

Magnetic monopole loops supported by a meron pair as the quark confiner

千葉大学 大学院理学研究科 近藤 慶一 (Kei-Ichi Kondo)

E-mail: kondok@faculty.chiba-u.jp

Wilson の判定基準，すなわち，Wilson ループ期待値の面積則に基づいて，クォーク閉じ込めを示すには，汎関数積分子量子化法に従って，Yang-Mills の作用から Yang-Mills 場の適切な汎関数測度を決めて，Wilson ループ演算子を汎関数積分し，Wilson ループ期待値を求めればよい。原理的には，これでよいが，実際には，この積分を全ての可能な場の配位に渡って厳密に実行することは現段階では不可能である。一方，これまでの数値シミュレーションの結果は，Wilson ループを計算するには，一部の位相的な配位だけを考慮すれば十分であることを示唆している。Yang-Mills 理論で重要な位相的配位としては（アーベリアン，ノンアーベリアン）磁気モノポール，センターヴォルテックス，インスタントン，メロン，楕円解，Hopfion，有限温度の caloron 解などがある。例えば，アーベリアン磁気モノポールやセンターヴォルテックスは，弦定数の大部分を再現することが以前から知られているが，最近，メロンに対しても同様のことが示されている。クォーク閉じ込めを実現する機構として，最も有望と考えられる双対超伝導描像には，磁気モノポールの存在が不可欠である。従来，Yang-Mills 理論において磁気モノポールを抽出する方法として，'t Hooft が提唱したアーベリアン射影の方法が広く使われ，大きな役割を果たした。しかし，この方法では，アーベリアン磁気モノポールが（部分）ゲージ固定の欠陥として導入されるため，結果が採用するゲージに依存するのではないかという危惧がいつも残っていた。

我々は，最近，アーベリアン射影の方法に依らずに，Wilson ループ演算子に対するノンアーベリアン Stokes の定理を通じて，ゲージ不変な磁気モノポールを（物質場を含まない）Yang-Mills 理論において定義できることを示した [K.-I. Kondo, arXiv:0801.1274, Phys.Rev.D77:085029 (2008)]，その具体的な定式化も与えた [K.-I. Kondo, T. Shinohara & T. Murakami, arXiv:0803.1076, Prog. Theor. Phys. 120: 1–50 (2008)]。ゲージ不変な磁荷は Dirac 類似の量子化条件を満たすことも保障される。こうして基本表現の Wilson ループ演算子から導かれた磁気モノポールは， $SU(2)$ の場合はアーベリアン磁気モノポールとなるが， $SU(N)$, $N \geq 3$ ではノンアーベリアン磁気モノポールとなり，アーベリアン射影の結果とは異なる。磁気モノポールは，余次元 3 の位相的配位であり，保存則を考慮すると，4 次元の時空間では閉じたループを描く。Yang-Mills 場の与えられた配位から，閉じた磁気モノポールのループを構成することは懸念の問題であったが，我々は，4 次元ユークリッド空間上の $SU(2)$ Yang-Mills 理論において，2 メロンの Yang-Mills 場が与えられたとき，メロン対を通過するような円状の磁気モノポールのループ解を解析的に構成することに成功した [e-Print: arXiv:0806.3913, Phys. Rev. D (2008) 印刷中]。2 メロンはある極限で 1 インスタントンに帰着するが，この極限ではループが消滅することが示され，以前の否定的結果，1 インスタントンの与えられた配位からは磁気ループはできないことも再現する。また，2 インスタントン以上では，インスタントンを通過する複数の磁気ループが数値的に見出されている理由も定性的には説明できる。今後，この結果を用いて，Wilson ループ期待値の計算に取り組む予定である。