

# 目 次

1. ラグランジュ形式 .....	1
1.1 ニュートン方程式と座標変換 .....	1
1.1.1 ニュートン方程式 .....	2
1.1.2 座 標 変 換 .....	3
1.1.3 座標変換と保存量 .....	6
1.2 ラグランジュの方法 .....	7
1.2.1 微小変位と一般化力 .....	7
1.2.2 ラグランジュの方法：発見的方法 .....	9
1.2.3 ラグランジュの運動方程式 .....	12
1.2.4 一般化座標, 一般化力, 共役運動量 .....	13
1.3 ラグランジュの方法と保存則 .....	19
1.3.1 エネルギー保存則 .....	19
1.3.2 循環座標 .....	20
1.3.3 中心力問題 .....	22
1.4 時間を含む座標変換 .....	24
1.4.1 回転座標系 .....	24
1.4.2 回転座標系での運動方程式 .....	26
1.5 ラグランジュの方法の応用 .....	27
1.5.1 電磁場中の荷電粒子 .....	27
1.5.2 3 個の連制振動 .....	29
1.5.3 強制振動 (ラグランジアンが時間による例) .....	30
1.5.4 一様磁場中の荷電粒子の運動 .....	32
1.6 拘 束 系 .....	33

2. 変分原理	35
2.1 変分法	35
2.1.1 光の直進	36
2.1.2 屈折の問題	36
2.1.3 最速降下線	38
2.1.4 オイラー方程式	40
2.1.5 最速降下線問題の解法	42
2.2 変分原理	44
2.2.1 変分法とラグランジュ方程式	44
2.2.2 変分原理 (ハミルトンの原理)	46
2.3 対称性と保存則	47
2.3.1 ネーターの定理	47
2.3.2 ネーターの定理の例	49
2.4 変分法と拘束系	50
2.4.1 ラグランジュの未定係数法	50
2.4.2 ラグランジュの未定係数法の応用例	52
3. ハミルトン形式	54
3.1 ハミルトニアンと正準方程式	54
3.1.1 ルジャンドル変換	54
3.1.2 ハミルトニアン	56
3.1.3 正準方程式	58
3.1.4 変分原理と正準方程式	58
3.1.5 1次元調和振動子と正準方程式	59
3.1.6 ハミルトニアンの例	61
3.2 ポアソン括弧	63
3.2.1 ポアソン括弧と正準方程式	63
3.2.2 ポアソン括弧と保存量	65
3.2.3 保存量の例	66
3.2.4 ポアソン括弧を使った例	68
3.3 正準方程式の解法	69

3.3.1 連立一階微分方程式	70
3.3.2 正準方程式の解	71
3.3.3 等加速度運動	72
3.3.4 調和振動子	72
4. 正準変換	74
4.1 正準方程式と座標変換	74
4.1.1 ラグランジュ方程式と点変換	74
4.1.2 正準変換	76
4.1.3 母関数	77
4.2 正準変換の例	79
4.2.1 恒等変換	80
4.2.2 点変換	80
4.2.3 回転座標系	81
4.2.4 ゲージ変換	83
4.3 調和振動子と正準変換	84
4.3.1 座標と運動量の入れ換え	84
4.3.2 循環座標への変換	84
4.3.3 母関数が時間による正準変換	86
4.4 正準変換とポアソン括弧	87
4.4.1 ポアソン括弧の不変性	87
4.4.2 正準変換の不変量	89
4.5 無限小正準変換	92
4.5.1 母関数と生成元	92
4.5.2 無限小回転と角運動量	94
4.5.3 正準変換とネーターの定理	95
4.5.4 正準変換としての時間発展	96
4.6 ハミルトン-ヤコビの理論	97
4.6.1 ハミルトン-ヤコビ方程式	97
4.6.2 ハミルトン-ヤコビ方程式の解	98
4.6.3 ハミルトンの主関数	101

4.6.4	調和振動子とハミルトンの主関数	104
<b>5.</b>	<b>特殊相対性理論の基礎</b>	<b>106</b>
5.1	ガリレオの速度の合成則とガリレオ変換	106
5.2	光速の不変性	108
5.3	ローレンツ変換と速度の合成則	111
5.3.1	トーマス歳差	114
5.4	時間の遅れとローレンツ収縮	116
<b>6.</b>	<b>4次元ミンコフスキー時空</b>	<b>118</b>
6.1	一般のローレンツ変換と4次元間隔の不変性	118
6.2	時空図におけるローレンツ変換の表現	122
6.3	不変双曲線と座標軸の目盛り付け	124
6.4	双子のパラドックス	126
<b>7.</b>	<b>特殊相対論のベクトルとテンソル</b>	<b>129</b>
7.1	ベクトルとスカラー積	129
7.2	1形式	134
7.3	テンソル	136
<b>8.</b>	<b>相対論的力学</b>	<b>139</b>
8.1	4元運動量	139
8.2	光子	141
8.2.1	光子のドップラー効果	142
8.3	保存則とその応用	142
8.3.1	コンプトン散乱	142
8.3.2	陽子衝突におけるパイ中間子生成	144
<b>9.</b>	<b>電気力学</b>	<b>146</b>
9.1	マクスウェル方程式の共変形	146
9.2	電場と磁場の変換性とその応用	150

9.3	4元ポテンシャルとゲージ変換	151
9.4	電磁場中の荷電粒子の運動方程式	152
<b>10.</b>	<b>一般相対性理論の導入</b>	<b>157</b>
10.1	等価原理	157
10.2	加速度系	159
10.3	曲がった時空	162
	参考文献	167
	索引	169