

# 第11回 可視赤外線観測装置技術ワークショップ 2022

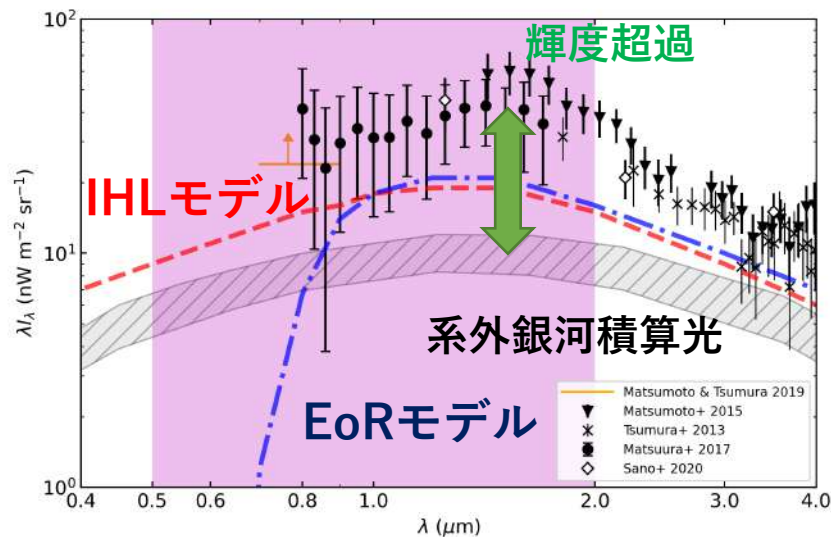
## 可視光・近赤外線における 宇宙背景放射観測ロケット実験CIBER-2 ~初回打ち上げ成功から1年半~

**瀧本幸司**, 佐野圭(九州工業大学), 松浦周二, 橋本遼, 河野有哉, 松見知香,  
中川智矢, 高濱伶緒, 中畑秀太(関西学院大学), 津村耕司(東京都市大学),  
Michael Zemcov(RIT), James Bock(Caltech/JPL), Daehee Lee(KASI),  
Shiang-Yu Wang(ASIAA), ほかCIBER-2チーム

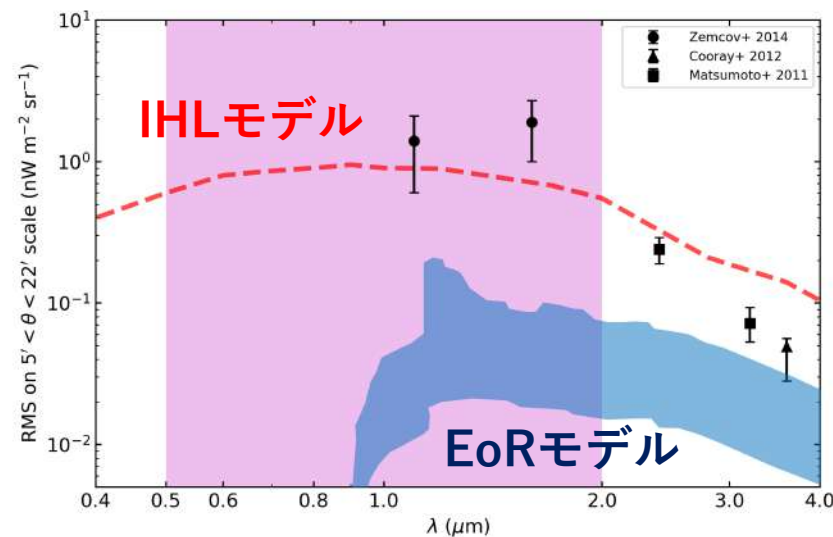
# 目的：宇宙赤外線背景放射の起源解明

- EBL(Extragalactic Background Light)：銀河系外から飛来する放射の積算
- これまでの近赤外EBL観測から、系外銀河以外の未知天体による放射が示唆
- 近赤外に加えて可視光のEBLを観測 → モデルを制約し、未知天体を解明
- CIBER-2 (Cosmic Infrared Background Experiment 2)を始動\*

\*第4回WS 白旗  
第6回WS 児島  
第7回WS 児島, 瀧本  
第10回WS 河野



EBL輝度



EBL揺らぎ振幅



銀河ハロー浮遊星(Intra-Halo Light)

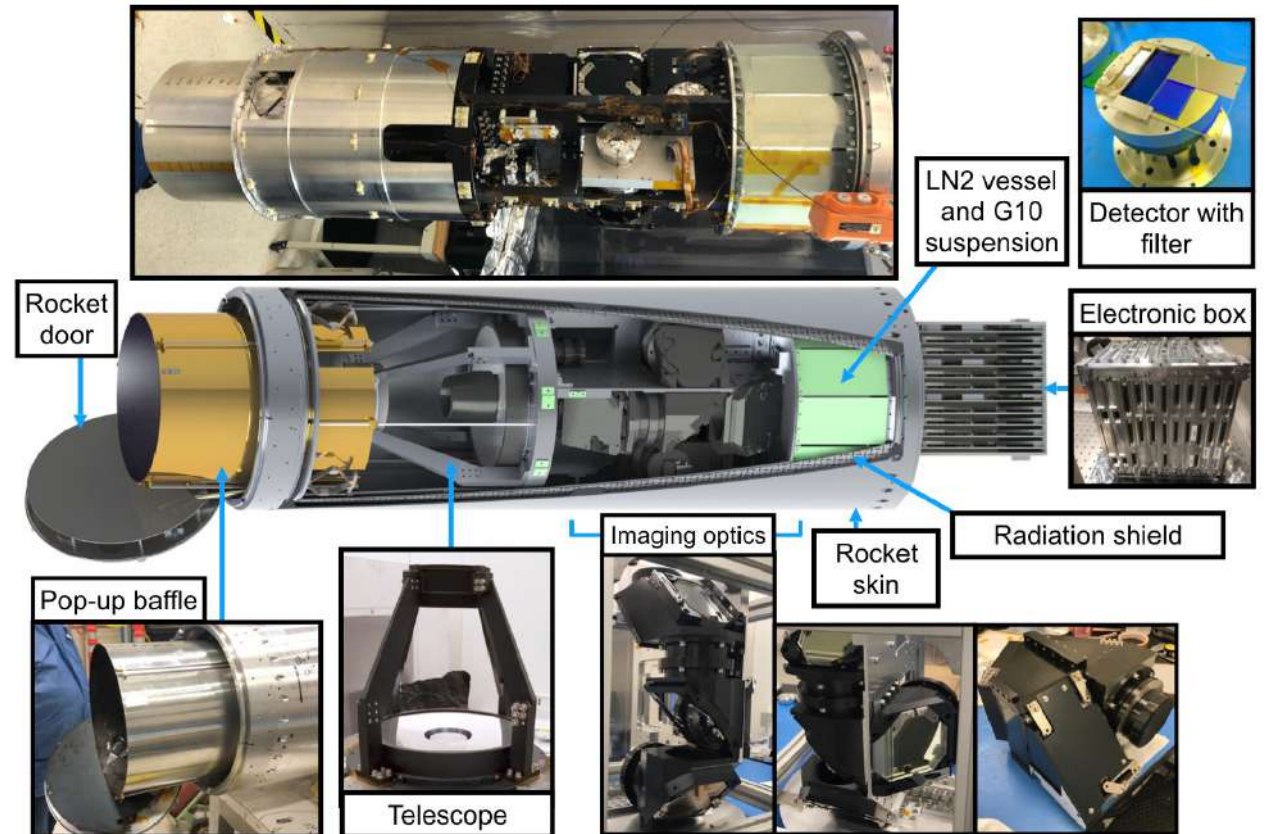
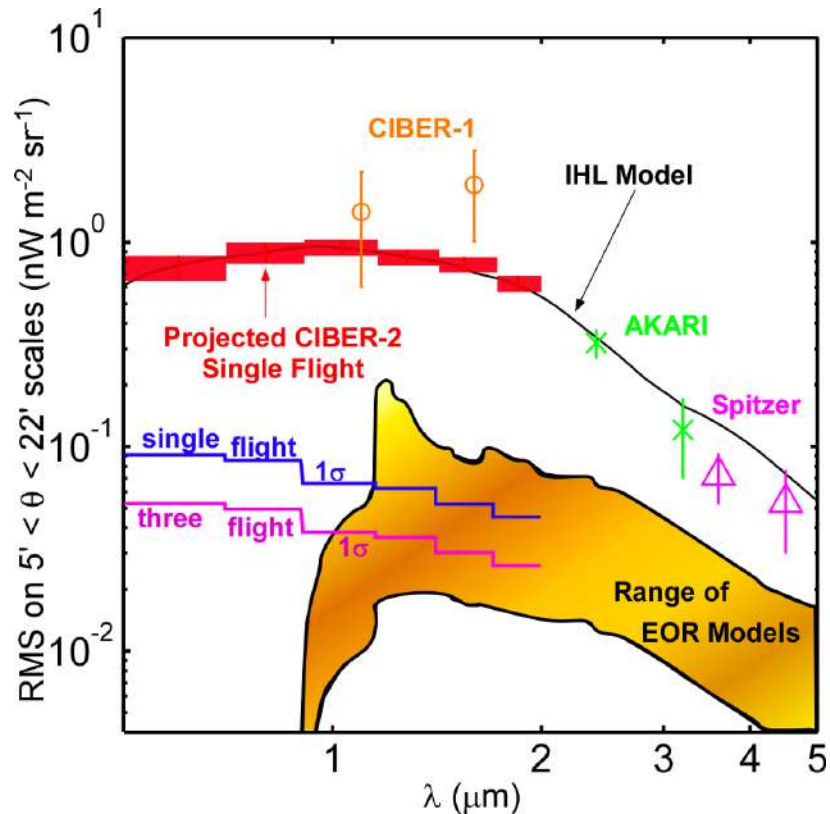


再電離期(EoR)の初代天体



# 観測ロケット実験CIBER-2

- 日米韓台の国際共同実験(NASA観測ロケットプログラム)
- 波長0.5-2.0  $\mu\text{m}$ で広視野撮像(EBL空間揺らぎ)&分光観測(EBLスペクトル)
- CIBER-1の10倍高い検出感度

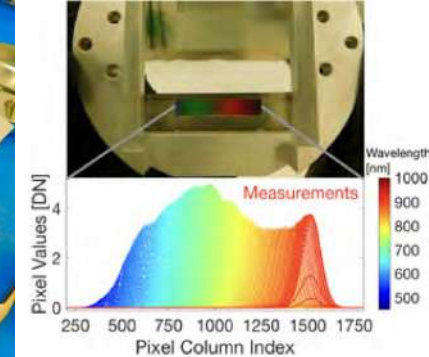
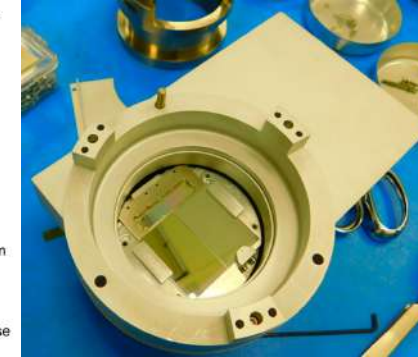
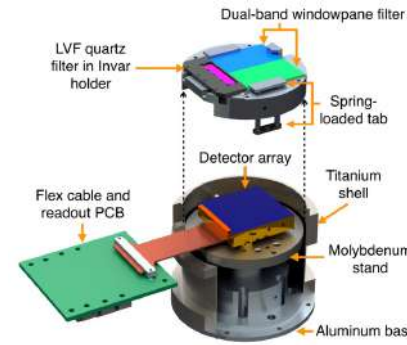


# CIBER-2観測装置概要

第11回 可視赤外線観測装置WS 2022

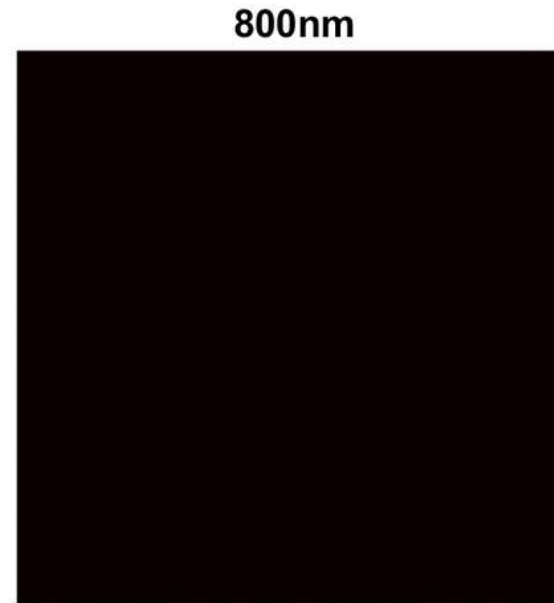
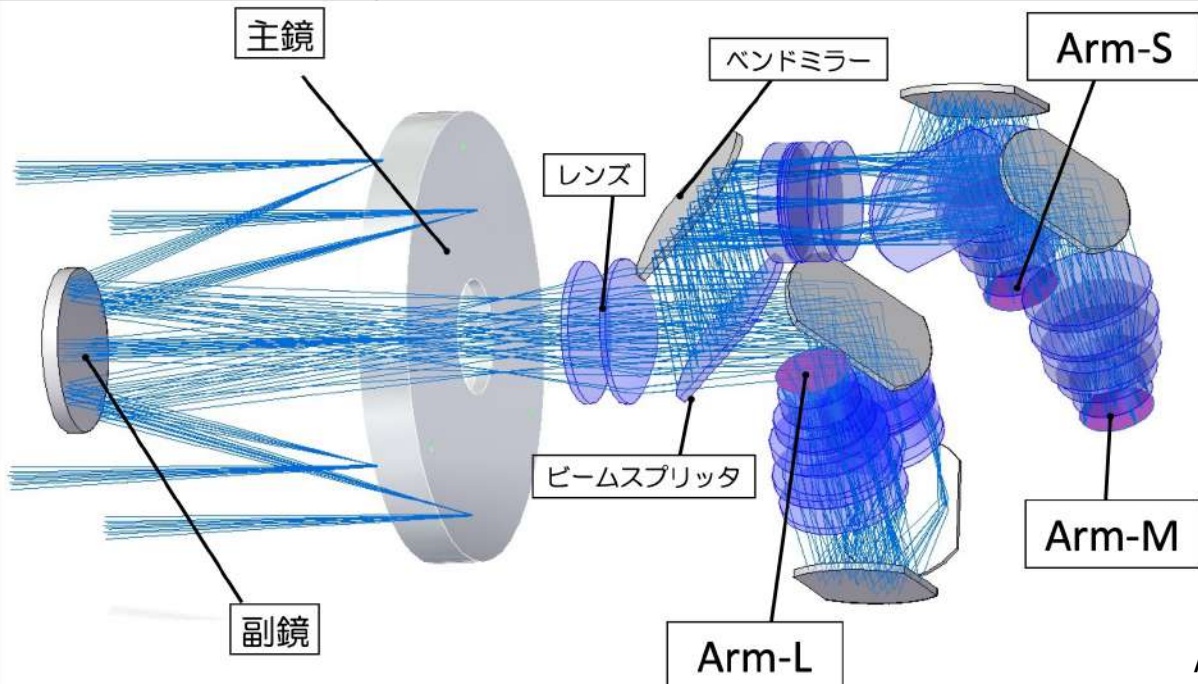
4

望遠鏡口径	$\phi$ 28.5 cm
レンズ系	非球面を含む15枚
視野角	$2.3^\circ \times 2.3^\circ$
測光バンド	0.5~2.0 $\mu\text{m}$ (6バンド)
分光手法	Linear Variable Filter(LVF)
分解能	R~20

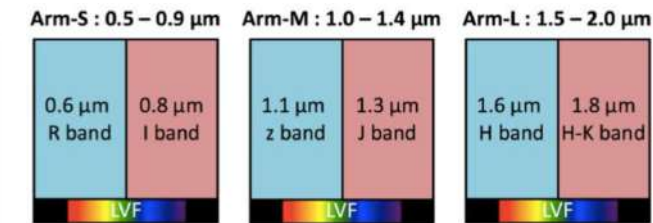


HgCdTe検出器: Hawaii-2RG

LVF



Arm-Mのモノクロメータスキャン



撮像・分光  
同時観測

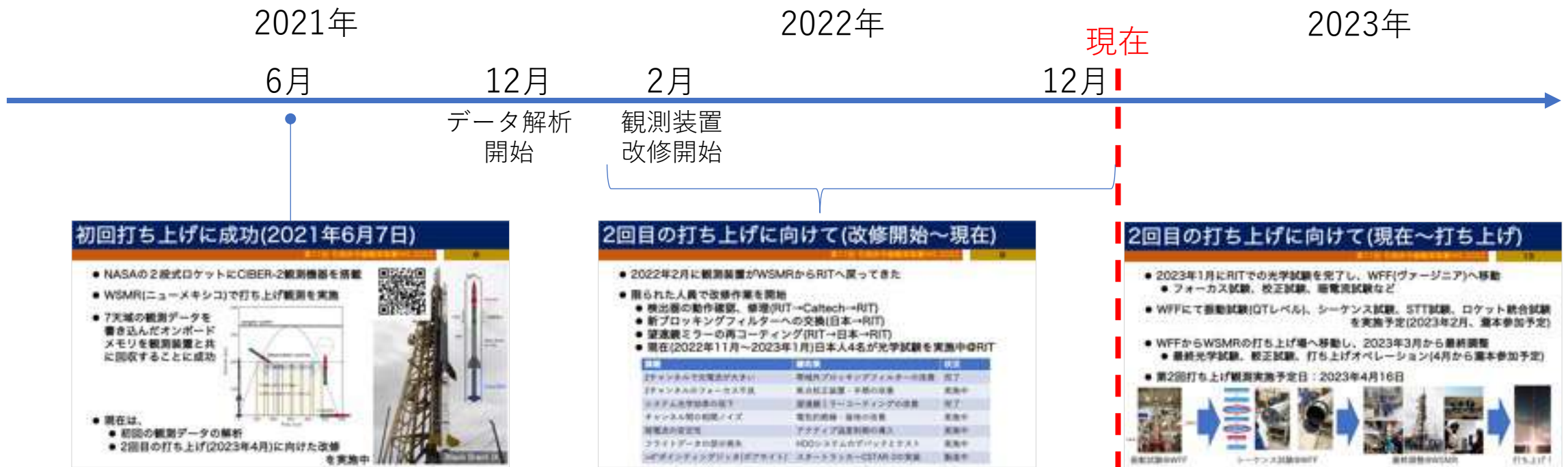


# CIBRE-2プロジェクト進捗状況

第11回 可視赤外線観測装置WS 2022

5

- 初回打ち上げ観測を実施(2021年6月)
- データ解析の結果をもとに観測装置の改修&試験を実施中
- 2回目の打ち上げを2023年4月に実施予定

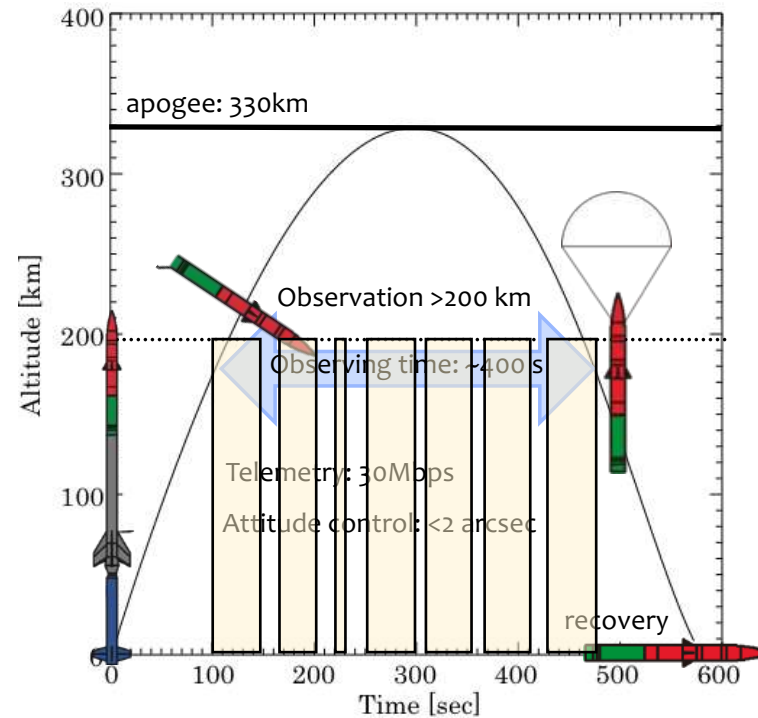


# 初回打ち上げに成功(2021年6月7日)

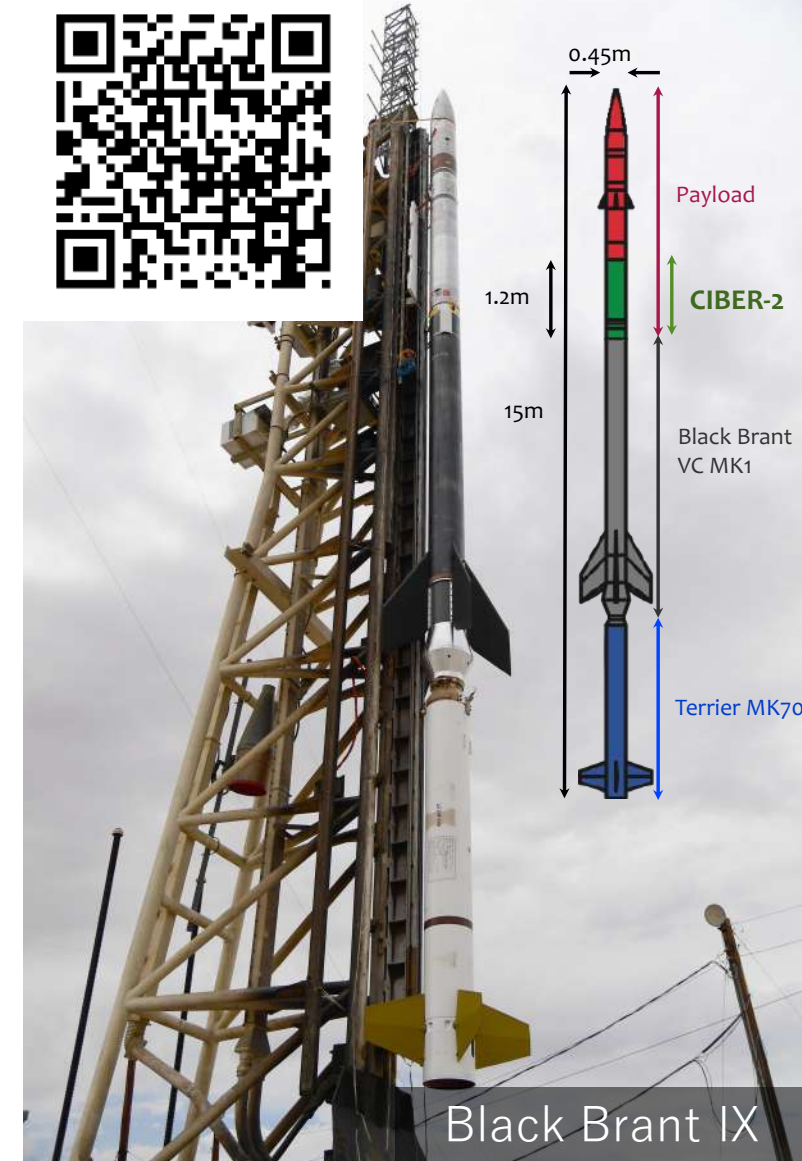
第11回 可視赤外線観測装置WS 2022

6

- NASAの2段式ロケットにCIBER-2観測機器を搭載
- WSMR(ニューメキシコ)で打ち上げ観測を実施
- 7天域の観測データを書き込んだオンボードメモリを観測装置と共に回収することに成功



- 現在は、
  - 初回の観測データの解析
  - 2回目の打ち上げ(2023年4月)に向けた改修を実施中



# 初回打ち上げに成功(2021年6月7日)

第11回 可視赤外線観測装置WS 2022

6.5

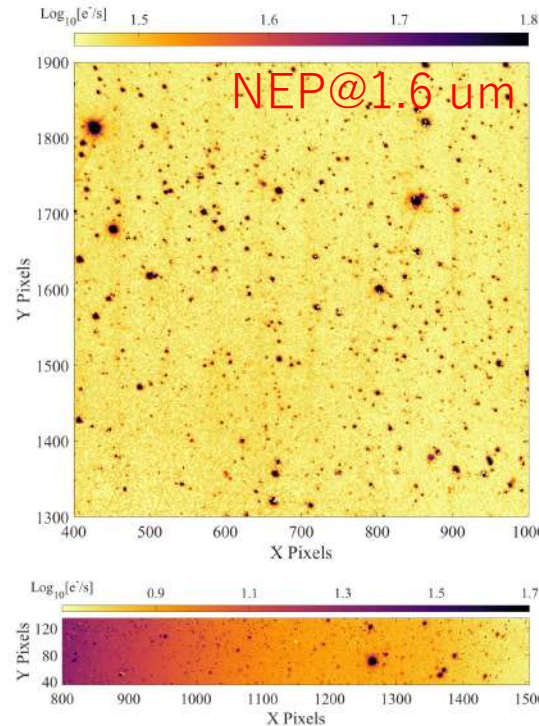
- 日本人チームはコロナの影響で初回打ち上げに現地参加できず
- 観測後パラシュートを展開し、ヘリコプターで回収作業を行なった(WSMRは軍人基地なので、米国人のみ回収に参加できる)



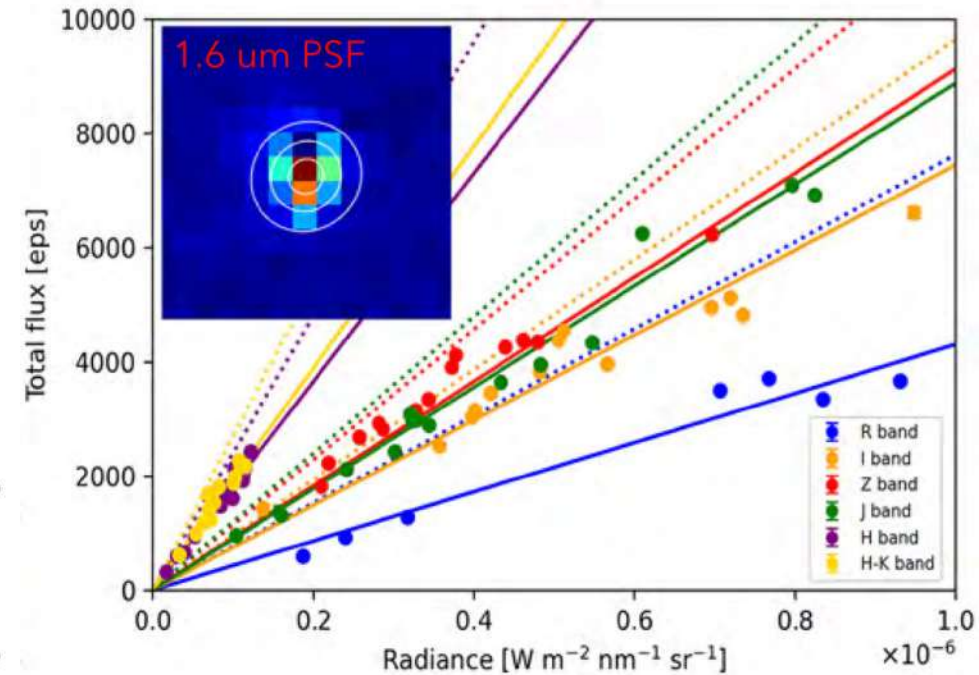


# 初回打ち上げデータから分かったこと

- 観測は“工学的”には成功
  - 7つの天体目標を捕捉
  - ポインティング制御
  - 全イベント正常に受信
  - 展開系も意図的に動作
  - メモリ無傷で回収
- 1つのチャンネルは良好な
  - 光学性能
  - ポインティング性能
  - 感度性能
- 2チャンネルは科学的品質のベンチマークを満たさず



フライト画像の一部  
(上：WPF、下：LVF)



表面輝度への変換係数  
(丸点：星による校正、点線：理論値)



# 初回打ち上げデータから分かったこと

第11回 可視赤外線観測装置WS 2022

8

- 2チャンネルは科学的品質のベンチマークを満たさず
  - 大きな拡散光電流が観測(バンド外のリーク、迷光、返り光、漏れ光)
  - 焦点ズレにより像サイズ~3倍(パンデミックの影響で調整の猶予なかった)
- 他にも全てのチャンネルについて
  - システム光学効率が低下(望遠鏡ミラーの劣化)
  - チャンネル間の相関ノイズ
  - 暗電流の安定性
  - フライトデータの一部が欠損
- とはいえ、良質なデータは取れているので
  - 黄道光のスペクトル測定
  - 1チャンネルとCIBER-1のクロスパワースペクトルについて今後発表できると考えています！



2023年6月の渡航時の主鏡  
(撮影：瀧本)

# 2回目の打ち上げに向けて(改修開始～現在)

第11回 可視赤外線観測装置WS 2022

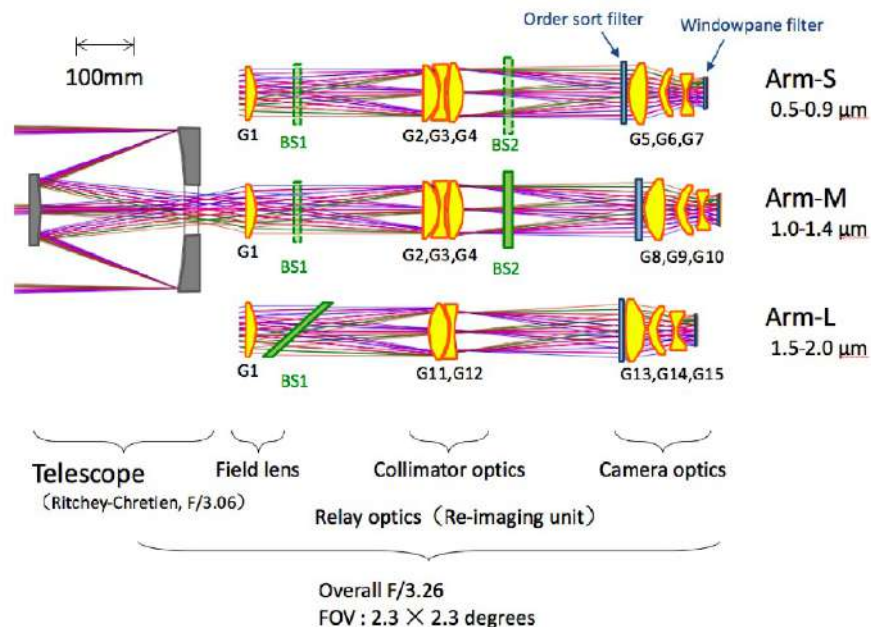
9

- 2022年2月に観測装置がWSMRからRITへ戻ってきた
- 限られた人員で改修作業を開始
  - 検出器の動作確認、修理(RIT→Caltech→RIT)
  - 新ブロッキングフィルターへの交換(日本→RIT)
  - 望遠鏡ミラーの再コーティング(RIT→日本→RIT)
  - 現在(2022年11月～2023年1月)日本人4名が光学試験を実施中@RIT

課題	緩和策	状況
2チャンネルで光電流が大きい	帯域外ブロッキングフィルターの改善	完了
2チャンネルのフォーカス不良	焦点校正装置・手順の改善	実施中
システム光学効率の低下	望遠鏡ミラーコーティングの改善	完了
チャンネル間の相関ノイズ	電氣的絶縁・接地の改善	実施中
暗電流の安定性	アクティブ温度制御の導入	実施中
フライトデータの部分喪失	HDDシステムのデバックとテスト	実施中
>4"ポインティングジッタ(ボアサイト)	スタートラッカーCSTAR-2の実装	製造中

# 2回目の打ち上げに向けて(改修開始～現在)

- 2022年2月に観測装置がWSMRからRITへ戻ってきた
- 限られた人員で改修作業を開始
  - 検出器の動作確認、修理(RIT→Caltech→RIT)
  - **新ブロッキングフィルターへの交換(日本→RIT)**
  - 望遠鏡ミラーの再コーティング(RIT→日本→RIT)
  - 現在(2022年11月～2023年1月)日本人4名が光学試験を実施中@RIT



フィルター交換の様子(2023年6月実施：瀧本)



# 2回目の打ち上げに向けて(改修開始～現在)

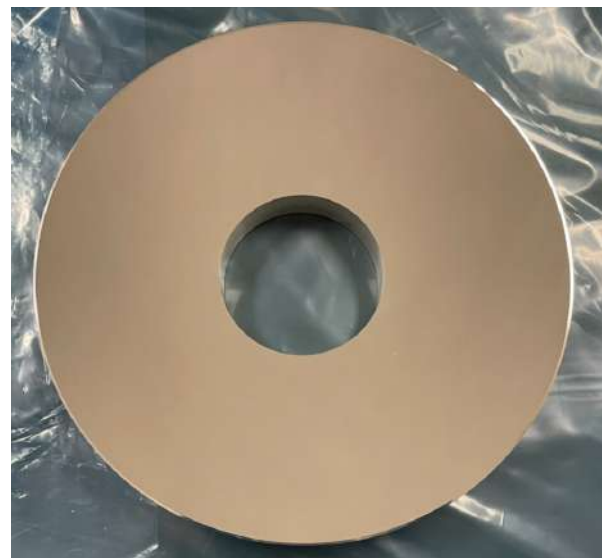
第11回 可視赤外線観測装置WS 2022

11

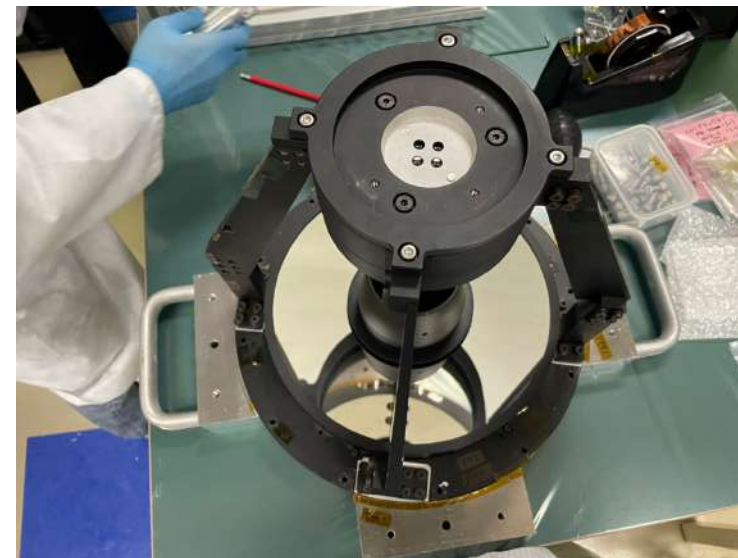
- 2022年2月に観測装置がWSMRからRITへ戻ってきた
- 限られた人員で改修作業を開始
  - 検出器の動作確認、修理(RIT→Caltech→RIT)
  - 新ブロッキングフィルターへの交換(日本→RIT)
  - **望遠鏡ミラーの再コーティング(RIT→日本→RIT)**
  - 現在(2022年11月～2023年1月)日本人4名が光学試験を実施中@RIT



主鏡(再コーティング前)



主鏡(再コーティング後)



新ミラー組み立て・試験(2023年10, 11月: 瀧本+関学)

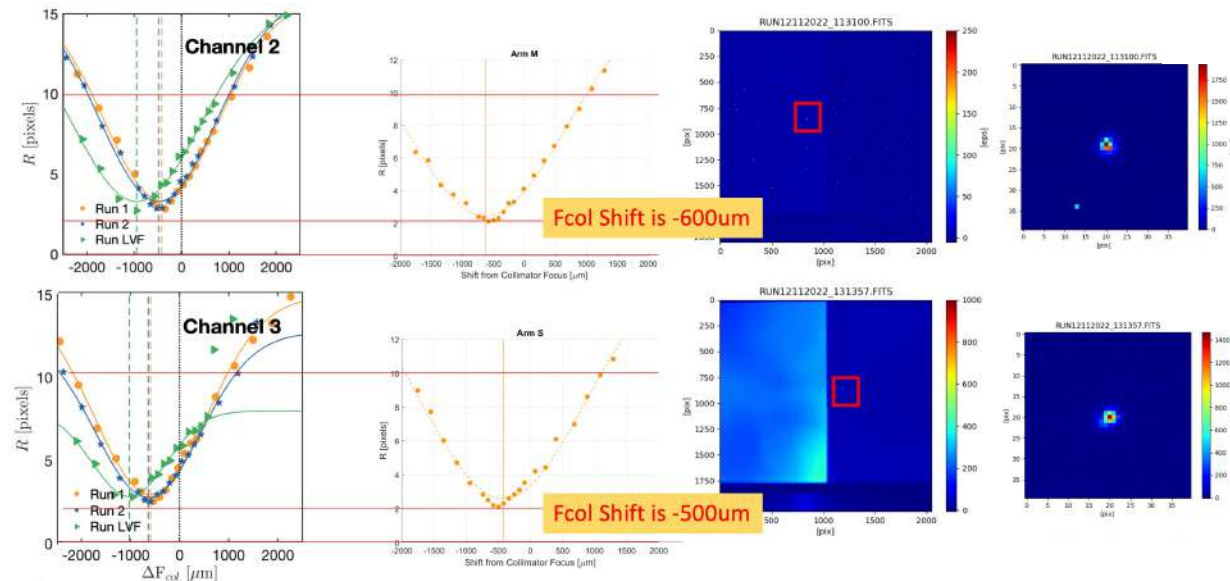


# 2回目の打ち上げに向けて(改修開始～現在)

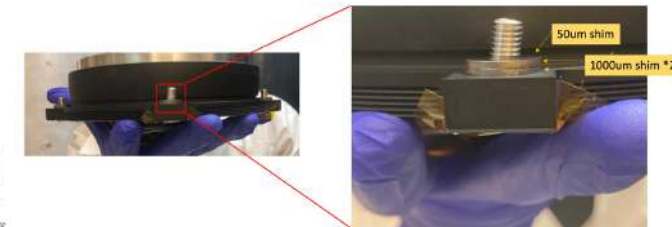
- 2022年2月に観測装置がWSMRからRITへ戻ってきた
- 限られた人員で改修作業を開始
  - 検出器の動作確認、修理(RIT→Caltech→RIT)
  - 新ブロッキングフィルターへの交換(日本→RIT)
  - 望遠鏡ミラーの再コーティング(RIT→日本→RIT)
  - 現在(2022年11月～2023年1月)日本人4名が光学試験を実施中@RIT



光学試験セットアップ



結像性能評価



焦点調整



# 2回目の打ち上げに向けて(現在～打ち上げ)

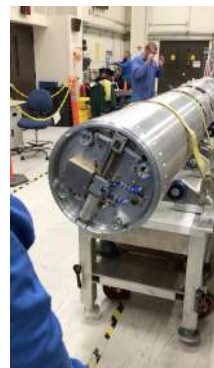
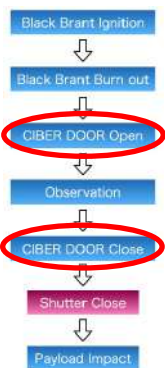
第11回 可視赤外線観測装置WS 2022

13

- 2023年1月にRITでの光学試験を完了し、WFF(ヴァージニア)へ移動
  - フォーカス試験、校正試験、暗電流試験など
- WFFにて振動試験(QTレベル)、シーケンス試験、STT試験、ロケット統合試験を実施予定(2023年2月、瀧本参加予定)
- WFFからWSMRの打ち上げ場へ移動し、2023年3月から最終調整
  - 最終光学試験、校正試験、打ち上げオペレーション(4月から瀧本参加予定)
- 第2回打ち上げ観測実施予定日：2023年4月16日



CIBER-2



振動試験@WFF

シーケンス試験@WFF

最終調整@WSMR

打ち上げ！



- 近赤外EBLに系外銀河では説明できない未知の放射成分が含まれていた
- CIBER-2による可視・近赤外EBL観測(0.5-2.0  $\mu\text{m}$ )で超過輝度の起源を探る
  - 撮像(EBL空間揺らぎ)/分光(EBLスペクトル)同時観測でモデル制約を目指す
- 2021年6月にエンジニアリングフライトに成功し、現在は解析&改修作業中
- 2023年4月に2回目の打ち上げ(サイエンスフライト)をWSMRで実施する

ご清聴ありがとうございました。

B4の11月から参加したCIBER-2プロジェクト、  
初回の打ち上げに至るまでに数々の困難がございました。  
苦労話や体験談に興味がございましたらお声かけください。

過去2回(第6回：B4, 第7回：M1)本ワークショップに参加し、貴重なご意見を沢山頂けたことが自身の研究活動へ活かされています。おかげさまで今年3月に博士号を取ることができました。

今後とも宜しくお願い致します。

瀧本幸司(九州工業大学)