

# Apparent Horizons in Holographic Dual of Hydrodynamics<sup>1</sup>

Center for Quantum Spacetime 中村 真

E-mail: nakamura@hanyang.ac.kr

米国 BNL の RHIC 加速器で生成される quark-gluon plasma (QGP) は、膨張する強結合系である。この膨張の単純化されたモデルに Bjorken 膨張があり、粒子の中心衝突で生成された QGP の中心領域を記述する標準的モデルとなっている。この研究では AdS/CFT を QGP の物理に応用する目的のもと、Bjorken 膨張をする強結合 large- $N_c$  N=4 SYM 理論プラズマ<sup>2</sup>を記述する無矛盾な AdS/CFT モデルを初めて構成した。膨張するプラズマは言うまでも無く時間変化する系であり、ここで提案するモデルは time-dependent AdS/CFT の well-defined な具体例にもなっている。時間変化する強結合ゲージ理論プラズマの巨視的物理は相対論的流体力学により記述できるが、プラズマの微視的性質（演算子の相関関数など）は有効理論である流体力学からは計算できない。また格子 QCD では時間変化する系の解析を行うことは技術的に困難である。一方で、AdS/CFT は、巨視的物理と微視的物理の双方の解析が可能な枠組みであり、既存の枠組みとは異なる解析手法を提供できる可能性がある。

流体力学は stress tensor などの保存量の時間発展を記述する枠組みであるから、「Bjorken 膨張を記述する dual 時空」とは、時空から読み取られる（時間依存する）4d stress tensor が Bjorken 膨張のそれを再現するような dual 時空のことであり、supergravity の時間依存する解<sup>3</sup>として得られる。Einstein 方程式を厳密に解いて時間依存する解を得ることは大変難しいため、ここでは  $\tau^{-2/3}$  で展開して order by order で解を決めていく。ここで  $\tau$  とは流体の proper time と呼ばれる time-like な座標であり、 $\tau^{-2/3}$  のべきで展開するというアイデアは、流体力学側で現れる  $\tau$  のべきと合うように採用した。我々の成し得たことのうち重要な点を列挙すると以下ようになる。

(1) Bjorken flow の dual を Fefferman-Graham 座標に基づいて得た既存の仕事が存在するが、ここでは  $\tau^{-2/3}$  展開の 3 次で時空に「除けない裸の特異点」が生じ、formalism が破綻することが知られていた。ここでは、Eddington-Finkelstein 座標を用いて dual 時空を構成することで、その困難を回避でき、 $\tau^{-2/3}$  展開の all order で裸の特異点の除去が可能なことを数学的帰納法で示した。

(2) dual 時空に  $\tau$  依存する apparent horizon が存在することを示し、従って event horizon の存在証明、つまり dual 時空が  $\tau$  依存する black hole であることの証明をした。

(3) 時空に裸の特異点がないように要請すると、粘性度や緩和時間等の輸送係数（の組み合わせ）が unique に決定されることを示した。またこの方法で原理的に任意の次数での輸送係数を決定できることを数学的帰納法で示した。

以上により、我々のモデルは Bjorken flow の holographic dual の最初の無矛盾なモデルとなっている。今後は、これを足がかりとして、流体力学や QGP を gravity dual の視点から研究するための環境をさらに整備していく予定である。

<sup>1</sup>木下俊一郎氏（東京大学）、向山信治氏（IPMU）、尾田欣也氏（大阪大学）との共著論文 (arXiv:0807.3797) に基づく。引用文献等はこの原論文を参照されたい。

<sup>2</sup>ここでは N=4 SYM 理論の非閉じ込め相の gluon とその super-partner の集団をプラズマと呼ぶことにする。

<sup>3</sup>余分な 5 次元方向を無視して構わない場合は残りの 5 次元についての宇宙項が負の Einstein 方程式の解。