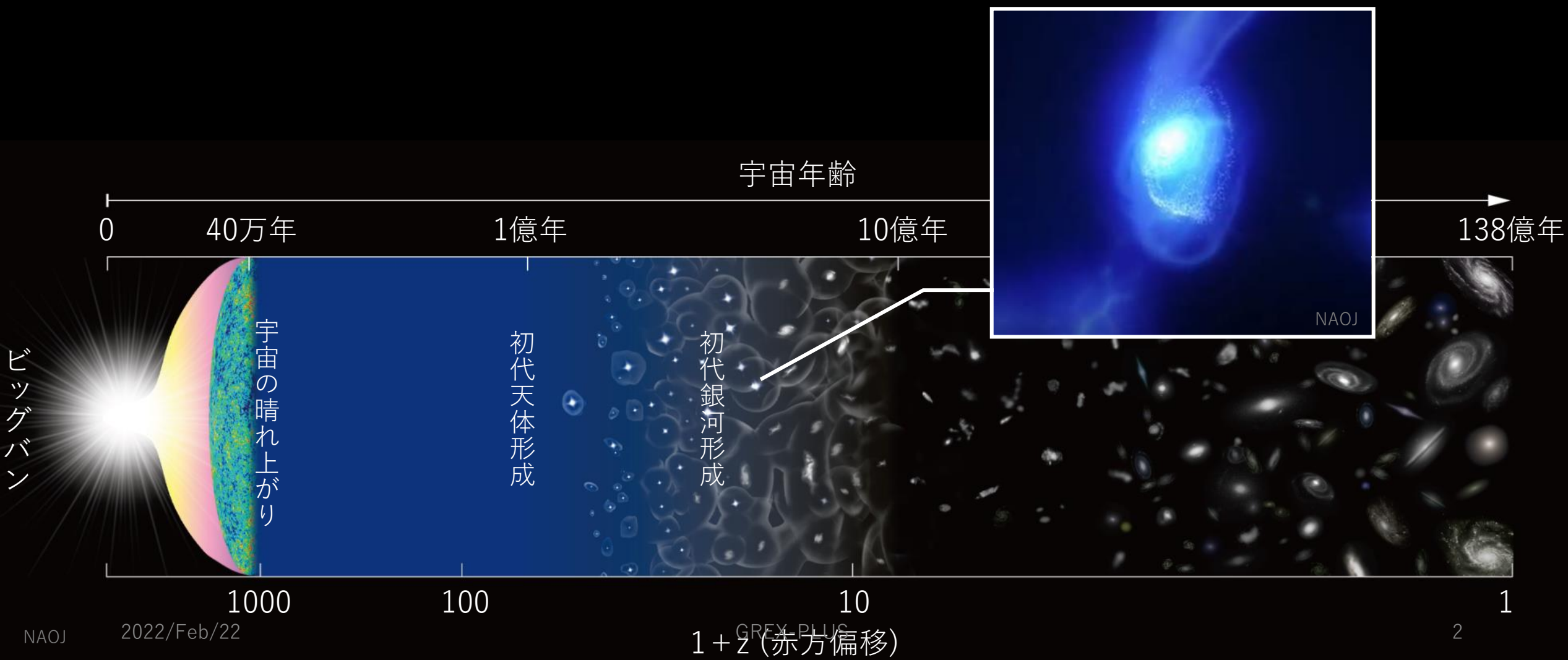


GREX-PLUS

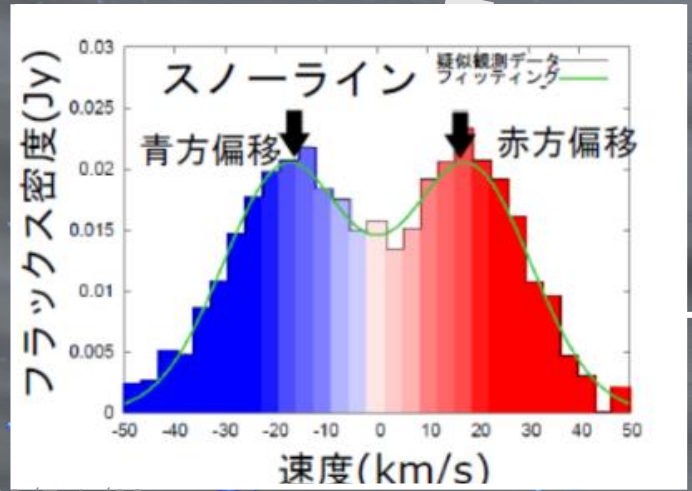
Galaxy Reionization EXplorer and
PLanetary Universe Spectrometer

GREX-PLUS 検討会
井上昭雄（早稲田大学）

宇宙で最初の日体と銀河の誕生過程を知りたい



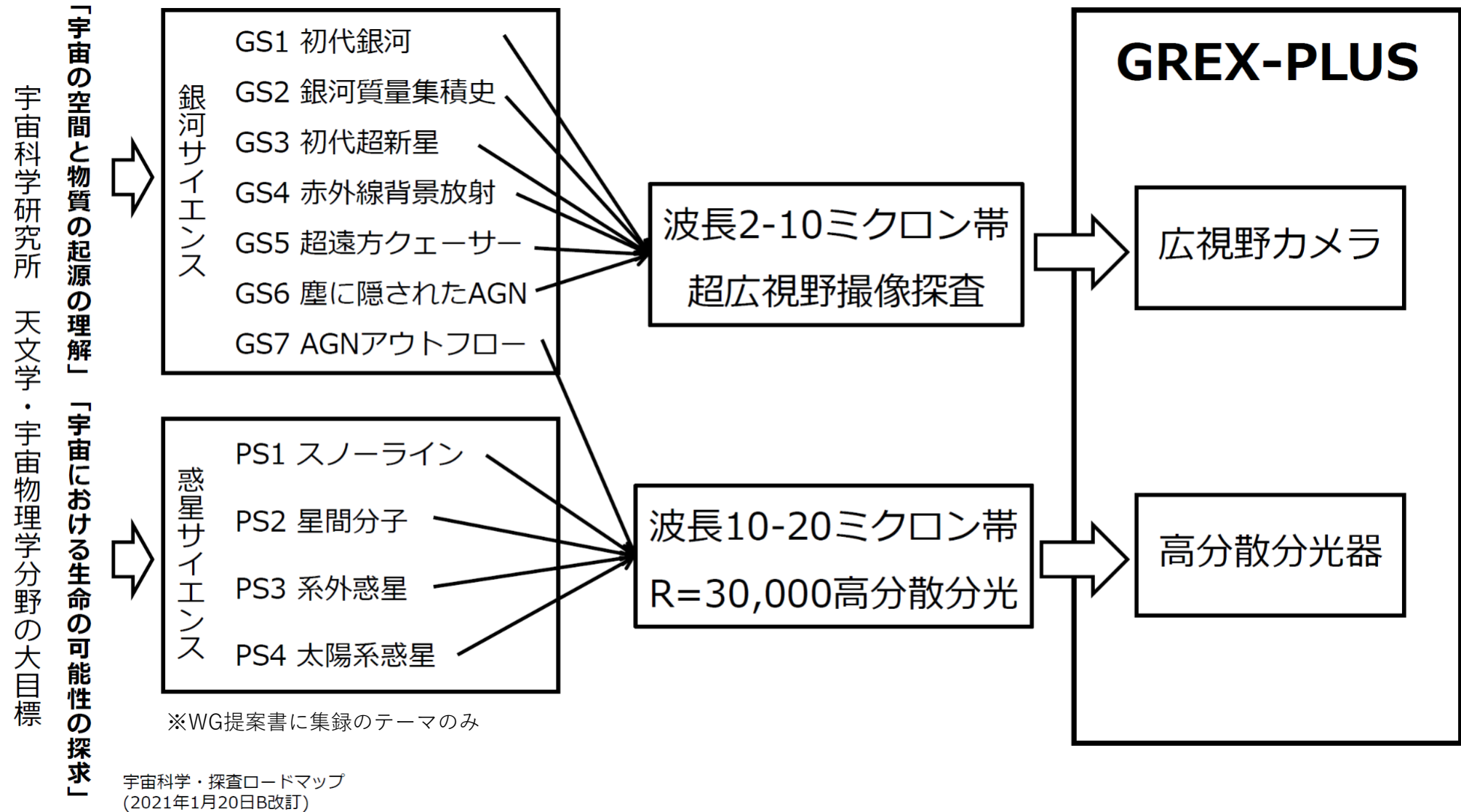
惑星、海、生命の起源を知りたい



水蒸気

氷

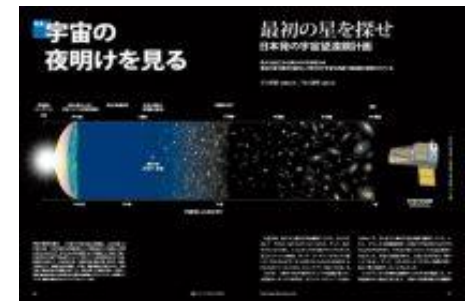
ISAS/JAXAの天文学・宇宙物理学の大目標とGREX-PLUSが目指すサイエンステーマの関係



GREX-PLUS in a nutshell

- 冷却宇宙望遠鏡(温度50K)
- 口径1.2m
- 広視野カメラ
 - 総視野： >0.4 平方度
 - 6バンド分割
 - 2-5ミクロン帯：3バンド
 - 5-10ミクロン帯：3バンド
- 高分散分光器
 - 10-20ミクロン帯
 - $R=30,000$ ($\Delta v=10$ km/s)
- 運用期間：5年（+5年以上目標）
- 経費：400億円未満
 - JAXA/ISAS 戦略的中型規模
- 2030年代前半打ち上げ
- 2021年10月中型WG設立提案書
(133ページ)
→ 理学委員会へ提出済み

一般向け紹介記事：
日経サイエンス2021年10月号
特集：宇宙の夜明けを見る
「最初の星を探せ 日本発の宇宙望遠鏡計画」

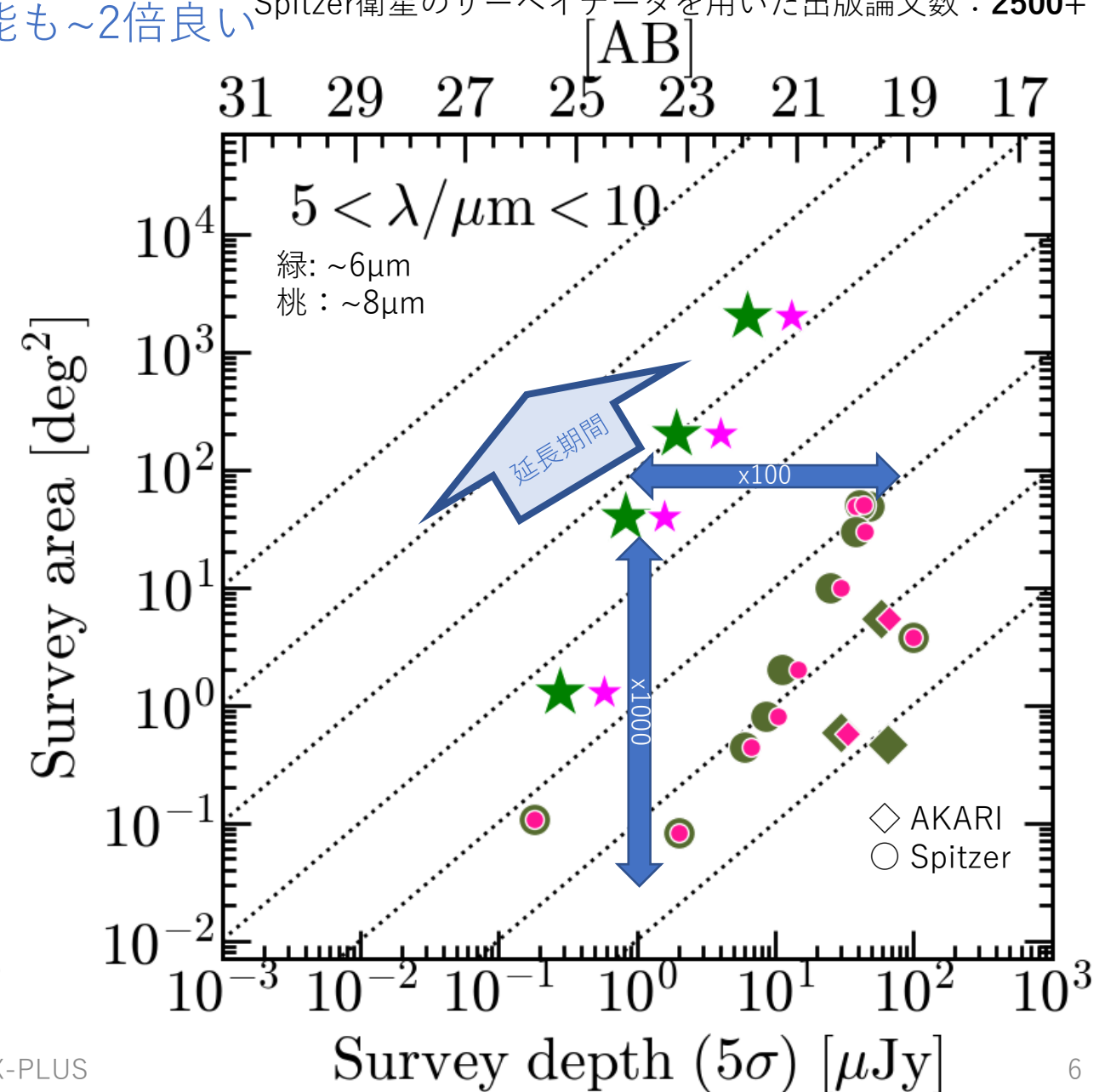
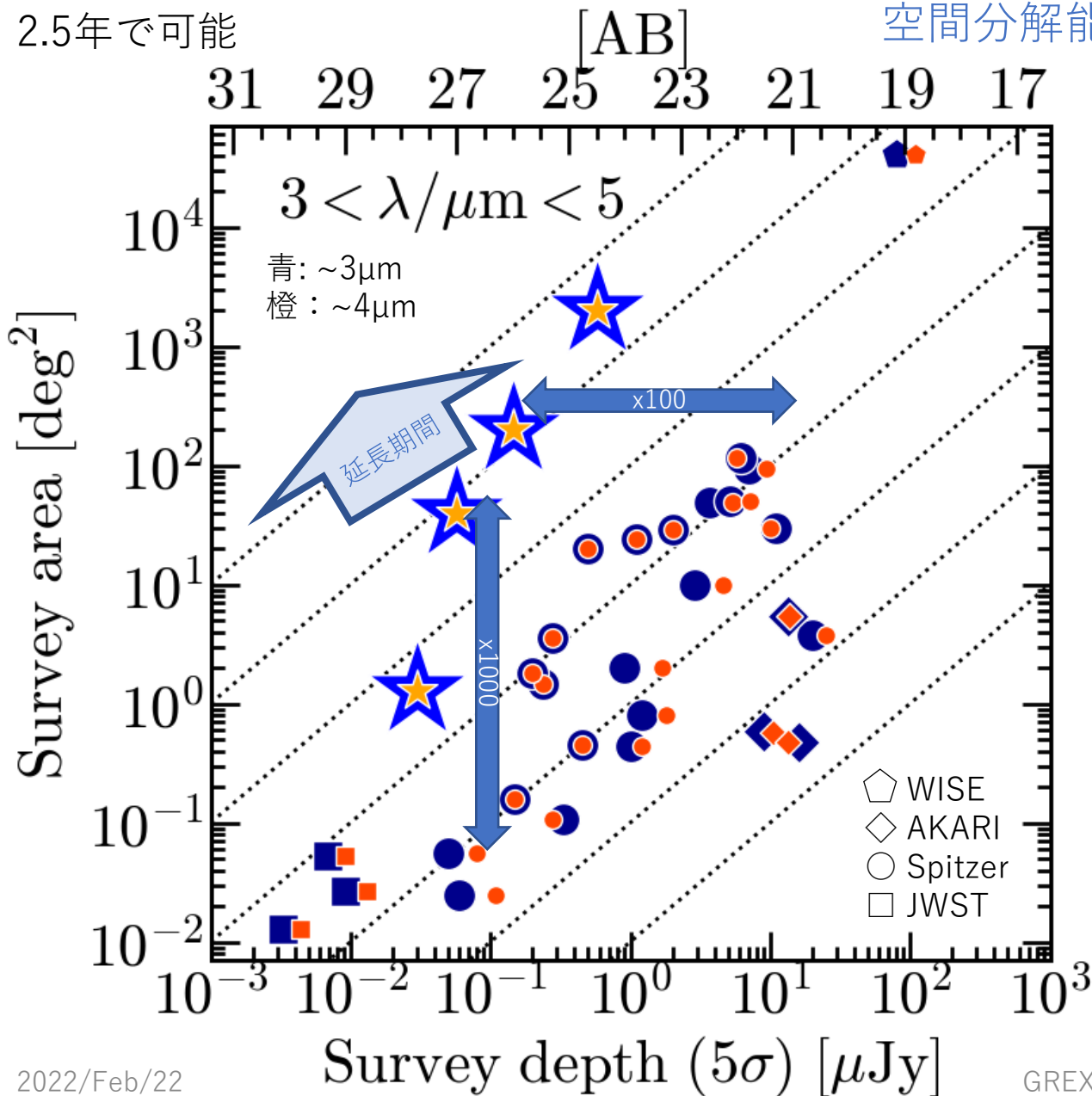


GREX-PLUS Surveys: Spitzerより~100倍深い、~1000倍広い

2.5年で可能

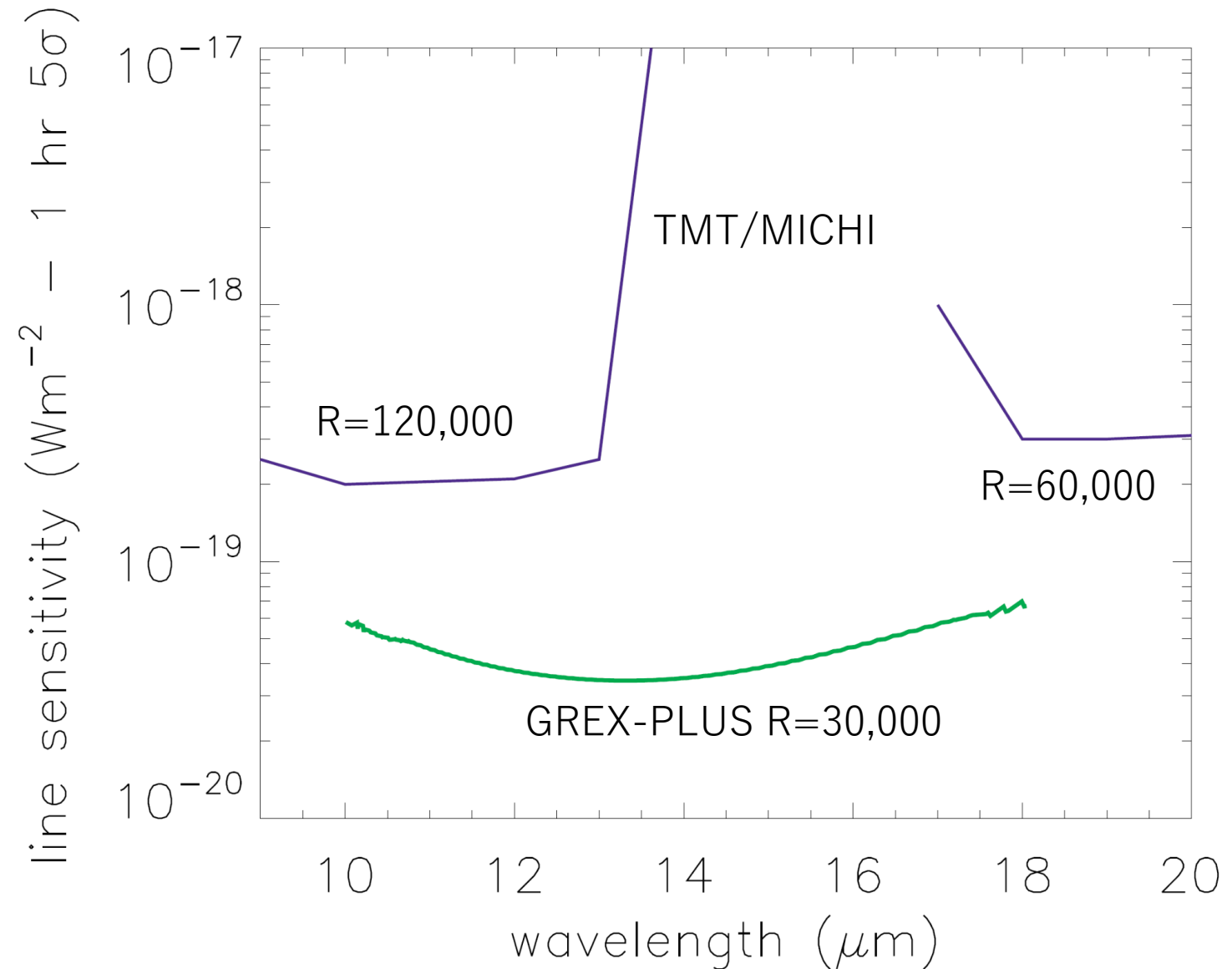
空間分解能も~2倍良い

Spitzer衛星のサーベイデータを用いた出版論文数：2500+



GREX-PLUS High-Resolution Spectrometer

- 波長分解能: 30,000
- JWST $R \sim 3,000$ より一桁高い
- TMTより数倍以上高感度
 - 波長も連続的にカバー



広視野カメラの科学

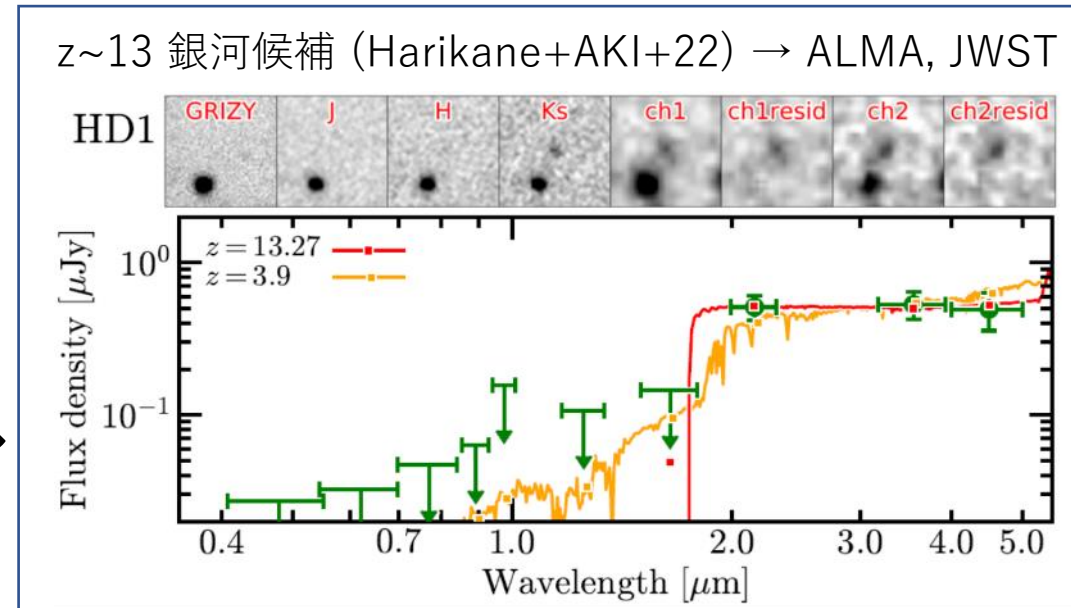
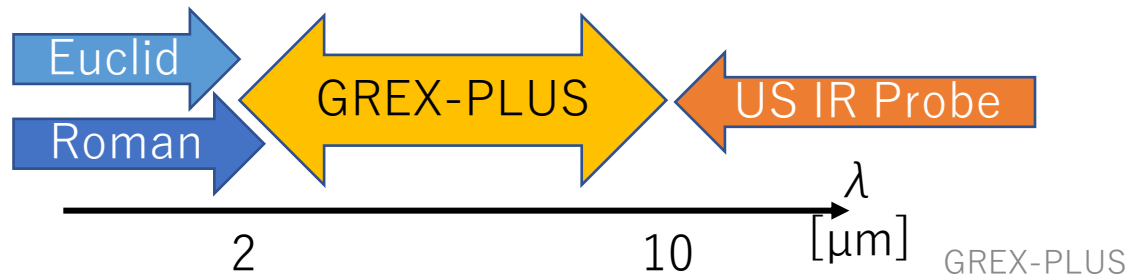
なんでもできるデータセット(赤外線背景放射、銀河系、太陽系、など)
全波長、マルチメッセンジャー対応天体探しの基盤画像データ

- 極めて汎用な2-10 μm 画像データ
- GREX-PLUSで初めて見える“Roman-drop”天体が必ず存在 [波長帯の違い]
 - $z > 15$ 初代銀河(および大質量ブラックホール) ~ 10 個か場合によってはそれ以上
 - $z > 6$ 成熟した大質量銀河(バルマーブレイク・パッシブ銀河) $\sim 10\text{k}$ (c.f. Mawatari+20)
 - ダストで隠された銀河(および大質量ブラックホール) $z > 3-4$ DOGs $\sim 400-100$
 - $z > 8$ 遠方超新星爆発(SLSNe, PISNe) ~ 10 個
 - などなど(新種の天体も含まれる)
 - ALMA, JWST, ELTsによる分光ターゲット

より大きな赤方偏移

見つける (広視野撮像) $\longrightarrow$ 調べる (分光)

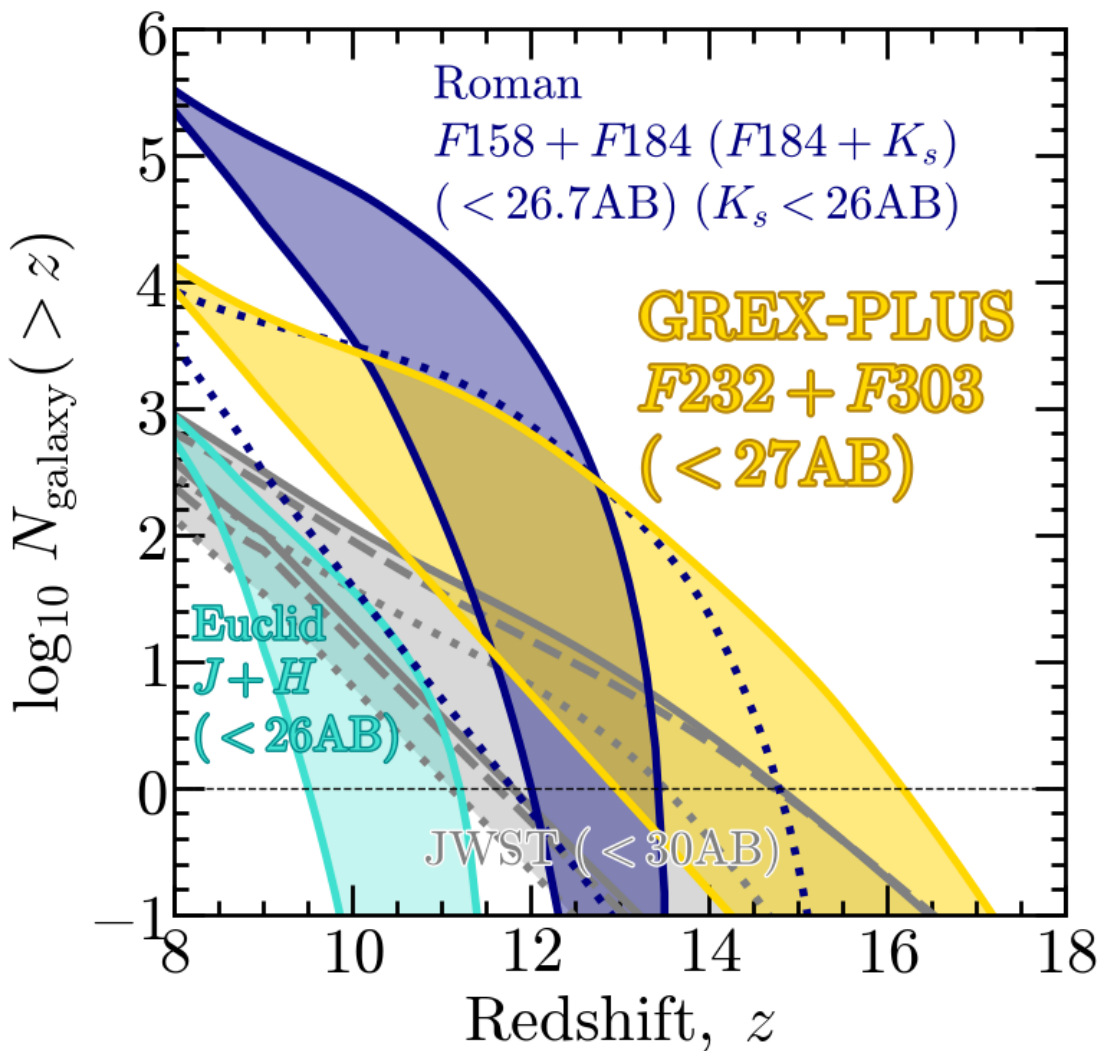
- 世界の広視野将来計画に無い**ユニークネス**



広視野カメラの科学

- 最遠方銀河探査 → サーベイを完遂すれば確実に達成可能

(*)

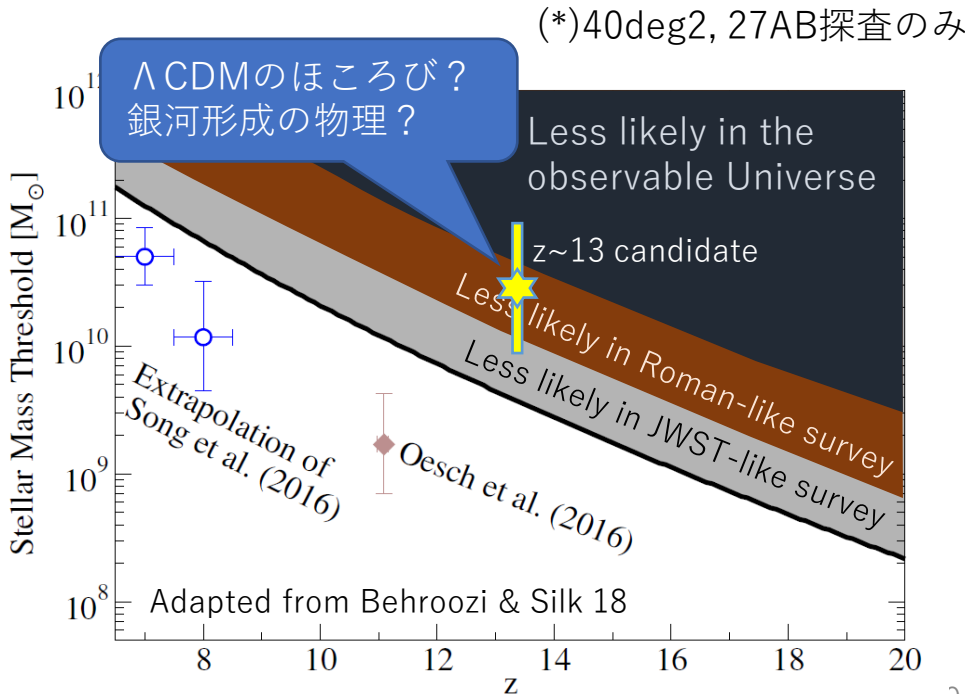


z	JWST	Euclid	Roman	GREX-PLUS
8-10	100--1k	~1k	~300k	~10k
10-12	30--100	0--500	10k--50k	300--5k
12-15	1--50	0	1--5k	10--1k
>15	0--1	0	0	0--10

z	宇宙年齢 Myr	$z=20$ からの時間 Δt
9	535	360
11	407	232
13	323	148
15	264	89
20	175	-

(737-cosmology)

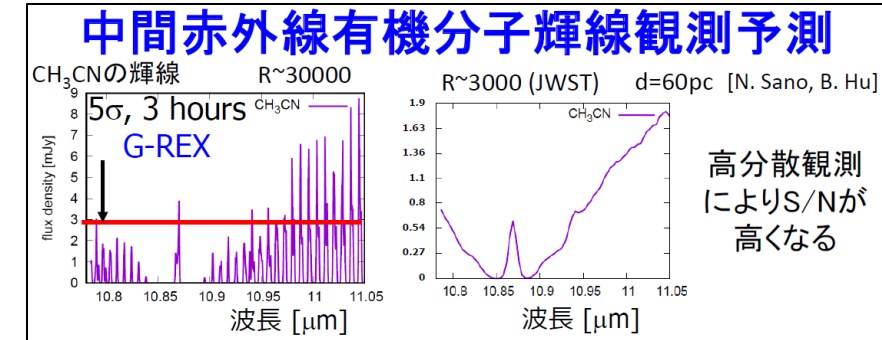
GREX-PLUS



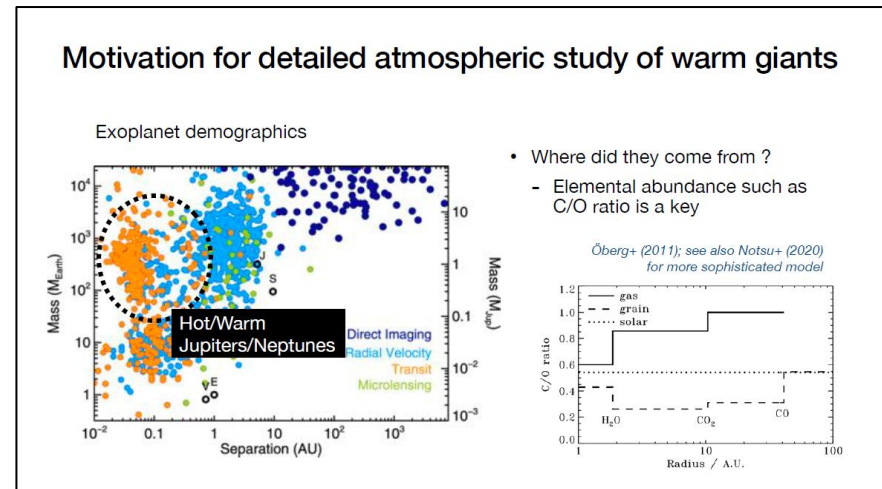
高分散分光の科学

野村英子 (2021/3/24)

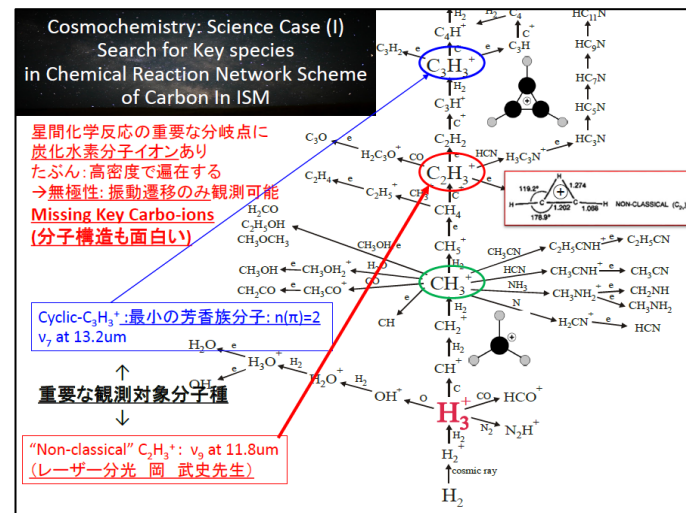
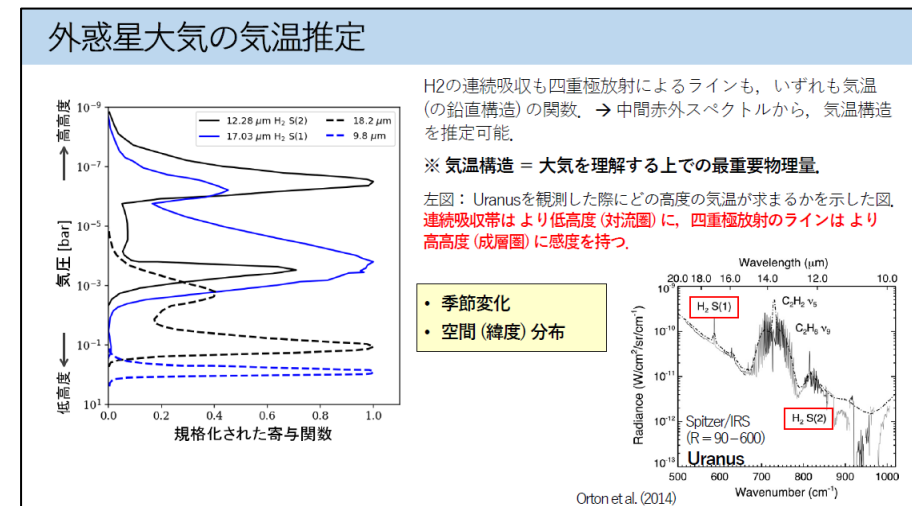
- スペースR=30,000は真にユニーク JWSTはR~3,000
- 波長10-20ミクロン帯 = 分子分光の「指紋領域」
 - 原始惑星系円盤H₂Oスノーライン、ケプラー運動分解
 - 原始惑星系円盤内縁における有機分子生成過程の解明
 - ホットジュピターの起源：どこで形成されたのか？ migration / in-situ
 - トランジット大気の透過分光：H₂O, NH₃, HCN, C₂H₂などからのC/O比がカギ
 - 星間化学反応の分岐点: C₂H₃⁺ 11.8 μm vs C₃H₃ 13.2 μm
 - 外惑星の気温構造(大気を理解するための最重要物理量)
 - H₂ S(1) 17.03 μm, H₂ S(2) 12.28 μm, H₂ 連続吸収帯 9.8, 18.2 μm



藤井友香 (2021/3/25)



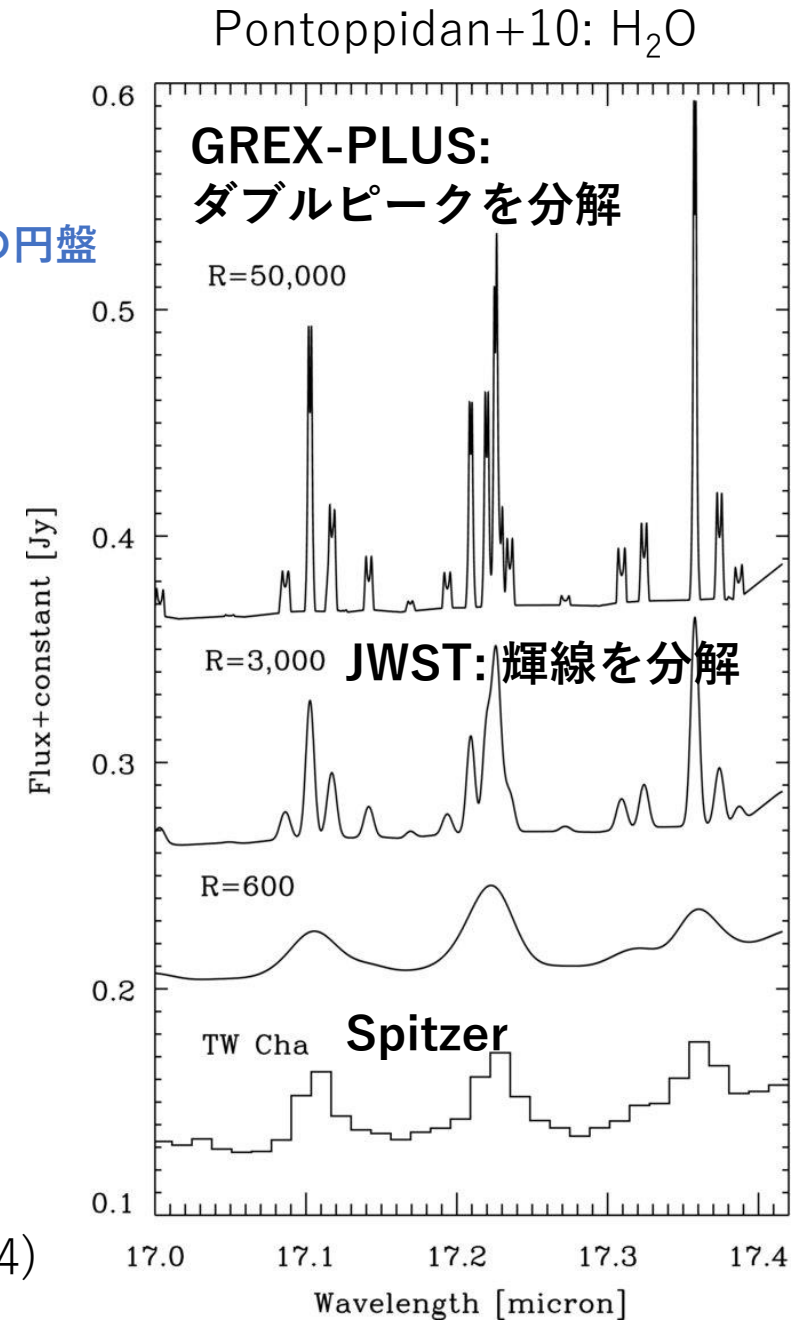
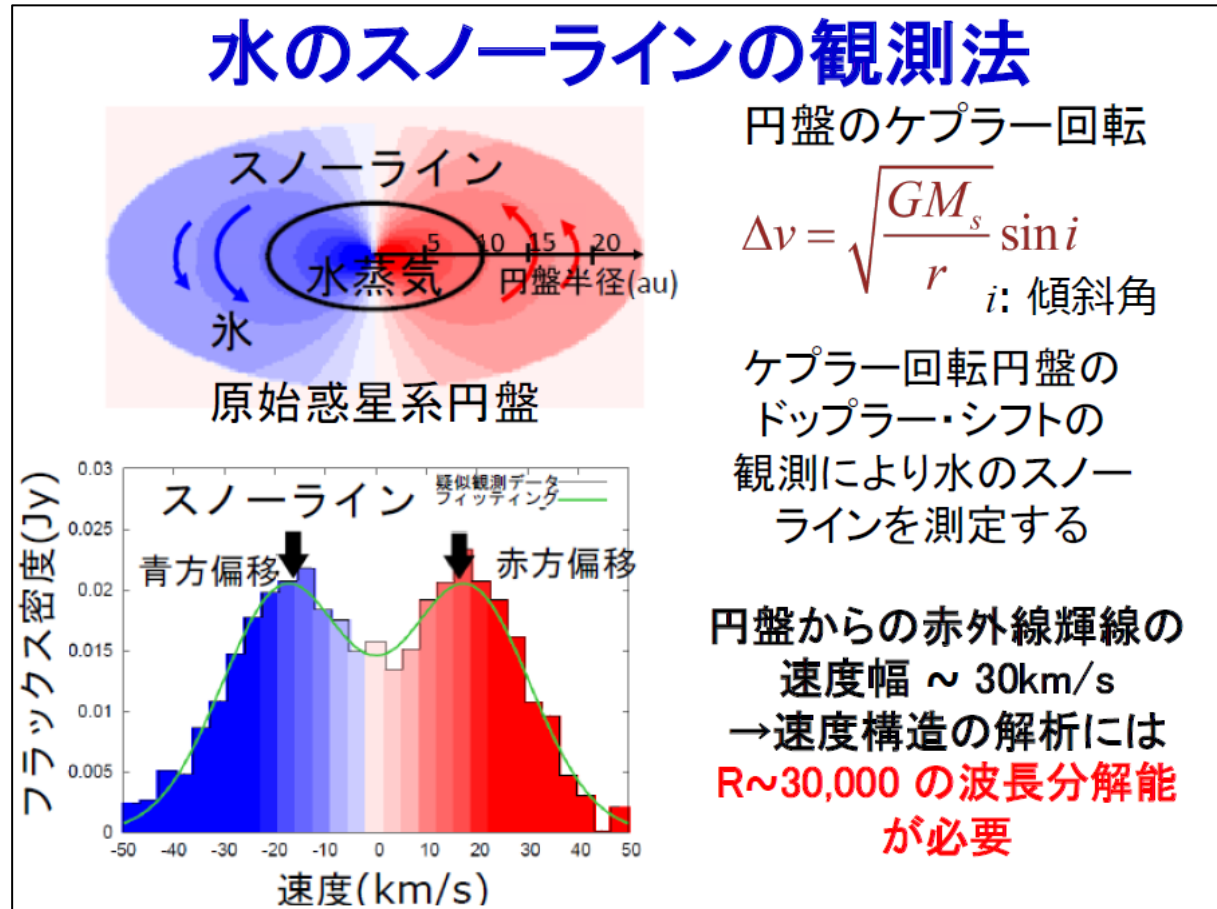
平原靖大 (2021/3/24)



GREX-PLUS

高分散分光の科学

- 原始惑星系円盤H₂Oスノーラインの位置特定
 - 岩石惑星/ガス惑星の棲み分け >100 HAe/BeやTタウリ型星の円盤
 - 岩石惑星への水と有機物の供給 (海と生命の起源)



野村英子
(2021/3/24)

実施体制

2022年2月20日現在

中核メンバー（14名）

井上昭雄(早稲田大)：代表、科学検討
金田英宏(名古屋大)：技術検討、分光器
山田亨(宇宙研)：光学系、広視野カメラ
本原顕太郎(国立天文台)：広視野カメラ
大藪進喜(徳島大)：光学系、分光器
和田武彦(宇宙研)：検出器、電気系
石原大助(宇宙研)：技術検討、分光器
鈴木仁研(宇宙研)：熱設計
山村一誠(宇宙研)：運用計画
播金優一(東京大)：サーベイ計画

一般メンバー（54名）

児玉忠恭(東北大)
大内正己(国立天文台)

銀河科学

守屋堯(国立天文台)
超新星・時間軸・銀河面科学

野村英子(国立天文台)

惑星科学

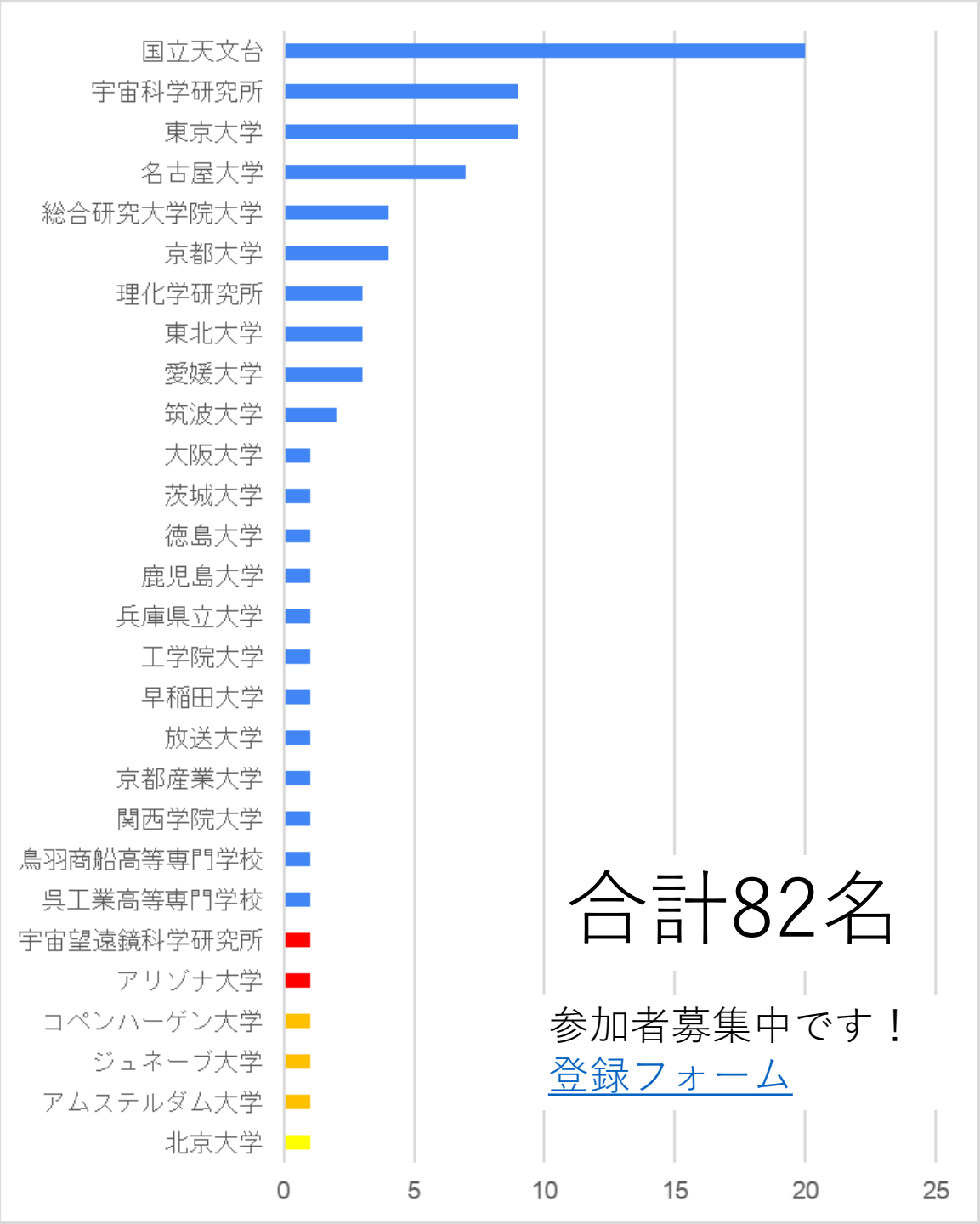
科学検討メンバー（14名）

鳥羽儀樹(京都大)
松岡良樹(愛媛大)
馬場俊介(国立天文台)
松浦周二(関学大)
但木謙一(国立天文台)

鈴木尚孝(東京大)
高田昌広(東京大)

野津翔太(理研)
藤井友香(国立天文台)
松尾太郎(名古屋大)
川島由衣(理研)
佐川英夫(京産大)
平原靖大(名古屋大)
中川貴雄(宇宙研)

井上	昭雄	早稲田大学		長尾	透	愛媛大学	
金田	英宏	名古屋大学		中島	王彦	国立天文台	
山田	亨	宇宙科学研究所		菅原	悠馬	国立天文台	早稲田大学
児玉	忠恭	東北大学		橋本	拓也	筑波大学	
本原	顕太郎	国立天文台		嶋作	一大	東京大学	
大藪	進喜	徳島大学		上野	宗孝	宇宙科学研究所	神戸大学
和田	武彦	宇宙科学研究所		梅畑	豪紀	理化学研究所	
山村	一誠	宇宙科学研究所		嶋川	里澄	国立天文台	
石原	大助	宇宙科学研究所		CHEN	XIAOYANG	国立天文台	
鈴木	仁研	宇宙科学研究所		久保	真理子	愛媛大学	
野村	英子	国立天文台		尾上	匡房	北京大学	
守屋	堯	国立天文台		日下部	晴香	ジュネーブ大学	
大内	正己	国立天文台	東京大学	市川	幸平	東北大学	
播金	優一	東京大学		松原	英雄	宇宙科学研究所	
						総合研究大学院大学	
馬場	俊介	鹿児島大学		Huang	Ting-Chi	宇宙科学研究所	
平原	靖大	名古屋大学		小山	佑世	国立天文台	
松岡	良樹	愛媛大学		矢島	秀伸	筑波大学	
松尾	太郎	名古屋大学		栗田	光樹夫	京都大学	
鈴木	尚孝	東京大学		大塚	雅昭	京都大学	
佐川	英夫	京都産業大学		國生	拓摩	名古屋大学	
高田	昌広	東京大学		白崎	裕治	国立天文台	
鳥羽	儀樹	京都大学				鳥羽商船高等専門学校	
野津	翔太	理化学研究所		山中	郷史	総合研究大学院大学	国立天文台
藤井	友香	国立天文台		池田	遼太	宇宙望遠鏡科学研究所	
川島	由依	理化学研究所				東京大学	
但木	謙一	国立天文台		森下	貴弘	国立天文台	
中川	貴雄	宇宙科学研究所		百瀬	莉恵子	大阪大学	
松浦	周二	関西学院大学		田中	壱	総合研究大学院大学	
				長峯	健太郎	宇宙科学研究所	
江上	英一	アリゾナ大学				国立天文台	
柏川	伸成	東京大学				総合研究大学院大学	
河野	孝太郎	東京大学		榎木谷	海	筑波大学	
小宮山	裕	国立天文台		Lau	Ryan	筑波大学	
田村	直之	東京大学		中西	康一郎	国立天文台	
田村	陽一	名古屋大学		百瀬	宗武	茨城大学	
吉田	直紀	東京大学		笠羽	康正	東北大学	
谷口	義明	放送大学				アムステルダム大学	
札本	佳伸	国立天文台	早稲田大学	田崎	亮	名古屋大学	
泉	拓磨	国立天文台		柏野	大地	工学院大学	
竹内	努	名古屋大学		武藤	恭之	コペンハーゲン大学	
馬渡	健	国立天文台				吳工業高等専門学校	
山下	拓時	国立天文台		藤本	征史	京都大学	
寺居	剛	国立天文台					
斎藤	智樹	兵庫県立大学		小倉	和幸		
		総合研究大学院大学		岩室	史英		
伊藤	慧	国立天文台					



見込みのスケジュール

WG提案書より
(2021年10月)

年	月	マイルストーン	組織形態	フェーズ	実施内容
2020	1	RG 発足	RG	Pre-Phase A1a/b	ミッション探求(24 か月)
2022	1	WG 発足	中型 WG		概念検討(21 か月)
2023	10	PP 候補選定審査			PP 候補審査対応(3 か月)
2024	1		PP 準備チーム (ISAS)	Pre-Phase A2	ミッション定義(21 か月)
2025	10	MDR/P 準備審査			MDR 対応(3 か月)
2026	1		プリプロジェクト (JAXA)	Phase A1	概念設計(12 か月)
2027	1	SRR			SRR 対応(3 か月)
	4			Phase A2	プロジェクト定義(18 か月)
2028	10	SDR/P 移行審査			SDR 対応(3 か月)
2029	1		プロジェクト (JAXA)	Phase B	基本設計(18 か月)
2030	7	PDR			PDR 対応(3 か月)
	10			Phase C	詳細設計(18 か月)
2032	4	CDR			CDR 対応(3 か月)
	7			Phase D	FM 製造・試験(24 か月)
2034	7				射場作業(3 か月)
	10	打上		Phase E	当初運用期間(5 年)
2039	10				延長運用期間(5 年)およびアーカイブフェーズ(2 年)
2046	10	P 終了			

2022/04頃 GDI設立
2022/09頃「時限WG」発足
2024/04? コンセプト提案 → GRI

RG: Research Group
WG: Working Group
PP: Pre-Project
P: Project
MDR: Mission Definition Review
SRR: System Requirements Review
SDR: System Definition Review
PDR: Preliminary Design Review
CDR: Critical Design Review
FM: Flight Model

主な技術検討項目

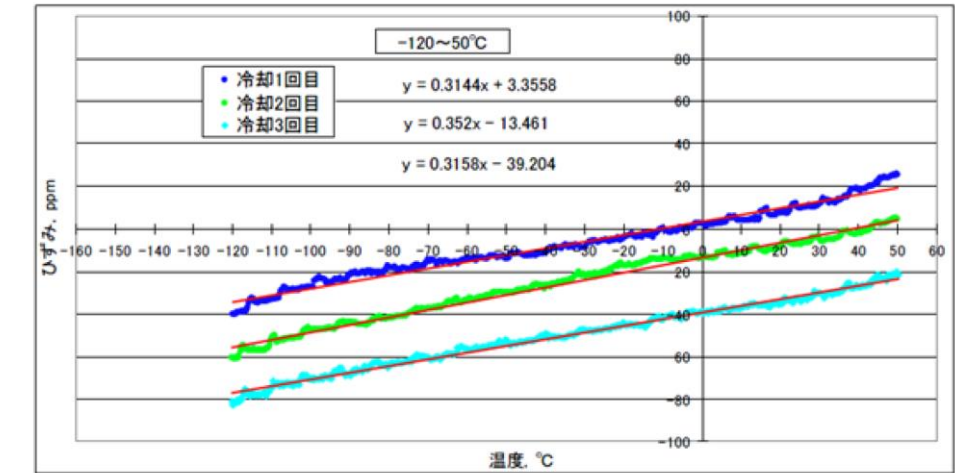
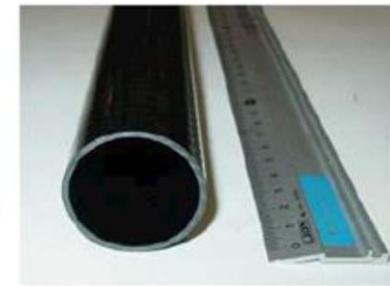
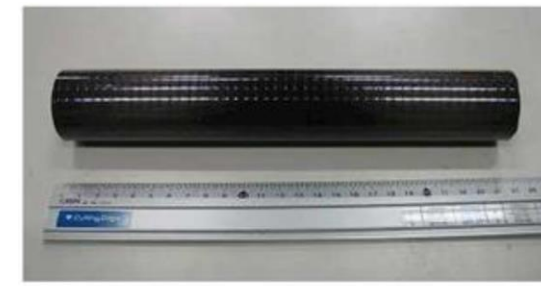
WG提案書より(2021年10月)

	技術検討項目	技術成熟度 (TRL)
望遠鏡	望遠鏡光学系	—
	主鏡材	3
	望遠鏡構造	3
	主鏡保持機構の成立性	2—3
	焦点調節機構	3
広視野カメラ	近赤外線検出器	8
	近赤外線検出器読み出し系	8
	中間赤外線検出器	5
	中間赤外線検出器読み出し系	4
	検出器マウント	5
	フィルター	4
	フィルターマウント	3

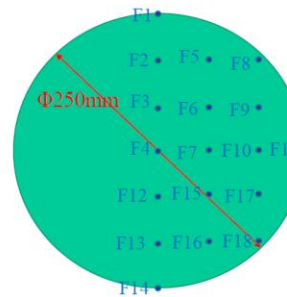
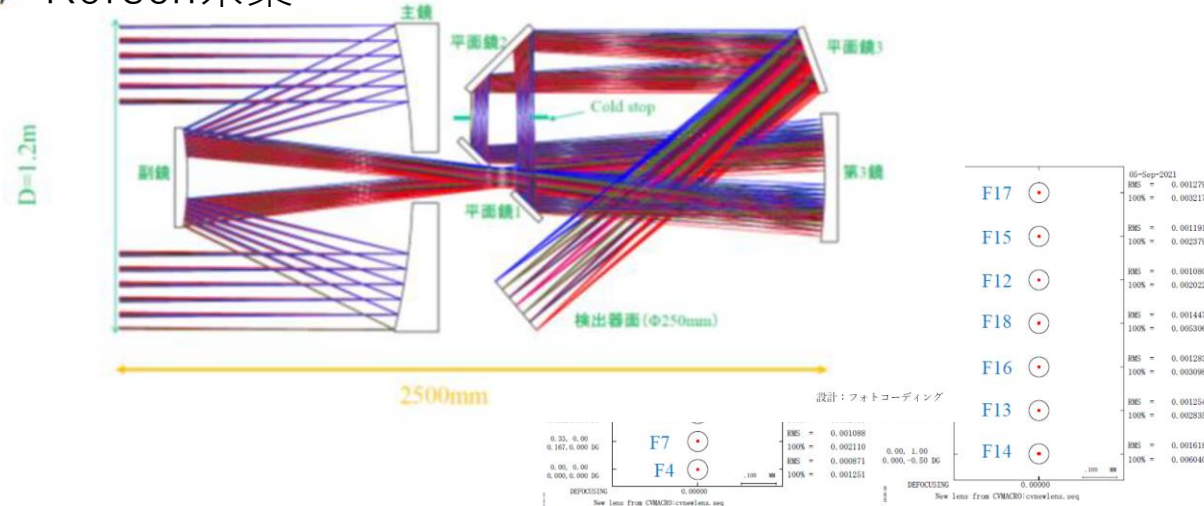
高分散分光器	イマージョングレーティング	3
	低雑音・低消費電力読み出し回路	3
	自由曲面金属鏡	3
	検出器熱アニーリングに適したモジュール	3
冷却系	GREX-PLUSに対応した熱構造の検討	—
	機械式冷凍機の長寿命化	5
	機械式冷凍機の振動による擾乱影響の検討	—
広視野サーベイプラン	広視野探査タイリングの成立性	—
信号処理系・通信系	十分なデータ伝送量の確保	—
	地上系体制の未確定によるコストの不定性	—
姿勢制御系	焦点面検出器を用いた衛星姿勢制御	2
	突発天体対応要求の策定	—

望遠鏡

- 改良Korsch3枚鏡 / RC2枚鏡 + 補正レンズ
 - 直径1度角全面にわたり極めて良好な結像性能
- 超低熱膨張CFRP素材による静定トラス構造
 - WISH検討へリテージ
- 主鏡保持機構BBM
 - WISH検討へリテージ

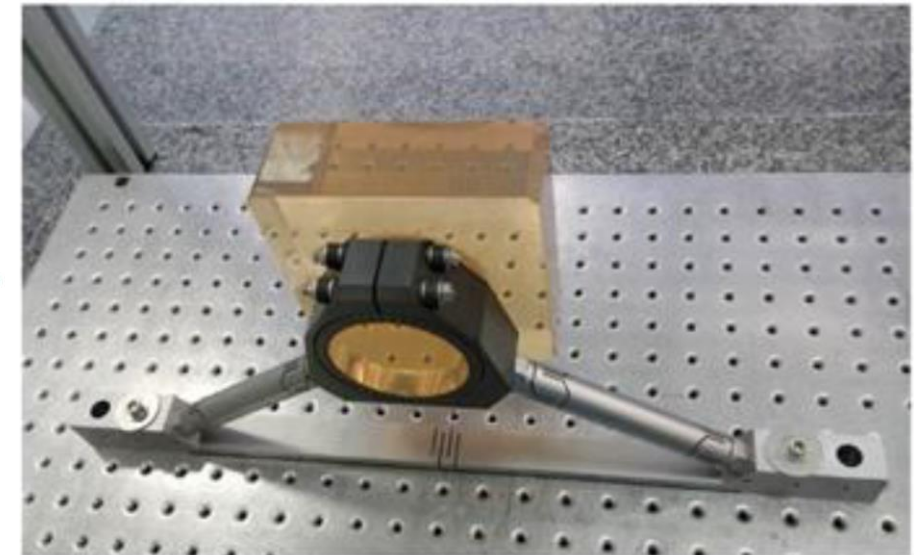


(a) Korsch系案



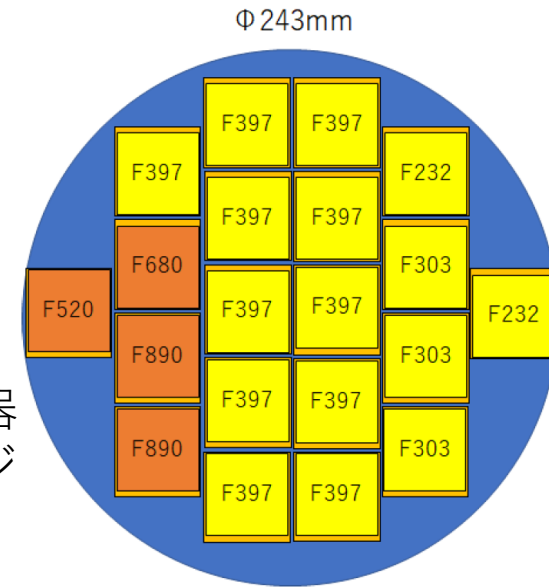
○は、波長2μmでのエアリディスク

設計：フォトコーディング

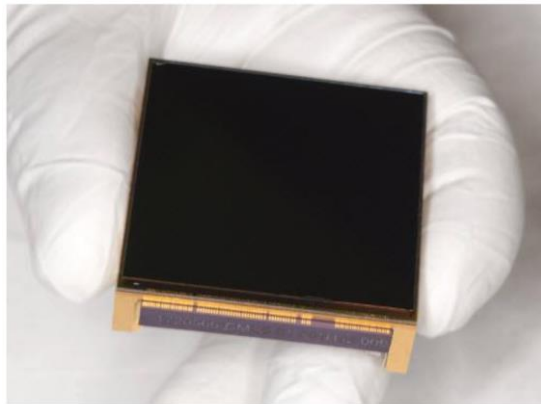


広視野カメラ

- JWSTで実績のあるHgCdTeアレイ検出器 + 読み出し回路
- フィルター貼り付け方式で20枚を焦点面に配置
 - 近赤外線3バンドに16枚
 - 感度に反比例させた割り当て検出器枚数
 - 中間赤外線3バンドに4枚

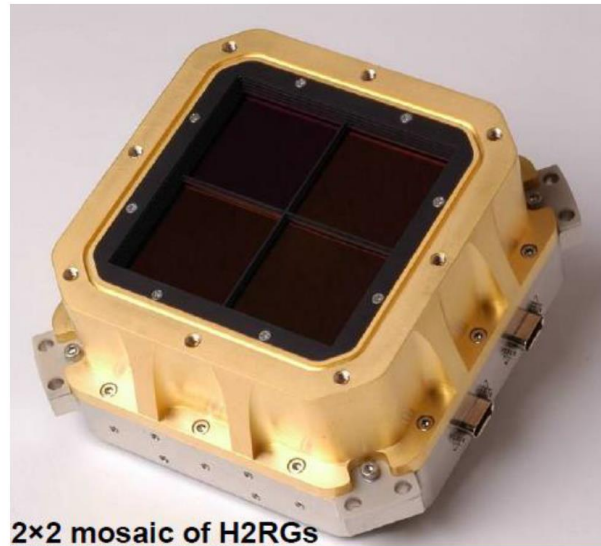


HgCdTe検出器 (HAWAII-2RG)
2000x2000 pix, 約4cm四方

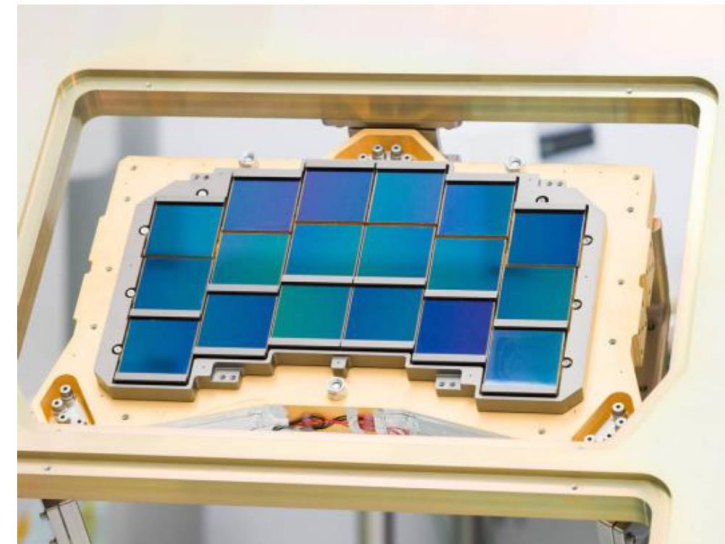


Teledyne社HPより

JWST用に開発された
H2RG 2x2モザイク (Teledyne社)

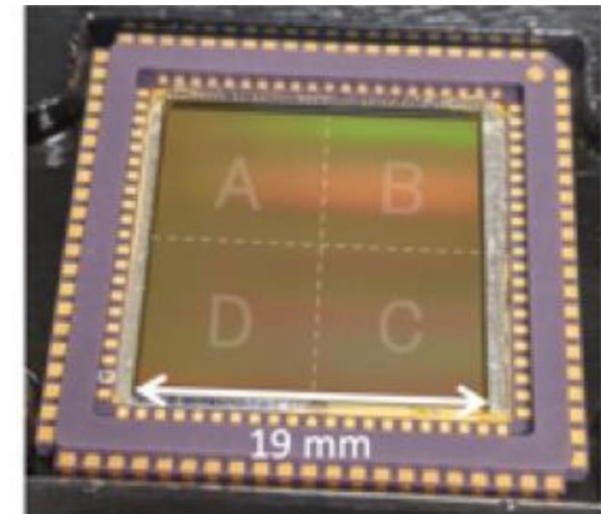
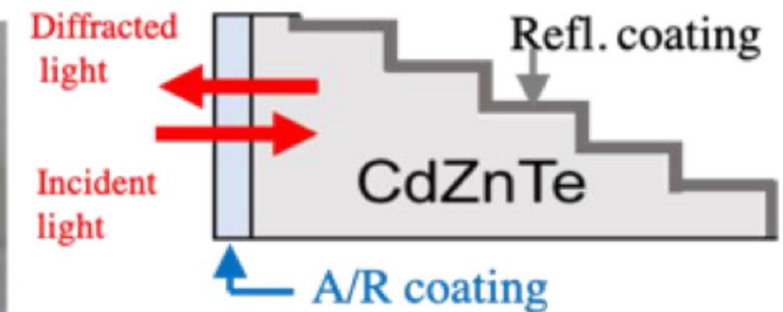
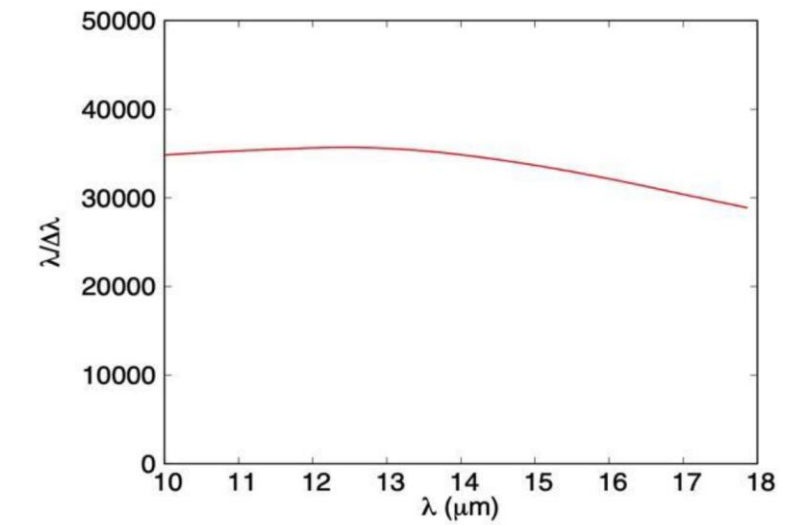
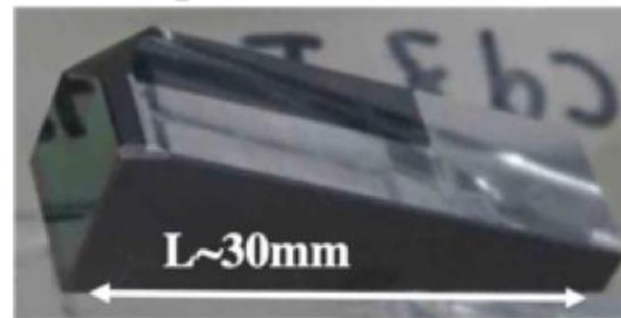
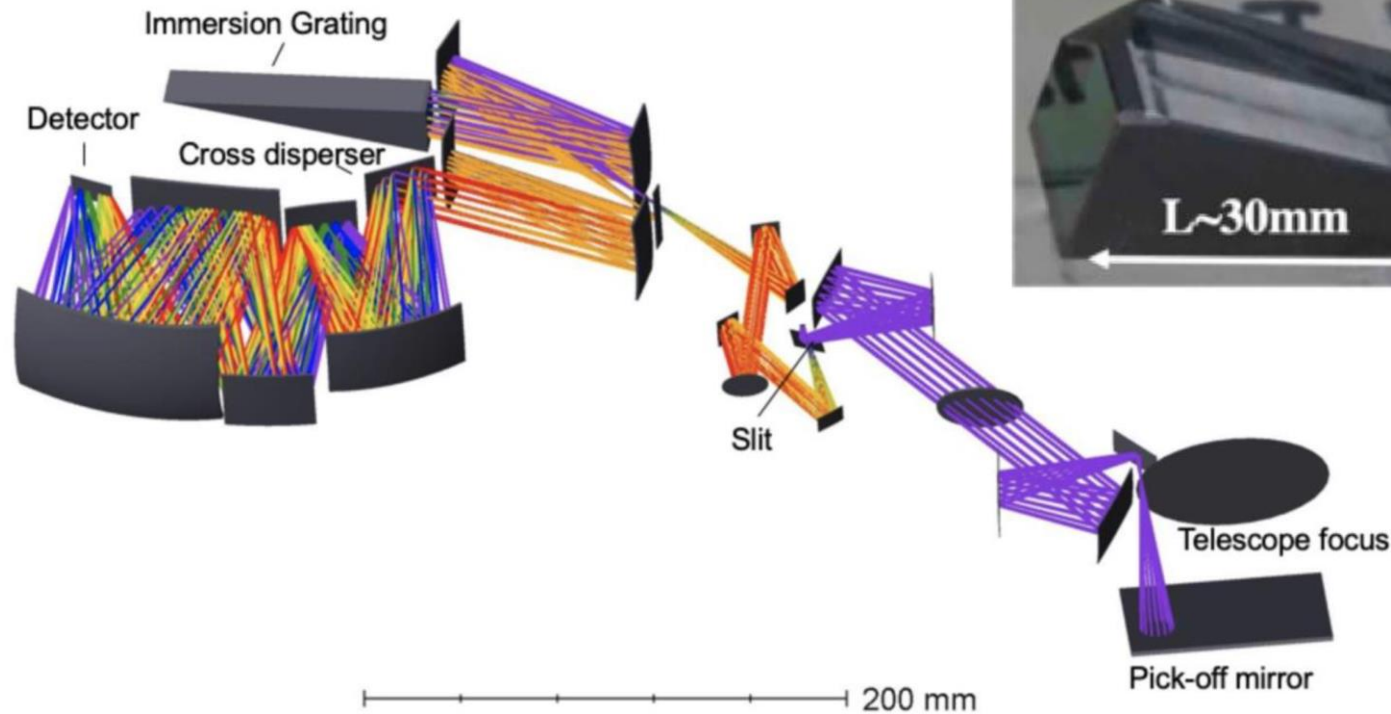


Roman用H4RG 18枚の
モザイクパッケージ(NASA)



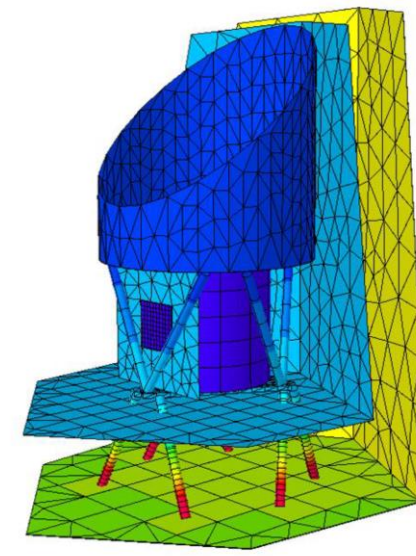
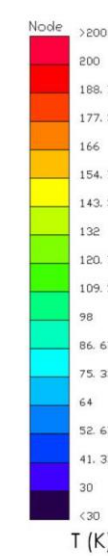
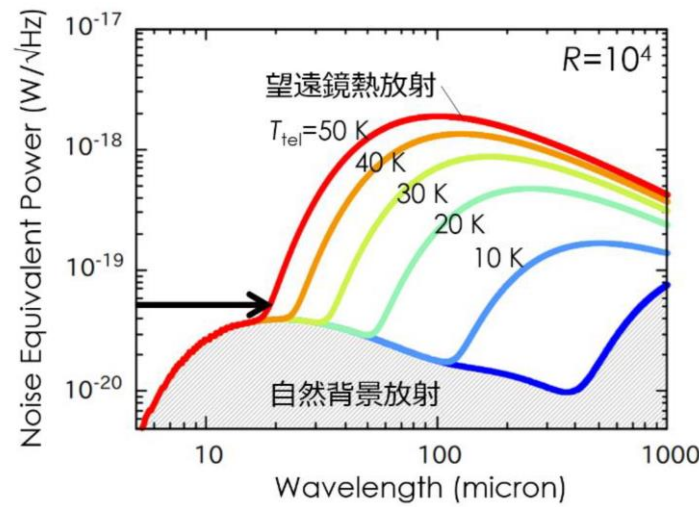
高分散分光器

- SPICA/SMIの高分散チャンネルをベースに利用
 - 波長分解能30,000を実現できる光学設計解
 - CdZnTeイメージンググレーティング試作
 - 検出器読み出し回路試作

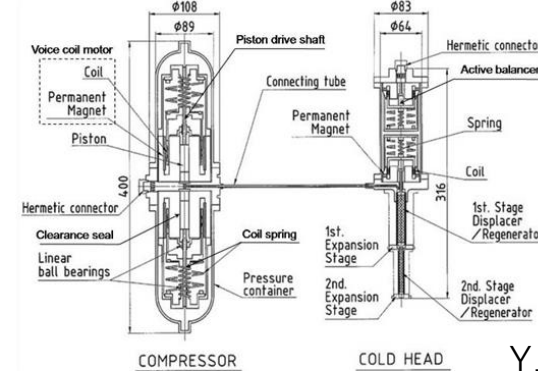


冷却系

- 望遠鏡<50K(放射冷却)
 - SPICAの大幅簡略版で成立
- 検出器(機械式冷凍機)
 - SPICA検討へリテージ
 - 冗長化で1~2台故障まで対応→長寿命化へ



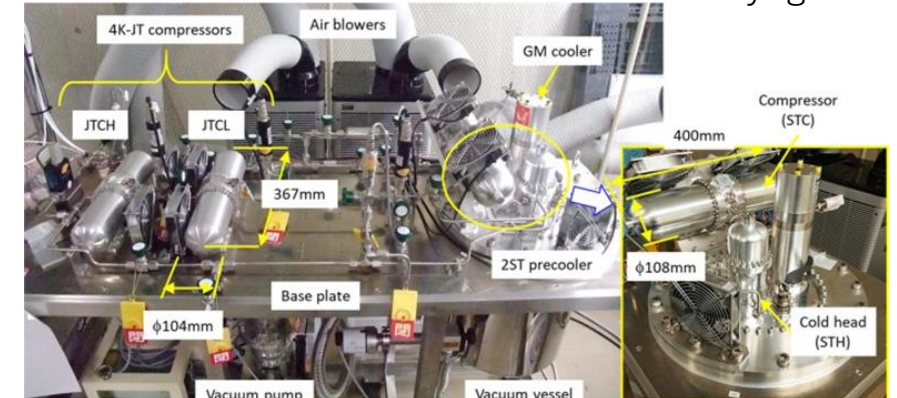
2段式スターリング冷凍機



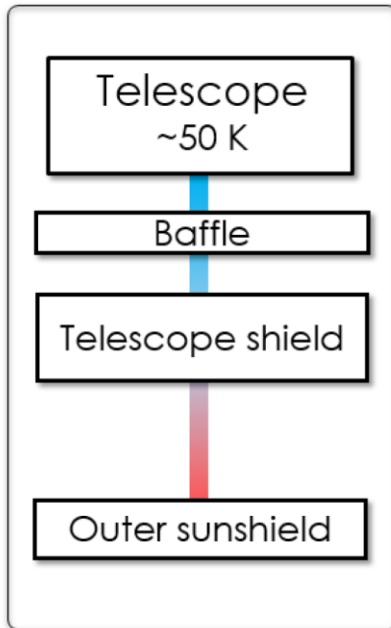
Y. Sato et al. Cryogenics 2012

4Kジュールトムソン冷凍機

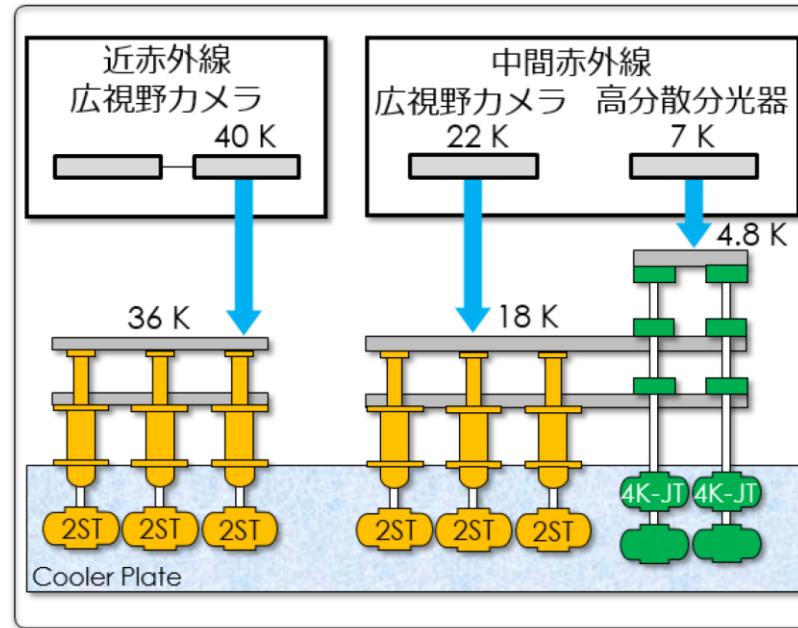
Y. Sato et al. Cryogenics 2014

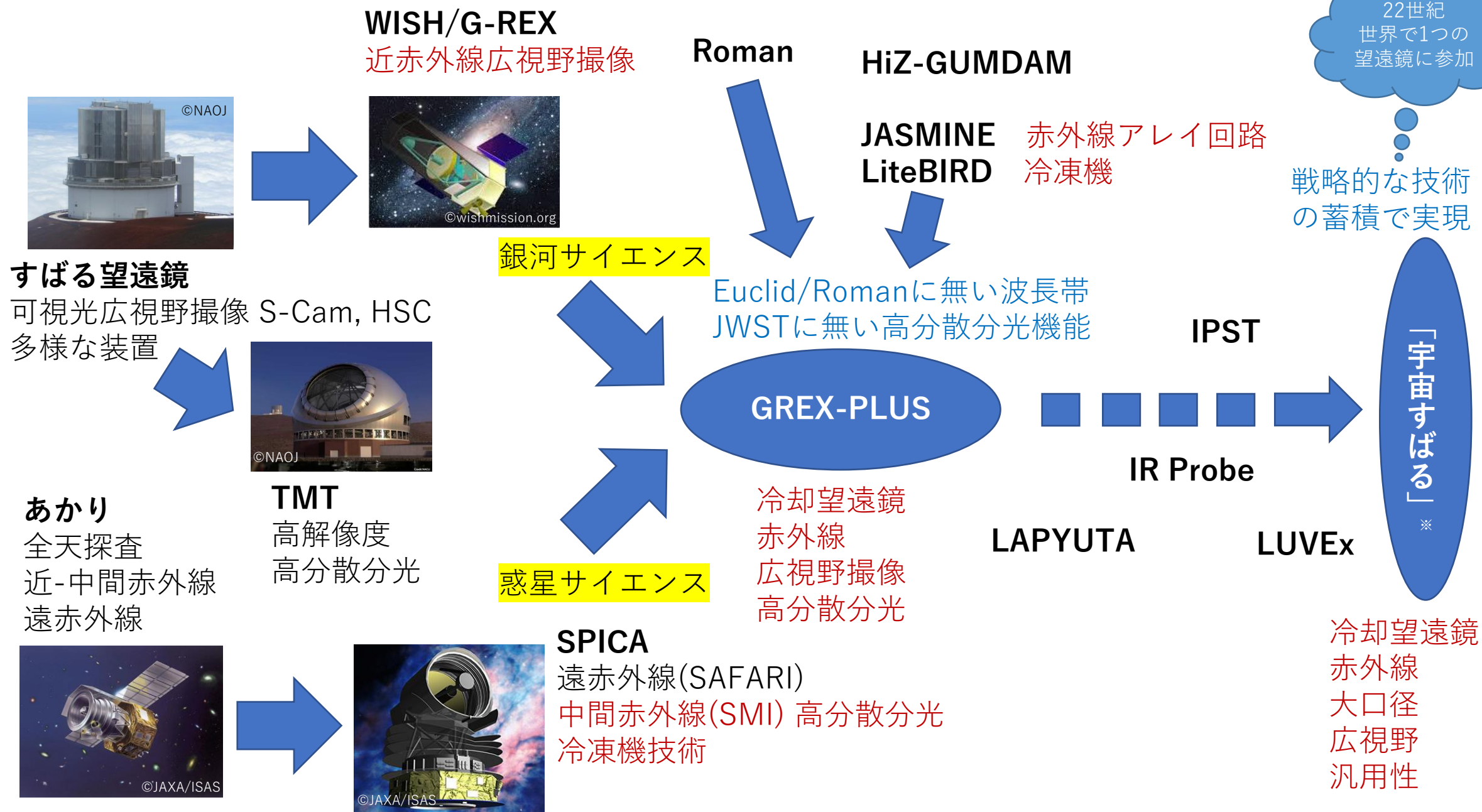


断熱放射冷却機構



機械式冷凍機システム







GREX-PLUS サイエンス検討会 FY2021

2022年3月24日・25日 オンライン+早稲田大学西早稲田キャンパス

・開催趣旨

GREX-PLUS (Galaxy Reionization EXplorer and PLanetary Universe Spectrometer) は、JAXAが戦略的に実施する中型計画として、波長2-10ミクロン帯の広視野カメラと波長10-20ミクロン帯の高分散分光器を搭載した、口径1.2 m、温度50 Kの冷却宇宙望遠鏡を2030年代に打ち上げ、地上からは到達できない高感度を達成し、銀河形成進化論および惑星系形成進化論を革新することを目指しています。昨年10月にはJAXA宇宙科学研究所の宇宙理学委員会にWorking Group設立を提案しています。

さてこのたび、3月24日(木)、25日(金)の9時~17時半の予定で今年度のサイエンス検討会を開催することになりました。GREX-PLUSの進捗状況、サイエンステーマの共有、新しいサイエンステーマの掘り起こし、2020年代後半から30年代にかけて予定されている将来計画や他分野との連携に向けた議論を目的として開催いたします。また、目指すべき装置仕様、達成すべき主要サイエンス、観測公募の有無を含めた運用方針などについて、広く議論させていただく時間も設ける予定です。

・参加登録

[こちら](#)

講演申込とオンサイト参加登録は2月28日まで。

・世話人

井上昭雄、大内正己、児玉忠恭、野村英子、守屋亮、他GREX-PLUS中核メンバー