

目 次

第 1 章 量子アニーリングとはいったい何か	1
1.1 社会的背景	1
1.2 量子アニーリング	2
1.3 量子アニーリングは何を目指すのか	4
1.4 量子アニーリングはどうやって最適化問題を解くのか	6
第 2 章 イジング模型と組み合わせ最適化問題	9
2.1 イジング模型	9
2.2 フラストレーションとスピングラス	10
2.3 組み合わせ最適化問題とイジング模型	12
2.4 現実のデバイス上での表現 (I): 多体相互作用	13
2.5 現実のデバイス上での表現 (II): 長距離相互作用など	15
2.6 組み合わせ最適化問題の例	20
2.6.1 巡回セールスマン問題	20
2.6.2 分割問題	22
2.6.3 充足可能問題	23
2.6.4 クラスタリング	25

第3章 2状態系の量子力学	27
3.1 2つの状態が同時に実現すること	27
3.2 重ね合わせの行列表現	28
3.3 状態の入れ替えの行列表現	29
3.4 ブラケットによる表記の簡略化	30
3.5 シュレディンガー方程式	31
3.6 複数のスピンのあるとき	33
第4章 横磁場イジング模型と量子相転移	35
4.1 横磁場イジング模型と量子アニーリング	35
4.2 有限時間での探索	38
4.3 横磁場イジング模型の量子相転移	39
4.4 横磁場イジング模型における量子相転移の例	41
第5章 断熱時間発展の条件	47
5.1 漸近的断熱条件	47
5.2 厳密な断熱条件	51
5.3 データベース探索問題の量子断熱解	52
5.4 非断熱遷移	55
第6章 量子相転移の次数とエネルギーギャップの関係	57
6.1 2次相転移	58
6.2 1次相転移	59
6.3 例外の例	62

第7章 収束条件	63
7.1 収束条件	63
7.2 古典アルゴリズムとの比較	66
第8章 量子ゲート模型との等価性	71
8.1 量子ゲート模型が量子アニーリングを効率よくシミュレートできること	72
8.2 拡張された量子アニーリングが量子ゲート模型を効率よくシミュレートできること	74
8.3 スピン模型での表現およびユニバーサリティ	79
8.4 非疑似古典確率的ハミルトニアンによる指数関数的な高速化	80
第9章 量子アニーリングのシミュレーション	83
9.1 マルコフ連鎖モンテカルロ法	83
9.2 シミュレーテッド・アニーリング	87
9.3 横磁場イジング模型の古典シミュレーション	88
第10章 機械学習との関わり	93
10.1 ボルツマン機械学習	93
10.2 QBoost	103
10.3 辞書学習	105
10.4 量子ボルツマン機械学習への挑戦	106

第 11 章	量子アニーリングマシンのベンチマーク	111
11.1	1 億倍速いというのは本当か	111
11.2	より精密な比較	115
付録 A	統計力学の処方箋	123
付録 B	D-Wave マシンの利用法	127
参考文献		137
索引		143