

質問の詳細

#	質問	回答 or レスポンス
1	P54の仮定2と仮定3の具体例が知りたいです。翌日の授業で行う予定でしたら失礼しました。	今日か明日の講義中に説明します。先取りしたい方は書籍をお読みください。
2	基本的に処置という言葉が使われたら二値変数のみをさし、連続変数を指すことはないという理解でよろしいのでしょうか。	高橋先生：二値変数を指すことが多いが、処置の強さなど（投薬量など）を表す場合には連続変数を指すこともありえる
3	表2.2において、実際には観察されない潜在的結果変数（白抜きの値）として、どのような値を入れるかは、どうやって決めるのでしょうか？ この点については、ご著書『欠損データ解析』を参照すればよいですか？	高橋先生：潜在的結果変数は実際には観察されないもので、どのように補っていくかをこれから2日間で学んでいきます。
4	この例では、白抜きの数字をどのように計算してしているのでしょうか？	高橋先生：この数値は $Y(1)$ が $Y(0)$ よりも大きくなるように乱数を発生させて作ったものです。これはあくまでも説明のために準備したものであって、実際のデータ分析では観測することはできません。
5	スライドp9、p10の式で、ifで場合分けしているのはなぜですか。 $Y_i T_i=0$ の場合は $T_i=0$ の場合のみ、 $Y_i T_i=1$ の場合は $T_i=1$ の場合のみ、考慮すれば良いのではないですか。	高橋先生：誤植かもしれません。
6	$Y_i(0)$ は定数でしょうか確率変数でしょうか？ 後者の場合、 $\tau$ では期待値をとるのでしょうか？	高橋先生：Rubinの枠組みでは個体ごとに定まった数値（定数）であると想定されています。 $Y_{-i}(1)$ と $Y_{-i}(0)$ のどちらが実現するかが確率的に決まると考えます。
7	集団に対する処置効果として、「平均以外のもの」についても平均と同様に考えることが可能でしょうか？ 上位・下位10%の効果や処置効果の分散を推定したいというモチベーションもあり得そうに思いました。セミナーの範囲外になると思いますが、ご回答いただければ幸いです。	高橋先生：平均以外のものを推定対象とすることも可能です。（やや発展的な話題のため書籍の範囲外）関心があればImbens & Rubinの書籍などを参照してください。
8	ATEとATTの違いで、いずれも観察されなかった値を推定するプロセスが入ると思うのですが、両者は(処置統制と処置のみで違うのは分かりますが)そこまで違うのでしょうか？	高橋先生：これは状況次第です。処置が無作為割り付けされている場合には（誤差の範囲内で）同じになりますが、一般にはATEとATTの差は個別の具体的な状況に依存します。
9	表2.2で処置効果を見る為には、 入学試験x1の値と期末試験結果の値の差分を、 処置あり/なし毎に平均すればよいようにも思うのですが、 上記では不十分でしょうか？	高橋先生：表2.1では前後比較はマイナスになっている人が多い（本当の効果はプラス10点程度のはずなのに）。このように、単純な前後比較は統計的因果推論の手法としては不十分であることが多い。原因は、処置（補習）を受ける人は入学試験の得点が低い人であること。補習授業を受けるかどうかによって、もともとの学力に差があるためにこのような現象が発生している。（後ほど「交絡」の話がでます）

10	$\tau \text{ ATE} = E[ Y_i(1) - Y_i(0) ]$ は、「個体集団にわたる平均」ですが、「個体 <i>i</i> が確率的にサンプリングされる」という意味で期待値 $E$ で表現するのでしょうか？	高橋先生：実際の計算では足し上げて $n$ で割りますが、理論的にはどちらが実現するかが確率的に決まるのでここでは期待値を用いています。
10	$\tau \text{ ATE} = E[ Y_i(1) - Y_i(0) ]$ は、「個体集団にわたる平均」ですが、「個体 <i>i</i> が確率的にサンプリングされる」という意味で期待値 $E$ で表現するのでしょうか？	各個体に対して $(T_i, Y_i(1), Y_i(0))$ がサンプリングされていると考えて良いかと思います。
11	例え無作為割り付けをした場合でも何らかの偶発的な要因で集団間の変数の分布が異なることは十分にありうると思うのですが、そのような可能性は一旦は無視する感じなのでしょうか。	高橋先生：ケースバイケースかもしれませんが、偶発的にそうなることはあり得ます。例えば10人を5人ずつに分ける場合はそうなりやすいですが、大きな集団を分けた場合には、偶発的に差が生じる確率はかなり小さくなると期待されます。また、観察されているデータに関しては2つの集団が似ているかどうかを確認することは可能です。観察されていない共変量については確認はできませんが、無作為割り付けしているので等質になっているだろうと考えることになります。予算が十分あるのであれば同じ無作為割り付けをもう一度行って確認するという手もあります。
12	処置効果の平均が定義できているのであれば、処置効果の分散などもあるのでしょうか。あるとすればそれが推定の精度の指標になるのでしょうか。	高橋先生：処置効果の分散もあります。例えば書籍 p.57の4.2.4項では、平均処置効果の2標本 $t$ 検定を行っています。統計的因果推論においても標準誤差は重要となります。
14	無作為割り付けについてfollow-up questionです。例えば、そもそも被験者全体において、特定の変数を有する被験者が10%しかいない場合、安易に無作為割り当てをすると、片方の集団には当該変数を有する被験者が1人もいないという状況も考えられると思います。こういった場合、いわゆる「層別」の割り当てでも実際には行われたりするのでしょうか。	高橋先生：層別の割り当てでも実際に行われます。書籍内でも特に傾向スコアのあたりで層別の解析を行っています。一方の集団にしか存在しない属性などが発生しないように、注意して割り当てを行う必要があります。
15	SUTVA が成り立っているかをデータから証明することはできないと思いますが、データを見てチェックするとよい観点はあったりするのでしょうか？	高橋先生：仮定なのでデータから検証できないのはその通りですが、具体的な背景知識をもとに、一体何が操作されているのかをよくよく考える必要があります。コロナの場合、ワクチンを接種するかしないかを操作しようとしているわけですが、ワクチンを打っていないBさんが同居者のAさんを介してその効果が伝わってしまうとBさんが実質的にワクチンを接種したことになってしまいます。処置の定義が曖昧であってはいけなくて、何が原因で何が結果であるかという理論モデルを考えることが大切です。

16	条件2についてはどの程度まで厳密に考える必要があるのでしょうか。例えば、ワクチン接種の例でいえば、受ける場所や時間・ワクチン製造のロット等も異なると思うのですが、全てを再定義で対応することは現実的ではないと思います。実証研究において、その許容範囲は研究者によりけりといった感じでしょうか。	高橋先生：ファイザーの実験でどこまで対応されたかはわからないが、場所・時間・ロット番号くらいはなるべく同じになるようにしていたのではないかとと思われる。因果推論に限らず統計では仮定が重要となるが、満たされた／満たされていないの二値ではなくグラデーションとなるので、「なるべく満たす」という努力義務だと言える。どの程度許容するかは個人による。
17	STUVAの「相互干渉なし」は交換可能性、「隠れた処置なし」は一致性と言い換えても大丈夫でしょうか？	高橋先生：隠れた処置なしはconsistencyと対応します。交換可能性（疫学）は無視可能性（統計的因果推論）と対応するものですが、微妙に重ならないところもあります。
18	因果推論において、consistency, exchangeability, positivityが成り立つ必要があると学習したのですが、SUTVAの条件2はconsistencyと同じことでしょうか？	高橋先生：その通りです。同じものを表す用語が分野によって少し変わったりします。
19	p. 7の条件1の対応策は、個人が元々の単位である場合、ecological fallacyの問題がありうると思うのですが、それを意識しながら該当の対応策を取るということでしょうか。	横から失礼します。高橋先生(2022)の著書 p298に関連の記載があり、仰るように、これが多重代入法による個体因果効果の推定を行うモチベーションだと理解しております。
19	p. 7の条件1の対応策は、個人が元々の単位である場合、ecological fallacyの問題がありうると思うのですが、それを意識しながら該当の対応策を取るということでしょうか。	高橋先生：集団レベルの結果を個体レベルの解釈に使うのはecological fallacyを招きます。その場合、個体レベルの解釈は慎重にしなければなりません。ただし、これも程度問題です。90年代は何も考えずに個体レベルの解釈を行っていたのでそれはよくないという話ですが、個体レベルの発見と集団レベルの発見が完全に無関係と考えるのも合理的ではありません。単位が異なると、直接的に言えることは変わりますが、これはdiscussionやlimitationで議論すればよいことだと思います。
21	潜在的結果変数と処置の割り付けが独立でないケースにはどのようなものがありますか？	高橋先生：観察研究では、ほとんどすべてのケースで独立ではないと考えられます。補習の例でいうと、処置の割付けが入学試験の点数で決まり、入学試験の得点と潜在的結果変数（期末試験得点）にも関係があるため、潜在的結果変数と割付けは独立ではなくなります。
22	自然実験は「実験研究」ですか？「観察研究」ですか？無作為割り付けを分析者が自覚的に介入して「処置」するもののみを「実験研究」と言うべきでしょうか？	高橋先生：言葉の使い方は分野等によっていろいろあると思いますが、本来的な実験研究の意味は、無作為化に関してだけではなく、研究のデザインを実験者が全てコントロールできるものです。統計的因果推論の観点からは処置を無作為化しているかどうかが重要なので、無作為化しているものを実験研究と呼んでいきます。自然実験であっても処置が無作為化されているとみなせるのであれば実験研究として扱えるかもしれません。

23	<p>p25の<math>E[Y_i T_i=1], E[Y_i T_i=0]</math>のEは「観測できる」と書かれていることから「観測データの平均」を意味していて、その下の<math>E[Y_i T_i=1]-E[Y_i T_i=0]</math>のEは「推定できる」とあることから「母集団における平均」を意味している、という認識で合っていますでしょうか？</p>	<p>高橋先生：実際の計算では、期待値は平均値として計算する。得られた平均値から母数の推測を行う、という考え方は通常の推測統計と同じ。</p>
24	<p>識別性で登場した`観測されたデータから母数(parameter)が一意に推定できること`とは今話されている具体例においてどういったことに対応するのでしょうか？母数はどれに対応するのか知りたいです。また、一意に推定できないというのはどういった状況を指しているのでしょうか？</p>	<p>高橋先生：書籍の表2.1の例の段階では統計的推測の話は意図的に導入していないので、母数をどのレベルで考えるかということになりますが、今の段階では手元にあるデータが母集団ということになります（推測は4章以降）。今のところは潜在的結果変数の差の平均(ATE)が母数です。それを適切に推定できるかというのが先ほどの識別性の条件です。独立性が満たされていないと計算がおかしくなりますし、正值性が満たされていないと計算がおかしくなりますから、この2つの条件が必要ということです。</p>
25	<p>数学の試験の例だと、</p> <p>ATE＝補習を受けた人の平均点－補習を受けなかった人の平均点</p> <p>ということでしょうか？</p> <p>これは、白抜きのセルも含みますか、含みませんか？</p>	<p>高橋先生：母数（本当に知りたいもの）のことであれば、白抜きセルの値も含みます。ただし表2.2の右3列（潜在的結果）は実際には観測されないの、観測されている部分（実際の期末試験の得点）から母数を推測しようとしています。</p>
25	<p>数学の試験の例だと、</p> <p>ATE＝補習を受けた人の平均点－補習を受けなかった人の平均点</p> <p>ということでしょうか？</p> <p>これは、白抜きのセルも含みますか、含みませんか？</p>	<p>補足：補習を受けるかどうかはコイントスなどで完全ランダムに決まるならば、潜在的結果と割付が独立と言えるため、上述の式によって（＝観測データから）母数に近い値が推定可能となる。</p>
26	<p>Koizumiさんのご質問にかぶせますが、補習の例であれば、独立性が担保できるのであれば、Koizumiさんが仰る計算によって、本来の数値である10.05に近い値が算出されるだろう、という理解でよろしいでしょうか</p>	<p>高橋先生：はい、そうです。処置の割り付けが無作為化されていれば（例えば補習授業を受けるかどうかをコインで決めたら）、数学力の高さとコインの表の出やすさは関係がないはずなので、本来の数値である10.05に近い値が観測データから容易に計算されるはずということです。</p>
27	<p>共変量であり、中間変数でもある変数がある場合、どう考えればよいのでしょうか？たとえば、結果変数が投票行動、処置変数がメディア視聴、共変量が政治知識の場合を考えると、政治知識は共変量であり、かつ中間変数でもあると思います。</p>	<p>高橋先生：中間変数については第5回でお話します。このときに共変量であり中間変数でもあるようなケースも扱います。</p>

28	交絡因子は共変量の中でも、結果変数に加えて処置にも影響を与える変数といった位置付けでしょうか。	高橋先生：はい、その通りです。交絡因子ではない共変量についても後ほど話します。
28	交絡因子は共変量の中でも、結果変数に加えて処置にも影響を与える変数といった位置付けでしょうか。	高橋先生：はいそうです。
29	表3.2について、識別性の条件のうちの独立性は成り立っていないものの共分散分析を使用すれば、標本から母数は推定できるという理解であっていますか？	高橋先生：共変量を条件つけたときの条件付き独立が成り立っているため、うまく平均処置効果が推定できています。
30	同じ入学試験の点数が同じ個体同士では処置の割付確率が同じで、共変量に条件づけたときに局所的に無作為割付が実現されているとみなせる、ということは理解できますが、補習授業が学生の裁量に委ねられている場合、例えば”学習意欲”の変数を仮定した場合、無作為割付にならないとの理解であっていますでしょうか？	高橋先生：その理解であっています。 今回の場合は入学試験の点数に依存して決まっていたが、 学習意欲が測定されていたとした場合、 入学試験の点数と学習意欲で決まっているとすると、 局所的に無作為は成立しません。 モデルに、未観測の交絡変数が含まれていないためです。
31	講義3のP45の「強い意味での無視可能な割付け」について、ここでの「無視可能な」という言葉はどんな意味、文脈で使われているのかご教示頂けますでしょうか(ここでの内容は分かるのですが、この言葉の意味するところが直観的によく分かりませんでした。細かい話で申し訳ありません)。	高橋先生：データ全体では処置の割付は無作為ではないので、これを無視して分析(処置の有無でそれぞれ平均をとったりする)を行ってはいけません。一方で、共変量で条件づけたときには処置の有無でそれぞれ分析しても問題ない、という意味で「無視可能」とよばれる。
32	FYI: 高橋先生(2022)のp84に回帰計数の標準誤差式の記載があります。	ライブ中継で回答済み
33	講義4スライドp22の図のAの部分をDAGで表した場合、X_1からX_2への矢印の可能性もあるので、厳密には双方向の矢印が正しいのではないのでしょうか？ また、薄いグレーのA部分には、X_1とX_2の交互作用が含まれるという可能性もあるという認識で合っていますか？	高橋先生：DAGのルールとして、両矢印は使いません。背景知識をもとに方向を決める必要があります。交互作用の話は回帰分析の限界のところで話す予定です。書籍の第9章もあわせてご確認ください。
34	関連してですが、仮にX1とX2が両方向矢印だと考えた場合は、その相関関係を生み出すような、さらにそのX1とX2の交絡としてUが想定されると考えれば、本来Uをモデルに組み込むべきものをX2で組み込んだというような理解でよろしいでしょうか。	高橋先生：その理解で正しいです。両矢印を想定する場合には、なにかモデルに含むことができていない別の変数があると考えていることがあります。

35	<p>上記のカマハラさんの質問と被るのですが、説明変数 <math>X_1, X_2</math> に相関がない場合でも、<math>X_2 \rightarrow X_1</math> があって但し <math>U \rightarrow X_1, U \rightarrow X_2</math> という <math>U</math> があるためデータ上は相関がないというケースがあり得そうですが、その場合は <math>X_2</math> も説明変数に取り込まなければならないでいていますか？</p>	<p>高橋先生：この話はこの先中間変数のところで説明するケースと同じになりますのでそちらでお答えします。</p>
36	<p>Model2b と model3の係数があまり変わらないことから、どういう結論が導けるのでしょうか？</p>	<p>高橋先生：2つの係数は本質的に同じ値です。2つの変数を用いた重回帰モデル（lm関数に2つの説明変数を入れた場合）と、2段階で推定するやり方（で得られる結果）が同じであることを確認するためにそれぞれの方法で分析を行っていました。</p>
37	<p><math>X_1</math>と<math>X_3</math>の相関が強くなればなるほど標準偏差が大きくなるとは、どのようなメカニズムなのでしょう。つまるところ標準偏差式のUSSが大きくなることを意味すると思うのですが、二つの変数の相関が強いほど直感的にはUSSは小さくなるイメージなのですが、いかがでしょうか？</p>	<p>高橋先生：標準誤差の分母は<math>TSS(1-R^2)</math>で表されます。<math>R^2</math>はそれ以外の変数で回帰したときの決定係数なので、相関が強くなるほど標準誤差の分母が小さくなり、結果的に標準誤差は大きくなります。</p>
37	<p><math>X_1</math>と<math>X_3</math>の相関が強くなればなるほど標準偏差が大きくなるとは、どのようなメカニズムなのでしょう。つまるところ標準偏差式のUSSが大きくなることを意味すると思うのですが、二つの変数の相関が強いほど直感的にはUSSは小さくなるイメージなのですが、いかがでしょうか？</p>	<p>手書きの式  <math display="block">Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \varepsilon</math> <math display="block">\beta_2 = 0, \varepsilon \sim N(0, \sigma^2)</math> <math display="block">s.e.(\hat{\beta}_1) = \sqrt{\sigma^2 / TSS(1-R_1^2)}</math></p>
38	<p>不要と分かっている変数<math>X_3</math>を入れた時と入れない時の重回帰分析において、AICや決定係数<math>R^2</math>に差は出ますか？</p>	<p>AIC基準で変数選択するメソッドがRにあり、状況により重回帰で使っております（科学的面の推測の1つとしてですが）。本議論でAICとの関係はどうなるのか、は関心はあります。</p>
38	<p>不要と分かっている変数<math>X_3</math>を入れた時と入れない時の重回帰分析において、AICや決定係数<math>R^2</math>に差は出ますか？</p>	<p>高橋先生の回答：<math>R^2</math>は（僅かかもしれませんが）大きくなります。<math>R^2</math>は、不要な変数であってもいれられるほど、変わらないか大きくなります。この講義ではAICには踏み込んで解説はしていませんが、書籍のpp.103-104でその話をしています。統計的因果推論の観点からは、AICによる変数選択は好ましくないと考えられています。AICはモデル全体から<math>Y</math>を予測したいときに使うものですが、我々が知りたいのは<math>X_{1i}</math>から<math>Y</math>への因果効果なので、AICで良いとされるモデルが因果推論の観点から良いモデルであるとは必ずしもいえません。</p>
38	<p>不要と分かっている変数<math>X_3</math>を入れた時と入れない時の重回帰分析において、AICや決定係数<math>R^2</math>に差は出ますか？</p>	<p>変数を取り込むと決定係数が大きくなる問題のペナルティーとして  「自由度調整済寄与率（決定係数）」という考え方があります。</p>

38	不要と分かっている変数X3を入れた時と入れない時の重回帰分析において、AICや決定係数R2に差は出ますか？	ついでに僕から捕捉すると、不要な変数を加えると一般にはAICは増大します。
38	不要と分かっている変数X3を入れた時と入れない時の重回帰分析において、AICや決定係数R2に差は出ますか？	↑これは、尤度は変わらないけどパラメータ数（罰則項に相当）が増えるから、と考えると分かりやすいです。
39	多重共線性のある共変量も入れておいたほうがよいのでしょうか	失礼しました、次のスライドで説明されていました。
39	多重共線性のある共変量も入れておいたほうがよいのでしょうか	ライブ中継で回答済み
40	無視可能性を成り立たせるために変数をなるべくたくさん使うのが良いという主張がありましたが、たくさんの変数について観測がある集団に絞るとサンプルサイズが小さくなっているor偏っているということもよくあると思います。この時に無視可能性が成り立たなくなっているかもしれないバイアスと、データが取れている集団が小さいor偏っていることで生じるバイアスをどうバランスさせれば良いか、考え方に指針はございますでしょうか？ 先生がご研究されている欠測データ解析での因果推論をやるべきという話かもですが。	高橋先生：最後の1行の通りです。変数を放り込むほどすべての変数が揃っているデータの数は少なくなり、欠測を無視して解析を行うとバイアスが生じてしまうため、多重代入などの方法で補正を行う必要が生じます。
40	無視可能性を成り立たせるために変数をなるべくたくさん使うのが良いという主張がありましたが、たくさんの変数について観測がある集団に絞るとサンプルサイズが小さくなっているor偏っているということもよくあると思います。この時に無視可能性が成り立たなくなっているかもしれないバイアスと、データが取れている集団が小さいor偏っていることで生じるバイアスをどうバランスさせれば良いか、考え方に指針はございますでしょうか？ 先生がご研究されている欠測データ解析での因果推論をやるべきという話かもですが。	高橋先生の著書「欠測データ処理」 <a href="https://www.kyoritsu-pub.co.jp/bookdetail/9784320112568">https://www.kyoritsu-pub.co.jp/bookdetail/9784320112568</a>
41	瑣末な質問で恐縮ですが、内生性の問題はどこで扱うのでしょうか？教科書では、操作変数法との関連で触れられていたようですが、内生性の問題と重回帰モデルの限界との間に関連性はあるのでしょうか？愚問だったら申し訳ありません。	高橋先生の回答：計量経済学あるいは経済学の用語として内生性はよく出てきます。書籍では操作変数法のところで出てきますが、内生性の問題をどう定式化して考えるかにもよります。交絡因子というのが内生的な変数という理解になるので、これの影響を取り除くということが内生性の問題と関連します。
42	（チャットに書いたものをこちらでも質問しています）講義6と講義7のスライドを見ると逆確率重み付け法がないですが、こちらは講義されないということであっていますか？	高橋先生：逆確率重み付け法を含め、今回は時間の都合上扱うことができないトピックもありますが、書籍を参照いただければと思います。

43	<p>不要な変数が分からない場合、例えば最初にモデル10を試し、係数が0なら除いて、モデル9で推定し直した結果を最終的に採用する(報告する)、というやり方は不適切でしょうか。</p>	<p>高橋先生の回答：この考え方は議論がありうると思います。必ずしもダメとは思いません。例えば、モデル10の結果ではbeta_3の推定値は0.000と推定されていて、因果効果がなさそうであることは確認できますから、X_3を除いたモデル9を報告するというのも納得はできます。ただし、検定の多重性の問題が生じる可能性があります。折衷案としては両方を報告するというのはあると思います。もしX_3が不要だったとしたら信頼区間の幅が大きくなりすぎているかもしれません、といった留保付きでアベンディックスなどを使って両方を報告することはあり得ます。推定したモデルは全て報告して透明性を高めておくのがよいと思います。</p>
44	<p>中間変数を入れないということは、因果関係のおおもとにあるような真因だけをモデルに入れるべき という考え方でしょうか？</p> <p>だとすると、モデル入れられる変数の数が少なくなっちゃう気がしますが、大丈夫ですか？</p>	<p>ありがとうございます。現実的に、共変量の数は数個だぐらいが適切と理解しました。</p>
44	<p>中間変数を入れないということは、因果関係のおおもとにあるような真因だけをモデルに入れるべき という考え方でしょうか？</p> <p>だとすると、モデル入れられる変数の数が少なくなっちゃう気がしますが、大丈夫ですか？</p>	<p>高橋先生：中間変数を入れないのは、Yのおおもとの原因の効果を知りたいということになります。そのような場合、投入できる変数の数は少なくなります。ご質問の意図にはX2の効果を同時に知りたいという事があると思われませんが、そのような運用は不可能であり、現実にはモデルを切り分けて推定する必要があります。</p>
45	<p>重回帰分析の時、多重共線性があるとモデルが不安定になるから取り除くべきと言われますが、X1とY1の因果関係を調べたい場合は多重共線性があっても問題無いという事でしょうか。</p>	<p>高橋先生の回答：次のテーマになるのでそのときお話しします。</p>
46	<p>確認ですが、2番目のケースにおいて、<math>y \sim x_1</math>で推定したとしても正しい推定ができるという理解でよろしいでしょうか（<math>x_3</math>が交絡因子ではないため）</p>	<p>高橋先生：<math>y \sim x_1</math>で推定した場合は正しい結果は得られません。<math>X_2 \rightarrow Y</math>が直通だと見ると、<math>X_2</math>は交絡因子なので必ずモデルに含める必要があります。<math>X_3</math>を入れた場合に<math>X_2</math>が不要になるのは、<math>X_2</math>の効果が<math>X_3</math>を介してのみ作用する（直接の矢印がない）ため、<math>X_3</math>がない場合には<math>X_2</math>は必要になります。<math>X_2</math>と<math>X_3</math>が両方ともない場合（<math>y \sim X_1</math>），<math>X_2</math>が<math>X_1</math>を介してYに与える影響が含まれてしまうため、<math>X_1</math>の真の効果は推定できなくなります。</p>



47	<p>すみません。</p> <p>戻ってしまいますが、P.38のようにモデルが特定されている状況（いくつかの仮定の下）では、<math>\gamma_1</math>を含めて推定が可能だと思います。</p> <p>P.40で推定対象の<math>\gamma_1</math>が分からないからおっしゃったのは、正しく推定できないなどの意味だったのでしょうか？</p>	<p>高橋先生の回答：<math>\gamma_1</math>の推定は、p.38の<math>X_2</math>と<math>X_1</math>の式を使えば推定できます。両方の変数を含む重回帰モデルでパラメータを推定した場合、求めたい因果効果（直接効果と間接効果の和）は直接推定できますが、<math>\gamma_1</math>は推定できないということです。</p>
48	<p>高橋先生は、DAGを描く際、ある変数が中間変数かどうかの判断はどのようにされていますか。</p>	<p>高橋先生：この判断はドメイン知識につきます。例えばp44のDAG（GDP→チョコレート消費量）であれば、「チョコレートは嗜好品だから経済的に豊かになって初めて増える」という考えに基づいてチョコレート消費量を中間変数とみなすのは自然ですが、一方でチョコレートの生産量自体がGDPに影響するという考え方もなくはないので、GDPが中間変数になるという見方も一理あるかもしれません。</p>
49	<p>父収入 → 本人学歴 → 本人収入 （処置） （中間） （結果変数）</p> <p>こういう場合（中間変数が実質的にも結果変数に影響する、かつ、処置変数が時間的にも相当に先行するような場合）は、「本人学歴」を含めないことは</p> <p>あまりしっくりこない感じもしますが、同列に考えてよいのでしょうか。</p> <p>（教科書だけを読んだ時点では上記疑問をいただきました。ただ、教科書だけでなく、複雑な中間変数の例を見て、だいぶ疑問が氷解してきました。ありがとうございます。）</p>	<p>高橋先生の回答：父親の収入が直接的に子供の収入を増やすという矢印があるかどうかですね。自営業とかであればそうかもしれませんが、サラリーマンとかであれば、中間を通っているだけではないでしょうか。直接効果があるのであれば、学歴と収入の因果効果を見たいときには父親の収入を交絡因子として考慮する必要がありますが、直接効果がないのであれば、入れなくてもよいということだと思います。</p>
51	<p>中間変数の判断はドメイン知識が必要という話でしたが、ある変数が中間変数か自動で調べるのは難しいという事でしょうか。</p>	<p>高橋先生：中間変数もそうですが、データからDAGを自動的に描くのは不可能です。（とくに矢印の向きなどはドメイン知識をもとに設定されるべきもののので）因果推論は解決したい問題に対する背景知識なしには達成されません。</p>

52	<p>午前中にも質問させて頂きましたが、中間変数か、交絡変数か、どちらも考えられる場合には回帰に投入すべきかどうか迷います。午前にも出した例で、アンケート調査などで、結果変数＝投票参加、処置変数＝メディア視聴量、交絡変数＝政治知識、みたいなのを考えた時、政治知識はメディア視聴の結果でもあるので、中間変数にも捉えることができます。こういう場合、回帰に入れるべきでしょうか、入れない方が良いでしょう。本来は、メディア視聴という処置以前の知識量、というのが変数として利用できたら、問題は解決するようにも思いますが、ワンショットの観察データだと、調査時点での政治知識量しか把握できません。そういう前提での場合、こういう中間変数でもあり、交絡変数でもあるものをどう考えたらいいのか、よくわかりません</p>	<p>高橋先生の回答：こういう場合は、どちらのケースも想定して分析するしかないかもしれません。どちらなのかは判断がつかないので場合分け議論をして、最終的にどちらが正しいかは読者に判断をゆだねる、ということになるのだと思います。</p>
53	<p>シート51からの議論にあります、式中のいわゆる誤差項としてのe1からe3は、この計算の数値セットでは、実際にx1からx3と大して違いが無い大きさになると思います。ただ実際計算ではe1等の残さはx1などの数値より小さいだろうというイメージなのですが、この計算では要するに単なる定数であり、その大きさには無関係、という概念である、との理解で良いでしょうか。</p>	<p>高橋先生：今回の例ではx2およびe1-3はすべて標準正規乱数で生成しており、回帰係数も1にしているため、各変数の大きさは近い値になります。この乱数生成の設定を変えると結果の推定値のズレの大きさも変わるため、つねに「間違いだと0.5程度大きくなる」といった定量的なことは言えず、今回の例のズレも特別な意味はありません。実際の論文を書く場面などでは、誤差の状況設定を様々に変えてみたり、実データに近い状況で試してみるのが良さそうです。</p>
54	<p>処置変数と共変量の間に強い相関がある場合は、VIFをみて入れるか入れないか判断するとよい、という理解でよいでしょうか。</p>	<p>高橋先生の回答：書籍でも、明確にそうしたほうがよいとは必ずしも述べていません。1.0にすごく近くなればなるほど、2つの変数が本当に違う現象をとらえているのかが疑わしくなりますが、それをどうするかはドメイン知識に依存します。X_1が処置変数と概念的に同じことを捉えているのであれば、それを取り除くのはおかしいと議論できます。一方、強い交絡を生じさせているという背景があるのであれば、たとえVIFが大きかったとしても、モデルに入れなければ交絡が取り除けないので、入れる必要があります。</p>
55	<p>仮定2と仮定5が完全に独立なのか少しコメントいただきたいです。私の少ない経験だと不均一分散があると非線形性が疑われるケースが非常に多かったのです。</p>	<p>高橋先生：p12の図4にもあるように、非線形性と不均一分散は関連があることが多いです。このケースでは、回帰係数の推定値だけでなく標準誤差にも影響しています。非線形性がある場合には、適切な変換をすることで結果的に不均一分散も解消されるケースもよく見られます。このように、不均一分散の原因が非線形性にある可能性もあるため、変数間のモデリングを行うことが重要となります。</p>

56	重回帰分析の仮定を話していた際に、「因果推論の文脈では」問題ないという言葉が頻繁に用いられていたように思います。仮定の議論をする際に、因果推論の文脈と比較して、どのような文脈においては具体的にどの仮定が特に問題になるケースがあるとお考えか、1例・2例上げていただけると幸いです	高橋先生：重回帰モデルから因果推論を適切に行うためには、仮定1-6をすべて満たしているのが望ましいが、特に仮定2,3が満たされていない場合には間違った結果が得られてしまう。一方で、例えば仮定1が満たされていなくても回帰係数は変わらないため因果推論的には問題ないが、切片が変わるため、予測値を得る場合には問題となる、などのケースがある。
57	結果変数を売上、処置変数を顧客の購買回数、共変量を店のサービスといったモデルで店のサービスの影響度合いも評価したいときには、顧客の購買回数と店のサービスを処置変数としたモデルを検討するしかないのでしょうか。	高橋先生の回答：別々のモデルを作ってそれぞれを調べればよいです。
58	「ある変数で条件づける」ということが十分に理解できないのですが、具体的にどのような手続きを言うのでしょうか。例えば、回帰分析であればその変数を説明変数に使う、分割表では層別する変数に使うという理解で合っていますか？ 基本的な質問で申し訳ございません。	高橋先生：その通りです。
59	統制群と処置群で結果変数に差があるかどうか見たいときに、たまたま両群で結果変数に影響しうる変数に差が出てしまった場合、それを“共変量”とした共分散分析を行うことがあるように思います。 (例：年齢が結果変数に影響を及ぼす場合に、無作為割り当てをしたのにたまたま処置の有無で年齢の差が出てしまった場合、独立変数を処置の有無、年齢を共変量とする)  この場合、最初の補習の例と違って、年齢と処置の有無の違いの因果関係がよく分からなくなるのですが、(処置の有無→年齢という因果を仮定した) 共分散分析を行ってよいのでしょうか？	高橋先生の回答：処置の有無→年齢という因果関係はおかしいです。年齢は処置によって変わる訳ではないからです。前半に関してはその通りです。無作為割り付けをしたとしても、たまたま処置群のほうが年齢が高くなったとしたら、観測された年齢を使って共分散をモデルに入れることができます。年齢と処置が独立になっていないのであれば、年齢→処置が十分に切れていないということになるのでモデルに入れるということになり、共分散分析の考え方と一致します。

59	<p>統制群と処置群で結果変数に差があるかどうか見たいときに、たまたま両群で結果変数に影響しうる変数に差が出てしまった場合、それを“共変量”とした共分散分析を行うことがあるように思います。</p> <p>(例：年齢が結果変数に影響を及ぼす場合に、無作為割り当てをしたのにたまたま処置の有無で年齢の差が出てしまった場合、独立変数を処置の有無、年齢を共変量とする)</p> <p>この場合、最初の補習の例と違って、年齢と処置の有無の違いの因果関係がよく分からなくなるのですが、(処置の有無→年齢という因果を仮定した) 共分散分析を行ってよいのでしょうか？</p>	<p>すみません、後半の因果が間違っていますね。最後の( ) 内パスは年齢→処置の有無、の誤記でした。</p> <p>十分に切れていないので、ということでその方向の因果を仮定するということで承知しました。どうもありがとうございました。</p>
60	<p>本講義では、結果変数は量的変数を使われていると思いますが、アンケートデータのような質的変数にも応用可能でしょうか。</p>	<p>高橋先生の回答：はい、可能です。リッカート尺度ぐらいの場合は質的というかはわかりませんが、カテゴリーの変数であっても、理屈を当てはめていくことはできると思います。多値の結果変数に対するモデリングは多項ロジットや多項プロビットなどのモデルを用いれば技術的には推定できますが、これらのモデルの仮定を満たす必要があります。カテゴリが3つ以上になると、潜在的結果変数が増えて複雑になりますが、議論としては可能です。</p>
61	<p>仮定2パラメータにおける線形性は、重回帰分析のみで求められる仮定なのでしょうか。傾向スコアマッチング、操作変数法や不連続回帰では求められないものなのでしょうか？</p>	<p>高橋先生の回答：傾向スコアマッチングでは、求められないとまでは言いませんが、モデル誤設定に対してより強いです。操作変数法は本質的には重回帰モデルなので変数間の関係は特定されている必要があります。不連続回帰では理論上は関数形の仮定は無視できると言われています。局所が十分狭いという条件付きで、関数形の仮定を緩めることができます。</p>

62	<p>因果推論では不偏性が大事ということですが、どの集団に対する不偏性なのか検討するのに方針はございますか？ 例えば、無作為割り付けで得られたデータであっても、それに実験に同意した集団がリサーチしたい集団と違うような気がする等。</p> <p>データ収集の設計時によく考えておくべきことではありますが、事後的に何らかの検討ができるか伺いたいです。</p>	<p>高橋先生：内的・外的妥当性の話と関係があるかと思っています。無作為割り付けは「手元のデータ」における割付の話なので、そのデータの中での偏りの有無は議論できますが、そもそも母集団からの無作為抽出とは限らないため、母集団での効果に対する偏りの無い推定ができるとは言い切れません。理想は母集団全体から無作為抽出された人たちに対して無作為割付を行えば内的・外的妥当性もクリアできますが、実際には母集団全体からの無作為抽出は難しいものです。実験研究の優れている点は、少なくとも集めたサンプルにおける内的妥当性に関してはベストであるということですが、外的妥当性が満たされないという意味では、実験研究だけでは不十分と言えるかもしれません。対処法としてよく言われるのはデータベースを用いた研究を行うことです。実験研究と同じような結果が、大規模なデータベースでも得られたならば、より強く妥当性を主張できるといえます。</p>
63	<p>共分散構造分析(SEM)のような回帰式をたくさん組み合わせる分析は、因果推論を考える上では不要と考えてよいでしょうか？</p>	<p>高橋先生：一般論として、SEMの研究者とRubin流の因果推論の研究者は学派が異なる、という感じです。不要かどうかは判断しかねます。</p>
64	<p>重回帰分析においてモデルに投入してよい説明変数は<math>n</math>数÷10程度と聞いたことがあるのですが、統計的因果推論の場合はこのことは当てはまらないと考えてよいでしょうか？（可能な限り沢山投入した方がよいと理解しております）</p>	<p>高橋先生：<math>n</math>に対して変数が増えるほど自由度が小さくなるため、無尽蔵に共変量を投入するのは問題がありますが、統制すべき変数がどの程度あるかをもとに考えるべきだと思います。<math>n</math>が十分に多ければ共変量の数は問題にはならないでしょう。社会学的には、世の中の現象は何から何まで関連しているはずですが、さすがにすべてを投入するわけにも行かないので、あくまでも重要な変数だけをドメイン知識を活用して選択するのが大事です。<math>n</math>が小さい場合に投入できる変数の数が制限されてしまうのはある程度仕方ないと思います。</p>
65	<p>最後のスライド(P. 74, 75)で傾向スコアモデルの方が望ましいと言及されていますが、これは傾向スコアモデルの方が重回帰のような多くの仮定がなく柔軟にモデリングができ、モデルの誤りが少ないという意味合いの理解でよろしいでしょうか。</p>	<p>高橋先生の回答：はい、そのような意味です。明日の最初のところで少し話をしようと思います。今の段階で一言で言うと、傾向スコアモデリングでは、共変量から処置を予測する予測モデルをはさんでいて、処置群と統制群のバランスをとるということになるので、例えば<math>X_1</math>から<math>X_{100}</math>の個々の関係が分かっていなくても、これらを使って処置をうまく予測できるのであればうまく推定できることが多いです。ただうまくいかないこともあります。啓子スコアのほうが相対的にflexibleということです。</p>

66	<p>分析経験が少なくベテランリサーチャーのようなドメイン知識がない場合、今日のような中間変数かどうかのアタリをつける方法があれば教えてください。</p>	<p>高橋先生：私からお話できるのはある程度抽象的・理論的な話なので、ドメイン知識については経験を積む、本を読む、ベテランの話を聞くなどしかないかと思います。ただ、DAGを描いていくことで複雑な変数間の関係性を整理することはできるので、DAGを描く際に矢印の向きをしっかりと考える習慣をつけるのがよいかな、と思います。</p>
67	<p>多重共線性がある変数X1,X2があった場合、X2がX1の影響を受けていると考えて、X2を中間変数と思って消去してしまうという考え方もあるのでしょうか</p>	<p>高橋先生の回答：多重共線性の話は相関の話として考えています。X_1とX_2の関係でどちらが中間変数か、といった因果関係について、内容的に信じられる論拠があれば、それを理由に取り除くことは可能です。多重共線性を取り除きたいから、という理由で中間変数扱いして除外するのはまずいですが。</p>
68	<p>私は、mediation analysis に興味があります。研究動機として、複数の mediator（観測されている中間変数）の中から因果に関わる変数だけを選択したい要請があった場合には、因果推論の枠組みではこういった変数選択が gold standard なのでしょうか？</p> <p>ここでいう mediator は、変数間の時系列や矢印の向きがドメイン知識に基づいて特定できているとした場合です。</p>	<p>mediation analysis=媒介分析</p> <p>高橋先生：申し訳ないですが、私は当該領域にあまり詳しくないので回答は差し控えます。</p>