

まえがき	iii
第1章 予測とは何かを考える	1
1.1 居酒屋の売り上げ高の予測	1
1.1.1 個別化された計算サービス	1
1.1.2 時系列データ	2
1.2 期待感を数式で表す	4
1.2.1 最適化関数による表現	4
1.2.2 最適化関数とエネルギーの関係	6
1.2.3 最適化の解法	8
1.3 パターンの表現	9
第2章 確率による記述：基礎体力をつける	15
2.1 確率の基礎	15
2.1.1 同時確率と周辺確率	15
2.1.2 条件つき確率	16
2.1.3 ベイズの定理	19
2.2 最適化問題から統計モデルへ	20
2.2.1 同時確率の分解と予測確率	20
2.2.2 最大事後確率解	21
第3章 統計モデル：予測機能を構造化する	25
3.1 状態空間モデル	25
3.1.1 状態ベクトル	25
3.1.2 線形ガウス状態空間モデル	28
3.1.3 カオスモデルから一般形へ	29
3.1.4 潜在変数の時間軸拡張	30
3.2 鎖状構造グラフィカルモデル	31
3.2.1 2つのマルコフ性	31

3.2.2	グラフィカルモデル	32
3.2.3	グラフィカルモデルのいろいろ	34
3.3	多次元ノイズの分布モデル	35
第4章	計算アルゴリズム 1：予測計算理論を学ぶ	37
4.1	事後周辺分布	37
4.1.1	分布の簡易表記と 3 つの基本操作	37
4.1.2	3 つの分布	39
4.2	非線形フィルタリング	42
4.2.1	1 期先予測	42
4.2.2	フィルタリング	42
4.3	平滑化アルゴリズム	45
4.3.1	有向分離性	45
4.3.2	固定区間平滑化アルゴリズム	47
4.4	状態ベクトルの推定と予測誤差	48
第5章	計算アルゴリズム 2：モデルを進化させる	51
5.1	状態ベクトルの拡大	51
5.1.1	固定ラグ平滑化の概念	51
5.1.2	状態ベクトル拡大による固定ラグ平滑化の実現	54
5.1.3	固定点平滑化	56
5.2	学習によるモデルの改良	59
5.2.1	パラメータと尤度関数	59
5.2.2	拡大状態ベクトルによる推定法	61
第6章	粒子フィルタ：予測計算を実装する	63
6.1	分布の近似	63
6.1.1	モンテカルロ近似	63
6.1.2	デルタ関数の性質	65
6.1.3	分布の表現	67

6.2	アルゴリズム	67
6.2.1	予測	67
6.2.2	フィルタリングと予測確率	72
6.2.3	リサンプリング	74
6.3	粒子フィルタの図説	75
第7章	乱数生成：不確実性をつくる	79
7.1	リサンプリングの実装	79
7.1.1	一様乱数	79
7.1.2	経験分布関数	80
7.2	システムノイズの生成法	82
7.2.1	一般的生成法	82
7.2.2	ガウス乱数の生成法	85
7.3	賢いリサンプリング	86
7.4	粒子フィルタの実装例	88
第8章	経験知の総結集：売り上げ予測の精度を上げる	95
8.1	観測モデル：データを徹底的に要素に分解する	95
8.2	勘と経験をとり込む	96
8.2.1	曜日効果（曜日パターン）	96
8.2.2	状態空間モデルで表現	97
8.3	外生変数の影響を柔軟に表現する	99
8.3.1	雨効果の影響：パラメータの導入	99
8.3.2	イベント効果：パラメータの時変化	101
8.4	状態空間モデルにまとめる	102
8.5	結果	104
8.5.1	要因への分解	104

8.5.2	予測誤差分布	107
第9章	データ同化：シミュレーションの予測性能を向上させる	111
9.1	シミュレーション計算	111
9.1.1	基礎方程式とシステムモデル	111
9.1.2	データ同化の目的：気象・海洋学の観点から	112
9.2	データ同化の状態空間モデルへの埋め込み	115
9.2.1	状態ベクトルの構成	115
9.2.2	状態空間モデルで表現	116
9.3	逐次データ同化	118
9.3.1	計算手続き	118
9.3.2	初期条件の推定	120
第10章	確率ロボティクス：お掃除ロボをつくる	121
10.1	自己位置推定問題	121
10.1.1	粒子フィルタとロボット制御	121
10.1.2	センサーと課題	122
10.2	一般状態空間モデル表現	126
10.2.1	システムモデル：モーションモデル	126
10.2.2	観測モデル：認知モデル	128
10.3	実際の適用	132
	あとがき	137
	索引	141