

# Construction of a regularization-independent supercurrent in terms of the gradient flow

笠井, 彩

<https://hdl.handle.net/2324/2236024>

---

出版情報 : 九州大学, 2018, 博士 (理学), 課程博士  
バージョン :  
権利関係 :

氏名	笠井 彩		
論文名	Construction of a regularization-independent supercurrent in terms of the gradient flow (グラディエントフローによる正則化非依存な超カレントの構成)		
論文調査委員	主査	九州大学	職名 教授 氏名 鈴木 博
	副査	九州大学	職名 教授 氏名 原田 恒司
	副査	九州大学	職名 准教授 氏名 清水 良文

### 論文審査の結果の要旨

現在、素粒子はいわゆるゲージ場の量子論で記述されることが知られている。ここで念頭においている格子ゲージ理論とは、ゲージ場の量子論の紫外発散の正則化の一つであり、ゲージ場の量子論の非摂動的ダイナミクスの第一原理からの解析を可能にする。この特徴のため、格子ゲージ理論は特に強い相互作用の低エネルギー物理の解明において大きな成功を収めてきた。一方、格子ゲージ理論では、時空をまず格子目で近似することから、並進対称性や超対称性など時空に付随した対称性が壊れてしまう。ここで超対称性とは、ボーズ粒子とフェルミ粒子を結びつける対称性であり、素粒子標準模型を超える理論において導入される対称性である。この対称性の破れの効果は、理論の紫外発散と組み合わさることにより、格子間隔をゼロする連続極限においても一般に有限に残る。これと関連して、格子ゲージ理論では時空対称性に付随した保存するネーターカレント（エネルギー運動量テンソルや超カレント）の構成が全く自明ではない。この破れの効果を消すには、理論に含まれるパラメータを微調整しながら連続極限を取る必要がある、この事実が超対称性理論の非摂動的解析の大きな妨げになっている。

この論文では、グラディエントフローという手法に基づき、極めて複雑な根気強い解析により、4次元時空の  $N=1$  および  $N=2$  超対称ヤン-ミルズ理論における超カレントの、正則化に依存しない表式を得ている。グラディエントフローとは、ゲージ理論の場の変数を一種の拡散方程式に従って仮想的な時間に沿って時間発展させるものである。近年の研究により、このようにして得られた場の変数から構成された複合演算子は自動的に紫外有限となり、用いる正則化に依存しないことが知られている。この事実を利用する。

つまり、格子ゲージ理論以外の、超対称性を保つ正則化のもとで得られた保存する超カレントを、フロー場による複合演算子の表式で表すことができれば、この表式は正則化に依らないので、格子ゲージ理論でも用いることができる。特に、この表式は超対称な連続極限で自動的に保存する超カレントになるので、上で述べたパラメータの微調整における指標（ワード-高橋関係式）に用いることができる。こうした表式は小さなフロー時間の極限での摂動計算により得ることができ、この方法論は格子ゲージ理論でのエネルギー運動量テンソルの構成に対して成功を収めている。

実際には、超対称性を明白に保つ正則化が存在せず、量子論で保存する超カレントの表式が知られていないため、ここでの構成はより複雑な手続きを必要としている。つまり、次元正則化のもとで超対称性に付随したワード-高橋関係式をたて、ここにあらわれる対称性の破れを吸収する形の繰り込まれた変数間の超対称性ワード-高橋関係式を読み取り、ここにあらわれる超カレントを出

発点とする。この段階での摂動計算は後ほどの小フロー極限で漸近的自由性により正当化される。この超カレントの表式をフロー場の複合演算子と関係付ける小フロー時間展開を摂動展開で計算し、超カレントをフロー場のみの有限な表式で表すことに成功している。こうして得られた超カレントの表式は、今後、格子ゲージ理論を用いた超対称性ゲージ理論の数値シミュレーションにおいて、極めて有用になると期待される。

以上の結果、この博士学位論文では当該研究分野における高い水準の独自性の強い研究成果を挙げていると認められる。よって、本研究者は博士（理学）の学位を受ける資格があるものと認める。