目　　次

1　巨視的物理と微視的物理
1.1　ミクロ，マクロそして熱 ····· 1
1.2　粒子や場の古典物理 ····· 3
1.3　量子力学と場の量子論 ····· 9
1.4　c - q 転化条件 ····· 13
1.5　物質と真空 ····· 14

2　真 空 相 関
2.1　数 表 示 ····· 17
2.2　コヒーレント状態，スクイーズド状態，熱的状態 ····· 19
2.2.1　コヒーレント状態　19
2.2.2　スクイーズド状態　22
2.2.3　2モード・スクイーズド状態　24
2.2.4　同 値 定 理　27
2.3　純粋状態における雑音 ····· 27
2.3.1　2モード状態における熱雑音　27
2.3.2　真空を通じての相関　30
2.4　純粋状態と混合状態 ····· 32
2.4.1　ボ ソ ン 系　32
2.4.2　フェルミオン振動子の熱的真空　34
2.4.3　真空パラメータ　36
2.5　雑音生成に対する TFD メカニズム ····· 37
2.6　TFD メカニズムとブラックホール ····· 38
2.7　TFD における位相と時間演算子 ····· 39

3　非同値真空
3.1　は じ め に ····· 43
3.1.1　制動放射における赤外発散　43
3.1.2　真 空 偏 極　45
3.1.3　く り こ み　46
3.2　多数の真空 ····· 47

3.3 異常演算子 ····· 51
3.4 純粋状態と混合状態 ····· 52
3.4.1 ボソン系 52
3.4.2 フェルミオン系 53

4 準粒子描像
4.1 現代的粒子描像と古典的原子論 ····· 55
4.2 可算無限自由度 ····· 56
4.3 個数状態の連続集合 ····· 57
4.4 準粒子とダイナミカルマップ ····· 58
4.5 時間に依存しない大域的演算子 ····· 61
4.6 ハミルトニアンのダイナミカルマップ ····· 63
4.6.1 準粒子自由ハミルトニアン 63
4.6.2 準粒子間の反跳 65
4.6.3 漸近場と準粒子 65
4.6.4 入射粒子の選択 68
4.6.5 くりこみ 68

5 秩序状態
5.1 自発的に破れた対称性 ····· 71
5.1.1 物理的描像 71
5.1.2 数学的描像 72
5.1.3 対称性の再構成 74
5.1.4 ボソン変換 75
5.1.5 低エネルギー定理 I 76
5.1.6 生成子と Nöther 流 77
5.1.7 Ward-高橋の関係 78
5.1.8 θ 選定 79
5.1.9 この節のまとめ 81
5.2 スカラーモデルにおける位相対称性の破れ ····· 82
5.2.1 はじめに 82
5.2.2 モデル 82
5.2.3 Nöther 流と生成子 83
5.2.4 位相対称性の再構成 83
5.2.5 秩序パラメータと θ 選定 84
5.2.6 流れのダイナミカルマップ 84
5.2.7 ゆらぎの効果 85
5.2.8 計算上の処方 86
5.2.9 超流動の流れ 87
5.3 超伝導 ····· 88
5.3.1 はじめに 88
5.3.2 BCS モデル 88
5.3.3 流れと生成子 89
5.3.4 位相対称性の再構成 90
5.3.5 電荷密度のダイナミカルマップ 90
5.3.6 南部-Goldstone 場 91
5.3.7 NG ボソンは完全に消去できるか？ 92
5.3.8 秩序状態と θ 選定 93
5.3.9 ゆらぎの効果 94
5.3.10 ゲージ不変性 95
5.3.11 計算上の処方 96

5.4　非 Abel 的対称性の破れ ····· 97
5.4.1　スピン対称性の自発的破れ　97
5.4.2　対称性の再構成　100
5.4.3　低エネルギー定理 II　101
5.5　c - q 転化と結晶中のフォノン ····· 103
5.6　質量の自発的生成 ····· 105

6　巨視的物体
6.1　ボソン変換 ····· 109
6.1.1　はじめに　109
6.1.2　Planck 定数　109
6.1.3　ボソン変換　110
6.1.4　誘起されたポテンシャルと零エネルギー・モード　113
6.1.5　量子力学的演算子　116
6.1.6　自由粒子の漸近条件　118
6.1.7　運動量演算子　120
6.1.8　準静的物体と異常性　120
6.1.9　多数の物体と多数の保存則　122
6.1.10　突発的対称性　123
6.2　相対論的モデル ····· 124
6.2.1　(1+1) 次元物体　124
6.2.2　3 次元モデル　126
6.2.3　フェルミオンの存在する巨視的物体　128
6.3　ツリー近似での量子ソリトン ····· 131
6.3.1　安定なソリトン　131
6.3.2　不安定ソリトン　132
6.4　トポロジカルな物体と高次元 ····· 133
6.4.1　経路に依存したトポロジー　133
6.4.2　超流動渦糸　134
6.4.3　超伝導渦糸　136
6.4.4　一般論　139
6.4.5　欠陥と元の対称性　141
6.5　体積は有限か無限か ····· 143
6.5.1　二つの視点　143
6.5.2　物性物理学　144
6.5.3　核物理学と高エネルギー物理学　144
6.6　生物学的秩序 ····· 145

7　Thermo Field Dynamics (TFD)
7.1　はじめに ····· 151
7.2　TFD ユニタリ表現での自由場 ····· 154
7.2.1　熱的二重項とハミルトニアン　154
7.2.2　チルダ共役則　159
7.2.3　TFD 非ユニタリ表現　162
7.2.4　$\hat{G}$ 対称性の自発的破れ　167
7.2.5　熱的状態条件　167
7.2.6　TFD における一体伝播関数　169
7.3　TFD の一般的構造 ····· 177
7.4　熱力学的観測量 ····· 180
7.5　摂動計算 ····· 182
7.5.1　相互作用表示　182

7.5.2 真空の安定性と温度状態 185

8 熱平衡 TFD

8.1 時間 Fourier 表示 ····· 191
8.1.1 α の 選 択 191
8.1.2 ループにおける積公式 193
8.1.3 スペクトル表示 195
8.1.4 粒子数と個数パラメータ 202
8.1.5 久保-Martin-Schwinger 条件 203
8.1.6 自由エネルギー 203
8.1.7 対称性の自発的破れ 204
8.1.8 熱的な対称性の破れ 205
8.1.9 熱現象を扱う場の量子論 206
8.2 t 表 示 ····· 214
8.2.1 は じ め に 214
8.2.2 準 備 214
8.2.3 一体伝播関数 216

9 時空に依存する TFD

9.1 準 備 ····· 225
9.1.1 動 機 225
9.2 時間に依存する TFD ····· 226
9.2.1 時間に依存する Bogoliubov 変換 226
9.2.2 非摂動一体伝播関数 231
9.2.3 補正された粒子数 232
9.2.4 Heisenberg の個数と補正された個数 236
9.2.5 積 公 式 238
9.2.6 輸送方程式 242
9.3 時空に依存する TFD ····· 247
9.3.1 Bogoliubov 変換 247
9.3.2 非摂動ハミルトニアン 249
9.3.3 場に対する時空依存 TFD 251
9.3.4 非摂動一体伝播関数 252
9.4 観測粒子と準粒子 ····· 253
9.5 コ メ ン ト ····· 254

10 付録（日本語版に寄せて）

10.1 チルダ共役の規則，熱的二重項，B 行列と Green 関数 ····· 257
10.1.1 熱的二重項 258
10.1.2 Bogoliubov 行列 258
10.1.3 熱的状態条件 258
10.1.4 熱カウンター項 259
10.1.5 2 点関数の一般的性質 260
10.1.6 準粒子伝播関数 261
10.1.7 非摂動 a 場伝播関数 261
10.2 二重項列ベクトル代数 ····· 262
10.3 対角化と輸送方程式 ····· 265

訳者あとがき ····· 267

索 引 ····· 273