

高エネルギー加速器研究機構・大型シミュレーション研究
実施報告書

研究責任者名 大川 正典
所属機関 広島大学大学院理学研究科
研究課題名 Twisted Eguchi-Kawai model の数値的研究

素粒子の標準モデルは、その基礎を $SU(N)$ 非可換ゲージ理論においている。一般に $SU(N)$ 非可換ゲージ理論は非常に複雑な構造を持っているが、4次元格子上で定義された $SU(N)$ 格子ゲージ理論は、 N を無限に持っていった極限で時空の自由度を内部空間に吸収できてしまう可能性がある。実際、江口・川合は格子点が1点しかない時空縮約理論を考えた[1]。現在この理論は江口・川合模型(EK-model)と呼ばれている。EK-modelには $Z(N)$ 対称性があり、この対称性が破れていなければ、4次元格子上での $SU(N)$ ゲージ理論と EK-model は N を無限に持っていった極限で同等である。しかしこの対称性は弱結合相および中間結合相で自発的に破れてしまい、2つの理論は等しくない。この困難を解決するために、Gonzalez-Arroyo と私は、EK-model にツイストされた境界条件を課した twisted EK-model (TEK-model) を提案した[2-3]。

TEK-model が正しく $SU(N)$ 格子ゲージ理論を再現するのであれば、ラージ N 極限での弦定数が計算できるはずである。ラージ N ゲージ理論は有限な N の理論に比べ構造は著しく単純化されるが、いまだに非摂動的な物理量の計算が行われたことはない。24年3月-9月の研究の大きな目的は、TEK-model を用いてラージ N ゲージ理論の弦定数の計算を世界に先駆けて行うことであった。弦定数を求めることにより、理論に物理的なスケールが導入できるのでこの研究は非常に重要である。

連続理論での弦定数の値を求めるには、結合定数を変えながら格子上の弦定数を計算し、格子間隔 a を0に持ってゆく外挿をしなければならない。 $SU(N=L^2)$ の TEK-model は、 L^4 の格子点をもつ4次元格子ゲージ理論と $O(1/N^2)$ 補正項を除き等価である。通常格子ゲージ理論で連続理論への外挿をするには、格子の大きさは 32^4 程度が必要であり、したがって TEK-model では少なくとも $N=L^2=29^2=841$ の $SU(N)$ 群を考えなければならない。

SR16000 を使い、'tHooft カップリングの逆 b を $b=0.360, 0.365, 0.370, 0.375, 0.380, 0.385$ の6つの値にとり、連続理論での弦定数の精度良い計算を行なった[4-5]。図1にその結果を示す。緑のデータが $N=841$ の TEK モデルで連続理論の弦定数を求めたものである。赤のデータは通常格子ゲージ理論で、 $N=3, 4, 5, 6, 8$ として連続理論の弦定数を求めたものであり、弦定数の N 依存性は明らかに $1/N^2$ である。青の直線は格子ゲージ理論の弦定数の N 無限大への外挿を示しており、外挿値は TEK モデルで弦定数を直接計算した値と完全に一致している。TEK モデルの正しさが証明されたと同時に、ラージ N ゲージ理論の弦定数が外挿せず直接求めたことになる。

近年、アジョイント表現に属するフェルミオンを伴った $SU(N)$ ゲージ場理論が大きな関心を呼んでいる。その理由のひとつに、AdS/CFT 対応がある。これによると、4次元超対称ゲージ理論と、Anti de Sitter 時空を背景にもつ5次元超重重力理論が対応している。特にゲージ理論でラージ N 極限をとると、対応する重力理論は古典的なものとなる。アジョイント・フェルミオンを持つラージ N ゲージ理論も時空を縮約したモデルを考えることができる。

特にアジョイント・フェルミオンが2つある理論（2フレーバー理論）は N の値に関係なく、コンフォーマルな理論であると考えられている。実際、くりこみ群のベータ関数の1次と2次の係数は N によらず、また $N=2$ の理論は色々な研究者により詳細な解析がなされ、それらの結果はコンフォーマルな理論であることを支持している[6]。

アジョイント・フェルミオンを持つラージ N ゲージ理論を時空縮約するには、単にフェルミオンの自由度の時空依存性をなくせばよい。またこの理論ではゲージ場にツイストされた境界条件を課さなくても対称性は破れないことがわかっている[7]。ただし、周期的境界条件のもとで計算された物理量には大きな N 依存性があり、意味のある結果を出すには至っていない[7]。9月まではツイストされた境界条件での時空縮約理論の準備的な研究を行ってきた[8]。まだ統計が足りなく確定的なことは言えないが、2フレーバーのアジョイント・フェルミオンを持つラージ N ゲージ理論もコンフォーマルな理論であると考えられる。この研究課題は、10月以降の主要課題であり引き続き研究を行ってゆく。

- [1] T. Eguchi and H. Kawai, Reduction of dynamical degrees of freedom in the large N gauge theory, Phys. Rev. Lett. **48** (1982) 1063.
- [2] A. Gonzalez-Arroyo and M. Okawa, Twisted Eguchi-Kawai Model: a reduced model for large N lattice gauge theory', Phys. Rev. **D27** (1983) 2397.
- [3] A. Gonzalez-Arroyo and M. Okawa, large N reduction with the twisted Eguchi-Kawai model, JHEP **1007** (2010) 043.
- [4] A. Gonzalez-Arroyo and M. Okawa, The string tension from smeared Wilson loops at large N , arXiv:1206.0049(2012)[hep-th].
- [5] A. Gonzalez-Arroyo and M. Okawa, The string tension for large N gauge theory from smeared Wilson loops, PoS (Lattice 2012) 221.
- [6] L. Del Debbio *et al.*, Infrared dynamics of minimal walking technicolor, Phys. Rev. **D82** (2010) 014510.
- [7] B. Bringoltz, M. Koren, S. R. Sharpe, Large- N reduction in QCD with two adjoint Dirac fermions, Phys. Rev. **D85** (2012) 094504.
- [8] A. Gonzalez-Arroyo and M. Okawa, Twisted reduction in large N QCD with two adjoint Wilson fermions, PoS (Lattice 2012) 046.

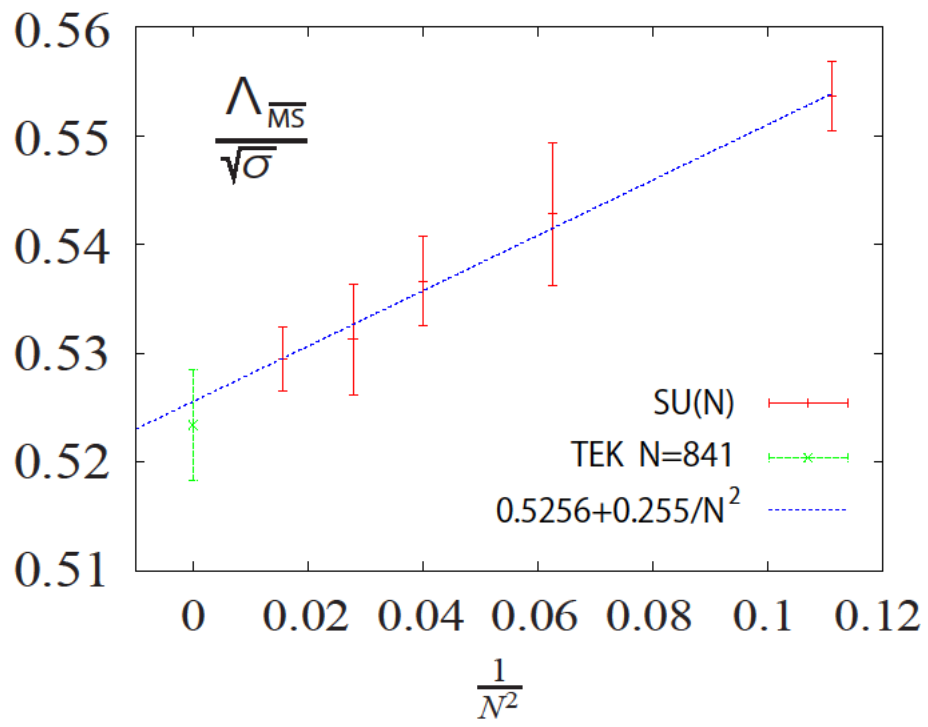


图 1