

目次

序文	i
数式の表記	xi
深層学習手法の全体像	xiii
第I部 基礎編	1
第1章 階層型ニューラルネットワークによる深層学習	3
1.1 はじめに	3
1.2 内部表現のデータからの学習	5
1.2.1 内部表現の重要性とその学習法	5
1.2.2 特徴工学と表現学習	7
1.3 階層型ニューラルネットワーク	8
1.3.1 ニューラルネットワーク研究の系譜	9
1.3.2 階層型ニューラルネットワークの数理モデル	9
1.4 階層型ニューラルネットワークの学習	12
1.4.1 誤り訂正学習	12
1.4.2 誤差逆伝播学習	14
1.4.3 競合学習	15
1.5 深層ニューラルネットワークによる深層表現の学習	16
1.5.1 誤差逆伝播学習による内部表現の学習	16
1.5.2 深層ニューラルネットワークの学習	17
1.6 畳み込みニューラルネットワーク	19
1.7 自己符号化器	22
1.7.1 自己符号化器とその学習	22
1.7.2 積層自己符号化器	23

1.7.3	スパース自己符号化器	24
1.7.4	雑音除去自己符号化器	25
1.8	おわりに	25
	参考文献	27
第2章	深層ボルツマンマシン	31
2.1	はじめに	31
2.2	統計的機械学習の考え方——データ生成モデルの再現	32
2.3	マルコフ確率場とボルツマンマシン	35
2.3.1	マルコフ確率場	35
2.3.2	ボルツマンマシン	37
2.3.3	ボルツマンマシンとホップフィールド・ネットワーク の関係	39
2.3.4	ボルツマンマシンの学習へ	40
2.4	可視変数のみのボルツマンマシン学習	40
2.4.1	カルバック-ライブラー・ダイバージェンスからの学 習方程式の導出	43
2.4.2	ボルツマンマシン学習の実装と組み合わせ爆発の問題	44
2.5	隠れ変数ありのボルツマンマシン学習	46
2.5.1	隠れ変数ありの場合の学習について	49
2.5.2	隠れ変数を導入する意味	50
2.6	ボルツマンマシン上での近似手法	52
2.6.1	ギブスサンプリング	52
2.6.2	平均場近似	55
2.7	制限ボルツマンマシン	57
2.7.1	条件付き独立性に基づく制限ボルツマンマシンの性質	59
2.7.2	制限ボルツマンマシンの学習	60
2.8	深層ボルツマンマシン	62
2.8.1	深層ボルツマンマシンの事前学習	64
2.8.2	事前学習後の最尤推定法に基づく学習	67
2.8.3	自己符号化器としての制限ボルツマンマシン	70
2.8.4	深層ボルツマンマシンの利用法	71
2.9	深層信念ネットワーク	72
2.9.1	深層信念ネットワークに対する事前学習と推論	74

2.9.2	深層信念ネットワークに対する事前学習の正当性	75
2.10	おわりに	80
	参考文献	80
第3章	事前学習とその周辺	83
3.1	はじめに	83
3.2	自由度の高い統計モデルの学習における困難とその解決法	84
3.2.1	学習を難しくする要因	84
3.2.2	既存の解決法	85
3.2.3	新たな解決法	88
3.3	自己符号化器による内部表現の学習	91
3.3.1	自己符号化器とその損失関数の定義	91
3.3.2	層ごとの貪欲学習を用いた自己符号化器の事前学習	93
3.4	確率的なモデルを用いた事前学習	93
3.4.1	制限ボルツマンマシン	94
3.4.2	指数型ハーモニウム族	96
3.4.3	指数型ハーモニウム族のコントラストティブ・ダイバー ジェンス法による学習	100
3.4.4	コントラストティブ・ダイバージェンス法が最適化して いる損失関数	100
3.4.5	コントラストティブ・ダイバージェンス法と類似した学 習則を与えるアルゴリズム	107
3.4.6	コントラストティブ・ダイバージェンス法から派生した 学習則	109
3.4.7	確率的なモデルの事前学習と自己符号化器の学習の関係	111
3.5	確定的なモデルを用いた事前学習	112
3.5.1	教師なし学習による確定的なモデルの学習	113
3.5.2	教師あり学習による確定的なモデルの学習	117
3.6	Product of Experts の学習法としてのコントラストティブ・ ダイバージェンス法	118
3.7	おわりに	119
	参考文献	120

第 4 章	大規模深層学習の実現技術	125
4.1	はじめに	125
4.2	深層学習の最適化	126
4.2.1	深層学習の基本計算	127
4.2.2	確率的勾配降下法	128
4.3	高速化手法	129
4.3.1	分散並列処理: DistBelief	130
4.3.2	GPU を用いた大規模ニューラルネットの実現	133
4.3.3	InfiniBand の利用	135
4.3.4	学習収束の高速化	136
4.4	過学習制御: Dropout	139
4.5	活性化関数	142
4.5.1	ReLU	143
4.5.2	MaxOut	143
4.6	学習率の調整	144
4.6.1	AdaGrad	144
4.6.2	Adam	145
4.6.3	超パラメータの最適化	146
4.7	実装技術	147
4.7.1	実装の正しさのチェック	147
4.8	おわりに	148
	参考文献	148
第 II 部	応用編	151
第 5 章	画像認識のための深層学習	153
5.1	はじめに	153
5.1.1	畳み込みニューラルネットワークの再発見	154
5.1.2	その後の研究	154
5.2	畳み込みニューラルネットワーク	156
5.2.1	基本構造	156
5.2.2	畳み込み層	157
5.2.3	プーリング層	160

5.2.4	例: 手書き数字認識のための畳み込みニューラルネット	161
5.2.5	学習	163
5.2.6	コントラスト調整とデータの正規化	164
5.3	畳み込みニューラルネットワークのはたらき	166
5.3.1	一般物体認識の難しさ	166
5.3.2	一般物体認識の従来法	167
5.3.3	従来法と畳み込みニューラルネットワークの比較	170
5.3.4	ネットワークの構造と認識性能	173
5.3.5	畳み込みニューラルネットワークの拡張の試み	174
5.4	畳み込みニューラルネットワークの内部表現	175
5.4.1	可視化	175
5.4.2	脳神経系との関係	176
5.4.3	転移学習	176
5.5	画像特徴の教師なし学習	178
5.5.1	単層自己符号化器による局所特徴の学習	178
5.5.2	多層ネットワークによる特徴学習	181
5.6	おわりに	184
	参考文献	185
第 6 章	音声認識のための深層学習	189
6.1	はじめに	189
6.2	音声認識	190
6.2.1	音声認識に用いられるモデル	191
6.2.2	大語彙連続音声認識システムの構成	194
6.3	音声認識におけるニューラルネットワーク	195
6.3.1	時間遅れニューラルネットワーク	197
6.3.2	隠れマルコフモデルと組み合わせたニューラルネット: ハイブリッド方式	198
6.3.3	隠れマルコフモデルと組み合わせたニューラルネット: タンデム方式	200
6.4	音響モデルにおける深層学習: 事前学習	201
6.4.1	制限ボルツマンマシンによる事前学習を用いた深層ニューラルネットワーク-隠れマルコフモデル	202
6.4.2	雑音除去自己符号化器による事前学習	204

6.4.3	識別的事前学習	205
6.5	音響モデルにおける深層学習：学習とモデルの進展	206
6.5.1	系列識別学習	207
6.5.2	回帰結合ニューラルネットワークによる音響モデル	211
6.5.3	Long Short-Term Memory 法	214
6.5.4	マルチストリーム・マルチタスク学習	217
6.6	言語モデルにおける深層学習	218
6.6.1	回帰結合ニューラルネットワークによる言語モデル	218
6.7	おわりに	220
	参考文献	222
第7章	自然言語処理のための深層学習	225
7.1	はじめに	225
7.2	深層学習と言語モデル	228
7.2.1	ニューラルネットワーク言語モデル	229
7.2.2	その他の言語モデル	231
7.3	単語の意味表現学習	233
7.3.1	ボトムアップ的な意味表現構築手法	233
7.3.2	トップダウン的な意味表現予測手法	234
7.3.3	階層型ソフトマックスによる計算	239
7.3.4	意味表現学習手法のその他の話題	240
7.4	深層学習と意味構築	243
7.4.1	言い換え表現認識への応用	244
7.5	おわりに	248
	参考文献	249
	和文索引	253
	英文索引	261