

高速道路へのアクセス向上がもたらすストック 効果の計測—操作変数アプローチ—

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、奈良時代から平安時代にかけて整備された七道駅路のデータを操作変数とする操作変数法 (IV) を採用する。推定の結果、高速道路から遠い地域と比較し、高速道路に近い (インターチェンジから 6km 以内) 地域では、労働生産性が 29% 増加することなどが明らかになった。

Key Words : stock effects, highway, instrumental variable approach, employment, labor 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」 (Holland²⁾)。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、Duranton and Turner³⁾ や Holl⁴⁾ の枠組みを参考として、奈良時代から平安時代にかけて整備された七道駅路のデータを操作変数とする操作変数法 (IV) を採用する。

2. 既往研究及び本研究の位置付け

高速道路などの交通インフラの整備がもたらすストック効果を検証した既往研究は数多く存在するが、ここでは操作変数法を用いた既往研究をレビューする。¹ 先行研究においては、主に計画ルートや歴史的街道ルートが操作変数として選定される。その中で、歴史的街道ルートについては、現代の道路整備計画とは相関を持つ一方で現代の経済活動 (の変化) には直接影響を及ぼさないと考えられ、後述の操作変数の条件を満たすと考えられる。

Duranton and Turner³⁾ は、高速道路ストックが 1983~2003 年のアメリカの都市人口・雇用の成長に与える因果効果をについて構造方程式を定式化し、IV 法により、道路ストック 10% の増加が都市の雇用に 20 年間で約 1.5% 上昇させるという推定結果を得ている。そ

¹ 統計的因果推論の包括的レビューは、織田澤・大平⁵⁾ を参照されたい。

の際に適用された操作変数には、1947 年時点での高速道路の計画ルートに加えて、1518~1850 年の開拓ルートおよび 19 世紀の鉄道網が含まれる。

Holl⁴⁾ は、1997~2007 年のスペインの製造業を対象に、高速道路整備への近接性が企業の生産性に及ぼす影響について分析を行った。推定に際しては、政府が生産性の高い地域に優先的に道路整備を行う、あるいは、今後の成長を見込んでむしろ生産性の低い地域に整備を行うといった投資地域選択に関する問題、生産性の高い企業が高速道路へのアクセスが良い都市部を好んで立地する立地選択の問題、欠落変数の存在などに起因する内生性が生じることに対処する必要がある。同論文では、1760 年の郵便ルート及びローマ時代の道路への距離を操作変数として採用した、固定効果操作変数法を用いて分析を行っている。集積 (local density) の効果についても推定を行い、高速道路によるアクセシビリティ向上効果は企業レベルにおいては集積の効果以上に企業の生産性を向上させたことを明らかにしている。また、高速道路に近接する郊外地域の企業で生産性が大きく向上する一方で、その周辺地域の企業の生産性が低下することにより、道路投資による便益の一部が相殺されることが示された。Holl⁴⁾ と同様にスペインの高速道路整備に着目した Garcia-López et al.⁶⁾ は、高速道路整備が郊外化に及ぼす因果効果の推定において、2000 年前のローマ街道と 250 年前のブルボン朝期の道路ネットワークを操作変数に用い、内生性に対処している。

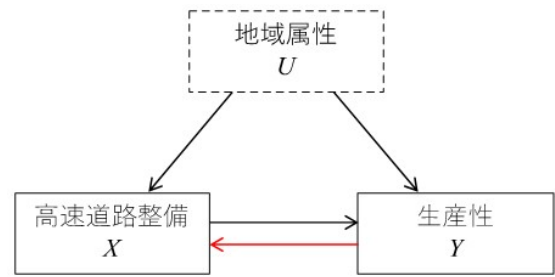
本研究では、前述の既往研究を参考に、操作変数法を用いて高速道路へのアクセスと製造業の雇用及び生産性の因果関係の推定を行う。我が国の高速道路を対象として、操作変数法を用いて整備効果の推定を行なった研究は、著者の知る限りこれまでには存在しない。本研究の成果は、交通インフラ整備の事後評価やストック効果の見える化に資するものである。

3. 研究方法

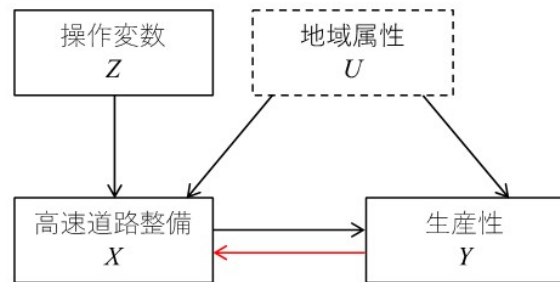
高速道路の因果効果を推定するに際し、政府による整備路線の選択に起因する選択バイアスや欠落変数バイアスが存在するため、通常の最小二乗法 (OLS) では推定値が過大もしくは過小になる恐れがある。こうした識別問題に対処するために、本研究では、七道駅路のデータを操作変数とする操作変数法 (IV) を採用する。

(1) 操作変数法

図-1 に示すように、高速道路整備が雇用や生産性の水準を向上させるという因果関係を想定する場合、効率性 (公平性) の観点からそもそも生産性の高い (低



(a) 内生性が存在するケース



(b) 操作変数を含む因果ダイアグラム

図-1 内生性と操作変数法

い) 地域に道路整備が優先的に実施されるという「逆の因果性 (reverse causality)」の存在は否定できない。このときに整備が実施された地域と実施されなかった地域とを単純に比較するならば、高速道路整備による因果効果を過大 (過小) に評価してしまう危険性がある。また、前節でも述べたように、観測できない共変数が存在する場面は少なくない。こうした状況では、回帰モデルにおける説明変数と誤差項の間に相関が生じ、その結果、OLS 推定量はバイアスをもつ。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。

ここで、以下の回帰モデルを考える。

$$Y_i = \alpha + \beta_{X \rightarrow Y} X_i + \epsilon_i \quad (1)$$

Y は連続的な結果変数、簡単のため、説明変数は X のみとする。 ϵ_i は誤差項を表す。このとき、回帰係数 β の最小 2 乗推定量 $\hat{\beta}_{OLS}$ は以下のように表される。

$$\hat{\beta}_{OLS} = \beta_{X \rightarrow Y} + \frac{\sum (X_i - \bar{X}) \epsilon_i}{\sum (X_i - \bar{X})^2} \quad (2)$$

$$\xrightarrow{p} \beta_{X \rightarrow Y} + \frac{Cov(X_i, \epsilon_i)}{Var(X_i)}$$

ただし、記号 \xrightarrow{p} は確率収束を表す。説明変数 X と誤差項 ϵ_i に相関がある場合、右辺第 2 項は 0 とはならず、 $\hat{\beta}_{OLS}$ は一定性を満足しない。これは、内生性バイアスと呼ばれる問題である。適切な操作変数の条件は次の通りである。

(1) 操作変数 Z_i は説明変数 X_i と関係する (関連性;rel-

evance):

$$\text{Cov}(Z_i, X_i) \neq 0 \quad (3)$$

(2) Z_i は被説明変数 Y_i に対し X_i を通じてのみ影響を与え、直接は影響しない (除外制約; exclusion restriction):

$$\text{Cov}(Z_i, u_i) = 0 \quad (4)$$

(3) Z_i と Y_i の両方に影響を与える共変量が (制御されぬまま) 存在しない (no instrument-outcome confounder).

操作変数を用いた 2 段階最小二乗推定 (2SLS) 法によって回帰係数 β を適切に推定することができる。step (1) 内生的な説明変数 X を被説明変数、操作変数 Z を説明変数として第 1 段階の回帰分析を行い、 X_i の推定値 \hat{X}_i を算出する。

$$X_i = \gamma + \beta_{Z \rightarrow X} Z_i + \eta_i \quad (5)$$

第 1 段階では、内生的な説明変数 X_i を、操作変数によって説明できる部分 $\hat{X}_i (= \gamma + \beta_{Z \rightarrow X} Z_i)$ とその他の部分 η_i とに分離している。 Z_i は、誤差項 ϵ_i (あるいは、被説明変数 Y_i) と直接的な関連を持たないので、 X_i の情報のうち ϵ_i の影響を受ける部分は η_i に落とし込まれている。すなわち、 \hat{X}_i は、 X_i の情報のうち ϵ_i の影響を受けない部分のみを抽出したものである。step (2) 第 2 段階として、第 1 段階で得た推定値 \hat{X}_i を説明変数として、被説明変数 Y_i との関係性を推定する。

$$Y_i = \alpha + \beta_{X \rightarrow Y} \hat{X}_i + \epsilon'_i \quad (6)$$

IV 推定量は以下のように表される。

$$\hat{\beta}_{IV} = \beta_{X \rightarrow Y} + \frac{\sum (Z_i - \bar{Z})(\epsilon_i - \bar{\epsilon}_i)}{\sum (X_i - \bar{X})(Z_i - \bar{Z})} \\ \xrightarrow{p} \beta_{X \rightarrow Y} + \frac{\text{Cov}(Z_i, \epsilon_i)}{\text{Cov}(Z_i, X_i)} = \beta_{X \rightarrow Y} \quad (7)$$

条件 (d-1), (d-2) が成立するとき、IV 推定量が一致推定量となることがわかる。操作変数法においては、上記の 3 条件を満たす適切な操作変数を見出すことが重要となる。条件 (d-1) について、 Z_i と X_i の間の相関が弱い (relevant でない) 場合、式 (7) より IV 推定量の一致性が脅かされる (weak instruments 問題と呼ばれる)。条件 (d-2) 及び (d-3) については、統計的に検定することはできない。

(2) 使用データ、分析対象年度及び地域

本研究では、2010 年における高速道路ネットワークが同時点の製造業の雇用や生産性に及ぼす因果効果の推定 (クロスセクション分析) を行う。雇用や生産性のデータに関しては、工業統計メッシュデータ²を参照する。工業統計メッシュデータにおいては、日本国土を 1km × 1km 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、付加価値額等がで集計されている。1つのメッシュ内の事業所数が 1 または 2 の場合、

² (財) 経済産業調査会より提供

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以外のデータは秘匿されている。本研究では、労働生産性について秘匿されるサンプルが存在する。分析対象地域は、操作変数として「歴史的な街道のデータ」を用いる都合から、北海道と沖縄、淡路島以外の離島を除いた日本全国とする。各交通インフラや都市へのアクセスについては、簡便のためメッシュ中心から各交通インフラ (高速道路 IC, 新幹線駅, 拠点空港, 港湾) や都市代表地点までの直線距離を "ArcGIS" により求め、説明 (制御) 変数として用いる。歴史的な街道へのアクセスについては、メッシュ中心から各街道までの直線距離を求め、操作変数として用いる。

(4) 歴史的街道ルート

本研究では、奈良時代から平安時代にかけて整備された七道駅路のデータを操作変数として用いる。武部⁷⁾によると、七道駅路とは、律令国家によって七世紀後半から八世紀にかけて建設され、十世紀頃まで機能した古代官道のことを指す。約 16km ごとに駅家が設置され、平安京 (現:京都府京都市) を起点とし本州、四国、九州の六十六国 (当時) すべてに達した。駅路沿いは各国の国府が存在し、政治的に重要な官道であったことが伺える。武部⁸⁾ は、九州に関する地理的重要性についても触れており、「遠の朝廷 (とおのみかど)」と呼ばれた太宰府 (現:福岡県太宰府市) を起点に、九州一円に延びる駅路のミニシステムが構成されていた。2010 年の高速道路 (図-2) と七道駅路 (図-3) とを比較すると、類似したルートが多くあることから、七道駅路と高速道路の間には深い関係性が存在することは明らかである。また、現在の雇用や生産性は奈良時代の駅路に影響を与えることはない。当然ながら、後述する回帰モデルでは、操作変数と被説明変数の両方に影響を与えるとされる共変量を回帰式に組み込むことで制御する。以上より、奈良時代に整備された七道駅路のデータは操作変数の満たすべき条件を満たしていると判断できる。武部⁷⁾⁸⁾ には、駅家の位置が現在のおける大字で記されている。それらを参照し、駅家の位置を GIS 上にプロットし、ルートに沿って駅家を直線で結ぶ。駅家の位置は、大字単位でプロットしているため、一定の誤差が生じる。本研究では、江戸時代後期の街道データ (図-4) を操作変数とする推定も併せて行い、七道駅路での推定結果と比較する。江戸時代後期の街道は、岡田春灯斎が作製した "大日本道中細見絵図"⁹⁾ に載っている街道ネットワークを参照した。江戸時代後期の街道と高速道路とを比較すると、両者は類似性がより高く、江戸時代後期の街道が現在に至るまでの国土形成に大きな役割を果たしたと考えられる。

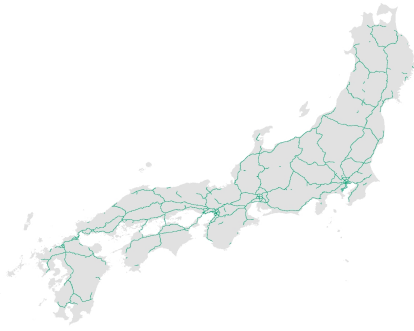


図-2 2010年の高速道路ネットワーク

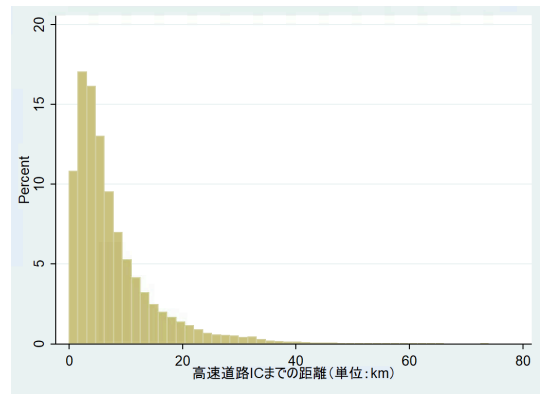


図-5 2010年における高速道路 IC までの距離のヒストグラム (日本全国ではなく、工業利用されている範囲のメッシュに限定される)



図-3 七道駅路ネットワーク

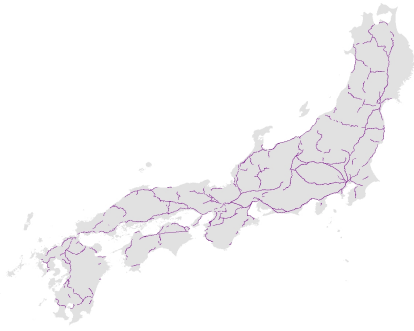


図-4 江戸時代後期の街道ネットワーク

(6) 回帰モデル

高速道路への近接性が、同時点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、歴史的街道への近接性を操作変数とする2段階最小二乗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、高速道路への近接性を示すダミー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、他の都市との関係を含めた地理的条件、土地利用の条件、産業構造を制御変数とする重回帰モデルを用いる。これらの制御変数を加えることにより、適切な操作変数の条件を満たすとともに、高速道路の効果をより正確に推定することを図る。本研究で用いるサンプルでは、高速道路 IC までの直線距離の中央値が約 6km である

ことから(図-5)、高速道路 IC から 6km 圏内を”高速道路に近い地域”と定義する。また、今回帰分析においては、不均一分散を想定し、Robust Standard Error に対処するため、ロバスト推定を行う。重回帰モデルは以下の式で表される。

$$\ln Y_i = \alpha + \beta \cdot d_i^{HD} + \gamma X_i + \varepsilon_i \quad (8)$$

ここで、 Y_i は被説明変数であり、各メッシュ内の事業所数 (ES_i)、従業者数 (EMP_i)、労働生産性(万円/人)(LP_i) が入る。 d_i^{HD} は高速道路近接性ダミーを示し、高速道路 IC から 0~6km 圏内にメッシュ中心が入っていれば 1、そうでなければ 0 を取る。 X_i は制御変数(ベクトル)であり、各メッシュ中心から最寄りの新幹線駅、拠点空港、港湾(国際戦略港湾、国際拠点港湾、重要港湾)、三大都市代表地点(東京駅、大阪駅、名古屋駅)、政令指定都市代表地点(各政令指定都市市役所)までの直線距離(km)、各メッシュにおける平均標高(m)、最大傾斜角/90、建物面積の割合、主要産業ダミー³で構成される。操作変数は歴史的街道への近接性ダミーとする。

また、各メッシュから高速道路 IC までの直線距離を説明変数とする推定も併せて行う。操作変数は歴史的街道までの直線距離とする。距離回帰モデルの概要は前述のモデルと相違ない。

$$\ln Y_i = \alpha + \beta \ln HD_i + \gamma X_i + \varepsilon_i \quad (9)$$

HD_i は、各メッシュ中心から最寄りの高速道路 IC までの直線距離である(単位:km)。

³ 主要産業ダミーについては、食料品製造業、印刷・関連業、金属製品製造業、一般機械器具製造業、電気機械器具製造業、輸送用機械器具製造業、それ以外の製造業の 7 つに分類し、各メッシュにおいて最も多くの割合を占めた産業をダミーとしている。

表-1 推定結果 説明変数：近接性ダミー

	(1-a)	(1-b)	(1-c)	(2-a)	(2-b)	(2-c)	(3-a)	(3-b)	(3-c)
	OLS	IV(Heian)	IV(Edo)	OLS	IV(Heian)	IV(Edo)	OLS	IV(Heian)	IV(Edo)
	<i>lnES</i>	<i>lnES</i>	<i>lnES</i>	<i>lnEMP</i>	<i>lnEMP</i>	<i>lnEMP</i>	<i>lnLP</i>	<i>lnLP</i>	<i>lnLP</i>
高速道路近接性ダミー	0.068*** (0.006)	0.208*** (0.036)	0.092*** (0.018)	0.159*** (0.012)	0.616*** (0.066)	0.268*** (0.034)	0.057*** (0.010)	0.255*** (0.064)	0.165*** (0.033)
新幹線駅までの距離 (対数)	-0.018*** (0.007)	-0.020*** (0.007)	-0.019*** (0.007)	-0.018 (0.013)	-0.023* (0.013)	-0.019 (0.013)	-0.004 (0.012)	-0.007 (0.013)	-0.006 (0.012)
拠点空港までの距離 (対数)	0.062*** (0.005)	0.067*** (0.006)	0.062*** (0.006)	0.060*** (0.009)	0.077*** (0.010)	0.064*** (0.009)	-0.016** (0.006)	-0.008 (0.007)	-0.011* (0.007)
港湾までの距離 (対数)	-0.017*** (0.007)	-0.010 (0.007)	-0.016** (0.013)	-0.047*** (0.013)	-0.026* (0.012)	-0.042*** (0.013)	-0.026** (0.007)	-0.022* (0.013)	-0.024* (0.012)
三大都市までの距離 (対数)	-0.121*** (0.004)	-0.119*** (0.004)	-0.121*** (0.007)	-0.096*** (0.007)	-0.089*** (0.005)	-0.094*** (0.005)	-0.047*** (0.004)	-0.042*** (0.007)	-0.044*** (0.005)
政令指定都市までの距離 (対数)	-0.033*** (0.006)	-0.032*** (0.006)	-0.033*** (0.006)	-0.015 (0.010)	-0.011 (0.011)	-0.014 (0.010)	-0.018*** (0.007)	-0.014** (0.007)	-0.016** (0.007)
平均標高 (対数)	-0.060*** (0.003)	-0.064*** (0.003)	-0.061*** (0.003)	-0.077*** (0.005)	-0.088*** (0.005)	-0.079*** (0.005)	-0.011*** (0.004)	-0.017*** (0.004)	-0.014*** (0.004)
最大傾斜角/90	-0.032 (0.051)	0.094 (0.061)	-0.011 (0.053)	-1.470*** (0.099)	-1.060*** (0.116)	-1.372*** (0.103)	-0.665*** (0.097)	-0.523*** (0.107)	-0.587*** (0.100)
建物用地面積割合	1.562*** (0.016)	1.515*** (0.020)	1.554*** (0.017)	1.711*** (0.027)	1.560*** (0.035)	1.675*** (0.029)	-0.151*** (0.018)	-0.200*** (0.025)	-0.178*** (0.020)
主要産業ダミー	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
定数項	1.052*** (0.027)	0.944*** (0.038)	1.033*** (0.033)	3.779*** (0.049)	3.428*** (0.069)	3.695*** (0.056)	7.013*** (0.034)	6.850*** (0.063)	6.924*** (0.042)
Cragg-Donald Ward F 統計量		1958	7790		1958	7790		473.5	1944
R^2	0.383	0.378	0.383	0.241	0.220	0.240	0.043	0.024	0.038
N	51632	51632	51632	51632	51632	51632	20555	20555	20555

Robust standard errors in parentheses

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

4. 結果と考察

(1) 推定結果

表-1 は高速道路近接性ダミーを説明変数とする回帰モデル (8) の推定結果を示す。表-2 は高速道路への直線距離を説明変数とする回帰モデル (9) の推定結果を示す。(1) が事業所数, (2) が従業者数, (3) が労働生産性を被説明変数とする推定結果であり, (a) は OLS における推定結果, (b) は七道駅路を操作変数とする推定結果, (c) は江戸時代後期の街道を操作変数とする推定結果である。推定の結果, 高速道路に近いことは, 雇用の促進や生産性の向上をもたらすことが明らかになった⁴。そして, OLS での結果と IV での結果を比較すると, OLS では高速道路の効果が過小に評価されること

⁴ 表-1 では係数の符号がプラス, 表-2 では係数の符号がマイナスになれば, 高速道路が雇用や生産性に良い効果を及ぼすと言える。

も確認できる。(b) と (c) を比較すると, 概ね類似した傾向を示され, 制御変数の符号や値も安定している。

(2) 考察

a) 操作変数の妥当性

七道駅路や江戸時代後期の街道のデータが操作変数として適切であるかを検討する。適切な操作変数の条件の 1 つである関連性 (d-1) については, 1st ステージにおける Cragg-Donald Ward F 統計量で評価することができる。Cragg-Donald Ward F 統計量が 10 を越えれば関連性の条件を満たしていると判断できる。いずれの操作変数についても Cragg-Donald Ward F 統計量が 10 を越えたため, 関連性の条件を満たしているといえる。さて, 残りの条件である外生性 (d-2 及び d-3) については, 統計的に検定することはできない。そこで, 江戸時代後期の街道データを用いた推定結果について,

表-2 推定結果 説明変数：高速道路までの直線距離 (km)

	(1-a)	(1-b)	(1-c)	(2-a)	(2-b)	(2-c)	(3-a)	(3-b)	(3-c)
	OLS	IV(Heian)	IV(Edo)	OLS	IV(Heian)	IV(Edo)	OLS	IV(Heian)	IV(Edo)
	<i>lnES</i>	<i>lnES</i>	<i>lnES</i>	<i>lnEMP</i>	<i>lnEMP</i>	<i>lnEMP</i>	<i>lnLP</i>	<i>lnLP</i>	<i>lnLP</i>
高速道路 IC までの距離 (対数)	-0.059*** (0.004)	-0.128*** (0.018)	-0.058*** (0.009)	-0.116*** (0.007)	-0.352*** (0.034)	-0.167*** (0.016)	-0.043*** (0.005)	-0.185*** (0.033)	-0.098*** (0.016)
新幹線駅までの距離 (対数)	-0.020*** (0.007)	-0.022*** (0.007)	-0.020*** (0.007)	-0.020 (0.013)	-0.029** (0.013)	-0.022* (0.013)	-0.004 (0.012)	-0.007 (0.013)	-0.005 (0.013)
拠点空港までの距離 (対数)	0.065*** (0.005)	0.072*** (0.006)	0.065*** (0.006)	0.065*** (0.009)	0.088*** (0.010)	0.070*** (0.010)	-0.014** (0.006)	0.001 (0.007)	-0.008 (0.007)
港湾までの距離 (対数)	-0.012* (0.007)	-0.003 (0.007)	-0.012* (0.007)	-0.039*** (0.013)	-0.007 (0.014)	-0.032** (0.012)	-0.025** (0.013)	-0.016 (0.007)	-0.022* (0.013)
三大都市までの距離 (対数)	-0.118*** (0.004)	-0.114*** (0.004)	-0.118*** (0.004)	-0.090*** (0.007)	-0.074*** (0.008)	-0.087*** (0.007)	-0.044*** (0.005)	-0.030*** (0.006)	-0.038*** (0.005)
政令指定都市までの距離 (対数)	-0.031*** (0.006)	-0.028*** (0.006)	-0.031*** (0.006)	-0.011 (0.010)	-0.002 (0.011)	-0.009 (0.010)	-0.016** (0.007)	-0.003 (0.007)	-0.011 (0.007)
平均標高 (対数)	-0.061*** (0.003)	-0.063*** (0.003)	-0.061*** (0.003)	-0.077*** (0.005)	-0.086*** (0.005)	-0.079*** (0.005)	-0.011*** (0.004)	-0.017*** (0.004)	-0.013*** (0.004)
最大傾斜角/90	0.005 (0.051)	0.122** (0.060)	0.004 (0.053)	-1.418*** (0.099)	-1.021*** (0.115)	-1.332*** (0.102)	-0.659*** (0.097)	-0.502*** (0.103)	-0.598*** (0.098)
建物用地面積割合	1.550*** (0.016)	1.510*** (0.019)	0.004 (0.053)	1.696*** (0.027)	1.560*** (0.034)	-1.332*** (0.102)	-0.153*** (0.018)	-0.209*** (0.023)	-0.598*** (0.098)
主要産業ダミー	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
定数項	1.144*** (0.026)	1.192*** (0.029)	1.143*** (0.031)	3.980*** (0.048)	4.142*** (0.054)	4.015*** (0.050)	7.079*** (0.033)	7.137*** (0.036)	7.101*** (0.032)
Cragg-Donald Ward F 統計量		2112	11000		2112	11000		530.1	2411
R^2	0.385	0.381	0.385	0.243	0.224	0.242	0.045	0.009	0.040
N	51632	51632	51632	51632	51632	51632	20555	20555	20555

Robust standard errors in parentheses

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

七道駅路のデータを用いた推定結果と比べると、高速道路への距離についての係数の絶対値が小さく推定された。奈良時代・平安時代と比べ、江戸時代の国土構造は現代と類似している。そのため、例えば江戸時代と現代の人口分布には強い相関関係がある上、また、それらは旧街道及び高速道路ネットワークにそれぞれ影響を与える可能性がある。すなわち、(d-3)が満たされず、結果として除外制約が満たされないことが懸念される。以上の考察から、より歴史の古い七道駅路が相対的に適切な操作変数であると考えられることができる。

b) 推定結果の考察

操作変数法による推定の結果、高速道路整備による雇用の促進効果並びに生産性向上効果が因果効果として確認することができた。表-3では、表-1の数値をもとに、高速道路への近接性をもたらす雇用や生産性の増加率を回帰分析の種類ごとに示している。この

数値は、高速道路から遠い地域と比較し、高速道路に近い地域では従業者数や労働生産性が何%増加するかを表したものである。例えば、高速道路から遠い地域と比較し、高速道路に近い地域では、労働生産性が29.0%増加する。表-4では、表-2の数値をもとに、高速道路 IC までの距離が2倍になった時の雇用や生産性の減少率を示している。例えば、高速道路 IC までの距離が2倍になると、労働生産性が18.5%減少する。(結果の例は、いずれも七道駅路を操作変数に用いた推定である)

IVでの結果と比べ、OLSで推定した場合、高速道路の効果が過小に評価される理由として、(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に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ことの3点が挙げられ

表-3 高速道路への近接性がもたらす雇用や生産性の増加率 (単位:%)

	ES	EMP	LP
OLS	7.0	17.2	5.9
IV(Heian)	23.1	85.2	29.0
IV(Edo)	9.6	30.7	17.9

表-4 高速道路 IC までの距離が 2 倍になった時の雇用や生産性の減少率 (単位:%)

	ES	EMP	LP
OLS	5.9	11.6	4.3
IV(Heian)	12.8	35.2	18.5
IV(Edo)	5.8	16.7	9.8

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。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っており、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¹⁰⁾。以上の傾向は、Duranton and Turner³⁾やHoll⁴⁾で得られた知見と一致する。

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に及ぼす因果効果を操作変数法により推定した。高速道路へのアクセスは、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明らかになった。また、七道駅路と江戸時代後期の街道をそれぞれ操作変数に用いる推定を行い、定性的な性質が概ね一致する一方で、七道駅路が相対的に操作変数として適切であると判断された。本研究の成果は、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り、戦後我が国で進められた高速道路ネットワーク整備の事後評価に

貢献するものである。

今後の課題としてはまず、インフラ効果の波及距離に関する検討が必要である。本研究では 6km をインフラ効果の波及限界距離に定めたが、実態に即していない可能性は否定できない。続いて、パネルデータを用いた固定効果モデルによる分析を行いたい。その際、時系列で不変の操作変数を用いると、その情報が削除されるという欠点があるため、時系列で変化する複数の操作変数を作成する必要がある。¹¹⁾

付録 fitst-stage 推定結果

	(1)	(2)	(3)	(4)
	d_i^{HD}	d_i^{HD}	HD_i	HD_i
七道駅路ダミー	0.19*** (0.00)			
江戸時代街道ダミー		0.36*** (0.00)		
七道駅路距離 (対数)			0.12*** (0.00)	
江戸時代街道距離 (対数)				0.27*** (0.00)
新幹線駅までの距離 (対数)	0.01 (0.01)	0.00 (0.00)	-0.02** (0.01)	-0.01 (0.01)
拠点空港までの距離 (対数)	-0.04*** (0.00)	-0.04*** (0.00)	0.10*** (0.01)	0.10*** (0.01)
港湾までの距離 (対数)	-0.04*** (0.00)	-0.02*** (0.00)	0.10*** (0.01)	0.06*** (0.01)
三大都市までの距離 (対数)	-0.03*** (0.00)	-0.02*** (0.00)	0.08*** (0.00)	0.08*** (0.00)
政令指定都市までの距離 (対数)	-0.00 (0.00)	-0.01*** (0.00)	0.02*** (0.01)	0.06*** (0.01)
平均標高 (対数)	0.03*** (0.00)	0.03*** (0.00)	-0.03*** (0.00)	-0.04*** (0.00)
最大傾斜角/90	-0.82*** (0.04)	-0.64*** (0.03)	1.53*** (0.07)	1.32*** (0.06)
建物用地面積割合	0.28*** (0.01)	0.21*** (0.01)	-0.49*** (0.02)	-0.22*** (0.02)
主要産業ダミー	YES	YES	YES	YES
定数項	0.71*** (0.02)	0.55*** (0.02)	0.48*** (0.03)	0.21*** (0.03)
R^2	0.131	0.216	0.180	0.293
N	51632	51632	51632	51632

Robust standard errors in parentheses

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

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) Holland, P.W., Statistics and Causal Inference, *Journal of the American Statistical Association*, Vol.81, No.396, pp.945-960, 1986.
- 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) Holl,A.(2016):” Highways and productivity in manufacturing firms ”, *Journal of Urban Economics*, 93, 131-151, 2016
- 5) 織田澤利守・大平悠季, ” 交通インフラ整備効果の因果推論：論点整理と展望 ”, 土木計画学研究発表会・講演集 (CD-ROM), Vol.58, S1, 2018.
- 6) Garcia-López, M.A., Holl, A. and Viladecans-Marsal, E., Suburbanization and highways in Spain when the Romans and the Bourbons still shape its cities, *Journal of Urban Economics*, Vol.85, pp.52-67, 2015.
- 7) 武部健一 (2004), 『完全踏破古代の道一畿内・東海道・東山堂・北陸道一』吉川弘文館
- 8) 武部健一 (2005), 『完全踏破続古代の道一山陰道・山陽道・南海道・西海道一』吉川弘文館
- 9) 岡田春灯斎, 『大日本道中細見絵図』, 早稲田大学図書館所蔵 (http://www.wul.waseda.ac.jp/kotenseki/html/ru03/ru03_03617_0032/index.html)
- 10) 山本拓 (2005), 『計量経済学』新世社
- 11) Hornung,E.(2015):”Railroads and growth ing Prussia”, *Journal of the European Economic Association* 13(4), 699-736.

(2019. 10.4 受付)