

# GREX-PLUS

Galaxy Reionization EXplorer and  
PLanetary Universe Spectrometer

GREX-PLUS 検討会  
井上昭雄（早稲田大学）

光  
赤  
外  
線  
天  
文  
学



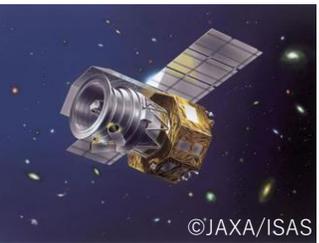
**すばる望遠鏡**

可視光広視野撮像 S-Cam, HSC  
多様な装置



**TMT**  
高解像度  
高分散分光

**あかり**  
全天探査  
近-中間赤外線  
遠赤外線



**WISH/G-REX**  
近赤外線広視野撮像



銀河サイエンス

**Roman**

**HiZ-GUMDAM**

**JASMINE** 赤外線アレイ回路  
**LiteBIRD** 冷凍機

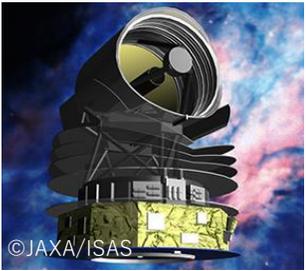
Euclid/Romanに無い波長帯  
JWSTに無い高分散分光機能

**GREX-PLUS**

冷却望遠鏡  
赤外線  
広視野撮像  
高分散分光

惑星サイエンス

**SPICA**  
遠赤外線(SAFARI)  
中間赤外線(SMI) 高分散分光  
冷凍機技術



**IPST**  
**LUVOIR**  
**HabEx**  
**Origins**

**LAPYUTA**

冷却望遠鏡  
赤外線  
大口径  
広視野  
汎用性

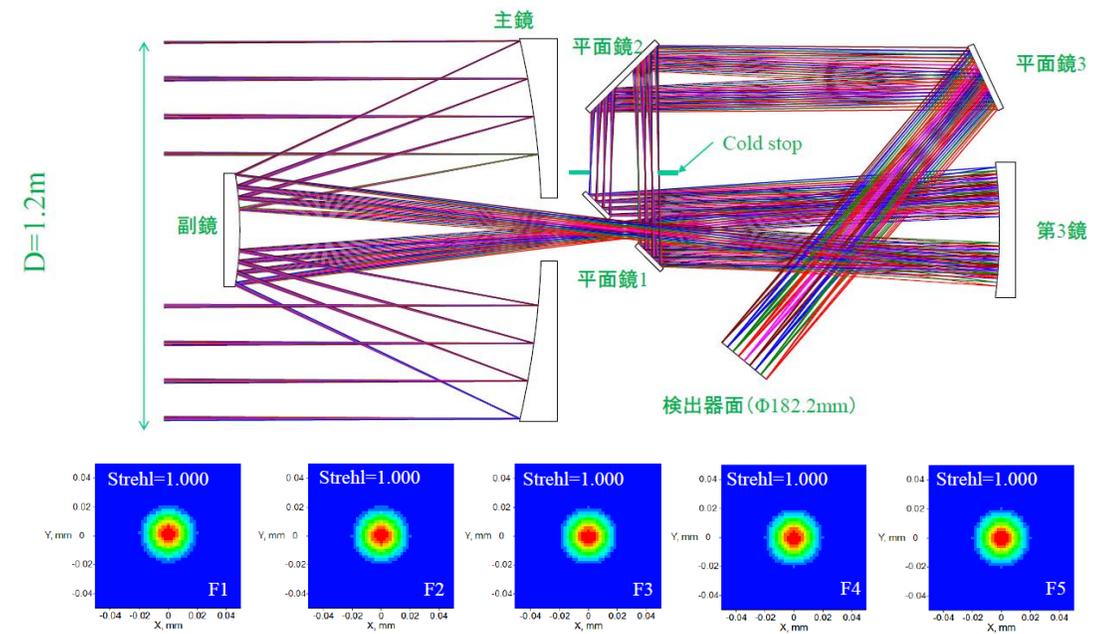
22世紀  
世界で1つの  
望遠鏡に参加  
戦略的な技術  
の蓄積で実現

「宇宙すばる」  
※

# GREX-PLUS in a nutshell

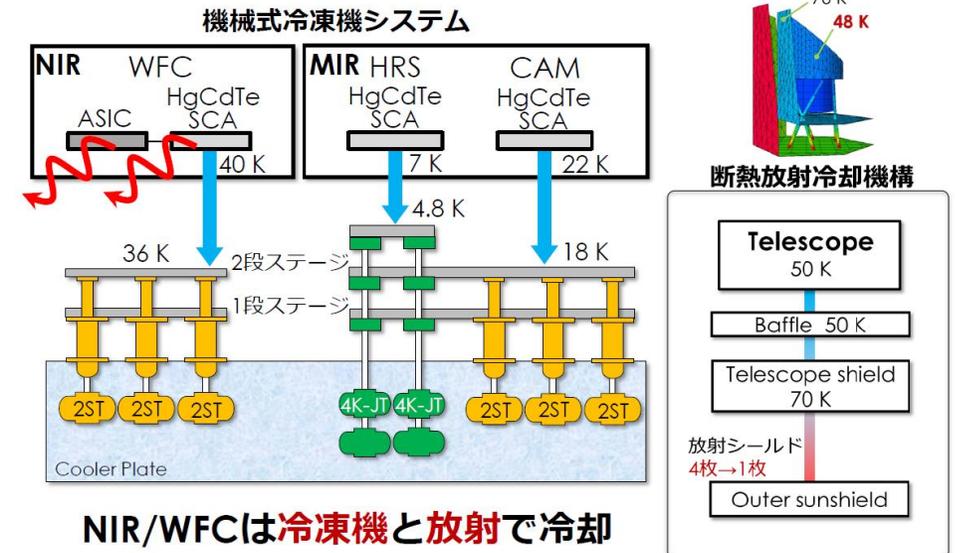
- 冷却宇宙望遠鏡(温度50K)
- 口径1.2m
- 広視野カメラ
  - 総視野：>0.4平方度(~6バンド分割)
  - 2-5ミクロン帯：~3バンド
  - 5-10ミクロン帯：~3バンド
- 高分散分光器
  - 10-20ミクロン帯
  - $R=30,000$  ( $\Delta v=10$  km/s)
- 運用期間：5年 (+5年以上目標)
- 経費：400億円未済
  - JAXA/ISAS 戦略的中型規模
- 2030年代中盤打ち上げ

2装置同時観測



## 冷却系構成(案1')

目的：SPICAの冷却系構成より半分程度まで抑えつつ、冷却が成立する解を探す。

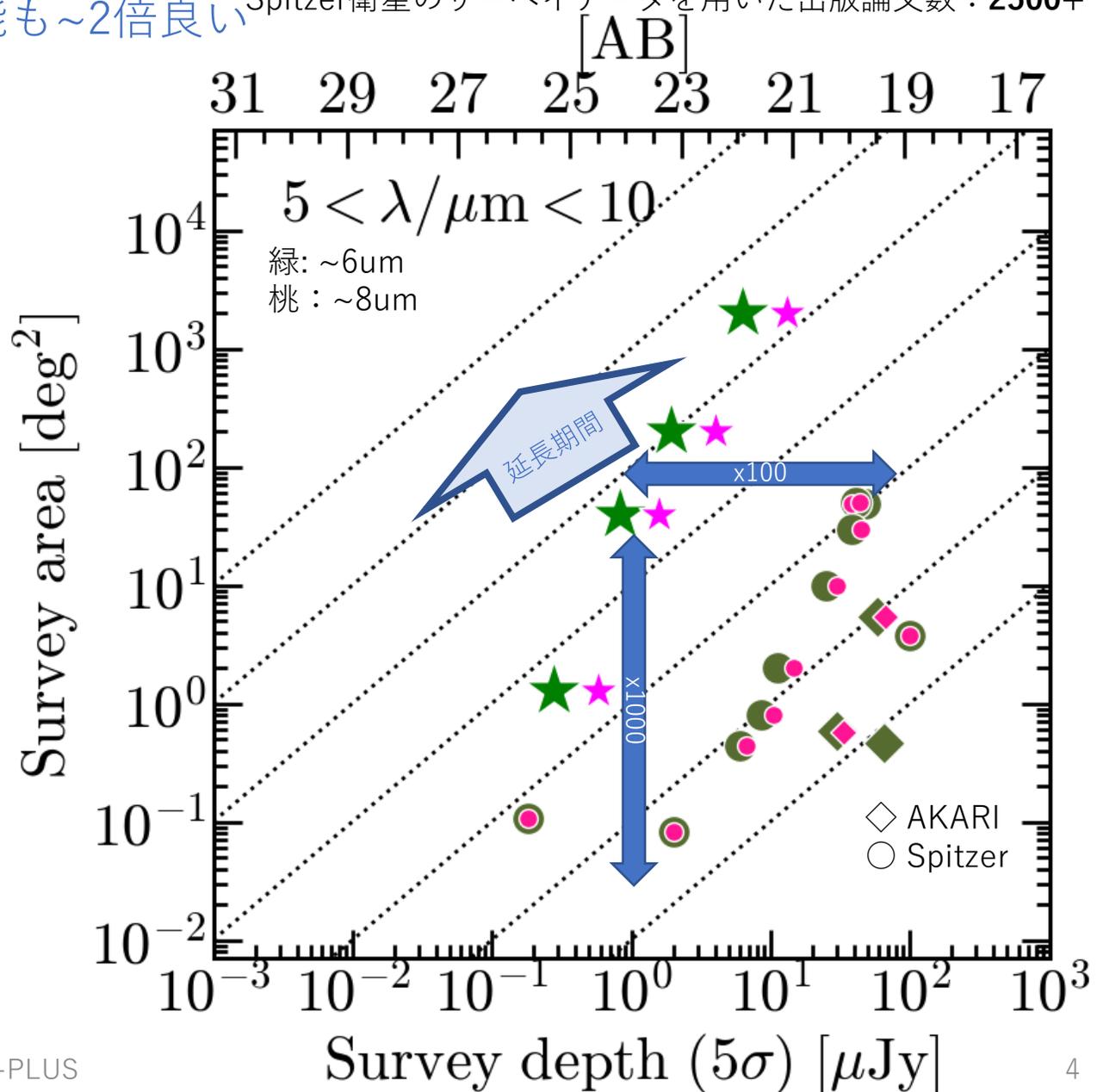
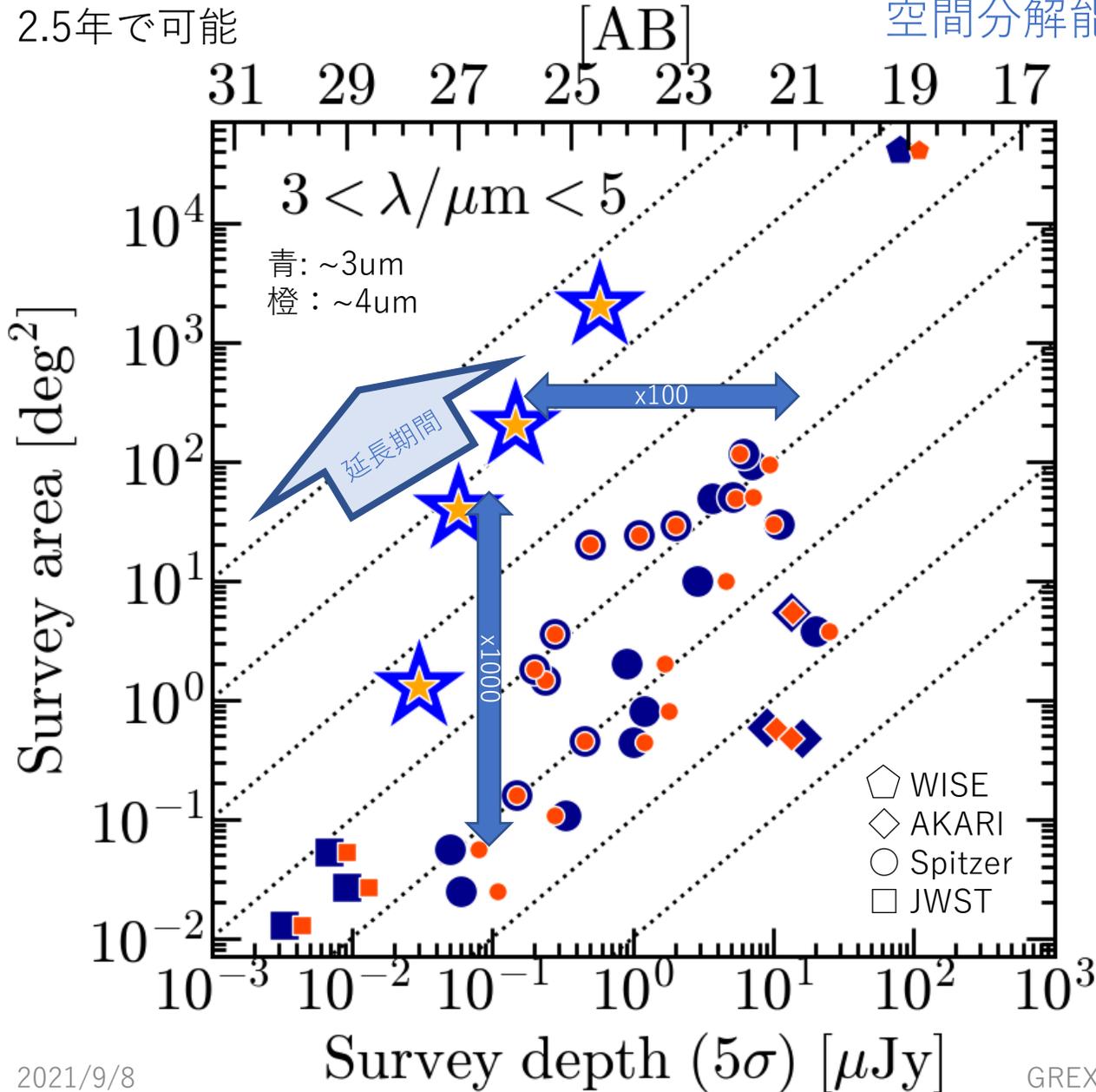


# GREX-PLUS Surveys: Spitzerより~100倍深い、~1000倍広い

2.5年で可能

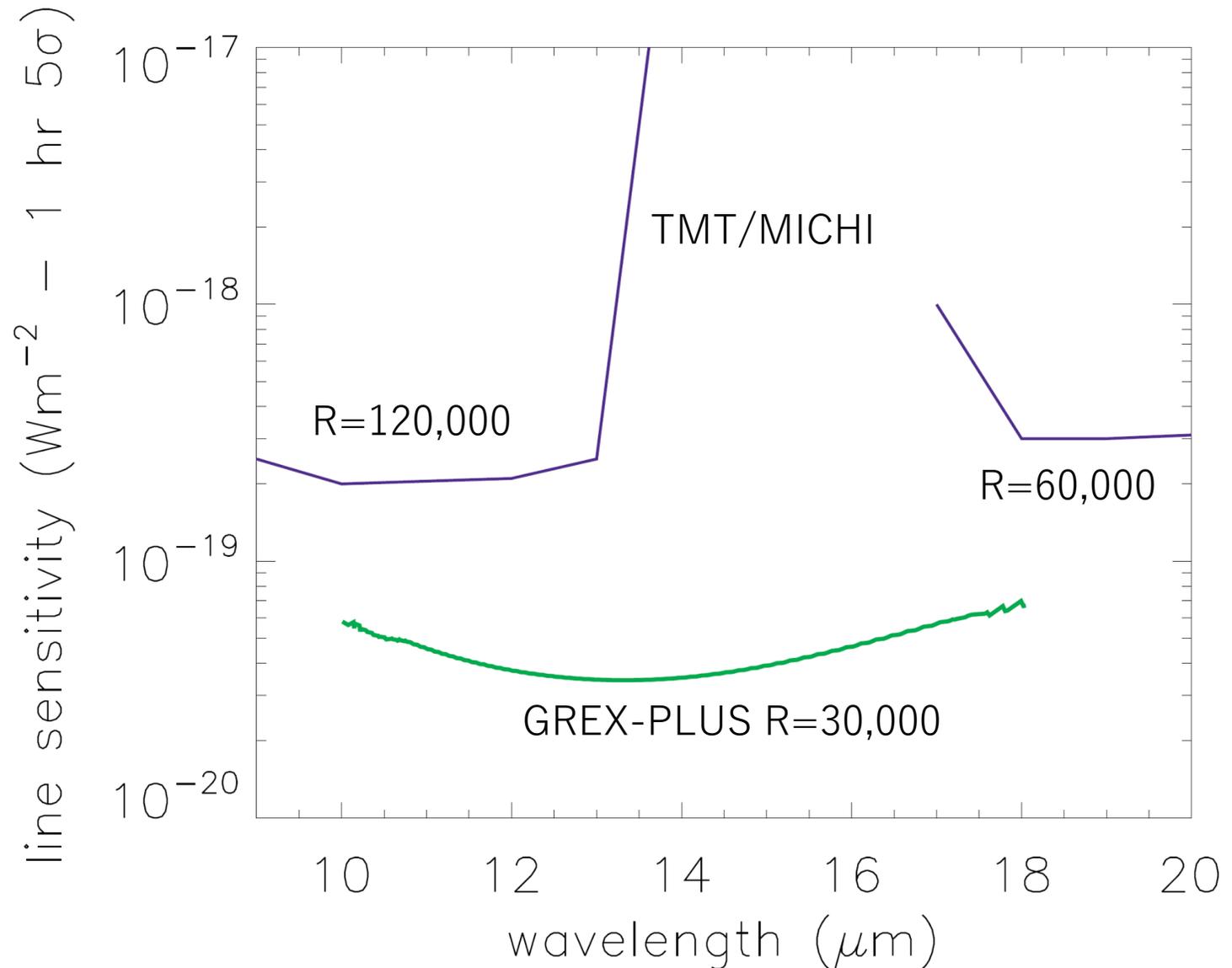
空間分解能も~2倍良い

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
- TMTより数倍以上高感度
  - 波長も連続的にカバー

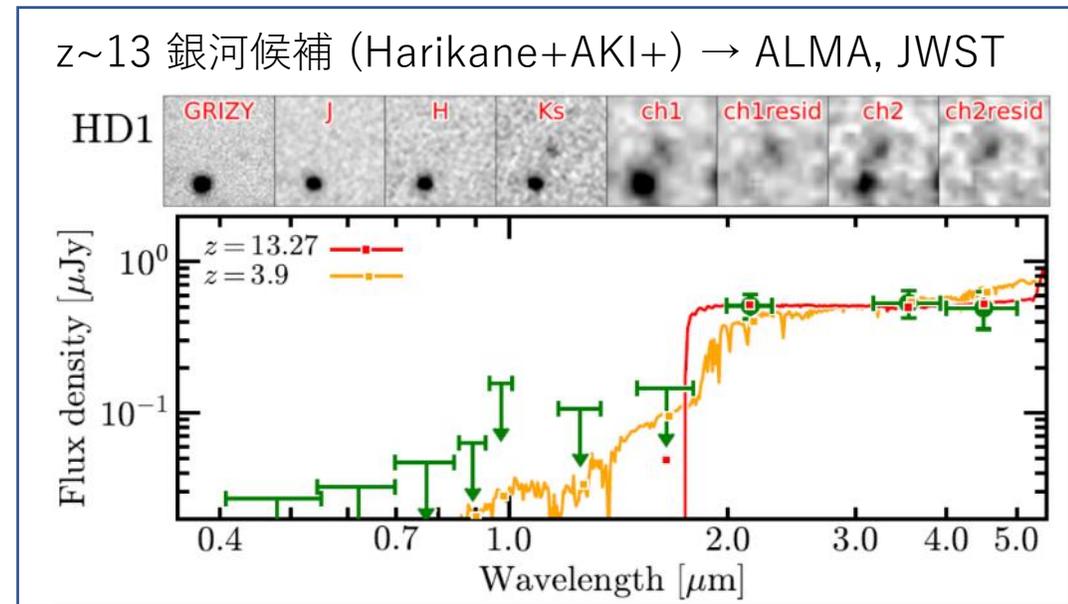


# 広視野カメラの科学

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 $\mu\text{m}$ 画像データ より大きな赤方偏移
- 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) ~10k (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 ~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

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

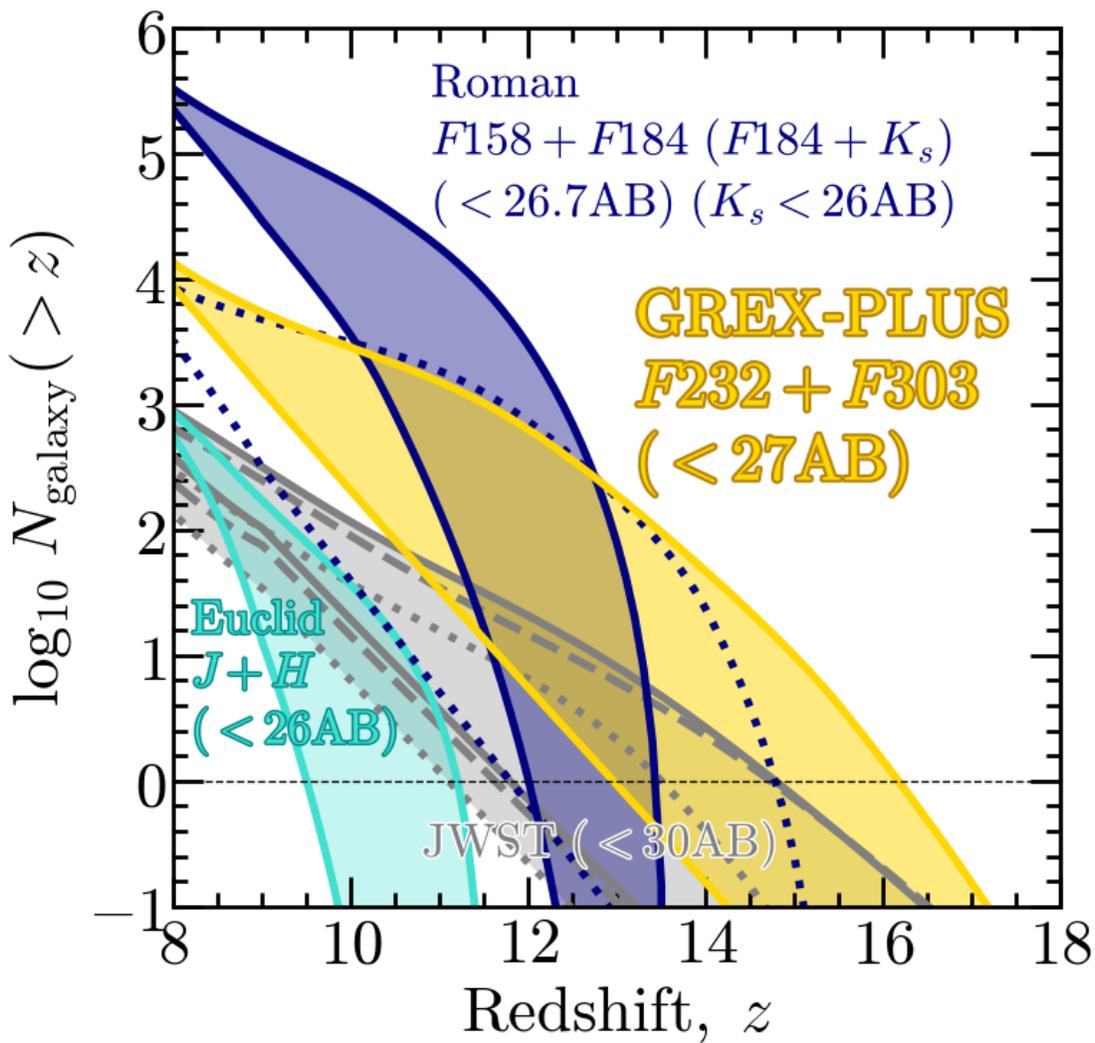


良いターゲットがあれば世界の競争に打ち勝ってALMA, JWST, ELTsなどの観測時間を獲得できる

# 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

(\*)

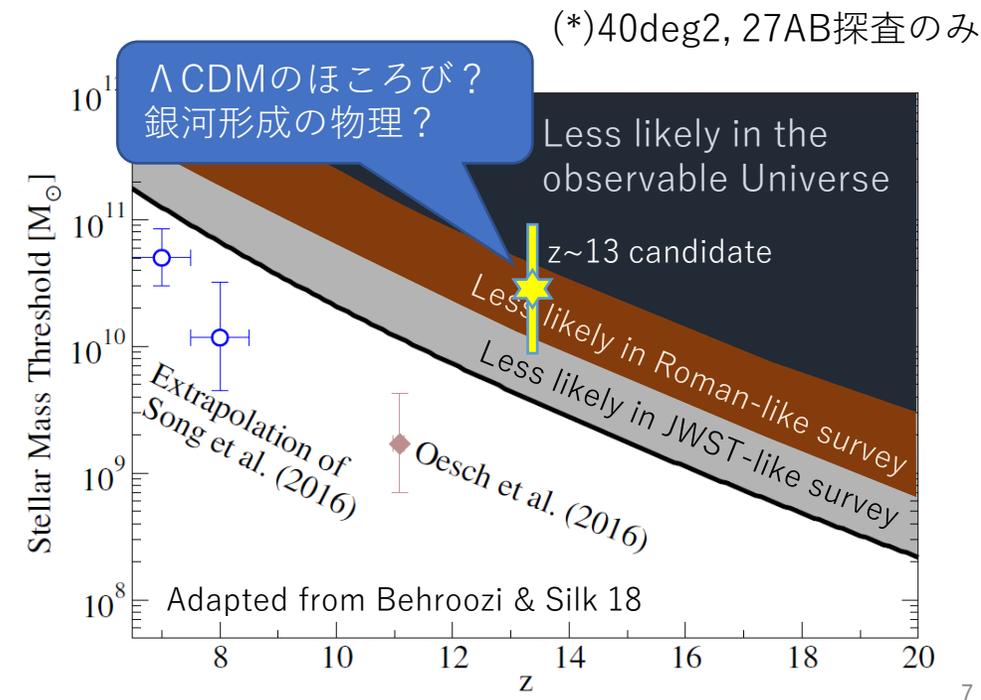


z	JWST	Euclid	Roman	GREX-PLUS
8-10	100--1k	~1k	~300k	~10k
10-12	30--100	0--500	10k--50k	300--5k
12-15	1--50	0	1--5k	<b>10--1k</b>
>15	0--1	0	0	<b>0--10</b>

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

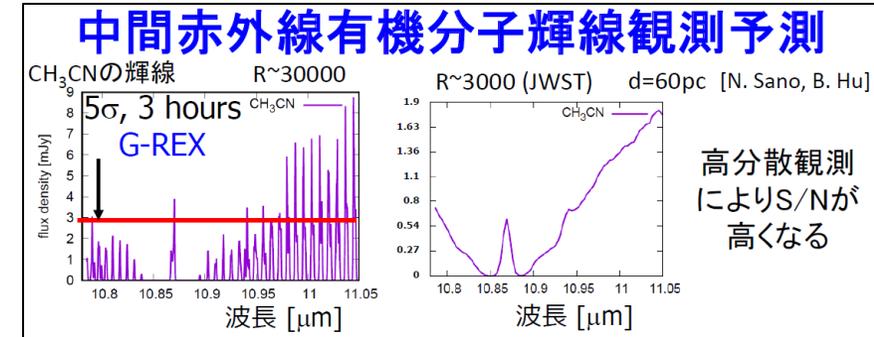


(\*)40deg2, 27AB探査のみ

# 高分散分光の科学

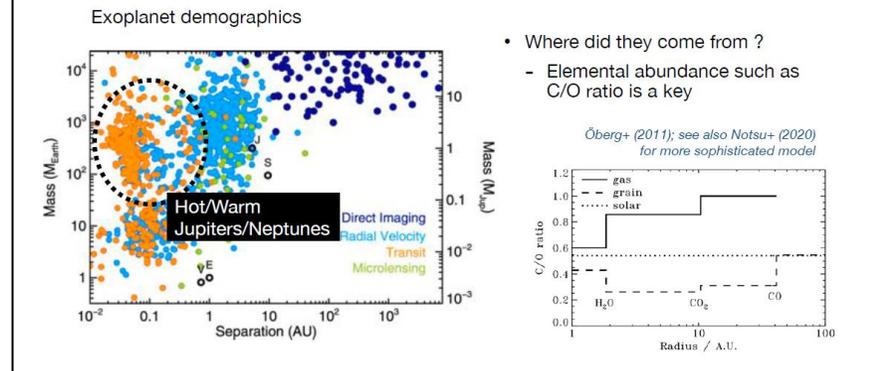
野村英子 (2021/3/24)

- **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H<sub>2</sub>O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：H<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>, HCN, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>などからのC/O比がカギ
  - 星間化学反応の分岐点: C<sub>2</sub>H<sub>3</sub><sup>+</sup> 11.8um vs C<sub>3</sub>H<sub>3</sub> 13.2 um
  - 外惑星の気温構造(大気を理解するための最重要物理量)
    - H<sub>2</sub> S(1) 17.03um, H<sub>2</sub> S(2) 12.28 um, H<sub>2</sub> 連続吸収帯 9.8, 18.2 um



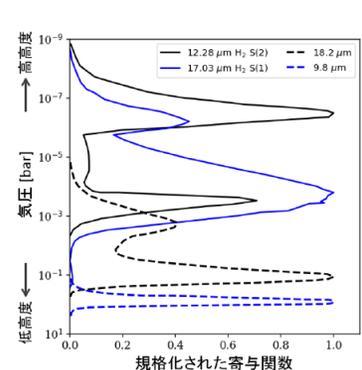
藤井友香 (2021/3/25)

## Motivation for detailed atmospheric study of warm giants



平原靖大 (2021/3/24)

## 外惑星大気の気温推定

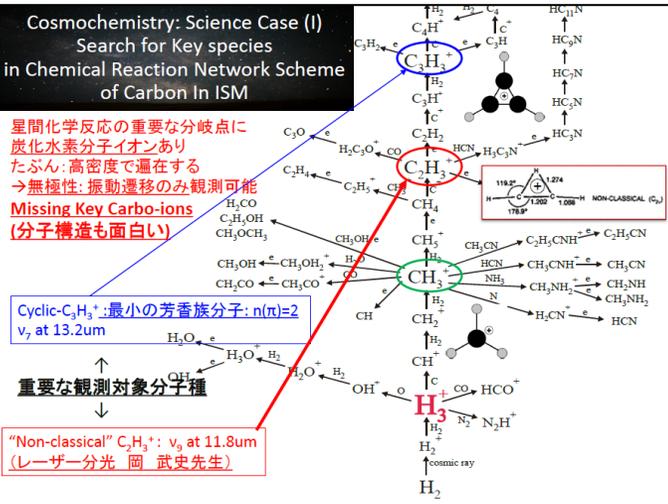
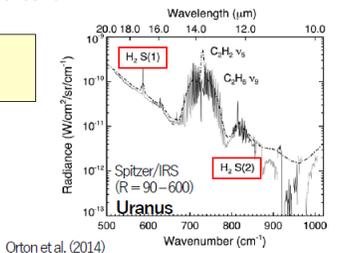


H<sub>2</sub>の連続吸収も四重極放射によるラインも、いずれも気温(の鉛直構造)の関数。→ 中間赤外スペクトルから、気温構造を推定可能。

※ 気温構造 = 大気を理解する上での最重要物理量。

左図: Uranusを観測した際にどの高度の気温が求まるかを示した図。連続吸収帯はより低高度(対流圏)に、四重極放射のラインはより高高度(成層圏)に感度を持つ。

- 季節変化
- 空間(緯度)分布

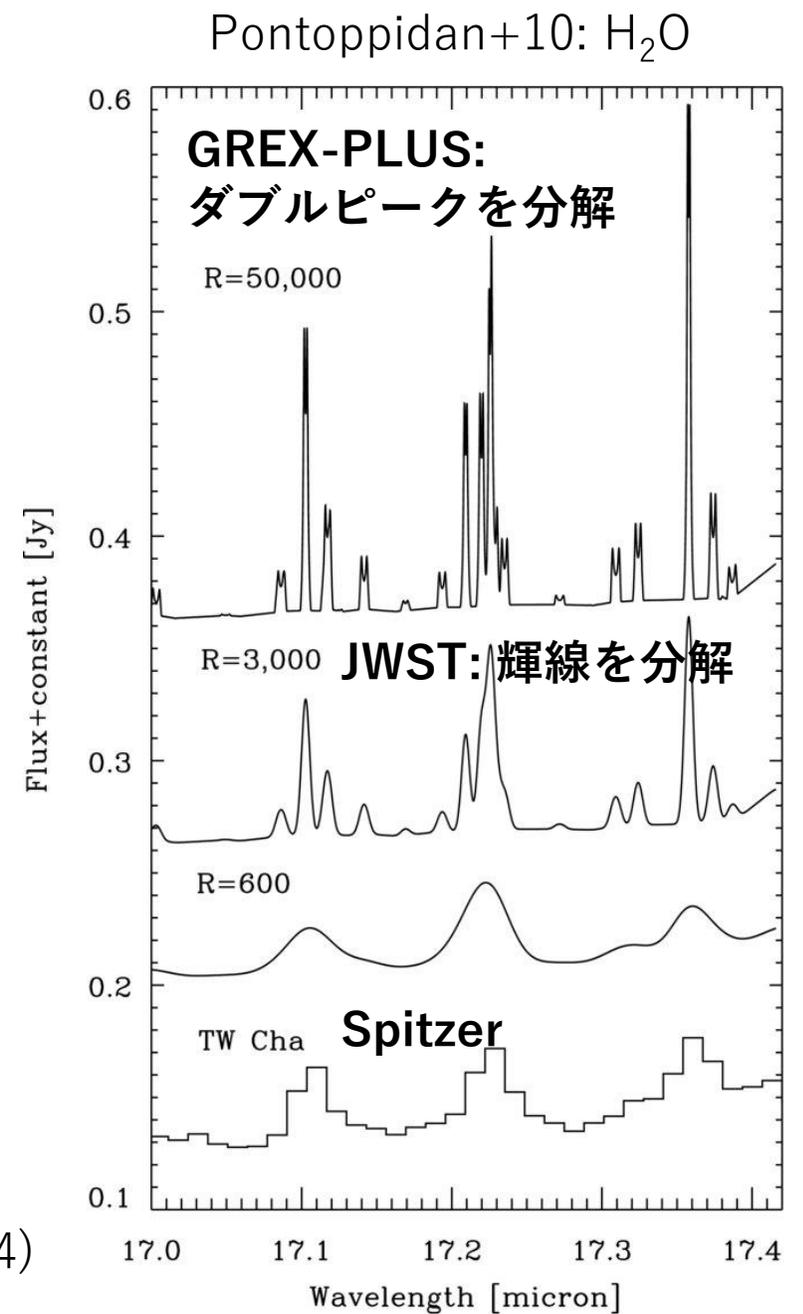
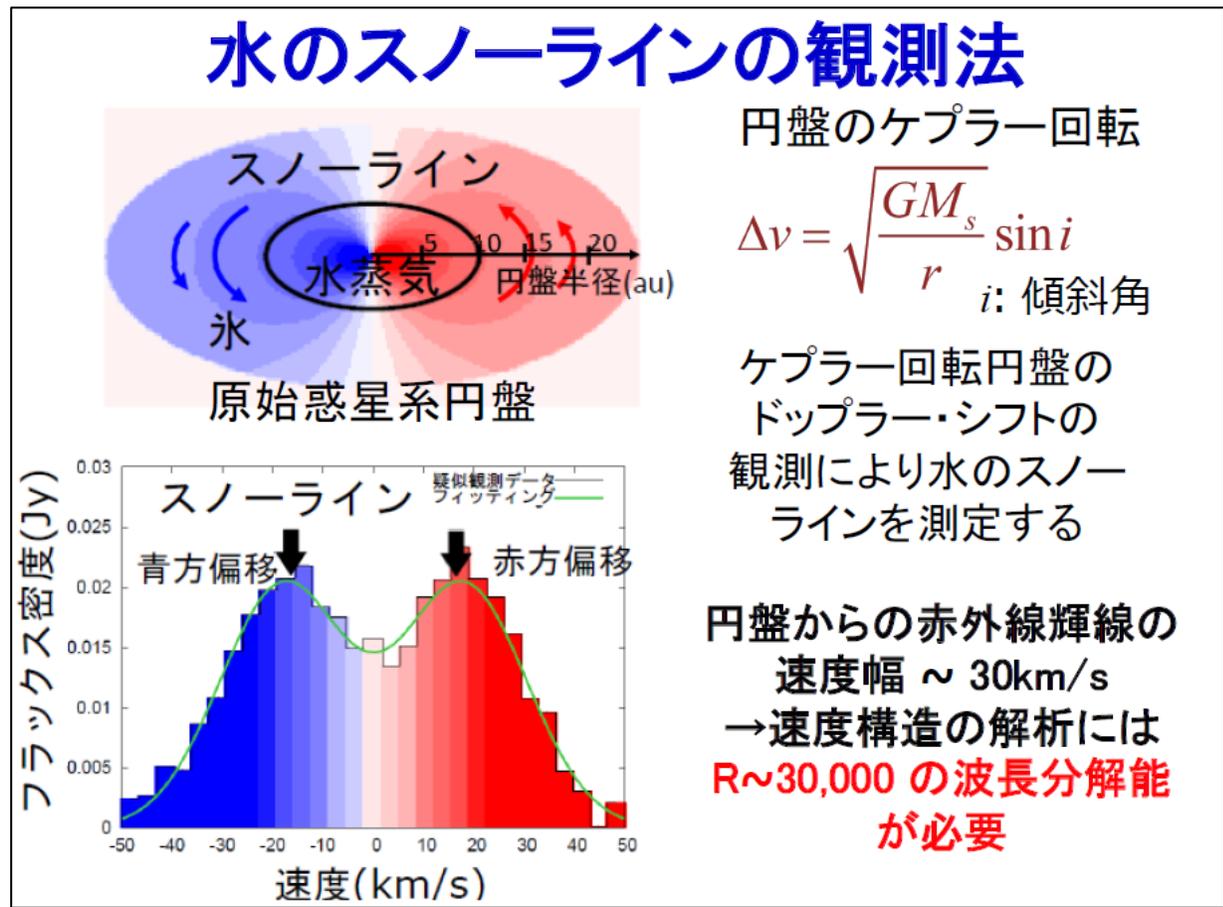


GREX-PLUS

佐川英夫 (2021/3/25)

# 高分散分光の科学

- 原始惑星系円盤H<sub>2</sub>Oスノーラインの位置特定
  - 岩石惑星/ガス惑星の棲み分け
  - 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)

# 高分散分光器

- 銀河サイエンスおよび基礎物理も可能
  - AGN分子ガスアウトフロー（銀河-SMBH共進化を制御するメカニズム）
  - 銀河間CO分子ガス探査（DLA中の分子ガス調査とDLA母銀河の謎解明）
  - 微細構造定数の時間進化（ $Pf\alpha$  7.5 $\mu\text{m}$ + $[\text{ArII}]$ 7.0 $\mu\text{m}$ ,  $\text{Hu}\alpha$  12.4 $\mu\text{m}$ + $[\text{NeII}]$ 12.8 $\mu\text{m}$ ）
  - などなど

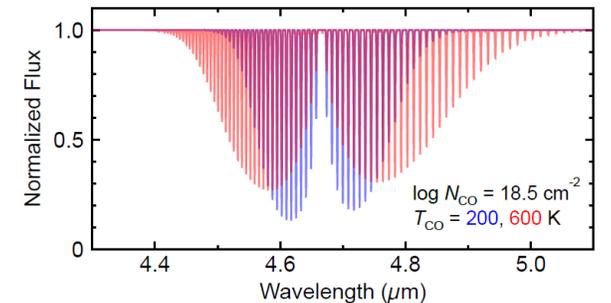
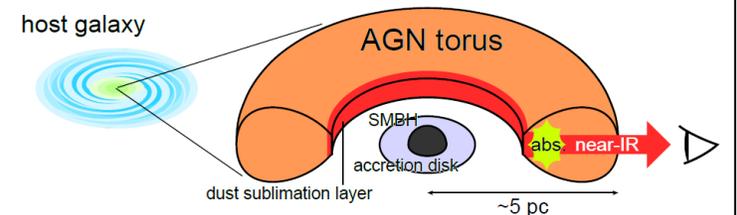
馬場俊介(2021/3/24)

# 広視野カメラ

- 太陽系・銀河系サイエンスも可能
  - 氷3 $\mu\text{m}$ 吸収フィーチャー探査
  - 低温中性子星探査（DMの性質制限）
  - マイクロレンズBH探査
  - などなど

## CO振動回転吸収線

- 放射による観測と相補的
- 静止波長 4.7  $\mu\text{m}$
- $\nu = 1 \leftarrow 0, \Delta J = \pm 1$
- 実効的に高い空間分解能
- 多数の回転準位の同時観測
- 遠赤外線OH分子吸収よりも中心近傍をプローブと期待

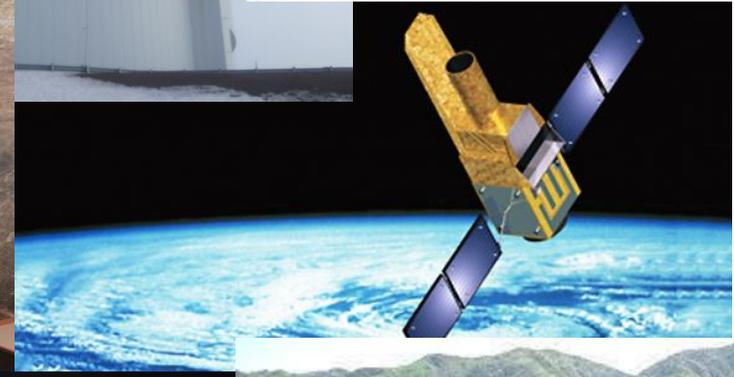


5

G-REX (+中間赤外高分散分光) サイエンス検討会、2021年3月24、25日、オンライン開催

# 分野連携

- 広視野カメラ科学は本質的に多波長・マルチメッセンジャー連携
- 高分散分光科学は惑星科学と密接に連携
- 光赤天連(すばる, SPICA, JASMINE, TMT, 他)
- 宇電懇(ALMA, SKA, ngVLA, LST, 他)
- 高宇連(Athena, 他)
- CRC (CTA, 他)
- 理論懇
- 惑星科学会



# 実施体制

## 中核メンバー (13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

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

児玉忠恭(東北大)：銀河科学

## 銀河科学

守屋堯(国立天文台)：超新星・時間軸

## 超新星・時間軸・銀河面科学

野村英子(国立天文台)：惑星科学

## 惑星科学

## 科学検討メンバー (15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)

大内正己(国立天文台)

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)

## 一般メンバー (50名)

[登録フォーム](#)

# 実現性

- 高い
  - WISH広視野カメラ検討資産のベース
  - 国内メーカーによる製作が可能な口径1.2m
  - SPICA冷却システム検討にもとづく望遠鏡と検出器の冷却→リスク・コストの抑制
  - SPICA/SMI 高分散分光器をそのまま導入
  - すばる、あかり、SPICA経験者の加入による開発体制の充実
    - 次世代への技術・経験の継承
- 今後の開発課題
  - 冷凍機長寿命化(すでに進行中)、低振動化
  - 地上試験計画
  - 軽量広視野望遠鏡光学系、鏡材検討
  - 広視野カメラ熱設計、読み出し回路発熱量低減
  - 広視野カメラ検出器焦点面配置、多波長タイリング最適化、衛星軌道
  - 高分散分光器イメージンググレーティング (衛星搭載用コンパクト化)

中核メンバー13名(助教以上)  
科学検討メンバー15名(ほぼ助教以上)  
一般メンバー50名  
合計78名 さらに募集中

登録ウェブフォームあります

# GREX-PLUS

- 最高級の学術的価値
  - 一つの望遠鏡、2つの装置：銀河 + 惑星 +  $\alpha$  非常に幅広いサイエンスが可能
  - すばる/WISH検討で培った広視野カメラ開発と広視野撮像サーベイ科学
  - SPICAで培った冷却宇宙望遠鏡技術開発力と高分散分光惑星科学
  - さらに多種多様なアイデアを大募集！！ 天文学会全体でより良いものを作り上げたい！
- 本質的に分野連携ミッション
  - 多波長・マルチメッセンジャー連携、惑星科学連携
- 高い実現性
  - WISH・SPICA検討、すばる・TAO・あかり・SPICA人材・技術に裏打ちされた開発体制
- 今後の予定
  - ISAS戦略的中型計画選定を目指して今秋WG設立提案
  - GREX-PLUSの経験をサイエンス・技術の両面から2040年代の国際メガミッションに活用

# GREX-PLUS Sensitivity & Survey plan example

## Specification of instruments

Parameter	CAM <sup>(a)</sup>						HR Low BG/High BG <sup>(b)</sup>
	F232	F303	F397	F520	F680	F890	
Band Center ( $\mu\text{m}$ )	2.3	3.0	4.0	5.2	6.8	8.9	14
Wavelength ( $\mu\text{m}$ )	2.0-2.6	2.6-3.4	3.4-4.5	4.5-5.9	5.9-7.7	7.7-10.1	10-18
Spectral resolution	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	30000-34000
Field of view	148 arcmin <sup>2</sup>	222 arcmin <sup>2</sup>	814 arcmin <sup>2</sup>	74 arcmin <sup>2</sup>	74 arcmin <sup>2</sup>	148 arcmin <sup>2</sup>	8" x 3.5"
Pixel scale (arcsec)	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	1.5
Detector	HgCdTe (4.5 $\mu\text{m}$ cutoff)			HgCdTe (10.1 $\mu\text{m}$ cutoff)			Si:As
Continuum Sensitivity (AB mag: 300sec 5 $\sigma$ )	24.7 <sup>(c)</sup>	24.5 <sup>(c)</sup>	23.8 <sup>(c)</sup>	22.5 <sup>(c)</sup>	21.4 <sup>(c)</sup>	20.6 <sup>(c)</sup>	
(mJy: 1hr 5 $\sigma$ )							4.2/5.0
Line Sensitivity ( $10^{-20}$ W/m <sup>2</sup> : 1hr 5 $\sigma$ )							3.4/4.1

(a) Filter wavelengths are subject to be discussed.

(b) Background levels are assumed to be 16 MJy/str (low) and 50 MJy/str (high) at  $\lambda=14 \mu\text{m}$ .

(c) Background levels are assumed to be 0.11 MJy/str at  $\lambda=3 \mu\text{m}$  (3 times larger than the North Ecliptic Pole).

## Wide survey plan examples

Parameter		Ultra Deep	Deep	Medium	Wide
Short wavelength (F232,F303,F397)	Area (deg <sup>2</sup> )	1.3	40	200	2000
	Target Magnitude (AB)	27.7 (5 $\sigma$ )	27 (5 $\sigma$ )	26 (5 $\sigma$ )	24.5 (5 $\sigma$ )
Long wavelength (F520,F680,F890)	Area (deg <sup>2</sup> )	~1	~40	~200	~500
	Target Magnitude (AB) F520/F680/F890	25.5/24/24 (5 $\sigma$ )	24.4/23/23 (5 $\sigma$ )	23/22/22 (5 $\sigma$ )	22.5/21/20 (5 $\sigma$ )

## HR sensitivity for a point source (1hr, 5 $\sigma$ )

