

KEK 大型シミュレーション実施報告書 SC-TARO グループ

1 研究組織

研究責任者

中村 純 (なかむら あつし) 広島大学情報メディアセンター・教授

共同研究者

日置 慎治 (ひおき しんじ) 帝塚山大学経営情報学部・教授

酒井 淳 (さかい すなお) 山形大学地域教育文化学部・教授

高石 哲弥 (たかいし てつや) 広島経済大学・助教授

松古 栄夫 (まつふる ひでお) 高エネルギー加速器研究機構 計算科学センター・助教

元木 伸治 (もとき しんじ) 広島大学生物圏科学研究科・D3

浜田 政智 (はまだ まさとし) 九州大学・理学研究科・D2

Philippe deForcrand (フィリップ ドゥフォークラン) スイス連邦工科大学 (スイス)・教授

Seyong Kim (セヨン キム) セジョン大学 (韓国)・教授

Margarita Garcia-Perez (マルガリータ ガルシア-ペレス) マドリード大学 (スペイン)・講師

Irina Pushkina (いりーな ぷしきな) 広島大学生物圏科学研究科・研究員 (現在オランダ・ユトレヒト大学・研究員)

2 研究課題の背景

QCD は閉じ込めという特異な性質を持っているが、有限温度・密度においては、相転移が起こり、この閉じ込めが破れ非閉じ込め相が実現されることが期待されている。このような状態を実現するために、CERN SPS、BNL RHIC 加速器において超高エネルギー重イオン反応実験が進められ、多くの実験的知見が得られた。特に RHIC においては、格子で予想される相転移温度、エネルギー密度を越えたと考えられている。図 1 参照。

しかし、そこで実験的に見いだされた状態は、当初予想されていたようなクォークとグルーオンの自由ガスからはほど遠いもので、おそらくクォークの束縛状態も存在するような強く相互作用している物質であろうと思われる。(このことは、QCD-TARO グループによる格子 QCD シミュレーションで 2001 年に示唆されていた。)

このような非常に強く相互作用する系はこれまであまり物理で取り上げられたことはない。もちろん、摂動論の適用は非常に限定的である。実験で直接測定されるものは、温度ゼロ、密度ゼロになった状態であり、そこでの特徴から生成直後の高温、高密度状態の証拠を見つけなければならない。この為には理論的な解析やモデル計算が欠かせないが、強く相互作用する非摂動系に対して、統一的な取り扱いが難しい。実験、理論、格子シミュレーションによる統合的な研究が重要になっている。(中村純：パリティ (丸善) 2007 年 1 月 pp44-46、「極限状態のクォーク計算物理学と実験物理学と理論物理学の 3 重点」)

3 本年度の研究報告

以上のような背景の下、有限温度・有限密度 QCD の振る舞いを明らかにするために以下のような研究を進めてきた。

3.1 グルーオン系の輸送係数

自由ガスと強く相互作用している系の大きな違いは、輸送係数である。RHIC の実験の解析は、作られた物質が完全流体に近い振る舞いをしていることを示している。粘性係数ゼロの完全流体を実現するためには、十分な運動量交換が必要であり、相互作用が弱い系では実現できない。我々は実際にクエンチ近似で粘性係数とエントロピー密度の比を計算し、通常物質よりはるかに小さいことを示した。この計算は更に統計を上げ、また体積粘性率も非常に小さいことが明らかになりつつある。(「研究会等」(1)、(2)(3)、「プロシーディング」(1))

3.2 クォークのプロパゲータ

相転移温度以下の閉じ込め状態では、クォークは実粒子としては存在できないはずで、それは物理リーマン面にポールを持たないことを意味する。非閉じ込め相において、真にクォークが現れるならポールが現れ、もし相転移温度直上で自由粒子と大きくことなるなら、その質量には以上が見られることが期待される。相転移温度の下と上で実際にクォークのプロパゲータを測定し、そのポールを求める解析を進めている。(「研究会等」(5))

3.3 有限密度・有限温度でのハドロンのスクリーニング質量

現在進められている格子 QCD による有限温度・密度の研究は、大部分が状態方程式の計算が中心である。次のステップを目指すためには、クォークの自由度の計算が重要となる。特に有限密度においては、バリオン数を持つクォークの系が、密度に対してどのように反応するかの研究を進める必要がある。我々は、かねてよりこの研究を進めてきたが、現在、バリオンも含む解析が終了し、論文の準備を進めている。

3.4 フェルミオン固有値の分布

有限密度 QCD は、フェルミオン行列式が複素数になり、モンテカルロ計算で符号問題を起こすために、シミュレーションが難しくなる。この問題を調べるために、フェルミオン行列の固有値の振る舞いについて調べてきた。特に近年、ランダム行列による解析の研究が進んでおり、その比較を行うことで、有限密度系の固有値の理解が進んできた。（「研究会等」(4)）

4 成果発表

4.1 研究会等

- (1) A. Nakamura, Invited Talk at Cracow School of Theoretical Physics, XLVI Course, 2006, Poland. 27.05.2006. - 5.06.2006.
- (2) 中村純、「クォーク・グルーオン・プラズマ – 高温・高密度で実現された物質の新しい形態」、弦理論と場の量子論における新たな進展、基礎物理学研究所、2006年9月12日-16日。
- (3) 中村純、「有限温度、有限密度 QCD 研究のための格子 QCD 入門」、北陸信越地区・素粒子論グループ合宿研究会、5月25日(金) – 27日(日)、国立能登青少年交流の家
- (4) 佐々井祐二、「有限化学ポテンシャルにおける QCD フェルミオン行列の固有値」、日本物理学会 2007 年春季大会、2007 年 3 月 28 日
- (5) 浜田政智、「Quark propagators at finite temperature with the clover action」、talk presented at Lattice 2006 (High temperature and density)

4.2 プロシーディング

- (1) A. Nakamura and S. Sakai Lattice Study of Gluon Viscosities - A Step Towards RHIC Physics Acta Physica Polonica B37 (2006) 3371-3380

