Quantization of time-dependent string theory and its application to holography[1]

KEK　関野 恭弘
E-mail: sekino@post.kek.jp

1997 年に Maldacena によって提唱された AdS/CFT 対応は、超弦理論と重力を含まない理論とのホログラフィックな対応の最も顕著な例として注目され、精力的に研究されてきた。AdS/CFT 対応とは、D3 ブレーンに関係した場合でいうと、$AdS_5 \times S^5$(D3 ブレーン解の near-horizon 極限) 上の超弦理論が、4 次元 SU(N)$\mathcal{N} = 4$ 超対称 Yang-Mills(SYM) 理論 (N 個の D3 ブレーンの短距離における有効理論) の大 N 極限と等価である、という予想であった。この対応を確立するうえで、ゲージ理論の共形対称性が重要な役割を果たしたが、ホログラフィックな対応は、共形不変でない一般の Dp ブレーン理論に関しても成立すると考えられる。具体的には、Dp ブレーン解の near-horizon 極限上の超弦理論と、$(p+1)$ 次元 SYM 理論の大 N 極限が等価であることが予想されている。筆者は 1999 年に米谷民明氏と共同で、共形不変性を一般化した対称性がこれらの理論に存在することを手がかりに、D0 ブレーンに関するホログラフィーを定式化し、超重力理論 (超弦理論の低エネルギー極限) を用いて 1 次元 SYM 理論 (BFSS 行列模型) の相関関数を求めた。これは本質的には、Gubser, Klebanov and Polyakov および Witten (GKP/W) が共形不変理論に関して提案した処方をもとにしていた。

今回の目的は、Dp ブレーン $(0 \leq p \leq 4)$ に関する対応を弦の世界面理論の立場から定式化することである。我々は、Dobashi, Shimada and Yoneya により 2002 年に提案されたホログラフィーのトンネル描像に基づいて、Euclid 的世界面を持った弦理論を準古典的に扱う。よく知られているように、D3 ブレーンに関する場合については、2002 年に Berenstein, Maldacena and Nastase (BMN) が、超弦の励起状態に対応するゲージ理論の演算子を同定し、それらの演算子の異常次元を予言する、という大きな発展があった。BMN がもとにしていた Minkowski 理論では、弦の古典的軌跡が SYM 理論が定義されている時空の境界 (near-horizon 領域の端) を通らず、どのようにして超弦理論の物理量とゲージ理論の物理量を結びつけるのかが明らかでない、という問題があったが、我々の立場では、ゲージ理論の 2 点関数は、境界上の 2 点を結ぶ軌跡の周りの超弦の準古典的振幅という明確な量で与えられる。我々の Euclid 弦理論は、$p = 3$ の場合、BMN が提案したものと同じ 2 点関数を与え、また、$p \neq 3$ の場合に直接応用できる。一般の p の場合、時間に依存した質量を持った弦理論を扱うことになるという点で、質量が定数だった $p = 3$ の場合に比べて解析が技術的に難しくなる。このような理論では、一般に、時間発展に伴って無限個の状態が混じり合うことになるが、我々は Heisenberg 表示によって量子化を行い、振幅を対角化する基底をとる、という方法を提案した。

それによって得られる $(p+1)$ 次元 SYM 理論の 2 点関数は、最低次の励起状態 (すなわち超重力モード) に対応する演算子については、演算子の (一般化された共形変換に関する) スケール次元に応じた冪的な振る舞いを示す。これは、超重力理論による定式化から得られる結果と合致している。また、弦の高次の励起は、$p < 3$ の場合、赤外極限で 2 点関数を指数的 (massive) にさせ、$p = 4$ の場合、赤外極限では相関関数に影響しない、という結論が得られた。これらは、$p = 3$ の時の、異常次元をもった冪的振る舞いとは大きく異なるが、共形不変性を持たない低次元および高次元 SYM 理論の振る舞いとしては不自然ではない。現時点では、我々の結果はゲージ理論に対する予言であるが、ゲージ理論の枠内での解析、例えば平均場近似等により、この結果を再現するのを試みることは、興味深い今後の課題である。

[1] M. Asano, Y. Sekino and T. Yoneya, 'PP-wave holography for Dp-brane backgrounds,' hep-th/0308024 に基づく。