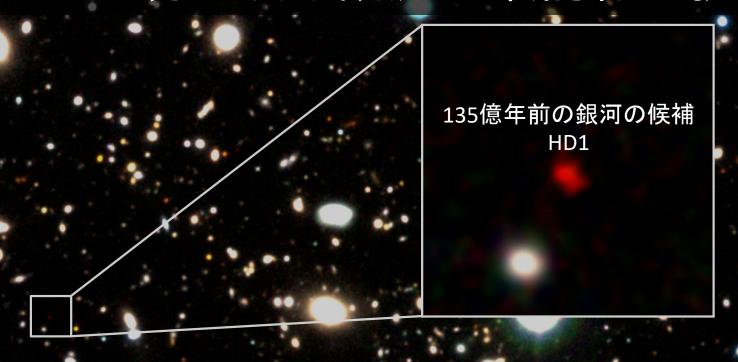
最大の望遠鏡で銀河観測の最前線に挑む



播金優一

(東京大学宇宙線研究所)

自己紹介

はりかね

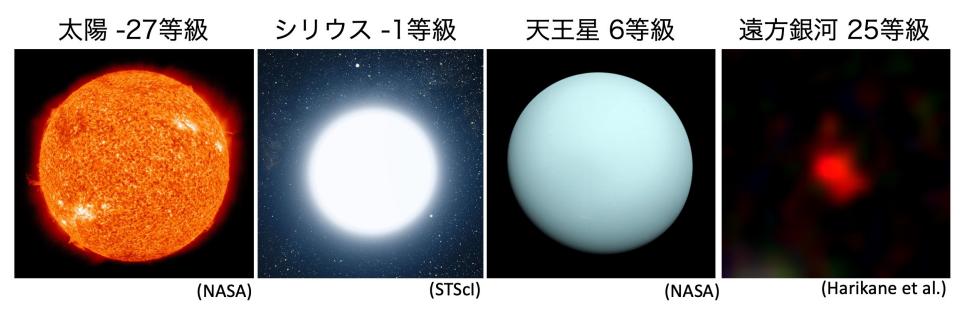
生まれ

- 播金優一(播磨の播+金剛山の金、らしい) 東京-兵庫-東京-愛知-東京-千葉-東京-ロンドン-千葉 小中高 大学・大学院 研究員 (ポスドク) 今(30歳)
- 大望遠鏡を使って、銀河の研究をしています
 - すばる望遠鏡、アルマ望遠鏡、ハッブル宇宙望遠鏡、 ケック望遠鏡、NOEMA望遠鏡、マゼラン望遠鏡、せい めい望遠鏡、ジェイムス・ウェッブ宇宙望遠鏡 (予定)



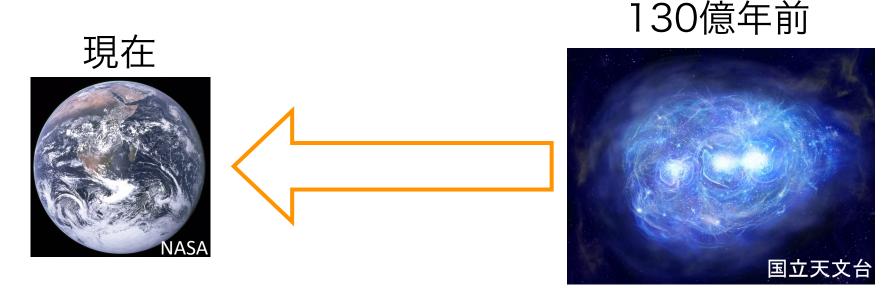
なぜ大望遠鏡?

- 遠方の宇宙にある銀河を調べたいから
 - 遠方にある銀河は暗い
 - 25-30等級、6等星の1億分の1の暗さ
- 大きな望遠鏡を使って光を集める必要がある



なぜ遠方の銀河?

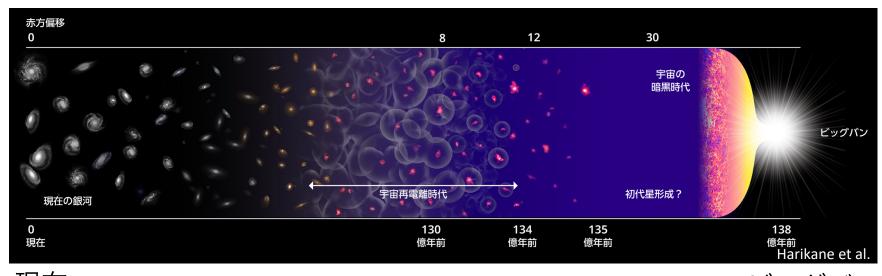
- 遠くの宇宙の銀河 = 昔の銀河
- ・光の速さは有限



光の速さで130億年かかる=130億年前の銀河

なぜ昔の銀河?

• 銀河がどのように進化してきたか知りたいから



現在 ◀

ビッグバン

天の川銀河

アンドロメダ銀河

かみのけ座銀河団

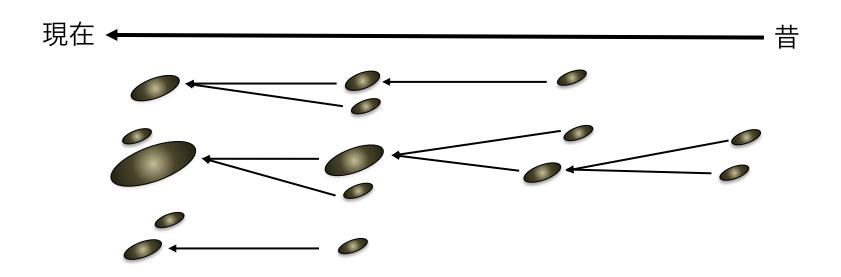
遠方銀河たち 初代星形成?

原始銀河団 初代

初代銀河形成?

銀河はどうやってできた?

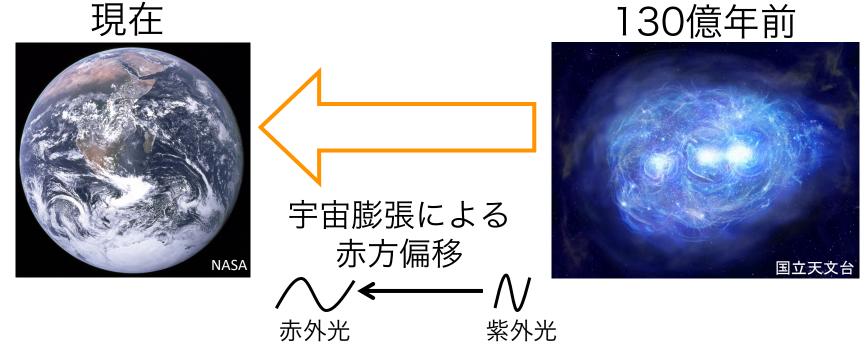
- ボトムアップシナリオ (冷たいダークマター)
 - 階層的構造形成
 - 小さい銀河からできて、大きい銀河に成長した
- 明るい (大きい) 銀河の方が数が少ない



昔の銀河の特徴

- ・ 遠くて暗い →大きな望遠鏡
- ・ 数が少ない →宇宙の広い領域を探査

• 赤い →近赤外の波長までカバー



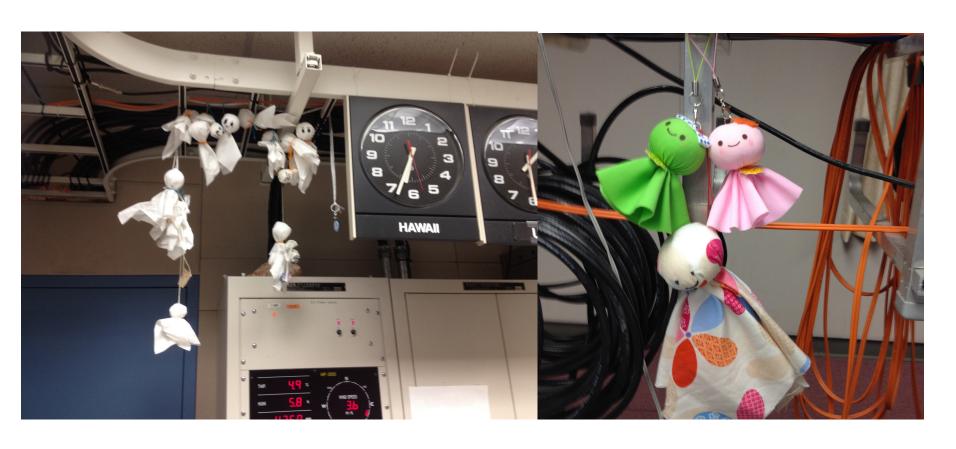
すばる望遠鏡

- 大口径 8.2mの鏡 (世界最大級)
- 可視光-近赤外まで観測可能



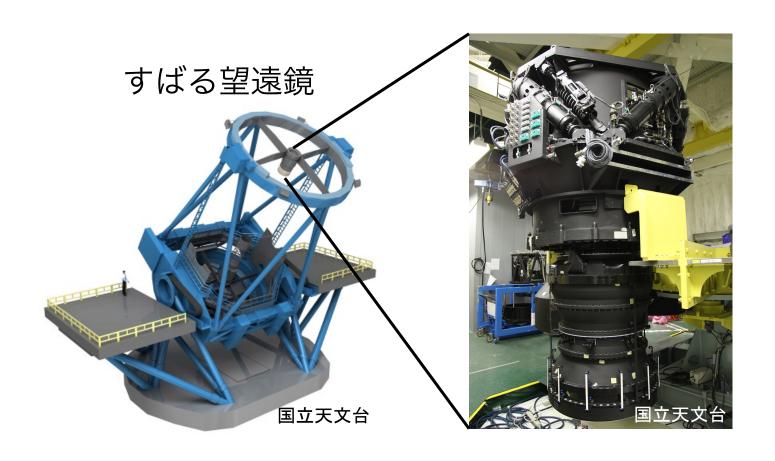
すばる望遠鏡の観測

- ハワイ・マウナケア山頂 (標高4205m)
- 今はほとんど日本からリモート観測です



すばる望遠鏡の広視野カメラ

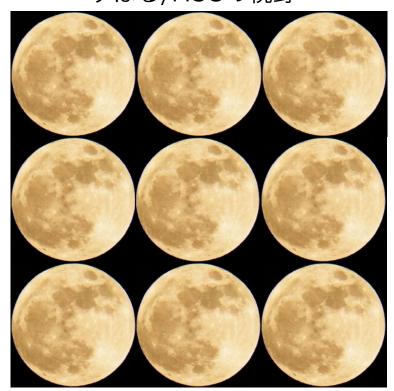
- ハイパー・シュプリーム・カム (HSC, 2014-)
 - 視野1.4平方度 (満月9個分, ハッブルの約1000倍)



すばる望遠鏡の広視野カメラ

- ハイパー・シュプリーム・カム (HSC, 2014-)
 - 視野1.4平方度 (満月9個分, ハッブルの約1000倍)

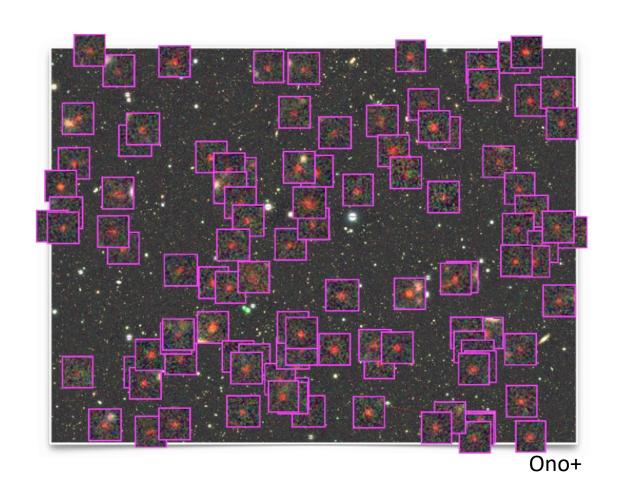
すばる/HSCの視野



ハッブル望遠鏡の視野 **□**

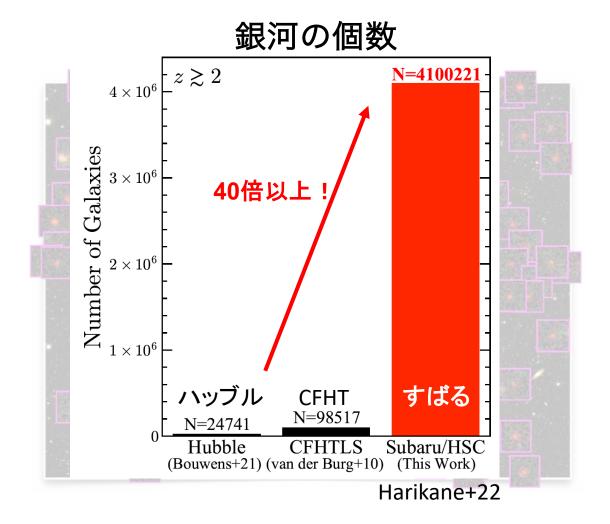
世界最大の銀河サンプル

• 4,100,221個の遠方銀河



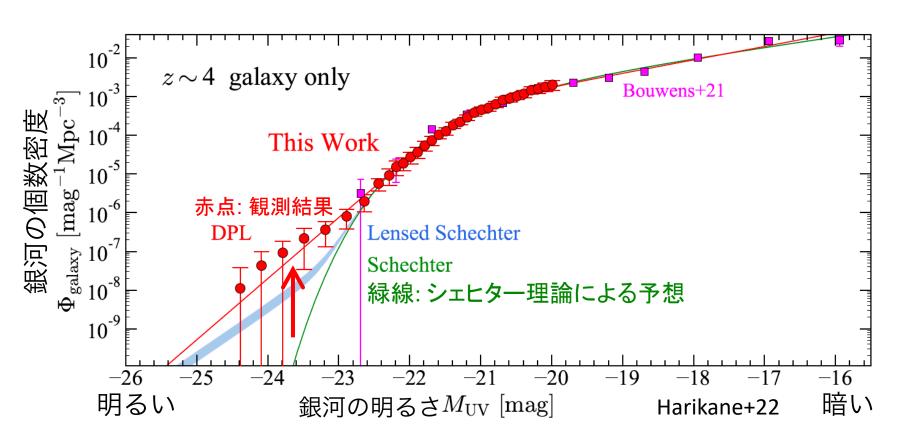
世界最大の銀河サンプル

• 4,100,221個の遠方銀河



明るい銀河がたくさん!

- 120億年前の銀河
 - 簡単な理論の予想よりも多い
 - なぜ?いくつかの説 (星形成,ブラックホール,...)



研究プロジェクト名: ゴールドラッシュ



Great Optically Luminous Dropout Research Using Subaru HSC

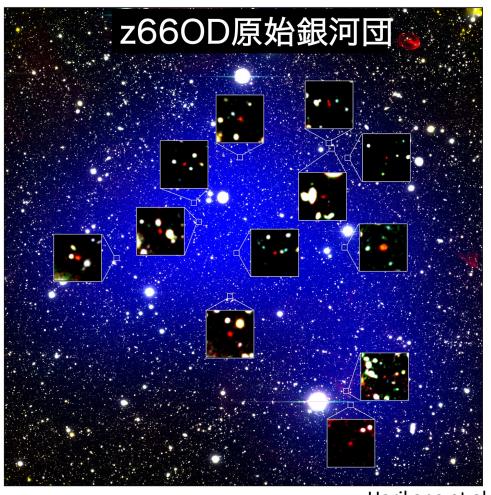
- グループの研究者で3回ミーティング
- 50個以上の候補
- 英語ネイティブによるチェック
- シルバーラッシュもあります



Systematic Identification of LAEs for Visible Exploration and Reionization Research
Using Subaru HSC

変な場所 (原始銀河団) の発見

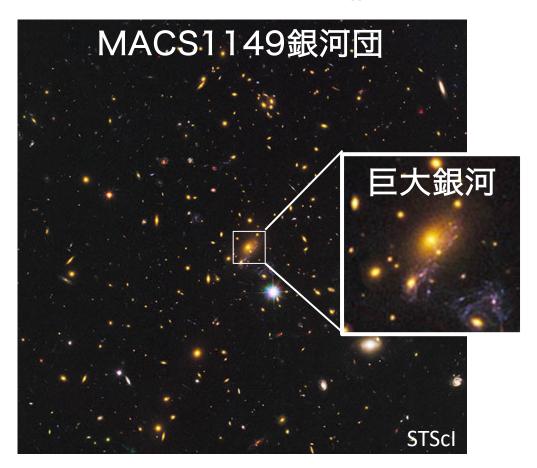
130億年前の銀河が密集している (通常の15倍)



Harikane et al.

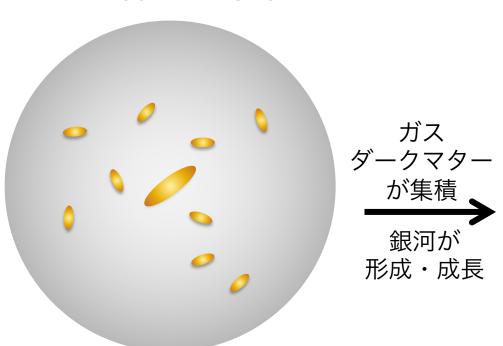
銀河団

- 1000個程度の銀河が密集 (巨大銀河を含む)
- 宇宙で最も重い天体=宇宙の構造の屋台骨



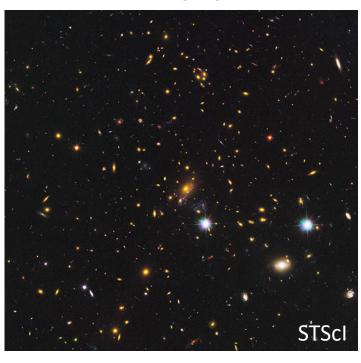
原始銀河団=銀河団の祖先

原始銀河団



?~約100億年前 どの時代?約10個 銀河の数

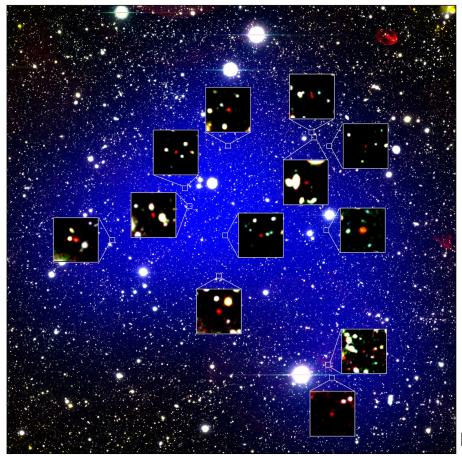
銀河団



約90億年前~現在 約1000個

z66OD原始銀河団

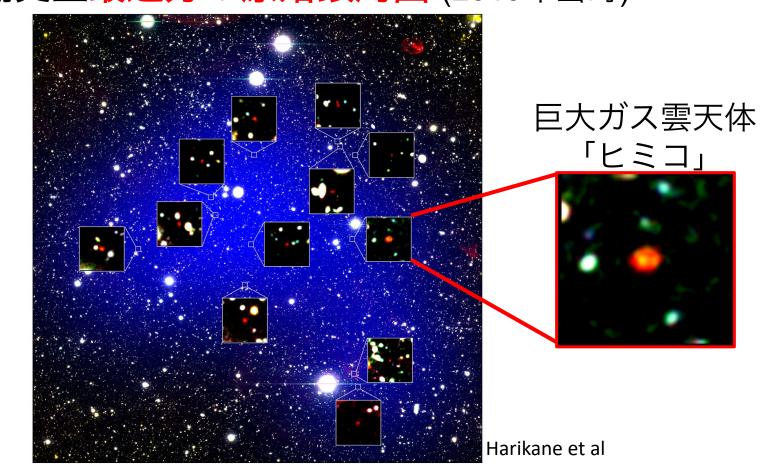
130億光年先の12個の銀河が密集する、 観測史上最遠方の原始銀河団 (2019年当時)



Harikane et al

z66OD原始銀河団

130億光年先の12個の銀河が密集する、 観測史上最遠方の原始銀河団 (2019年当時)



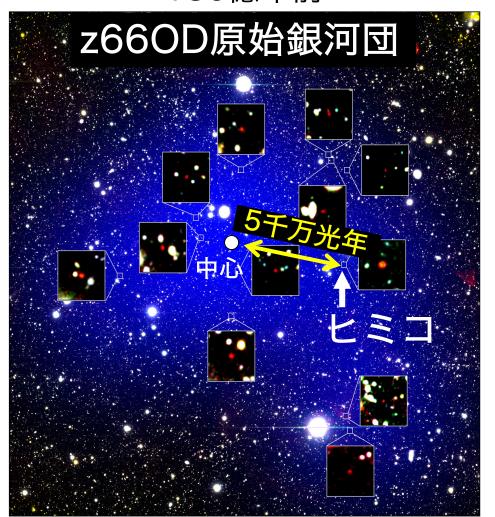
巨大ガス雲天体「ヒミコ」

- 2009年にすばる望遠鏡が発見
- ・ 130億光年先の巨大銀河

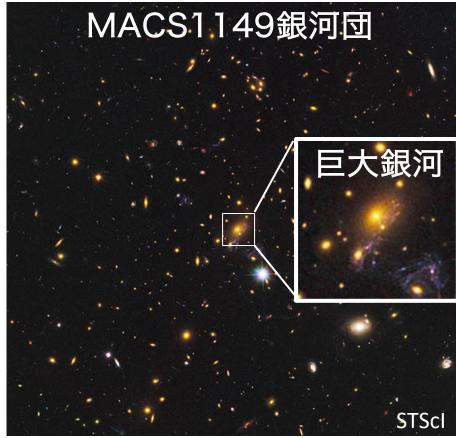


巨大天体ヒミコが中心にいない

130億年前



約90億年前~現在



巨大天体ヒミコが中心にいない

130億年前

z660D原始銀河団

約90億年前~現在 //ACS1149銀河団

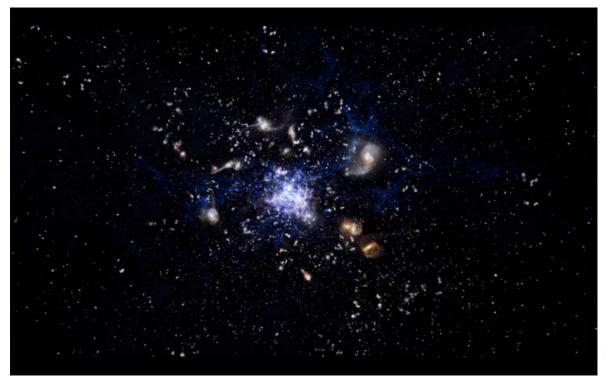
なぜヒミコが中心にいないのかは不明

巨大銀河

銀河団と巨大銀河の関係を理解する上での手がかり?

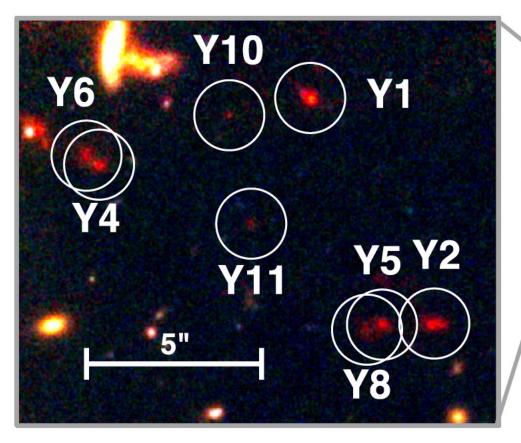
さらに昔の原始銀河団

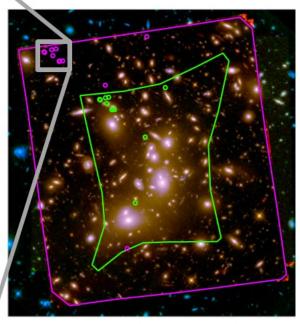
- z66OD原始銀河団は129.8億年前
- 2021年, 130.2億年前の原始銀河団が見つかった
 - 実は私たちも見つけていたけど、分光確認が彼らの 方が早かった。。。



132億年前の銀河集団?

- 通常の領域に比べて130倍銀河が密集している
 - 銀河団中心の巨大銀河の祖先?

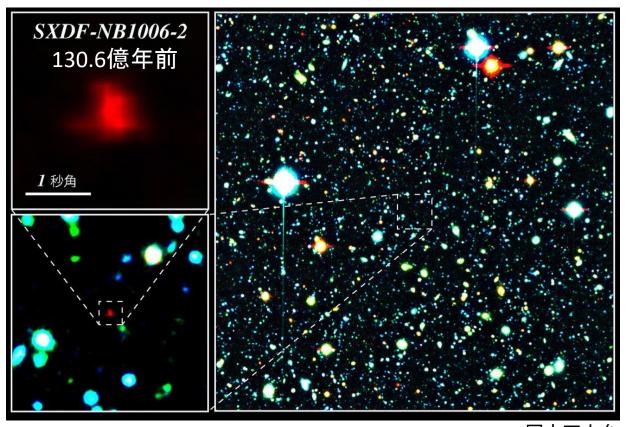




A2744C Ishigaki+16

昔の銀河は?

- すばる望遠鏡が見つけた最遠方銀河 (2012年当時)
- これより昔はすばるでは無理(1マイクロメートルまで)



国立天文台

ハッブル望遠鏡

- 波長1.7マイクロメートルまでをカバー
- 134億年前の銀河まで観測できる
- 銀河候補はいくつか見つかっていた

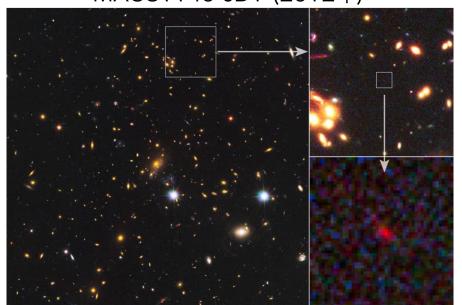


NASA

133-134億年前の銀河候補たち

MACS1149-JD1 (2012年)

GN-z11 (2016年)

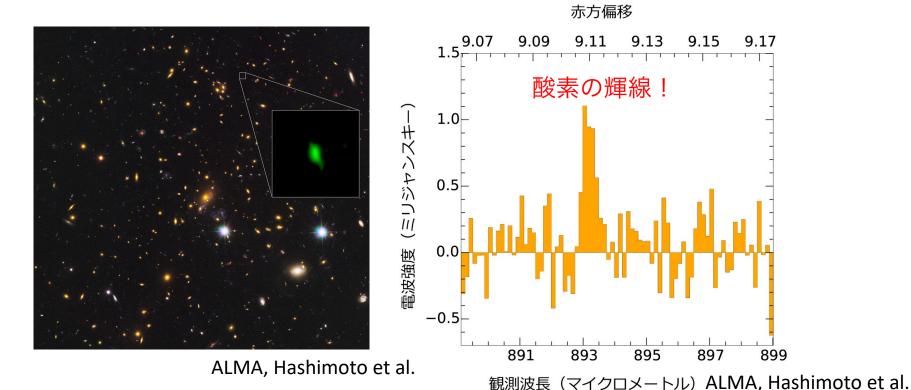


NASA

NASA, ESA, P. Oesch (Yale University)

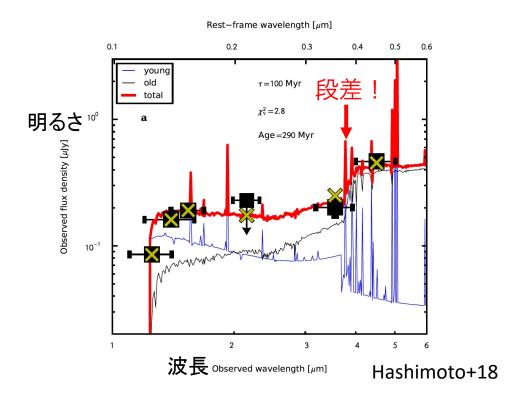
アルマ望遠鏡で確認 (2018年)

- MACS1149-JD1
- ・ 酸素の電波輝線→133億年前の銀河だと確認
 - 吉田先生を含む日本チームの理論予測 (2014年から)



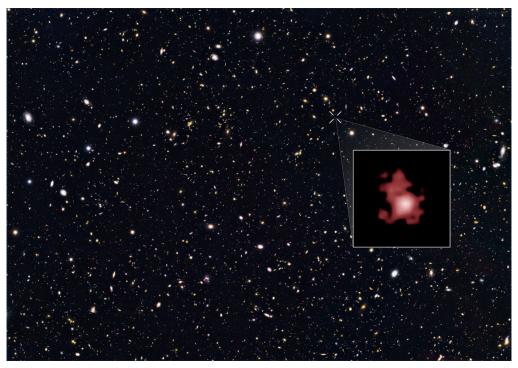
MACS1149-JD1の驚き

- ・ スペクトルに段差: 年老いた星の特徴
 - 昔の銀河は若い (生まれたばっかり) だと思われていた
- 135億年前に誕生した?



現在の最遠方銀河記録

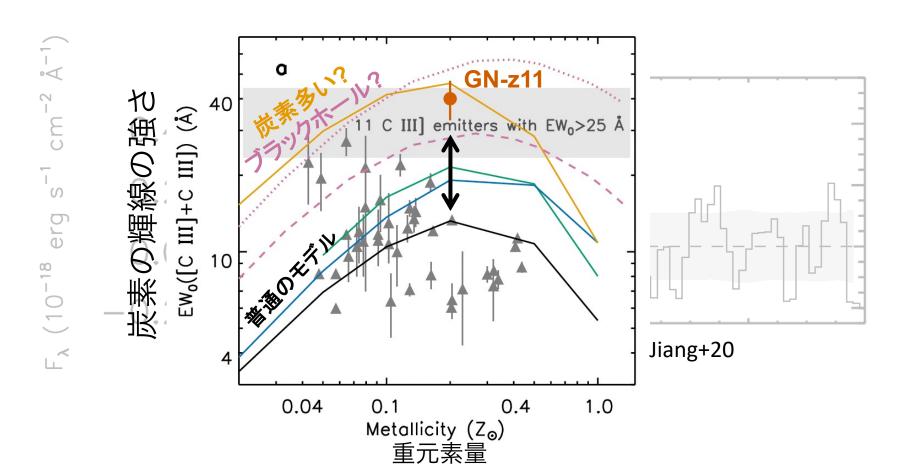
- 134億年前の銀河 GN-z11 (2020年)
- GN-z11の驚き→明るい!
 - MACS1149-JD1の30倍。祖先は?



NASA, ESA, P. Oesch (Yale University)

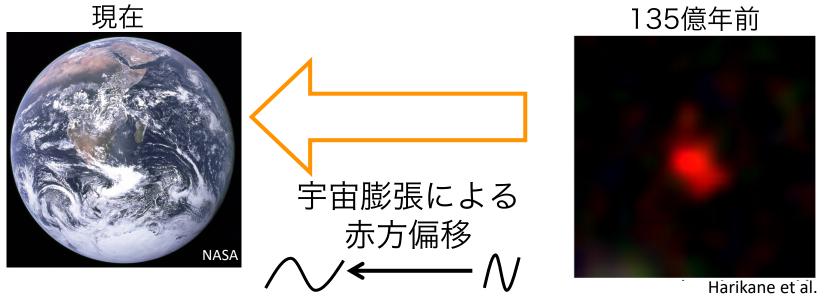
GN-z11のもう一つの驚き

- 炭素の輝線が強すぎる
 - 活動的なブラックホール?



さらに昔へ

- 134億年前より昔にも銀河がいるはず
 - MACS1149-JD1: 135億年前に誕生?
 - GN-z11: 明るい→もっと昔に祖先が生まれた?
- 135億年前の銀河は赤すぎてハッブルでは見えない



2.1マイクロメートル 0.15マイクロメートル (赤外光) (紫外光)

地上の大型望遠鏡

- ハッブルよりは感度が悪いけど、その分広い
 - レアな遠方銀河を探査できる
- VISTA望遠鏡、イギリス赤外線望遠鏡

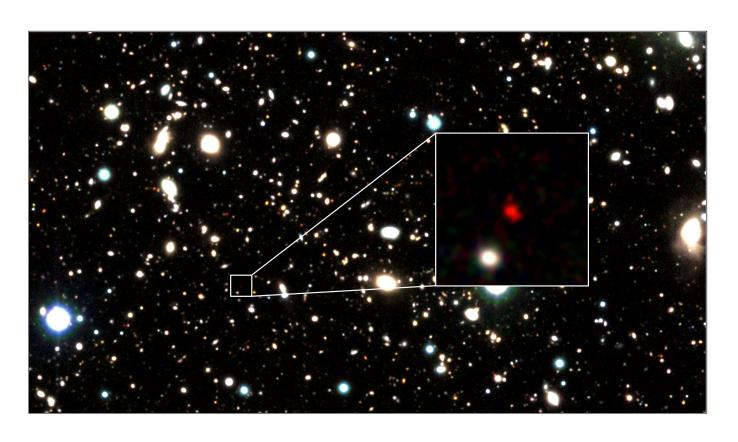




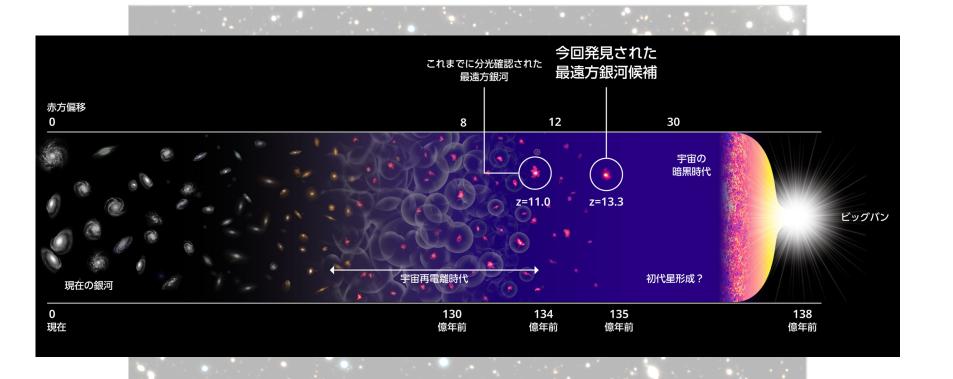
VISTA

UKIRT

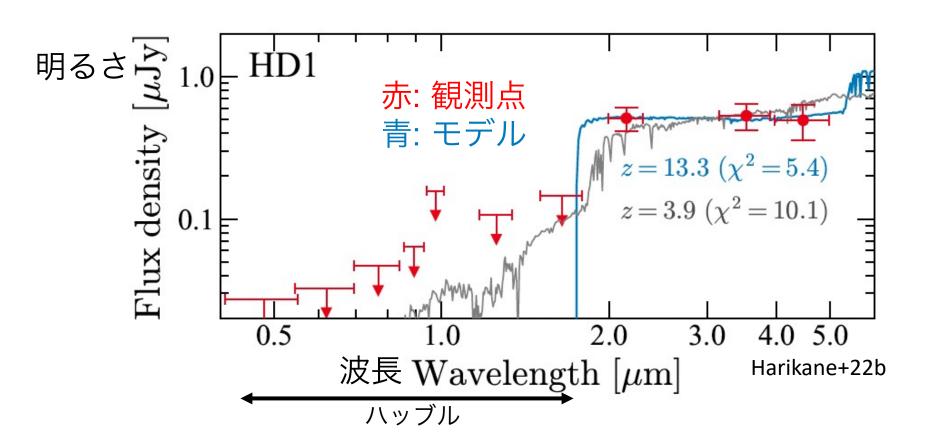
- 134.8億年前の銀河の候補、HD1
 - 70万個以上の天体の中から発見



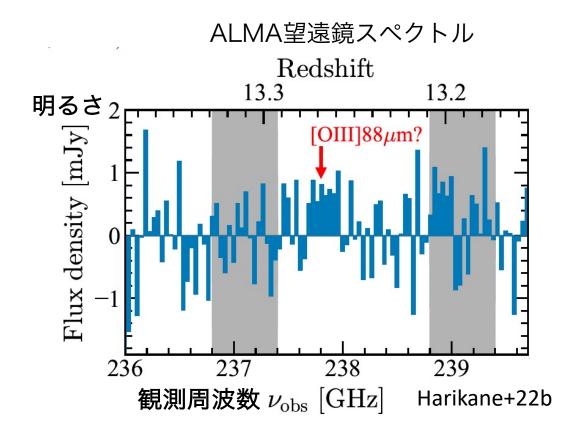
- 134.8億年前の銀河の候補、HD1
 - 70万個以上の天体の中から発見



- 見つけた時の衝撃
 - 135億年前の銀河のモデル予想と驚くほど一致



- 酸素の輝線が予想以上に弱い?
 - 99.99%の確率で本物。確認には99.9999%必要
 - 生まれたての銀河?



- 明るい。なぜこんなに明るいかは謎
 - 星形成が活発?第一世代の星?
 - 活動的なブラックホール?
- 一ヶ月で次の論文に (普通は1年くらいかかる)

MNRAS 000, 1-5 (2021)

Preprint 5 January 2022

Compiled using MNRAS LATEX style file v3.0

Are the Newly-Discovered $z \sim 13$ Drop-out Sources Starburst Galaxies or Quasars?

Fabio Pacucci^{1,2*}, Pratika Dayal³†, Yuichi Harikane^{4,5}, Akio K. Inoue^{6,7} & Abraham Loeb^{1,2}

¹Center for Astrophysics | Harvard & Smithsonian, Cambridge, MA 02138, USA

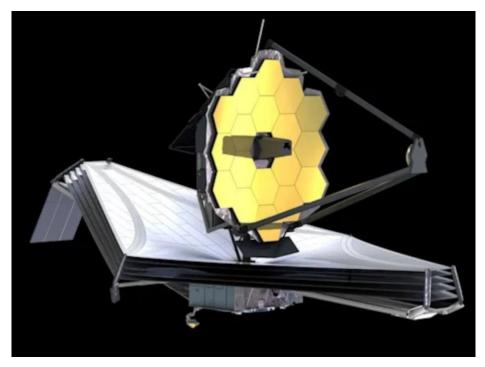
²Black Hole Initiative, Harvard University, Cambridge, MA 02138, USA

³Kapteyn Astronomical Institute, University of Groningen, P.O. Box 800, 9700 AV Groningen, The Netherlands

⁴Institute for Cosmic Ray Research, The University of Tokyo, 5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa, Chiba 277-8582, Japan

⁵Department of Physics and Astronomy, University College London, Gower Street, London WC1E 6BT, UK

- 6.5mの鏡。去年の12/25に打ち上げ
 - 今は観測装置を調整中
- この夏 (6月ごろ?) に観測開始

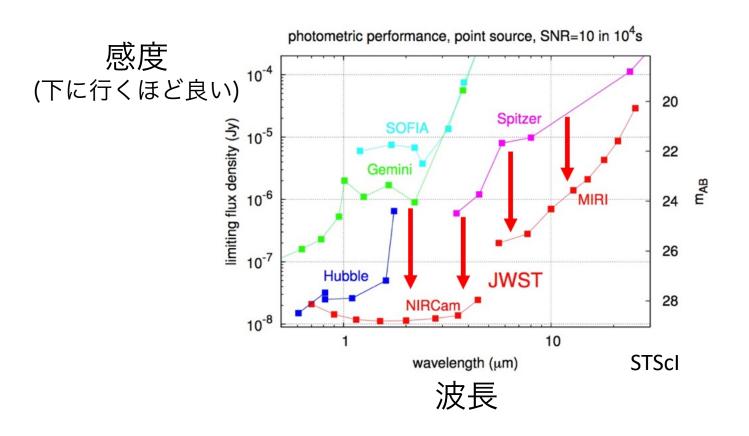


- ラグランジュポイント (L2)で観測
 - なるべく太陽の光が当たらないところ
 - 折り畳まれて打ち上げ -> L2へ(+装置展開) -> 冷却+調整



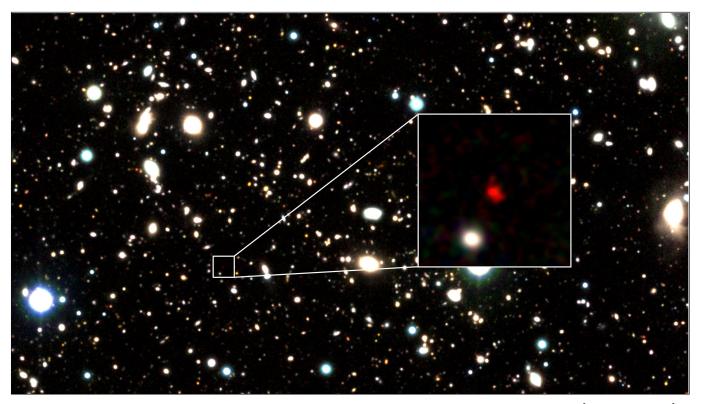


- ・ 感度がこれまでの望遠鏡より10倍以上向上
- 遠方銀河が赤い、暗い問題を両方とも解決



最遠方銀河候補を観測

- HD1が第1期観測のターゲットとして採択
 - 135億年前の最遠方銀河であることを分光で確認
 - 2時間の観測で確認可能



Harikane et al.

観測提案書

- 世界中の研究者が観測提案をする
 - 倍率4倍 (ハッブルは10倍くらい)
 - 英語で8ページ +α

James Webb Space Telescope

Cycle 1 GO Proposal

1740

H-drop galaxies: "Rosetta Stones" at z~13 for galaxy formation studies

Scientific Category: Galaxies

Scientific Keywords: Galaxy Evolution, Galaxy Formation, High-Redshift Galaxies

Instruments: NIRSPEC
Proposal Size: SMALL
Exclusive Access Period: 12 months

Allocation Information (in hours)

Science Time: 2.7 Charged Time: 6.6

Abstract

We propose NIRSpec/PRISM spectroscopy to confirm the Lyman break in secure candidates of luminous Lyman break galaxies at z~13. These galaxies were found in an H-band dropout selection to search for unprecedentedly high-z objects at z>12 in the 2.3 deg2 near-infrared deep imaging data in the COSMOS and UDS fields. After careful examination of non-detections in the deep optical to H-band images as well as the flat spectrum from K-band to Spitzer IRAC [3.6] and [4.5]-bands, only three candidates remain. The absolute magnitudes of these objects are typically -23.4 and the photometric redshifts are estimated to be z>12. An ALMA program targeting one of the candidates shows a tentative [OIII]88um emission line at z=13.3. The line flux is at the lower edge of the expectation, implying that this galaxy is a very low-metal system before chemical enrichment begins. A successful detection of the Lyman break from at least one object among them will yield the new redshift record far from the current ones at z=9.1 and z=11.1, and demonstrate the JWST capability for confirming galaxies at z>12. These z~13 galaxies are luminous enough to be followed-up with higher spectral resolution modes and will be "Rosetta Stones" for galaxy formation studies, once their redshifts are determined.

締め切り4日前のスケジュール

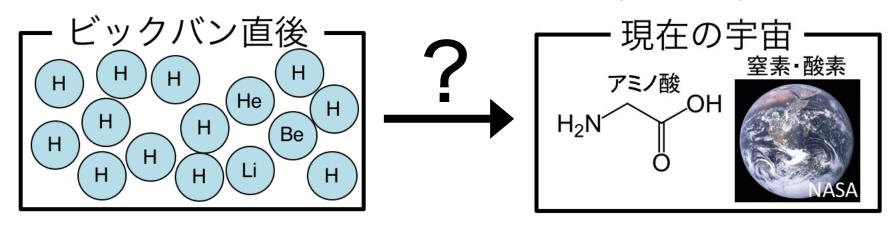
- ・ 2020年11月20日-21日 (締め切り11/24)
- とにかく大変でした
 - どの時間でも日本+アメリカ+ヨーロッパからメール
 - すぐに対応しないと間に合わない
 - でも寝ないと頭が働かない

提案書作成再開

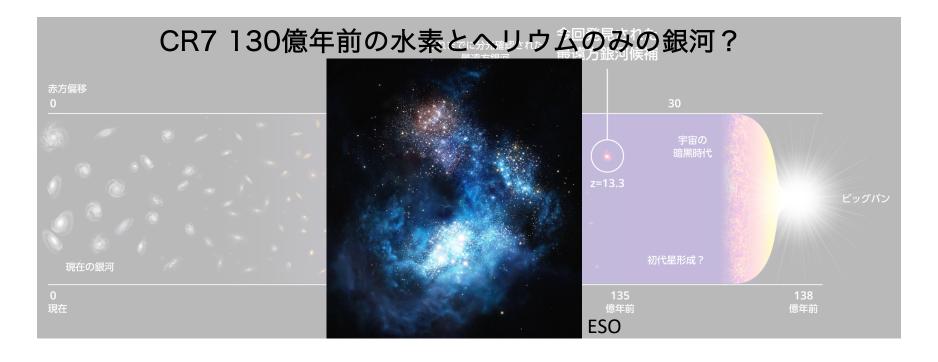


- 最遠方銀河だけではない
- 銀河の重元素 (酸素や窒素) の量を調べることが できる

重元素: 水素・ヘリウム以外の元素 (例: 酸素)



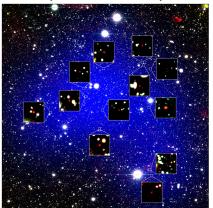
- 最遠方銀河の記録は更新されるだろう
 - 135.3億年前くらいまではいけそう
 - 水素とヘリウムしかない銀河も見つかるかも
- ・ 初代星も見つかるかも?→吉田先生講演



まとめ

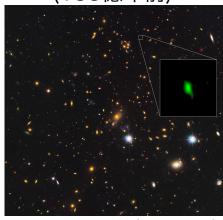
- すばる、ハッブル、アルマなどの観測で135億 年前まで銀河が見つかってきている
- 予想もしていなかった発見
 - 例: 明るい銀河の個数、巨大銀河の位置、135億年前 の星形成、134-135億年前の明るい銀河

z66OD原始銀河団 (130億年前)

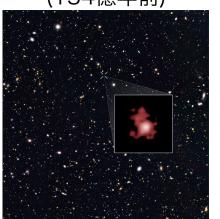


Harikane et al.

MACS1149-JD1 (133億年前)

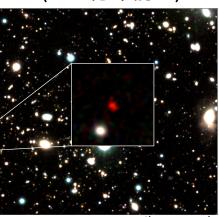


GN-z11 (134億年前)



ALMA, Hashimoto et al. NASA, ESA, P. Oesch (Yale University)

HD1 (135億年前?)



Harikane et al.