

Chapter 1

Randomized Trials

pp.01-11

概要

- ▶ 現実世界で因果関係を推定する難しさ
- ▶ 観測可能なデータから因果関係を立証するための手法
- ▶ 健康保険と健康の因果関係

The Affordable Care Act (ACA)

- ▶ 2010年に成立。
- ▶ 患者保護並びに医療費負担適正化法
- ▶ いわゆる「オバマケア」
- ▶ 米国人全員が公的医療保険に加入することを義務付ける。

ACA制定以前の米国における医療

- ▶ 国民皆保険制度は存在しなかった。
 - ▶ メディケア・メディケイドの適用範囲外で、かつ医療費に十分な資金を割けない働き盛りの貧困層は、病院の救急部門を当てにしていた。
 - ▶ しかし、救急部門は長期的な医療(慢性疾患への対応など)の提供ができない。
- 国民皆保険制度が、貧困状態にある働き盛り世代の医療を充実させ、健康水準が向上する可能性はある。

健康保険と健康の 因果関係を示すには

- ▶ 「健康保険制度が存在するから、人々が健康になる」のか。(健康と健康保険の間に因果関係があるのか)
- ▶ それを調べるには、ある人に保険が適用された場合の健康と、その人に保険が適用されなかった場合の健康を比較する必要がある。

難問の発生

- ▶ ある一人の人間は、保険に加入することか加入しないことかのどちらかしかできない。(=一人の人間が保険に加入し、かつ加入しない、ということとはできない。)
- ▶ よって、「ある人に保険が適用された場合の健康」と、「その人に保険が適用されなかった場合の健康」を実際に観察して比較するなどということとは不可能である。

“The Road Not Taken” (Robert Frost)

黄色い森の中で道が二つに分かれていた
残念なことに私は両方を旅するわけにはいかない
たった一人の旅人である私は長らく立ち止まり
一つの道をできるだけ遠くまで眺めた
その道は先のほうで藪へと曲がっていた
(中略)

森の中で道が二本に分かれており
私はあまり人が通っていない方を選んだが
その選択次第では全く別のことが起こるのだ

“The Road Not Taken” の メッセージ

選ばなかった選択肢の先に何があるかを知る
ことはできない。

『行為は選択肢を潰す。逆説的なことだ』 (小説
『Light Years』)

現実世界で因果関係を分析する

- ▶ 「因果効果を推定する際の根本的な難しさは、個々のユニットについて、私たちは潜在的結果の一方しか観察することができず、現実には発生しなかった方の潜在的結果—これを反事実(counterfactual)と呼ぶ—を観察することができない、という点にある。」 (森田果『実証分析入門—データから「因果関係」を読み解く作法』、日本評論社、2014年、180ページ)
- ▶ この現実世界で入手できるデータから因果関係を推定することは不可能なのか。

介入グループ・比較グループ

- ▶ 「1個人についての介入効果を測定することは不可能だが、複数人の介入効果を平均した値である「平均介入効果(ATE: Average Treatment Effect)」を測定することは可能だ」(伊藤公一朗『データ分析の力 因果関係に迫る思考法』、光文社、2017年、59ページ)

※介入効果...因果関係がもたらす効果

介入グループ(何らかの介入・処置が施されるグループ)と比較グループ(介入・処置が施されないグループ)に分ける。

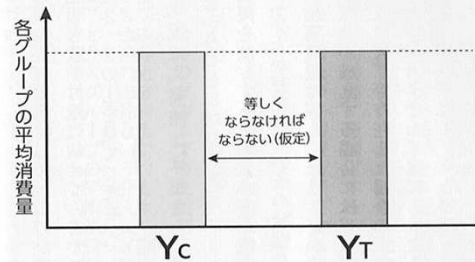
電力価格上昇と電力消費量

- ▶ 伊藤公一朗『データ分析の力 因果関係に迫る思考法』、光文社、2017年、59-71ページにある例を使い、検討していく。
- ▶ 200人の電力消費者が存在する。
- ▶ 2012年夏の間、100人の消費者には電力価格上昇を経験してもらい(介入グループ)、残り100人の消費者には経験してもらわない(比較グループ)。
- ▶ 介入グループの電力消費量の平均値と比較グループの電力消費量の平均値の差を見ることで、「平均介入効果」を測定したい.....。

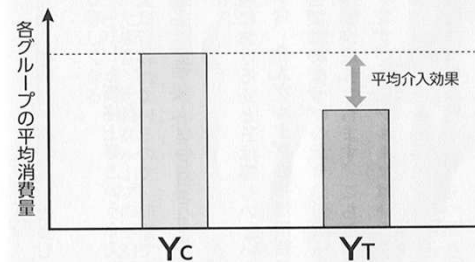
電力価格上昇と電力消費量

図表2-2 平均介入効果を測定するための仮定

①もしも価格の上昇という介入がなかった場合
(実際には起こらなかった潜在的結果に関する仮定)



②介入があった場合(観測できる現実のデータ)



Y_c : 比較グループの平均消費量 Y_T : 介入グループの平均消費量

62

- ▶ 前スライドの方法で平均介入効果を測定するには、「もしも価格の上昇という介入がなかった場合、比較グループの平均消費量と介入グループの平均消費量は等しくなる」という仮定が必要となる。
- ▶ この仮定が成り立てば、2グループ間の平均消費量の差が「価格の上昇という介入以外の要因では説明できない」と言える。

12

(参照：伊藤公一朗『データ分析の力 因果関係に迫る思考法』、光文社、2017年、59-71ページ)

電力価格上昇と電力消費量

しかし、実際のところ介入グループは価格変化を経験するため、この仮定が成立すると立証することは原則不可能である。

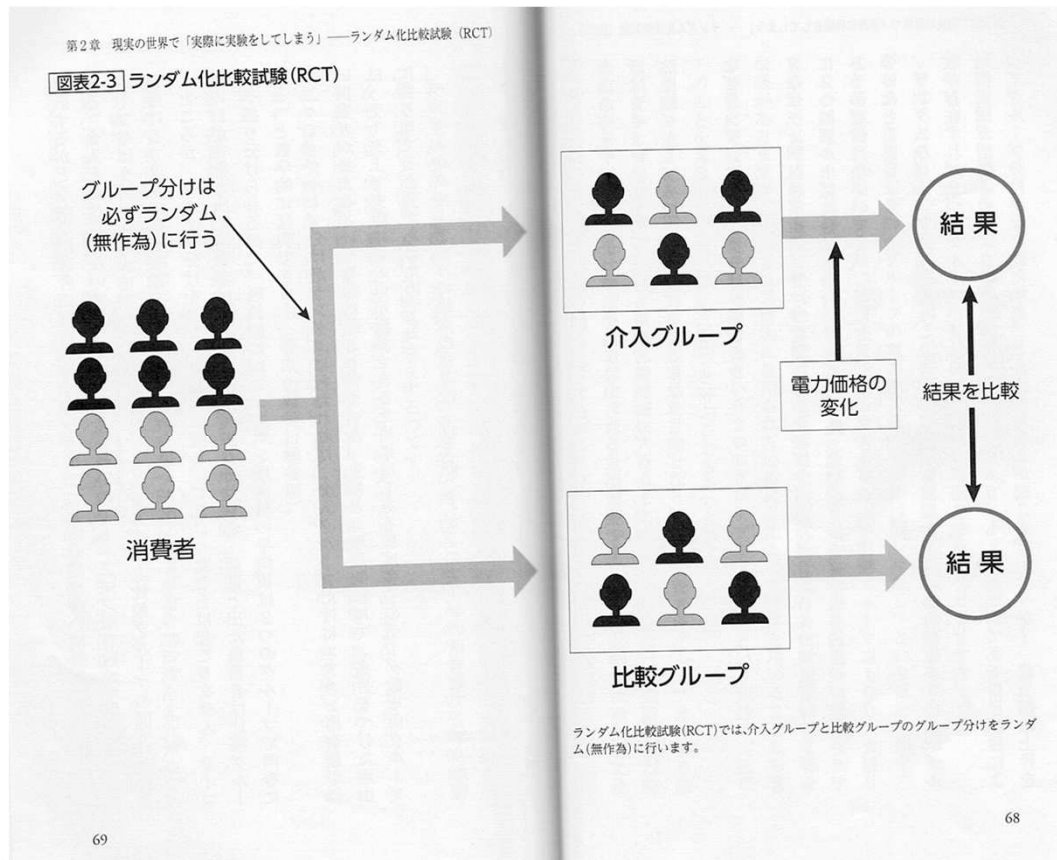
⇔ランダム化比較試験を用いて、介入グループと比較グループをランダムに振り分けた場合は立証できる。

電力価格上昇と電力消費量

- ▶ 自己選抜(消費者の希望に応じる)によってグループ分けをした場合(=ランダムにグループ分けをしない場合)→問題が生じる。
- ▶ 問題：価格上昇を希望する消費者とそうでない消費者は、家電の所有数、所得、節電への意欲など、電力消費量に影響を与えうる様々な点において異なる可能性がある。
- ▶ 「もしも価格の上昇という介入がなかった場合、比較グループの平均消費量と介入グループの平均消費量は等しくなる」という仮定が崩れ、平均介入効果の測定ができなくなる。

(参照：伊藤公一朗『データ分析の力 因果関係に迫る思考法』、光文社、2017年、59-71ページ)

電力価格上昇と電力消費量



ランダムにグループ分けをした場合。
→あらゆる要素に関して、「もしも価格の上昇という介入がなかった場合、比較グループの平均消費量と介入グループの平均消費量は等しくなる」という仮定が成立する。
ある程度多くのサンプル数が集まった場合、介入グループと比較グループは統計的に同質と言える。

15

(参照：伊藤公一朗『データ分析の力 因果関係に迫る思考法』、光文社、2017年、59-71ページ)

国民健康インタビュー調査（NHIS）

- ▶ 国民健康インタビュー調査（NHIS）...健康と健康保険に関する詳細な情報を含む米国の年次調査。
- ▶ 保険への加入・未加入にかかわらず、既婚の回答者に「あなたの健康は一般的に考えてどうでしょうか。【すばらしい】【かなり良い】【良い】【普通】【悪い】のうちのどれに当てはまりますか。」という質問をする。
- ▶ 筆者たちは、このデータをもとに5を「すばらしい」、1を「悪い」として、集計した。また、保険に加入している人々をtreatment group[介入グループ]、保険に加入していない人々をcomparison or control group[比較グループ]とした。

調査結果

Randomized Trials 5

TABLE 1.1
Health and demographic characteristics of insured and uninsured
couples in the NHIS

	Husbands			Wives		
	Some HI (1)	No HI (2)	Difference (3)	Some HI (4)	No HI (5)	Difference (6)
A. Health						
Health index	4.01 [.93]	3.70 [1.01]	.31 (.03)	4.02 [.92]	3.62 [1.01]	.39 (.04)
B. Characteristics						
Nonwhite	.16	.17	-.01 (.01)	.15	.17	-.02 (.01)
Age	43.98	41.26	2.71 (.29)	42.24	39.62	2.62 (.30)
Education	14.31	11.56	2.74 (.10)	14.44	11.80	2.64 (.11)
Family size	3.50	3.98	-.47 (.05)	3.49	3.93	-.43 (.05)
Employed	.92	.85	.07 (.01)	.77	.56	.21 (.02)
Family income	106,467	45,656	60,810 (1,355)	106,212	46,385	59,828 (1,406)
Sample size	8,114	1,281		8,264	1,131	

Notes: This table reports average characteristics for insured and uninsured married couples in the 2009 National Health Interview Survey (NHIS). Columns (1), (2), (4), and (5) show average characteristics of the group of individuals specified by the column heading. Columns (3) and (6) report the difference between the average characteristic for individuals with and without health insurance (HI). Standard deviations are in brackets; standard errors are reported in parentheses.

最初の列は、米国における被保険者とそうでない人との健康指標の平均を、夫と妻で別々に比較している。

- ✓ 健康保険のある人は、そうでない人よりも健康的である。
- ✓ 健康保険のある人とない人で、男性の指標には約0.3ポイント、女性の指標には約0.4ポイントの差がある。

実りのない比較と実りのある比較

- ▶ 前スライドのような単純な比較は、よく因果効果の証拠として用いられるが、このような比較は誤解を招く可能性がある。...「健康保険に入るから、健康的になる？」
- ▶ このケースにおいて、平均介入効果測定のために必要な仮定は、「もし健康保険加入という介入がなければ、比較グループと介入グループの平均健康状態は同じになる」
- ▶ 今回のグループ分けで、本当にこの仮定が成り立っているのか？

実りのない比較と実りのある比較

- ▶ 表1.1のパネルBから、次のようなことが分かる。
 - ✓ 健康保険加入者の方が未加入者よりも良い教育を受けている。
 - ✓ 健康保険加入者の方が未加入者よりも収入が高い。
 - ✓ 健康保険加入者の方が未加入者よりも働いている人の割合が高い。
- ▶ 教育・収入・雇用といった変数は、健康保険加入未加入の状態にも健康にも相関している。
 - 保険加入者のグループにだけ特定の性質を持った人々が集まっており、平均介入効果測定のために必要な仮定が成り立っていない。

健康保険と健康の因果関係

- ▶ Y : 健康(= 調査対象となる結果の変数)
- ▶ Y_i : 個人 i の健康
- ▶ 個人 i には健康保険に加入するかしないかの二つの選択肢があり、二つの潜在的結果が存在するが、そのうちの 하나가観察される。
- ▶ Y_{0i} : 健康保険に加入していない状態での健康
- ▶ Y_{1i} : 健康保険に加入した状態での健康
- ▶ $Y_{1i} - Y_{0i}$: 健康に対する健康保険の因果関係

健康保険と健康の因果関係

- ▶ カザフスタンから来たMIT学生Khuzdar Khalat
- ▶ 彼はMITの学生が大学の健康保険プランに加入するかどうかを決定する必要があることを知り、自分の虚弱体質を考慮してMITの保険に加入することを決める。
- ▶ $Y_{0i}=3, Y_{1i}=4, i= \text{Khuzdar}$ とすると、彼にとっての保険の因果効果は

$$Y_{1, \text{Khuzdar}} - Y_{0, \text{Khuzdar}} = 1.$$

健康保険と健康の因果関係

- ▶ アンデス高地出身のMIT学生Maria Moreno
- ▶ 彼女は病気になりやすいタイプではないため、MITの保険に加入しない。
- ▶ $Y_{0i}=Y_{1i}=5, i=$ Mariaとすると、彼女にとっての保険の因果効果は

$$Y_{1, \text{Maria}} - Y_{0, \text{Maria}} = 0.$$

健康保険と健康の因果関係

Randomized Trials 7

TABLE 1.2
Outcomes and treatments for Khuzdar and Maria

	Khuzdar Khalat	Maria Moreño
Potential outcome without insurance: Y_{0i}	3	5
Potential outcome with insurance: Y_{1i}	4	5
Treatment (insurance status chosen): D_i	1	0
Actual health outcome: Y_i	4	5
Treatment effect: $Y_{1i} - Y_{0i}$	1	0

表1.2は架空の表である。Khuzdar(Maria)は保険に加入して Y_1 の価値を明らかにするか、保険に加入しないで Y_0 の価値を明らかにするかのどちらかである。

表4列目より $Y_{\text{Khuzdar}} - Y_{\text{Maria}} = Y_{1,\text{Khuzdar}} - Y_{0,\text{Maria}} = 4 - 5 = -1$
 この結果は、額面で見ただけの場合、保険に加入するという
 Khuzdarの決定が非生産的であることを示唆している。

健康保険と健康の因果関係

- ▶ 実のところ、虚弱なKhuzdarと健康的なMariaの健康状態を比較したところで、保険加入選択との因果関係についてはほとんどわからない。

$$\begin{aligned} Y_{\text{Khuzdar}} - Y_{\text{Maria}} &= Y_{1,\text{Khuzdar}} - Y_{0,\text{Maria}} \\ &= \underbrace{Y_{1,\text{Khuzdar}} - Y_{0,\text{Khuzdar}}}_1 + \underbrace{\{Y_{0,\text{Khuzdar}} - Y_{0,\text{Maria}}\}}_{-2} \end{aligned}$$

- ▶ この式の二行目の前半部分(1)はKhuzdarの健康に対する健康保険の因果効果である。
- ▶ 後半部分(-2)は二人の学生の健康状態の違いを表しており、保険とは関係なく決まる。これは選択バイアスと呼ばれ、この存在により健康状態($Y_{\text{Khuzdar}}, Y_{\text{Maria}}$)の比較から因果関係を推論することができなくなる。

健康保険と健康の因果関係

- ▶ 1個人について因果関係がもたらす効果を測定するのは不可能。←一人の人間が保険に加入し、かつ加入しない、ということとはできない。
- ▶ 異なる二人を比較して因果関係を推論することも選択バイアスのため不可能。

→複数人(n人)のグループを作って「平均因果効果」を調べる。

$$\begin{aligned} \text{Avg}_n[Y_{1i} - Y_{0i}] &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [Y_{1i} - Y_{0i}] \\ &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_{1i} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_{0i}. \quad (1.1) \end{aligned}$$

健康保険と健康の因果関係

- ▶ 健康保険の平均因果効果は、全員が健康保険に加入しているグループの平均健康状態と加入していないグループの平均健康状態を比較する。
- ▶ 次のようなダミー変数を導入する。

$$D_i = \begin{cases} 1 & \text{if } i \text{ is insured} & \text{個人}i\text{が保険に加入している} \\ 0 & \text{otherwise.} & \text{個人}i\text{が保険に加入していない} \end{cases}$$

$Avg_n[Y_i | D_i = 1]$ 保険加入者グループの平均健康状態

$Avg_n[Y_i | D_i = 0]$ 保険未加入者グループの平均健康状態

健康保険と健康の因果関係

- ▶ 被保険者の健康状態の平均 Y_i は Y_{1i} の平均であって、 Y_{0i} についての情報は一切含まない。
- ▶ 被保険者でない人の健康状態の平均 Y_i は Y_{0i} の平均であって、 Y_{1i} の情報は一切含まない。

Difference in group means

$$= \text{Avg}_n[Y_i | D_i = 1] - \text{Avg}_n[Y_i | D_i = 0]$$

$$= \text{Avg}_n[Y_{1i} | D_i = 1] - \text{Avg}_n[Y_{0i} | D_i = 0], \quad (1.2)$$

健康保険と健康の因果関係

- ▶ 前スライドの式の結果は、我々が知りたいものであるとは限らない。
- ▶ 知りたいものは、 $Avg_n[Y_{1i} - Y_{0i}]$
- ▶ これは全員(保険加入未加入問わない)の Y_{1i} と Y_{0i} に関する平均因果効果
- ▶ しかし、保険加入者だけの Y_{1i} 平均値と保険未加入者だけの Y_{0i} 平均値しか観察することができない。

健康保険と健康の因果関係

- ▶ (1.2)の方程式への理解を深めるため、健康保険はすべての人を一定の量 κ だけ健康にすることを想像する。

$$Y_{1i} = Y_{0i} + \kappa, \quad (1.3)$$

$$\Leftrightarrow Y_{1i} - Y_{0i} = \kappa.$$

- ▶ (1.2)(1.3)を利用して

$$\begin{aligned} & Avg_n[Y_{1i}|D_i = 1] - Avg_n[Y_{0i}|D_i = 0] \\ &= \{\kappa + Avg_n[Y_{0i}|D_i = 1]\} - Avg_n[Y_{0i}|D_i = 0] \\ &= \kappa + \{Avg_n[Y_{0i}|D_i = 1] - Avg_n[Y_{0i}|D_i = 0]\}. \quad (1.4) \end{aligned}$$

健康保険と健康の因果関係

- ▶ (1.4)より、健康保険加入者と未加入者の健康状態の比較は、平均因果効果 κ +保険加入者グループと保険未加入者グループの間の Y_{0i} の平均の差(=選択バイアス)に等しい。
- ▶ 保険加入の有無による健康状態の平均値の違いが選択バイアスの影響を受けている。→ Y_{0i} は、保険加入未加入だけでなく個人 i の健康に関するすべての略記であるから。

健康保険と健康の因果関係

- ▶ 表1.1からもわかるように、保険加入済みのMHIS回答者は、保険の因果効果の他にも、より高度な教育を受けていることなど、さまざまな種類の理由から、保険未加入者よりも健康的であった。
- ▶ 保険の因果効果が0($\kappa = 0$)の世界を想像する。そのような世界であっても被保険者は、単に教育水準が高く、裕福であるなどの理由で、健康であることが期待できそうである。

グループ間の特性の違い

- ▶ 表1.1のパネルBからは、両グループが様々な観点から比較できることがわかる。(例:教育、雇用率、収入など)
- ▶ パネルBで挙げられている項目にグループ間で大きな違いがあり、選択バイアスが発生しているといえる。
- ▶ 選択バイアスの唯一の原因が、観察および測定可能な特性の違いである場合、選択バイアスは比較的簡単に修正できる。(例:保険の比較における選択バイアスの唯一の原因が教育であるとするならば、この偏りは、同じ学歴を持っている人に焦点を当てることで解消される。)

新たに発生する疑い

- ▶ 観測できる特性の違いを修正したとしても、「観測できない何らかの特性が両グループ間で異なっているのではないか」という疑念が生じる。
- ▶ メトリクスの専門家が取り組む主要な課題は、観察できない違いから生じる選択バイアスを取り除くことである。