

# 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・准教授  
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・D4

## 2 研究実施報告

### 2.1 クォーク・グルーオン・プラズマ中における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、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。これらの先行研究では、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は論じられてこなかった。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てきた。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 のゲージ配位上で擬スカラーチャンネル  $\eta_c$  および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。本研究期間には、最大エントロピー法を有限運動量に適用する際に生じるいくつかの問題が見つかり、この問題を回避する作業を行った。詳細な解析は継続中である。

## 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。流体模型による時間発展の記述は LHC での重イオン衝突実験に関しても成功しており、重イオン衝突の現象論における流体模型の重要性は近年ますます重要性を増している。特に、流体模型に含まれるパラメータである輸送係数を QCD に基づいて決定することは、極めて重要な課題である。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。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のだが、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、古典極限では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。本研究ではこの関係を量子論に拡張し、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。ただし、エネルギー運動量テンソルのゆらぎは真空においても紫外発散しており、物理的に意味のある値を求めるためにはこの発散を正則化する必要がある。我々は以前に行った解析において、真空のゆらぎを引き算することで正則化を定式化し、測定を行った。しかし最近、エネルギー運動量テンソルのゆらぎには真空ゆらぎの発散がもたらす寄与以外にも温度に依存した発散項が含まれており、この効果を含まない以前の定式化は誤りであることが分かった。本研究期間に、この効果を正しく取り込んだ定式化を行い、再解析を行った。