

Excel

による

統計的

因果推論

著
杉原哲朗

Sugihara Tetsuro

入門
データ
サイエンス
シリーズ



理工図書

Excel

による

統計的

因果推論

入門
データ
サイエンス
シリーズ



著

杉原哲朗

Sugihara Tetsuro



はじめに

「ディープラーニング」や「生成AI」など、データサイエンスには、片仮名やアルファベットで付けられた名前がいろいろあります。

そんな中、「因果推論」は四字熟語のような名前で、雰囲気違います。

「因果推論」という言葉に、どのようなイメージがあるでしょうか？

- 「因果」とあるから、哲学や仏教の話？
- 「論」とあるから、何かの思想や主義の話？
- 「推論」とあるから、論理学の話？それとも、人工知能の話？

本書の「因果推論」は、「原因と結果の関係を考える方法」という意味です。本書の執筆時点で、「因果推論」や、その英語名の「Causal Inference」について説明している本を探したところ、136冊見つけました。それらの内、128冊については、単に「考える」ではなく、「統計的に考える」になっていて、統計的因果推論を解説していました。本書は、統計的因果推論の専門書ですが、必要に応じて、統計的ではない話題も紹介しています。

「原因とは何か？」、「関係とは何か？」ということが、気になる読者もいらっしゃるかもしれません。それを議論している専門書もありますが、本書では、日常的な意味で使うことで、実務向けの解説を進めています。

私たちは、因果推論を子どもの頃から使いこなしています。子どもの頃から使っている因果推論は、「私にとっての因果」と言えるようなものです。「私にとっての因果」は、生きて行くのに大切な知識です。

しかし、大人になるにつれて、「私にとっての因果」では、不十分になってきます。「誰にとっても因果」とまでは行かないかもしれませんが、ある程度は、客観的に考えても因果と言えるようなものでなくては困ります。

因果推論を改めて学ぶと、生まれながらに持っている因果推論の能力が、レベルアップします。

本書の特徴

本書は、因果推論の入門書です。入門書ですが、本書だけでも、因果推論が身近な問題解決に役立つことを目指して執筆しています。

身近な問題にデータサイエンスを活用するための本

データサイエンスには、様々なツールや理論があります。

データサイエンスは、「予測の技術」と理解されることが多いようです。予測の技術の場合、身に付けて、実際に起きている問題に活用できるようになるためには、ある程度の勉強が必要です。

ところで、予測の技術を学んだのに、実際の仕事の中で活用する機会がない人は、機会がある人よりも圧倒的に多いようです。

一方、因果推論の中には、様々な理論がありますが、身近な問題で活用できるものは、それほど難しくありません。物事を検証する時の基本的な考え方でもあるので、「因果推論」という分野を学んだことがなくても、身に付いている人もいらっしゃると思います。

また、因果推論は、日常的に誰でもしているものなので、「学んでも使う機会がない」ということには、なりにくいです。

身近な問題に活用するデータサイエンスとしては、因果推論がぴったりです。

Excelを、統計的因果推論の道具箱にする本

統計的因果推論の専門書に書いてあるようなことをするのなら、腰を据えて勉強しなければいけませんし、PythonやRといったソフトウェアの準備も必要です。

しかし、毎日の仕事の中で役立つレベルの統計的因果推論なら、初歩的な知識で十分です。そして、Microsoft社のExcelは、初歩的な統計的因果推論の道具が充実しています。

また、正確な数字はわかりませんが、デスクワークをしている人は、パソコンが身近にあり、そうしたパソコンのほとんどには、Excelが入っています。

Excelでグラフを作ったことがあれば、あるいは、Excelで関数を使ったことがあれば、統計的因果推論は始められます。

「足りないのは、初歩的な統計的因果推論の知識だけ」という人は、とても多いと思います。本書では、初歩的な統計的因果推論をご紹介します。

専門書を読み解く前の基礎固めの本

統計的因果推論の専門書は、日本語のものだけでも、既に数十冊があります。統計的因果推論は、原因と結果の関係を扱う分野なので、誰にとっても身近なものはずですが、専門書の内容は簡単ではありません。

専門書の内容について、初心者向けにわかりやすく解説している本は出始めていますが、それでもまだ、身近な出来事と統計的因果推論との関係がわかりにくいようです。

本書は、身近な統計的因果推論からスタートします。そこから徐々に基礎を固めて、専門書の話題につながるようにしています。基礎固めをしてから学ぶと、自分のテーマへの応用がしやすいと思います。

9章は、統計的因果推論の専門書へのガイドです。筆者の視点でまとめたものですが、読者が次に進むための一助になれば、幸いです。

本書の構成

本書は、9つの章で構成しています。

以下の表には、難易度も付けました。「低・中・高」というのは、この本の中での、相対評価になります。

初歩的な統計的因果推論は、「低」の章です。「中・高」については、レベルが高めなだけでなく、実務の中で出番が少ない知識です。「中・高」については、最初は、読み飛ばすのも、読み方のひとつです。

本書は、統計的因果推論の本ですが、統計的ではない因果推論も、必要に応じて説明しています。

章	内容	難易度	
1章	因果推論の概要	低 ★☆☆	
2章	本書の中心 Excelを使う	低 ★☆☆	
3章		低 ★☆☆	
4章		因果関係の裏付け (データの種類によって章が違う)	中 ★★★
5章		低 ★☆☆	
6章		中 ★★★	
7章		中 ★★★	
8章		因果探索	中 ★★★
9章	発展的な話題 RやPythonが必要な話題	高 ★★★★★	

1章は、統計的因果推論の概要です。2章から8章は、本書の中心となります。Excelを使いつつ統計的因果推論を紹介します。

2章から8章までについては、8章と8章以外に大きく分かれます。

2章から7章までは、「これとこれは、原因と結果の関係になっているはずなので、検証したい」という場面の方法です。原因系と結果系の変数の種類によって、分けています。このような分け方は、統計的因果推論の解説書としては、一

般的ではありませんが、多変量解析や機械学習を知っている人にとっては、理解しやすい分け方だと思います。ただし、多変量解析や機械学習の文献では、「原因系・結果系」ではなく、「説明変数・目的変数」や、「特徴量・ラベル」といった書き方をします。

			結果系		
			質的変数		量的変数
			2値	多値	
			原因系	質的変数	2値
多値		3章			
量的変数		7章		—	5章

本書の2章と3章では、ランダム化比較試験を紹介します。2.1では、私たちが日常の中で無意識にしている統計的因果推論から、先人が築き上げてくれた統計的因果推論への橋渡しをします。橋を渡った先にあるのが、ランダム化比較試験です。ランダム化比較試験は、IT関係では、ABテストと呼ばれています。

8章は「行も列もたくさんあるデータがあり、因果関係をその中から見つけたい」という場面の方法です。「これとこれは、原因と結果の関係になっているはず」という前提が2章から7章までにはありますが、この前提がわからない時に、データの中からこの前提を見つけるための方法とも言えます。専門書では、「因果探索」と呼ばれています。

この本のタイトルにある「Excelによる」という内容は、8章までです。9章は、統計的因果推論について、本書の内容では、足りない方へのガイドです。

本書の対象読者

本書は、Excelの基本操作の経験があり、グラフを作ったことや、関数を使って平均値などを計算したことがある人を想定しています。本書では、Excelの作業をできるだけいねいに説明しようとしています。因果推論をする時に、特徴的な操作を中心にした説明にしています。そのため、ファイルの保存の仕方、といった基本操作の説明は省略しています。

「因果推論の本は初めて」という方を想定していますが、「因果推論の解説書を読んだが、自分の仕事で使うようなものには見えなかった」、「統計学を勉強したことがあるが、抽象的で実感がわからない」となっている方が、学び直しをする時の資料にもなることも意図しています。本書に一度目を通すことで、以前、学んだ資料の理解が深まれば幸いです。

謝辞

本書に対して出版の機会を与えてくださった理工図書様、また、本書を親しみやすいデザインとイラストで仕上げてくださいました志岐デザイン事務所様に感謝申し上げます。

本書の構想は、津久井靖彦様との議論から始まりました。本を書くことに不慣れな筆者に対して、筆者に必要な資料を的確に汲み取ってご紹介いただき、また、出版の世界をわかりやすくご教示いただきました。それらのアドバイスをいただく中に、本書の構想は、だんだんと具体的な形にすることができました。この場を借りて、御礼申し上げます。

Contents

はじめに.....	iii
本書の特徴.....	iv
身近な問題にデータサイエンスを活用するための本.....	iv
Excelを、統計的因果推論の工具箱にする本.....	v
専門書を読み解く前の基礎固めの本.....	v
本書の構成.....	vi
本書の対象読者.....	viii
謝辞.....	viii



Chapter

1

明日からできるデータの活用

それが因果推論.....2

1.1 因果推論とは.....2

1.1.1 研究のための因果推論.....3

1.1.2 仕事のための因果推論.....3

1.2 因果関係は、図で表そう! 因果ダイアグラム.....3

1.2.1 有向非巡回グラフ.....5

1.2.2 連関図.....6

1.3 「何でも起きています」で裏付けよう! 統計的因果推論.....7

1.4 3種類の指標で裏付けよう! 統計的仮説検定.....8

1.4.1 違いの大きさを見よう : 因果効果.....9

1.4.2 ばらつきを確認しよう : 効果量.....10

1.4.3 データの量の確からしさを確認しよう : P値.....11

1.4.4 P値だけで判断してはいけない.....12

豆知識 因果関係ができていない理由を突き止めよう! : なぜなぜ分析.....14

1.5 小さな実験をしよう! 統計的因果推論の、陰の立役者.....16



Chapter

2

「この薬で治る!」をデータで裏付けよう 比率の違いの分析	18
2.1 データを用意する 検証に必要な、4つの数字を用意	19
2.1.1 4つの数字を表にする	20
2.1.2 4つの数字の作り方 : 分割表	21
2.2 データを見る 棒グラフ	23
2.3 因果効果を確認する 比率の差	26
2.4 効果量を確認する 比率の比・オッズ比	26
2.4.1 比率の比	26
2.4.2 オッズ比	27
2.5 P値を確認する 比率の差の検定・オッズ比の検定	29
2.6 応用編	32
2.6.1 理想的なデータを集めよう : ランダム化比較試験	32
2.6.2 2種類を比べよう : ABテスト	34
2.6.3 データからわからないことを知っておこう : 交絡	34
2.6.4 事後研究の限界を知っておこう : ケース・コントロール研究とオッズ比	35
豆知識 「治る・治らない」のデータはあいまい	37



「点数が上がった!」をデータで裏付けよう 平均処置効果の分析	38
3.1 データを用意する 「対策あり」・「対策なし」のデータを用意	38
3.2 データを見る 層別1次元散布図	39
3.3 因果効果を確認する 平均値の差・平均処置効果	41
3.4 効果量を確認する コーエンのd	42
3.5 P値を確認する 母平均の差の検定	44
3.6 応用編	45
3.6.1 対策の効果以外が混ざっていたらどうする? ：差分の差分法	46
3.6.2 時系列データなので、時系列の情報が使えないか? ：折れ線グラフ	47
3.6.3 境界線の近くでは、違いが出ていないか? ：回帰不連続デザイン	49
3.6.4 製造装置による違いはあるのか? : 分散分析	51
豆知識 「データ」タブに「データ分析」が表示されていない場合	55
3.6.5 データが多い時はどうする? : 箱ひげ図	56
3.6.6 品質のばらつきは、小さくなったのか? : 分散の比の検定	57
豆知識 比率と平均値の関係	59



「この運動で体重は減る!」をデータで裏付けよう

個別処置効果の分析	60
4.1 データを用意する 「運動前」・「運動後」のデータを用意.....	60
4.2 データを見る 個別の折れ線グラフ.....	61
4.3 因果効果を確認する 個別の差・個別処置効果.....	64
4.4 効果量を確認する コーエンのd.....	66
4.5 P値を確認する 対応のある母平均の差の検定.....	68
4.5.1 対応のない母平均の差の検定では、 「効果はなし」になるのは、なぜか?.....	69
4.6 応用編	69
4.6.1 似ている人のデータを利用 : マッチング法.....	70
4.6.2 似ている人がいない場合 : 層別散布図.....	72
4.6.3 ないデータを作って使う : メタラーナー・反実仮想機械学習.....	73
4.6.4 不連続ではない時は? : 合成コントロール法.....	76
4.6.5 対策なしのデータがない時は? その1: ARIMAモデル.....	79
4.6.6 対策なしのデータがない時は? その2: 共変量分析.....	81
4.6.7 対策なしのデータがない時は? その3: コウザルインパクト.....	82
豆知識 体重の分析に、身長 of データを活用する.....	85



「暑い日は売れる！」をデータで裏付けよう

相関の分析 86

5.1 データを用意する
売上と気温のデータを用意 86

5.2 データを見る
散布図 87

5.3 因果効果を確認する
傾き 88

5.4 効果量を確認する
相関係数 90

5.5 P値を確認する
相関係数の検定(傾きの検定) 91

5.5.1 相関係数の検定の間違った使い方 93

5.6 応用編 94

5.6.1 ジュースの売上の原因は、アイスクリームの売上か？
：疑似相関 94

5.6.2 雨も原因ではないか？ : 重回帰分析 95

5.6.3 5台の自動販売機のデータが混ざっていたら？
：線形混合モデル 98

5.6.4 空き缶はどのくらい増えるか？ : 操作変数法 103

5.6.5 個数や回数のデータ分析は？ : ポアソン回帰分析 104

豆知識 原因が2値データの場合と、連続データの場合の共通点 110



Chapter

6

「地域によって、好みの味が違う!」をデータで裏付けよう 質的変数の相関の分析

 112

- 6.1 データを用意する
県ごとに、ラーメン店の味付けのリストを用意 113
- 6.2 データを見る
棒グラフ 114
- 6.3 効果量を確認する
連関係数 115
- 6.4 P値を確認する
独立性の検定 119



Chapter

7

「たくさん飲んだ方が治る!」をデータで裏付けよう 比率の変化の分析

 120

- 7.1 データを用意する 121
- 7.2 データを見る
層別1次元散布図 121
- 7.3 因果効果を確認する
傾き・オッズ比 123
 - 7.3.1 確率が0.5の時の傾き 129
 - 7.3.2 オッズ比 131
- 7.4 効果量を確認する
精度 133
- 7.5 P値を確認する
尤度比検定・独立性の検定 134
 - 7.5.1 尤度比検定 134
 - 7.5.2 独立性の検定 137
- 7.6 応用編 139
 - 7.6.1 体重と年齢も原因ではないか? : ロジスティック回帰分析 139
 - 7.6.2 傾向スコアとロジスティック回帰分析 142



「不良品ができた原因は、何か？」をデータで解決しよう

因果探索 144

- 8.1 データを用意する**
不良品と良品について、関係しそうなデータを用意 144
- 8.1.1 簡単に判断できる項目を削除 146
- 8.1.2 質的変数が混ざっている場合の前処理 : ダミー変数 147
- 8.2 データを見る**
スパークライン 151
- 8.3 関係を数字で表現する**
相関行列分析 153
- 8.3.1 色で見やすくしよう : ヒートマップ 155
- 8.3.2 構造を見よう : グラフィカルモデリング 156
- 8.4 わかったことを整理する**
必要条件と十分条件 158
- 8.4.1 りんごが原因か? : 包含関係の「ならば」と、
因果関係の「ならば」の違い 161
- 豆知識 「かつ」を見つける方法 決定木 162



統計的因果推論を、

さらに勉強するためのガイド 164

- 9.1 事実と反事実の関係から調べる**
ルービン流とパール流 165
- 9.1.1 ルービン流・パール流に共通なこと 165
- 9.1.2 ルービン流で特徴的なこと 166
- 9.1.3 パール流で特徴的なこと 166
- 9.2 因果関係を数式で表現する**
回帰分析の応用 167
- 9.2.1 複雑な関係を図にしてから、関係を計算 : パス解析 167

9.2.2	測っていない原因を導き出す : 因子分析・潜在変数	168
9.2.3	潜在変数のパス解析 : 共分散構造分析	169
9.2.4	多項ロジスティック回帰分析と、順序ロジスティック回帰分析	170
9.2.5	一般化線形モデル	171
9.3	判断の理由を示す 説明可能なAI	171
9.4	原因の確率を調べる	172
9.5	因果関係を総当たりで調べる 因果探索	173
9.5.1	LiNGAM	173
9.5.2	ベイジアンネットワーク	175
9.5.3	データの非対称性と、因果関係	176
9.6	因果関係の時間的な変化を調べる 時系列分析	177
9.6.1	グレンジャー因果性	178
9.6.2	VARモデル	178
9.6.3	有向巡回グラフ	179
9.7	ランダム化比較試験を高度にする 実験計画法	179
	索引	182





明日からできるデータの活用

それが因果推論

本章では、実際に因果推論を用いる時に、知っておくと良い話を紹介します。因果推論の実務の中で、統計的因果推論がどんな場面で必要になるのかが、より深く理解できるようにまとめています。



1.1 因果推論とは

因果推論の「因」は、「原因」の「因」です。「果」は、「結果」の「果」です。因果推論とは、原因と結果の関係を扱う学問です。

原因と結果は、とても身近です。「因果推論」という言葉は、身近ではないかもしれませんが、因果推論は、誰にとっても身近です。

私たちは、毎日の生活の中で、「なぜ?」、「どうして?」と因果推論をしています。例えば、朝、起きたら、スマートフォンがなかったとします。「スマートフォンがない」という結果に対して、「なぜ、ないのか?」という原因を考えます。

また、例えば、赤い食べ物を食べて、「辛い」という経験があると、食べる前に赤い部分がないかを確認するようになります。

こういった事例を挙げればきりがありませんが、これらは因果推論です。

1.1.1 研究のための因果推論

大学や民間の研究所などでは、研究が仕事です。研究では、「こうではないか？」という仮説を立てます。立てた仮説について、「本当にそうなのか？」という検証をしなければいけません、その技術が因果推論になります。

研究の仕事の場合は、誰にとっても成り立っている因果や、何度でも再現できる因果を扱うので、因果推論には確からしさが必要になります。

1.1.2 仕事のための因果推論

仕事には、いろいろなものがありますが、研究の仕事でなくても、「こうなったのは、なぜか？」、「思うようにならないのは、なぜか？」と、考える場面はたくさんあります。

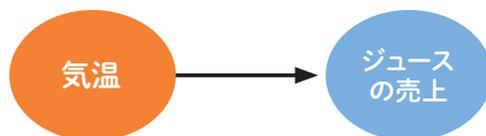
こういった場面では、研究としての因果推論のような厳密さは必要ありませんが、「スマートフォンのありか」や「赤いものは、辛いもの」といった身近な因果推論よりは、しっかりとした裏付けが必要になります。

本書で扱うのは、この領域です。

1.2 因果関係は、図で表そう! ▶ 因果ダイアグラム

「気温が上がると、ジュースの売上が上がる」という因果関係を例にします。気温が原因で、ジュースの売上が結果です。

この関係を図で表すのなら、下のようにします。矢印の元が原因、先が結果を表すようにします。

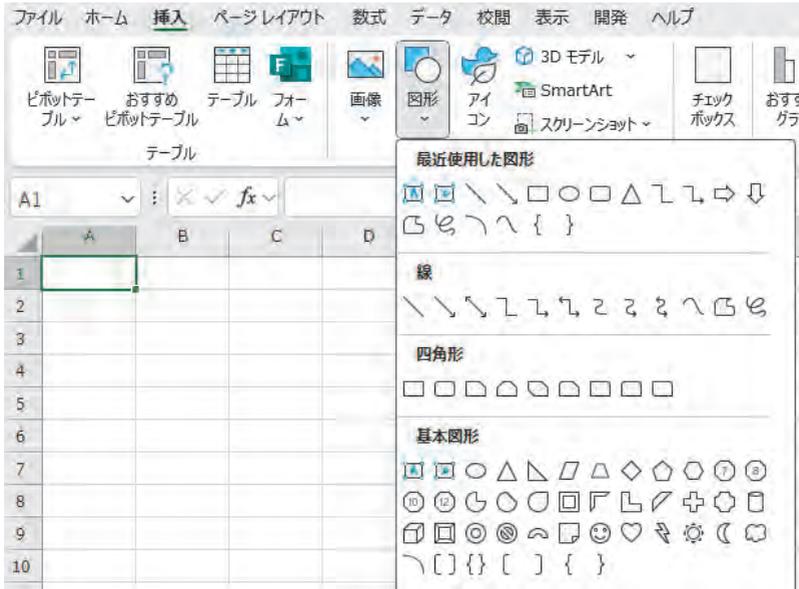


このルールで図を作る場合、「気温が上がると、ジュースの売上が下がる」という因果関係だとしても同じ図になります。その点が不便なこともあります、



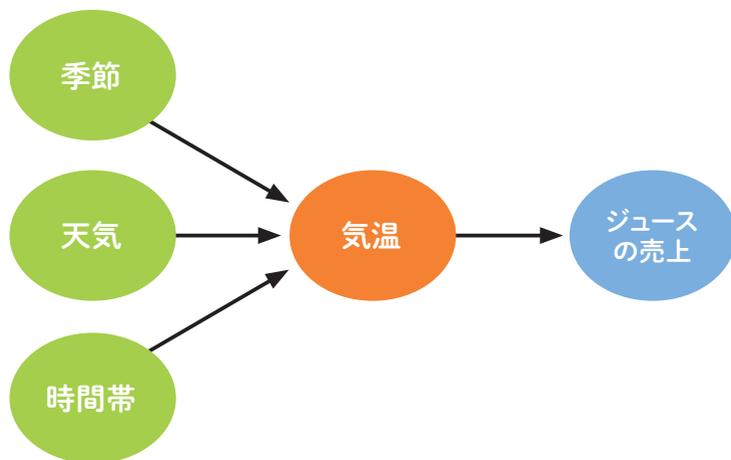
因果関係だけが表せれば良いのなら、この図で十分です。

この図は、Excelの「挿入」タブの「図形」にある、「楕円」と「線矢印」で書いています。



気温が変化する原因としては、季節、天気、時間帯なども考えられますが、それも図に加えると、次のようになります。

この関係は、言葉や数式でも表せますが、図を使えば、パッと見てわかります。自分自身の知識を整理したり、人に説明したりする時に、とてもわかりやすいです。



このような図は、統計的因果推論で、「因果ダイアグラム」と呼ばれます。「因果図」、「因果グラフ」、「パス図」などと呼ばれることもあります。

数学では、矢印で表すこのようなグラフを、「有向グラフ」と呼びます。「向きが有るグラフ」という意味です。

1.2.1 有向非巡回グラフ

矢印が戻って、因果が巡回しない有向グラフは、「有向非巡回グラフ」と呼ばれます。統計的因果推論の専門書では、「DAG」という言葉が何度も出て来ることがあります。DAGは、有向非巡回グラフ (Directed **A**cylic **G**raph) の略です。

「気温によって、売上が変わる」という因果関係は、有向非巡回の一例です。統計的因果推論の理論は、非巡回を想定しているものがほとんどです。本書も、基本的に非巡回の理論を紹介しています。巡回する場合の理論は、「9.6.3 有向巡回グラフ」で説明します。



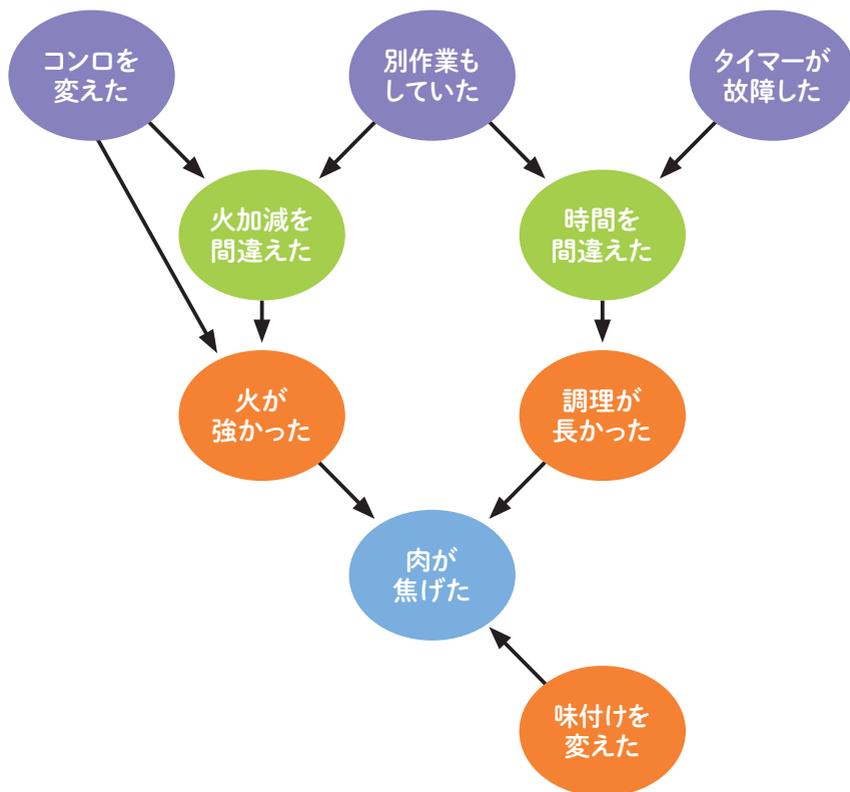
1.2.2 連関図

品質管理の分野では、「QC7つ道具」や「新QC7つ道具」という名前で、誰もが知っているという良い仕事の道具がまとめられています。

そのひとつになっている連関図は、原因と結果の関係を矢印で表しています。連関図も因果ダイアグラムです。連関図は、知識の整理や、調査結果の整理の方法として使うことが多いです。

次の例は、「肉が焦げた」という問題について、思い当たる原因を、連関図を使って整理したものです。

品質管理で連関図を使う時は、まず、思い当たる原因を連関図にしてみたら、実際に起こったことは、どれなのかを確認して行きます。連関図にすると、自分の頭の整理ができますし、自分以外の人と認識を共有しやすくなります。



1.3 「何度も起きています」で裏付けよう! ▶ 統計的因果推論

身の回りには、「理由はわからないけれども、そうなっているらしい」という因果関係がたくさんあります。

例えば、赤いものを食べて、「辛い!」という経験が1回でもあると、「赤いものは、辛い」という知識が身に付きます。2回、3回と、増えていくと、この知識は確信が強くなります。赤くても、辛いものも食べる経験があると、「赤いものは、必ず、辛い」という知識にはなりません、「赤いものを食べると、辛い可能性がある」という知識は残ります。

このような因果推論では、「なぜ、赤いものは、辛いのか?」という理由は、まったくわかっていません。

「2回、3回と、増えていくと、この知識は確信が強くなります」と書きましたが、統計的因果推論では、ここがポイントです。これによって、その因果関係がある理由が解明できていなかったとしても、因果関係が活用できるようになります。

さて、既にお気づきかもしれませんが、「2回、3回と、増えていくと、この知識は確信が強くなります」という統計的因果推論は、読者は日常的に、しかも無意識にしていると思います。もっと言うなら、人間以外の動物も、日常的にしています。

本書の2章は、日常的な統計的因果推論からスタートします。

日常的な統計的因果推論では、経験として結果的に回数が増えていきます。「回数を増やすことは、検証になる」ということを、意識して使うと、日常的な因果推論では扱わないような、複雑で規模の大きな因果関係でも、明らかにすることができます。

統計的因果推論の分野では、このような考え方を整備して、もっと複雑な場合にも応用できるようにしています。



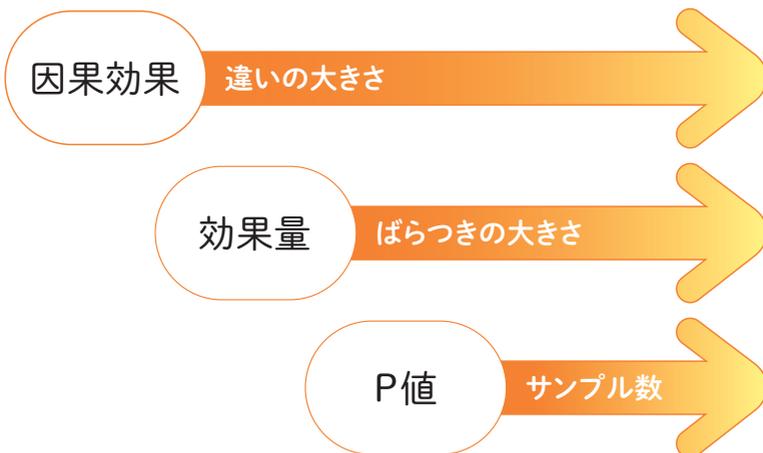
1.4 3種類の指標で裏付けよう! ▶ 統計的仮説検定

統計的仮説検定は、「仮説検定」や「検定」とも呼ばれています。

本書の2~7章では、「因果関係がある」という仮説を裏付ける方法を説明しています。検定は、2~7章で中心になる方法です。そのため、本書の統計的因果推論では、検定の説明を多くしています。

まず、データを観察します。次にグラフを作って、因果関係の有無を判断します。ここまですぐ、一度、因果関係の有無を判断してみます。

その次に、因果効果、効果量、P値（「ピーち」と読みます）という、3種類の指標を計算して、判断を補強して行きます。



次の表は、それぞれの章で使っている指標をまとめたものです。

	因果効果	効果量	P値
2章	比率の差	オッズ比 比率の比	比率の差の検定 オッズ比の検定
3章	平均値の差	コーエンのd	対応のない母平均の差の検定
4章	個別の差	コーエンのd	対応のある母平均の差の検定
5章	傾き	相関係数	相関係数の検定
6章	—	連関係数	独立性の検定
7章	傾き・オッズ比	精度	尤度比検定 独立性の検定

本書では、2章の「比率の比」以外は、因果効果や効果量のそれぞれについて、P値を計算できるようにまとめています。例えば、因果効果の「比率の差」には、P値を計算する方法として、「比率の差の検定」があります。

3～5章については、因果効果と効果量の両方に対して、同じ検定が対応します。

以下では、3種類の指標の使い方について、順に説明します。

1.4.1 違いの大きさを見よう : 因果効果

因果効果は、原因の違いによる結果の違いを表す量です。例えば、平均点が70点の人が、対策によって平均点が80点になったとしたら、因果効果は10点です。気温が1°C違うと、売上が2000円違うのなら、因果効果は2000円/°Cです。

例えば、因果効果を計算して、10点ではなく、0.2点しかなかったとします。100点満点のテストなら、「これくらいの差は、効果があるとは言えない」という判断ができます。

「効果が出ている」という判断は、例えば、テストの点の場合、常識的にどのくらいの差があれば良いのかは判断できます。しかし、専門性の高いテーマの場



「この薬で治る！」

をデータで裏付けよう

比率の違いの分析

なかなか治らない「コワイ病」という病気で、悩んでいるとします。そんなある日、「田中さんは、カナラズナオールを飲んで治りました」と、聞いたとします。

「では、私も使ってみよう！」となるでしょうか？

日常的な話として、こういった話は、よくあります。田中さんが身近な人の場合や、話をしてくれた人が身近な人の場合は、「よくわからないが、試してみよう」となるかもしれません。また、コストやリスクが小さいようなら、試してみるかもしれません。

試すか試さないかを、決めきれない場合は、もっとしっかりとした裏付けを取ると良いです。

2章は、日常的な統計的因果推論から、専門的な統計的因果推論への入口です。

4つの数字の話をしませんが、それほど難しくはないです。「常識」として普段から意識している人もいらっしゃるかと思います。

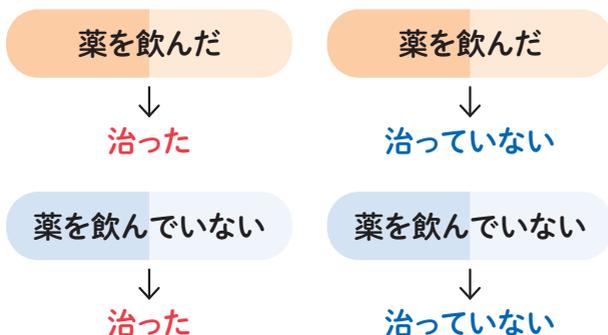
ところが、4つの数字を示さずに、治った人の話だけをして、「効果があります！」という説明をしている例は、よく見かけます。

2章は、3章から7章までの基礎になっています。3章から7章では、4つの数字の境界が明確に分かれていません。明確に分かれないことで、難易度も上がって来ます。2章の中で、4つの数字の考え方をマスターしておくことが、おすすめです。



2.1 データを用意する ▶ 検証に必要な、4つの数字を用意

4つの数字とは、以下のような4種類の人の数です。



ひとつずつ、理由を説明します。

● 薬を飲んだ・治った

1人では、本当にカナラズナオールで治ったのかは、言い切れないところがあります。

しかし、カナラズナオールを飲んだ後に、治った人が、2人、3人と増えれば増えるほど、原因としての確からしさが強くなります。

● 薬を飲んだ・治っていない

「治った」という話に目が行きがちですが、もしかしたら、「飲んだが、治っていない」という人がたくさんいるかもしれません。

「治った」という話だけを聞いていると、「カナラズナオールを飲めば、治る」というように思えて来ますが、確認する必要があります。

● 薬は飲んでいない・治った

「カナラズナオールが原因」と思っていると忘れがちですが、「何も飲んでないけど、治ったよ」という人がいるかもしれません。

もしも、何も飲んでないのに治った人が多いのなら、「カナラズナオールを飲



んだから、治った」とは考えにくいです。

なお、このデータは、「何も飲んでない」という点がポイントです。「カナラズナオールは飲んでないが、別の薬は飲んだ」という人では、治った原因が、特定できなくなります。

● 薬は飲んでいない・治っていない

この事例が多ければ多いほど、「カナラズナオールで治った」という事例の価値が高まります。

ひとつ前の事例と、この事例の共通点は、「薬は何も飲んでいない」ですが、これを「反事実」と言います。

2.1.1 4つの数字を表にする

4つの数字は、そのままでは、自分が元々持っている仮説を支持してくれる数字に注目しやすいです。

集めた4つの数字は、まず、表の形でまとめます。表にすると、客観的な考察がしやすくなります。

	A	B	C
1		薬なし	薬あり
2	治らない	30	5
3	治る	1	3

「治る・薬あり」は、上の例で、3人います。

「治る・薬あり」が1人しかいない場合ですが、1人しかいなかったとしても、「治る・薬なし」が0人だとしたら、「治る人が現れた!」ということなので、非常に大きな意味を持ちます。

また、「治らない・薬あり」の人数もチェックポイントです。「治らない・薬あり」が多いのなら、「治る・薬あり」の1人というのは、薬で治ったのではなく、薬以外の何かが原因で治った可能性も考えた方が良くかもしれません。

このように、4つの数字があると、結果の確からしさについて、考察ができるようになります。

2.1.2 4つの数字の作り方 : 分割表

ここまでは、4つの数字が、既にあることを前提に説明しています。

下のデータは、原因と結果の2つの変数があり、それぞれの変数には、相反する言葉が入っています。このように、ひとつの変数に2種類の言葉しか入っていないデータは、「2値データ」や「バイナリデータ」と呼ばれます。下のデータの場合は、原因と結果のそれぞれが2値データです。

4つの数字はなくても、原因と結果のそれぞれが2値データの場合は、4つの数字を作ることができます。以下に、その手順を説明します。

	A	B	C
1	原因	結果	
2	薬なし	治らない	
3	薬なし	治らない	
4	薬なし	治らない	
5	薬なし	治らない	
6	薬あり	治らない	
7	薬あり	治る	
8	薬あり	治る	
9			

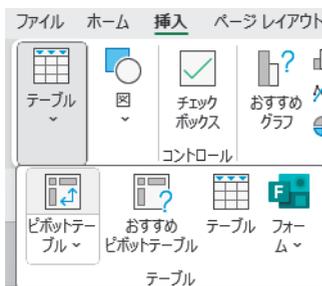
まず、データの範囲を選んでおきます。

	A	B	C
1	原因	結果	
2	薬なし	治らない	
3	薬なし	治らない	
4	薬なし	治らない	
5	薬なし	治らない	
6	薬あり	治らない	
7	薬あり	治る	
8	薬あり	治る	
9			

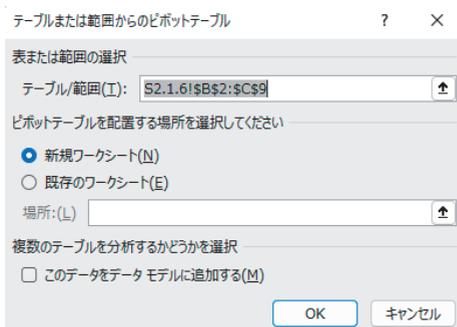


「この薬で治る!」をデータで裏付けよう

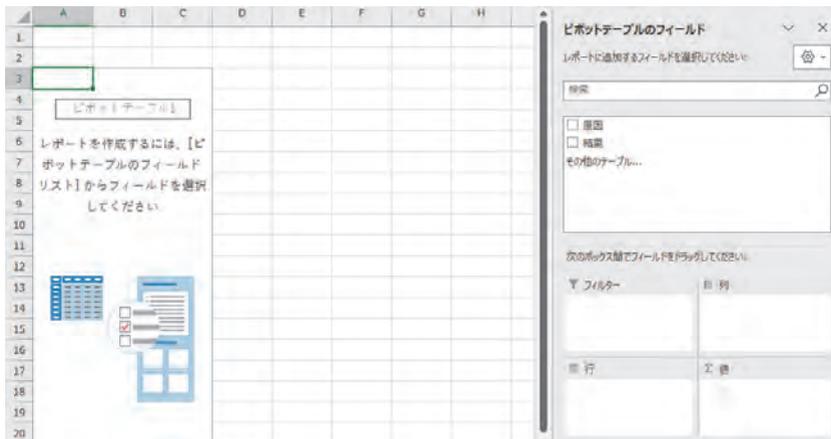
「挿入」タブの中の、「ピボットテーブル」を選びます。



事前にデータの範囲が選ばれていれば、そのまま「OK」を押します。



新しいシートができます。



「ピボットテーブルのフィールド」にある「行」、「列」、「値」のそれぞれのボックスに、「原因」と「結果」をドラッグアンドドロップします。

すると、データが集計されて4つの数字の表ができます。この表は、「分割表」と言います。表の中の空白は、0を表します。

	A	B	C	D	E	F
1						
2						
3	個数 / 原因	列ラベル				
4	行ラベル	薬あり	薬なし	総計		
5	治らない	1	4	5		
6	治る	2		2		
7	総計	3	4	7		
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						

ピボットテーブルのフィールド

レポートに追加するフィールドを選択してください:

検索

原因
 結果
その他のテーブル...

次のボックス間でフィールドをドラッグしてください:

▼ フィルター

≡ 行
結果

≡ 列
原因

≡ 値
個数 / 原因

2.2 データを見る ▶ 棒グラフ

4つの数字をグラフにして、数字の大きさをイメージしやすくします。
まず、データのある範囲を選択します。

	A	B	C
1		薬なし	薬あり
2	治らない	30	5
3	治る	1	3

「挿入」タブの中の、「集合縦棒」を選びます。





「治る・治らない」のデータはあいまい

この章のデータは、結果が「治る・治らない」の2つです。データサイエンスでは、「2値データ」や、「バイナリデータ (binary data)」という呼び方もします。

「治る・治らない」と、似たものとしては、「合格・不合格」、「良品・不良品」などがあります。

2値データは、値が2つしかなく、はっきりしています。また、0と1で表現できるので、数学やプログラミングで扱いやすいです。これらが良いところです。

しかし、実際に起こっていることと、2値の関係が、あいまいになっていることがあります。例えば、「治った」というのは、もしかしたら、本人がそれぞれの考え方で判断しているのかもしれないし、医師によって基準が違うのかもしれません。

カナラズナオールの例の場合は、「治る・治らない」よりは、「体温の変化量」、「血液中の白血球の量」、「発疹の数」といった、数字で結果を判断した方が、データのあいまいさが改善されます。「良品・不良品」の場合は、良品と不良品の判断に使っている数字（例：キズの数・濃度・厚さ・重量）を分析した方が良いです。

また、2値データの場合、数十人くらいのデータがないと、統計的な判断が難しいのですが、数字のデータにすると、10人以下のデータだとしても、効果の有無を統計的に判断できるようになります。数字のデータの扱いは、3章で紹介します。

本書で小さな実験（1.5参照）を推奨しています。小さな実験をする時には、人数をできるだけ絞りたいですが、その時には、データの種類を工夫すると良いです。

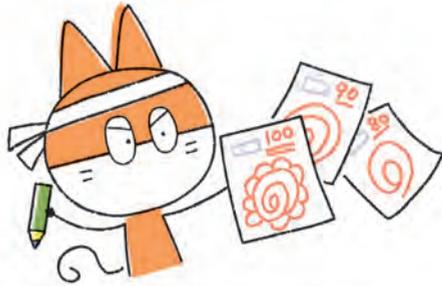


「点数が上がった！」

をデータで裏付けよう

平均処置効果の分析

本章は、テストの点数を上げるための新しい勉強法を考えたので、生徒に協力してもらって、試した事例です。「新しい勉強法で、点数が上がった！」という仮説を検証します。



3.1 データを用意する ▶ 「対策あり」・「対策なし」のデータを用意

まず、データを用意します。対策なしの7人と、対策ありの5人が、同じテストを受けたデータです。

前提として、「12人の実力は、ほぼ同じ」とします（12人の実力が同じではなく、2つのグループに、対策前の時点で差がある場合は、「3.6.1 差分の差分法」で説明します）。

	A	B	C
1	対策なし	対策あり	
2	82	71	
3	65	89	
4	68	87	
5	72	79	
6	64	90	
7	73		
8	76		
9			

対策なしのグループは、低い方は60点台、高い方は80点台でした。対策ありのグループは、低い方は70点台、高い方は90点台でした。

3.2 データを見る ▶ 層別1次元散布図

データをグラフで見ます。「散布図は知っているが、『層別1次元』とは何だ?」と思う人がいるかもしれませんが。説明の都合で、筆者が付けた名前なので、初耳なのは当然です。以下で説明します。

まず、グラフ作成用のデータを作ります。データを縦一列に並べ、対策なしには「0」、対策ありには「1」を対応させた表を作ります。

	A	B	C	D
1		対策	点数	
2	対策なし	0	82	
3	対策なし	0	65	
4	対策なし	0	68	
5	対策なし	0	72	
6	対策なし	0	64	
7	対策なし	0	73	
8	対策なし	0	76	
9	対策あり	1	71	
10	対策あり	1	89	
11	対策あり	1	87	
12	対策あり	1	79	
13	対策あり	1	90	
14				



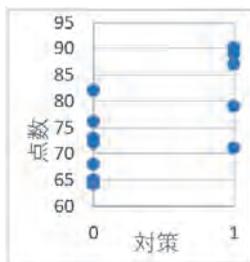
データの範囲を選んでおきます。

	A	B	C	D
1		対策	点数	
2	対策なし	0	82	
3	対策なし	0	65	
4	対策なし	0	68	
5	対策なし	0	72	
6	対策なし	0	64	
7	対策なし	0	73	
8	対策なし	0	76	
9	対策あり	1	71	
10	対策あり	1	89	
11	対策あり	1	87	
12	対策あり	1	79	
13	対策あり	1	90	
14				

挿入タブの中にある、散布図を選びます。



できたグラフの縦軸と横軸の範囲や、ラベル名を調整すると、次のグラフになります。



「この運動で体重は減る！」

をデータで裏付けよう

個別処置効果の分析

「体重を減らしたい」と思っている人は、とても多いです。広告や健康番組では、「この食べ物で減る」、「この薬で減る」、「この運動で減る」、「この治療で減る」といった話題が付きません。

本章では、このテーマを分析します。「体重を減らせる」と考えている運動があるとします。



4.1

データを用意する ▶ 「運動前」・「運動後」のデータを用意

データを用意します。下のデータは、同じ人についての、運動前と運動後の体重です。

	A	B	C	D
1		体重(kg)		
2	名前	運動前	運動後	
3	田中	76.7	72.1	
4	鈴木	56.9	50.7	
5	佐藤	60.7	57.9	
6	渡辺	65.3	66.3	
7	中村	83.1	79.8	
8	斎藤	53.8	53.9	
9				

よく見ると、数kg減っている人が多いようですが、増えている人もいることがわかります。

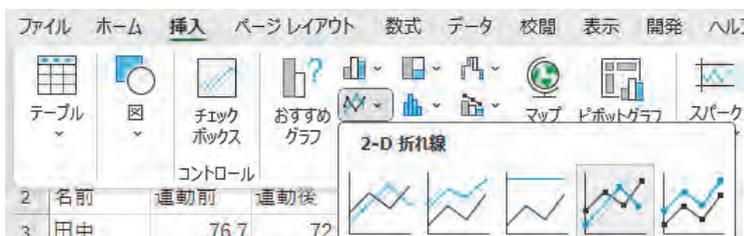
差分の差分法（3.6.1参照）の例では、テストの点数を扱っています。そのため、対策の効果がなくても、テストが簡単になって点数が高くなった可能性を考えました。

本章の例は、体重です。厳密に考えるのなら、体重に効果がなくても、体重計がずれることで、体重が減ったように見える可能性もあります。しかし、数kgの幅で体重計がずれることは、考えにくいです。そこで、本章では、体重計がずれる可能性は、考慮せずに分析することにします。

4.2 データを見る ▶ 個別の折れ線グラフ

「個別の折れ線グラフ」というのは、一般的な折れ線グラフと区別するために、筆者が付けた名前です。同じ人について、運動前と運動後の体重があるデータの分析に適しているグラフです。

データの範囲を選んでおき、「挿入」タブにある「2-D折れ線」から、「マーカー付折れ線」を選びます。

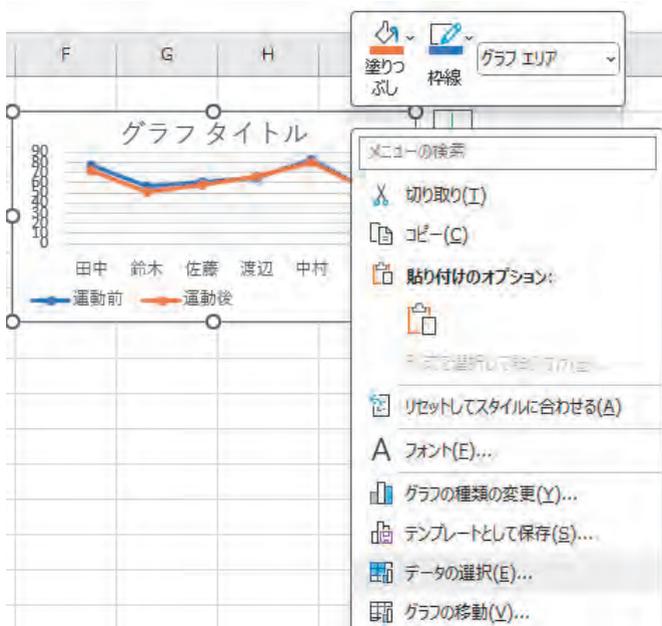




グラフが出ます。



グラフを選んだ状態で、右クリックをして、メニューを出します。そして、「データの選択(E)」を選びます。





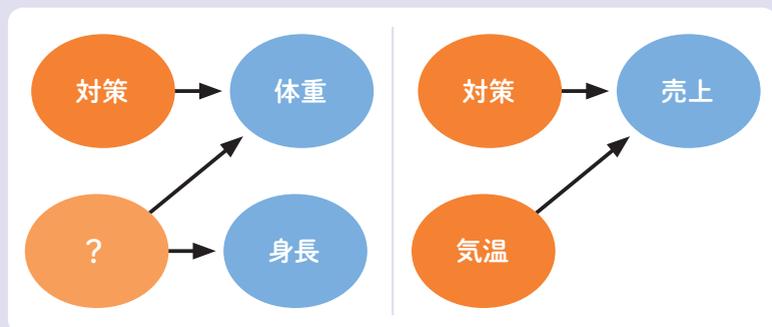
体重の分析に、身長データも活用する

「4.6.3 ないデータを作って使う：メタラーナー・反実仮想機械学習」では、同じ人については、「運動あり」と「運動なし」のどちらか片方しかない場合について、両方がそろっていなければわからない分析をしています。

この分析で因果関係があるのは、運動と体重ですが、この関係を調べるのに身長データを活用しています。身長があることで、「運動なしの人が、運動したらどうなるのか？」という予測ができるようになっています。

身長と体重には、「身長が高ければ、体重は重い」という関係はありますが、これは因果関係ではありません。疑似相関（5.6.1参照）の関係です。

一方、「4.6.6 対策なしのデータがない時は？ その2：共変量分析」では、売上と対策の関係を分析していますが、ここでは使っている気温は共変量です。両者の違いは、因果ダイアグラムで見るとわかりやすいです。



2つの分析事例は、層別散布図を作ると、見た目が似ています。そのため、同じ方法で反事実のデータを予測していますが、データの意味が異なります。

因果ダイアグラムを作ると、体重の分析をするのに、身長は無関係のようにも見えますが、もともと身長と体重には関係がある一方で、運動の影響は体重にしかない性質は、分析で活用できます。

この例の身長のように、適切なデータがあれば、同じ人については、「運動あり」と「運動なし」のどちらか片方だけでも、もう片方についての分析ができるようになる点がポイントです。



統計的因果推論を、

さらに勉強するためのガイド

筆者が自分自身の仕事や、他人の仕事を支援した経験から考えると、統計的因果推論の知識について、一般的な仕事で使う知識としては、本書の1~8章の部分で十分だと思います。

「言うは易く、行^{かな}うは難し」という、ことわざがあります。例えば、2章では、「4つの数字を集める」と、

言うのは簡単ですが、実際に集めようとする、集められないこともあります。また、4つの数字が集まったとしても、測定の仕方や、サンプルの数に不備があることが多く、それらが引き起こすリスクも考えながら、意思決定をします。

1~8章の内容を読むと、「簡単」と思う読者がいるかもしれませんが、具体的なテーマの中で実行するのは簡単なことではありません。

この後の方向性としては、1~8章の内容を武器として、実際の仕事をもっと進めると良いです。そうすることで、実際のデータとの関わり方がわかるようになります。

本章は、もうひとつの方向性として、1~8章よりも高度な話題を紹介します。もしかしたら、勉強しても使う機会がないかもしれませんが、「ここぞ」という時に、「知っていて、良かった!」となる知識になります。

実際にやってみるのなら、RやPythonなどのソフトウェアを使う必要があります。



本章では、9.1で、ルービン流とパール流について説明します。9.2から9.7は、ルービン流とパール流の枠にはこだわらずに、統計的因果推論の話題を説明します。

9.1

事実と反事実の関係から調べる ▶ ルービン流とパール流

因果推論の本を読んでいると、「この本はルービン流です」、「この本は、ルービン流とパール流の両方です」といった説明を見かけることがあります。

9.1では、ルービン氏とパール氏ご本人の著書や、ルービン流やパール流について説明している本について、筆者が調べた結果を説明します。

まず、2つは明確に分かれるようなものではないです。一口に、「探検隊」と言っても、ジャングルの探検隊と、南極の探検隊では、装備が違うことは想像できます。しかし、「リュックサック」などのように、共通したものもありそうです。ルービン流とパール流の違いは、このような違いと考えると良いようです。

9.1.1 ルービン流・パール流に共通なこと

まず、ルービン流とパール流に共通している点についてです。いずれも、ランダム化比較試験（2.6.1参照）を、統計的因果推論の理想的な方法とする点が共通しています。

様々なアイデアがありますが、特に注目されているアイデアとして、反事実がある点は共通しています。

原因と結果に間接的に関わる変数の扱い方として、操作変数法（5.6.4参照）、傾向スコア法（7.6.2参照）といった方法を採用している点も共通しています。



ルービン流

- 差分の差分法
- 回帰不連続デザイン
- 合成コントロール法
- コウザルインパクト
- マッチング法

共通

- ランダム化比較試験
- 反事実
- 操作変数法
- 傾向スコア法

パール流

- 因果ダイアグラム
- パス解析
- 条件付き確率

9.1.2 ルービン流で特徴的なこと

ルービン流は、ランダム化比較試験を理想とした時に、現実には、ランダム化比較試験は、難しいことから、代替の方法を研究しています。

「どうしたら、事実と反事実をデータから見出せるか？」という方向で発展しています。差分の差分法（3.6.1参照）、回帰不連続デザイン（3.6.3参照）、合成コントロール法（4.6.4参照）、コウザルインパクト（4.6.7参照）、マッチング法（4.6.1参照）という話題は、そうした方向の象徴的な方法になっています。

9.1.3 パール流で特徴的なこと

パール流は、因果ダイアグラム（1.2参照）を使って、視覚的に因果関係を分析する点が特徴です。

重回帰分析を階層的に使う方法として、パス解析（9.2.1参照）がありますが、パール流は、その流れを受けています。また、条件付き独立（9.5.2参照）による有向グラフでデータの構造を表すベイジアンネットワーク（9.4参照）がありますが、その流れも受けています。それらを、さらに発展させる方向で研究されて来ています。

パール流では、これらの成果に上乘せる形で、事実と反事実の差である因果効果を計算していきます。

9.2 因果関係を数式で表現する ▶ 回帰分析の応用

本書では、5章で重回帰分析、線形混合モデル、操作変数法、7章でロジスティック回帰分析を紹介しています。

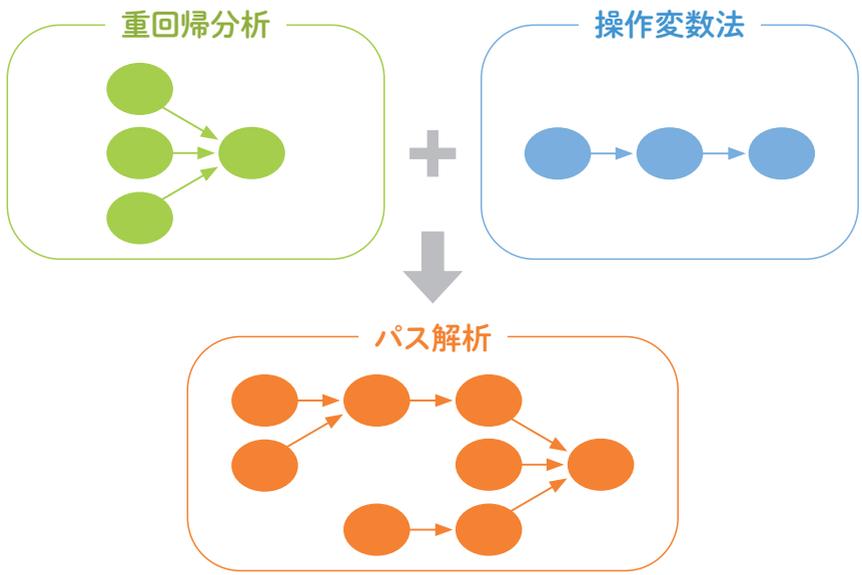
これらは、回帰分析の応用です。メタラーナー（4.6.3参照）のように事実と反事実を表す変数はなく、原因を表す変数は、量的変数も使えるようになっています。

以下、9.2.1~9.2.5は、回帰分析の発展的な方法のうち、5章や7章で説明していない方法です。

9.2.1 複雑な関係を図にしてから、関係を計算 : パス解析

重回帰分析は、原因と考えている変数が複数ある場合です。操作変数法は、回帰分析が2段構えの構造になっています。これらのアイデアを合わせると、ひとつの段の変数が複数あり、それが2段以上ある形がありそうですが、実際にあります。このようなモデルを扱う分析は、「パス解析」と呼ばれています。

パス解析は、パール流の源流のひとつになっています。



索引

数字	
3種類の指標	8
4つの数字	19
アルファベット	
ABテスト	34
ARIMAモデル	80
ARモデル	178
DAG	5
Excel	v
LiNGAM	173
P値	11, 29, 44, 68, 91, 119, 134
VARモデル	178
XAI	171
z値	30
あ	
医学	33
一般化線形モデル	171
因果効果	9, 26, 41, 64, 88, 98, 123
因果推論	2
因果ダイアグラム	3, 103, 166
因果探索	144, 173
因子分析	168
オッズ比	27, 35, 131
オッズ比の検定	29
折れ線グラフ	47, 152
か	
回帰不連続デザイン	49, 166
回帰分析	167
外挿	89
カイ二乗検定	119, 136
傾き	88, 129
観察研究	16
疑似相関	85, 95
共分散構造分析	169
共変量	82
共変量分析	81
グラフィカルモデリング	156, 173
クラメールのV	115
グレンジャー因果性	178
傾向スコア	142, 165
ケース・コントロール研究	35
決定木	162
原因の確率	172
効果量	10, 26, 42, 66, 90, 115, 133
交互作用項	100
コウザルインパクト	82, 166
合成コントロール法	76, 166
構造方程式モデリング	169
交絡	34
コーエンのd	42, 66
個別処置効果	64
個別の折れ線グラフ	61
さ	
差分の差分法	46, 166
散布図	87
時系列分析	80, 177
実験計画法	179
実験研究	16
質的変数の相関	112
重回帰分析	84, 95, 171
十分条件	158
順序ロジスティック回帰分析	170
条件付き独立	176
状態空間モデル	82
スパークライン	151
精度	133
説明可能なAI	171
線形混合モデル	98
潜在結果変数	168
潜在変数	168
相関行列	153
相関係数	90

相関係数の検定	91	比率の差の検定	29
操作変数法	103, 165	比率の比	26
層別	41	分割表	21, 114
層別1次元散布図	42, 142	分散分析	51
層別散布図	72	分散の比の検定	57
ソルバー	107, 126	平均処置効果	41
た		ベイジアンネットワーク	166, 173, 175
対応のある母平均の差の検定	68	ベイズ推定	173
多項ロジスティック回帰分析	170	ベイズの定理	172
多重共線性	100	偏相関係数	173
ダミー変数	99, 147	ポアソン回帰分析	104, 171
小さな実験	16	包含関係	161
データサイエンス	iv	棒グラフ	23, 114
データの非対称性	176	母平均の差の検定	44
統計的因果推論	7	ま	
統計的仮説検定	8	マッチング法	70, 166
独立性の検定	31, 119, 137	マルチレベルモデル	99
独立成分分析	169	メタラーナー	73
な		や	
なぜなぜ分析	14	有向巡回グラフ	179
ならば	161	有向非巡回グラフ	5
は		尤度比検定	134
パール流	166	ら	
箱ひげ図	56	ランダム化比較試験	16, 32, 165, 179
パス解析	167	リスク比	27
パネルデータ	99	ルービン流	166
反事実	20, 72, 165	連関係数	115
反実仮想機械学習	73	連関図	6
ヒートマップ	155	ロジスティック回帰分析	139, 171
必要十分条件	158	ロジット	124
必要条件	158	わ	
ピボットテーブル	22	ワンホットエンコーディング	147
標準偏差	58		
標準偏回帰係数	141		
比率の差	26		

●著者紹介

杉原 哲朗 (すぎはら てつろう)

データサイエンティスト

半導体、化学、医療機器、制御機器の4社にて、品質管理や環境管理の実務の傍ら、業務におけるデータ活用を進める。工場におけるデータ活用を得意としているが、製造業全般や、製造業以外の業種にもデータ活用の経験を持っている。

2008年より、Webサイト「環境と品質のためのデータサイエンス(<https://data-science.tokyo>)」を開設し、ノウハウや研究成果を公開している。同サイトをベースに、国内外の学生や社会人の支援も行っている。

- ・保有資格:QC検定1級
- ・著書(共著):時系列データ解析における課題対応と解析例 2024/1/22 情報機構

●DTP制作…… 小山 巧・田中雪子(株式会社志岐デザイン事務所)

●本文イラスト… 田中雪子(株式会社志岐デザイン事務所)

●編集協力…… 株式会社バブリ

入門データサイエンスシリーズ Excel による統計的因果推論

2025年7月24日 初版第1刷発行

著 者 杉 原 哲 朗

発 行 者 柴 山 斐 呂 子

発行所 理工図書株式会社

〒102-0082 東京都千代田区一番町 27-2
電話 03 (3230) 0221 (代表)
FAX 03 (3262) 8247
振替口座 00180-3-36087 番
<https://www.rikohtosho.co.jp>
お問合せ info@rikohtosho.co.jp



© 杉原哲朗 2025 Printed in Japan ISBN 978-4-8446-0981-0

印刷・製本 丸井文社

本書のコピー等による無断転載・複製は、著作権法上の例外を除き禁じられています。内容についてのお問合せはホームページ内お問合せフォームもしくはメールにてお願い致します。落丁・乱丁本は、送料小社負担にてお取替え致します。

JCOPY < 出版者著作権管理機構 委託出版物 >

本書(誌)の無断複製は著作権法上での例外を除き禁じられています。複製される場合は、そのつど事前に、出版者著作権管理機構(電話 03-5244-5088、FAX 03-5244-5089、e-mail: info@jcopy.or.jp)の許諾を得てください。