

研究種目： 基盤研究（C）  
研究期間： 2006～2009  
課題番号： 18540278  
研究課題名（和文）相対論的重イオン衝突実験で見られる動的相転移とクォーク・グルオン多体系の物性研究  
研究課題名（英文）Physics of dynamical phase transition and many-body problems in the quark-gluon system appearing in the relativistic heavy ion collisions  
研究代表者  
津江 保彦（TSUE YASUHIKO）  
高知大学・教育研究部自然科学系・准教授  
研究者番号： 10253337

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子，原子核，宇宙線，宇宙物理

キーワード：クォーク・グルオンプラズマ、カイラル相転移、動的相転移、QCD物性、高エネルギー重イオン衝突、多体系、変分法

### 1. 研究計画の概要

量子色力学（QCD）により支配されている強い相互作用に着目し、強い相互作用するクォーク・グルオン、またはハドロンの多体系が有限温度・密度で示す性質を解明することを目的としている。特に、高エネルギー重イオン衝突実験で実現されると期待されるカイラル相転移の動的過程や、QCDが示す相構造を解明することを研究内容としている。この目的のため、新しい手法としてスキューズ状態を用いる時間依存変分法を構築し、グルオン多体系やハドロン系に適用し、QCDの相構造、動的相転移を理解することを研究計画としている。

### 2. 研究の進捗状況

(1) カイラル相転移の動的過程として、一旦カイラル凝縮体が通常の真空とは異なる方向に発達し、準安定状態を形成する可能性、いわゆる異方カイラル凝縮体の生成が可能であるかを量子効果を含んだ時間依存変分法で調べ、量子効果とモード間相関により実現可能であることを示した。

(2) 非相対論的なフェルミオン多体系ではあるが、超伝導状態を示すある種のモデルで相構造を調べ、量子効果がどのように相転移、相構造に寄与するかを考察した。得られた知見は、現在カラー超伝導と核子形成を示すボン模型と呼ばれるクォークモデルで再検討しており、カラー超伝導相と核子多体状態の相転移に関して1次、2次の相転移が現れる興味ある結果を得つつある。またこのボン模型でのカラー超伝導相、ハドロンの相構造

を結合定数の函数として明らかにした。

(3) 研究代表者が考案した時間依存変分法を線型シグマ模型に適用することにより、物理的な粒子や相転移の研究にはパイオン対励起やパイオン-シグマ中間子励起を取り込む必要があること、及び研究代表者の手法ではこれらが自動的に取り込まれ得ることを示した。この手法を有限温度に拡張することにより、線型シグマ模型でのカイラル相転移の様相を明確にした。

(4) グルオン多体系に対する時間依存変分法を構築し、量子グルオン場に対してはリュービル・フォンノイマン型の方程式に纏められることを初めて示した。この結果を用いて量子グルオン流体のずれ粘性係数を線型応答理論を援用して求め、QCD結合定数の最低次の範囲までの計算ではあるが、ずれ粘性係数は零になることを示している。

### 3. 現在までの達成度

② おおむね順調に進展している。

(理由)

科学研究費申請段階で計画していた研究がおおむね進展している。カイラル相転移に関しては2編の論文が纏まり、カラー超伝導相とハドロンの相転移に関しては予備的考察が3編の論文として公表され、ボン模型に関しては1編は投稿中で、2編が準備されている状況にある。また、グルオン多体系の変分法、及び量子グルオン流体の研究に関しても1編の論文を投稿中であり、順調に研究が進展している。纏まった研究が順次公表の段階にあるので、②と自己評価した。

#### 4. 今後の研究の推進方策

相対論的重イオン衝突で実現されると考えられる相転移にはクォーク・ハドロン相転移も挙げられる。今後は有限温度、有限密度でのクォーク・ハドロン相転移の課題に、モデル的ではあるがアプローチする。具体的には南部・Jona-Lasinio 模型を用いて、ハドロン相、クォーク相の圧力の比較により実現される相を考え、相転移が1次であるか2次であるかを判断しながらクォーク・ハドロン相に関するQCD相図を新たに描くことを計画している。

#### 5. 代表的な研究成果

(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 6 件)

① Y. Tsue and K. Matsuda, Variational Approach to the Chiral Phase Transition in the Linear Sigma Model, Progress of Theoretical Physics, Vol.121, 577-591, (2009)、査読有

② Y. Tsue, H. Fujii and Y. Hashimoto, Landau Potential Study of the Chiral Phase Transition in a QCD-Like Theory, International Journal of Modern Physics E, Vol.16, 2276-2281, (2007)、査読有

③ N. Ikezi, M. Asakawa and Y. Tsue, Effects of mode-mode and isospin-isospin correlations on domain formation of disoriented chiral condensates, Physical Review C, Vol.73, 045212-1-10, (2006)、査読有

[学会発表] (計 4 件)

① 津江保彦、変分法による線型シグマ模型での有限温度カイラル相転移、日本物理学会2008年秋季大会、2008年9月20日、山形大学

② 津江保彦、グルオン場に対する変分法と、グルオン物質への適用、日本物理学会第63回年次大会、2008年3月26日、近畿大学