目　　次

第1章　序　　説

頁

§ 1.1　宇宙線の研究 ・・・・・・・・・ 1
§ 1.2　宇宙線研究の歴史 ・・・・・・ 3
§ 1.3　素粒子と高エネルギー粒子の物理学 ・・・・・・・・・・・ 10
参考文献・・・・・・・・・・・・・・ 19

第2章　高エネルギー粒子の電磁的相互作用

§ 2.1　電磁的相互作用 (Electromagnetic Interaction)・・・・・・・・ 20
§ 2.2　電離 (Ionization) ・・・・・・ 21
§ 2.3　電磁散乱 ・・・・・・・・・・ 30
§ 2.4　質量の測り方 ・・・・・・・・ 34
2.4.1　飛程 - 運動量 ($R-p$) 法・・ 34
2.4.2　飛程 - 電離 (range - ionization) 法・・・・・・・・ 36
2.4.3　飛程 - 銀粒子密度 (range - grain density) 法 ・・・・ 37
2.4.4　飛程 - 散乱 (range - scattering) 法・・・・・・ 39
2.4.5　銀粒子密度 - 散乱 (grain density - scattering) 法・・ 39
§ 2.5　制動輻射 (Bremsstrahlung) ・ 40
§ 2.6　シンクロトロン輻射 (Synchrotron Radiation)・・ 47
§ 2.7　逆コンプトン効果 (Inverse Compton Effect)・・・・・・ 51
§ 2.8　光子 (電磁波) と物質 ・・・・ 53
2.8.1　光電効果 ・・・・・・・・・ 53
2.8.2　Compton 散乱・・・・・・・ 56
2.8.3　電子対創生 (pair creation)・ 57
2.8.4　光子の吸収 ・・・・・・・・ 60
§ 2.9　チェレンコフ輻射 (Čerenkov Radiation) ・・・・・・・・ 61
§ 2.10　カスケードシャワー・・・・・ 65
2.10.1　カスケード関数・・・・・・ 67
2.10.2　カスケードシャワーの構造関数 (Structure Function) ・・・・・・・ 73
§ 2.11　モンテカルロ法・・・・・・・ 74
参考文献・・・・・・・・・・・・・・ 77

第3章　粒子の検出装置

§ 3.1　電離箱 (Ionization Chamber)・ 79
§ 3.2　比例計数管 (Proportional Counter) ・・・・・・・・・・ 82
§ 3.3　GM 計数管 ・・・・・・・・・・ 84

§ 3.4 シンチレーションカウンター (Scintillation Counter) ・・89
§ 3.5 チェレンコフカウンター (Čerenkov Counter)・・・・94
§ 3.6 半導体検出器 ・・・・・・・・98
§ 3.7 ウィルソン霧箱・・・・・・・100
§ 3.8 泡箱 (Bubble Chamber) ・・104
§ 3.9 スパークチェンバー・・・・・106
§ 3.10 固体飛跡検出法 (Solid State Track Detector)・・108
§ 3.11 原子核乾板 (Nuclear Emulsion) ・・・・・・・110
§ 3.12 飛跡検出器の性能 ・・・・・114
参考文献 ・・・・・・・・・・・・115

第4章 高エネルギー粒子と物質との核力による相互作用

§ 4.1 核力と中間子・・・・・・・・116
§ 4.2 中間子の性質・・・・・・・・117
4.2.1 $\pi-\mu-e$ 崩壊 ・・・・・・117
4.2.2 π 中間子と μ 中間子の質量・124
4.2.3 中性 π 中間子——π^0・・・・126
4.2.4 中間子の吸収・・・・・・・128
4.2.5 π のスピンパリティー・・・135
§ 4.3 素粒子の衝突 (衝突の運動学, Kinematics) ・・・・・・・136
§ 4.4 核子の衝突・・・・・・・・・143
4.4.1 $p-p$, $n-p$ 散乱・・・・・143
4.4.2 π 中間子の発生・・・・・・144
4.4.3 π 中間子と核子の反応・・・146
4.4.4 光子と核子の反応・・・・・147
4.4.5 核子の励起状態・・・・・・148
§ 4.5 ハイペロンと K 中間子・・・149
4.5.1 ハイペロンと K 中間子の生成 ・・・・149
4.5.2 Strangeness (奇妙さ)・・・151
4.5.3 共鳴状態・・・・・・・・・153
4.5.4 坂田模型と8重項模型・・・154
§ 4.6 スターと透過シャワー (原子核反応)・・・・・・・157
4.6.1 核子と原子核の衝突・・・・157
4.6.2 スター・・・・・・・・・・158
4.6.3 透過シャワー・・・・・・・161
4.6.4 スターの2次粒子・・・・・168
4.6.5 π と原子核の衝突・・・・・171
4.6.6 光子と原子核との衝突・・・173
§ 4.7 中間子の多重発生・・・・・・173
参考文献 ・・・・・・・・・・・・175

第5章 超高エネルギー現象

§ 5.1 超高エネルギー・・・・・・・176
§ 5.2 ジェット・・・・・・・・・・177
5.2.1 ジェットの性質・・・・・・179
5.2.2 エマルジョンチェンバー E.C.C. の巨大化・・・・187
5.2.3 チャカルタヤの E.C.C. ・・188
§ 5.3 中間子多重発生の模型 (モデル)・・・・・・・・・189
5.3.1 Fermi 模型 ・・・・・・・189
5.3.2 Landau 模型・・・・・・・192

5.3.3　2つの火の玉模型（丹生模型）とH量子模型・・・194
5.3.4　アレフ模型・・・・・・・・195
§5.4　空気シャワー・・・・・・・・197
5.4.1　空気中の核カスケード・・・197
5.4.2　空気シャワー・・・・・・・199
5.4.3　空気シャワーの横広がり・・202
5.4.4　観測の方法・・・・・・・・204
5.4.5　N-μ図・・・・・・・・・207
5.4.6　空気シャワーの芯・・・・・213
5.4.7　水平空気シャワー・・・・・214
5.4.8　その他の観測方法・・・・・221
5.4.9　空気シャワーと超高エネルギー素過程・・222
参考文献・・・・・・・・・・・・223

第6章　大気中の宇宙線

§6.1　宇宙線の諸成分・・・・・・・224
§6.2　μ中間子成分・・・・・・・・228
6.2.1　μ中間子のエネルギースペクトルと地下宇宙線の強度・・・・・・・・・229
6.2.2　μの天頂角分布・・・・・・232
6.2.3　μ^+/μ^-比　・・・・・・・・234
§6.3　電子，光子成分・・・・・・・234
§6.4　N成分・・・・・・・・・・・237
§6.5　大気中の宇宙線エネルギーの収支勘定・・・・・・・・・241
§6.6　大気中につくられる同位元素・242
§6.7　大気中の C^{14}・・・・・・・・245
参考文献・・・・・・・・・・・・247

第7章　μ中間子とニュートリノ

§7.1　弱い相互作用・・・・・・・・248
§7.2　μと ν_e, ν_μ　・・・・・・・・249
§7.3　地下宇宙線・・・・・・・・・250
§7.4　μ中間子と原子核との衝突・・・・・・・・・・・254
§7.5　ニュートリノνの検出・・・・257
参考文献・・・・・・・・・・・・260

第8章　1次宇宙線

§8.1　1次宇宙線・・・・・・・・・261
§8.2　地磁気効果・・・・・・・・・262
§8.3　エネルギースペクトル・・・・264
§8.4　宇宙線の組成・・・・・・・・271
§8.5　1次電子・・・・・・・・・・276
参考文献・・・・・・・・・・・・281

第9章　宇宙線の時間変化

§ 9.1　まえおき・・・・・・・・・・・282
§ 9.2　大気効果（気温，気圧効果）・283
§ 9.3　太陽の影響・・・・・・・・・・285
§ 9.4　惑星間空間のプラズマ・・・・289
§ 9.5　Forbush decrease と
　　太陽フレア・・・・・・・・・293
§ 9.6　地球磁気圏と放射線帯
　　（Van Allen 帯）・・・・・299
§ 9.7　恒星日変化(宇宙線の異方性)・307
§ 9.8　宇宙線の永年変化・・・・・・309
参考文献・・・・・・・・・・・・・312

第10章　電波天文学と宇宙線

§ 10.1　銀河系の渦巻構造とハロー・313
§ 10.2　電波望遠鏡・・・・・・・・・315
§ 10.3　宇宙電波・・・・・・・・・・321
§ 10.4　Thermal radiation と
　　non-thermal radiation・324
§ 10.5　高速電子とシンクロトロン
　　輻射・・・・・・・・・・・326
§ 10.6　銀河磁場・・・・・・・・・・330
§ 10.7　かに星雲（Crab Nebula）・・335
§ 10.8　H II 領域と電波分子分光学・340
参考文献・・・・・・・・・・・・・341

第11章　宇宙からくる電磁波——X 線と γ 線

§ 11.1　まえおき・・・・・・・・・・342
§ 11.2　X線と星・・・・・・・・・・343
§ 11.3　銀河系外のX線源・・・・・364
§ 11.4　宇宙の空洞輻射（3 K 輻射）・367
§ 11.5　宇宙X線の一様成分・・・・370
§ 11.6　γ線天文学・・・・・・・・・373
§ 11.7　まとめ・・・・・・・・・・・377
参考文献・・・・・・・・・・・・・379

第12章　宇宙線の起源

§ 12.1　銀河系の構造・・・・・・・380
§ 12.2　銀河系の中の宇宙線・・・・384
12.2.1　銀河系の中の
　　宇宙線の寿命・・・・・384
12.2.2　低エネルギー宇宙線・・・386
12.2.3　宇宙線の等方性・・・・・387
§ 12.3　超新星・・・・・・・・・・・388
§ 12.4　宇宙線の起源・・・・・・・394
12.4.1　超新星起源・・・・・・・394
12.4.2　フェルミの加速理論・・・395

12.4.3 中性子星による加速 ・・・397
12.4.4 銀河系外起源 ・・・・・・398
参考文献 ・・・・・・・・・・・・・401

付 録 1
定 数 表 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・402
星の色と等級 (magnitude) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・403

付 録 2
Lorentz 変換 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・404
重 心 系 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・405
動いている荷電粒子のまわりの電磁場 ・・・・・・・・・・・・・・・・・405

索 引 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・406