

# 目次

<b>第1章</b>	<b>はじめに：脳を見る座標軸</b>	<b>1</b>
1.1	脳を理解する, とは	1
1.2	空間のスケール	3
1.2.1	行動とモジュールのレベル	3
1.2.2	局所回路のレベル	3
1.2.3	ニューロンのレベル	4
1.2.4	シナプスのレベル	4
1.2.5	分子のレベル	4
1.3	進化と発達のスケール	5
1.3.1	無脊椎動物の神経系	5
1.3.2	脊椎動物の神経系	5
1.3.3	小脳	6
1.3.4	大脳基底核	7
1.3.5	海馬	7
1.3.6	大脳新皮質	7
1.4	学習の枠組み	8
1.4.1	教師あり学習	8
1.4.2	強化学習	9
1.4.3	教師なし学習	9
1.4.4	学習の枠組みと脳の回路	9
1.5	計算神経科学への招待	9
<b>第2章</b>	<b>ニューロンのモデル</b>	<b>11</b>
2.1	ニューロンの構造	11
2.2	McCulloch-Pitts モデル	12
2.3	発火頻度モデル	13
2.3.1	コネクショニストモデル	14
2.3.2	リカレントネットワークモデル	14
2.4	スパイクタイミングモデル	15
2.5	積分発火モデル	16
2.6	Hodgkin-Huxley 型モデル	16
2.7	FitzHugh-Nagumo モデル	18

2.8	コンパートメントモデル	19
2.9	ニューロインフォマティクスへの期待	20
<b>第3章</b>	<b>ニューロンのデータ解析</b>	<b>22</b>
3.1	ニューロンの活動記録	22
3.2	感覚刺激からスパイクへ	23
3.3	スパイクから感覚刺激へ	25
3.4	スパイクからスパイクへ	26
3.5	スパイクから運動出力へ	27
3.6	試行平均を超えて	28
<b>第4章</b>	<b>教師あり学習</b>	<b>30</b>
4.1	教師あり学習	30
4.1.1	単純パーセプトロン	30
4.1.2	多層パーセプトロン	31
4.2	最小二乗誤差学習	31
4.3	汎化誤差と過学習	33
4.3.1	最尤推定と最小二乗誤差	34
4.3.2	パラメタの事前確率と事後確率	35
4.3.3	ベイズ推定と周辺尤度	36
4.4	脳の教師あり学習	37
<b>第5章</b>	<b>小脳と内部モデル</b>	<b>38</b>
5.1	脳の教師はどこに?	38
5.2	小脳の構造と神経回路	39
5.3	小脳パーセプトロン仮説とシナプス長期減弱	40
5.4	フィードバック誤差学習による逆モデル制御	40
5.5	順モデルによる予測制御	42
5.6	内部モデルによる認知機構	43
5.6.1	脳内シミュレーションと思考	43
5.6.2	計算結果のモジュール化	44
5.7	内部モデル学習に必要な回路機構	44
5.7.1	平行線維入力の基底関数表現	44
5.7.2	登上線維の誤差表現	45
5.7.3	シナプス可塑性の時間窓	46
5.8	内部モデルの可能性	46

<b>第 6 章 強化学習</b>	<b>49</b>	9.4.1 自己組織化モデル	74
6.1 強化学習とは	49	9.4.2 情報量最大化	75
6.2 即時報酬課題	49	9.4.3 報酬による重み付け	75
6.3 遅延報酬課題	51	9.5 ポピュレーション表現とベイズ推定	76
6.4 履歴を使った学習	51	9.5.1 分布推定モデル	77
6.5 状態価値関数と Bellman 方程式	52	9.5.2 Belief propagation モデル	77
6.6 行動価値関数による学習	53	9.6 教師なし学習のその先	78
6.7 Actor-Critic と Policy Gradient	54		
6.8 強化学習から脳へ	55		
<b>第 7 章 大脳基底核と報酬予測</b>	<b>57</b>	<b>第 10 章 メタ学習</b>	<b>80</b>
7.1 強化学習の脳機構	57	10.1 学習のしかたの学習	80
7.2 大脳基底核の回路	57	10.2 教師あり学習のメタ学習	80
7.3 大脳基底核のニューロン特性	58	10.2.1 学習速度係数 $\alpha$	80
7.3.1 中脳ドーパミンニューロンと TD 誤差	59	10.2.2 周辺尤度によるモデル選択	81
7.3.2 線条体ニューロン活動の報酬依存性	60	10.3 強化学習のメタ学習	82
7.3.3 大脳皮質-線条体シナプスのドーパミン依存の可塑性	60	10.3.1 行動選択の逆温度 $\beta$	82
7.4 大脳基底核の強化学習モデル	61	10.3.2 報酬予測の割引率 $\gamma$	83
7.5 線条体ニューロンの行動価値表現	62	10.4 教師なし学習のメタ学習	84
7.6 大脳基底核とそれ以外	63	10.5 異なるモジュールの並列学習	84
<b>第 8 章 教師なし学習</b>	<b>65</b>	10.6 メタ学習から脳へ	85
8.1 教師なし学習とは	65		
8.2 情報の最大化と冗長性の削減	65	<b>第 11 章 神経修飾物質系</b>	<b>86</b>
8.2.1 主成分分析	66	11.1 メタ学習の脳機構は？	86
8.2.2 独立成分分析	67	11.2 神経修飾物質系	86
8.2.3 スパース表現	68	11.3 ドーパミン系：報酬予測の増減 $\delta$	87
8.3 学習量子化	69	11.4 アセチルコリン系：学習速度係数 $\alpha$	88
8.3.1 K-means	69	11.5 ノルアドレナリン系：動作選択の逆温度 $\beta$	88
8.3.2 混合正規分布モデル	70	11.6 セロトニン系：報酬評価の時間割引率 $\gamma$	89
8.3.3 自己組織化マップ	71	11.7 脳のメタ学習機構と神経修飾物質系の相互作用モデル	90
8.4 教師なし学習と脳	71		
<b>第 9 章 大脳皮質</b>	<b>73</b>	<b>第 12 章 階層モジュール学習</b>	<b>92</b>
9.1 大脳皮質の計算とは	73	12.1 起き上がりロボットの学習	92
9.2 大脳皮質の回路構造	73	12.2 階層モジュール学習方式	94
9.3 大脳皮質ニューロンの特徴選択性	74	12.2.1 階層混合エキスパート	94
9.4 教師なし学習モデル	74	12.2.2 MOSAIC アーキテクチャ	95
		12.2.3 階層強化学習	95
		12.2.4 Importance sampling による並列学習	95
		12.3 脳の階層モジュール学習	96
		12.3.1 モジュールの選択	96

12.3.2	モデルベースとモデルフリーのアーキテクチャ	96
12.4	脳のグローバルな組織化原理は？	97
<b>第 13 章</b>	<b>協調行動とコミュニケーション</b>	<b>99</b>
13.1	脳と社会環境	99
13.2	協調行動の計算理論	99
13.3	行動理解と見まね学習	100
13.4	コミュニケーションと言語	102
13.5	言語の起源に向けて	104
<b>第 14 章</b>	<b>計算神経科学の到達点と今後</b>	<b>106</b>
14.1	脳はどこまでわかったか	106
14.2	ニューロン, 分子, 遺伝子	106
14.3	局所回路と情報表現	109
14.4	脳の全域回路と行動	109
14.5	社会脳から言語へ	110
14.6	おわりに	110
<b>索引</b>		<b>112</b>