

これまでの研究成果のまとめ

基本粒子はその統計性によりボース粒子とフェルミ粒子に分けられる。ボース粒子とフェルミ粒子はその性質が著しく異なるが、互いに表裏一体の関係にあるようにも見える。そこで、この2種類の粒子の間に対称性を要求しお互いに移りあう変換を考えるのが超対称性理論である。現在の素粒子物理学で基本的とされている標準模型に含まれる問題(ゲージ階層性の問題など)を解決する役割を果たすものとして超対称性理論は期待されている。

2002年に Dijkgraaf-Vafa によって提起された「ゲージ理論と行列模型の双対性」は、その後の Cachazo-Douglas-Seiberg-Witten の論文によって証明が与えられた。この証明の中で用いられた「フェルミオン遷移の自由度」は、 $U(N)$ ゲージ理論の持つ超対称性が $\mathcal{N} = 2$ から $\mathcal{N} = 1$ へと破れたこと(超対称性の部分的破れ)に起因するものと考えられるものの、それに対する明確な説明はなかった。このフェルミオン遷移の自由度の起源を示すには超対称性の部分的破れを自発的に起こす模型を考える必要がある。そのようなものとしては、1995年に Antoniadis-Partouche-Taylor によって構築された模型があったが、これはゲージ群が $U(1)$ のゲージ理論であり、上記の双対性を示す $U(N)$ ゲージ理論との関連は定かではなかった。

そこで私は糸山氏(大阪市立大学)と阪口氏(岡山光量子科学研究所)との共同研究として、超対称性の部分的破れを自発的に起こす $U(N)$ ゲージ模型を構築した([K.F.-H.Itoyama-M.Sakaguchi;Prog. Theor. Phys. 113 (2005) 429])。 $U(N)$ ゲージ群が破れないという条件のもとでポテンシャルの極値を調べることによって、超対称性の自発的破れに伴って現れる南部-ゴールドストーン粒子が1つ存在し、超対称性が $\mathcal{N} = 1$ に自発的に破れることを示した。

続いて、論文 [K.F.-H.Itoyama-M.Sakaguchi;Nucl. Phys. B 723 (2005) 33] において超対称性の部分的破れとともにゲージ群が $U(N) \rightarrow \prod_i U(N_i)$ と部分的に破れる場合についての解析を行い $\mathcal{N} = 2$ の多重項が真空において3種類の多重項、質量零の $\mathcal{N} = 1$ ベクトル多重項と質量をもった $\mathcal{N} = 1$ カイラル多重項及びゲージ群の破れに伴って質量を与えられた $\mathcal{N} = 1$ ベクトル多重項に分裂することを示した。また南部-ゴールドストーン粒子がゲージ群の跡としての $U(1)$ 部分に含まれることも判明した。

さらに論文 [K.F.-H.Itoyama-M.Sakaguchi;Nucl. Phys. B 740 (2006) 58] では、ハーモニク超場形式における $\mathcal{N} = 2$ のベクトル超場を用いて我々の模型を再構成し、 $\mathcal{N} = 2$ のハイパー超場を含む一般化も行った。

そして私は、[K.F.-H.Itoyama-M.Sakaguchi;Prog. Theor. Phys. 113 (2005) 429] で予想されていたフェルミオン遷移の自由度の起源を実際に示すことに成功し、その成果を単著論文としてまとめた([K.F.;Nucl. Phys. B 770 (2007) 145])。超対称性の自発的かつ部分的破れの模型において重要な役割を果たすのは「ケーラーポテンシャルによる非線形な相互作用」と「電氣的及び磁氣的 FI 項」であるが、これらの間にある制限をかけるような極限のもとで導出される作用が Cachazo-Douglas-Seiberg-Witten の論文の中で用いられたものと一致する。このとき、超対称性の自発的破れに伴う南部-ゴールドストーン粒子は自由粒子となり、これによって上述のフェルミオン遷移の自由度が超対称性の破れの名残として現れることが示された。