

アーカイブデータを用いた 遠方銀河研究

(HST, すばる, VLTなど)



澁谷 隆俊

アーカイブデータを用いた遠方銀河研究

(1) [HST] 銀河サイズ, 形態進化の研究

(Shibuya+15, 16, 19)

(2) [すばる] Ly α 輝線銀河カタログの作成

(Uchi+18, Shibuya+18a)

(3) [VLT] 初代銀河候補スペクトルの再解析

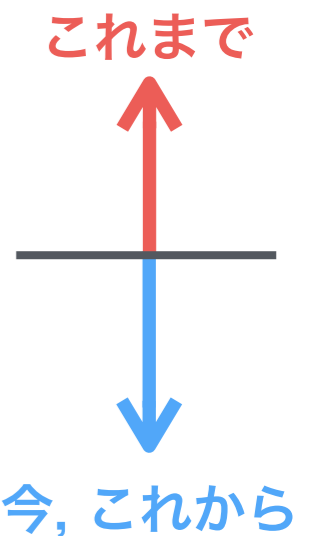
(Shibuya+18b)

(4) [すばる_他] 画像高解像度化による遠方銀河研究

(Shibuya+)

(5) [すばる_他] 天文学論文自動生成ツールの開発

(Shibuya+)

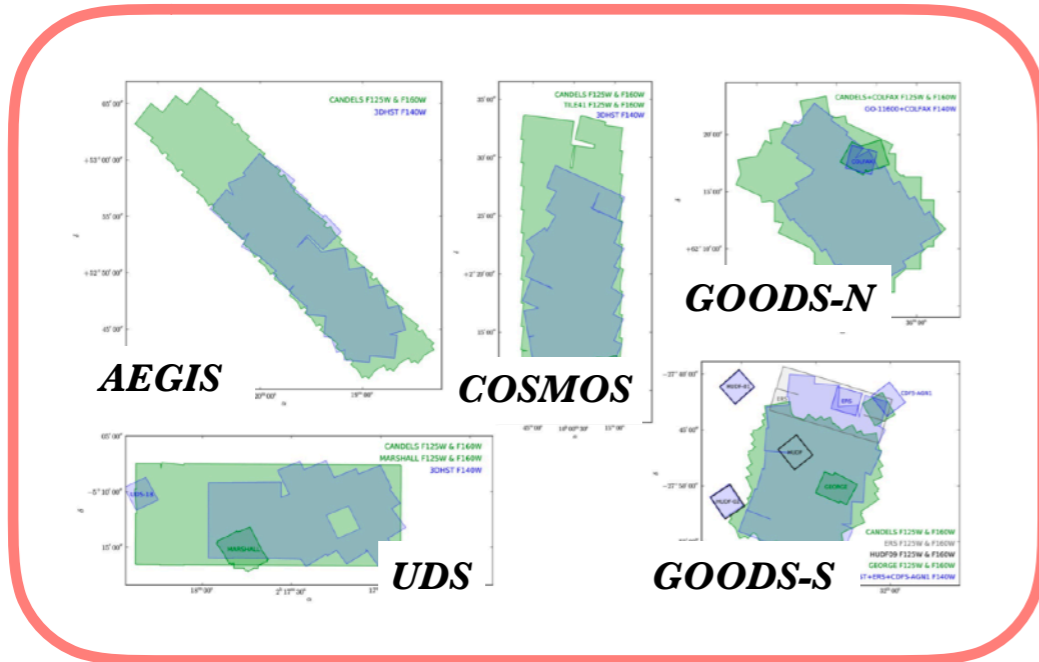


(1) [HST] 銀河サイズ, 形態進化の研究

3D-HST/CANDELS データ

ダウンロードサイト (3D-HST Team の独自サイト)

<https://3dhst.research.yale.edu/Data.php>



$$A_{\text{total}} \sim 900 \text{ arcmin}^2$$

$$\sim A_{\text{Suprime-Cam}}$$

~18万 銀河 @ $z \sim 0-6$

→ 銀河のサイズ, 形態進化など
統計的研究が可能

測光カタログ

FIELD	DOWNLOAD TAR
AEGIS	AEGIS_TAR (120MB)
COSMOS	COSMOS_TAR (132MB)
GOODS-N	GOODS-N_TAR (190MB)
GOODS-S	GOODS-S_TAR (263MB)
UDS	UDS_TAR (224MB)
ALL FIELDS	ALL_TAR (200MB) (contains selected entries; see readme for details) STAR-FORMATION RATES (8.7MB) (see Whitaker et al., 2014 for details)

FITS 画像 (整約済み)

	MOSAICS	PSFS	README
WFC3 Images	COSMOS_F125W_TAR (3.3GB) FILES		
	COSMOS_F140W_TAR (2.2GB) FILES	COSMOS_WFC3_PSFs (183KB)	READ-ME
	COSMOS_F160W_TAR (2.6GB) FILES		
WFC3 Detection	F140W+F125W+F160 (732MB) SEGMENTATION (4.5MB) USE MASK (3.0MB)		
ACS Images	COSMOS_F606W_TAR (3.5GB) FILES	COSMOS_ACS_PSFs (140KB)	READ-ME
	COSMOS_F814W_TAR (3.5GB) FILES		

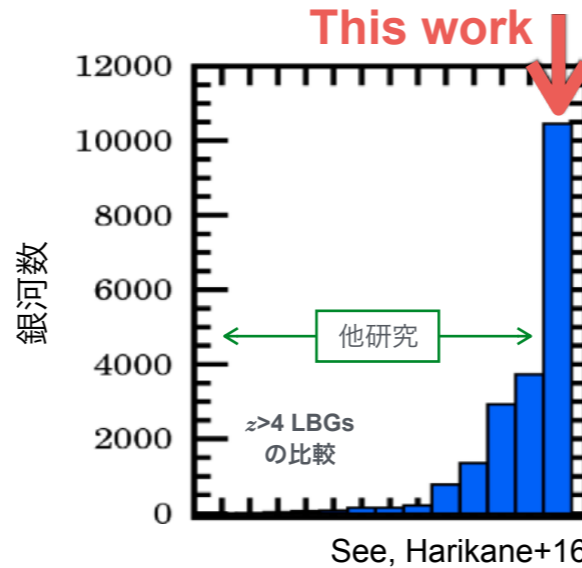
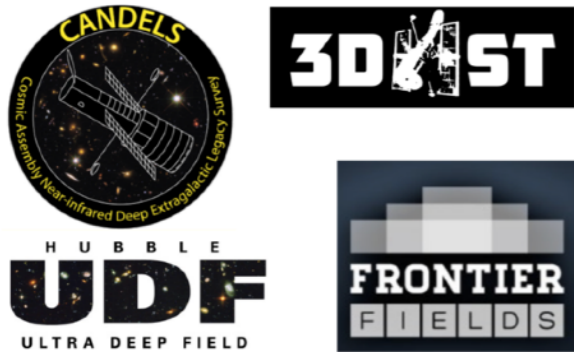
✓ 極めてシンプルな作り

✓ SSV のカタログ, 整約済み FITS 画像が置いてあるだけ

✓ 調べたい領域をクリック, ファイルをダウンロード

(1) [HST] 銀河サイズ, 形態進化の研究

他の HST データも加えて



✓ 統計的銀河研究において アーカイブデータ は強力
「観測提案→解析」の研究を屢々凌駕

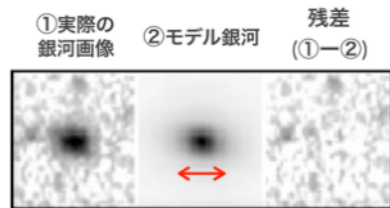
✓ 3D-HST/CANDELS 関連データを使った論文
→ 138本, 総引用数 5,392回 (2020.3現在)

✓ データ自体も強力だが,
1) データ, サイトのシンプルさ, 2) データ整約も
論文生産を促進か

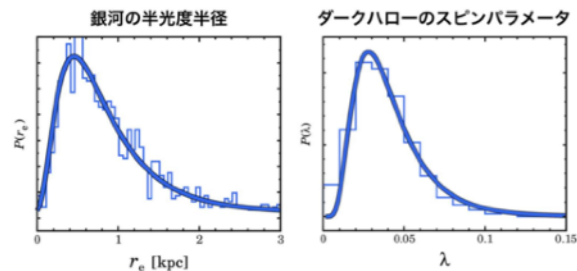
✓ 「専用パイプラインをインストールして,
使い方を学び, ...」だとハードルは上がる(?)

✓ 整約済み FITS 画像を取得すれば,
(従来通り/ユーザー独自)の解析をするだけ

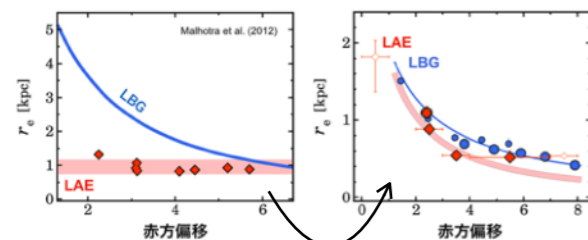
サイズ進化の研究 (Shibuya+15, 19)



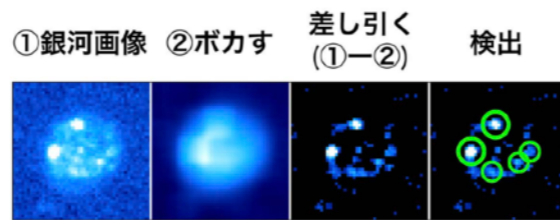
サイズ分布



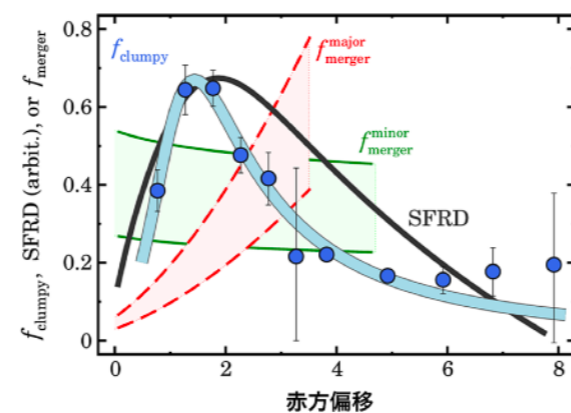
LAE サイズ進化



形態進化の研究 (Shibuya+16)



塊状銀河の進化



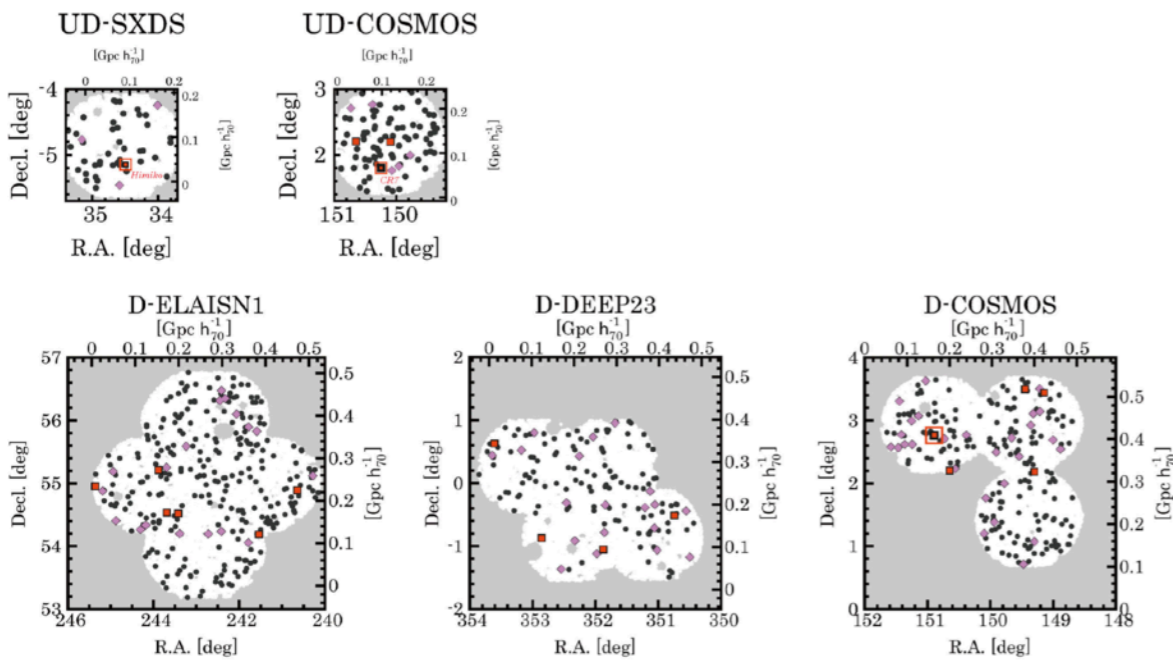
(2) [すばる] Ly α 輝線銀河カタログの作成

HSC-SSP 探査データ (第一回 古澤さん資料)

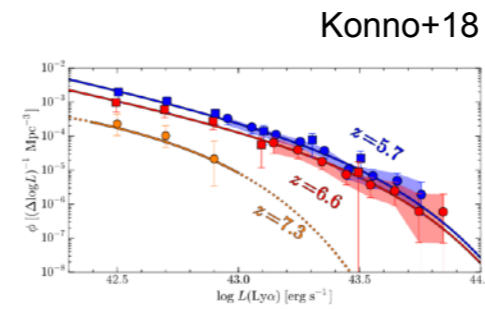
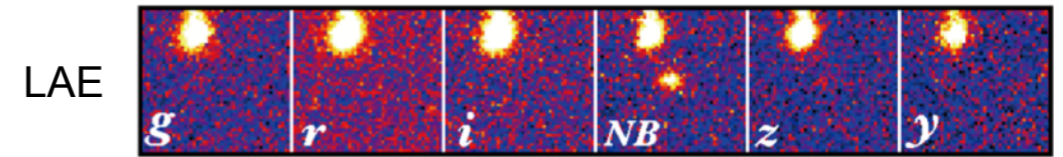


Ly α 輝線銀河(LAE)カタログ

~2,000 LAEs @ $z \sim 5.7$ & $6.6 \rightarrow z \sim 5-7$ で最大



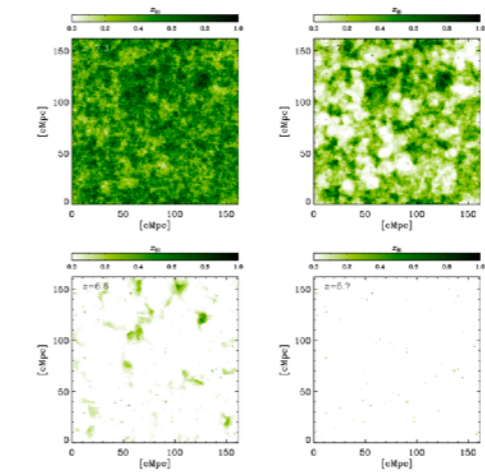
Ouchi+18



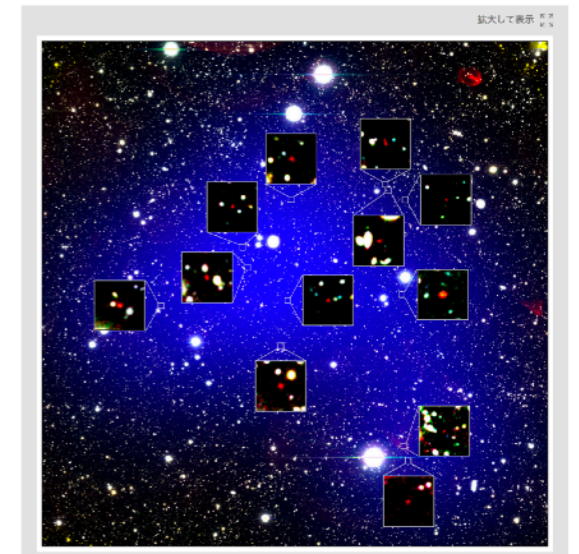
Konno+18

Harikane+19

すばる望遠鏡、130億年かなたの宇宙に銀河団を発見
 2019年9月26日 (ハワイ現地時間)
 最終更新日: 2020年3月17日
 国立天文台の榎金一さん(日本宇宙科学会特別研究員)を中心とする国際研究チームは、すばる望遠鏡、ケック望遠鏡、およびジェミニ北望遠鏡を使った観測により、地球から130億年かなたの宇宙に12個の銀河からなる「原始銀河団」を発見しました(図1)。これは現在知られている中で最も古い原始銀河団です。宇宙年齢が8億年の時代(現在の宇宙年齢の6%以下の時代)の初期宇宙に、消えに近づくながら成長する原始銀河団が存在したことを示す、重要な成果です。



Inoue+18



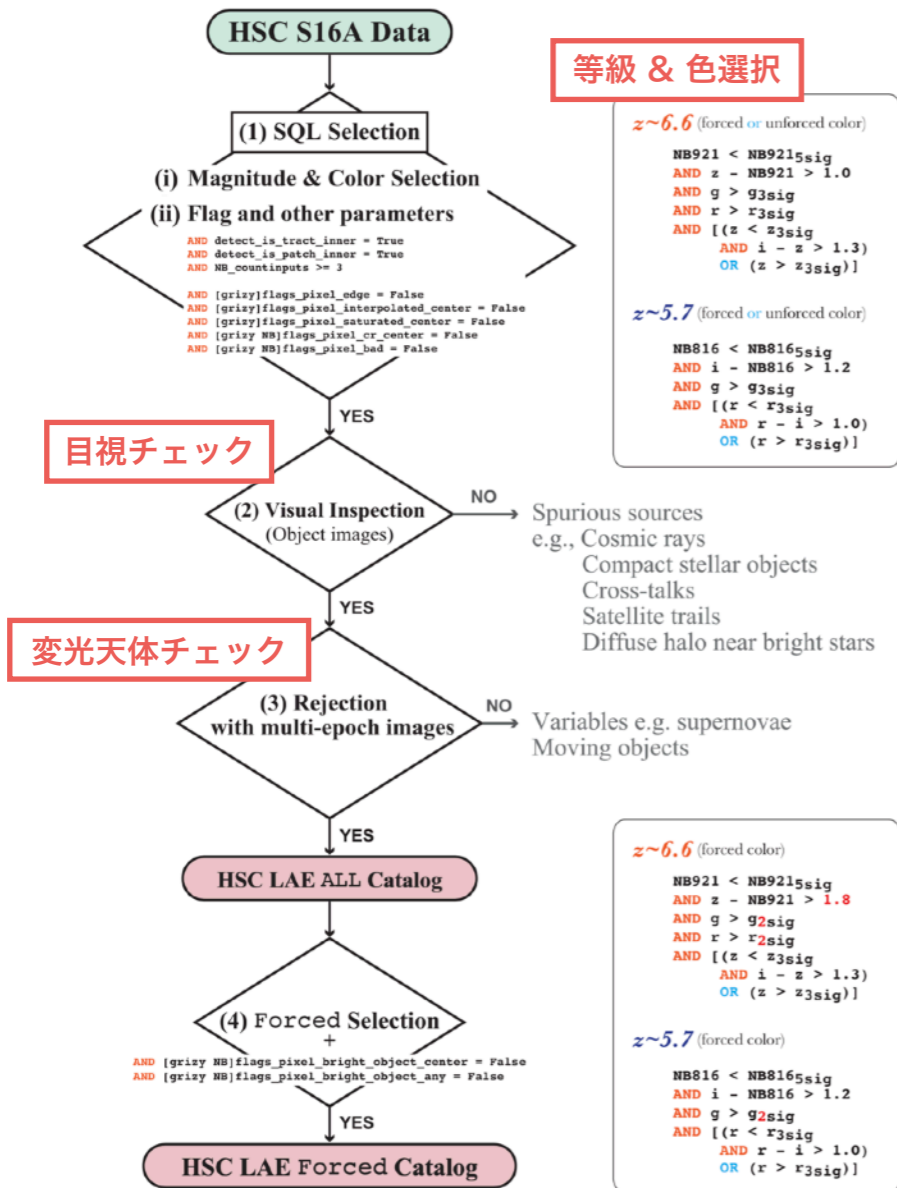
<https://subarutelescope.org/jp/results/2019/09/26/2796.html>

など

- ✓ HSC LAE カタログに基づく論文 → 9本 (2020.3現在)
- ✓ 再電離, 銀河形成/進化 研究

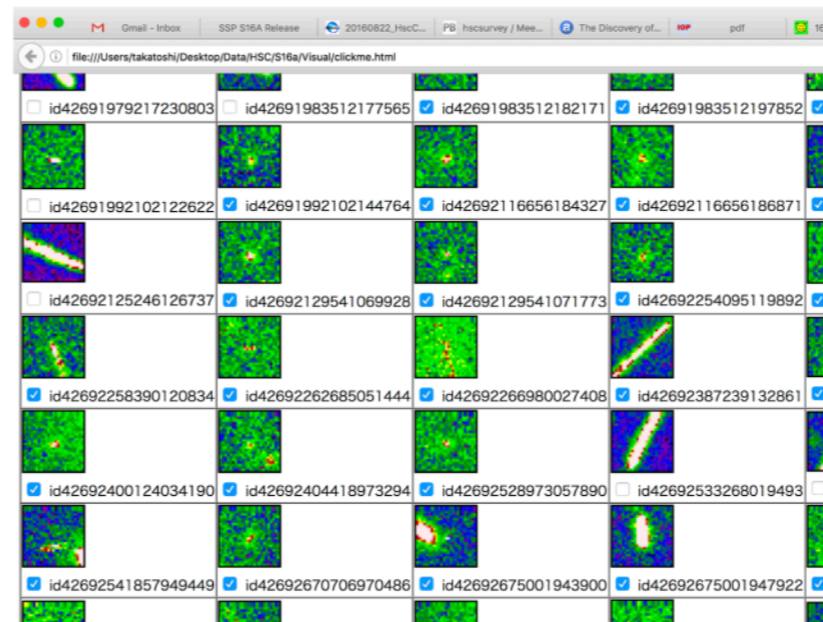
(2) [すばる] Lya 輝線銀河カタログの作成

LAE カタログ作成



Shibuya+18a

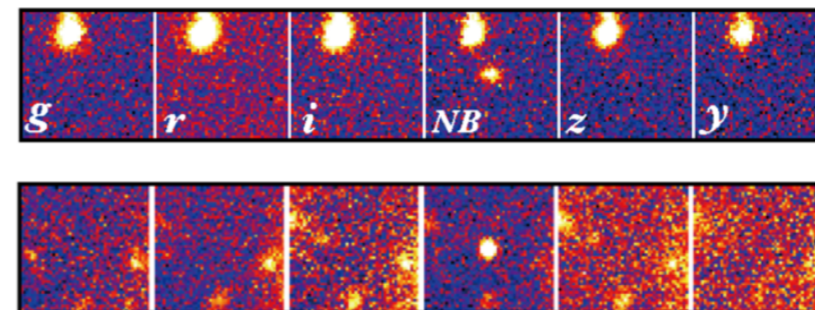
目視チェックのための簡単なソフトウェアを作成



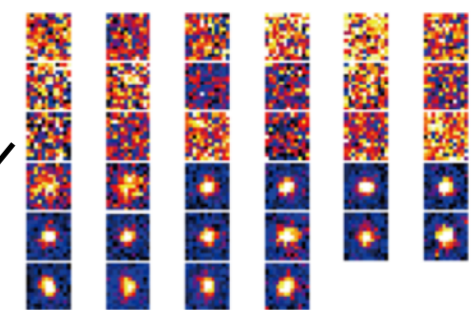
現在は機械学習で選別 (ICRR 伊藤凌平さん他)

変光天体チェック

○ 本物
× 変光



Multi-epoch 画像

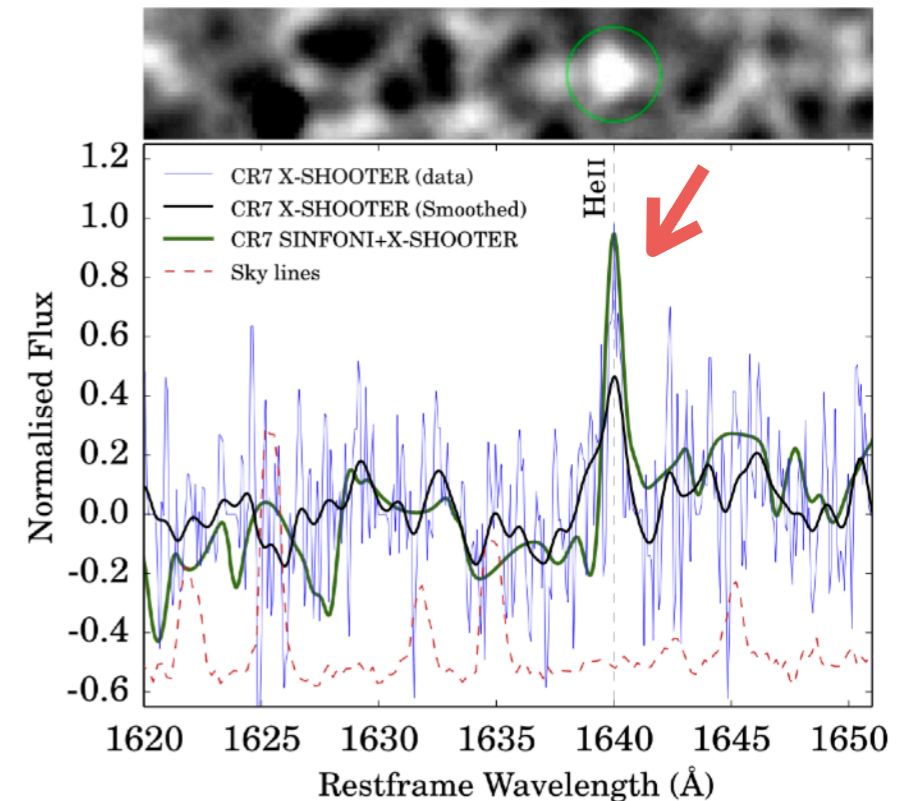
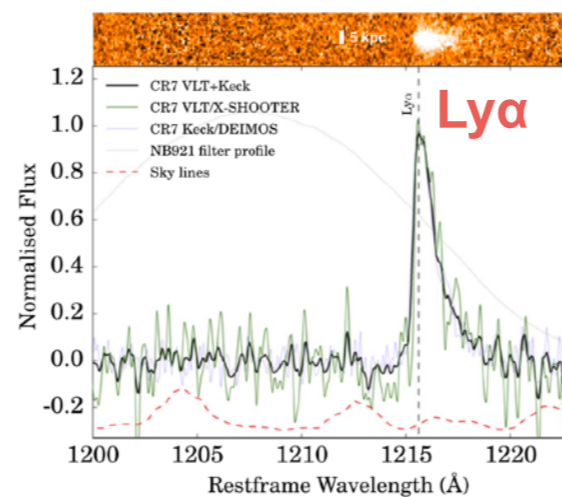
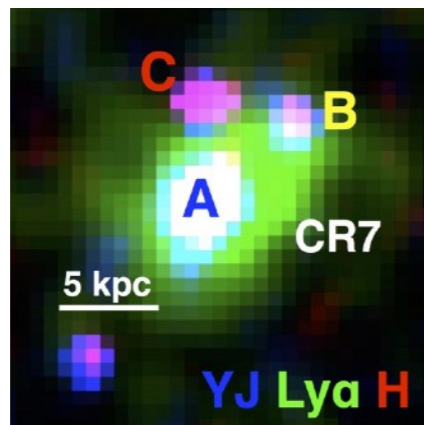


- ✓ HSC-SSP アーカイブサービス → **大変使いやすい**
- ✓ hscMap 等もどんどん進化
- ✓ 今後の機械学習研究では 学習モデル微調整の繰り返し
→ チェックのために、複数の cutout FITS 画像を同時に閲覧できるとさらに使いやすい (FITS WebQL の複数版?, 第一回 白崎さん資料)
- ✓ (x, y, flux) 数値情報だけ抽出/ダウンロードできると尚良い (取得時間短縮)

(3) [VLT] 初代銀河候補スペクトルの再解析

初代銀河の発見報告

銀河 CR7@ $z\sim 6.6$, Sobral+15



eso1524 — Science Release

Best Observational Evidence of First Generation Stars in the Universe

VLT discovers CR7, the brightest distant galaxy, and signs of Population III stars

17 June 2015



Astronomers using ESO's Very Large Telescope have discovered by far the brightest galaxy yet found in the early Universe and found strong evidence that examples of the first generation of stars lurk within it. These massive, brilliant, and previously purely theoretical objects were the creators of the first heavy elements in history — the elements necessary to forge the stars around us today, the planets that orbit them, and life as we know it. The newly found galaxy, labelled CR7, is three times brighter than the brightest distant galaxy known up to now.

Astronomers have long theorised the existence of a first generation of stars — known as Population III stars — that were born out of the primordial material from the Big Bang [1]. All the heavier chemical elements — such as oxygen, nitrogen, carbon and iron, which are essential to life — were forged in the bellies of stars. This means that the first stars must have formed out of the only elements to exist prior to stars: hydrogen, helium and trace amounts of lithium.

<https://www.eso.org/public/news/eso1524/>

- ✓ 初代銀河が初めて発見された話題に。
- ✓ VLT/X-SHOOTER で He II 輝線が 6σ で検出されたと主張
- ✓ その後、多くの理論/観測研究者が CR7 を研究

(3) [VLT] 初代銀河候補スペクトルの再解析

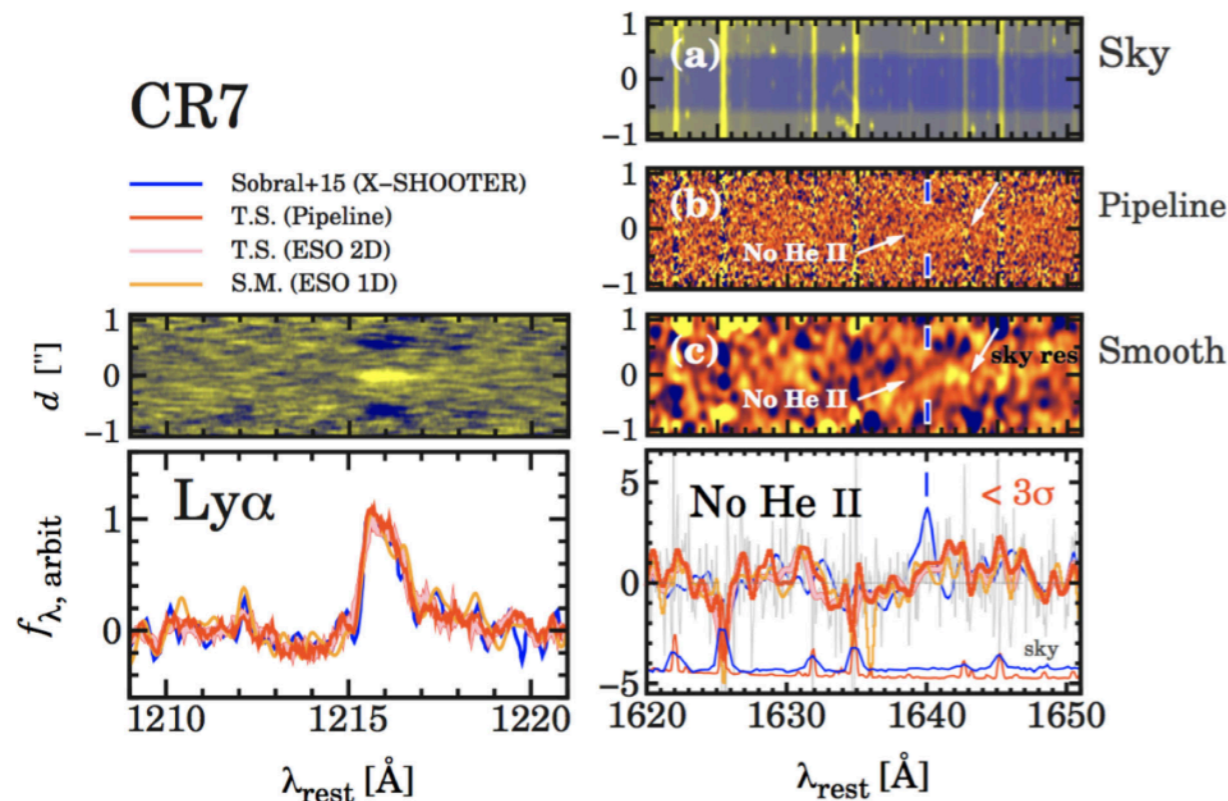
VLT/X-SHOOTER スペクトルの再解析

- ✓ HSC LAE の研究で CR7 のスペクトルが必要に.
- ✓ ESO の整約済み 2D スペクトルをスタックしても He II 輝線が見えてこない → 再解析へ
- ✓ **非検出**という結論に ($< 3\sigma$; 下図)

ESO Observational Raw Data Query Form

The screenshot shows a web interface for querying ESO observational data. It includes fields for Target Name, RA, DEC, Night, and various filters. A table lists different observing modes like ESO2D, ESO1D, etc. There are also sections for 'Data Product Info' and 'Instrumental Setup'.

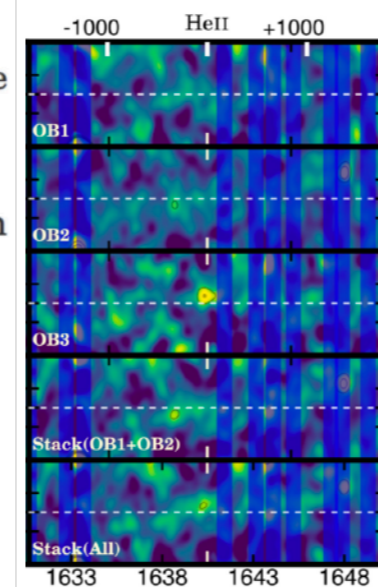
- ✓ ESO は
 - 生データ
 - **exp毎の整約済み2D/1Dデータ**を提供
- ESO Archive Science Portal
<http://archive.eso.org/scienceportal/home>
- ✓ 専用パイプラインの解説も充実
 少しいの設定で簡単に整約
- ESO Reflex Tutorial (Youtube)
<https://www.youtube.com/channel/UCCq4xr30ydNyV94OWmlrMA>



Shibuya+18b

S.M. は ICRR 向江志朗さんの解析

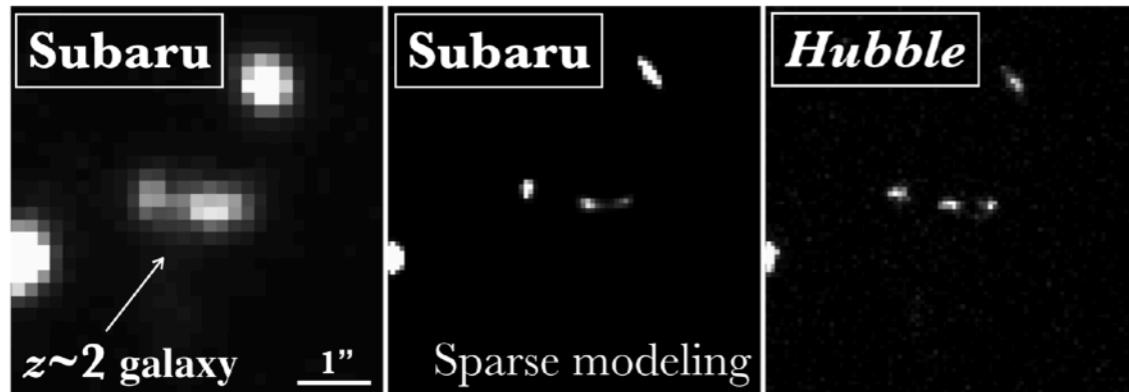
その後, CR7 発見者も同様の結論に (Sobral+19)



「初代銀河ではない」とする別の観測的証拠も (Bowler+17b, Matthee+17e)

- ✓ 銀河研究でも再解析/再観測で「非検出に」
 ということが良くある(逆も)
 (cf. 第一回 市川さん資料)
- ✓ 暗い輝線を狙った分光観測に多い印象
 (e.g., Bunker+13)
- ✓ 検出限界ギリギリの最先端研究では
 ある程度仕方がない(?)
- ✓ **独立に解析できる体制** → データ保存 (注目研究だけでも)
- ✓ 論文での, 解析手法の詳細な記述 (software version 等)

(4) [すばる^他] 画像高解像度化による遠方銀河研究

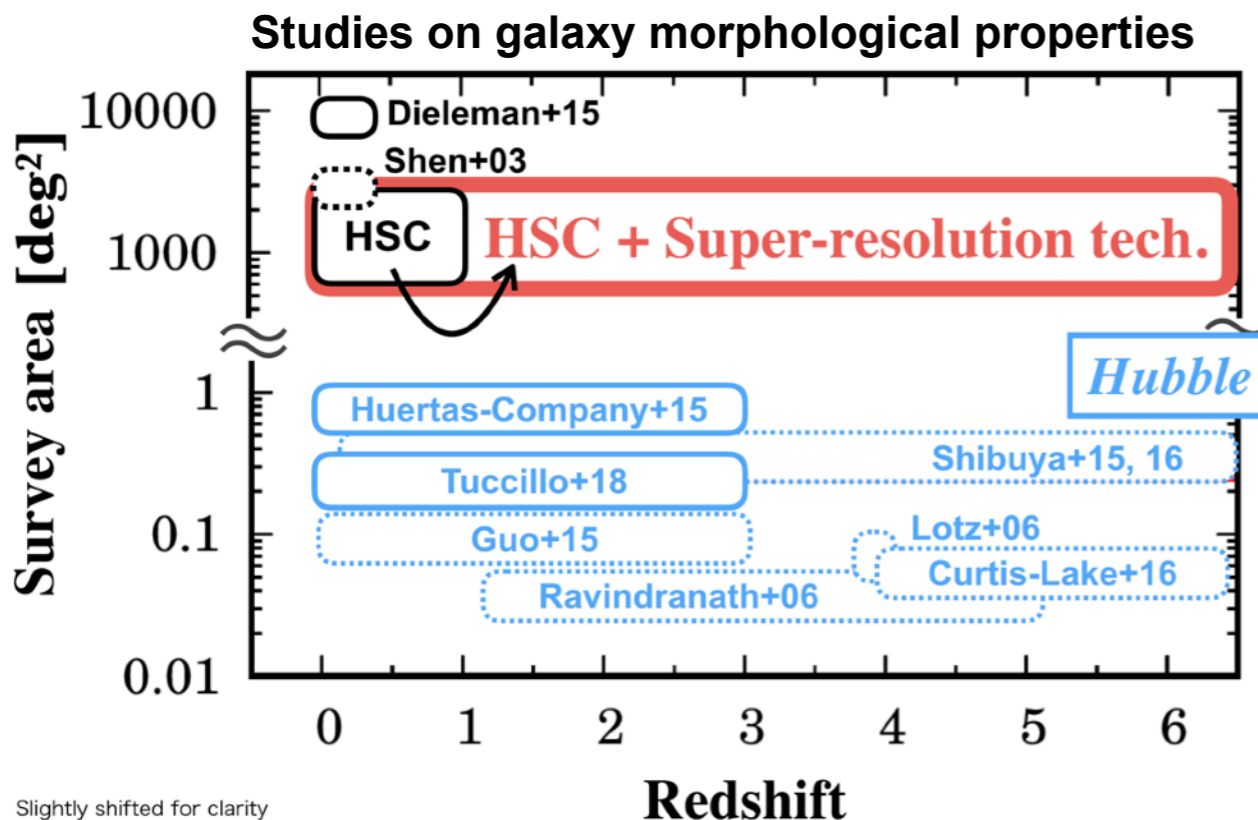


Shibuya+in prep.

- ✓ **Super-resolution tech.** for Subaru/HSC images
- ✓ **PSF $FWHM_{HSC} \sim FWHM_{Hubble}$**
- ✓ **Enables to study morphological properties of high- z galaxies using large-area survey data of ground-based telescopes**

↓ e.g.,

- ✓ **Merger fraction of bright-end galaxies**
- ✓ **Morph-density relation of $z > 2$ proto-clusters**
- ✓ **High- z rare populations (e.g., red/blue nuggets)**



- ✓ **新しい解析手法を既存データに適用 → 新たな研究**
- ✓ **将来の新技术**；データ保存の重要性 (cf. cryonics)

整約済みデータだけでも良いかも知れないし、生データも必要かも知れない。
 将来の新技术だから(当然)分からない。可能であれば全てを残す。データ保存の動機付け。

(5) [すばる_他] 天文学論文自動生成ツールの開発

- ✓ **自然言語処理技術**の目覚ましい発展 (機械翻訳等)
- ✓ アーカイブデータと論文文章の組み合わせ
→ **論文を生成**できるのでは？

テスト解析

- ✓ 定型表現が多い「データ解析」の章
- ✓ Subaru/FOCAS 分光観測論文 → コーパス作成
Kashikawa+02 を引用 && abs:“spectroscopy”
→ ~90 論文 → “reduc” が入る文章を入力/学習

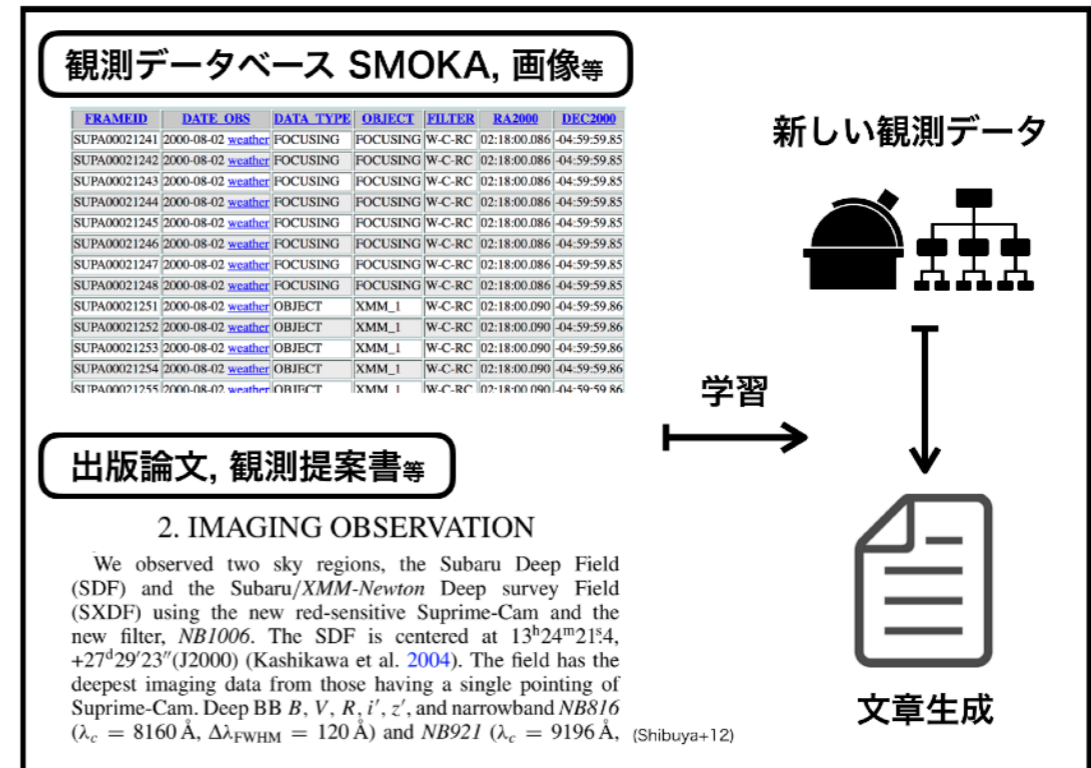
自動生成文章 (例)



N: 数値

- ✓ 論文の文体は捉えている
- ✓ 何となく言いたそうなことは分かる ???
- ✓ スペルミス
- ✓ まだまだ, 要改善

目標



- ✓ - メタデータ → 「観測」「データ解析」
- (出版論文, 観測提案書 → 「イントロ」)
- 文章要約 → 「アブスト」「まとめ」

- ✓ → **より創造性の高い作業に専念**
(研究アイディアの創出, 「議論」の章の執筆等)

- ✓ **膨大な文章との紐付け** → 新たな発見

まとめ

- (1) [HST] 3D-HST他 → ✓ 銀河研究において アーカイブデータは強力
✓ データ, サイトのシンプルさ, データ整約も論文生産を促進か
- (2) [すばる] LAEカタログ → ✓ HSC-SSP データ → 大変使いやすい
✓ 機械学習研究への対応
- (3) [VLT] スペクトル再解析 → ✓ 独立に解析できる体制
- (4) [すばる他] 高解像度化 → ✓ 将来の新技术への期待
- (5) [すばる他] 論文自動生成 → ✓ アーカイブデータの新たな可能性

回答

・アーカイブや公開データに必要とされる要件 → 生データ+整約済みデータ, シンプルさ, 機械学習研究への対応, 独立に解析できる体制 (ESO が好例か)
・アーカイブによりあげられた成果 → (1), (2), (3); 見込まれる成果 → (4), (5)