

研究種目：学術創成科学研究費
研究期間：2007～2011
課題番号：19GS0219
研究課題名（和文） 超弦理論と宇宙の創成

研究課題名（英文） String Theory and Creation of Universe

研究代表者

江口 徹 (EGUCHI TORU)
京都大学・基礎物理学研究所・教授
研究者番号：20151970

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：超弦理論、宇宙論、宇宙の創成

1. 研究計画の概要

素粒子の超弦理論の研究者と宇宙論の研究者が一堂に会して、共同研究を行い宇宙の創成の謎に挑戦する。学際的、創造的な活動を行い世界にインパクトを与える研究成果を上げる。

2. 研究の進捗状況

研究代表者、分担者各自の研究成果が期待どおりに上がっている。

(1) 江口は、 $N=4$ 、 $N=2$ 超共形代数の表現論を用いてハイパーケーラー多様体、カラビ-ヤウ多様体の幾何学を調べ、これらの多様体の楕円種数の規約表現分解を導いた。規約表現分解は非BPS表現については無限和の形を持つが、その展開係数 A_n が表現の共形次元 n と共に指数関数的に増大する事、特に $2k$ 次元のハイパーケーラー多様体については A_n が $\exp(2\pi\sqrt{kn})$ の用に振る舞い、 $D1D5$ ブレーンが $K3$ 曲面に巻き付いて出来るブラックホールのエントロピーの振る舞いと一致する事を示した。佐々木は、高次元時空理論に基づく動的な解を求め、その宇宙論的意義を追及した。その結果、動的なコンパクト化を与えるモデルが存在することを示し、現実的な宇宙論モデル構築への第一歩を与えた。また、4次元有効理論を念頭に、高次の時空曲率の任意関数で与えられる理論を考え、そのハミルトン形式を定式化した。

杉本は、超弦理論を用いてゲージ群が $O(N)$ 、 $USp(N)$ である場合の量子色力学を解析する方法を提案し、対称性の自発的破れやバリオン安定性など、場の理論から期待されるさ

まざまな性質をうまく再現することを示した。ゲージ理論と弦理論の間の双対性が超対称性がない場合にも有用であることを示す新たな証拠となる。

高柳は、最近盛んに研究されている AdS/CFT の物性物理への応用に関する研究を行った。特に、スケール不変性が非等方な場合（リフシッツ理論）に拡張された AdS/CFT の一例が超弦理論の枠組みで実現できることを示した。また、高温超伝導体などに見られる絶対零度における超伝導/絶縁体相転移が AdS/CFT を用いて記述できることを示した。向山は、rapid-roll インフレーションモデルへの観測からの制限や、弦理論に基づく Curvaton 模型の提唱など、弦理論的インフレーション宇宙論について研究を行なった。また、フラックスコンパクト化の安定性や、新しい量子重力理論（Horava-Lifshitz 理論）に基づく宇宙論についても研究を行なった。

(2) 更に両分野の交流を密接にするため、毎年夏と冬に合同合宿を行っており、ここで最新の研究成果を発表するとともに、他分野に分かりやすいレビューや講義を行っている。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。異なる分野間の学際的研究を立ち上げるためにはある程度の時間が必要である。特に各分野独特の技術用語やものの見方、評価などになれる必要がある。また互いに人間的に親しくなる事も重要である。こうした問題は、

繰り返し合宿を行い、日常的に議論を重ねる中で多くの部分が解消されつつある。現在、超弦理論のAdS/CFTの手法を使って、電荷を持つブラックホールに荷電スカラー場が凝縮する問題に宇宙論のグループが取り組んでいる。今後このような研究が大いに発展すると考えられる。

4. 今後の研究の推進方策

今までの成果を加速させて、創造的な共同研究を育てて行きたい。あと2年間研究期間があるためこの間には是非世界的にインパクトのある研究をこのプロジェクトから生み出したい。

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 63 件)

- ① T. Eguchi and K. Hikami,
“N=4 Superconformal Algebra and the Entropy of HyperKähler Manifolds”.
JHEP 1002:019, (2010).
- ② K. Hashimoto, T. Sakai, S. Sugimoto, “Nuclear Force from String Theory”. PTP, 122: 427-476 (2009).
- ③ T. Kobayashi and S. Mukohyama,
“Curvatons in Warped Throats”. JCAP, 0907: 032 1-20 (2009).
- ④ M. Sasaki,
“Multi-brid inflation and non-Gaussianity”. PTP, 120: 159-174 (2008).
- ⑤ T. Nishioka, T. Takayanagi,
“Fuzzy Ring from M2-brane Giant Torus”. JHEP, 082: 1-23 (2008).

[学会発表] (計 75 件)

- ① T. Eguchi,
“Superconformal Algebra and Entropy of HyperKähler Manifolds”. The 5th Conference on Flavor Physics, Hanoi, September 24-30, (2009).
- ② T. Takayanagi,
“Holographic Entanglement Entropy”. KITP workshop: Quantum Criticality and the AdS/CFT Correspondence, KITP University of California Santa Barbara California USA, July 20 (2009).
- ③ T. Eguchi,
“N=2 Liouville Theory”, “Liouville Gravity and Lattice Statistics”.

Moskow, June 21-24 (2008).

- ④ M. Sasaki,
“Nonlinear curvature perturbations in two-field hybrid inflation.” CIFAR08 on Cosmology and Gravity, Stanford, USA, March 9 (2008).
- ⑤ S. Sugimoto,
“Baryons in Holographic QCD”. Summer Institute “Theories de jauge, gravite et theories de cordes”, Ecole Normale Superieure, Paris, France, September 2 (2008).

[その他]

当研究で開催された研究集会や合宿での講演プログラム、使われた power pointなどはホームページ

<http://www2.yukawa.kyoto-u.ac.jp/~stcu>に公開されている。