

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2007～2009

課題番号：19540285

研究課題名(和文) 重力理論の拡張に対する制限の理論的研究

研究課題名(英文) Theoretical research about constraints on extended gravity theory

研究代表者

田中貴浩 (TANAKA TAKAHIRO)

京都大学・基礎物理学研究所・教授

研究者番号：40281117

研究成果の概要(和文)：

AdS/CFT 対応をブレーンワールドモデルに適用することで漸近平坦なブレーンに局在した静的ブラックホールは存在しないことが予想される。しかし、漸近 AdS の場合には存在が可能であると示唆される。漸近 AdS ブラックホールを調べることでブレーンブラックホールの性質を明らかにし、AdS/CFT 対応を適用することの妥当性を示した。この他にも、重力波観測から重力理論の修正に対する制限がどこまで強く得られるのかを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：

Applying AdS/CFT correspondence to a brane world model, it is expected that an asymptotically flat static black hole which is localized on the brane does not exist. In contrast, in asymptotic AdS case, the existence of black holes is anticipated. By examining such asymptotic AdS black holes, we clarified that one can apply AdS/CFT correspondence to this system. In addition, we developed research about how strongly one can pose constraints on possible modification to the gravity theory from the observation of gravitational waves.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

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：重力理論、ブレーンワールド、ブラックホール、重力波

1. 研究開始当初の背景

一般相対論に基づく宇宙進化のシナリオは概ね成功をおさめている。今後、宇宙の膨張則や3 K宇宙背景放射ゆらぎの観測の精密化、あるいは、コンパクト連星からの重力波やサブミリメートルスケールでの精密な重力の測定など、観測・実験の進展にともなうて、一般相対論からのずれについてより詳細な研究が可能になってくる。他方、パイオニア衛星によって観測された重力加速度の異常、宇宙背景放射の大角度でのゆらぎに見られる異常等、確実性はないが何か新しい物理が見え始めているのではないかと期待させる要素もある。無論、現実にはプランクスケールに到達するまで一般相対論からのずれが何も現れないようにできているかもしれないが、その観測的制限を少しずつ厳しくしていくことが新しい物理の発見への道であり、実際にどの精度で一般相対論が正しく成り立っているのかを明らかにすること自体が物理学の重要な課題のひとつである。加えて、ダークエネルギー、ダークマターの存在は近年、観測的にほぼ確立した感があるが、重力理論の修正によってダークエネルギーやダークマターの説明と合わせて重力に関する異常の全てを整合的に説明できるならば非常に魅力的である。

2. 研究の目的

今後、宇宙の膨張則や3 K宇宙背景放射ゆらぎの観測の精密化、あるいは、コンパクト連星からの重力波やサブミリメートルスケールでの精密な重力の測定など、観測・実験の進展にともなうて、一般相対論からのずれについてより詳細な研究が可能になってくる。他方、宇宙背景放射の大角度でのゆらぎに見られる異常等、確実性はないが何か新しい物理の現れを期待させる要素もある。このような観測的制限を少しずつ厳しくしていくことが新しい物理の発見への道であり、実際にどの精度で一般相対論が成り立っているかを明らかにすること自体が物理学の重要な課題のひとつである。加えて、重力理論の修正によってダークエネルギーやダークマターの説明と合わせて重力に関する異常の全てを整合的に説明できるならば非常に魅力

的である。

新しい物理を切り拓く為には観測・実験の進展は不可欠だが、それらを解釈するためには同時に理論的研究の進展も重要である。一般相対論からの理論の拡張を考えたとき、観測される可能性のある特徴的な現象を理論的に予言できなければ、観測・実験の結果がもつ意味を正しく理解することができない。このような観点から、理論的に挑戦するに値する研究課題は数多くある。観測量に対する予言にはモデルの持ついくつかの重要な特性を抜き出した単純化したモデルを考えることで十分であるという場合が多い。したがって、それぞれの特性を損なわない範囲で、できる限り単純化されたモデルについて、その性質を明らかにする。

3. 研究の方法

ブレーンが存在する物理系における数値計算の手法を発展させることにより、これまで解析的な手法では扱えなかったブレーンブラックホール系について解の存在や安定性等を明らかにする。

4. 研究成果

「RSモデルにおけるブレーンに局在した静的なブラックホール解の存在の有無」に関する研究を進めた。我々が最終的に明らかにしたいことはブレーンに局在したブラックホールの古典的蒸発仮説が正しいか否かである。つまり、静的で安定なブラックホール解が存在するのかどうかという問題である。様々な状況証拠から、RSモデルを少し一般化しブレーンの張力の値をずらしたモデルKarch-Randallモデルにおいては、実に豊かな種類の安定あるいは不安定なブラックホール解の系列が存在しているのではないかという予想を立てた。この拡張された仮説に対して、4次元的なCFT補正入りのブラックホール解の構築をおこなった。その結果、安定なブラックホール解の系列が確かに存在し、その系列がCFTで構成された星の解の系列につながっていることが明らかになった。これは、5次元の描像において、バル

クに浮かんだブラックホール解が最初ブレーンと接触せずに存在していたが、そのサイズが大きくなるとブレーンに接触するという事実とびたりと整合している。さらに、5次元での時間反転対称な初期データの構成を進めた。この研究において、はじめて漸近 de Sitter のブレーン解に対して保存する質量の定義と計算法を与えた。この質量を用いて、我々の得た初期データのうちで、ブラックホールエントロピーを一定にした場合に最小の質量を与える初期データを調べると、エントロピーの小さい場合にはバルクに浮かんだブラックホールに対応する初期データが選ばれ、エントロピーが大きくなるとブレーンに接触したブラックホールに対応する初期データが選ばれるということがわかった。これらの結果は、AdS/CFT 対応を適応した際に予想される予言と整合的な結果となっている。

また、回転する高次元ブラックホールの安定性解析も進めた。その結果、高次元ブラックホールに不安定性が現れ、そこから新しい定常解の系列が現れることを示唆する結果を得た。

この他にも、将来の重力波検出実験を見据えて、重力波観測から重力理論の修正に対する制限がどこまで強く得られるのかについて研究をすすめた。コンパクト連星からの重力波は波形の予測が可能で、重力理論が異なっている場合にはその違いを波形の違いから検知することが可能である。この際に、連星の軌道パラメータとして離心率を考慮することや、スピンによる際差運動の影響を考慮することで修正重力理論への制限がどのように影響を受けるかを明らかにした。

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 23 件)

全て査読有り

- 1) Use of delta N formalism.
Takahiro Tanaka, Teruaki Suyama, Shuichiro Yokoyama, Classical and Quantum Gravity to be published.
- 2) Floating Black Hole in the Karch-Randall Model and Its Holographic Dual.

Kazumi Kashiya, Norihiro Tanahashi, Antonino Flachi, Takahiro Tanaka, Prog. Theor. Phys. 123:369-392, 2010.

- 3) Floating Black Hole in the Karch-Randall Model and its Holographic Dual.
Norihiro Tanahashi, Takahiro Tanaka, in Prog. Theor. Phys. 123:369-392, 2010
- 4) DECIGO/BBO as a probe to constrain alternative theories of gravity.
Kent Yagi, Takahiro Tanaka, Prog. Theor. Phys. To be published
- 5) Constraining alternative theories of gravity by gravitational waves from precessing eccentric compact binaries with LISA.
Kent Yagi, Takahiro Tanaka, Phys. Rev. D81:064008(1-27), 2010, Erratum-ibid. D81:109902, 2010
- 6) Influence on observation from IR divergence during inflation: Multi field inflation.
Yuko Urakawa, Takahiro Tanaka, Prog. Theor. Phys. 122:1207-1238, 2010
- 7) Casimir Effect on the brane.
Antonino Flachi, Takahiro Tanaka, Phys. Rev. D80:124022(1-8), 2009
- 8) Lorentz boost and non-Gaussianity in multi-field DBI-inflation.
Shuntaro Mizuno, Frederico Arroja, Kazuya Koyama, Takahiro Tanaka, Phys. Rev. D80:023530(1-10), 2009
- 9) On the full trispectrum in single field DBI-inflation.
Frederico Arroja, Shuntaro Mizuno, Kazuya Koyama, Takahiro Tanaka, Phys. Rev. D80:043527(1-14), 2009
- 10) Influence on Observation from IR Divergence during Inflation. I.
Yuko Urakawa, Takahiro Tanaka, Prog. Theor. Phys. 122:779-803, 2009
- 11) Particle production in models with helicity-0 graviton ghost in de Sitter spacetime.
Keisuke Izumi, Takahiro Tanaka, Prog. Theor. Phys. 121:427-436, 2009
- 12) Efficient diagrammatic computation

- method for higher order correlation functions of local type primordial curvature perturbations.
Shuichiro Yokoyama, Teruaki Suyama, Takahiro Tanaka,
JCAP 0902:012, 2009
- 13) Spin polarization effects in micro black hole evaporation.
Antonino Flachi, Misao Sasaki, Takahiro Tanaka,
JHEP 0905:031, 2009
- 14) Connection between classical black hole evaporation conjecture and floating black holes.
Takahiro Tanaka,
Prog. Theor. Phys. 121:1133-1140, 2009
- 15) No de Sitter invariant vacuum in massive gravity theory with ghost.
Keisuke Izumi, Takahiro Tanaka,
Prog. Theor. Phys. 121:419-426, 2009
- 16) Primordial perturbations and non-Gaussianities in DBI and general multi-field inflation.
David Langlois, Sebastien Renaux-Petel, Daniele A. Steer, Takahiro Tanaka,
Phys. Rev. D78:063523(1-15), 2008
- 17) Primordial fluctuations and non-Gaussianities in multi-field DBI inflation.
David Langlois, Sebastien Renaux-Petel, Daniele A. Steer, Takahiro Tanaka,
Phys. Rev. Lett. 101:061301(1-4), 2008
- 18) Vacuum polarization in asymptotically anti-de Sitter black hole geometries.
Antonino Flachi, Takahiro Tanaka,
Phys. Rev. D78:064011(1-12), 2008
- 19) Time-symmetric initial data of large brane-localized black hole in RS-II model.
Norihito Tanahashi, Takahiro Tanaka,
JHEP 0803:041, 2008
- 20) Primordial Non-Gaussianity in Multi-Scalar Inflation.
Shuichiro Yokoyama, Teruaki Suyama, Takahiro Tanaka,
Phys. Rev. D77:083511(1-10), 2008
- 21) Can infrared gravitons screen Lambda?
Jaume Garriga, Takahiro Tanaka,
Phys. Rev. D77:024021(1-9), 2008
- 22) Bubbles in the Self-Accelerating Universe.
Keisuke Izumi, Kazuya Koyama, Oriol Pujolas, Takahiro Tanaka,
Phys. Rev. D76:104041(1-9), 2007
- 23) Primordial Non-Gaussianity in Multi-Scalar Slow-Roll Inflation.
Shuichiro Yokoyama, Teruaki Suyama, Takahiro Tanaka,
JCAP 0707:013, 2007
- [学会発表] (計 8 件)
- 1) 田中 貴浩 「重力波による一般相対論、ブラックホール時空の直接検証」
日本物理学会 2010 年 3 月 21 日 岡山大学
- 2) Takahiro Tanaka 「Brane Black Holes」
高次元 Black Hole 研究最前線
2009 年 12 月 26 日 基礎物理学研究所
- 3) Takahiro Tanaka 「Constraint on higher dimensional gravity theory from black holes」
International School on Numerical Relativity and Gravitation
2009 年 12 月 8 日 APCTP Seoul
- 4) Takahiro Tanaka 「Spin-2 ghost in brane gravity」
International Workshop on Dark Matter, Dark Energy and Matter-Antimatter Asymmetry
2009 年 11 月 21 日
National Tsing Hua University
- 5) Takahiro Tanaka 「Black Holes in Braneworld, Classical BH evaporation conjecture」
String Theory and Cosmology - Quantum Gravity Dark Energy and Dark Matter
2009 年 9 月 24 日 Daejeon
- 6) Takahiro Tanaka 「Stability of ultra-spinning black holes」
Future Prospects and Possibilities of Gravity Research 2009 年 9 月 20 日
APCTP Headquarters, Pohang
- 7) Takahiro Tanaka 「Floating Black Holes in Braneworld Classical BH

evaporation conjecture]
Workshop on DM, LHC and Cosmology
2009年8月28日 KIAS Seoul

- 8) 田中貴浩「ブレーン重力」
日本物理学会 2008年3月24日 近畿
大学

[その他]
ホームページ等
<http://www2.yukawa.kyoto-u.ac.jp/~tanaka/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中貴浩 (TANAKA TAKAHIRO)
京都大学・基礎物理学研究所・教授
研究者番号：40281117

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：