

研究種目：若手研究（スタートアップ）

研究期間：2007-2008

課題番号：19840030

研究課題名（和文） クォーク・グルオン・プラズマ相におけるクォークの準粒子描像

研究課題名（英文） Quasi-particle picture of quarks in quark-gluon plasma

研究代表者

北沢正清 (KITAZAWA MASAKIYO)

大阪大学大学院理学研究科・助教

研究者番号：10452418

研究成果の概要：

格子QCDおよび有効模型を用い、クォーク・グルオン・プラズマ状態におけるクォークの準粒子描像を調べた。格子QCDによる解析で、クォークの熱的質量の値を第一原理的に求めるのに成功したほか、有効模型による解析で質量獲得の背景にある物理を探った。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,170,000	0	1,170,000
2008年度	1,220,000	366,000	1,586,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,390,000	366,000	2756000

研究分野：QCD物性

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物

キーワード：①クォーク ②QGP ③格子ゲージ理論 ④準粒子 ⑤相転移

1. 研究開始当初の背景

超高温もしくは超高密度の物質中では、量子色力学(QCD)の基本自由度であるクォークとグルオンが閉じ込めから解放された状態である、クォーク・グルオン・プラズマ(QGP)相が実現する。2001年からアメリカのRHICで行われた原子核衝突実験でQGP状態の実現が確認され、QCD相転移の臨界温度 T_c 付近におけるQGP相が完全流体的な振る舞いを示す強結合系であること等の興味深い結果が得られたため、この状態に対する注目を誘起していた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、有限温度格子QCDモンテカルロシミュレーションを用いて第一原理的にクォーク・グルオン・プラズマ状態中におけるクォークの準粒子描像および質量を求めることである。また、同時に有効模型を用いた直観的な解析を行うことで物理的な背景を明らかにすることを目指す。

3. 研究の方法

等方格子を用いた数値計算でクォーク伝

搬関数を解析する。また、湯川模型によるクォーク伝搬関数の解析をフェルミオンおよびボソンが有限の質量を持つ場合に拡張し、それぞれの質量効果を詳細に議論する。

4. 研究成果

(1) 格子 QCD による解析

格子ゲージ理論を用いたクォーク伝搬関数の解析により、クォーク・グルオン・プラズマ状態中においてクォークが獲得する質量を初めて定量的に計算した。また、クォーク伝搬関数の極の質量及び運動量依存性を詳細に調べ上げることにより、今回解析を行った温度領域でクォークが質量を獲得するメカニズムが熱的質量と呼ばれる高温で起こる機構と同等のものであることを示した。図1に格子 QCD を用いて質量を解析した結果を示す。

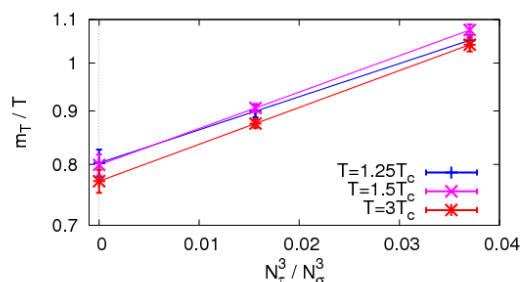


図1：格子 QCD で得られたクォークの質量の外挿

更に、臨界温度近傍の非閉じ込め相においてクォークが持つ二種類の励起状態の分散関係を調べ、臨界温度付近の摂動論が破綻した温度領域においてもクォークのスペクトル関数が鋭いピーク構造を持つこと、すなわちクォークが良い準粒子として振る舞うことを示したほか、これらの準粒子が従う分散関係が高温極限と同じような振る舞いをするという興味深い結果を得た。図2にこの結果を示す。

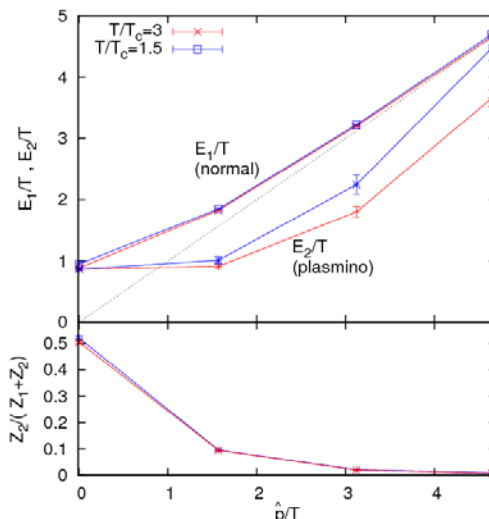


図2：格子 QCD で得られたクォークの分散関係

また、伝搬関数の振る舞いは閉じ込め相と非閉じ込め相で極端に異なること、特に非閉じ込め相ではクォークの励起状態が存在するのに対し、閉じ込め相ではそれらのモードが出現しないことが分かった。

更に、格子 QCD モンテカルロ計算における実用上の問題として以前から知られていた例外的配位の発生という問題に対し、これらの配位上におけるクォーク伝搬関数の構造から、例外的配位の発生が QCD のトポロジカルな構造に由来していることを示した。

(2) 有効模型を用いた解析

有限温度におけるクォークの性質を直感的に理解するため、湯川模型によるフェルミオン自由度の有限温度における性質の解析を行った。特に、これまで行ってきた湯川模型の解析をフェルミオンの Dirac 質量が有限の場合に拡張し、質量がスペクトル関数にもたらす性質を模型空間の内部で詳細に議論した。この解析により、クォークの励起モードが低温から高温に移行する際に複雑な中間状態を経ることが分かった。図3にこの模型におけるスペクトル関数の振る舞いの例を示す。

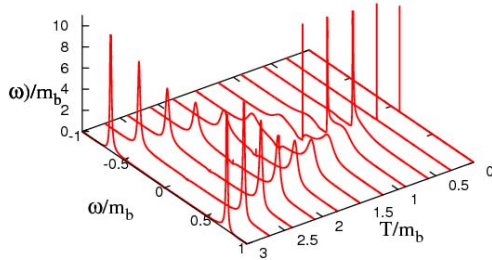


図 3：湯川模型における、スペクトル関数の温度依存性

また、伝搬関数の極の振る舞いを数値的に求め、フェルミオン自由度に現れる集団運動モードの性質をより直感的に議論することを可能にした。図 4 に極の動きを示す。

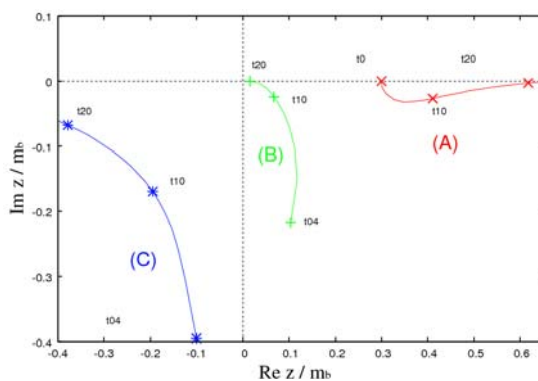


図 4:湯川模型における、フェルミオン伝搬関数の極の振る舞い

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

[1]

Masakiyo Kitazawa, Teiji Kunihiro, Kazuya Mitsutani, and Yukio Nemoto,

Physical Review D **77**, 045034 (16pages) (2008)

[arXiv:0710.5809 [hep-ph]] (査読有) .

[2]

Masakiyo Kitazawa, Dirk H. Rischke, and Igor A. Shovkovy,

Physics Letters **B663**, 228-233 (2008)

[arXiv:0709.2235[hep-ph]]. (査読有) .

[3]

Frithjof Karsch and Masakiyo Kitazawa,

Physics Letters **B658**, 45-49 (2007)

[arXiv:0708.0299 [hep-lat]]. (査読有) .

[学会発表] (計 5 件)

[4]

“strongly-coupled Quark Matter”,
at Second Asian Triangle Heavy-Ion Conference (ATHIC),

October 13-15, 2008, University of Tsukuba, Tsukuba, Japan.

[5]

“Diquark Excitations in Dense and Hot Quark Matter”,

at EMMI workshop, Quark-Gluon Plasma meets Cold Atoms (QGPMCA2008),

September 25-27, 2008, GSI, Darmstadt, Germany.

[6]

“Lattice QCD and Hot Quarks”,

at Hot Quarks 2008 ~Workshop for Young scientists on the physics of ultrarelativistic nucleus-nucleus collisions~,

August 18-23, 2008, Aspen Lodge, Estes Park, Colorado, USA.

[7]

“高温・高密度 QCD の相構造と物性現象”,

K E K 研究会『J-PARC の物理：ハドロン・原子核研究の新しい局面』,

K E K 素粒子原子核研究所、2008 年 8 月 7 日～9 日,

[8]

“Pre-critical Phenomena of Color Superconductivity”,

日本物理学会第 63 回年次大会、近畿大学、2008 年 3 月 22 日～26 日

〔図書〕（計 1 件）

[9]

「高密度クォーク物質の強結合性とカラー超伝導」、原子核研究 Vol.53, No.2, pp50-59.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

北沢正清 (KITAZAWA MASAKIYO)

大阪大学大学院理学研究科・助教

研究者番号：10452418

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし