

CHAPTER 3
INSTRUMENTAL
VARIABLES
PP.98-109

これまでの学習の流れ

- ランダム化比較試験

...被験者を、ランダムにかつ介入群と比較群が十分大きなサンプル数になるように分け、因果効果を測る。

利点：実験によって因果効果を分析するのに最適な状況を作り出せるので、正確な因果効果の測定が可能となる。

問題点：倫理面での問題が発生する場合や膨大な手間がかかる場合がよくあり、実験を行うことが難しい。

これまでの学習の流れ

- 回帰分析

...回帰式を導き出して、変数間の関係进行分析していく。

利点：手元にあるデータで分析ができるので、ランダム化比較試験のように実験を設定する必要がなく、手軽である。

問題点：因果効果について、説得力のある推定値をはじき出せない。

- よりクリアな因果効果分析を行うため、操作変数法について検討していく。

操作変数(IV)法のイメージ

・操作変数法は、自然に発生したもの、研究者によって生み出されたもの問わず、世の中に存在している部分的または不完全なランダム割り当てを利用して、因果効果を推定する。

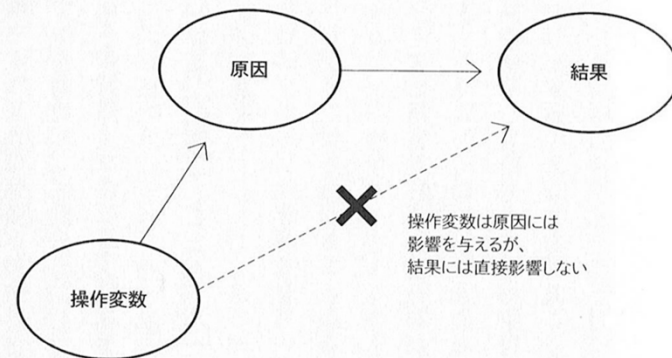
・操作変数であるためには...

①「操作変数は原因に影響するが、結果には直接影響しない」

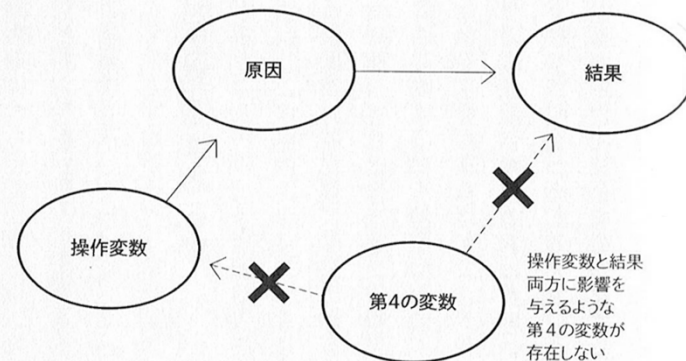
②「操作変数と結果の両方に影響するような「第4の変数」が存在してはならない」

出典：中室牧子・津川友介『「原因と結果」の経済学』、ダイヤモンド社、2017年、116-118ページ

図表5-2 第3の変数が操作変数であるための条件(1)

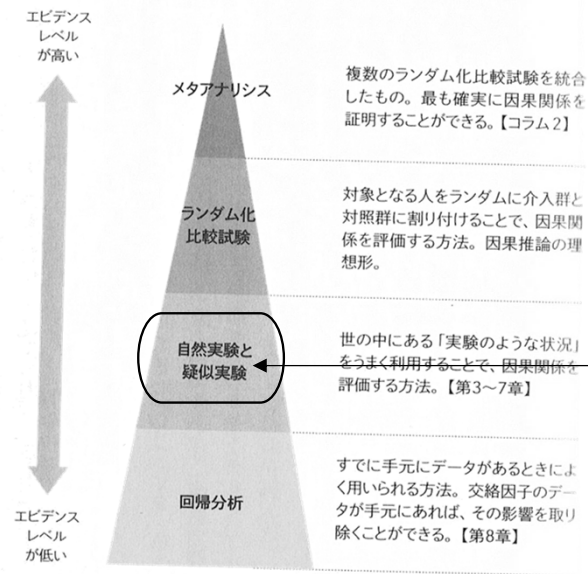


図表5-3 第3の変数が操作変数であるための条件(2)



操作変数法の立ち位置

図表1-12 エビデンスには階層がある



* 複数の観察研究をまとめたメタアナリシスもあり、複数のランダム化比較試験をまとめたメタアナリシスほどエビデンスレベルは高くない。メタアナリシスのエビデンスの強さはその元となった研究のエビデンスの強さによって決まる。

Sackett et al. (2000) を元に筆者ら作成。

操作変数は、この「疑似実験」に分類される。

出典：中室牧子・津川友介『「原因と結果」の経済学』、ダイヤモンド社、2017年、49-50ページ

操作変数を使った分析例

Steven D. Levitt...シカゴ大学教授

「『ヤバイ経済学』で有名なLevittは、IVを見つけ出してくるセンスに優れていて、彼の書いた論文は、素敵なIVにあふれている。」

(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)

Levittは、犯罪に対する警官の効果を見積もるため、地方選挙を操作変数として分析を行った。

LEVITTの操作変数分析

「因果関係を見るためには、犯罪の増加とはまったく無関係な理由で警官が増える、そんなシナリオが必要だ。たとえば、でたらめに選ばれた一部の街には警官がばら撒かれ、他の街ではそうでないということがあれば、たまたま警官たちがやってきた街で犯罪が減っているかどうかを調べられる。

考えてみると、票に飢えた政治家がぴったりのシナリオを頻繁に作り出し、増やしてきている。選挙の投票日前の数カ月間、現職の市長は決まって警官を増やし、法と秩序を愛する市民の票を取り込もうとする。警官が増える一犯罪発生率は変わってないのに。だから、最近選挙をやった(だから追加で警官を雇った)市を集め、もう一方で選挙をやっていない(だから追加で警官を雇っていない)市を集め、二つのグループを比べれば、増えた警官が犯罪に与える影響を取り出すことができる。さて、それじゃ答え:もちろんyesだ。警官が増えれば犯罪発生率は大きく下がる。」

CHAPTER 3の概要

- Chapter 3では、三つの事例を挙げながら、操作変数法について見ていく。
 - ①ランダム化された入学許可くじを利用するアメリカの教育革新(チャーター・スクール)についての評価→今回途中まで確認
 - ②家庭内暴力にどう対処するのが最善か、介入群にランダムに割り当てられた被験者が自由に実験から離脱できるフィールド実験をもとに検討→次回以降
 - ③大家族・小家族で育ったことによる長期的な影響の調査→次回以降

チャーター・スクールとは

- チャーター：公立学校を運営する権利。
- 学校教育状態改善を条件として、教育行政機関から一定期間チャーターを授与された運営主体(保護者や地域団体など独立した存在)により自主的に運営される公立学校のことを、チャーター・スクールという。
- 1991年、ミネソタ州で初めてのチャーター・スクールが誕生し、その後全米に広がっている。

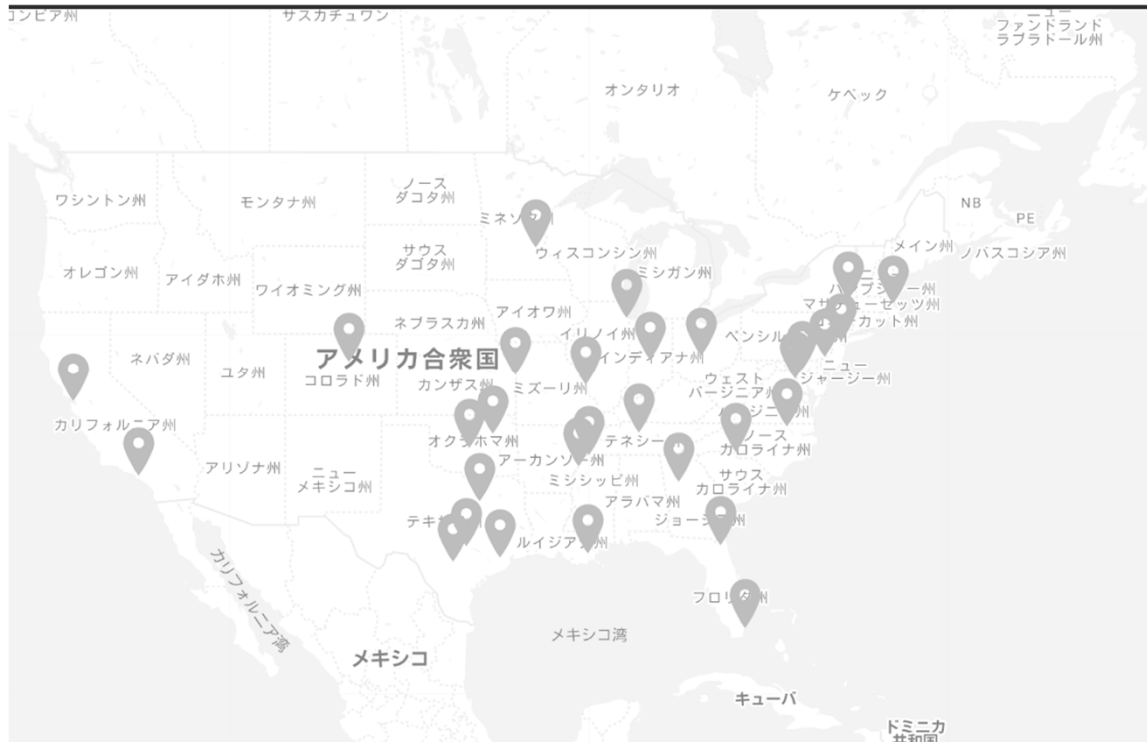
チャーター・スクールの特徴

- チャーター・スクールでは、カリキュラムや学校環境を自由に構築することが可能。(例：夏の間や週末にも授業を継続し、指導時間を長くする、など)
- チャーター・スクールで働く教師やスタッフが労働組合に所属することはめったにない。

⇔ほとんどの大都市の公立学校(チャーター・スクールではない)の教師は、給与と労働条件を規制する教師の労働組合契約の下で働いている。この契約により、教師の労働条件が改善される可能性がある一方、個々の教師の質に応じて処遇を変えることが難しくなる。

KIPP (KNOWLEDGE IS POWER PROGRAM)

- アメリカ最大のチャーター・スクールネットワーク。
- 規律と態度を重視し、長時間授業、基準よりも長い在学年数、厳しい審査を通過した教師陣を特徴とする。リーディングスキルと数学スキルの習得に焦点を当てている。
- KIPPは、1995年にTeach for Americaのメンバーによってヒューストンとニューヨーク市で始まった。(Teach for America... アメリカのトップクラスの大学から卒業生を募集し、成績の悪い学区で生徒に指導をしてもらうプログラム)
- 現在、KIPPが教育を提供している学生の95%が黒人やヒスパニック系で、KIPPの学生の80%以上が連邦政府の給食費助成プログラムの資格を得るほど貧しい。



KIPPの分布

アメリカにおける人種間成績格差

- 一般的に、黒人やヒスパニックの子供がとる試験の点数は、白人やアジア系の子供がとる点数よりもはるかに低い。
- この成績ギャップに対して、政府はどう対応すべきか？
→ 「学校を改革すべきだ」という意見や「学校だけでは対応できない。より広範にわたる社会的変化が必要だ」という意見がある。
- マイノリティの立場にある学生の教育に焦点を当てているため、KIPPはこの議論の中心となることが多い。
- KIPP支持者は、非白人KIPP生徒の試験点数の平均が、近くの学校の非白人の生徒のものよりも著しく高いことを指摘している。

KIPPの懐疑論者

- KIPPの生徒の点数平均が高いことは、単にKIPPがより成功しやすい(出来のいい)子供を持つ家族を惹き付けているという事実を反映しているに過ぎない、という主張もある。
- この主張は、KIPPの生徒を他の公立学校の生徒と比較するとき、*ceteris paribus*(他のすべてのものが等しい)の状態であるかどうかという重要な問いが浮かび上がる。

KIPP LYNN

- Lynn...ニューイングランド、マサチューセッツ州に位置する都市。かつては靴の製造拠点だったが、最近は低迷していて、失業率、犯罪率、貧困率の高さが際立っている。
- Lynnに位置し、非白人がほとんどを占める公立学校の生徒の4分の3以上が、給食費助成の資格を得るのに十分なほど貧しかった。
- KIPP Lynn(中学校)は、ニューイングランドで最初のKIPPの学校となった。
- 都市部のチャーター・スクールには、通常、多くの貧しい黒人学生が通っているが、KIPP Lynnには、英語能力が限られているヒスパニック系の子供が多く通っており、チャーター・スクールの中では珍しい存在である。

KIPP LYNN

- KIPP Lynnが開校した2004年秋は志願者が定員に満たなかったが、間もなく志願者が急増した。(2005年以降、定員90人という枠に対し200人以上の学生が応募する状況)
 - チャーター・スクールへの入学許可はくじによって与えられるよう、マサチューセッツ州法で義務付けられている。
- このくじ制度を利用して、自然に発生する(研究者などが意図的に作り出した環境ではない)ランダム化された試行を組み立てることができる。

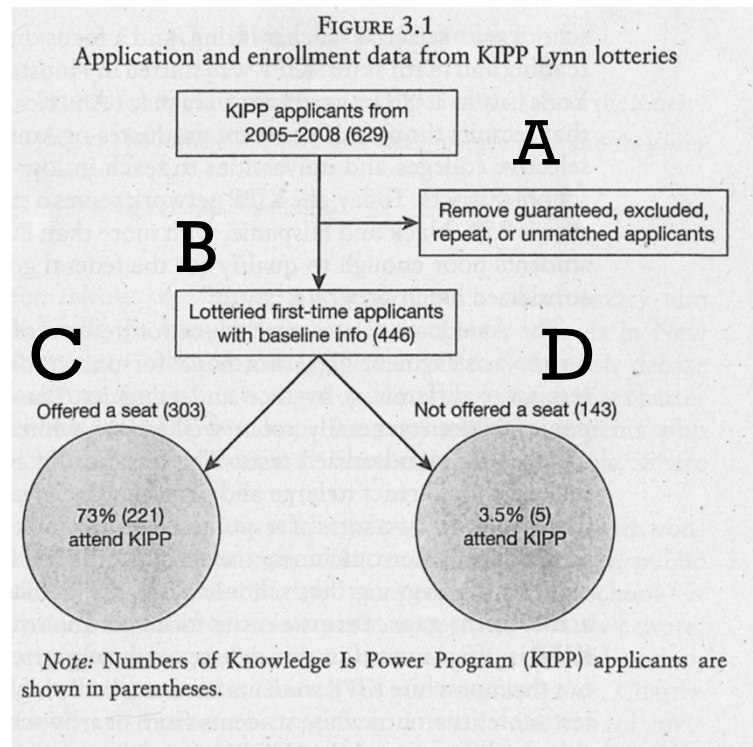
ランダム化の不完全性

- チャーター・スクールに「通う」という決定は、完全にランダム化されているわけではない。

→くじによって入学許可を勝ち取ったにもかかわらず、別の学校を選ぶ人もいれば、くじで落選しても他の方法を使ってチャーター・スクールに入学する人もいる。

- とはいえ、くじにより、KIPPへの入学許可がランダムに割り当てられることにより、入学を許可された志願者と許可されなかった志願者との間の人口統計学的特徴は揃っているといえる。
- くじの結果によって生じる唯一の違いがチャーター・スクールへの入学可能性(exclusion restriction, 後のスライドで説明)にあると仮定すると、IVにより、ランダム化された入学許可の効果からチャーター・スクール通学の効果の因果的推定が可能となる。

MASTER JOSHWAYのデータ収集



2005年秋から2008年秋にかけてKIPP Lynnへの志願者に関するデータを収集

A: 志願者のうち、くじへ参加しない人 (兄弟がKIPPに通っており入学資格を保証されている人や入学のための年齢資格を満たしていない人)

B: 第一回目のくじに参加した人(446人)

C: 当選した人(303人) このうち221人がKIPPへ入学。

D: 落選した人(143人) このうち5人がKIPPへ入学。

MASTER JOSHWAYのデータ収集

- くじに当選し入学資格を得た学生の約27%が実際には入学しなかった。
(引っ越した人や、自宅近くの別の学校を選んだ人がいた。)
- くじに落選したものの、後日当選が決まったり二回目のくじで入学許可を勝ち取ったりする学生が3.5%ほどいた。

KIPP入学許可くじの分析

TABLE 3.1
Analysis of KIPP lotteries

	KIPP applicants				
	Lynn public fifth graders (1)	KIPP Lynn lottery winners (2)	Winners vs. losers (3)	Attended KIPP (4)	Attended KIPP vs. others (5)
Panel A. Baseline characteristics					
Hispanic	.418	.510	-.058 (.058)	.539	.012 (.054)
Black	.173	.257	.026 (.047)	.240	-.001 (.043)
Female	.480	.494	-.008 (.059)	.495	-.009 (.055)
Free/Reduced price lunch	.770	.814	-.032 (.046)	.828	.011 (.042)
Baseline (4th grade) math score	-.307	-.290	.102 (.120)	-.289	.069 (.109)
Baseline (4th grade) verbal score	-.356	-.386	.063 (.125)	-.368	.088 (.114)
Panel B. Outcomes					
Attended KIPP	.000	.787	.741 (.037)	1.000	1.000 —
Math score	-.363	-.003	.355 (.115)	.095	.467 (.103)
Verbal score	-.417	-.262	.113 (.122)	-.211	.211 (.109)
Sample size	3,964	253	371	204	371

表3.1は、基準となるLynnで暮らす5年生の特性と、KIPP Lynn志願者に対するKIPP入学許可効果の見積もりを示す。

- (1) Lynnで暮らす5年生の平均値
- (2) KIPP Lynnくじ当選者の平均値
- (3) KIPPくじ当選者と落選者の平均の差
- (4) KIPP入学者の平均値
- (5) KIPP Lynnに入学した者とKIPP志願者(KIPPに入学した者もしなかった者も含む)との間の平均の差

分析上の注意

- くじに当選する確率は年度ごとや学年ごとに異なるうえ、兄弟姉妹にKIPP生がいる場合ははるかに高くなる。そのため表3.1(3)の値は、これらのダミー変数を考慮に入れた回帰分析による係数となっている。
- 表3.1(5)では、くじの当落を無視し、(3)で行ったのと同様の制御に加えて、KIPP入学のダミー変数を使った入学後数学スコアの回帰分析によって値を出している。
- 今回の分析で使用される制御変数は、くじによって生まれるオッズ(差異)が一定である学生のグループ(リスクセットとも呼ばれる)を示す。

KIPP入学許可くじの分析

- 表3.1パネルA(3)から、当選者と落選者の間で、黒人である可能性・ヒスパニックである可能性・女性である可能性・給食費助成資格を得るほど貧しい可能性がほぼ等しいことがわかる。→人口統計学的特徴が一致している。
- 表3.1パネルAのBaseline score(上から5・6番目の項目)
...KIPP入学前(4年生)のくじ申込者のテストスコア。これらのスコアは、平均値を引き母集団(この場合はマサチューセッツ州の4年生)のスコアの標準偏差で割ることによって標準化される。その後、スコアは母集団の標準偏差で定義された単位で測定される。
- Lynnの平均数学スコアは国の平均より標準偏差の約30%低い。(-0.3 σ と表される。 σ =標準偏差)
- KIPPくじの当選者と落選者との間にあるBaseline scoreの違いはおそらく偶然によるもので、統計的に重要ではない。

KIPP入学許可くじの分析

- 表3.1の4列目は、KIPP Lynnに入学した5年生の各項目の平均を表しており、5列目は、KIPP Lynnに入学した者とKIPP志願者(KIPPに入学した者もしなかった者も含む)との間の差を示す。
- KIPPへの入学は完全にランダム化されているわけではないので、KIPP Lynnに入学した者とKIPP志願者との差は選択バイアスを反映する可能性があるが、表3.1の5列目で表される差は小さく統計的有意性はない。

注) KIPP志願者のほとんどは、KIPP5年生への入学申請をするが、一部は6年生への入学を申請する。ここでは、入学年の次の学年の終わり(4年生のときにKIPPに応募した人は5年生の終わり、5年生にKIPPに応募した人は6年生の終わり)に行われたテストのスコアにKIPPがもたらす影響を調べている。

KIPP入学許可の効果

- 表3.1のパネルBから、KIPP入学許可くじ当選者の数学スコアが、国の平均よりも約 0.3σ 低い入学前の状態から、国の平均に近いところまで上昇したことがわかる。対照的に、KIPP入学許可くじ非当選者のスコア平均(5もしくは6年生時)は、約 -0.36σ で、4年生の時の値をわずかに下回る結果となる。
- 入学許可はランダムに割り当てられるため、3列目からわかる平均の差は平均的な因果効果である。KIPP Lynnへの入学許可は、数学スコアを 0.36σ 倍高める。

操作変数法による分析

- これまで見てきたKIPP入学許可の効果をKIPP通学の効果に転換する。
- 今回の場合、操作変数となるのは、入学許可を勝ち取ったKIPP志願者を指し示すダミー変数。

操作変数の三条件

- (i) 我々がある変数(今回はKIPPへの入学)のもたらす効果を捉えようとしている時、操作変数はその変数自体に因果的影響を与える。

この因果効果はfirst stageと呼ばれる。

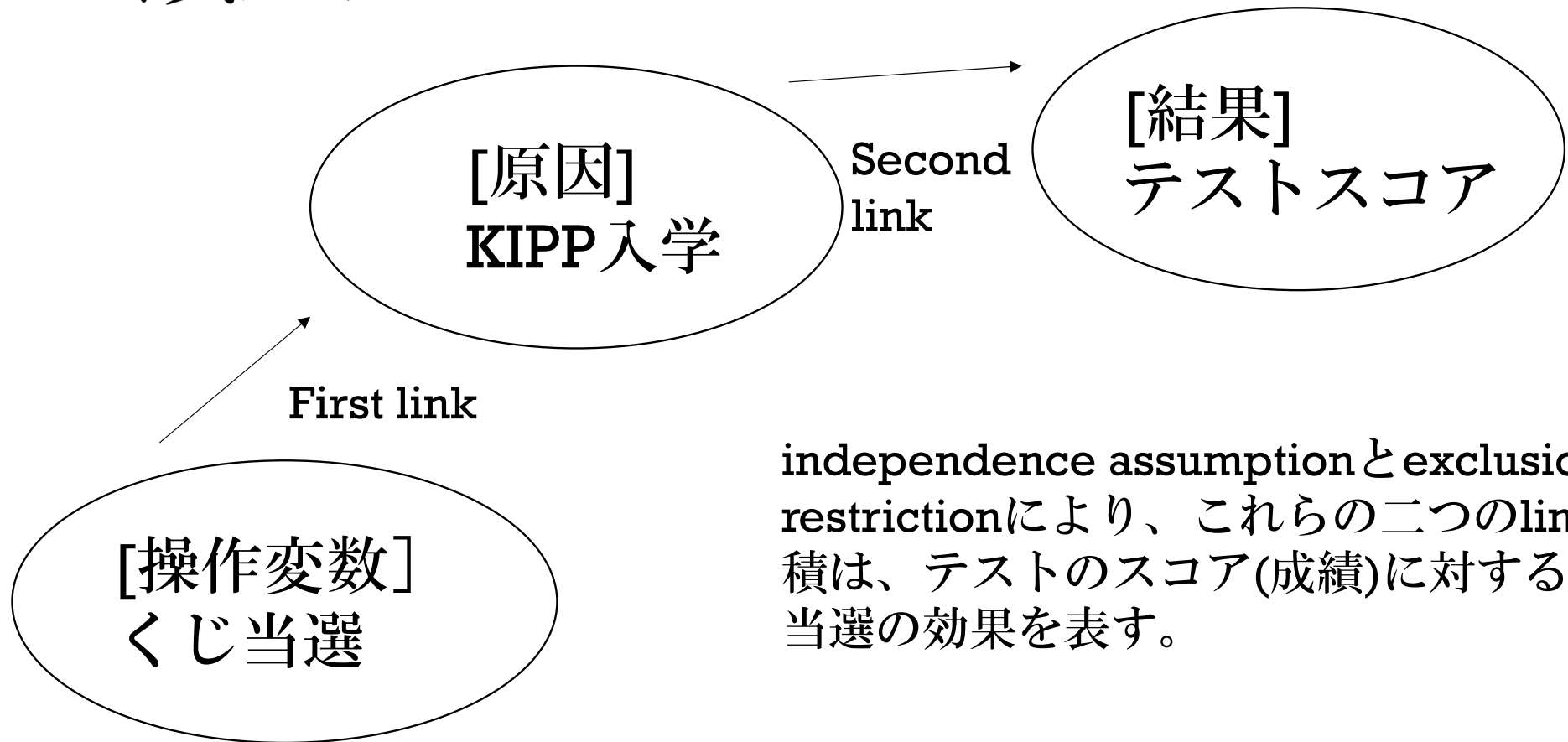
- (ii) 操作変数がランダムに割り当てられているか、もしくは制御すべき変数(今回は家族背景や動機といった変数)とは無関係であるという意味で「ランダムに割り当てられているのと同様」と見なせる。

これはindependence assumptionと呼ばれる。

- (iii) 操作変数が結果に影響を与える経路は一つしかない。(今回は、くじ当選者と落選者の 0.36σ のスコアの差が、入学率における当選者落選者間の差 0.74 にのみ起因する[表3.1の3列目パネルB上部参照])

このことをexclusion restrictionという。

連鎖反応



independence assumptionとexclusion restrictionにより、これらの二つのlinkの積は、テストのスコア(成績)に対するくじ当選の効果を表す。

立式

- *Effect of offers on scores*

=({*Effect of offers on attendance*} × {*Effect of attendance on scores*})

- (くじ当選のスコアに対する効果)

= (くじ当選の入学に対する効果【**First link**】) × (入学のスコアに対する効果【**Second link**】)

立式

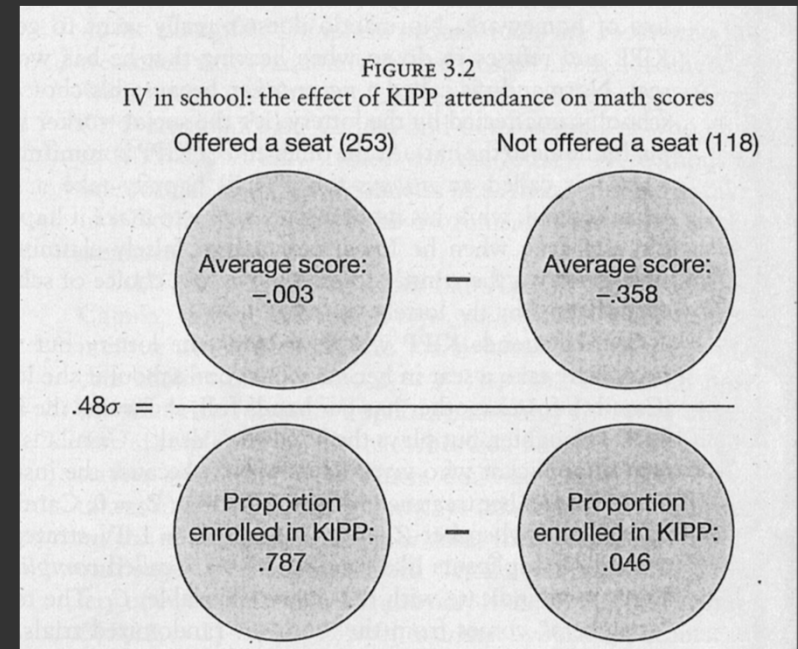
- 前スライドの式を変形すると、
- Effect of attendance on scores*
 $= \{ \text{Effect of offers on scores} \}$

$/ \{ \text{Effect of offers on attendance} \}$

- 入学のスコアに対する効果

$= (\text{くじ当選のスコアに対する効果}) / (\text{くじ当選の入学に対する効果})$

- この式に当てはめると、図3.2で示されるように、数学スコアに対するKIPP入学の効果は 0.48σ と推定される。



式の論理

- KIPPのくじに当選し入学許可を得ることは、KIPPへの入学という要因だけを媒介してテストのスコアに影響すると想定される。入学許可はKIPPへの入学率を74%増加させるので、スコアに対する入学許可の効果に0.74の逆数をかけると、KIPP入学の効果をはじき出せる。
- この調整により、くじによって入学許可を勝ち取ったにもかかわらず別の学校を選ぶ人もいれば、くじで落選しても他の方法を使ってKIPPに入学する人もいるという事実から生じるランダム化の不完全性を解消できる。

もう一つの入学効果見積もり方法

- 表3.1の(4)と(5)もKIPP入学効果を測るもう一つの推定値。
- 表3.1(5)の回帰におけるKIPP入学の変動は、ほぼくじの結果から生じると言えるにとどまり、完全にくじの結果から生じるとは言い切れない。(←くじによるランダム化と、当選者の辞退・落選者の入学が入り混じるため。)
- 従って、(5)で行っているような入学者と非入学者の比較は、セレクションバイアスによって不可能となる場合がある。
- 注)今回は、(5)で示された数学に関する推定値 0.467σ は図3.2のIV推定値 0.48σ に近く、選択バイアスは重要ではないと言える。

KIPPの分析からわかること

- KIPPで一年学ぶと、数学のスコアが標準偏差の約半分上昇する。
- 幸運にもKIPPへ入学できたLynnの学生は、顕著な学力の上昇を経験できそうである。

今回の要点

——操作変数の三条件(再掲)

- (i) 我々がある変数のもたらす効果を捉えようとしている時、操作変数はその変数自体に因果的影響を与える。
- (ii) 操作変数がランダムに割り当てられているか、もしくは制御すべき変数とは無関係であるという意味で「ランダムに割り当てられているのと同様」と見なせる。
- (iii) 操作変数が結果に影響を与える経路は一つしかない。