

これまでの研究成果のまとめ

菊地 健吾

研究略歴

私の主要な研究実績は場の量子論、特にグラディエントフロー方程式に関するものである。グラディエントフロー (GF) とは、ゲージ場の量子論の発散を押さえる新しい解析手法である。この式は一種の拡散方程式で、その解で与えられるフロー場の相関関数は、新たな繰り込みを必要とせず、紫外発散が出ないという性質を持つ。本研究は GF 方程式そのものの性質に着目した、場の量子論の手法の基盤となる研究である。

特に GF 方程式の一般的な非摂動的性質、超対称性理論に対する拡張を研究し、関連する論文 2-5 を発表。さらに超対称 Wess-Zumino 模型に対する GF の構成、及びその解の振る舞いについて論文 6 を発表。その結果を用い、相互作用を含む超対称性フロー理論が紫外有限になることを、非繰り込み定理を用いて全次数で証明、論文 8 を発表した。また、GF の現象論的応用として、スファレロン解を求める新しい手法を提唱、SU(2)ヒッグス模型に適用し論文 7 を発表。新たな場の量子論への応用として、自発的ゲージ対称性の破れに関する相構造を調べる方法として、フロー方程式を利用した新しい秩序変数を提案し、論文 9 として発表した。

研究に関する業績の概要

論文 2 では、GF の理論をより一般の理論に適用できるように、“一般化されたグラディエントフロー方程式”を提唱した。オリジナルな GF 方程式は SU(N) Yang-Mills 理論に対するものであるが、私の提唱した一般化された方程式は、オリジナルな式の内容を包括する一方、非線形な対称性をもった理論にも適用可能な拡張された方程式である。この方程式を用いることで、SU(N) Yang-Mills 理論だけでなく、2次元 O(N)非線形シグマ模型、4次元 N=1 超対称 Yang-Mills 理論に対する GF 方程式等を統一的に記述できる。この拡張は、系のもつ対称性を破らずにフロー方程式を構成する一般的な手法を与えている。特に本論文では4次元 N=1 超対称 Yang-Mills 理論に着目し、超対称性を明白に保った SUSY グラディエントフロー方程式 を導出した。この研究は GF を超対称性理論に適用した初めての研究である。また論文 3 では、2次元 O(N)非線形シグマ模型に対する GF 方程式を構成、解析した。この模型はラージ N 極限で厳密に解くことができることが知られている。私はこの模型に対する GF 方程式が、ラージ N 極限で非常に簡単になること (ラージ N グラディエントフロー方程式) を発見し、この方程式を解析的に解くことにより、2点相関関数が付加的な繰り込みなしに有限になることを、非摂動的に示した。これは今まで摂動的にしか示されていなかった GF の性質を非摂動的に示した初めての例である。

特に論文 6 論文 8 における SUSY 模型の Wess-Zumino 模型に対する GF の研究は独創的である。SU(N)Yang-Mills 理論において提唱されたオリジナルの GF の方法は、紫外有限であるという性質に、ゲージ対称性が重要な役割を果たしている。ゲージ相互作用以外の相互作用を含む GF の構成は一般に自明ではない。本研究では SUSY を使い、非ゲージ的な相互作用を含む場合でも有限にすることが可能になることを全次数のオーダーで示した。ここでは非繰り込み定理を利用しており、ゲージ理論とはまったく異なるメカニズムによって紫外有限となっており、ゲージ対称性が無い理論でも GF が働く一つの例である。