

機関番号：14301
研究種目：基盤研究(C)
研究期間：2008～2010
課題番号：20540258
研究課題名(和文) 湾曲余剰次元模型と宇宙のダークエネルギー
研究課題名(英文) Warped extra dimension and dark energy
研究代表者 白水 徹也 (SHIROMIZU TETSUYA)
京都大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号：10282716

研究成果の概要(和文)：

超弦理論の最近の進展により、我々の宇宙は激しく曲がった高次元時空を運動する薄膜とする模型が提唱された(湾曲余剰次元模型)。本研究において、この模型における重力の効果の精査を行った。その結果余剰次元の重力の効果が一般に無視できないことを示した。また、超弦理論的ブラックホールの解において、回転を伴わない場合は高階反対称テンソル場のヘアが存在しえないことを厳密に証明することに成功した。高次元では形状が球ではない場合に、そのようなヘアがあるかどうか自明ではなかったが、今回の研究でそのようなことはありえないことがわかった。

研究成果の概要(英文)：

According to recent progress in string theory, we have a new picture of universe, that is, our universe is described by the motion of membrane in warped extra dimensions. In this project, we examined the gravitational effect in warped extra dimensional models. Then we find that they could have important contributions to cosmology and black hole physics in general. In addition, we could prove the no-hair theorem of stringy black holes without rotation. This solved the problem of the existence of black hole solution with non-spherical topology and stringy hairs.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	2,600,000	780,000	3,380,000

研究分野：宇宙物理学理論

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：

1. 研究開始当初の背景

最近の超弦理論の進展により、宇宙の進化の理解には、ブレーンと呼ばれる薄い膜状の

物体、湾曲した余剰次元などが鍵を握ることがわかってきていた。1999年のRandallとSundrumらによる湾曲余剰次元の玩具模型のアイデアを基に、“磁氣的”フラックスによる余剰次元のサイズやdilatonと呼ばれる超弦理論特有の質量ゼロのスカラー自由度の安定化に成功し、超弦理論による宇宙の記述が現実味を次第に帯びてきた。これまで、質量ゼロの自由度を落とす機構がなかったため、厳格な立場では超弦理論を宇宙や重力の観測・実験と矛盾することなく扱える段階になかったのである。しかし、近年湾曲余剰次元における加速膨張宇宙やインフレーションの理解に迫る研究が活発に行われるようになったのである。そこでは宇宙は高次元時空を運動しているブレーン(薄膜)として記述される。その運動自体が宇宙の膨張を表わしているのである。

一方、高次元時空自体の理解の重要性も出てきた。4次元と比較すると、高次元ブラックホールは多様な構造を持ち得ることがわかってきた。例えば、5次元時空では様々な形のブラックホールがあり得たのである。実際にリング状の解が発見され、世界で衝撃を与えることになった。

2. 研究の目的

宇宙論モデルとしての湾曲余剰次元模型の精査、並びに高次元時空の基礎的な性質の解明を行い、より現実的な模型の基礎固めを行う。また、模型の詳細に依らない普遍的な性質を示す。

高次元の湾曲余剰次元模型において、ブレーンの自己重力による効果を考慮した際に、無矛盾な宇宙模型が構成できるかどうか吟

味する。また、高次元時空そのものの性質を明らかにする。系を特徴づけるのに、保存量が重要な役割を果たすが、それを定義する際に漸近的な対称性が重要な役割は果たす。4次元時空では、それらの系統的な解析が行われているが、高次元ではこれまでなされていなかった。そこで、本研究によって高次元時空の漸近構造の性質を明らかにする。

一方で自己重力の顕著な例としてブラックホールがあげられるが、その性質についても解明されていない点が多い。特に超弦理論的なブラックホールの性質について焦点を当て解析を行う。これまで高次元ブラックホールは最初の段階として物質を伴わない真空の場合に研究が行われてきた。しかし、そもそも高次元ブラックホールは超弦理論から動機付けられている。したがって、その低エネルギー有効理論であるところの超重力理論におけるブラックホールの理解を深める必要がある。第一段階として、回転していないブラックホールを考察し、どのようなヘアが持ち得るか、またどのような形のブラックホールがあり得るか、系統的に解析を行う。

以上の基礎研究によって、より強固な湾曲余剰次元模型の基礎が確立されることになるであろう。

3. 研究の方法

国際交流を行い、多くの意見交換を通して研究を行った。実際に、この期間中の外国人研究者との共同研究も多く含まれた。また、数学者との交流を図り、独創的な研究を戦略的に行った。

4. 研究成果

高次元時空における湾曲余剰次元模型の実験検証に関する提案を行った。この模型では重力法則が小さな空間スケールで変更される。その新しい実験設定を提案した。また、湾曲余剰次元模型、特に6次元の模型において、余剰次元から4次元への高次補正項の寄与について吟味した。その結果、それらが無視できないことがわかった。これは、これまでの粗い研究に見直しを迫ることになった。

一方で高次元時空の基礎研究、特に理解が進んでいなかった時空の漸近構造の解明を行った。特に、4次元では問題となっていた超並進と呼ばれる非物理的な対称性が高次元では存在しないことを示すことに成功した。また、回転しない高次元ブラックホールの高階反対称テンソル場のヘアが存在しないことを示すことに成功した。その際に用いた手法は共形幾何学の知識を応用しており、きわめて独創的である。

湾曲余剰次元模型における宇宙項の役割について理解するための第一歩として、極限ブラックホールと呼ばれるものに焦点を当て、地平面近傍の時空の解を求めることに成功した。その結果、宇宙項の存在はブラックホールの大きさに制限を与えることがわかった。初期宇宙で生成される原始ブラックホール研究に今後応用されると期待される。

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 12 件)

- ① K. Tanabe, N. Tanahashi, T. Shiromizu, Journal of Mathematical Physics 52, 032501 (2011)
- ② R. Suzuki, T. Shiromizu, N. Tanahashi,

Physical Review D82, 085029 (2010)

- ③ K. Tanabe, S. Ohashi, T. Shiromizu, Physical Review D82, 104042 (2010)
- ④ K. Tanabe, N. Tanahashi, T. Shiromizu, Journal of Mathematical Physics 51, 062502 (2010)
- ⑤ R. Emparan, S. Ohashi, T. Shiromizu, Physical Review D82, 084032 (2010)
- ⑥ S. Mizuno, S. Ohashi, T. Shiromizu, Physical Review D81, 044030 (2010)
- ⑦ S. Maeda, S. Mukohyama, T. Shiromizu, Physical Review D80, 123538 (2009)
- ⑧ K. Tanabe, N. Tanahashi, T. Shiromizu, Journal of Mathematical Physics 50, 072502 (2009)
- ⑨ S. Ohashi, T. Shiromizu, S. Yamada, Physical Review D80, 047501 (2009)
- ⑩ S. Maeda, S. Kitagawa, T. Kobayashi, T. Shiromizu, Classical and Quantum Gravity 26, 135014 (2009)
- ⑪ T. Kobayashi, T. Shiromizu, C. deRham, Physical Review D77, 124012 (2008)
- ⑫ M. Azam, M. Sami, C. S. Unnikrishnan, T. Shiromizu, Physical Review D77, 101101 (2008)

[学会発表] (計 4 件)

- ① 白水徹也 "A no stringy hair theorem for static black objects in higher dimensions" workshop on Gravitation and cosmology, 2011年1月23日 インド (デリー)
- ② 白水徹也 "Static dipole black objects?" Summer institute 2010, 2010年8月9日 富士吉田
- ③ 白水徹也, 信州大学理学部講演会 「宇宙の謎に迫る ～ブレーンワールド～」 2009年10月
- ④ 白水徹也, 2008年度春の学校 東北大学 GCOE

プログラム アインシュタイン方程式の世界観

〔図書〕(計2件)

- ① 白水徹也、宇宙の謎に挑む ブレーンワールド、化学同人 2009年
- ② 分筆、宇宙論 I 日本評論社 2008年

〔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

6. 研究組織

(1) 研究代表者

白水 徹也 (SHIROMIZU TETSUYA)
京都大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号：10282716

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

