これまでの研究成果のまとめ

私は、時空超対称性に注目して、量子重力理論を含む統一理論としての超弦理論・M 理論の新しい定式化の探求を目的に、超弦理論の双対性、弦の非摂動論的物理の研究を以下のように行ってきた。

1．2 次元ブラックホール [1,2]
ブラックホール時空上の弦理論と解釈されるゲージ化された $SL(2,\mathbb{R})/U(1)$ Wess-Zumino-Witten (WZW) 模型の物理的状態をカレント代数の表現を考慮して解析した。結果として、$c=1$ 2 次元重力理論に現れる離散的状態に加え、ゴースト数 $-1 \sim 2$ を持つ新たな状態が現れることが分かった。

2．普遍弦理論 [3,4]
超対称性及び W 代数を線形化した w 代数の系列のすべての弦理論を $N=\infty, w_\infty$ 超弦理論で定式化出来ることを示した。これによって、様々な弦理論を、普遍弦理論の 2 次元世界面上の場の理論の対称性の破れを通じて現れる相として解釈することが可能になった。

3．Brane 作用の新しい幾何学的定式化 [8-12,14]
超弦理論に現れる brane の新しい幾何学的定式化を与えた。スピノルの脚を持つ生成子を新たに導入し一般化された時空超対称代数を構成した。この代数に対応する群多様体上のカレントを使うことで、Wess-Zumino(WZ) 項を含む (D)p-brane の作用が、$(p+1)$ 次で明らかに超対称に構成できることを示した。また、世界面上の Born-Infeld U(1) ゲージ場が、新たに導入した生成子に対応する群多様体上の座標を使って書き表されることを示した。さらに、この構成法が、Anti-de-Sitter(AdS) 超対称性代数へ拡張出来ることを示した。また、(D)p-brane の WZ 項が Chevalley-Eilenberg コホモロジーの非自明な要素として分類できることを示した。

4．タキオン凝縮と時空超対称性 [13,15]
上で構成した超弦が、開弦の端点の自由度を含む弦理論として解釈できることを示し、完全に壊れていた超対称性がタキオン凝縮を通じて回復することを議論した。また、時空の超対称性のみならず時空構造そのものが変化するタキオン凝縮過程を解析するために、off-shell で定式化された、Neveu-Schwarz 弦場だけでなく Ramond 弦場をも含む唯一無矛盾で共変な WZW 型作用で表される超弦の場の理論を調べ、時空構造に依らない定式化を与えた。

5．Penrose 極限と AdS 超対称代数 [16,17,20-22]
平面波時空および AdS 時空上の brane 作用の関係を明白にし、可解でない AdS 時空上の弦理論・膜理論に対して新たな知見を得るために、平面波時空の超対称 isometry 代数が AdS 時空の超対称 isometry 代数から Inönü-Wigner(IW) 縮約を通じて得られることを示し、生成子の対応を与えた。

6．AdS 時空及び平面波時空上の超弦理論 [18,19]
AdS 時空及び平面波時空上の共変で双線形な超弦作用を提案し解析した。この作用は、時空超対称性が明らかで、κ 対称性をもち、正しい平坦極限を再現し、超対称代数に正しい弦の荷量を与える。従来の作用は、双線形に書くことは難しく解析が困難だったが、我々の作用は、必要な条件をすべて満たしつつ、この点が改善されている。

7．AdS 時空上の brane の分類 [23,25,26,28,29]
AdS 時空上の共変な開いた超膜および超弦理論の κ 対称性に注目し、開膜および開弦が端をもてる brane の分類を行った。AdS 時空上では共変な解析が困難なため、これまでの brane の分類は不完全であったが、我々の解析により完全な分類が得られた。また平面波時空上の brane の分類も行い、AdS 時空上の brane との関係を明らかにした。

8．時間発展する時空上の行列模型 [24]
時間発展する平面波時空上の行列模型を構成し、超対称性代数から理論の構造を明らかにした。また古典解を構成しエネルギー及び超対称性を調べた。

9．球面束上の Einstein 計量の構成 [27]
高次元 AdS Kerr ブラックホール解から、(a) $S^2 \times S^3$ または非自明な S^2 上の S^3 束上の (k_1, k_2) で特徴付けられる無限個の Einstein 計量、(特に k_1+k_2 が奇数のとき非自明。また $k_1 \neq k_2$ のとき inhomogeneous。) (b) 非自明な S^2 上の S^{d-2} 束上の inhomogeneous Einstein 計量、を得た。