

■ 目次

■ シリーズの刊行にあたって	iii
■ まえがき	iv
第 1 章 はじめに	1
1.1 ベイズ統計とニューラルネットワークの変遷	1
1.1.1 ニューラルネットワーク	2
1.1.2 ベイズ統計	3
1.1.3 ベイズニューラルネットワークの誕生	4
1.1.4 深層学習の隆盛	6
1.2 ベイズ深層学習	7
1.2.1 深層学習の限界点	8
1.2.2 ベイズ統計との融合	9
1.2.3 用語・表記に関する注意点	11
第 2 章 ニューラルネットワークの基礎	15
2.1 線形回帰モデル	15
2.1.1 最小二乗法による学習	16
2.1.2 基底関数の選択	18
2.1.3 過剰適合と正則化	18
2.2 ニューラルネットワーク	23
2.2.1 順伝播型ニューラルネットワーク	23
2.2.2 勾配降下法とニュートン・ラフソン法	28
2.2.3 誤差逆伝播法	30
2.2.4 ヘッセ行列を利用した学習	33
2.2.5 分類モデルの学習	34
2.3 効率的な学習法	36
2.3.1 確率的勾配降下法	36
2.3.2 ドロップアウト	37
2.3.3 バッチ正則化	39
2.4 ニューラルネットワークの拡張モデル	41
2.4.1 畳み込みニューラルネットワーク	41
2.4.2 再帰型ニューラルネットワーク	44
2.4.3 自己符号化器	47

第 3 章 ベイズ推論の基礎	51
3.1 確率推論	51
3.1.1 確率密度関数と確率質量関数	51
3.1.2 条件付き分布と周辺分布	52
3.1.3 期待値	53
3.1.4 変数変換	54
3.1.5 グラフィカルモデル	55
3.2 指数型分布族	57
3.2.1 確率分布の例	57
3.2.2 ガウス分布の計算例	58
3.2.3 指数型分布族	59
3.2.4 分布の共役性	61
3.3 ベイズ線形回帰	66
3.3.1 モデル	66
3.3.2 学習と予測	68
3.3.3 周辺尤度	71
3.3.4 逐次学習	71
3.3.5 能動学習への応用	72
3.3.6 ガウス過程との関係	75
3.4 最尤推定, MAP 推定との関係	76
3.4.1 最尤推定と誤差最小化	76
3.4.2 MAP 推定と正則化	78
3.4.3 分類モデルに対する誤差関数	79
第 4 章 近似ベイズ推論	81
4.1 サンプリングに基づく推論手法	81
4.1.1 単純モンテカルロ法	82
4.1.2 棄却サンプリング	82
4.1.3 自己正規化重点サンプリング	83
4.1.4 マルコフ連鎖モンテカルロ法	84
4.1.5 メトロポリス・ヘイスティンクス法	86
4.1.6 ハミルトニアンモンテカルロ法	87
4.1.7 ギブスサンプリング	92
4.2 最適化に基づく推論手法	94
4.2.1 変分推論法	94
4.2.2 例: 平均場近似による潜在変数モデルの学習	96
4.2.3 ラプラス近似	100
4.2.4 モーメントマッチングによる近似	101
4.2.5 例: モーメントマッチングによるプロビット回帰モデルの学習	106
4.2.6 期待値伝播法	107

第 5 章 ニューラルネットワークのベイズ推論 111

5.1 ベイズニューラルネットワークモデルの近似推論法 111

5.1.1 ベイズニューラルネットワークモデル 111

5.1.2 ラプラス近似による学習 113

5.1.3 ハミルトニアンモンテカルロ法による学習 116

5.2 近似ベイズ推論の効率化 120

5.2.1 確率的勾配ランジュバン動力学法による学習 120

5.2.2 確率的変分推論法による学習 122

5.2.3 勾配のモンテカルロ近似 123

5.2.4 勾配近似による変分推論法 127

5.2.5 期待値伝播法による学習 128

5.3 ベイズ推論と確率的正則化 134

5.3.1 モンテカルロドロップアウト 135

5.3.2 その他の確率的正則化手法との関係 139

5.4 不確実性の推定を使った応用 141

5.4.1 画像認識 141

5.4.2 系列データ 142

5.4.3 能動学習 143

5.4.4 強化学習 144

第 6 章 深層生成モデル 147

6.1 変分自己符号化器 148

6.1.1 生成ネットワークと推論ネットワーク 148

6.1.2 半教師あり学習モデル 153

6.1.3 応用と拡張 157

6.2 変分モデル 159

6.2.1 正規化流 160

6.2.2 階層変分モデル 164

6.2.3 非明示的モデルと尤度なし変分推論法 167

6.3 生成ネットワークの構造学習 171

6.3.1 インド料理過程 171

6.3.2 無限のニューラルネットワークモデル 175

6.4 その他の深層生成モデル 178

6.4.1 深層指数型分布族 178

6.4.2 ボルツマンマシン 181

6.4.3 敵対的生成ネットワーク 183

第 7 章 深層学習とガウス過程 187

7.1 ガウス過程の基礎 187

7.1.1 関数空間上での確率分布 188

7.1.2 ノイズを付加した回帰モデル 189

7.1.3 共分散関数 191

7.1.4 周辺尤度 193

7.2 ガウス過程による分類 195

7.2.1 ベルヌーイ分布による分類モデル 195

7.2.2 ラプラス近似 197

7.2.3 期待値伝播法 199

7.3 ガウス過程のスパース近似 202

7.3.1 誘導点を用いた変分推論法 202

7.3.2 確率的変分推論法 207

7.4 深層学習のガウス過程解釈 207

7.4.1 隠れ層が 1 つの場合 209

7.4.2 多層の場合 211

7.4.3 深層カーネル 212

7.4.4 畳み込みガウス過程 215

7.5 ガウス過程による生成モデル 219

7.5.1 ガウス過程潜在変数モデル 219

7.5.2 深層ガウス過程 224

付録 230

A.1 ガウス分布の計算 230

A.1.1 準備 230

A.1.2 条件付き分布と周辺分布 231

A.1.3 ガウス分布の線形変換 232

A.2 誘導点を用いた変分推論法の ELBO 最大化 234

A.3 正規分布の累積分布関数の積分計算 235

A.4 共分散関数の計算 237

A.4.1 ガウスの誤差関数に対する共分散関数 237

A.4.2 正規化線形関数に対する共分散関数 239

参考文献 242

索引 255