

報告番号 ※ 甲 第2826 号

# 主論文の要旨

題名

Hidden Local Symmetry  
and the Loop Effect

(隠れた局所対称性とそのループ効果)

氏名 原田正康



# 主論文の要旨

報告番号

※ 第

号

氏名

原田正康

現在知られている素粒子の相互作用としては、重力相互作用、電磁相互作用、弱い相互作用、強い相互作用の4種類が存在する。このうち強い相互作用は、原子核を構成する基になる相互作用であり、クォークに対するゲージ理論である量子色力学 (QCD) を用いて記述される。強い相互作用をする核子、 $\pi$ 中間子などの粒子 (ハドロン) は、QCDにおけるクォーク多体系としての複合粒子にほかならない。

この QCD 理論には近似的カイラル対称性が存在し、そのカイラル対称性が自発的に破れるという力学的特徴を持っており、 $\pi$ 中間子はその破れに伴う近似的な南部-Goldstone 粒子 (零質量) であると考えられている。実際、 $\pi$ 中間子の質量は核子などの質量に比べて非常に軽く、しかもカイラル対称性が自発的に破れた結果である低エネルギー定理が実験事実をよく説明する。しかし、QCD 理論の結合定数は低エネルギーで非常に大きく、クォークレベルで直接理論を扱い、実験結果と比較することは非常に困難である。そこで、ハドロン場を用いて、QCD 理論の力学的特徴をよく表す低エネルギー有効理論がいろいろと考えられている。

その一つとして、 $\pi$ 中間子のみを用いて記述されている非線形シグマ模型がある。この模型は、低エネルギー定理を満たし、低エネルギー極限で実験結果をよく再現することが知られており、更に、この模型において最低次の量子補正 (1ループ) を考えることにより、低エネルギー極限よりわずかに高いエネルギー領域における実験結果をよく記述できることが示されている。ところが、より高いエネルギー領域になると、ベクトル中間子である $\rho$ 中間子が存在するために、この $\pi$ 中間子のみを含む理論では摂動的量子補正を考慮するだけでは実験結果をうまく記述できない。

ところが、 $\pi$ 中間子に加えて $\rho$ 中間子まで含む有効理論として、 $\rho$ 中間子をゲージ粒子として含む「隠れた局所対称性」模型が提案されており、これは量子補正なしで低エネルギーの実験結果をよく再現する。特に、 $\rho$ 中間子と光子の混合を表すパラメータ  $g_\rho$ 、 $\rho$ 中間子と $\pi$ 中間子の結合を表すパラメータ  $g_{\rho\pi\pi}$ 、 $\pi$ 中

間子の崩壊定数  $f_\pi$  の間の関係を表す式  $g_\rho = 2g_{\rho\pi\pi}f_\pi^2$  (河原林-鈴木-Riazuddin-Fayyazuddin (KSRF) 関係式 (I)) は、隠れた局所対称性の低エネルギー定理として成り立つことが、量子補正を含まない段階で示されており、実験とも非常によく一致している。更にまた、この模型に含まれている唯一の任意パラメータ  $a$  を適当にとることにより、 $\rho$  中間子の質量  $m_\rho$  と  $g_{\rho\pi\pi}$ 、 $f_\pi$  の間の関係を表す式  $m_\rho^2 = 2g_{\rho\pi\pi}^2 f_\pi^2$  (KSRF 関係式 (II)) が予言されるが、これは実験結果と非常によく一致する。また、 $\pi$  中間子の電磁形状因子が  $\rho$  中間子の効果のみで説明できるという実験結果より、光子は直接に  $\pi$  中間子と結合するのではなく、 $\rho$  中間子との混合を通じてのみ結合していることが分かるが、これに対してもこの模型は非常によく説明を与える。

この理論が更に高いエネルギー領域まで有効かどうかを知るには、量子補正を考慮する必要がある。その第一歩としてまず、 $\pi$  中間子と  $\rho$  中間子の 1 ループの効果を取り入れた場合に、以上の低エネルギーでの予言がどのような変更を受けるかについて調べた。

その結果として、KSRF 関係式 (I)  $g_\rho = 2g_{\rho\pi\pi}f_\pi^2$  は、低エネルギー極限ではループによる補正を受けず、ループの効果を取り入れた場合にも、「隠れた局所対称性」の低エネルギー定理となることを示した。そして、KSRF 関係式 (II)  $m_\rho^2 = 2g_{\rho\pi\pi}^2 f_\pi^2$  も、低エネルギー極限ではループによる補正を受けないことを示した。また、電磁形状因子に対しては、低エネルギー極限だけでなくより高いエネルギー領域について調べ、すべてのエネルギー領域で、光子は直接  $\pi$  中間子と結合せず、 $\rho$  中間子との混合を通じてのみ結合することを示した。

更に、 $\rho$  中間子のゲージ結合定数  $g$  と、パラメータ  $a$  のより高いエネルギー領域でのふるまいを、くりこみ群の処方を用いて求めた。そして、高いエネルギー領域では、より高い対称性を持つ理論に近づくことを示した。

以上のようにして、「隠れた局所対称性」模型の低エネルギーでの予言が、ループの効果を取り入れた場合にも変更を受けないことを示した。この結果は、QCD だけでなく、電弱対称性の自発的破れ (ヒッグス粒子の力学) に対する標準模型を越える模型への応用も期待される。