

## 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 4 月 28 日現在

機関番号：34419

研究種目 若手研究 (B)

研究期間：2008～2011

課題番号：20740146

研究課題名（和文） 宇宙の非一様性による重力理論の検証

研究課題名（英文） Probing theory of gravity via inhomogeneity of the universe

研究代表者

井上 開輝 (INOUE KAIKI)

近畿大学・理工学部・准教授

研究者番号：70388495

研究成果の概要（和文）：宇宙マイクロ波背景輻射(CMB)の大角度温度揺らぎの異常の原因として加速宇宙における超大規模構造の重力ポテンシャル進化が重要な役割を果たしていることが明らかになった。特に半径 200-300h/Mpc の大きさをもつ低密度領域の効果が重要であり、低密度領域の総量に関する  $\Lambda$ CDM モデルとの不一致は  $3\sigma$  以上の有意性を持つことが判明した。

研究成果の概要（英文）：We find that the evolution of gravitational potential of super-structures in accelerating universes plays an important role as a cause of claimed anomalies in the large-angle cosmic microwave background temperature anisotropy. In particular, the effects of low density regions with a radius of 200-300h/Mpc are most important and their abundance is at odd with the expected value in the  $\Lambda$ CDM model at more than  $3\sigma$  level.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

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：宇宙論・宇宙大規模構造

## 1. 研究開始当初の背景

2003年にリリースされた WMAP 衛星によって得られた宇宙マイクロ波背景輻射(CMB)の大角度温度揺らぎの観測データの解析により、約 10 度以上の大角度スケールで  $3\sigma$  程度の有意性をもつ異常が発見された。その原因として様々なアイデアが提唱されてきたが、定説といえるものは未だ存在しない。

## 2. 研究の目的

宇宙マイクロ波背景輻射(CMB)の大角度温度揺らぎの異常の原因を解明し、既知の重力理論との整合性を判定すること。特に視線方向に存在する超大規模構造の重力ポテンシャル進化に着目し、その CMB に対する影響を評価すること。

## 3. 研究の方法

①超大規模構造に起因する CMB 温度揺らぎのパターンを解明すること。

②CMB と超大規模構造の相関の強さを理論的に評価すること。

③コールドスポットを説明するのに最適な構造の配位を見いだすこと。

#### 4. 研究成果

宇宙マイクロ波背景放射(CMB)の大角度温度揺らぎの異常の原因として加速宇宙における超大規模構造の重力ポテンシャル進化が重要な役割を果たしていることが明らかになった。特に半径 200-300h/Mpc の大きさをもつ低密度領域の効果が重要であり、低密度領域の総量に関する  $\Lambda$ CDM モデルの予言との不一致は局所質量相殺モデルの場合、 $3\sigma$  以上の有意性を持つ。この結果をさらに局所的に質量が相殺しない場合にも拡張した解析が 2011 年に Nadathur, Hotchkiss & Sarkar 達によって行われ、その正しさが追証されている。

もし、今後の観測によりその不一致が増大するのであれば、 $\Lambda$ CDM モデルに対する最大の脅威となり得るため、そのインパクトの大きさはいうまでもない。

特にコールドスポットと呼ばれる低温度領域を説明するには赤方変移  $z=1$  程度の距離に半径数百 Mpc 程度の低密度領域とその視線方向の最終散乱面に高密度領域が必要であることが明らかになったが、そのような重なりが偶然に実現する確率は高々1%以下であり、 $\Lambda$ CDM モデルに問題は全くないと断言することは出来ない。今後 200-300h/Mpc 以上のスケールにおいて質量揺らぎのパワースペクトルに異常がないかどうか、非ガウス性が不必要か否か調べるのが非常に重要である。

#### 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 6 件)

① Kaiki Taro Inoue  
"On the origin of the cold spot"  
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 査読有 421, 2731-2735 (2012), DOI:10.1111/j.1365-2966.2012.20513.x

② Kaiki Taro Inoue, Nobuyuki Sakai, Kenji Tomita  
"Evidence of Quasi-linear Super-Structures in the Cosmic Microwave Background and Galaxy Distribution"  
Astrophysical Journal, 査読有 724, 12-25 (2010) DOI:10.1088/0004-637X/724/1/12

③ Kenji Tomita, Kaiki Taro Inoue  
"Probing violation of the Copernican principle via the integrated Sachs-Wolfe effect"  
Physical Review D, 査読有 79, 103505-(1-7) (2009)  
DOI:10.1103/PhysRevD.79.103505

④ Nobuyuki Sakai, and Kaiki Taro Inoue  
"Cosmic Microwave Background Anisotropy from Nonlinear Structures in Accelerating Universes"  
Physical Review D, 査読有 78, 063510-(1-6) (2008)  
DOI:10.1103/PhysRevD.78.063510

⑤ Kaiki Taro Inoue, Paolo Cabella, and Eiichiro Komatsu  
"Harmonic Inpainting of the Cosmic Microwave Background Sky: Formulation and Error Estimate"  
Physical Review D, 査読有 77, 123539-(1-7) (2008)  
DOI:10.1103/PhysRevD.77.123539

⑥ Kenji Tomita and Kaiki Taro Inoue  
"Second Order Gravitational Effects on CMB Temperature Anisotropy in Lambda Dominated Flat Universes"  
Physical Review D, 査読有 77, 103522-(1-12) (2008)  
DOI:10.1103/PhysRevD.77.103522

[学会発表] (計 19 件)

①井上開輝[2011/10/27]  
"On the origin of the cold spot"  
Astrophysics seminar, University of Oxford, Oxford

②井上開輝[2011/3/21]  
"Evidence of Super-structures in the Cosmic Microwave Background and Galaxy Distribution"  
YITP workshop "Cosmological Perturbation and CMB", 基礎物理学研究所、京都大学、京都市

③井上開輝[2011/3/19]  
"Anomalous Underdense Region as the Origin of the Cold Spot"  
日本天文学会 2011 年春季年会 新潟大学 新潟市 (震災のため予稿集に発表)

④井上開輝[2010/9/27-28]

Poster presentation: "Evidence of Super-structures in the Cosmic Microwave Background and Galaxy Distribution"  
Horiba international conference COSMO/CosPA 2010, University of Tokyo, Tokyo

⑤井上開輝[2010/9/24]

"On the Origin of the Cold Spot"  
日本天文学会 2010 年秋季年会 金沢大学 金沢市

⑥井上開輝[2010/9/9]

"Harmonic functions and 3-dimensional topology" (招待講演)  
Topology and Computer 2010 東京工業大学 東京都 目黒区

⑦井上開輝[2010/3/24]

"Evidence of Super-structures in the Cosmic Microwave Background and Galaxy Distribution"  
日本天文学会 2010 年春季年会 広島大学 東広島市

⑧井上開輝[2009/10/21]

"Evidence of Super-structures in the Cosmic Microwave Background" (招待講演)  
Lambda-LTB Cosmology KEK Workshop 2009 KEK つくば市

⑨井上開輝[2009/10/3]

"宇宙は正二十面体の対称性を持つか?" (招待講演)  
Encounter with Mathematics 中央大学 東京都文京区

⑩井上開輝[2009/9/14]

"Weakensing by Supervoids"  
日本天文学会 2009 年秋季年会 山口大学 山口市

⑪井上開輝[2009/9/12]

"Evidence of Super-structures in the Cosmic Microwave Background"  
日本物理学会 2009 年秋季年会 甲南大学 神戸市

⑫井上開輝[2009/3/26]

"Probing Superstructures via the Integrated Sachs-Wolfe Effect"  
NAOC, cosmology seminar talk, Beijing, China

⑬井上開輝[2009/3/17]

"Probing Violation of the Copernican Principle via the Integrated Sachs-Wolfe Effect" (招待講演)  
KITPC, Workshop, "Connecting Fundamental Physics with Observations"  
Beijing, China

⑭井上開輝[2009/2/19]

"積分ザックス・ヴォルフェ効果で探る宇宙の非一様性" (招待講演)  
Tohoku University, Workshop "現代天文学における宇宙の構造形成ビジョン"  
旅館かつらや 宮城県白石市

⑮井上開輝[2008/12/10]

"Local Supervoids and the Origin of the WMAP Cold Spot" (招待講演)  
KEK Cosmophysics Workshop "Is our Universe really undergoing anaccelerated expansion?" KEK つくば市

⑯井上開輝[2008/9/10]

"WMAP Cold Spot の起源について"  
日本天文学会 2008 年秋季年会 岡山理科大学 岡山市

⑰井上開輝[2008/8/2]

"Local Large Void as the Origin of the WMAP Cold Spot"  
Cosmology with CMB & LSS workshops, Pune, IUCAA, India

⑱井上開輝[2008/8/3]

"Harmonic Inpainting of the CMB Sky"  
Cosmology with CMB & LSS workshops, Pune, IUCAA, India

⑲井上開輝[2008/4/6]

"Probing CDM Substructures with Gravitationally Lensed QSOs"  
5th ALMA Meeting 茨城大学 水戸市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

井上 開輝 (INOUE KAIKI)

近畿大学・理工学部・准教授

研究者番号：70388495