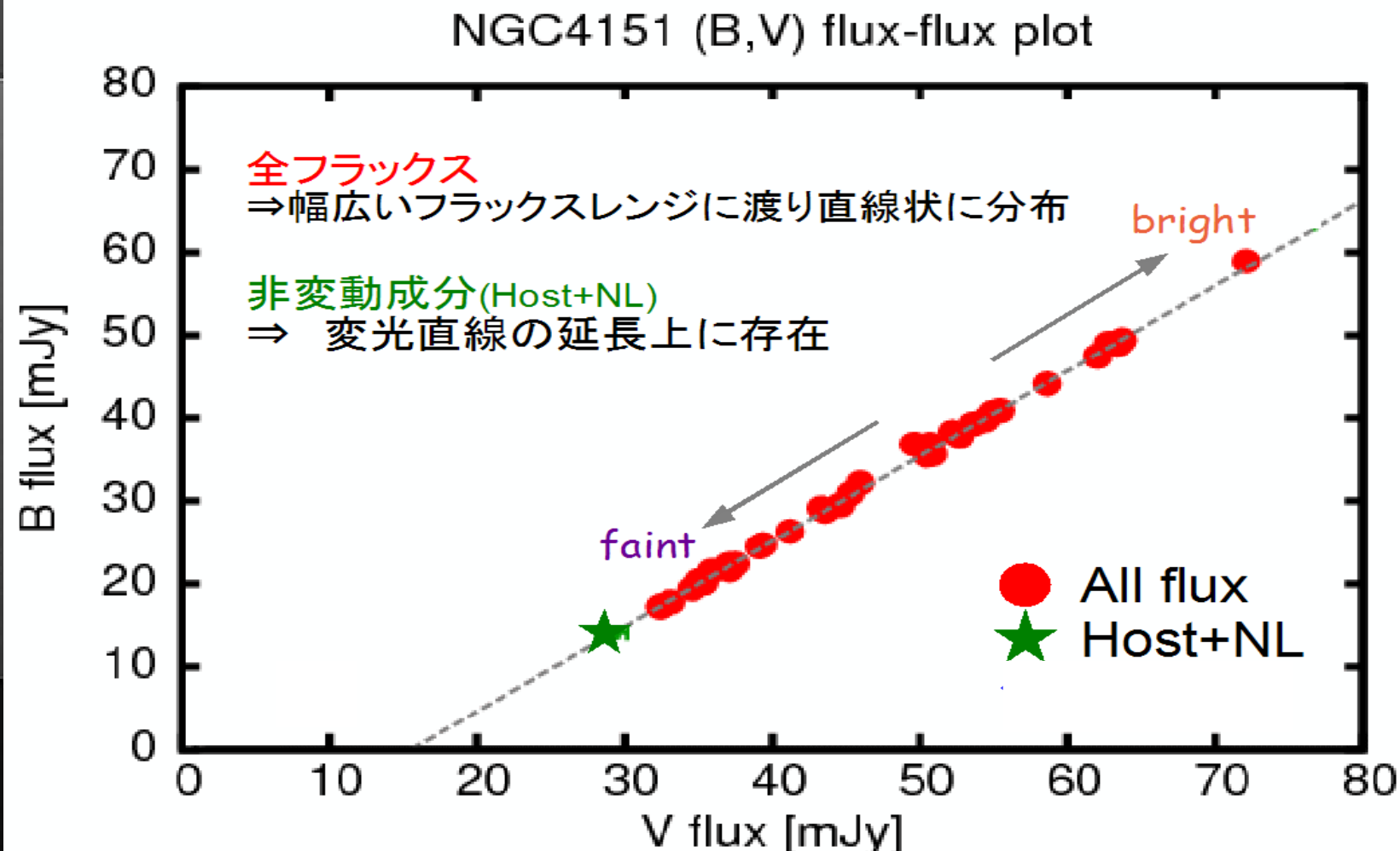


表面輝度分布フィット(NGC5548)

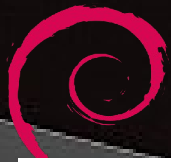
★ 狭輝線成分

過去の分光データから評価した
(ほぼ全ての天体で母銀河にくらべマイナーな影響)

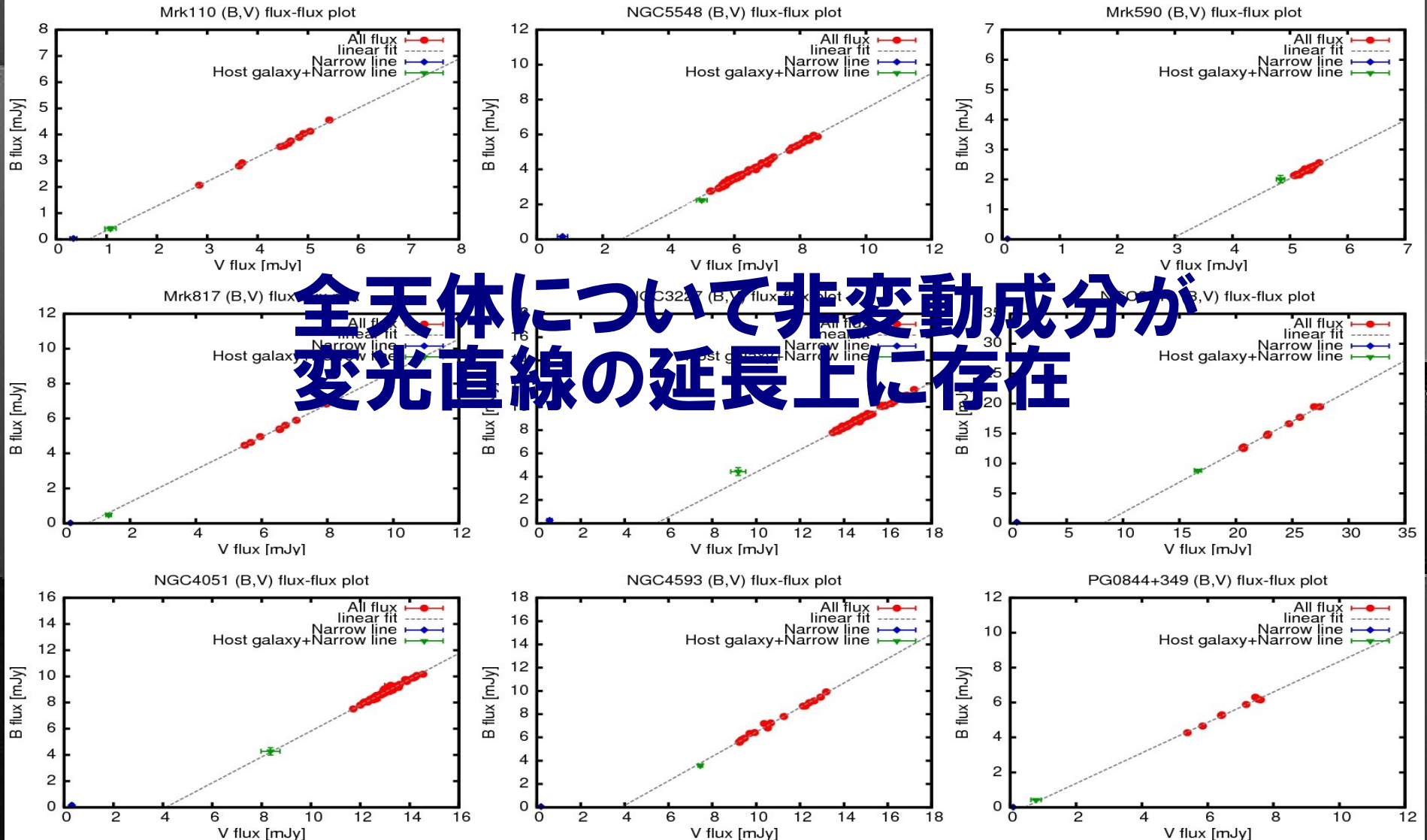
可視カラー変動：結果(1)NGC4151



最大10倍以上の変光でAGN連続光のB-Vカラーはほぼ一定



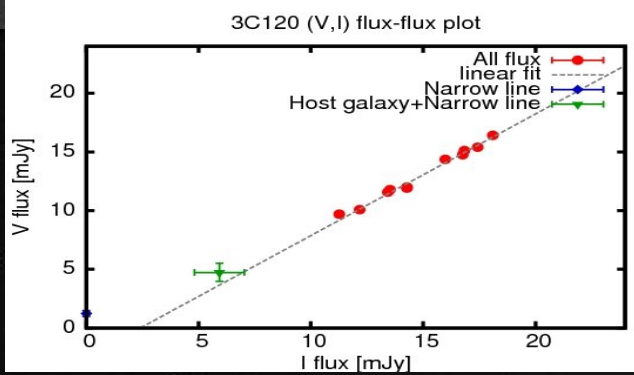
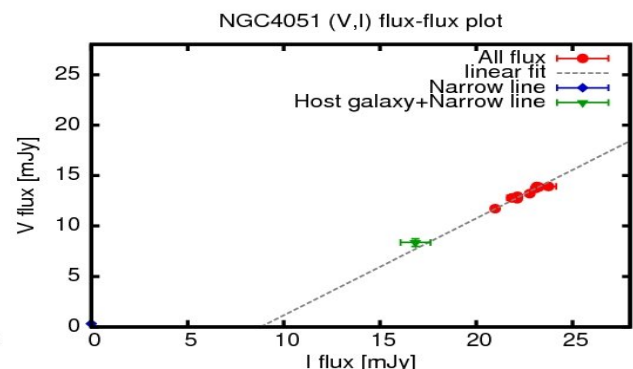
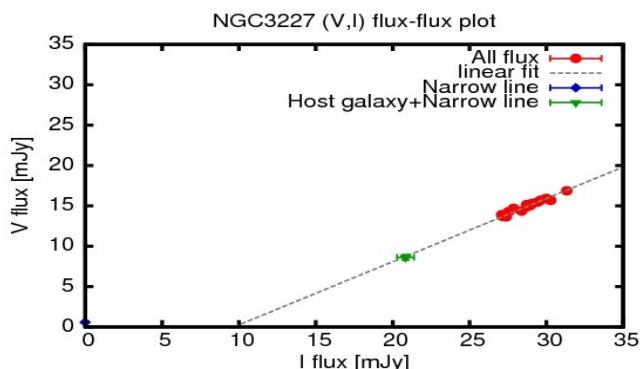
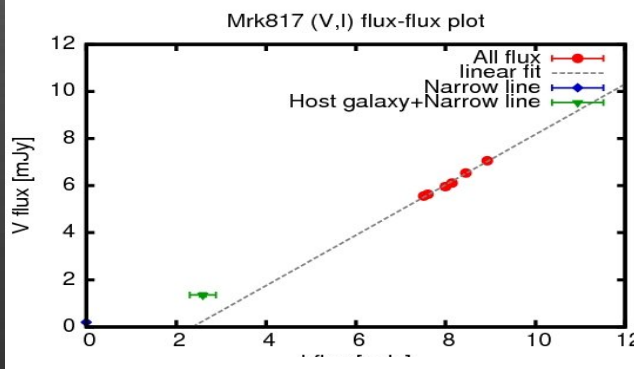
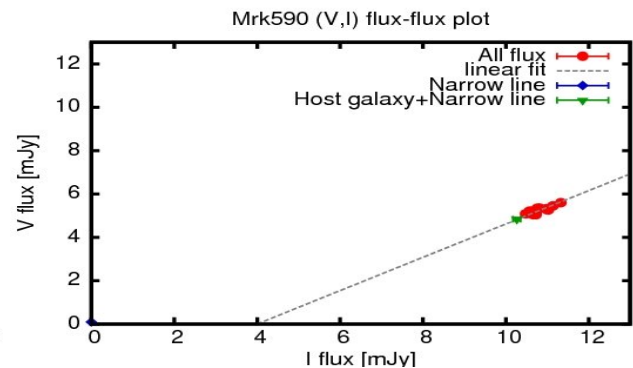
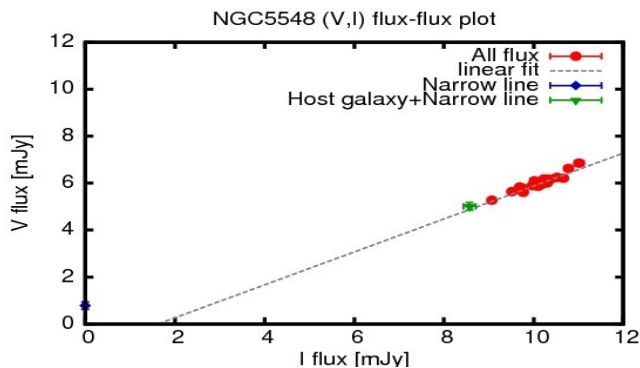
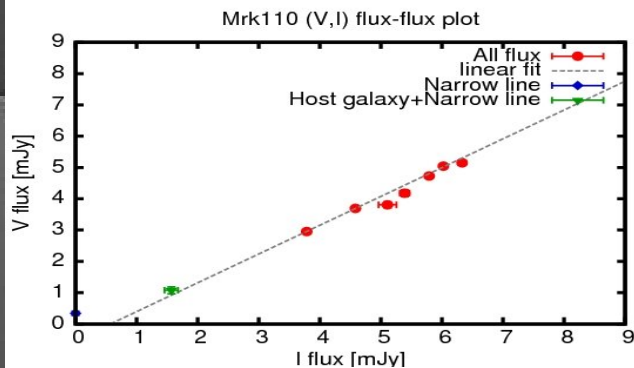
可視カラー変動：結果(2) 全天体 (B-V)



全天体について非変動成分が
変光直線の延長上に存在



可視カラー変動：結果(3)全天体 (V-Ic)



変光に伴いV-Iカラーも系統的变化なし



可視域(0.44-0.79 μm)で変光に伴い
連続光のスペクトル形状は
系統的には変化しない



光度変動モデルの制限(1)

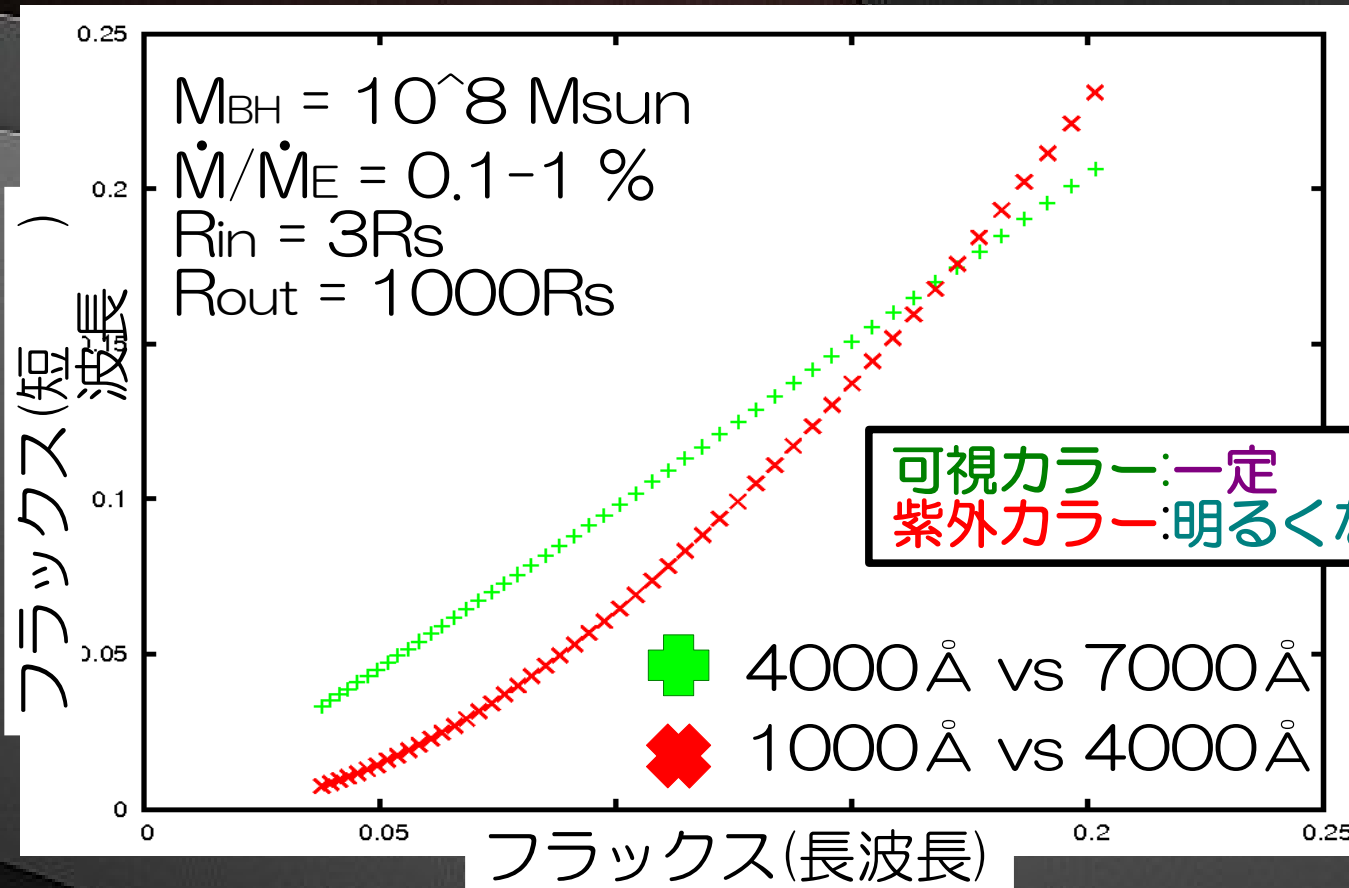
	紫外カラー変動	可視カラー変動
セルオートマトンモデル (Kawaguchi+1998)	?	?
一様な降着率変化 (Pereyra+2006)	明るくなると青くなる※	ほぼ一定
Hot spot モデル	明るくなると青くなる	明るくなると青くなる
多重超新星爆発 (Terlevich+1992)	明るくなると青くなる	明るくなると青くなる
恒星衝突モデル (Courvoisier+1996)	?	?
重カマイクロレンズ (Hawkins 1993)	ほぼ一定	ほぼ一定
X-ray reprocess (Collier+1999; Kawaguchi & Itagaki in prep)	ほぼ一定※	ほぼ一定※

※はモデルやAGNパラメタにより異なりうる

紫外カラー変動の有無 ⇒ 変動メカニズムをさらに制限



光度変動モデルの制限(2) : 降着率変化(Pereyra+2006)

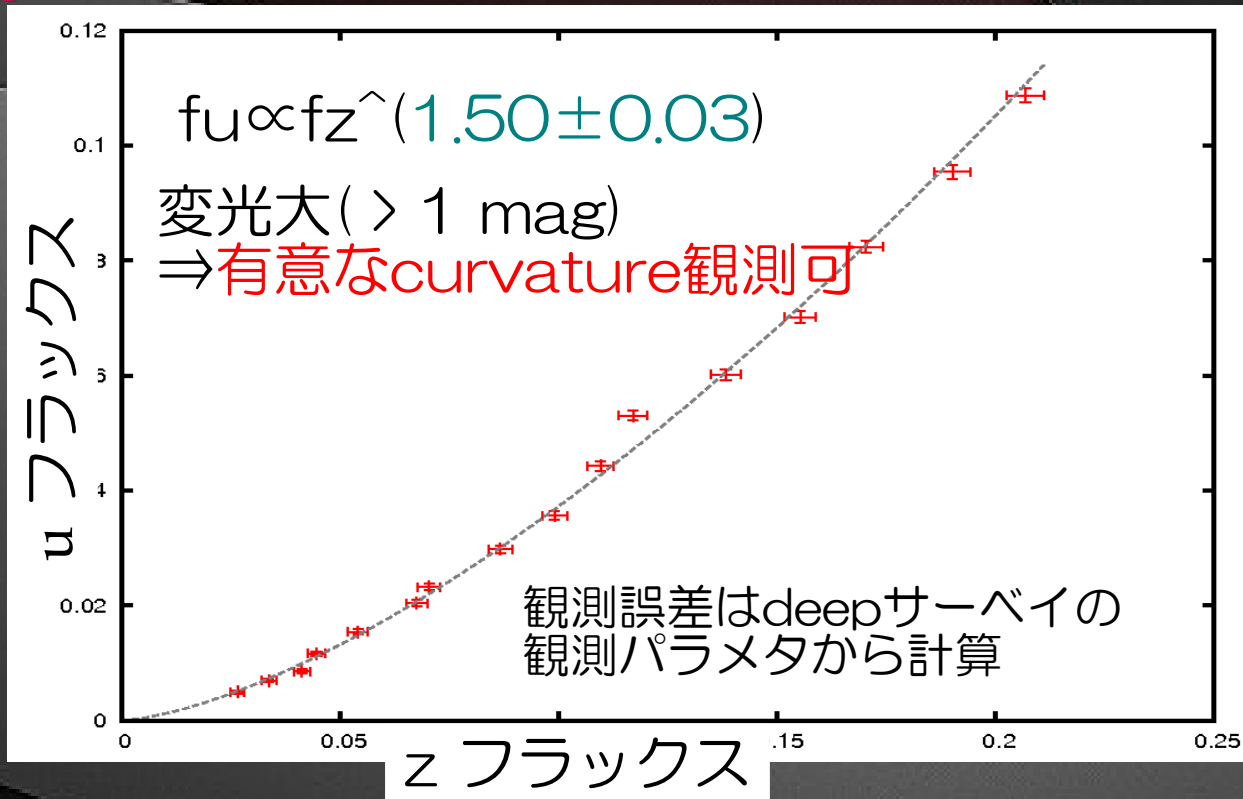


一様降着率変化モデル⇒紫外域のflux-flux plotのcurvature

※Curvatureの強さ⇒より短波長、波長範囲大、MBH大ほど大きい



SWANS (HSCサーベイ (deep)) への期待 (1) : QSO紫外カラー変動観測



Redshift = 2.2
 $M_{BH} = 10^8 M_{sun}$
 $\dot{M}/\dot{M}_E = 0.1 - 1 \%$
 $R_{in} = 3R_s$
 $R_{out} = 1000R_s$
 Face-on
 広輝線の影響は無視

赤方偏移 ~ 1 - 2.5 の QSO を (u, z) で 長期多数回同日観測
 => 変光幅の大きな QSO に関し hardening 検出の可能性

必要な変光幅 : $\Delta m > 1 - 1.5 \text{ mag}$ ($M_{BH} = 10^8 M_{sun}$, $M = 0.3\%$)
 $> 2.5 - 3 \text{ mag}$ ($M_{BH} = 10^7 M_{sun}$, $M = 0.3\%$)



SWANS (HSCサーベイ (deep)) への期待 (2) : UV flux-flux plot curvature 観測予測数

ターゲット : $1 < z < 2.5$ QSO ($M_B < -24$)

必要(最低限)な観測パラメータ

フィルタ : u, z ※ (u, i) または (g, z) でも不可能ではないが、

観測期間 : 最大 ~~5年~~ 10年

観測回数 : 6回 \Rightarrow 10回 / band / pointing (plotのcurvature計測)

観測間隔 : 1年に~~2回~~ / band / pointing

積分時間 : そのまま 1回

サーベイ範囲 : そのまま

$$\sim 60,000 \times 40/270 \times \sim \text{数}10\% \times \sim 1/1000(?) \Rightarrow \sim \text{数個}$$

$1 < z < 2.5$
Stripe82 QSO
(Richards+2006)

Survey area ratio

$M_B < -24$
SDSS LF $1 < z < 2.5$
(Croom+2009)

$\Delta m > 1, \Delta T = 5\text{yr}$
 $M_B < -24$
(Vanden Berk+2004)

~~~数個~~  
~10個

有意なUV curvature  $\Rightarrow$  UV spectral hardeningの決定的証拠  
 $\Rightarrow$  AGN 変動メカニズムに強い制限



# まとめ

## ★ 可視カラー変動

- 近傍1型AGN11天体BVIモニター観測
- 非変動成分の高精度評価
- ⇒ 変光に伴いスペクトル形状ほぼ一定を強く支持  
(天体によっては最大10倍以上の増光でスペクトル形状ほぼ一定)

## ★ 紫外カラー変動

- HSCサーベイ (deep) u, z 長期多数回観測
- 赤方偏移 $\sim 1-2.5$ の比較的明るめなQSO ( $M_B < -24$ )
- ⇒ (u,z) flux-flux プロットのcurvature測定から  
一様降着率変化モデル(Pereyra+2006)検証が可能

カラー変動を定量的に説明できるAGN光度変動モデル大募集



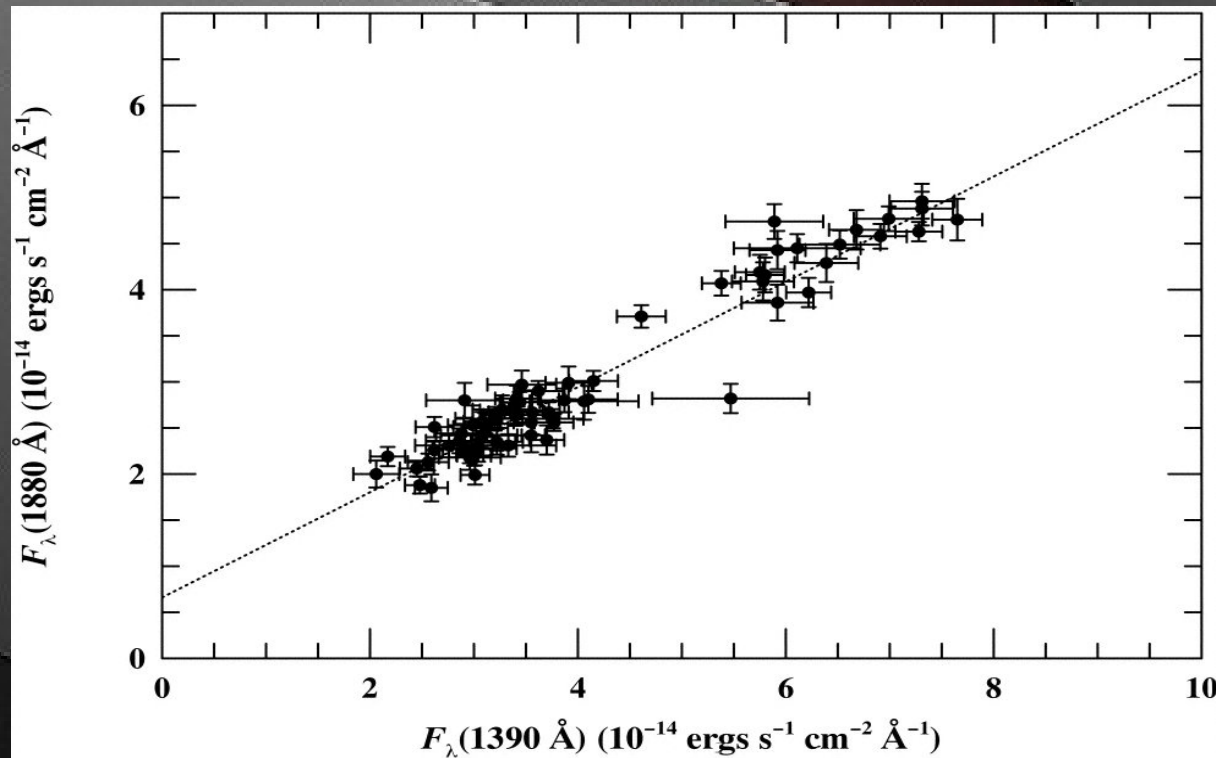


# 過去の紫外flux-flux plot観測(近傍AGN)

長期モニター観測：ほぼ IUE によるもの

⇒低S/N、狭い波長範囲、ターゲットがlow mass BHに偏り

⇒curvature計測が困難



Fairall 19 UV flux-flux plot (Rodriguez-Pacual+1997)