

## ゲージ理論におけるカイラル対称性の自発的破れ

東島 清

このテーマに関心を持つきっかけとなったのは益川敏英氏のカイラル対称性の破れに関する講義だった。益川さんと共著論文を書いた中島日出雄さんはじめ、この分野の研究を行うことになる九後汰一郎さんや山脇幸一さんも参加した。

ヒッグス機構にはパラメーターが多すぎるが、南部模型のように対称性の破れがダイナミカルに起きれば、パラメーターを計算できるだろうと思われた。南部模型は繰り込み不可能なので、カイラル対称性の自発的破れによる質量は紫外カットオフに比例するが、繰り込み可能な理論ならば有限の値が出てくると期待された。益川・中島は繰り込み可能な U(1) ゲージ理論で非摂動的なフェルミ粒子の質量生成を調べるため、Schwinger-Dyson(SD) 方程式を詳しく分析した結果、繰り込み可能な理論であっても紫外カットオフが必要であることを示した。さらに、結合定数が小さければカイラル対称性は破れないが、結合定数がある程度大きいとカイラル対称性は自発的に破れ、フェルミ粒子は紫外カットオフに比例する質量を獲得することが分かった。ただ、益川・中島の論文は積分方程式に対する不動点定理を用いるなど非常に数学的で難しかった。福田礼次郎さんと九後さんが SD 方程式を非線形の微分方程式に直して分かりやすく解析したので、やっと理解できるようになった。

当時、相対論的束縛状態の問題は矛盾だらけだった。私は質量零の南部・ゴールドストーンボゾンがクォーク・反クォークの束縛状態としてどのように生じるかを調べた。グルーオン交換のポテンシャルは距離の二乗に反比例するが、引力が強すぎると互いに落ち込んでしまうので、束縛状態を作るには近距離で引力をカットオフする必要がある。QCD のような漸近自由な理論では近距離の引力が弱くなるので、人工的な紫外カットオフはいらないのではないかと考えた。漸近自由な理論では赤外領域の結合定数が発散するので、赤外領域では結合定数が一定になるとして解析した。その結果、引力が弱ければ束縛状態はできないが、ある程度引力が強くなるとクォークが零質量のままでは束縛状態がタキオンになる。安定性を回復するのに必要なだけクォークが質量を獲得するため、南部ゴールドストーン粒子は零質量になることが分かった。クォークの質量は QCD の繰り込み不変な有限質量スケールに比例し計算できる量になった。

九後さん・山脇さん・青木健一さんなど課題を共有して下さった方々に感謝します。

参考文献：K. Higashijima, Theory of Dynamical Symmetry Breaking, Prog. Theor. Phys. Suppl. 104 (1991) 1-69.