

Title	Kaon-nucleon interactions and $\Lambda(1405)$ in the Skyrme model
Author(s)	江添, 貴之
Citation	大阪大学, 2019, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/72639
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

論文内容の要旨

氏名 (江添 貴之)

論文題名

Kaon-nucleon interactions and $\Lambda(1405)$ in the Skyrme model
(Skyrme模型を用いたK中間子核子間相互作用及び $\Lambda(1405)$ の研究)

近年、K中間子核子系が再注目されている。1960年ごろにDalitzとTuanによって、反K中間子核子 ($\bar{K}N$) 間には引力が働くと理論的に予想された。そして、その引力の結果 $\bar{K}N$ は準束縛状態を作り、それが $\Lambda(1405)$ であると長らく考えられてきた。しかしながら、近年のカイラルユニタリーアプローチをもちいた研究によると $\Lambda(1405)$ は、 $\bar{K}N$ と $\pi\Sigma$ の2状態からなる共鳴状態であると考えられている。

本研究では、低エネルギーQCDで重要になるカイラル対称性を尊重し、さらに核子などのバリオンをソリトンとして記述するSkyrme模型を用いてK中間子核子間相互作用を距離の関数として導出し、その相互作用の物理的起源をあきらかにする。そして、その拡張として $\Lambda(1405)$ を $\bar{K}N$ Feshbach共鳴として記述しその崩壊幅を議論する。

そのための方法として、初めにSkyrme模型をもちいてK中間子核子系を記述するための新たな方法を開発した。これは、CallanとKlebanovがハイペロンの性質を記述するために提唱した束縛法を基礎にしている。彼らとの違いは、反古典量子化におけるProjectionとVariationの順番であり、我々の方法はVariation after Projectionに対応している。

我々の方法を用いて、 $\bar{K}N$ 束縛状態の性質を調べたところ、ただ一つの束縛状態が存在し、その束縛エネルギーは数10 MeVのオーダーになることがわかった。これは、我々の方法では $\bar{K}N$ 束縛状態が反K中間子と核子が互いに緩く束縛したハドロン分子描像をとることを意味している。また、K中間子核子系の散乱状態を調べたところ、 $\bar{K}N$ 間には引力が、 KN 間には弱い斥力が働いていることが確認された。これは定性的に実験結果と一致している。そして、この引力と斥力の違いは ω メソン交換力により、簡単かつ普遍的に説明できることが示された。

次に、我々の方法の拡張として $\Lambda(1405)$ を $\bar{K}N$ Feshbach共鳴として記述するための新たな方法の構築を行った。我々は、ハイペロンを記述するためのCallanとKlebanovの束縛法と、K中間子核子系を記述するために構築した我々の方法を組み合わせることで、 $\bar{K}N$ と $\pi\Sigma$ の結合を記述することに成功した。その結果として、 $\bar{K}N$ Feshbach共鳴は崩壊幅がせいぜい10 MeV程度の非常に幅の狭い共鳴状態として現れることが確認できた。これは、 $\Lambda(1405)$ がハドロン分子共鳴として記述されるということの意味している。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (江添 貴之)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教 授	保坂 淳
	副 査	教 授	浅川 正之
	副 査	教 授	野海 博之
	副 査	准教授	緒方 一介
	副 査	准教授	石井 理修

論文審査の結果の要旨

近年クォーク模型で性質を説明することの難しいエキゾチックハドロンの候補として、 $\Lambda(1405)$ が注目をあび、J-PARC においても重要な課題に取り上げられている。その構造は反 K 中間子と核子 (N) の束縛状態が $\pi\Sigma$ に比較的長い寿命で崩壊するフェッシュバッハ共鳴であることが指摘されている。その基盤となるのがカイラルユニタリ模型で、世界中の研究者が取り組み多くのハドロンの共鳴現象を説明できると期待されている。しかしながらその方法には場の理論に特有の発散問題があり、有限な計算結果を得るためにはパラメータが必要になる。これはハドロンの構造 (特に大きさ) に関係している。KN の問題においては核子の構造が特に重要と考えられる。そこで、カイラル対称性に基づいて構造を持った核子と K 中間子の相互作用を記述する方法として、江添君はスキルム模型に着目した。スキルム模型は中間子場の非線形理論で、核子はソリトン解として、中間子との相互作用はその周りの中間子場の揺らぎによって記述される。

このような発想に立った研究として、Callan と Klebanov によって開発された束縛状態法が知られている。江添君はこの研究を精査し、彼らの方法には $\Lambda(1405)$ のような反 KN の緩く束縛する系に適用する際に問題点があることを見出し、新たな方法を考案するに至った。彼らの方法は K 中間子が Hedgehog とよばれる特殊な核子状態に結合するのに対して、江添君の方法は K 中間子が核子に結合する。多体問題の射影法を利用したアイデアに基づいている。

本研究では新たな方法によって K 中間子と核子の相互作用を直接的に求め、それをを用い KN 系の性質を詳しく調べた。そして距離の関数としてポテンシャルを求めた。反 KN ポテンシャルには中距離の引力と短距離の斥力芯があることを示し、その結果 10 MeV 程度の束縛エネルギーを持つ緩い束縛状態がただ一つ存在することを示した。斥力芯の存在はしばしば議論される強く束縛する K 中間子原子核が存在しない可能性を示唆している。ポテンシャルは解析的に得られるので、引力や斥力の物理的な起源も明らかにすることができた。さらに、KN と $\pi\Sigma$ の結合相互作用を求め、反 KN 準束縛状態が $\pi\Sigma$ に崩壊する寿命がハドロンの強い相互作用が引き起こす寿命に比べ十分に長いことを示した。このことは $\Lambda(1405)$ が KN の準束縛状態としてのフェッシュバッハ共鳴であることを支持している。

江添君の研究は理論の新しい手法を開発しそれをを用いた計算を実行するとともに、現象を理解するのに役立つ描像を提案した点において、その役割は当該分野の発展において重要である。以上より、本論文は博士 (理学) の学位論文として十分に価値のあるものと認める。