

可視変光によるAGN探査

諸隈 智貴
(NAOJ)

Variability Surveys (一般論)

- *One of the most interesting observational windows.*

- + 多くの中小口径望遠鏡で
- + 大口径望遠鏡/HSTでも: HDF, UDF, SDF, SXDS, ...)

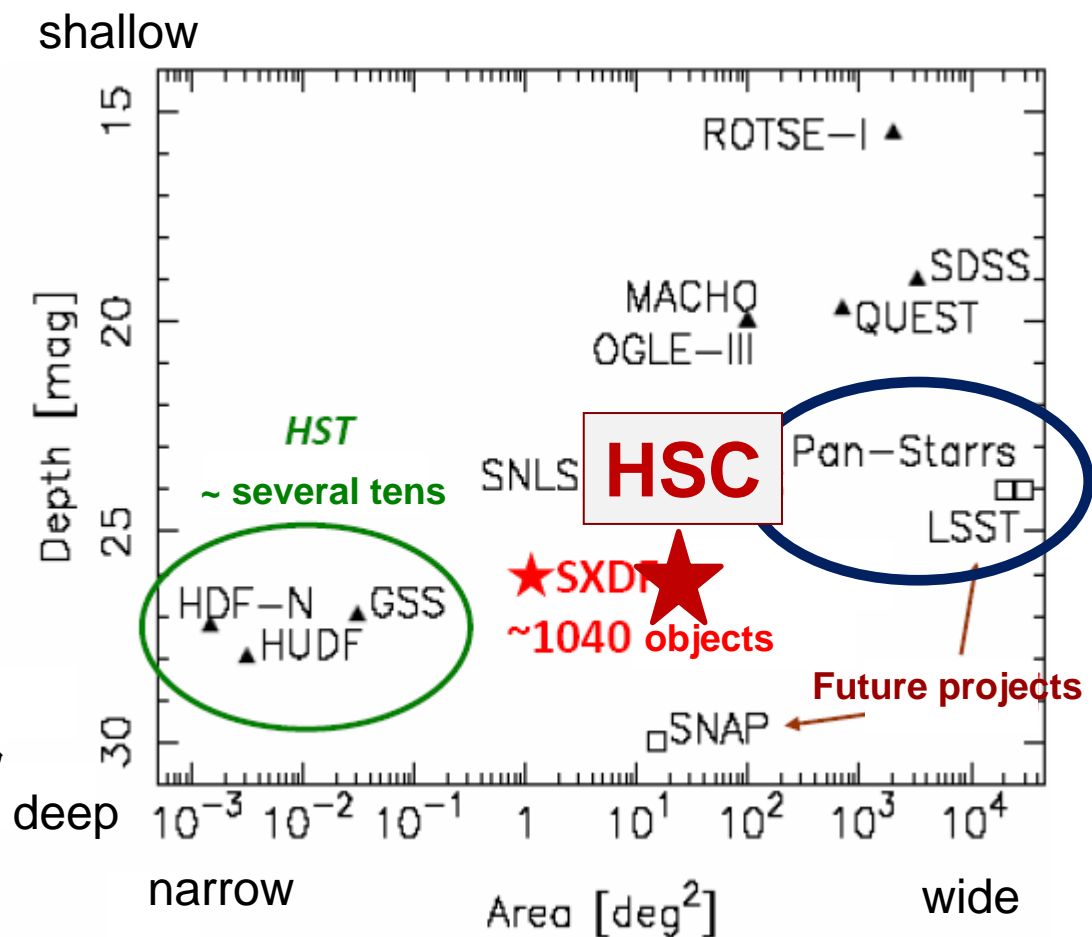
“サーベイ”に必要なもの

- (半)専用望遠鏡
or 大口径/宇宙望遠鏡
or 広視野カメラ
- well-organized observing strategy

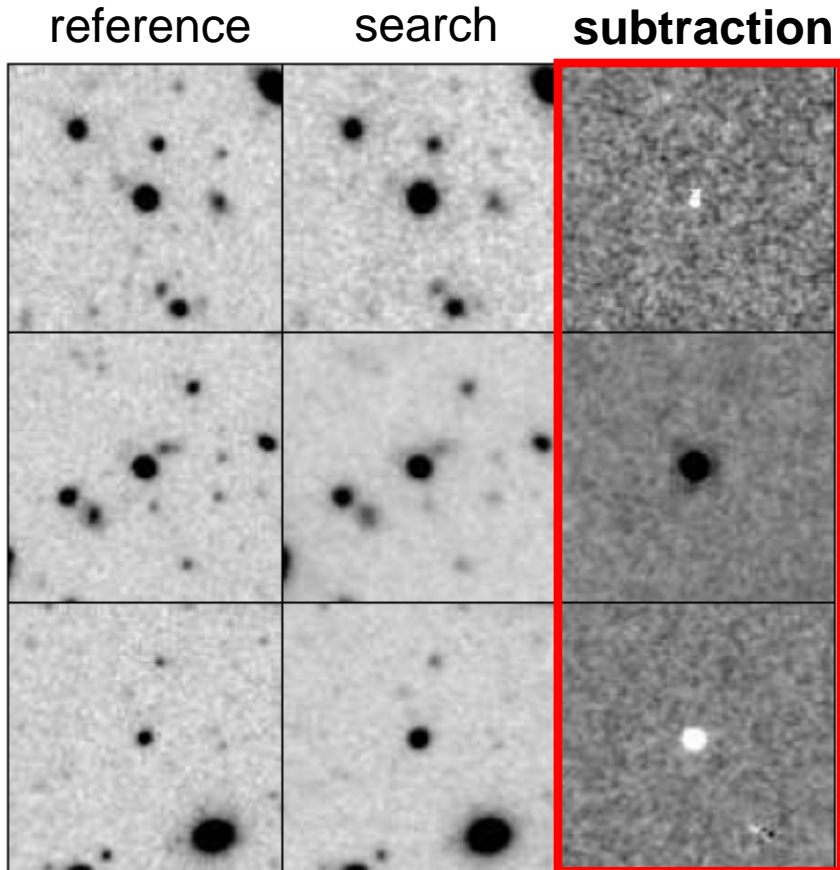
これまでは

- 単発プロポーザル+観測所プロジェクト(せいぜい~20晩@SDF/SXDS)
- Suprime-Cam (0.25deg²)

戦略的プロポーザル + HSC deep/ultradeep



Variability Detection



- 単純な測光では、AGN=広がった天体の中心にある点源の変化はわからない。

低光度AGN向き

←地上からだと星像の大きさ(seeing)が時々刻々変化するから

Image subtraction method

(Alard & Lupton 1998, Alard 2000)

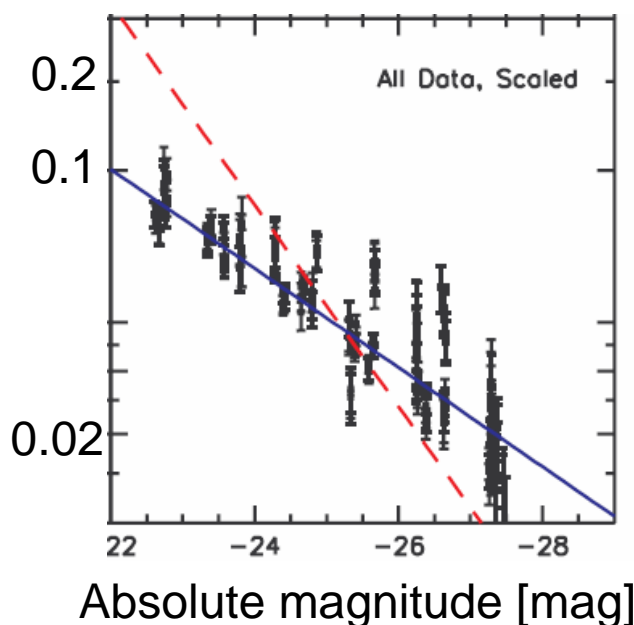
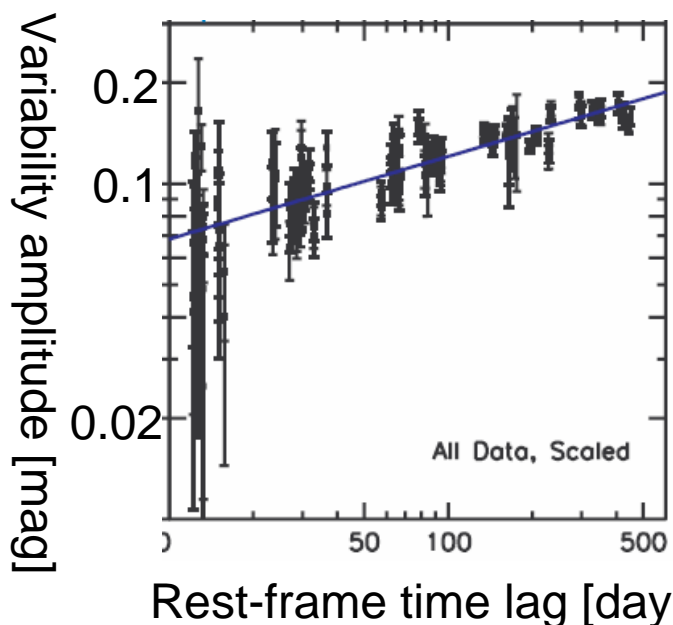
- 1,040 variable objects over 0.918 deg^2

- $\sim 600 \text{ AGN} / \text{deg}^2$

(TM+2008a,b)

Optical Variability of AGN

- ・ AGNはほとんどすべてが(detectableな程度に)可視変光 (Hawkins1993, Hook+1994, Giveon+1999, many SDSS studies ...).
- ・ 暗いAGNほどvariability大



Vanden Berk+2004

Optical variability can be a good tracer for low-luminosity AGN.

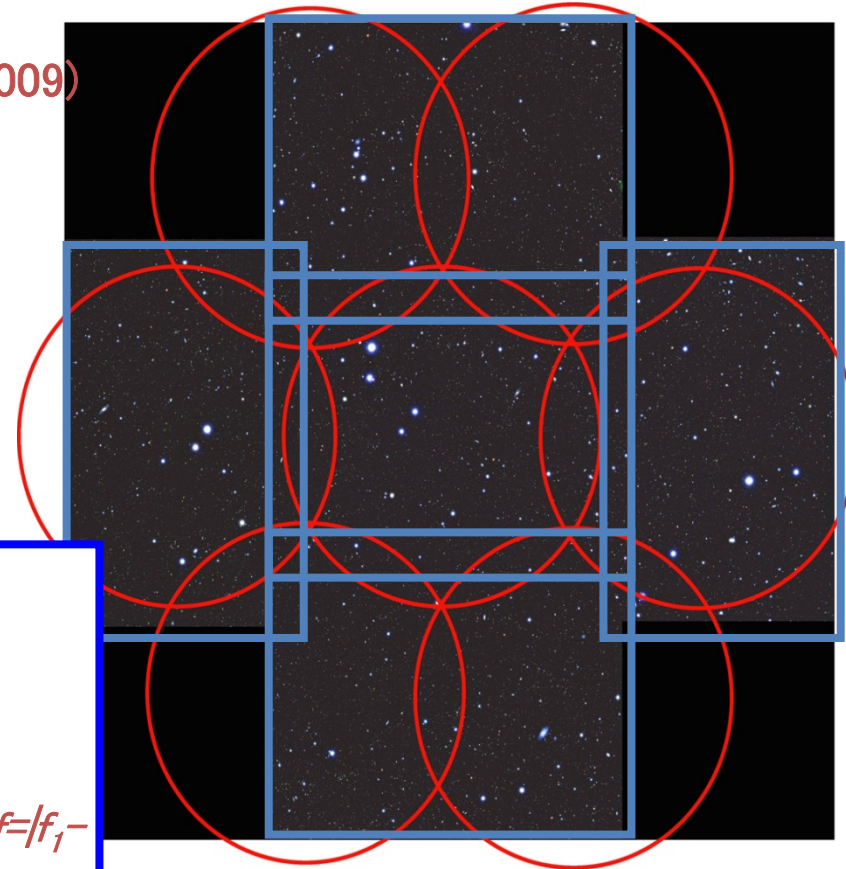
- Subaru (Suprime-Cam): Totani+2005, TM+2008a,b
- HST (WFPC2, ACS): Sarajedini+2000,2003,2006, Cohen+2006
 - ・ (low-luminosity) type-1 AGN (up to $z \sim 5$)
 - ・ ~ 580 AGN / deg^2
 - ・ significant fractions ($\sim 50\%$) of AGN w/o X-ray detections

古典的なカラー選択は低光度AGNには向かない

Subaru/XMM-Newton Deep Survey (SXDS)

- X-ray (XMM-Newton/EPIC, 50–100ks, Ueda+2009)
 - $1e-15 \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ @0.5–2.0keV
 - $3e-15 \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ @2.0–10.0keV
- 中間赤外 (Spitzer/IRAC)
 - 3.6 μm -band $\sim 22.0\text{mag}$
- 可視 (Subaru/Suprime-Cam, Furusawa+2008)
 - $B(28.2\text{mag}), V(27.2\text{mag}), R(27.6\text{mag}),$
 $I(27.5\text{mag}), z(26.5\text{mag})$

- 可視変光 (Subaru/Suprime-Cam, TM+2008a,b)
 - multi-epoch 8–10 times during 2002~2005
 - Timescale: 1 day – 3 years
 - $i_{AB} \sim 26\text{mag}$ (each epoch)
 - $i_{AB, \text{vari}} \sim 25.5\text{mag}$(変光成分フラックス=エポック間でのフラックス差 $\Delta f = |f_1 - f_2|$)



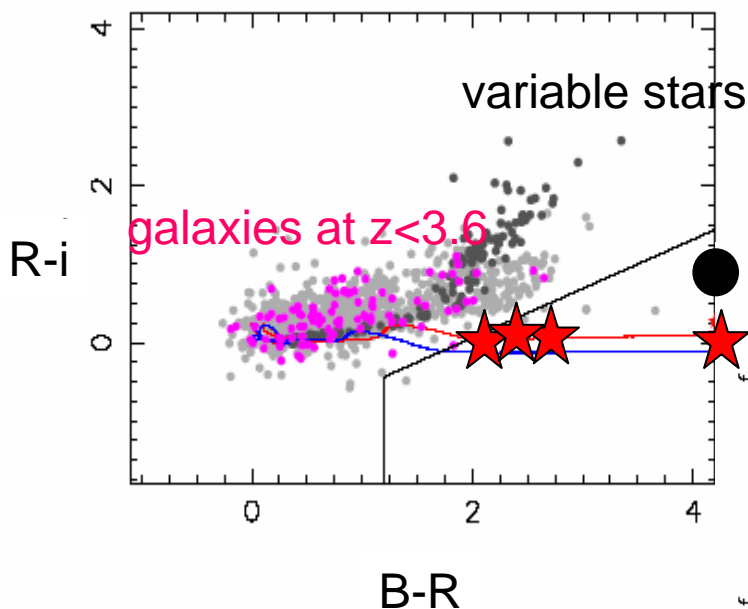
Suprime-Cam 5 fields

XMM-Newton 7 pointings

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

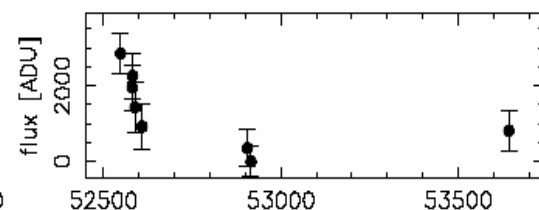
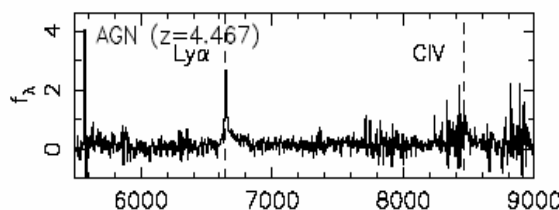
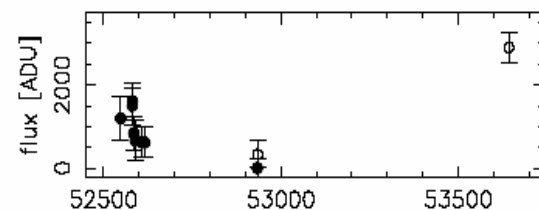
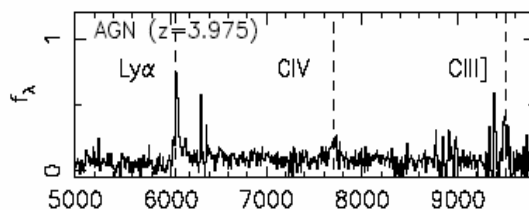
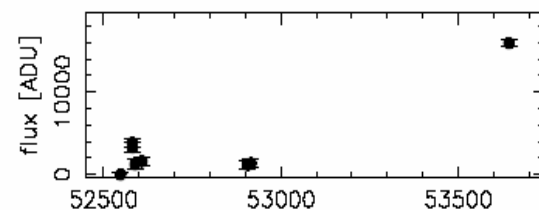
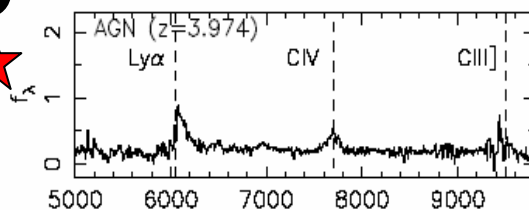
$(l, b) = (169^\circ, -60^\circ)$

High-Redshift Low-Luminosity Quasars

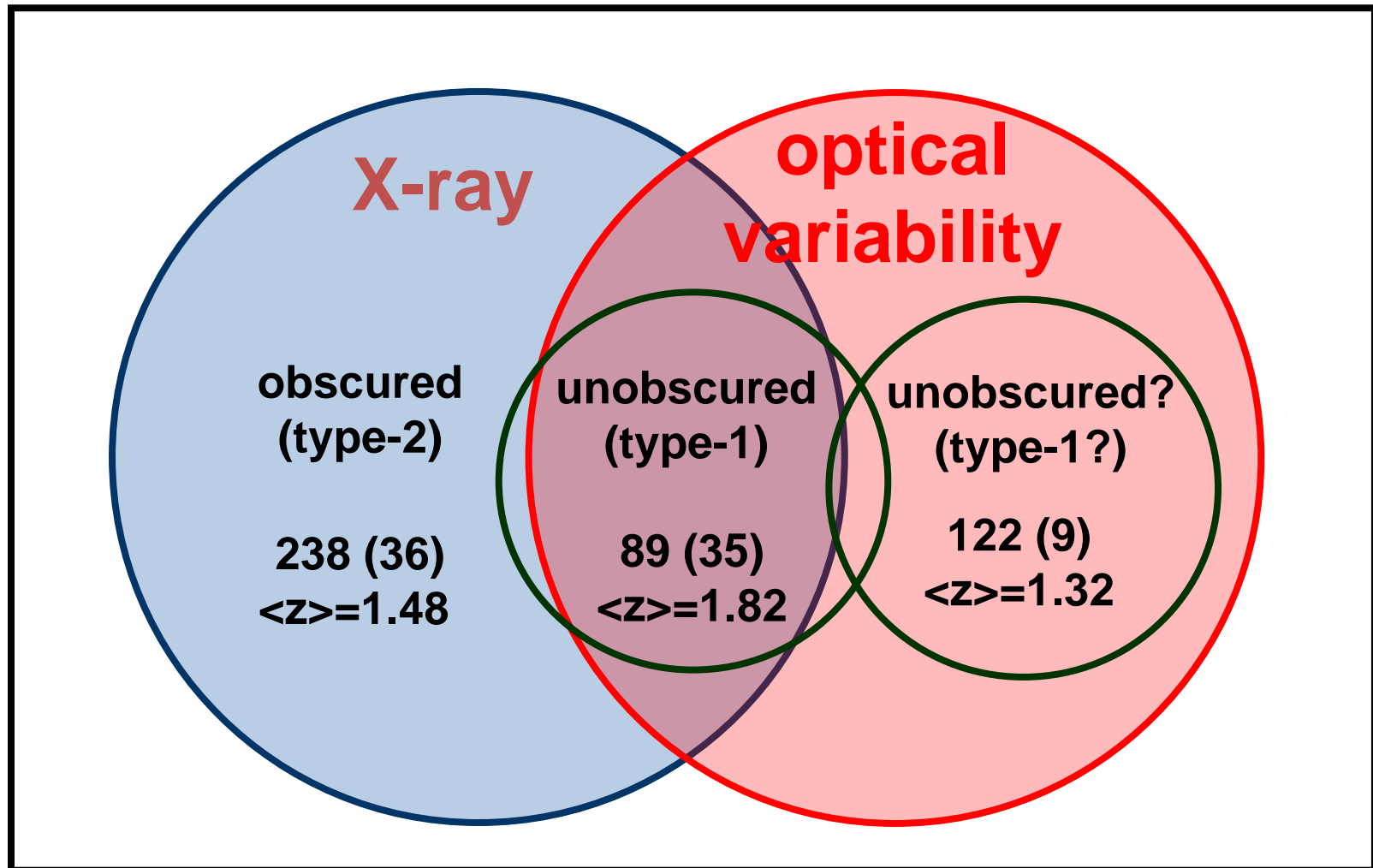


- 8-10 times over 3 years
- B-dropout & 可視変光@ SXDS (~1deg²): 5天体
- i=22-25mag
- X線検出は2天体
- 4天体は分光済。全部 $z \sim 4$ 。
- M1450 ~ -23mag

- “Dropout”選択はquasar以外にLBGがコンタミ。
- 暗くなると数密度はコンパラに。
- 変光はLBGからquasarを切り分ける強力なツール
- ただし、フラックスの”差分”を評価しないといけないので、あんまり深く行けない。



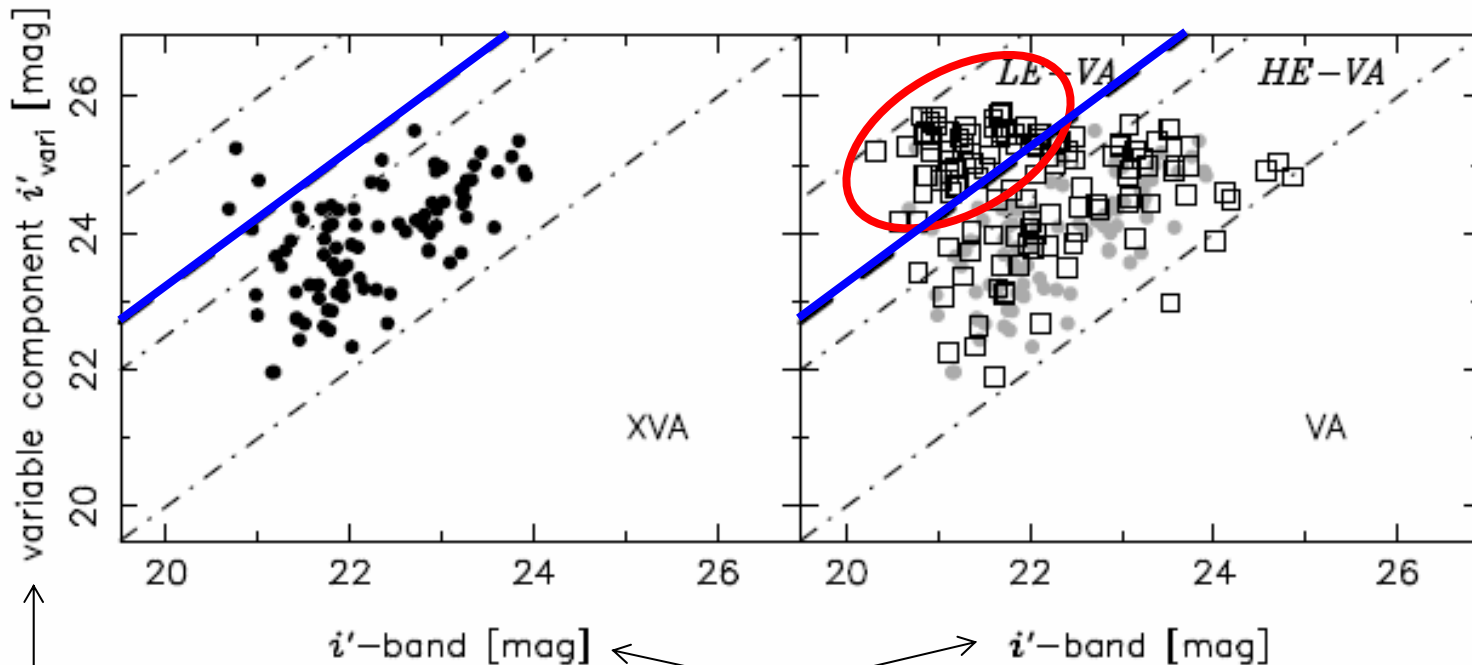
AGN samples



可視変光選択AGNの性質

X線○可視変光○

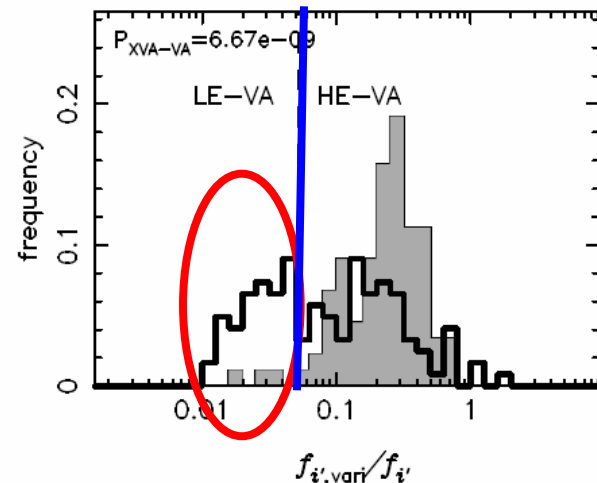
X線×可視変光○



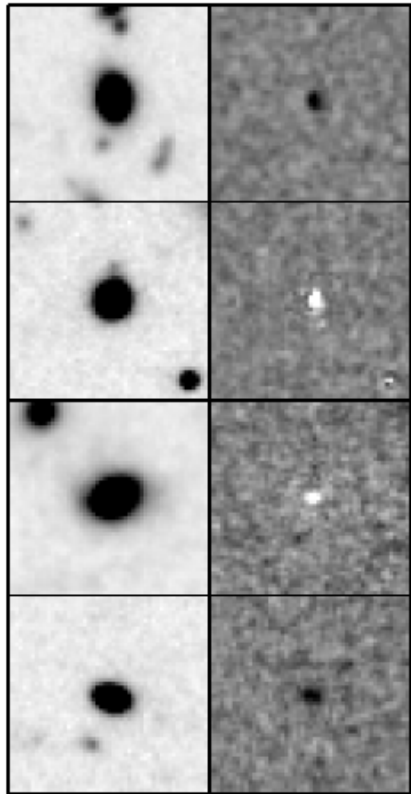
全体等級(母銀河含む)

最大光度と最小光度の差分フラックス
これが暗い ←→ AGNも暗い

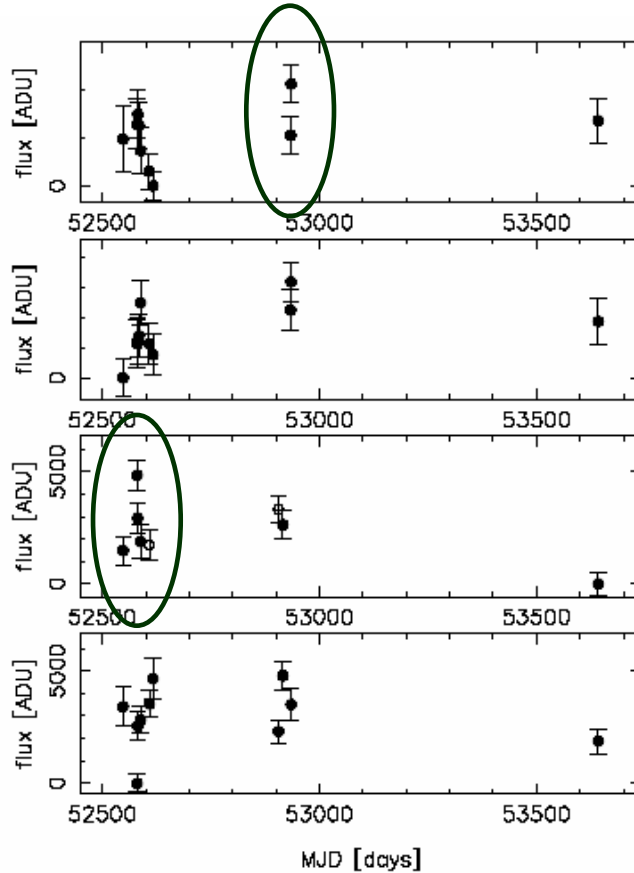
X線の受かっていない可視変光選択AGN
可視色選択でも×



Images & Light Curves



reference subtraction



3 years

- 明るい母銀河の中心にある暗い AGN (e.g. Totani+2005)
- 楕円銀河 at $z_{\text{photo}} \sim 0.5$
- フレア的な変動? radiatively inefficient accretion flow (RIAF)?
- radio-mode feedback?
- LINERに対応? (Maoz+2006)
- $\sim 10^8 M_{\odot}$ SMBHs
- 質量降着の最終段階?
- 5-10%がこのように変光検出。
- 全体では数10%?
- (変光検出効率がよくわからない...)

What is the nature of this kind of low-luminosity AGN???

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

Subaru/Suprime-Camでの 変光AGN探査で学んだこと

可視変光選択AGNの性質 (SXDS, ~ 580 AGN/deg²)

1. **X線選択と相補的**。X線 × 可視変光 ○ 天体も多数。
HST/WFPC2, ACSでも同様の結果。
2. **type-1**。 ← 統一モデル。降着円盤の変光。
3. **$z > 1$ はSeyfert/quasar境目程度の光度のAGN**を選択。
4. **$z < 1$ AGNの一部は、明るい母銀河(楕円銀河)の中心の低光度AGN**。AGN活動の終焉。radio-mode feedback? RIAF?

HSCができるとうれしいこと ~ high-z quasars ~

~40 deg², 6回(最低3回)/3yrs (HSC-"deep")

~3 deg², 10回(最低5回)/3yrs (HSC-"ultradeep")

主にizYバンド(変光用)、grも必要(カラー選択)

- 可視変光 + color 選択

SXDS (~1 deg²)で5天体@z~4

→ 200 quasars at z[^]3-6

- Lyman Break Galaxyとの区別

「point sourceならquasar」は正しいか?

+ Suprime-Cam撮像: z~6.4 quasars (Goto+2009)

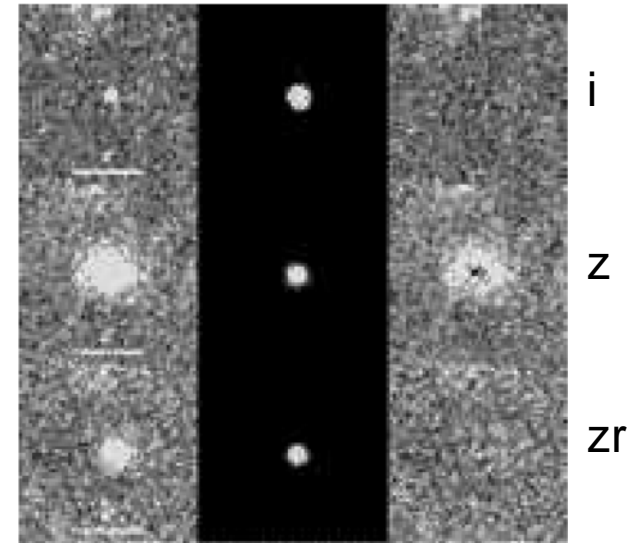
+ 少なくともSXDSz~4サンプルに対しては正しそう

CLASS_STAR: 0.92-0.99

- 主に低光度側の光度関数

- HSC wideでやろうとしているz>6 quasarサーベイには、可視変光というツールはたぶんあまり意味がない? ← 晩期型星も(brown dwarfも???)

変光



→ 広がった成分
||
母銀河
を検出

HSCができるとうれしいこと ~ low-z LLAGN ~

~40 deg², 6回(最低3回)/3yrs (HSC-"deep")

~3 deg², 10回(最低5回)/3yrs (HSC-"ultradeep")

主に(u)griバンド(変光用)、zYも必要(カラー選択)

深いX線データもほしい

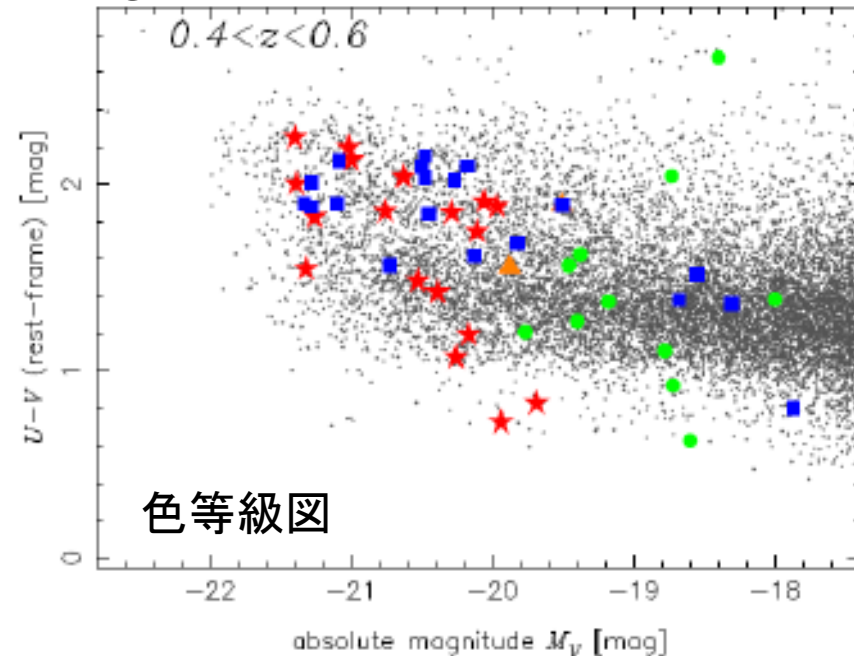
- z~0.5のLLAGN@楕円/大質量銀河
- X線選択type-2 AGNはred sequence?
- 可視変光選択は? green valley/blue cloudにも?
- 銀河団/フィールドでの違い?
- merging?
- 密度(環境)の関数として議論
- HSCでは ~1000天体

■ X線源 (ほとんどtype-2)

★ X線×可視変光○AGN(低光度AGN↑)

● X線×可視変光○AGN

▲ X線○可視変光○AGN



まとめ

- ・ AGNは紫外/可視で変光 → (主に低光度)AGNを見つけたい。
- ・ high- z (>4) quasarサーベイ → faint-end LF, 選択効率
- ・ $z < 1$ LLAGNサーベイ → 大質量銀河の進化、AGN成長最終段階
- ・ サーベイは $\sim 40 \text{ deg}^2$, 6回(最低3回)/3yrs (HSC-"deep")
 $\sim 3 \text{ deg}^2$, 10回(最低5回)/3yrs (HSC-"ultradeep")
 - + izYバンド(変光用)、grも必要(カラー選択)
 - + (u)griバンド(変光用)、zYも必要(カラー選択)
 - + 1回の積分は >30 分。総積分時間が減るならサンプリングを減らしたい。↔ 坂田くんのトーク@明日
 - + 深いX線データもほしい
 - + deepは $\sim 20 \text{ deg}^2$ でもいいかも?
- (u)grizYで変光サーベイ。CDF-N/Sなどのdeep X-rayサーベイエリア
- ・ フォローアップ: 可視(多天体)分光器(SUMIRE/PFS?, Keck/DEIMOS)やNIR撮像(UKIDSS?VIKING?)もあるとうれしい。