

科学研究費補助金（学術創成研究費）公表用資料
〔研究進捗評価用〕

平成19年度採択分
平成 22年 4月 20日現在

研究課題名（和文） **超弦理論と宇宙の創成**
研究課題名（英文） **Superstring Theory and Creation of Universe**
研究代表者
氏名 **江口 徹 (EGUCHI TORU)**
所属研究機関・部局・職 **京都大学・基礎物理学研究所・教授**



推薦の観点： 創造的・革新的・学際的学問領域を創成する研究
研究の概要： 超弦理論と宇宙論の研究者が協力して宇宙の創成に関する学際的、革新的な共同研究を行う。

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. 研究開始当初の背景

宇宙の創成を議論するための基礎理論としては超弦理論が最も有力であるが、日本ではこれまで超弦理論と宇宙論の間の研究者の交流が限られていた。日本が世界の研究をリードしてゆくためにも、これら異なる分野の一流の研究者を一同に集め、その交流を組織的に押し進めることが必要である。

2. 研究の目的

宇宙のはじまりは、極微の空間に巨大な質量が押し込まれた極限的な状態である。このような世界を記述するためには量子論的な重力理論が必要であるが、その有力候補が超弦理論である。この研究では超弦理論を用いて宇宙創成の謎に挑戦することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 研究代表者、分担者(6名)は共に、それぞれ超弦理論、宇宙論の専門家であり、各自の研究を更に発展させる事が重要である。
(2) また、同時に、他方の分野の研究者との組織的な交流を通じて、新しい手法やアプローチ、物理の見方などを吸収する必要がある。このため、合宿形式の研究集会を数多く開き、日常的に議論を行う事から共通の課題や現状認識等を育てることを目指す。

4. これまでの成果

(1) 毎年夏に富士吉田の日経連人材研修センターで10日間程、40-50名の泊まり込み形式の研究集会を行い、素粒子の弦理論分野と宇宙論の研究者の交流を図ってきた。また冬には、尾道、城崎などで40名程度の短期の泊まり込み合宿を行った。これらの交流会では最新のトピックスや研究成果の発

表以外に、各分野の講師が他分野の研究者に分かりやすいレビューや講義を行っており、これらの講演はホームページ等でその内容が公開されている。

<http://www2.yukawa.kyoto-u.ac.jp/~stcu/>
(2) 研究代表者、分担者の研究

超弦理論は10次元時空に存在するため余分な6次元は小さな多様体に丸まっていると考えられる。これらの多様体は独特な幾何学的性質を持ち、カラビ・ヤウ多様体、ハイパーケーラー多様体などと呼ばれる。こうした多様体上の超弦理論は $N=2$ や $N=4$ の超共形代数の対称性を持つことが知られている。江口はこれらの代数を用いてカラビ・ヤウ多様体やハイパーケーラー多様体上の超弦理論に現れる状態の縮重度を求め、それがレベルの順位とともに指数関数的に増大して、ブラックホールの持つエントロピーと同様の振る舞いを持つ事を示した。特にDブレーンが $K3$ 多様体に巻き付いて出来る標準的なブラックホールの場合には、そのエントロピーを完全に再現すること分かる。

佐々木は高次元時空理論に立脚した宇宙論・相対論を展開し、その実験的・観測的検証可能性を追求してきた。その成果のひとつは、高次元理論の低エネルギー極限としての有効4次元重力理論に関する成果である。有効4次元理論には多数のスカラー場が同時に現れ、それらが宇宙初期のインフレーション宇宙で重要な役割を果たすと予想される。そこで、そうした多成分スカラー場理論に、近い将来 PLANCK 衛星で観測可能なレベルの

非ガウスの揺らぎや重力波揺らぎを生成するモデルが存在することを示し、それらが観測されれば、高次元時空理論への重要な糸口となることを明らかにした。

杉本はある種の曲がった時空における超弦理論が4次元のゲージ理論と等価になるという予想に基づき、4次元の量子色力学を超弦理論を用いて解析する研究を行っている。この記述に基づいて陽子や中性子などの磁気モーメント、荷電半径、形状因子などを計算したところ、実験で得られているデータを期待以上の精度でうまく再現することが分かった。また、2つの核子が非常に接近している場合の核力も計算し、実験が示唆するように斥力芯があることが確かめられた。

インフレーションは宇宙初期の高エネルギー状態で起こったと考えられるだけでなく、宇宙背景放射の観測と直接結びつくため、そのモデル構築及び揺らぎの生成機構の研究は、高エネルギー物理に有益な知見をもたらすと期待される。向山は、主に、超弦理論に基づくインフレーションモデルの構築と観測との比較を行なった。具体的には、以下の研究成果が挙げられる。(i)DBI インフレーションと呼ばれる超弦理論に基づくインフレーションモデルに対して、観測からの制限を求めた。(ii)弦理論に基づく curvaton 模型の提唱をした。また、(iii)フラックスコンパクト化の安定性や、(iv)新しい量子重力理論 (Horava-Lifshitz 理論) に基づく宇宙論についての研究を行なった。

初期宇宙のような重力の量子揺らぎが無視できない状況では、時空のトポロジー自体も変化する可能性が高い。そこで、高柳は、4次元反ドジッター空間中のD2ブレーンを考え、そのトポロジーの変化を研究した。この背景場ではRR場の作用でD2ブレーンは2次元球面状に膨らむ。このときに、北極と南極を通る軸の周りに角運動量を与えるとどうなるか調べた。その結果、角運動量を大きくしてゆくと球面に2つ穴があいて内部でつながることを見出した。つまり最初は球面であったものが、回転を加えることでトーラスに徐々に変化する。この系は、回転したブラックホールが、ブラックリングに変化する過程の超弦理論での実現と思うこともできる。

5. 今後の計画

3年間にわたって、夏冬の合宿を行って来た事は弦理論、宇宙論グループの交流に大きな刺激を与えて来た。両グループの間の壁は解消しつつあり、当研究の当初の目標である「一流の超弦理論研究者と宇宙論研究者の元に、若い優秀な研究者を集め、超弦理論と

宇宙のはじまりについて集中的かつ組織的に研究を行なう」とする目標が徐々に達成されつつある。すでに幾つかのテーマにおいて、弦理論、宇宙論双方の手法や問題意識に基づく研究が始まっている。当研究は更に2年間継続されるため、この間に世界をリードする重要な研究が生まれる事を期待している。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)
(研究代表者は二重線、研究分担者は一重下線、連携研究者は点線)

主要なものに限る。全て査読付き

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

受賞:

恩賜賞・日本学士院賞 (平成 21 年) : 江口 徹
フンボルト賞 (平成 19 年) : 佐々木 節
木村利栄理論物理学賞 (平成 20 年) ,
湯川朝永奨励賞 (平成 21 年) : 杉本 茂樹

一般講演:

江口 徹「超弦理論と宇宙の謎」
日本物理学会、特別講演 2007年9月23日、
佐々木 節「宇宙はどうやって始まったか」
広島大学総合博物館、湯川秀樹・朝永振一郎
生誕百年記念展、2007年6月23日、
江口 徹「超弦理論と現代数学」
東京大学理学部物理教室談話会、2010年1月
29日、
杉本 茂樹「超弦理論入門」
朝日カルチャーセンター、2010年3月27日。

ホームページ等

<http://www2.yukawa.kyoto-u.ac.jp/~stcu/>