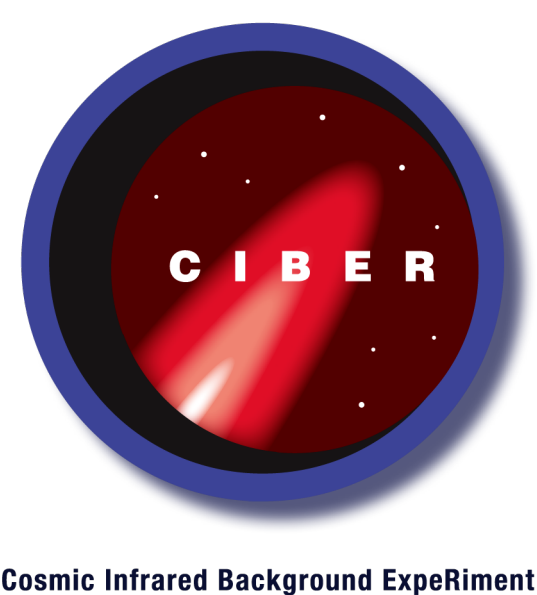




宇宙赤外線背景放射観測ミッションの将来計画： CIBER-2およびEXZITミッション

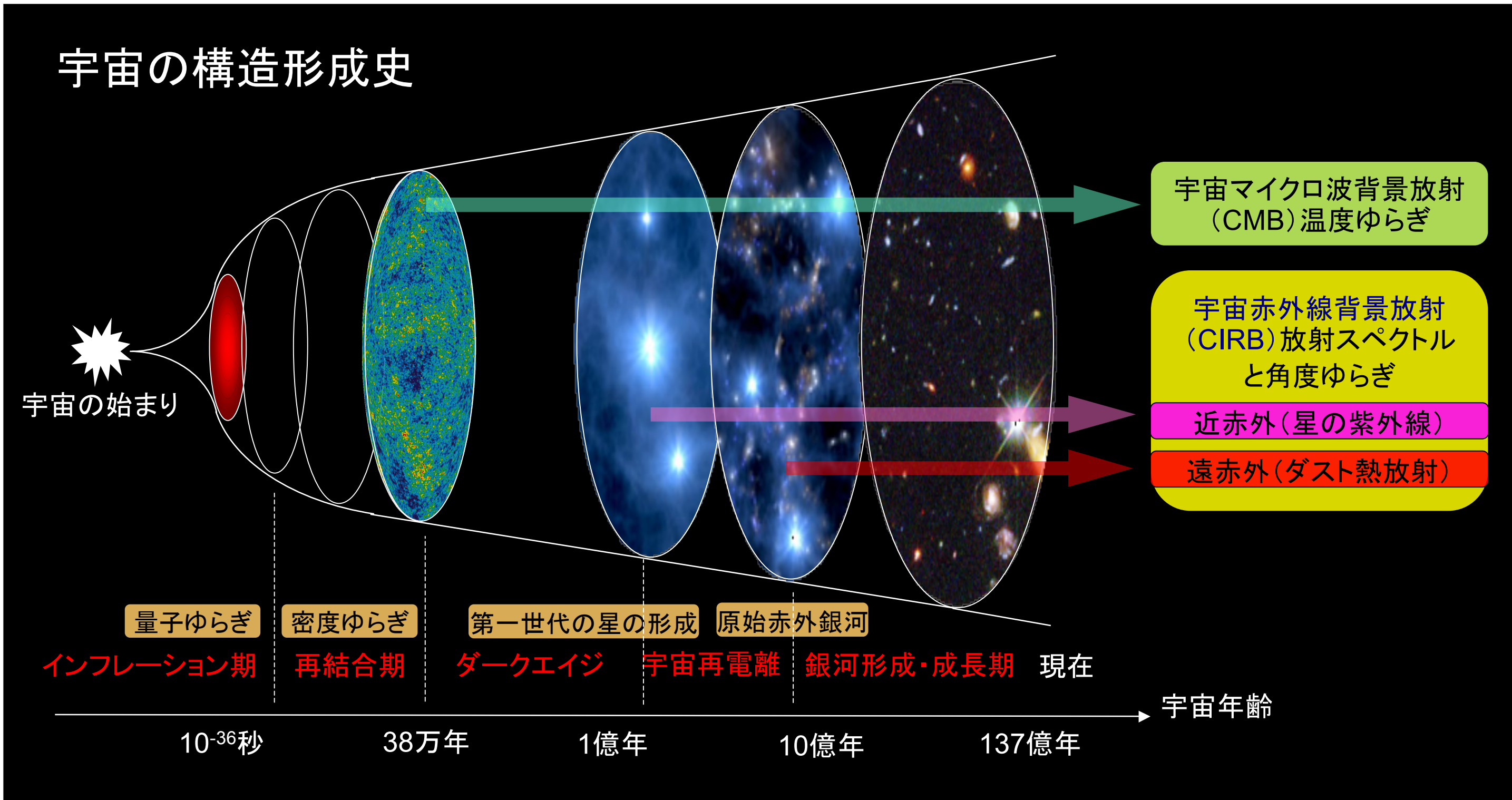
松浦周二、CIBER/CIBER-2チーム、EXZIT検討グループ、ソーラーセイルWG

概要：我々は、宇宙年齢1億歳ごろに宇宙で初めて誕生したと考えられている第一世代の星をはじめとする宇宙初期の天体を探査するため、それらが形成する宇宙赤外線背景放射の観測をロケットや人工衛星を用いて実施してきた。

その結果、その放射スペクトルや強度の角度ゆらぎが、既知の銀河系内成分や系外銀河などでは説明できない特異なものであることがわかってきた。また、それらの観測結果は、第一世代の星に対するある理論的予測とよく一致しており、その検出に成功した可能性があるが、いまだ最終的な結論は得られていない。

最終的な検証のためには、高感度の観測装置が必要であるばかりでなく、系統的誤差や前景成分差引の不定性などの様々な困難を乗り越えるべく特別に設計された装置やミッションが必要となる。本講演では、究極の宇宙赤外線背景放射観測の実現への課題と現在の観測実験から将来ミッションへとつながる研究の展望を述べる。

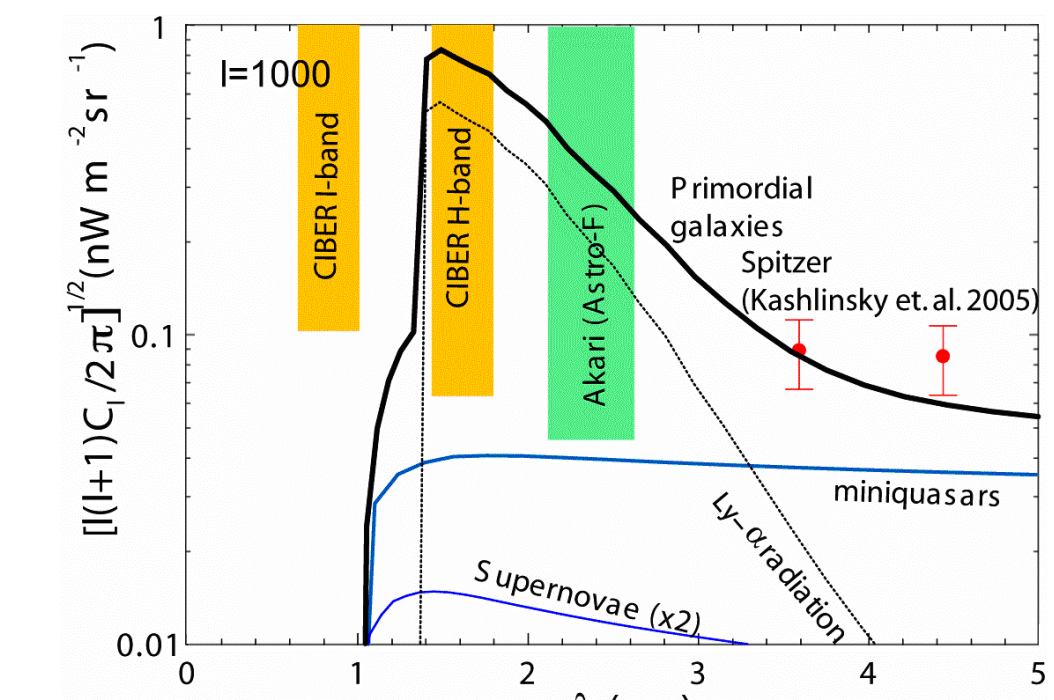
宇宙赤外線背景放射の観測



初期宇宙の量子ゆらぎは、再結合期のCMBの温度ゆらぎとして観測される非常に微小な (10^{-5}) 密度ゆらぎを生み出す。密度ゆらぎは宇宙の膨張に伴って成長し、やがては銀河や銀河団などの現在の宇宙に見られる巨大な天体スケールの構造を形成する。再結合期から現在見つかった最遠方の銀河の時代までの間には、宇宙最初の星の形成の時代があったと考えられるが、そこは観測的に未開の時代（ダークエイジ）である。

CIBERロケット実験

- 目的：
CIBの第一世代の星起源を検証
方法：
- 1) 赤方偏移 $z \sim 10$ のLy- α に相当する波長 $1 \mu\text{m}$ 周辺のCIBスペクトル測定
 - 2) CIRBの角度ゆらぎを $1 \mu\text{m}$ 周辺の2波長バンドで測定
 - 3) フラウンホーファー線の測定による黄道光のモデルに依存しない推定



日米韓の国際共同実験 NASA観測ロケットプログラム (ISAS, Nagoya, Caltech, UCSD, UC Irwin, KASI, SNU)

ロケット実験CIBER

- 2度の打上げ・観測に成功！
- 第1回実験 2009年2月
初めての黄道光連続スペクトル測定
 - 第2回実験 2010年7月
バップル・迷光除去性能向上の改良
より良質のデータが得られた
- ◆可視・近赤外での黄道光とCIBの連続スペクトル測定に成功
◆より高度な計画への重要ステップ

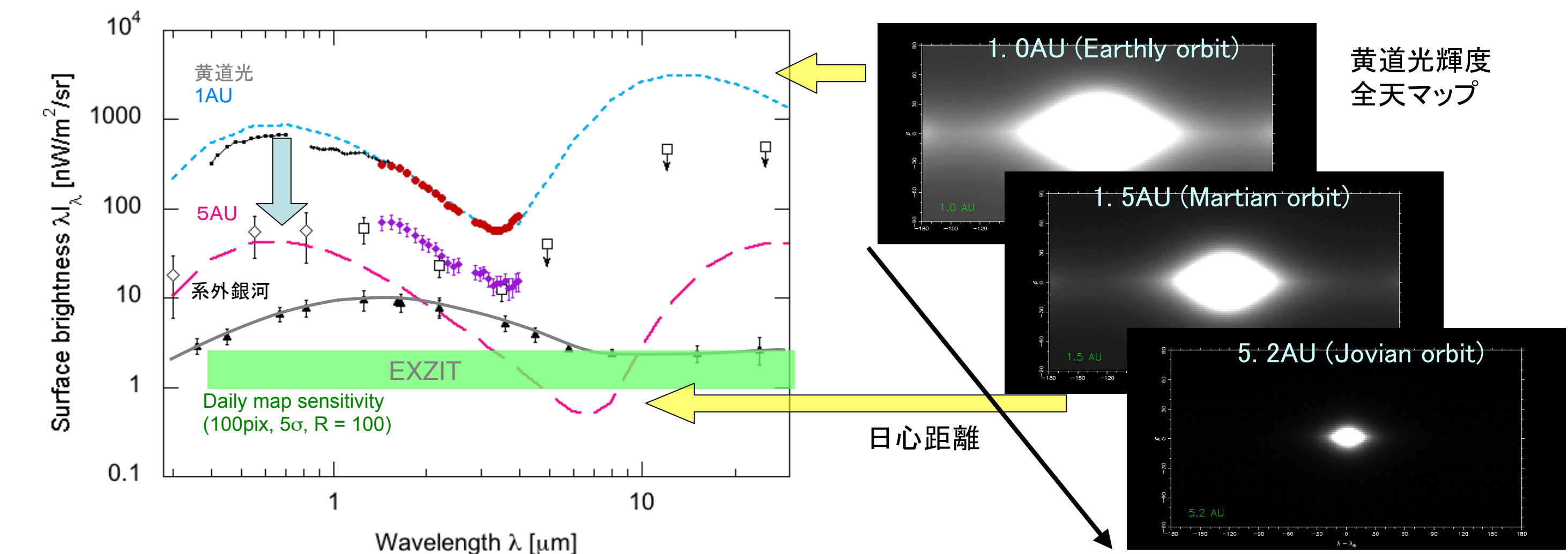
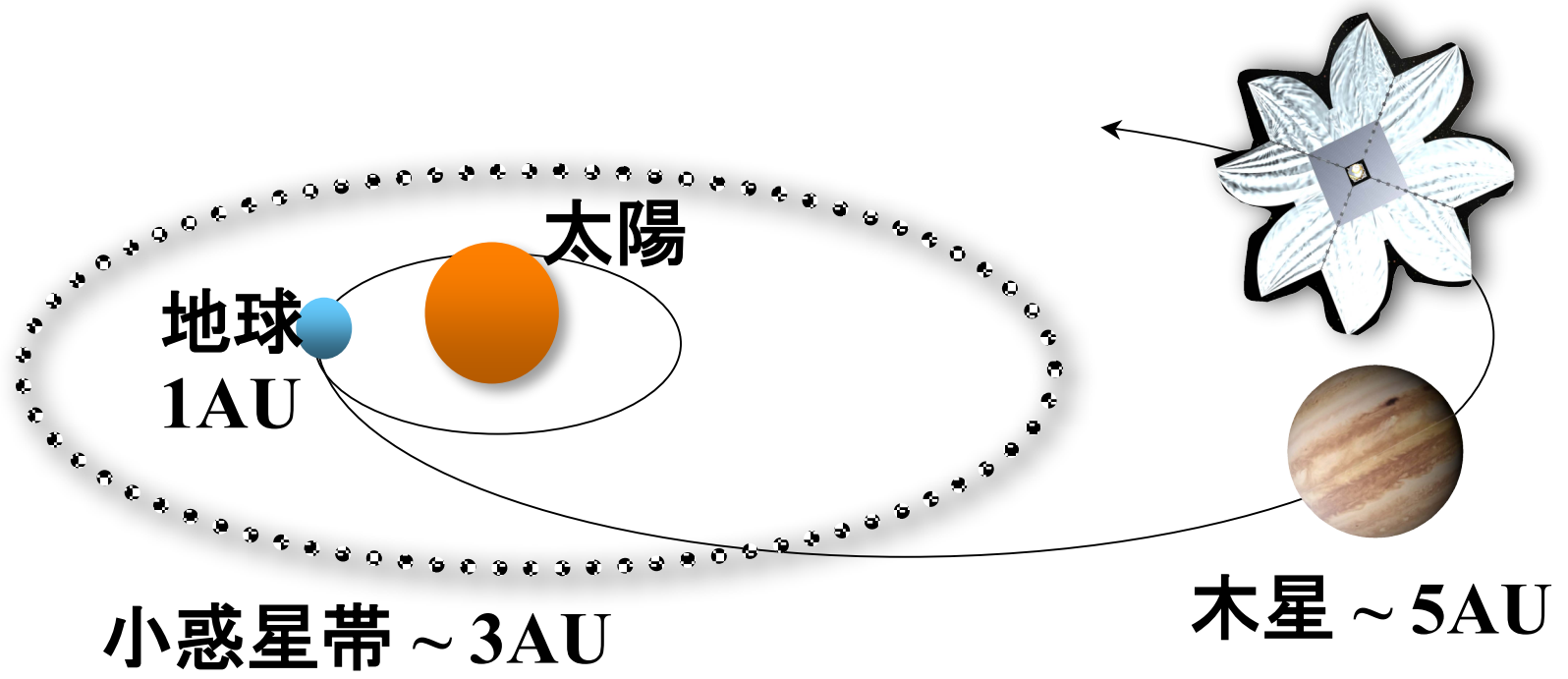


EXZIT / 黄道面脱出ミッション

EXZIT: Exo-Zodiacal Infrared Telescope

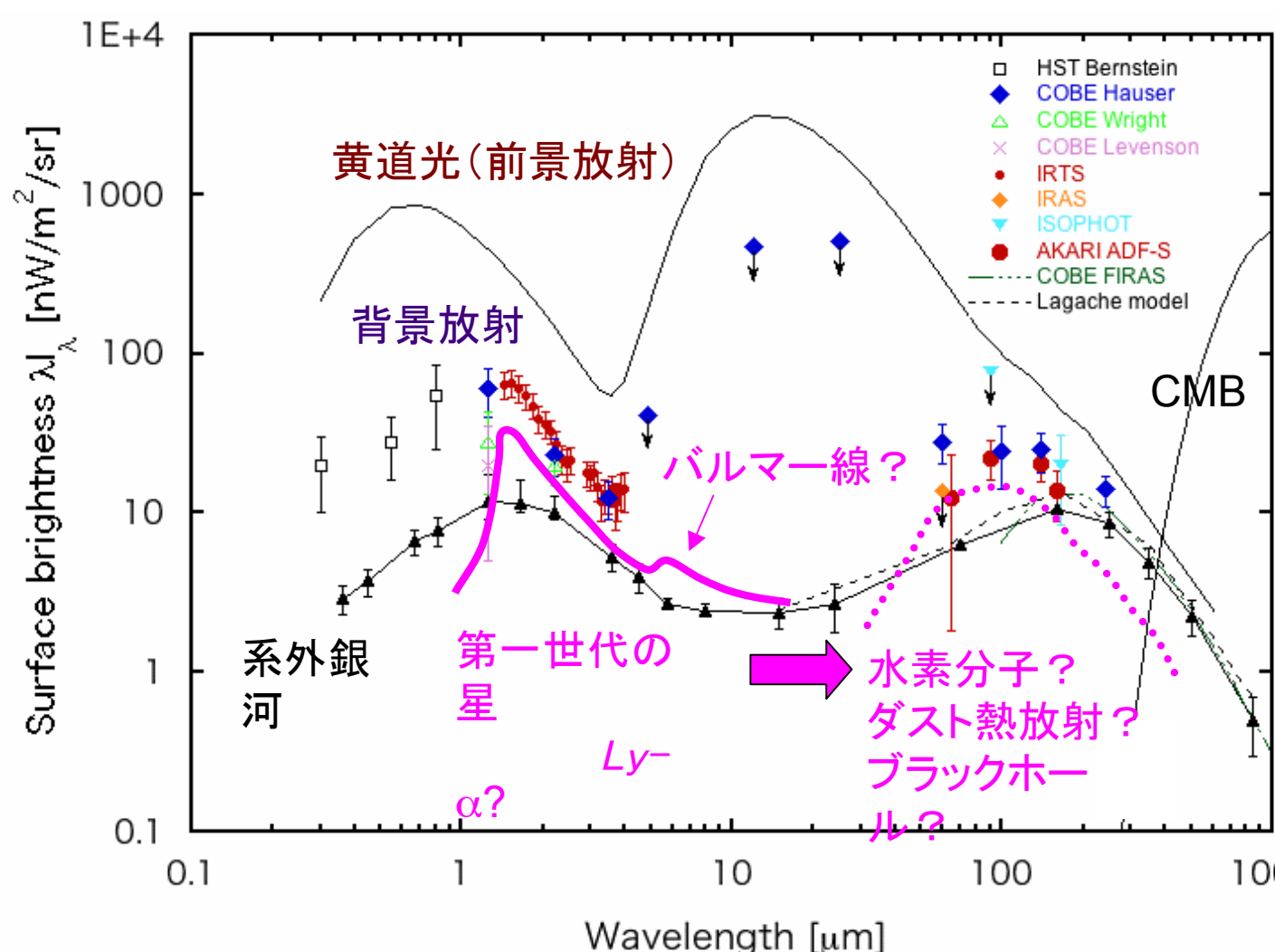
CIB観測による第一世代の星検出：

- ・観測値からの第一世代の星成分抽出には高精度の前景成分の差引きが必要
 - 黄道光が主成分、可視・近赤外域ではCIBの10倍以上
 - 差引に用いる黄道光モデルの不定性
 - 太陽系ダストがない環境での観測必要
 - 惑星探査機を用いた黄道面外または小惑星帯以遠の深宇宙からの観測が有効



観測波長拡大の利得

- 中赤外域：
- 地球近傍では黄道光が強すぎCIB測定困難
 - 世界初のCIB検出
 - 第一世代星からの水素バルマー線、ヘリウム輝線、電離ガス連続放射
- 遠赤外域：
- 第一世代星収縮水素分子線 ($z > 20$?)
 - 初代重元素ダスト熱放射
 - 残骸ブラックホール降着円盤放射
 - 残存素粒子(relic particles)崩壊光子

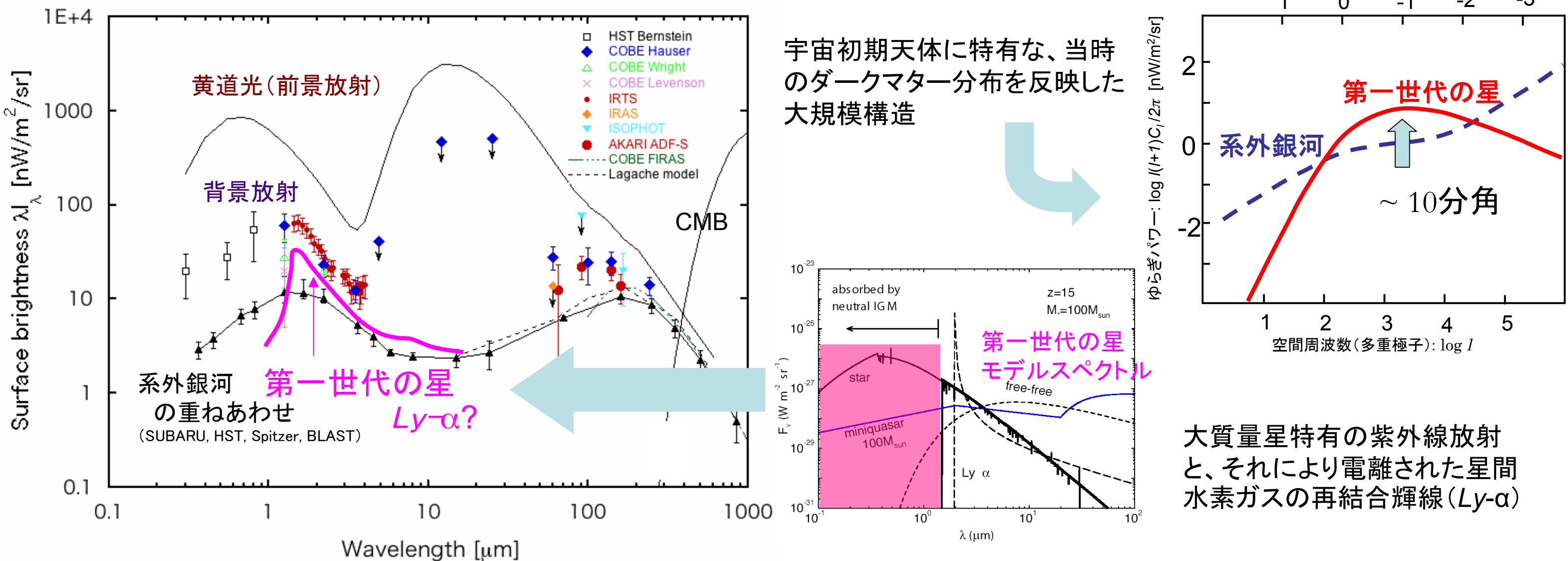


宇宙最初(第一世代)の星

- ・宇宙年齢1億歳ごろ(赤方偏移 $z > 10$) いっせいに形成、ダークマターに従う密度分布
- ・ >100 倍太陽質量の大質量星 → 主に紫外線を放射(Ly- α)
- ・宇宙は紫外線放射で満ちていた → 現在は赤方偏移し宇宙赤外線背景放射を形成

宇宙赤外線背景放射(CIB)の観測 - ダークエイジ解明のてがかり

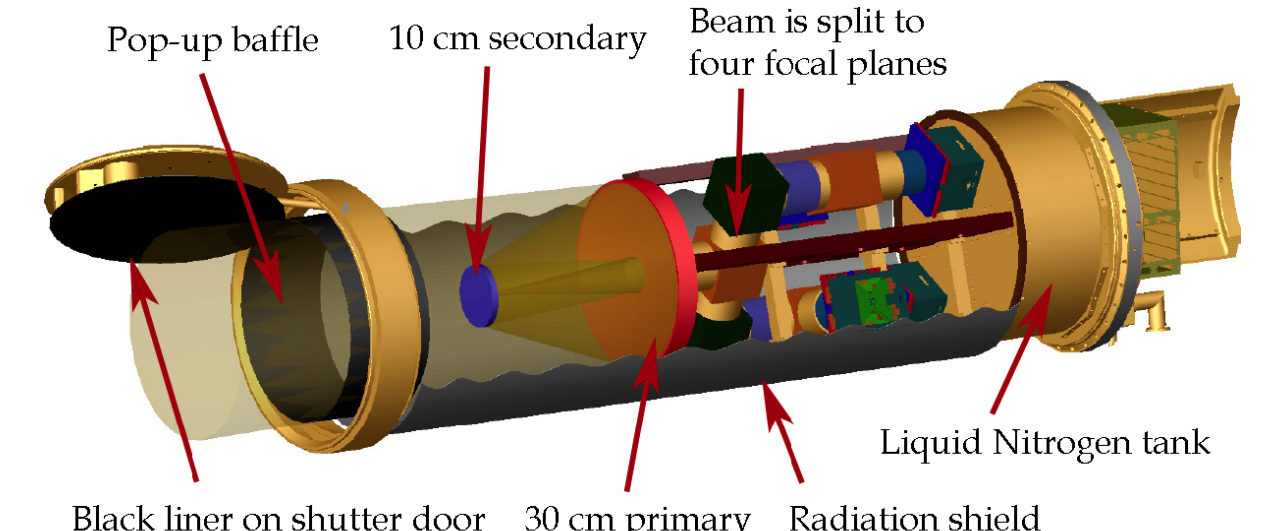
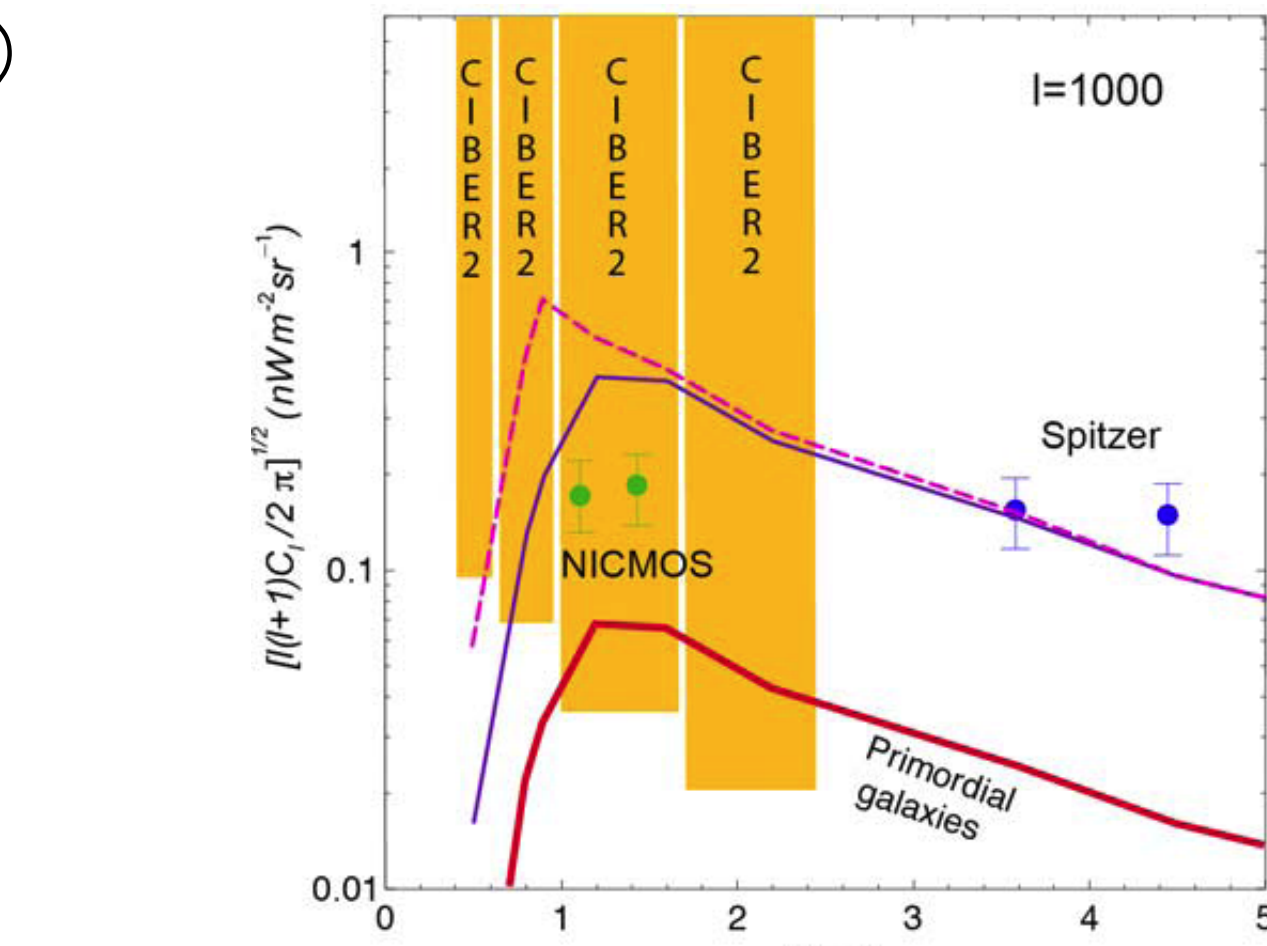
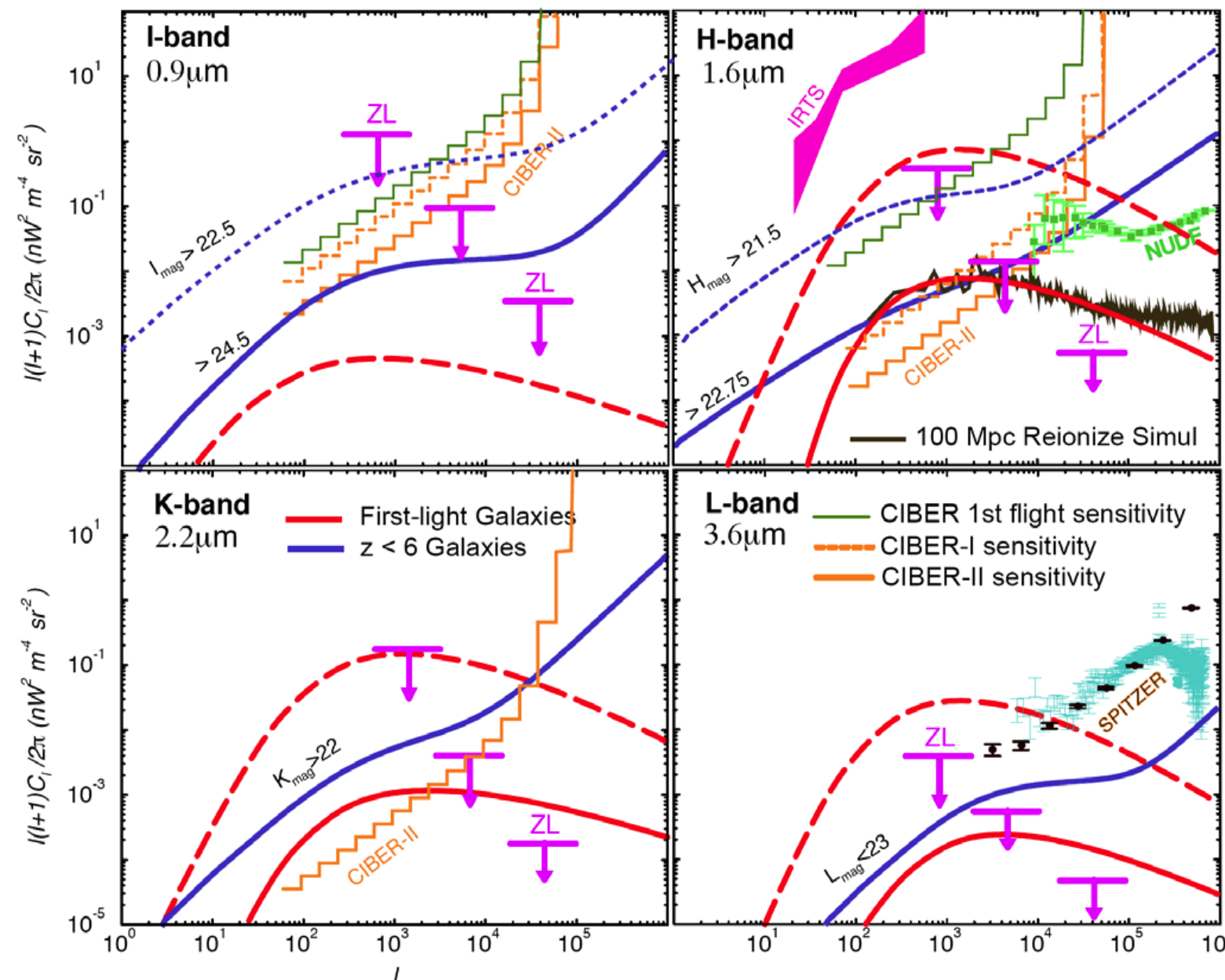
- ・観測ロケット、COBE、IRTSなどによる拡散放射の表面輝度とスペクトルの測定
- ・銀河系内成分や系外銀河の足しあわせでは説明できない、異常な放射スペクトルと大角度スケールに卓越する強度ゆらぎ(下図)
- ・第一世代の星に予想される性質と類似 → 検出の可能性あり



後継ロケット実験CIBER-2

最高精度のCIBRゆらぎ観測による第一世代の星検出：

- ・ゆらぎの角度スペクトルから第一世代の星成分を検出するには高い点源検出能力が必要
 - 保守的な理論予測をも検証するためには、20等級までの暗い銀河を除去(左下図)
- ・多数の連続バンドでのゆらぎ観測によりLy- α 成分のゆらぎを抽出
 - 可視域にまでいたる4バンド程度が必要(右図)



装置仕様(CIBERからの変更点)

- 大口径化による点源除去能力の向上
- スループットの向上
- 可視域までの連続的バンド
- これにより達成できる内容
- 系外銀河の影響の大幅な低減
- ゆらぎ成分の赤方偏移の推定

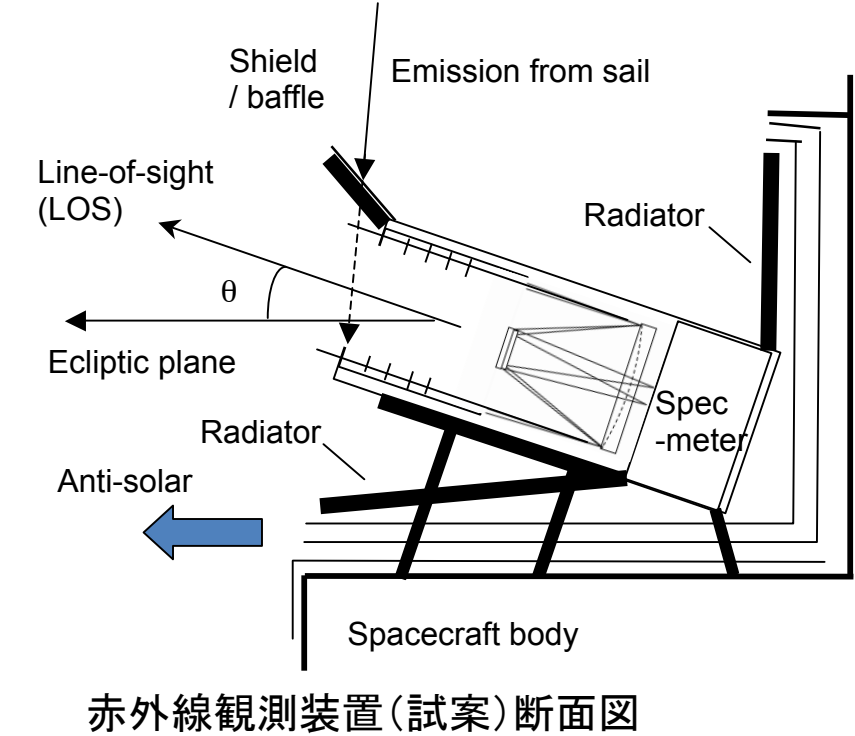
オプション：

- 可視域背景放射(COB)の分光観測
- 高分散分光による、ダークエイジの星間物質や重元素の検出
- 偏光・分光観測を組み合わせた、高精度の前景放射の差引き

	CIBER2				CIBER1				cm arcsec degrees μm
	30	5	11	7	11	7	11	7	
Aperture	0.5 (~V)	0.8 (~I)	1.3 (~J)	2.1 (~K)	0.9 (~I)	1.6 (~H)	2.0 (~K)	2.0 (~K)	
Pixel size	0.40	0.45	0.50	0.40	0.5	0.5	0.5	0.5	
FOV	HyVISI	HyVISI	HyVISI	HyVISI	HyVISI	HyVISI	HyVISI	HyVISI	1024 ² format
Array QE	0.90	0.80	0.70	0.80	0.65	0.75	0.65	0.75	
Optics QE	0.72	0.72	0.72	0.72	0.85	0.85	0.85	0.85	
Photo current	23	39	42	22	12	11	11	11	e-/s
Dark current	<0.1	<0.1	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	e-/s
RN (CDS)	10	10	15	15	15	15	15	15	e-
viv (sky)	800	900	600	200	800	400	400	400	nW m ⁻² sr ⁻¹
S/Nv (1σ/pix)	27	20	10	7	40	20	20	20	nW m ⁻² sr ⁻¹
S/Nv (3σ)	21.1	20.6	20.7	20.5	18.6	18.0	18.0	18.0	Vega mag
Fv @ 25 % cut	25	24	23	22	23	21.5	21.5	21.5	Vega mag

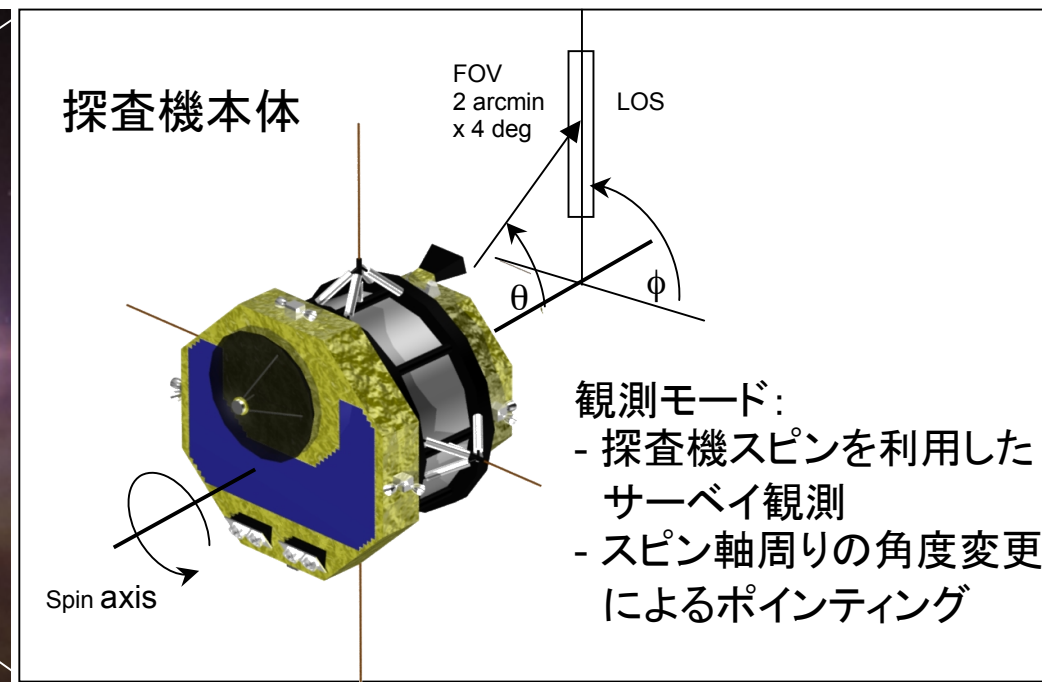
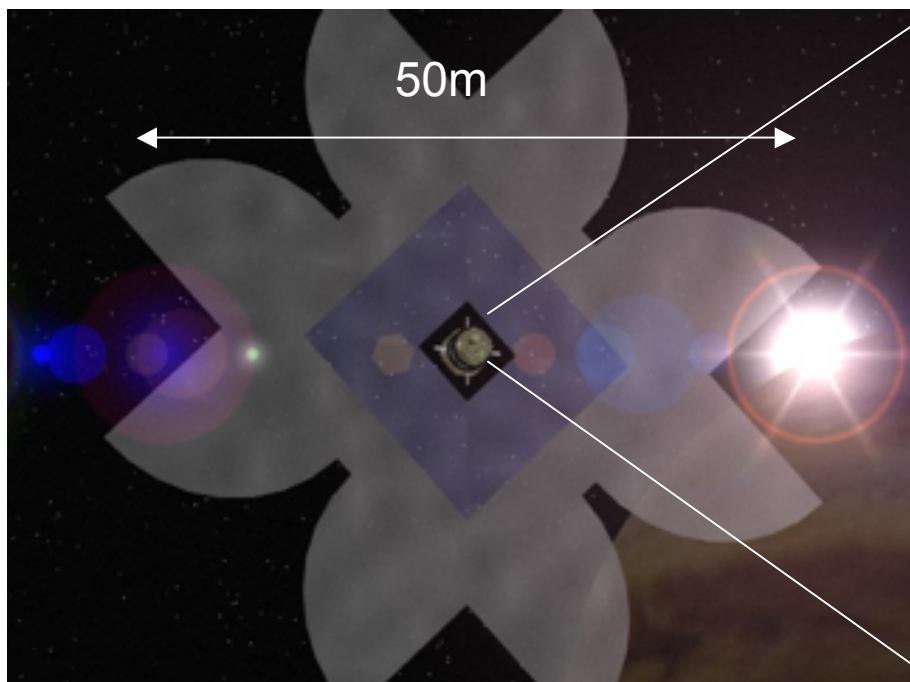
ソーラー電力セイルによる実現

- JAXAが開発中の次世代惑星探査機
 - 太陽光圧+イオンエンジンハイブリッド推進
 - IKAROS(10m級セイル)による実証成功
- EXZITほか科学機器を搭載した50m級セイル
- 木星探査とクルージング期の観測
- 2020年ごろの打上げを目指し開発



観測装置使用概要：<最小案／拡大案>

- 望遠鏡口径：5 / 20cmΦ (F~4)
- 視野角：3-5°、空間分解能：1分角
- 観測波長：0.5-2 / 0.5-15μm (extra ~45μm)
- 波長分解能： $\lambda/\Delta\lambda = R \sim 20 / >50$
- 温度：<100 / 20K(放射冷却)
- データ量：>100kpbs発生、要オンボード圧縮
- 重量：7 / 30kg



CIB観測ミッションのロードマップ

