

可視変光で探る遠方活動銀河核

諸隈 智貴 (国立天文台)

1. 可視変光天体サーベイ

2. 可視変光AGNサーベイ

- X-ray undetected optically variable AGN
- High-redshift ($z > 4$) low-luminosity quasar
- Gravitational waves during SMBH merging

3. まとめ

可視変光天体サーベイ

+ One of the most interesting observational windows

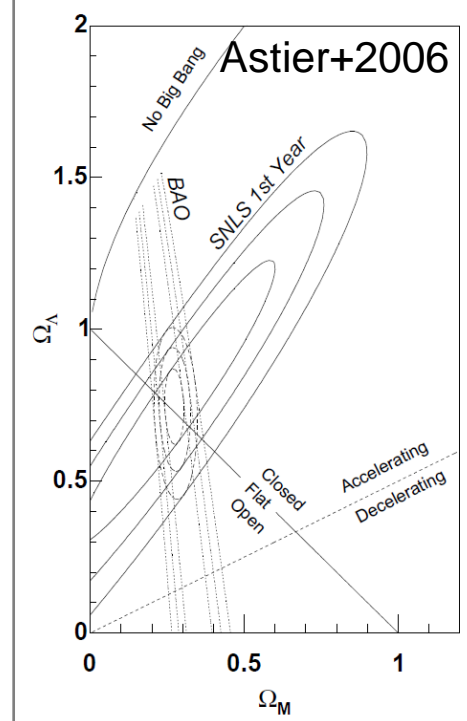
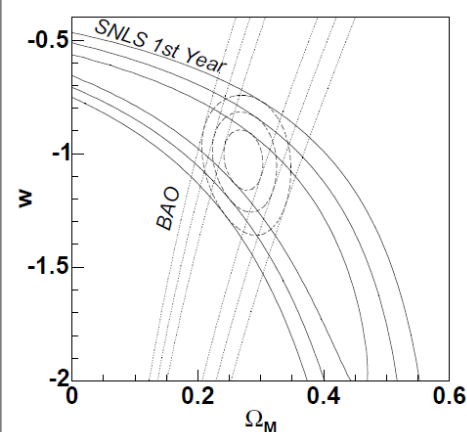
- 4m以下の可視/赤外望遠鏡で多くの変光サーベイ
 - CFHT LS (SNLS), Pan-STARRS, SkyMapper, ...
- 8m級望遠鏡/HSTも一部は変光サーベイ(deep surveyを分割)
 - HST/WFPC2, ACS (HDF, UDF), Subaru/Suprime-Cam (SDF, SXDS), ...

+ 変光天体の種類は様々...

- 新星、超新星, GRB残光
- 変光星
- AGN
- マイクロレンズ現象(MACHO, OGLE, ...)
- 移動天体: 固有運動、太陽系内天体

+ サイエンスも様々...

- 距離指標(はしご): Cepheid, RR Lyrae, Ia型超新星
 - 加速膨張宇宙(dark energy)
- dark matter: マイクロレンズ現象、白色矮星の固有運動
- **変光という”選択基準”**



可視変光 AGNサーベイ

AGNの可視/近赤外変光

- emission line reverberation

mapping: $(\text{BLR size}) \propto L^{0.5}$

- dust torus reverberation mapping:

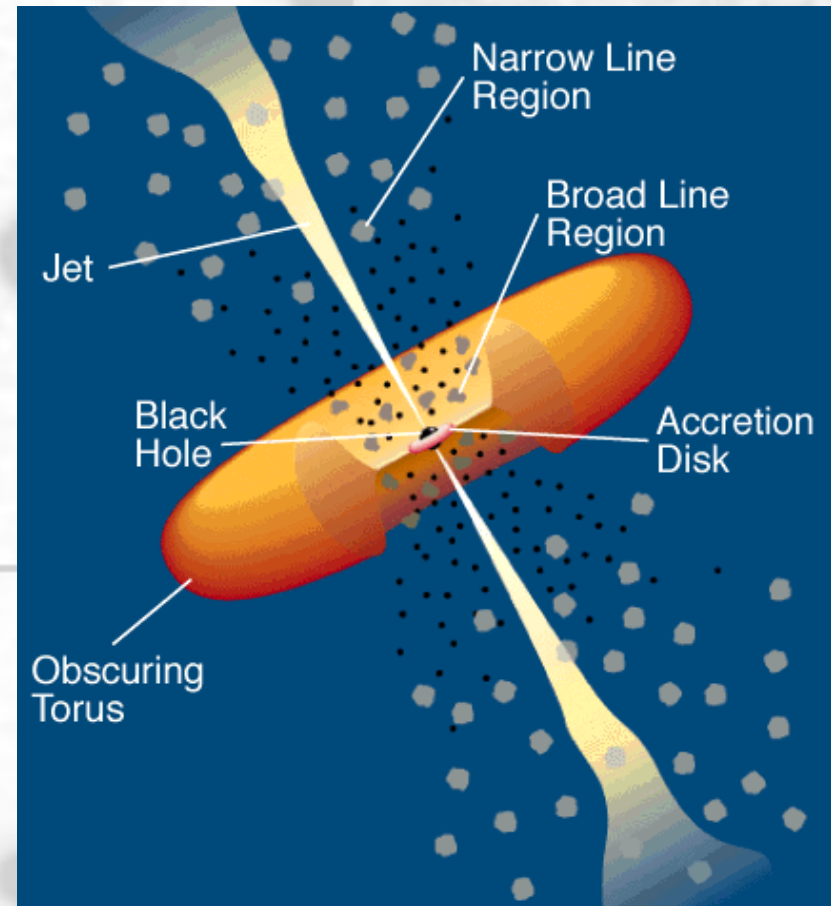
$(\text{dust torus inner radius}) \propto L^{0.5}$

AGN選択toolとしての変光

- SDSS quasarの変光研究: 低光度ほど変光大きい(Vanden Berk+2004) →

低光度AGNに対して変光選択は有効

(+母銀河のコンタミによるcolor選択の難しさ)



可視変光 AGNサーベイ

AGNの可視/近赤外変光

- emission line reverberation

mapping: $(BLR\ size) \propto L^{0.5}$

- dust torus reverberation mapping:

$(dust\ torus\ inner\ radius) \propto L^{0.5}$

AGN選択toolとしての変光

- SDSS quasarの変光研究: 低光度ほど変光大きい(Vanden Berk+2004) →

低光度AGNに対して変光選択は有効

(+母銀河のコンタミによるcolor選択の難しさ)

HST/WFPC2, ACS (Sarajedini+2006,

Cohen+2006)

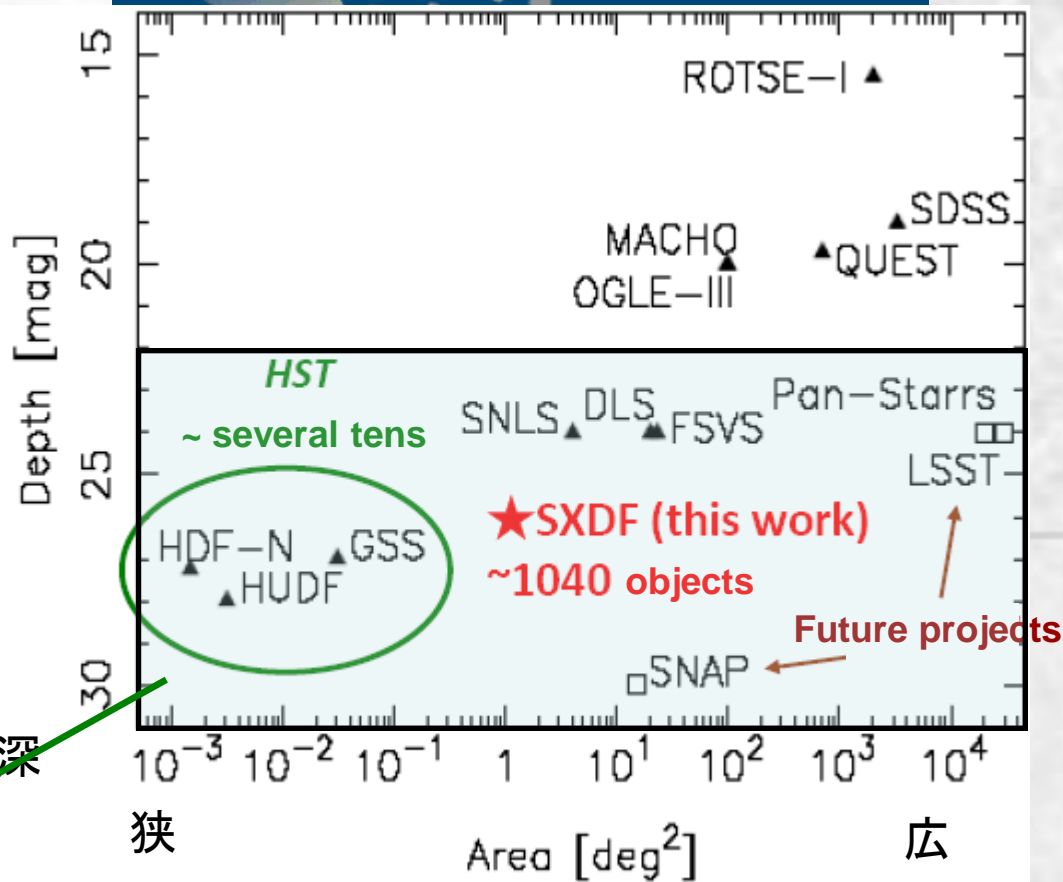
X線のdeepサーベイでも検出されない可視

変光選択AGNの存在: ~70%

→ どんなAGNか? (Morokuma+2007)

2008/02/15

浅



深

狭

Area [deg²]

広

可視変光 AGNサーベイ

AGNの可視/近赤外変光

- emission line reverberation mapping: $(BLR\ size) \propto L^{0.5}$
- dust torus reverberation mapping: $(dust\ torus\ inner\ radius) \propto L^{0.5}$

AGN選択toolとしての変光

- SDSS quasarの変光研究: 低光度ほど変光大きい(Vanden Berk+2004) → **低光度AGNに対して変光選択は有効** (+母銀河のコンタミによるcolor選択の難しさ)

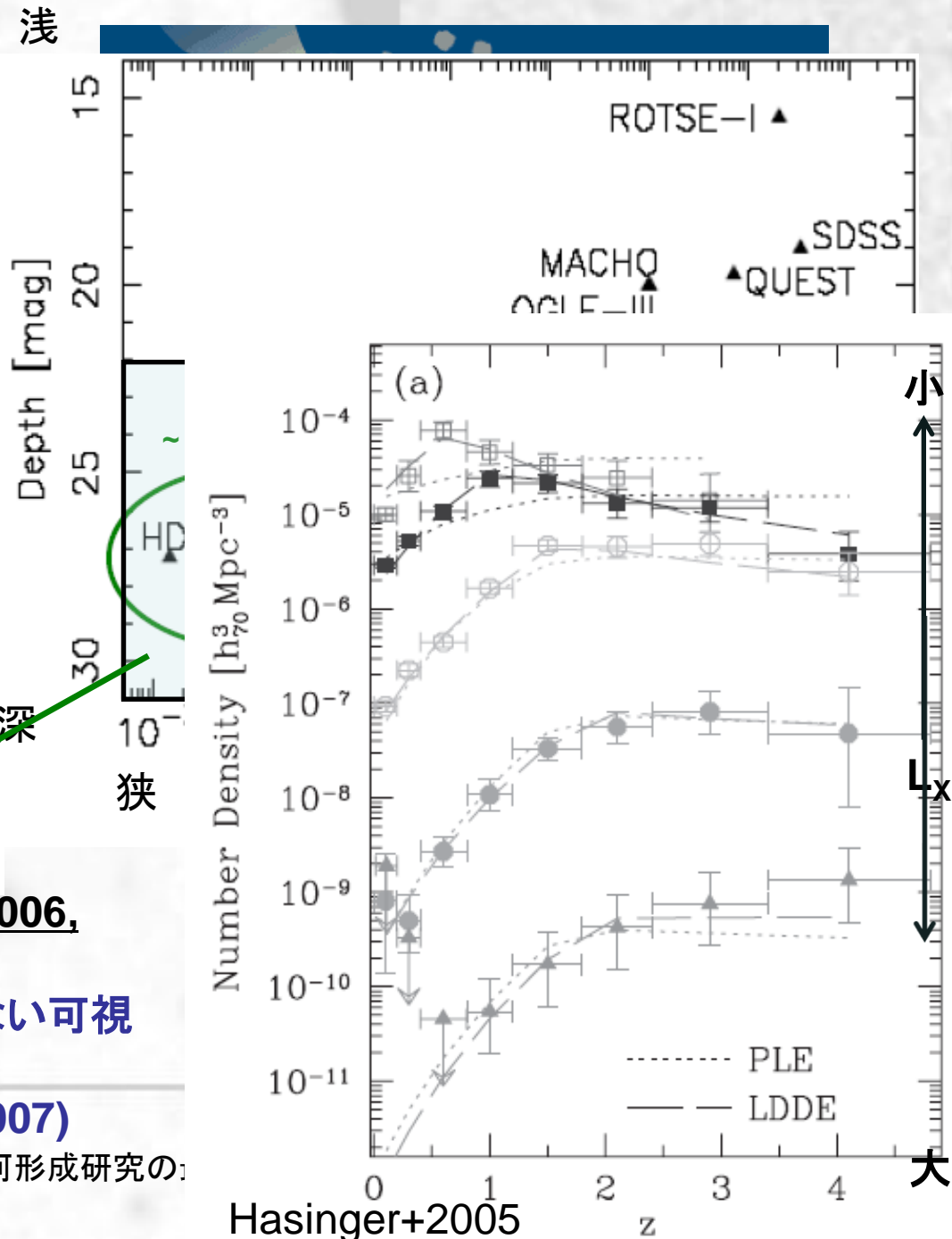
HST/WFPC2, ACS (Sarajedini+2006, Cohen+2006)

X線のdeepサーベイでも検出されない可視変光選択AGNの存在: ~70%

→ どんなAGNか? (Morokuma+2007)

2008/02/15

銀河形成研究の:



可視変光 AGNサーベイ

AGNの可視/近赤外変光

- emission line reverberation

mapping: $(BLR\ size) \propto L^{0.5}$

- dust torus reverberation mapping:

(du

AG

- S

Mass accretion history (= black hole形成)の
全体像を理解したい

ど変光大きい(Vanden Berk+2004) →

低光度AGNに対して変光選択は有効

(+母銀河のコンタミによるcolor選択の

難しさ)

HST/WFPC2, ACS (Sarajedini+2006,

Cohen+2006)

X線のdeepサーベイでも検出されない可視

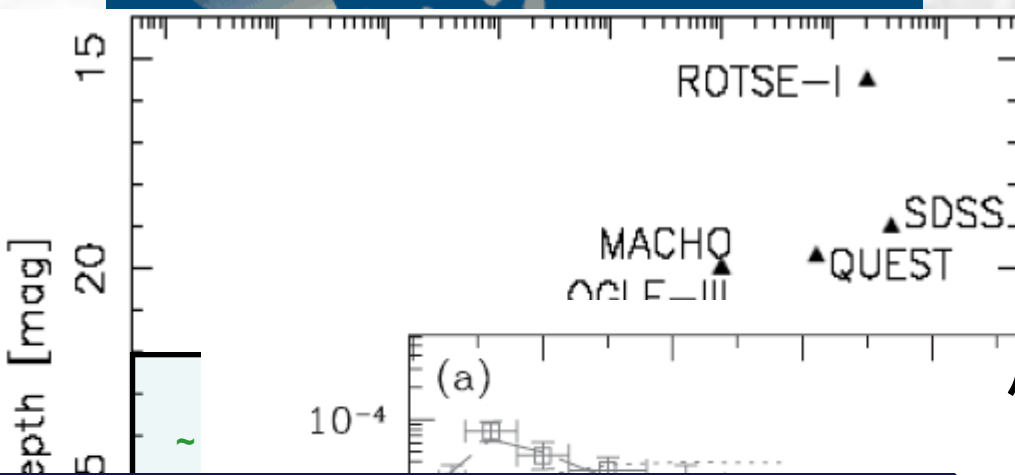
変光選択AGNの存在: ~70%

→ どんなAGNか? (Morokuma+2007)

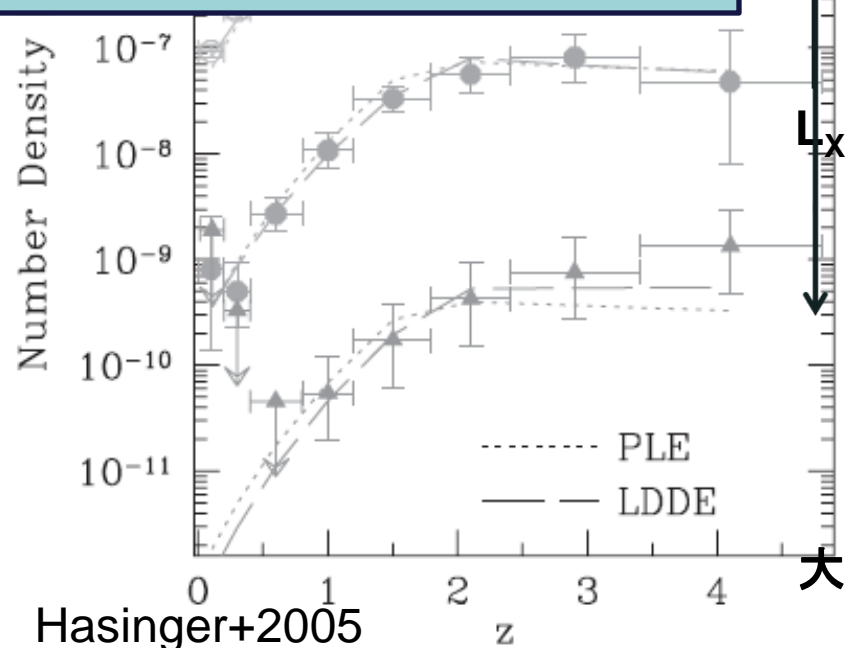
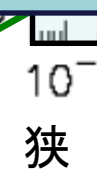
2008/02/15

銀河形成研究の:

浅



深



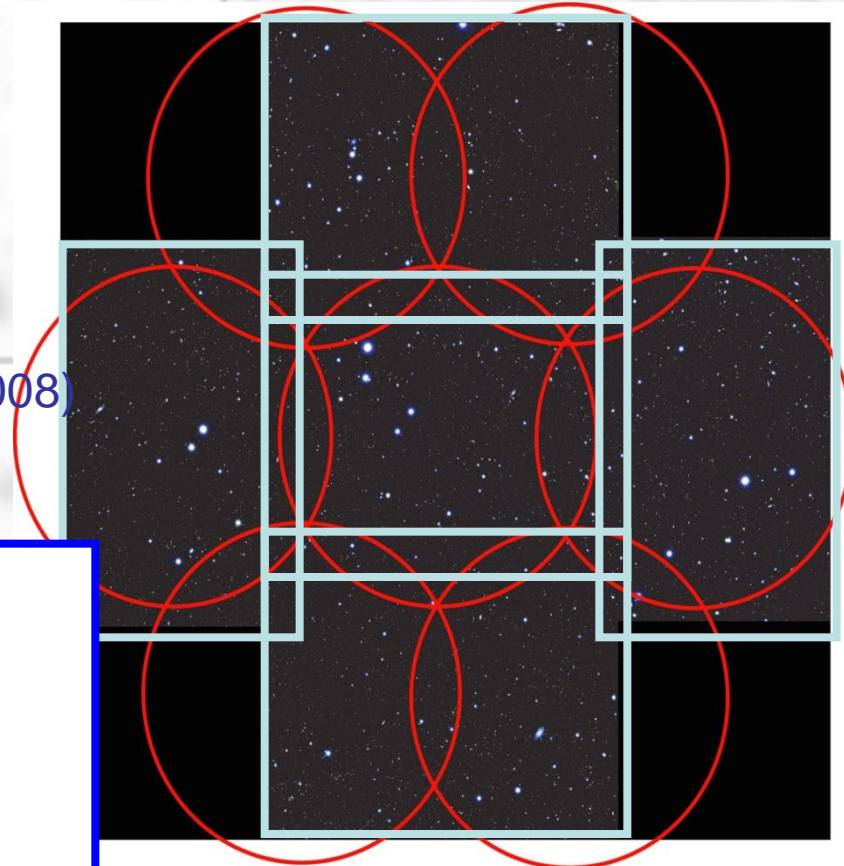
Hasinger+2005

Subaru/XMM-Newton Deep Survey (SXDS)

wide-field ($\sim 1.2\text{deg}^2$) multi-wavelength deep survey (X-ray -- radio)

- X-ray (XMM-Newton/EPIC, 50-100ks, Ueda+2008, Akiyama+2008)
 - $1\text{e-}15 \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ @0.5-2.0keV
 - $3\text{e-}15 \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ @2.0-10.0keV
- MIR (Spitzer/IRAC)
 - $3.6\mu\text{m}$ -band $\sim 22.0\text{mag}$
- optical (Subaru/Suprime-Cam, Furusawa+2008)
 - $B(28.2\text{mag}), V(27.2\text{mag}), R(27.6\text{mag}), i(27.5\text{mag}), z(26.5\text{mag})$

- optical variability (Subaru/Suprime-Cam, TM+2007)
 - multi-epoch **8-10 times** during **2002~2005**
 - Timescale: 1 day -- 3 years
 - $i_{AB} \sim 26\text{mag}$ (each epoch)
 - $i_{AB, \text{vari}} \sim 25.5\text{mag}$
 - (*variable component*=difference of flux among epochs $\Delta f = |f_1 - f_2|$)



Suprime-Cam 5 fields

XMM-Newton 7 pointings

(02h18m00s, -05:00:00) in J2000

$(l, b) = (169^\circ, -60^\circ)$ 7

変光検出

reference

search

subtraction

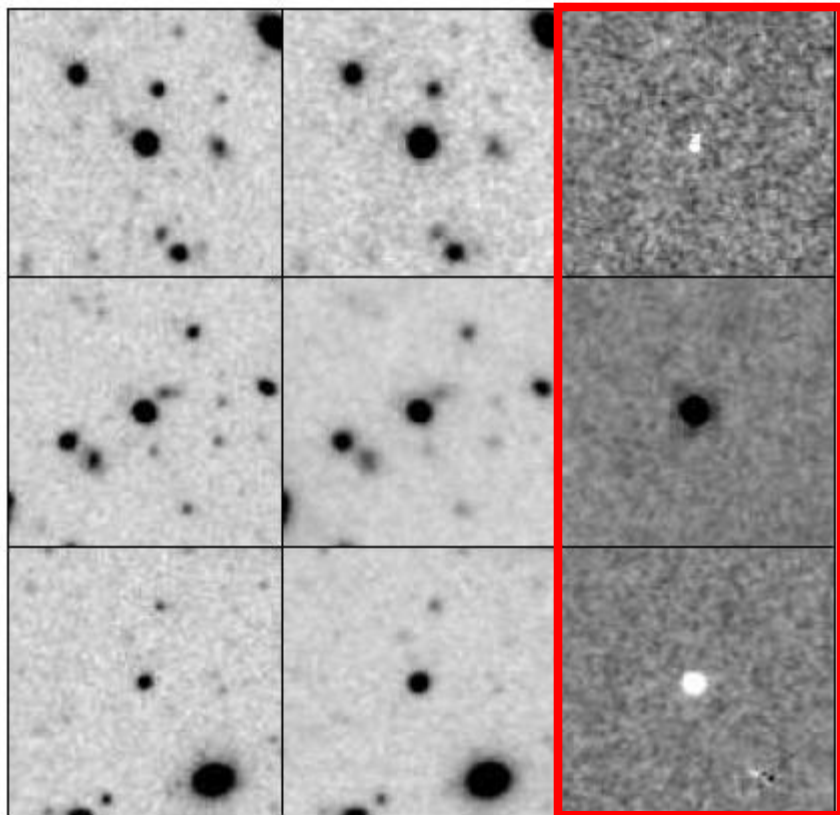


Image subtraction method
(Alard & Lupton 1998, Alard 2000)

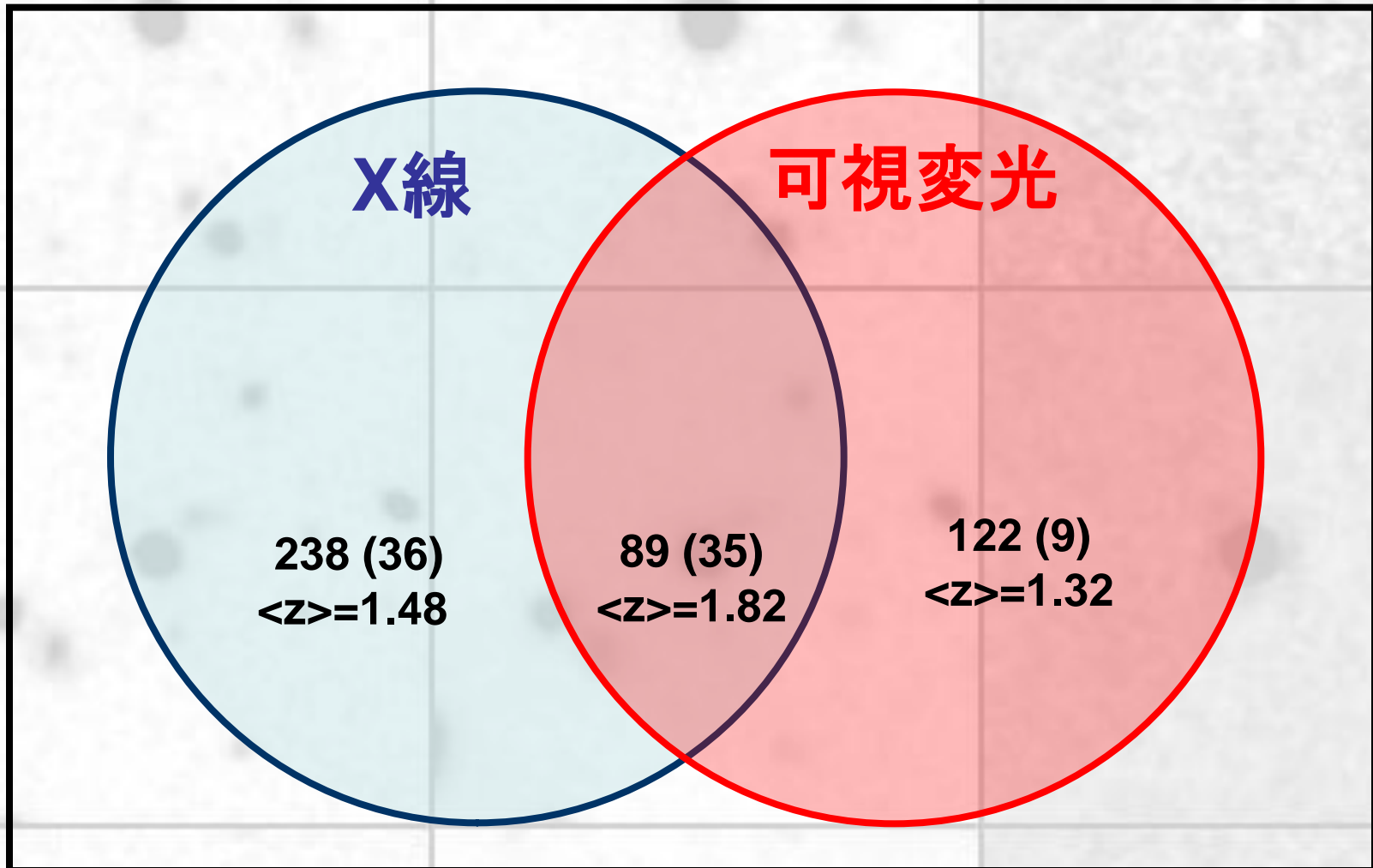
1,040 変光天体 @ 0.918 deg²

~580AGN / deg²

TM+2007a

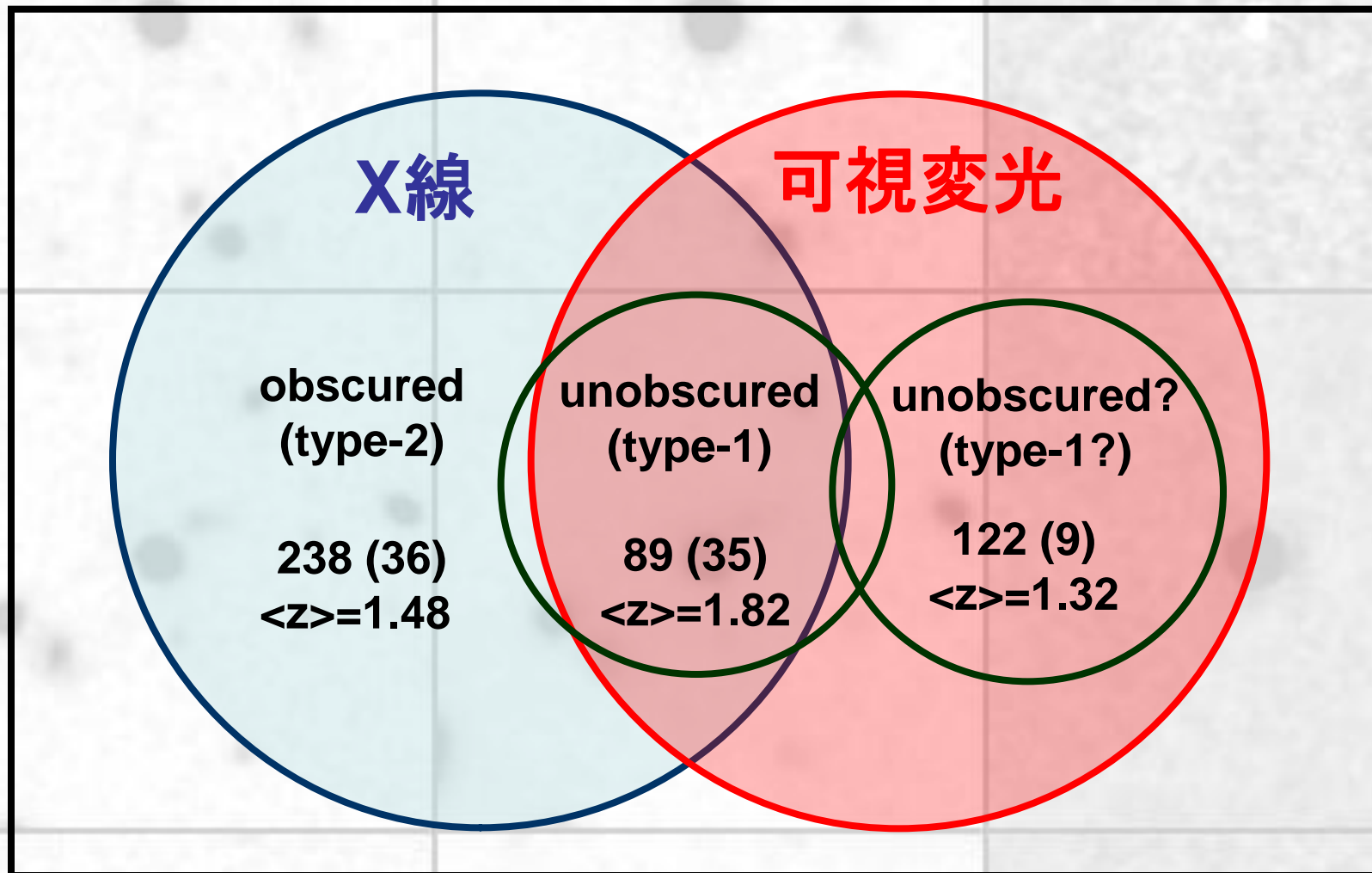
AGNサンプル

天体数(分光済)
<median redshift>

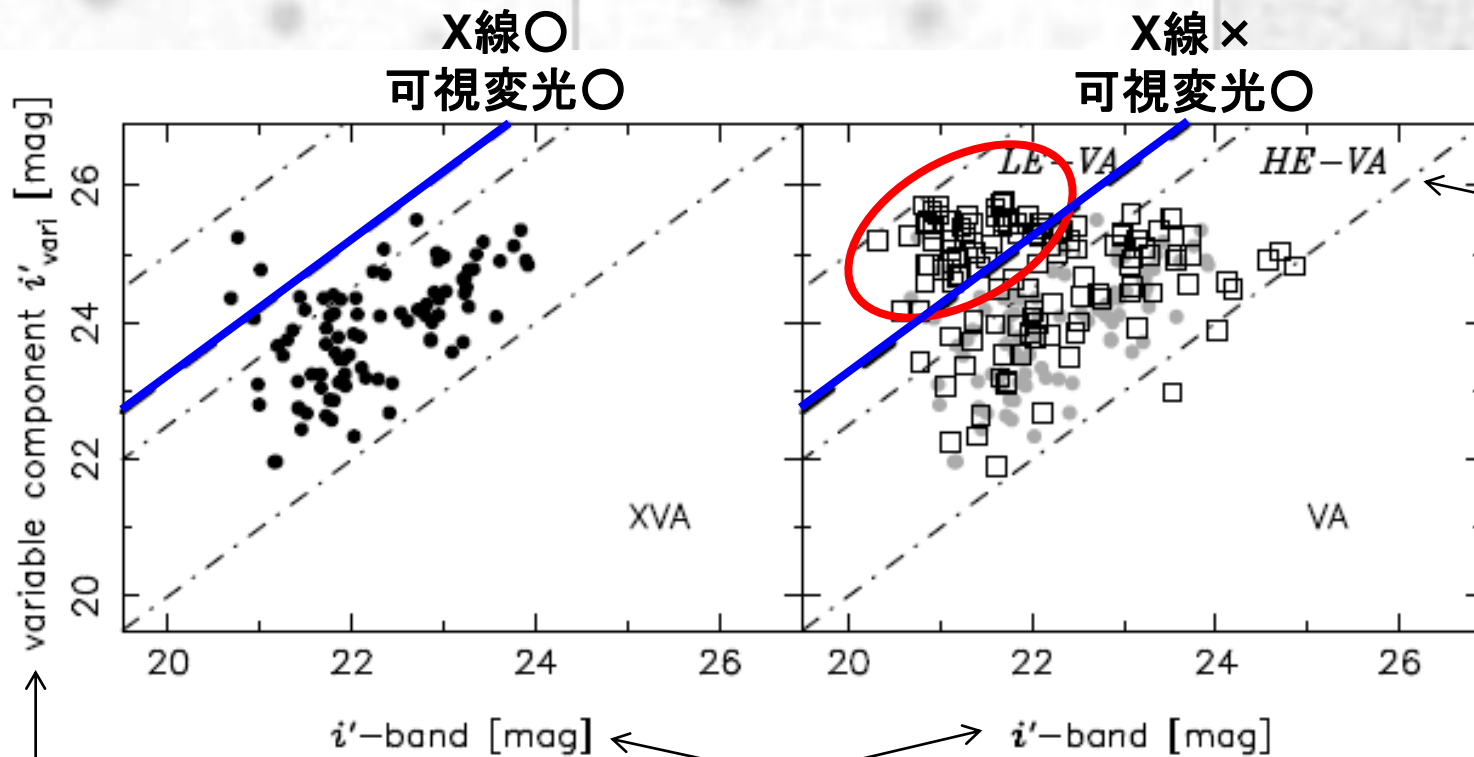


AGNサンプル

天体数(分光済)
<median redshift>



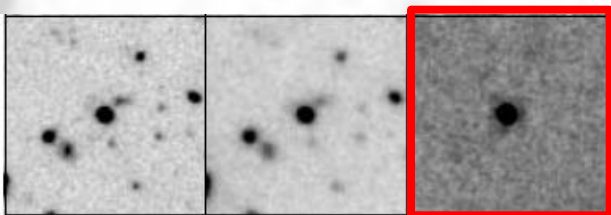
可視変光選択AGNの性質



Constant ratios (1,0.1,0.01) between x and y axis.

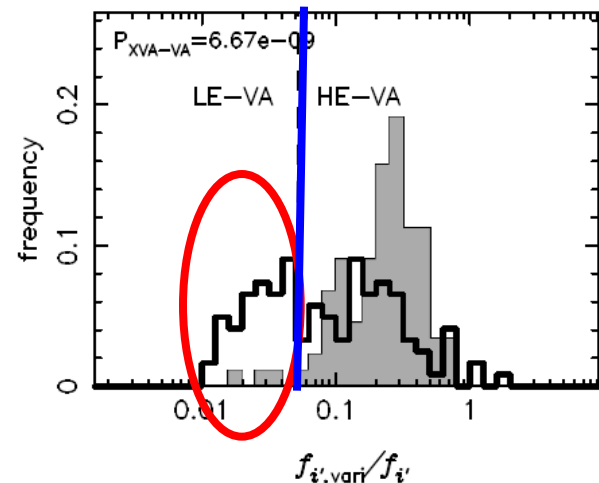
TM+2007b

全体等級(母銀河含む)
 引き算画像上でのフラックスの最大値
 faint variable component ~ faint AGN

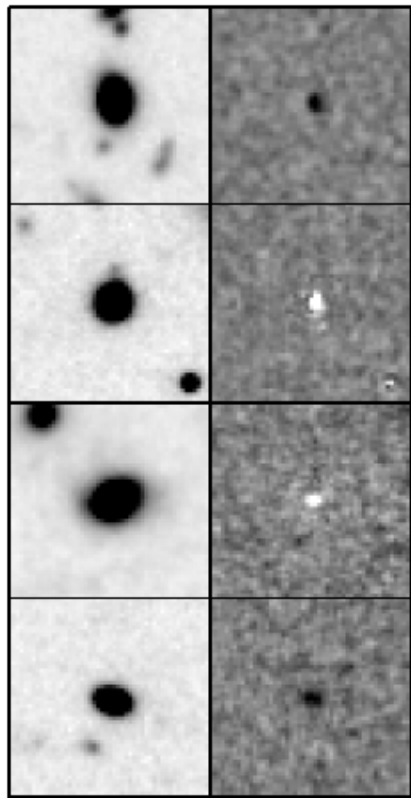


明らかに異なる分布

銀河形成研究の最前線

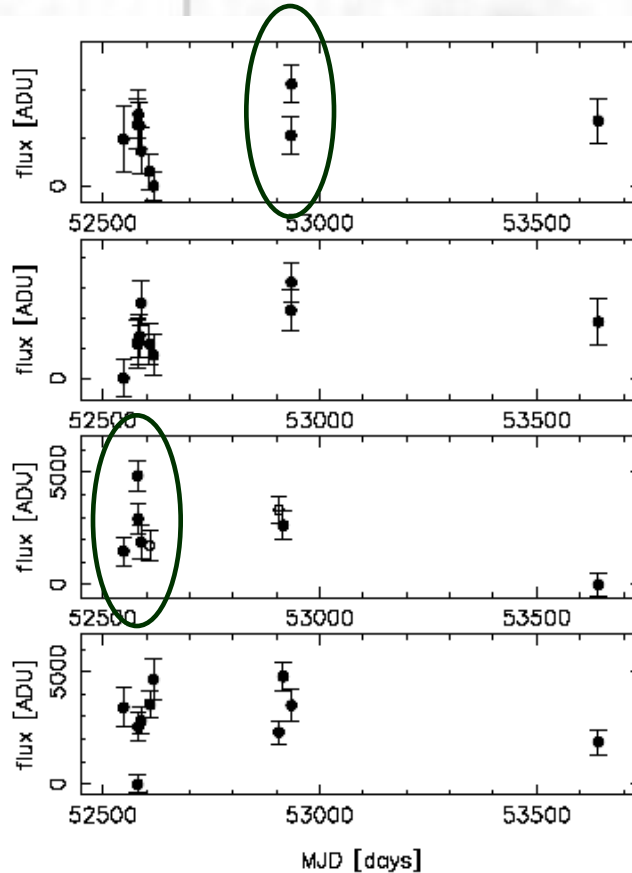


Images and Light Curves



reference subtraction

TM+2007b



← 3 years →

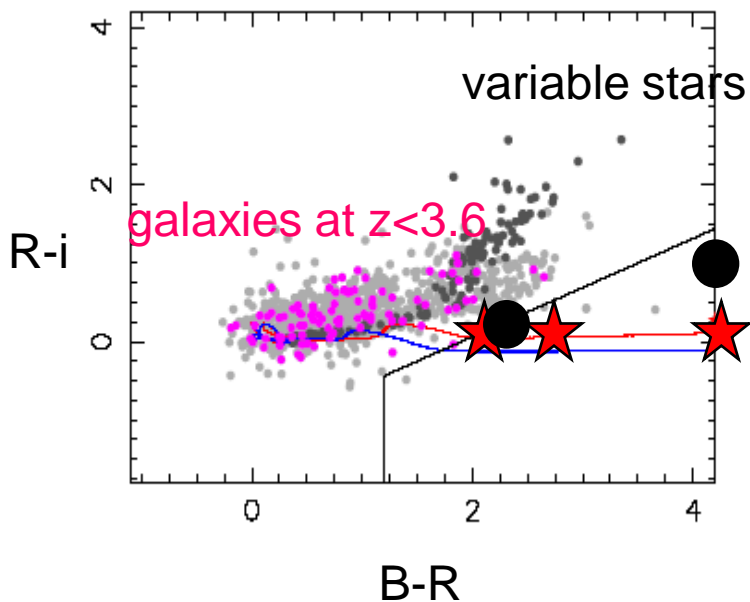
- 明るい銀河中の暗いAGN($M_B \sim -20$) (e.g. Totani+2005)
- フレア的な変光? Radiatively inefficient accretion flow (RIAF)?
- 近傍LINERのUV変光と類似? (Maoz+2006)
- $\sim 10^8$ - $9 M_\odot$ SMBHs
- 楕円銀河($M_B \sim -23$) @ $z_{\text{photo}} \sim 0.5$
- ending phases of mass accretion
- 同じくらいの光度の銀河の**5-10%が変光** → 全体では数10%??? (変光の検出効率不明)

Next steps to reveal nature of this kind of low-luminosity AGN...

- HST imaging
- Deep spectroscopy (maybe stacking analysis necessary)

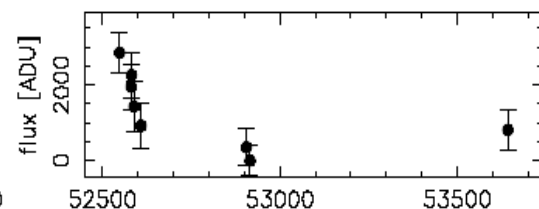
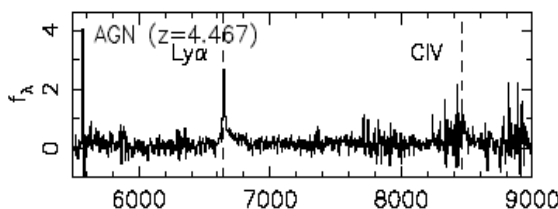
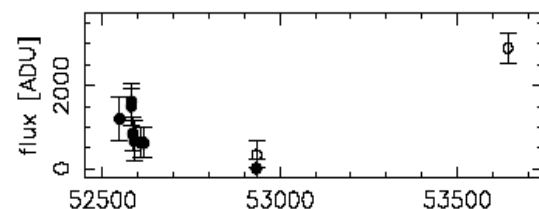
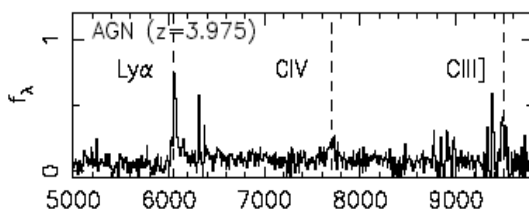
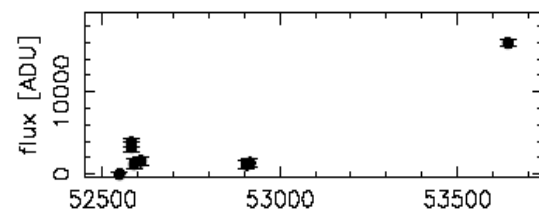
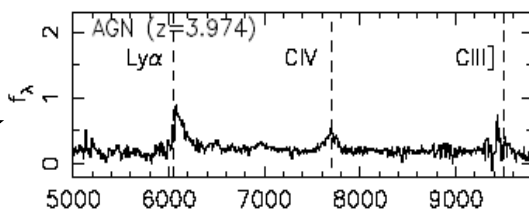
High-Redshift Low-Luminosity Quasars

- bright-end slopeの進化($z > 3$): down-sizing (Richards+2006)
- faint-end slopeは???



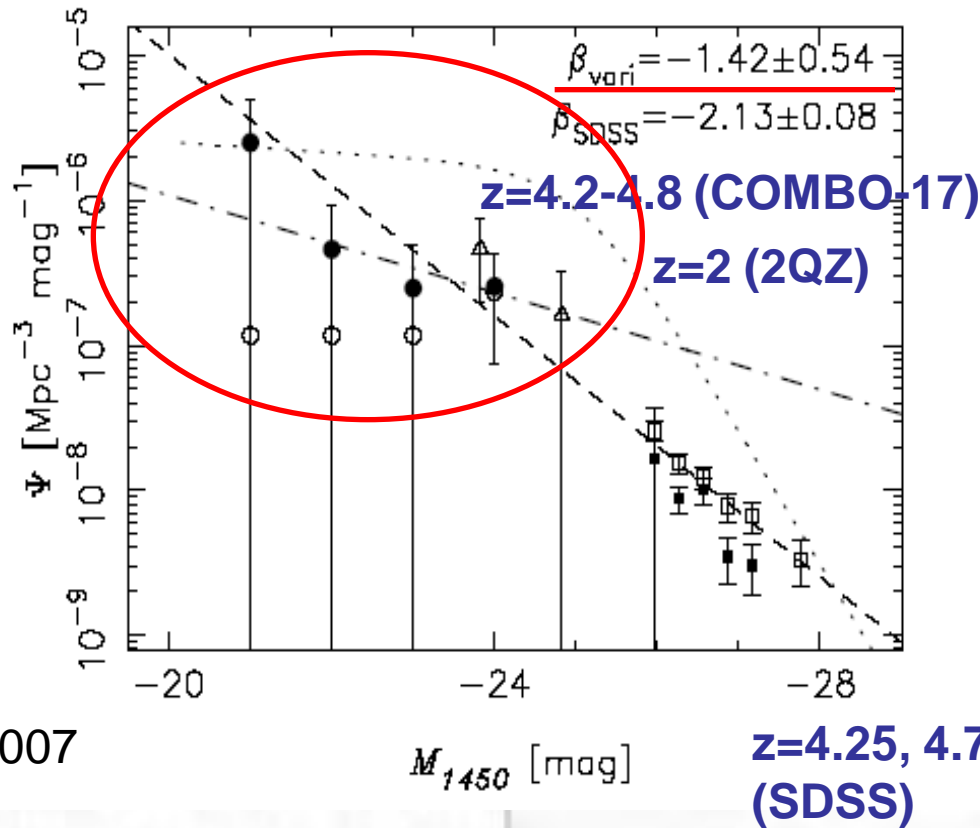
- “Dropout”選択: Lyman Break Galaxyも選択
- 暗い天体($M_{1450} \sim -23$)まで見ようとする、数密度はコンパラに。
- **区別には変光が非常に有効**

TM 2007



- 5天体: B-dropout i-band variable objects in the SXDS
- **3天体分光 → z~4 quasarと同定**

Faint-end of $z \sim 4$ quasar luminosity function



$i=22-25\text{mag}$
 8-10 times over 3 years

TM 2007

- より統計的に: Hyper Suprime-Cam (HSC)
- z バンドでよりhigh- z へ

SMBH binary merging

SMBH binary merging (e.g. Kocsis+2007)

- electromagnetic counterparts of gravitational waves detected by *LISA* (angular resolution~0.1 deg)
- mergerの2-3週間前からモニター
- orbital motionのタイムスケールで変動
- mergerの時期はdusty AGN? NIRがベター?

まとめ

- variabilityはこれからいろいろな結果が出てくる(はず)
- Subaru/Suprime-Camで、暗い(=8m級望遠鏡/HSTで到達可能な深さ)変光天体の最初の統計的サンプル(~1000天体/deg²)
 - 一部(~半分)はX線で受からない。
 - さらに半分は $z \sim 0.5$ の楕円銀河中の低光度AGN
- 変光という基準でLBGと区別+dropout: high- z quasar LFのfaint-endをおさえる。→ quasar life time
- 重力波+variability → SMBH merging