

## 素粒子メダル奨励賞選考理由

### Improved sphaleron decoupling condition and the Higgs coupling constants in the real singlet-extended SM

Kaori Fuyuto and Eibun Senaha

宇宙のバリオン数非対称性の起源は、素粒子物理学における重要な謎の1つである。非対称性を生み出す一つの可能性である電弱バリオジェネシス機構においては、電弱相転移が強い一次相転移であることが要求される。しかしながら、LHC実験で発見されたヒッグス粒子の質量 ( $125\text{GeV}$ ) は、最も簡単なヒッグスポテンシャルを仮定すると強い1次相転移の条件と矛盾する。したがって、ヒッグスセクターを拡張し、強い1次相転移を導くような様々な模型がこれまで盛んに研究されてきた。

これまで、相転移の強さの目安としては  $v(T_c) / T_c > 1$  という条件がよく使われている。ここで、 $T_c$  は転移温度、 $v(T_c)$  はその温度でのヒッグス場の期待値である。この条件は、電弱対称性の破れた相においてバリオン数を消滅させてしまうスファレロン過程が十分に抑制されていることへの要求であるが、そのスファレロン遷移率の大きさは模型に依存する。そのため、綿密な解析を行う場合は、模型ごとに条件を考慮するべきである。

この論文では、標準模型にゲージ1重項のヒッグス場を導入した模型において、スファレロン遷移率を有限温度 one-loop 有効ポテンシャルを用いて評価し、その温度依存性や模型のパラメータ依存性を詳細に解析している。結果として、 $v(T_c) / T_c$  に対する条件が 10%から 20%程度厳しくなることを示した。また、バリオン数生成に成功しうるようなパラメータ領域ではヒッグス粒子の3点結合の大きさが標準模型の予言から大きくずれ、そのずれの大きさの評価には上記の詳細なスファレロン過程の解析が重要であることを示した。

この論文で行われているスファレロン過程の綿密な解析は、電弱バリオジェネシス機構の定量的評価に重要な改善を与え、今後の模型構築と解析手法に対して重要な貢献を与えたことを評価し、素粒子メダル奨励賞にふさわしいと判断した。

## Adjoint QCD on $R^3 \times S^1$ with twisted fermionic boundary conditions

Tatsuhiko Misumi and Takuya Kanazawa

QCD の相構造の解明は現代物理学における重要なテーマである。カラーの閉じ込めや対称性の力学的な破れなどの性質が温度、化学ポテンシャル、電磁場などを加えた場合やゲージ群や物質場を変えた場合にどのように変化するかを調べる研究は現在でも盛んに行われている。

この論文は、そうした研究に新たな視点から切り込んだものである。主として、ゲージ群が  $SU(2)$  の場合を扱い、ゲージ群の随伴表現に属するフェルミオン場を物質場として含む Adjoint QCD を  $R^3 \times S^1$  上で考え、その相構造を詳しく解析した。特に、 $S^1$  を 1 周したときにフェルミオン場に位相因子  $e^{i\phi}$  が掛かるような境界条件を課し、その位相  $\phi$  と  $S^1$  の半径  $L$  とフェルミオンの質量  $m$  の 3 つのパラメータを変化させたときにポリヤコフ・ループやカイラル凝縮がどのように変化するかを調べた。

これまで、格子ゲージ理論の方法や摂動計算などによって、 $\phi=0$  と  $\phi=\pi$  の場合は良く調べられてきた。特に  $\phi=\pi$  のとき、 $S^1$  方向をユークリッド化した時間方向とみなすと有限温度系に帰着する。また、 $\phi=0$  の場合は **Bion** と呼ばれる **monopole-instanton** の複合状態がカラーの閉じ込めを引き起こすという議論もあり、興味を持たれている系である。これらの場合をつなぎ、一般の  $\phi$  での様子を調べたことがこの論文の特徴である。1-loop 近似による有効ポテンシャル、**Bion** の寄与によるポテンシャル、強結合での定性的ふるまいを再現する現象論的モデル、PNJL モデルなど、様々な手法を駆使して相図を求め、豊かな相構造が現れることを示唆した。また、**Bion** に起因する閉じ込め機構は、位相  $\phi$  がゼロでない場合には働きが弱まることも指摘した。

この論文で得られた成果は、今後、格子 QCD による検証、閉じ込め機構の解明、超対称性がある場合への応用、余剰次元があるモデルの構築など、様々な方向へ広がる可能性を秘めており、素粒子メダル奨励賞にふさわしい研究であると評価した。

# Thermodynamics of black M-branes from SCFTs

Takeshi Morita and Shotaro Shiba

量子重力理論あるいは究極理論の候補である超弦理論を理解することは、理論物理学の重要な課題である。しかし、強結合で超弦理論を記述すると予想される M 理論については、基本となる 2 次元膜-M2 ブレーン-やその磁気的 dual の M5 ブレーンの力学を記述する基本の作用やその量子化さえ未だほとんどわからない状況である。

M 理論の低エネルギー有効理論である 11 次元超重力理論を用いた解析によると、M2 ブレーンや M5 ブレーンが N 枚ある系の自由エネルギーは、それぞれ、 $N^{3/2}$  や  $N^3$  に比例することが予言されていたが、これが N 枚の D-brane の場合の素朴な期待  $N^2$  と異なることが注目を集め、その起源の解明が M-brane の本質的理解につながるものと期待されていた。N 枚の  $D_p$  ブレーンの系の自由エネルギーに対しては、Weiseman が D0-brane に対する Smilga の方法を一般化してその N や温度への依存性をゲージ理論の計算から導くことに成功していた。本論文では、M2 ブレーンに対しては、その低エネルギー場の理論として知られる 3 次元 ABJM 理論を用い、M5 ブレーンに対しては、6 次元 (2,0) 超共形場の理論において自然な仮定を加えて、Smilga-Weiseman の方法を適用して自由エネルギーを計算した。その結果 11 次元超重力理論の予言通りの N 依存性を得た。また、そのときに M ブレーン上のスカラー場の値と超重力理論による記述におけるホライズンのサイズの N 依存性が一致することも指摘した。

本論文は、このように、M ブレーンの特殊な N 依存性の起源をゲージ理論の簡単な考察から定性的ではあるが非常に明快に導いたものであり、未だ謎に包まれた M ブレーンのダイナミックスの解明に向けて重要な示唆を与える業績であって、素粒子メダル奨励賞にふさわしいと判断した。

## 総評

今回は12件（すべて自薦）の応募がありました。選考委員会では、各応募論文に対して複数人の査読によるレポートを作成し、その後委員が集まってレポートをふまえた議論を行い今回の受賞者を全員一致で決定しました。

今回は素粒子メダル奨励賞規約に定められた最大件数である3件の受賞論文を選出しました。受賞論文以外にも優れたものがあり、選考会議ではそれぞれの論文の重要性や将来性についての長時間にわたった議論がありました。今回の受賞者も、惜しくも受賞に至らなかった方々も、より一層の優れた研究を継続していただくことを期待いたします。

選考委員長：北野龍一郎

選考委員：九後汰一郎（副委員長）、小林達夫、佐藤丈、杉本茂樹、野尻伸一