

## 格子ゲージ理論を用いた クォーク・グルーオン・プラズマ相の研究

### 1 研究組織

- 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・D2

### 2 研究実施報告

#### 2.1 クォーク・グルーオン・プラズマ中のチャーモニウム有限運動量スペクトル

重イオン衝突で生成される  $c\bar{c}$  対は、クォーク・グルーオン・プラズマ (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ことが期待され、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、すなわちゼロ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は過去に議論されていない。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。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、各格子パラメータに対して約 400 のゲージ配位上でこれまでにを行った擬スカラーチャンネル ( $\eta_c$ ) に引き続き、ベクトルチャンネル ( $J/\psi$ ) 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。

詳細な解析は現在継続中であり、臨界臨界温度以上において媒質に対する相対運動がベクトルチャンネルの安定性に与える効果を幅広い温度について解析することが課題である。

## 2.2 2 次の相対論的粘性流体力学における輸送係数

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) が複数含まれており、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、古典極限における久保公式を用いて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。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、各格子パラメータに対して数十万～数百万のゲージ配位上でエネルギー運動量テンソル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た。エネルギー運動量テンソルのゆらぎは紫外発散量であり、以前の解析では真空のゆらぎを引き算することで正則化を定式化し測定を行っていた。その結果、流体力学の要請により非負であるはずの 2 次の輸送係数が負になるという結果が得られた。これ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たためと考えられる。輸送係数とエネルギー運動量テンソルのゆらぎを再定式化し、温度依存する発散項の寄与を取り除くことが今後の課題である。