

研究成果

氏名： 鵜 沢 報 仁

[番号]は研究業績リストにある査読論文リストに記されている番号である。

(1) 高次元超重力理論における時空の動力学

超弦理論や超重力理論等の素粒子の統一理論は我々の宇宙が高次元であることを示唆しており、4次元及び内部空間の進化を明らかにすることが宇宙論と素粒子論の双方に関わる重要な課題となっている。我々の住む宇宙がもし高次元であるならば、4次元以外の空間(内部空間)が実験的・観測的に感知されない理由を理論的に説明しなくてはならない。また、高次元理論からどのようにしてインフレーション等の4次元宇宙モデルが生み出されるのかという問題も解決する必要がある。これらの問題に対して私は幾つかの具体的な超重力理論に注目し、4次元有効理論に現れるモジュライポテンシャルの形からインフレーション及び内部空間の安定化を議論する研究を行った ([5]、[6])。私は背景に存在する種々の場の量子効果を考慮することにより、モジュライポテンシャルは極小値を持ち、極小値でのポテンシャルエネルギーが正の値であるモデルを作ることに成功した。モジュライポテンシャルは4次元理論において真空エネルギーとして振舞うことが知られている。従って、この研究により正の宇宙定数、即ちド・ジッター時空を再現し、内部空間も安定化されているモデルを得ることができた ([5]、[6])。

その一方で私は、近年話題となっていた KKL_T モデルで用いられている背景をもとに、D3-brane が存在するときの 10次元 IIB 型超重力理論におけるアインシュタイン方程式の時間依存解を求め、内部空間のスケールは安定にはならないことを示した [2]。また、このモデルから4次元有効理論を導き、4次元アインシュタイン方程式の解を具体的に構成した [1]。その結果、warped コンパクト化では4次元アインシュタイン方程式の解には高次元アインシュタイン方程式の解ではないものも含まれることが分かった [1]。

超重力理論では intersecting brane についてもアインシュタイン方程式の時間依存解を得ることが出来る。背景に brane が数種類存在する場合、時間依存性は最も rank の低い field strength に現れることが分かった (e-Print Archive: 0712.3615 [hep-th])。

(2) Brane world (BW)モデルにおける宇宙定数問題

素粒子論のゲージ階層性の問題を解決する一つの試みとして、高次元時空上に 4 次元時空を持った D3-brane を埋め込むという Brane World (BW) モデルがある。BW モデルはゲージ階層性の問題が解消出来るだけでなく、D3-brane 上に重力子が束縛される宇宙モデルを作ることが出来る。私は、BW モデルが 4 次元宇宙定数問題に対してどのような示唆を与えることが出来るのかに興味を持ち、背景にスカラー場の存在する BW モデルの 4 次元宇宙定数の進化について解析した。そして brane 上の 4 次元フリードマン方程式を求め、観測結果と無矛盾かつパラメータの微調整も不必要な 4 次元宇宙定数を導くことに成功した [7]。

(3) pp - wave background 上の場の理論

超重力理論のモデルが完全に解ける背景時空として 10 次元 pp - wave background がある。pp - wave background 上での超重力理論の古典解や超対称性に関しては現在でも精力的な研究がある一方、場の量子効果や繰り込みに関してはその特徴や性質が今まで殆ど知られていなかった。特に、この背景時空上で量子補正を計算する際、発散部分を正則する方法に問題があった。私は、pp - wave background 上での場の量子効果としてスカラー場の 1-loop の量子補正を経路積分法 [4] と light-cone 量子化法 [3] の 2 つの方法から計算し、上記で述べた問題を回避しつつスカラー場の有効ポテンシャルを求める方法を確立した。

(4) Kaluza-Klein モードの宇宙論的な影響

Kaluza-Klein 理論は、超弦理論が 10 次元時空でのみ無矛盾に存在するという事実から、現実との対応を考えると必然的に要請される理論として注目を集めている。その際、余次元の大きさはその半径に対する有効ポテンシャルのもとで、減衰振動しながら安定化したと考えられている。このとき、共鳴による非熱的粒子生成効果が宇宙論的残存 Kaluza-Klein モードの問題にどの程度の影響を与えるかを明らかにする必要があった。

この研究のアイデアはコンパクト化の動力学に関する考察から生まれている。内部空間の安定化機構として 1-loop の量子効果が有効に働くことを示している。この研究では幾つかのコンパクト化のモデルで宇宙論的残存 Kaluza-Klein モードについて調べ、共鳴による非熱的粒子生成効果は無視できることを議論した [8,9]。