

双対超伝導描像に基づく閉じ込め機構の研究

Study of confinement mechanism based on the dual superconductivity

柴田 章博

高エネルギー加速器研究機構計算科学センター

1. 研究目的

本研究の目的は双対超伝導描像に基づいてクォーク閉じ込め機構を理解することである。そのためには、磁氣的モノポールがクォークの閉じ込めに中心的な役割を果たすことを様々な状況で示すことが必要である。本プロジェクトでは、これまでの研究で残された課題について検証を進める。本研究では、高次元表現のクォークについて双対超伝導描像に基づいて閉じ込め機構を検証する。

2. 研究成果の内容

双対超伝導描像はクォーク閉じ込め機構の最も有力な仮説の一つである。これまでの研究では基本表現のウイルソンループに対して、従来研究の問題点を克服しゲージ不変性を明白に保ち閉じ込めに寄与する自由度を抽出する方法「ゲージ場の共役な分解の方法」を開発し、格子ゲージ理論に基づく第一原理計算による解析を可能とした。これまでに、基本表現のクォークの閉じ込めについて、ゼロ温度及び有限温度において双対超伝導描像の数値的なエビデンスを提示してきた。

本研究では基本表現に対するゲージ場の共役な分解の方法を拡張し、双対超伝導描像に基づいて高次元表現のクォークの閉じ込め機構を研究する。従来研究では可換射影の方法の素朴な拡張による研究が行われてきたが、しかしながら、閉じ込めに寄与する自由度を正しく抽出することができなかった。このことをもって、双対超伝導描像が問題視されてきた。本研究では、従来研究の問題点を克服し双対超伝導描像における高次元表現のクォークの閉じ込め機構を研究する。これまでに、発見法的な方法によって、**SU(2) Yang-Mills** 理論の随伴表現のみにおいて閉じ込めに寄与する自由度の抽出に成功した報告がある。我々は任意表現の非可換ストークスの定理に基づき、任意表現のウイルソンループに対して閉じ込めに寄与する自由度を抽出する方法を導出する。ゲージ場の共役な分解の方法で抽出した制限場と非可換ストークスの定理の対応から双対超伝導描像における表現 R のウイルソンループ演算子を定義した。双対超伝導描像における表現 R のウイルソンループ演算子は、ゲージ場の共役な分解によって抽出された制限場（閉じ込めに中心的な役割を果たす自由度）のループに沿った順序積 V_C の冪及びトレースの多項式として得られる。しかしながら、**Yang-Mills** 場に対する表現 R のウイルソンループ演算子も同様に **Yang-Mills** 場のループに沿った順序積 U_C を用いて得られる

が、その構成は異なる。

図2はSU(2) Yang-Mills 理論における静的ポテンシャルの計測結果を表す。Yang-Mills 場及び制限場それぞれの随伴表現に対す計測結果とそれぞれのコーネルポテンシャルによるフィットを示す。制限場によって得られる弦張力（ポテンシャルの線形項の係数）は Yang-Mills 場によって得られる弦張力を再現することが示された。

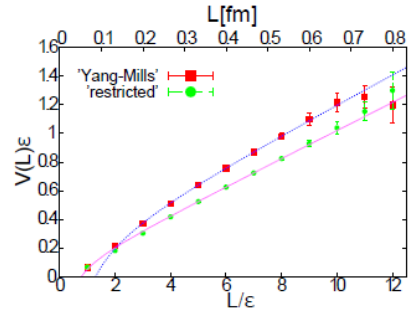


図2 SU(2) Yang-Mills 理論の随伴表現における静的ポテンシャル

図1にはSU(3) Yang-Mills 理論における静的ポテンシャルを示す。それぞれは (a) 基本表現

[0,1]、(b) 随伴表現[1,1] (c) 6次元表現 [0,2] に対する静的ポテンシャルを表す。凡例 full は元々の Yang-Mills 場について、凡例 MA, n3, n8 は異なるリダクション条件によって決定したカラー場を用いて抽出した制限場（閉じ込めに中心的な役割を果たす自由度）を用いて計算した双対超伝導描像における静的ポテンシャルを示す。また、実践はフィットしたコーネルポテンシャルを表す。それぞれ制限場で得られる弦張力は、Yang-Mills 場から得られる弦張力を再現する。

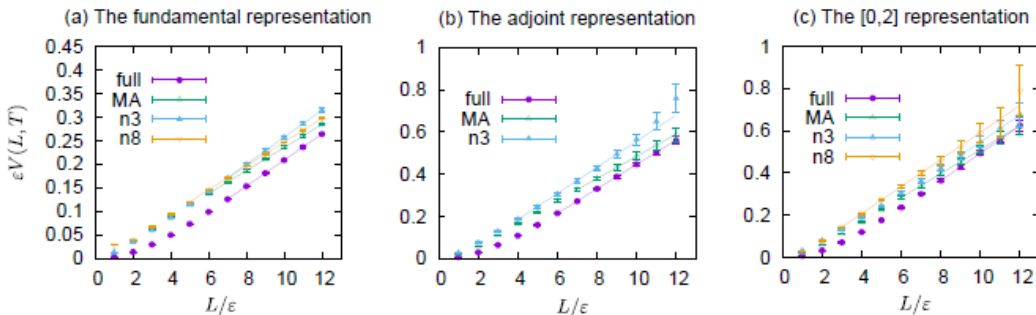


図1 SU(3) Yang-Mills 理論における静的ポテンシャル

3. 学際共同利用として実施した意義

クォーク閉じ込め機構の研究には強結合ゲージ理論の赤外領域における非摂動計算が必要である。格子ゲージ理論に基づく第一原理計算はその唯一の方法であり大規模計算が不可欠となる。大規模計算機を有しない大学・研究所の研究者にとって、学際共同利用はこのような大規模計算を実現するための貴重なプログラムである。

4. 今後の展望

本研究において双対超伝導描像における任意表現のウィルソンループを導出し、格子ゲージ理論に基づく数値シミュレーションによって検証を行った。SU(2) 随伴表現、SU(3) 基本表現、随伴表現、6次元表現 の一部の表現について、制限場から得られる弦張力が Yang-Mills 場から得られる弦張力を再現することを確かめた。しかしながら、双対超伝導

描像の確立のためには磁氣的モノポールが中心的な役割を果たすことを直接的に示す必要がある。また、他の高次表現に対する検証を行う。さらには、Yang-Mills 場のウイルソンループのその他の性質、string breaking, n-ality, カシミアスケーリングなどについても双対超伝導描像に基づく検証が必要である。

5. 成果発表

(1) 学術論文

- [1] How to extract the dominant part of the Wilson loop average in higher representations

Ryutaro Matsudo, Akihiro Shibata, Seikou Kato, and Kei-Ichi Kondo
arXiv:1904.09388 [hep-lat], CHIBA-EP-237, KEK Preprint 2018-84

(2) 学会発表

- [1] Suitable operator to test "the Abelian dominance" for sources in higher representation

Ryutaro Matsudo, Akihiro Shibata, Kei-Ich Kondo, Seikou Kato
YITP long-term workshop New Frontiers in QCD 2018 at Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto University 2018 5/28-6/29

- [2] Confinement of quarks in higher representations in view of dual superconductivity.

Akihiro Shibata, Kei-Ich Kondo, Ryutaro Matsudo, Seikou Kato
The 36th International Symposium on Lattice Field Theory (lattice2018) at the Kellogg Hotel and Conference Center on the campus of Michigan State University, East Lansing, Michigan, USA. 2018 7/22-7/28

- [3] Correct way to extract the dominant part of the Wilson loop in higher representations

Akihiro Shibata, Kei-Ich Kondo, Ryutaro Matsudo, Seikou Kato
XIIIth Quark Confinement and the Hadron Spectrum at Maynooth University, Ireland, 2018 8/1-8/6

(3) その他

使用計算機	使用計算機 に○	配分リソース※	
		当初配分	追加配分
COMA	○	26,976	6,744
Oakforest-PACS			
※配分リソースについてはノード時間積をご記入ください。			