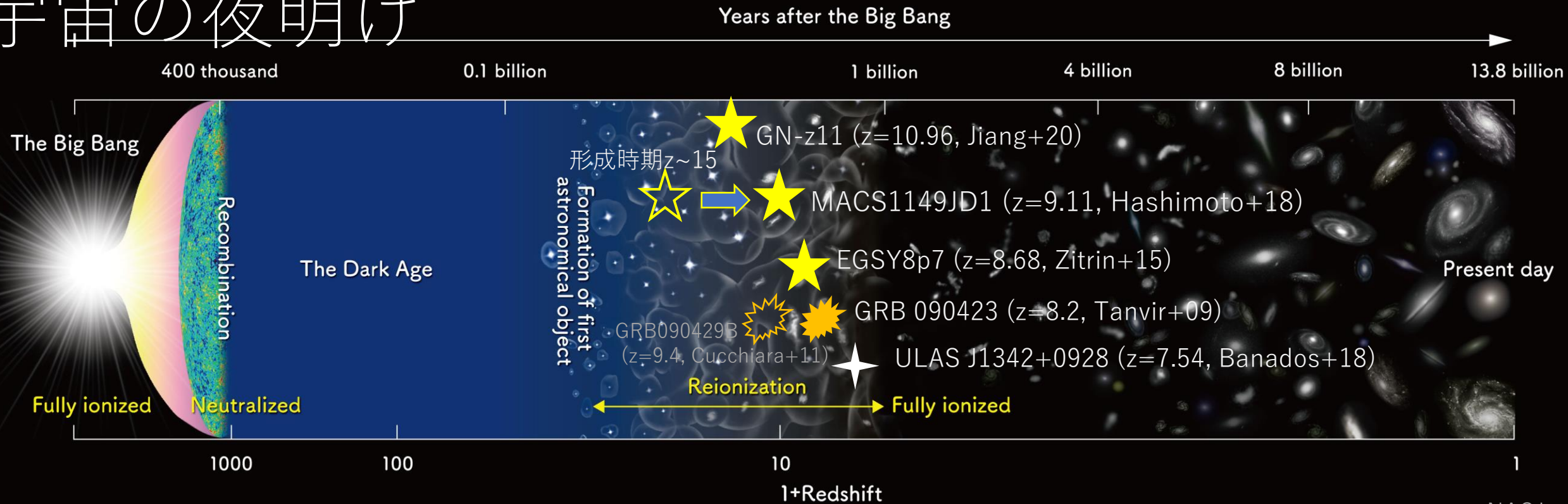


# 初代銀河探査機G-REX の検討状況報告

井上昭雄(早稲田大学)

初代銀河探査機RG

# 宇宙の夜明け



- 現代天文学の最重要課題の一つ：銀河の形成
- これまでの観測的フロンティアは赤方偏移 $z=10$ あたり
- “前”宇宙再電離時代に突入しつつある  **$z > 15$**
- 2030年代に達成すべきこと：“初代”銀河の発見とその形成過程の理解

# 初代銀河形成の時代：赤方偏移 $z \sim 15$

(宇宙年齢2-3億年)

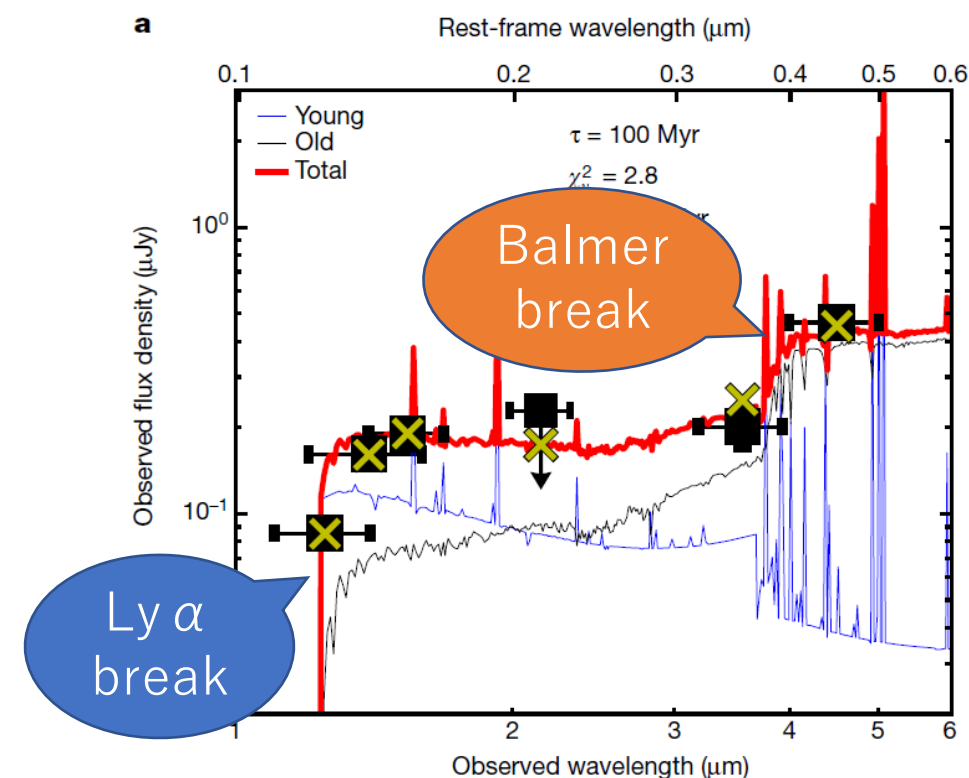
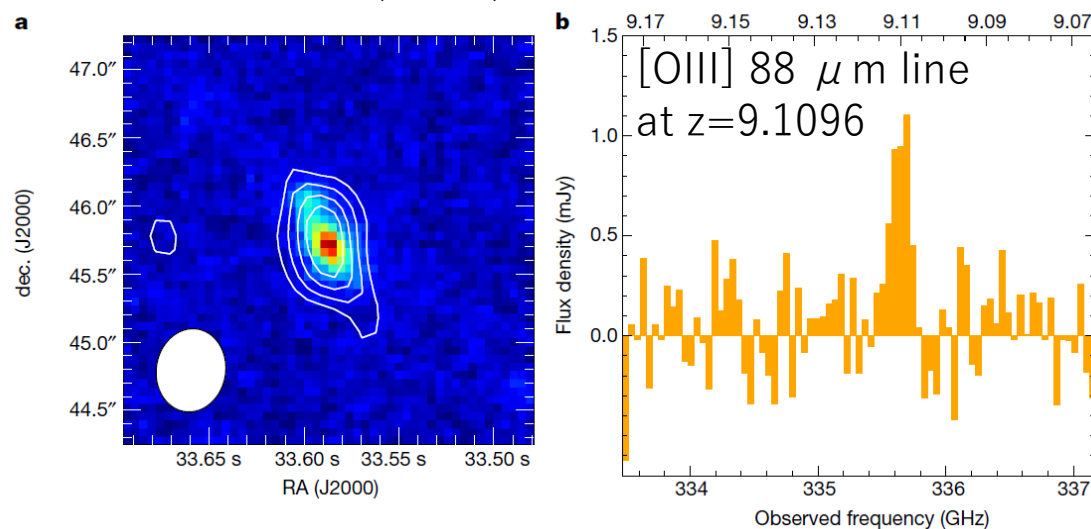
- 明るい大質量銀河がすでに誕生？
  - 巨大ブラックホールも？
- 構造形成や銀河形成理論への重要な示唆
  - 標準宇宙論モデルと整合的かどうか？

## Balmer break

- 年齢 $\sim 3$ 億年
- 形成時期は $z \sim 15$

そのときの星形成率は $\sim 10 \text{ Msun/yr}$   
→ 等級 $\sim 26-27 \text{ AB}$

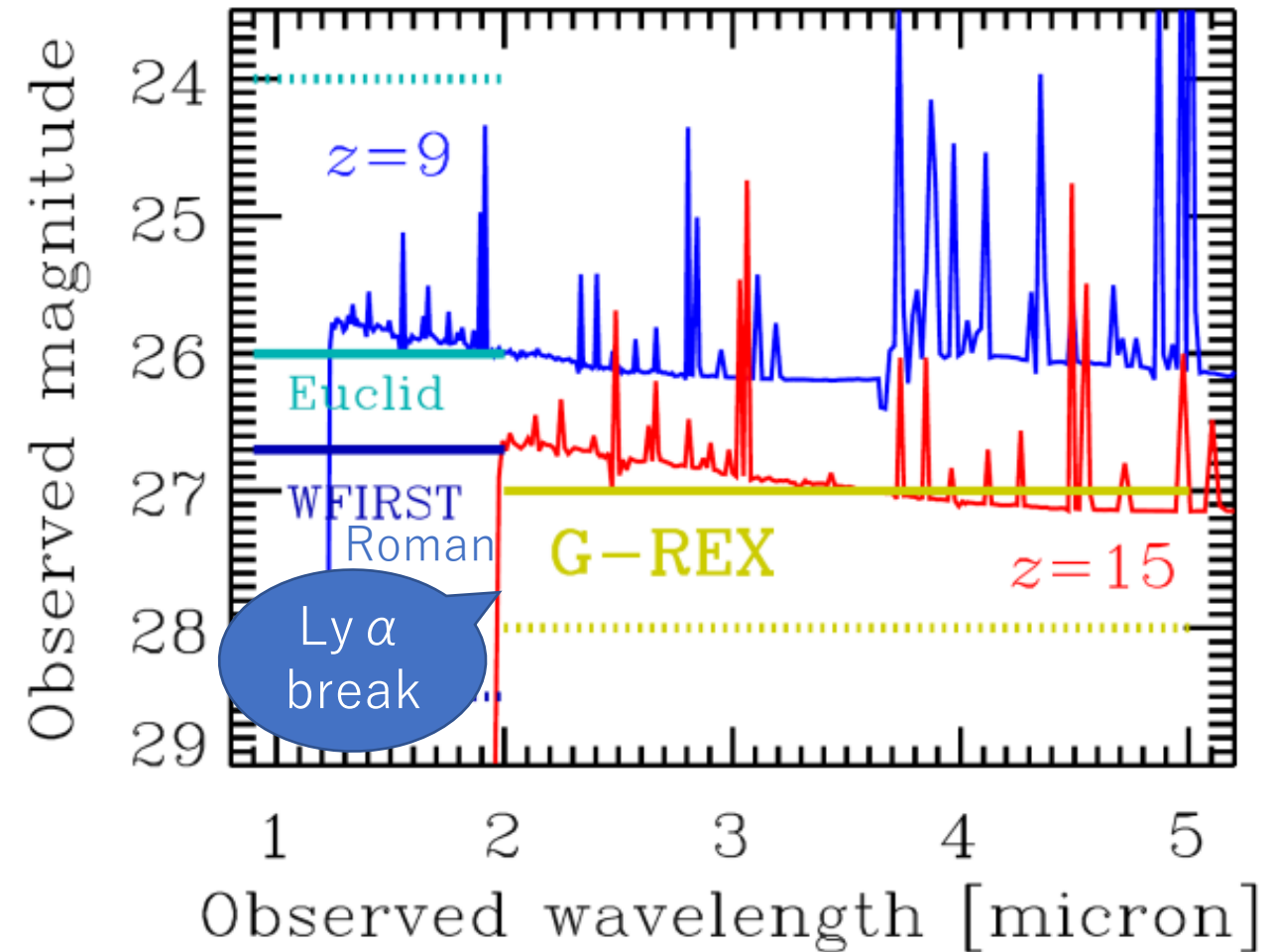
赤方偏移 $z=9.11$ の銀河：MACS1149-JD1  
Hashimoto et al. (2018)



# 初代銀河探査機G-REX Galaxy and Reionization EXplorer

観測波長2--3ミクロン以上で広視野探査を実現する世界で唯一の計画

- 静止系Ly  $\alpha$  線(0.1216 $\mu\text{m}$ )未満の放射は銀河間中性水素による強い減光で観測不可能
  - Ly  $\alpha$  break
- 赤方偏移 $z > 15$ の「初代銀河」を直接観測し、銀河形成過程を解明
- 現在から赤方偏移 $z \sim 8$ の時代まで、「銀河系の100分の1」の恒星質量をもつ銀河までを網羅し、銀河の成長過程を解明
- 波長2--3ミクロン以上の超広域撮像データによるさまざまなサイエンス



# RG活動(2020年)

- 1月 理学委員会Research Group承認
- 1月27日 米国訪問準備ミーティング
- 2月9日－15日 米国訪問(実体)
  - アリゾナ大学、ハーバード・スミソニアンの研究者と会合
- 2月24日 第1回RGミーティング
- 3月31日 Gopira 2030 White paper 提出
- 4月11日 第2回RGミーティング
- 5月9日 第3回RGミーティング
- 5月15日 Gopira 2030 White paper 改訂版提出
- 7月22日 第4回RGミーティング
- 9月16日 番外RGミーティング
- 9月17日 光赤天連シンポジウム講演
- 9月29日 第5回RGミーティング
- 10月5－9日 Roman conference参加  
発表
- 10月下旬 科研費申請
- 10月27日 第6回RGミーティング
- 12月11日 第7回RGミーティング
- 12月23日 番外RGミーティング

# Gopira 2030s White Paper

- 光赤天連2030年代将来計画検討ワーキンググループが募集に対して White Paperを提出  
評価者：市川隆、上野宗孝、川邊良平、（梅村雅之、奥田治之） + WP PI

- 高い評価を受けた
  - 日本主導の計画では4件中1位
  - 科学価値/費用では最高評価
  - コミュニティ拡大が必要
    - 開発体制（特に宇宙経験者）
    - 遠方銀河以外のサイエンス

## WP評価結果 光赤天連シンポ2020 大内さん発表スライド

- 評価結果
  - 1. 総評、2. 評価者のコメント(原文ママ)、3. 評点

### 評点の概観(1-5で、5が最高評価)

プロジェクト名(又は略称)	PI氏名	A. 科学価値/費用	B. フィジビリティ	C. コミュニティーの大きさ	D. 科学や技術の将来性	E. 国際競争力
惑星間宇宙望遠鏡	松浦周二	3.00	2.63	3.38	3.75	3.25
GaiaNIR への参加	河田大介	4.00	2.85	3.28	3.28	3.57
G-REX初代銀河探査機	井上昭雄	4.00	3.38	3.25	3.63	3.75
LUVOIR/HabEx計画への参加	住/田村	3.80	2.80	4.20	4.20	3.80
紫外線宇宙望遠鏡計画	村上豪	3.14	3.29	3.00	3.57	3.29
スペース赤外線強度干渉計	松尾宏	2.00	1.75	1.75	3.38	2.63
OSTミッションへの参加	左近樹	3.75	3.75	3.25	4.25	4.13

- 検討進む計画が高評価:OST,LUVOIR/HabEx,G-REX
    - フィジビリティとコミュニティの大きさが課題の計画が多い
  - 個々の計画に対して
    - 傾向として、独立した複数の評価者が似たコメント
    - 各WPの計画の優れた点、改善点、が明確に
- 今日午後の議論→今後に生かせる結果と期待

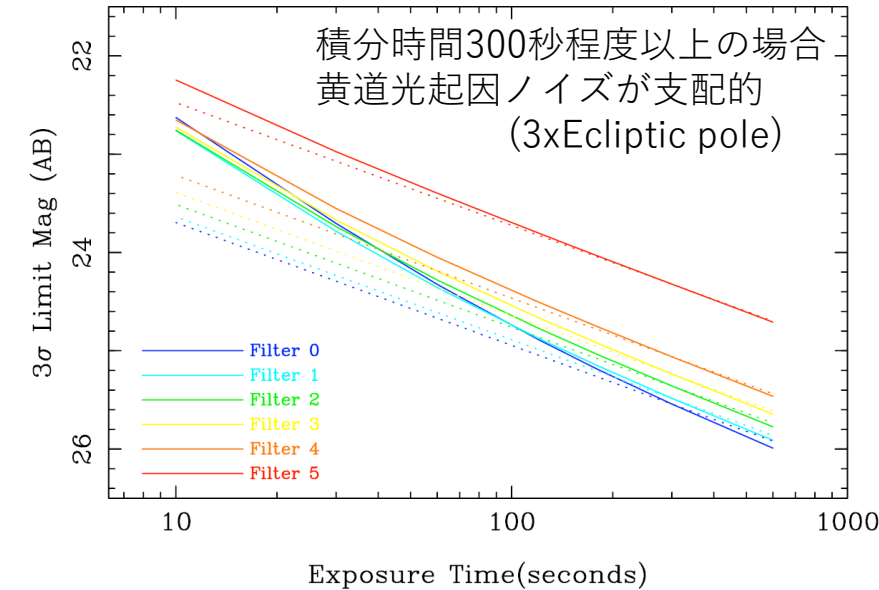


# G-REXサーベイパラメータの検討

WISHミッション提案書第一版(2012)

- 口径1.5メートル、1視野1000平方分角の場合
- WISH計画の検討結果を参考に見積もり

	波長 (ミクロン)	300sec, 5 $\sigma$ (AB)	Limit mag. (AB)	# of shots	On-source +50% (h)	1 deg <sup>2</sup> (days)
F3	2.320	24.69	27.0 (5 $\sigma$ )	70.47	8.8	1.32
F4	3.030	24.51	27.0 (3 $\sigma$ )	32.51	4.1	0.62
F5	3.965	23.77	27.0 (3 $\sigma$ )	127.1	16	2.40



- 27AB, 3バンド, 1平方度に必要な時間：4.34日
  - 1年間84平方度 → 3年間250平方度 → 12年間1000平方度

地上からは絶対にムリ

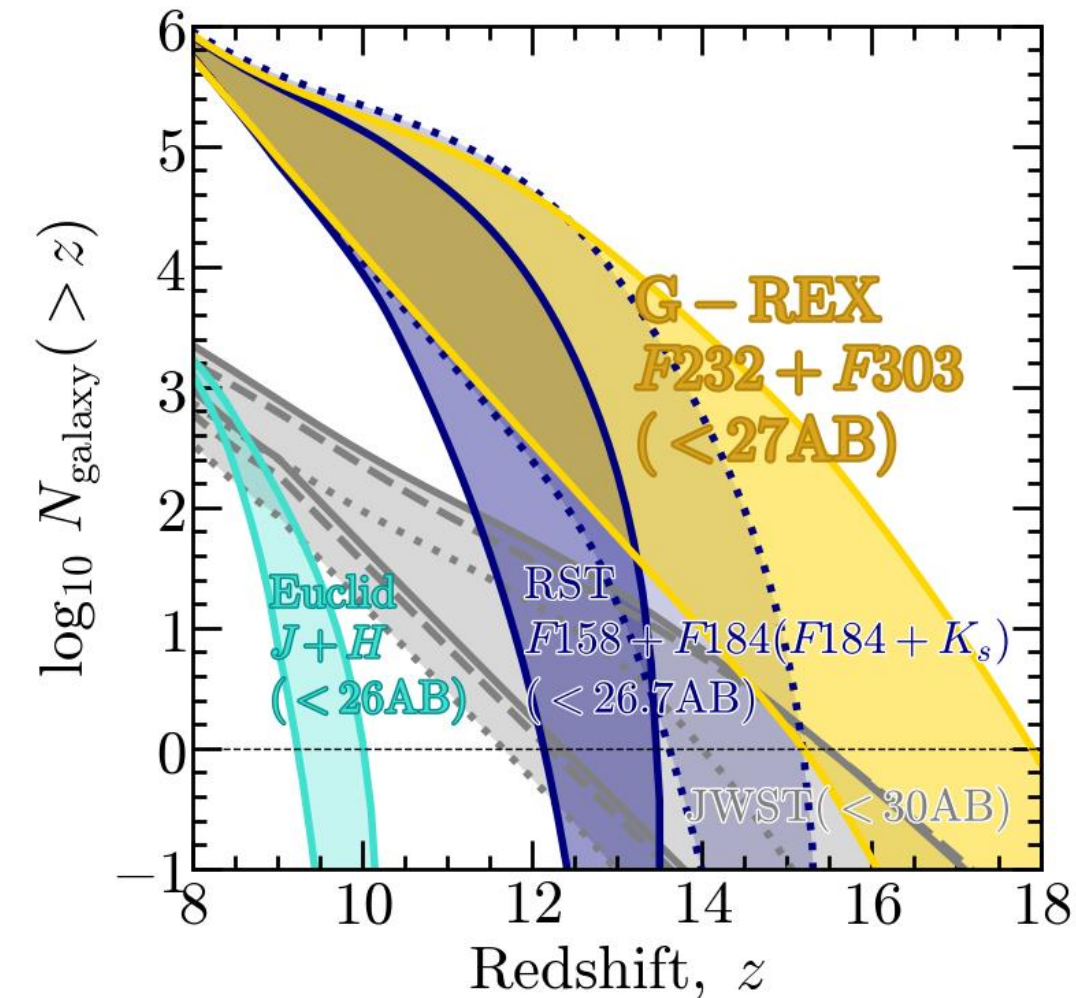
点線はbackground limitedの場合

- 赤方偏移 $z > 15$ , 27ABより明るい銀河の予想個数：**1.5—600 / 1000平方度**
  - 1年間で最大50個 → 3年間で最大150個

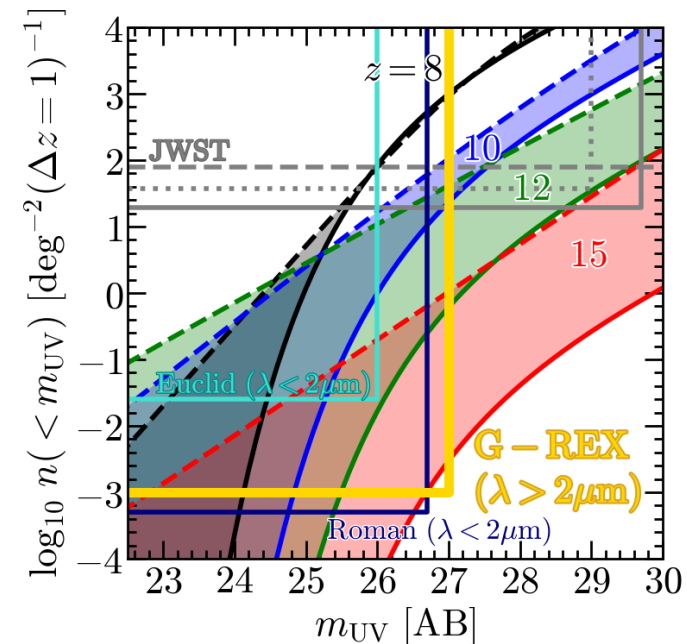
# 遠方銀河検出期待個数の比較

**G-REXだけが赤方偏移 $z > 15$ の分光可能な銀河を検出できる！**

- 2020年代の赤外線宇宙望遠鏡による探査
  - NASA/JWST (2021-) ~30AB, ~0.03平方度
  - ESA/Euclid (2022-) 26AB, 40平方度
  - NASA/Roman (2025-) 26.7AB, 2000平方度
    - Ks(波長2ミクロン帯)搭載決定したが、感度および観測時間が限られるため、深さと面積は限定的
  - G-REX (2035?) 27AB, 1000平方度
    - 波長3ミクロン帯！



- 銀河紫外線光度関数が未定のため、検出期待個数は現時点では不定性が大きい。
- JWSTとEuclidの結果から予想精度の向上が期待できる。



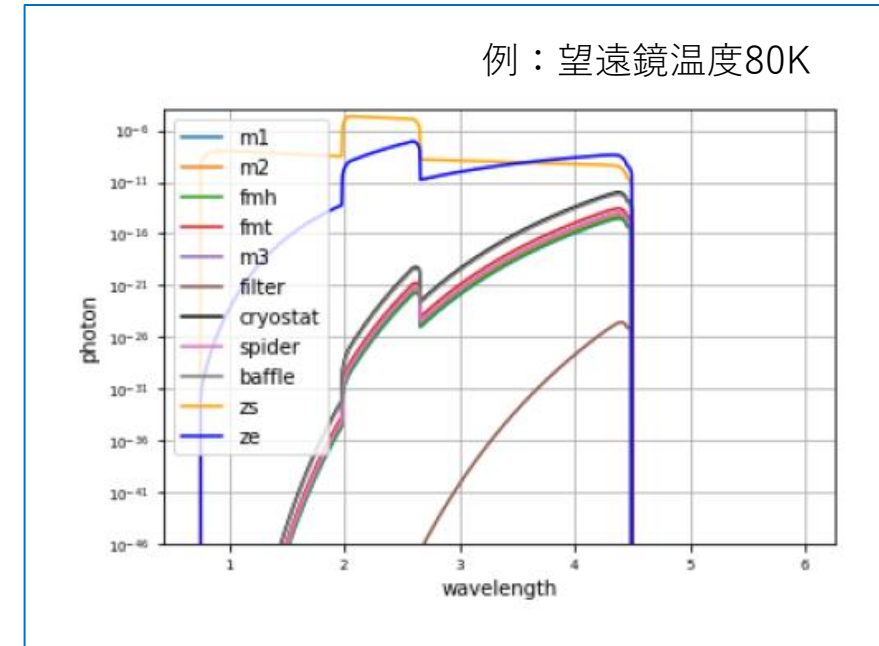


# G-REXサーベイパラメータの検討

川嶋(2021卒業研究)

- 口径1.2メートル、視野1000平方分角の場合
- WISH計画の検討結果を参考に見積もり

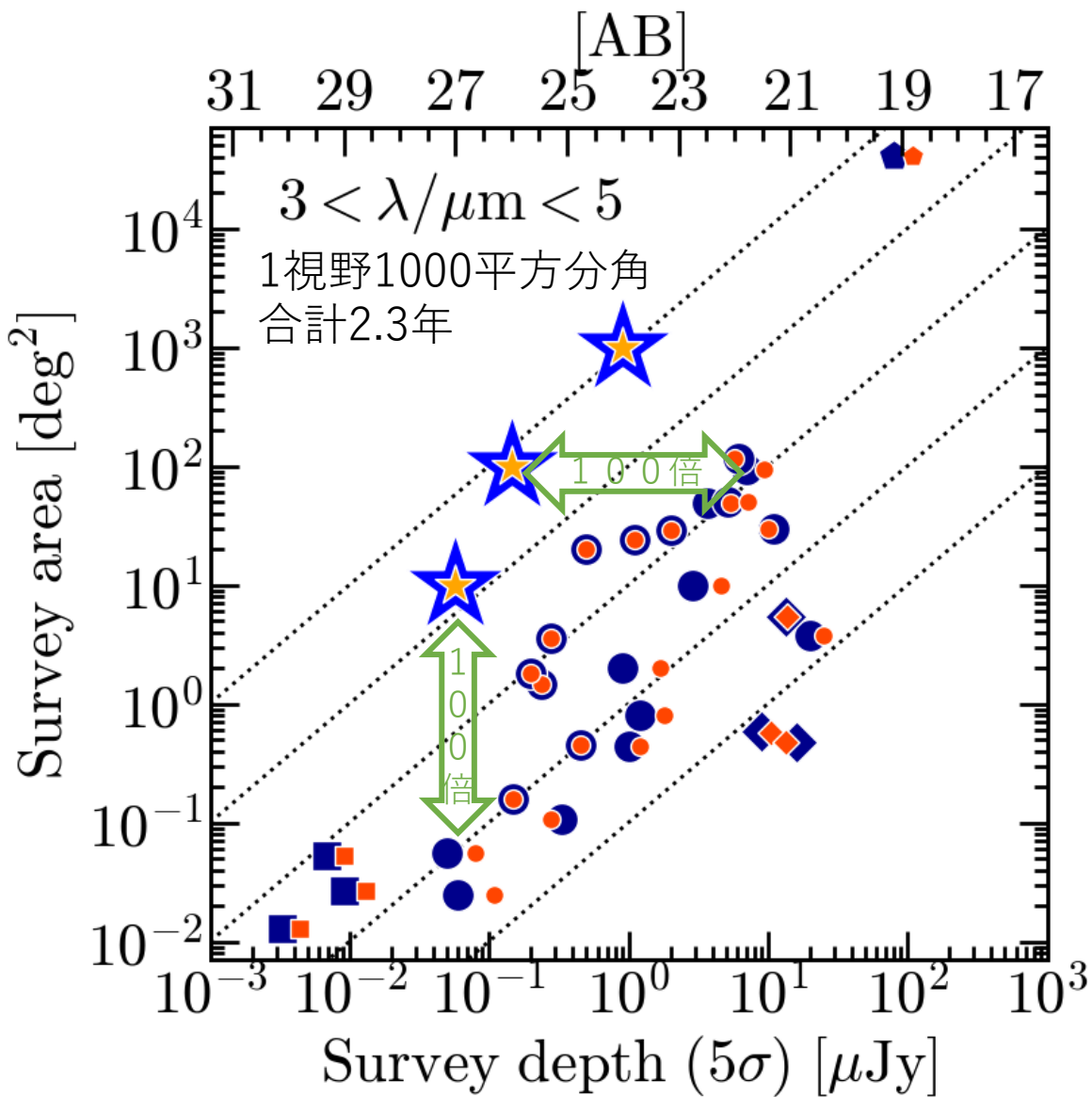
フィルター	1.5m,27AB5 $\sigma$ 時間(矢部2012)	1.2m,27AB5 $\sigma$ 時間(川嶋2021)	1.2m時間/1.5m 時間 (1.5/1.2) <sup>4</sup> =2.44
F3 (2.32 $\mu$ m)	5.9	15.5	2.63
F4 (3.03 $\mu$ m)	8.2	21.0	2.56
F5 (3.97 $\mu$ m)	32.0	79.5	2.48



$z > 15$  期待個数

- 3バンド27.0AB(5 $\sigma$ ), OH50% 174時間 → 10平方度 0.7年 最大6個
  - 3バンド26.0AB(5 $\sigma$ ), OH50% ~30時間 → 100平方度 1.2年 最大10個
  - 3バンド24.0AB(5 $\sigma$ ), OH50% ~1時間 → 1000平方度 0.4年
- 合計2.3年
- (注)バンド波長、長波長バンドの深さは見直す余地あり
  - (注2)重カレンズ銀河団領域を含む探査天域の策定が重要

# G-REXサーベイによるサイエンス



- 口径1.2メートル、視野1000平方分角
- 波長3—5ミクロン帯において、従来に比べて、「100倍広い、100倍深い」探査が可能
- さまざまなサイエンスに活用できる
  - 初代銀河探査( $z > 15$ )
    - 宇宙最大質量天体探査
  - 静止系可視光による恒星質量測定
    - 「銀河系の100分の1」のビルディングブロック
  - “Roman-drop” 銀河探査
    - Dusty or passive galaxies (or very high- $z$ )
  - AGN探査
    - Red (or dusty) quasars
    - Dust Obscured Galaxies (DOGs)
  - 未知の赤外線変光天体探査

星型：G-REX F303 (青色), F397 (山吹色)  
 五角形：WISE [3.4] (紺色), [4.6] (橙色)  
 丸形：Spitzer [3.6] (紺色), [4.5] (橙色)  
 ひし形：AKARI N3 (紺色), N4 (橙色)  
 四角形：JWST F356W or F335M (紺色), F444W (橙色)

# まとめと今後の予定

- 初代銀河探査機G-REX：世界で唯一の波長3-5 $\mu\text{m}$ 帯の広視野赤外線宇宙望遠鏡
- 口径1.5メートル、1視野1000平方分角の場合
  - 27AB限界：1年間で84平方度、3年間で250平方度を探査可能
  - 赤方偏移 $z > 15$ の初代銀河を最大で50個—150個検出期待
    - 検出期待個数の予想精度は今後2-3年で向上する(JWST, Euclid)
- 口径1.2メートル、1視野1000平方分角の場合
  - 27AB10平方度、26AB100平方度、24AB1000平方度の3探査が合計2.3年で可能
  - 波長3-5ミクロン帯の従来探査に比べて、「100倍広い、100倍深い」
  - 広範なサイエンスに活用できる
- 観測フィルター波長帯、バンド数とサイエンスの詳細検討
- 1000平方分角の視野を可能とする光学系の検討
  - 望遠鏡口径、素材、保持機構、コスト
- 熱設計：SPICAの検討資産である冷凍機の搭載を検討