

## 自己評価報告書

平成 23 年 4 月 10 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2008-2011

課題番号：20740132

研究課題名 (和文) 超弦理論における時空構造のホログラフィー原理を用いた解明

研究課題名 (英文) Study of Spacetime Structure via Holography in Superstring Theory

研究代表者

高柳 匡 (TAKAYANAGI TADASHI)

東京大学・数物連携宇宙研究機構・特任准教授

研究者番号：10432353

研究分野：

科研費の分科・細目：

キーワード：

## 1. 研究計画の概要

超弦理論は、量子重力理論の最も有力な候補であるが、それが記述する量子重力のダイナミクスはあまり理解されておらず、初期宇宙のビックバン特異点の解析といった問題には未だ到達していない。そこで、AdS/CFTに代表されるようなホログラフィー原理を用いて超弦理論の時空構造を理解したい。量子情報や物性物理の知識も援用することができる。

## 2. 研究の進捗状況

- (1) 時空のトポロジーがダイナミカルに変化する例を D ブレインを用いて TypeIIA 超弦理論に初めて構成した。まず、4次元反ドジッター空間において、球面状に膨らんだ D2 ブレインを置くと安定で BPS になることが分かる。この2次元球を回転させると、興味深いことに電荷の保存からその北極と南極に穴があき、中心を通る管でつながれる。つまりトポロジーが球面からトーラスにダイナミカルに変化することを発見した。
- (2) 分数量子ホール効果を超弦理論に埋め込み、それと AdS/CFT 対応で等価な重力的な記述を初めて発見した。ここ数年話題になっている4次元の反ドジッター空間と3次元の超対称性 Chern-Simons ゲージ理論の対応を用い、その背景に D ブレインを加えることで、分数量子ホール効果とそのエッジ状態の実現を行った。またこの D ブレインの組み合わせを一般化することで、トポロジカル絶縁体も実現でき、数学の K 理論を通して両者が対応することを見出した。

- (3) 物性物理で出てくる磁性体や液晶などでは、非等方なスケール不変性を有する系も多数存在する。そのような量子系にホログラフィーを適用すると、反ドジッター空間を少し変形した時空 (リフシッツ時空) になることが最近 Kachru らによって指摘された。我々は、そのような時空が超弦理論や M 理論に埋め込めるか調べた。その結果、ディラトンがスケールに依存することを無視する近似では、TypeIIB 超弦理論にはうまく埋め込めることを初めて示した。
- (4) AdS/CFT を AdS ソリトン時空に応用して、超伝導と絶縁体の間の相転移のホログラフィックな記述に初めて成功した。
- (5) 熱化現象のようにダイナミカルな現象に AdS/CFT 対応がどのように適用できるか研究を行った。ブレインを励起すると、そのうえにブラックホールの地平線が生成されることを見出した。またブラックホールの生成を量子重力において解析する際にエンタングルメント・エントロピーが役に立つことを見出した。

## 3. 現在までの達成度

- ① 当初の計画以上に進展している。

(理由)

この3年間の研究で、17論文を既に雑誌に出版し、それらの論文の引用件数も計400を超えている。内容も、当初の目標である量子重力の記述する時空の構造やダイナミクスに関しては、D ブレインを用いた時空のトポロジーの変化の記述法をすでに開発できたので大きな進歩といえる。また、非等方なスケール不変性を持つ時空は、反ドジッター時空

(AdS)に次いで超弦理論において重要な時空とも思え、それに関して大きな成果を得たことも前述の目的に対して予想外の大きな進展と言えよう。またDブレーンを励起すると、その上の計量にブラックホールのような地平線が現れることを初めて発見したことも、今後の量子重力理論のダイナミクスやブラックホールの情報問題に対して大きな進歩をもたらしたといえる。結果としてこれらの数年間の私の研究成果は、すでに世界中の研究者を刺激し、関連研究につながっていることも明らかである。

#### 4. 今後の研究の推進方策

- (1) ブラックホール生成や蒸発のダイナミクスとそのホログラフィーを研究し、量子情報理論的なアプローチも模索しながら、量子重力理論のダイナミクスの別な側面に迫っていく方向性が挙げられる。今までの研究で、エンタングルメント・エントロピーがブラックホール生成を解析する上で重要な物理量であることがわかったので、様々な AdS/CFT 対応の背景でこの量の時間発展に関して計算を行いたい。それを元にエンタングルメントエントロピーを用い非平衡物理の定式化を考えたい。またホログラフィー原理が反ドジッター時空以外の一般の時空でも成り立つか研究したい。
- (2) AdS/CFT 対応の物性物理への応用として未だに十分理解されていないのは、たとえば金属中の不純物のようなランダム系の物理である。特に、不純物がある程度存在すると金属が絶縁体に転移するというアンダーソン局在という大変興味深い現象が知られている。この現象は、弱結合の領域で確認されているが、強結合の系でも起こるか物性物理でも未知である。そこで、強結合の解析に強い AdS/CFT 対応を用いてその問題を研究したい。

#### 5. 代表的な研究成果

(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 17 件)

全て査読有り

① S. Das, T. Nishioka and T. Takayanagi, “Probe Branes, Time-dependent Couplings and Thermalization in AdS/CFT”, Journal of High Energy Physics, 07(2010)71.

② T. Azeyanagi, W. Li and T. Takayanagi, “On String Theory Duals of Lifshitz-like Fixed Points”, Journal of High Energy Physics, 06(2009)44.

③ M. Fujita, W. Li, S. Ryu and T. Takayanagi, “Fractional Quantum Hall Effect via Holography: Chern-Simons, Edge States, and Hierarchy”, Journal of High Energy Physics, 06(2009)37.

④ T. Nishioka and T. Takayanagi, “Fuzzy Ring from M2-brane Giant Torus”, Journal of High Energy Physics, 10(2008)82.

⑤ T. Nishioka and T. Takayanagi, “On Type IIA Penrose Limit and N=6 Chern-Simons Theories”, Journal of High Energy Physics, 08(2008)1.

〔学会発表〕(計 21 件)

① T. Takayanagi, “Holographic Quantum Quenches”, Apen conference on Strongly Correlated Systems and Gauge/Gravity Duality, Aspen Center for Physics, USA, Feb. 1, 2011.

② T. Takayanagi, “Holographic Entanglement Entropy, Fractional Quantum Hall Effect, and Lifshitz-like Fixed Points”, Plenary talk at Quantum Theory and Symmetries 6, Lexington, Kentucky, USA, July 23, 2009.

〔図書〕(計 0 件)

〔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：