

超広視野初期宇宙探査衛星計画 WISH と 宇宙再電離期銀河の観測

山田亨(東北大)＊
WISH チーム

＊ 科研費基盤(A)「理論と観測の融合による銀河発生学の探究」
(代表 森正夫) 分担者



宇宙再電離と第1世代銀河

- 宇宙再電離はいつ、どのようにして起きたのか
平均電離度(中性度)時間変化
一様性、非一様性(初期)
構造形成と電離領域の発達
- 再電離源(and/or 電離状態を維持した天体)は何か
電離源は何か
第1世代銀河の形成は、電離源とどのように関係するのか
観測される高赤方偏移銀河と電離源
- 再電離は銀河形成にどのような影響を与えたのか

いずれも密接に関連



再電離期の宇宙を観測する

観測手法

電離状態:

中性水素21cm輝線強度の空間・周波数ゆらぎ
(空間揺らぎの赤方偏移進化)

クエーサー・GRB 連続光吸収 (Gunn-Peterson)

水素電離輝線 ($\text{Ly}\alpha$ 、 $\text{H}\alpha$..) 銀河の空間分布

→ 再電離トポロジー

電離源:

高赤方偏移銀河探査(静止系紫外線)

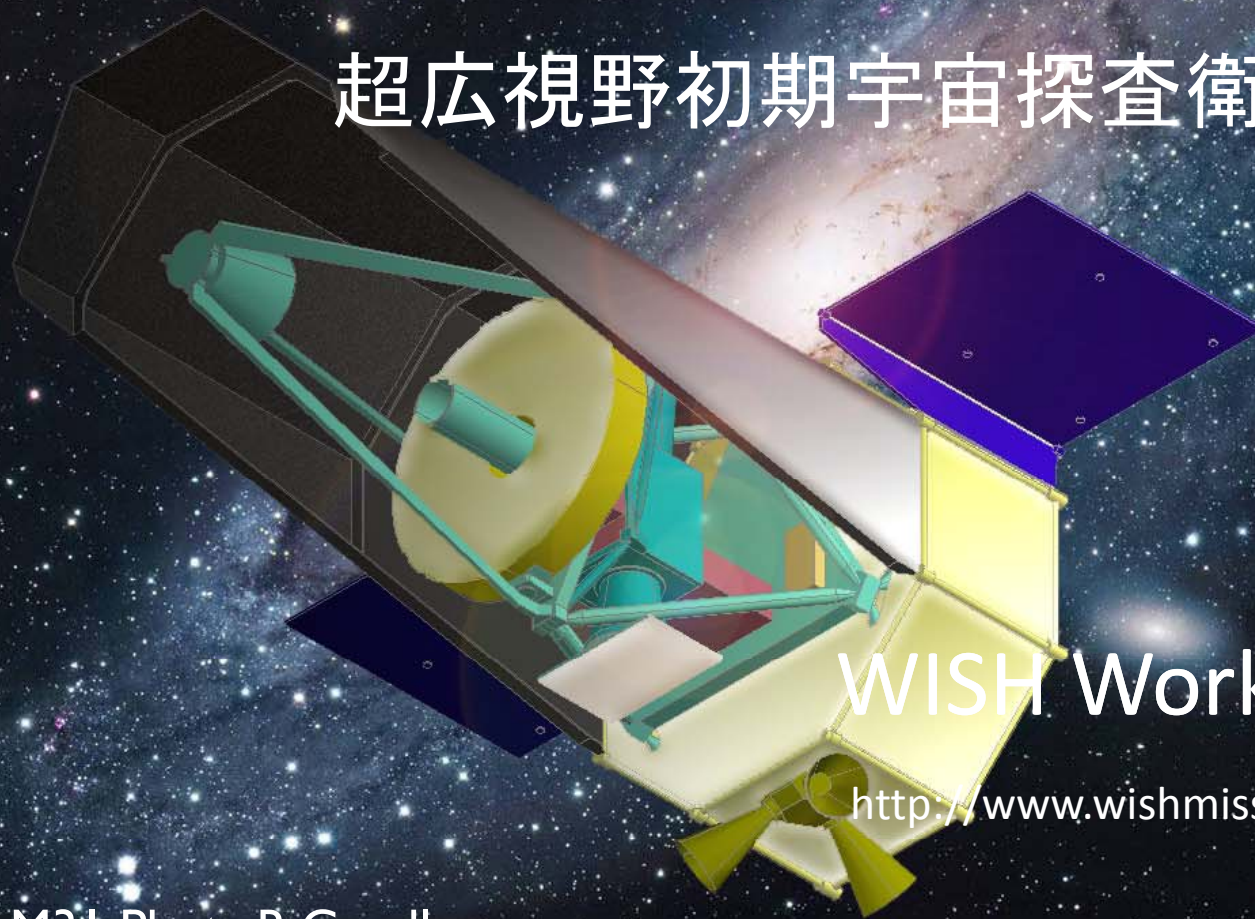
高赤方偏移 C-C超新星、GRB (大質量星)



WISH

Wide-field Imaging Surveyor for High-Redshift

超広視野初期宇宙探査衛星



WISH Working Group

<http://www.wishmission.org/en/index.html>

M31 Phot: R.Gendler

WISH 目指すサイエンス

- 銀河観測の究極のフロンティア：
赤方偏移 $\sim 7-15$ の宇宙第1世代銀河の探索と研究
- 遠方宇宙 ($z \sim 1.5$) の Ia 型超新星を多数検出し、
系統誤差の少ない波長で宇宙の膨張史を検証
暗黒エネルギーの性質に挑む
- これまでにない高感度・広視野近赤外線データ
様々な分野の天文学で大きな貢献が期待される



WISH Working Group and Meetings

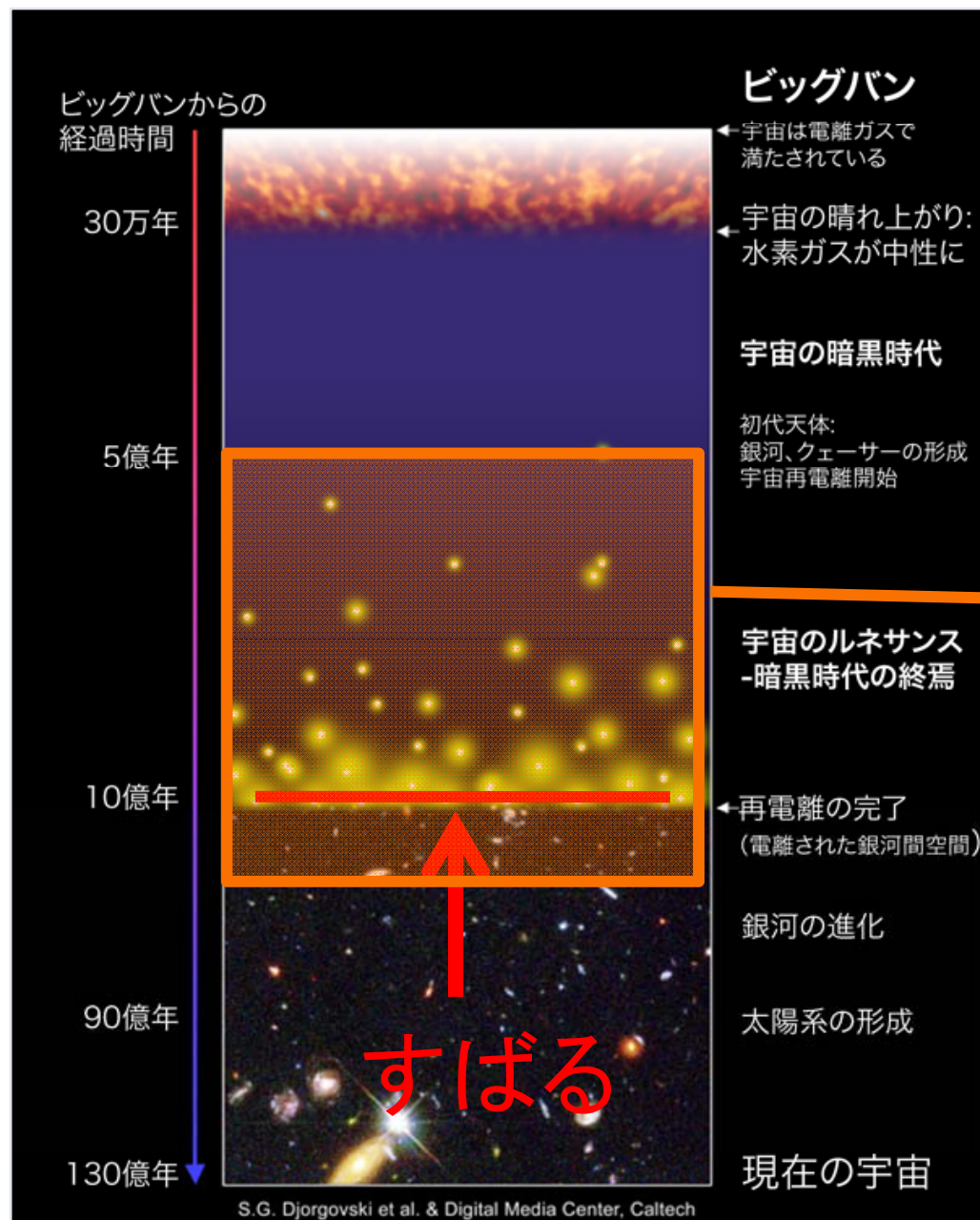
山田亨 (主査)、東谷千比呂 (東北大)
岩田生、常田佐久、諸隈智貴、児玉忠恭、小宮山裕 (国立天文台)
松原英雄、和田武彦、大藪進喜、杉田寛之、佐藤洋一 (ISAS/JAXA)
太田耕司、矢部清人、筒井亮 (京都大)
河合誠之 (東工大)
土居守、安田直樹 (東京大)
米徳大輔 (金沢大) 後藤友嗣 (ハワイ大)
井上昭雄 (大阪産業大)
池田優二 (フォトコーディング)
岩村哲 (エム・アール・ジェイ)

定例 WISH 検討会 毎月・第2火曜日

WISH 技術検討会 随時

WISH サイエンス WS (2009年4月)





WISH

銀河宇宙史の
究極のフロンティア

第1世代銀河の観測

WISH 望遠鏡

- (主鏡) 口径 1.5m の光学望遠鏡
- ~ 1000 平方分角 の広視野
- 観測波長 1-5 μ m
近赤外線 の「宇宙 Suprime Cam」
- 広視野サーベイに特化した運用

サーベイスピード @ ~2 μ m

(同じ視野を同じ検出限界まで観測するのに必要な時間)

JWST (口径 6.5m 汎用、~2013以降打ち上げ) との比較

点源: JWST = WISH の ~2倍

~0.2 秒角程度に広がった天体: WISH = JWST の ~2倍



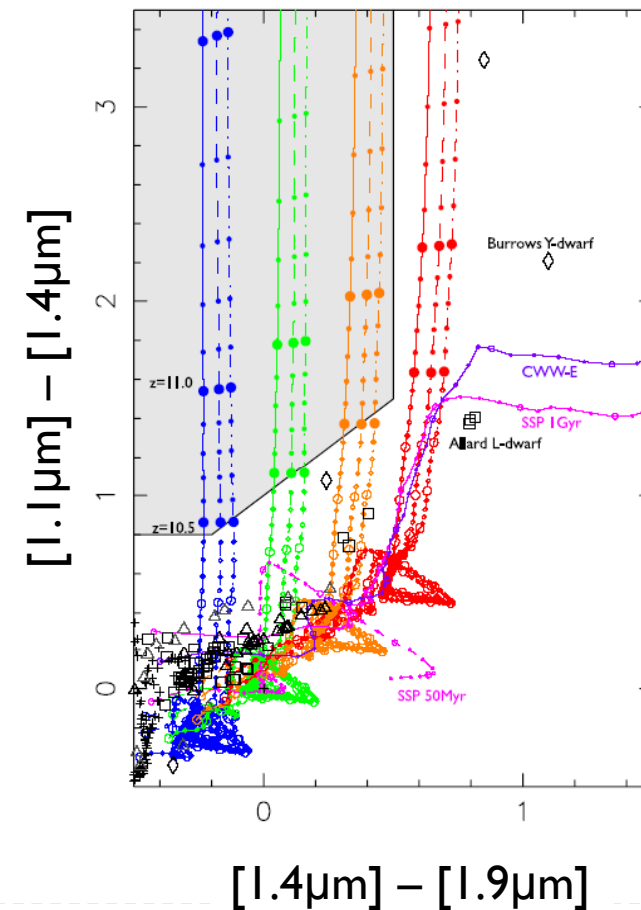
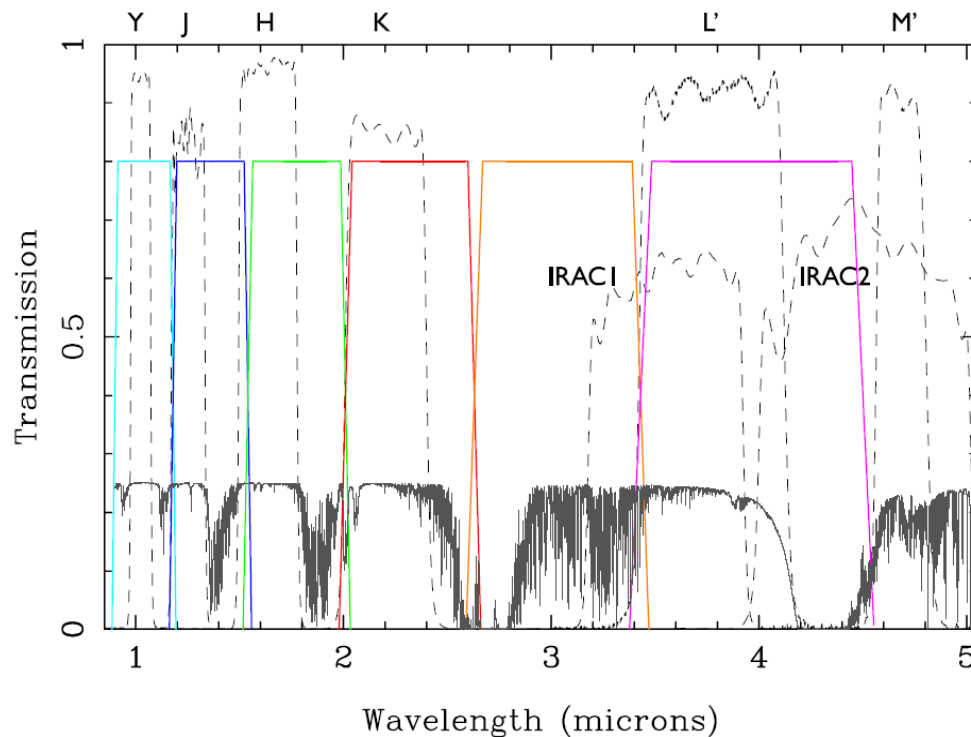
WISH スケジュール

- 2017 -18年打ち上げを目指す
- 現在、JAXA/ISAS ワーキング・グループで検討を進めつつある
 - ➔ 2010年度のミッション提案へ



WISH で探す再電離期の銀河 (1)

- Lyman Break による銀河検出: $\Delta z \sim 1$ (comoving $\Delta d \sim 200\text{Mpc}$)

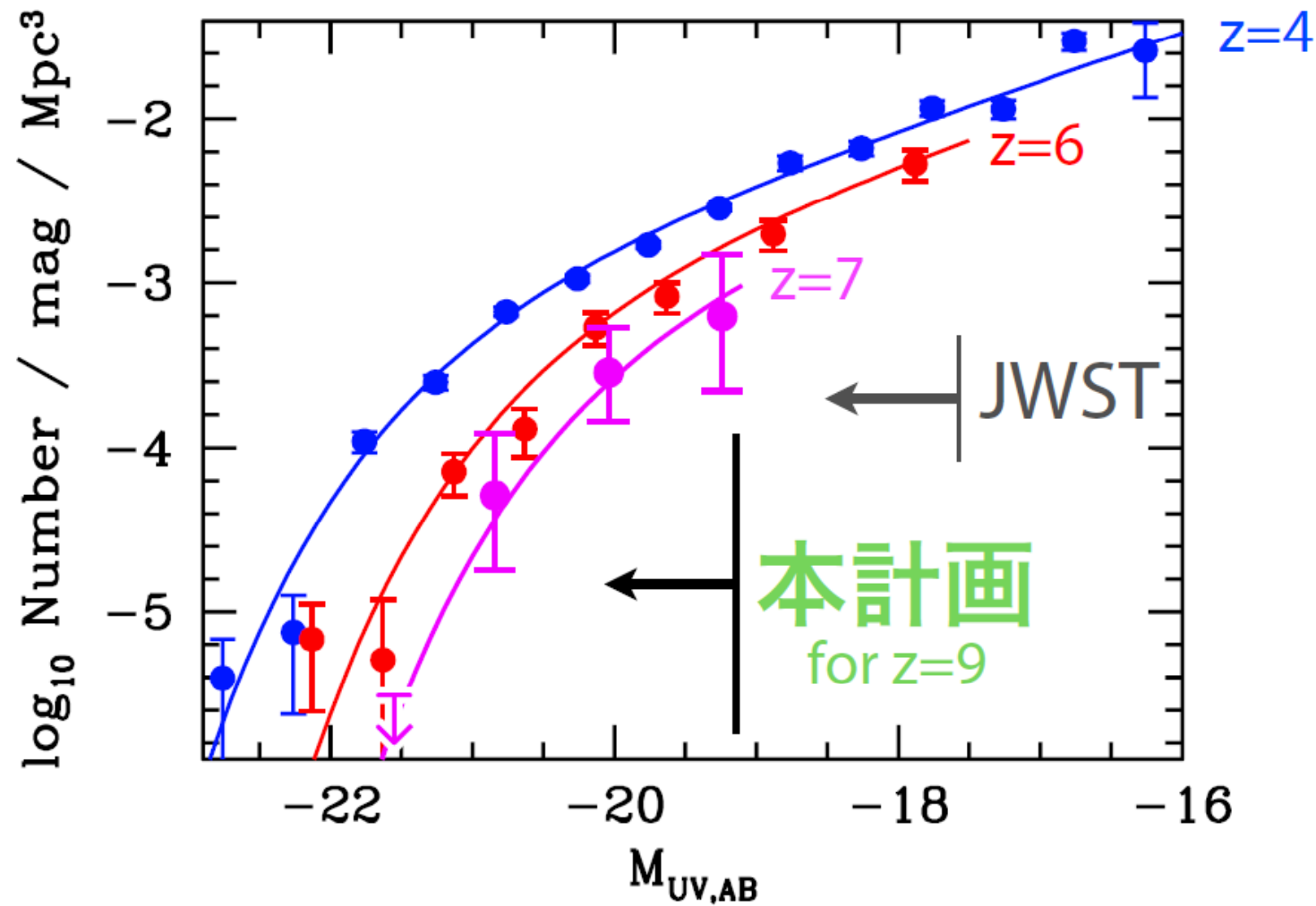


WISH で探す再電離期の銀河 (2)

- Lyman Break による銀河検出: $\Delta z \sim 1$ (comoving $\Delta d \sim 200\text{Mpc}$)

サーベイの種類	視野	深さ	Note
ウルトラ・ディープ	100 平方度	~28等AB	Z~10-17
マルチ・バンド	~10平方度	~28等	Z~8-10
ウルトラ・ワイド	~1000平方度	~25等	QSO,WL
エクストリーム	~1平方度	~29-30等	Faint End

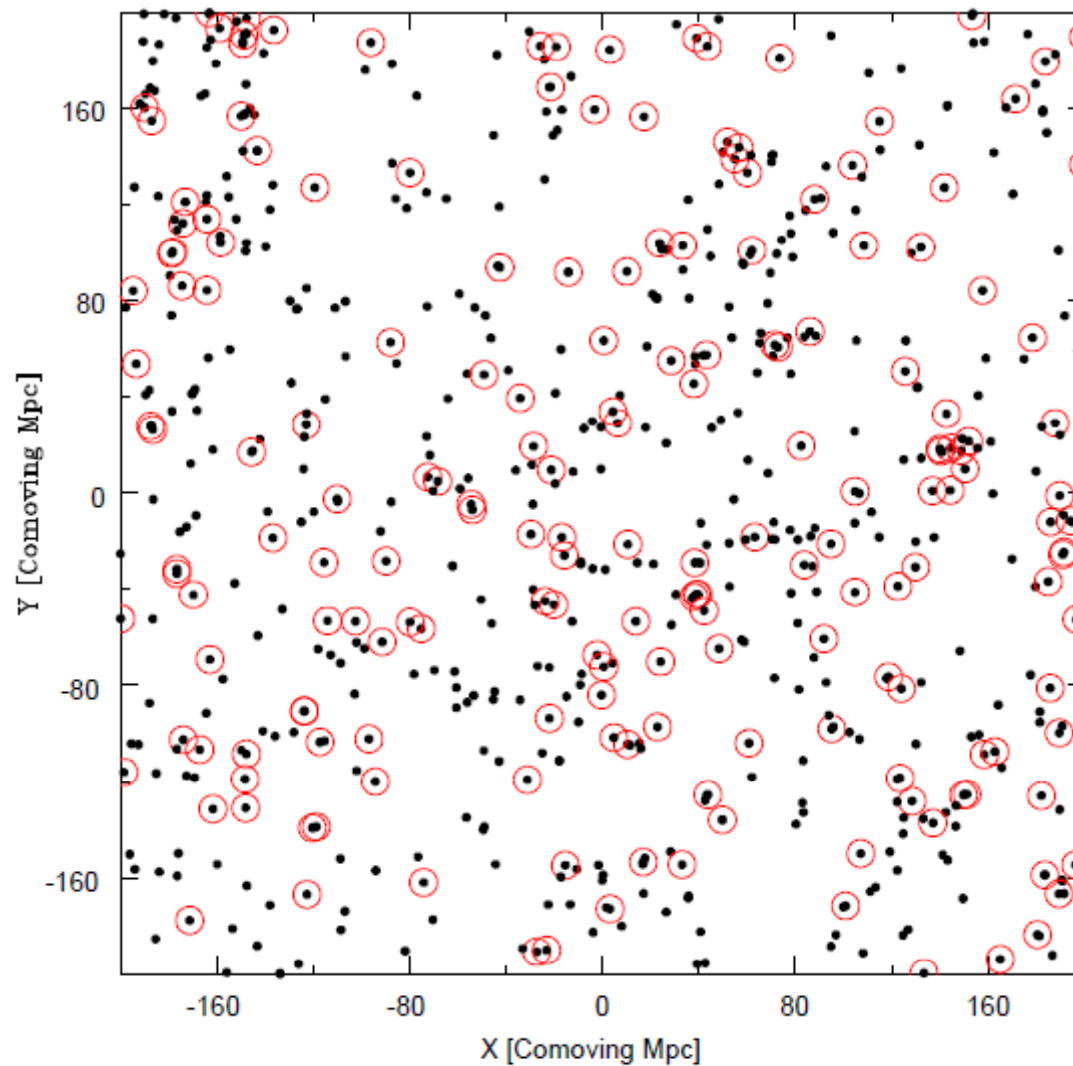




based on Bouwens+2008



By Ikuru Iwata



~2度x2度
Z=10

○ MU < -19.5

Durham (Bower et al. 2006) + Millennium MB<-18 snapshot $\delta z \sim 1$ (d~200Mpc)



検出期待数: Filter Set 3

		検出期待数(Num/deg ²) ($m < 28.0$)			
	redshift	無進化	Empirical Evolution	DMH Evolution	SAM
Set 3: 0-drop	8-9	4,000	1,690	852.3	631.2
Set 3: 1-drop	11-12	2,393	104.2	4.116	49.7
Set 3: 2-drop	14-17	1,249	0.723	0.003	1.071

各バンド3 σ 限界等級 28.0で $m_{AB} < 28.0$ で検出される銀河の数密度

By Iwata, Yabe
for WISH team



WISH Narrow Band

- もともと、波長範囲が狭いので、光子を集めるために長時間積分が必要。
すばる 8m ~10h
 - 地上でも夜光輝線の隙間を観測
 - 限られたフィルタ搭載枚数
- ➔ WISH のゲインは広帯域撮像ほど大きくない。
しかし、地上からは達成できない深さ、波長での
広視野観測は可能

$z \sim 8.9$ Ly α (TBD)

$z \sim 5.7$ / $z \sim 6.6$ H α (TBD) などを候補として検討中



WISH の良いところ

- 地上では(深く・広視野の)観測が非常難しい高赤方偏移
- JEST/SPICA/JDEM/Euclid/ELT でもできないこと
- 専用望遠鏡(高赤方偏移銀河探査に最適化)
- 広視野、長時間観測
- $z=7-10 \sim 10^4-10^5$ 個の銀河 → 統計的解析
- $z=10-20 \sim 10^2-10^4$ 個の銀河 → 初期宇宙フロンティア
構造形成が進んだ領域
- 反復観測 → 変光天体 (Ia 超新星、極超新星、type-IIn SNe)
- 明るい銀河 → 分光観測が可能！ (TMT / JWST)

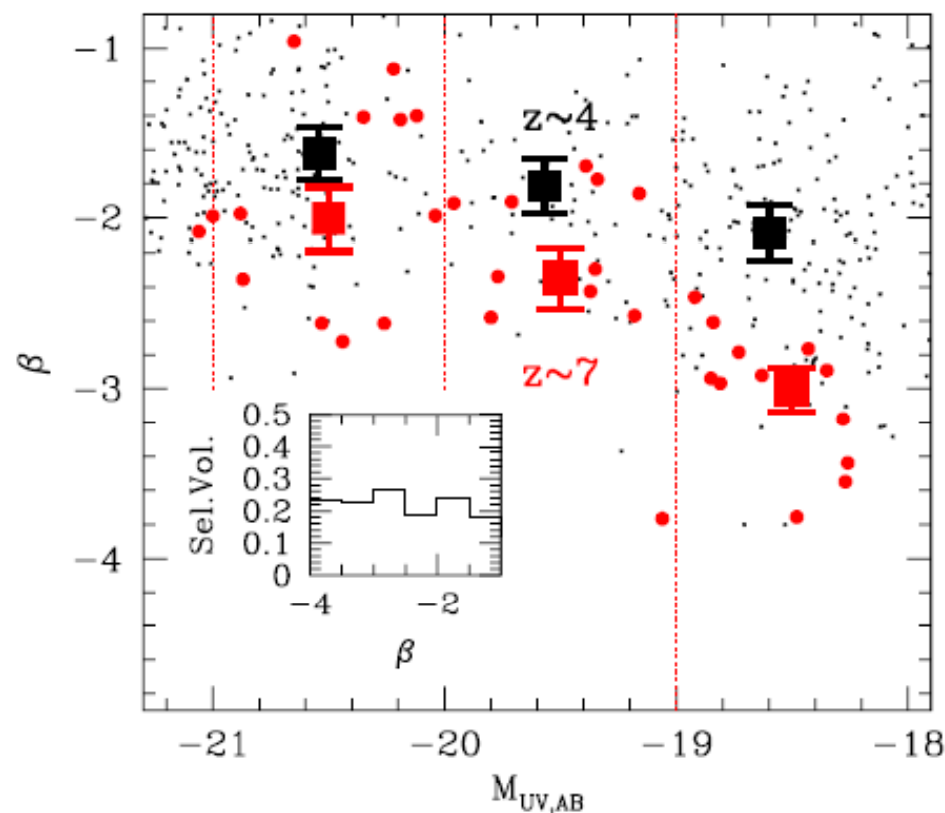
宇宙再電離期の銀河とWISH

1. 紫外線スペクトル(星種族、電離源)
2. 光度関数
3. 銀河のサイズ
4. HI21cm~銀河 Cross Correlation
5. Ly α Topology
6. クエーサー
7. Type-IIIn SNe
8. GRB



1. 再電離期銀河のスペクトル

$$F_{\lambda} \sim \lambda^{\beta} \quad (\text{UV波長域})$$



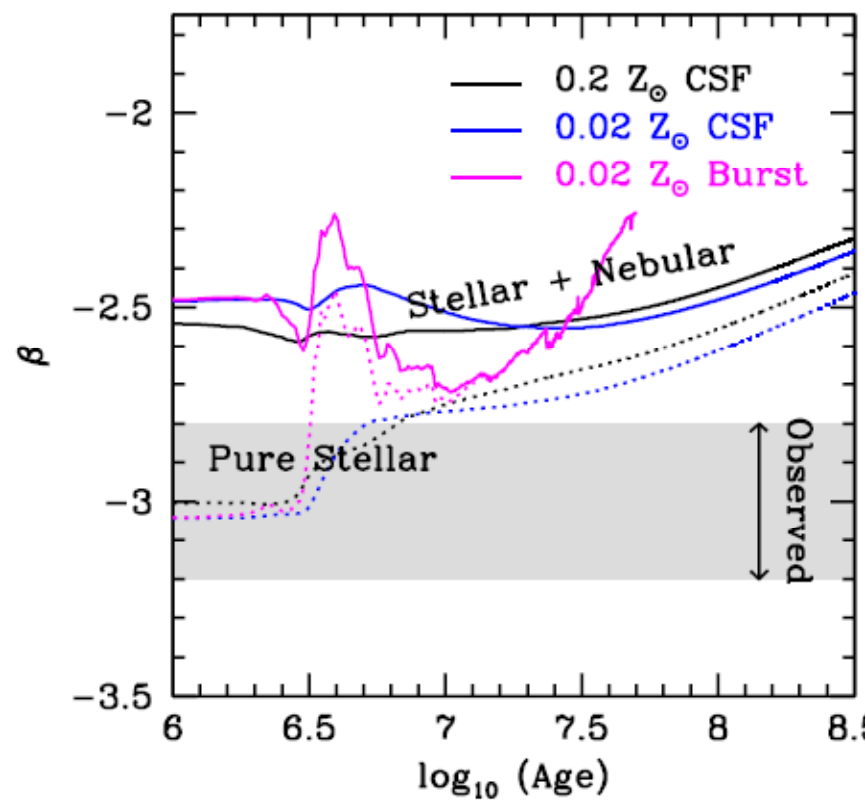
◆高赤方偏移
◆暗い銀河
で、青い。

$\beta \sim -3$ をどのように
実現するか？

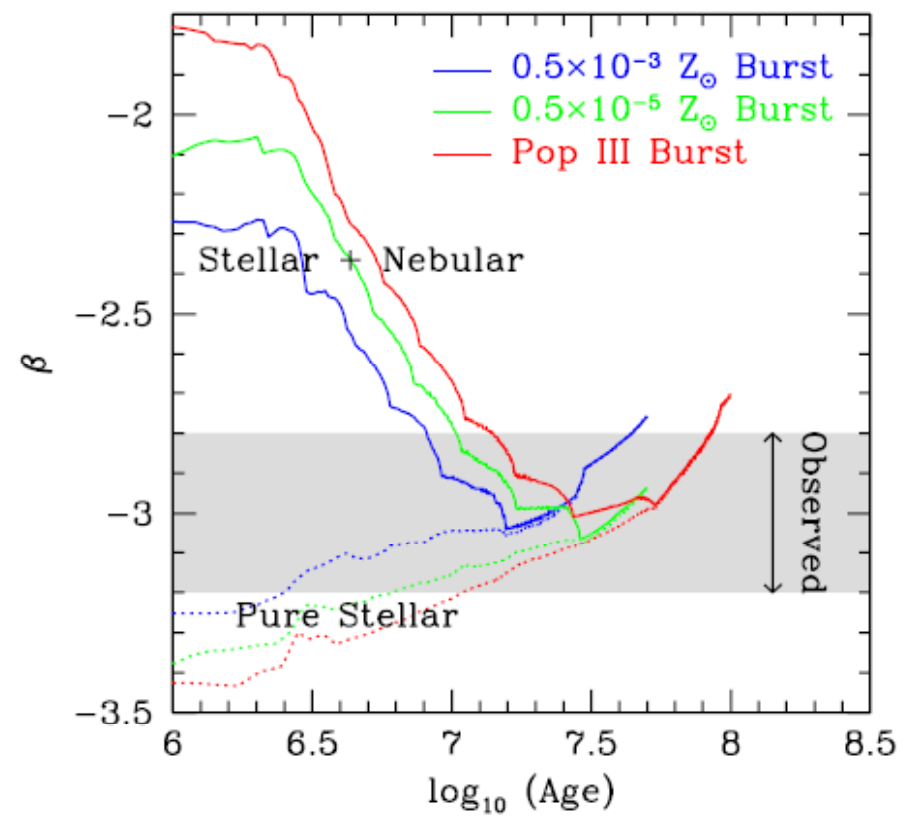


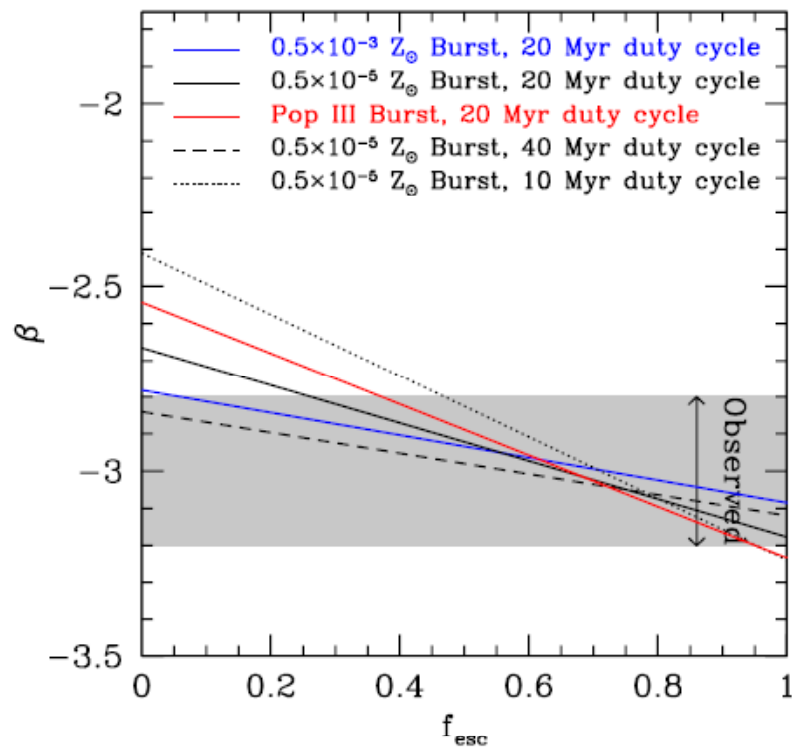
Bouwens et al. 2010

~solar 金属量の場合



非常に低金属量





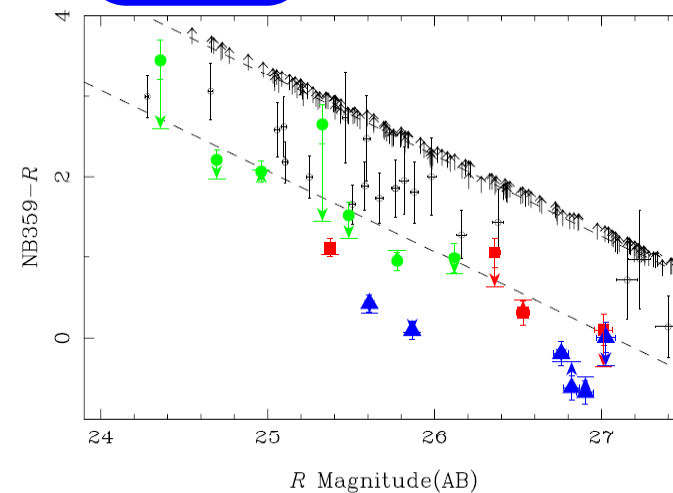
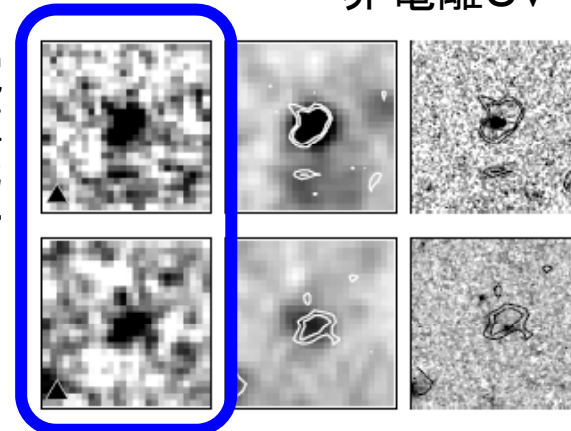
電離光子の脱出率が高い
 ➔ 電離ガスの連続光なしで
 直接、低金属／若い星を観測

Z~3 星形成銀河
 LBG 平均電離光子 escape fraction
 > 4%

Iwata et al. (2009)

非電離UV

電離光子



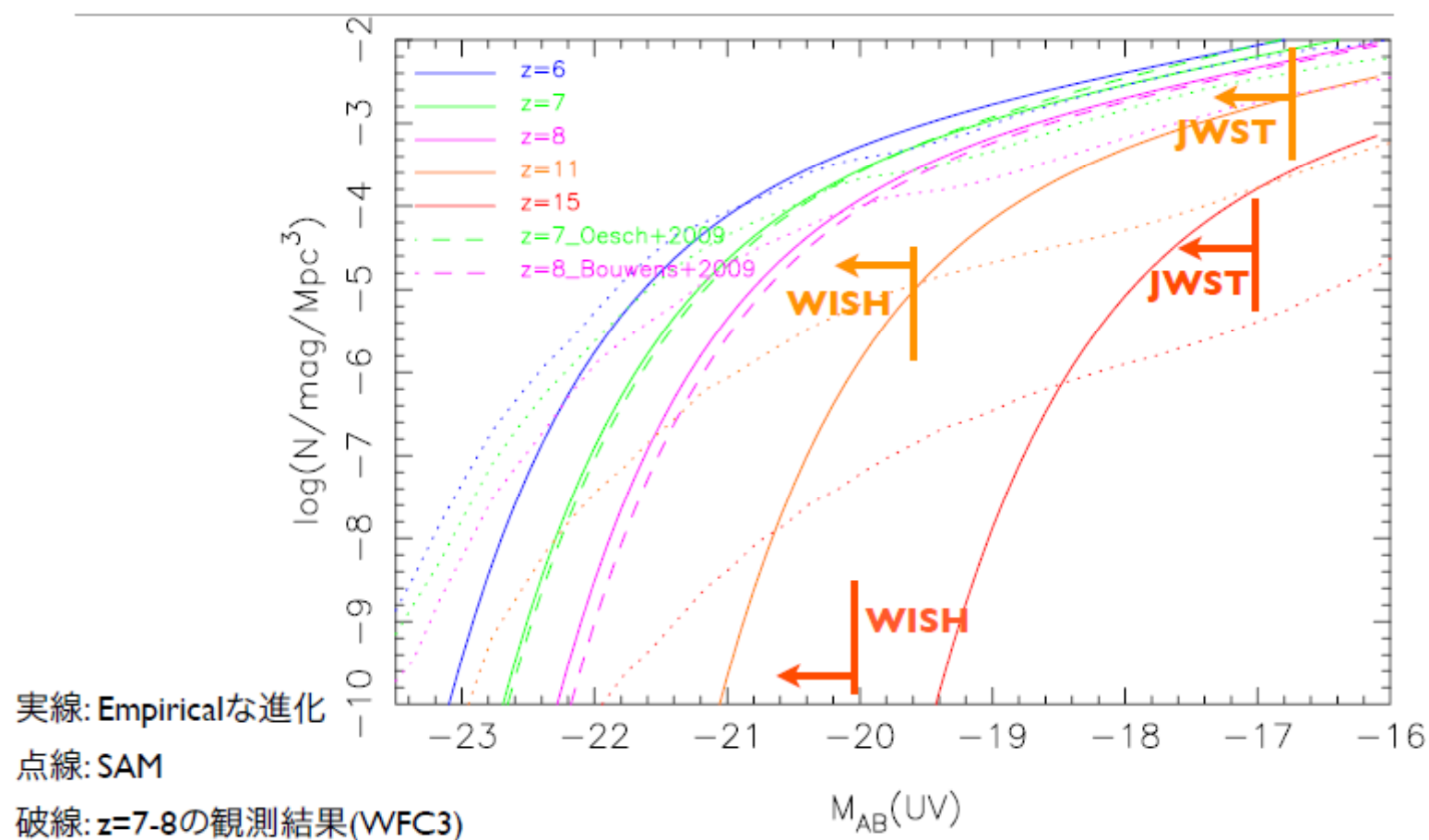
1. 再電離期銀河のスペクトル

- WISH 多数の銀河の紫外線スペクトルを観測
 - $z \sim 7$ から $z \sim 15$ への UV SED 進化
 - (すばるなどと組み合わせで)
電離光子脱出率も観測できる



2. 銀河光度関数

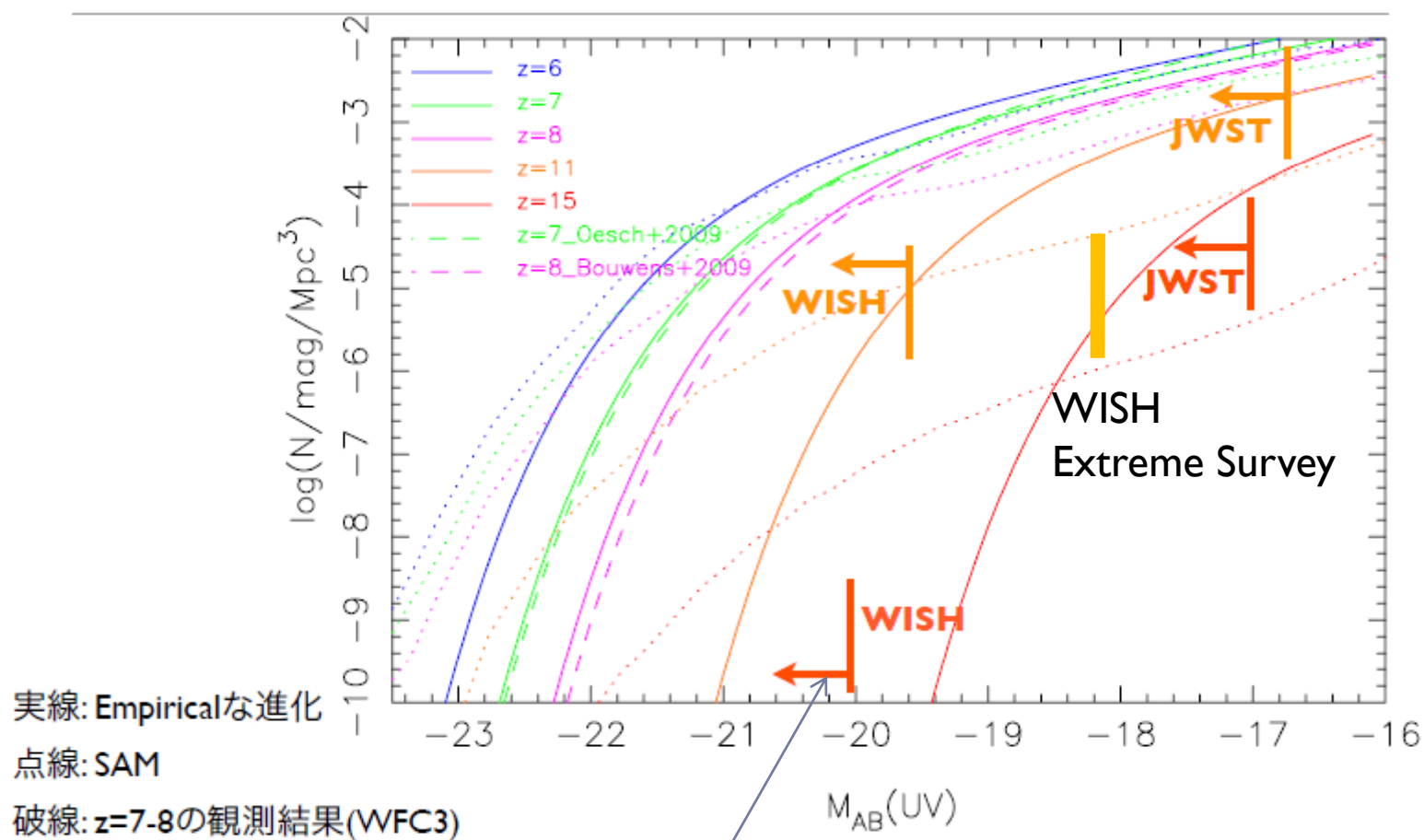
UVLF range probed by WISH and JWST



WISH ウルトラ・ディープ・サーベイ

2. 銀河光度関数

UVLF range probed by WISH and JWST

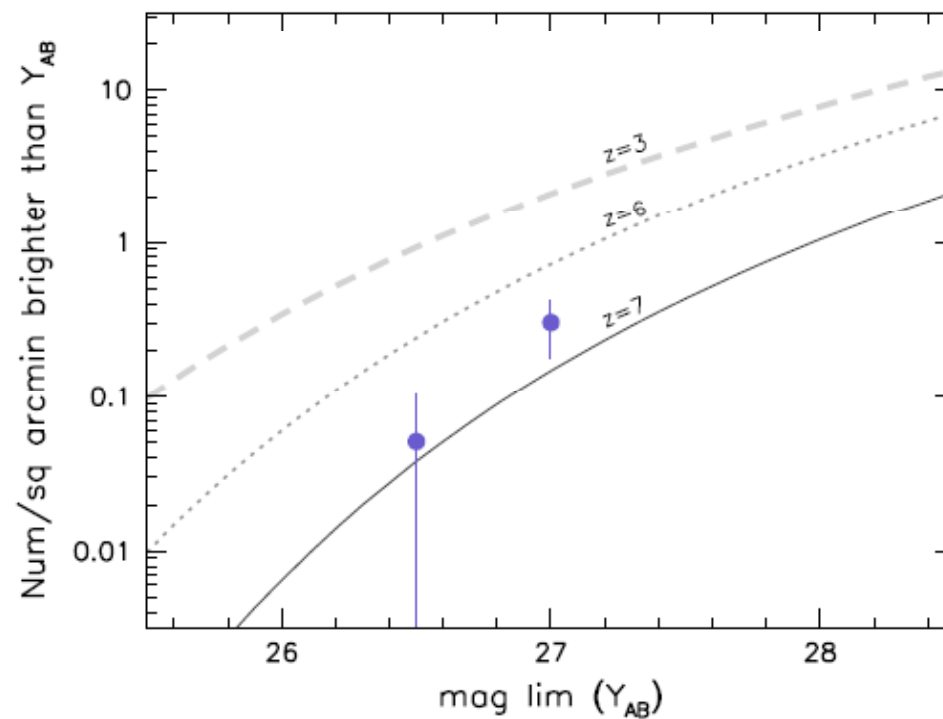
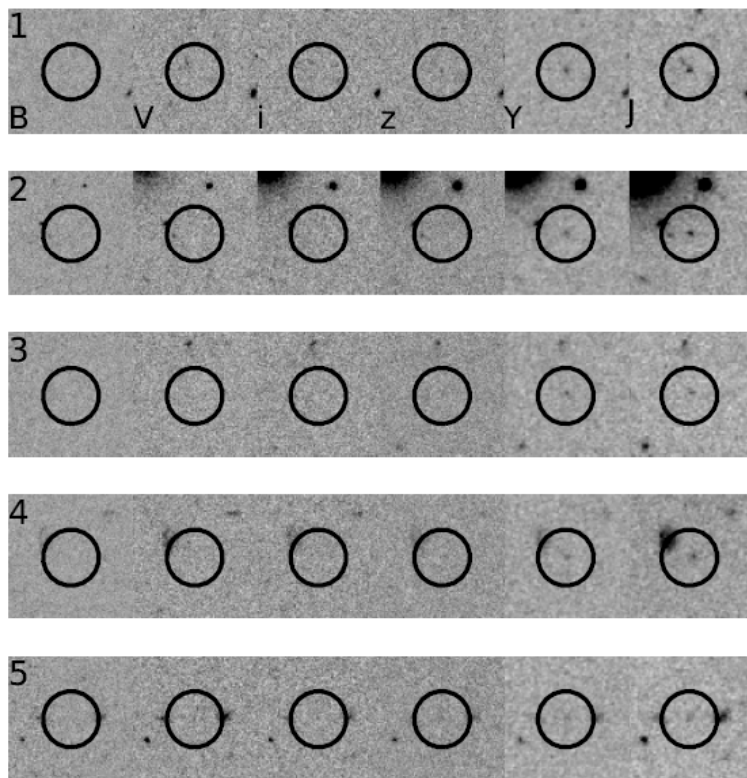


WISH ウルトラ・ディープ・サーベイ

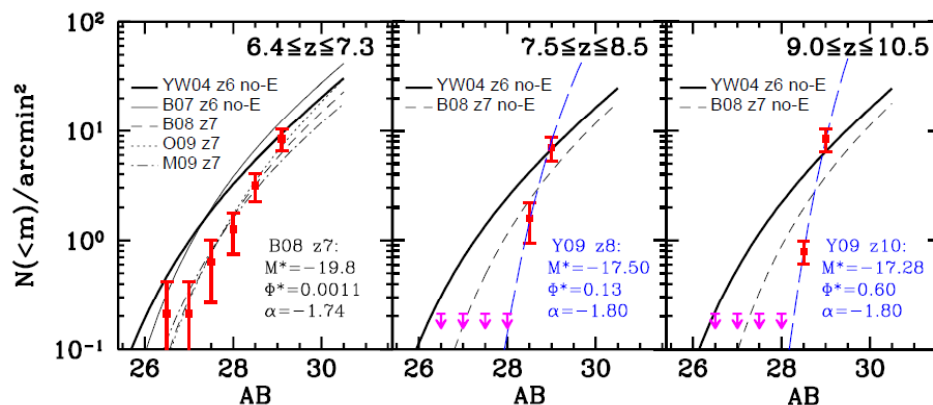
2. 銀河光度関数

Z~7 LBG LF Wilkins et al. 2009 (bright end)

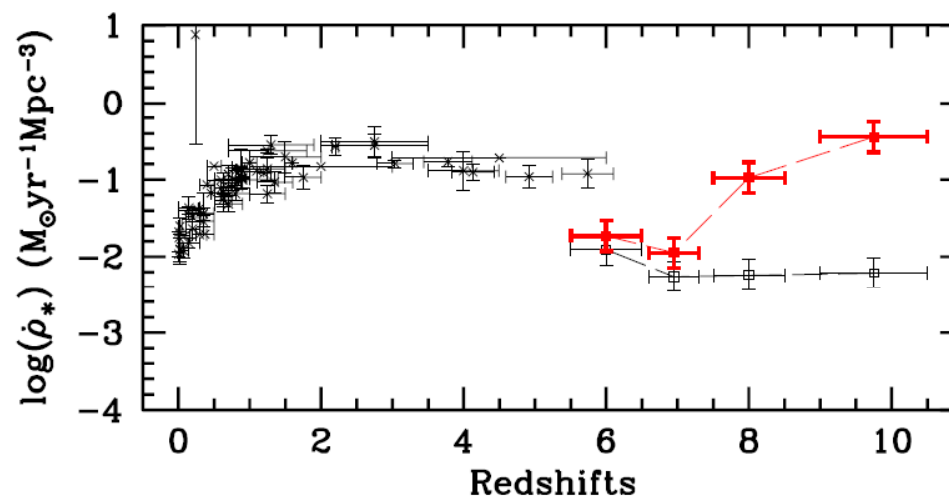
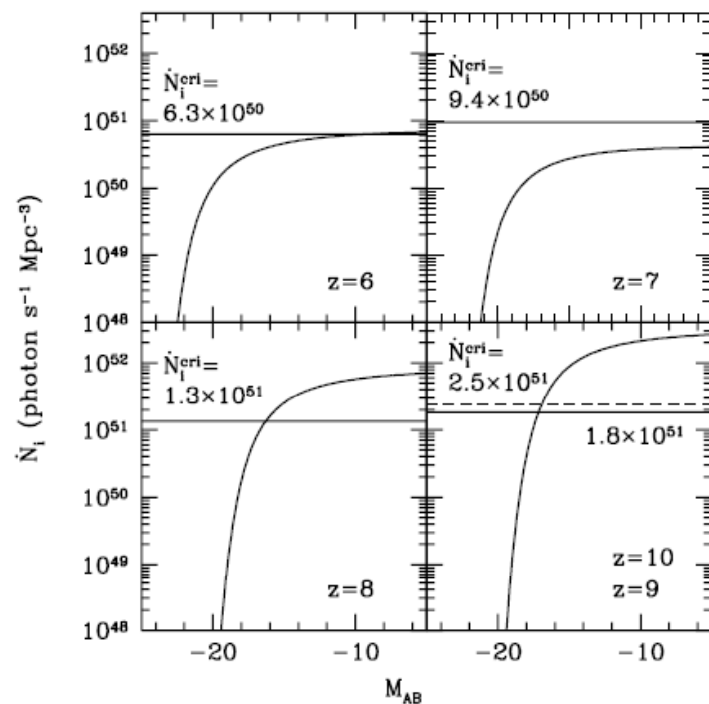
HST WFC3



2. 銀河光度関数

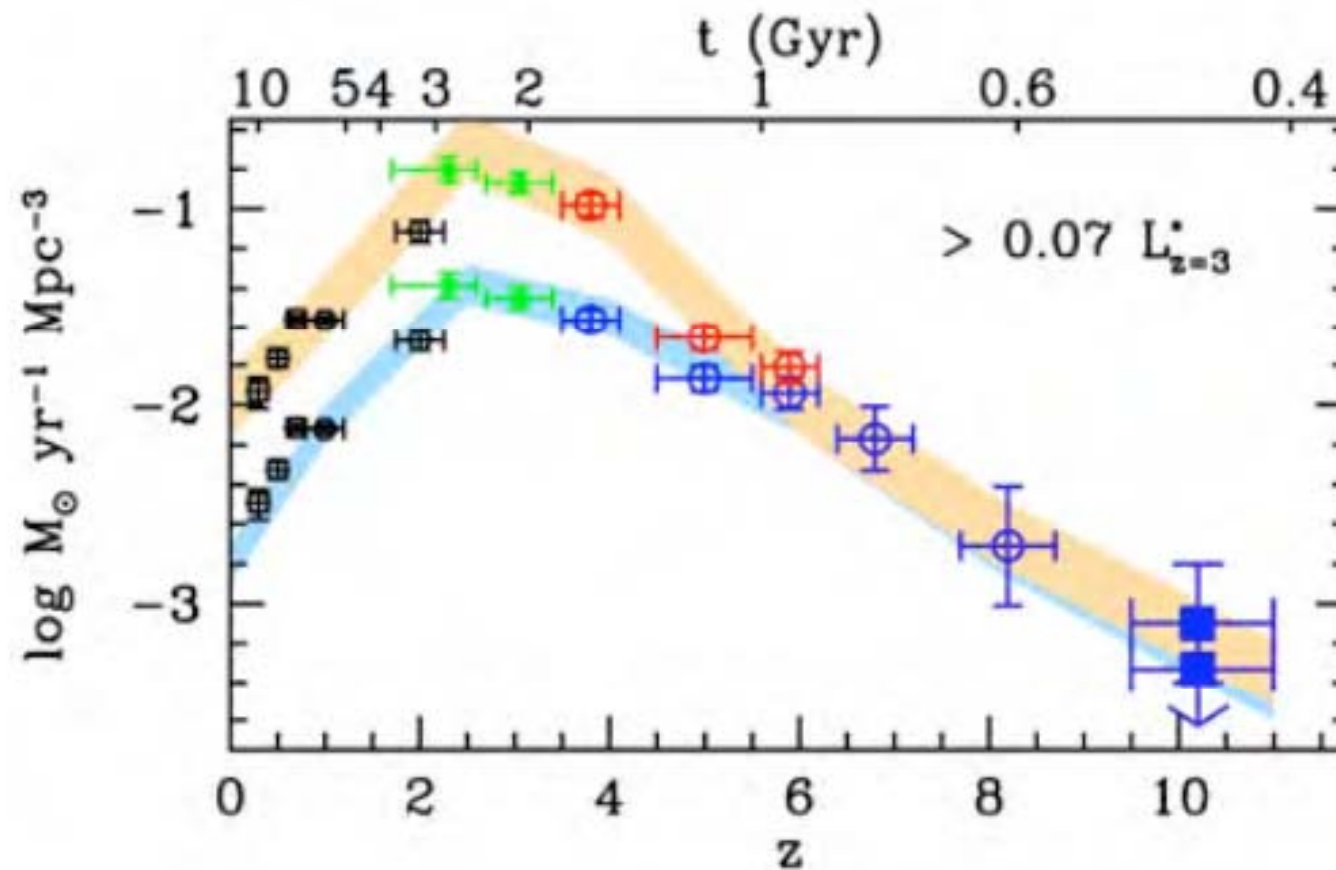


Yan et al. (2009)
~20 $z \sim 10$ galaxies ?



2. 銀河光度関数

Bouwens et al. 2010 only 3 galaxies at $z \sim 10$

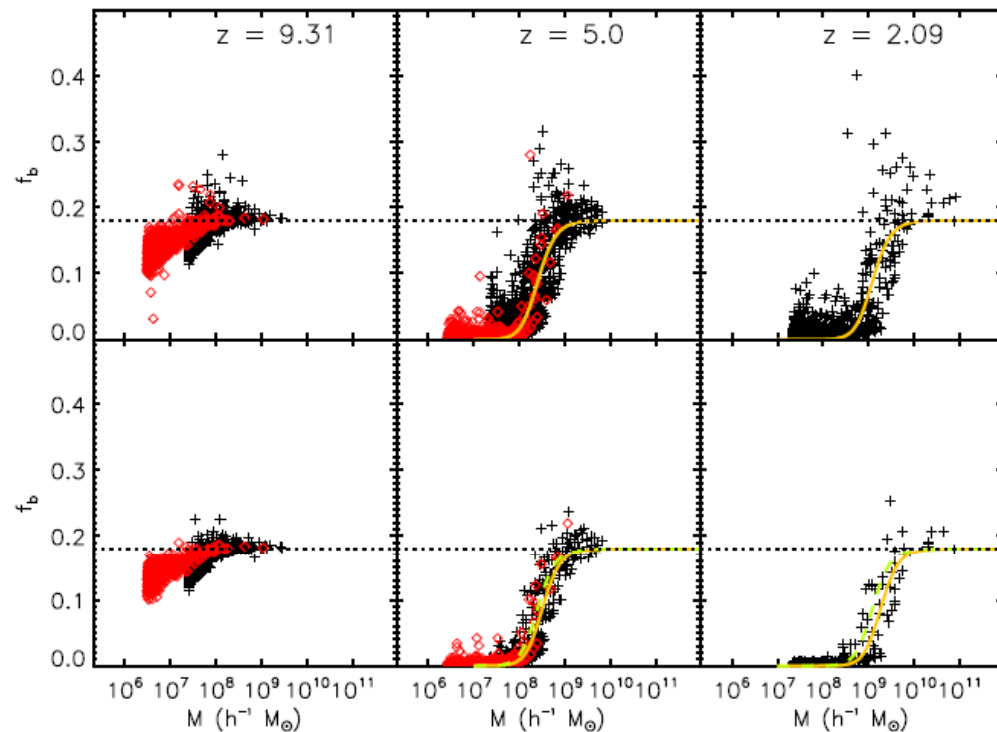


Yan et al. は明るい銀河周辺のゴミ？

WISH

M(UV) $\sim$ -19.5 mag (AB) までの光度関数 (@ $z \sim 10$)

Extreme Survey $\rightarrow$ さらに Faint End ($\sim$ -18 mag)

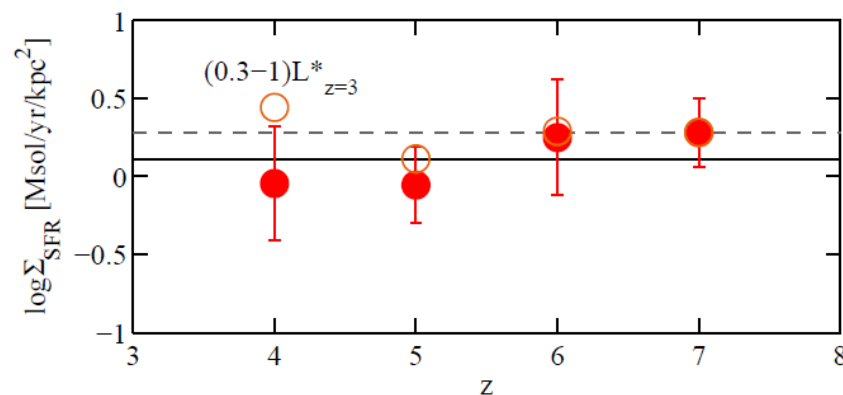
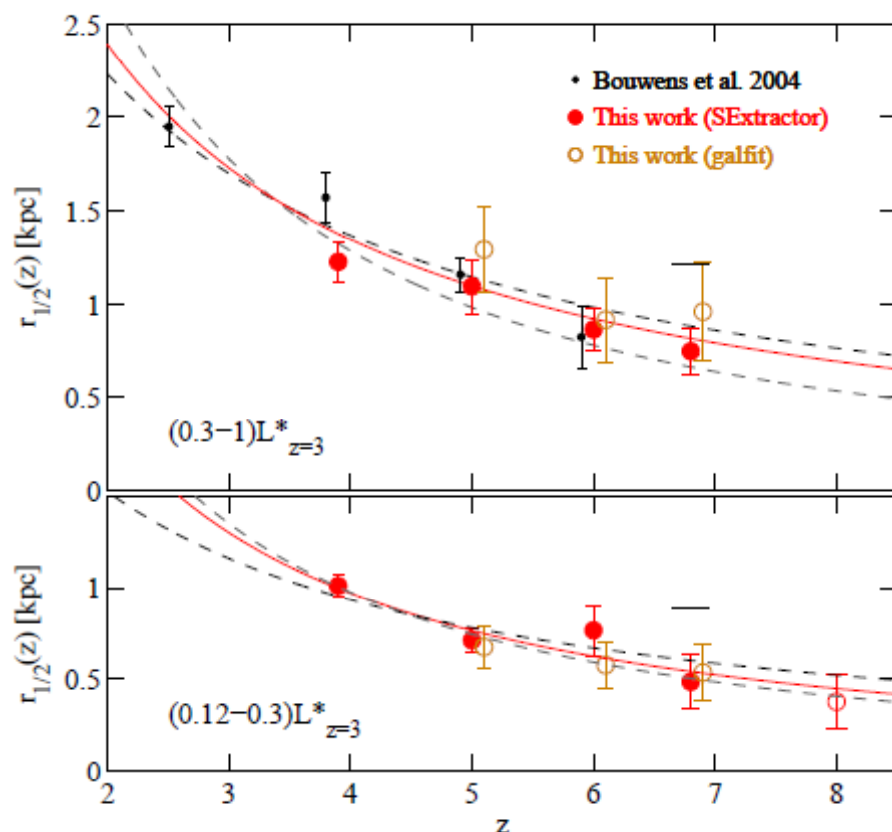


再電離期前後の
星形成 threshold と
どのように関連するか？

Okamoto et al. 2008



3. 銀河のサイズ



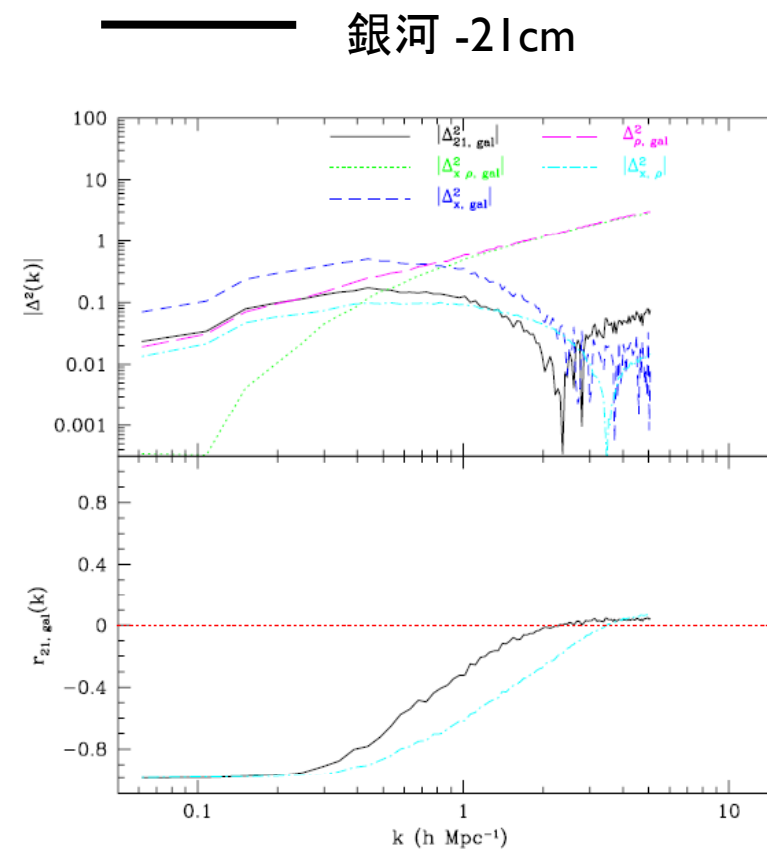
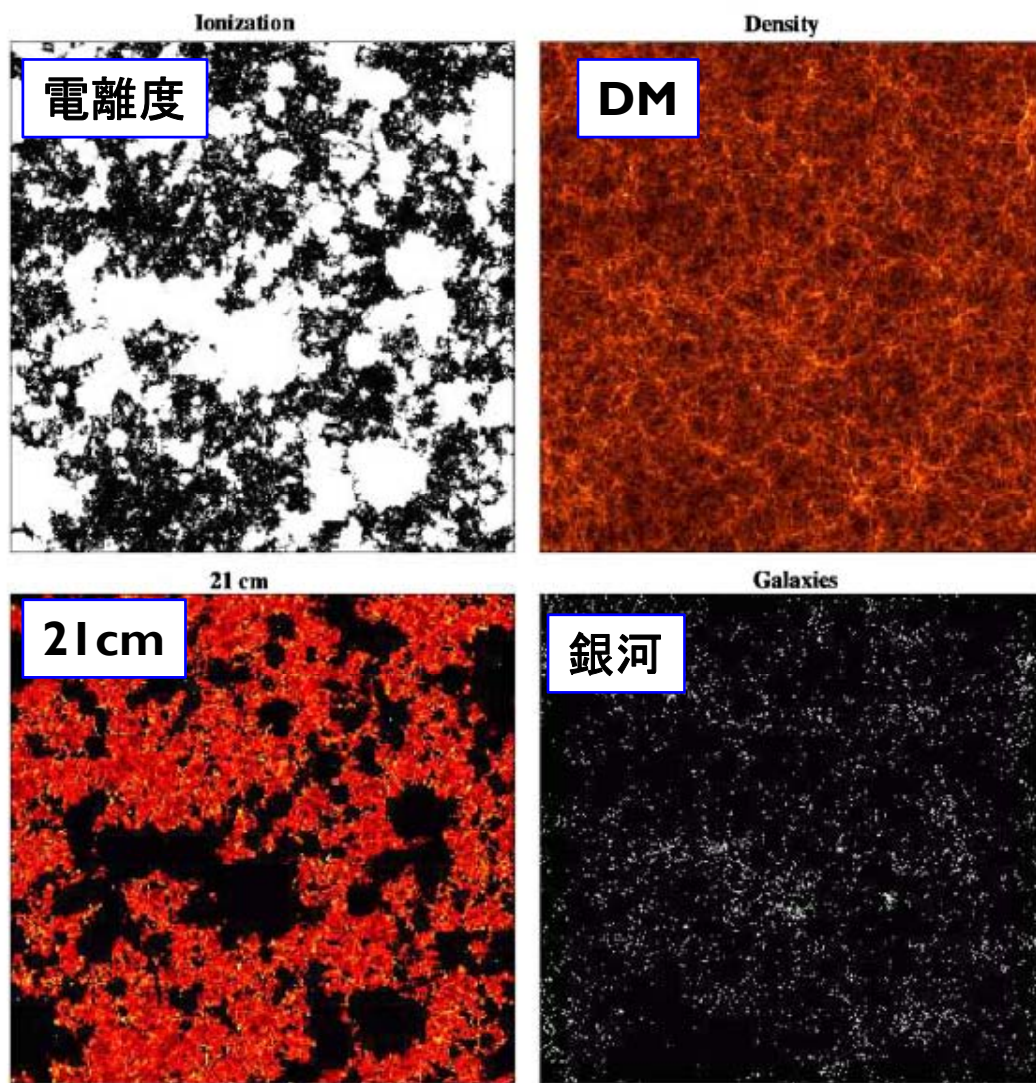
WISH では、明るい低赤方偏移 ($z \sim 8$)
の明るい銀河がマージナルに分解

→ JWST, TMT(AO), ALMA (dust?)

Oesch et al. 2010



4. 銀河 / HI 21cm Cross Correlation

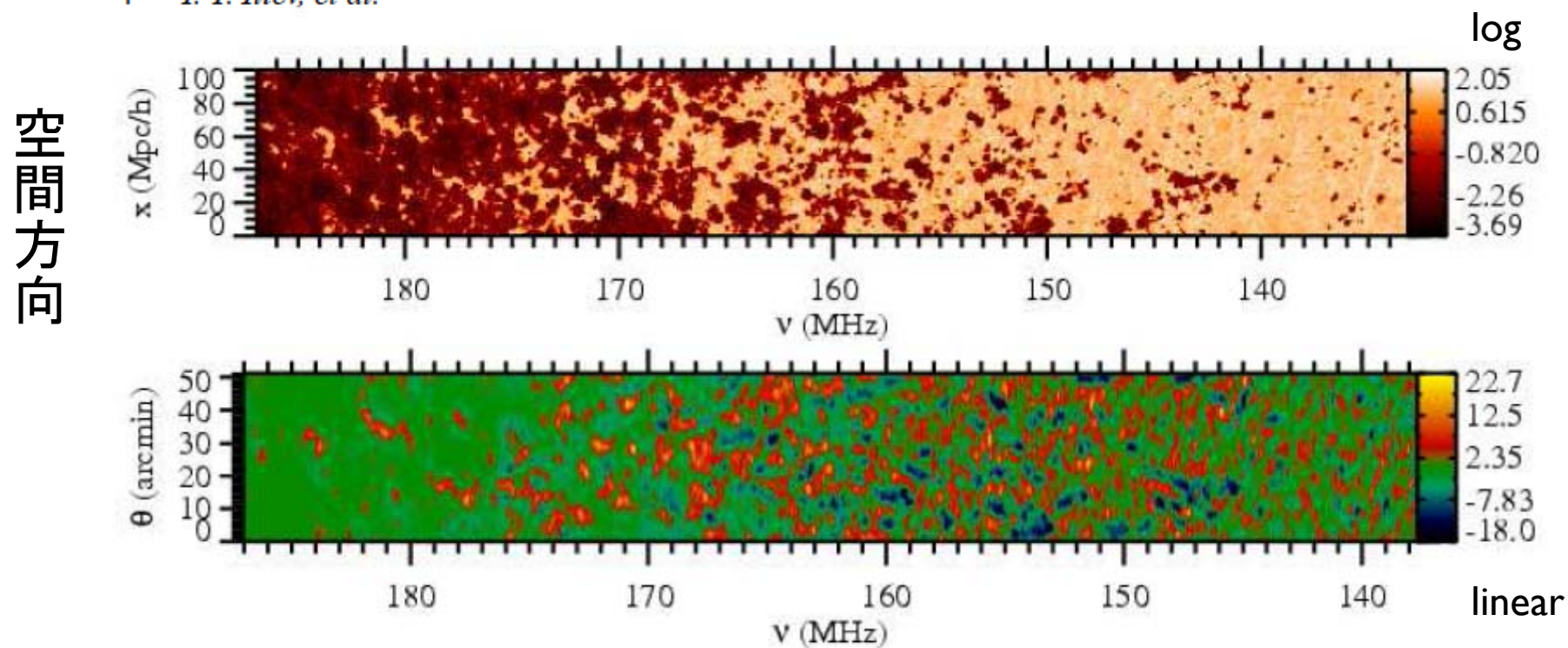


Lidz et al. 2009



水素 21cm 輝線強度

4 *I. T. Iliev, et al.*



Z~7

Z~9



5. Ly α topology @ $z \sim 9$

水素ガスの電離度マップ
 $\langle x \rangle = 0.3$



● 観測される輝線銀河

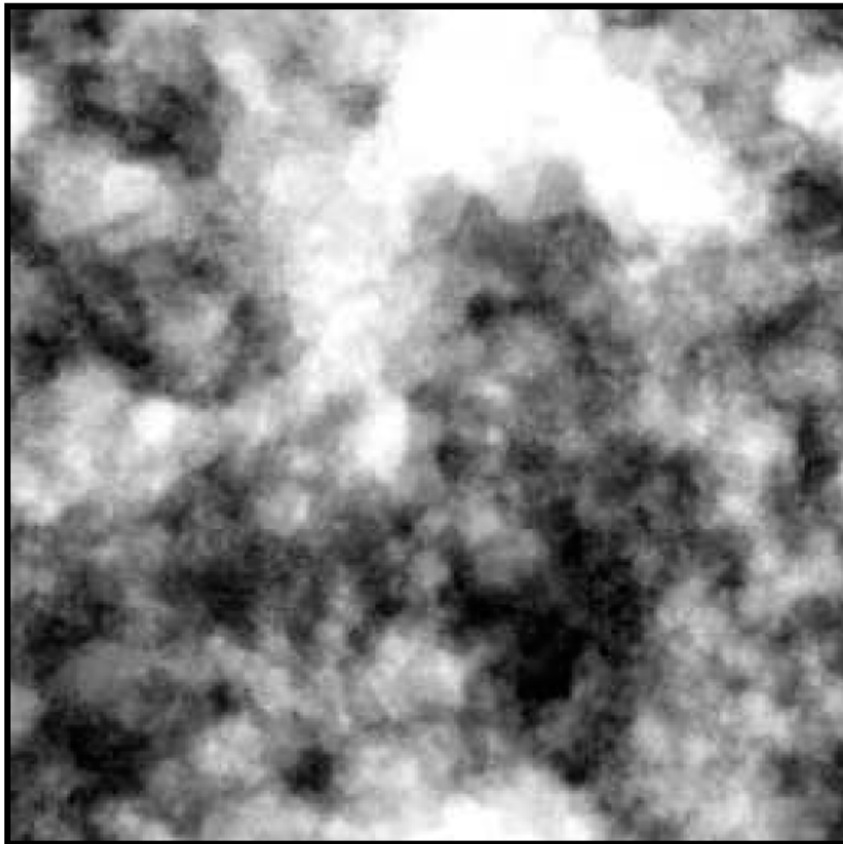


▷ 白 = 電離領域

McQuinn et al. (2007) による予想

5. Ly α topology @ $z \sim 9$

水素ガスの電離度マップ
 $\langle x \rangle = 0.5$



● 観測される輝線銀河



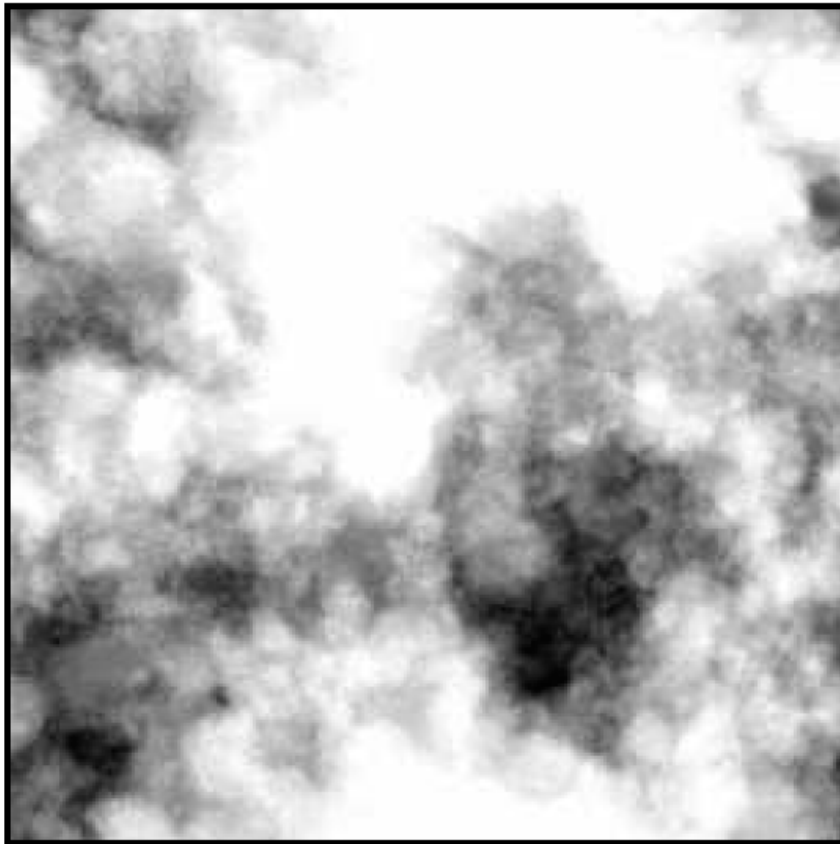
▷ 白 = 電離領域

McQuinn et al. (2007) による予想

5. Ly α topology @ $z \sim 9$

水素ガスの電離度マップ

$$\langle x \rangle = 0.7$$



● 観測される輝線銀河



▷ 白 = 電離領域

McQuinn et al. (2007) による予想

6. クェーサー

● 広視野探査

松岡さん(WISH サイエンス検討会 10/03/10)

▶ 発見期待数

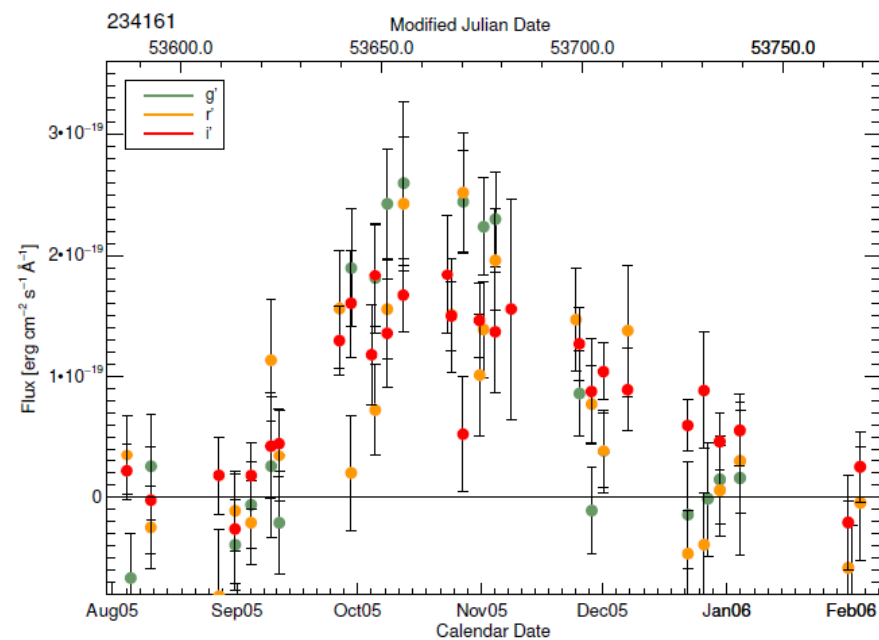
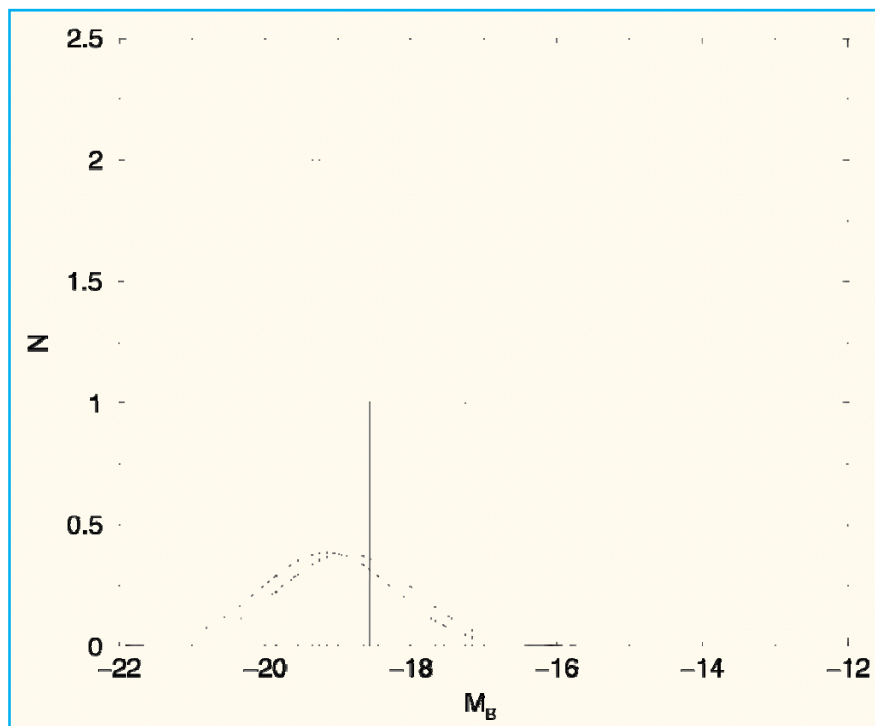
$f[n] - f[n+1] > 1.0$ のQSOsのみ探査可能と仮定

▶ UWS (< 25 AB mag) / 1000 deg²

z	Set 3 f0 - f1	f1 - f2	f2 - f3	f3 - f4	Set 4 f0 - f1	f1 - f2	f2 - f3	f3 - f4
8 - 10	400	0	0	0	260	110	0	0
10 - 12	70	220	0	0	< 1	180	50	0
12 - 14	< 1	120	20	0	< 1	10	160	0
14 - 16	< 1	20	140	0	< 1	< 1	30	120
16 - 18	< 1	< 1	60	5	< 1	< 1	< 1	80
18 - 20	< 1	< 1	10	80	< 1	< 1	< 1	30

● 変光による探査

7. Type-IIIn 超新星



Cooke et al. 2009
 $z=2.013$

Richardson et al. 2002 近傍 IIIn 超新星の光度

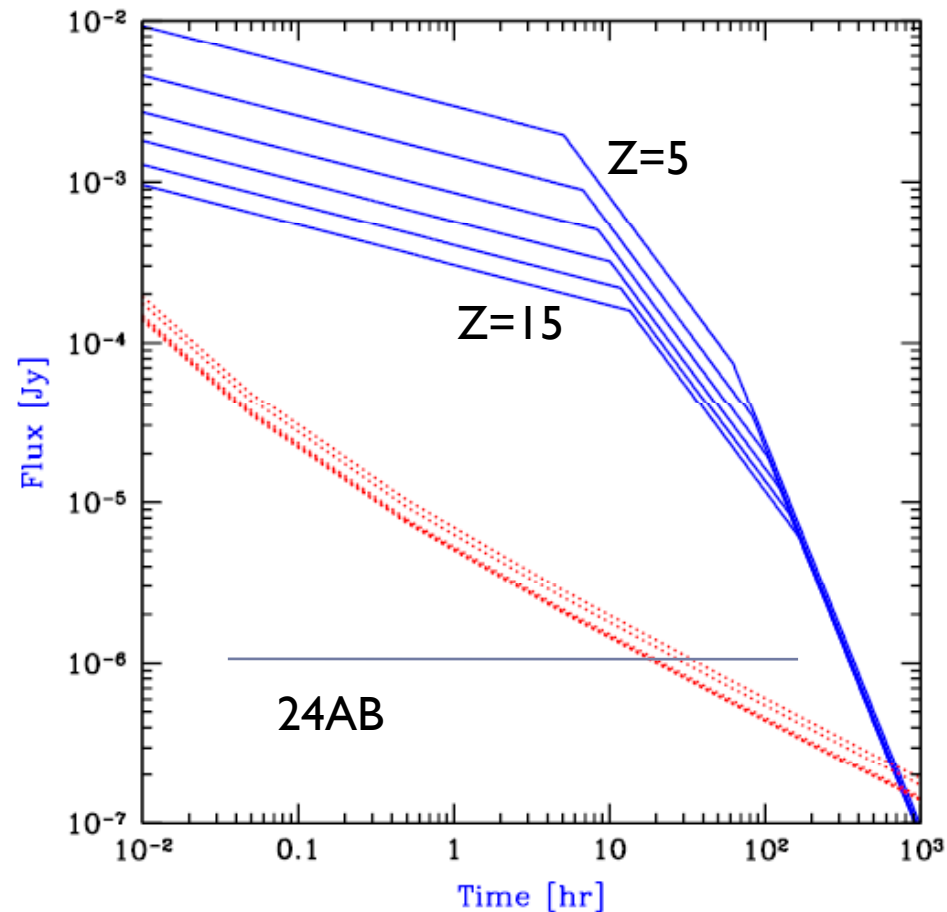
MB -19 等~-20 等

M(UV) -18 等 -19 等 → 観測 ~27 等 @ $z \sim 9$

▷ WISH Extreme Survey で検出可能？

タイムスケールが長い
~ 様々な赤方偏移天体を
同定可能

8. GRB



Bromm & Loeb 2004

WISH

サーベイ望遠鏡なので、
他プログラムと大きな干渉
なしに突発天体に対応可能
を目指す。

強力な $z > 10$ GRB 同定観測



まとめ

WISH = Wide-field Imaging Surveyor for High-redshift
初期宇宙、初代銀河探査の非常に強力な計画

- ユニーク
- 高赤方偏移銀河サンプル(分光可能 with TMT)
- すばるの成果の発展

ぜひ、実現しましょう！

