

これまでの研究成果のまとめ

これまで私は、主に場の理論や弦理論に関する分野において多様な研究を行ってきた。

(1) AdS/CFT 対応（ゲージ/重力対応）に関連した研究 [1,5,12,13,14,15,16,17]*

- $AdS_5 \times S^5$ 上 IIB 超弦理論の D5-brane を用いて、対応するゲージ理論のバリオンを表すことができる。私は AdS 空間の Penrose 極限において、D5-brane の Dirac-Born-Infeld (DBI) 作用を解析し、バリオンの D5-brane の配位を明らかにした [5]。また、私は 0B 弦理論における D5-brane の DBI 作用も解析し、対応する非超対称ゲージ理論でもバリオンが構成できることを示した [1]。
- 我々は、holographic QCD (HQCD) の酒井-杉本 (SS) 模型において、D8-brane と反 D8-brane の間に現れる開弦タキオンを考慮することで、タキオン凝縮のよってクォーク質量を与えることに成功した [12]。私はこのメカニズムを応用して、交差した D4-brane から成る新しい HQCD 模型を提案した [14]。我々は SS 模型を一般化し、D8-brane の DBI 作用からバリオンの諸性質を調べ、実験値と比較した [13]。
- この一般化された SS 模型を用いて、バリオン媒体中でのカイラル対称性の破れ/回復を調べ、低バリオン密度で、我々の結果は従来の QCD からの予想に合致した [16]。さらに、D0-D4-branes を背景とする新たな HQCD 模型を提案し、期待されるカイラル凝縮の振る舞いを高バリオン密度で再現できた [17]。
- AdS/CFT 対応を用いると、散乱振幅はそれに対応する境界条件を持つ弦の古典解の世界面（極小曲面）の面積から得られる。我々は、この極小曲面の観点から gluon 散乱と quark 散乱の Regge 極限における類似性を詳細に調べた [15]。

(2) 弦理論、M 理論、場の理論における数理解物理学的側面の研究 [4,6,9,10,11]

- 私は gerbe と呼ばれる数学的手法を用いることで、弦の Chan-Paton 因子に作用する orbifold 群の表現に現れる discrete torsion なる位相を 11 次元 M 理論へと拡張し、その非自明な構造を明らかにした [4]。
- 私は ADE マルチ行列模型を用いて、位相的弦理論の標的空間にある ADE 型特異点の変形を明らかにし、 $\mathcal{N} = 1$ 超対称 quiver ゲージ理論の有効 superpotential を近似的に導出した [6]。
- 我々は gauged 線形シグマ模型の超多様体（可換な座標と反可換な座標を持つ多様体）上での振る舞いを調べ、超多様体に埋め込まれた D-brane の存在、古典真空の構造、Calabi-Yau 条件、超共形対称性などを明らかにした [9,11]。
- 連続の弦の場の理論を用いて、 $(p, p+1)$ ミニマル弦理論の D-instanton の振幅を計算し、行列模型から知られていた結果を再現した [10]。

(3) 量子 entanglement に関する研究 [18,19,20]

- 上記(1)とも関連して、我々は AdS/CFT 対応において gluon 散乱を表す開弦の世界面上の causal structure を調べ、そこに wormhole があることを示した [18]。これは、ER=EPR 予想をサポートする例である。
- 散乱する 2 粒子間の entanglement について、始状態から終状態にかけての entanglement entropy (EE) の変化を、場の理論でいくつかのモデルを設定して摂動計算した [19]。さらに、S 行列理論を駆使して、S 行列の unitarity から、モデルに依存することなく一般的に、高エネルギー散乱 2 粒子の終状態における EE を物理量で表す公式を見つけた [20]。
- この公式にはカットオフに関する不定性があるので、エンタングルメントの観点から意味のあるカットオフの決め方を提案し、最終的にカットオフに依らない公式を導いた。

(4) 余剰次元モデルに関する研究 [2,3,7,8]

- 時間的余剰次元のコンパクト化で現れるタキオンの Kaluza-Klein モードの寄与を含む球体の重力自己エネルギーを計算し、球体の半径と安定性の関係を議論した [2,3]。また、空間的余剰次元のコンパクト化による真空エネルギー（Casimir エネルギー）と宇宙定数を結びつけることにより、余剰次元の形状について示唆を与えた [7,8]。

*[] は別紙『論文リスト』の論文番号。