

目次

第 0 章	本書について	1
0.1	ゲージ理論について	1
0.2	微分形式と共変解析力学について	3
0.3	本書の構成について	3
0.4	本書についてのいくつかの注意	5
第 1 部	場の古典論	11
第 1 章	質点系のラグランジュ形式	13
1.1	オイラー・ラグランジュ方程式	13
1.2	オイラー・ラグランジュ方程式の共変性	15
1.3	自由粒子のラグランジアン	16
1.4	質点と重力場との相互作用	19
1.5	質点と電磁場との相互作用	20
第 2 章	一般相対論の原理	22
2.1	特殊相対論の原理	22
2.2	一般相対論の諸原理	24
2.3	計量の導入	28
2.4	光線の運動方程式	29
2.5	局所慣性系と局所ローレンツ系との一致	33

2.6	自由粒子の方程式と弱い等価原理	33
2.7	諸原理についてのコメント	40
第 3 章	テンソル解析	43
3.1	テンソル	43
3.2	共変微分	48
3.3	平行移動	55
3.4	曲率テンソル	56
3.5	計量テンソル	58
3.6	接続を計量で表す	60
3.7	微分形式	63
3.8	多脚場とスピン接続	69
3.9	コメント	72
3.A	計算についての補足	72
第 4 章	場の古典論の概要とゲージ原理	75
4.1	物質場とゲージ場	75
4.2	場のオイラー・ラグランジュ方程式	76
4.3	電磁場	80
4.4	重力場	81
4.5	ゲージ原理	82
第 5 章	電磁場	86
5.1	質点と電磁場との結合	86
5.2	電磁場, 電磁場の強さの成分	89
5.3	電磁場のラグランジアン密度	90
5.4	マクスウェル方程式	92
5.5	微分形式での記述	93
第 6 章	微分形式の微分形式による微分とその応用	95
6.1	微分形式の微分形式による微分	95

6.2	微分形式でのオイラー・ラグランジュ方程式の導出 . . .	99
6.3	電磁場への応用	100
第 7 章	複素スカラー場	101
7.1	自由な複素スカラー場	101
7.2	複素スカラー場と電磁場との結合	103
第 8 章	ゲージ場	106
8.1	電磁場とアフィン接続との類似	106
8.2	非可換ゲージ場の導入	108
8.3	ゲージ場の変換則	110
8.4	ゲージ場の曲率	112
8.5	平行移動による解釈	114
8.6	ゲージ場の運動方程式	115
8.7	曲率の共変微分	120
8.8	微分形式での記述	122
8.9	ゲージ場の再定義	125
8.A	計算についての補足	128
8.B	統一場理論からゲージ理論へ	129
8.C	内山龍雄の一般ゲージ場論の動機	131
第 9 章	重力場	133
9.1	重力場のラグランジアン密度	133
9.2	アインシュタイン方程式	134
9.3	アインシュタイン定数の決定	139
9.4	微分形式による記述：準備	141
9.5	微分形式によるアインシュタイン方程式の導出	144
9.A	補足	148
第 10 章	ディラック場	156
10.1	ガンマ行列とローレンツ変換	156

10.2	自由なディラック場	158
10.3	ディラック場と電磁場との結合	163
10.4	強い相互作用	164
10.5	微分形式での記述	166
第 11 章	ゲージ場としての重力場	168
11.1	公式	168
11.2	ディラック場と重力との結合	169
11.3	重力場の方程式	175
11.4	振率について	178
11.5	重力場の方程式：振率なしの要請をした場合	179
11.6	1 階形式	180
11.A	重力場のラグランジアン形式の書き換え	184
第 2 部	共変解析力学	186
第 12 章	従来の正準形式	188
12.1	質点系の正準形式	188
12.2	場の従来の正準形式	191
第 13 章	共変解析力学：導入	194
13.1	場の従来の正準形式の問題点	194
13.2	歴史	195
13.3	一般論	197
13.4	電磁場	198
13.5	非可換ゲージ場	200
13.6	複素スカラー場	201
13.7	質点系	203
13.8	De Donder-Weyl 理論	204
第 14 章	重力場の共変解析力学	210

14.1	公式	210
14.2	準備	211
14.3	共役形式 π_a での変分	213
14.4	フレーム形式 θ^a での変分	215
14.5	正準方程式	219
14.6	1 階形式	220
14.A	(14.4.24) の証明	222
第 15 章	共変解析力学の展開	224
15.1	ポアソン括弧	224
15.2	変換の生成子	225
15.3	拘束系への適用	226
15.A	Covariant Hamiltonian approach	227
第 3 部	不変変分論とゲージ理論	228
第 16 章	不変変分論	230
16.1	質点系の Noether の定理：一般論	230
16.2	質点系の Noether の定理の応用	234
16.3	場の不変変分論：一般論	236
16.4	Noether の第 1 定理	239
16.5	Noether の第 2 定理	241
16.6	Noether の第 2 定理の性質	243
16.7	Noether の第 1 定理の応用	247
16.8	Noether の第 2 定理の応用	248
16.A	Noether の第 2 定理の応用：その 2	249
第 17 章	内山龍雄の一般ゲージ場論	253
17.1	ゲージ場の導入	253
17.2	ラグランジアン密度の形：Noether の第 2 定理の応用	259

17.3	ゲージ場の運動方程式	260
第 18 章	初期のゲージ理論	263
18.1	ワイルのゲージ理論	263
18.2	ゲージ原理への発展	267
18.3	シヨアのゲージ理論 (SU(2), 1955 年)	269
18.4	ヤン・ミルズのゲージ理論 (SU(2), 1954 年)	272
18.5	いくつかのコメント	273
第 4 部	第 1, 2, 3 部への付録	275
第 A 章	線形リー群	277
A.1	線形リー群とリー代数	277
A.2	随伴表現	280
A.3	構造定数の完全反対称性	281
A.4	ゲージ場の変換則	282
第 B 章	テンソル解析への補足	284
B.1	局所ローレンツ系の設定	284
B.2	行列式の微分	286
B.3	反対称共変テンソルの微分	286
B.4	余微分の計算	288
B.5	ダランベルシアン	289
B.6	曲率の対称性	291
B.7	ビアンキ恒等式	292
B.8	擬テンソル $E_{\mu_1 \dots \mu_n}$	294
B.9	デルタ関数	295
B.10	真の重力の有無	296
第 C 章	場のオイラー・ラグランジュ方程式の共変性	301

第 D 章	フレーム形式の公式集	303
D.1	公式集	303
D.2	証明	304
第 E 章	ピン群	307
E.1	$O(p, q)$ 群	307
E.2	ピン群	308
E.3	群 \mathcal{P}^D	310
第 F 章	ディラック場の共変解析力学	313
第 G 章	エネルギー・運動量保存則	316
G.1	全系のエネルギー・運動量保存則	316
G.2	「物質」系のエネルギー・運動量保存則	318
第 5 部	さらなる補足	321
第 H 章	特殊相対論と表現論	323
H.1	ミンコフスキー時空とポアンカレ変換	323
H.2	ポアンカレ群とローレンツ群	326
H.3	回転群の表現	328
H.4	ローレンツ群の表現	333
第 I 章	一般ゲージ理論と物性物理	337
文献紹介		341
あとがき		353
索引		356