

# 目 次

第1章	はじめに	1
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
第2章	素粒子物理とニュートリノ	4
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
第3章	ニュートリノ質量	12
3.1	ニュートリノ質量：ディ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
<b>第4章</b>	<b>自然ニュートリノ観測</b>	<b>22</b>
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
<b>第5章</b>	<b>人工ニュートリノ実験</b>	<b>42</b>
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（禅）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