

農業政策の効果測定手法： 操作変数法

川崎 賢太郎*

要 旨

政策効果に関して信頼性の高いエビデンスを得るためには、因果関係を評価できる適切な手法を利用することが重要である。本稿では、回帰不連続デザイン及び差分の差分法をレビューした川崎(2020; 2021)に続き、操作変数法に焦点を当て、その基本的な概念や農業経済学分野における応用例を紹介する。

キーワード：エビデンスに基づく政策立案 (EBPM), 操作変数法, 農業政策, 因果推論, 計量経済学

1. はじめに

EBPM (Evidence-based policy making, エビデンスに基づく政策立案) において鍵となるのは、政策の持つ効果、つまり因果関係に関する信頼性の高いエビデンスである。因果関係を数量的に計測するためには、ランダム化比較実験 (Randomized controlled trial), 回帰不連続デザイン (Regression discontinuity design), 差分の差分法 (Difference-in-differences), 操作変数法 (Instrumental variable method) という四つの手法が主に使われる⁽¹⁾。このうちランダム化比較実験は、中村・鈴木 (2019) や佐々木 (2020) において、また、回帰不連続デザイン及び差分の差分法は、川崎 (2020; 2021) において、それぞれ農業経済学分野における応用例がレビューされている。そこで本稿では、いまだレビューが十分になされていない操作変数法を取り上げ、その基本的な概念を紹介した上で、具体的な操作変数の見つけ方を、農業経済学分野における様々な

応用例を通じて紹介する。局所平均処置効果 (LATE) や部分識別など、近年注目されている発展的なトピックについても触れる。

以下では、まず第2節で操作変数法の概念を、政策の効果が全ての農家で共通である場合と、そうでない場合とに分けて紹介する。従来の計量経済学では前者を仮定することが一般的であったが、近年は後者の場合における操作変数法の性質についても明らかになってきており、そこでは局所平均処置効果 (LATE) と呼ばれる概念が重要な鍵を持つことになる。第3節では操作変数法の具体的な利用方法について、農業分野における研究事例を交えながら紹介する。まず距離、地域の特性やマクロ経済指標、政策への参加資格などが操作変数として使われていることを示した上で、需要・供給関数や、デカップル型の補助金を分析する際の操作変数の利用方法を紹介する。また操作変数の条件が満たされていない場合に用いることができる部分識別アプローチの応用例も紹介する。なお、因果関係の定義、因果関係を推計する上での課題、各手法の主な違いについては、川

原稿受理日 2021年11月29日

* 東京大学 (元農林水産政策研究所)

崎 (2020) の第2節を参照されたい。

2. 操作変数法

(1) 効果が一定の場合

本節では操作変数法の基本的な考え方を解説するが、まず始めに、ある変数 X がアウトカム Y に及ぼす影響が、全農家で等しい、と仮定できるケースから考えていこう。最もシンプルな線形回帰分析では、両者の因果関係を以下のように定式化する（なお、定数項は捨象する）。

$$(1) Y_i = aX_i + u_i$$

ここで、 i は農家や地域などのデータの単位を表すが、以下では単純化のため農家と解釈する。

X は説明変数と呼ばれる。例えば、補助金の支給額や対象面積など、様々な値を取る連続変数であってもよいし、政策対象者であれば1、そうでなければ0を取るような、二値（ダミー）変数であってもよい。ここでは単純化のため X が一つしかない場合を考えるが、 X が複数であってもよい。 X が Y に与える効果、つまり因果関係の大きさは全農家共通であり、係数 a で表される。これを正しく推計することが我々の目標である。

u は Y を左右するその他の要因であり、誤差項又は残差と呼ばれる。こうした呼称は、 u がそれほど重要でないような印象を与えるかもしれないが、係数 a を正しく推計するためには、この u の性質に十分な注意を払うことが重要である。表記上は一つの変数であるものの、実際には X 以外の全ての要因を含んだ集合体というイメージで、 u を捉えるとよいだろう。

ここで、アウトカム Y に影響を与え、かつ X と

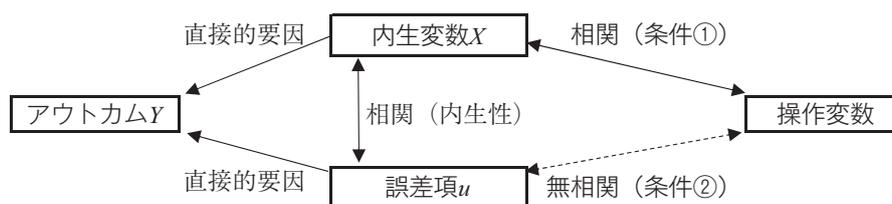
相関している要素、つまり交絡変数^{こうらく}が存在するでしょう。もし交絡変数がデータとして観察できる場合、話は単純である。交絡変数を上の式の右辺に追加して、最小二乗法（OLS）を行えばよい。これによって、理論的には X の効果 a （及び交絡変数の効果）をバイアスなく推計することができる。しかし交絡変数がデータとして観察できない場合、交絡変数の影響は u の中に含まれることになる。定義より、交絡変数は X と相関している。したがって、交絡変数を含んだ u もまた、 X と相関することになる。このように誤差項 u と相関している説明変数 X のことを内生変数と呼び、こうした相関が生じている状態を内生性と呼ぶ。内生性が生じている場合には、OLSによって X の効果 a を正しく推計することができない。経済学分野で扱う問題においては内生性が疑われるケースが多く、それをいかに解決し、因果関係を正しく特定するかということに、経済学者は細心の注意を払っている。

その解決策の一つが操作変数法である。操作変数（Instrumental variable）とは、以下の二つの条件を満たした変数のことである（第1図）。

- 条件①：内生変数 X と（ある程度強く）相関する。
- 条件②：誤差項 u と相関しない。

この二つの条件を満たす変数を見つけ出すことは一般的に容易ではなく、この点が操作変数法を利用するための最大の壁と言っても過言ではない。次節では、具体例な見つけ方を、分析のテーマや利用可能なデータごとに詳しく紹介する。

もし、操作変数が見つければ、 X の効果 a は、操作変数法、二段階最小二乗法、最尤法、一般化モーメント法（Generalized Method of Moments）など、様々な方法で推計することができるが、こ



第1図 操作変数法概念

資料：筆者作成。

ここでは比較的理解しやすい操作変数法と二段階最小二乗法を紹介する。

まず操作変数法について述べる。操作変数を Z と書けば、 Z と Y の共分散 $\text{Cov}(Z, Y)$ を考えた場合、(1)式より、 $\text{Cov}(Z, Y) = a\text{Cov}(Z, X) + \text{Cov}(Z, u)$ となる。ここで条件②より、 $\text{Cov}(Z, u) = 0$ と言えるから、これを利用して両辺整理すれば、 $a = \text{Cov}(Z, Y) / \text{Cov}(Z, X)$ と書ける。右辺の分母がゼロでないことは、条件①から保証されている。この式は、 Z が変動した際に X と Y がどのように変動するか、という情報（つまり共分散）から、 X と Y の関係（つまり a ）を特定できることを示している。

なお、操作変数は一般に一つとは限らない。操作変数が複数ある場合（正確に言えば、操作変数の数が内生変数の数よりも多い場合）には、上式の共分散から a を求めることはできない。こうした場合でも使えるのが、二段階最小二乗法である。この手法は、その名が示すとおり、二つの最小二乗法（OLS）から構成されている⁽²⁾。まず始めに、内生変数 X を被説明変数として、操作変数 Z を説明変数として、OLS推計を行う。次に、 Y を被説明変数として、第一段階の推計結果から計算される X の予測値を説明変数として、再びOLS推計を行えば、 a の推計値を得ることができる。操作変数が一つの場合には、二段階最小二乗法の推計値は、操作変数法と一致する。

やや技術的になるが、若干の注意点を補足する。まず条件①については、内生変数 X と相関していれば常に操作変数として使えるわけではなく、ある程度強く相関している必要がある。内生変数との相関が弱い操作変数を「Weak instrument」と呼ぶが、この場合には推計結果にバイアスが生まれてしまうため、相関の強さを F 検定等で確認する必要がある⁽³⁾。条件②については、統計的検定が難しいことが多く⁽⁴⁾、無相関と考えられる根拠を論理的に説明する必要がある。なお、操作変数は X と相関しているから、 X を経由して Y に間接的に影響を与え得るものの、 Y に直接的に影響を与えるものであってはならない。 Y に直接影響を与える要因は、誤差項 u の中に必ず含まれることになるため、条件②「誤差項と無相関」を満たし得ないためである。

（２）効果が異なる場合

以上が操作変数法の従来の説明であるが、近年では新たな解釈が浸透してきている。その出発点となっているのが政策効果の異質性である。政策 X の効果が農家ごとに異なり得る場合、つまり効果が a ではなく a_i というように農家 i ごとに異なる形で表現される場合、操作変数法によって誰の効果を捉えることができるのだろうか。全農家の平均的な効果なのか、それとも特定の農家の平均値なのだろうか。これを考えるために、本節では X 以外の説明変数の存在は捨象するとともに、 X が二値変数であるケース、つまり政策対象者であれば $X = 1$ 、そうでなければ $X = 0$ となるケースに限定して、説明を行う⁽⁵⁾。

ここで次のようなランダム化比較実験を考えよう。新たに開発された肥料の効果を検証するため、政府がランダムに選ばれた農家に肥料を送付したものとす。肥料の利用を農家に強制することはできないため、その利用は各農家の判断に委ねられる。そして一定期間が経過した後、（肥料の送付や利用の有無に関係なくランダムに選ばれた）農家の単収や肥料利用状況などのデータを収集する。このとき、単収などのアウトカムを被説明変数（ Y ）、送付された肥料を利用したか否かを表す二値変数を説明変数（ X ）としたOLS推計を行うと、どうなるだろうか。この場合、肥料の利用は各農家の判断に任されているため、説明変数である肥料の利用と、誤差項の中に含まれているアウトカムを左右する要因（交絡変数）とが、相関している可能性がある。交絡変数の代表例は土壌の質である。例えば、土壌の肥沃度が低い農家ほど肥料を利用する確率が高いとすれば、観察される単収には、肥料だけでなく土壌の肥沃度の影響も反映されるため、肥料の効果を特定できなくなってしまう。このように、実験内容（肥料の利用）を全ての農家に強制できない状況においては、ランダム化比較実験の結果を因果関係と解釈することはできない。

では、実際の肥料の利用ではなく、肥料の送付対象であるか否かを表す二値変数を説明変数 X として用いた場合はどうか。肥料はランダムに送付されたのだから、平均的に見れば、肥料の送付 X は誤差項（単収を左右するあらゆる要因）と相

関しない。したがって内生性も発生しないため、OLS推計によって、「肥料送付」の効果を計測することができる。これはIntent to Treat Effect (ITT) と呼ばれるものである。肥料を「送付」したらアウトカムがどうなるか、という情報が知りたいのであれば、ITTはもちろん有益な指標であるが、もし肥料を「利用」したらアウトカムがどうなるか、つまり肥料そのものの効果を知りたい場合には、ITTを用いることはできない。

では、肥料の送付対象であるか否かの二値変数を操作変数として使い、肥料を利用したか否かの二値変数を説明変数 X として用いたらどうか。肥料の送付(操作変数)と利用(X)は相関している。送付された農家の一部はそれを利用するためである。つまり条件①「操作変数と X の相関」は満たされる。一方、肥料の送付そのものは単収等のアウトカムに直接影響するわけではないし、ランダムに送付されているのだから、誤差項の中に含まれているアウトカムを左右する要因(例えば土壌条件)とも平均的に見れば相関しないことから、条件②「操作変数と誤差項の無相関」も満たされる。したがって、肥料の送付は二つの条件を満たしており、操作変数として使うことができる。

問題は、操作変数法によって計算される推計値が誰への政策効果を表すかである。例えば、それが全農家の平均値 $E[a_i]$ などを表すのであれば解釈も容易なのだが、話はそれほど単純ではない。それを考えるため、農家を四つのタイプに分類する(第1表)。なお、ここでは議論に一般性を持たせるため、政府からこの新しい肥料を送付されない農家も、市場で同じ肥料を購入して利用できる状況を想定する(購入できない場合は、表の左列「Always taker」「Defier」が無視できる)。

表中のDefierとは、肥料を送付された場合には肥料を利用しないが、肥料を送付されない場合には肥料を(市場で買って)利用するという、いわばひねくれ者である⁽⁶⁾。もし、こうし

た農家が存在しないと仮定できる場合(単調性・monotonicityの仮定と呼ばれる)、操作変数法による推計値は、肥料を送付された場合には利用するが、肥料を送付されない場合は利用しないタイプの農家、つまりComplierに対する、肥料利用の平均的な効果を表すことになる⁽⁷⁾。逆に言えば、Complier以外、つまり表中のAlways taker(送付の有無に関わらず、常に当該肥料を利用する農家)やNever-taker(送付の有無に関わらず、当該肥料を決して利用しない農家)に対する肥料利用の効果は、操作変数法の推計値には反映されないことになる。前節で述べたとおり、操作変数法の原理は、操作変数が変動した際に、 X と Y がどのように変動するかを見ることで、 X と Y の関係を特定するものである。したがって、 X の変動しないAlways takerやNever-takerの効果は特定することはできないのである。

このように政策効果の異質性を認める場合、操作変数法による推計値は、Complierのみを反映した政策効果を表すことになり、全農家の平均値ではないということを強調する意味で、「局所的」平均処置効果(Local Average Treatment Effect: LATE)と呼ばれる(Imbens and Angrist, 1994; Angrist et al., 1996)。

LATEは、例えば、操作変数自体が政策を表すような場合に、有益な解釈を与えてくれる。すなわち、「肥料を供与する」という政策を考えた場合、政府が知りたいのは、肥料を常に使う農家や、肥料を絶対に使わない農家に対する肥料の効果というよりもむしろ、肥料の供与という政策を契機に使い始めてくれる農家、いわば新規参入者に対する肥料の効果であろう。これはまさにComplierの概念に他ならないから、LATEがその問いに答えることになる。同様のことは、例えば、環境支払いを契機に有機農業を始める農家を対象に、有機農業の効果を把握したい場合にも成立する。

第1表 農家のタイプ

		肥料が送付されない場合	
		利用する	利用しない
肥料が送付された場合	利用する	Always taker	Complier
	利用しない	Defier	Never-taker

資料：筆者作成。

しかし、一般的には、操作変数が政策を表すとは限らない。次節で紹介するように、むしろそうでない場合の方が多い。その場合、Complierが一体どのような農家を指すのか、解釈が難しくなり、得られたLATEが一体誰の平均値を指すのかが不明瞭となる場合もある。また、Always takerやNever-takerは、操作変数の値に行動が左右されない人々であり、Complierは逆に左右される人々である。つまりある農家がComplierであるか否かは、使う操作変数によっても変わり得る。こうした意味でも、LATEの解釈は時に困難となる。

この欠点に対する対策としては、例えば、地域や規模などに基づいてデータをグループ分けし、グループごとにLATEを計測する方法や、複数の操作変数が存在する場合は、操作変数を一つずつ使ってLATEを計測する方法（Angrist et al., 2010）が考えられる。もし得られた複数のLATEが似ていれば、農家間の異質性はあったとしても小さく、LATEは全体の平均的な政策効果を近似している、と判断するのである。また、どうしてもLATEの解釈が困難な場合には、LATEではなくITTを利用するか、政策効果の値をピンポイントで求めるのではなく、政策効果の「幅」を推計する部分識別（Partial identification）アプローチを用いることが推奨されている（Imbens, 2014）。その応用例は次節で紹介する。また、近年では、Complier以外の人々も含めた、より一般的な政策効果を推計する手法も開発されつつある（Mogstad and Torgovitsky, 2018）。

3. 農業分野における応用例

本節では、農業関連分野における操作変数法の応用例をレビューする。操作変数法の起源は、今からおよそ100年前の農業経済学の研究に遡るが、ここでは主に2000～2020年に発表されたおよそ200本の先行研究の中から、操作変数の種類や用途、重要なトピックをできる限り網羅できるように論文を選択した。なお、農業以外の分野における操作変数法の活用例は、Angrist and Krueger (2001, Table 1) を参照されたい。また、関数型や仮定から使うべき操作変数が必然的に導かれ

る手法もあるが、こうしたケースについてはレビューの対象外とした⁽⁸⁾。

(1) 距離

今回レビューしたおよそ200本の論文の中で、操作変数として最も頻繁に使われているのは「距離」である。これは、内生変数 X が、場所と紐づけられている場合に使うことができる。

例えば、新しい栽培方法や品種などの技術の採択が、農家の経営パフォーマンスに及ぼす影響を分析したい場合を考える。前節の表記で言えば、 Y は経営パフォーマンス、 X は分析対象となる技術を採択した農家は1、採択しない農家は0となる二値変数である。このとき問題になる交絡変数の代表例は、農家のスキルであろう。パフォーマンスに影響を与えるスキルは、誤差項の中に含まれているものとみなせる。また、スキルの高い農家ほど、新しい技術の採択に積極的な可能性があるから、説明変数（採択）と誤差項（スキル）が相関し、内生性が発生してしまう。

しかし、もしここで、その技術を指導する施設（普及センターなど）が存在するならば、その施設から農家の自宅や圃場^{ほじょう}までの距離を操作変数として使うことができる。距離が近い農家ほど情報へのアクセスが容易になって技術を採択しやすいとすれば、操作変数（距離）と内生変数（採択）の相関という条件①が満たされ、また、距離そのものは農家のパフォーマンスに直接影響を及ぼさないと考えられるため、誤差項と無相関という操作変数の条件②も満たす可能性が高いからである。このように距離を使って技術や契約栽培の効果分析を行った研究例として、Salazar et al. (2016), Souiller and Moustier (2018), Zeng et al. (2017), Sanglestsawai et al. (2014) などがあ

る。消費者行動を分析する際にも、距離を操作変数として使える場合がある。例えば、Rischke et al. (2015) やVolpe et al. (2013) は、大型スーパーマーケットの出店が消費者の食生活に与える影響について、特に、健康面に焦点を当てながら分析した事例である。これらの研究において設定されたアウトカムは、野菜の購入額などの健康的な食生活を表す指標であり、説明変数は、スー

パーの利用頻度や購入額である。この場合の重要な交絡変数として、健康に対する意識が挙げられる。健康への意識はデータとして観察できないから、誤差項に含まれ、食生活を左右する要因となる。また、健康への意識の高い消費者ほど、スーパーでの買い物を避け、代わりに有機食品の専門店や直売所等を好むとすれば、説明変数（スーパーの利用頻度）と誤差項（健康への意識）が相関して内生性が生じる可能性がある。この場合、各消費者の自宅からスーパーまでの距離を操作変数として使うことで、内生性を解決することができる。一般にスーパーまでの距離と利用頻度との間には一定の相関があるものと考えられ（条件①）、また、距離そのものは健康への意識とは無関係と考えられる（条件②）ためである。

また、貿易の効果に関する分析でも距離を操作変数として活用することができる。Krivonos and Kuhn (2019) は、貿易が食料消費の多様性に及ぼす影響を国レベルのデータを利用して推計した研究である。つまり貿易量が X で、食料消費の多様性が Y である。この場合に考えられる交絡変数は、食の多様性に対する選好である。すなわち、多様な食料を選好する国民が多い国ほど、他国の食品をより多く輸入し、食料消費を多様化させているはずである。消費者の選好をデータとして数量化することはできないから、選好の影響は誤差項に含まれることになる。したがって、説明変数（貿易量）と誤差項（消費者の選好）が相関して内生性が生じる可能性がある。そこで著者らは、貿易相手国からの距離、関税率、輸送費などから算出される貿易費用を、貿易量の操作変数として用いている。国家間の距離が広がるほど貿易量が落ちる一方で、他国からの距離は消費者の選好とは無関係と考えられるため、操作変数としての要件を満たすのである。同様のアプローチは、農産物の輸出が温室効果ガスに及ぼす影響を分析したDrabo (2017) でも用いられている。

(2) 地域環境

内生変数 X が場所と関連している場合には、様々な地域環境を表す変数を操作変数として使うこともできる。

例えば、Liu and Lynch (2011) は、建物数に

上限を設けるゾーニング (down zoning) が、地価に及ぼす影響を分析しているが、推計上問題となるのは、ゾーニングの導入が各地域 (郡) の判断によって決まることに起因した内生性である。例えば、地価の減少が見込まれる地域では、住民の反対によってゾーニングの導入が棄却されるなど、ゾーニング導入の有無 (説明変数) が、地価を左右する観察不可能な要因 (誤差項) と相関し、内生性が発生する可能性が生じる。そこで著者らは、地域環境を表す様々な変数を操作変数にして、この問題を回避した。用いた操作変数は、ゾーニングによって見込まれる環境上の便益を反映する変数として湿地や平地の面積割合、開発圧力を反映するものとして建物の密集度の低い地域の割合、建物所有者の政治力を反映する変数として同じ建物に5年以上住んでいる住民の割合等である。これらの変数は、地価に直接的には影響しないものの (誤差項とは無相関)、ゾーニングの導入を左右し得るため (内生変数と相関)、操作変数としての要件を満たしている、と考えられるためである⁽⁹⁾。

次に、ユニークな研究例として、海賊を扱ったFlückiger and Ludwig (2015) を紹介しよう。近年では貿易の8割以上が船舶輸送によって行われているが、同論文によれば、海洋に面した国々の4割以上が海賊の出現を経験しているという。この論文の仮説は、海賊の多くは平時に漁業に携わっているため、漁獲量が減ると、所得を補うために、副業とも言うべき海賊行為が増えるのではないかと、いうものである。つまり海賊の出現回数が Y で、漁獲量が X である。著者らは、漁獲量の測定誤差に起因した内生性に対処するために⁽¹⁰⁾、衛星画像を用いて計算した海水中の植物プランクトンの量を操作変数として利用している。その根拠として、プランクトンの量は漁獲量 (説明変数) と相関するものの、直接的には海賊の出現 (アウトカム) に影響しない、というロジックを用いている。海洋に面した百か国超のデータを用いて推計した結果、漁獲量が10%減少すると、海賊の発生確率が10%増加することが明らかにされている。

このほか、地域環境を操作変数に使った例として、地域内において特定の技術や農法を採択して

いる農家等の割合 (Hansen and Trifković, 2014; Trifković, 2016; Yen et al., 2008), 自治体の政策内容 (Almada et al., 2016), 気象条件 (Feng et al., 2010; Shifa, 2015), 緯度 (Brunnschweiler and Bulte, 2008), 海岸線や国境線の長さ (Costa-Font and Mas, 2016) などがある。高速道路の出入口の数を操作変数に用いて、ファーストフードが肥満に及ぼす影響を分析した研究もある (Dunn, 2010)。また、GDPや価格などのマクロ経済指標も、地域環境の一種とみなせる。例えば、GDP成長率 (Böhme, 2015), 周辺の消費者の直面する平均価格 (Zhen et al., 2014), 生産資材の価格 (Sanglestsawai et al., 2014) などが利用されている。なお価格と政策内容については、本節第 (4), (5) 項にて、より具体的な利用例を紹介する。

これら地域レベル又はマクロレベルの変数は、個々の農家や消費者のコントロールの及ばないものであるから、誤差項に含まれ得る農家や消費者の特性とは無相関と想定できる。つまり誤差項とは無相関であるという条件②を満たしやすいのである。ただし、言うまでもないが、もう一つの条件①、内生変数との相関が満たされているかどうかについても入念に検討した上で使用する必要がある。

(3) 資格

応募型の政策の場合、参加資格を操作変数として利用できる場合がある。例えばTakayama et al. (2020) は、中山間地域等直接支払制度が耕作放棄地等へ及ぼす影響を分析しているが、ここで問題となるのは、逆向きの因果関係、つまり耕作放棄地の多い地域ほど、直接支払 (助成金) を受け取る確率が上昇するのではないかという懸念である。こうした逆因果関係がある場合、一般的に、説明変数と誤差項の相関が生じ、内生性が発生してしまう。そこで、Takayamaらは、中山間地域等直接支払制度への参加資格である条件不利地への認定に着目した。条件不利地は、地域の人口密度、人口減少率、地形の傾斜度などによって定義されるが、こうした参加資格は、制度への参加確率とは正の相関を有する一方で、参加資格そのものは (直接支払を経由した間接的な効果を除

いては) 直接的に耕作放棄地には影響しないとの判断により、操作変数として使われている。中山間地以外も含めた全サンプルの耕作放棄地率は2000年で平均9.8%、2005年で10.4%であるが、分析の結果、直接支払はこれを0.9%ポイント引き下げることが示された。つまり直接支払は耕作放棄の進行を食い止めるはするものの、解消するまでには至らないことが示されている。

バリューチェーンへの参加の効果を検証した Biggeri et al. (2018) は、エチオピアの農業組合が実施した、高品質な小麦を生産するプロジェクトの効果を検証したものであるが、プロジェクトへの参加資格が組合員限定であることに着目し、組合員であるか否かを操作変数として使っている。組合員資格とプロジェクトへの参加は正の相関を有するが (つまり条件①が満たされる)、組合員資格そのものは、農業収入等へのアウトカムへは直接影響しない (つまり条件②も満たされる)、というのがその根拠である。ただし、組合への参加が任意である場合、意欲ある農家ほど組合に参加しやすい等の傾向が生じる可能性がある。このとき収入を左右する誤差項 (意欲) と組合員資格 (操作変数) が相関し得るため (つまり条件②が満たされない)、この点は、組合の実態を調べるなどして慎重に判断する必要がある。

このように資格が誤差項と無相関と言えるかどうかは、資格の決め方に依存する。しかし、これが確実に成立し、操作変数が応用可能なケースも存在する。第2節 (2) 項で例示した、実験内容を強制できないランダム化比較実験である。Nakano and Magezi (2020) は、ランダムに選ばれたタンザニアの農家に対して、現金を貸し付けるオファーを出し、化学肥料の使用量に及ぼす影響を推計した。このオファーが資格に該当する。しかし、農家に借金を強制することはできないから、実際に現金を借りたのはオファーを受けた農家のうち、約4割である。この場合、オファーを受けたか否かの二値変数は、借りるか否かの決定 (説明変数) と正の相関を有し、かつ、オファーはランダムに授与されたのであるから、化学肥料使用量の決定要因 (誤差項) とは無関係と言える。したがって、操作変数としての二つの条件を満たすわけである。

(4) 需要・供給関数

さて、ここまで操作変数法の近年の応用例を見てきたが、ここで一旦その起源を遡ってみたい。操作変数法の原型は、今からおよそ100年前の農業経済学の研究に端を発する。需要関数と供給関数の推定、つまり需要量と供給量が価格にどう反応するかという問題は、政策評価を含む様々な分析において決定的に重要な情報となるが、単に数量を価格で回帰するだけでは適切な結果は得られない。誤差項に含まれる需要や供給を変動させる観察できない要因と価格とが相関しているからである。需要関数を例に考えると、所得や年齢構成などがデータとして観察できない場合、それらは誤差項に含まれる形で需要量に影響を及ぼすことになるが、それらは市場メカニズムを通じて価格にも影響を及ぼす。例えば、好景気によって所得が上昇すれば、需要が刺激されて価格もまた変化する。つまり誤差項(所得や年齢構成)と説明変数(価格)が相関し、内生性が生じるのである。この問題を解決するためにWright(1928)は、供給量に影響を及ぼす変数「供給シフター」を操作変数として利用できることを示した。気象条件などの供給シフターは供給量の変動を通じて価格(説明変数)と相関する一方で、所得などの需要を左右する要因(誤差項)とは無相関と考えられるからである。同様のロジックにより、供給関数を推計する際には、例えば、競合財の価格など、需要量に影響を及ぼす変数「需要シフター」を操作変数として使えばよいことになる。この「需要関数の推計には供給シフターを、供給関数の推計には需要シフターを」という一世紀前のアイデアが操作変数法の起源である(Stock and Trebbi, 2003)。

このアイデアは、今日においても有効である。しかし、実際上はWeak instrument, すなわち、操作変数と内生変数の相関が弱い問題にしばしば直面する。例えば、供給シフターの一つである賃金の場合、年次変動が少なく、かつ地域間の違いもあまり大きくない。また、燃料や肥料等の投入価格も地域間の違いがほとんどない。そのため、これらの供給シフターは価格との相関が弱く、操作変数として不十分な場合が多いのである。逆もまた同様であり、所得等の需要シフターでは価格

との十分な相関が見込めないため、それを実際に操作変数として使う例は多くない(Hendricks et al., 2015)。

では、どのように価格の内生性に対処したらよいのだろうか。まず、農産物の供給関数においては、Gardner(1976)以降、2010年頃までの実証研究では、当期の市場価格の代わりに、作付前に観察される先物価格を説明変数として使うことで内生性を生じさせない、というアプローチが一般的であった(Miao et al., 2016, table 1)。その根拠は、誤差項に含まれる供給を変動させるショックは作付中に発生するため、そのタイミングにおいては、作付前に形成される先物価格とは相関し得ない、というものである。

一方、近年、Roberts and Schlenker(2013)はこの仮定を疑問視し、先物価格は今期の作況を予測して形成されるのだから、供給変動要因と相関し得ると主張した。例えば、作付前であっても、今夏は猛暑になると予測されれば、先物価格はそれを反映したものになるであろうし、実際に供給量も猛暑によって減産となる可能性が高い。つまり説明変数(先物価格)と誤差項(気象条件)は相関し得るのである。代わりにRobertsらが提案したのは、一期前(昨年)の気象条件を操作変数として使うことである。一期前の気象条件は、一期前の供給量に影響し、在庫量を変動させることを通じて、今期の価格と相関する。その一方で、一期前の気象条件は今期の供給変動要因とは無相関と考えられるため、操作変数としての二つの要件を満たすと考えられる。

例えば、Hendricks et al.(2015)は、Roberts and Schlenker(2013)のアプローチを利用して、内生性によるバイアスの大きさを定量的に計算している。世界の穀物生産データを利用した推計結果によれば、アウトカムが作付面積の場合は、内生性によるバイアスによって価格の影響が最大で75%ほど過少に推計されてしまう一方で、アウトカムが作付面積の場合は、バイアスが20%程度とさほど大きくないことを示している。すなわち、アウトカムが作付面積の場合は、そもそも内生性を無視しても大きな支障がないと結論付けられている。

次に、需要関数について論じる。上述のとおり

り、需要関数の推計においては、供給シフターが操作変数の候補となる。先行研究では燃料価格や気象条件を操作変数として使っているが(Angrist et al., 2000)、上述のようにWeak instrumentの問題に注意を払う必要がある。また、特筆すべきは、従来の研究では、例えば、「コメ」「牛乳」などと、ある程度集計された財の需要を分析対象とする例が多かったが、近年の研究では、産地別・品種別のコメ、ブランド別の牛乳など、財を実際の消費者が直面するレベルにまで細分化・差別化した上で、推計を行う例が増えてきている点である。Wright (1928) が直面した内生性は、需給メカニズムに起因したものであったが、差別化された財を扱う場合には、観察できない製品の属性が内生性の発生要因となる。例えば、製品のデザインは、データとして観察することは難しいが、需要に影響するため誤差項に含まれることになる。そしてデザインの良い製品は、その分コストがかかり、価格が高く設定される可能性がある。すなわち、誤差項(デザイン)と説明変数(価格)が相関することになる。もちろんデザインだけでなく、味や広告料など、他の(観察できない)製品属性においても同様のメカニズムが発生する可能性がある。

このように差別化された商品を分析する手法として、近年主流となっているのが、Berry et al. (1995) の提案したアプローチである。著者らの頭文字を取ってBLPアプローチと呼ばれるこの方法では、需要関数における価格の内生性に対処するため、Wrightのアイデアを応用して、賃金や原材料費などの供給シフターを操作変数として用いているが、Weak instrumentの問題を軽減するために、競合製品の平均価格や属性なども加えて利用している。これは、競合製品の価格や内容にも配慮して、販売業者は自社製品の価格設定を行っているものと考えられるからである。こうした操作変数の選び方は、財が集計された従来の分析では競合製品が存在しないため、そもそも不可能であり、製品が差別化された状況だからこそ可能なものと言える。また、他地域における同じ製品の販売価格を操作変数として利用する例もある(Nevo, 2001)。例えば、A県の価格の操作変数として、B県やC県の価格を使う。この方法は、

供給シフターは地域間で共通だが、需要シフターは地域ごとに異なる、と仮定できる場合に正当化されるが(Ackerberg et al., 2007)、この仮定はやや制約的であるため注意が必要である(Bonnet et al., 2020)。BLPアプローチは、産業組織論の分野で数多くの後続研究を生んでおり、農業分野でも、牛乳(林田, 2018)、農村観光(Tchetchik et al., 2008; Fleischer et al., 2018)、シリアルフード(Nevo, 2001; Chidmi and Lopez, 2007)などの需要分析にも応用されている。

(5) 補助金

2000年代に入って多くの国では、その年の生産量や価格に基づいて支払われる農業補助金から、生産や価格とは切り離されたデカップル型の補助金への切替えが相次いだ。我が国においても2007年に過去の作付面積に基づくデカップル補助金が導入された(品目横断的経営安定対策)。こうした制度の下では、補助金の額が一定期間固定されることとなるが、こうした政策の特徴を利用して内生性を巧みに解決し、経済学分野で名高い学術誌『Journal of Political Economy』に掲載された研究例としてKirwan (2009)を紹介する。

同研究の目的は、補助金が地代に与える影響を解明することであるが、ここで推計上問題となるのは、地代を交渉する春の時点では今期配分される補助金の額が不確実な点である。農家と地主は作付前の春に、今期配分される補助金も想定に入れながら、地代の水準を交渉し決定する。しかし、実際に補助金の額が判明するのは収穫後の秋である。分析の際には、この実際の補助金の額をデータとして利用するわけだが、それは交渉時点で農家らが想像していた補助金の予測値とは異なり得るものである。

Kirwanの用いた推計式を単純化して書けば、以下のとおりである。

$$(r_{i,1997} - r_{i,1992}) = a (g_{i,1997} - g_{i,1992}) + u_i$$

ここで、1997及び1992は年を、 r は地代を、 g は春の交渉時点で農家が予測していた補助金額を、 u は誤差項を、 i は農家を、 a は補助金が地代に及ぼす影響(政策効果)を表す。短期的に一定

とみなせる農家固有の効果を消去するために二時点の差分を取っており、1997年と1992年の地代の変化を、同期間の補助金の予測値の変化で説明するモデルとなっている。

補助金の予測値をデータとして観察することはもちろんできないから、上式の g の部分には、予測値の代わりに補助金の実現値を代入することになる。この場合、予測値と実現値の差、つまり測定誤差が誤差項に含まれることになり、内生性が発生してしまう。したがって、単純なOLS推計では政策効果を正しく測定できないことになる。

そこでKirwanは、1996年に導入されたデカップル型の補助金に着目してこの問題を解決した。それ以前の米国では、補助金の額が収穫後の価格水準によって変動する仕組みであったが、1996年からの7年間は、価格の水準とは無関係に、受給額が固定された。つまり1997年の補助金には農家の予想額との誤差が生じないことになる。この場合、1997年の補助金額を操作変数として利用することができる。なぜならば、1997年の補助金額 ($g_{i,1997}$) は内生変数 ($g_{i,1997} - g_{i,1992}$) と相関しているが、誤差項に含まれる1992年の補助金の測定誤差とは無相関と考えられるからである。推計の結果、補助金の25%は地代の上昇を通じて、農家ではなく地主に帰着することが示された。つまり政策の本来のターゲットである耕作者に届くのは補助金の75%にとどまり、残りは地主を潤すことに使われてしまうことが明らかとなったのである。

このKirwanのアプローチは、他の研究でも活用されており、例えば、Weber and Key (2012) は、補助金が生産に及ぼす影響を分析している。同研究では、デカップル型の補助金が、生産量や作付面積を増やす効果を持たないことが示されている。

(6) 部分識別アプローチ

最後に、「誤差項と無相関」という操作変数の条件②が満たされない場合に、部分識別 (Partial identification) と呼ばれるアプローチが有効であることを、農業分野の研究例を紹介しながら説明する¹¹⁾。

従来の回帰分析では、係数 ((1)式の a) はピン

ポイントで一つの値として計算される。これを点推計 (Point estimate) と呼ぶ。しかし、点推計を行うためには、関数の形状や操作変数の性質など、様々な仮定、時に非現実的とも言える強い仮定を課さねばならない。Manski (1989) を嚆矢とする部分識別アプローチでは、多くの研究者が納得するような極めて弱い仮定のみを課した上で、点推計ではなく、係数の取り得る「幅」を推計するものである (Bound estimate)。

なお、効果の異質性が存在する場合には、操作変数では全農家の平均ではなく、一部 (Complier) の農家に対する平均的な政策効果 (LATE) しか明らかにできないことを、第2節(2)項で述べたが、部分識別アプローチでは全農家に対する平均的な政策効果の幅を測定できる点も大きな強みである (Imbens and Wooldridge, 2009)。

これを農業分野に応用したKreider et al. (2012) の研究目的は、米国における栄養補助プログラムの効果を推計することである。このプログラム (SNAP) は、貧困世帯の栄養状態の改善を目指して、アルコール等を除いた食料品の購入に使うことができるカードを支給するもので、従来はFood stampプログラムと呼ばれていたものである。それまでの研究では食生活や健康に対する明確な効果は必ずしも得られていないものの (Kreider et al., 2012)、2015年時点において国民の7人に1人が受給するような大規模な政策である (鈴木, 2016)。効果の検証を困難にしている一つの要因が内生性である。プログラムへの応募が各世帯の判断に任されているため、健康状態の悪い世帯や食生活の乱れた世帯などの方が、プログラムに参加しやすい傾向が生じる。つまり説明変数 (プログラムへの参加) と誤差項 (健康状態や食生活の乱れ等) が相関してしまい、内生性が発生してしまうのである。

この問題に操作変数法を適用しようとする場合、プログラムへの参加とは相関するが、健康状態や食生活の乱れ等には直接影響しない操作変数を見つけ出すことは容易ではない。そこでKreider et al. (2012) は、「操作変数と誤差項は無相関」という条件②、換言すれば、「操作変数の値が大きくなっても、アウトカムは直接的には影響を受けない」という条件を放棄し、代わりに

「操作変数の値が大きくなれば、アウトカムは増加（又は減少）する」という「単調操作変数の仮定」を課した。ここで使われる操作変数（正確には単調操作変数と呼ばれる）は所得である。所得は食生活や健康状態にダイレクトに影響し得るため、誤差項と相関している可能性が高い。つまり操作変数の条件②が満たされないため、通常の操作変数法での利用には適さない。しかし「所得が増加すれば、食生活や健康といったアウトカムが改善される」という単調操作変数の仮定は、満たされると考えるのが自然であろう。こうした多くの人が納得するような弱い仮定を課し、そうした仮定と整合的なプログラムの効果の幅を推計するのが部分識別アプローチである。

Kreider et al. (2012) の推計結果によると、例えばアウトカムを肥満とした場合、何も仮定を課さない場合には、効果の取り得る幅は-0.466 から 0.534 である。つまり正値も負値もとりに得るため、栄養補助プログラムが肥満を増やすのか減らすのかを判断することができない。しかし、単調操作変数の仮定を課すと¹²⁾、-0.411 から-0.033 と負値のみに幅を狭めることができ、栄養補助プログラムが肥満を減らす、と結論付けることに成功している。

同様のアプローチは、幼少期における食生活が子供の肥満に及ぼす影響を分析した Millimet and Roy (2015) でも使われている。ただし、この研究では単調操作変数の仮定を課しても、効果の取り得る幅が十分に狭まらず、肥満への影響を判断することができていない。このように推計された効果の幅が時に広すぎて意味ある結論を得られない場合がある点は部分識別アプローチのデメリットと言えるが、適切な操作変数を見つけ出せない場合には検討する価値が十分にある手法である。

4. おわりに

本稿では、農業分野における操作変数法の利用例をレビューした。まず、生産、消費、貿易等、様々な分野で操作変数として活用されているのが距離である。農家の自宅や圃場から、普及センター、JA、区役所等までの距離を操作変数として使うことで、特定の技術や政策を採択した場合

の効果も推計することができる。こうした方法を我が国の農業政策の分析に応用するためには、できる限り細かい位置情報が必要である。既存の統計では市町村程度までしか位置情報が記録されていないケースが多いため、現在整備の進んでいる農地位置情報とのリンクなどが有効であろう。このほか先行研究では、店舗までの距離を利用する消費分析や、国家間の距離を使って貿易の効果を検証する研究例なども観察された。

なお、距離を計算することができない場合や、そもそも距離が内生変数と相関しているとは考えられない場合、地域やマクロ経済の指標なども操作変数となり得る。例えば、近隣で特定の技術や農法を採択している農家の割合、自治体の政策、気象条件、緯度、GDP、価格などである。こうした考え方の延長として、需要関数や供給関数の推計においては、供給や需要のシフター、過去の気象条件、競合製品の価格などを使うことができること、補助金の効果を推計する際には単価の固定されたデカップル型の補助金を活用できることなども紹介した。地域やマクロ経済の指標は計算が容易であり、市町村や県レベルまでしか位置情報が分からない場合にも活用することができる点がメリットである。

また、政策の対象者を限定している場合やランダム化比較実験においては、政策や実験の対象者であるか否か、つまり参加資格を操作変数として使える場合がある。参加資格は Weak instrument の問題が発生しにくく、操作変数としての条件を満たしやすいためである。なお近年の実証分析では政策効果の異質性を認めることが主流になりつつあるが、こうした仮定の下では、全農家に対する平均的な政策効果ではなく、特定の農家 (Complier) に対する政策効果の平均値 (LATE) しか計算できない点には留意が必要である。

以上のレビューから、操作変数の選択に関して共通点を見いだすとすれば、それは、分析対象となっている経済主体、つまり農家や消費者には操作することのできない変数を見つける、というものである。距離、地域環境、マクロ指標、需要や供給シフター、補助金の単価、資格はいずれもそうした特徴を満たしており、個々の農家や消費者には操作できない変数である。そうした変数は経

済主体の意思決定とは独立であるため、第1図で示した「誤差項と無相関」という条件②を満たすと考えられる場合が多いのである。もちろん最終的に操作変数として使うためには、もう一つの条件①、「内生変数との強い相関」についても精査する必要があるが、もしこれら二つの条件を満たした操作変数を見つけることができない場合には、近年開発の進んでいる部分識別アプローチを検討することもできる。このような新たな分析手法の登場によって、操作変数法を活用できる場面は更に広まりつつあると言えるだろう。

因果関係を推計する様々な手法の中で、操作変数法は最もハードルの高い手法と言えるかもしれない。理論的な概念もやや難解であるし、また、実際に応用するためには、それぞれの分析ごとに、適切な操作変数を見つけださねばならないためである。こうしたハードルを乗り越える最善策は、先人たちから学ぶことである。本稿では、できる限り多くの先行研究を、できる限り平易な言葉で紹介することに努めた。本稿が操作変数法に対する読者の理解、そして長期的には操作変数法の利用を通じたEBPM促進の一助となれば幸いである。

〔付記〕 本稿の執筆に当たり、高橋克也氏(農林水産政策研究所)、高橋祐一郎氏(農林水産政策研究所)、及び匿名の査読者より貴重なコメントをいただいた。ここに記して謝意を表したい。

注(1) このほかにも、最小二乗法や、(差分の差分法などと併用せずに単体で用いる)傾向スコアマッチングなどもあるが、全ての交絡変数がデータとして観察できるという比較的強い仮定が要求されるため、ここでは取り上げない。

(2) 解釈が容易なため、ここでは二つのOLSに分けて説明するが、一括で推計することもできる。なお、二段階目のOLSからは正しい標準誤差が得られないため、統計ソフトなどでは、(手動でOLSを二回繰り返すのではなく)二段階最小二乗法のコマンドを使うのがよい。詳細は、Wooldridge (2019) など、計量経済学の教科書を参照されたい。

(3) Weak instrumentへの対処法については、Andrews et al. (2019), Anatolyev (2019), Angrist and Pischke (2008, chapter 4.6.4)などを参照されたい。

(4) 操作変数が複数あればOveridentification testによって検定可能であるが、少なくとも一つの操作変数は誤差項

と無相関と判断できる場合にしか使えない (Wooldridge, 2019)。

(5) 操作変数が複数ある場合、二値変数ではない場合、説明変数が複数ある場合については、Angrist and Pischke (2008, ch. 4.5) やCornelissen et al. (2016)を参照されたい。

(6) この和訳は森田 (2014) による。

(7) Complierは、「素直、従順な者」の意である。

(8) 例えば、説明変数のラグを操作変数として用いる Dynamic panel data 分析 (Arellano and Bond, 1991; Blundell and Bond, 1998) や、投資や中間財を操作変数に用いた生産関数の推計 (Olley and Pakes, 1996; Levinsohn and Petrin, 2003) など。

(9) ただし、湿地や平地の面積割合、建物の密集度などは、アウトカムである地価に直接的に影響を与える (つまり条件②が満たされていない) 疑いが残る。例えば、平地が少なく傾斜が多い地域は、利便性を反映して地価が低下するかもしれないためである。

(10) 漁獲量のデータは、特に途上国では正確に記録することが難しいため、誤差を含む可能性が高く、この場合、説明変数と誤差項が相関し、内生性が発生する。測定誤差が内生性を発生させるメカニズムについてはWooldridge (2019)などを参照のこと。

(11) 部分識別アプローチの日本語による解説書としては、奥村 (2018) がある。

(12) 厳密には、対照群よりも処置群の方がアウトカムが大きという “Monotone Treatment Selection” の仮定も課されている。ただしこの仮定は推計値の幅を狭めることはできるが、符号を確定するまでには至らないことが理論的に示されている (Manski and Pepper, 2000)。

文献

- Ackerberg, D., Benkard, C. L., Berry, S., and Pakes, A. (2007) Econometric Tools for Analyzing Market Outcomes. *Handbook of Econometrics* 6: 4171-4276.
- Almada, L., McCarthy, I., and Tchernis, R. (2016) What Can We Learn About the Effects of Food Stamps on Obesity in the Presence of Misreporting?. *American Journal of Agricultural Economics* 98 (4): 997-1017.
<https://doi.org/10.1093/ajae/aaw017>
- Anatolyev, S. (2019) Many Instruments and/or Regressors: A Friendly Guide. *Journal of Economic Surveys* 33 (2): 689-726.
<https://doi.org/10.1111/joes.12295>

- Andrews, I., Stock, J. H., and Sun, L. (2019) Weak Instruments in Instrumental Variables Regression: Theory and Practice. *Annual Review of Economics* 11: 727-753.
<https://doi.org/10.1146/annurev-economics-080218-025643>
- Angrist, J. D., Imbens, G. W., and Rubin, D. B. (1996) Identification of Causal Effects Using Instrumental Variables. *Journal of the American Statistical Association* 91(434): 444-455.
- Angrist, J. D., K. Graddy, and G. W. Imbens. (2000) The Interpretation of Instrumental Variables Estimators in Simultaneous Equation Models with an Application to the Demand for Fish. *The Review of Economic Studies* 67: 499-527.
<https://doi.org/10.1111/1467-937X.00141>
- Angrist, J. D., and Krueger, A. B. (2001) Instrumental Variables and the Search for Identification: From Supply and Demand to Natural Experiments. *Journal of Economic Perspectives* 15(4): 69-85.
<https://doi.org/10.1257/jep.15.4.69>
- Angrist, J. D., and Pischke, J. S. (2008) *Mostly Harmless Econometrics: An Empiricist's Companion*. Princeton University Press.
- Angrist, J.D., Lavy, V., and Schlosser, A. (2010) Multiple Experiments for the Causal Link Between the Quantity and Quality of Children. *Journal of Labor Economics* 28(4): 773-824.
<https://doi.org/10.1086/653830>
- Arellano, M. and Bond, S. (1991) Some Tests of Specification for Panel Data: Monte Carlo Evidence and Application to Employment Equations. *Review of Economic Studies* 58: 227-297.
<https://doi.org/10.2307/2297968>
- Berry, S., Levinsohn, J. and Pakes, A. (1995) Automobile Prices in Market Equilibrium. *Econometrica* 63(4): 841-90.
<https://doi.org/10.2307/2171802>
- Biggeri, M., Burchi, F., Ciani, F., and Herrmann, R. (2018) Linking Small-Scale Farmers to the Durum Wheat Value Chain in Ethiopia: Assessing the Effects on Production and Wellbeing. *Food Policy* 79: 77-91.
<https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2018.06.001>
- Blundell, R., and Bond, S. (1998) Initial Conditions and Moment Restrictions in Dynamic Panel Data Models. *Journal of Econometrics* 87(1): 115-143.
[https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(98\)00009-8](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(98)00009-8)
- Bonnet, C., Trachtman, C., Van Dop, M., and Villas-Boas, S.B. (2020) Food Markets' Structural Empirical Analysis: A Review of Methods and Topics. *European Review of Agricultural Economics* 47(2): 819-847.
<https://doi.org/10.1093/erae/jby045>
- Brunnschweiler, C.N., and Bulte, E.H. (2008) The Resource Curse Revisited and Revised: A Tale of Paradoxes and Red Herrings. *Journal of Environmental Economics and Management* 55 (3): 248-264.
<https://doi.org/10.1016/j.jjeem.2007.08.004>
- Böhme, M.H. (2015) Does Migration Raise Agricultural Investment? An Empirical Analysis for Rural Mexico. *Agricultural Economics* 46(2): 211-225.
<https://doi.org/10.1111/agec.12152>
- Chidmi, B., and Lopez, R. A. (2007) Brand-Supermarket Demand for Breakfast Cereals and Retail Competition. *American Journal of Agricultural Economics* 89(2): 324-337.
<https://doi.org/10.1111/j.1467-8276.2007.00994.x>
- Cornelissen, T., Dustmann, C., Raute, A., and U. Schönberg (2016) From LATE to MTE: Alternative Methods for the Evaluation of Policy Interventions. *Labour Economics* 41: 47-60.
<https://doi.org/10.1016/j.labeco.2016.06.004>
- Costa-Font, J., and N. Mas (2016) 'Globesity' ? The Effects of Globalization on Obesity and Caloric Intake. *Food Policy* 64: 121-132.
<https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2016.10.001>
- Drabo, A. (2017) Climate Change Mitigation and Agricultural Development Models: Primary Commodity Exports or Local Consumption

- Production?. *Ecological Economics* 137: 110-125.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.03.014>
- Dunn, R.A. (2010) The Effect of Fast-Food Availability on Obesity: An Analysis by Gender, Race, and Residential Location. *American Journal of Agricultural Economics* 92 (4): 1149-1164.
<https://doi.org/10.1093/ajae/aaq041>
- Feng, S., Krueger, A.B., and Oppenheimer, M. (2010) Linkages Among Climate Change, Crop Yields and Mexico-US Cross-Border Migration. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107 (32): 14257-14262.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1002632107>
- Fleischer, A., Tchetchik, A., Bar-Nahum, Z., and Talev, E. (2018) Is Agriculture Important to Agritourism? The Agritourism Attraction Market in Israel. *European Review of Agricultural Economics* 45(2): 273-296.
<https://doi.org/10.1093/erae/jbx039>
- Flückiger, M., and Ludwig, M. (2015) Economic Shocks in the Fisheries Sector and Maritime Piracy. *Journal of Development Economics* 114: 107-125.
<https://doi.org/10.1016/j.jdevco.2014.12.003>
- Gardner, B. L. (1976) Futures Prices in Supply Analysis. *American Journal of Agricultural Economics* 58(1): 81-84.
<https://doi.org/10.2307/1238581>
- Hansen, H., and Trifković, N. (2014) Food Standards are Good for Middle-Class Farmers. *World Development* 56: 226-242.
<https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2013.10.027>
- 林田光平 (2018)「牛乳需要の異質性と価格伝達」『農業経済研究』90(2): 108-125.
<https://doi.org/10.11472/nokei.90.108>
- Hendricks, N.P., Janzen, J.P., and Smith, A. (2015) Futures Prices in Supply Analysis: Are Instrumental Variables Necessary?. *American Journal of Agricultural Economics* 97(1): 22-39.
<https://doi.org/10.1093/ajae/aau062>
- Imbens, G.W., and Wooldridge, J.M. (2009) Recent Developments in the Econometrics of Program Evaluation. *Journal of Economic Literature* 47 (1): 5-86.
<https://doi.org/10.1257/jel.47.1.5>
- Imbens, G.W. and Angrist, J.D. (1994) Identification and Estimation of Local Average Treatment Effects. *Econometrica* 61: 467-476.
<https://doi.org/10.2307/2951620>
- Imbens, G.W. (2014) Instrumental Variables: An Econometrician's Perspective. *Statistical Science* 29(3): 323-58.
<https://doi.org/10.1214/14-STS480>
- 川崎賢太郎 (2020)「農業政策の効果測定手法：回帰不連続デザイン」『農林水産政策研究』33:63-75.
<https://doi.org/10.34444/00000128>
- 川崎賢太郎 (2021)「農業政策の効果測定手法：差分の差分法」『農林水産政策研究』35:19-30.
<https://doi.org/10.34444/00000133>
- Kirwan, B.E. (2009) The Incidence of U.S. Agricultural Subsidies on Farmland Rental Rates. *Journal of Political Economy* 117(1): 138-164.
<https://doi.org/10.1086/598688>
- Kreider, B., Pepper, J. V., Gundersen, C., and Jolliffe, D. (2012) Identifying the Effects of SNAP (Food Stamps) on Child Health Outcomes When Participation Is Endogenous and Misreported. *Journal of the American Statistical Association* 107(499): 958-975.
<https://doi.org/10.1080/01621459.2012.682828>
- Krivonos, E., and Kuhn, L. (2019) Trade and Dietary Diversity in Eastern Europe and Central Asia. *Food Policy* 88: 101767.
<https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2019.101767>
- Levinsohn, J., and Petrin, A., (2003) Estimating Production Functions Using Inputs to Control for Unobservables. *Review of Economic Studies* 70: 317-342.
<https://doi.org/10.1111/1467-937X.00246>
- Liu, X., and Lynch, L. (2011) Do Zoning Regulations Rob Rural Landowners' Equity?. *American Journal of Agricultural Economics* 93 (1): 1-25.
<https://doi.org/10.1093/ajae/aaq164>

- Manski, C.F. (1989) Anatomy of the Selection Problem. *Journal of Human Resources* 24(3): 343-360.
<https://doi.org/10.2307/145818>
- Manski, C. F, and Pepper, J. V. (2000) Monotone Instrumental Variables: With an Application to the Returns to Schooling. *Econometrica* 68 (4): 997-1010.
<https://doi.org/10.1111/1468-0262.t01-1-00144a>.
- Miao, R., Khanna, M., and Huang, H. (2016) Responsiveness of Crop Yield and Acreage to Prices and Climate. *American Journal of Agricultural Economics* 98 (1): 191-211.
<https://doi.org/10.1093/ajae/aav025>
- Millimet, D. L., and Roy, M. (2015) Partial Identification of the Long-Run Causal Effect of Food Security on Child Health. *Empirical Economics* 48 (1): 83-141.
<https://doi.org/10.1007/s00181-014-0867-x>
- Mogstad, M., and Torgovitsky, A. (2018) Identification and Extrapolation of Causal Effects with Instrumental Variables. *Annual Review of Economics* 10: 577-613.
<https://doi.org/10.1146/annurev-economics-101617-041813>
- 森田果 (2014) 『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
- 中村信之・鈴木綾 (2019) 「開発ミクロ実証経済学は実験系論文に寄せられる課題を解消しているか? 開発経済学ジャーナルのシステムティックレビューを基に」『農業経済研究』91 (1): 1-16.
<https://doi.org/10.11472/nokei.91.1>.
- Nakano, Y., and Magezi, E.F. (2020) The Impact of Microcredit on Agricultural Technology Adoption and Productivity: Evidence from Randomized Control Trial in Tanzania. *World Development* 133: 104997.
<https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.104997>
- Nevo, A. (2001) Measuring Market Power in the Ready-To-Eat Cereal Industry. *Econometrica* 69 (2): 307-342.
<https://doi.org/10.1111/1468-0262.00194>
- 奥村綱雄 (2018) 『部分識別入門 - 計量経済学の革新的アプローチ』日本評論社
- Olley, S., and Pakes, A. (1996) The Dynamics of Productivity in the Telecommunications Equipment Industry. *Econometrica* 64 (6): 1263-1298.
<https://doi.org/10.2307/2171831>.
- Rischke, R., Kimenju, S. C., Klasen, S., and Qaim, M. (2015) Supermarkets and Food Consumption Patterns: The Case of Small Towns in Kenya. *Food Policy* 52: 9-21.
<https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2015.02.001>
- Roberts, M.J., and W. Schlenker. (2013) Identifying Supply and Demand Elasticities of Agricultural Commodities: Implications for the US Ethanol Mandate. *American Economic Review* 103: 2265-2295.
<https://doi.org/10.1257/aer.103.6.2265>
- Salazar, L., Aramburu, J., González-Flores, M., and Winters, P. (2016) Sowing for Food Security: A Case Study of Smallholder Farmers in Bolivia. *Food Policy* 65: 32-52.
<https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2016.10.003>
- Sanglestsawai, S., Rejesus, R. M., and Yorobe, J.M. (2014) Do Lower Yielding Farmers Benefit from Bt Corn? Evidence from Instrumental Variable Quantile Regressions. *Food Policy* 44: 285-296.
<https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2013.09.011>
- 佐々木宏樹 (2020) 「農業者・消費者を対象としたフィールド実験の動向—持続可能な農業に向けたEBPM—」『環境経済・政策研究』13 (1): 50-54.
https://doi.org/10.14927/reeps.13.1_50.
- Shifa, A.B. (2015) Does Agricultural Growth Cause Manufacturing Growth?. *Economica* 82: 1107-1125.
<https://doi.org/10.1111/ecca.12142>
- Soullier, G., and Moustier, P. (2018) Impacts of Contract Farming in Domestic Grain Chains on Farmer Income and Food Insecurity. Contrasted Evidence from Senegal. *Food Policy* 79: 179-198.
<https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2018.07.004>
- Stock, J.H. and Trebbi, F. (2003) Who Invented Instrumental Variable Regression? *Journal of*

- Economic Perspectives* 17: 177-194.
- 鈴木栄次 (2016) 「米国におけるSNAP (補給的栄養支援プログラム) の制度概要及びその実施状況等について」 農林水産政策研究所『プロジェクト研究 [主要国農業戦略横断・総合] 研究資料 第2号 平成28年度 カントリーレポート: 米国 (農業支援政策, SNAP制度), EU (価格所得政策とCAP簡素化, 酪農, 農業リスク管理, フランス), 韓国, 台湾』
https://www.maff.go.jp/primaff/kanko/project/attach/pdf/170900_28cr02_02.pdf
- Takayama, T., Hashizume, N., and Nakatani, T. (2020) Impact of Direct Payments on Agricultural Land Use in Less-Favoured Areas: Evidence from Japan. *European Review of Agricultural Economics* 47(1): 157-177.
<https://doi.org/10.1093/erae/jbz008>
- Tchetchik, A., Fleischer, A., and Finkelshtain, I. (2008) Differentiation and Synergies in Rural Tourism: Estimation and Simulation of the Israeli Market. *American Journal of Agricultural Economics* 90(2): 553-570.
<https://doi.org/10.1111/j.1467-8276.2007.01112.x>
- Trifković, N. (2016) Vertical Coordination and Farm Performance: Evidence from the Catfish Sector in Vietnam. *Agricultural Economics* 47 (5): 547-557.
<https://doi.org/10.1111/agec.12254>
- Volpe, R., Okrent, A., and Leibtag, E. (2013) The Effect of Supercenter-Format Stores on the Healthfulness of Consumers' Grocery Purchases. *American Journal of Agricultural Economics* 95 (3): 568-589.
<https://doi.org/10.1093/ajae/aas132>
- Weber, J.G., and Key, N. (2012) How Much Do Decoupled Payments Affect Production? An Instrumental Variable Approach with Panel Data. *American Journal of Agricultural Economics* 94(1): 52-66.
<https://doi.org/10.1093/ajae/aar134>
- Wright, P. (1928) *The Tariff on Animal and Vegetable Oils*. MacMillan, New York.
- Wooldridge, J.M. (2019) *Introductory Econometrics: A Modern Approach 7th edition*. Southwestern Publishing.
- Yen, S.T., Andrews, M., Chen, Z., and Eastwood, D.B. (2008) Food Stamp Program Participation and Food Insecurity: An Instrumental Variables Approach. *American Journal of Agricultural Economics* 90(1): 117-132.
<https://doi.org/10.1111/j.1467-8276.2007.01045.x>
- Zeng, D., Alwang, J., Norton, G.W., Shiferaw, B., Jaleta, M., and Yirga, C. (2017) Agricultural Technology Adoption and Child Nutrition Enhancement: Improved Maize Varieties in Rural Ethiopia. *Agricultural Economics* 48(5): 573-586.
<https://doi.org/10.1111/agec.12358>
- Zhen, C., Finkelstein, E.A., Nonnemaker, J. M., Karns, S.A., and Todd, J.E. (2014) Predicting the Effects of Sugar-Sweetened Beverage Taxes on Food and Beverage Demand in a Large Demand System. *American Journal of Agricultural Economics* 96(1): 1-25.
<https://doi.org/10.1093/ajae/aat049>

Econometric Methods for Evaluation of Agricultural Policy: Instrumental Variable Method

KAWASAKI Kentaro

Summary

There are several econometric methods for evaluating the causal impact of agricultural policies. In previous studies, the regression discontinuity design and the difference-in-differences method were reviewed (Kawasaki 2020, 2021). In this study, we review the basic concept of instrumental variable method and its applications in the field of agricultural economics.

Keyword: Agricultural policy; Causal inference; Econometrics; Evidence-based policy making (EBPM); Instrumental variable method;