

2030年代にどうしたいのか： 銀河形成の観点から

橋本 拓也

早稲田大学
(日本学術振興会特別研究員PD)

内容

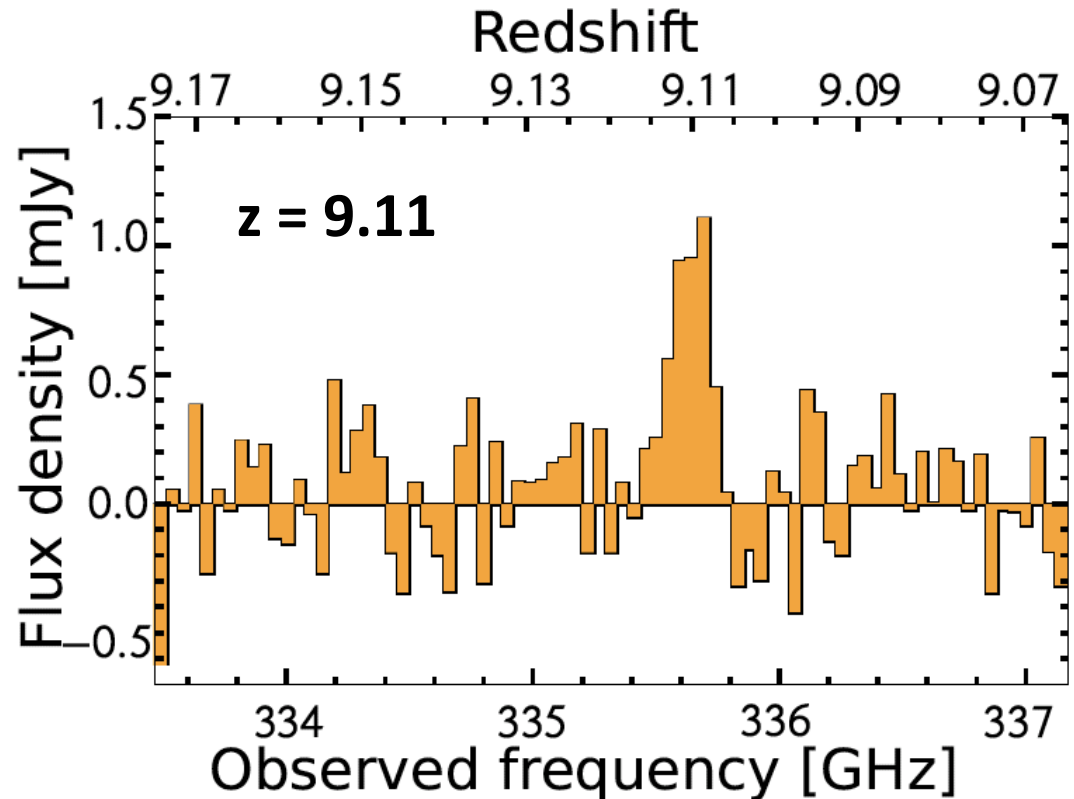
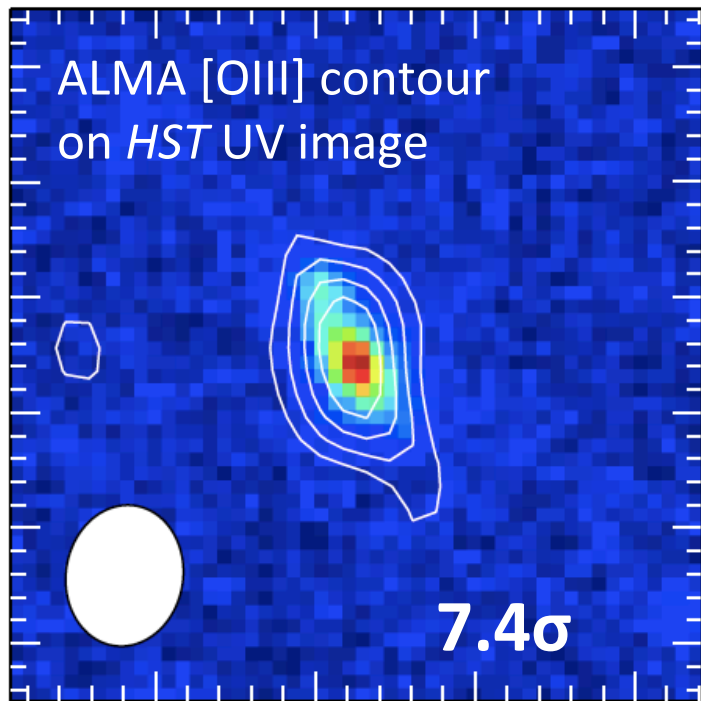
- 最近やっている研究の紹介
 - 今日話す内容に深く関わる
- 2020年代 (ある程度見えている未来) と
2030年代 (いま創り出していく未来): 「**最初の**」銀河の解明
 - 既に検討されている現実的な選択肢から個人的な興味ベースで
 - **LUVOIR** etc. の**国際大型プロジェクト**か?
 - **WISH-long** etc. の**日本独自プロジェクト**か?
 - 人的リソースとか貢献などの議論はどちらも必要
 - 今日-明日?

内容

- 最近やっている研究の紹介
 - 今日話す内容に深く関わる
- 2020年代 (ある程度見えている未来) と
2030年代 (いま創り出していく未来): 「最初の」銀河の解明
 - 既に検討されている現実的な選択肢から個人的な興味ベースで
 - LUVOIR etc. の国際大型プロジェクトか?
 - WISH-long etc. の日本独自プロジェクトか?
 - 人的リソースとか貢献などの議論はどちらも必要
 - 今日-明日?

最近の研究紹介

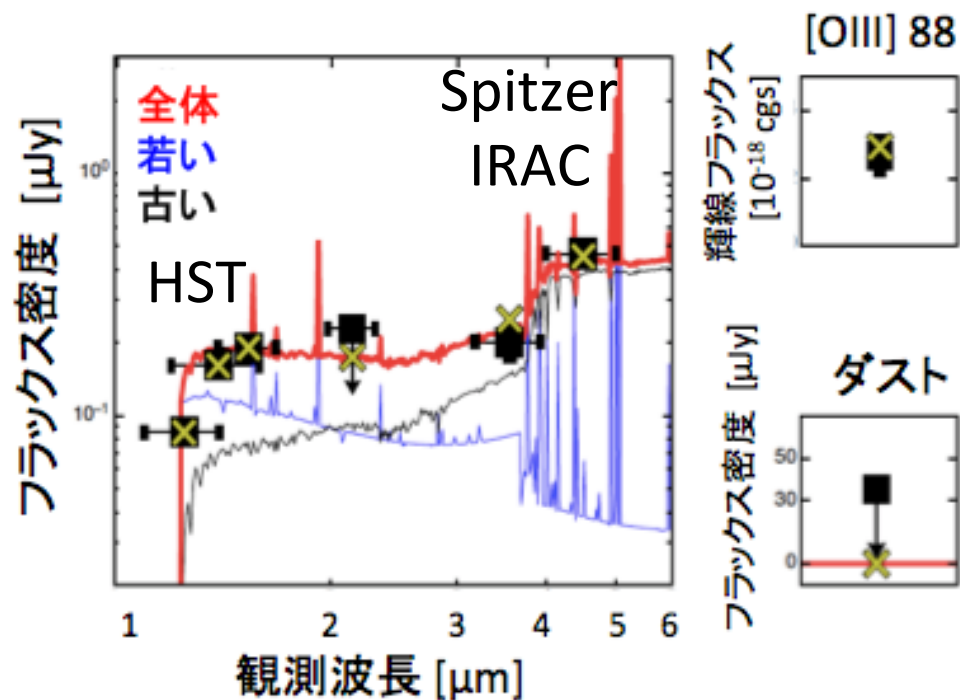
ALMA で $z = 9.11$ [OIII] 88 μm 輝線の分光 (Hashimoto+18 *Nature*)
see also Hashimoto+19a, b; Tamura, Mawatari, Hashimoto+19



- ✓ 輝線天体として**史上最遠方** (宇宙年齢 5.5 億年)
-- Pre-reionization era

最近の研究紹介

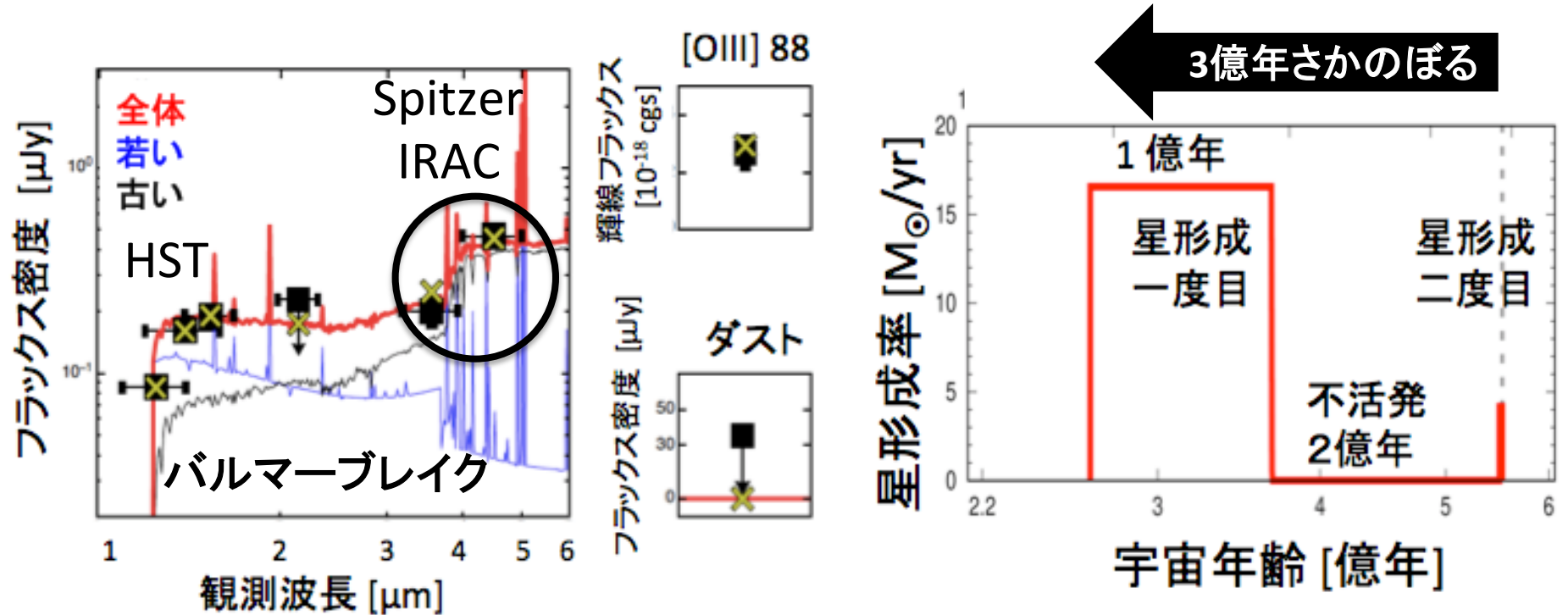
ALMA で $z = 9.11$ [OIII] 88 μm 輝線の分光 (Hashimoto+18 *Nature*)



- ✓ 多波長: HST (可視-1.6 μm) + 地上 (2 μm) + **Spitzer (3.6 and 4.5 μm)**
静止系 1600 – 2000 $\text{\AA}$ (紫外) 静止系 3600 – 4500 $\text{\AA}$ (可視光)

最近の研究紹介

ALMA で $z = 9.11$ [OIII] 88 μm 輝線の分光 (Hashimoto+18 *Nature*)



- ✓ 多波長: HST (可視-1.6 μm) + 地上 (2 μm) + **Spitzer (3.6 and 4.5 μm)**
静止系 1600 – 2000 $\text{\AA}$ (紫外) 静止系 3600 – 4500 $\text{\AA}$ (可視光)
- ✓ バルマーブレイク (年老いた星種族が $z = 9.1$ で既に存在した)
→ **星形成の開始は $z \sim 15$ (2.5億年)**

内容

- 最近やっている研究の紹介
 - 今日話す内容に深く関わる
- 2020年代 (ある程度見えている未来) と
2030年代 (いま創り出していく未来): 「**最初の**」銀河の解明
 - 既に検討されている現実的な選択肢から個人的な興味ベースで
 - **LUVOIR** etc. の**国際大型プロジェクト**か?
 - **WISH-long** etc. の**日本独自プロジェクト**か?
 - 人的リソースとか貢献などの議論はどちらも必要
 - 今日-明日?

2020年代は?

● $z = 7 - 10$ (宇宙年齢 7.5 – 4.6 億年) の銀河

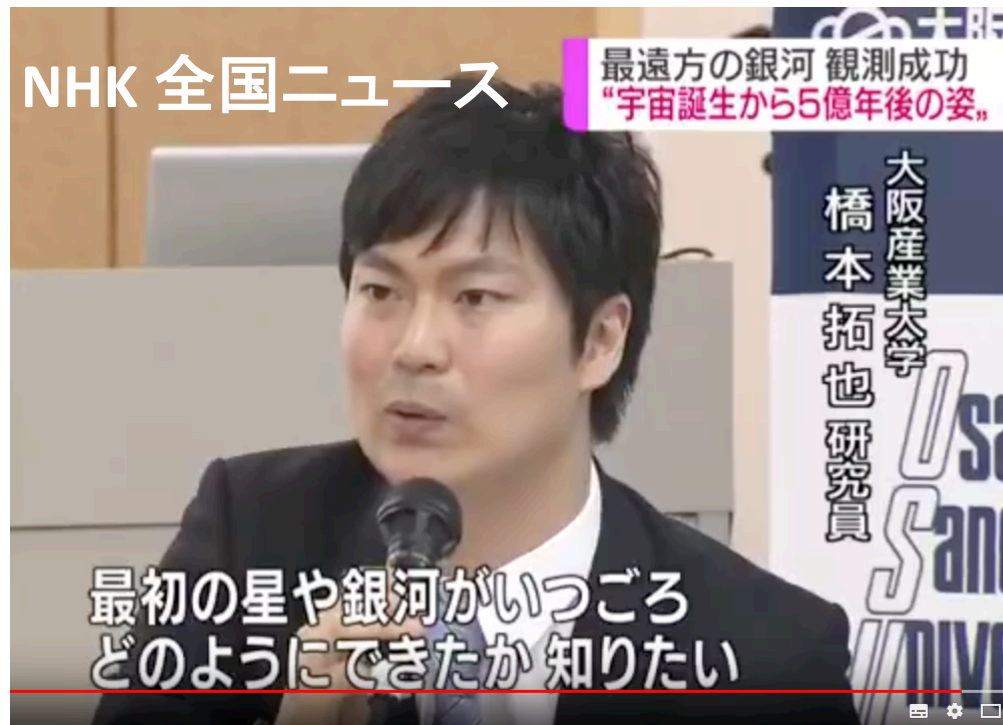
- 統計的な研究 (光度関数、クラスタリング)
- 多波長でISM の諸相を包括的に研究
- 形態学
- 運動学

さらなる長波長で広視野なデータも重要
(例: $z = 9$ 銀河の Spitzer 3.6, 4.5 μm データ)

- ✓ **Subaru** ($< 1\mu\text{m}$) + **WFIRST** (1-2 μm) などの広視野サーベイによる撮像研究 (光度関数、クラスタリング c.f., Ono+18, Harikane+18)
- ✓ **JWST** による $z = 7 - 10$ サンプルの提供。そして可視輝線の分光。
- ✓ **ELTs (TMT)** による形態学、紫外吸収線によるガスアウトフロー、
静止系紫外輝線 ($\text{Ly}\alpha$, CIII] 1909) AGN
- ✓ **SPICA** による有機物 (7.7 μm)、ダスト、MIR 輝線 e.g., [OIV] 26 μm
- ✓ **ALMA** によるダスト、PDR ガス ([CII] 158)、電離ガス ([OIII] 52/88)

2030年代にやりたいサイエンス: 最初の星や銀河

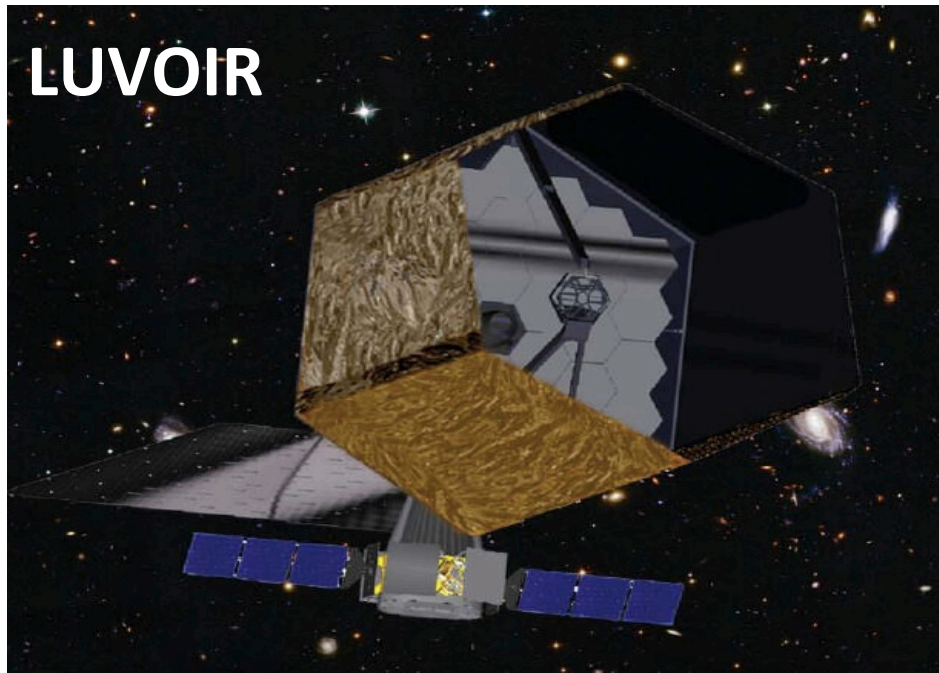
様々な波長でキーサイエンスの1つ $\leftrightarrow$ 多波長が手を組んで
共通の目的へ向かう (例 電波 ALMA2, LMT など)



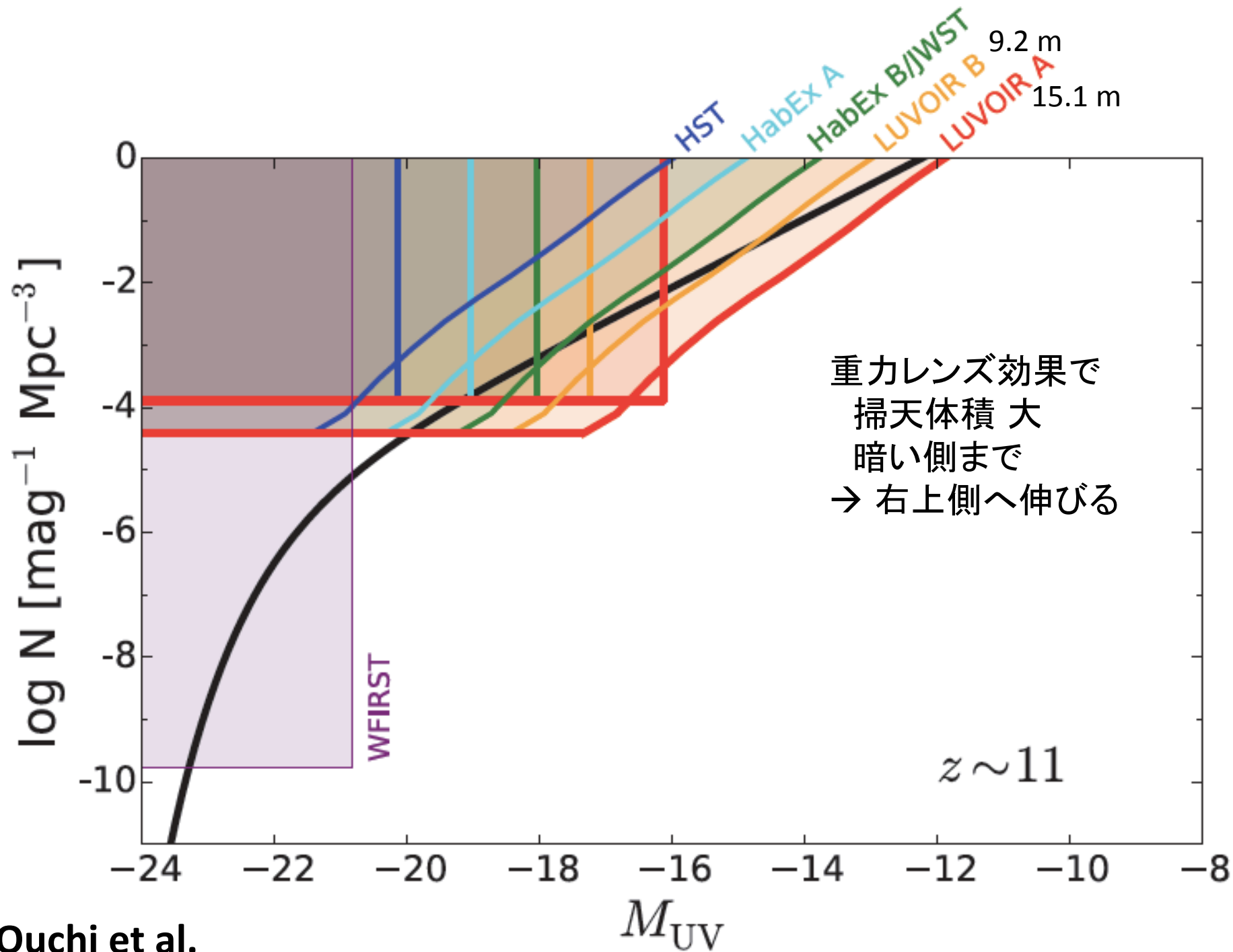
最初とは? どのような望遠鏡/装置が提案されていて、「最初」に切り込めるのか? (2018年光赤天連シンポジウム)

2030年代にやりたいサイエンス: 最初の星や銀河

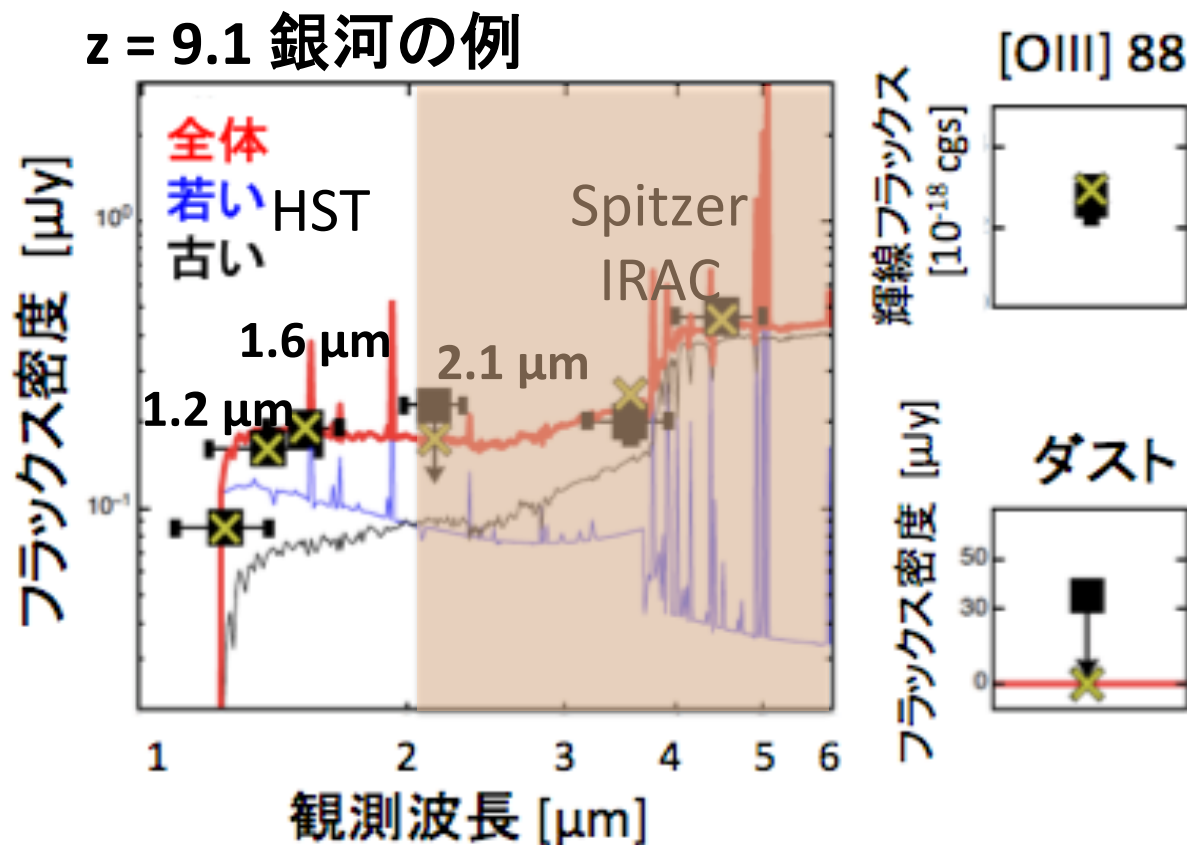
「最初」その1: 現在~2020年代のフロンティア ($z \sim 10$) を極める



- 圧倒的感度 @ $< 2 \mu\text{m}$ ($z \sim 10$ で $\sim 10^5 M_{\odot}$)
- 遠方の矮小銀河が見える $\rightarrow$ Pop III 銀河 (HeII 1640)
- 重力レンズ効果と合わせて星(団)まで見える可能性



さらなる長波長は「最初の銀河」に不可欠



- ✓ 多波長: HST (可視-1.6 μm) + 地上 (2 μm) + **Spitzer (3.6 and 4.5 μm)**
でもっともらしい撮像high-z候補を確保する必要がある
- ✓ Spitzer は分解能が悪く、多くの high-z 天体をロスしている可能性がある
- ✓ 将来: Subaru (可視-1 μm) + WFIRST (1-2 μm) の視野と相補的な性能

2030年代にやりたいサイエンス: 最初の星や銀河

「最初」その2: フロンティアそのものを押し広げる ($z=10-15$)

WISH-II (Long) 児玉さん資料より 
WSECOND after WFIRST?

WISH was a planned 1.5-m class space telescope mission for $1-5\mu\text{m}$ with a FoV of 0.24 sq. deg. (PI. Yamada T. [JAXA])

Now dedicated to $2-5\mu\text{m}$, and coordinated with WFIRST ($1-2\mu\text{m}$)!

Highly complementary to JWST or LUVOIR in (FoV) !

- **Mass limited sample back to $z\sim 10$**

Phot- z with WISH ($2-5\mu\text{m}$) + WFIRST ($1-2\mu\text{m}$) + HSC ($<1\mu\text{m}$)

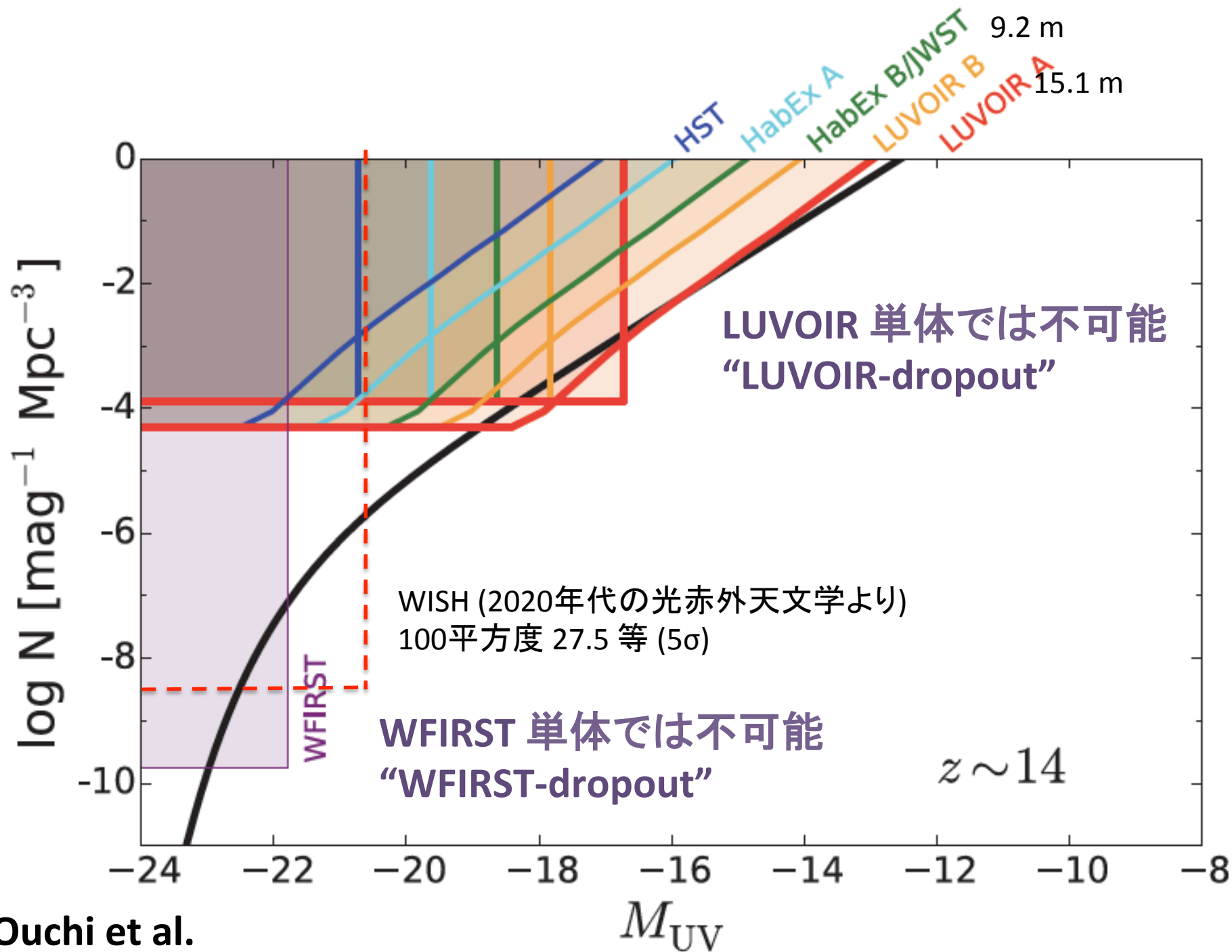
- 理論的に予想される初代銀河 ($z \sim 15$) を直接的に見に行く
- LUVOIR etc. と併せて銀河形成分野の完成へ

2030年代にやりたいサイエンス: 最初の星や銀河

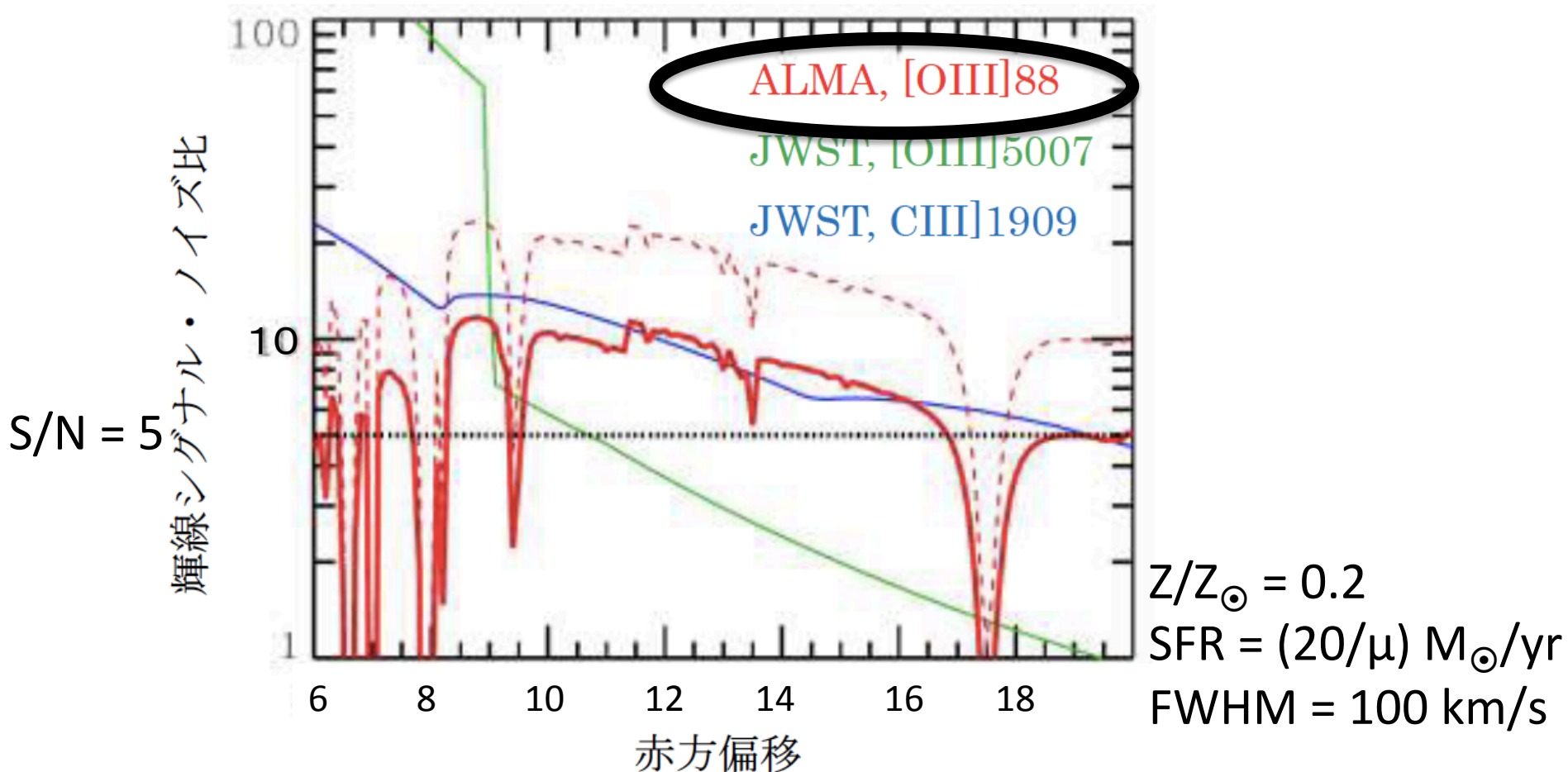
「最初」その2: フロンティアそのものを押し広げる ($z=10-15$)

- 強み
 - スペース赤外線望遠鏡 (**AKARI, SPICA**)
技術的なヘリテージ (冷凍機、軽量化の技術)
 - 広視野 (**Subaru/HSC**)
JWST とは相補的かつ「ユニークなパラメータスペース」
 - $z = 10 - 15$ を狙える
 - **ALMA** や **TMT** とは分光でシナジー
ISM の諸相、形態、運動まで調べられる

強みを活かした日本独自のテーマでは？



$z=10-15$ の分光: ALMA + ELTs (TMT)と連携



ALMA Science Roadmap (ALMA 2 計画)
橋本、井上 (早大)、田村 (名古屋大)

当時最も明るい部類:
最も早く構造形成と化学進化が進んだ天体

まとめ

科学目標: 最初の銀河や星がいつどのように生まれたのか？
多波長 (電波, X etc.) で共通の目標。

① 超広視野 近赤外(2-5 μm) 撮像装置 (**WISH-long**)

- $z = 8$ 程度まで mass-limited sample
- $z \sim 15$ 以上に届く可能性がある 唯一の 希望 ($z > 15$ いきたい)
- **Subaru** ($< 1\mu\text{m}$), **WFIRST** (1-2 μm) と親和性
- 見つかった明るい $z \sim 15$ 天体は **TMT**, **ALMA** など分光

相補的
↑
↓

② 超高感度多波長 (**LUVOIR**)

- 遠方の矮小銀河 ($10^5 M_{\text{sun}}$) まで調べることが出来る。
- 重力レンズ効果を合わせれば星団までも調べられる

→ 国内独自 + 海外計画参加の両輪が、裾野を広げる上で大切。

個人的な意見: 両輪が必要

- 海外大型プロジェクト

- ➔ 日本コミュニティが**十分に**割り込めるか？

- ➔ 若手は海外に拠点を移したほうが、
手っ取り早く最先端をやれるのでは？

海外で学んで日本に還元➔海外に行ってそのまま (?)

- 日本発のプロジェクトはあった方が良い。

- 最終的に国際共同になったとしても。

- ユニークな研究ができるのだから、なおさら。

リソースは限られているが、国内+国際の両輪
があったほうが裾野も広がって良いのでは？