

格子ゲージ理論を用いたクォークグルオンプラズマ相の研究

1 研究組織¹

- 研究責任者
浅川 正之 (あさかわ まさゆき) 大阪大学 大学院理学研究科・教授
- 共同研究者
野中 千穂 (のなか ちほ) 名古屋大学 大学院理学研究科・助教
北沢 正清 (きたざわ まさきよ) 大阪大学 大学院理学研究科・助教
河野 泰宏 (こうの やすひろ) 大阪大学 大学院理学研究科・D1
星野 武之 (ほしの たけゆき) 名古屋大学 大学院理学研究科・M2

2 研究実施報告

2.1 2次の相対論的粘性流体力学における輸送係数の解析

RHIC の実験結果に対する完全流体模型による記述の成功を受け、近年流体模型を用いた重イオン衝突・QGP の現象論的研究が盛んに行われている。LHC では RHIC に比べより高温状態が実現され粘性の効果が大きくなるとの予想から、相対論的粘性流体模型による重イオン衝突の研究が重要になると考えられる。相対論的粘性流体力学の1次の理論(相対論的 Navier-Stokes 理論)には因果律を破ることや数値シミュレーションの不安定性などの問題があることが知られている。一方、1次の理論を拡張した2次の流体方程式(Israel-Stewart 理論)においては、上記の問題を回避することができる。しかし、2次の理論には1次の理論には含まれなかった新たな輸送係数(2次の輸送係数)が含まれており、これらは微視的理論(重イオン衝突では QCD)により決定されるべき非負の物理量である。これら2次の輸送係数は、Boltzmann の原理を非平衡状態に拡張することでエネルギー運動量テンソルのゆらぎと関係づけることができる [1]。本研究では格子 QCD シミュレーションにより、格子上のエネルギー運動量テンソル(主に粘り粘性係数に関連した非対角成分)のゆらぎを計算することで SU(3) ゲージ理論における2次の輸送係数の解析を行ってきた。

システム B を用いて有限温度のゲージ配位を生成し、各格子パラメーターに対して数十万~百万のゲージ配位上でエネルギー運動量テンソルの各成分のゆらぎを計算した。ゲージ配位のアップデートには熱浴法と過緩和法を併用し、エネルギー運動量テンソルはクローバー型のプラケットで構成している。真空におけるエネルギー運動量テンソルのゆらぎは、連続理論において発散している量であるため、真空の寄与を繰りこむ必要がある。今回の解析においては真空のゆらぎを単純に引き算するという手法によりこの繰りこみを定

¹メンバー・所属・役職は当該年度開始時のもの。

式化し、測定を行った。しかしこの結果、有限温度における2次の輸送係数が負になるという結果が得られた [2]。輸送係数は非負の値をとることが流体力学により要請されるため、現在行っている繰りこみの処方に問題があることが予想される。具体的には、真空の寄与以外に温度に依存する発散項がエネルギー運動量テンソルのゆらぎに含まれていると考えられ、現在はその寄与を除去するための定式化を行っている。

2.2 チャーモニウム有限温度スペクトルの運動量依存性

重イオン衝突で生成される $c\bar{c}$ 対は、QGP 中において $c\bar{c}$ 間ポテンシャルの遮蔽効果により相関を失うことが指摘されている。これにより、QGP 中では束縛状態（チャーモニウム）の生成が抑制されるが、この抑制を重イオン衝突における QGP 生成のシグナルとすることが提案されている。一方で、格子 QCD シミュレーションによるチャーモニウムの有限温度スペクトルの解析から、臨界温度以上の高温においてもチャーモニウムが存在する可能性も指摘されている。この先行研究ではチャーモニウムが媒質に対して静止している状況、すなわち零運動量の場合のみを解析の対象としていた。しかし、実際の重イオン衝突で生成されるチャーモニウムは一般に媒質に対して相対運動しており、この相対運動により崩壊幅が増大し、チャーモニウム抑制が促進される可能性が考慮されていなかった。そこで本研究では、先行研究を拡張し有限温度・有限運動量におけるチャーモニウムスペクトルの解析を格子 QCD シミュレーションにより行った。スペクトルは格子上の虚時間相関関数に最大エントロピー法を適用することで測定した [3]。

解析はクエンチ近似で行い、非等方な格子上で有限温度のゲージ配位を生成し、各格子パラメーターに対して約 400 のゲージ配位上で擬スカラーチャンネル (η_c) およびベクトルチャンネル (J/ψ) の虚時間相関関数の計算を行った。ゲージ配位のアップデートには熱浴法と過緩和法を併用し、フェルミオン作用には Wilson 作用を用いた。これまでに計算を終えた擬スカラーチャンネルのいくつかの温度に対する解析においては、有限運動量による新たなピークの消失は見られていない [4]。このことから媒質に対する相対運動が臨界温度以上における η_c の安定性に与える効果は小さいことが予想される。今後は、擬スカラーチャンネルの解析をさらに詳細化することおよび、ベクトルチャンネルに対する同様な解析を行うことが挙げられる。

参考文献

- [1] Y. Kohno, M. Asakawa, M. Kitazawa, and C. Nonaka, **PoS(LATTICE 2009)**, 196 (2009).
- [2] Y. Kohno, M. Asakawa, M. Kitazawa, and C. Nonaka, **PoS(LATTICE 2010)**, 194 (2010).
- [3] 星野武之、修士論文（名古屋大学、2010年）。
- [4] C. Nonaka, M. Asakawa, T. Hoshino, M. Kitazawa, and Y. Kohno, **PoS(LATTICE 2010)**, 207 (2010).