

# 目 次

<b>第 1 章 統計と誤差の基本</b>	<b>1</b>
1.1 母集団と標本	1
1.2 1 変量データの記述	3
1.2.1 度数分布とヒストグラム	3
1.2.2 分布関数	6
1.2.3 代表値	7
1.2.4 分布のばらつき	9
1.2.5 画像データの代表値	11
1.2.6 標本平均のばらつきと標準誤差	13
1.3 2 変量データの記述	20
1.3.1 散布図	20
1.3.2 相関係数	22
1.3.3 ノンパラメトリックの順位相関係数	23
1.3.4 線形回帰：直線への当てはめ	24
1.3.5 2 変量データのヒストグラム	27
1.3.6 線形回帰：直線への当てはめへの精度	28
1.3.7 分散が異なる変数の線形回帰分析	30
1.3.8 非線形回帰分析	32
1.3.9 相関比	33
1.4 重回帰分析	33
1.4.1 説明変数が 2 つの回帰分析	34
1.4.2 複雑な模型	37

1.4.3 カイ 2 乗メリット関数に基づく回帰分析 . . . . .	39
--------------------------------------	----

## 第 2 章 確率変数と確率分布 42

2.1 確率変数と確率密度関数 . . . . .	42
2.2 確率変数の平均値と分散 . . . . .	44
2.3 多変数の場合 . . . . .	47
2.4 確率分布関数 . . . . .	49
2.4.1 一様分布 . . . . .	49
2.4.2 正規分布 (ガウス分布) . . . . .	49
2.4.3 多変量正規分布 . . . . .	51
2.4.4 対数正規分布 . . . . .	53
2.4.5 ベルヌーイ分布 . . . . .	53
2.4.6 二項分布 . . . . .	54
2.4.7 ポアソン分布 . . . . .	55
2.4.8 ベータ分布 . . . . .	57
2.4.9 カイ 2 乗分布 . . . . .	58
2.4.10 $F$ 分布 . . . . .	59
2.4.11 $t$ 分布 . . . . .	60
2.4.12 べき分布 . . . . .	60
2.4.13 指数分布 . . . . .	62
2.4.14 ガンマ分布 . . . . .	62
2.5 確率密度分布に基づく乱数の発生 . . . . .	63
2.5.1 逆関数法による乱数の発生 . . . . .	64
2.5.2 正規分布に基づく乱数の発生 . . . . .	65
2.5.3 棄却法による乱数の発生 . . . . .	67

## 第 3 章 推定と検定 68

3.1 点推定の基準 . . . . .	69
3.2 区間推定 . . . . .	71
3.3 再標本化法による統計量の誤差の評価 . . . . .	73

3.3.1	ノンパラメトリックブートストラップ法 . . . . .	74
3.3.2	パラメトリックブートストラップ法 . . . . .	78
3.3.3	ジャックナイフ法 . . . . .	80
3.4	誤差の伝搬と信頼区間 . . . . .	83
3.5	最小 2 乗法とカイ 2 乗検定 . . . . .	84
3.6	分位点による比較 . . . . .	88
3.7	正規分布における母平均の差の検定 . . . . .	89
3.8	コルモゴロフ・スミノフ検定 . . . . .	90
3.9	$F$ 分布と等分散検定 . . . . .	92
3.10	確率密度分布の推定 . . . . .	93
3.10.1	ノンパラメトリック法による回帰分析 . . . . .	94
3.10.2	残差の表示と診断 . . . . .	95
3.10.3	異常値に対して安定なロバスト推定法 . . . . .	97

## 第 4 章 パラメータの最尤推定 100

4.1	尤度関数と最尤推定 . . . . .	100
4.2	正規分布の最尤推定 . . . . .	102
4.2.1	1 変数の場合 . . . . .	102
4.2.2	2 変数の場合 . . . . .	103
4.3	ポアソン分布の最尤推定 . . . . .	107
4.4	情報量規準 AIC による最適モデルの選択 . . . . .	110

## 第 5 章 パラメータのベイズ推定 113

5.1	天文学者が切り開いたベイズ統計学 . . . . .	113
5.2	ベイズ統計学の応用例 . . . . .	116
5.3	マルコフ連鎖モンテカルロ法 . . . . .	124
5.3.1	マルコフ連鎖 . . . . .	125
5.3.2	メトロポリス法 . . . . .	126
5.3.3	マルコフ連鎖の挙動 . . . . .	127
5.3.4	いろいろな MCMC 法 . . . . .	131

<b>第6章 天体画像の誤差</b>	<b>135</b>
6.1 偶然誤差と系統誤差 . . . . .	137
6.2 光子検出の確率分布 . . . . .	138
6.3 量子化誤差 . . . . .	140
6.4 サンプリングにともなう誤差 . . . . .	141
6.4.1 ナイキストサンプリングと折り返し雑音 . . . . .	142
6.4.2 アンダーサンプリング . . . . .	147
6.5 バイアス画像と誤差 . . . . .	147
6.6 非破壊読み出しと誤差 . . . . .	149
6.6.1 相関読み出しと誤差 . . . . .	149
6.6.2 相関読み出しと飽和電荷量 . . . . .	151
6.7 センサーの非線形補正 . . . . .	153
6.8 背景光の評価 . . . . .	154
6.9 検出限界 . . . . .	157
<b>付 録</b>	<b>163</b>
A R ソースコード . . . . .	163
B Python ティップス . . . . .	164
B.1 基本的な統計量 . . . . .	164
B.2 ポアソン分布によるモデリング . . . . .	167
B.3 ノンパラメトリックブートストラップの実装例 . . . . .	168
B.4 パラメトリックブートストラップ法の実装例 . . . . .	168
C Python によるさまざまなコーディング例 . . . . .	169
C.1 散布図 . . . . .	169
C.2 複雑な散布図 . . . . .	171
C.3 データの読み込み . . . . .	173
C.4 最小二乗法によるパラメータの推定 . . . . .	175

参考文献	178
索 引	181