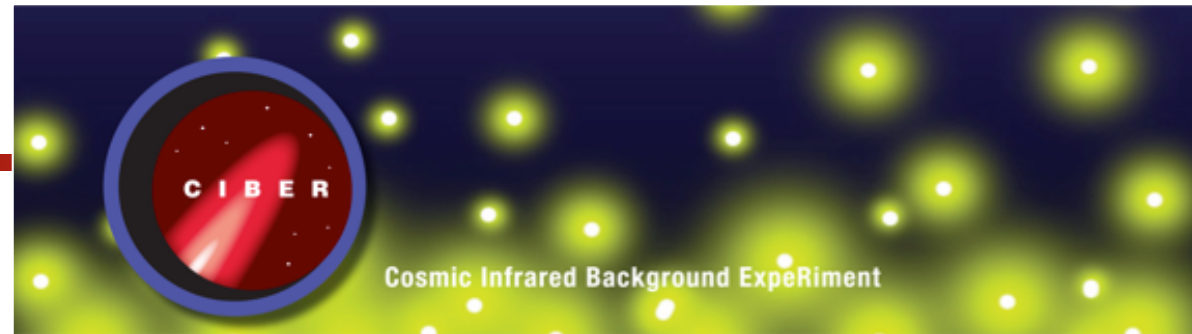

宇宙赤外線背景放射観測ロケット実験 CIBER/CIBER-2

宇宙科学研究所・宇宙物理学研究系
○松浦周二

白旗麻衣、津村耕司、新井俊明、大西陽介(宇宙研)、
松本敏雄(ASIAA)、James Bock(Caltech)、
CIBER collaboration



The CIBER Collaboration



John Battle
Jamie Bock
Viktor Hristov
Anson Lam
Phil Korngut
Peter Mason
Michael Zemcov



Asantha Cooray
Joseph Smidt
Matt Weiss



Brian Keating
Tom Renbarger



Shuji Matsuura
Toshiaki Arai
Kohji Tsumura
Mai Shirahata
Takehiko Wada



Min Gyu Kim



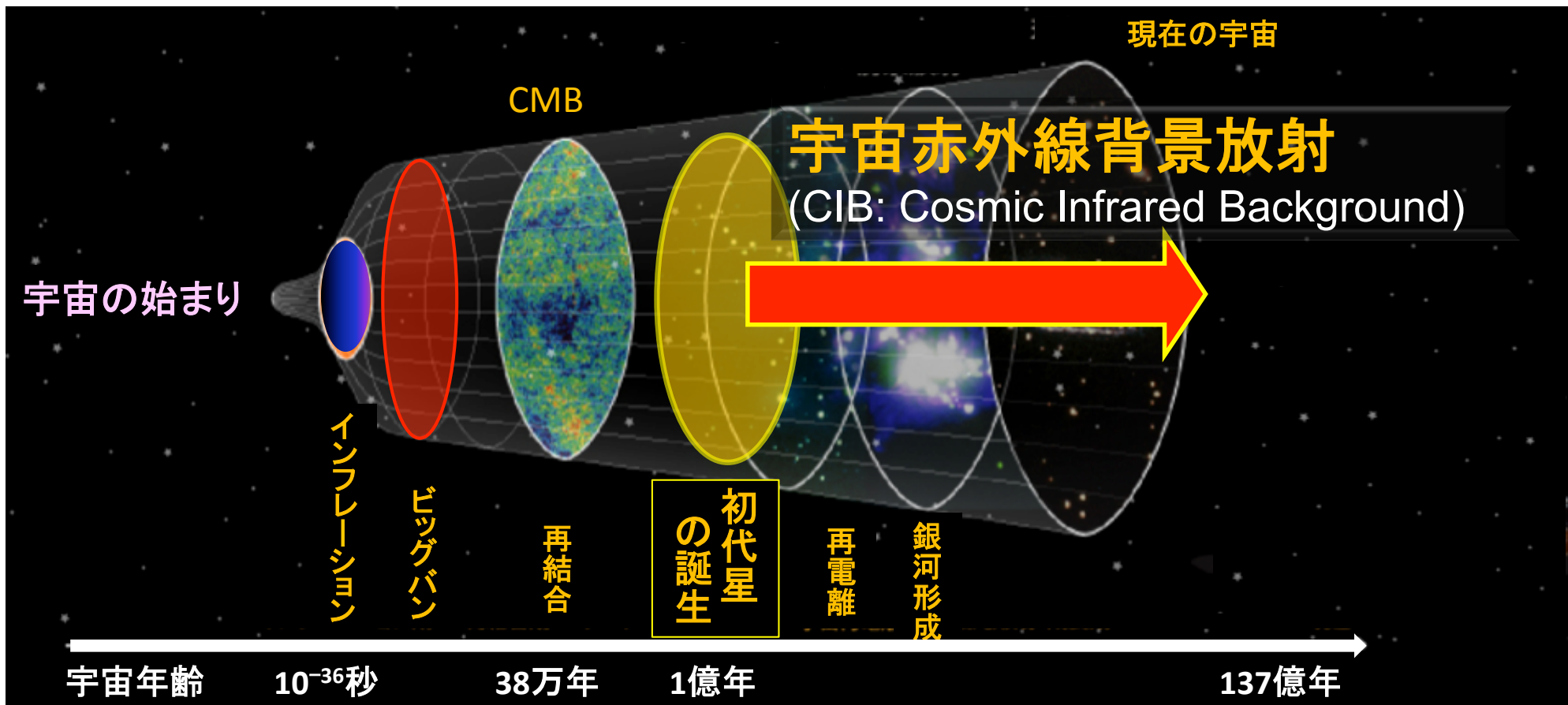
Dae Hee Lee
Uk Won Nam

ASIAA

Toshio Matsumoto

CIBER実験の目的

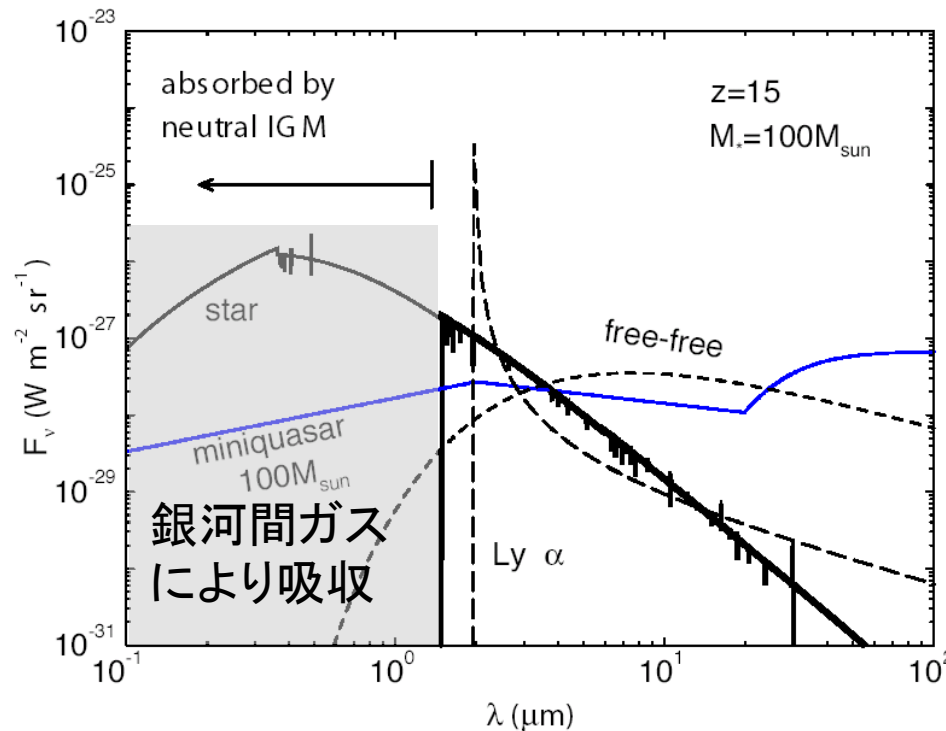
- 宇宙初期の密度ゆらぎから星・銀河への進化を探る
- 初代の星の光を赤外線宇宙背景放射として観測
 - 個別観測は暗すぎて困難



初代星の残光

銀河形成以前に形成された最初の星々 = 初代星、ファースト・スター

- 大質量、高温 → 強い紫外線、短波長で急峻なスペクトル構造
- 赤方偏移した紫外放射は、波長1-2 μm の近赤外線背景放射として観測

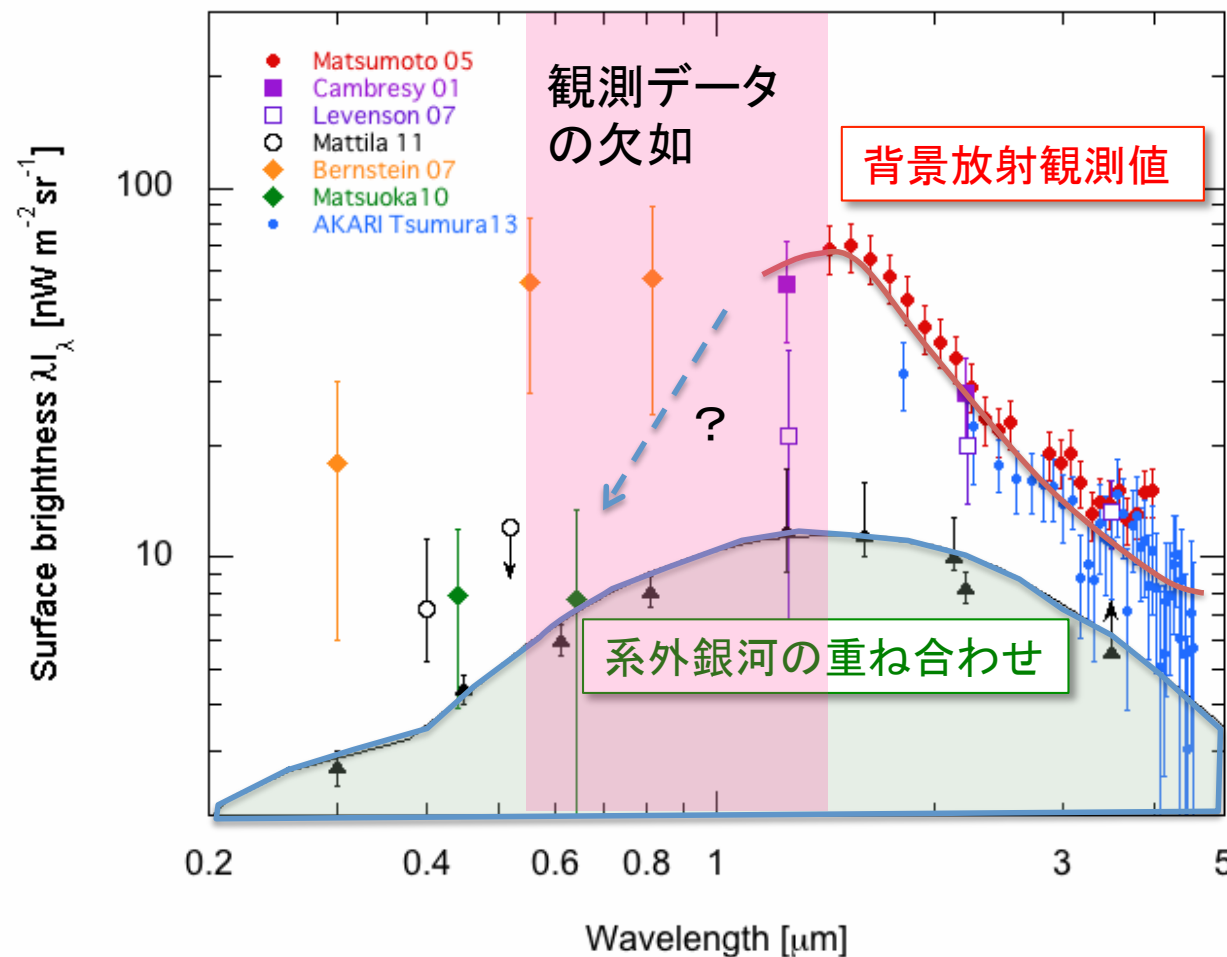


Cooray&Yoshida 2004 (MNRAS, 351, L71), Santos et al. 2002 (MNRAS, 336, 1082)



これまでの宇宙赤外線背景放射観測

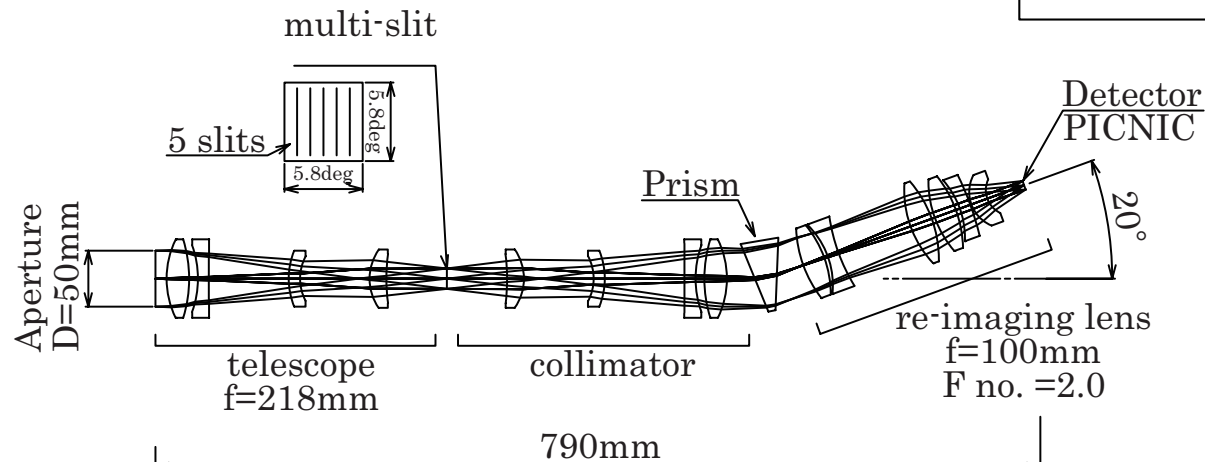
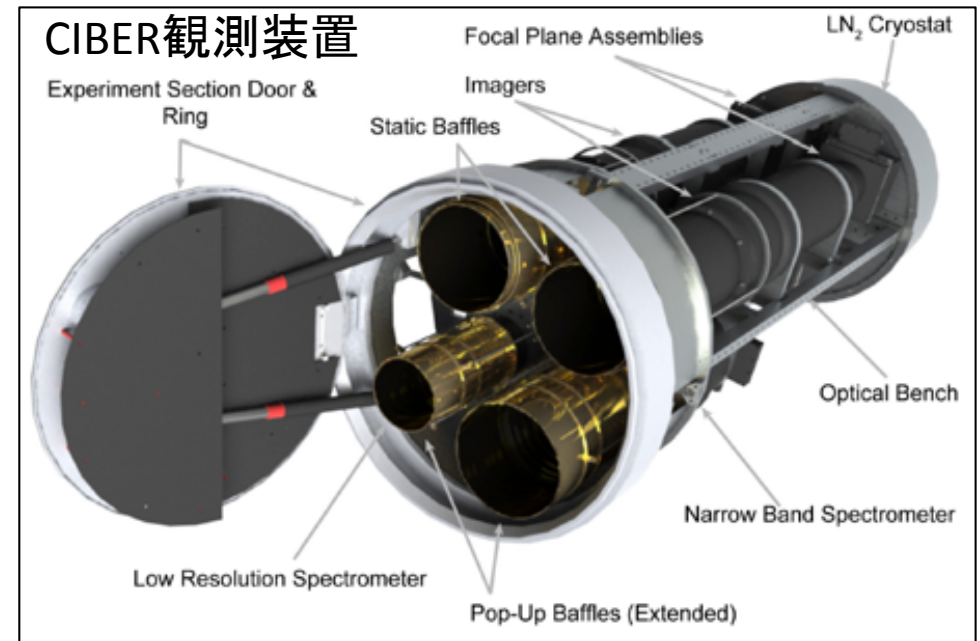
- 系外銀河の重ね合わせとして説明できない超過成分が存在
- 初代星のように短波長で急落するスペクトルをもつのか？



COBE (Cambresy et al. 2001)
IRTS (Matsumoto et al. 2005)
AKARI (Tsumura et al. 2013)

CIBER搭載観測装置

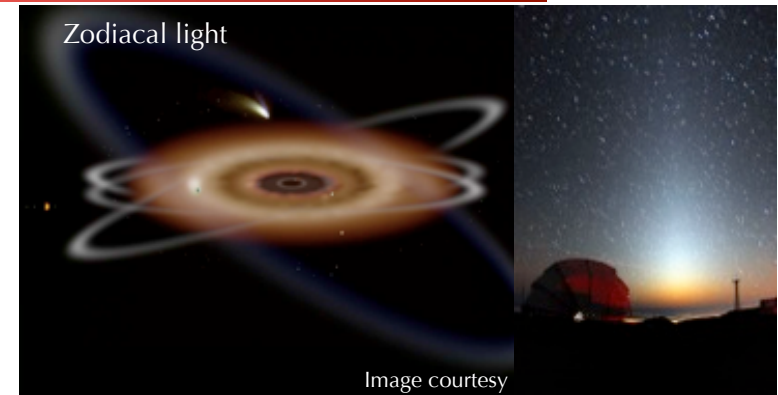
- 宇宙背景放射測定用に特化した液体窒素冷却望遠鏡
- 低分散プリズム分光器
 - 小口径 $\sim 5\text{cm}\phi$
 - 広視野 $\sim 5^\circ$
 - 観測波長 $0.8\text{-}2\mu\text{m}$
 - HgCdTeアレイ (256^2pixels)



前景放射の差引の重要性

観測値

- = 黄道光(太陽光の惑星間ダスト散乱) >70%
- + 星の重ね合わせ ~5%
- + 銀河拡散光(星間ダスト放射) ~5%
- + 系外銀河の重ね合わせ ~5%
- + 初代星などの未知の背景放射 ?%



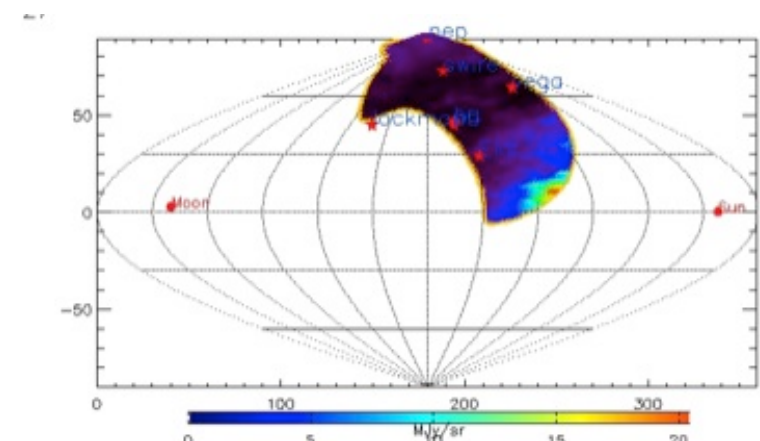
Starlight + Diffuse Galactic light



Courtesy of NASA

黄道光の差引が最も重要

→ 前景放射(特に黄道光)評価のため、
様々な黄緯の7天域(あかりやSpitzer観測域)
を観測



CIBER実験の経過

米国ホワイトサンズ実験場 (WSMR) より打上げ

第1回 2009年2月

- 黄道光スペクトルの測定

第2回 2010年7月

- 宇宙背景放射スペクトルの検出
- 銀河拡散光スペクトルの測定

第3回 2012年3月

- 背景放射ゆらぎの検出
- 黄道光の偏光スペクトル測定
- 黄道光フラウンホーファー線の検出

太陽系から宇宙背景放射まで、可視・近赤外域
における様々な世界初の観測に成功

課題： 残留大気放射の寄与、短い観測時間

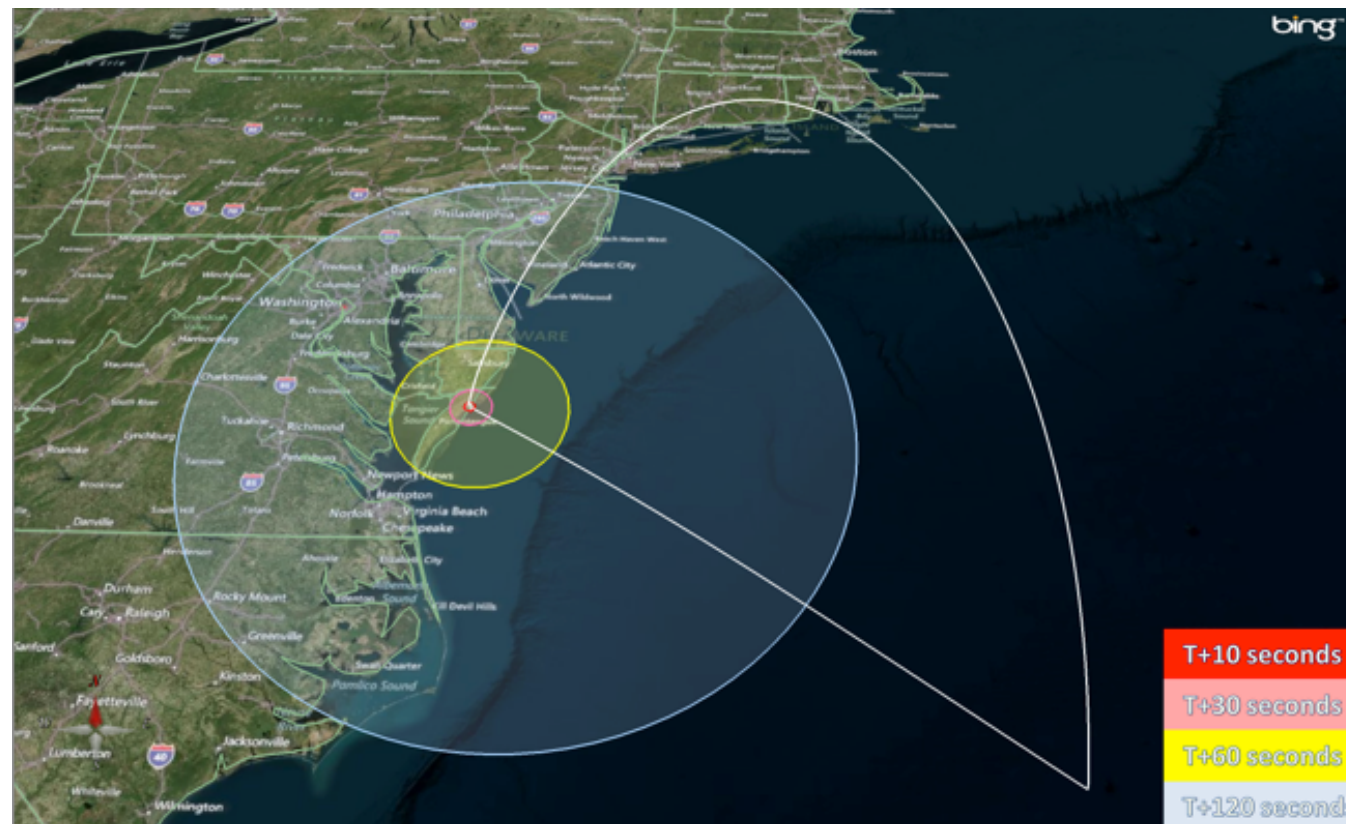
NASA Sounding
Rocket for CIBER



Black Brant VC MK1
+ Terrier MK70

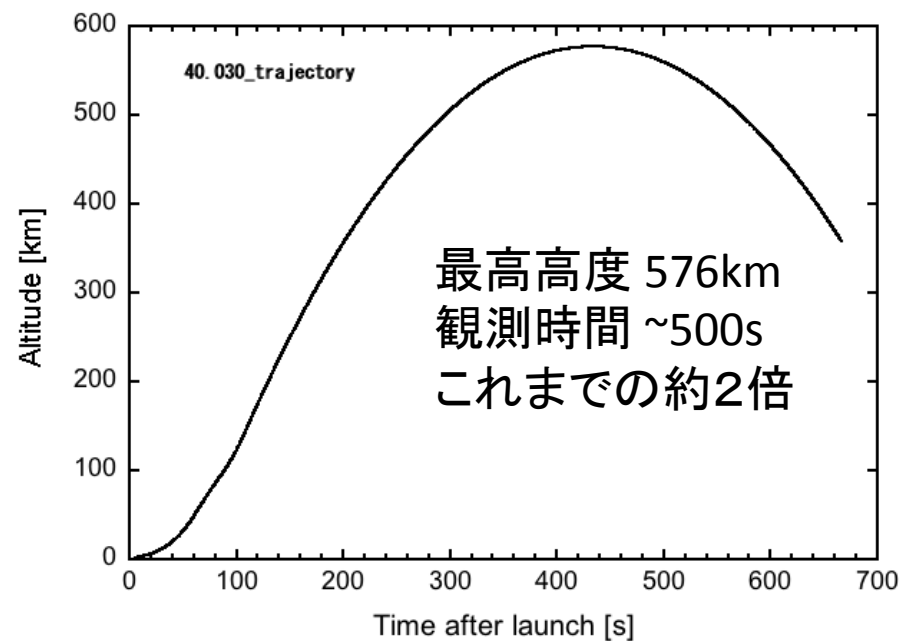
第4回実験の概要

- 2-stage → 4-stageロケット(Black Brant XII)で高高度へ
- 残留大気放射の影響低減、観測時間の増加
- NASA ワロップス基地(WFF)から打上げ
海上落下、回収なし → 今回が最終実験



ロケット打上げ

2013.6.5 23:05 EDT



観測データの例

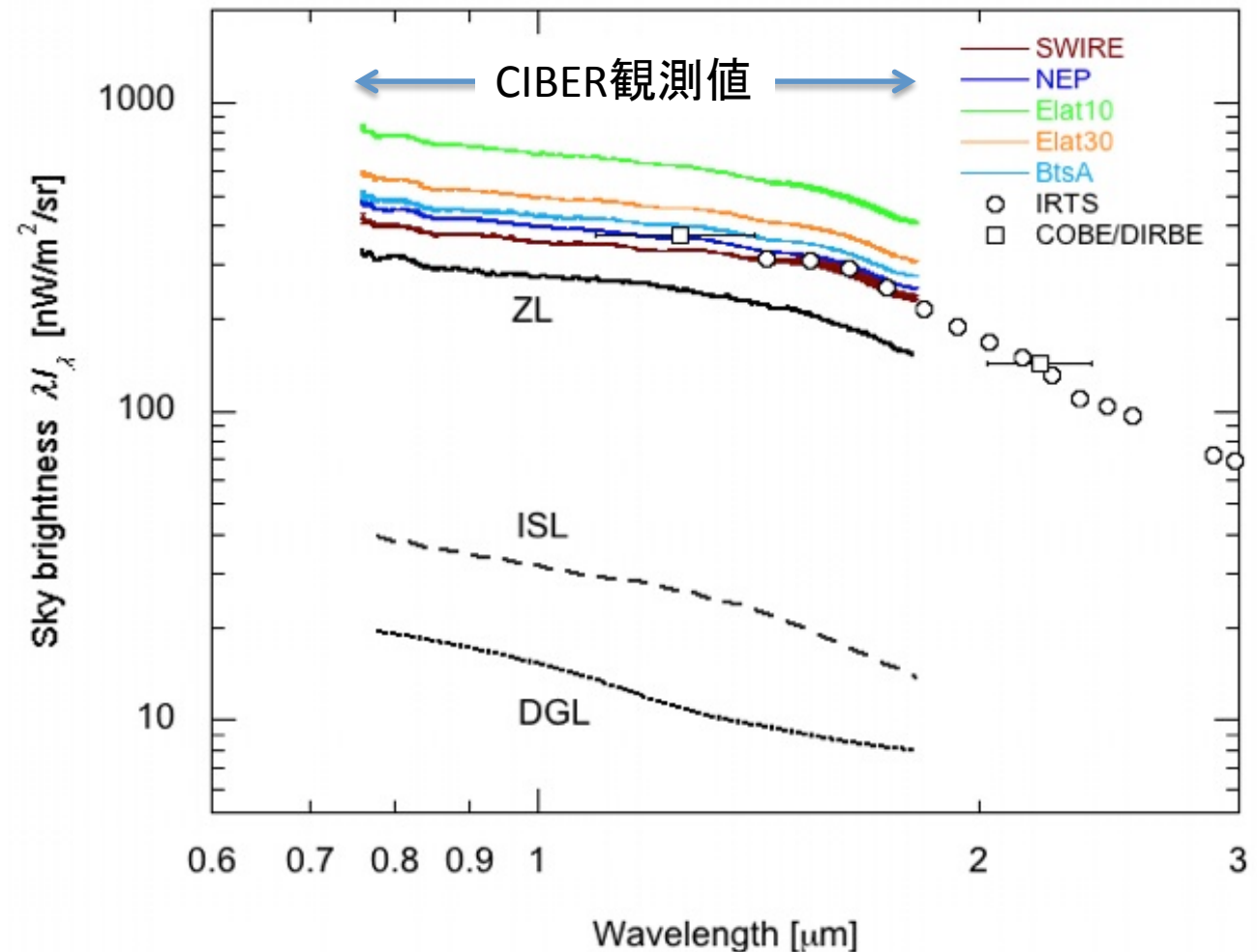
観測された空の明るさは、過去の結果と良い一致

前景放射

黄道光 (ZL)

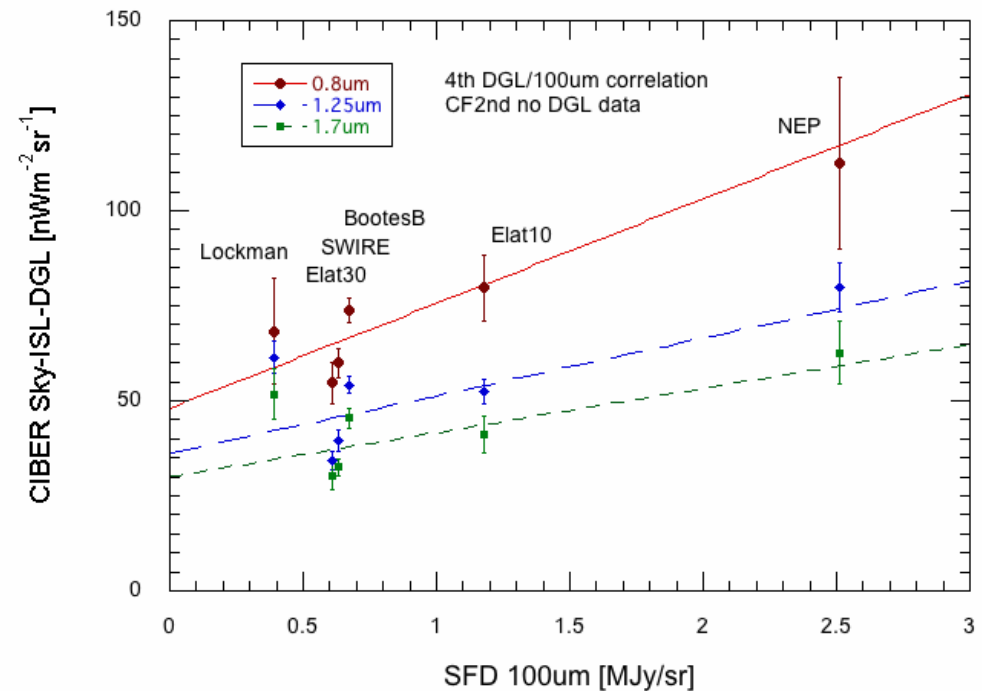
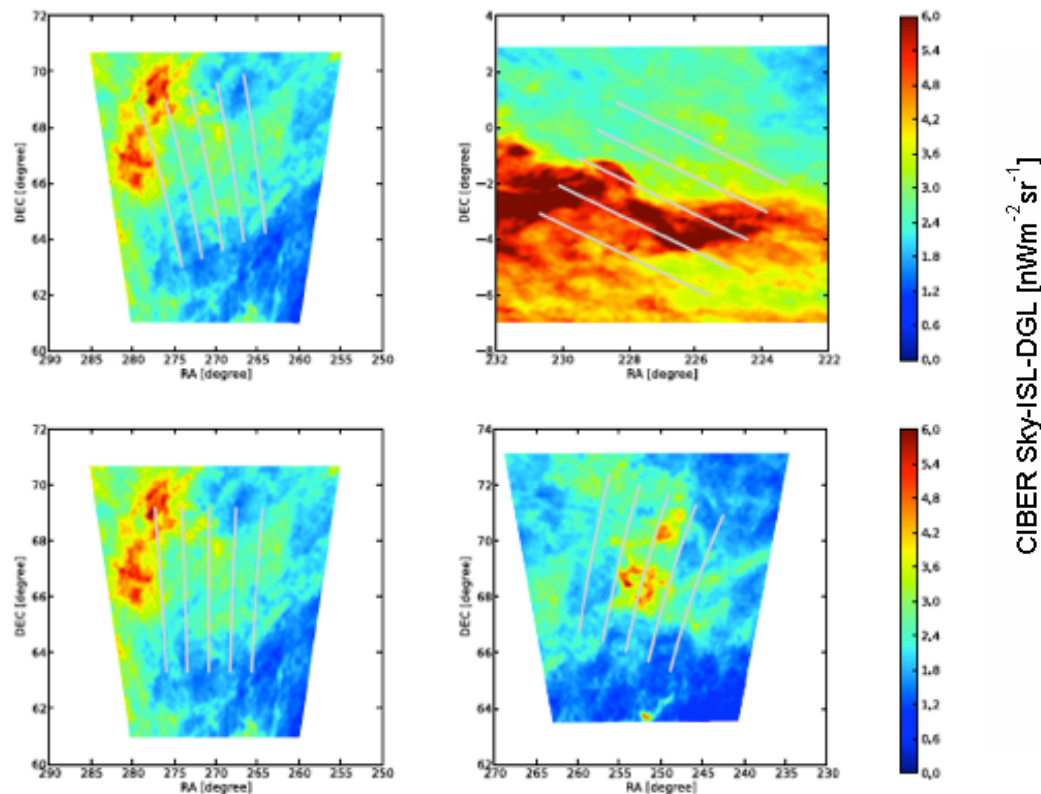
星の重ね合わせ (ISL)

銀河系拡散光 (DGL)



銀河系内前景放射の差引

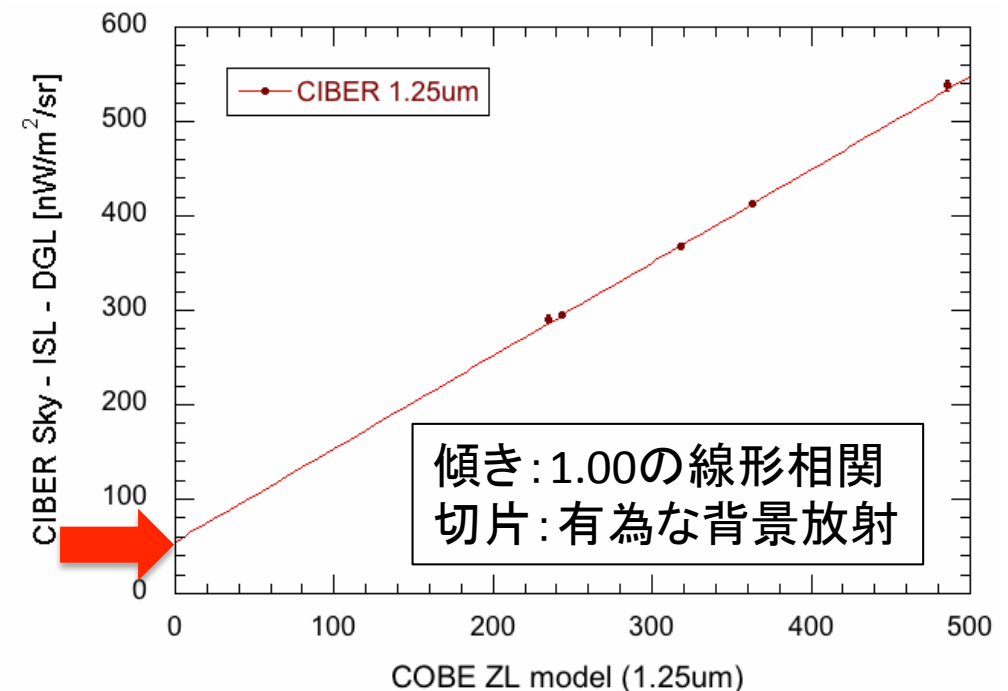
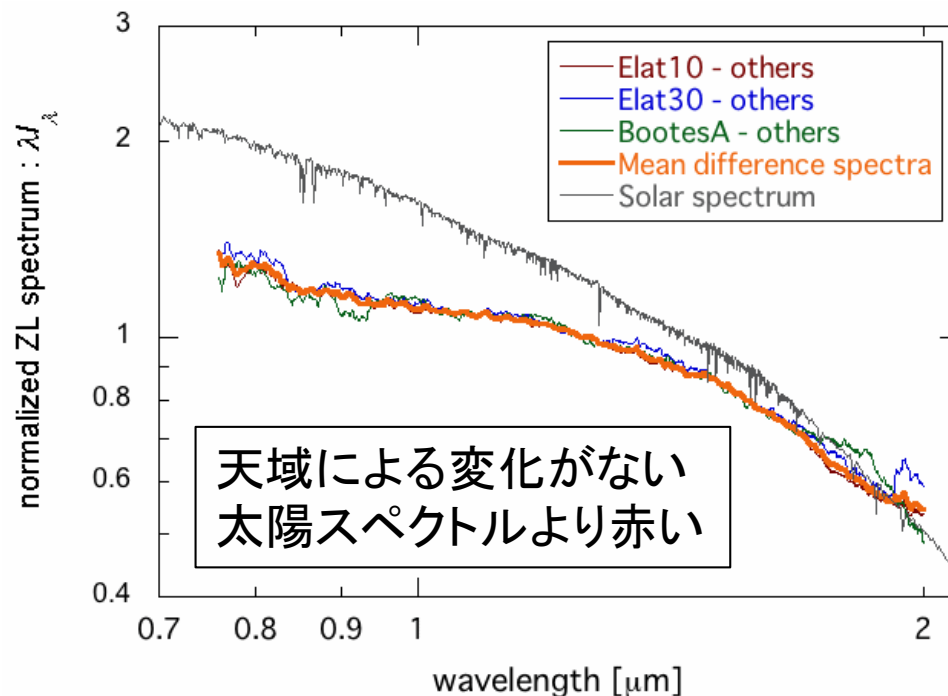
- 星の重ね合わせ — 赤外線星カタログから推定
 - 銀河系拡散光 — 銀河系ダスト熱赤外放射との相関から推定
- これらの差引誤差 (~10%) は結果にほとんど影響しない



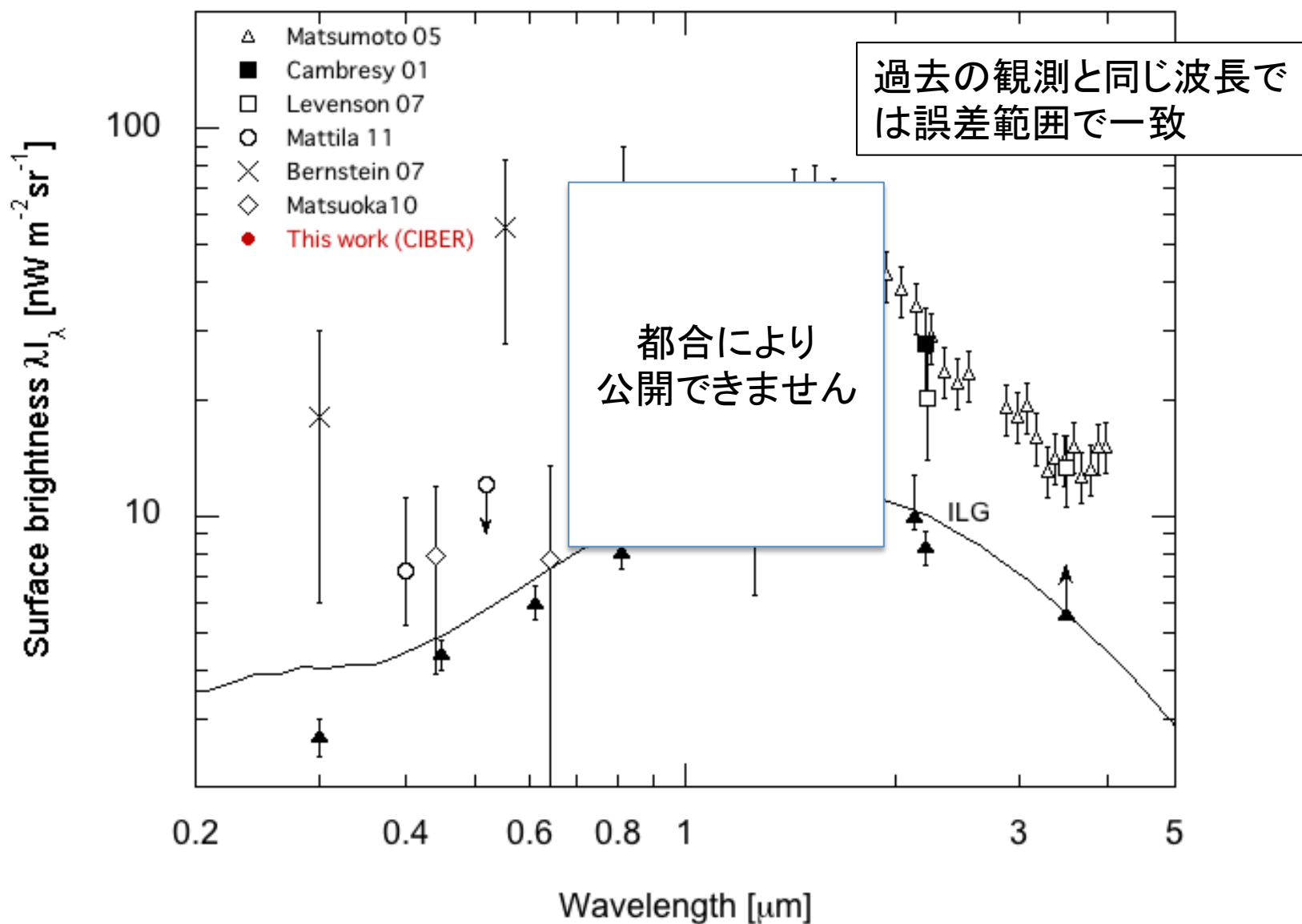
黄道光の差引

銀河系成分差引後のデータ = 黄道光 + 宇宙背景放射(一定)

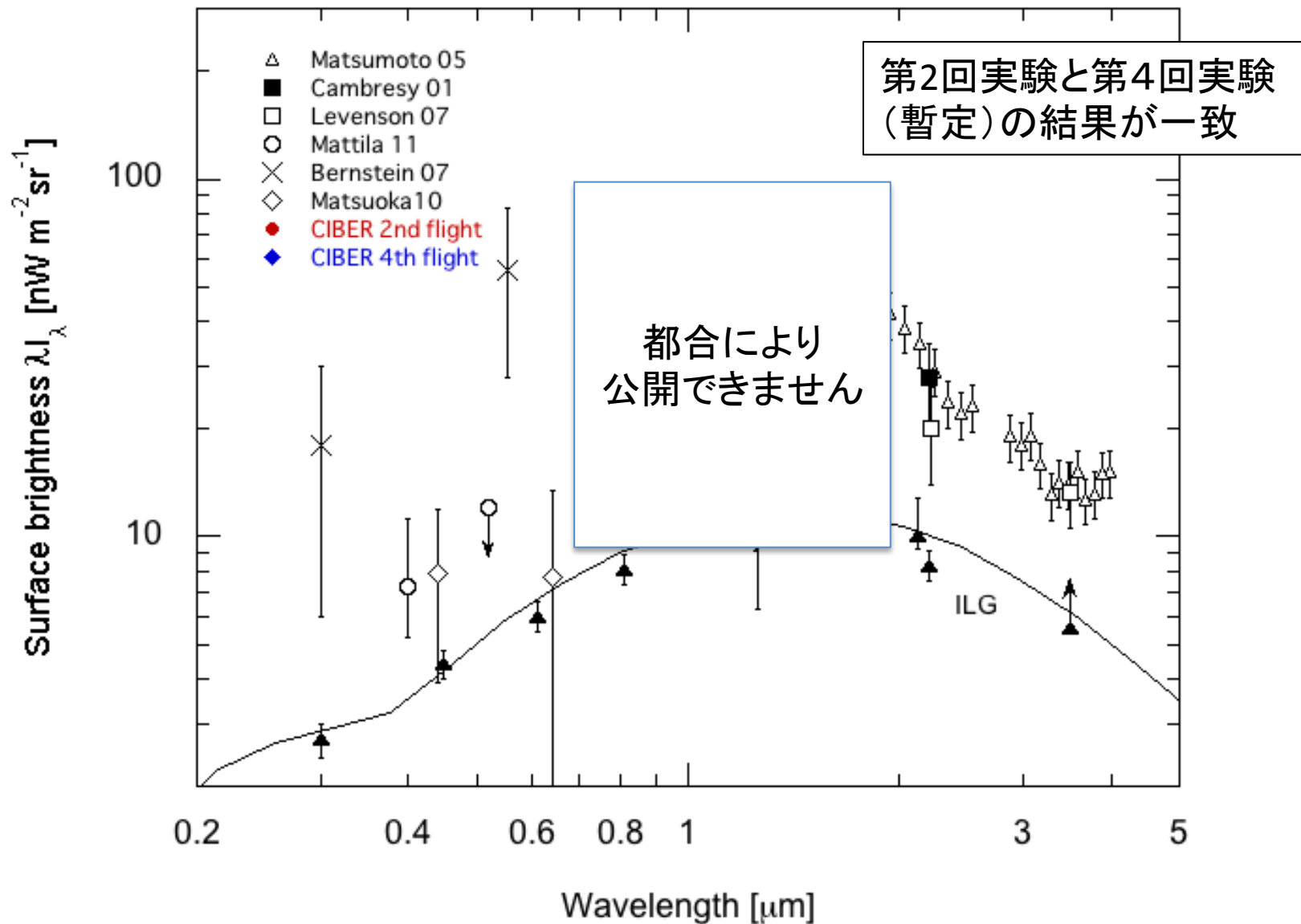
- 黄道光スペクトル形状 — 黄緯変化成分を差分により抽出
- 黄道光強度 — COBE全天データ(1.25 μ m)に基づくモデルとの空間相関
- 線形相関に有為な切片値 $\rightarrow$ 宇宙背景放射の検出
- 4回の実験ですべて同様な結果が得られた



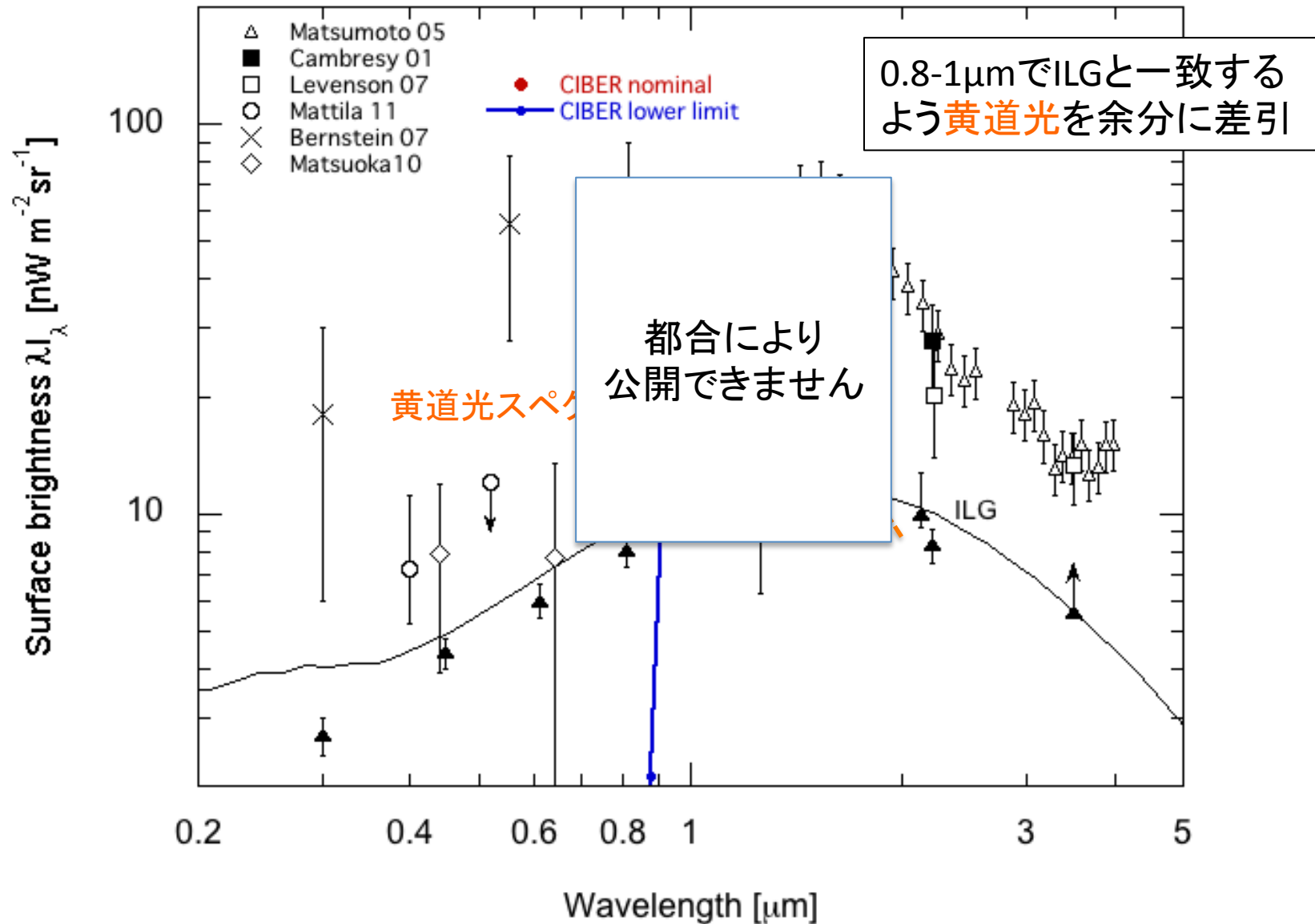
CIBERの観測結果 (Preliminary)



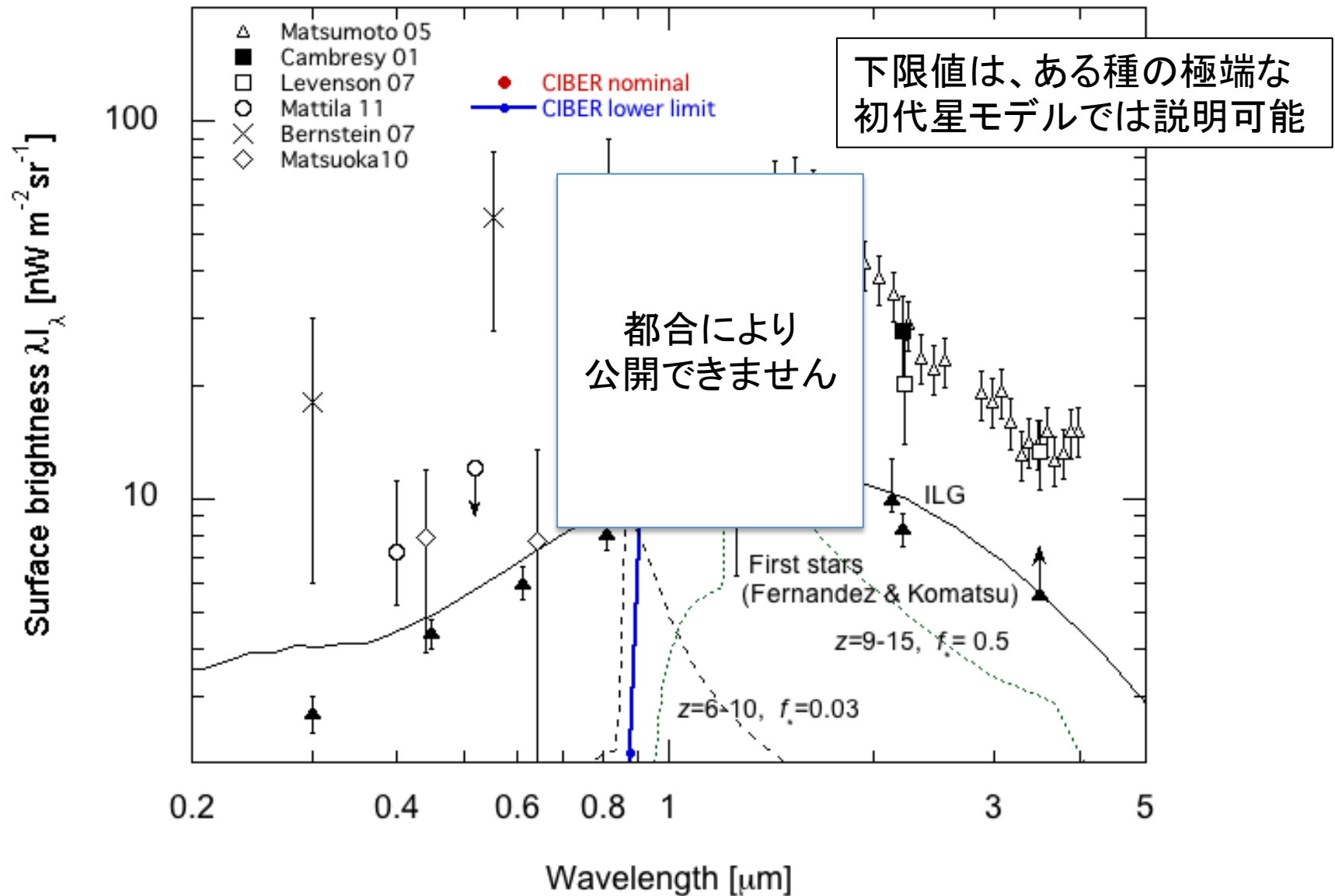
CIBERの観測結果（実験間の比較）



CIBERの観測結果(下限値)



CIBERの観測結果（初代星モデル比較）



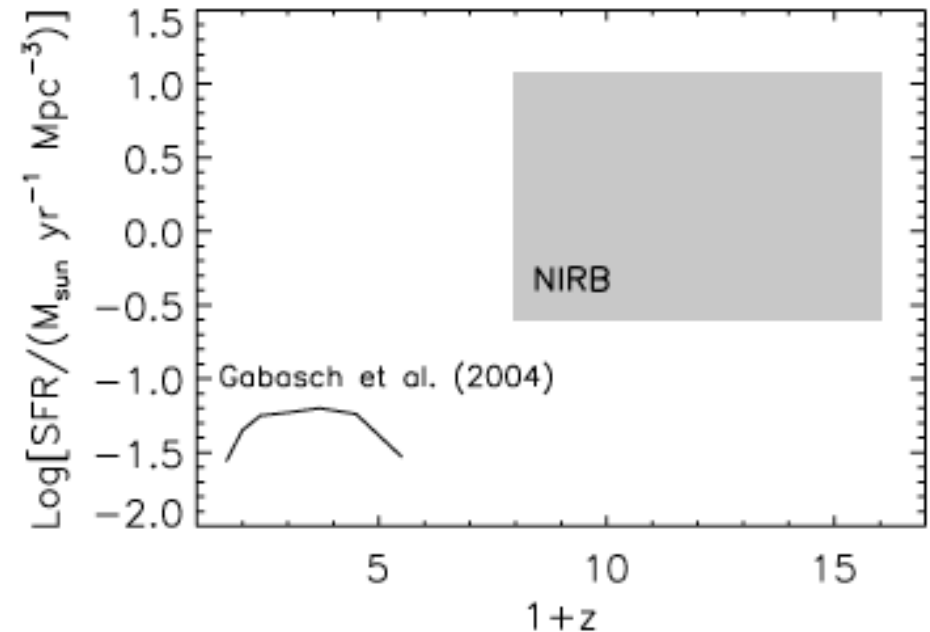
CIBERの観測結果の意味するところ

- CIBER背景放射超過成分
積分輝度 $I > 20 \text{ nW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$
- 星生成率 SFR (Salpeter IMF)

$$\rho_* \sim I / [10 \text{ nW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}] M_\odot \text{ yr}^{-1} \text{ Mpc}^{-3}$$

CIBERの結果:

- $\rho_* > 2 M_\odot/\text{yr}/\text{Mpc}^3$
- 既知の銀河SFRの10倍以上



Fernandez & Komatsu 2006

- 重元素生成量

$$\Delta X = 0.015 (1+z_e) (0.024 / \Omega_b h^2) (I / 100 \text{ nW m}^{-2} \text{ sr}^{-1})$$

CIBERの結果:

- 宇宙の全バリオンの3%以上が重元素に転化
- 過剰な重元素量生成 → BH? DM decay?

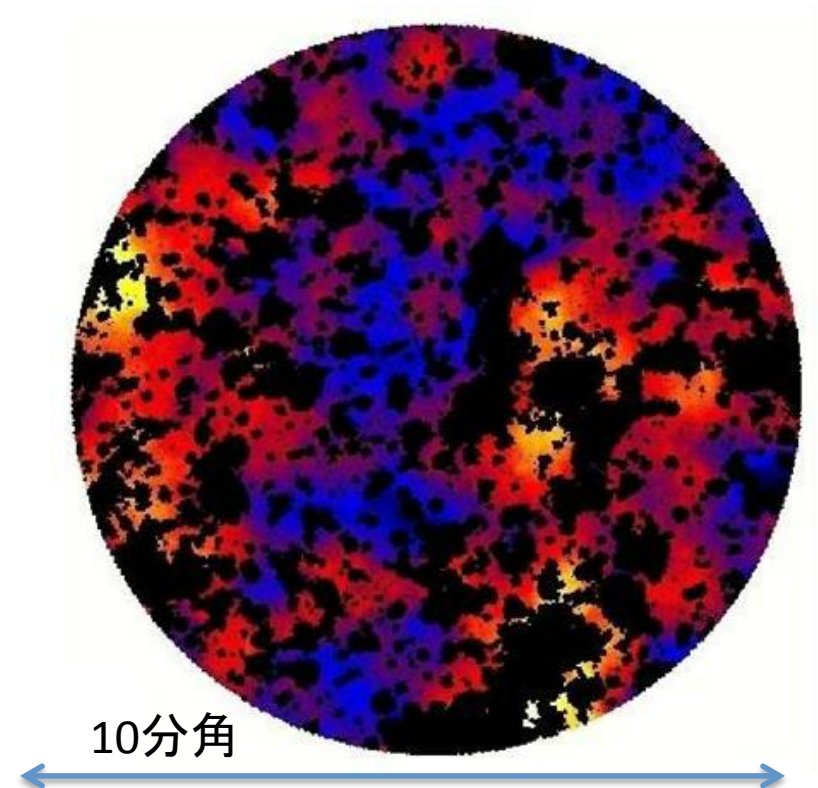
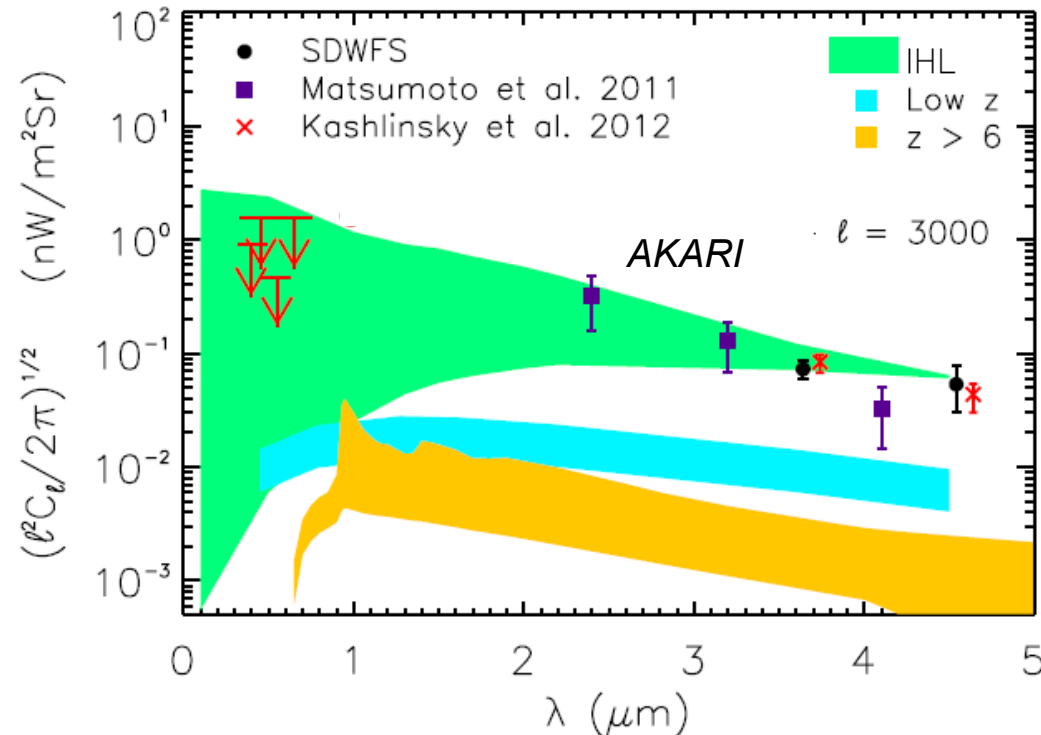
次なる目標は？

“「あかり」が捉えた宇宙最初の星の光” 2011年 報道発表

- 既知の天体で説明できない数分角スケールの大きなゆらぎ
- 初代星の解釈の検証には可視・近赤外域の観測が重要

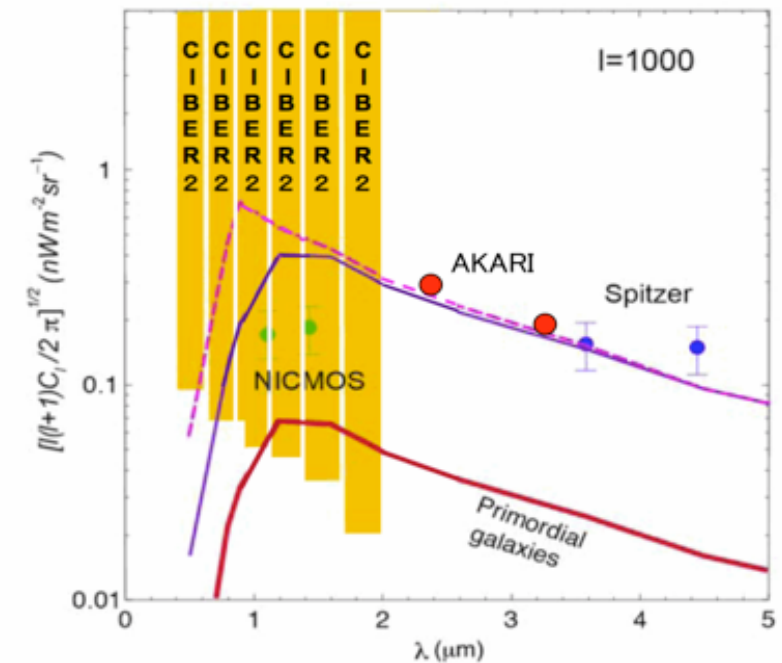
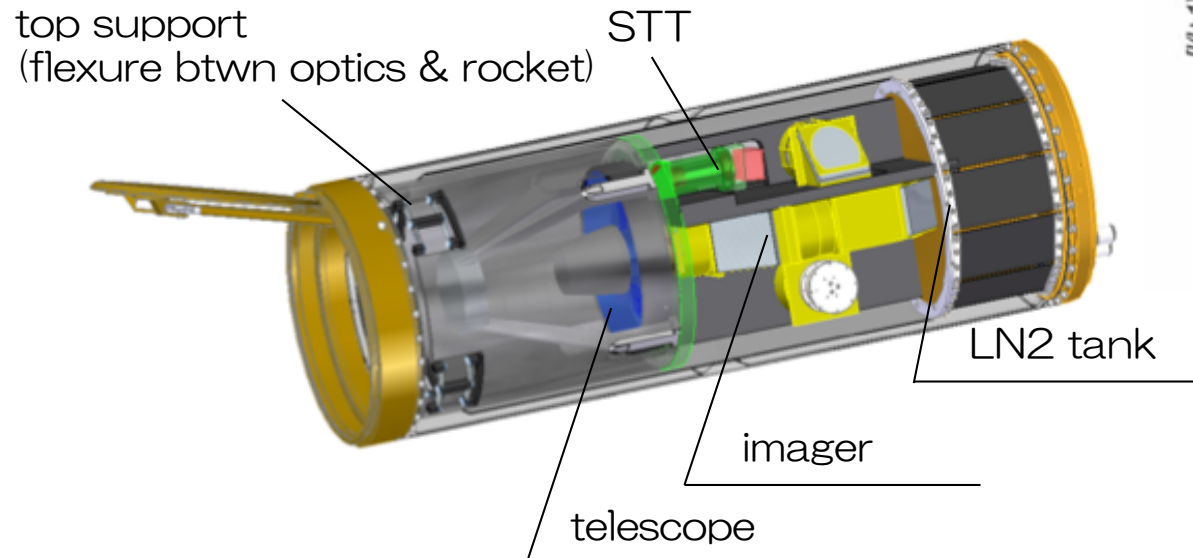
Intra Halo Light (IHL)

Cooray et al. Nature (2012)



次期ロケット実験 CIBER-2

- 30cm反射望遠鏡＋新検出器(H2RG)
- CIBERと同ロケットへ搭載
- 背景放射ゆらぎ、放射スペクトル
 - 可視0.5 μm まで波長カバー
 - CIBERの3倍高い空間分解能
 - CIBERの10倍高い検出感度



観測装置開発の現状

コンポーネント製作・試験

光学系 (ISAS, ASIAA)

- 反射望遠鏡の試作
- ビームスプリッタ試作
- レンズ光学系設計

検出器・エレクトロニクス (Caltech)

- 新検出器用ドライバ開発
- 性能評価試験

地上系 (KASI)

- GSEの設計・製作

2015年打上げ目標



おわりに

- CIBERロケット実験を4回にわたり実施
- 宇宙背景放射のスペクトルを複数回測定し、
超過成分の存在を示す重要な成果を得た
- CIBER-2によりさらに大きな成果を得る計画

追記

- 宇宙研の観測ロケットも利用したい
- 回収による複数回実験は重要
- 赤外觀測が回収可能なシステム開発の推進力となれば。。