



高知工科大学 経済・マネジメント学群

計量経済学

5. 因果推論 I

やない ゆう き
矢内 勇生



<https://yukiyanai.github.io>



yanai.yuki@kochi-tech.ac.jp



今日の目標

- 因果推論 (causal inference) とは何か？
- 因果推論の「難しさ」を理解する
 - ▶ 因果推論の何が難しいのか？
 - ▶ 因果推論の「根本問題」とは？

学問の目的

- 「真実」を見つける
- 社会科学（経済学, 経営学, 政治学, 社会学, etc.）における真実とは？
 - ▶ 真の「因果関係」を見つける
 - 結果の原因を考える：特定の結果を生じられる原因は何か
 - 原因の結果（効果）を考える：特定の原因によってどのような結果（効果）が生じるか

因果関係の探求

- 興味がある現象について、因果関係を明らかにしたい
 - ▶ 因果関係：原因と結果の関係
 - 「原因X」によって「結果Y」が起きた
 - 「原因A」が増えたので、「結果B」が増えた
 - 「原因C」が大きくなったので、「結果D」が減った

原因と結果 (Cause and Effect)

- 原因：cause
- 結果: effect
 - ▶ どちらも様々な呼び名をもつ

原因と結果の呼び名

原因		Cause		結果		Effect	
処置 [変数]	Treatmtent [variable]	→		結果 [変数]	Outcome [variable]		
説明変数	Explanatory variable	→		被説明変数	Explained variable		
予測変数	Predictor	→		応答変数	Response variable		
独立変数	Independent variable	→		従属変数	Dependent variable		
入力	Input	→		出力	Output		
特徴量	Feature	→		目的変数	target variable		

原因と結果の関係をどうやって見つけるか？

- 特定の原因が結果に影響している：因果関係がある
 - ▶ その影響が「偶然ではない」というためには、何を確かめる必要があるか？

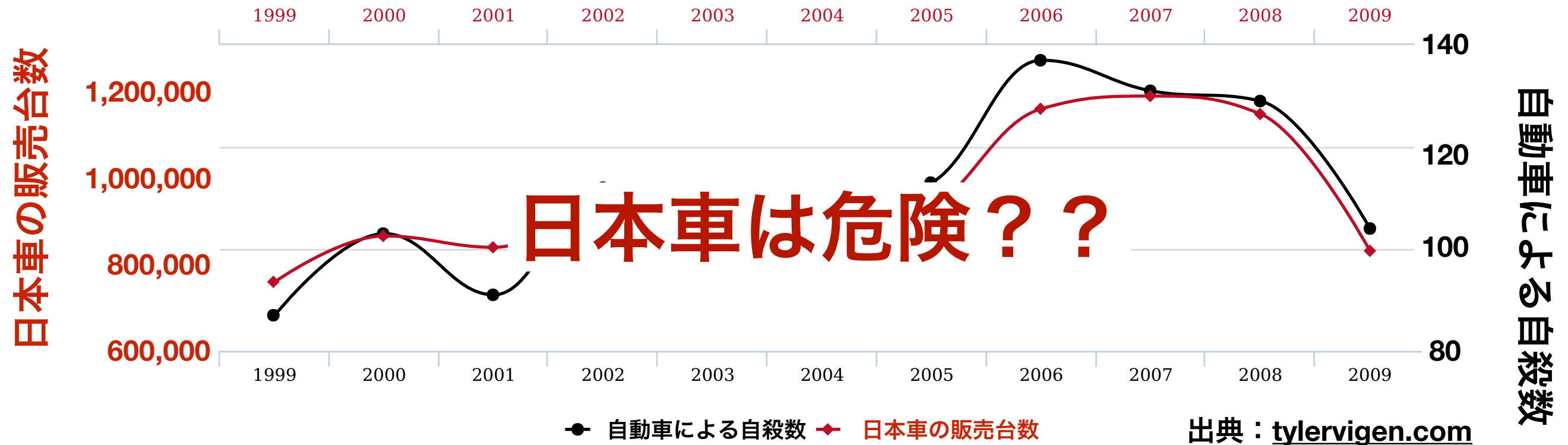
共変関係

- 共変関係：変数 X が変化すると、変数 Y も変化する

▶ 例

- 勉強時間が長いほど、試験の点数が高い
- 身長が高いほど、体重が重い
- Rを使いこなせるほど、年収が高い

アメリカ合衆国での日本車の販売数と 自動車による自殺数





強い相関: $r = 0.94$

日本車の販売数と自動車による自殺者数は同時に増える（減る）

自殺者を減らすために日本車を減らすべきか？

これは因果関係なのか???

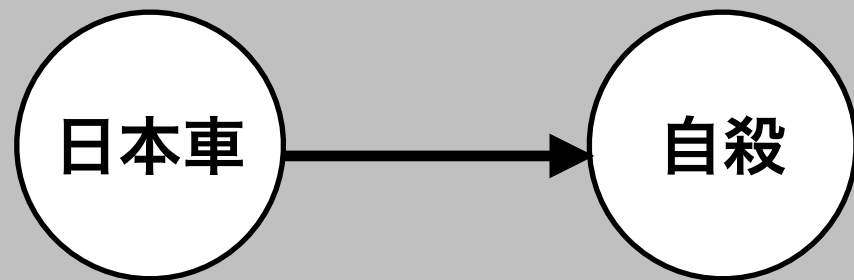
実施すべき政策は何か

- 政策目標：自殺者数を減らしたい
- 因果関係：日本車の?売数が増えると、自殺者が増える
- 実施すべき政策：日本車の?売数を規制する

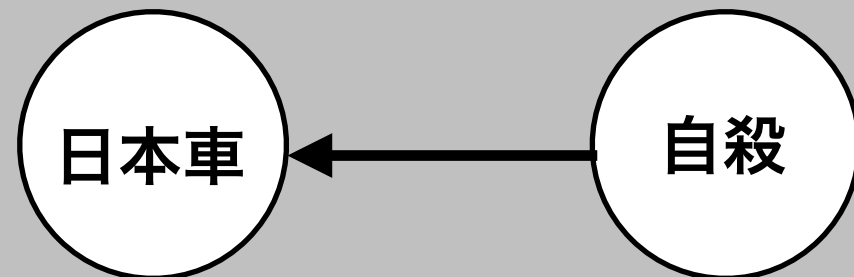
事実（データ、数字）：

因果関係がわからなければ、証拠として使えない

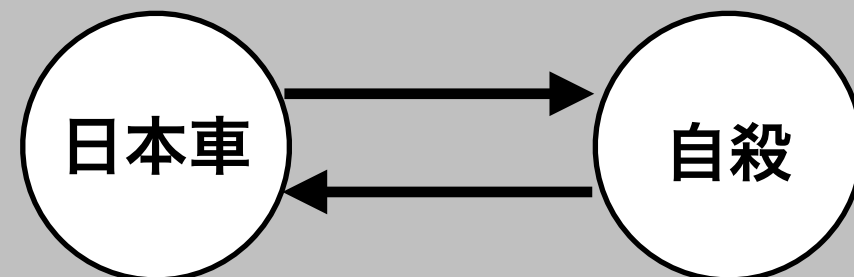
相関関係 ≠ 因果関係



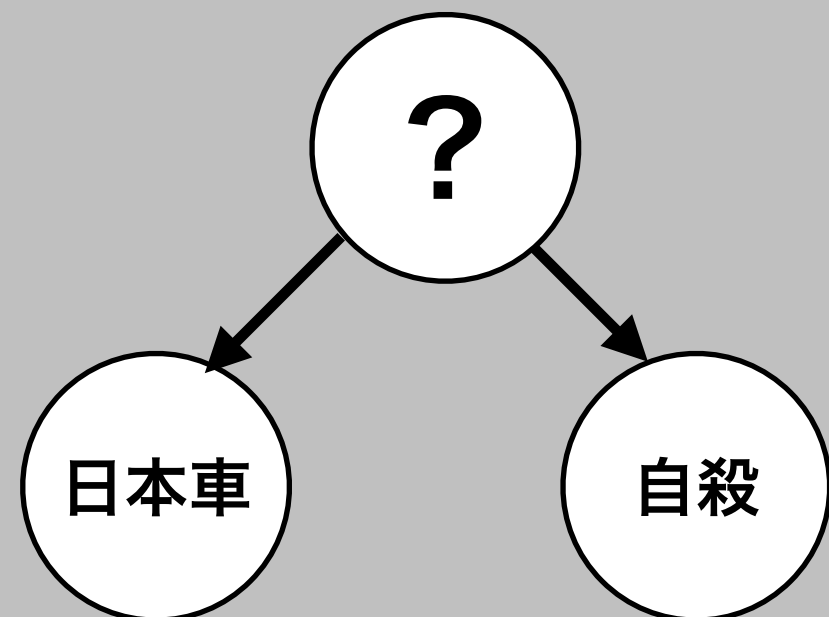
因果関係：日本車が売れると自殺が増える



因果関係：自殺が増えると日本車が売れる



互恵効果：日本車の売り上げと自殺
が相互に影響する



両者に影響する第3の要因の存在：
日本車の売上と自殺者数に因果関係は無い

見せかけの因果関係

因果関係を単純な例で考える

- 例：アスピリン（鎮痛剤）と頭痛の関係 (Imbens and Rubin 2015)
 - ▶ 「私がアスピリンを飲んだから、私の頭痛が消えた」
 - 観察対象：「私」（一人の個人）
 - 取られた行動：「アスピリンを飲む」
 - 起こった結果：「私の頭痛が消えた」
- ★ 素朴な因果推論：「アスピリンが私の頭痛を消した」

もしあの時…

- 「私」が違う行動を取っていたら、何が起こった？
 - ▶ 「私」が取った行動：アスピリンを飲む
 - ▶ 他の行動を取っていたら？
 - 他の行動：アスピリンを飲まない
 - ▶ 私たちの因果推論が正しければ
 - 「私がアスピリンを飲まなかったので、私の頭痛は消えなかった」

潜在的結果

- 一つの行動に、一つの潜在的結果
 - ▶ 可能な行動：「アスピリンを飲む」 or 「アスピリンを飲まない」
 - ▶ 潜在的結果 (potential outcomes)
 - アスピリンを飲んだ場合の頭痛の状態
 - アスピリンを飲まない場合の頭痛の状態

因果関係と行動

- 因果関係は、行動 [action]（処置 [treatment]、介入 [intervention]、操作 [manipulation]）に関係する
 - ▶ 因果関係があるなら、潜在的結果が行動（処置、介入、操作）によって変わるはず
 - ▶ 「操作なくして、因果関係なし (NO CAUSATION WITHOUT MANIPULATION)」 (Holland 1986: 959)
 - 原因を操作できないなら、因果関係は考えられない
 - 例：「彼女は女だから、髪が長い」

潜在的結果アプローチで因果関係に迫る

- 個体単位での潜在的結果：
 - ▶ 頭痛のある個人 i がアスピリンを飲んだら、1時間後に頭痛は消えるか？
- 個人 $i \in \{1, 2, \dots, N\}$
- 処置（原因） $D_i \in \{0, 1\}$: 飲まない = 0, 飲む = 1
- 結果 $Y_i \in \{0, 1\}$: 頭痛なし = 0, 頭痛あり = 1

処置と潜在的結果

- $Y_i(D_i)$: 処置が D_i の場合の潜在的結果

- ▶ $Y_i = Y_i(1)$ if $D_i = 1$

- ▶ $Y_i = Y_i(0)$ if $D_i = 0$

$$\begin{aligned} Y_i &= D_i Y_i(1) + (1 - D_i) Y_i(0) \\ &= Y_i(0) + D_i [Y_i(1) - Y_i(0)] \end{aligned}$$

潜在的結果と結果の組合せパターン

1. アスピリンを飲んだ場合のみ頭痛が消える

$$Y_i(1) = 0, Y_i(0) = 1$$

2. いずれにせよ頭痛は残る

$$Y_i(1) = 1, Y_i(0) = 1$$

3. いずれにせよ頭痛は消える

$$Y_i(1) = 0, Y_i(0) = 0$$

4. アスピリンを飲んだ場合のみ頭痛が残る

$$Y_i(1) = 1, Y_i(0) = 1$$

★「アスピリンを飲んだから頭痛が消えた」というためには、どのパターンが必要？

潜在的結果と結果の組合せパターン

1. アスピリンを飲んだ場合のみ頭痛が消える（薬の効果を示す**因果関係**）

$$Y_i(1) = 0, Y_i(0) = 1$$

2. いずれにせよ頭痛は残る

$$Y_i(1) = 1, Y_i(0) = 1$$

3. いずれにせよ頭痛は消える

$$Y_i(1) = 0, Y_i(0) = 0$$

4. アスピリンを飲んだ場合のみ頭痛が残る（逆の因果関係）

$$Y_i(1) = 1, Y_i(0) = 1$$

★ パタン1が正しいことを確かめたい！

因果効果の定義（Rubinの因果モデル）

- 個体 i に関する因果効果（個体処置効果; individual treatment effect: ITE）： δ_i

$$\delta_i \equiv Y_i(1) - Y_i(0)$$

因果効果は、潜在的結果の差

- ▶ 同一個体の同一時点での潜在的結果の差によって定義される

アスピリンと頭痛の例の因果効果

- $Y_i(1) = Y_i(0) \Leftrightarrow \delta_i = 0$: 因果効果なし
- $Y_i(1) \neq Y_i(0) \Leftrightarrow \delta_i \neq 0$: 因果効果あり
 - ▶ $\delta_i = -1$: アスピリンが頭痛を消す
 - ▶ $\delta_i = 1$: アスピリンが頭痛を長引かせる
- 潜在的結果のうちどちらが観察されるかによって、結論は変わらない

ダメな因果推論 (1)

- 処置前と処置後を比較する
 - ▶ 処置：アスピリンを飲む
 - ▶ データ：処置前には頭痛があったが、処置後には頭痛が消えた
 - ▶ 結論：アスピリンが頭痛を消した
- ダメ！
- パタン3かもしれない
 - ▶ 残される可能性： $Y_i(1) = 0$ かつ $Y_i(0) = 0$
 - ▶ 「アスピリンを飲まなくても頭痛は消えた」かもしれない

ダメな因果推論 (2)

- 異なる個体を比較する
 - ▶ データ：Sさんはアスピリンを飲んで、彼女の頭痛は消えた。Rさんはアスピリンを飲まず、頭痛が残った。
 - ▶ 結論：アスピリンが頭痛を消した
- ダメ！
- 残される可能性： $Y_S(1) = 0$, $Y_S(0) = 0$, $Y_R(1) = 1$, $Y_R(0) = 0$
 - ▶ Sさんの頭痛は処置をしてもしなくても消える
 - ▶ Rさんの頭痛は処置をしてもしなくても残る

分析単位

- 処置（行動）は、分析単位 (unit) に適用される
 - ▶ 分析単位は
 - 物理的対象：人、物
 - 行政単位：国、県、市町村、州
 - 物や人の集合（グループ）など
 - ▶ **分析単位は、「特定の時間」において定義**される
 - ▶ **同一人物でも、異なる時点では異なる単位**として扱われる
 - 「昨日の私は今日の私ではない」

疑問

- ある個体（個人） i について

$$Y_i(1) \text{ と } Y_i(0)$$

を同時に観察できる？

できない！！！！！！

因果推論の根本問題

(Holland 1986)

因果推論の根本問題

表1：処置前

処置	潜在的結果	
	$Y_i(1)$	$Y_i(0)$
？	Y_i として観察される可能性	Y_i として観察される可能性

表2：処置後

処置	潜在的結果	
	$Y_i(1)$	$Y_i(0)$
あり	Y_i として観察される	観察不能
なし	観察不能	Y_i として観察される

個体の因果効果は観察不可能！

潜在的結果と因果推論

- いつも潜在的結果のペア（あるいは集合）を考える

$$\{Y_i(1), Y_i(0)\}$$

- ▶ すべての潜在的結果を明確にすることが必要
- ▶ 潜在的結果がわからないと、因果推論はできない
- 1つの分析単位に対し、潜在的結果は最大で1つしか観測できない
- ▶ 因果推論をするために、観察できない潜在的結果について考えることを要求される

次回

因果推論 II