



Title	Kaluza-Klein Modes in Braneworld Cosmology
Author(s)	南辻, 真人
Citation	大阪大学, 2006, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/46474
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名 ^{みなみ}南 ^{つじ}辻 ^{まき}真 ^と人

博士の専攻分野の名称 博 士 (理 学)

学 位 記 番 号 第 20055 号

学 位 授 与 年 月 日 平成 18 年 3 月 24 日

学 位 授 与 の 要 件 学位規則第4条第1項該当

理学研究科宇宙地球科学専攻

学 位 論 文 名 Kaluza-Klein Modes in Braneworld Cosmology
(ブレーン宇宙論におけるカルツァー・クラインモード)

論 文 審 査 委 員 (主査)

教 授 高 原 文 郎

(副査)

教 授 細 谷 裕 教 授 岸 本 忠 史 助 教 授 藤 田 裕
京都大学教授 佐々木 節

論 文 内 容 の 要 旨

本博士論文では、(第2種 Randall-Sundrum (RS) モデルの枠内で) ブレーン宇宙論における、カルツァー・クラインモードのダイナミクスと影響を議論する。カルツァー・クラインモードは余剰次元中を伝播する波であり、それらはブレーン上の宇宙論や重力に非自明に寄与する可能性がある。

第一に、我々はカルツァー・クライン重力子モードの反作用を定性的に議論する。ブレーン上の高エネルギー素粒子相互作用によって生成される重力子に対して、我々は、カルツァー・クライン重力子をブレーンから動径方向に放出される内向きのヌル・ダストのフラックスと想定する。我々は、バルクの幾何、バルク中のブレーンのダイナミクスを議論し、ある特定の状況では強い可視の裸の特異点がバルク中に生成されることを示す。その後、我々は、ブレーン宇宙のインフレーション中にバルク中で量子力学的に生成される単一のカルツァー・クラインモードの重力子に対して、ブレーンの存在を考慮に入れた平均操作を用いて、その有効エネルギー運動量テンソルを導出する。我々は、(大質量) カルツァー・クラインモードは、ブレーン上で有効的にはブレーン上で負のエネルギー密度を持つダストとして振る舞うことを示す。そのエネルギー密度の負値性は、最大対称性を持つ3次元空間を持つ5次元時空中で満たされるエネルギー保存則を用いて、物理的に説明される。

しかしながら、現実的に我々が観測するのは無限個数のカルツァー・クラインモードの重ね合わせである。したがって、量子力学的に生成されるカルツァー・クラインモードに対して、我々は、場の量子論を用いてその振幅を決定する必要がある。しかしながら、よく知られているように、量子化されたカルツァー・クライン反作用の定量化を試みる際には、深刻な問題が存在する。量子反作用は、例えば、通常の紫外の正則化を行なった後でも、バルクからブレーンに近づければ、実はブレーンの位置で発散している。我々は、有限のブレーンの厚みがこのような発散を正則化することを示し、量子反作用の大きさが自然に背景のエネルギー運動量よりずっと小さく抑えられることを示す。

我々は、最後に、RS モデルのより現実的な拡張として、Einstein Gauss-Bonnet (EGB) 重力理論の基で、ブレーン上の線型有効重力理論を議論する。我々は、EGB 理論において、宇宙論的な(ド・ジッター)ブレーン上での有効的な重力が、全てのスケールで、すなわち短距離から長距離の全てのスケールにおいて、4次元的になっていることを示す。また、低エネルギーで膨張するブレーン上と同様に、高エネルギーで膨張しているブレーン上において

も、有効的な重力はまた4次元的になっていることを示す。

論文審査の結果の要旨

本論文は、その観測的検証が注目を集めている高次元宇宙論（ブレーン宇宙論）における、余剰次元中を伝播する自由度、カルツァー・クラインモードのダイナミクスとその宇宙論への影響を詳しく解析したものである。ブレーン宇宙論は、我々の宇宙が高次元空間中の4次元の膜であるとする理論である。

まず、重力的なカルツァー・クラインモードが、ブレーン宇宙に与える反作用の定性的な振舞いを調べ、それがブレーン宇宙上で負のエネルギーを持つ粒子のように振舞うことを発見した。次に、その反作用を定量的に評価する際に最大の障害となる、余剰次元空間のブレーン近傍でエネルギー・運動量が発散する問題に対して、ブレーンの厚みを考慮して正則化する方法を提案し、この方法で評価された反作用効果が自己無撞着である条件を明らかにした。また、5次元時空におけるより一般的な重力理論として、Einstein Gauss-Bonnet 理論を取り上げ、その時空中に存在するブレーン宇宙上の有効重力理論を解析した。その結果、5次元重力が Einstein 理論の場合とは異なり、全てのエネルギースケールにおいて、ブレーン上の有効重力は4次元的になることを示した。これらの結果は、近い将来実験的・観測的に検証される可能性のある重要な成果である。

本論文の結果は、ブレーン宇宙論の研究の展開に重要な寄与をするものであり、その意義は大きい。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認める。