

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：平成 20 年度 ～ 平成 23 年度

課題番号：20740147

研究課題名（和文） 超弦理論に基づく 4 次元宇宙論の構築

研究課題名（英文） Construction of the four-dimensional cosmology
on the basis of string theory

研究代表者

鵜沢 報仁 (UZAWA KUNIHITO)

近畿大学・理工学部・研究員

研究者番号：50378931

研究成果の概要（和文）：高次元重力理論に基づく宇宙論解及び内部空間の安定化問題について研究を行った。その結果スカラーポテンシャルが正の値を持つとき、内部空間の体積が有限で 4 次元時空が加速膨張する解を得ることが出来た。更に低次元有効理論について解析すると、背景に含まれるパラメーターを適当に選ぶことで内部空間の大きさが固定され 4 次元時空が加速膨張する宇宙模型を構築することが出来た。

研究成果の概要（英文）：We have investigated the cosmological solutions and the stabilization problem of the internal space on the basis of the higher-dimensional gravity theories. We have obtained the solutions which realize the accelerated universe with the finite volume of the internal space in the case of the positive scalar potential. We have showed that for the certain choice of parameters the universe settles down to accelerating expansion and the size of the internal space is fixed.

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	600,000	180,000	780,000
2010 年度	800,000	240,000	1,040,000
2011 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

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：素粒子論、宇宙物理、相対論・重力（理論）、超重力理論

1. 研究開始当初の背景

高次元重力理論の研究が素粒子論・宇宙論で盛んに行われ、超弦理論では背景時空に存在する種々の場やその量子効果を考慮することによりそれまで困難であった 4 次元ド・ジッター時空を再現出来ること、更に高次元理論で現れるモジュライ（内部空間のスケール因子を示す）を固定出来ることが示された。ところが、これら一連の研究では、背景場が新たに重力場を作り出すことによる背景時

空への重力の反作用が殆ど無視出来る場合に限定されている状況であった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、高次元重力理論の Einstein 方程式の解を追求し、現実的な 4 次元宇宙モデルを構築することである。特に、4 次元ド・ジッター時空を実現するモデルを高次元 Einstein 方程式の解から導くことを目指す。更に、得られた解をもとに内部空間の進化、

他の超重力理論のモデルとの関連性について一般相対性理論の手法を用いて明らかにする。また、これらを通しブレーンの衝突や進化・4次元宇宙定数問題への応用も試みる。

3. 研究の方法

以下の4点について研究を行う。

(1) 高次元重力理論における加速膨張解及び内部空間の安定化機構の構築

高次元 Einstein 方程式の解を求め、高次元時空のダイナミクスについて明らかにする。特に4次元が加速膨張時空となる解を追求する。上記で求めた厳密解が4次元加速膨張時空を導かない場合、高次曲率項を加え4次元加速膨張時空を含む解の構築を行う。

次に内部空間の進化について調べる。高次元 Einstein 方程式の解が内部空間の不安定性を示す場合、安定化させるために新たな場を加える。その効果を取り入れたときの高次元 Einstein 方程式の解を追求し、内部空間の安定化が可能かどうか、また安定化が可能ならばどの場の寄与が必要なのかを明らかにする。

(2) 4次元有効理論の構築

(1)で得た高次元理論の解と矛盾しない4次元有効理論を作る。背景時空の場は高次元の場の方程式を満たすという条件の下で4次元有効理論を求める。この際、有効理論で得られた場の方程式の解と高次元理論で得られた場の方程式の解と矛盾がないかどうかチェックする。矛盾がある場合はその原因を明らかにする。

(3) 高次元超重力理論における時間依存解の分類

10次元II型・11次元超重力理論における静的ブーン解に注目し、これらの時間依存解への拡張を試み、得られた解を基にして宇宙モデルの分類を行う。

10次元II型超重力理論は弦理論の双対性を用いると他の10次元超重力理論と関連付けられる。そこで、研究計画欄(1)の解は双対性によりどのような10次元超重力理論の解を導くのか明らかにする。更にそこで得た10次元超重力理論の解は各々の理論の Einstein 方程式の解となっているのかどうかチェックする。解とならない場合は少なくとも時間依存解について双対性が成り立たないということであるから、その物理的な理由について明らかにする。

(4) 高次元超重力理論を起源とする宇宙の暗黒エネルギー

近年、宇宙論の様々な観測結果から我々の宇宙は加速膨張をしているということが示唆

されている。これらの観測結果を説明するには暗黒物質や素粒子の標準模型からでは不可能である。宇宙を加速膨張させている物質は総称的に暗黒エネルギーと呼ばれており、その正体や起源を明らかにすることは宇宙論において極めて重要な問題である。

高次元理論から得られる4次元有効理論において、モジュライ（内部空間のダイナミクスを示す場）のエネルギーは4次元フリードマン方程式に真空エネルギーとして現れるので、4次元宇宙定数（或いは暗黒エネルギー）の起源となる可能性がある。本研究ではこの観点からモジュライと4次元宇宙定数との関連性について研究する。

4. 研究成果

(1) 高次元重力理論におけるコンパクト化・内部空間の安定化機構及び宇宙定数問題

背景に重力場、ゲージ場、スカラー場を含み高次曲率項が存在しない高次元重力理論に注目し、4次元時空が加速膨張する解を追求した。その結果、スカラーポテンシャルが正の値を持つとき、内部空間の体積が有限で4次元が加速膨張する時空を示す解を得ることに成功した。更に低次元有効理論について解析すると、背景に含まれるパラメーターを適当に選ぶことで内部空間の大きさが固定され4次元加速膨張時空を再現する宇宙モデルを構築することが出来た。これにより、内部空間のスケールを表すモジュライ場が宇宙の暗黒エネルギーの候補となり得ることが分かった。

(2) 高次元超重力理論の宇宙論解の分類

具体的な高次元超重力理論から現実的な4次元宇宙モデルを作ることを目的に、高次元超重力理論の時間依存解や4次元有効理論の性質を一般相対性理論の観点から明らかにした。具体的な超重力理論として10次元と11次元超重力理論に注目した。種々の超重力理論の中でも11次元超重力理論はM理論の低エネルギー有効理論であると考えられており、M-brane と呼ばれる Einstein 方程式の静的解が以前より詳しく調べられていた。本研究では、これらの古典解をもとに11次元超重力理論のアインシュタイン方程式の時間依存解を追求した。そして複数の field strength を背景に含む交差 M-brane の時間依存解及び4次元有効理論について解析を行い、解の分類と高次元時空の時間発展について調べた。その結果、高次元 Einstein 方程式の時間依存解の特徴として、brane 近傍では4次元時空や内部空間の大きさが殆ど時間変化せず、brane から離れるにつれて計量に対する時間依存性の寄与が大きくなることが分かった。また、4次元有効理論では交差

brane の共通の world-volume を我々の4次元時空とするコンパクト化のモデルから Friedmann-Robertson-Walker 時空が得られること、交差 brane に対して transverse 方向を4次元時空とするコンパクト化からは膨張宇宙でのブラックホール解を得られることが分かった。

また、10次元 II 型超重力理論についても静的ブレーン解を時間依存解へ拡張することを試みた。10次元 Einstein 方程式の解析解を追求したところ 11次元超重力理論と同様、Einstein 方程式の解の特徴として時間依存性が計量の湾曲因子に現れることが分かった。このとき、背景に宇宙定数を導入しない限り4次元時空は加速膨張しないことが明らかとなった。更に、これらの時間依存解を基にブレーンの衝突機構について調べた。その結果、互いのブレーンが同じ電荷を持つ場合は衝突過程を追跡することが可能である一方、そうでないときは2つのブレーンが衝突する前に背景時空に特異点が現れることが分かった。

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)

- ① 前田恵一、鶴沢報仁、Dynamical brane with angles: Collision of the universes、Physical Review D、査読有、VOL.85、平成 24 年 (2012 年)、086004-1 ~ 086002-18
- ② 南辻真人、鶴沢報仁、Warped de Sitter compactifications in the scalar-tensor theory、Physics Letters B、査読有、VOL.710、平成 24 年 (2012 年)、358~361
- ③ 南辻真人、鶴沢報仁、Warped de Sitter compactifications、Journal of High Energy Physics、査読有、VOL.1、平成 24 年 (2012 年)、142-0~142-21
- ④ 南辻真人、鶴沢報仁、Dynamics of partially localized brane systems、Physical Review D、査読有、VOL.84、平成 23 年 (2011 年)、126002-1 ~ 126002-29
- ⑤ 南辻真人、鶴沢報仁、Cosmology in p-brane systems、Physical Review D、査読有、VOL.83、平成 23 年 (2011 年)、086002-1~086002-21

- ⑥ 南辻真人、太田信義、鶴沢報仁、Cosmological intersecting brane solutions、Physical Review D、査読有、VOL.82、平成 22 年 (2010 年)、086002-1 ~ 086002-30
- ⑦ 鶴沢報仁、Dynamical intersecting brane solutions、Journal of the Korean Physical Society、査読有、VOL.57、平成 22 年 (2010 年)、591~594
- ⑧ 前田恵一、南辻真人、太田信義、鶴沢報仁、Dynamical p-branes with a cosmological constant、Physical Review D、査読有、VOL.82、平成 22 年 (2010 年)、046007-1~046007-10
- ⑨ 南辻真人、太田信義、鶴沢報仁、Dynamical solutions in the 3-Form Field Background in the Nishino-Salam-Sezgin Model、Physical Review D、査読有、VOL.81、平成 22 年 (2010 年)、126005-1~126005-13
- ⑩ Pierre Binetruy、佐々木節、鶴沢報仁、Dynamical D4-D8 and D3-D7 branes in supergravity、Physical Review D、査読有、VOL.80、平成 21 年 (2009 年)、026001-1~026001-11
- ⑪ 前田恵一、太田信義、鶴沢報仁、Dynamics of intersecting brane systems - Classification and their applications -, Journal of High Energy Physics、査読有、VOL.6、平成 21 年 (2009 年)、051-1 ~ 051-41

[学会発表] (計 32 件)

- ① 南辻真人、鶴沢報仁、De Sitter solutions in the warped compactifications、日本物理学会春季大会第 67 回年次大会、平成 24 年 (2012 年) 3 月 25 日、関西学院大学、西宮市
- ② 南辻真人、鶴沢報仁、Dynamics of partially localized brane systems、日本物理学会春季大会第 67 回年次大会、平成 24 年 (2012 年) 3 月 25 日、関西学院大学、西宮市
- ③ 鶴沢報仁、De Sitter solutions in warped compactifications and modulus stabilization、The 6th Australasian Conference on General Relativity and Gravitation、平成 24 年 (2012 年) 2 月 10 日、Rydges Lakeside Resort、

Queenstown, New Zealand

- ④ 鶴沢報仁、De Sitter solutions in Warped compactifications、Miami 2011、平成 23 年 (2011 年) 12 月 18 日、Lago Mar Resort、Fort Lauderdale、USA
- ⑤ 鶴沢報仁、Warped de Sitter compactifications、The 21th Workshop on General Relativity and Gravitation in Japan、平成 23 年 (2011 年) 9 月 26 日、東北大学、仙台市
- ⑥ 南辻真人、鶴沢報仁、Warped de Sitter compactifications、日本物理学会 2011 年度秋季大会、平成 23 年 (2011 年) 9 月 19 日、弘前大学、弘前市
- ⑦ 鶴沢報仁、Dynamical intersecting brane solutions of supergravity、SUSY2011、平成 23 年 (2011 年) 8 月 31 日、Fermilab、Batavia、Illinois、USA
- ⑧ 鶴沢報仁、Warped de Sitter compactifications、PASCOS 2011、平成 23 年 (2011 年) 7 月 5 日、University of Cambridge、Cambridge、UK
- ⑨ 鶴沢報仁、Warped de Sitter compactifications、Planck2011、平成 23 年 (2011 年) 5 月 31 日、IST Congress Centre、Lisbon、Portugal
- ⑩ 南辻真人、鶴沢報仁、Cosmology in p-brane systems、日本物理学会春季大会第 66 回年次大会、平成 23 年 (2011 年) 3 月 28 日、新潟大学、新潟市
- ⑪ 鶴沢報仁、Cosmological intersecting brane solutions in string theory、Miami 2010、平成 22 年 (2010 年) 12 月 17 日、Lago Mar Resort、Fort Lauderdale、USA
- ⑫ 鶴沢報仁、Cosmological brane solutions、25th Texas Symposium on Relativistic Astrophysics、平成 22 年 (2010 年) 12 月 6 日、The Historic Heidelberg Convention Center、Heidelberg、Germany
- ⑬ 南辻真人、太田信義、鶴沢報仁、Cosmological intersecting brane solutions、日本物理学会 2010 年秋季大会、平成 22 年 (2010 年) 9 月 12 日、九州工業大学、北九州市
- ⑭ 鶴沢報仁、Cosmological intersecting brane solutions in string theory、PASCOS 2010、平成 22 年 (2010 年) 7 月 19 日、Instituto de Fisica Corpuscular、Valencia、Spain
- ⑮ 鶴沢報仁、Cosmological intersecting brane solutions in string theory、PPC2010、平成 22 年 (2010 年) 7 月 12 日、National University Library of Torino、Turin、Italy
- ⑯ 鶴沢報仁、Moduli stabilization problem of type II string compactifications、Miami 2009、平成 21 年 (2009 年) 12 月 17 日、Lago Mar Resort、Fort Lauderdale、USA
- ⑰ 鶴沢報仁、Dynamical intersecting branes、The 24th Nordic Network Meeting、平成 21 年 (2009 年) 12 月 3 日、University of Groningen、Groningen、the Netherlands
- ⑱ 鶴沢報仁、Dynamical intersecting branes、CosPA 2009、平成 21 年 (2009 年) 11 月 18 日、University of Melbourne、Melbourne、Australia
- ⑲ 鶴沢報仁、Dynamical intersecting brane solutions、The 11th Italian-Korean Symposium on Relativistic Astrophysics、平成 21 年 (2009 年) 11 月 2 日、Sogang University、Seoul、Korea
- ⑳ 鶴沢報仁、Dynamics of intersecting brane systems、The 19th Annual Midwest Relativity Meeting、平成 21 年 (2009 年) 10 月 2 日、University of Michigan、Ann Arbor、USA
- ㉑ 鶴沢報仁、Dynamical solutions of intersecting brane system、Cosmo09、平成 21 年 (2009 年) 9 月 8 日、CERN、Geneva、Switzerland
- ㉒ 鶴沢報仁、Dynamics of intersecting brane systems、XVI International Congress on Mathematical Physics、平成 21 年 (2009 年) 8 月 6 日、Clarion Congress Hotel Prague、Prague、Czech Republic
- ㉓ 鶴沢報仁、Dynamics of intersecting brane systems、The 12th Marcel Grossmann Meeting、平成 21 年

(2009年) 7月16日、Ecole Normale Supérieure, Paris, France

- ②④ 鵜沢報仁、Dynamics of intersecting brane system、String Phenomenology '09、平成21年(2009年)6月18日、University of Warsaw、Warsaw、Poland
- ②⑤ 鵜沢報仁、Dynamical intersecting brane solutions of supergravity、SUSY09、平成21年(2009年)6月6日、Northeastern University、Boston、USA
- ②⑥ 鵜沢報仁、Dynamical intersecting brane solutions of supergravity、Planck2009、平成21年(2009年)5月26日、Centro Culturale Altinate、Padova、Italy
- ②⑦ 鵜沢報仁、Moduli instability in type IIA string theory、日本物理学会春季大会第64回年次大会、平成21年(2009年)3月30日、立教大学、東京都
- ②⑧ 鵜沢報仁、Classification of dynamical intersecting brane solutions、Miami 2008、平成20年(2008年)12月18日、Lago Mar Resort、Fort Lauderdale、USA
- ②⑨ 鵜沢報仁、Classification of dynamical intersecting brane solutions、The 18th Workshop on General Relativity and Gravitation in Japan、平成20年(2008年)11月17日、広島大学、東広島市
- ③⑩ 鵜沢報仁、Classification of dynamical intersecting brane solutions、The 7th RESCEU International Symposium、平成20年(2008年)11月12日、東京大学、東京都
- ③⑪ 鵜沢報仁、Dynamical solutions in intersecting brane systems、第1回『アインシュタインの物理』でリンクする研究・教育拠点研究会、平成20年(2008年)10月11日、大阪市立大学、大阪市
- ③⑫ 鵜沢報仁、Time-dependent solutions in intersecting brane systems、日本物理学会2008年秋季大会、平成20年(2008年)9月22日、山形大学、山形市

[図書] (計 1 件)

- ① 鵜沢報仁、World Scientific、Singapore、

On Recent Developments in Theoretical and Experimental General Relativity、Gravitation and Relativistic Field Theories、平成23年(2011年)、2348~2350

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

鵜沢 報仁 (UZAWA KUNIHITO)
近畿大学・理工学部・研究員
研究者番号：50378931

(2)研究分担者

()

研究者番号：

(3)連携研究者

()

研究者番号：