目　次

第1章　素粒子物理学入門　1

1.1　素粒子とは？ 1
1.2　素粒子の性質 3
1.3　素粒子の標準理論 6

第2章　ハドロン　9

2.1　ハドロンとクォーク 9
2.2　スピン 10
2.3　バリオンのスピン 13
2.4　パウリの排他原理とカラー自由度 14
2.5　メソンとクォーク 17
2.6　ストレンジクォークとハドロン 19
2.7　この章のまとめと問題の解答 24

第3章　量子色力学 (QCD)　27

3.1　電磁相互作用と QED 27
3.2　カラー自由度とグルーオン 32
3.3　QCD 33
3.4　漸近的自由性とクォークの閉じ込め 34
3.5　QCD による漸近的自由性 37

第4章 格子QCD 41

4.1 摂動展開の限界 41
4.2 場の量子論 42
4.3 格子上の場の理論 44
4.4 ゲージ理論とQCD 48
4.5 格子QCD 53
4.6 格子QCDの数値シミュレーション 59
4.6.1 重要サンプリング 60
4.6.2 乱数 61
4.6.3 モンテカルロ法 64
4.6.4 格子QCDのモンテカルロ法の手順 65
4.6.5 格子QCDの数値シミュレーションの発展 66

第5章 格子QCDによる数値計算の代表的な結果 67

5.1 クォークの閉じ込め 67
5.2 カイラル対称性の自発的破れ 71
5.3 ハドロン質量 77
5.3.1 ハドロン質量計算の手順 78
5.3.2 2+1フレーバーQCDの最近の結果 80
5.3.3 アップクォークとダウンクォークの質量差を入れた計算 82

第6章 格子QCDによるハドロン間相互作用 85

6.1 核力 85
6.2 QCDによる核力の理解に向けて 88
6.2.1 格子QCDの核力計算はなぜ難しいのか 88
6.2.2 量子力学と散乱 89
6.3 格子QCDによるハドロン相互作用の研究法I：有限体積法 . . 94
6.3.1 有限体積法 94

6.3.2 有限体積法の結果の例 95
6.4 格子QCDによるハドロン相互作用の研究法II：ポテンシャル法 98
6.4.1 ポテンシャルの定義とその計算手順 99
6.4.2 NBS波動関数とその性質 101
6.4.3 ポテンシャルの定義とその性質 103
6.4.4 非局所ポテンシャルの微分展開 105
6.4.5 格子QCDのよる核力ポテンシャルの計算例 107
6.4.6 核力ポテンシャルの構造：テンソルポテンシャル 110
6.4.7 ポテンシャルから位相差へ 112
6.4.8 斥力芯の起源 114
6.4.9 Hダイバリオン 116

第7章 今後の課題 119

7.1 ポテンシャル法の拡張 119
7.2 有限温度，有限密度のQCD 120

参考文献 123

索 引 125