

高速道路へのアクセスが地域の雇用及び生産性に及ぼす因果効果の推定

柚木 洸¹・織田澤 利守²

¹学生会員 神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻 (〒 657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1)
E-mail:186t139t@stu.kobe-u.ac.jp

²正会員 神戸大学准教授 大学院工学研究科市民工学専攻 (同上) E-mail:ota@opal.kobe-u.ac.jp

本研究では、我が国における高速道路整備がもたらすストック効果を実証的に示すことを目的として、高速道路へのアクセスが製造業の雇用及び生産性に及ぼす因果効果を推定する。その際、江戸時代後期の街道データを操作変数とする操作変数法 (IV) を採用し、IV による推定結果と OLS による推定結果との比較を行う。

Key Words : stock effect, highway, instrumental variable method, employment, productivity

1. はじめに

昨今、社会資本整備のストック効果が注目を集めている。伝統的な費用便益分析では、発生ベースの便益のみが計測対象とされ、事業の効率性評価に用いられる。一方で、事業実施によって実際にどのような効果がどのように発現したかについて、帰着ベースで事後的に検証することはこれまでほとんど行われてこなかった。こうした反省を踏まえ、平成 28 年 11 月に策定された「ストック効果の最大化に向けて-その具体的戦略の提言- (国土交通省・社会資本整備審議会計画部会専門小委員会)」¹⁾ では、「見える化・見せる化」に向けた具体的施策の 1 つとして、発現した多様なストック効果を可能な限り客観的、定量的に把握するための事後評価等の充実が挙げられている。しかし、現時点では事例の収集に留まっており、客観的、定量的な検証は行われていない。政策効果の評価においては、政策を実行した場合 (with) と実行しなかった場合 (without) の 2 ケースの比較が基本である。しかし、実現しなかった潜在的結果 (反事実) は観測できないため、有無比較は原理的に不可能である (「因果推論の根本問題」)。また、前後比較、地域比較においては、対象とする政策のみの効果の抽出が困難あることや因果関係が不明確であることが指摘されてきた。近年になって、実証分析手法の発展と各種データの利用可能性の向上により、政策科学の分野においても因果関係の分析が数多く行われ、注目を集めている。

本研究は、我が国における高速道路整備がもたらすストック効果を実証的に示すことを目的として、高速道路へのアクセスが製造業の雇用及び生産性に及ぼす

因果効果を推定する。推定に際しては、政府による整備路線の選択に起因する選択バイアスや欠落変数バイアスが存在するため、通常の最小二乗法 (OLS) では推定値が過大もしくは過小になる恐れがある。こうした識別問題に対処するために、本研究では、Holl(2016)²⁾ や Duranton and Turner(2012)³⁾ の枠組みを参考として、江戸時代後期の街道データを操作変数とする操作変数法 (IV) を採用し、IV による推定結果と OLS による推定結果との比較を行う。

2. 既往研究及び本研究の位置付け

Holl(2016)²⁾ は、スペインの高速道路が製造業の生産性に及ぼす効果を調査し、高速道路へのアクセスと全要素生産性の因果関係の解明を試みた。また、人口密度を考慮に入れることにより集積の効果にも言及した。逆の因果性を排するため、歴史的な道路ネットワークを操作変数として用い、高速道路へのアクセスが良いほど全要素生産性が高くなることが明らかにした。高速道路が経済活動の地理的分布を形成する上で重要な役割を果たすと結論づけた。

Duranton and Turner(2012)³⁾ は、道路のストックが雇用に及ぼす影響に着目し、1983 年から 2003 年の米国の都市の成長に及ぼす高速道路の効果を推定した。高速道路が雇用に及ぼす効果の推定に加え、道路ストックと雇用が将来道路ストックの建設に及ぼす影響についても推定を行なった。逆の因果性を排するために、ここでも操作変数法において歴史的な道路ネットワークや鉄道ネットワークが操作変数として用いられている。道路ストックが多いほど将来雇用及び人口が増加

し、道路は都市の成長を推進させること、道路が不足している地域に道路が優先的に建設されていることが明らかになった。

本研究では、高速道路へのアクセスと製造業の雇用及び生産性の因果関係の推定を行う。また、高速道路へのアクセスが将来の製造業の成長に及ぼす効果の推定も合わせて行う。我が国の高速道路を対象として、統計的因果推論を用いて整備効果の推定を行なった研究は、著者の知る限りこれまでは存在しない。本研究の成果は、交通インフラ整備の事後評価やストック効果の見える化に資するものであり、公益性を有する上に実務への貢献も期待できる。

3. 研究方法

高速道路の因果効果を推定するに際し、政府による整備路線の選択に起因する選択バイアスや欠落変数バイアスが存在するため、通常の最小二乗法 (OLS) では推定値が過大もしくは過小になる恐れがある。こうした識別問題に対処するために、本研究では、江戸時代後期の街道データを操作変数とする操作変数法 (IV) を採用した。

(1) 操作変数法⁴⁾

説明変数が被説明変数の決定要因であると同時に、被説明変数も説明変数の決定要因になっている場合、誤差項と説明変数が相関を持つ (内生性)。内生性が存在すると、「サンプルサイズの増加とともに推定量の分散が小さくなりある値に近づくこと」を意味する“一致性”が無くなり、推定値が真の値から外れる。このことを内生性バイアスと呼び、一致性が無くなることは推定上の問題として深刻である。説明変数に観測上の誤差がある場合にも推定量は一致性が無い。また、説明変数に本来入れるべき変数が欠落していると、誤差項と説明変数が独立でなくなる。入れるべき変数が欠落しているため、推定値が真の値から外れることを欠落変数バイアスと呼ぶ。OLS で有意な相関関係があっても、逆の因果性を反映している可能性があり、政策含意に結びつけるエビデンスを得るには因果関係の特定が重要である。このような識別問題に対処するため、本研究では操作変数法を用いる。操作変数法では、説明変数に影響を与え、被説明変数からの影響を直接受けない「操作変数」を利用して逆の因果性を取り除く。 X_i を被説明変数、操作変数 Z_i を説明変数とする式を最小二乗法で推定し、 X_i の予測値 \hat{X}_i を算出する。

$$X_i = \alpha + \beta Z_i + e_i$$

$$\hat{X}_i = \alpha + \beta Z_i$$

算出した予測値 \hat{X}_i を X_i の代わりに説明変数として用いて、本来の推定式を推定する。

$$Y_i = a + b\hat{X}_i + u_i$$

このように推定した \hat{X}_i のパラメータ b は逆の因果性の影響を受けておらず、一致性のある推定量になる。

(2) 使用データ

本研究では、財団法人経済産業調査会より提供された工業統計メッシュデータ⁵⁾を用いる。日本国土を $1\text{km} \times 1\text{km}$ のメッシュで区切り、メッシュごとの事業所数、従業者数、出荷額、付加価値額等が規模別、産業別、甲票 (※) で集計されている。集計年度は 1977 年から 2010 年の間で、2-8 年おきに集計された。1 つのメッシュ内の事業所数が 1 または 2 の場合、個々の申告者の秘密が漏れる恐れがあるため、事業所数と従業者数 (平成 12 年度以前は秘匿対象項目) 以外のデータは秘匿されている。平成 22 年を除き、従業者 4 人以上の事業所を対象としている。平成 22 年度においては、推計による 3 人以下の事業所も対象に含まれる (3 人以下の事業所の事業所数と従業者数のみ集計)。

※甲票は従業者 30 人以上の事業所を対象に集計され、「基礎素材型産業」、「加工組立型産業」、「生活関連型産業」による分類がなされている。

(3) 分析対象年度及び地域

“製造業の成長に及ぼす効果の推定”における分析対象年度は 1995 年～2010 年とし、15 年間にわたる比較的長期の効果の推定する。1995 年から 2010 年では地方都市で高速道路が開通するケースが多い。“製造業に及ぼす効果の推定”においては 1995 年、2010 年とする。



図-1 平成 7 年度の高速道路ネットワーク 出典:高速道路資料室⁶⁾

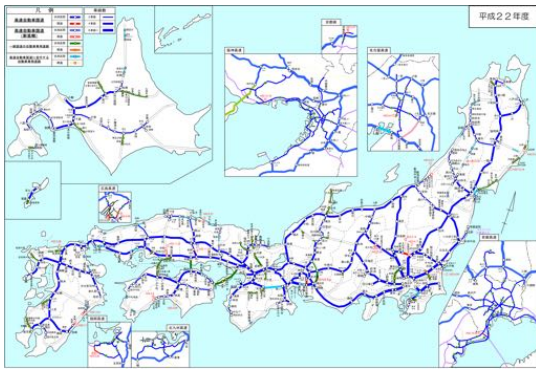


図-2 平成 22 年度の高速道路ネットワーク 出典:高速道路資料室⁶⁾



図-4 古地図に描かれている旧街道

分析対象地域は、操作変数として「旧街道へのアクセス」を用いる都合から、北海道と沖縄を除いた日本全国とする。また、離島のサンプルを取り除いて推定を行う。

(4) 旧街道データ

本研究では江戸時代後期の街道データを用いて研究を行う。東京地図研究社に作製して頂いた街道の GIS データから、古地図(図-3)に描かれている街道をピックアップし、推定に用いる。江戸時代後期の街道ネットワーク(図-4)と平成 22 年度の高速道路ネットワーク(図-2)を比較すると、類似したルートを辿る箇所が存在し、江戸時代後期の街道が現在の高速道路に影響を与えていると判断できる。また、時系列上現在の雇用及び生産性は旧街道ネットワークに影響を与えることはない。以上の理由より、旧街道ネットワークは操作変数として用いて差し支えないといえる。



図-3 大日本道中細見絵図 作製:岡田春灯斎 早稲田大学図書館所蔵

(5) 距離測定方法

本研究において、各交通インフラへのアクセスは、簡便のためメッシュ中心から各交通インフラまでの直線距離で評価する。直線距離は GIS ソフト”ArcGIS”の空間結合により求めた。

(6) 回帰モデル

本節では、研究で用いる回帰モデルを紹介する。回帰モデルは対数変換を行うが、付加価値額がマイナスであるサンプルはわずかであるため除外した。公平性を期すため、マイナスであるサンプルと同じ割合だけ、上位のサンプルを除外した。高速道路へのアクセスが、同時期の製造業の事業所数、従業者数、労働生産性(付加価値額/従業者数)に及ぼす因果効果を操作変数法を用いて推定する。回帰モデルは、事業所数、従業者数、労働生産性を被説明変数、高速道路へのアクセス(操作変数法においては、旧街道へのアクセスからの推定値)を説明変数とする単回帰モデルを基本とし、その他の交通インフラへのアクセス、三大都市へのアクセス、建物面積の割合を制御変数とする重回帰モデルとする。これらの制御変数を加えることにより、高速道路の効果をより正確に推定することを図る。

$$\ln O_{it} = \alpha \ln IC_{it} + \beta \ln P_{it} + \gamma \ln S_{it} + \delta \ln A_{it} + \epsilon \ln B.3.C_i + \zeta BD_{it} + \eta PRE_i + \epsilon_i \quad (1)$$

$$\ln E_{it} = \alpha \ln IC_{it} + \beta \ln P_{it} + \gamma \ln S_{it} + \delta \ln A_{it} + \epsilon \ln B.3.C_i + \zeta BD_{it} + \eta PRE_i + \epsilon_i \quad (2)$$

$$\ln LP_{it} = \alpha \ln IC_{it} + \beta \ln P_{it} + \gamma \ln S_{it} + \delta \ln A_{it} + \epsilon \ln B.3.C_i + \zeta BD_{it} + \eta PRE_i + \epsilon_i \quad (3)$$

(記号の説明)

- ・ O_i :各メッシュ i 内の事業所数
- ・ E_i :各メッシュ i 内の従業者数

表-1 1995 年推定結果

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	OLS	IV	OLS	IV	OLS	IV
	lnO	lnO	lnE	lnE	lnLP	lnLP
lnIC	-0.043*** (0.004)	-0.229*** (0.022)	-0.079*** (0.007)	-0.357*** (0.043)	-0.059*** (0.004)	-0.179*** (0.023)
lnP	-0.038*** (0.006)	-0.028*** (0.006)	-0.092*** (0.010)	-0.082*** (0.011)	-0.072*** (0.005)	-0.068*** (0.006)
lnS	-0.028*** (0.006)	0.027*** (0.009)	-0.032*** (0.010)	0.036** (0.015)	-0.041*** (0.005)	-0.012 (0.008)
lnA	0.084*** (0.008)	0.121*** (0.009)	0.030** (0.013)	0.079*** (0.016)	-0.043*** (0.007)	-0.022*** (0.008)
lnB3C	-0.305*** (0.012)	-0.211*** (0.016)	-0.294*** (0.018)	-0.144*** (0.030)	-0.082*** (0.010)	-0.018 (0.016)
BD	2.483*** (0.019)	2.401*** (0.021)	1.527*** (0.030)	1.444*** (0.033)	-0.056*** (0.016)	-0.092*** (0.017)
都道府県ダミー	YES	YES	YES	YES	YES	YES
F 値 (1st stage)		2116		976.1		972.1
_cons	1.906*** (0.078)	1.287*** (0.107)	6.419*** (0.132)	5.503*** (0.194)	7.313*** (0.070)	6.918*** (0.102)
N	53524	53524	30578	30578	30422	30422
R ²	0.434	0.414	0.197	0.160	0.098	0.071

Standard errors in parentheses

* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

- ・ LP_i :各メッシュ i 内の労働生産性 (万円/人)
- ・ IC_i :各メッシュ i 中心から最寄りの高速道路 IC までの直線距離 (km)
- ・ P_i :各メッシュ i 中心から最寄りの港湾 (国際戦略港湾, 国際拠点港湾, 重要港湾) までの直線距離 (km)
- ・ S_i :各メッシュ i 中心から最寄りの新幹線駅までの直線距離 (km)
- ・ A_i :各メッシュ i 中心から最寄りの拠点空港までの直線距離 (km)
- ・ $B.3.C_i$:各メッシュ i 中心から最寄りの三大都市代表地点 (東京駅, 大阪駅, 名古屋駅) までの直線距離 (km)
- ・ BD_i :各メッシュ i における建物面積の割合
- ・ t :各年度
- ・ PRE_i :都道府県ダミー: PRE_i

高速道路へのアクセスが, 将来製造業の事業所数, 従業者数, 労働生産性の変化に及ぼす因果効果を推定するモデルは, 基準年の事業所数, 従業者数, 労働生産性を説明変数に加えることを除き, 上記のモデルと考え方は同じである。

4. 結果と考察

(1) 推定結果

因果効果の推定法としては, まず IV(操作変数法)における高速道路への距離の係数がマイナスで有意かどうかを確認する。係数がマイナスであれば, 高速道路へのアクセスが良いほど雇用や生産性及び, その成長の程度が良いと判断する。そして, OLS(通常の最小二乗法)における高速道路への距離の係数と比較し, OLS で過小もしくは過大に推定されているかを確認する。製造業に及ぼす効果の推定結果の表 (表-1,2) の (1),(3),(5) は, 高速道路が事業所数 (O), 従業者数 (E), 労働生産性 (LP) に及ぼす効果の, OLS での推定結果である。(2),(4),(6) は, 高速道路が事業所数 (O), 従業者数 (E), 労働生産性 (LP) に及ぼす効果の, IV での推定結果である。製造業の成長に及ぼす効果の推定結果 (表-3) についても同様である。" Δ " は 2010 年の数値と 1995 年の数値の差であることを示す。

表-2 2010 年推定結果

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	OLS	IV	OLS	IV	OLS	IV
	lnO	lnO	lnE	lnE	lnLP	lnLP
lnIC	-0.041*** (0.004)	-0.036** (0.018)	-0.110*** (0.007)	-0.229*** (0.033)	-0.048*** (0.005)	-0.095*** (0.032)
lnP	-0.051*** (0.005)	-0.051*** (0.006)	-0.087*** (0.010)	-0.074*** (0.010)	-0.067*** (0.007)	-0.063*** (0.008)
lnS	-0.028*** (0.005)	-0.029*** (0.006)	-0.039*** (0.009)	-0.020* (0.010)	-0.016*** (0.006)	-0.012* (0.007)
lnA	0.045*** (0.007)	0.044*** (0.007)	-0.006 (0.013)	0.007 (0.013)	-0.038*** (0.009)	-0.035*** (0.009)
lnB3C	-0.262*** (0.010)	-0.264*** (0.013)	-0.204*** (0.019)	-0.148*** (0.024)	-0.057*** (0.012)	-0.029 (0.022)
BD	1.591*** (0.013)	1.593*** (0.016)	1.911*** (0.025)	1.853*** (0.029)	-0.162*** (0.017)	-0.175*** (0.019)
都道府県ダミー	YES	YES	YES	YES	YES	YES
F 値 (1st stage)		2386		2386		576.1
_cons	1.718*** (0.069)	1.729*** (0.080)	4.593*** (0.128)	4.316*** (0.149)	7.098*** (0.090)	6.964*** (0.125)
N	52933	52933	52933	52933	21026	21026
R ²	0.397	0.397	0.214	0.210	0.048	0.044

Standard errors in parentheses

* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

(2) 考察

a) 操作変数の妥当性

適切な操作変数の条件として説明変数に影響を与えることが挙げられるが、江戸時代後期の街道データが操作変数として設定して妥当であるかを確認する。操作変数法における結果で、第一段階最小二乗法における F 値を表示している。F 値とは、回帰のパラメータが同時にゼロであるという仮説を検定するための検定量であり、F 値が 10 を越えれば操作変数が妥当であるといえる。いずれの項目でも F 値が 10 を越えたため、江戸時代後期の街道データは操作変数として設定して妥当であるといえる。

b) 推定結果の考察

1995 年、2010 年のいずれの年度において、高速道路が雇用及び生産性に及ぼす効果も、それらの成長に及ぼす効果も、OLS で推定すると過小に評価される傾向にあることが分かった。その理由として以下の 3 つが考えられる。

1. 公平性が重視され、雇用及び生産性の水準が低い地域に高速道路が整備されたこと

2. 都市間を結ぶ高速道路の途中で雇用及び生産性の水準が低い地域が存在すること

3. 説明変数に観測上の誤差がある

1 については、政府による路線選択に起因する選択バイアスが存在することが考えられる。1995 年から 2010 年にかけては主に地方部に高速道路が整備された。雇用及び生産性の水準が低い地域に高速道路が整備された場合、高速道路の効果が過小に評価される。

2 については、日本の都市面積割合が非常に低いことを考慮すると、雇用及び生産性の水準が低い地域に高速道路が通らざるを得ないケースがあることは十分考えられる。例えば、大阪と下関を結ぶ中国自動車道は山間部を通過しており、雇用及び生産性の水準が高い地域は少ない。

3 については、説明変数に観測上の誤差がある場合、最小 2 乗推定量は不偏推定量でなく、かつ一致推定量でもない。説明変数と誤差項との共分散の符号がマイナスであるため、真の回帰直線より緩やかな直線をもたらすことになる⁷⁾。

表-3 1995 年～2010 年推定結果

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	OLS	IV	OLS	IV	OLS	IV
	$\Delta \ln O$	$\Delta \ln O$	$\Delta \ln E$	$\Delta \ln E$	$\Delta \ln LP$	$\Delta \ln LP$
lnIC	-0.040*** (0.004)	-0.080*** (0.023)	-0.067*** (0.009)	-0.247*** (0.051)	-0.033*** (0.005)	-0.132*** (0.034)
lnP	-0.062*** (0.006)	-0.060*** (0.006)	-0.088*** (0.012)	-0.080*** (0.012)	-0.055*** (0.007)	-0.050*** (0.008)
lnS	-0.033*** (0.006)	-0.023*** (0.008)	-0.050*** (0.012)	-0.009 (0.016)	-0.016** (0.007)	0.004 (0.010)
lnA	0.011 (0.007)	0.019** (0.009)	0.020 (0.016)	0.051*** (0.018)	-0.009 (0.010)	0.006 (0.011)
lnB3C	-0.107*** (0.011)	-0.087*** (0.016)	-0.026 (0.021)	0.072** (0.034)	-0.022* (0.012)	0.037 (0.023)
BD	0.267*** (0.019)	0.257*** (0.020)	0.155*** (0.035)	0.121*** (0.037)	-0.214*** (0.021)	-0.230*** (0.021)
lnO1995	-0.454*** (0.004)	-0.455*** (0.004)				
lnE1995			-0.282*** (0.007)	-0.289*** (0.007)		
lnLP1995					-0.600*** (0.009)	-0.612*** (0.009)
都道府県ダミー	YES	YES	YES	YES	YES	YES
F 値 (1st stage)		1249		768.7		433.2
_cons	1.001*** (0.074)	0.867*** (0.106)	0.867*** (0.157)	0.304 (0.223)	4.265*** (0.114)	3.988*** (0.148)
N	36700	36700	26132	26132	16288	16288
R ²	0.287	0.285	0.083	0.067	0.240	0.224

Standard errors in parentheses

* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

5. おわりに

本研究では、日本全国を対象に、高速道路へのアクセスが製造業の雇用や生産性及びその成長に及ぼす効果を推定した。高速道路へのアクセスの良さは、製造業の雇用及び生産性に良い効果を及ぼす傾向にあることが分かった。OLS で推定を行うと、高速道路へのアクセスが雇用及び生産性に及ぼす効果、及びそれらの成長に及ぼす効果が過小に評価される傾向にある。本研究の結果は、高速道路整備がもたらすストック効果を正しく検証する上で極めて重要な知見である。本研究のアプローチは交通インフラ整備の事後評価に貢献すると考えられ、実務での交通インフラ整備計画への応用も期待される。

今後の課題としては、個々の地域メッシュの特性が考慮されていないことが挙げられる。個々の地域の特性

をコントロールし、推定の精度を向上させるためには、多地点時系列分析であるパネルデータ分析の固定効果モデルを用いると効果的である。パネルデータ分析は、個体の異質性をコントロールできるため、因果関係の検証に適している⁸⁾。しかし、パネルデータ分析において、単一の操作変数を用いる操作変数法を行う場合、操作変数が時間を通じて不変である場合、その情報が削除されるという欠点がある。Hornung(2015)⁹⁾は、時系列で変化する複数の操作変数法を用いることでその欠点に対処している。今後、Hornung(2015)の手法を参考に、パネルデータ分析を行いたい。

参考文献

- 1) 国土交通省・社会資本整備審議会計画部会専門小委員会：ストック効果の最大化に向けて-その具体的戦略の提言-

- 2) Holl,A.(2016):” Highways and productivity in manufacturing firms ” , *Journal of Urban Economics*, 93, 131-151, 2016
- 3) Duranton,G., Turner,M.A.(2012):” Urban Growth and Transportation ” , *The Review of Economic Studies*, Volume 79, Issue 4, 1 October 2012, Pages 1407-1440
- 4) 山本勲 (2015),『実証分析のための計量経済学』中央経済社.
- 5) 財団法人 経済産業調査会 工業統計メッシュデータ, 2013
- 6) 高速道路資料室 (<http://www.ne.jp/asahi/expressway/dataroom/index.htm>)
- 7) 山本拓 (2005), 『計量経済学』新世社
- 8) 松浦寿幸 (2015),『Stata によるデータ分析入門 [第 2 版]』東京図書.
- 9) Hornung,E.(2015):”Railroads and growth in Prussia”, *Journal of the European Economic Association* 13(4), 699-736.

(2018. 7. 31 受付)