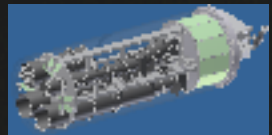


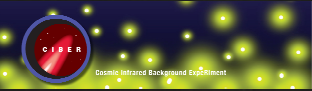
宇宙赤外線背景放射ロケット観測実験CIBER - 第2回打ち上げ報告 -



津村耕司¹ 松本敏雄^{1,2} 松浦周二¹ 新井俊明^{1,3} 和田武彦¹ 川田光伸¹ 鈴木和司⁴
 Jamie Bock^{5,6} Michael Zemcov^{5,6} John Battle⁵ Ian Sullivan⁶ Louis Levenson⁶ Viktor Hristov⁶
 Peter Mason⁶ Brian Keating⁷ Tom Renbarger⁷ Asantha Cooray⁸ Dae-Hee Lee⁹ Min-Gyu Kim²

1. JAXA宇宙科学研究所 2. ソウル大学 3. 東京大学 4. 名古屋大学 5. NASAジェット推進研究所 6. カリフォルニア工科大学
 7. カリフォルニア大学サンディエゴ校 8. カリフォルニア大学アーバイン校 9. 韓国天文学宇宙科学研究所

tsumura@ir.isas.jaxa.jp



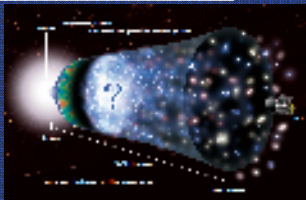
Abstract

宇宙の再電離源である $z \sim 10$ における第一世代天体(Population III)によるLyman- α 放射で、宇宙赤外線背景放射(Cosmic Infrared Background, CIB)のエネルギーやスペクトルを説明できる可能性が示唆されているが、黄道光などの強力な前景光のため、現在までに精度のよいCIBの観測例は非常に少ない。我々は、日・米・韓の国際協力の下、CIB観測のためのロケット観測実験 Cosmic Infrared Background Experiment (CIBER)を進めている。2009年2月のCIBERの第1回フライト観測では強力な熱放射起因の迷光成分のため、黄道光に関する新たなデータは得られなかった(津村ら 2010年宇宙科学シンポジウムP4-39)。そこで我々は熱放射迷光を低減させるためにパプルの改造等を行ったうえで、2010年7月に第2回の打ち上げ観測を実施し、熱放射迷光の無い良質なデータを得ることが出来た。本講演では、CIBER第2回打ち上げ観測の報告を行う。

宇宙赤外線背景放射(CIB)と初代天体

1. 宇宙の暗黒時代(Dark Age)と初代天体生成

宇宙マイクロ波背景放射(CMB)
 誕生後わずかに40万年後の宇宙の姿を観測
 COBE, WMAP, Planckなどの天文衛星による詳細な観測
 水素とヘリウムだけの中性宇宙



遠方宇宙探査
 地上大型望遠鏡による遠方天体探査($z < 8$)
 第二世代以降の天体に支配された宇宙
 → 金属汚染、再電離

金属汚染された電離宇宙

宇宙の暗黒時代(Dark Age)

現在観測されている最遠天体($z \sim 8$)とCMBの間の時代で、現代天文学のフロンティア
 暗黒時代に初代天体形成による金属汚染と再電離があったはずだが、まだ観測はなされていない

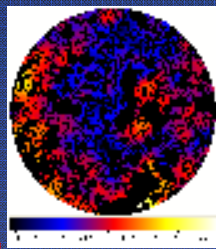
2. 宇宙赤外線背景放射(Cosmic Infrared Background, CIB)

初代天体の点源分解はTMTやSPICAをもってしても困難
 (300Mpcで $z \sim 10$ に存在する初代天体はKバンドのAB等級で約34等)

初代天体からの放射の合計を合わせると、星形成背景放射として観測

今までのCIB観測から明らかになっていること
1.5 μ m付近にピークを持つスペクトル
 初代天体からのLyman- α 放射か?
 前置銀河の積算では説明できない強度
 黄道光の差し引きがカギ

大スケールの空間ゆらぎ
 黄道光では説明できないゆらぎ
 ゆらぎのスケールは ~ 15 分角
 (15分角 ~ 5 Mpc @ $z \sim 10$
 (銀河団スケール))



「あかり」が観測したCIBゆらぎ (Matsumoto et al. 2011 ApJ submitted)

1.5 μ m付近でのCIBスペクトルとゆらぎの観測が重要

第1回打ち上げの成果と課題

1. CIBER第1回の観測の成果

第1回の打ち上げ観測成功!
 全ての装置は製造と組み立てに成功し、良質なデータの取得と装置の回収に成功

2009年2月25日午前3時45分 (アメリカ山岳標準時)
 最高高度: 330km 観測時間: 約450秒
 打ち上げ観測後、装置の回収にも成功、大きな損傷はなく再利用可能な状態

第1回観測では、熱放射迷光が最大の障害となってしまった
 ロケット外壁が大気との摩擦で約400Kに加熱
 → ここからの熱放射が迷光成分となってしまった



熱放射迷光の影響で、CIBの検出には至らなかった。
 第1回観測では、LRSで得られた黄道光スペクトルに基いて解析

近赤外線の黄道光をになう近地球の惑星間塵はS型小惑星起源であることを示唆 Tsumura et al. 2010 ApJ 715, 384

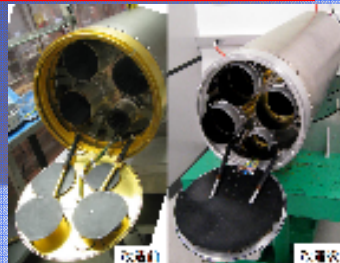
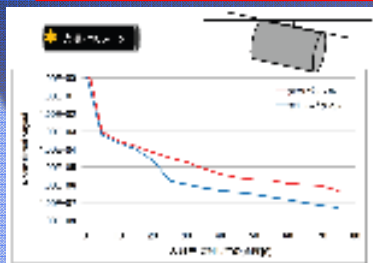
2. 熱放射対策のためのパプルの改造

熱放射迷光を低減させるため、第2回打ち上げ観測に向けての改造を実施

ポップアップパプルの装着し、迷光の光路を遮断(右下图)
 パプルの内壁の黒色塗料を、反射率が1/10のものに変更
 シャッタードア内部の放射板を拡張し、シャッタードア内部をより低温にして熱放射源を低減(右下图)

新しいパプルのシステムの性能を確認するため、実験室で反射率を測定(左下图)
 アングルステーにCIBER観測装置をのせ、角度を変えながら光源からの光の迷光成分を測定
 ポップアップパプルの効き始める >20 度から反射率が1/10になることを確認

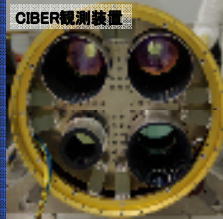
新しいパプルのシステムにより、第2回観測では熱放射はCIB検出にとって無視できるレベルに低減



CIBERと搭載装置の概要

1. CIBER (Cosmic Infrared Background Experiment)

宇宙赤外線背景放射(CIB)観測のためのロケット観測実験
 日本・アメリカ・韓国との国際協力ミッション
 専用の赤外線冷却望遠鏡(液体窒素冷却)を製作 → 光学系の温度 <100 K
 装置はパラシュートで落下させ回収、複数回の観測が可能
 射場: White Sands Missile Range (アメリカ・ニューメキシコ州)
 ロケット: Terrier-Black Brant IX (2段式固体ロケット)
 通信: 30Mbps 姿勢制御精度: <2 秒角



2. CIBER搭載CIB観測装置



Low Resolution Spectrometer (LRS)
 750-2100nmの波長帯でCIBのスペクトル観測 ($\lambda/\Delta\lambda \sim 15-30$)
 赤外線アレイ検出器PICNIC (256 $\times$ 256ピクセル, HgCdTe)
 面光源分光に特化した光学設計
 ・5本のマルチスリット (視野: 2.8分 $\times$ 5.5度)
 ・大きなS Ω (視野: 5.5度、ピクセルサイズ: 40 μ m)
 ・点源の影響を最小限にするため、検出器全面でPSF ~ 1 ピクセルを達成
 ・広視野・広波域を実現する光学設計

1.5 μ m付近でCIB成分を観測を行い、スペクトルピークの検出を目指す

Two-color Wide-field Imagers

Lバンド($\sim 0.9 \mu$ m)とHバンド($\sim 1.6 \mu$ m)の2色でCIBゆらぎ観測
 Lバンド: CIBの寄与が小さい波長帯
 Hバンド: CIBの寄与が最大となる波長帯
 → 2色のゆらぎの違いを検出して黄道光と分離

視野: 2度、検出限界: 20等(AB等級)
 赤外線アレイ検出器HAWAII

大角度スケールでのCIBゆらぎ検出を目指す



Narrow Band Spectrometer (NBS)

最大の前景光である黄道光の強度を観測
 ・近赤外線での黄道光は太陽光の散乱光
 ・黄道光中のフロンホーファー線(Call. 854.2nm)を検出して、黄道光強度を決定



わずかに波長が長い黄道光の検出を目指す

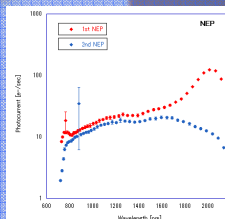
第2回打ち上げ観測の報告

1. 第2回の観測

第2回の打ち上げ観測成功!
 全ての装置は想定どおりに動作し、良質なデータの取得と装置の回収に成功

2010年7月10日午後10時50分 (アメリカ山岳標準時)
 最高高度: 330km 観測時間: 約450秒
 打ち上げ観測後、装置の回収にも成功、大きな損傷はなく再利用可能な状態

2. 熱放射対策の結果



1stフライト(赤)と2ndフライト(青)のスペクトル
 絶対値の差は黄道光の季節変化

第2回の観測データからは熱放射迷光(>1600 nm)は検出されなかった

左図: LRSで得られた同じ天域のスペクトル
 赤: 第1回フライトでの空のスペクトル
 青: 第1回フライトでの空のスペクトル

新パプルのシステムが想定通りに機能、CIB検出に期待!

3. 第2回の観測成果

現在、第2回観測で得られたデータの解析を、日米韓の国際協力で行っている

LRSによる第2回観測データの解析の現状

キャリブレーションの精度を高めるためのデータ解析中
 第1回観測で初検出されたシリケートフィーチャーを再確認
 1.5 μ mをピークとするCIBスペクトルを検出??
 ImagersとNBSのデータ解析もアメリカチームを中心に進行中



第2回観測データからCIBに関する新たな知見が得られる見込み!

まとめ

CIBERの第2回目の打ち上げ観測は成功(2010年7月)、全ての装置は正常に動作し良質なデータを得た
 熱放射迷光対策の新パプルのシステムは想定通りに動作し、第2回観測では熱放射は検出されなかった
 現在、得られたデータを解析中で、特にスペクトルデータに関してはCIBと思われる結果が得られつつある
 装置の回収も無事に成功しており、2011年中に第3回目の打ち上げを目指して準備中



第2回観測後にパラシュートで落下し、無事に回収されたCIBER観測装置