

はじめに

格子 QCD によるハドロン物理の目指すもの

ハドロンとは、陽子、中性子、中間子などの「素粒子」の総称である。ハドロンの特徴は、強い相互作用をするということである。ハドロンは「素粒子」であるといったが、実は、ハドロンはより基本的なクォークとグルーオンからできている複合粒子であり、その点では素粒子ではない。通常のやり方では、構成要素であるクォークやグルーオンの性質を調べればよいのであるが、閉じ込めという現象のために、クォークやグルーオンは粒子として観測されず、その意味ではクォークやグルーオンも厳密には素粒子ではない。このような状況のために、ハドロンは構造を持つ粒子でありながら、その構成要素は観測できない、という奇妙なことになっている。

本書では、そのようなハドロンの性質をクォークやグルーオンの運動を記述する量子色力学 (QCD) を用いて理解していこうという試みを紹介する。本シリーズのテーマである「基本法則から読み解く」ということで、単なるお話ではなく、基本法則やそれを使った推論や計算なども取り混ぜてハドロンの物理を解説していく。本書の内容、特に計算部分は、物理関連学科の大学生であれば容易に理解できるレベルである。物理をあまり知らなくても、数学的操作や論理の積み上げなどに慣れている方であれば理解できるように、なるべく予備知識を仮定しないようにした。計算などは一見難しそうに見えても、自分で少し手を動かして考えてみると理解できるように書いたつもりなので、なるべく自分で理解するつもりで読んでほしい（とは言え、少々、難しい部分もあると思われるので、どうしてもわからない場合は読み飛ばして頂いて構わない）。

本書を使って解説した「基本法則」などは以下のものがある。

第3章では、スピンの性質とその合成について解説している。これはクォークの持っているスピンから、ハドロンのスピンを説明するのに重要である。また第3章では、パウリの排他原理とその関連で導入されたカラーについても紹介している。第4章では、ハドロン物理を理解するのに必須である QCD を、

ファインマン図と言われるものを導入し、直感的に説明している。QCD の特徴的な性質の 1 つである漸近的自由性の部分では、微分方程式を用いて、より数学的な説明も行っている。第 5 章では、本書のタイトルにも含まれている「格子 QCD」を解説している。あまり、数学的にはならないようにしたつもりではあるが、必要な部分では、若干の数式を使って、ゲージ理論に関する説明も行っている。電磁気学を知っていると理解しやすいかも知れない。格子 QCD とその数値計算に関しては基本的な部分だけに絞って紹介した。第 6 章はその知識を使って理解できる範囲で最新の研究成果の一部を紹介した。第 7 章は、本書のメインな部分であり、格子 QCD を使って核力などのハドロン間相互作用を研究する方法を紹介している。この研究は現在進行中でもあり、その臨場感が伝われば幸いである。また、ここでは、簡単な量子力学やその散乱理論の計算例を紹介している。少し難しいと思うが、古典力学の調和振動子を知っている人なら理解できる内容なので敬遠せずに取り組んで頂きたい。

本書では、光速 $c = 1$ 、プランク定数 $\hbar = 1$ の自然単位系を用いる。ただし、説明の都合上、一部では c や \hbar を使うことがある。

最後にこの場を借りて今までお世話になった多くの方々に感謝の意を表したい。特に、HAL QCD Collaboration のメンバーとの共同研究を通じた様々な議論によって本書の執筆が可能になった、と言っても過言ではない。

2016 年 12 月

青木慎也