AGN紫外-可視光光度変動に対する標準円盤+質量降着率変化モデルの妥当性の検証

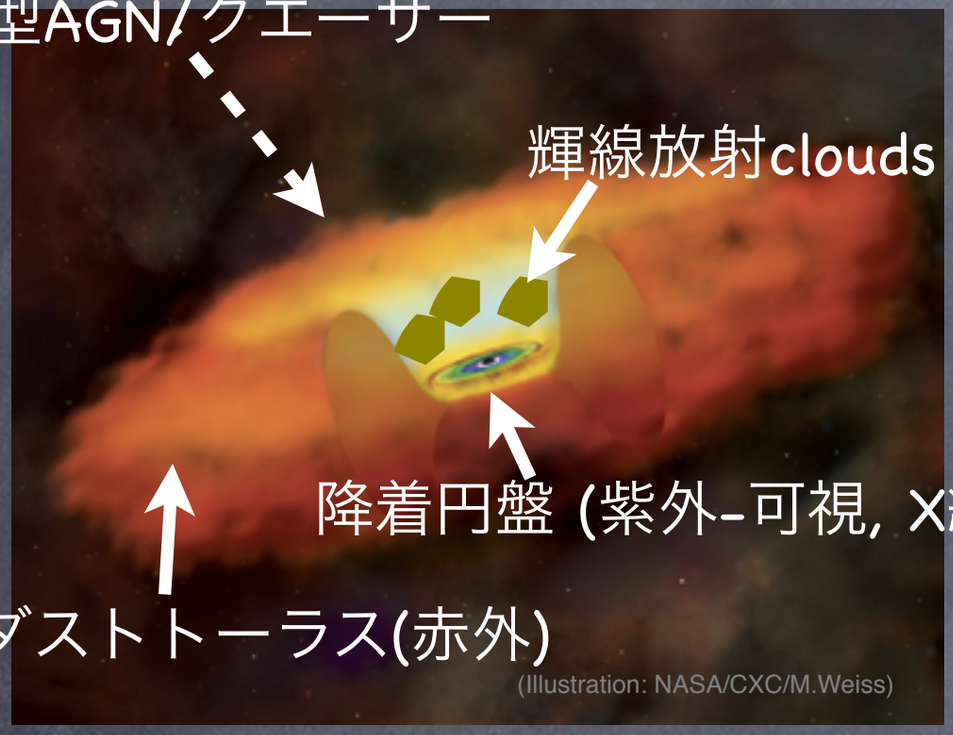
小久保 充 (東京大学D2)

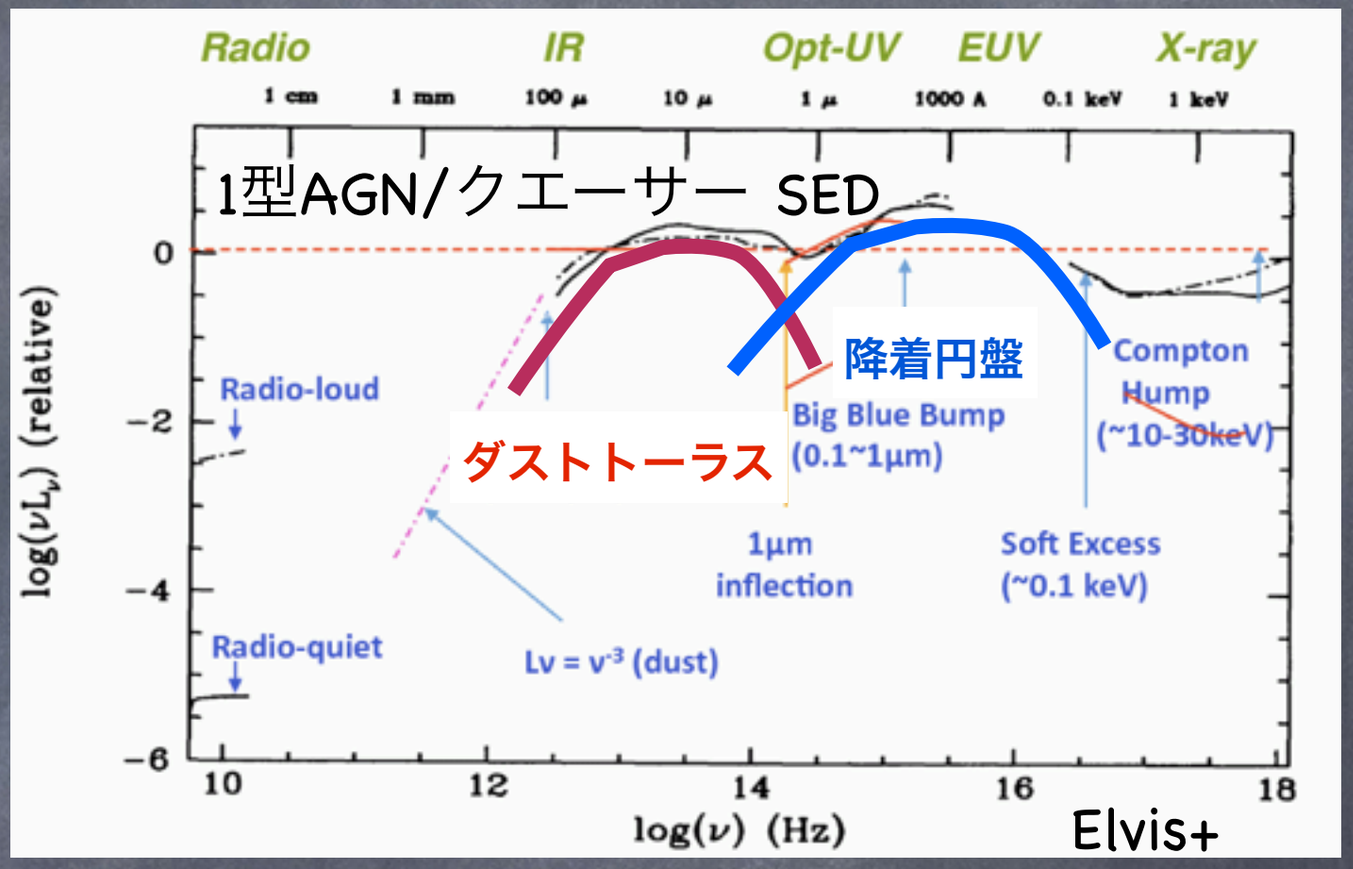
Kokubo et al. 2014 (ApJ, 783, 46); Kokubo 2015 (MNRAS, 449, 94)
(諸隈智貴, 峰崎岳夫, 土居守, 川口俊宏, 越田進太郎, 鮫島宏明)

活動銀河中心核 (AGN)

face-on 見込み角

= 1型AGN/クエーサー

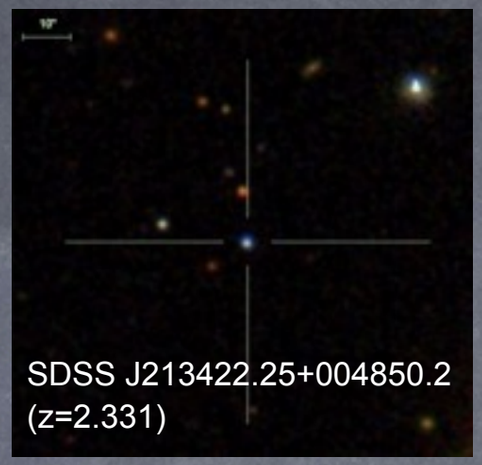




銀河中心部に存在　　電波-X線の広い波長域で莫大な放射 ($L_{bol} > 10^{10} L_{sun}$)

- 超大質量ブラックホール (10^5 - 10^{10} M_{sun})
- ブラックホール降着円盤
- 輝線放射clouds
- ダストトーラス

クエーサー



- クエーサー = 非常に明るい1型AGN (high-z AGN)
  - 本日の話は SDSS 分光同定クエーサー
    - Sloan Digital Sky Survey (SDSS)
    - > 100,000クエーサー, 0 < z < 5
  - $M_{BH} \sim 10^{7.5}$ - 10^{10} M_{sun}
    Eddington比～ 0.01 - 1
    --> 標準降着円盤 (Shakura & Sunyaev) ?

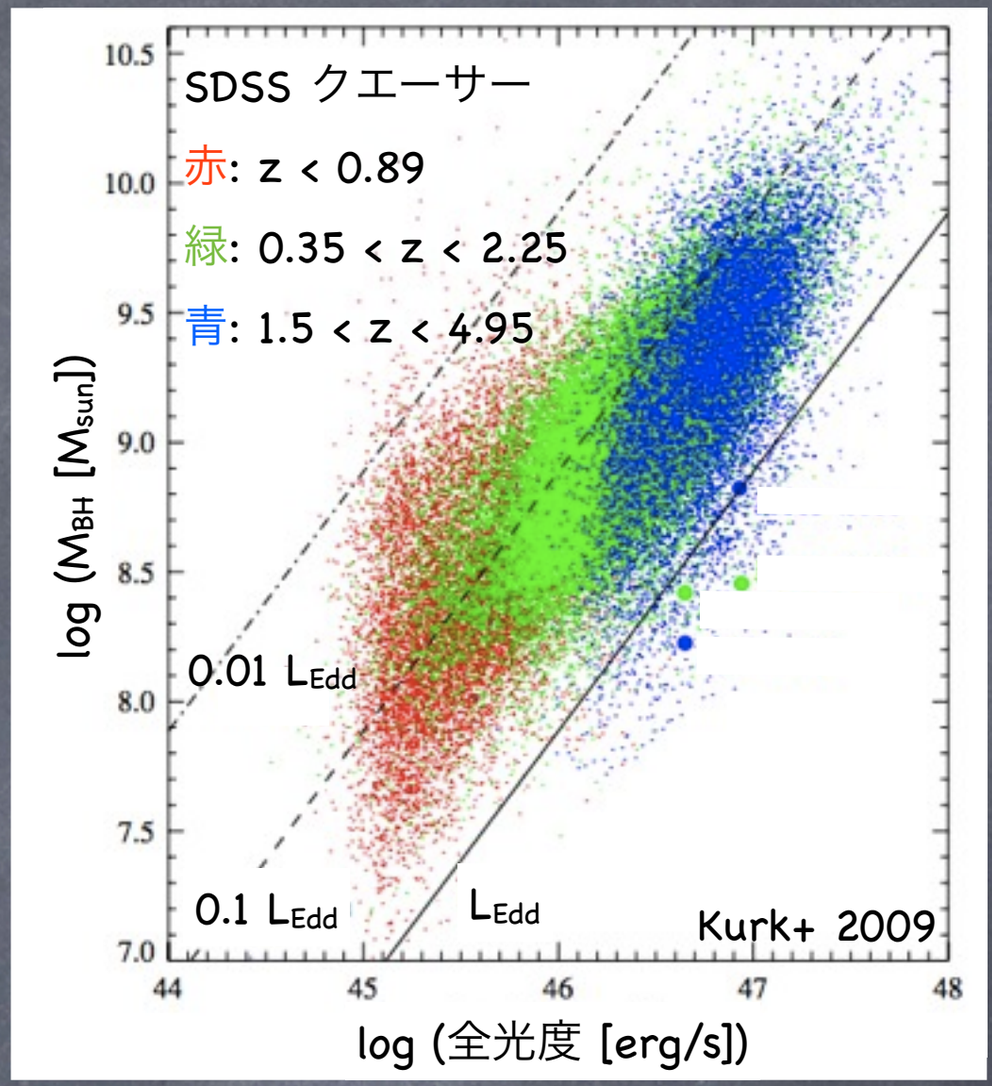
$$F_\nu(\nu_{obs}) \propto \nu^3 \int \frac{1}{e^{h\nu/k_B T_{eff}(R)} - 1} dS$$

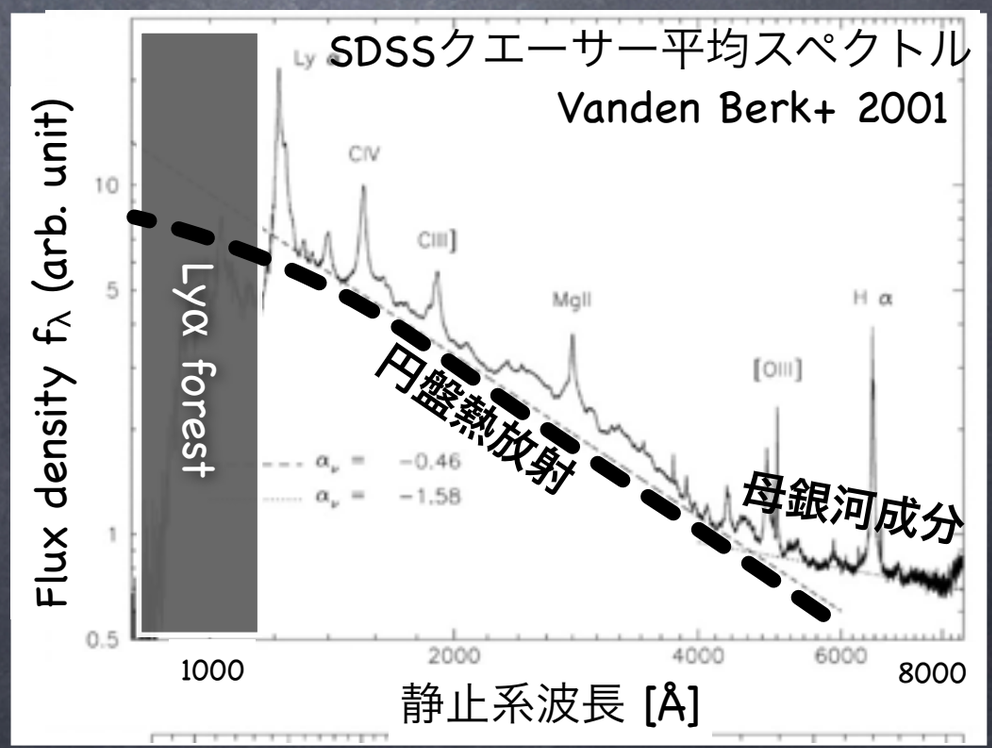
$$T_{eff}(R) = \left(\frac{3GM_{BH}\dot{M}}{8\pi\sigma R_{in}^3}\right)^{1/4} \left(\frac{R_{in}}{R}\right)^{3/4} \left(1 - \sqrt{\frac{R_{in}}{R}}\right)^{1/4}$$

($R_{in}=3R_s$)

$$T^* = \left(\frac{3GM_{BH}\dot{M}}{8\pi\sigma_S (3R_S)^3}\right)^{1/4}$$

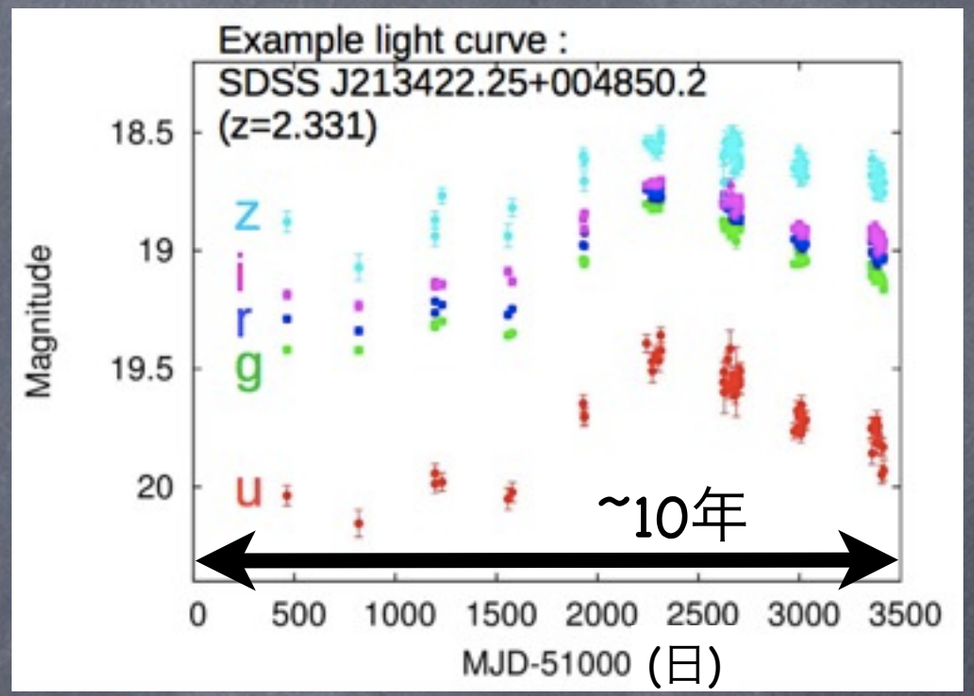
SDSSクエーサーで
～ 100,000 K





クエーサー紫外-可視域光度変動

- ほぼすべて(>99%)のクエーサーで観測される
  (e.g., Butler & Bloom 2011)
  - クエーサーで10% - 30% / 数年 の振幅
  - 短波長側ほど変動が大きい (紫外-可視の相関)
- 変動を引き起こすメカニズム ?



- 標準円盤における質量降着率Mdotの揺らぎ
  (⚠状態遷移が起こるほどではない) (e.g., Pereyra et al. 2006, Sakata et al. 2011, Gu & Li 2013, 等)

T* (円盤温度パラメータ)の変化

$$T^* = \left(\frac{3GM_{\rm BH}\dot{M}}{8\pi\sigma_S (3R_S)^3} \right)^{1/4}$$

($R_{in}=3R_s$)

---> 大規模クエーサーサンプル、複数epoch、long-termの光度曲線データを使って検証！

本研究のMotivation

- “紫外-可視域光度変動”という特異な観測量から
  クエーサー降着円盤物理を探求できそう

  - 作業仮説: 標準円盤+質量降着率変化モデルで
    クエーサーの紫外-可視域光度変動が説明できる？

  - テスト: クエーサーの光度変動に伴うカラー変化を, 大
    規模クエーサー光度曲線データベースを用いて統計的,
    定量的に調べる
    ---> モデルの予言するカラー変化と比較

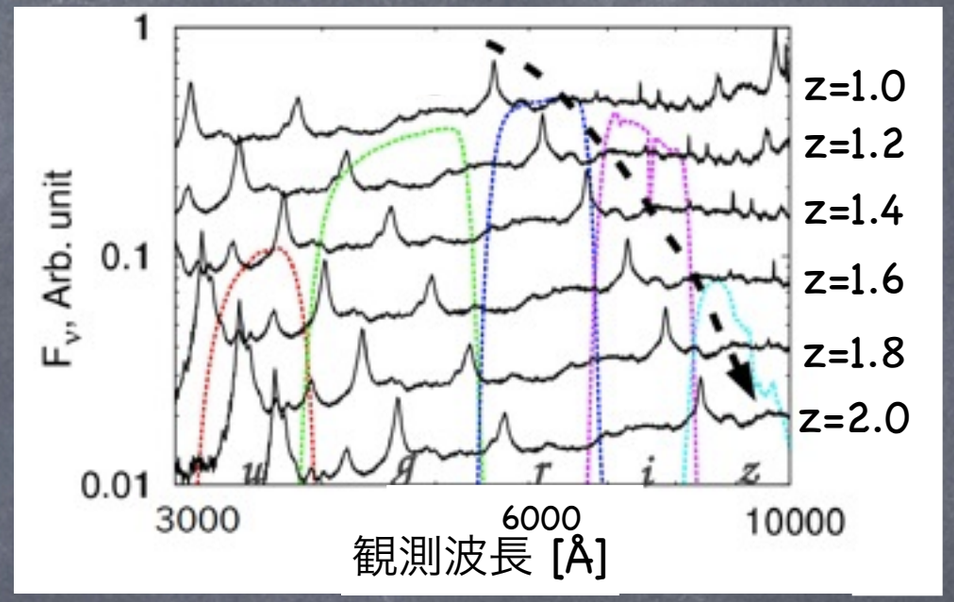
Data

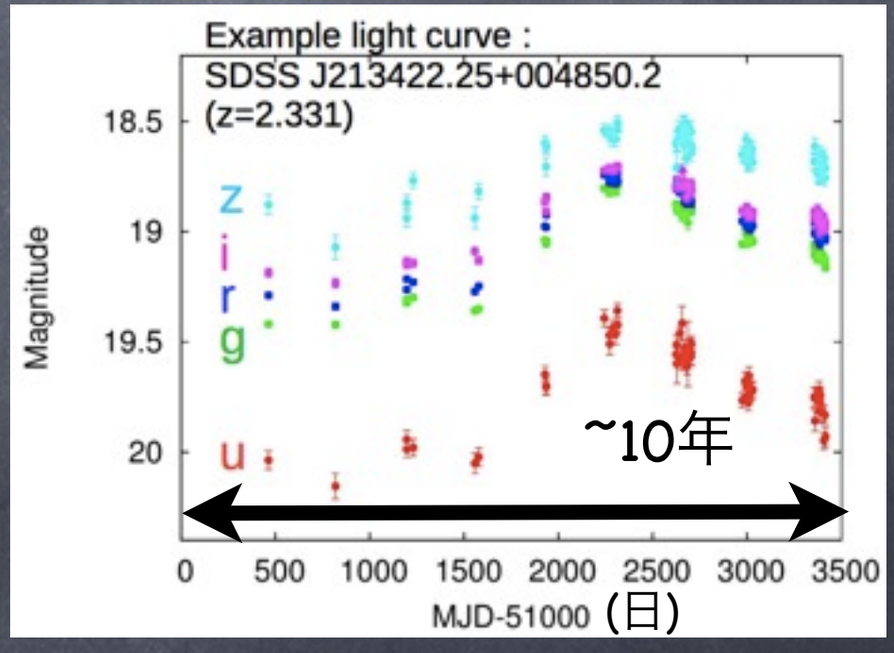
- Sloan Digital Sky Survey (SDSS)
  Stripe82領域 (～270 deg^2)

  (-50° < RA < 59°, -1.25° < Dec < 1.25°)

  - SDSS Legacy Survey +
    SDSS-II Supernovae project
    = ～60回の5バンド測光光度曲線
    (～10年間; 1998-2007): u, g, r, i, z

- 約9000個の分光同定クエーサー
  (0 < Redshift z < 4)





解析

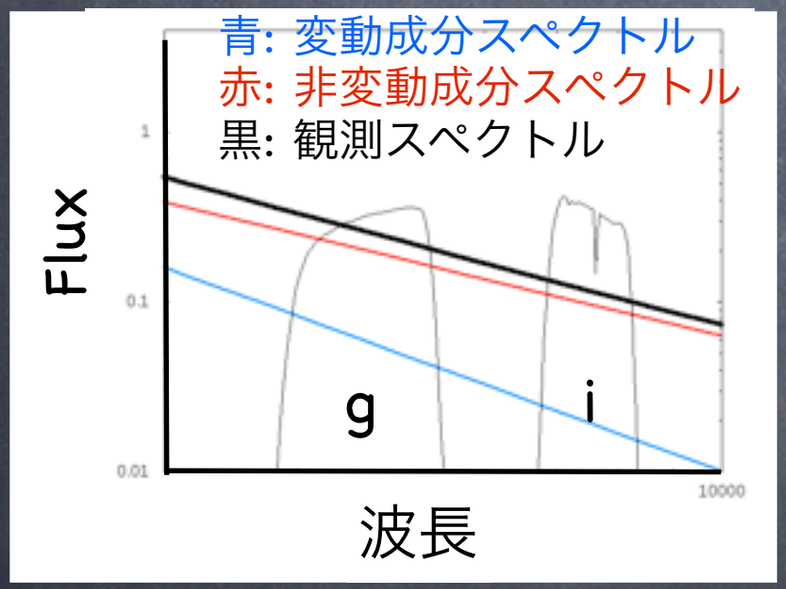
次のような観測事実に着目 (Choloniewski 1981, Winkler et al. 1992 等)

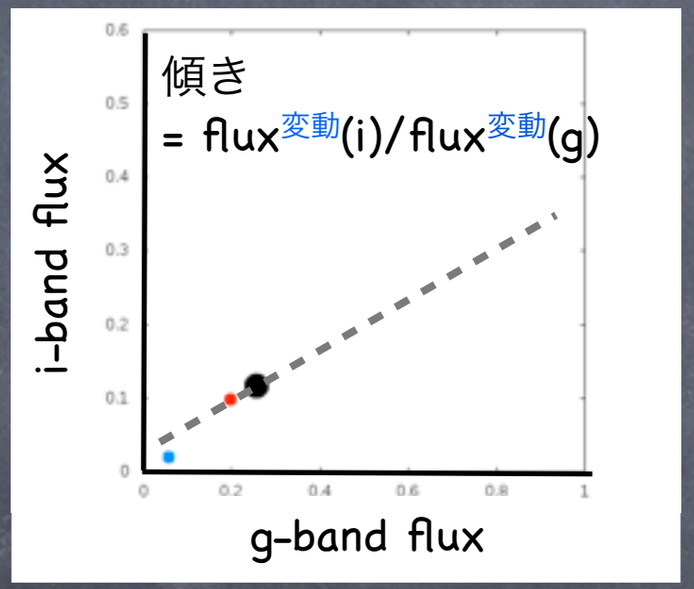
AGN/クエーサーの2バンド同時光度曲線は，flux-flux

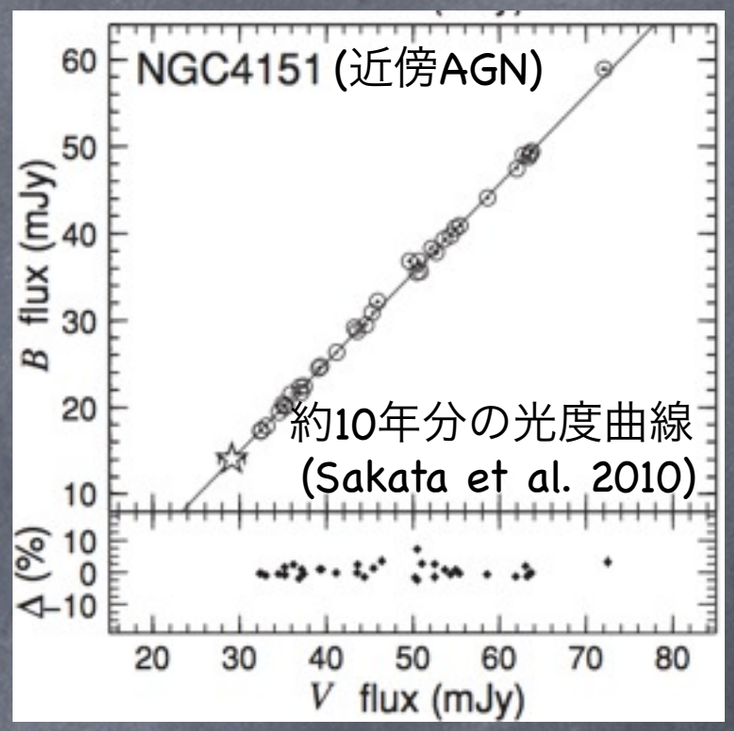
平面上で強い線形相関をしめす

<---> 変動成分スペクトルのカラー (= 回帰直線の傾き)

が数年のタイムスケールで不変





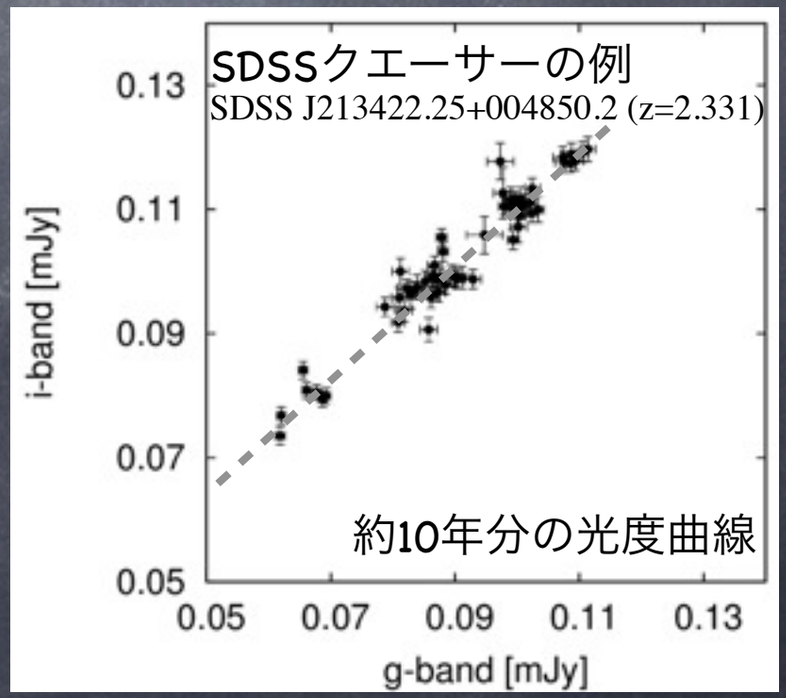


～9000クエーサーの SDSS 5バンド光度曲線から、

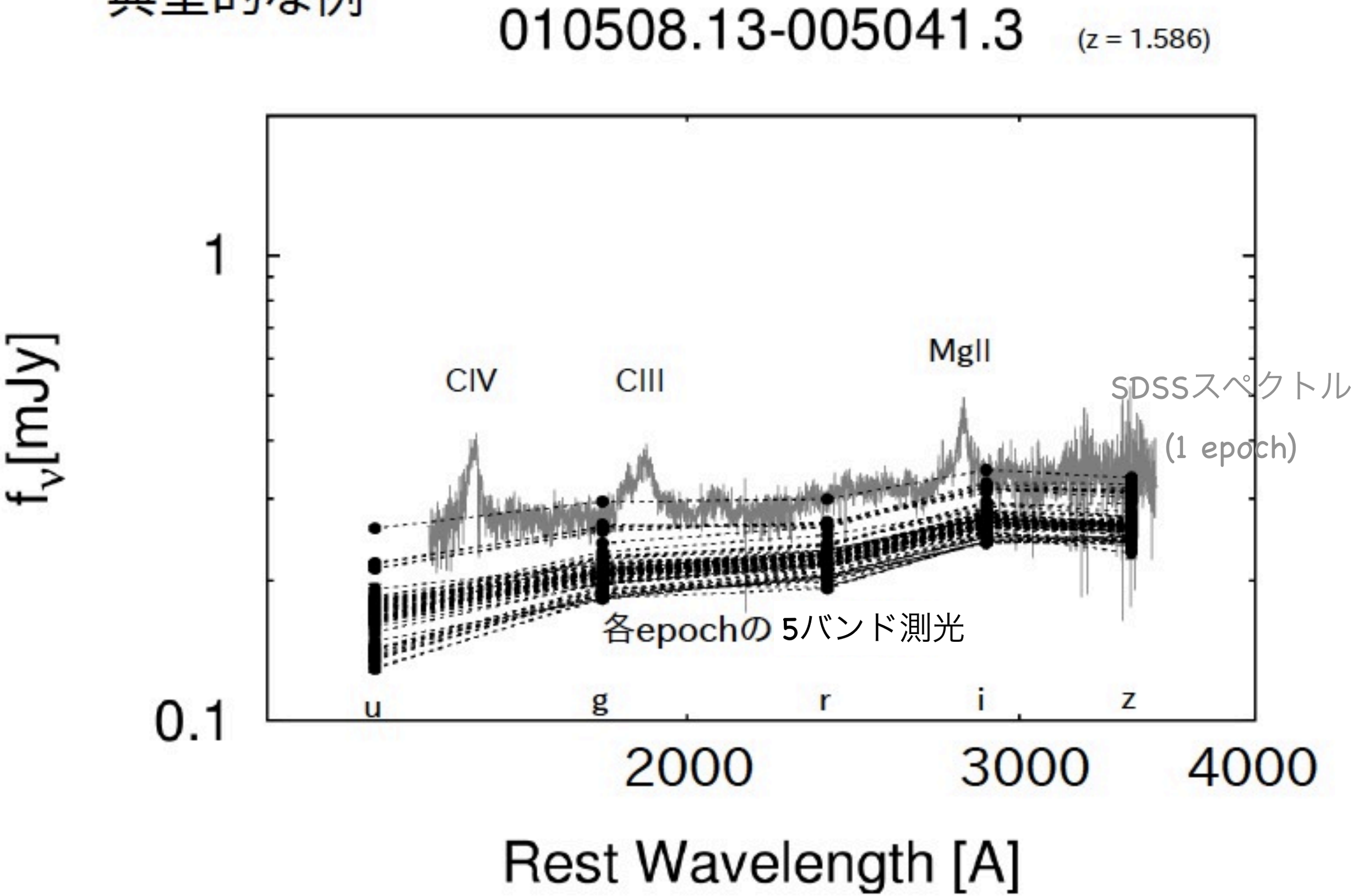
2バンド flux-flux plotの線形回帰直線の傾き

として変動成分スペクトルのカラーを測定し、

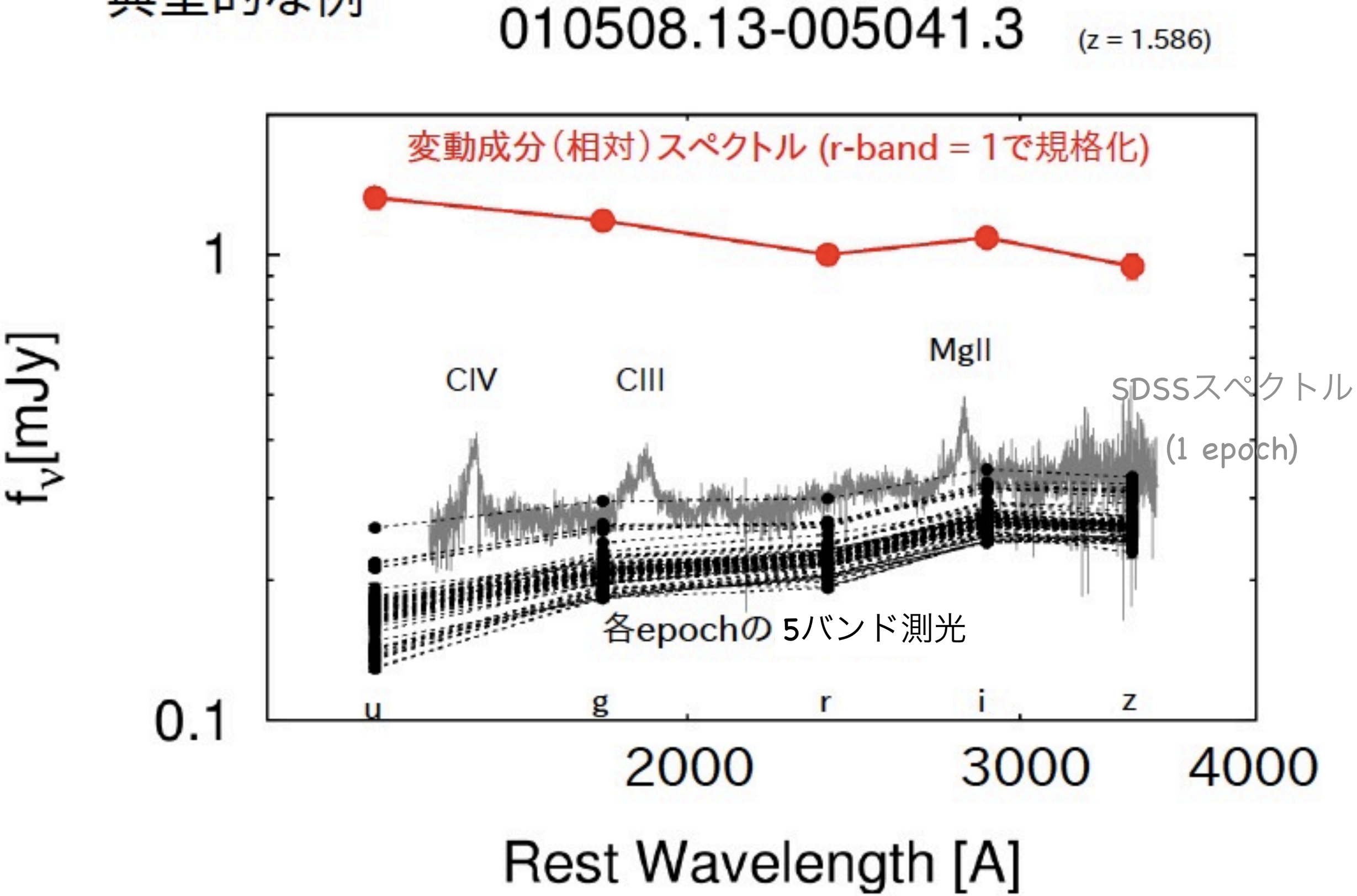
標準円盤+質量降着率変化モデルの予言値と比較した



典型的な例

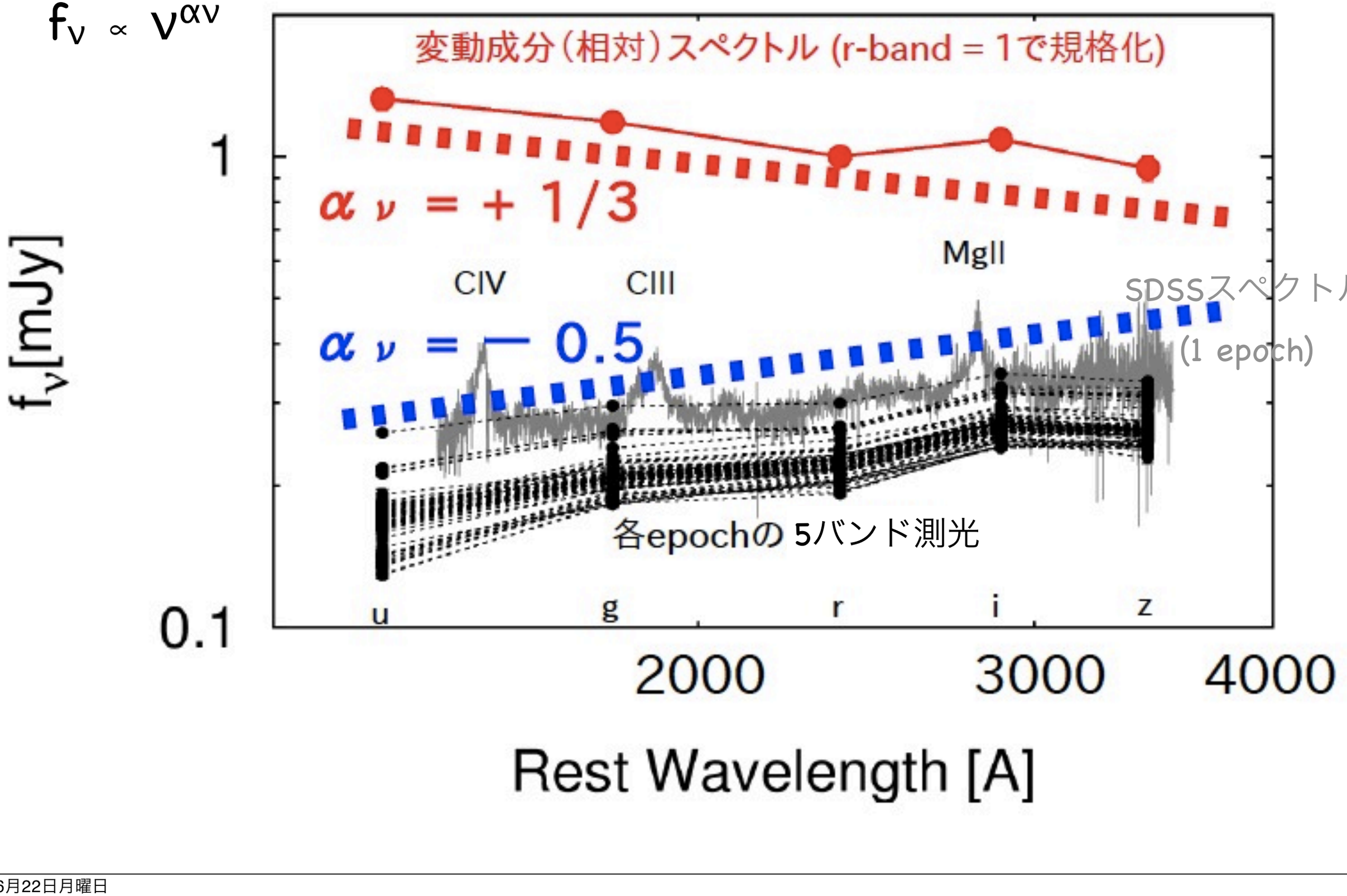

010508.13-005041.3
(z = 1.586)
1
0.1
f_ν[mJy]
CIV
CIII
MgII
SDSSスペクトル
(1 epoch)
各epochの 5バンド測光
u
g
r
i
z
2000
3000
4000
Rest Wavelength [A]

典型的な例


010508.13-005041.3 (z = 1.586)
変動成分（相対）スペクトル (r-band = 1で規格化)
1
0.1
f_ν[mJy]
CIV
CIII
MgII
SDSSスペクトル
(1 epoch)
各epochの 5バンド測光
u
g
r
i
z
2000
3000
4000
Rest Wavelength [A]

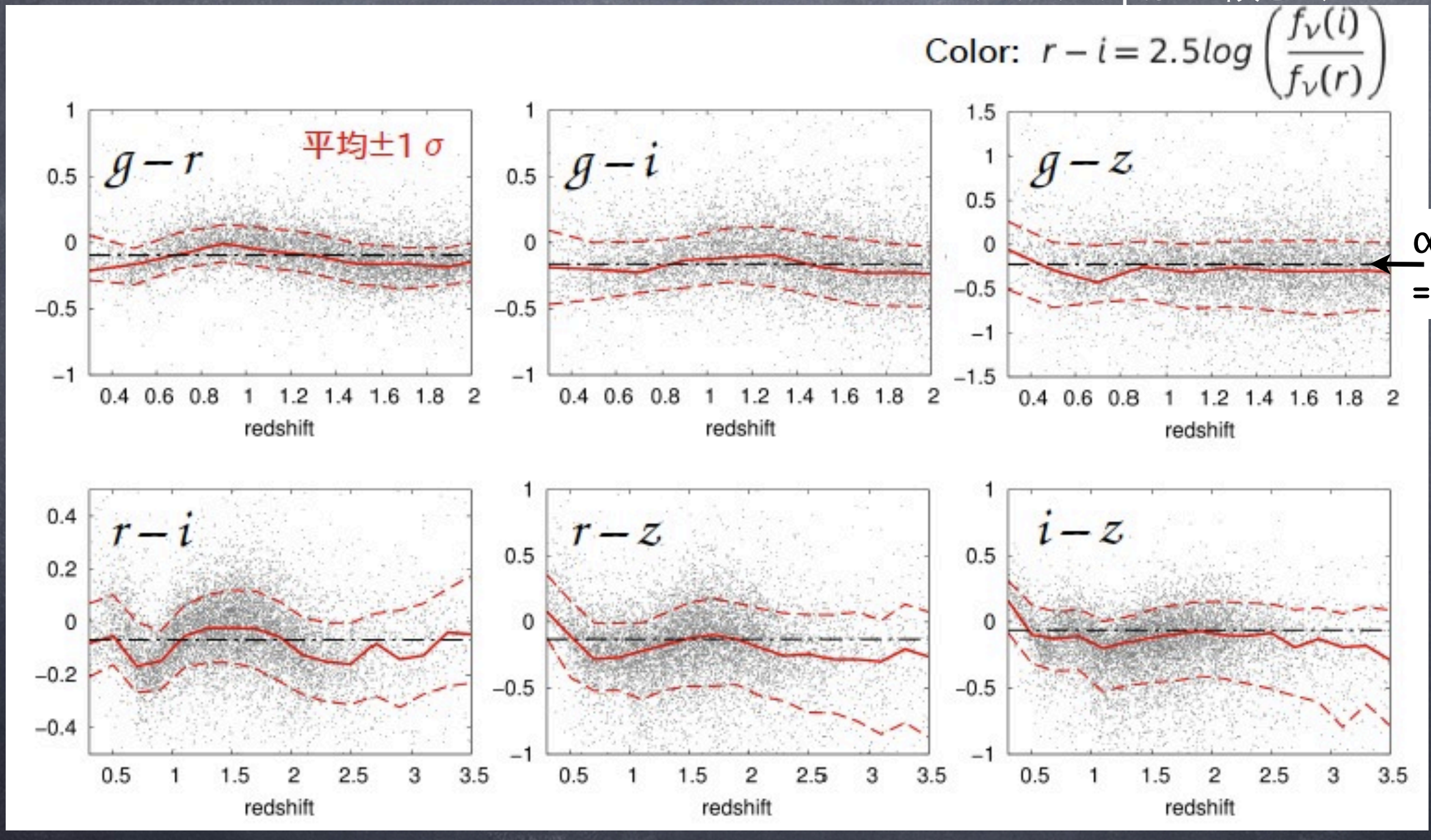
典型的な例

$f_\nu \propto \nu^{\alpha\nu}$



結果: 変動成分スペクトルのカラー vs. redshift

flux-flux plotの傾き ↓

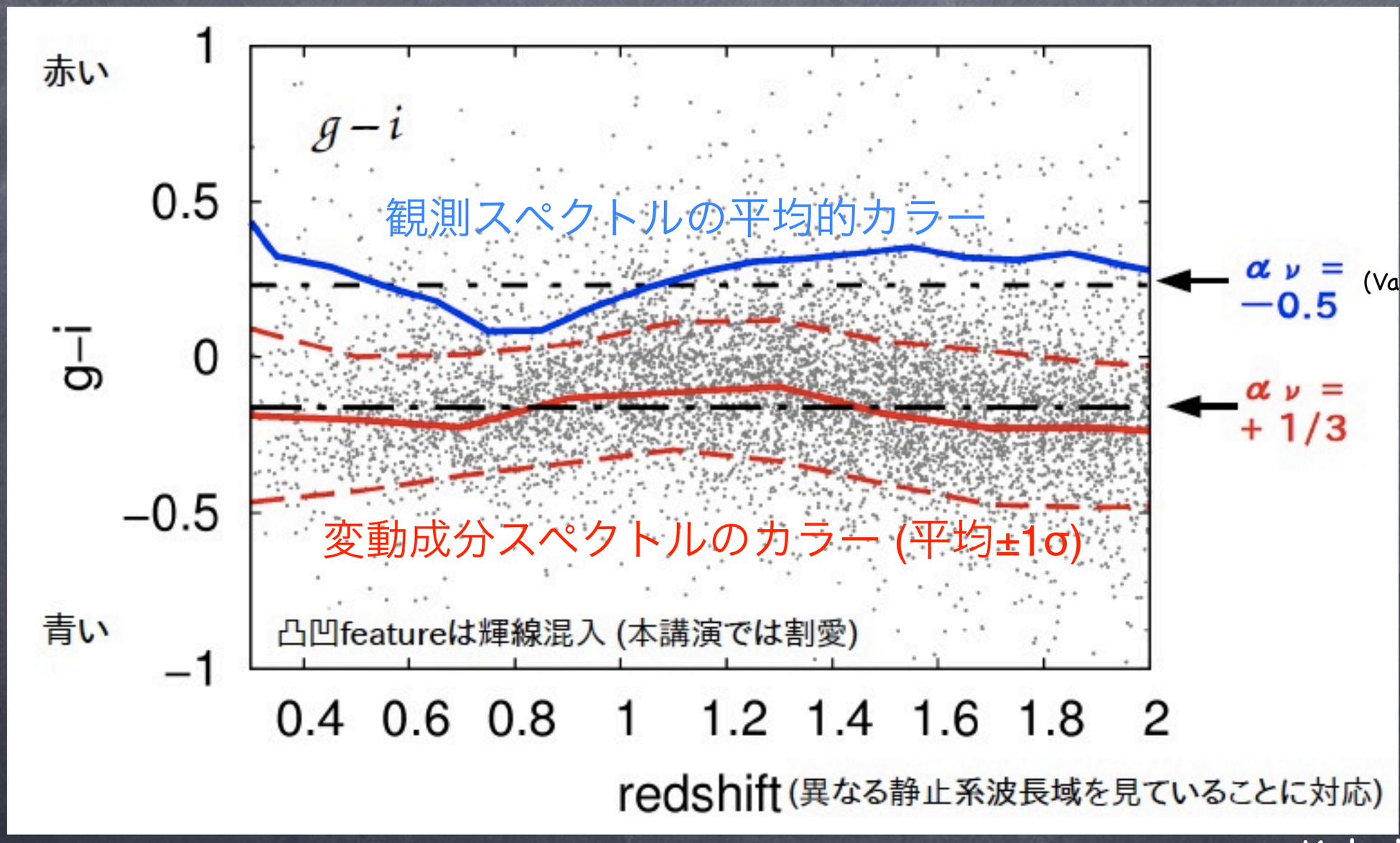


α_ν = +1/3

変動成分スペクトルの冪: α_ν ～ 0 - 1

Kokubo+ 2014

変動成分スペクトルのカラー(灰色点、赤)と観測スペクトルの平均的カラー(青)の比較



(Vanden Berk+ 2001)

Kokubo+ 2014

変動成分スペクトルは非常に青い (“明るくなると青くなる”)

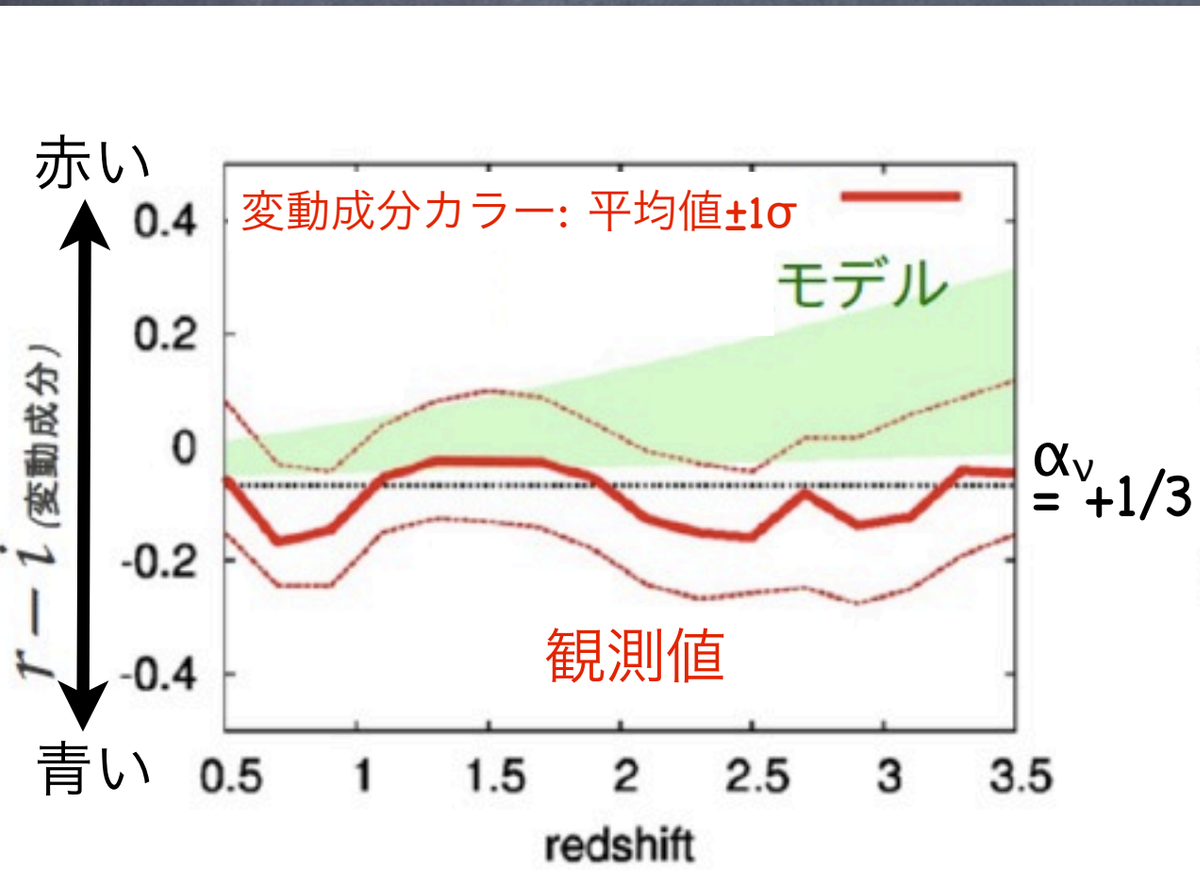
結果:標準円盤+質量降着率変化モデル

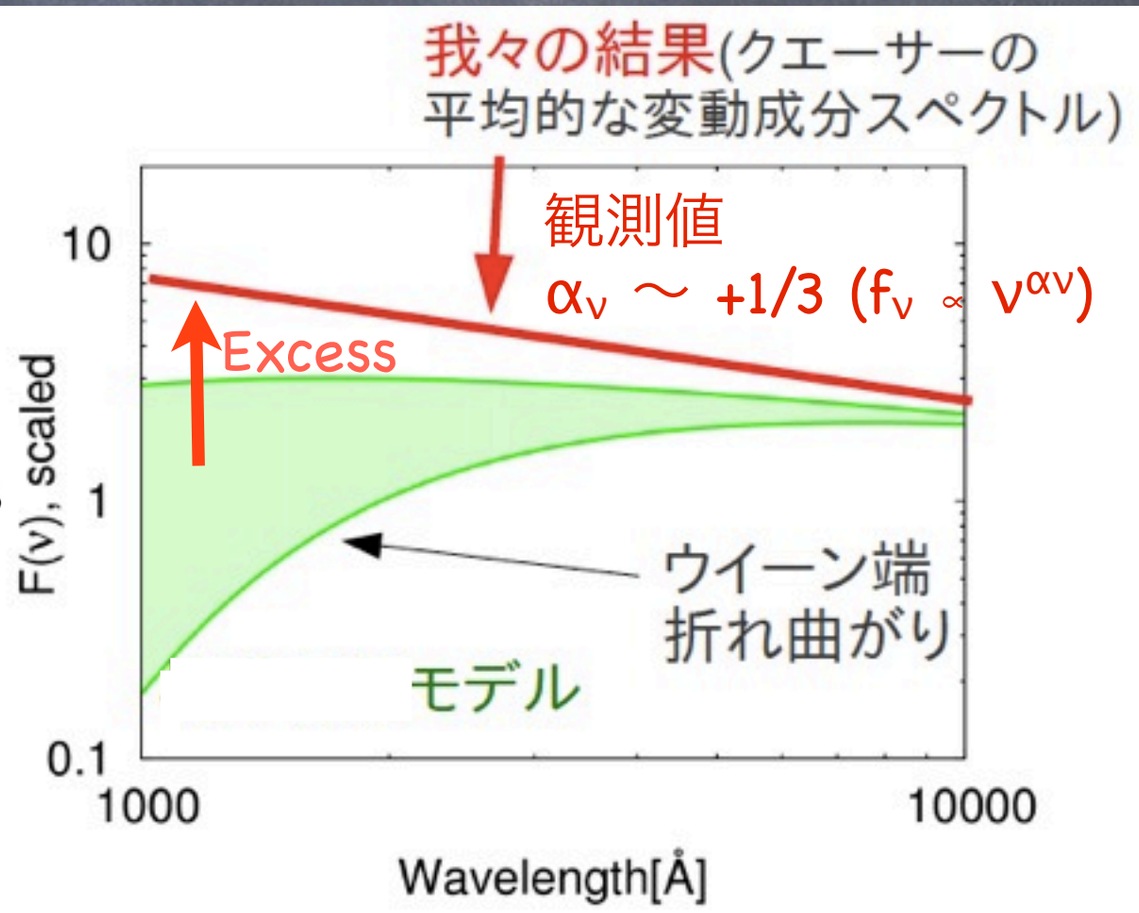
との比較

モデルの予言する範囲とは明らかにずれている。

この結果は、変動成分スペクトルとして抽出される降着円盤熱放射スペクトルが非常に”青い”形状をしており、モデル(標準円盤)で予言される折れ曲がり (円盤内縁の存在によるUV turnover)が見られないことを意味している

---> 標準円盤+質量降着率変化モデルではクエーサー光度変動を説明できない

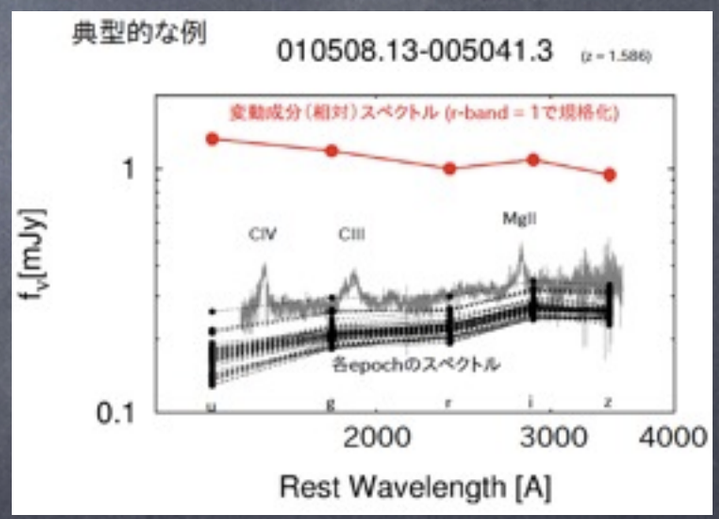




Kokubo+ 2014

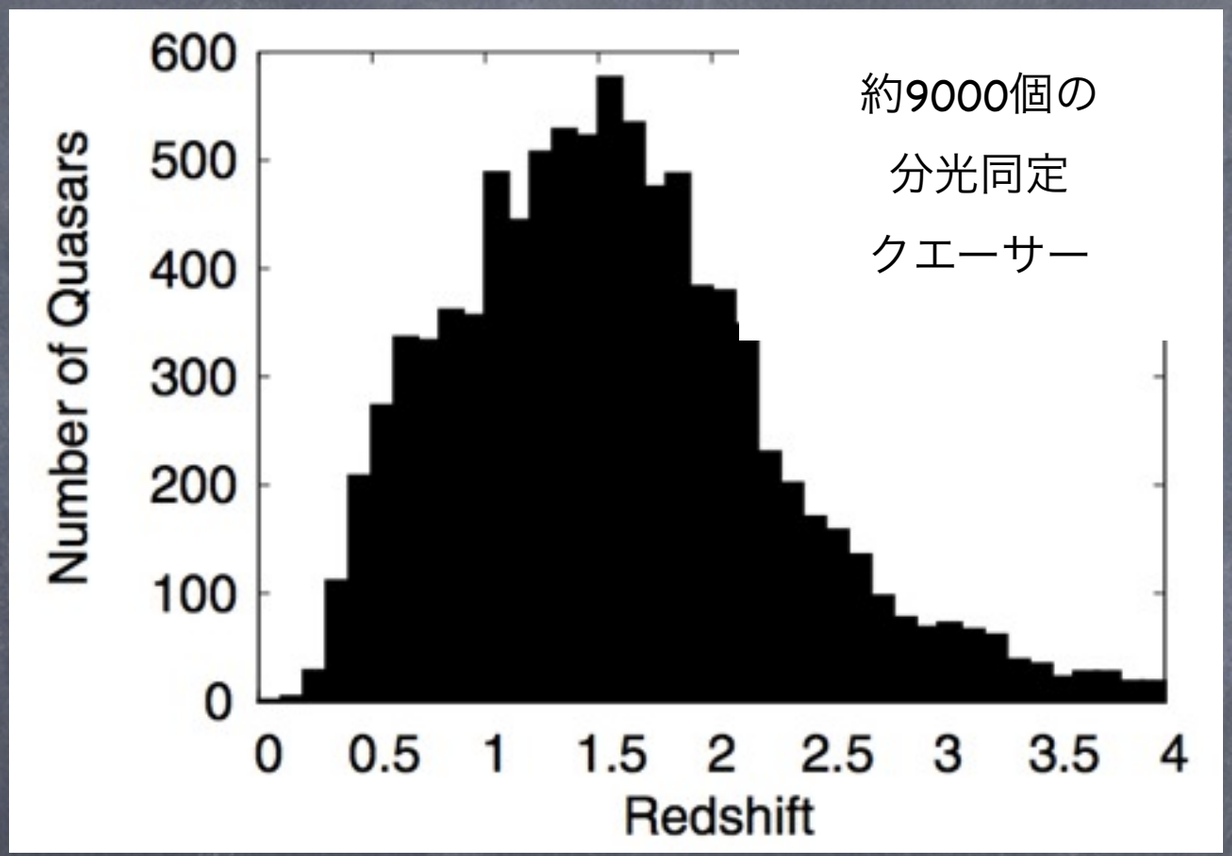
Summary

- SDSSクエーサー: 中心エンジンは標準降着円盤 (だろう)
- クエーサー紫外-可視光度変動
  - 作業仮説: 標準降着円盤+質量降着率変化モデル
  - モデルと観測の比較
    観測:　スペクトル変動成分は非常に``青い'' (α_ν = 0 - 1)
    モデル: 円盤内縁温度に対応するUV turnover
    ---> 標準円盤+質量降着率変化モデルでは説明できない



- Future work: 光度変動モデルとしてのX-ray reprocess ?
  (e.g., Krolik+ 1991)
  ---> X線-可視の同時観測 (野田さんのトーク)

予備

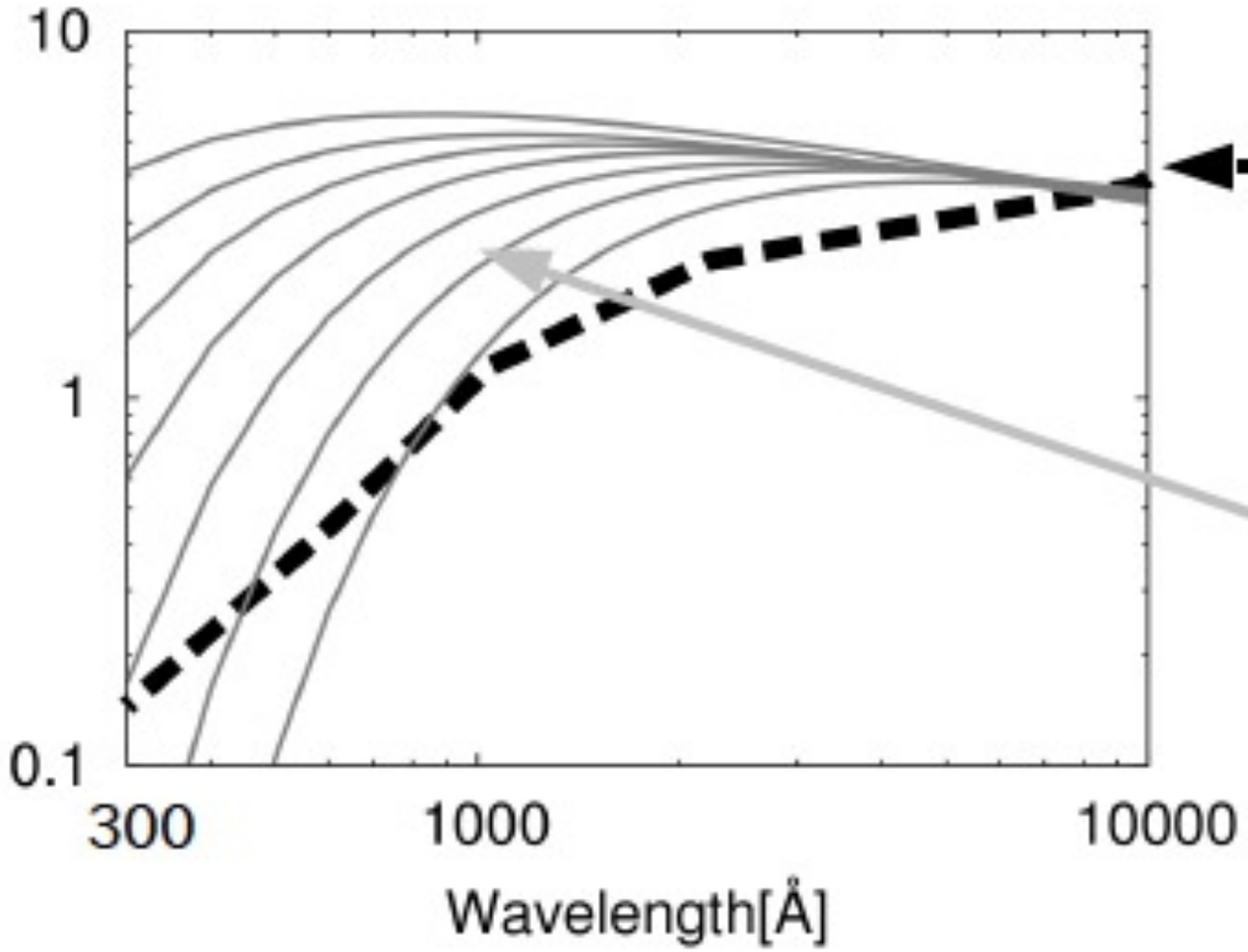


約9000個の
分光同定
クエーサー

比較

Pereyra+ 2006 : ~300個, ~2年, 2 epoch, SDSS分光

Kokubo+ 2014 : ~9000個, ~10年, ~60 epoch, 5-band測光



クエーサーの平均的なスペクトル

標準円盤モデル:
ブラックホール質量=
10^7Msun ～10^10Msun

母銀河成分の混入？

コロナでの逆コンプトン？