

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月15日現在

機関番号：82645

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21340047

研究課題名（和文） 赤外線背景放射のロケット観測による初代天体の探査

研究課題名（英文） Searching for First Stars in the Universe by Rocket Observations of the Cosmic Infrared Background Radiation

研究代表者

松浦 周二（MATSUURA SHUJI）

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・助教

研究者番号：10321572

研究成果の概要（和文）：本研究は、ビッグバンから1億年後の時代に宇宙で最初に誕生した星の光を、宇宙赤外線背景放射として捉える試みである。特別に開発した赤外線望遠鏡をロケットに搭載し、大気の影響のない宇宙空間から観測した結果、可視・近赤外波長域での宇宙赤外線背景放射のスペクトル測定に世界で初めて成功した。この観測結果は、今後、宇宙最初の星と宇宙初期の研究に大きな影響を与えるであろう。

研究成果の概要（英文）：This research aims to detect the first-generation stars in the universe in one billion years later after Big-bang by measuring their lights as the cosmic infrared background radiation. As the result of our rocket-borne observations with a designated infrared telescope, we first succeeded to measure spectrum of the cosmic infrared background radiation in the visible-infrared wavelength range. This result would give a great impact to the research in the early universe and the first-generation stars.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	6,700,000	2,010,000	8,710,000
2010年度	5,500,000	1,650,000	7,150,000
2011年度	2,000,000	600,000	2,600,000
年度			
年度			
総計	14,200,000	4,260,000	18,460,000

研究分野：天文学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：赤外線天文学，宇宙物理，ロケット実験，観測的宇宙論，初代天体

1. 研究開始当初の背景

近年の宇宙画像によれば、CMBの起源である宇宙の晴れ上がり期（水素の中性化）のうち、宇宙年齢1-3億年ごろの宇宙のダークエイジと呼ばれる時代に、初代天体として太陽の100倍を超える大質量の星々が爆発的に形成されたと考えられている（初代星）。

それらは強力な紫外線で宇宙を再電離し、その後数億年のうちに消滅した。その紫外放射は宇宙膨張に伴い赤方偏移し、現在は近赤外波長の宇宙背景放射を形成していると考

えられる。つまり、宇宙赤外線背景放射を詳細に調べることにより、ダークエイジの痕跡を見いだすことができる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、宇宙赤外線背景放射の詳細なスペクトルや空間的な強度分布などの観測により、初代星による放射の寄与を検証し、ひいては、初代星の統計的な性質を調べることによって初期宇宙における天体の形成と進化を研究することである。

3. 研究の方法

宇宙初期に発せられた微弱な宇宙赤外線背景放射を検出するには、大気の放射や吸収に影響されない宇宙空間からの観測が必須である。我々は、専用の赤外観測装置を開発し、これをロケットに搭載して観測を行った。Cosmic Infrared Background Experiment (CIBER) と名付けた、このロケット実験は、JAXA 宇宙科学研究所とカリフォルニア工科大学が中心となり、日米韓の国際共同研究として、NASA のロケットを用いて行なった。

4. 研究成果

本研究期間内（2009～2010 年度）に、2 度の CIBER ロケット実験に成功し（図 1）、それぞれの実験で段階的に着実な成果をあげることができた。

2009 年に行なった最初の CIBER ロケット実験では、装置自身からの熱放射の影響により、宇宙背景放射の検出には至らなかったが、最も強い前景放射である黄道光（太陽系ダストによる散乱光）に関する貴重なデータと、ダスト組成を明らかにする科学成果を得た [Tsumura et al., ApJ 719, 394 (2010)]。

引き続き行なった 2010 年の実験では、前回の打上げ後に回収した観測装置に改良を施した結果、装置熱放射の影響なく観測を行なうことに成功した。観測された空のスペクトルから、黄道光および銀河系内の星とダスト放射からなる前景放射の差引を行なった結果、銀河系外に起源をもつ等方な拡散放射、つまり、宇宙背景放射の連続スペクトルの観測に成功した（図 2 中の●This work で示したデータ点）[新井 2010 年度 東京大学 修士論文, 松浦, 新井 日本天文学会 2011, 2012 年春季年会, Matsuura et al., 2012, in preparation]。



図 1 : CIBER ロケット打上げの瞬間

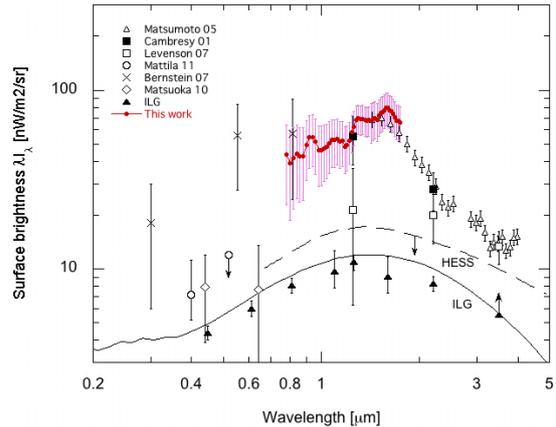


図 2 : 宇宙赤外線背景放射の観測結果。
横軸：波長，縦軸：宇宙背景放射の明るさ。

これは、赤方偏移が約 10 の初代星のライマン α 輝線の検出が期待される可視・近赤外域（波長 $0.8\text{--}1.8\ \mu\text{m}$ ）でのにおいて、世界で初めて宇宙背景放射スペクトルを測定したものである。この観測結果を、我々日本や米国の研究グループが過去に観測した長波長の近赤外スペクトル（図中 Δ IRTS のデータ点）と比較すると、波長 $1.5\ \mu\text{m}$ 付近に明確なピークを持つことを示している。また、その明るさは、系外銀河や銀河系内物質の放射（図 1 の実線）では説明できないほど大きいことがわかった。

ここで得られた特異な放射スペクトルは、予想される初代星の紫外放射（主に水素ライマン α 輝線）が赤方偏移 ($z > 10$) したものであるとして説明できる可能性が理論的に示されている。この解釈が正しければ、ピークより短波長の複雑なスペクトル構造は、宇宙初期の天体形成史を示す重要な情報となる。今後、この観測結果をもとにした研究の進展が期待される。

近年の系外銀河からの TeV ガンマ線の銀河間吸収測定による背景赤外光子密度の推定値は、宇宙背景放射の直接観測値よりもはるかに小さいことが知られているが（図 1 の点線“HESS”）、今回の観測結果は両者の差をさらに広げるものとなった。この矛盾を解決する素粒子理論的な説明への取り組みも始まっている。

さらに、2010 年には第 3 回目の実験に成功し、可視・近赤外域で世界初の偏光スペクトル測定に成功した。偏光を利用することで、主たる前景放射である黄道光の放射スペクトルのみに頼ることなく、精度のよい背景放射との成分分離が可能となる。今後は、これまでの観測結果との統合データ解析を実施し、初代星の研究の一層の進展をはかる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 8 件)

1. M. Zemcov, K. Tsumura, T. Arai, J. Battle, J. Bock, S. Brown, A. Cooray, V. Hristov, B. Keating, M.G. Kim, D.H. Lee, L.R. Levenson, K. Lykke, P. Mason, T. Matsumoto, S. Matsuura, K. Murata, U.W. Nam, T. Renbarger, A. Smith, I. Sullivan, K. Suzuki, and T. Wada, "The Cosmic Infrared Background Experiment (CIBER): A Sounding Rocket Payload to Study the Near Infrared Extragalactic Background Light", The Astrophysical Journal, 2011, accepted (pre-print arXiv:1112.1424). 査読あり
2. K. Tsumura, T. Arai, J. Battle, J. Bock, S. Brown, A. Cooray, V. Hristov, B. Keating, M.G. Kim, D.H. Lee, L.R. Levenson, K. Lykke, P. Mason, T. Matsumoto, S. Matsuura, K. Murata, U.W. Nam, T. Renbarger, A. Smith, I. Sullivan, K. Suzuki, T. Wada, and M. Zemcov, "The Cosmic Infrared Background Experiment (CIBER): The Low Resolution Spectrometer", The Astrophysical Journal, 2011, accepted (pre-print arXiv:1112.4217). 査読あり
3. D.-H. Lee, M.-G. Kim, K. Tsumura, M. Zemcov, U.W. Nam, J. Bock, J. Battle, V. Hristov, T. Renbarger, T. Matsumoto, I. Sullivan, L.R. Levenson, P. Mason, S. Matsuura, and G.H. Kim, "Analysis of Dark Data of the PICNIC IR Arrays in the CIBER", Journal of astronomy and space sciences, 27, pp.401-406 (2010) 査読あり
4. K. Tsumura, J. Battle, J. Bock, A. Cooray, V. Hristov, B. Keating, D.-H. Lee, L. Levenson, P. Mason, T. Matsumoto, S. Matsuura, U.-W. Nam, T. Renbarger, I. Sullivan, K. Suzuki, T. Wada, and M. Zemcov, "An Asteroidal Origin for Interplanetary Dust from the Infrared Spectrum of Zodiacal Light", The Astrophysical Journal, 719, 394-402 (2010). 査読あり
5. M. Zemcov, T. Arai, J. Battle, J.J. Bock, A. Cooray, V. Hristov, B. Keating, M.-G. Kim, D.-H. Lee, L. Levenson, P. Mason, T. Matsumoto, S. Matsuura, K. Mitchell-Wynne, U.W. Nam, T. Renbarger, J. Smidt, I. Sullivan, K. Tsumura, and T. Wada, "Measuring Light from the Epoch of Reionization with CIBER, the Cosmic Infrared Background Experiment", Proceedings of "Cosmic Radiation Fields: Sources in the early Universe", Nov 9-12, 2010, DESY, Germany (arXiv:1101.1560). 査読なし
6. A. Cooray, J. Bock, M. Kawada, B. Keating, D.-H. Lee, L. Levenson, T. Matsumoto, S. Matsuura, T. Renbarger, I. Sullivan, K. Tsumura, T. Wada, and M. Zemcov, "Cosmic Infrared Background Experiment (CIBER): A Probe of Extragalactic Background Light from Reionization", THE FIRST STARS AND GALAXIES: CHALLENGES FOR THE NEXT DECADE. AIP Conference Proceedings, Volume 1294, pp. 166-172 (2010). 査読あり
7. A. Cooray, J. Bock, M. Kawada, B. Keating, A. Lange, D.-H. Lee, L. Levenson, T. Matsumoto, S. Matsuura, T. Renbarger, I. Sullivan, K. Tsumura, T. Wada, and M. Zemcov, "Cosmic Infrared Background Experiment (CIBER): A Probe of Extragalactic Background Light from Reionization", "AKARI, a light to illuminate the misty Universe", ASP conference series, Vol. 418, pp. 535-538 (2009). 査読あり
8. 松浦周二, 「CIBER 打上げ顛末記 ホワイトサンズ・ミサイル実験場にて」, ISAS ニュース, 338, p.8 (2009). 査読なし

[学会発表] (計 15 件)

1. 松浦周二 他, 「ロケット実験 CIBER による宇宙赤外線背景放射スペクトルの観測(3)」, 日本天文学会 2012 年春季年会 2012 年 3 月 21 日 龍谷大学.
2. 新井俊明, 松浦周二 他, 「第 3 回 CIBER ロケット実験-偏光分光装置の性能評価実験」, 日本天文学会 2012 年春季年会 2012 年 3 月 21 日 龍谷大学.
3. 松浦周二 他, 「CIBER : 宇宙赤外線背景放射観測のロケット実験」, 第 12 回宇宙科学シンポジウム 2012 年 1 月 6 日 JAXA 宇宙科学研究所.
4. 松浦周二, 「宇宙赤外線背景放射の観測による初代天体探査」, GRB 将来計画研究会 2011 年 12 月 7 日 東京大学
5. 新井俊明, 松浦周二 他, 「宇宙赤外線背景放射の観測用ロケット実験 CIBER-近赤外線偏光分光装置の開発」, 日本天文学会 2011 年秋季年会 2011 年 9 月 20 日 鹿児島大学.
6. 松浦周二 他, 「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」, 第 11 回宇宙科学シンポジウム 2011 年 1 月 6 日 JAXA 宇宙科学研究所.
7. 津村耕司, 松浦周二 他, 「宇宙赤外線背景放射ロケット観測実験 CIBER：第 2 回打上げ報告」, 第 11 回宇宙科学シンポジウム 2011 年 1 月 6 日 JAXA 宇宙科学研究所.
 8. S. Matsuura, “Future CIB measurement by an interplanetary space probe - EXZIT mission”, Cosmic Radiation Fields: Sources in the early Universe, Nov 9-12, 2010, DESY, Germany.
 9. 松浦周二 他, 「宇宙赤外線背景放射観測ミッションの展望：ロケット実験 CIBER から背景放射探査機 EXZIT へ」, 日本天文学会 2010 年秋季年会 2010 年 9 月 24 日 金沢大学.
 10. 新井俊明, 松浦周二 他, 「宇宙赤外線背景放射の観測用ロケット実験 CIBER-第二回打上げへ」, 日本天文学会 2010 年秋季年会 2010 年 9 月 24 日 金沢大学.
 11. 津村耕司, 松浦周二 他, 「CIBER/LRS による近赤外線黄道光分光観測から明らかになった近地球惑星間塵と S 型小惑星との関連」, 日本天文学会 2010 年秋季年会 2010 年 9 月 22 日 金沢大学.
 12. 松浦周二, 「宇宙赤外線背景放射でさぐる宇宙初期天体」, 宇宙線研究所共同利用研究会 ガンマ線天文学～日本の戦略 2010 年 9 月 9 日 東大宇宙線研究所.
 13. S. Matsuura, “JAXA Instrument Concept”, The View From 5AU NASA 5AU mission symposium, 6th UC Irvine Center for Cosmology Workshop, Mar 25-26, 2010, Irvine, CA, USA. <http://physics.uci.edu/5AU/>
 14. 新井俊明, 松浦周二 他, 「ロケット実験 CIBER による宇宙赤外線背景放射スペクトルの観測 (1)-装置較正と観測結果」, 日本天文学会 2010 年春季年会 2010 年 3 月 16 日 筑波大学
 15. 松浦周二 他, 「ロケット実験 CIBER による宇宙赤外線背景放射スペクトルの観測 (2)-宇宙背景放射成分の検出」, 日本天文学会 2010 年春季年会 2010 年 3 月 16 日 筑波大学

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

出願年月日 :

国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

取得年月日 :

国内外の別 :

[その他]

ホームページ等

http://www.ir.isas.jaxa.jp/~matsuura/darkage/index_da.html

アウトリーチ活動 :

1) 松浦周二 講演「小さなロケットが宇宙の暗黒時代に挑む！」全国同時七夕講演会「七夕サイエンスカフェ～宇宙のはじまりに想いを馳せてみませんか?～」2011 年 7 月 8 日 於 つくばエキスポセンター

2) 独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所では、一般向けにメールマガジンを発行しており、宇宙科学にまつわる研究の内容や研究者の雑感を紹介している。

<http://www.isas.jaxa.jp/j/mailmaga/index.shtml>

本研究の内容を 310 号 (津村耕司) と 344 号 (松浦周二) で紹介している。

3) 独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・宇宙教育センターでは、学校等から申込などにより研究者と直接対話する機会を設けている。松浦は、その一貫として、研究者とはどのような仕事か、について中学生と対話した。当人が対話内容を中学校の授業での研究レポートとして発表し、多くの興味をひいたとの報告を受けた。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松浦 周二 (Matsuura Shuji)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・助教

研究者番号 : 10321572

(2) 研究分担者

()

研究者番号 :

(3) 連携研究者

松本 敏雄 (Matsumoto Toshio)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙
科学研究所・名誉教授

研究者番号：60022696

和田 武彦 (Wada Takehiko)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙
科学研究所・助教

研究者番号：50312202

松原 英雄 (Matsuhara Hideo)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙
科学研究所・教授

研究者番号：30219464

川田 光伸 (Kawada Mitsunobu)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙
科学研究所・准教授

研究者番号：50280558

津村 耕司 (Tsumura Kohji)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙
科学研究所・研究員

研究者番号：60579960