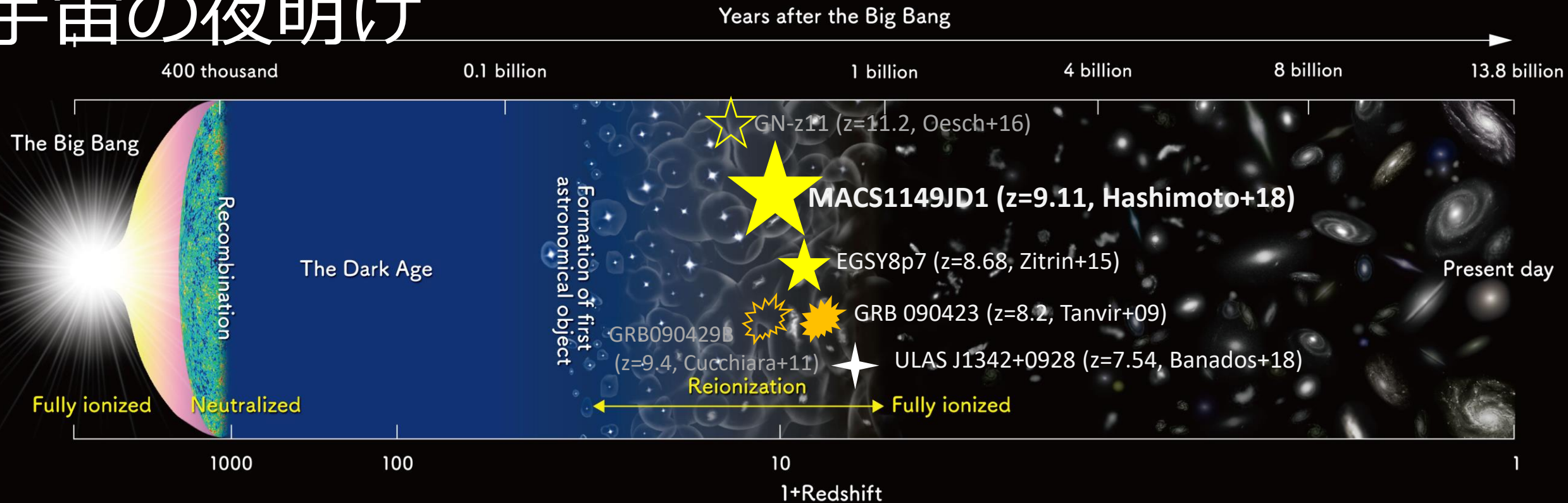


初代銀河探查機 G-REX

井上昭雄（早稲田大学），初代銀河探查機RG

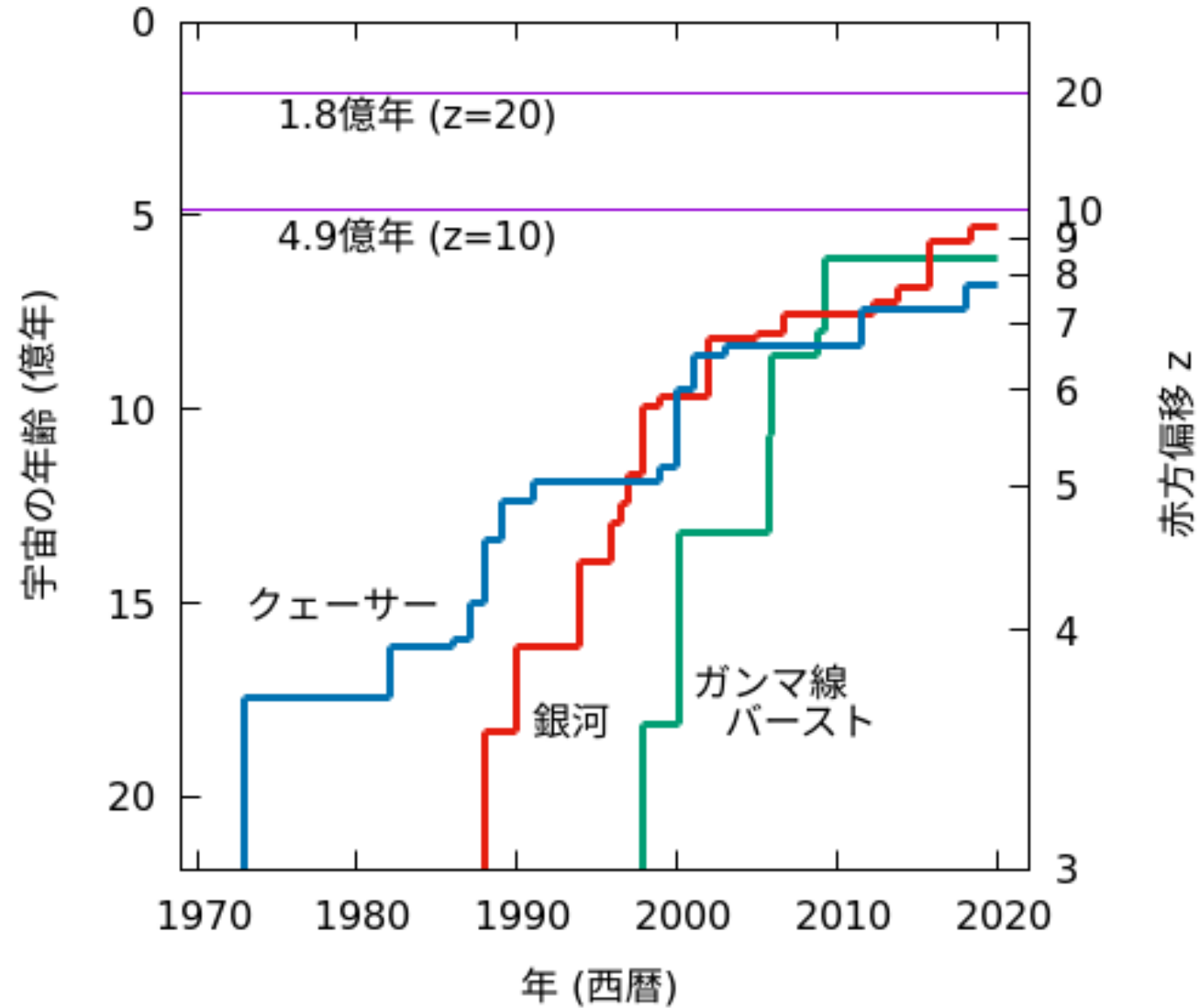
宇宙の夜明け



NAOJ

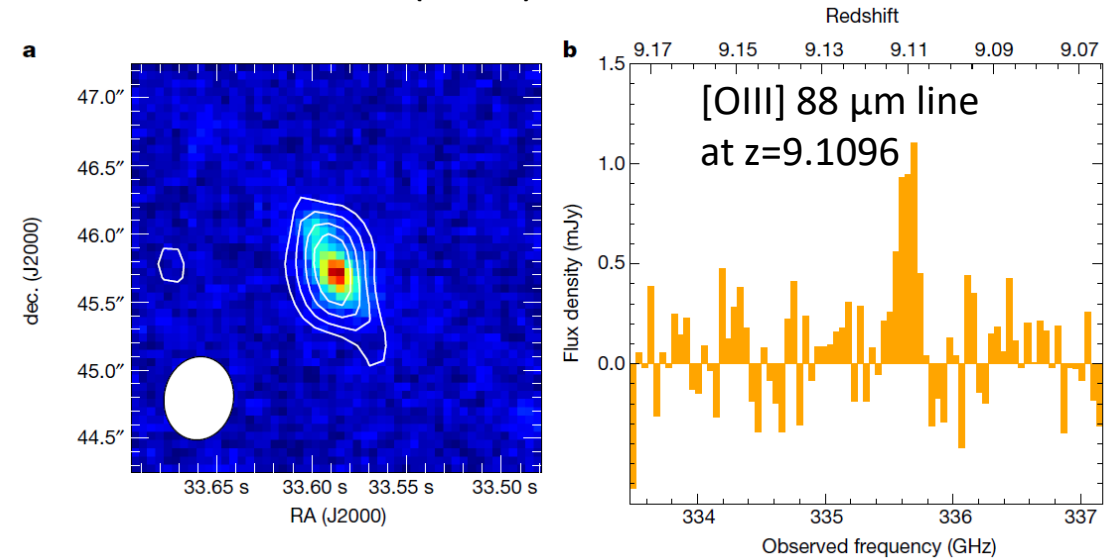
- 現代天文学の最重要課題の一つ：銀河の形成
- これまでの観測的フロンティアは赤方偏移 $z=10$ あたり
- “前”宇宙再電離時代に突入しつつある **$z>15$**
- 2030年代に達成すべきこと：“初代”銀河の発見とその形成過程の理解

最遠方天体記録の歴史



- 望遠鏡・装置の技術革新
- 天体選択手法の発展
- 広域探査の進展

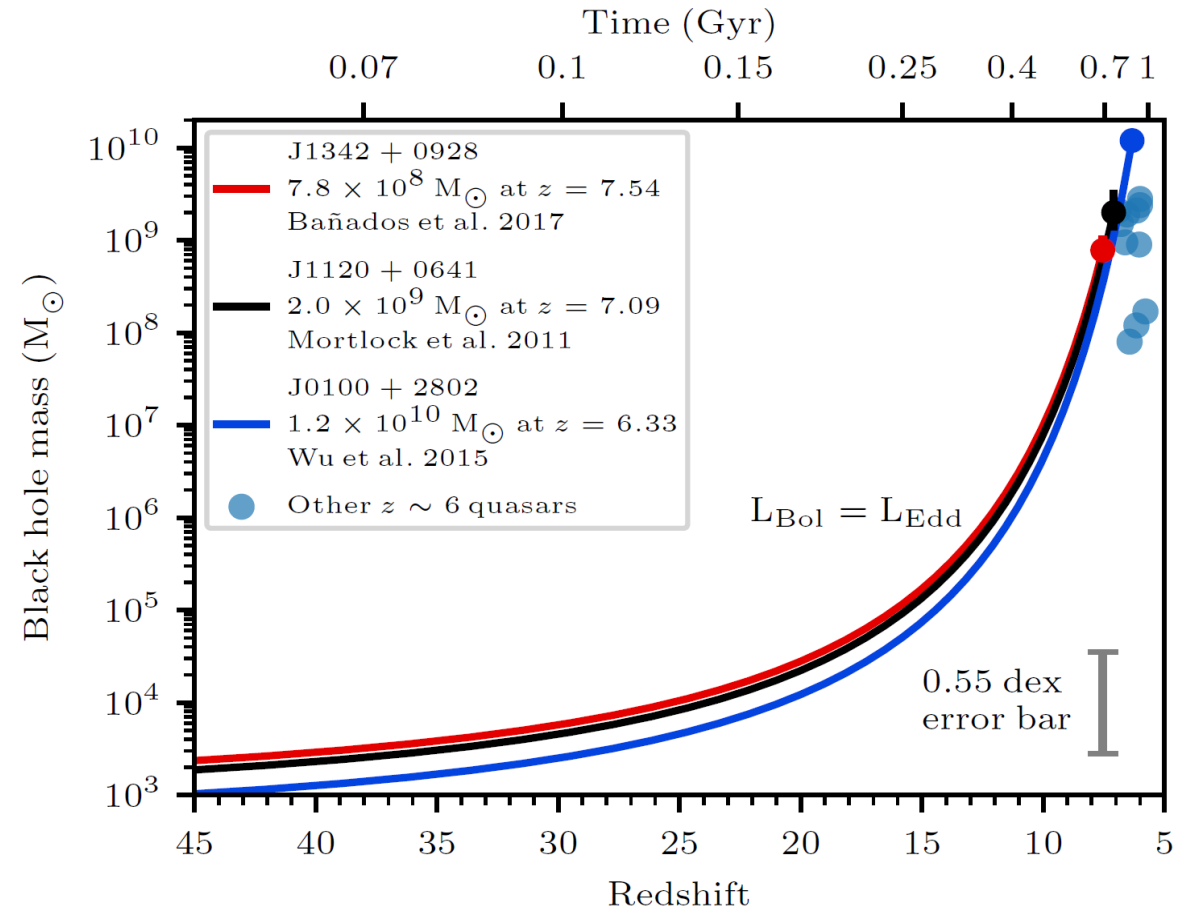
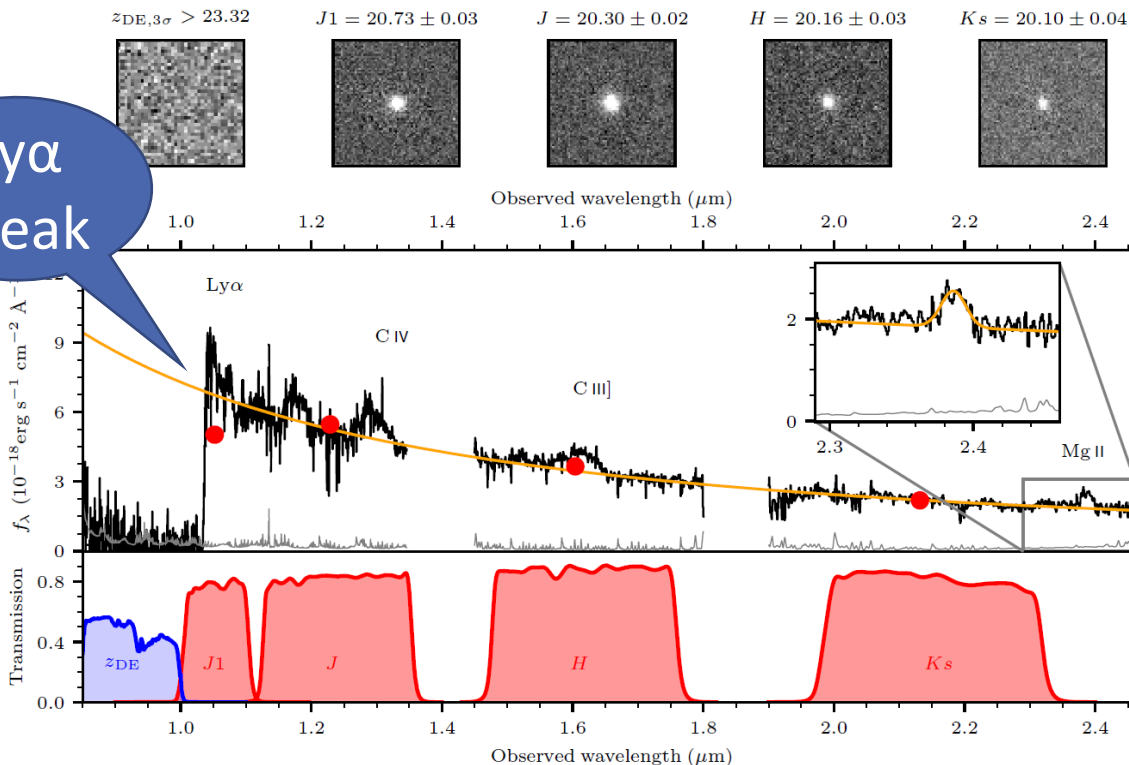
輝線による最遠方天体：MACS1149-JD1
Hashimoto et al. (2018)



最遠方天体の探査はなぜ重要なのか？

- 天体構造形成に対する**最強**の観測的制限
 - 限られた時間の中で、観測されるほど明るい天体が誕生しなければならない
 - (例)最遠方クエーサー(SMBH)の形成問題

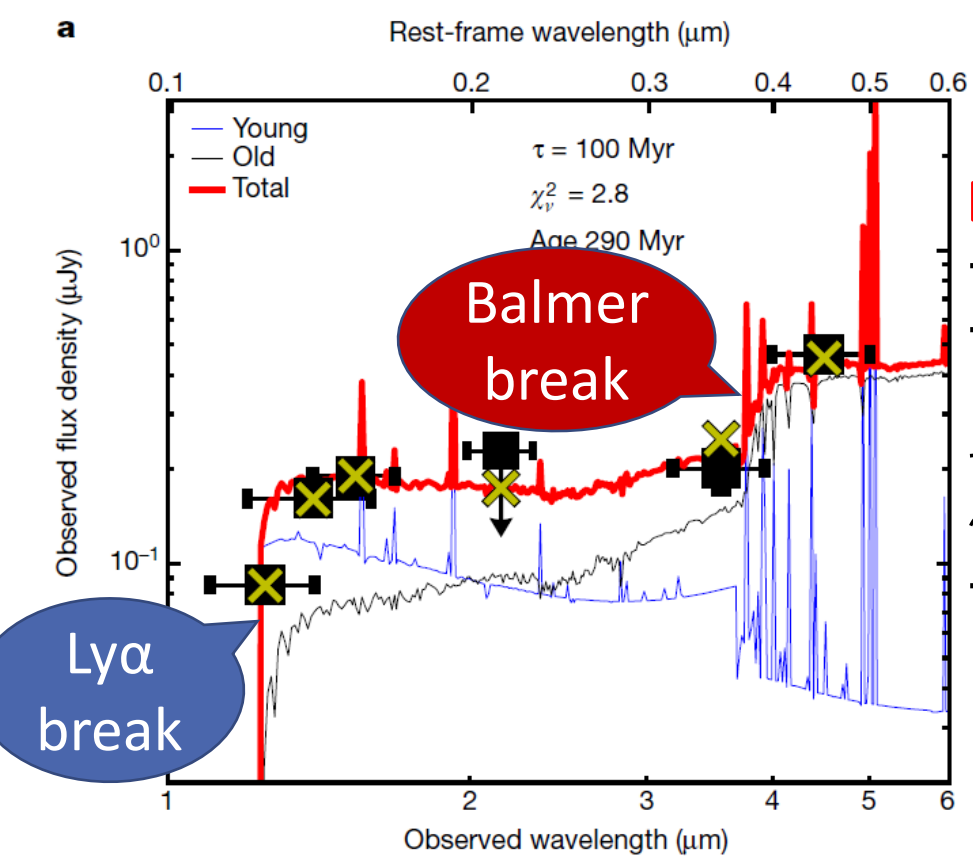
Banados et al. 2018



赤方偏移 $z > 15$ での銀河形成？

- ある程度明るい銀河がすでに誕生？
- 構造形成や銀河形成理論への重要な示唆

MACS1149-JD1 at $z=9.11$ (Hashimoto et al. 2018)

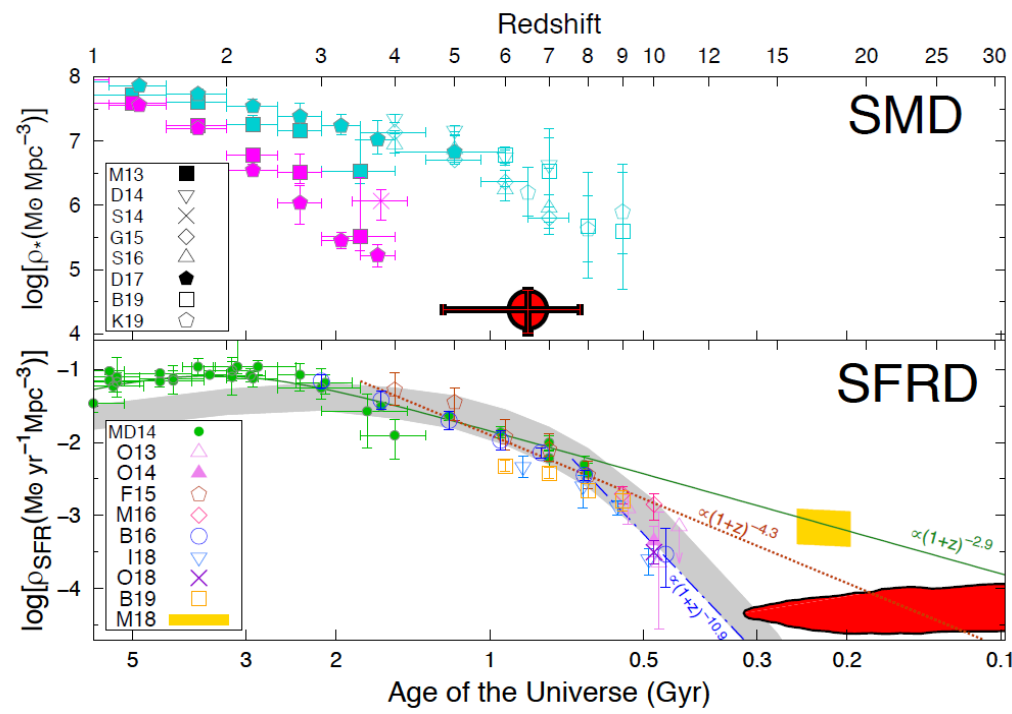
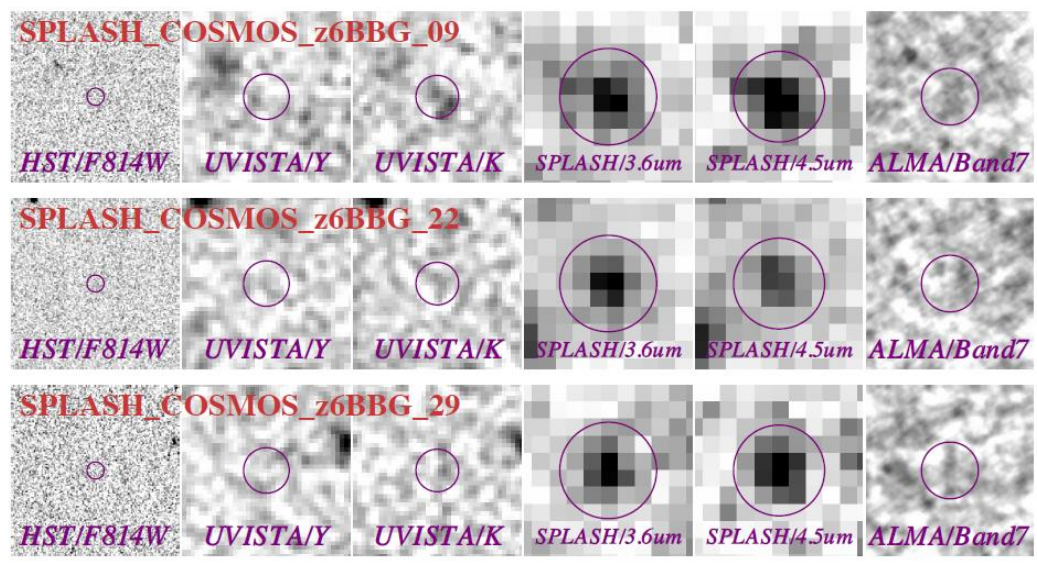


Balmer break

- 年齢~3億年
- 形成時期は $z \sim 15$

そのときの星形成率は
~10 M_{sun}/yr
→ 等級~26-27 AB

$z \sim 6$ Balmer break galaxies (Mawatari et al. 2020)



2020年代の赤外線宇宙望遠鏡計画

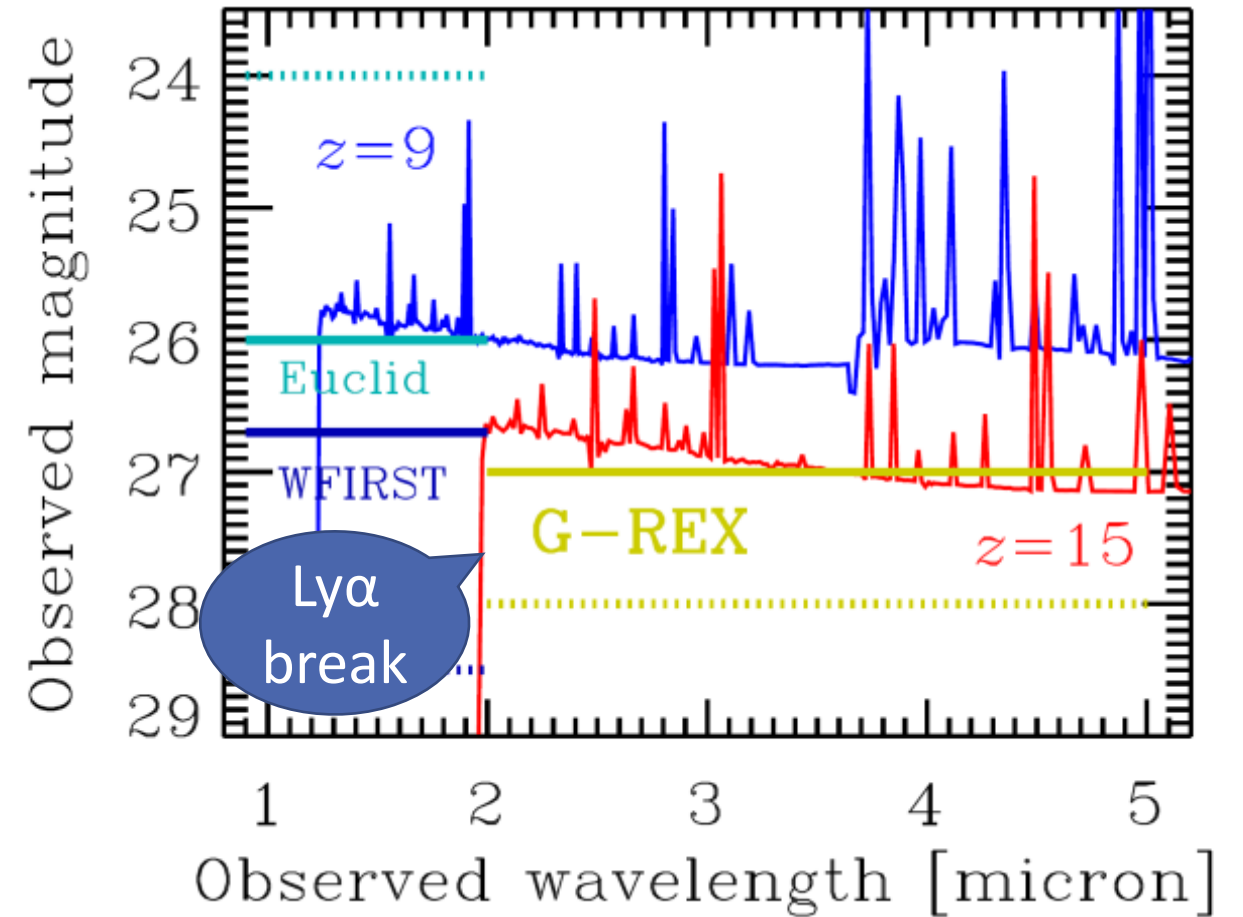
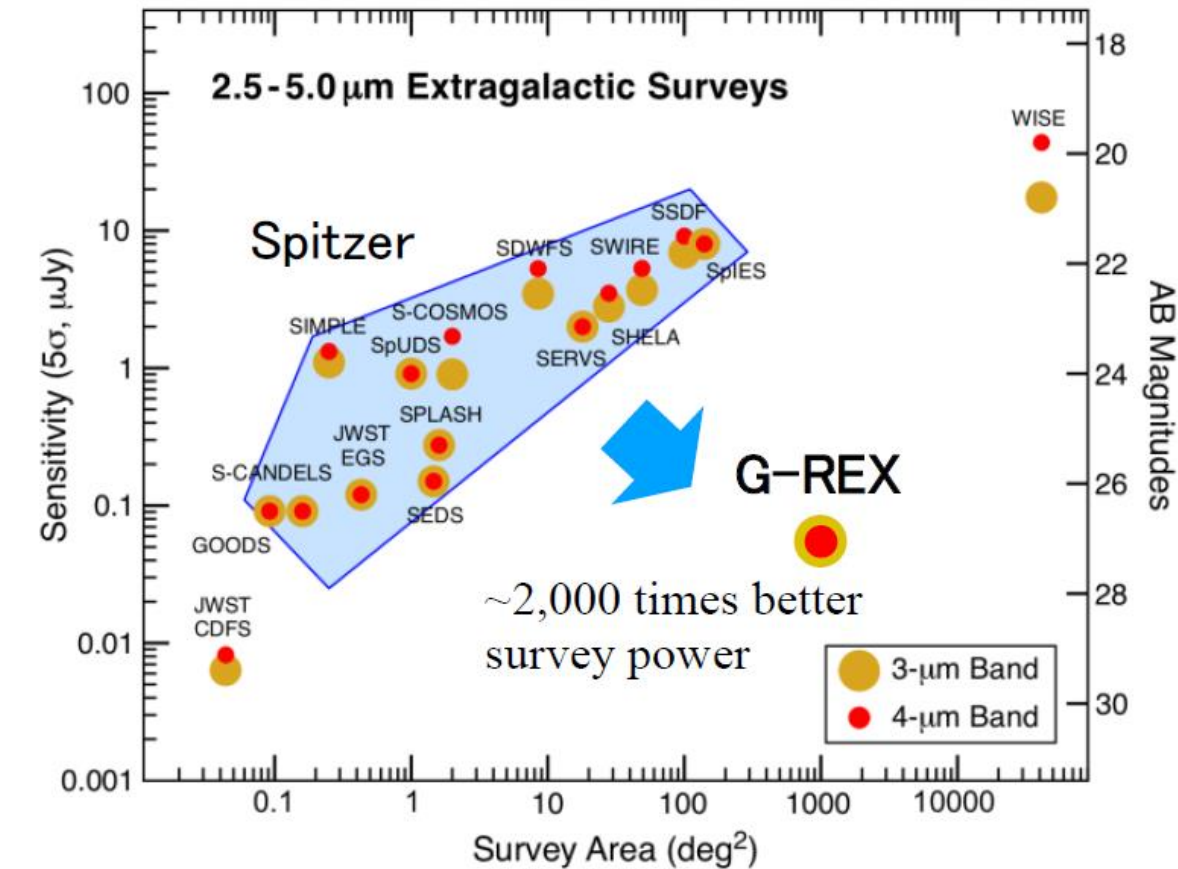
- $z > 15$ ではLy α 波長が2ミクロンを超える
- 波長2ミクロン以上に感度を持つ望遠鏡は、視野が狭いか感度が不十分
- 広視野望遠鏡は波長2ミクロン未満

Table 1: A comparison of future major infrared space missions.

	JWST NIRCam/ MIRI	Euclid	SPHERE _x	Roman WFIRST	SPICA SMI/ SAFARI	G-REX
Launch	2021	2022	2023	2026	2028	~2035
Aperture [m]	6.5	1.2	0.2	2.4	2.5	~1.5
Wavelength [μm]	0.6-5, 5-28	0.6-2	0.75-5	0.5-2	12-36, 34-230	~2-5
Field-of-view [\square']	9.7, 2.3	1,900	284,760	1,000	120, 4	~1,000
Spectral Resolution [$\lambda/\Delta\lambda$]	~4-1800 ~2-3,500	~4-380	35-130	~4-865	5-33,000 ~2-2,000	~4

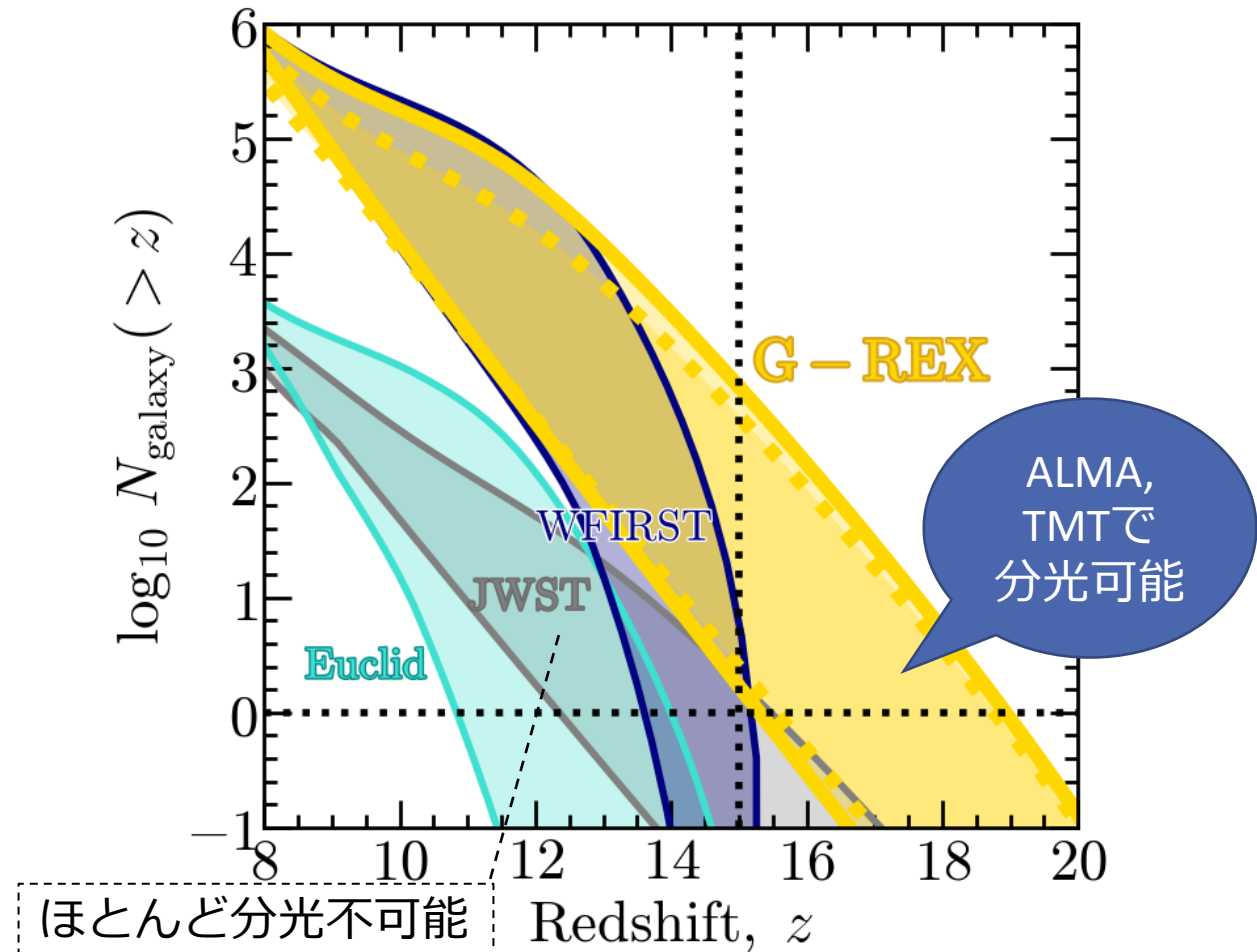
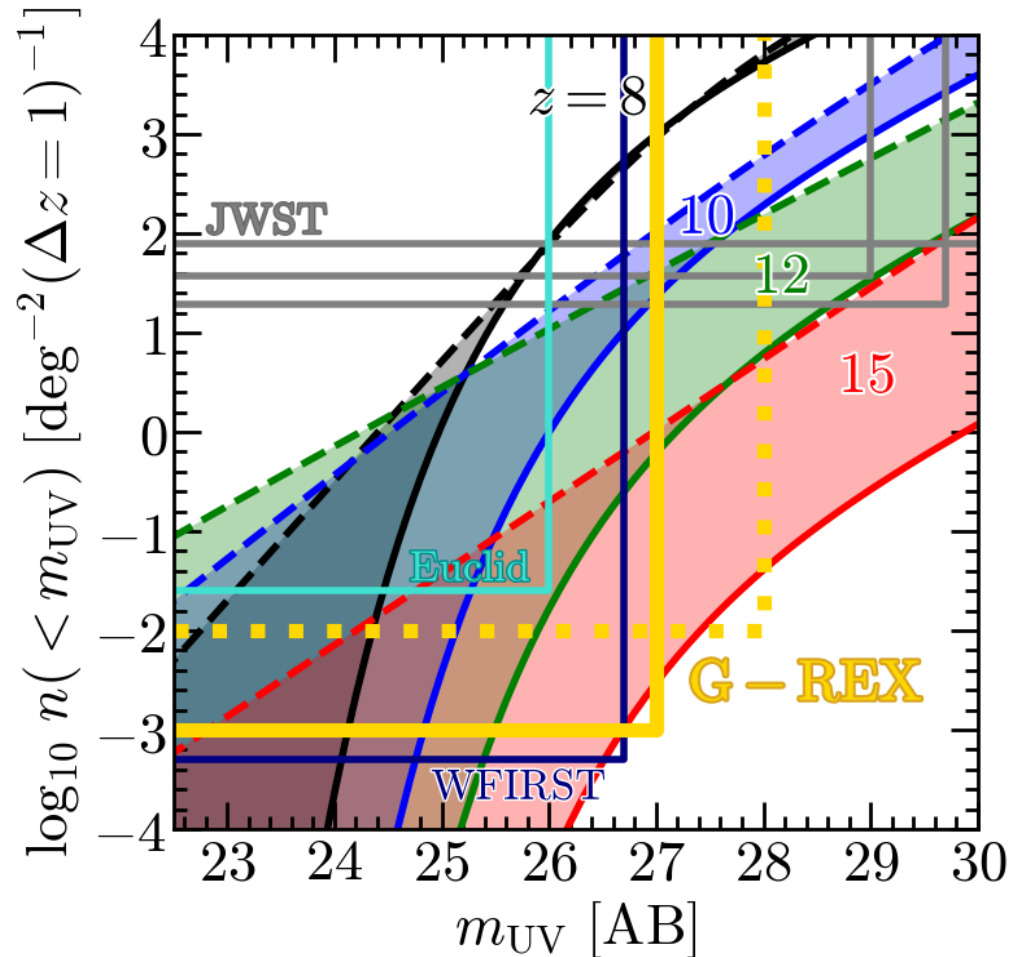
波長2ミクロン以上を広い視野でカバー：G-REX

- EuclidとRoman (WFIRST)は**原理的に** $z > 15$ 天体(波長2ミクロン超)は見えない



波長2ミクロン以上を広い視野でカバー：G-REX

- EuclidとRoman (WFIRST)は**原理的に** $z > 15$ 天体(波長2ミクロン超)は見えない
- JWSTは視野が狭すぎて $z > 15$ にとどかない可能性 (仮に見つけても暗すぎる)



総評

プロジェクトの科学的意義は高く、国際的に他のプロジェクトと比較しても科学面でのユニークネスについて高く評価されます。一方で、すでに打ち上げが計画されているJWSTやWFIRSTと比べた時に、科学的成果の質的な違い、例えば、より高い赤方偏移の宇宙を探索することで銀河形成の何が新しくわかるのか、宇宙初期の構造形成のどのような問題が解決されるのか、について幅広い科学者のコミュニティから理解される形で提示することは依然として必要であると考えられます。

プロジェクトを推進する上で必要となる組織や人的資源の評価や技術面での実現可能性について、現状では説得力が不足しているとの評価コメントが散見されます。大規模探査の科学的成果を最大化する観点からはデータ処理および公開にかかるオーバーヘッドの評価も重要であると考えられます。深さ的にはすでにスピッツァー衛星の深探査でほぼ達成されている深さであり、コンフュージョンの影響も含め、得られるであろうデータに対して、より定量的な評価が必要です。予算や技術面での問題を克服するために、国際協力を検討するのか、国内の他計画との融合を検討するのか、なんらかの具体的検討が必要だと考えられます。

総評

標準宇宙論・構造形成論や、銀河形成のバリオン物理を最初期の宇宙で検証する。
宇宙で最初の大質量銀河の形成を観測的に実証する。最初期宇宙で分光可能な天体を供給する。

プロジェクトの科学的意義は高く、国際的に他のプロジェクトと比較しても科学面でのユニークネスについて高く評価されます。一方で、すでに打ち上げが計画されているJWSTやWFIRSTと比べた時に、科学的成果の質的な違い、例えば、より高い赤方偏移の宇宙を探索することで銀河形成の何が新しくわかるのか、宇宙初期の構造形成のどのような問題が解決されるのか、について幅広い科学者のコミュニティから理解される形で提示することは依然として必要であると考えられます。

プロジェクトを推進する上で必要となる組織や人的資源の評価や技術面での実現可能性について、現状では説得力が不足しているとの評価コメントが散見されます。大規模探索の科学的成果を最大化する観点からはデータ処理および公開にかかるオーバーヘッドの評価も重要であると考えられます。深さ的にはすでにスピッツァー衛星の深探索でほぼ達成されている深さであり、コンフュージョンの影響も含め、得られるであろうデータに対して、より定量的な評価が必要です。予算や技術面での問題を克服するために、国際協力を検討するのか、国内の他計画との融合を検討するのか、なんらかの具体的検討が必要だと考えられます。

総評

プロジェクトの科学的意義は高く、国際的に他のプロジェクトと比較しても科学面でのユニークネスについて高く評価されます。一方で、すでに打ち上げが計画されているJWSTやWFIRSTと比べた時に、科学的成果の質的な違い、例えば、より高い赤方初期の構造コミュニティ

- 開発の具体化が期待される2025年ごろには、現在進行中の地上望遠鏡装置計画が一段落する(PFS、SWIMS、ULTIMATEなど) → 人材の受け皿に
- Small-JASMINE、Hiz-GUNDAM、LiteBIRD、SPICAで活躍した宇宙望遠鏡経験人材の受け皿に
- 院生、ポスドクからの育成

ます。

プロジェクトを推進する上で必要となる組織や人的資源の評価や技術面での実現可能性について、**現状では説得力が不足している**との評価コメントが散見されます。大規模探査の科学的成果を最大化する観点からはデータ処理および公開にかかるオーバーヘッドの評価も重要であると考えられます。深さ的にはすでにスピッツァー衛星の深探査でほぼ達成されている深さであり、コンフュージョンの影響も含め、得られるであろうデータに対して、より定量的な評価が必要です。予算や技術面での問題を克服するために、国際協力を検討するのか、国内の他計画との融合を検討するのか、なんらかの具体的検討が必要だと考えられます。

総評

プロジェクトの科学的意義は高く、国際的に他のプロジェクトと比較しても科学面でのユニークネスについて高く評価されます。一方で、すでに打ち上げが計画されているJWSTやWFIRSTと比べた時に、科学者から高い期待を寄せられている赤方偏移の宇宙を探索することで銀河の初期の構造形成のどのような問題が解決され、コミュニティから理解される形で提示することになります。

- 広視野撮像のみのシンプルな望遠鏡光学系
- 衛星バスはTRL=9
- 2-5ミクロン帯観測で重要となるのは熱設計
- 放射冷却だけで十分か、低擾乱冷凍機を搭載するのか、総合的地上試験をどうするか

プロジェクトを推進する上で必要となる組織や人的資源の評価や技術面での実現可能性について、現状では説得力が不足しているとの評価コメントが散見されます。大規模探査の科学的成果を最大化する観点からはデータ処理および公開にかかるオーバーヘッドの評価も重要であると考えられます。深さ的にはすでにスピッツァー衛星の深探査でほぼ達成されている深さであり、コンフュージョンの影響も含め、得られるであろうデータに対して、より定量的な評価が必要です。予算や技術面での問題を克服するために、国際協力を検討するのか、国内の他計画との融合を検討するのか、なんらかの具体的検討が必要だと考えられます。

総評

プロジェクトの科学的意義は高く、国際的に他のプロジェクトと比較しても科学面でのユニークネスについて高く評価されます。一方で、すでに打ち上げが計画されているJWSTやWFIRSTと比べた時に、科学的成果の質的な違い、例えば、より高い赤方偏移の宇宙を探索することで銀河形成の何が新しくわかるのか、宇宙初期の構造形成のどのような問題が解決されるのか、について幅広い科学者のコミュニティから理解される形で提示することは依然として必要であると考えられます。

- 運用コストとして計上予定
- すばるHSCやPFSの経験を活用したパイプライン作成、データアーカイブ構築

プロジェクト上で必要となる組織や人的資源の評価や技術面での実現可能性について、現状では説得力が不足しているとの評価コメントが散見されます。大規模探索の科学的成果を最大化する観点からはデータ処理および公開にかかるオーバーヘッドの評価も重要であると考えられます。深さ的にはすでにスピッツァー衛星の深探索でほぼ達成されている深さであり、コンフュージョンの影響も含め、得られるであろうデータに対して、より定量的な評価が必要です。予算や技術面での問題を克服するために、国際協力を検討するのか、国内の他計画との融合を検討するのか、なんらかの具体的検討が必要だと考えられます。

総評

プロジェクトの科学的意義は高く、国際的に他のプロジェクトと比較しても科学面でのユニークネスについて高く評価されます。一方で、すでに打ち上げが計画されているJWSTやWFIRSTと比べた時に、科学的成果の質的な違い、例えば、より高い赤方偏移の宇宙を探索することで銀河形成の何が新しくわかるのか、宇宙初期の構造形成のどのような問題が解決されるのか、について幅広い科学者のコミュニティから理解される形で提示することは依然として必要であると考えられます。

- Spitzerに比べて空間解像度が2倍良くなる点に注意されたい。
- 10年くらい前の検討では、空間解像度にもよるが、27ABくらいから影響が少しずつ現れるかもしれないという結果であった。
- より詳細な再検討を行ないたい。

プロジェクトの科学的意義は高く、国際的に他のプロジェクトと比較しても科学面でのユニークネスについて高く評価されます。一方で、すでに打ち上げが計画されているJWSTやWFIRSTと比べた時に、科学的成果の質的な違い、例えば、より高い赤方偏移の宇宙を探索することで銀河形成の何が新しくわかるのか、宇宙初期の構造形成のどのような問題が解決されるのか、について幅広い科学者のコミュニティから理解される形で提示することは依然として必要であると考えられます。

大規模探索の科学的成果を最大化する観点から、データ処理および公開にかかるオーバーヘッドの評価も重要であると考えられます。深さ的にはすでにスピッツァー衛星の深探索でほぼ達成されている深さであり、コンフュージョンの影響も含め、得られるであろうデータに対して、より定量的な評価が必要です。予算や技術面での問題を克服するために、国際協力を検討するのか、国内の他計画との融合を検討するのか、なんらかの具体的検討が必要だと考えられます。

総評

プロジェクトの科学的意義は高く、国際的に他のプロジェクトと比較しても科学面でのユニークネスについて高く評価されます。一方で、すでに打ち上げが計画されているJWSTやWFIRSTと比べた時に、科学的成果の質的な違い、例えば、より高い赤方偏移の宇宙を探索することで銀河形成の何が新しくわかるのか、宇宙初期の構造形成のどのような問題が解決されるのか、について幅広い科学者のコミュニティから理解される形で提示することは依然として必要であると考えられます。

プロジェクトを推進する上で必要となる組織や人的資源の評価や技術面での実現可能性について、現状では説得力が不足しているとの評価コメントが散見されます。大規模探査の科
かかるオーバーヘッド
ピッツァー衛星の深
影響も含め、得られるであろう
予算や技術面での問題を克服するために、国際協力を検討するのか、国内の他計画との融合を検討するのか、なんらかの具体的検討が必要だと考えられます。

- 昨年度宇宙研RG経費を利用して渡米し、ハーバードスミソニアン
のグループ、アリゾナ大学のグループと協議を行なった。
- 今後も国際協力の可能性を追求する。

対して、より定量的な評価が必要です。

個別コメントから

- JWST がこの課題に大きく時間投入すれば $z > 15$ 銀河の探査はやり尽くされる懸念がある。

今のところの探査計画では難しい予想。浅く広いサーベイができるか？

- Euclid、WFIRST での $2\mu\text{m}$ 以下サーベイの科学的結果を見極める必要がある。その通り。これらの結果から紫外線光度関数の不定性が小さくなり、G-REX で $z > 15$ を見る価値が高まる可能性も。そのためにも準備を進めておくべき。
- Roman 望遠鏡でどこまでできて、それ以上に何ができるかをクリアに示すことが重要なポイントである。

Roman は $z < 14$ まで。G-REX は $z > 15$ の最初期を探査し、分光ターゲットを供給。

- 装置として汎用性が高いことから、その他の分野にもコミュニティを広げること重要である。

その通り。3ミクロン帯氷フィーチャーは惑星形成や星間現象でも関心高い。

個別コメントから

- 技術的、戦略的な観点からは、300億円というSPICAと同規模のカテゴリーを費やして2035年に手にする実績として、その時期にさらに将来の国際的ミッションとして検討されるプロジェクトに、どう言った足がかりとなり結びつくかは常々意識すべきだと思います。特に、他の地球科学プロジェクトや他の波長のプロジェクトとの自然競争に勝つためにもう少し強い魅力を掲げる必要があるように思います。

G-REXの成功後、2040年代そしてその先の日本の天文コミュニティにとって、G-REXから戦略的につながるものとは、例えば、TMT, LUVOIR, OST, SKA, LST もちろん超将来的には「宇宙すばる望遠鏡」への第一歩となる。