

■ 目 次

■ シリーズの刊行にあたって	iii
■ はじめに	v

Chapter 1	第 1 章 グラフィカルモデル入門	1
	1.1 ベイジアンネットワークとは	1
	1.1.1 自分 1 人の確率モデル	2
	1.1.2 両親を入れた確率モデル	3
	1.1.3 配偶者と子を入れた確率モデル	4
	1.1.4 データからの学習	5
	1.1.5 データからの構造学習	6
	1.2 マルコフ確率場とは	6
	1.3 グラフ構造を考える利点	7

Chapter 2	第 2 章 確率論の基礎	9
	2.1 確率論の基礎	9
	2.1.1 確率の数学的定式化	9
	2.1.2 確率変数の分布関数	11
	2.2 確率変数の独立性	12
	2.3 条件付き確率	14
	2.3.1 条件付き確率の定義	14
	2.3.2 独立性と条件付き確率	15
	2.4 条件付き独立性	16
	2.4.1 条件付き独立性の定義	16
	2.4.2 条件付き独立性の性質	17
	2.4.3 条件付き独立な確率変数の例	17
	2.4.4 独立性と条件付き独立性の違い	18
	2.5 連続的な確率変数の取り扱い	18
	2.5.1 確率密度関数	19
2.5.2 条件付き確率密度関数	20	

Chapter 3	第 3 章 ベイジアンネットワーク	21
	3.1 有向グラフの用語	21
	3.2 有向非巡回グラフの特徴付け	23
	3.3 ベイジアンネットワークの定義	24
	3.4 ベイジアンネットワークの因子分解	25

	3.4.1 因子分解定理	25
	3.4.2 ベイジアンネットワークの構成	26
3.5	ベイジアンネットワークの例	27
	3.5.1 自明なベイジアンネットワークとマルコフ過程	27
	3.5.2 3変数からなるベイジアンネットワーク	28
3.6	グラフと条件付き独立性	29
	3.6.1 グラフ理論的準備	29
	3.6.2 条件付き独立性と d 分離	31
Chapter 4	第 4 章 マルコフ確率場	35
	4.1 無向グラフの用語	35
	4.2 マルコフ確率場の定義	36
	4.3 マルコフ確率場の因子分解	38
	4.4 ベイジアンネットワークとマルコフ確率場	40
	4.5 例: ガウス型のマルコフ確率場	41
Chapter 5	第 5 章 因子グラフ表現	43
	5.1 超グラフの用語	43
	5.2 因子グラフ型モデルの定義	45
	5.3 因子グラフ型モデルとマルコフ確率場	46
	5.4 因子グラフ型モデルとベイジアンネットワーク	47
	5.5 因子グラフ型モデルの例	47
	5.5.1 2 値ペアワイズモデル	47
	5.5.2 組み合わせ最適化問題	48
Chapter 6	第 6 章 周辺確率分布の計算 1.: 確率伝搬法	51
	6.1 確率推論の定式化	51
	6.2 木の上での確率伝搬法	52
	6.2.1 木の定義	53
	6.2.2 直線型グラフ上での確率伝搬法	53
	6.2.3 ペアワイズモデルでの確率伝搬法	55
	6.2.4 因子グラフでの確率伝搬法	56
	6.3 適用例: 隠れマルコフモデル	59
	6.4 連続変数の場合	60
	6.5 ほかの厳密計算方法	61
Chapter 7	第 7 章 周辺確率分布の計算 2.: ベーテ近似	63
	7.1 サイクルのあるグラフ上での確率伝搬法	63
	7.1.1 確率伝搬法のアルゴリズム	63

7.1.2	例: サイクルを1つもつグラフ上での確率伝搬法	65
7.2	変分法による定式化	66
7.2.1	ギブス自由エネルギー関数	66
7.2.2	ベータ自由エネルギー関数	67
7.3	一般化確率伝搬法	70
7.3.1	交わりで閉じた部分集合族	71
7.3.2	木の場合の確率の分解公式	72
7.3.3	菊池エントロピー関数の導出	73
7.3.4	菊池エントロピー関数とベータエントロピー関数の関係	75
7.3.5	一般化確率伝搬法の導出	75
7.3.6	一般化確率伝搬法の計算例	77
7.3.7	一般化確率伝搬法と菊池自由エネルギー関数	77

Chapter 8

第 8 章	周辺確率分布の計算 3.: 平均場近似	81
8.1	平均場近似	81
8.2	例: イジングモデルの場合	82
8.3	平均場近似と関連手法	83
8.4	周辺確率分布の計算 サンプリングによる方法	84

Chapter 9

第 9 章	グラフィカルモデルの学習 1.: 隠れ変数のないモデル	85
9.1	ベイジアンネットワークの学習	86
9.1.1	最尤法による学習	86
9.1.2	ベイズ法による学習	87
9.2	因子グラフ型モデルの学習: 基本	88
9.2.1	学習の定式化	89
9.2.2	IPF アルゴリズムによる最尤推定	90
9.3	因子グラフ型モデルの学習: 変分法による近似	92
9.3.1	分配関数とエントロピー関数の上界	92
9.3.2	分配関数の TRW 上界	93
9.3.3	ベータ近似	97
9.4	擬尤度関数による学習	97

Chapter 10

第 10 章	グラフィカルモデルの学習 2.: 隠れ変数のあるモデル	99
10.1	問題設定と定式化	99
10.1.1	対数尤度関数の微分	100
10.2	変分下界と変分的 EM アルゴリズム	101
10.2.1	準備: KL ダイバージェンス	101
10.2.2	変分下界の導出と最適化	102

	10.2.3 変分的 EM アルゴリズム	103
	10.2.4 EM アルゴリズム	103
	10.3 グラフィカルモデルに対する変分的 EM アルゴリズム	106
	10.4 ほかの学習手法	107
	10.4.1 サンプリングによる方法	107
	10.4.2 Wake-sleep アルゴリズム	107
Chapter 11	第 11 章 グラフィカルモデルの学習 3. : 具体例	109
	11.1 ボルツマンマシン	109
	11.1.1 平均場近似	110
	11.1.2 ベーテ近似	111
	11.2 隠れマルコフモデル	112
	11.2.1 EM アルゴリズムによる学習	112
	11.2.2 ベイジアン隠れマルコフモデル	113
Chapter 12	第 12 章 MAP 割り当ての計算 1. : 最大伝搬法	115
	12.1 MAP 推定とは	115
	12.2 メッセージ伝搬による MAP 推定	117
	12.2.1 直鎖型構造の場合の計算	117
	12.2.2 木のグラフ上での最大伝搬法	118
	12.2.3 サイクルのある因子グラフ上の最大伝搬法	120
	12.3 TRW 最大伝搬法	120
Chapter 13	第 13 章 MAP 割り当ての計算 2. : 線形緩和による方法	123
	13.1 MAP 推定問題の線形計画問題としての定式化	123
	13.2 緩和問題	124
	13.3 緩和問題の切除平面法による改良	126
	13.3.1 サイクル不等式	127
	13.3.2 分離アルゴリズム	127
	13.4 双対分解とメッセージ伝搬による解法	128
	13.4.1 緩和問題の双対	128
	13.4.2 MPLP アルゴリズム	130
	13.4.3 関連アルゴリズム	132
Chapter 14	第 14 章 グラフィカルモデルの構造学習	133
	14.1 構造学習とは	133
	14.2 マルコフ確率場の学習	134
	14.2.1 独立性条件を用いる方法	134
	14.2.2 スパース正則化を用いる方法	135

	14.3	ベイジアンネットワークの構造学習	136
	14.3.1	条件付き独立性を用いる方法	136
	14.3.2	スコア関数を最大化する方法	138
Appendix A	付録 A	公式集	139
	A.1	条件付き独立性の公式	139
	A.2	半順序集合とメビウス関数	141
	A.2.1	半順序集合の基本性質	141
A.2.2	メビウス関数	142	
Appendix B	付録 B	凸解析入門	145
	B.1	定義	145
	B.1.1	凸集合	145
	B.1.2	凸関数	147
	B.2	Fenchel 双対	149
	B.2.1	Fenchel 双対の定義	149
	B.2.2	Fenchel 双対の性質	150
	B.2.3	Fenchel 双対の例	151
	B.3	凸最適化問題の双対性	151
	B.3.1	凸最適化問題	152
B.3.2	強双対性	152	
B.3.3	KKT ベクトルと最適性条件	153	
Appendix C	付録 C	指数型分布族	157
	C.1	指数型分布族の定義	157
	C.2	指数型分布族のパラメタ変換	159
	C.2.1	指数型分布族のパラメタ変換の導出	159
	C.2.2	例 1. 平均 0 の多次元ガウス分布	160
	C.2.3	例 2. 有限集合の場合	161
■	参考文献	163	
■	索引	167	