

# 目 次

<b>第1章 はじめに</b>	<b>1</b>
1.1 なぜ、素粒子を研究するのか？ . . . . .	1
1.2 なぜ、ニュートリノなのか？ . . . . .	2
<b>第2章 素粒子物理とニュートリノ</b>	<b>4</b>
2.1 素粒子の標準模型 . . . . .	5
2.1.1 クォークとレプトン . . . . .	5
2.1.2 力を伝える粒子と3種類の相互作用 . . . . .	7
2.1.3 ヒッグス粒子 . . . . .	7
2.2 ニュートリノ . . . . .	8
2.2.1 ニュートリノ仮説とベータ崩壊 . . . . .	8
2.2.2 ニュートリノの発見 . . . . .	9
2.2.3 左巻きニュートリノとパリティの破れ . . . . .	10
2.2.4 ニュートリノの種類数 . . . . .	10
<b>第3章 ニュートリノ質量</b>	<b>12</b>
3.1 ニュートリノ質量：デイラック質量とマヨラナ質量 . . . . .	13
3.2 ニュートリノ振動 . . . . .	15
3.3 ニュートリノ質量の測定 . . . . .	19
3.3.1 ニュートリノ質量の直接測定 . . . . .	20

3.3.2 ニュートリノ質量と宇宙の進化の歴史 . . . . .	20
-----------------------------------	----

## 第4章 自然ニュートリノ観測 22

4.1 太陽ニュートリノ . . . . .	22
4.1.1 カミオカンデ実験 . . . . .	24
4.1.2 スーパーカミオカンデ実験 . . . . .	24
4.1.3 SNO 実験 . . . . .	26
4.2 大気ニュートリノ . . . . .	28
4.2.1 カミオカンデ実験 . . . . .	28
4.2.2 スーパーカミオカンデ実験 . . . . .	31
4.3 地球反ニュートリノ . . . . .	33
4.4 超新星ニュートリノ . . . . .	35
4.4.1 超新星ニュートリノ . . . . .	35
4.4.2 超新星背景ニュートリノ . . . . .	38
4.5 宇宙高エネルギーニュートリノ . . . . .	38
4.6 宇宙背景ニュートリノ . . . . .	40

## 第5章 人工ニュートリノ実験 42

5.1 加速器ニュートリノビーム . . . . .	42
5.1.1 K2K 実験 –日本を縦断するニュートリノビーム– . . . . .	43
5.1.2 T2K 実験 . . . . .	43
5.1.3 世界の加速器ニュートリノ実験 . . . . .	46
5.2 原子炉反ニュートリノ . . . . .	46
5.2.1 カムランド実験 . . . . .	47
5.2.2 原子炉 $\theta_{13}$ 実験 . . . . .	49
5.3 放射性元素のベータ崩壊からのニュートリノ . . . . .	50
5.3.1 ベータ崩壊によるニュートリノ質量の直接測定 . . . . .	50
5.3.2 2重ベータ崩壊探索とマヨラナニュートリノの検証 . . . . .	51
5.4 その他の人工ニュートリノ生成方法 . . . . .	54

**第6章 ニュートリノと素粒子物理学の将来 55**

6.1 ステライルニュートリノ . . . . .	55
6.2 ニュートリノにおける粒子と反粒子対称性の破れ . . . . .	56
6.3 陽子崩壊と大統一理論 . . . . .	58

**第7章 ニュートリノ測定器 60**

7.1 カミオカンデ測定器 . . . . .	60
7.2 スーパーカミオカンデ測定器 . . . . .	62
7.3 カムランド（禪）測定器 . . . . .	64
7.4 K2K 実験装置 . . . . .	66
7.5 T2K 実験装置 . . . . .	68
7.6 IceCube 測定器 . . . . .	71
7.7 ハイパーカミオカンデ測定器（計画） . . . . .	72

**第8章 付録 74**

8.1 用語集 . . . . .	74
8.2 米国元大統領 Bill Clinton の MIT でのスピーチ . . . . .	75

**参考文献 77**