

# 目 次

Chapter 1 統計的因果推論の基礎の基礎	1
1.1 統計的因果推論の考え方を学ぶための具体例	1
1.1.1 白髪と薄毛の関係	2
1.1.2 ごま油と長寿の関係	2
1.1.3 インターネット広告と売上高の関係	3
1.1.4 身長と体重の関係	3
1.1.5 「アスピリンと頭痛」および「性別と髪の長さ」の例	4
1.2 統計的因果推論とは	4
1.3 反事実モデル	5
1.4 操作なくして因果なし	6
1.5 人種差別と就職活動の関係	7
1.6 身長と体重の関係の続き	8
1.7 グレンジャー因果	9
1.8 Rubin 流と Pearl 流の因果推論	9
1.9 R に関することがら	10
1.9.1 R のインストール	10
1.9.2 本書の R コードについて	11
1.9.3 R へのデータの読み込み方法	11
1.9.4 for ループ	13
Chapter 2 潜在的結果変数の枠組み	16
2.1 潜在的結果変数の枠組み：具体例	16
2.2 潜在的結果変数の枠組み：理論	18
2.3 処置効果 1：個体因果効果	20
2.4 処置効果 2：平均処置効果	22
2.5 処置効果 3：処置群の平均処置効果	24
2.6 交絡因子	25

2.6.1 インフルエンザと新薬 X の関係における交絡	25
2.6.2 方向付き非巡回グラフ (DAG)	26
2.7 無作為抽出と無作為割付け	27
2.8 無作為割付けによる分析の例	28
2.9 内的妥当性と外的妥当性	29
2.10 2標本 $t$ 検定	30
<b>Chapter 3 統計的因果推論における重要な仮定</b>	<b>31</b>
3.1 SUTVA	31
3.2 確率	32
3.3 条件付き確率と独立性	33
3.4 条件付き期待値	34
3.5 識別性の条件	35
3.6 実験研究における平均処置効果 (ATE) の推定	36
3.7 独立性と条件付き独立性：シンプソンのパラドックス	37
3.8 共変量の役割	38
3.9 回帰分析と共に分散分析	41
<b>Chapter 4 推測統計の基礎：標準誤差と信頼区間</b>	<b>45</b>
4.1 標準誤差	45
4.1.1 母集団データ	45
4.1.2 標本抽出と標本平均	47
4.1.3 標本平均のばらつき	48
4.1.4 中心極限定理	50
4.1.5 $t$ 統計量	50
4.2 信頼区間	52
4.2.1 90% 信頼区間の例	52
4.2.2 信頼区間による $t$ 検定	52
4.2.3 信頼区間による対応のある場合の2標本 $t$ 検定	55
4.2.4 信頼区間による対応のない場合の2標本 $t$ 検定	57
<b>Chapter 5 回帰分析の基礎</b>	<b>60</b>
5.1 回帰モデルの基礎の基礎	60
5.2 数値例で理解する最小二乗法	63
5.3 種明かし：最小二乗法による切片と傾きの公式	67
5.4 条件付き期待値としての回帰モデル	70
5.5 最小二乗法による切片と傾きの公式（補遺）	72

<b>Chapter 6 図で理解する重回帰モデルの基礎</b>	<b>77</b>
6.1 データ	77
6.2 分散	78
6.3 ESS と USS	79
6.4 決定係数	83
6.5 回帰係数の標準誤差と回帰の標準誤差	84
6.6 三変数のバレンティン・ベン図	84
6.7 三変数の重回帰モデル	85
6.8 因果ダイアグラムによる考察	88
6.9 共分散分析（再考）	88
6.10 実験研究における共分散分析の活用	89
<b>Chapter 7 最小二乗法による重回帰モデルの仮定と診断 1</b>	<b>90</b>
7.1 仮定 1：誤差項の期待値ゼロ	90
7.2 仮定 2：パラメータ（母数）における線形性	91
7.2.1 使用するデータの設定に関する情報	92
7.2.2 線形モデルによる推定	93
7.2.3 変数変換	93
7.2.4 対数変換後の回帰係数の解釈	94
7.2.5 変数の線形性と母数の線形性の違い	96
7.2.6 多変量における診断方法	97
7.3 仮定 3：誤差項の条件付き期待値ゼロ	100
7.3.1 不要な変数をモデルに取り入れる問題	101
7.3.2 中間変数をモデルに取り入れる問題	104
<b>Chapter 8 最小二乗法による重回帰モデルの仮定と診断 2</b>	<b>107</b>
8.1 仮定 4：完全な多重共線性がないこと	107
8.1.1 多重共線性	108
8.1.2 多重共線性の診断：VIF	108
8.1.3 共変量における多重共線性	109
8.2 仮定 5：誤差項の分散均一性	112
8.2.1 不均一分散の影響	113
8.2.2 不均一分散の診断	114
8.2.3 不均一分散への対処法 1：加重最小二乗法	116
8.2.4 不均一分散への対処法 2：不均一分散に頑健な標準誤差	118
8.3 仮定 6：誤差項の正規性	120
8.4 不均一分散の場合の回帰係数の分散の導出（補遺）	123

<b>Chapter 9 交互作用項のある共分散分析</b>	<b>125</b>
9.1 共分散分析の仮定	125
9.2 交互作用項のある共分散分析	128
9.2.1 平均処置効果	129
9.2.2 標準誤差	129
9.2.3 簡便な推定方法	131
9.3 統制すべき共変量に関するまとめ	131
9.3.1 第6章から第9章での指摘事項	131
9.3.2 その他の事項	132
9.4 共分散分析の限界	133
9.5 共分散分析と傾向スコアの優劣	134
<b>Chapter 10 傾向スコア</b>	<b>136</b>
10.1 バランシングスコア	136
10.2 傾向スコア	139
10.3 傾向スコア定理	143
10.4 傾向スコアのモデル化	144
10.4.1 二値の結果変数のモデリング	144
10.4.2 Rによる確認	145
10.4.3 ロジスティック回帰モデル	147
10.4.4 傾向スコアの算出	148
10.5 傾向スコアのモデル化の例	149
10.6 Rパッケージ MatchItによる傾向スコアのモデル化	151
<b>Chapter 11 傾向スコアマッチング：ATTの推定</b>	<b>153</b>
11.1 比較政治学における「よく似たシステムデザイン」	153
11.2 統計的因果推論における「マッチング」	154
11.3 推定対象	156
11.4 使用するデータ	156
11.5 ナイーブな比較と共分散分析	158
11.6 復元によるマッチングと非復元によるマッチング	159
11.7 距離	160
11.8 マッチング方法	161
11.9 Rによる復元抽出の傾向スコアマッチング：ATTの推定	163
11.10 標準誤差について	165
11.11 傾向スコアによるバランシングの評価	166
11.12 シミュレーションによる性能比較	169
11.13 傾向スコアをマッチングに使うべきでない？	169
11.14 質的研究のためのマッチング	171

## Chapter 12 傾向スコアによる層化解析法および重み付け法： ATE の推定

172

12.1	傾向スコアによる層化解析法	172
12.1.1	標本調査における層化抽出法	172
12.1.2	層化解析法とは	173
12.1.3	層の数	174
12.1.4	R による傾向スコア層化解析：ATE の推定	175
12.1.5	傾向スコアによるバランスの評価	177
12.1.6	シミュレーションによる性能比較	178
12.2	傾向スコアによる重み付け法	179
12.2.1	標本調査における重み付け法	179
12.2.2	R による傾向スコアの重み付け法：ATE の推定	180

## Chapter 13 操作変数法の基礎

183

13.1	操作変数のイメージ図	183
13.2	操作変数の定義	185
13.3	R による操作変数推定量	187
13.4	二段階最小二乗法 1：操作変数が 1 個の場合	189
13.5	二段階最小二乗法 2：操作変数が複数個の場合	191
13.6	内生変数と外生変数	191
13.7	R による二段階最小二乗法	192
13.8	二値変数の場合の二段階最小二乗法	195
13.9	よくない操作変数	195
13.10	操作変数の妥当性の検証	196

## Chapter 14 操作変数法による非遵守への対処

198

14.1	非遵守（ノンコンプライアンス）	198
14.2	遵守者と非遵守者の 4 つの種類	198
14.3	使用するデータ	200
14.4	単調性の仮定と推定対象	201
14.5	無作為化奨励デザインと 4 つの推定量	202
14.6	R による無作為化奨励デザインの分析	206
14.7	仮定の妥当性	207

## Chapter 15 回帰不連続デザインの基礎

209

15.1	使用するデータと状況設定	209
15.2	平均処置効果と共分散分析	212
15.3	外挿の問題	213
15.4	閾値における局所的な平均処置効果	215

15.5 回帰不連続デザインによる解析	216
15.6 回帰不連続デザインの図解	218
15.7 回帰不連続デザインの理論	220
15.8 回帰不連続デザインの現状	221
<b>Chapter 16 回帰不連続デザインの応用</b>	<b>223</b>
16.1 使用するデータ：選挙における現職の利点	223
16.2 図を使った解析	225
16.3 数値による分析	229
16.4 R パッケージ <code>rdrobust</code> による解析：基本編	230
16.5 カーネル密度推定	232
16.6 カーネル関数の選択	235
16.7 バンド幅の選択	236
16.8 RD プロット	239
<b>Chapter 17 回帰不連続デザインの仮定および実践</b>	<b>242</b>
17.1 連続性の仮定と強制変数の操作	242
17.1.1 強制変数の操作の仮定の緩和条件	243
17.1.2 グラフによる連続性の仮定の診断	243
17.1.3 フォーマルな検定による連続性の仮定の診断	245
17.2 R パッケージ <code>rdrobust</code> による分析：上級編	247
17.2.1 使用するデータ	247
17.2.2 データの可視化	248
17.2.3 連続性の仮定の診断	250
17.2.4 解析 1：共変量なし	250
17.2.5 共変量の追加	253
17.2.6 解析 2：共変量あり	254
<b>Chapter 18 ファジーな回帰不連続デザイン</b>	<b>255</b>
18.1 ファジーな回帰不連続デザイン	255
18.2 使用するデータ	256
18.3 R によるファジー RDD	259
<b>Chapter 19 欠測データ処理の基礎</b>	<b>263</b>
19.1 欠測のメカニズム	263
19.2 単一代入法	264
19.3 多重代入法とそのアルゴリズム	267
19.4 多重代入法を用いた解析の流れ	269
19.5 結果の統合方法	270

19.6 R パッケージ <code>mice</code> による解析方法	273
19.7 適合性の問題	274
19.8 多重代入法の診断方法	274
19.9 実験研究における欠測値の処理	274
19.10 交互作用項のある重回帰モデルにおける欠測値処理	274
<b>Chapter 20 統計的因果推論における欠測データ</b>	<b>281</b>
20.1 傾向スコアマッチングにおける欠測値の処理	281
20.2 操作変数法における欠測値の処理	286
20.3 回帰不連続デザインにおける欠測値の処理	289
<b>Chapter 21 統計的因果推論手法としての多重代入法</b>	<b>294</b>
21.1 先行研究	294
21.2 多重代入法による平均因果効果の推定	295
21.3 多重代入法による個体因果効果の推定	298
<b>おわりに</b>	<b>303</b>
<b>参考文献</b>	<b>305</b>
<b>索引</b>	<b>313</b>