

目 次

まえがき

1	くり込み理論の誕生と対称性の 量子的破れの発見	1
1.1	はじめに	1
1.2	光の質量はゼロか	3
1.3	発散の問題とカイラル量子異常の発見	4
2	Feynman の経路積分と Schwinger の作用原理	9
2.1	調和振動子の量子論	9
2.2	調和振動子の経路積分	11
2.3	スカラー場の量子化	13
2.4	Fermi 粒子の経路積分	17
2.5	Dirac 粒子の経路積分	23
2.6	Feynman 経路積分と Schwinger の作用原理	27
3	光の量子論と位相演算子	35
3.1	電磁場の正準量子化	35
3.2	電磁場の経路積分による量子化	39
3.3	光子の位相演算子と指数	45
3.4	エルミートな位相演算子は存在するか?	48
3.5	調和振動子の指数定理と量子異常	49
4	場の理論の正則化とカイラル対称性の 量子的破れ	53
4.1	電流の保存則と Ward-高橋の恒等式	53
4.2	光の自己エネルギー	56

4.3	カイラル対称性の量子的破れ	65	8.2	経路積分を用いた計算	173
4.4	Adler-Bardeen の定理	71	8.3	Chern 指標と Dirac 示性数	175
5	経路積分のヤコビアンと対称性の量子的破れ	73	8.4	一般座標変換の量子的な破れ	176
5.1	量子電磁力学におけるカイラルヤコビアン	73	8.5	座標変換に関する量子異常の一般的な性質	179
5.2	量子電磁力学における Ward-高橋の恒等式	79	8.6	重力的な量子異常の具体例	183
5.3	QCD 型の理論におけるカイラル対称性の量子的破れ	81	9	格子ゲージ理論における指数定理と カイラル量子異常	187
5.4	インスタントン	87	9.1	格子ゲージ理論	187
5.5	Atiyah-Singer の指数定理	92	9.2	格子上の Dirac 粒子と種の倍増	190
5.6	相互作用表示と Nambu-Goldstone の定理	93	9.3	Ginsparg-Wilson 代数の有限次元の表現	194
6	ゲージ対称性の量子的破れ	101	9.4	格子上の Atiyah-Singer の指数定理と量子異常	198
6.1	軸性ベクトル場を含むゲージ理論	101	9.5	Ginsparg-Wilson の関係式を満たす演算子 D	203
6.2	Pauli-Villars 正則化	105	9.6	格子理論の 2,3 の特徴とカイラルな Dirac 粒子	207
6.3	カイラルゲージ理論と量子異常	108	10	2次元の場の理論とボソン化	211
6.4	共変的な量子異常	112	10.1	2次元理論におけるカイラル対称性の量子的破れ	211
6.5	Weinberg-Salam 理論における量子異常の相殺	119	10.2	Abel 的な Fermi 粒子の理論のボソン化	214
6.6	一般化された Pauli-Villars 正則化	123	10.3	非 Abel 的な Fermi 粒子の理論のボソン化	219
6.7	Wess-Zumino の積分可能性条件と Wess-Zumino 項	129	10.4	Kac-Moody 代数と Virasoro 代数	224
6.8	対称性の量子的破れと異常交換関係	138	10.5	弦の量子論と Liouville の作用	239
7	Weyl 対称性の量子的破れとくり込み群	141	10.6	ゴースト数の量子的破れと Riemann-Roch の定理	245
7.1	場の理論におけるスケール変換	141	11	おわりに	247
7.2	Weyl 変換に関係した恒等式と量子異常	143	付録 A	量子電磁力学の概要	252
7.3	一般座標変換に関係した恒等式	146	A.1	量子電磁力学	252
7.4	Weyl 量子異常と QCD のベータ関数	150	A.2	相互作用表示と摂動公式	255
7.5	曲がった空間での Weyl 量子異常	158	付録 B	曲がった空間の場の理論	260
7.6	2次元空間における Weyl 量子異常	161	B.1	座標変換とエネルギー運動量テンソル	260
7.7	Weyl 量子異常のその他の応用	165	B.2	重力理論における経路積分の測度	265
8	重力量子異常と一般座標変換の量子的破れ	167			
8.1	重力の関係したカイラル $U(1)$ 量子異常	167			

付録 C 文献解題	270
索 引	285