

超小型衛星による

宇宙可視光背景放射観測ミッション

佐野 圭¹、中川 貴雄²、松原 英雄²、磯部 直樹²、
宮崎 康行²、松浦 周二³、津村 耕司⁴

¹九州工業大学、²JAXA、³関西学院大学、⁴東京都市大学

目次

研究背景：宇宙背景放射について

超小型衛星による観測提案

ミッション部とバス部の仕様案

検討状況と今後の開発計画

宇宙の歴史と宇宙背景放射

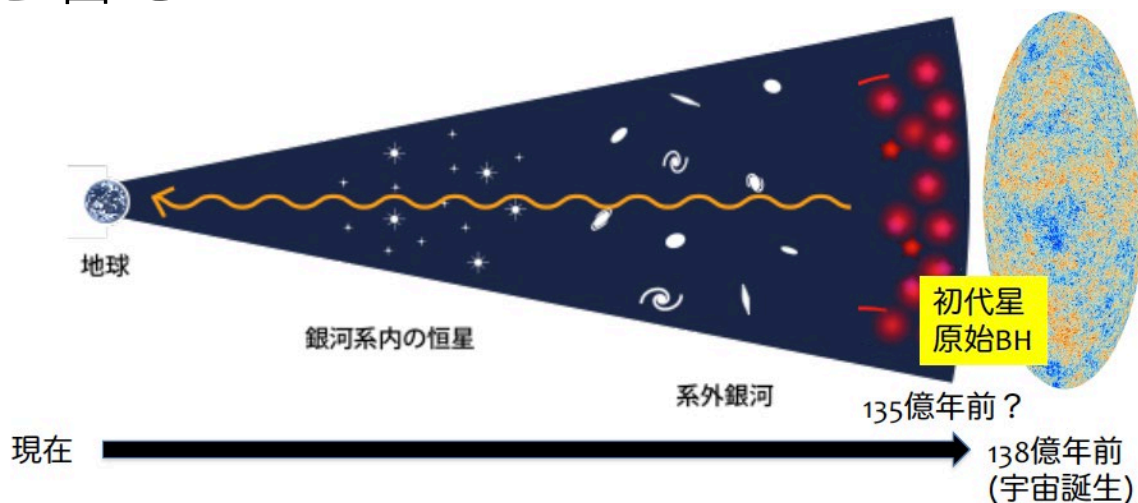
宇宙背景放射

- 宇宙初期から現在までに放出されたあらゆる放射の積算

可視光～赤外線宇宙背景放射

- 宇宙初期の天体やブラックホールなど未知天体からの放射を含む

→天体形成史を
解明するために
重要な観測量



宇宙背景放射の概念図

宇宙背景放射の観測

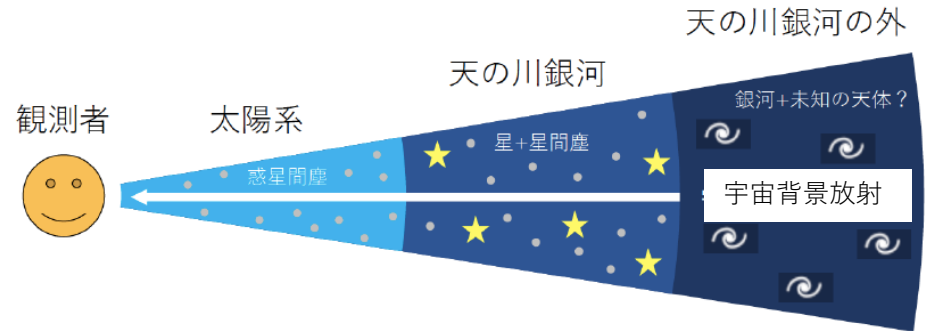
宇宙から飛来する放射：

地球大気放射

- + 太陽系内のダストからの放射（黄道光）
- + 銀河系内の放射
- + 宇宙背景放射

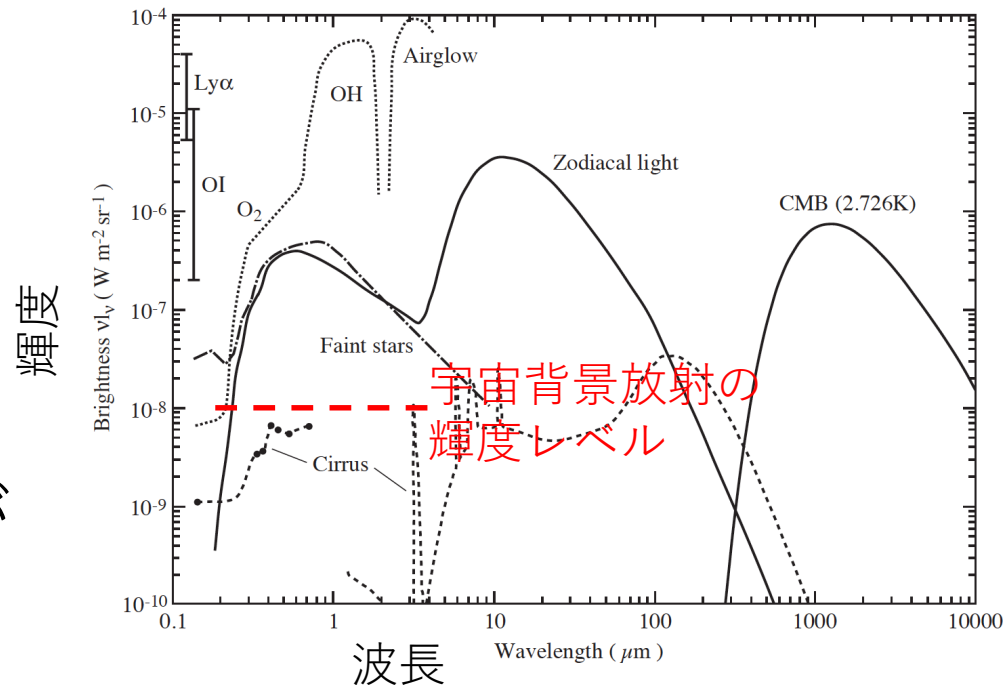
宇宙背景放射の測定

- 地球大気放射を避けるために宇宙からの観測が必須



宇宙から飛来する放射成分

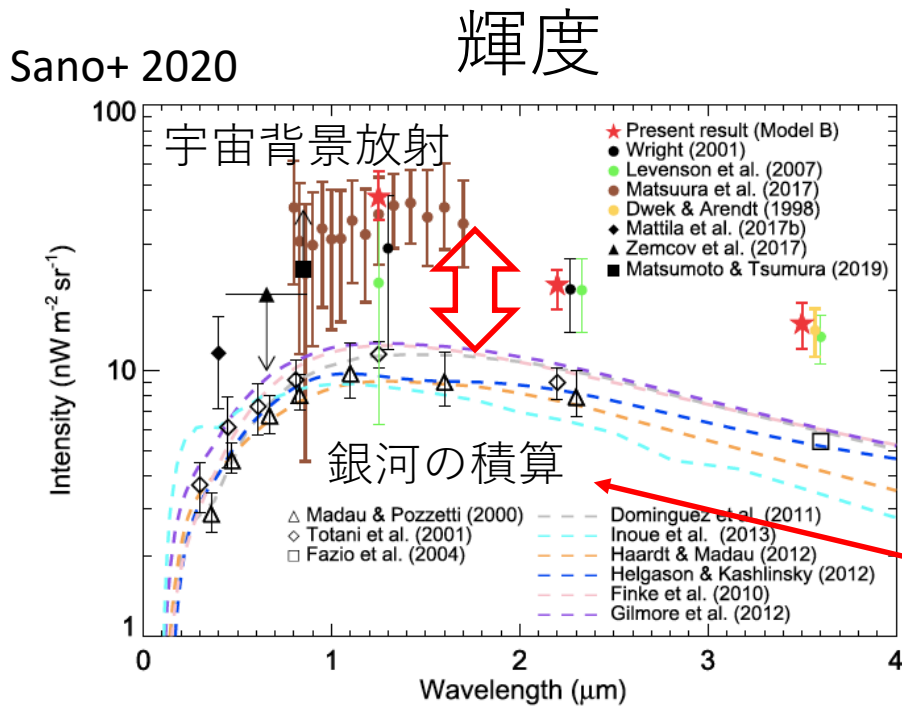
Leinert+ 1998



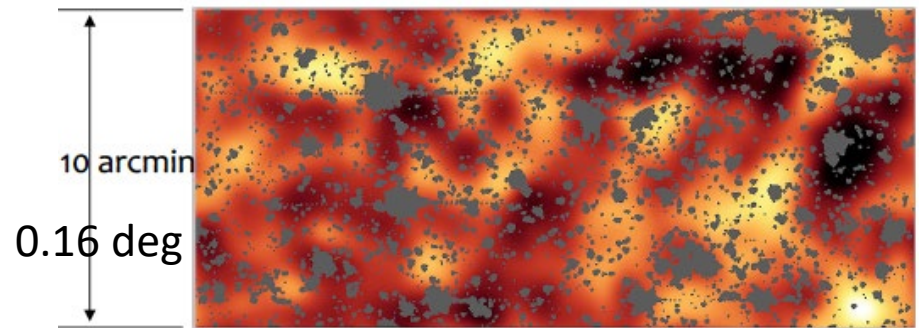
宇宙背景放射超過問題

これまでの宇宙背景放射の測定

- 近赤外線域において、系外銀河の積算を上回る輝度、大角度スケールのゆらぎを観測



輝度のゆらぎ



Kashlinsky et al. 2005, 2007



Hubble Ultra Deep Field

http://www.spacetelescope.org/science/deep_fields/

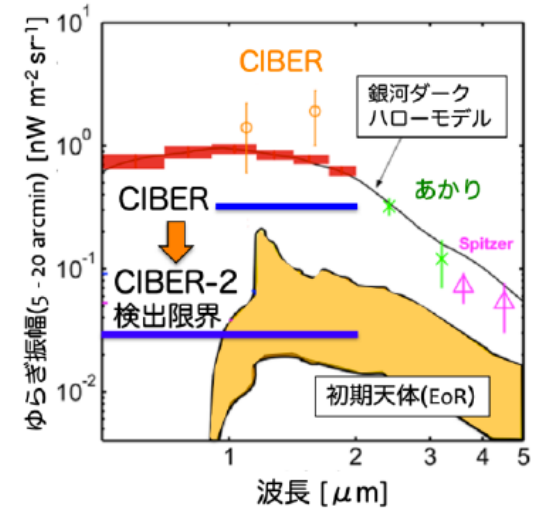
問題点：超過光の起源天体が不明

→ 解明する必要あり

ロケット観測実験CIBER-2

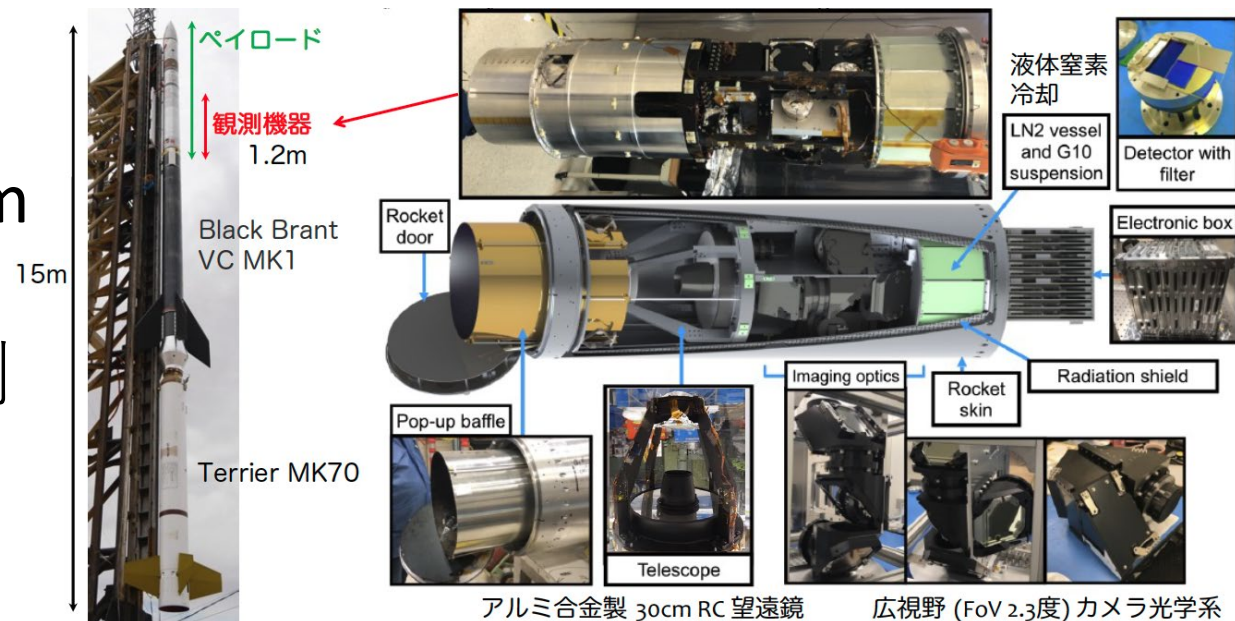
Cosmic Infrared Background Experiment 2 (CIBER-2)

- 可視光～近赤外線 ($0.5 \sim 2.0 \mu\text{m}$) の宇宙背景放射のスペクトルとゆらぎを観測し、その起源天体を解明 (ハロー星か初代天体か)



Shirahata+ 2016一部改変

- NASAの観測ロケットに口径30cm望遠鏡を搭載し、撮像および分光観測



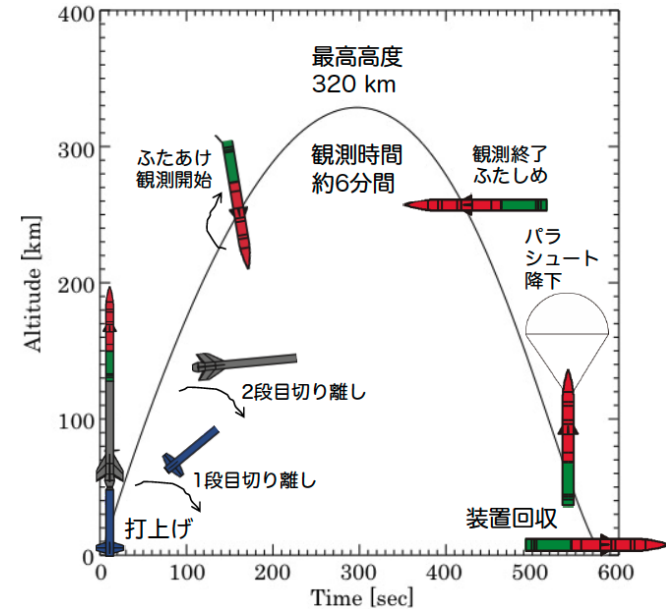
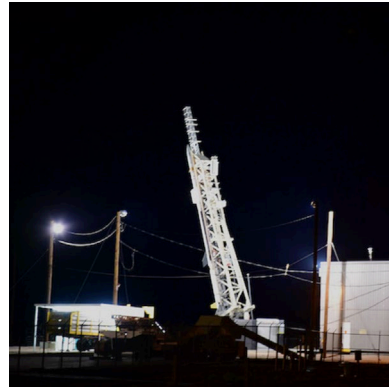
打ち上げと観測

2021年6月7日

第一回打ち上げ成功

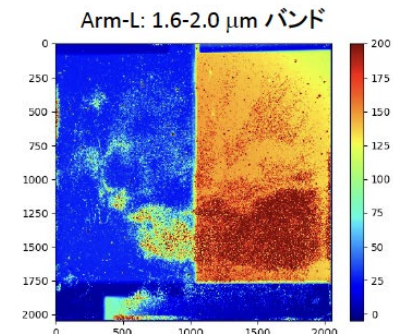
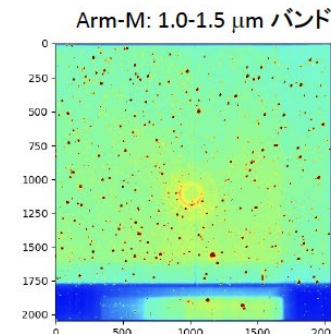
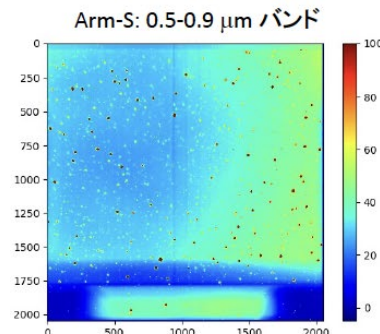
@米国ホワイトサンズ

- 全3波長帯でのデータ取得に成功
- 観測データの解析を実施中



観測シーケンス

- ・ 迷光混入などの不具合があったが、2回目の打ち上げでは改善予定。



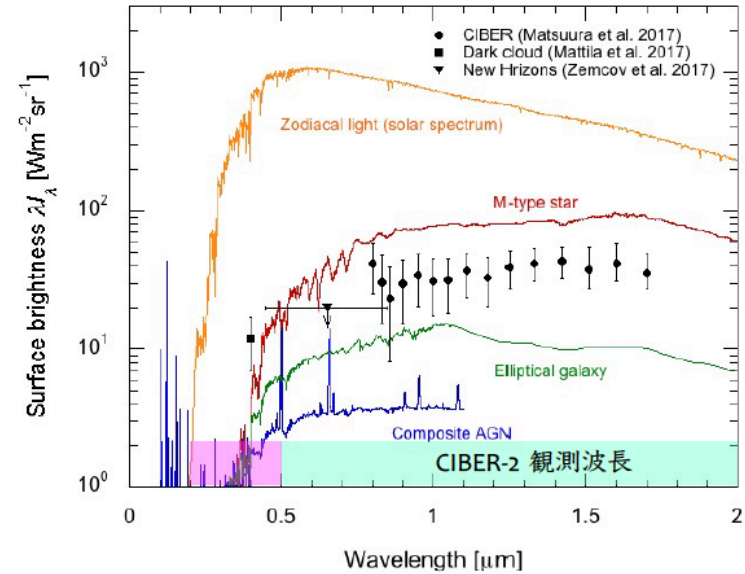
取得した画像データ

次代の宇宙背景放射観測

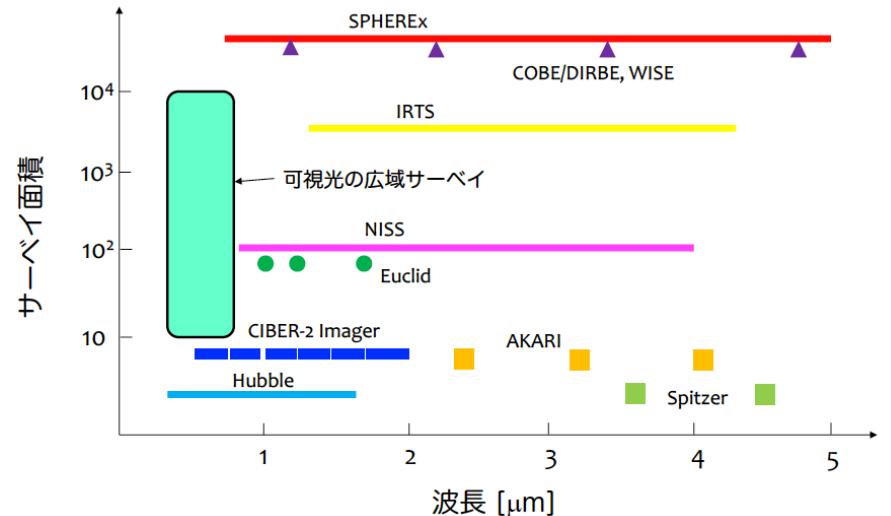
- ・ 観測波長域の拡大
 - スペクトル形状から起源天体を制約
- ・ 観測領域の拡大
 - 広天域におけるゆらぎ測定

→ 可視光波長 ($< 0.5 \mu\text{m}$)
での広域観測が重要

・ 世界的に唯一の
パラメータスペースでの
観測



可視光～近赤外線のスเปクトル



他天文プロジェクトの波長、サーベイ面積

超小型衛星の利用

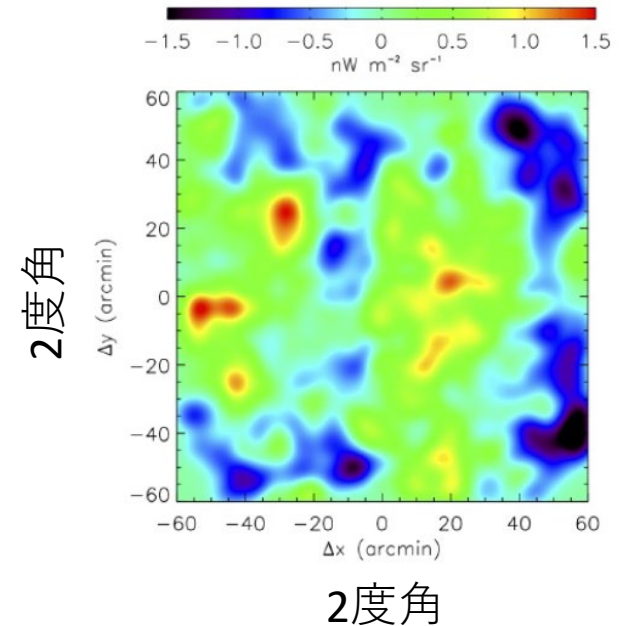
宇宙背景放射

- 空間的に広がった放射

→比較的小型の望遠鏡で観測可能

→個々の天体観測ほど高い

指向安定性は不必要



宇宙背景放射の観測例
(Zemcov et al. 2014)

可視光観測

- 赤外線観測に比べて、
観測装置の冷却条件は緩い。

・ 宇宙可視光背景放射観測

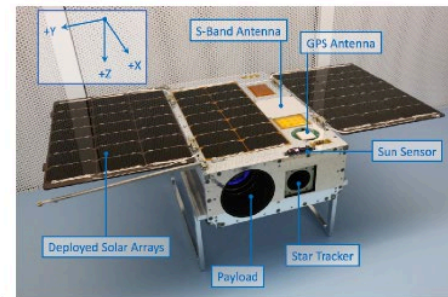
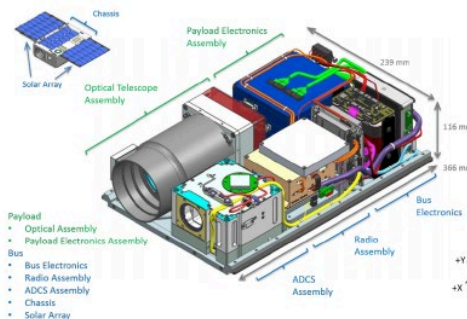
→超小型衛星の特性に合致し、早いスパンで実施したい。

衛星ミッション部の仕様案

衛星サイズ：6U
(ASTERIAを参考)

ミッション部：約3U
= 望遠鏡+検出器+電子回路

- 必要となるコンポーネント：
- ・ 広視野をカバーする光学系
 - ・ 暗電流が安定な検出器
 - ・ 検出器を約-20°Cに冷却する機構（ペルティエ素子を想定）
 - ・ 迷光除去機構



ASTERIA

<https://digitalcommons.usu.edu/smallsat/2018/all2018/255/>

本ミッション用望遠鏡の仕様（案）

項目	仕様
大きさ	3U (10 cm × 10 cm × 30 cm)
口径	6 cm
観測バンド数	4 (視野を田の字に4分割)
観測波長帯	400 - 900 nm を4分割
視野	1バンドあたり5度
検出器	Fairchild Imaging CIS2521
ピクセル数	2560 × 2160
ピクセルスケール	14 秒角

- 一部はCIBER-2等の開発実績を応用可

バス部の仕様案

姿勢系

- 絶対指向精度の要求は比較的緩い。
- 長時間露光～**100s**が必要となるため、ある程度の指向安定性が必要

案：

絶対指向精度 約**1度**

指向安定性 **7 秒角 (約0.5pixel scale)/分 (3 σ)**

通信系

- ダウンリンク時には数**Mbps**のデータレートが必要
- ・ 共通化バス構想の仕様とも合致 (中川氏講演)

宇宙背景放射の検出感度検討

仮定：

口径6cm望遠鏡+CMOSセンサー@波長0.5μm

宇宙背景放射観測における
 信号雑音比 (per pixel)
 (光子雑音による
 ポワソンノイズを仮定)

$$SNR = \frac{N_{EBL}}{\sqrt{N_{EBL} + N_{ZL} + N_D + N_R^2}}$$

黄道光、
 宇宙背景放射
 による光電子数

$$N_{ZL} = \eta I_{ZL} \Delta\lambda S \Omega Q T / h\nu$$

$$N_{EBL} = \eta I_{EBL} \Delta\lambda S \Omega Q T / h\nu$$

諸量	仮定値
光学効率η	0.6
波長λ	0.5 um
波長分解能Δλ	0.125 um
望遠鏡面積S	π(6cm/2) ²
ピクセル立体角Ω	4.6 × 10 ⁻⁹ sr (= 14秒角)
量子効率Q	0.8
暗電流D	0.1 e ⁻ /s
読み出し雑音N _R	2 e ⁻
黄道光輝度I _{ZL}	1000 nW/m ² /sr/um
宇宙背景放射輝度I _{EBL}	20 nW/m ² /sr/um

T: 積分時間

感度計算の結果

約**100**秒積分での雑音源
- 黄道光の光子雑音が卓越

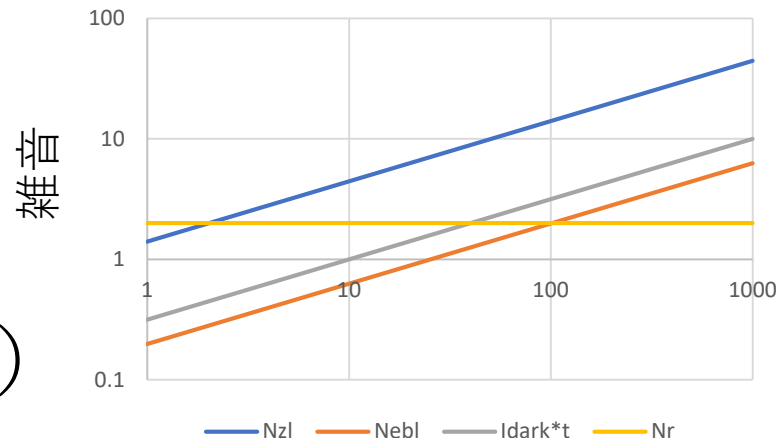
(検出器の読み出し雑音、
暗電流が十分小さいことが重要)

ピクセルビニングおよび
取得画像の足し合わせにより
十分なS/Nを期待

今後の検討課題

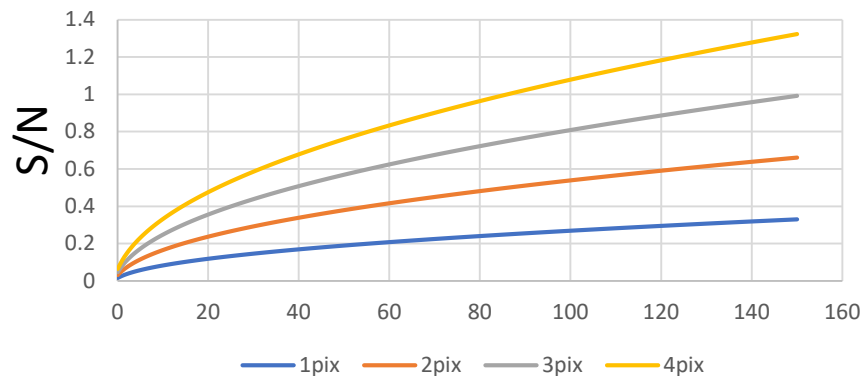
- 点源の検出感度
- 指向安定性の影響

雑音量の比較



積分時間 (s)

ピクセルビニングによるS/N向上



積分時間 (s)

今後の計画

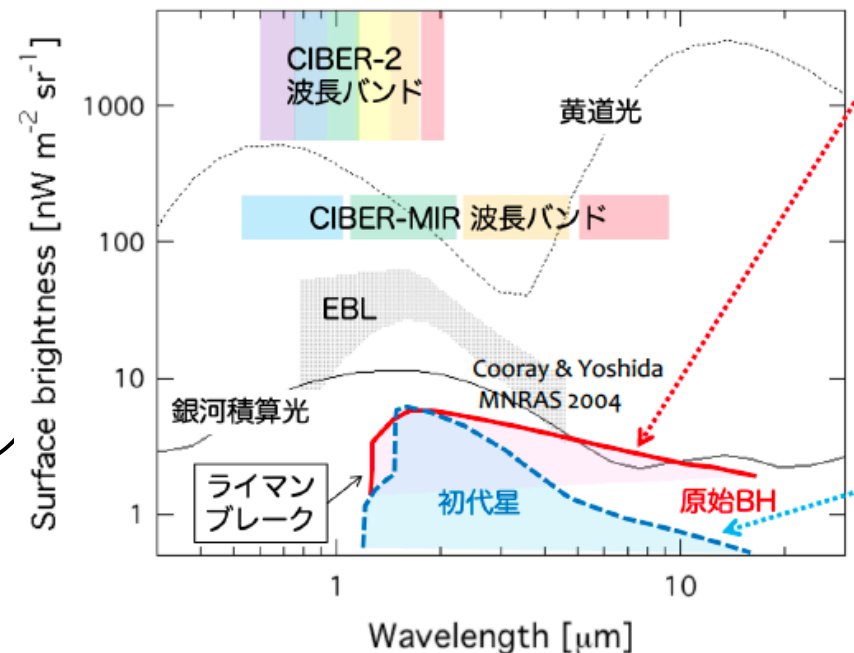
6U衛星開発のため、科研費基盤Sに申請中
- 5年程度での開発を想定

その後

→数十kg級衛星による
宇宙背景放射観測ミッションを構想

- 冷却系を装備し、
観測波長を中間赤外線
($\sim 8\mu\text{m}$) まで拡張

→宇宙背景放射に含まれる
初代星、原始ブラックホール
からの放射を測定



まとめ

宇宙の初期から現在までの星形成史解明を
目的として、超小型衛星による
宇宙可視光背景放射の観測を検討

宇宙可視光背景放射の観測は、6U衛星で
実現可能性が高く、超小型衛星の特性に
合致した科学ミッション

将来的には、6Uから数10kg級衛星に発展させ、
超小型衛星による宇宙背景放射科学の開拓を狙う。