

## グルーボール質量起源の解明

### Exploring the origin of glueball mass

酒井啓太  
東北大学

#### 1. 研究目的

本研究では、グルーボール質量に対するトレースアノマリーの寄与を第一原理的に計算することを目的とする。

#### 2. 研究成果の内容

本研究ではX. Jiの方法[1]に基づき、格子QCDによってエネルギー・運動量テンソル(EMT)演算子 $T^{\mu\nu}$ のトレースフル部 $\hat{T}^{\mu\nu}$ ・トレースレス部 $\hat{T}'^{\mu\nu}$ への分割を行い、各部の00成分のグルーボール行列要素を計算することによってグルーボール質量中のトレースアノマリー寄与の測定を行った。格子QCDにおける行列要素の計算は三点関数と二点関数の比を通じて行われるが、グルーボール相関関数は非常に精度が悪く、従来このようなグルーボールのEMT行列要素計算はなされていなかった。我々は昨年度までの研究により、グルーボール相関関数計算の計算精度改善に対するスタウトスメアリングの有効性を示した[2]。また、格子上の繰り込まれたEMT演算子計算は、近年提案されたヤン-ミルズ勾配流法[3]を用いた鈴木法[4]によって行った。

鈴木法によって厳密な繰り込まれたEMT演算子を得るには連続極限を取ることが必要だが、本研究ではグルーボールEMT行列要素の最初の計算として単一の格子間隔  $a = 0.0513$  fmで、格子サイズ  $L^3 \times T = 32^3 \times 32$  の純ゲージ配位を12000配位用いて行った。

最も軽いスカラーグルーボールに対してEMTの行列要素として計算されたグルーボール質量 $M_{\text{EMT}}$ と一般的なハドロン質量計算方法として二点関数の漸近的振る舞いから得られたグルーボール質量 $M_{2\text{pt}}$ の比、及び $M_{\text{EMT}}$ とそのうちのトレースアノマリーからの寄与 $M_{\text{TA}}$ の比は、 $M_{\text{EMT}}/M_{2\text{pt}} = 0.57(25)$ ,  $M_{\text{TA}}/M_{\text{EMT}} = 0.25(14)$ のように得られた。これらの値は鈴木法に基づいて有限の拡散時間 $\tau$ でEMTを構成して計算を行った後、 $\tau \rightarrow 0$  外挿を行うことで得た。外挿の結果を図1,2に示す。 $M_{\text{EMT}}/M_{2\text{pt}}$ をみると、 $M_{\text{EMT}}$ は誤差の範囲で有限の値をもち、 $2\sigma$ の範囲で $M_{2\text{pt}}$ と一致している。 $M_{\text{TA}}/M_{\text{EMT}}$ をみると、トレースアノマリーからの寄与がグルーボール質量の約1/4を占めている。これはJiの議論における結果と一致し、 $\langle G|T^{\mu\nu}|G\rangle = 4\langle G|T^{00}|G\rangle$ であることを考えるとグルーボール質量とトレースアノマリーの値が同じになるため、鈴木法によって数値的に繰り込まれたEMT演算子が正しく構成されていることを示している。

3. 学際共同利用プログラムが果たした役割と意義

本研究では純ゲージ配位のみを用いた計算を行ったが、グルーボールEMT行列要素を十分な精度で得るために12000配位に対し勾配流法を適用し、誤差の範囲で有限な  $M_{EMT}$  を初めて得ることができた。このような計算は研究室規模のワークステーションでは困難であるため、学際共同利用を通じたスパコン利用で可能になった。

4. 今後の展望

本研究で得た結果はJiの議論からの予想と一致し、自然なものであるが、このような計算をフルQCDの計算に適用すると非自明な結果を与えると予想される。核子等の質量に対するトレースアノマリー寄与の内、グルーオン成分のみの評価は未だなされていないが、鈴木法を用いて構成された繰り込まれたEMT演算子を用いることでそのような計算も可能になると予想される。

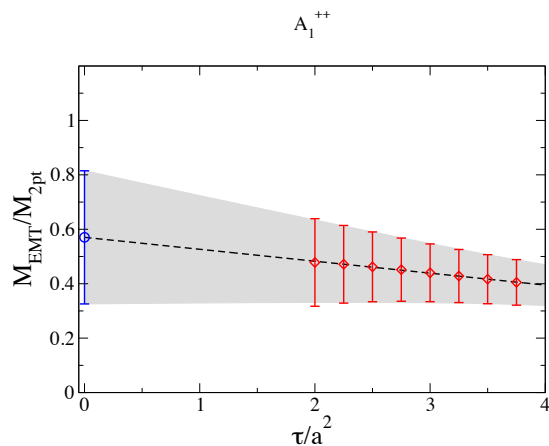


図1: EMT演算子の行列要素として計算したグルーボール質量と、二点相関関数の漸近的振る舞いから得られたグルーボール質量の比の拡散時間0への外挿結果[5]

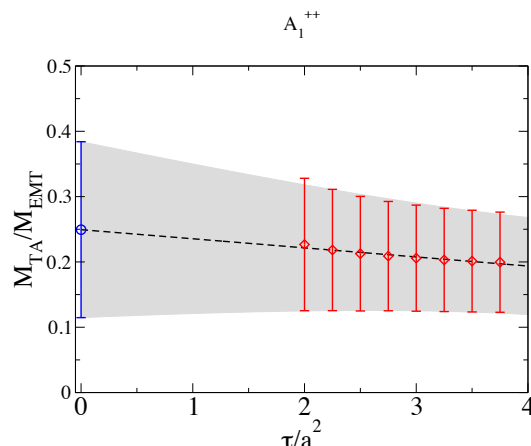


図2: EMT演算子の行列要素として計算したグルーボール質量と、その内のトレースアノマリー寄与の比の拡散時間0への外挿結果[5]

参考文献

[1] X. D. Ji, Phys. Rev. Lett. 74, 1071-1074 (1995).  
 [2] Keita Sakai and Shoichi Sasaki, Phys. Rev. D 107, 034510 (2023).  
 [3] M. Luscher, JHEP 08, 071 (2010) [erratum: JHEP 03, 092 (2014)].  
 [4] H. Suzuki, PTEP 2013, 083B03 (2013) [erratum: PTEP 2015, 079201 (2015)].  
 [5] Keita Sakai, "Lattice study of the trace anomaly contribution to glueball mass using renormalized energy-momentum tensor", 東北大学大学院理学研究科博士論文 (2023).

5. 成果発表

(1) 学術論文

1. Keita Sakai and Shoichi Sasaki, Phys. Rev. D 107, 034510 (2023).

(2) 学会発表

1. Keita Sakai and Shoichi Sasaki, “Lattice study of the trace anomaly contributions to the glueball masses”, The 15<sup>th</sup> Quark Confinement and the Hadron Spectrum Conference (2022).

2. Keita Sakai and Shoichi Sasaki, “Lattice calculation of glueball masses using the renormalized energy-momentum tensor with gradient flow”, The 39<sup>th</sup> International Symposium on Lattice Field Theory (2022).

(3) その他

1. Keita Sakai, “Lattice study of the trace anomaly contribution to glueball mass using renormalized energy-momentum tensor”, 東北大学大学院理学研究科博士論文 (2023).

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
Cygnus	○	14000	0
Wisteria/BDEC-01			

※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。