

# 大型シミュレーション研究成果実施報告書

## 1 研究組織

### 研究責任者

- 菊川 芳夫 (きくかわ よしお)  
東京大学 総合文化研究科 准教授

### 研究従事者

- 滑川 裕介 (なめかわ ゆうすけ)  
筑波大学 計算科学研究センター 研究員
- 安田 淳一郎 (やすだ じゅんいちろう)  
名古屋大学 理学研究科 D3  
(東京大学 総合文化研究科 受託学生)

## 2 当該年度の実施報告の詳細

現在知られている物質の基本構成要素は、クォークである。クォークは通常ハドロン内部に閉じ込められており、単独で現れることは無い。しかし、非常に高温・高密度下ではクォークは開放され、クォーク及びクォーク間の力を媒介するグルーオンのプラズマ状態になると考えられている。このクォーク・グルーオン・プラズマは新しい物質形態であり、その性質を解き明かすべく理論的・実験的研究がなされている。近年、クォーク・グルーオン・プラズマに関する実験が活発に行われ、大きな成果が上がりつつある。特に、ブルックヘブン研究所のRHIC加速器における高エネルギー重イオン衝突実験にて、ジェット抑制やフローなどクォーク・グルーオン・プラズマの生成を示唆するデータが得られてきている。

一方、クォーク・グルーオン・プラズマの理論的解析は難しい。これは、クォーク・グルーオン・プラズマが相転移点近傍で大きな非摂動的効果を受けるためである。格子量子色力学(QCD)に基づく数値シミュレーションが、クォーク・グルーオン・プラズマの性質を探る唯一の系統的理論計算法である。ただし、有限温度格子QCDにも問題がある。シミュレーション法の特長上、温度方向の格子サイズを大きくすること

ができない。このため、従来用いられている等方格子では、クォーク・グルーオン・プラズマ中のハドロンスペクトルといった基本的情報すら得ることが難しい。そこで、我々は温度方向により細かい格子を持つ非等方格子を使って、クォーク・グルーオン・プラズマの性質を探る方法を採用した。

本年度は、有限温度非等方格子QCD計算の基礎となる相構造をより詳細に調べた。まず、時間方向の格子サイズが12の格子を用いて、クォーク質量が50-200 MeVの領域で相転移点を複数計算した。その後、得られた相転移点のデータを、クォーク質量が0のカイラル極限へ外挿した。粗い格子上での場合同様、我々のデータはカイラル極限で予想される $O(4)$ スケールリング則により良く記述できた。そのため、カイラル外挿には $O(4)$ スケールリング関数を用いた。この結果、時間方向の格子サイズが12の場合、相転移温度が170(5) MeVと判明した。

次に、時間方向の格子サイズが8、10のデータと組合せ、格子間隔がゼロへの連続極限を実行した。我々は、有限温度2フレーバーQCD相転移温度の値として160(5) MeVを得た。ただし、各シミュレーション点での精度不足により、連続極限操作の際に生じる系統誤差は評価できていない。計算精度を上げ、系統誤差の評価をも行う事が今後の目標である。

また、相転移温度計算に加え、有限温度でのハドロンの研究も行った。ハドロンがクォーク・グルーオン・プラズマ中でも束縛状態を維持するか否かは、実験結果の解析に重要な指針となる。我々は、この束縛状態の有無をハドロンの波動関数を調べる事により判定した。具体的には、パイ中間子及びロー中間子の波動関数を計算し、相転移点近傍でも波動関数は、ゼロ温度の場合同様、空間的に局在化している事を確認した。さらに、この波動関数の振る舞いが、どの格子サイズ及びクォーク質量でも見られる事を示した。これは、相転移温度付近ですら、依然としてハドロンは束縛状態を保つ事を意味する。この結果を踏まえ、相転移温度近傍でのハドロンスペクトル計算も試みた。得られた波動関数の重みをハドロンの演算子に与える事でシグナルを改善し、ハドロン質量を計算した。その結果、パイ及びロー中間子の質量は相転移点近傍でもほとんど変化しない事が分かった。QCDの有限温度相転移はvector manifestation的ではなく、シグマ模型的である可能性が高い事が示された。

### 3 国際会議のプロシーディング論文

- Y. Namekawa, Y. Kikukawa  
Thermodynamics of  $N_f = 2$  QCD on anisotropic lattices  
PoS LAT2007 (2007) 212

### 4 研究発表リスト

口頭研究発表 (国際会議)

- Y. Namekawa, Y. Kikukawa  
Thermodynamics of  $N_f = 2$  QCD on anisotropic lattices  
The XXV International Symposium on Lattice Field Theory  
(University of Regensburg, Germany, July 30-Aug. 4, 2007)