

目 次

| | | |
|--------------|---------------------|-----------|
| 第 1 章 | はじめに | 1 |
| 1.1 | 背景 | 1 |
| 1.2 | 有向グラフを用いた因果推論 | 4 |
| 1.3 | Neyman-Rubin の因果モデル | 10 |
| 1.4 | 相関関係か？因果関係か？ | 16 |
| 1.4.1 | チョコレートとノーベル賞 | 16 |
| 1.4.2 | おむつとビール | 19 |
| 1.5 | 問題意識 | 24 |
| 第 2 章 | 準 備 | 31 |
| 2.1 | 因果推論における確率的考え方 | 31 |
| 2.2 | 事象の確率 | 32 |
| 2.3 | 確率変数 | 37 |
| 2.4 | 確率変数ベクトル | 38 |
| 2.5 | グラフォイド原理 | 46 |
| 2.6 | グラフ用語 | 48 |
| 2.7 | 有向分離基準 | 52 |
| 2.8 | ベイジアンネットワーク | 56 |
| 2.9 | ランダム化 | 64 |
| 第 3 章 | 因果ダイアグラムの基礎 | 69 |
| 3.1 | 因果関係の頑健性 | 69 |
| 3.2 | 因果ダイアグラム | 70 |
| 3.2.1 | 定義 | 70 |
| 3.2.2 | 考察 | 72 |
| 3.3 | 確率・構造的因果モデル・物理モデル | 77 |

| | | |
|------------|-----------------------------|------------|
| 3.4 | 矢線の解釈 | 81 |
| 3.5 | モジュール性と外的操作 | 83 |
| 3.6 | 因果効果 | 89 |
| 3.7 | バックドア基準 | 94 |
| 3.7.1 | 非交絡 | 94 |
| 3.7.2 | 定式化 | 99 |
| 3.7.3 | 考察 | 102 |
| 3.7.4 | 共変量同値 | 103 |
| 3.8 | Change-in-Parameter 基準 | 105 |
| 第4章 | 有向グラフに基づく因果効果の識別可能条件 | 109 |
| 4.1 | はじめに | 109 |
| 4.2 | 代表的な識別可能条件 | 109 |
| 4.2.1 | フロントドア基準 | 109 |
| 4.2.2 | 考察 | 113 |
| 4.2.3 | 一般的識別可能条件 | 115 |
| 4.3 | 推論規則 | 119 |
| 4.3.1 | 計算公式 | 119 |
| 4.3.2 | 計算例 | 124 |
| 4.4 | 条件付き因果効果に関する注意点 | 128 |
| 4.4.1 | 条件付き外的操作 | 129 |
| 4.4.2 | 確率的外的操作 | 132 |
| 4.5 | 誤分類問題への対応 | 132 |
| 4.5.1 | 行列調整法 | 133 |
| 4.5.2 | 考察 | 134 |
| 4.5.3 | Effect Restoration 法 | 135 |
| 4.6 | 同時因果効果 | 139 |
| 4.6.1 | 許容性基準 | 139 |
| 4.6.2 | 識別可能条件を得るためのアイデア | 144 |
| 4.7 | 効果の修飾と交互作用効果 | 150 |
| 4.7.1 | はじめに | 150 |

| | | |
|-------|-------------------|-----|
| 4.7.2 | 概念による違い | 151 |
| 4.7.3 | 指標による違い | 155 |

第5章 線形構造方程式モデルに基づく因果効果の識別可能条件 159

| | | |
|-------|---------------------------------------|-----|
| 5.1 | 線形構造方程式モデルの重要性 | 159 |
| 5.2 | 有向グラフによる因果関係の表現 | 161 |
| 5.2.1 | 準備 | 161 |
| 5.2.2 | 因子モデル | 163 |
| 5.2.3 | 回帰モデルから導かれる基本公式 | 165 |
| 5.3 | 総合効果と直接効果 | 167 |
| 5.3.1 | 中間変数が存在しないケース | 168 |
| 5.3.2 | 中間変数が存在するケース | 170 |
| 5.3.3 | 要因効果と総合効果・直接効果 | 171 |
| 5.4 | 相関の分解 | 173 |
| 5.5 | 総合効果の識別可能条件 | 174 |
| 5.6 | Linear Effect Restoration 法 | 178 |
| 5.7 | 操作変数の新たな見方 | 183 |
| 5.8 | 考察 | 186 |

第6章 潜在反応モデル 193

| | | |
|-------|-------------------------------|-----|
| 6.1 | はじめに | 193 |
| 6.2 | 構造的因果モデルから潜在反応モデルへ | 194 |
| 6.2.1 | 潜在反応変数の構成 | 195 |
| 6.2.2 | 例 | 199 |
| 6.3 | 一致性 | 203 |
| 6.4 | 因果効果：再考 | 208 |
| 6.5 | 交換可能性 | 210 |
| 6.6 | 有向グラフを用いた因果推論の有用性 | 212 |
| 6.6.1 | グラフィカルモデルから潜在反応モデルへ | 212 |
| 6.6.2 | 例：フロントドア基準 | 214 |
| 6.6.3 | グラフィカルモデルの問題点 | 215 |
| 6.6.4 | 共変量選択問題 | 218 |

| | |
|------------------------------|------------|
| 第7章 原因の確率とその周辺 | 223 |
| 7.1 はじめに | 223 |
| 7.2 因果推論における3つの階層 | 225 |
| 7.3 原因の確率：定義とその解釈 | 227 |
| 7.4 原因の確率の存在範囲 | 233 |
| 7.4.1 導出方法 | 233 |
| 7.4.2 共変量情報の利用 | 239 |
| 7.4.3 存在範囲の解釈 | 242 |
| 7.5 原因の確率の識別可能条件 | 245 |
| 7.6 その他の因果的尺度 | 247 |
| 7.6.1 予防割合 | 247 |
| 7.6.2 交通コンフリクト | 249 |
| 7.6.3 部分集団における因果効果 | 253 |
| 第8章 効果の分解問題とその周辺 | 259 |
| 8.1 パラドックス | 259 |
| 8.2 直接効果と間接効果 | 264 |
| 8.2.1 定義とその解釈 | 264 |
| 8.2.2 媒介性の評価尺度 | 267 |
| 8.3 識別可能条件 | 269 |
| 8.3.1 逐次的無視可能条件 | 269 |
| 8.3.2 例：識別可能なケース | 272 |
| 8.3.3 例：識別不能なケース | 273 |
| 8.3.4 交互作用効果の影響 | 276 |
| 8.4 直接効果の存在範囲 | 278 |
| 8.4.1 制御された直接効果 | 279 |
| 8.4.2 自然な直接効果 | 280 |
| 8.5 主要層別解析 | 282 |
| 参考文献 | 289 |
| 索引 | 305 |