

A holographic dual of RHIC hydrodynamics

Center for Quantum Spacetime and Hanyang University 中村 真

E-mail: nakamura@hanyang.ac.kr

RHIC で生成される quark-gluon plasma (QGP) は、強結合の系であることが知られており、この系の解析には強結合 QCD の解析手法が必要となる。一方、AdS/CFT にはゲージ理論が強結合になればなるほど記述が簡単になるという特徴がある。従って、このアイデアを RHIC での物理に応用しない手はない。しかしそのためには、(1) 扱われるゲージ理論をいかに実際の QCD に近いモデルに拡張するか、(2) 実際の QGP は膨張する系なので、このような時間依存性のある系を AdS/CFT を用いていかに記述するか、が問題になる。(1) については近年様々な試みが行われているが、(2) の方向での試みはまだ比較的少ない。そこで、本研究では (2) の方向へのステップとして large- N_c $\mathcal{N} = 4$ 強結合超対称ゲージ理論プラズマの流体力学的時間発展が AdS/CFT を用いてどのように記述できるかについて研究した。特に、流体力学的セットアップとしては Bjorken の一次元膨張のモデルを採用し、ずれ粘性の効果も含めて考察した [1]。

この時間発展するゲージ理論プラズマの dual geometry を得るために用いた手法は以下の通りである。まず、ゲージ理論プラズマの局所静止座標系（そこでの計量を $g_{ij}^{(0)}$ とする）を Bjorken に従って設定し、流体力学を用いてプラズマのエネルギー運動量テンソル T_{ij} の時間発展を求める。dual geometry は宇宙項が負の 5 次元 Einstein 方程式の解として得られるが、 $g_{ij}^{(0)}$ と T_{ij} はその Einstein 方程式の境界条件を与える。従って、最終的に得られる geometry は T_{ij} の時間発展の情報を読み取り、時間変化する 5 次元時空となる。我々は、ゲージ理論プラズマの生成から充分長い時間が経過し、系の時間発展が充分緩やかであるという近似（late time 近似）を用いると、得られる dual geometry は、horizon の位置が時間変化する AdS ブラックホールの計量を持つことを示した。この計量から Hawking 温度を断熱近似のもとで計算すると、エネルギー密度と温度の関係を読み取ることができ、また horizon 面積の時間依存性からエントロピー生成率を読み取ることができる。解析の結果、このエントロピー生成率は流体力学から得られる結果と厳密に一致することが示された。さらに注目すべきことは、無限の未来でのエントロピー密度は流体力学の枠組みでは単なる積分定数であったのに、この AdS/CFT の枠組みではその値が他の初期条件と N_c の言葉で決定されることである。つまり、ここでは流体力学をインプットとして用い¹、holographic 繰り込み群の手法で dual geometry を「流体力学と合うように」決定した結果、もともとの流体力学のみからは得られない情報を引き出すことが出来たことになる。

今後さらに考察すべき点としては時間依存する「ブラックホール」について event horizon の有無や熱力学の法則を満たすことを厳密に定式化していくことが重要である。また、この研究をゲージ理論プラズマが 3 次元的膨張をする場合に拡張することも非常に重要であるが、この方向での試みとしては [2] がある。

[1] S. Nakamura and S-J. Sin, *JHEP* **09** (2006) 020, hep-th/0607123.

[2] S-J. Sin, S. Nakamura and S. P. Kim, hep-th/0610113.

¹この意味で、流体力学の枠組みそのものが AdS/CFT から導出された訳ではない。