

COMPACT Ly α -EMITTING CANDIDATES AT $z=2.4$ IN DEEP MEDIUM-BAND HUBBLE SPACE TELESCOPE WFPC2 IMAGES

Pascarelle, S.M. et al.
1998AJ...116.2659P

Sub-galactic clumps at a redshift of 2.39 and implications for galaxy
formation

Pascarelle, S.M. et al.
1996Natur.383...45P

2011/1/12 雑誌会

馬渡 健 (M1)

ABSTRACT : 53W002領域=原始銀河団候補 (z=2.39)

- ・ z=2.39電波銀河53W002の周辺2.5分(1.2Mpc)四方をHST/WFPC2で撮像観測
=>z=2.39のLAE(Ly α emitter)候補を17天体検出
 - ・ 検出LAEのほとんどがcompact/faint
=>これから衝突・合体繰り返して普通の銀河になるbuilding-block
(z=1~3は銀河の激進化期)
 - ・ 電波銀河は高密度領域にいることが多い+極めて狭い視野の観測にもかかわらずに同時代の銀河が複数個
=>高密度領域? 原始銀河団?
別の3領域でもLAE探査、比較。視野毎に数密度にばらつきあり
=>z=2.39ではすでに宇宙の大規模構造あり! 53W002領域は高密度領域
ではあるが、uniqueではない
- (私見) ・ clusteringを議論するには視野がせまいので信頼性うすい
- ・ 銀河種族の豊富さ的には良い領域(unique)

INTRODUCTION : モチベーションは構造形成論

Question : 宇宙の歴史において構造(銀河や銀河団)はどのようにできてきたのだろうか？

有力な解答 : CDMモデルに基づく bottom-up シナリオ

=> 検証したい ----- ・ 現在の銀河の種となる building-block の存在

とりあえず原始銀河団
のサンプル増やしたい

やmergingによる成長の痕跡

銀河団スケールの大規模構造の成長

but

high-zの3次元密度超過領域(原始銀河団)を分光的に見つけるのは大変

↓

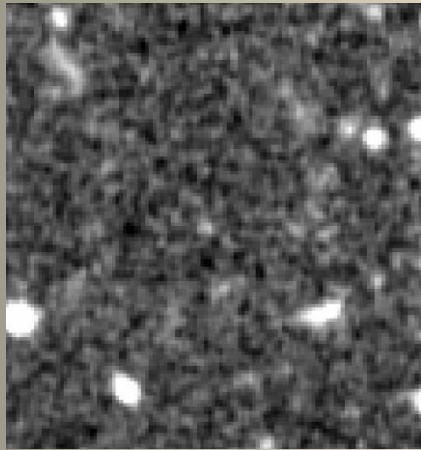
※効率よく原始銀河団を探し当てる方法

(1) 電波銀河周りを選択的に探査 : 近傍で電波銀河はcluster中に多い

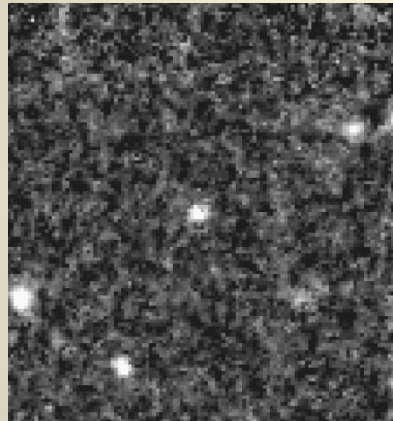
(2) 狭帯域フィルターを用いたLAE撮像探査

事前知識: Lyman α emitter (LAE) とは？

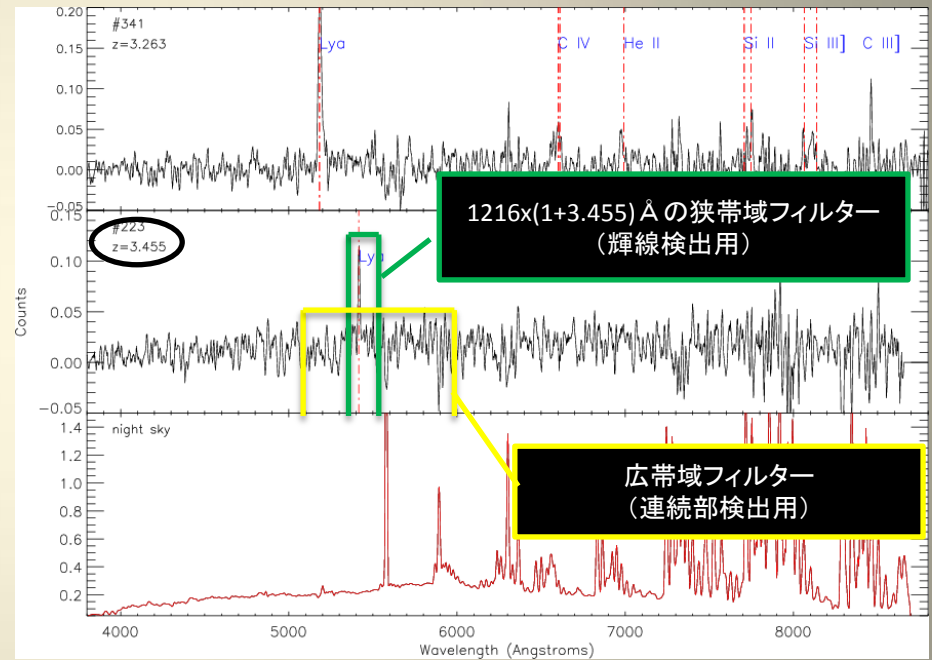
- 定義: 狭帯域フィルター(中心波長= $1216 \times (1+z)$ Å)で撮像した際に、Ly α 輝線により明るく写る天体
- ⇔ 赤方偏移 z の、Ly α 輝線放射が強い銀河



広帯域バンド画像
(連続光)



狭帯域バンド画像
(輝線があれば明るく写る)



- ・・・基本的には「dust-freeな若い星形成銀河」と考えられているが、物理的性質で定義しているわけではないのでそれ以外の天体も含まれる (AGN, dust-rich, SMGなど)

※撮像により高精度で特定の z の天体をselectすることができる

Observation : HST/WFPC2 imaging (Cycle5 & 6)

- ・ ターゲット : (Cycle5) $z=2.39$ の電波銀河 53W002 を中心とした
 $2.5' \times 2.5'$ ($z = 2.39$ の *physical scale* で $1.2 \times 1.2 \text{ Mpc}^2$)
(Cycle6) 3つの参照領域 : 21h field, 16h field, 10h field
- ・ フィルター : F410M ($\text{Ly } \alpha$), F450W (B), F606W (V)

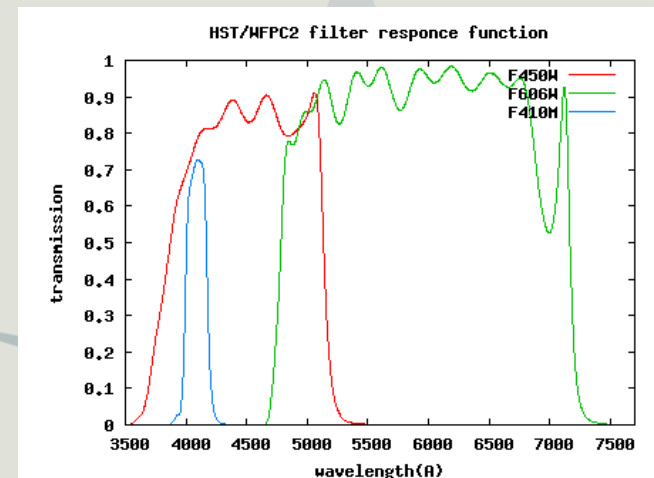


$z=2.39$ の rest 1200–2500 Å を見ることに

中心波長 = 4090 Å, バンド幅 (FWHM) = 150 Å ← ちょっと幅広

(つかまる LAE の redshift range = 2.30–2.42)

- ・ 検出限界 : (銀河, 1σ) B, V ~ 27 mag, I ~ 26 mag
(点源, 5σ) B, V ~ 28 mag, I ~ 27 mag
※ F410M の検出限界は不明
(25.5 mag?)



(by mawatari)

Results : LAE selection

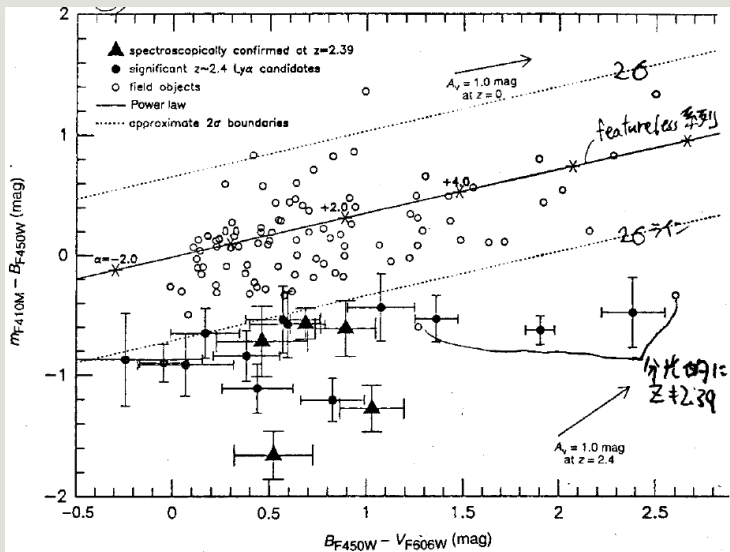
「broad band(B, continuum)で暗く narrow band(Ly α)で明るい」を定量的に！

=> EW もしくは **color:F410M-B** でselectするのが一般的
この値が小さいほど輝線強い

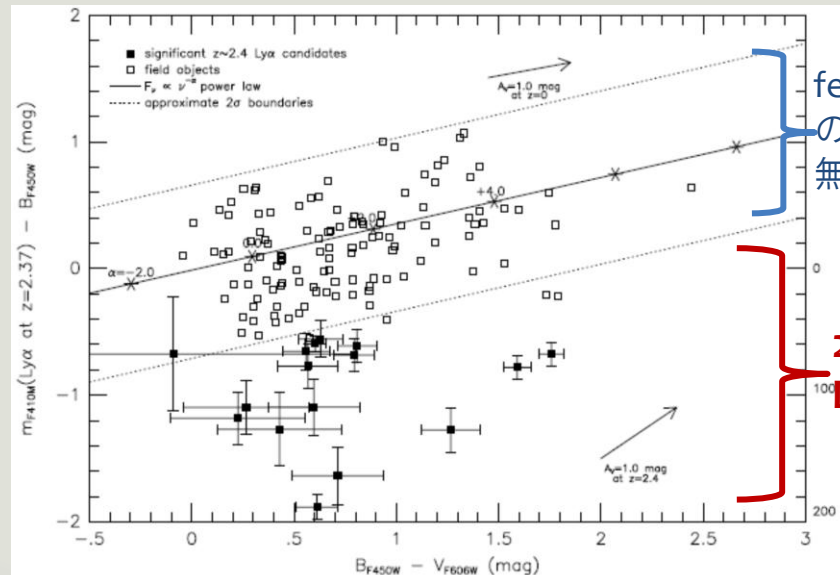
※更にVデータ使ってcontinuumの傾きを補正

F410MはBの短波長側にあるので、F410M-Bだけでselectionすると continuumが青いlineなし銀河も拾ってしまう

: featureless (lineなし) 銀河のスペクトルを $F_{\nu} \propto \nu^{-\alpha}$ と仮定して、
2色図(B-V vs F410M-B)上でfeatureless銀河の系列を作ってる



53W002 field



参照領域 21h, 16h, 10h field

featureless系列
の2 σ 以内は
無関係銀河

2 σ より下が
LAE

Results : LAE selection

- ・ 2色図上で選ばれた輝線天体の輝線は本当にLy α か？

： 原理的には $z=0.097$ の[OII] (3727 Å) や $z=1.64$ の[CIV] (1550 Å) もありえる

みこむ体積が小さい

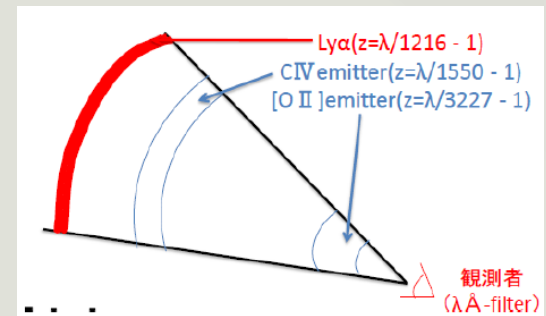
： AGN $\rightarrow z=1.6$ のLFから数少ない (Nilsson 2009)

\Rightarrow 統計的にLy α の可能性が圧倒的に高い！

- ・ 53W002中の2色図selected天体のうち7天体を分光

\Rightarrow 2天体はニセモノだった

(この方法の信頼性=70% ?)



- ・ 最終的には「目で見てチェック」



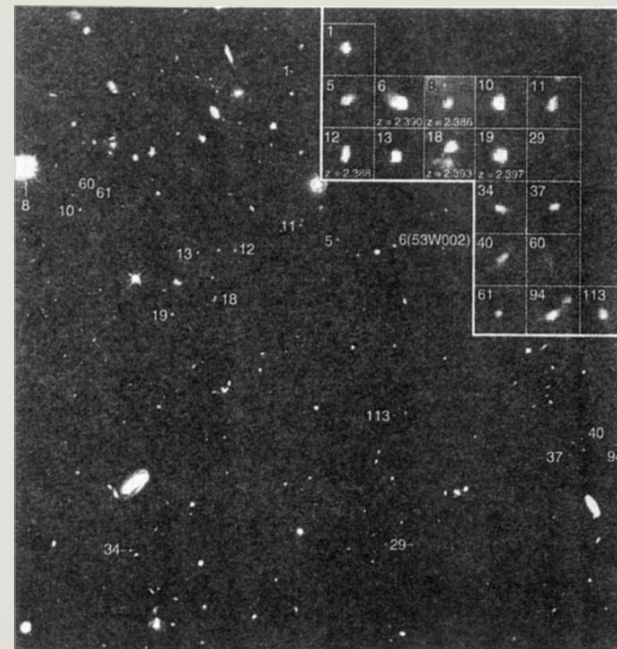
☆最終的なLAE候補の数は . . .

53W002 field \rightarrow 17天体

21h field \rightarrow 3天体

16h field \rightarrow 11天体

10h field \rightarrow 4天体



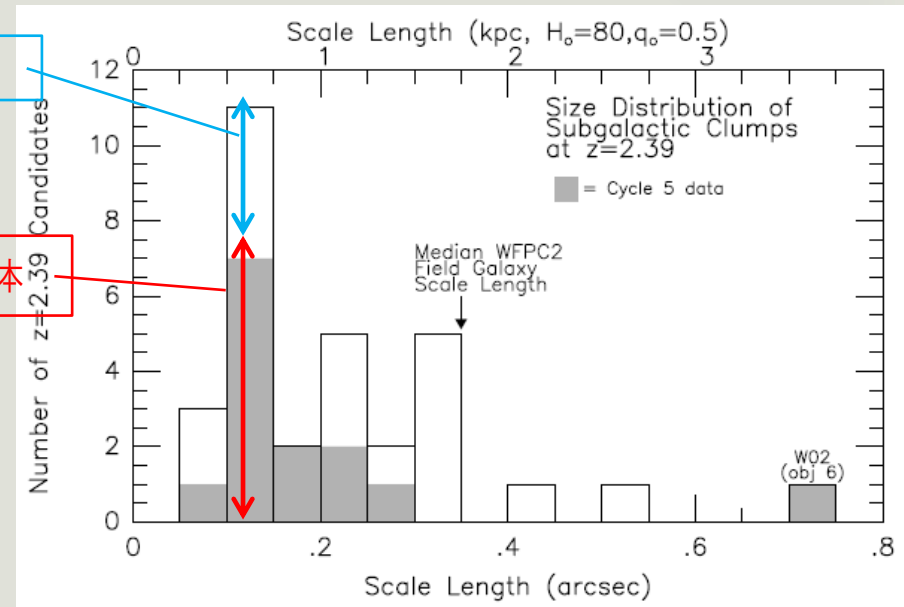
Results : Size

- ・ サイズの定義 : B, V画像上で検出したLAEに対して楕円形 isophotoを書き、その時のhalf light radiiの平均値

- ・ サイズ分布
(53W002field : shaded)
<0.2" が多い
(参照領域 : white)
53W002と同じような分布?
0.3-0.35binはニセモノくさい

参照領域内天体

53W002領域天体



⇒ 「WFPC2で受かる無関係の銀河(今見てるものと同じくらいの暗さ)のサイズより、 $z=2.39$ のLAE候補は小さい」

Results : Luminosity

光度分布

- shaded=53W002領域内LAE
- white=参照領域内LAE
- 光度の内、点源由来の光度はAGNとみなして差し引いた
(あくまで銀河内星質量/形成を反映した明るさを調べたい?)
- $z=2.39 \rightarrow 0$ で静的な星進化を仮定すると

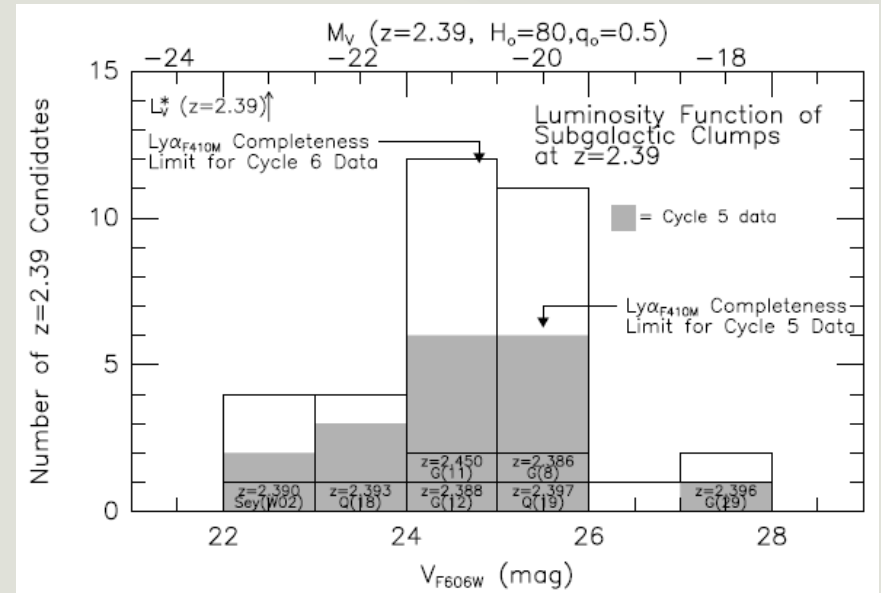
$z=0$ で典型的な明るさを持った銀河の $z=2.39$ での光度は $M_V \sim -23\text{mag}$

but

今回受かったLAE候補のほとんどが $M_V < -23\text{mag}$: sub-galactic

また

53W002領域と参照領域との間で光度分布に違いはみられない



Discussion : Galaxy formation at high redshift

・ Size/Luminosityから、今回見つかったLAEはsub-galactic

=>静的な進化ではなく、衝突・合体を繰り返して現在の普通の銀河になるような” building blocks”

: hierarchical銀河形成論の予測通り！

また他領域における同様な研究においてもこうしたbuilding blockが
どんどん発見されてきた ($z > 2$)

Discussion : Structure at z=2.4

- ・ 53W002領域と3つの参照領域との間に大規模構造としての差異あるか？

※注意：領域毎に観測の深さが違うので、単純にLAE検出数(53W002 field : 17, 21h field : 3, 16h field : 11, 10h field : 4)を比較してはダメ

=>一番浅い観測：21h fieldの検出限界(F410M)=25mag に他の領域も合わせる

=>53W002 field : 10 → 7天体 (LAE検出信頼性70%だから)

21h field : 1天体

16h field : 8天体

10h field : 2天体

1天体も分光確認していないので信頼性評価できない(?)

領域毎にLAE密度明らかに違う！

- ・ 2領域の数密度の違いを表す指標： $\frac{|N_1 - N_2|}{\sqrt{N_1 + N_2}}$

=>53W002, 16h fieldと21h, 10h fieldで約2倍の差

- ・ 3次元空間密度

0.038Mpc^{-3} (53W002), 0.0054Mpc^{-3} (21h), 0.043Mpc^{-3} (16h), 0.011Mpc^{-3} (10h)

Discussion : Structure at $z=2.4$

- ・ 密度超過 + 53W002は電波銀河

=> 53W002領域はある種の” structure” (group?cluster?)

high- z ではbuilding blockが” sheets” /” ribbon” 状に分布する
という理論シミュレーション (Rauch et al. 1997) とconsistent

：分光されてる 5天体の速度分散が小さい→sheetをface-onで見てる？

5天体が本来同じ z に存在し、
速度分散により z 分散が
観測されてると考えてる

- ・ 偶然53W002領域と同程度の高密度領域：16h fieldも発見

Discussion : Luminosity function

- 4領域のLAEのB等級用いてLF作成 (4領域はならしたら平均的な密度領域?)

: field毎の検出限界の違いは体積で補正

(⇔浅い領域での暗いbinは体積小さく考える)



- Canada-France Redshift Surveyデータによる異なるredshift rangeのLFと比較

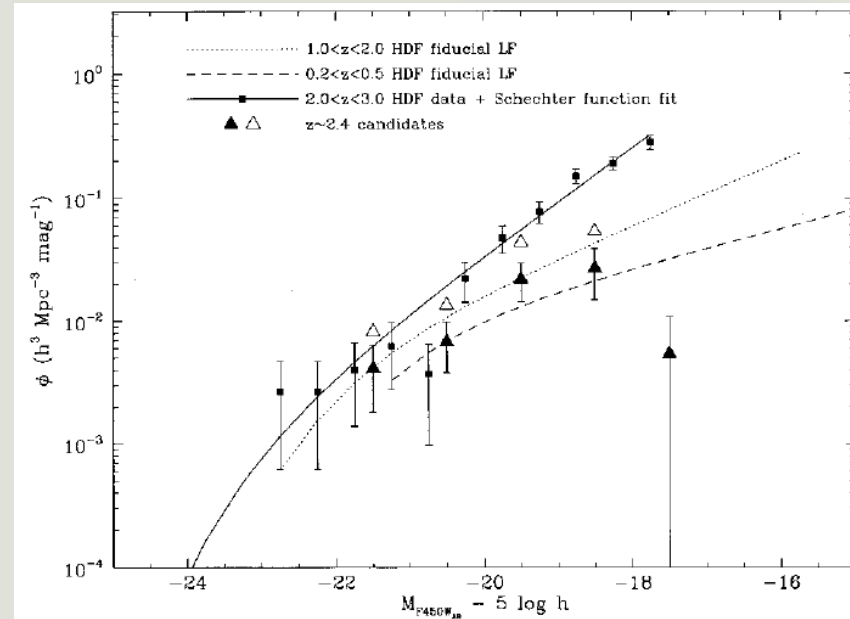
⇒▲プロットは $M > -19.5$ において傾きは

$2 < z < 3$ のLFと似ているが、全体的に数少ない

: LAEが $z=2.4$ 銀河の全てではないから当然

他研究から $z=2-3$ 銀河の内、LAEは50%程度

⇒補正△プロットは $2 < z < 3$ のLFとよく一致



▲: 4領域のLAEを素直に使った
△: 推定 $z=2.4$ 銀河
(LAE種族は50%と考えて▲補正)

・ high-z程、blue excess
=>hierarchical merging(Lilly1996)

(4領域ならしたら平均的な密度/ $z=2.4$ でLAE種族は全種族の50% ということを示唆?)

Conclusion

- ・ Cycle6: 参照領域観測の目的=53W002領域 (sub galacticなLAEを多数検出)
がuniqueがどうかの検証

=> sub galacticなbuilding blockの存在は $z=2.4$ では
common (理論と一致)

高密度領域であることは確かっぽい
sheet状構造をface onで見てる？

感想/私見

- ・ 近傍銀河団の典型的スケール (3Mpc) を考えると、
HST観測の視野 ($2.5' \sim 1\text{Mpc}@z=2.39$) は狭く、
localな高密度領域を捕まえられてないのではないか
- ・ 検出方法 (narrow bandではなくmedium band, featureless系列の 2σ 以下)
に疑問。実際分光したら30%はニセモノ . . .
- ・ それでも、53W002周辺の狭い領域に (コンパクトLAEだけでなく)
AGNs, blobs, サブミリ波銀河, 電波銀河がそろってるというのは珍しい
=>commonな領域ではなさそう