

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：82645

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2009～2013

課題番号：21111004

研究課題名(和文)宇宙赤外線背景放射の観測によるダークエイジの探査

研究課題名(英文)Exploration of the dark age by measuring the cosmic infrared background

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 120,300,000円、(間接経費) 36,090,000円

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。その手法として、ロケット実験CIBERの実施やあかり衛星データの解析を行なった。CIBER実験では4回のロケット打上げに繰返し成功し、世界ではじめて可視・近赤外域での宇宙背景放射のゆらぎとスペクトルの測定に成功した。あかり衛星の観測結果と合わせて、宇宙初期に関する観測的制限を得ることができた。また、後継のロケット実験CIBER-2の開発を着実に進めるとともに、惑星探査機計画(EXZIT/ソーラー電力セイル)やSPICA衛星などの宇宙赤外線背景放射の観測についての将来計画を推進した。

研究成果の概要(英文)：This research aims to detect the first-generation stars in the early universe one billion years after Big-Bang by measuring their lights as the cosmic infrared background radiation. For this purpose, we have carried out rocket experiments (CIBER) and analysis of the AKARI satellite data. By four times of flights of CIBER we first succeeded to measure the radiation spectrum and fluctuations of the cosmic background in the optical to near-infrared wavelength. Combining the CIBER data with the AKARI data, we obtained an important observational constraint on the early universe. We have developed flight instruments for the next rocket project CIBER-2, and proceeded future cosmic infrared background missions EXZIT/solar-power-sail and SPICA satellite.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：宇宙背景放射 赤外線 初代天体 ダークエイジ ロケット実験

1. 研究開始当初の背景

本学術領域研究は、最終的に CMB を通してインフレーション時期の宇宙進化を直接観測し、その背後にある究極理論を探るものである。この目的を達成するためには、宇宙創成時だけでなく、密度ゆらぎの成長の結果として形成された初期天体の理解や、さらに CMB 自体の高精度観測だけでなく初期天体が CMB に与える影響を調べる研究が不可欠である。本計画研究は、以上の立場に立ち、宇宙初期の天体形成期を探求するものである。

近年の宇宙描像では、CMB の起源である宇宙の晴れ上がり期（水素の中性化）の後、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銀河形成以前の時代に、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。CMB の偏光観測により明らかにされた宇宙再電離期の成因は、このような宇宙初期の星々の紫外放射である可能性が高い。

以上のような宇宙初期に満ちていた紫外放射（波長 $\sim 0.1\mu\text{m}$ ）は、宇宙膨張に伴って赤方偏移し、現在は近赤外線（波長 $\sim 1\mu\text{m}$ ）の宇宙背景放射（CIRB: Cosmic InfraRed Background）を形成しているはずである。つまり、宇宙赤外線背景放射を詳細に調べることにより、ダークエイジおよび宇宙再電離期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、CIRB の詳細なスペクトルやゆらぎ（空間的な強度分布）の観測により、宇宙初期の星々による放射成分を検出することである。また、その結果から導きだされる、初期宇宙における天体構造の形成と進化を研究することである。

具体的には、以下のような目的を掲げた。

- (1) 宇宙初期の星々に特徴的な水素ライマン α のスペクトル構造を、CIRB の放射スペクトルに対して探査する。
- (2) ダークマター分布に従う宇宙初期の星々の分布を CIRB ゆらぎとして探査する。
- (3) CIRB の観測結果を構造形成理論モデルと比較する。
- (4) 前景放射の影響を受けない将来の CIRB 観測計画を検討する。

3. 研究の方法

宇宙初期からの微弱な赤外放射を検出するには、大気放射や吸収に影響されないように、飛翔体を用いて宇宙空間から観測する必要がある。

本研究では、ロケット実験 CIBER を実施し、宇宙赤外線背景放射のスペクトルやゆらぎを、これまでなされなかった可視・近赤外の波長域において観測する。また、あかり衛星データを解析し、CIBER がカバーしない

長波長の赤外線での宇宙背景放射の研究を進める。さらに、CIBER の後継ロケット実験 CIBER-2 の機器開発を進めるとともに、将来の衛星や探査機による宇宙背景放射観測計画の概念検討を行なう。

4. 研究成果

(1) ロケット実験 CIBER

CIBER 実験（図 1 に観測装置を示す）では、2009 年から 2013 年の間、計 4 回におよぶロケット打上げに繰返し成功し、世界ではじめて、可視・近赤外域（波長 $0.8\text{-}1.8\mu\text{m}$ ）での CIRB の放射スペクトルとゆらぎ（非等方性）の測定に成功した。

観測値から前景放射を慎重に差引きした結果、等方な背景放射成分として、図 2 に示す CIRB のスペクトル（ \square のデータ）が得られた。波長 $1\text{-}1.8\mu\text{m}$ での CIRB は、我々が知りうる遠方宇宙までの系外銀河の総計（点線）を超える輝度を有し、未知の銀河系外放射（超過成分）の存在が決定的となった。また、観測された CIRB ゆらぎは、 $l < 3000$ の角度スケールにおいて、銀河クラスタリングでは説明できない大きな振幅をもつことがわかった。

当初予想された、初代星による波長 $1\mu\text{m}$ 以下での急激な輝度やゆらぎの低下は有為に検出されなかったが、超過成分の一部は系外銀河の見えないダークハローに付随する星々（IHL: Intra Halo Light）とする新たな理論的解釈を提案した。残された謎の解決は、後継の CIBER-2 実験にゆだねられた。

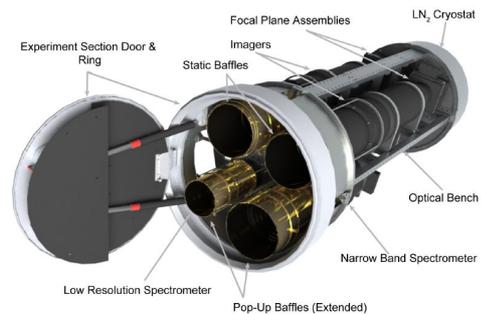


図 1 CIBER ロケット搭載観測装置

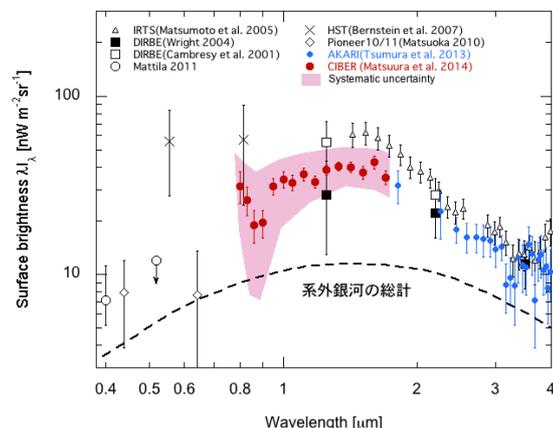


図 2 宇宙赤外線背景放射の観測結果

CIBER 実験により、黄道光や銀河光の前景放射成分に関する理解が飛躍的に進み、そのものが天文学的な成果となっただけでなく、将来の研究展開に重要な情報を得たことも大きな成果である。

(発表論文リスト番号 6,7,8,9,14,15,16)

(2) あかり衛星による観測

あかり衛星のデータ解析により、CIBER がカバーしない波長 2-5 μm における CIRB の放射スペクトルとゆらぎの測定に成功した。図 2 (のデータ) に示すように、放射スペクトルは CIBER の結果と一致することが確認された。また、CIBER や Spitzer の観測結果と統合したゆらぎの解析により、(1) で述べた IHL による解釈が生まれた。また、波長 65-140 μm の遠赤外線においても CIRB の輝度とゆらぎの測定に成功し、その結果解釈として原始ブラックホールや新しい種族の銀河の寄与の必要性を示した。これらの成果を報道発表し、広く国民にアピールした。

(発表論文リスト番号 3,4,5,10,12,13)

(3) 将来計画・その他

CIBER の後継ロケット実験 CIBER-2 の観測機器の開発を、要素技術の試作実証により着実に進めた。また、惑星探査機ソーラー電力セイルによる黄道光に影響されない CIRB 観測計画 (EXZIT: EXo-Zodiacal Infrared Telescope) の検討結果を国際学会と学術論文誌にて発表した。さらに、宇宙背景ニュートリノの崩壊光子による CIRB の観測計画や、木星衛星の掩蔽を利用する CIRB 観測の成果について、学術論文誌上や記者会見にて発表した。

(発表論文リスト番号 1,2,11)

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 16 件)

"Near-infrared Brightness of the Galilean Satellites Eclipsed in Jovian Shadow: A New Technique to Investigate Jovian Upper Atmosphere", K. Tsumura, K. Arimatsu, E. Egami, Y. Hayano, C. Honda, J. Kimura, K. Kuramoto, S. Matsuura, Y. Minowa, K. Nakajima, T. Nakamoto, M. Shirahata, J. Surace, Y. Takahashi, and T. Wada, *Astrophys. J.*, 2014 accepted.

"Joint Planetary and Astronomical Science with the Solar Power Sail Spacecraft", S. Matsuura, H. Yano, D. Yonetoku, R. Funase, O. Mori, Y.

Shirasawa, and Solar Sail WG, *Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Aerospace Technology Japan*, 12, ists29, Tr_1-5 (2014).

"Low-Resolution Spectrum of the Extragalactic Background Light with AKARI InfraRed Camera", K. Tsumura, T. Matsumoto, S. Matsuura, I. Sakon, and T. Wada, *Publications of Astronomical Society of Japan*, 65, 121, 7pp. (2013).

"Low-Resolution Spectrum of the Diffuse Galactic Light and 3.3 μm PAH emission with AKARI InfraRed Camera", K. Tsumura, T. Matsumoto, S. Matsuura, I. Sakon, M. Tanaka, and T. Wada, *Publications of Astronomical Society of Japan*, 65, 120, 7pp. (2013).

"Low-Resolution Spectrum of the Zodiacal Light with AKARI InfraRed Camera", K. Tsumura, T. Matsumoto, S. Matsuura, J. Pyo, I. Sakon, and T. Wada, *Publications of Astronomical Society of Japan*, 65, 119, 13pp. (2013).

"The Cosmic Infrared Background Experiment (CIBER): the Narrow Band Spectrometer", P.M. Korngut, T. Renbarger, T. Arai, J. Battle, J. Bock, S.W. Brown, A. Cooray, V. Hristov, B. Keating, M.G. Kim, A. Lanz, D.H. Lee, L.R. Levenson, K.R. Lykke, P. Mason, T. Matsumoto, S. Matsuura, U.W. Nam, B. Shultz, A.W. Smith, I. Sullivan, K. Tsumura, T. Wada, and M. Zemcov, *Astrophys. J. Suppl.*, 207, 34(12pp) (2013).

"The Cosmic Infrared Background Experiment (CIBER): The Low Resolution Spectrometer", 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, *Astrophys. J. Suppl.*, 207, 33(12pp) (2013).

"The Cosmic Infrared Background Experiment (CIBER): The Wide-Field Imagers", J. Bock, I. Sullivan, T. Arai, J. Battle, A. Cooray, V. Hristov, B. Keating, M.G. Kim, A.C. Lam, D.H. Lee, L.R. Levenson, P. Mason, T.

Matsumoto, S. Matsuura, K. Mitchell-Wynne, U.W. Nam, T. Renbarger, J. Smidt, K. Suzuki, K. Tsumura, T. Wada, and M. Zemcov, *Astrophys. J. Suppl.*, 207, 32(14pp) (2013).

“ The Cosmic Infrared Background Experiment (CIBER): A Sounding Rocket Payload to Study the Near Infrared Extragalactic Background Light ”, 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, *Astrophys. J. Suppl.*, 207, 31(16pp) (2013).

“ Brightness and Fluctuation of the Mid-Infrared Sky from AKARI Observations towards the North Ecliptic Pole ”, J. Pyo, T. Matsumoto, W.-S. Jeong, and S. Matsuura, *Astrophys. J.*, 760, 102-110 (2012).

“ Search for Radiative Decays of Cosmic Background Neutrino using Cosmic Infrared Background Energy Spectrum ” S.-H. Kim, K. Takemasa, Y. Takeuchi, and S. Matsuura *Journal of the Physical Society of Japan*, 81, 024101-024108 (8 pages), (2012).

“ AKARI observation of the fluctuation of the near-infrared background ”, T. Matsumoto, H.J. Seo, W.-S. Jeong, H.M. Lee, S. Matsuura, H. Matsuhara, S. Oyabu, T. Wada, *Astrophys. J.*, 742, 124-134 (2011).

“ Detection of the Cosmic Far-Infrared Background in AKARI Deep Field South ”, S. Matsuura, M. Shirahata, M. Kawada, T.T. Takeuchi, D. Burgarella, D.L. Clements, W.-S. Jeong, H. Hanami, S.A. Khan, H. Matsuhara, T. Nakagawa, S. Oyabu, C.P. Pearson, A. Pollo, S. Serjeant, T. Takagi, and G. White, *Astrophys. J.*, 737, 2-20 (2011).

“ Analysis of Dark Data of the PICNIC IR Arrays in the CIBER ”, 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, *Journal of*

astronomy and space sciences, 27, 401-406 (2010).

“ Observations of the near-infrared spectrum of the zodiacal light with CIBER ”, 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, *Astrophys. J.*, 719, 394-402 (2010).

“ Cosmic Infrared Background Experiment (CIBER): A Probe of Extragalactic Background Light from Reionization ”, 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, *THE FIRST STARS AND GALAXIES: CHALLENGES FOR THE NEXT DECADE. AIP Conference Proceedings*, Volume 1294, pp. 166-172 (2010).

〔学会発表〕(計 33 件)

松浦周二, “ 「あかり」衛星による遠赤外線宇宙背景放射ゆらぎの検出 ”, 日本天文学会 2009 年秋季年会, 2009 年 9 月 15 日, 山口大学

松浦周二, “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

新井俊明, “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

津村耕司, “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

松本敏雄, “あかりによる近赤外背景放射の揺らぎの観測 ”, 日本天文学会 2011 年春季年会, 2010 年 3 月 16 日, 筑波大学

村田一心, “あかり NEP-DEEP フィールドにおける宇宙近赤外線背景放射の揺らぎの角度スペクトルの測定 ”, 日本天文学会 2011 年春季年会, 2010 年 3 月 16 日, 筑波大学

新井俊明, “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 2011 年春季年会, 2010 年 3 月 16 日, 筑波大学

松浦周二, “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 2011 年春季年会, 2010 年 3 月 16 日, 筑波大学

新井俊明, “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

津村耕司, “「あかり」IRC 分光観測で検出された 3.3 μm PAH の銀河系内分布”, 日本天文学会 2011 年秋季年会, 2011 年 9 月 22 日, 鹿児島大学

松浦周二, “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

新井俊明, “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

白旗麻衣, “宇宙赤外線背景放射の観測のためのロケット実験 CIBER-2:開発の現状”, 日本天文学会 2012 年秋期年会, 2012 年 9 月 21 日, 大分大学

新井俊明, “CIBER ロケット実験-第 3 回目観測の報告と観測データの評価-”, 日本天文学会 2012 年秋期年会, 2012 年 9 月 21 日, 大分大学

大西陽介, “将来の近赤外背景放射観測装置への搭載に向けた光学結晶材料の低温屈折率測定”, 日本天文学会 2013 年春季年会, 2013 年 3 月 20 日, 埼玉大学

松浦周二, “ソーラー電力セイルによるクルージング・ランデブー科学観測: 深宇宙天文学から太陽系探査まで”, 日本地球惑星科学連合大会, 2013 年 5 月 19 日, 千葉幕張メッセ国際会議場

松浦周二, “ロケット実験 CIBER - 第 4 回(最終)実験報告”, 日本天文学会 2013 年秋季年会, 2013 年 9 月 10 日, 東北大学

白旗麻衣, “ロケット実験 CIBER-2 開発状況の報告”, 日本天文学会 2013 年秋季年会, 2013 年 9 月 10 日, 東北大学

大西陽介, “CIBER/LRS の黄道光観測による感度較正及び系統誤差の評価”, 日本天文学会 2013 年秋季年会, 2013 年 9 月 10 日, 東北大学

新井俊明, “CIBER/LRS による近赤外線波長域における Diffuse Galactic Light の分光観測”, 日本天文学会 2013 年秋季年会, 2013 年 9 月 12 日, 東北大学

⑳ 津村耕司, “赤外線天文衛星「あかり」による宇宙近赤外線背景放射スペクトル”, 日本天文学会 2013 年秋季年会, 2013 年 9 月 12 日, 東北大学

㉑ 大西陽介, “CIBER による宇宙近赤外線背景放射の観測-大気光差し引き方法の改良”, 日本天文学会 2014 年春季年会, 2014 年 3 月 19 日, 国際基督教大学

㉒ 白旗麻衣, “宇宙赤外線背景放射の観測

用ロケット実験 CIBER-2:開発状況の報告”, 日本天文学会 2014 年春季年会, 2014 年 3 月 19 日, 国際基督教大学

〔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〕

(1) ホームページ等

本研究課題に関するホームページ
http://www.ir.isas.jaxa.jp/~matsuura/darkage/index_da.html

本領域研究に関するホームページ
<http://cbr.kek.jp/>

(2) 報道関連情報

報道発表“初期宇宙に大量のモンスター銀河発見” 2010 年 於 東京大学 廿日出、河野、川辺、松浦

http://www.s.u-tokyo.ac.jp/press/press-2010-39_pre20100929_61ba4bf4.html

新聞各紙(神戸、日経、産経、毎日、読売、佐賀、山陰中央新報、京都、山形、北陸中日、岐阜、北國、岩手日報、北日本、東京、日川県民福井、上毛、新潟日報、信濃毎日、秋田魁新報、静岡、サンケイエクスプレス、公明、朝日小学生)にて報道

NHK サイエンス ZERO 宇宙の進化を解き明かせ～赤外線で見える星と銀河の神秘～
2010 年 11 月 20 日(土)[教育]午後 10:00 ~ 午後 10:35

<http://www.nhk.or.jp/zero/schedule/index.html>

報道発表 “「あかり」宇宙からの謎の遠赤外線放射を検出！” 2011 年 JAXA 宇宙科学研究所 ISAS web page 松浦
<http://www.ir.isas.jaxa.jp/ASTRO-F/Outreach/results/ADFS110810/ads110810.html>
Yahoo ニュース、マイコミジャーナル、アストロアーツ、天文ガイド等にて報道

報道発表 “「あかり」が捉えた宇宙最初の光” 2011 年 JAXA 宇宙科学研究所 ISAS web page 松本、松浦ほか
<http://thyme.ir.isas.jaxa.jp/ASTRO-F/Outreach/results/PR111021/pr111021.html>
読売新聞、産経 MSN、日経新聞、Yahoo ニュース、マイコミジャーナル等にて報道

報道発表 “何も無い空を光らせるもの：「あかり」が空の赤外線成分の分離に成功” 2013 年 JAXA 宇宙科学研究所 ISAS web page 津村ほか
<http://www.ir.isas.jaxa.jp/ASTRO-F/Outreach/results/PR131227/pr131227.html>

記者会見 “「ガリレオ衛星が「月食」中に謎の発光？すばる望遠鏡などで観測” 2014 年、於 学術総合センター 東北大・宇宙研・東工大・北大 津村（東北大）ほか

(3) アウトリーチ活動

JAXA 宇宙科学研究所では常時一般公開があり、申込みば閲覧可。また、毎年7月最終週の金土曜日の2日間は、特別公開として全研究部門が研究内容をポスターやデモ実験などで紹介。毎年2万人を超える来場者。宇宙科学や宇宙開発に関して直接対話する機会が多くある。2010年は、はやぶさの回収カプセル公開で来場者が多く、宇宙科学・技術への強い関心が寄せられた。

JAXA 宇宙科学研究所では、「宇宙学校」として各地で一般向け講演会を開催している。2013年は、東大・駒場に於いて松浦周二が A03 に関する研究内容を紹介した。

JAXA 宇宙科学研究所では、一般読者向けに ISAS メールマガジンを発行し、宇宙科学にまつわる研究や研究者の雑感を紹介。（<http://www.isas.jaxa.jp/j/mailmagazine/index.shtml>）。A03 の研究内容を 310 号（津村耕司）と 344 号、487 号（松浦周二）で紹介した。

JAXA 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。松浦周二は、研究とはどのような仕事かについて中学生と対話した。当人が対話内容について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。

JAXA 宇宙科学研究所の大学・研究機関連携室ではインターン生を受入れ教育している。2013 年は、文系学部の大学生が宇宙研究者の仕事ぶり調査のため、松浦周二と新井俊明のインタビューを行い、記事としてまとめた。

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・宇宙物理学研究系・助教
研究者番号：10321572

(2) 研究分担者

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

(3) 連携研究者

津村 耕司 (TSUMURA, Khoji)
独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・宇宙物理学研究系・宇宙航空プロジェクト研究員
研究者番号：60579960

白旗 麻衣 (SHIRAHATA, Mai)
独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・宇宙物理学研究系・招聘研究員
研究者番号：50450713

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・宇宙物理学研究系・助教
研究者番号：50312202

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・宇宙物理学研究系・准教授
研究者番号：50280558

松原 英雄 (MATSUHATA, Hideo)
独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・宇宙物理学研究系・教授
研究者番号：30219464