

熱場理論における相構造の研究

横田 浩

Hiroshi Yokota

教養部

平成11年度奈良大学研究助成の補助を受けて、「熱場理論における相構造の研究」というテーマで行った研究の概要を報告します。詳細は、下記の文献を参照してください。

高温／高密度環境下での種々の（ゲージ）場の理論（以下、熱場理論と称する）の相構造および相転移機構を理解することは、我々の宇宙の（少なくとも電弱相転移期以降の）進化過程を正しく理解するためにも、また RHIC at BNL や LHC at CERN 等で開始／計画されている超相対論的重イオン衝突実験において実現することが期待されているハドロン相から Quark-Gluon Plasma 相への相転移とそれに付随する新しい物理の理解のためにも極めて重要であり、近年多くの研究者の興味を引き付ける研究テーマとなっている。

現在、我々は以下の2つの対象に注目して研究をしている。

1) 熱場理論の相構造および相転移機構を調べるためには、一般的には対応する理論の有効作用あるいは有効ポテンシャル (EP) を分析することが有力な方法であることが知られている。我々は、繰り込み群 (RG) による改善に関する一つの新しい処方提示し、それを massive ϕ model at $T \neq 0$ の有効ポテンシャル (EP) の摂動計算結果に対して適用することでこのモデルの有限温度での相構造を調べた。

詳細な分析の結果、提示した RG 改善処方は、熱場理論の摂動計算には不可避的な環境の温度 T に依存する大摂動補正項を、摂動の全次数にわたって系統的に再加算する処方として極めて有効に機能することがわかった。特に、one-loop EP の計算結果に適用した場合、殆どの状況で全ての分析（含、臨界指数の決定）を解析的に遂行することが可能であり、結果として、熱場理論の naive な意味での摂動展開の破綻を引き起こす張本人である $O(\lambda(T/\mu)^2)$ 補正項のみならず同時に $O(\lambda T/\mu)$ 補正項についても摂動の全次数にわたって系統的に再加算が実行されていることを見ることができた。このモデルの温度に依存する相転移は2次相転移であることを one-loop EP の計算結果に基づいて正しく示すことができ、解析計算に依って得られた種々の臨界指数は lattice data を含む各種の「実験」データとも良い一致を示すことがわかった。

2) 熱 QCD の閉じ込め・非閉じ込めの相転移とカイラル対称性の破れと回復の相転移との

関連も、様々な議論はされつつも未だ明確ではない。これらの機構を調べるために有効かつ先行する種々の分析と比較検討がしやすい Dyson-Schwinger (DS) 方程式を用いて分析を行う。DS 方程式での分析は零温度場理論では成功を取めている。しかしながら、熱場理論に関しては未だ成功を取めているとは言いがたい。これまでの多くの仕事は ladder 近似で行われており、なおかつ熱場理論における硬熱ループ再加算の不可避性が無視されていた。我々は、ゲージ粒子の伝播関数ならびに頂点関数に関する硬熱ループ再加算を考慮して分析すべきであることを指摘した。その上で、実時間形式での頂点関数に対する硬熱ループ再加算の計算を示し、具体的に熱 QCD (および熱 QED) のフェルミオンの質量項 Σ_R および熱 QCD のグルーオンの真空偏極 $\Pi^{\mu\nu}$ に対する DS 方程式を与えた²⁾³⁾。

我々は、虚時間形式熱場理論における未知関数の無限和という困難を避けるため、実時間形式 (特に閉時間経路 = CTP 熱場理論) を採用した。実時間形式での頂点関数の計算はほとんど行われておらず、頂点関数に対する硬熱ループ再加算の計算を行う必要があった。その過程で、虚時間形式の単純な解析接続からは得られないものが存在すること、虚時間形式と同じく QED タイプの Ward- 高橋恒等式が成立すること、計算途中では δ 関数および主値関数は正規化した形で取り扱う必要があることなどもわかった。

得られた DS 方程式を用いた分析は現在進行中であり、結果がまとまったら別に発表する予定である。

- 1) 中川寿夫、横田浩: "Resummation *a la* RG Improvement: Massive ϕ^4 Model at Finite Temperature", 素粒子論研究 第 100 巻第 5 号、pp.E146-E153 (2000.2)。
- 2) 笛木祐子、中川寿夫、横田浩、吉田光次: "Dyson-Schwinger 方程式を用いたカイラル対称性の自発的破れの分析 (実時間形式)", 素粒子論研究 第 103 巻第 1 号、pp.A187-A191 (2001.4)。
- 3) 笛木祐子、中川寿夫、横田浩、吉田光次: "実時間硬熱ループ近似に基づく非摂動計算: Dyson-Schwinger 方程式を用いたカイラル対称性の破れの分析", 素粒子論研究 第 103 巻第 5 号、pp.E108-E110 (2001.8)。