

目 次

1. 宇宙線研究——その歴史的展望	[早川 幸男]	1
1.1 宇宙線研究史の時代区分.....		1
1.2 先史時代.....		2
1.3 模索の時代.....		2
1.4 素粒子の時代.....		3
1.5 宇宙の時代.....		8
1.6 常住の時代		11
2. 宇宙線物理学の研究分野.....	[桜井 邦朋]	14
2.1 はじめに		14
2.2 宇宙線研究の舞台		15
2.2.1 銀河系および銀河系外の空間		16
2.2.2 太陽系空間とその近傍		18
2.2.3 太陽および星々		20
2.2.4 宇宙論との関連		22
2.3 宇宙線とその関連現象		22
2.3.1 宇宙線固有の問題		23
2.3.2 宇宙物理学的現象との関連		25
2.4 宇宙線の歴史		29
2.4.1 宇宙線の永年変化		29
2.4.2 宇宙物質との相互作用		31
2.5 太陽系内の宇宙線		31
2.5.1 太陽フレア粒子		32
2.5.2 宇宙線の変調機構		33
2.5.3 惑星磁気圏と宇宙線		35
2.6 地球大気内の挙動		36
2.6.1 超高エネルギー現象と空気シャワー		37
2.6.2 宇宙線の誕生地の情報——天体ニュートリノ		37
2.7 研究分野間の関連		38

文 献.....	39
3. 宇宙線の起こす電磁的素過程.....	[西 村 純] 42
3.1 はじめに	42
3.1.1 エネルギーの単位	43
3.1.2 長さの単位	44
3.1.3 断面積と平均自由行程	44
3.1.4 ローレンツ変換	45
3.2 電磁的相互作用	49
3.2.1 加速されている荷電粒子からの輻射	49
3.2.2 トムソン散乱	52
3.2.3 コンプトン散乱	54
3.2.4 逆コンプトン効果	55
3.2.5 シンクロトロン輻射	56
3.2.6 光電効果	59
3.2.7 黒体輻射	61
3.2.8 電離損失	63
3.2.9 制動輻射	65
3.2.10 電子対生成	70
3.2.11 チェレンコフ輻射	75
3.2.12 強磁場内の諸過程	77
文 献.....	79
4. 銀河系宇宙線.....	[伊藤 謙哉] 81
4.1 銀河系宇宙線とは	81
4.2 銀河系宇宙線の観測	82
4.2.1 化学組成	82
4.2.2 測定方法	84
4.2.3 エネルギー分布と異方性	86
4.3 銀河系宇宙線の伝播と起源	88
4.3.1 伝播についてのモデル	88
4.3.2 星間空間での核変換	89
4.3.3 組成比のエネルギー依存	91
4.3.4 寿命と伝播	93
4.3.5 起源と元素合成	97
4.3.6 加速の機構と領域	102

文 献	105
5. 電波天文学と宇宙線	[小田 稔] 106
5.1 われわれの銀河系.....	106
5.2 電波観測.....	107
5.2.1 電波望遠鏡.....	107
5.2.2 電波干渉計.....	109
5.2.3 電波でみた空.....	112
5.2.4 非熱的電波と熱的電波.....	112
5.3 銀河系の構造.....	113
5.3.1 パルサーの観測.....	113
5.3.2 宇宙塵と星間磁場.....	115
5.3.3 21 cm 波.....	116
5.3.4 銀河の渦巻構造.....	117
5.3.5 熱いプラズマ.....	119
5.4 宇宙電子.....	119
5.4.1 電子のスペクトル.....	119
5.4.2 シンクロトロン電波.....	121
5.4.3 ハローはあるか.....	121
5.5 かに星雲——超新星の残骸.....	122
5.5.1 かに星雲の構造.....	122
5.5.2 電波・光・X線スペクトル.....	124
5.5.3 電子の全エネルギー.....	124
5.5.4 かに星雲の磁場.....	125
5.5.5 かに星雲のエネルギー源.....	125
5.5.6 高エネルギー電子.....	127
5.5.7 中性子星による粒子の加速.....	127
文 献	129
6. 高エネルギー宇宙物理学	[田中 靖郎] 130
6.1 はじめに.....	130
6.2 X線天文学.....	131
6.2.1 宇宙 X 線.....	131
6.2.2 軟X線でみた銀河.....	132
6.2.3 軟X線の放射機構.....	134
6.3 熱い広域X線源と超新星.....	135

6.3.1 热い泡	135
6.3.2 超新星との関係	138
6.3.3 宇宙線の起源との関連	139
6.4 γ 線天文学	140
6.4.1 γ 線放射と銀河の構造	140
6.4.2 γ 線放射と宇宙線	142
文 献	144
 7. 大気中の宇宙線——高エネルギー現象	[三宅 三郎] 146
7.1 はじめに	146
7.2 一次宇宙線のエネルギー・スペクトル	148
7.3 大気中における減衰	149
7.4 低エネルギーの核子成分	150
7.5 高エネルギー核相互作用	152
7.5.1 実験データの整理	152
7.5.2 中間子多重発生のモデル	153
7.5.3 大気中の伝播	155
7.5.4 その他の相互作用特性	156
7.6 拡大空気シャワー	157
7.6.1 電子成分	158
7.6.2 核子成分	159
7.6.3 μ 中間子成分	159
7.6.4 空気シャワーの問題点	160
7.7 μ 中間子とニュートリノ	161
7.7.1 運動量スペクトロメーター	162
7.7.2 地下観測	163
文 献	165
 8. 太陽フレア粒子	[桜井 邦朋] 166
8.1 はじめに	166
8.2 太陽フレアに伴う高エネルギー粒子の発生	167
8.2.1 太陽フレアの発達とそれに伴う諸現象	167
8.2.2 太陽フレア時の高エネルギー現象	169
8.3 太陽フレア粒子の化学組成	171
8.3.1 化学組成とそのエネルギー依存性	171
8.3.2 フレア時の核反応と核 γ 線放射	173

8.3.3 太陽フレア粒子中の同位体.....	175
8.4 太陽フレア粒子の加速機構.....	175
8.4.1 太陽フレア粒子の発生.....	176
8.4.2 加速機構.....	177
8.5 太陽コロナおよび惑星間空間における挙動.....	178
8.5.1 太陽コロナ中の伝播.....	178
8.5.2 惑星間空間中の伝播.....	180
8.6 今後の展望.....	181
文 献	182
 9. 惑星間空間における宇宙線	[和田 雅美・村上 一昭] 185
9.1 宇宙線強度の連続観測.....	185
9.2 宇宙線のモジュレーション.....	186
9.3 地球上の観測に伴う問題.....	188
9.3.1 レスポンス関数.....	189
9.3.2 大気効果.....	190
9.3.3 地磁気効果.....	192
9.3.4 地球の自転と公転の効果.....	193
9.4 惑星間空間での宇宙線現象.....	194
9.4.1 11年および22年変化	195
9.4.2 27日変化.....	197
9.4.3 フォービッシュ減少.....	202
9.4.4 磁場のゆらぎによる変化.....	204
9.5 宇宙線粒子の伝播.....	205
文 献	206
 10. 惑星磁気圏の高エネルギー粒子とその加速	[西田 篤弘・寺沢 敏夫] 207
10.1 はじめに	207
10.1.1 プラズマ内の電場とドリフト運動	208
10.1.2 磁力線の凍結	210
10.1.3 磁力線凍結の破れ——オームの法則	210
10.2 定在衝撃波による粒子加速	211
10.2.1 衝撃波の形成	211
10.2.2 衝撃波の観測	211
10.2.3 衝撃波による粒子の反射・加速	213
10.2.4 電磁流体波乱流の励起とイオンの散乱	216

10.3 磁気圏尾部における加速（リコネクション）	218
10.3.1 尾部の構造	218
10.3.2 尾部磁場エネルギーの解放	219
10.3.3 磁気中性線における加速	221
10.3.4 磁力線つなぎかえの証拠	223
10.3.5 磁力線つなぎかえの計算機シミュレーション	224
10.3.6 磁力線つなぎかえによるエネルギー変換率	225
10.4 沿磁力線電場 $E_{ }$ による加速	227
10.4.1 磁気圏と電離層	227
10.4.2 磁力線に沿う電場と電流	228
10.4.3 電気的二重層（静電衝撃波）	230
10.4.4 プラズマ波動による粒子の散乱	232
10.4.5 沿磁力線電場による加速の観測	234
10.5 結　　び	235
文　　献	235
 11. 宇宙物質と宇宙線の歴史	[長谷川博一] 237
11.1 宇宙線生成核種	237
11.2 ^{14}C 年代測定と数千年の宇宙線変化	238
11.2.1 ^{14}C の発見	238
11.2.2 年代測定の原理	238
11.2.3 大気中の ^{14}C 濃度変化	239
11.2.4 地磁気変化	240
11.2.5 地球上の炭素の分布と移動	241
11.2.6 太陽活動と地球環境	242
11.3 海底土中の ^{10}Be と宇宙線の加速	243
11.3.1 ^{10}Be による海底土の年代測定	243
11.3.2 ^{10}Be 年代と地磁気年代	245
11.3.3 宇宙線の加速機構	245
11.4 領石と宇宙塵中の宇宙線生成核種	246
11.4.1 領石の宇宙線照射年代	246
11.4.2 宇宙線の標的としての領石	247
11.4.3 宇宙線照射年代	247
11.4.4 領石の落下年代	249
11.4.5 宇宙線の変動	249
11.4.6 太陽宇宙線の記録	250

11.4.7 宇宙塵中の宇宙線生成核種	250
11.5 微弱放射能測定の新しい方向	251
文 献	251
12. 宇宙線と宇宙論.....[佐藤 文隆]	253
12.1 膨張宇宙	253
12.2 相対論的宇宙論	255
12.3 輻射宇宙	256
12.4 宇宙物質の相互作用	257
12.5 宇宙バリオン数の生成	258
12.6 真空の相転移	259
12.7 ハドロンへの相転移とニュートリノの decoupling	260
12.8 He, D の合成	261
12.9 地平線と粒子の自由運動	262
12.10 宇宙黒体輻射の異方性	264
12.11 宇宙媒質中での平均自由行程	264
12.12 宇宙線エネルギー・スペクトルの上限	267
12.13 宇宙残存ニュートリノの質量	268
12.14 高エネルギー・ニュートリノ	269
12.15 反陽子の起源	271
文 献	273
13. 将来の展望——諸科学との関連.....[小田 稔]	275
付 表	279
索 引	287