

HSC high-z QSO survey

柏川伸成（国立天文台）

1991年？

Q: SDSSで最も成果を上げるのはどの分野ですか？

A: 「high-z QSO」

2002年？

Q: SDSSで最も成果を上げたのはどの分野ですか？

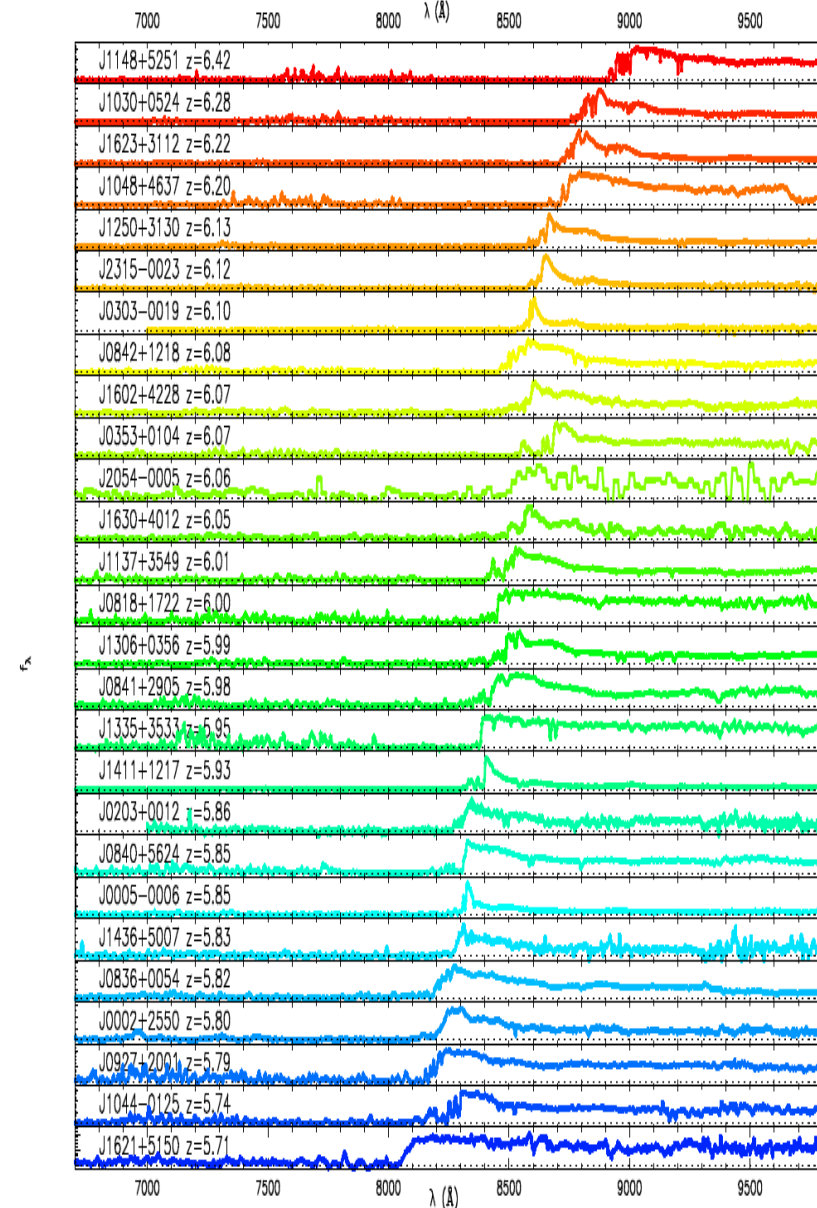
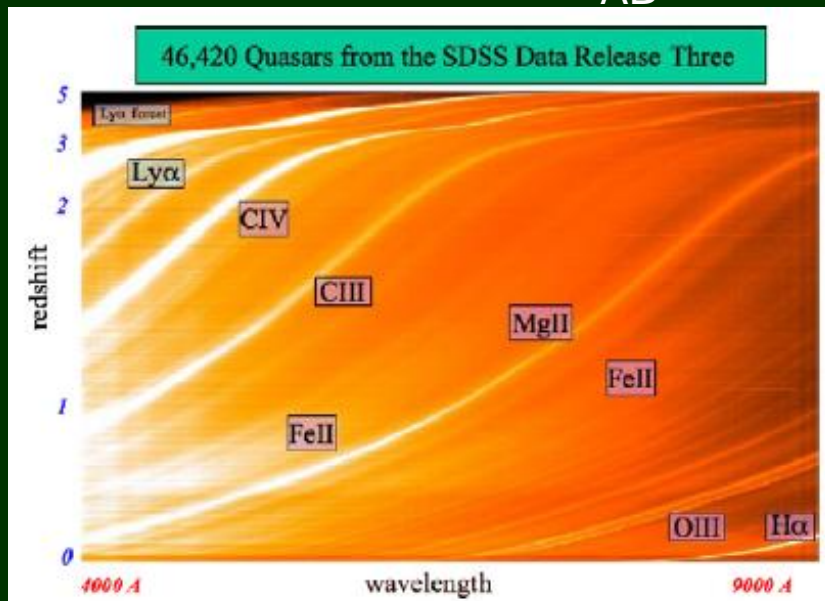
A: 「high-z QSO」

The study of high-z ($z > 6$) QSO probes:

- The 1-st generation Black Holes and Galaxies
 - Role of BH/AGN activity in galaxy formation
 - Star formation and BH feeding in the host galaxy
 - Metals in the IGM
- History of cosmic reionization
 - **When** did the reionization take place ?
 - **What** ionized the universe ?
 - **How** was the reionization process ?
 - Evolution of the UV ionizing background
 - Complement to LAE / WMAP / GRB / 21cm...

SDSS $z \sim 6$ QSOs

- $z > 4$: >1000 known
- $z > 6$: 19
- **SDSS i-dropout Survey:**
 - 7700 deg^2 , $z_{AB} < 20$
 - 27 QSOs at $5.71 < z < 6.42$
- **SDSS Faint QSO Survey (SFQS):**
 - 300 deg^2 , $z_{AB} < 22.5$
 - six $z \sim 6$ QSOs at $20 < z_{AB} < 21$



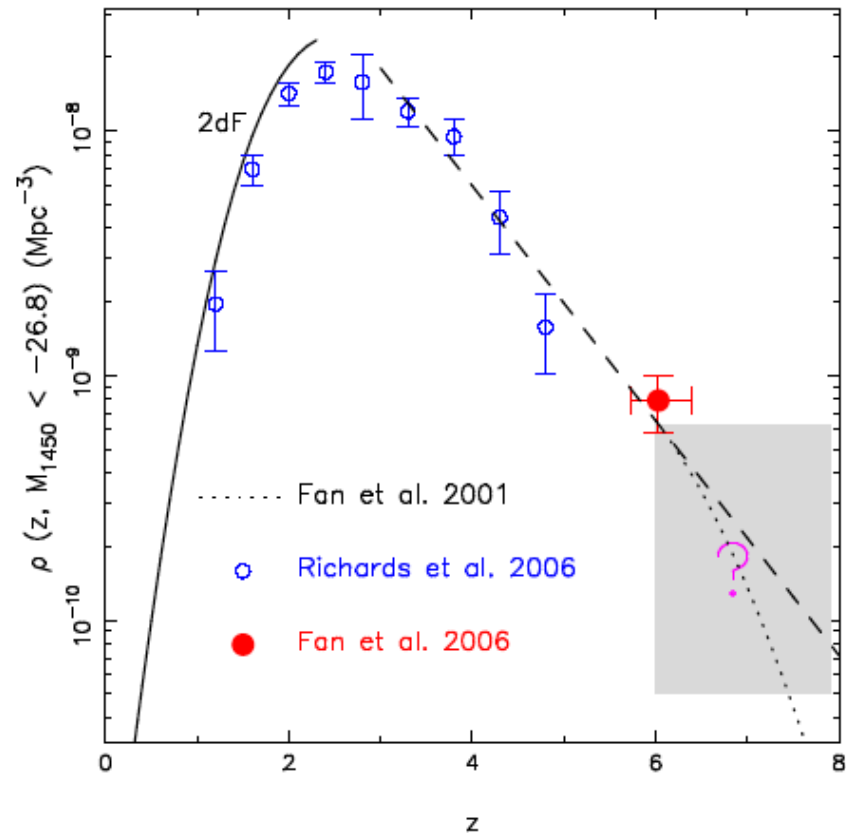
QSO number density

■ QSOの数密度はhigh-zで劇的($z=2.5 \rightarrow 6$ でfactor ~ 40)に減少する。

- reionizationのphoton budgetには十分な貢献ができない。
- しかしLFの暗い方まで探らないと正確な評価はできない。

■ QSOがいなくなるのはいつか？

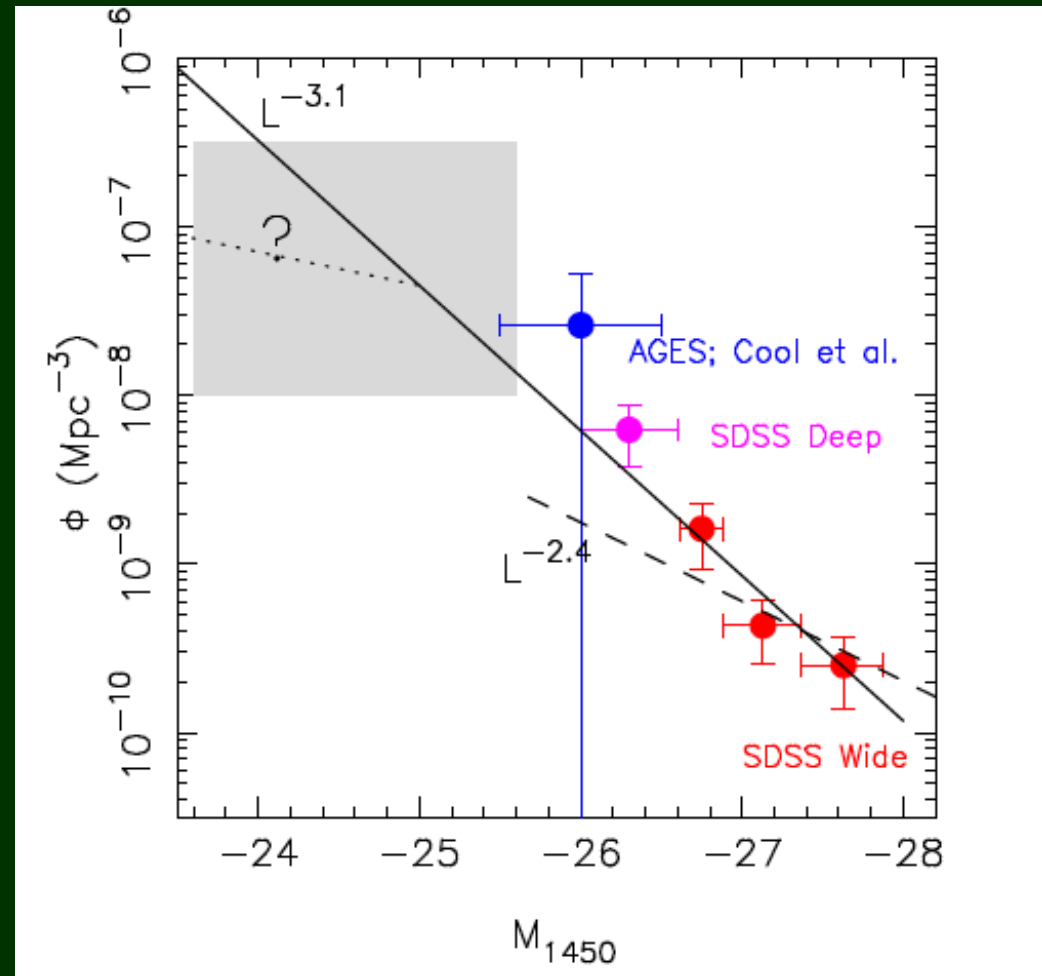
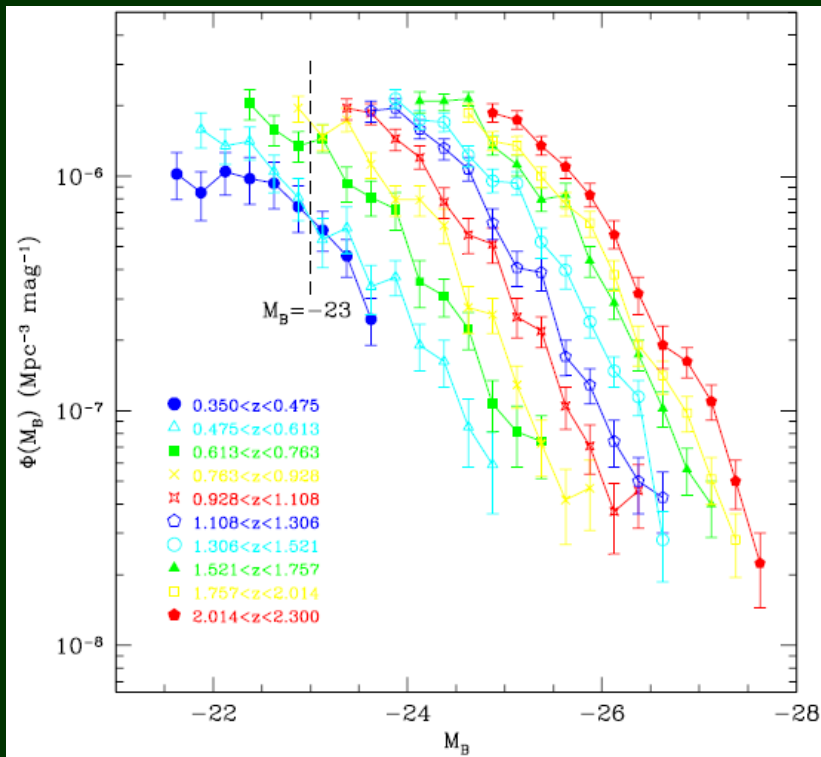
- $M_{\text{SMBH}} \sim 10^{8-9} M_{\text{sun}}$
- どうやってこんなmassiveな天体を最初の1Gyr以内に作るか？
- BH形成モデルと比較するためにも暗いQSOサンプルが必要。



QSO LF evolution

Steepening of LF

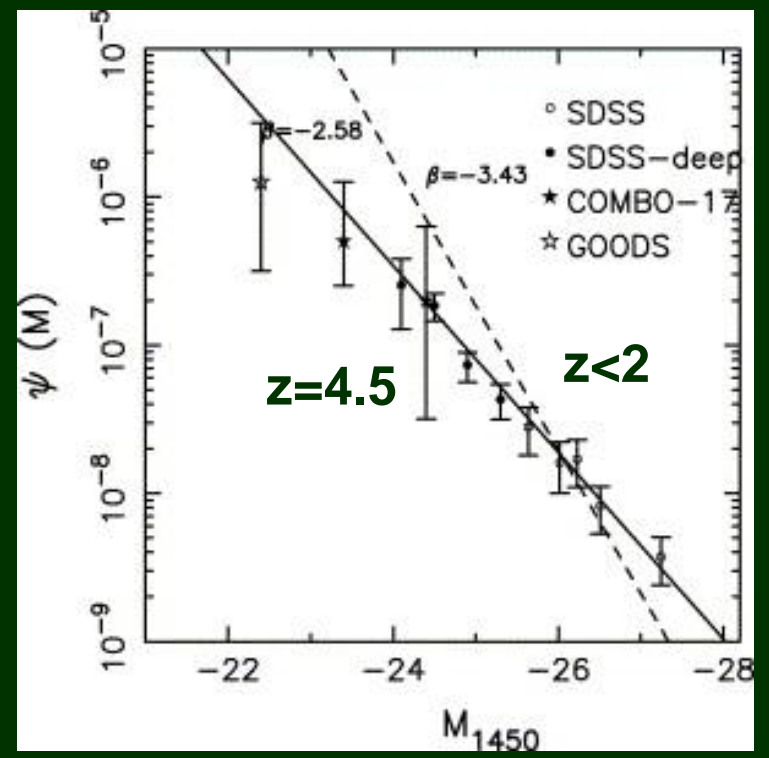
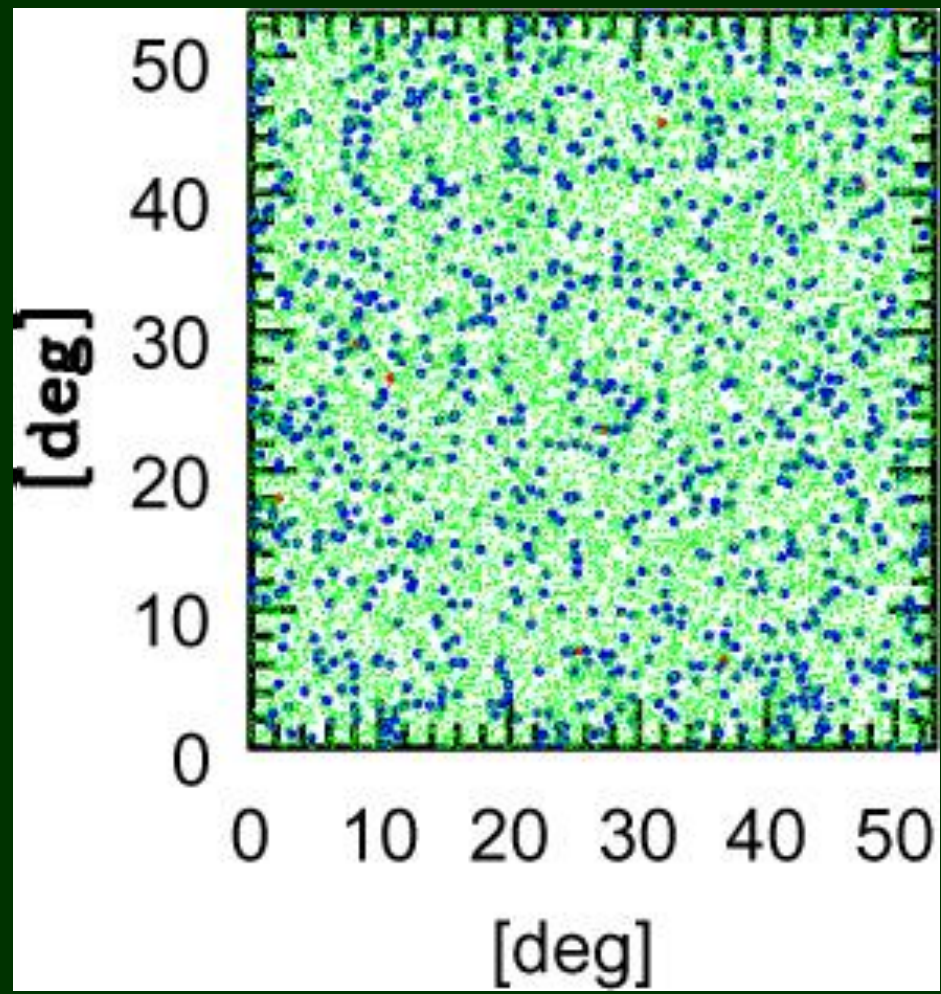
- $\Phi \propto L^{-3.1}$ at $z=6$
- Comparing to $\Phi \propto L^{-2.4}$ at $z \sim 4$



Jiang+ 08

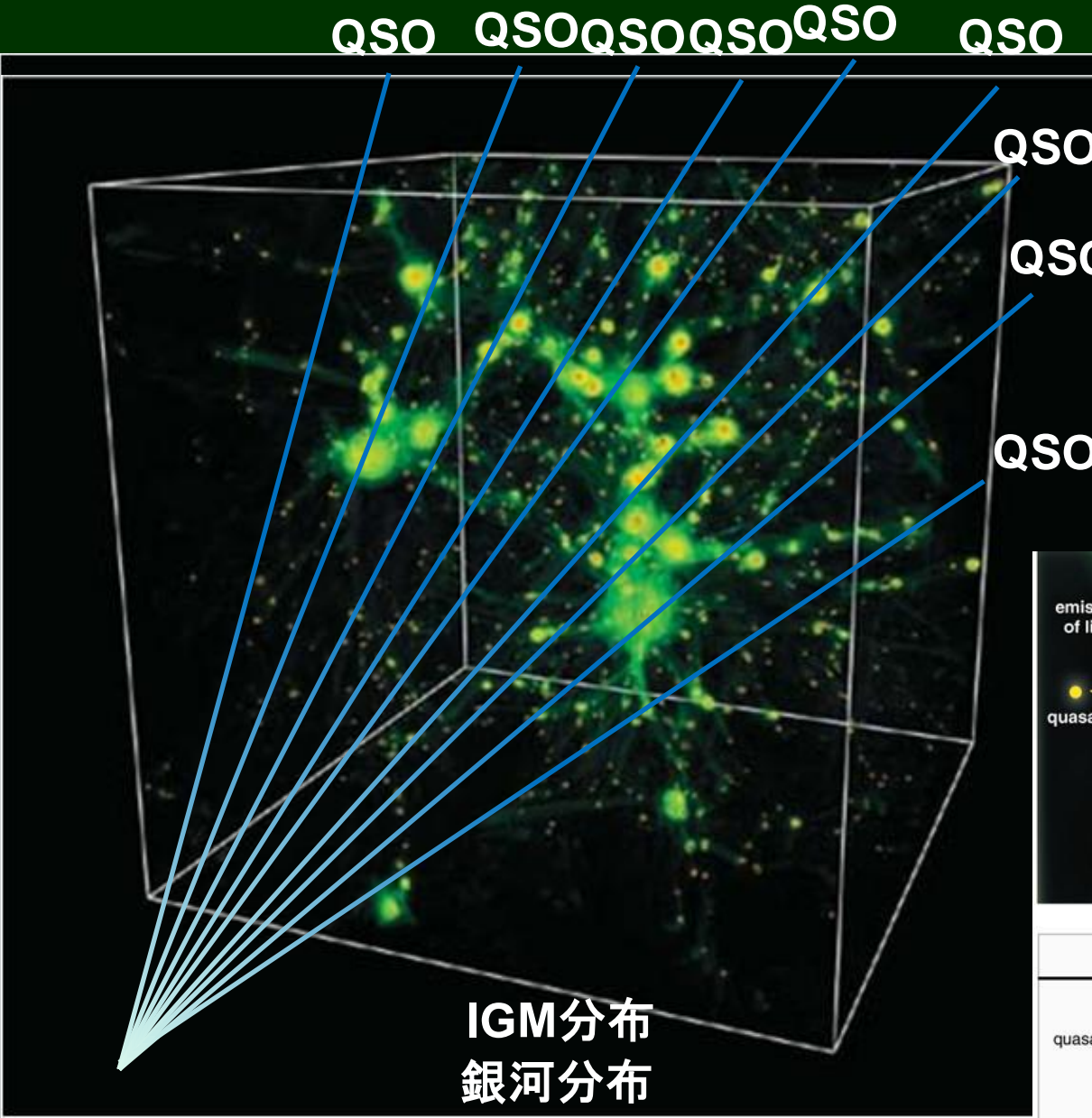
Faint QSO survey

- QSO steep LF \rightarrow 限界等級が3等下がると個数密度が2桁上がる。
- $z \sim 6$ QSOがちょうど $1h_{2.0}$ 個/HSC-FOV @ $z_{\text{mag}} < 23$
- $z \sim 4$ QSOは $100h_{2.0}$ 個/HSC-FOV @ $z_{\text{mag}} < 23$

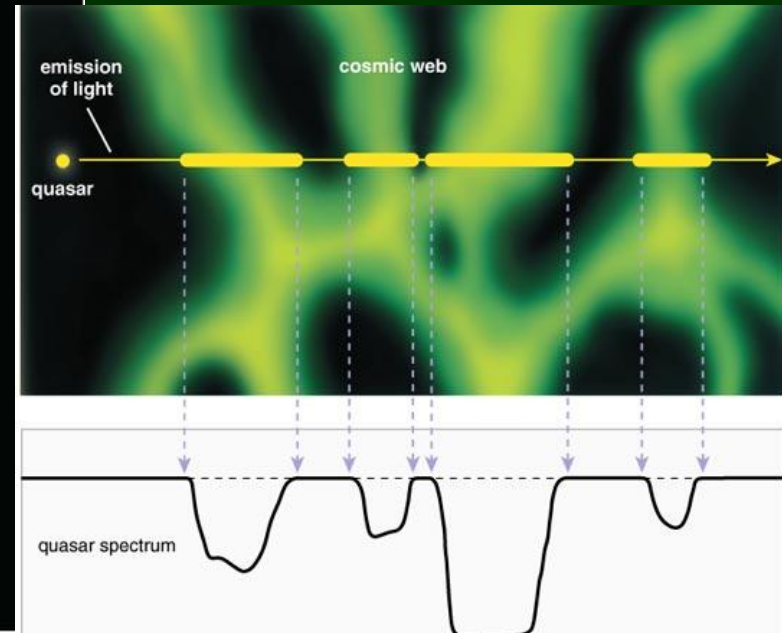


Fan 06

IGM tomography

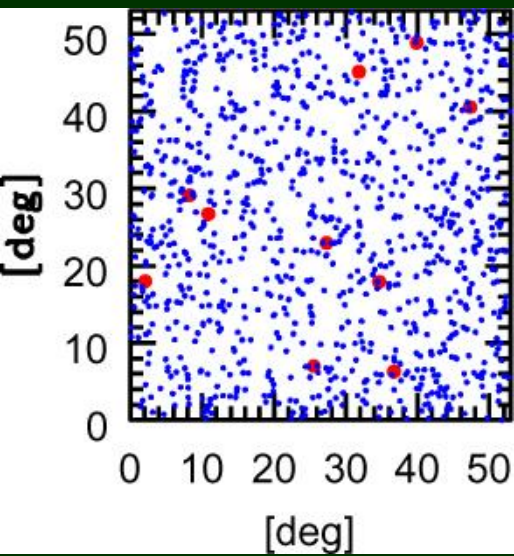


- LOS上しか分布がわからないというQAL最大の欠点を解消
- 背景光源の数密度が高くなれば、HI・metal・星・DMの3次元地図が描ける。

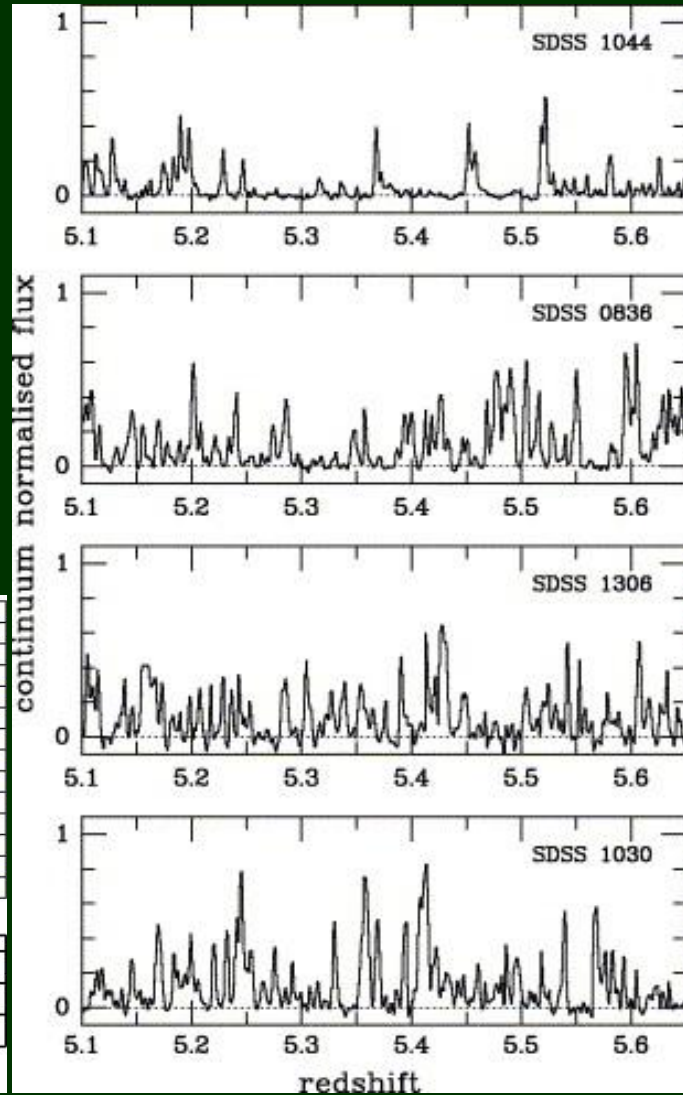
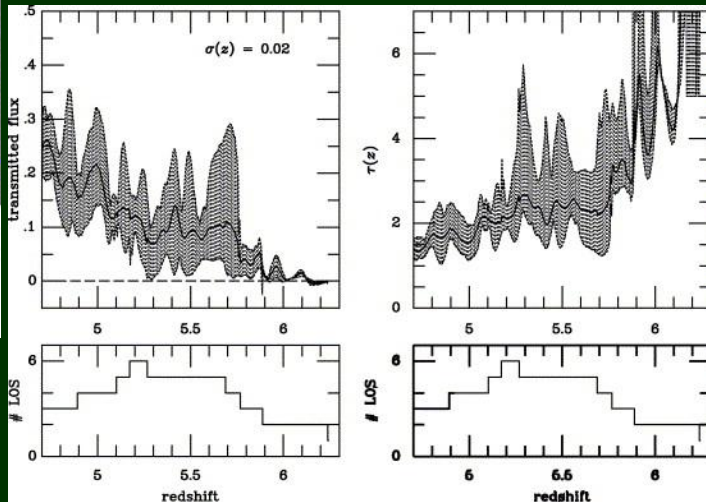


GP troughs in Faint QSOs

- $z \sim 6$ QSOs
- Large variance of GP trough among different QSO-LOSs
- Evidence for a clumpy reionization ?
- $z_{\text{mag}} < 22$ までではすばるで分光可能 ?
+30m望遠鏡で分光
→ mapping the IGM ionization

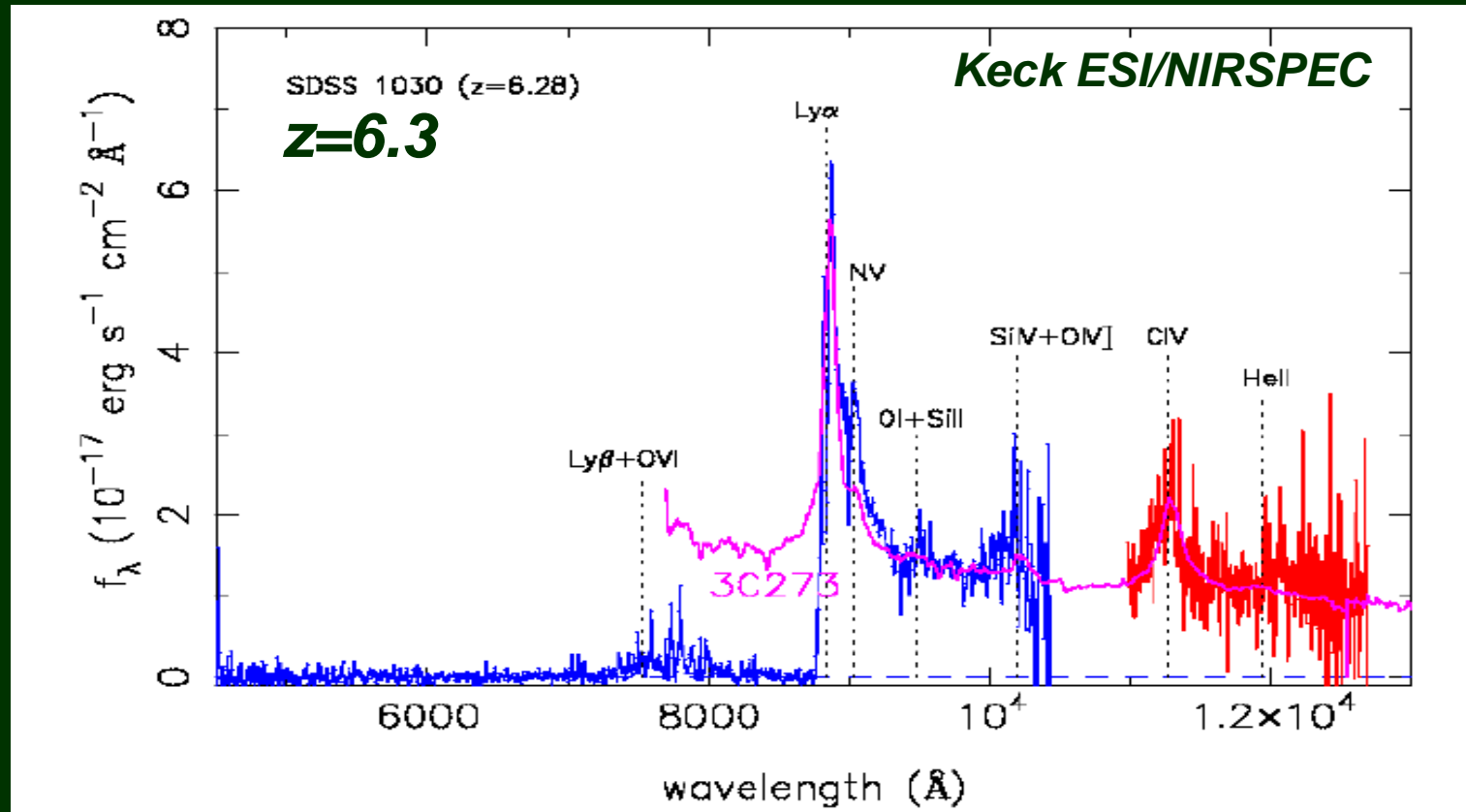


Djorgovski+ 06



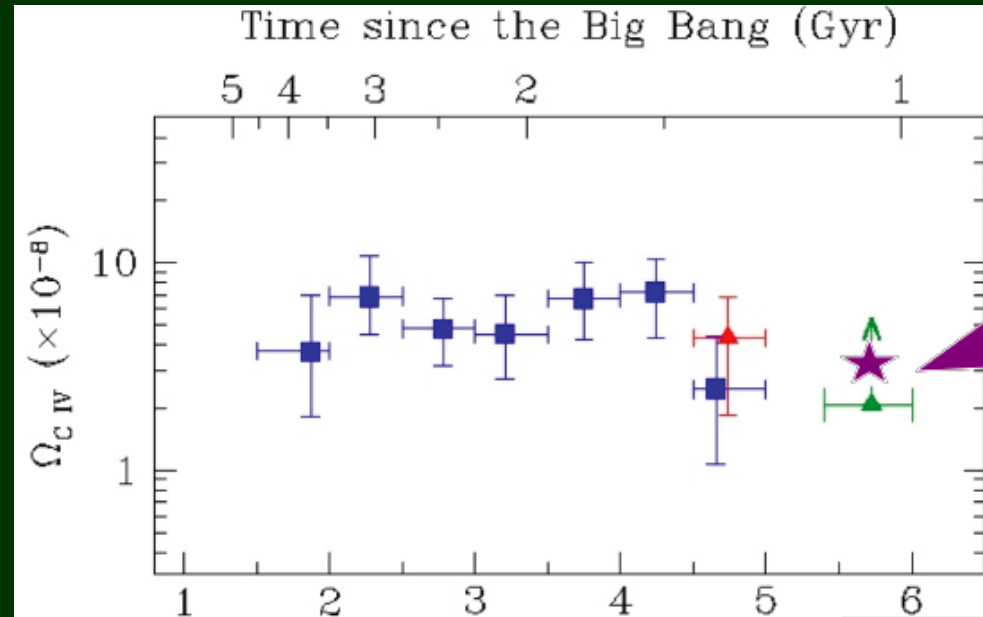
Metallicity of High-z QSOs

- $z=6.3$ でもlow-z QSOと同程度のmetalが。 Not yet the 1st QSO.
- NV/CIV $\sim 0.7 \rightarrow$ Supersolar metallicity at $z=6.28$ ($t \sim 0.8$ Gyr) ?
- High-z ($z \sim 7$) \Rightarrow SMBH及び星銀河の初期星形成史に十分制限を与える。

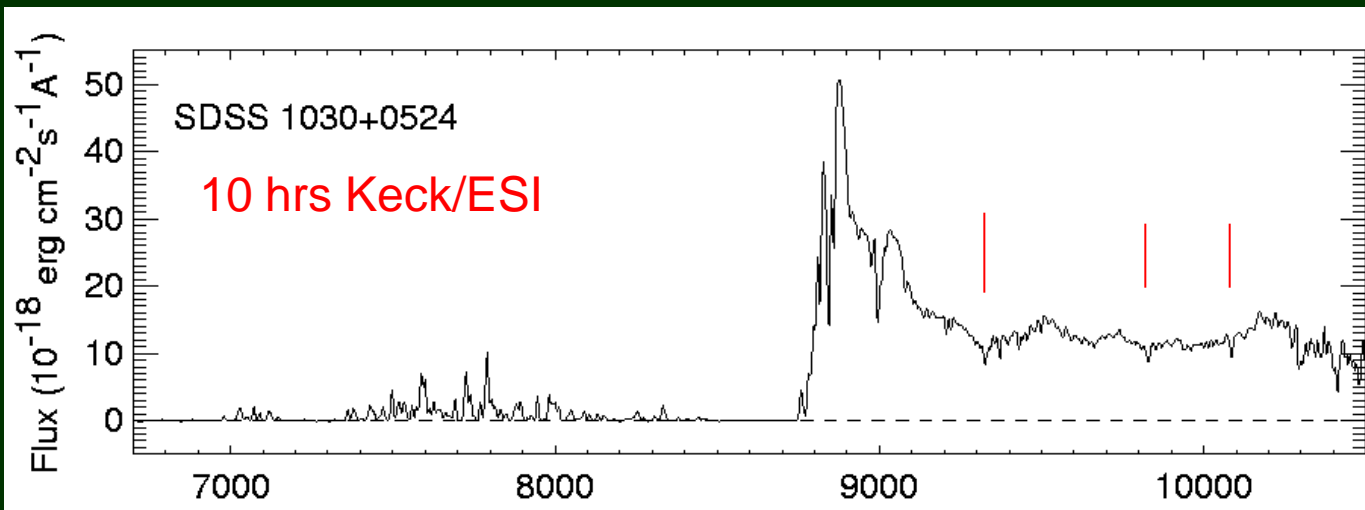


Evolution of IGM Metallicity

- IGM CIV metal density
- No evolution at $z=2-5(6)$
- IGMはずっと前 ($z \gg 5$) に金属汚染された? by the first (2nd) stars?
- NIR spec for the first IGM metals at $z > 6 \Rightarrow$ IGMの金属abundanceとイオン化状態 \Rightarrow the first QSO/the first starのモデルに制限。

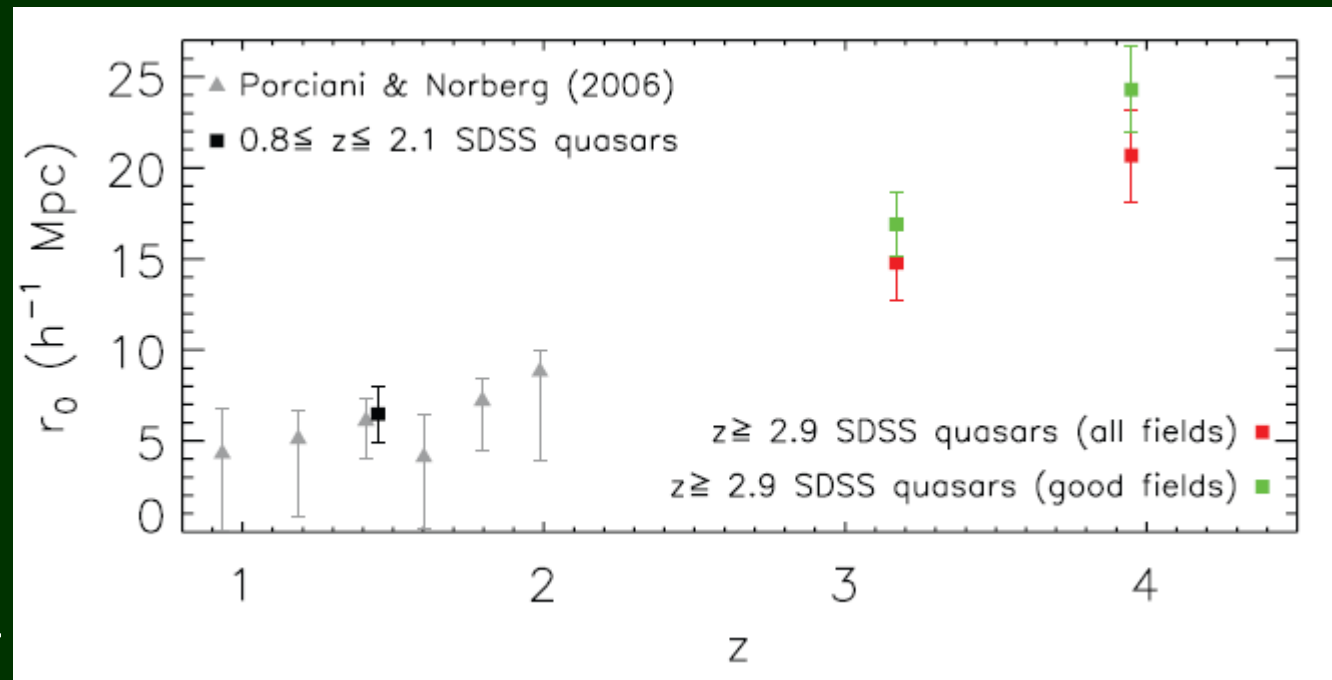


Pettini+ 03
Ryan-Weber+



QSO clustering

- SDSS 4426 QSOs @ $2.9 < z < 5.4$
- high- z QSOs are strongly clustered
 - ⇒ $M_{\text{DM}} \sim 2\text{-}3 \times 10^{12} M_{\text{sun}}$? @ $z < 3.5$
 - $M_{\text{DM}} \sim 4\text{-}6 \times 10^{12} M_{\text{sun}}$? @ $z > 3.5$
- high- z ⇒ reside in highly biased halos
- halo mass+ number density ⇒ QSO lifetime に制限
- 4-50Myr @ $z < 3.5$, 30-600Myr @ $z > 3.5$

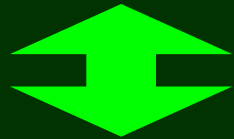


QSOと銀河の共進化

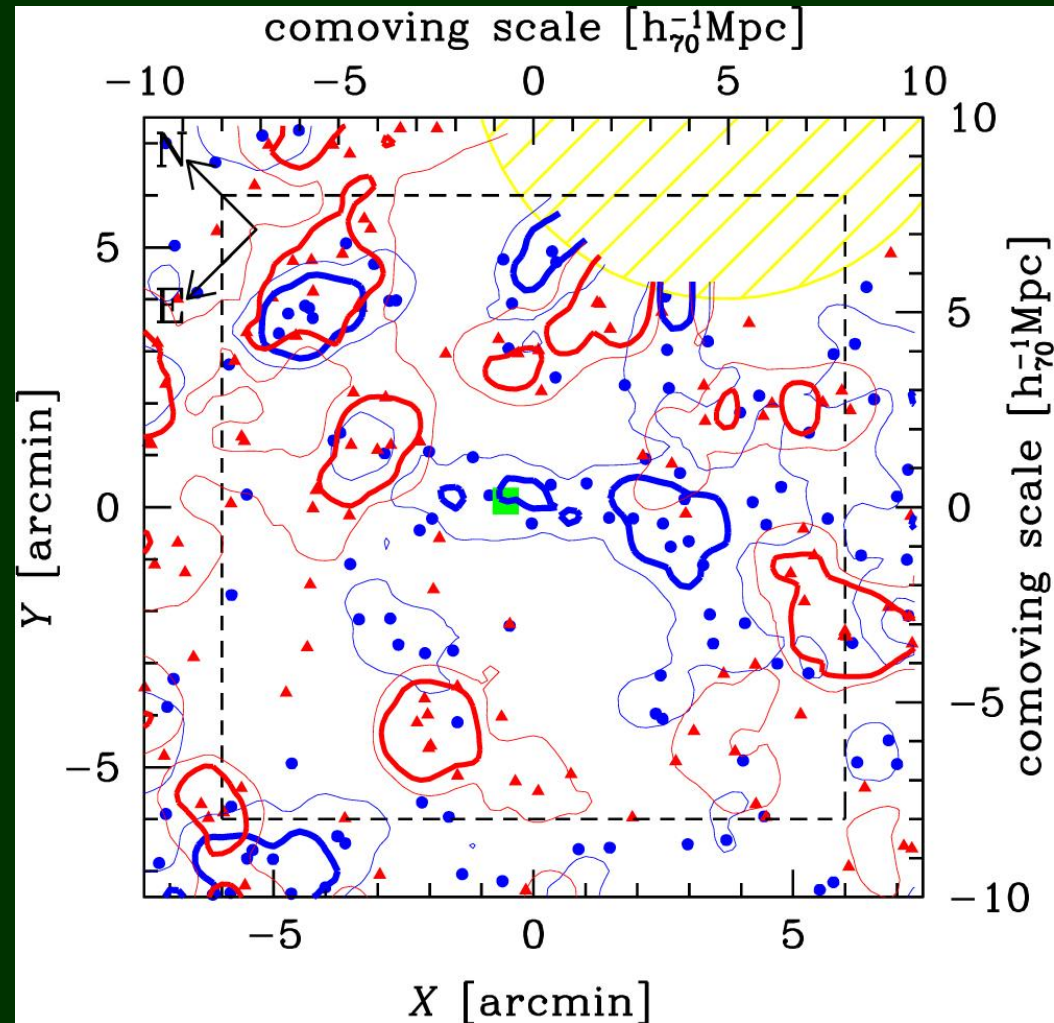
■ $z > 6$ で 10^{9-10} のSMBHがあると、 $z > 10$ からassemblyを始めないといけない。

■ QSO周囲に銀河のoverdensityがあるかないか？

高密度領域における初期銀河形成



強輻射場における銀河形成の抑制



What's next?

■ 現在のhigh-z QSO surveyの限界

- 一番明るいQSO(=最も重いQSO,銀河)しか検出できていない。
- LFのfaint endの進化、背景UV放射は完全にはわかっていない。
- 空間的に非常にsparse。大規模構造との関係などについて理解しにくい。

次世代望遠鏡(JWST・TMT)の分光観測を見据えた、8m望遠鏡によるfaint QSO/higher-z QSO探査が必須。

■ Faint QSO survey ($z \sim 6$)

- 普通の銀河にある普通のBHについての研究。初期SMBHモデルへの制限。
- 再電離時のQSOのイオン化光子への寄与。
- 再電離空間マッピング。
- QSO clustering

■ Higher-z QSO survey ($z \sim 7$)

- “The first QSO”。初期SMBHモデルへの制限。
- early metal enrichment

Search for high-z QSOs

■ $z \sim 6$: i' -dropout

■ M/L/T dwarfの混入が大問題。

■ $(i-z)$ vs. $(z-J)$

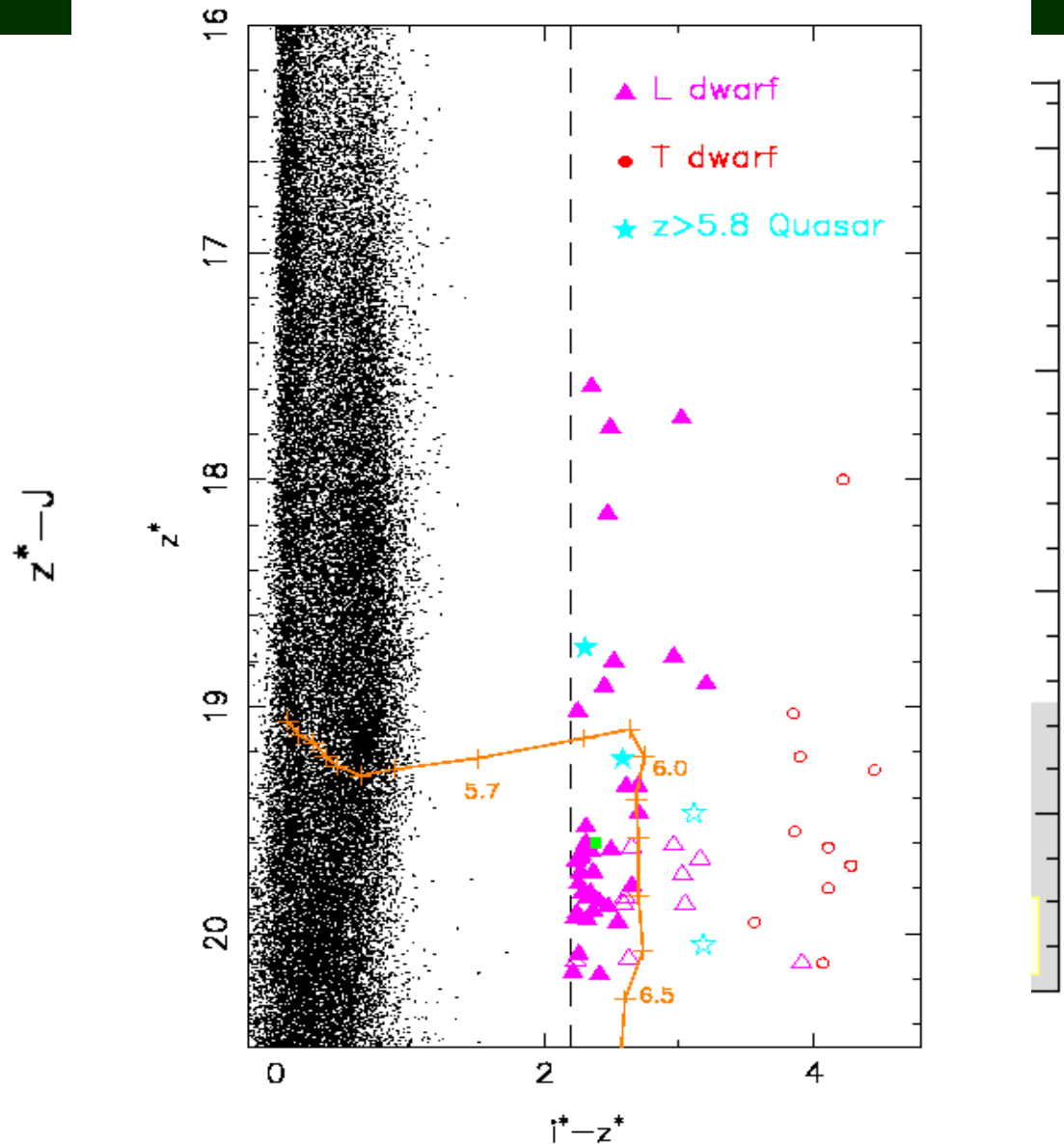
■ NIRのwide-field imageがない。

■ Follow-up IR photometryが必要。

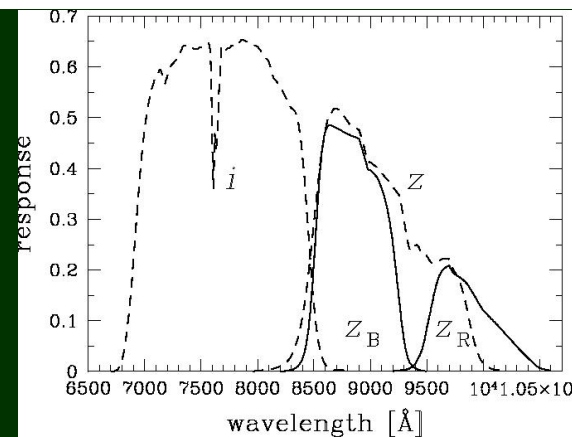
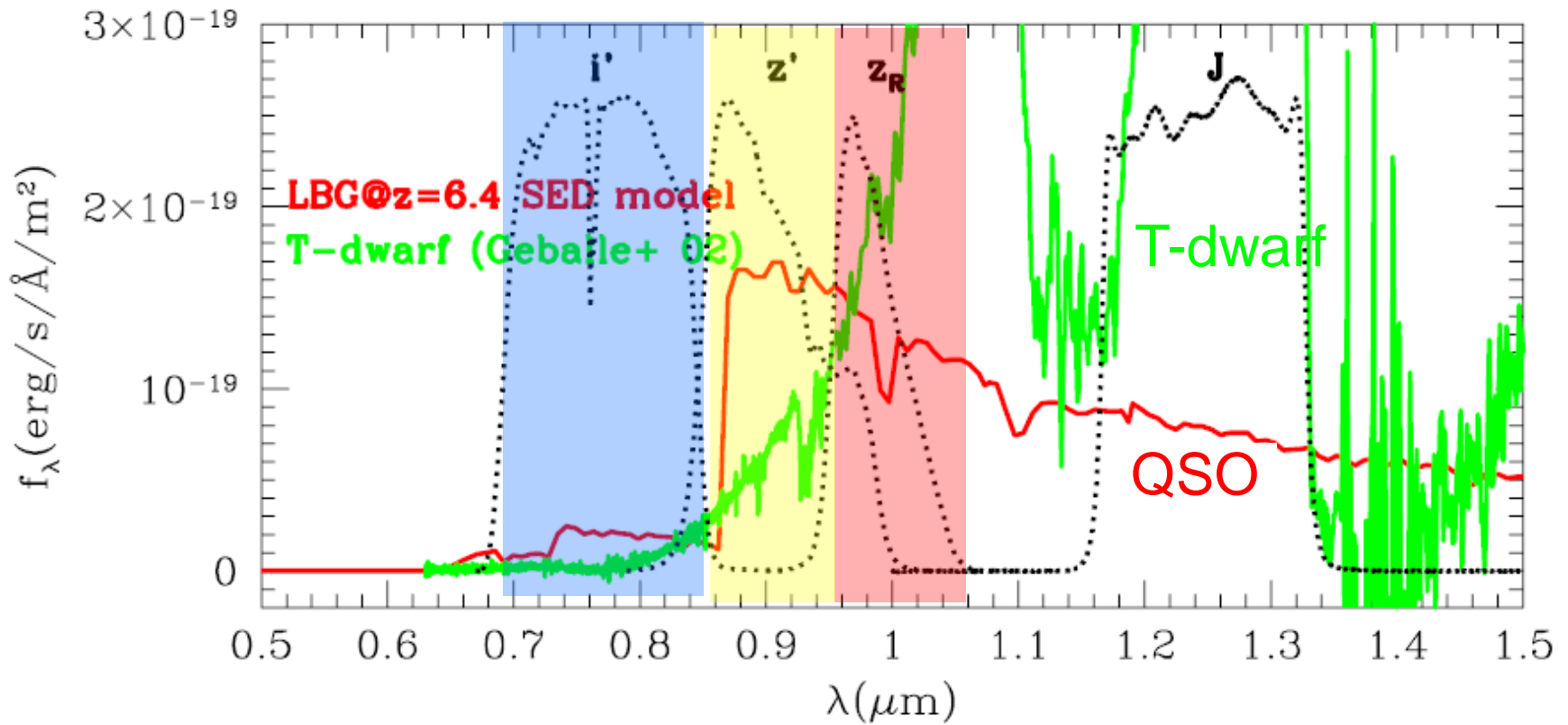
■ $z \sim 7$: z' -dropout

■ $(z-J)$ vs. $(J-H)$

■ 基本的に $z \sim 6$ と同じ問題をかかえる。

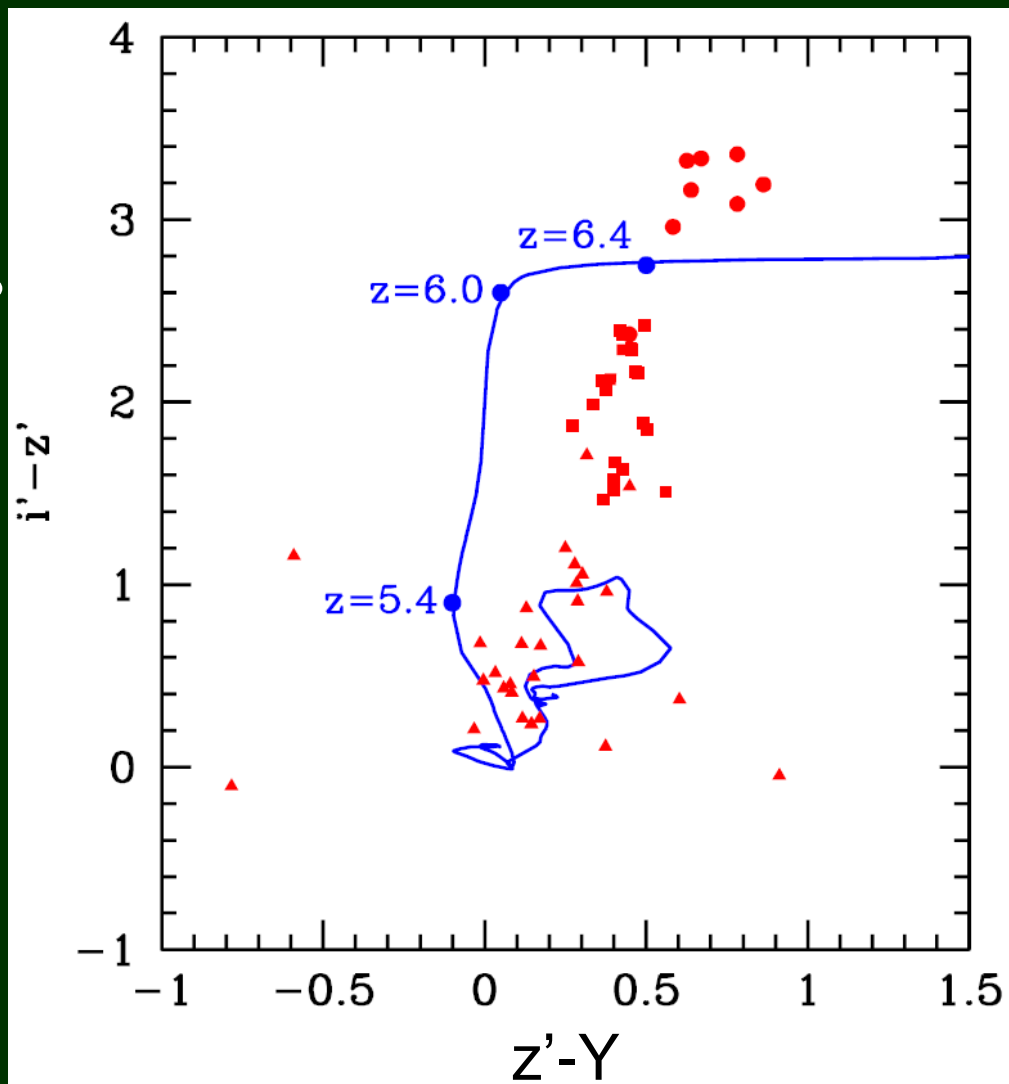


Y(zr)-band @ $z \sim 6$

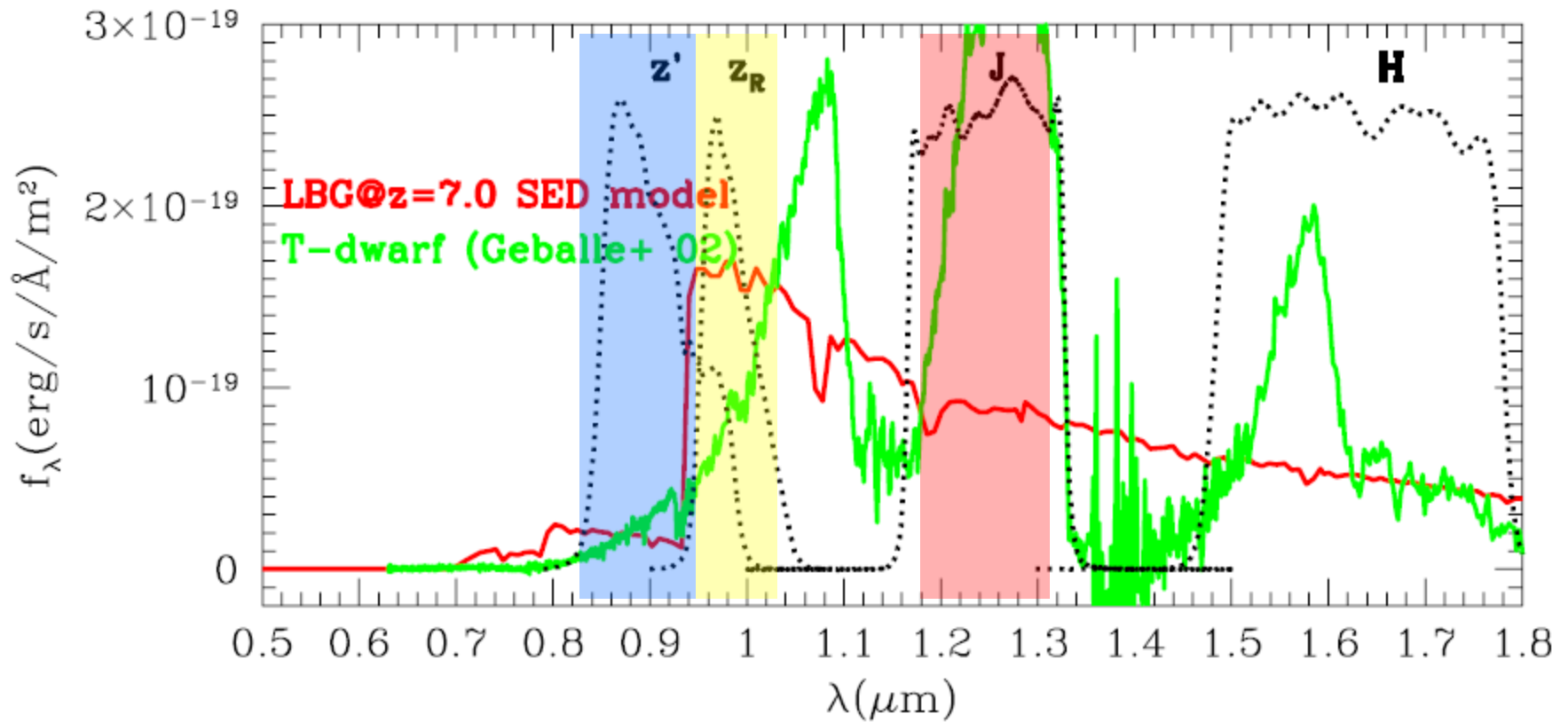


Y-band imaging @ $z \sim 6$

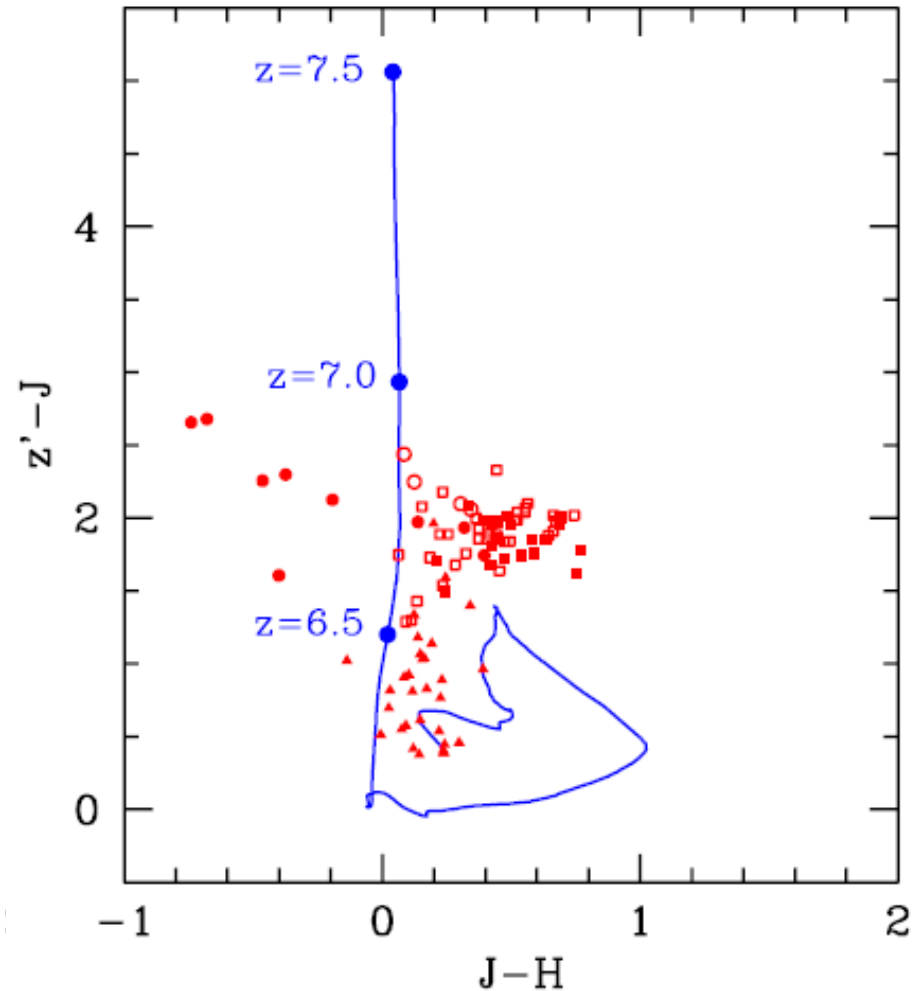
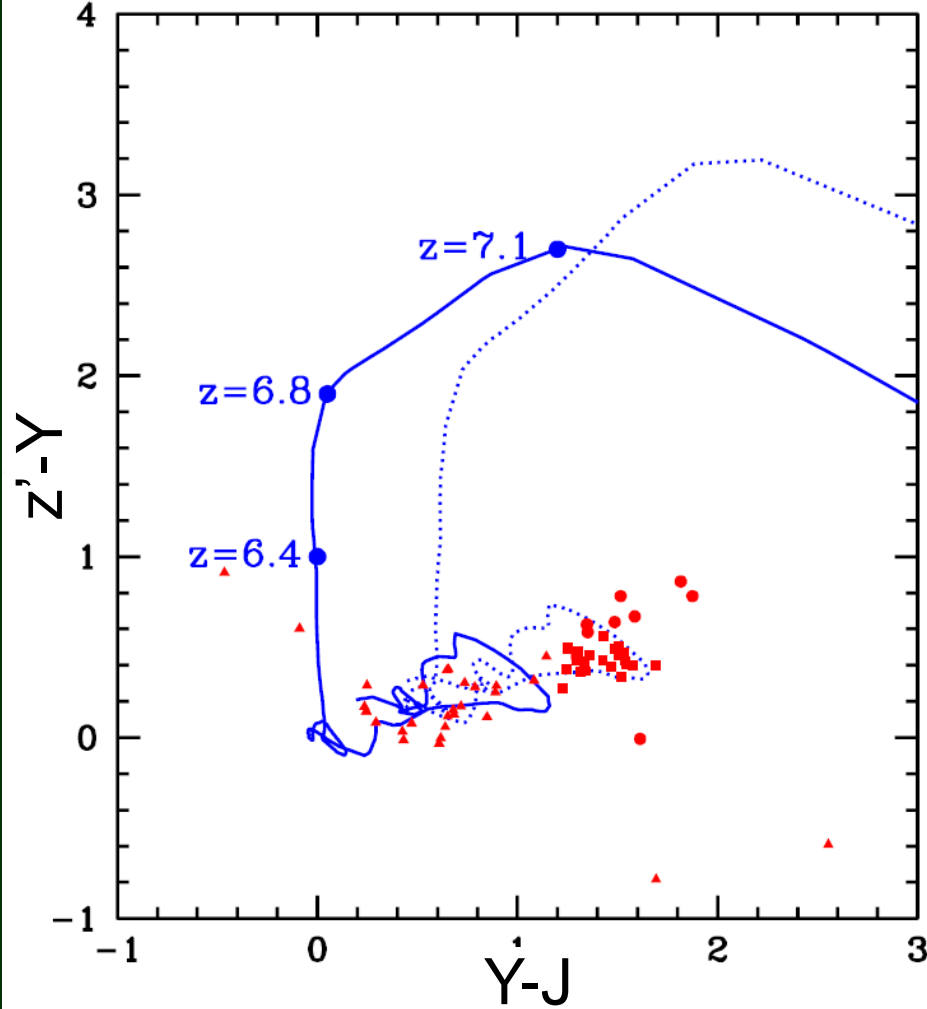
- NIR撮像必要ない！
- dwarfsとの分離も十分できる。
- 可視だけで十分深くできる。



Y(zr)-band @ $z \sim 7$



Y-band imaging @ $z \sim 7$



- dwarfsとの分離に極めて効果的。
- $J(H)$ の深さでサーベイ限界等級は決まる。検出確率を考えると Y だけfollow-upするのは非効率。

Expected number of high- z QSOs

■ $z \sim 6$: i' -dropout
 $i' - z' > 3 \text{ mag}$ 必要

■ Wide 2000sqdeg
 $Y < 22.8(23.7)$,
 $z' < 22.8(24.9)$, $i' < 25.8$

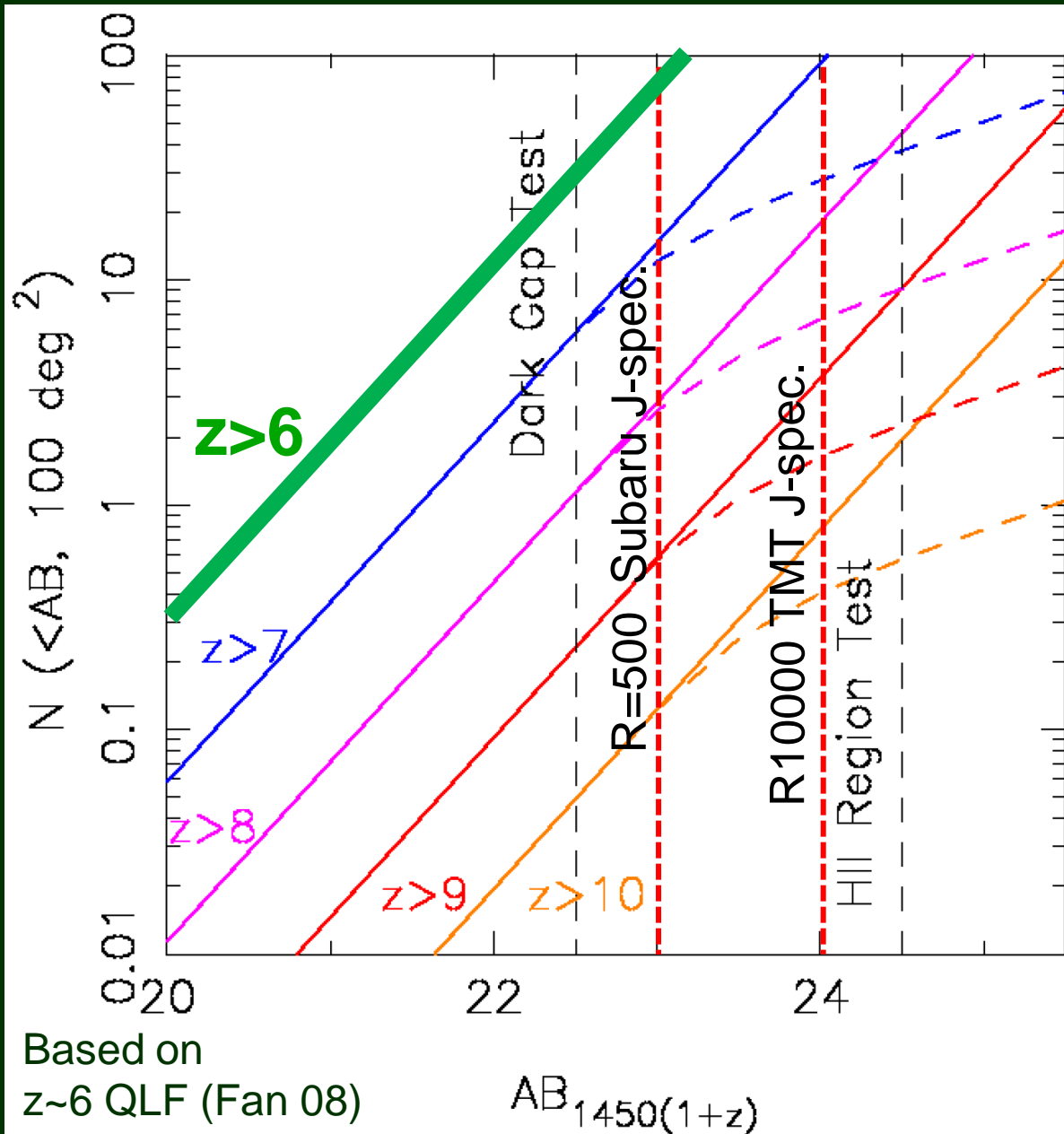
→ i' が深ければ数は
 もっと増える。

■ ~ 2000 個

■ Deep 40sqdeg

■ $Y < 24.2(24.6)$,
 $z' < 24.2(25.9)$, $i' < 27.2$

■ ~ 80 個



Expected number of high-z QSOs

■ $z \sim 7$: z' -dropout

$z' - Y > 1 \text{ mag}$ で十分

■ Wide 2000sqdeg

■ UKIDSS-LAS

$J < 21.0, Y < 22.0,$

$z' < 22.0$

■ ~ 8 個

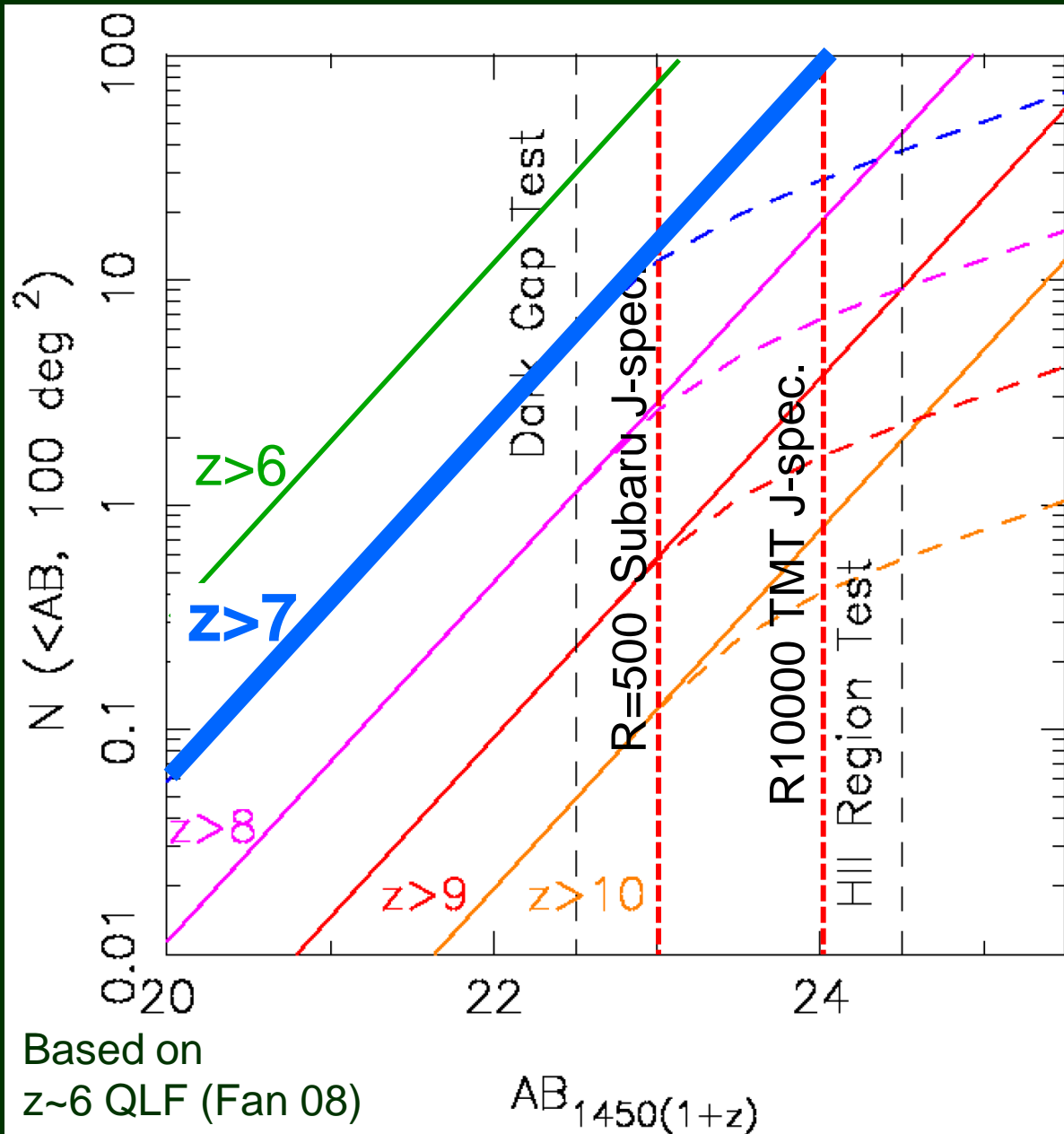
■ VISTA-VIKING

■ 780sqdeg

$J < 22.1, Y < 23.1,$

$z' < 23.1$

■ ~ 19 個



Expected number of high-z QSOs

■ $z \sim 7$: z' -dropout

$z' - Y > 1 \text{ mag}$ で十分

■ Deep 40sqdeg

■ UKIDSS-DXS

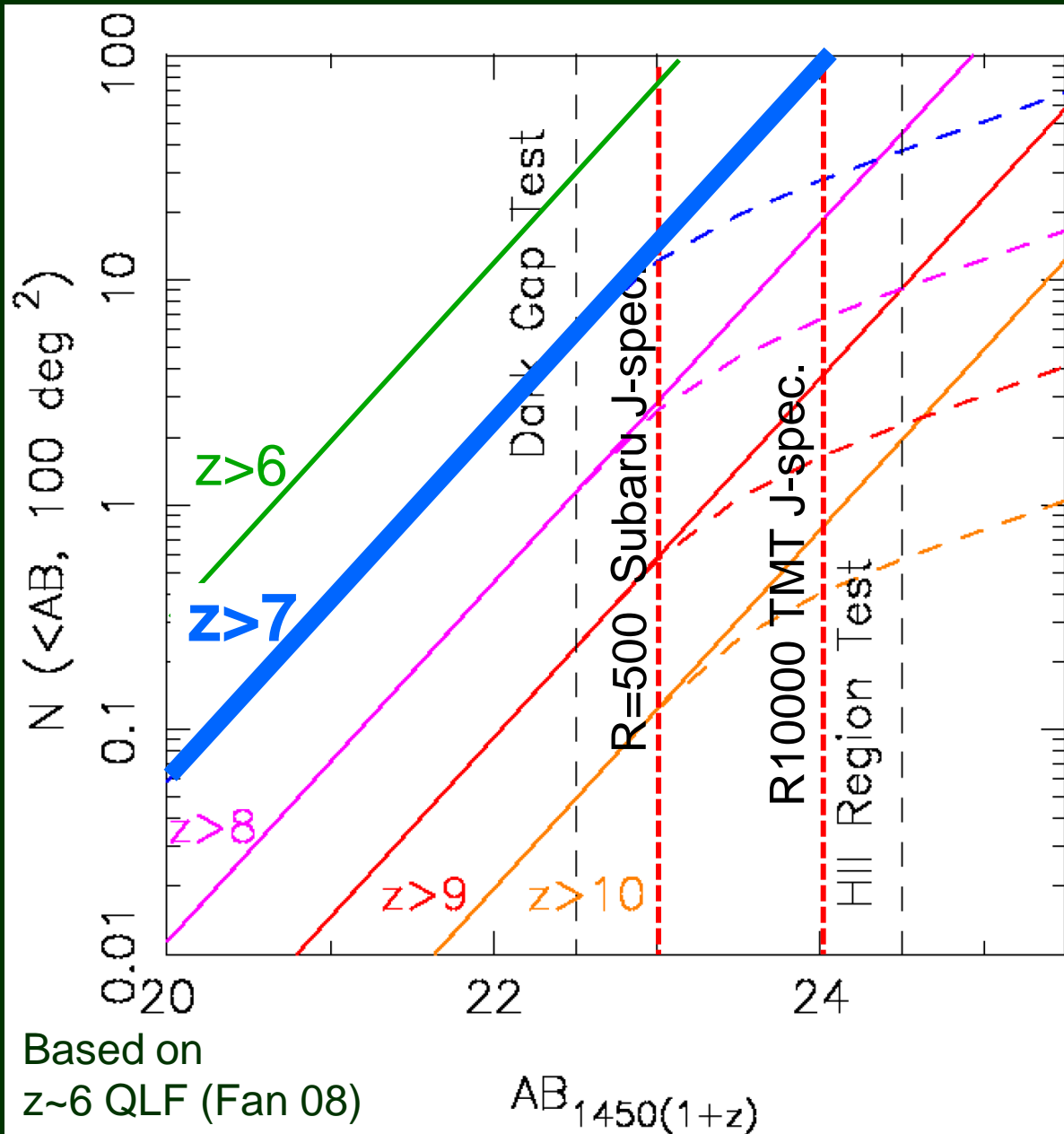
$J < 23.5$, $Y < 24.5$,

$z' < 24.5$

■ 6 ~ 16個

(09共同利用で開始

→ 石崎's talk)



Expected number of high-z QSOs

■ $z \sim 8$: Y-dropout

Y-J > 2mag 必要

■ UKIDSS-LAS(2000)

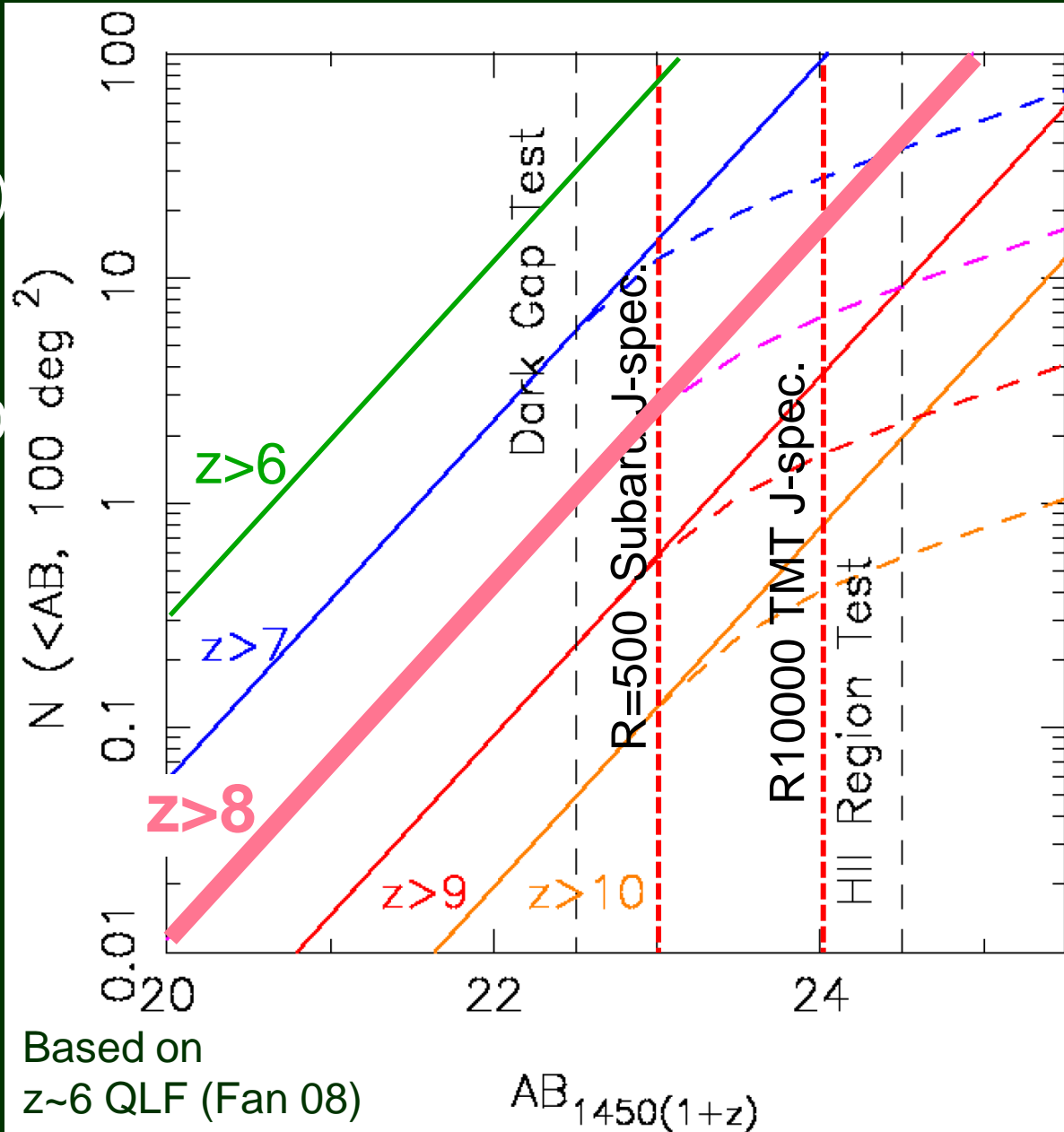
H < 20.0, J < 20.0,
Y < 22.5 ~0.2個

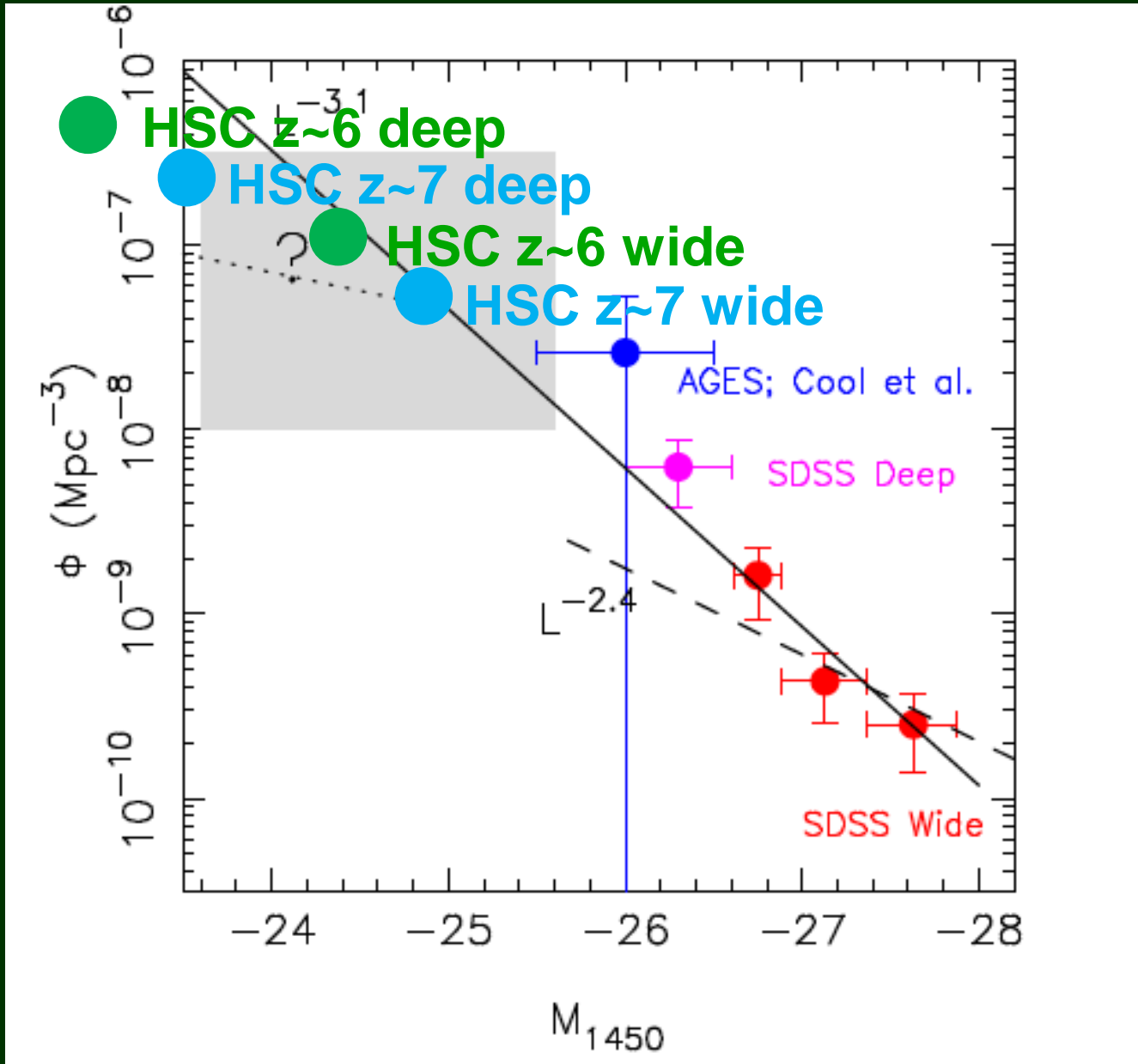
■ VISTA-VIKING (750)

H < 21.5, J < 21.5,
Y < 23.5 ~1.5個

■ UKIDSS-DXS(40)

H < 23.0, J < 23.0,
z' < 25.0 ~1.2個





HSCで行う $z\sim 6$ & $z\sim 7$ QSO survey

- Targets:
 - $z\sim 6$ QSOs 2000個 ($m_{1450(1+z)} < 22.8$), 80個 ($m_{1450(1+z)} < 24.2$)
 - $z\sim 7$ QSOs 8個 ($m_{1450(1+z)} < 21.0$), 6-16個 ($m_{1450(1+z)} < 23.5$)
- Sciences (w/TMT·JWST)
 - QLF (SMBH, photon budget) $\rightarrow z=6, z=7, \text{faint QSOs}$
 - IGM opacity mapping proved by GP $\rightarrow z=6, \text{space density}$
 - metallicity 進化 ($5 < z < 7$) $\rightarrow z=7(6)$
 - QSO clustering $\rightarrow z=6, \text{halo mass, lifetime}$
 - QSO周囲の銀河団形成 $\rightarrow z=6(7)$
- HSCのオリジナリティ?
 - Y-band
 - LBT/LSSTが同様にred-sensitive CCD/Yで行うなら同様なサーベイに。
- Complementary to SDSS-deep/CFHQS/AGES/FIRST-Bootes
- Conflict w/ LSST/VISTA/PAN-STARRS

Competitive QSO surveys

Optical			
LBT/LBC	08+	several 10sqdeg?	Y<23.5
Pan-Starrs	08+	3 π	Y<22.5
Pan-Starrs	08+	1000 sqdeg	Y<24
Pan-Starrs	08+	30 sqdeg	Y<26
LSST	13+	3 π	Y<25
NIR			
UKIDSS LAS	05-12?	4000sqdeg	J<21
UKIDSS DXS	05-12?	10 x 4 sqdeg	J<23.5
VISTA VHS	08+	20000sqdeg	J<21, Y<21
VISTA VIKING	08+	1500sqdeg	J<22, Y<22.3
VISTA VIDEO	08+	15sqdeg	J<24.5, Y<24.6

SWANSとして何を主張すべきか？

- Deepは40sqdegは死守したい(私見)。
- Y-imagingがないのは痛い。
- Wideは1000sqdegにするとVIKINGとライバルに。
- survey領域は？ 特にwide.
 - UKIDSS LAS 少しずつfollow-upは始まっている。
 - VISTA VIKING 明るい方はやられてしまう？
- Follow-up分光はどうするか？ 特にz~6.
 - Subaru・FOCAS
 - Subaru・FMOS(0.9um-)
 - Subaru・SUMIRE?
 - TAO?
 - (TMT)
- 大量廃棄物として出てくるbrown dwarfを有効活用できないか？

ここで理論班のみなさんにお聞きしたいこと

- 超一流理論モデルから予測される物理量
→ 質量降着率、角運動量、速度場、スペクトル、...
- 超一流HSC surveyで近い将来わかりそうなのは、
 - High-z QSO のLF@ $z=3-6(7)$ → number density
 - High-z QSO のCF@ $z=3-6$ → halo mass, life time
 - High-z IGM opacity (TMT待ち)
 - QSO/IGMのmetallicity (TMT待ち)
 - QSO周囲の銀河分布

“理論チームによる観測データ解釈の準備がキーポイント” by長尾くん

- 理論モデルと直接比較できる観測はどれか？
- そこから何がわかるか？何が制限できるか？
- 逆に理論モデルからは何をどこまで観測してほしいか？

今回の研究会で議論しましょう。

Summary

- 次世代望遠鏡 (JWST/ALMA/TMT) のfollow-upをにらんで、そろそろ8mを中小口径望遠鏡として運用すべき。HSC survey
- $z \sim 6$ においてfaint QSOサンプルを作るべき。
 - 普通の銀河の普通のBHを理解する。
 - $Y < 22.8, z' < 22.8, i' < 25.8$
 - (領域はどこでもよい)
 - 2000sqdegで2000個
- $z \sim 7$ においてhigher- z QSOサンプルを作るべき。
 - 既に銀河は $z=8$ までLFが求められている。
 - $J < 22.1, Y < 23.1, z' < 23.1$ (VIKING) or $J < 23.5$ (DXS)
 - 8-20個?
- Y-band撮像は必須。
 - $z \sim 6$ においてはopticalだけで閉じたdeep surveyを可能に。
 - $z \sim 7$ においてはL/T dwarfとの分離に効果的。