

# 目次

第1章	はじめに：原子核，不安定核，そして宇宙	1
第2章	原子核の限界	7
2.1	安定核と不安定核	7
2.2	原子核の質量 – 原子核の安定性	9
2.2.1	結合エネルギーとその飽和性	9
2.2.2	原子核の質量公式	12
2.2.3	$\beta$ 安定性で見える安定核と不安定核	13
2.2.4	ドリップライン	15
2.3	原子核はどうして $N = Z$ を好むのか – フェルミガス模型	17
2.3.1	原子核のフェルミガス模型	18
2.3.2	フェルミガス模型による対称エネルギーの導出	19
2.4	原子核はどうして $N = Z$ を好むのか – 核力	21
2.4.1	2核子系	21
2.4.2	中心力とテンソル力	24
2.4.3	核力と不安定核	26
第3章	不安定核を作る	29
3.1	不安定核生成反応 1：核破碎反応	30
3.1.1	核破碎反応の描像	30

3.1.2	入射エネルギーと核破碎反応の起こる条件 . . . . .	31
3.1.3	核破碎片の運動量分布 . . . . .	33
3.2	不安定核生成反応 2: 核分裂反応 . . . . .	36
3.2.1	誘起核分裂反応 . . . . .	36
3.2.2	クーロン核分裂反応 . . . . .	39
3.3	インフライト型不安定核分離装置 . . . . .	41
3.3.1	インフライト型不安定核分離装置の原理 . . . . .	41
3.3.2	インフライト型不安定核分離装置の特徴 . . . . .	43
3.3.3	インフライト型不安定核分離装置を用いた不安定核ビーム施設 . . . . .	44
3.4	オンライン同位体分離装置 . . . . .	46
3.4.1	オンライン同位体分離装置の原理 . . . . .	47
3.4.2	オンライン同位体分離装置の特徴 . . . . .	48
3.4.3	オンライン同位体分離装置を用いた不安定核ビーム施設 . . . . .	49
3.4.4	次世代型低速 RI ビーム . . . . .	51

## 第 4 章 中性子ハロー

53

4.1	中性子ハローの発見 . . . . .	57
4.1.1	相互作用断面積と異常な半径 . . . . .	57
4.1.2	ハンセンとヨンソンによる推論 – 中性子ハロー . . . . .	63
4.1.3	コア核の運動量分布と中性子ハロー . . . . .	65
4.2	ハロー構造の基本 –1 中性子ハロー核 . . . . .	68
4.2.1	1 粒子模型による 1 中性子ハロー核 . . . . .	68
4.2.2	殻構造と 1 中性子ハロー . . . . .	73
4.2.3	1 中性子ハロー核の 1 粒子軌道 . . . . .	77
4.3	ハロー構造の基本 –2 中性子ハロー核 . . . . .	77
4.3.1	2 中性子ハロー核の特徴 – ダイニュートロン相関の可能性 . . . . .	78
4.3.2	2 中性子ハロー核の軌道混合とダイニュートロン相関 . . . . .	81
4.4	クーロン分解反応とソフト双極子励起 . . . . .	82
4.4.1	巨大双極子共鳴とソフト双極子共鳴 . . . . .	82

4.4.2	クーロン分解反応 . . . . .	85
4.4.3	ソフト双極子励起のメカニズム . . . . .	87
4.4.4	ソフト双極子励起の直接分解反応モデル . . . . .	90
4.4.5	ソフト双極子励起による核分光と天体核反応への応用 . . . . .	92
4.4.6	2 中性子ハロー核のソフト双極子励起 . . . . .	94
4.4.7	$^{11}\text{Li}$ における $sp$ 混合の起源 . . . . .	97
4.5	中性子ハロー核の描像と今後の展開 . . . . .	99

## 第 5 章 不安定核の殻進化 – 魔法数の消失と出現 101

5.1	逆転の島の発見と魔法数 $N=20$ の破れ . . . . .	102
5.1.1	質量の異常 . . . . .	104
5.1.2	殻構造の異常と逆転の島 . . . . .	105
5.1.3	不安定核インビーム $\gamma$ 線核分光の登場 – $^{32}\text{Mg}$ のクーロン励起 . . . . .	107
5.2	逆転の島 – 研究の展開 . . . . .	113
5.2.1	核破碎反応を用いたインビーム $\gamma$ 線核分光 . . . . .	113
5.2.2	逆転の島 – 最近の実験的研究 . . . . .	118
5.2.3	新魔法数 $N = 16$ とドリップラインの異常 . . . . .	121
5.3	逆転の島現象のメカニズム . . . . .	123
5.3.1	大規模殻模型計算による殻進化の理解 . . . . .	123
5.3.2	弱束縛 (ハロー) 効果 . . . . .	128
5.3.3	ニルソン模型による逆転の島の描像 . . . . .	130
5.3.4	逆転の島現象は理解されたのか . . . . .	132
5.4	殻進化の研究 – 研究の展開 . . . . .	134

## 第 6 章 中性子過剰核で探る中性子星 137

6.1	核物質の状態方程式 . . . . .	138
6.2	中性子星 . . . . .	141
6.2.1	中性子星の構造 . . . . .	142

6.2.2	簡単な模型で見た中性子星 . . . . .	144
6.2.3	中性子星の観測 . . . . .	147
6.2.4	中性子星と核物質の状態方程式 . . . . .	150
6.3	中性子スキン核 . . . . .	151
6.3.1	中性子スキンの測定 . . . . .	153
6.3.2	中性子スキンの形成と状態方程式 . . . . .	156
6.3.3	中性子スキン核のピグミー共鳴 . . . . .	158
6.4	中性子スキン核と状態方程式 – 研究の展開 . . . . .	161
6.4.1	安定核の電気双極子応答と中性子スキン . . . . .	162
6.4.2	核物質の状態方程式と今後の展開 . . . . .	165
 <b>第7章 結び – 不安定核物理の展望</b>		<b>169</b>
 <b>参考文献</b>		<b>174</b>