

Title	The renormalization and chiral symmetry breaking of the massless sigma model with fermions and bosons in the Coleman-Weinberg scheme
Author(s)	為永, 節雄
Citation	大阪大学, 2007, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/47653
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	為永節雄
博士の専攻分野の名称	博士(理学)
学位記番号	第20841号
学位授与年月日	平成19年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 理学研究科物理学専攻
学位論文名	The renormalization and chiral symmetry breaking of the massless sigma model with fermions and bosons in the Coleman-Weinberg-scheme (コールマン-ワインバーグの手法を用いたフェルミオン-ボゾン系の質量項の無いシグマ模型に対する繰り込みとカイラル対称性の破れの研究)
論文審査委員	(主査) 教授 土岐 博 (副査) 教授 東島 清 教授 浅川 正之 教授 久野 良孝 助教授 保坂 淳

論文内容の要旨

私は質量項の無いシグマ模型を用いてフェルミオン(核子)とボゾン(中間子)の one loop の寄与を研究した。通常のシグマ模型は、自発的対称性の破れを引き起こすのは負の質量項であるが、私は Coleman-Weinberg の繰り込み方法を用いることで、カイラル対称性の自発的破れを loop の寄与が引き起こす模型を考えた。質量項の無いラグランジアンであることから、核子と中間子の one loop の寄与が対称的に表現される。そのため、フェルミオンとボゾンの one loop の寄与が大きく相殺され、若干ボゾンの one loop の寄与が残る。これが負の質量項の役割を担い、カイラル対称性が自発的に破れる。そのとき、フェルミオンとボゾンが同時に質量を獲得する。カイラル模型において繰り込みを行うと、今までは有効ポテンシャルが不安定になる問題があったが、この繰り込み方法を用いることで初めて安定な有効ポテンシャルを得ることができた。

この質量項の無いシグマ模型を有限核に適応する。安定な原子核を記述するためには、斥力を担うベクター中間子が必要となる。そこでカイラル対称性が自発的に破れると、ベクター中間子が質量を得るような形で、ベクター中間子を導入する。繰り込みを行っていないシグマ模型では、非圧縮率が大きすぎるために、大きな角運動量を持った波動関数が局在し特異な密度分布が得られてしまう。しかしながら、繰り込みを行ったこの質量項の無いシグマ模型を用いることでスムーズな密度分布を得ることができた。有限な原子核において、波動関数の繰り込みが密度分布に対して重要であることがわかった。

また有限温度におけるハドロンの性質をこの模型を用いて議論した。有限温度においてカイラル対称性は回復することが知られている。通常自己無撞着にハドロンのプロパゲーターを計算することで、中間子の質量はタキオンにならないようにすることができる。私の模型は摂動論的に計算することでも中間子はタキオンにならない。なぜなら負の質量項は無く、one loop の寄与がその役割を担い、温度が高くなるとともにその寄与が小さくなるからである。結果として中間子の質量は物理的な質量を保つことになる。また、シグマ中間子とパイ中間子が得る負の質量項(one loop の寄与)は異なり、そのため、相転移温度付近においてシグマ中間子とパイ中間子の質量が逆転することが起こ

る可能性があることがわかった。

これまでの議論は one loop の寄与について行われてきた。特に強い相互作用の模型であるので、高次の loop の寄与を考える必要がある。そこで、Cornwall, Jackiw と Tomboulis の方法を用いて、高次の loop の寄与を、非摂動的にかつ自己無撞着に計算する。それから得られた核子と中間子の Schwinger-Dyson 方程式は、Coleman-Weinberg の方法を用いた one loop の結果と類似していることがわかった。また非摂動的に loop の寄与を取り入れたとしても、ダイアグラムの観点からしても loop の寄与が負の質量項の役割を担い、さらにはフェルミオンとボゾンの相殺機構を持っていることがわかった。

論文審査の結果の要旨

原子核を相対論的平均場近似の仮定の基に記述する研究が世界的に展開されている。その理由はスピンの自動的に導入されることと、原子核のマジック数の記述に必要なスピン・軌道力が自然に導出できるところにある。これらは核子に負エネルギーの状態が存在することに起因している。その意味では、原子核の基底状態の記述にはこの負エネルギー状態をも考慮する必要がある。しかし、現実には理論的な困難があり、原子核の構造の記述では負エネルギー状態は無視されてきている。さらには、原子核でのカイラル対称性の破れの回復が研究対象になることが多いが、その取り扱いを理論的に満足いく形で行うためには、負エネルギー状態の取り扱い法を確立する必要がある。

為永君はカイラル対称を満足し、繰り込み可能な模型である線形シグマ模型を採用した。その上で、負エネルギー状態を扱う方法の開発を行った。これまでに存在する理論的研究では負エネルギー状態を扱う方法が確立されていず、根本的に理論を作り上げる必要があった。その鍵はコールマンとワインバーグの計算方法の導入であり、核子と中間子の質量が0であるラグランジアンから出発して、繰り込みを行い、後はカイラル対称性の破れが自発的に引き起こされる条件を使って、理論を決定することを行った。それぞれに非常に大きい核子と中間子の量子補正の効果が、ほぼ完全に打ち消し合って、非常に適切な大きさの解が得られることを示すことが出来た。このモデルを使って有限の原子核や有限温度での中間子や核子の質量の変化を計算した。さらには、摂動的な考察から、非摂動的な考察への拡張も行った。これらの取り組みの具体的な研究の内容を箇条書きする。

- (1) 核子と中間子の量子補正の計算を行い、繰り込みの方法を提案した。
- (2) カイラルモデルで負のエネルギー状態まで含めた計算を行い、適当な大きさを持った有効ラグランジアンを得ることに成功した。
- (3) 摂動的な範囲での繰り込み群方程式を導出し評価した。
- (4) 非摂動的な手法を用いてカイラル対称性を持った理論の定式化を行い、上記の量子補正で得られた、核子と中間子の打ち消し合う現象が同様に起こることを確かめた。
- (5) 量子補正を行った有効ラグランジアンで原子核の基底状態と有限の温度でのハドロン物質の性質や質量等の計算を行った。

上記の研究において、これまでは多くの研究者が理論的に考察して出来なかったカイラル対称性が入ったラグランジアン繰り込みの方法が始めて完成できたことは高く評価できる。さらには、結合定数が大きいことからくる非摂動の効果の考察も行っており、今後ハドロン物理や原子核物理での基本的な方法を確立する上での大きな手法を得たと言える。これらの研究はハドロン物理と原子核物理を統一的に理解する理論として高く評価できる。

以上のことから、博士（理学）の学位論文として十分価値のあるものと認める。