

# 傾向スコアマッチング・差の差分法を用いた 高速道路整備による雇用促進効果の推定

横山 将大<sup>1</sup>・諸橋 克彦<sup>2</sup>・織田澤 利守<sup>3</sup>

<sup>1</sup>学生会員 神戸大学工学部市民工学科 (〒 657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1)

E-mail: 1514259t@stu.kobe-u.ac.jp

<sup>2</sup>学生会員 神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻 (同上)

E-mail: 185t134t@stu.kobe-u.ac.jp

<sup>3</sup>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、我が国におけるインフラ・ストック効果計測の一事例として、高速道路整備による雇用促進効果の推定を試みる。より具体的には、1996年から2014年の間に供用開始された高速道路インターチェンジが周辺地域の雇用に及ぼす因果効果を傾向スコアマッチング・差の差分法を用いて推定する。その際、日本全国からランダムに抽出した10,000地点の周辺地域を候補とし、傾向スコアマッチングを用いて対照群に含まれる個体を選定する手法を採用する。分析の結果、(1) 高速道路整備はIC周辺地域の雇用に14.5~26.3人/km<sup>2</sup>増加させたこと、(2) 傾向スコアの値が高い地域がより高い雇用促進効果を得られる傾向があることが明らかとなった。

**Key Words** : stock effect, highway, propensity score, difference-in-difference, employment

## 1. はじめに

インフラ・ストック効果の最大化に向けた課題の一つに事後評価の充実が挙げられる。現行の事後評価実施要領では、評価の視点として、(1) 費用対効果分析の算定基礎となった要因（費用、施設の利用状況、事業期間等）、(2) 事業の効果の発現状況、(3) 事業実施による環境の変化、(4) 社会経済情勢の変化、(5) 今後の完了後の事後評価の必要性、(6) 改善措置の必要性、(7) 同種事業の計画・調査のあり方や事業評価手法の見直しの必要性が挙げられている。事業の効果の発現状況については、交通量や所要時間（走行速度）、渋滞損失時間などの実績データが事業前後でどの程度変化したかを示すのが一般的となっており、ほとんどの場合、前後比較による評価に留まっている。前後比較では、事業実施前後での状況変化が評価対象事業の効果だけによるものを判別できず、評価を誤る可能性がある。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 (有無比較) が基本である。その際、経済モデルなどを用いて“実現しなかったケース”を導出する必要があるものの、こうしたモデルは大規模かつ複雑な分析を要するといった問題がある。社会基盤整備がもたらすストック効果を適切に把握するためには、こうした評価手法の課題克服が不可欠である。

こうした問題に対応した、様々な統計的因果推論手

法が提案され、それらを適用した実証研究が活発に行われている。昨今、土木計画分野においても、高速道路や鉄道、新交通システムなどの交通インフラ整備がもたらす因果効果の推定を試みる研究が報告されている。本研究と関係の深い先行研究として、Chandra and Thompson<sup>1)</sup> は、高速道路の新規整備がアメリカ地方部における経済成長に及ぼす効果について差の差分 (difference-in-differences; DID) 法を用いた推定を行っている。また、Datta<sup>2)</sup> も同様のアプローチを用いて、インドの高速道路ネットワーク整備が企業行動に及ぼす影響について分析している。DID法を適用する上で、処置群と十分に類似した対照群をどのように選定するかが問題となる。対照群の選定に傾向スコア・マッチング (propensity score matching; PSM) を利用する傾向スコアマッチング・差の差分法を用いた研究も報告されている。Xu and Nakajima<sup>3)</sup> は、地域を基本単位とした上で、当該地域内に交通インフラが敷設されるか否かを処置の割り当てとして、中国の地方部を対象に高速道路整備が産業発展に及ぼす効果を DID-PSM 法で推定している。

本研究では、我が国におけるインフラ・ストック効果計測の一事例として、高速道路整備による雇用促進効果の推定を試みる。より具体的には、1996年から2014年の間に供用開始された高速道路インターチェンジ (以下、ICと記す) が周辺地域の雇用に及ぼす因果効果を



図-1 1996 年～2014 年に供用開始された高速道路 IC

傾向スコアマッチング・差の差分法を用いて推定する。その際、日本全国からランダムに抽出した 10,000 地点の周辺地域を候補とし、傾向スコアマッチングを用いて対照群に含まれる個体を選定する手法を採用する。

## 2. データと分析手法

### (1) 分析対象と使用データ

本研究では、1996 年～2014 年の間に供用開始された高速道路 IC 周辺地域を分析対象（処置群）とする（図-1 参照）。なお、周辺地域を IC から半径 2km 圏内の範囲とする。ただし、都市部では、IC 間の密集し周辺地域が互いに重複するため、処置効果の推定を適切に行うことができない。そのため、本分析では、三大都市における都市高速道路（首都高速、阪神高速、名古屋高速）の IC、および各中央駅から半径 20km 圏内の IC を分析対象から除外した。一方、全国からランダムに抽出した 10,000 地点を中心として半径 2km 圏内のエリアを対照群の候補として用いる。ただし、対照群についても周辺地域の重複を避けるため、処置群に含まれる IC から 4km 以上離れている地点のみを用いた。

推定に用いる従業者数データは、事業所企業統計調査（1996 年、2001 年、2006 年）および経済センサス基礎調査（2009 年、2014 年）の 2 分の 1 地域メッシュ（500m × 500m）データを利用する。国土数値情報ダウンロードサービスから入手した各種地理情報データを用いる。各種データを IC 周辺地域単位で集計する作業<sup>1</sup>は、ArcGIS を用いて行った。

<sup>1</sup> メッシュ全体が半径 2km 円内に含まれる場合はメッシュのデータをそのまま合算し、メッシュの一部が円内に含まれる場合は、共通部分の面積比に応じてデータを按分した上で合算する方法を用いた。

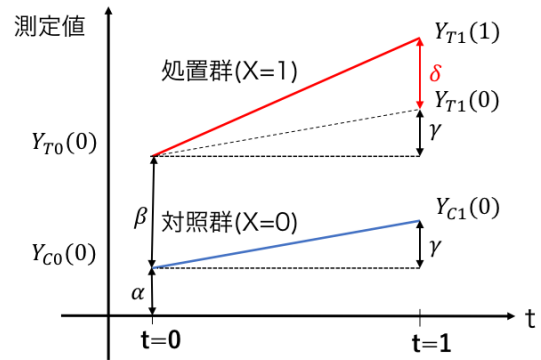


図-2 差の差分分析

### (2) 傾向スコアマッチング・差の差分法

本研究で採用する傾向スコアマッチング・差の差分法は、傾向スコアマッチングによって対照群を選定した上で差の差分法を適用する方法である。本分析ではロジットモデルを用いて、傾向スコアを算出する。処置の割り付けを高速道路 IC が整備された ( $X_i = 1$ ) か否 ( $X_i = 0$ ) かとし、各種交通結节点までの距離や開発の程度、地形条件、市区町村における社会経済データを共変量  $U_i$  として推定を行う。

$$PS_i = \text{Logit}(X_i = 1|U_i) \quad (1)$$

傾向スコアの算出後は、処置群の個体ごとに対照群の候補から傾向スコアの値が最も近い個体をマッチング（最近傍マッチング）させ、対照群を選定する。

IC 整備が行われた処置群と行われなかった対照群のそれぞれについて、整備前後のアウトカムのデータを入手している（図-?? 参照）。 $Y_{Tt}(X)$ ,  $Y_{Ct}(X)$  は、処置群 ( $T$ ) および対照群 ( $C$ ) における割り当て  $X$  の場合の時点  $t$  での潜在的な結果変数を表す。ただし、時点  $t$  が処置前であれば 0、処置後であれば 1 をとる 2 値変数である。ここで推定対象となるのは、整備が行われた地域における IC 整備がもたらす平均因果効果、すなわち、

$$ATT = E[Y_{T1}(1) - Y_{T1}(0)] \quad (2)$$

である。しかし、 $Y_{T1}(0)$  は反事実であり、観測することはできない。そこで、ある条件を追加した上で、入手可能な 2 グループ・2 時点のデータを利用して実現しなかった潜在的結果  $Y_{T1}(0)$  を補完するのが差の差分法 (Difference in difference; DID) である。具体的には、「処置群と対照群の差」と「処置前後の差」の 2 つの差を用いて、差の差分を

$$DID = E\{Y_{T1}(1) - Y_{C1}(0)\} - \{Y_{T0}(0) - Y_{C0}(0)\} \quad (3)$$

と表す。DID により ATT を推定するためには、次の 2 つの仮定を満たしている必要がある。(1) 平行トレ

ンド仮定 (parallel trend assumption) と (2) 共通ショック仮定 (common shocks assumption) である。仮定 (1) は、もし仮に処置が行われなかった場合、処置群と対照群において、アウトカムが平行したトレンドを描く ( $Y_{T1}(0) - Y_{C1}(0) = Y_{T0}(0) - Y_{C0}(0)$ ) というものである。仮定 (2) は、介入前のアウトカム測定と、介入後のアウトカム測定との間に、アウトカムに影響を与えるような「別のイベント」が起きていない、もしくは起きているとしたら 2 群に対して同じように作用しているという仮定である。差の差分法の利点は、観測不可能な共変量が存在したとしてもそれらが時間に対して一定であれば、2 時点間の差分を取るることによってその影響を因果効果から切り離すことができる点である。このことから、差の差分法は固定効果モデルを応用した推定法であるといえる。

式 (3) を回帰モデルを用いて、以下のように表現し直すことができる。

$$Y_{it} = \alpha + \beta AREA_{it} + \gamma POST_{it} + \delta AREA_{it} \cdot POST_{it} + F_i + v_{it} \quad (4)$$

ここで、 $Y_{it}$  は、時間  $t$  における個体  $i$  のアウトカム、すなわち全産業従業者数を用いている。 $AREA_{it}$  は、処置群に 1、対照群に 0 をとるダミー変数である。 $POST_{it}$  は時点の前後を区別するダミーで、介入後に 1、介入前に 0 をとる。また、 $F_i$  は対象に固有の固定効果であり、 $v_{it}$  は誤差項である。ここで、交差項 ( $AREA_{it} \cdot POST_{it}$ ) の回帰係数  $\delta$  が DID と一致する。

### 3. 推定結果と考察

#### (1) 推定結果

4 つの期間のそれぞれについて推定を行った結果 (限界効果) を表-1 に示す。ここで、限界効果は各共変量の単位変化によって、対象地点に高速道路が整備される確率がどの程度影響を受けるかを示している。期間ごとに若干結果は異なるものの、平均標高、最大傾斜角度、最寄りの鉄道駅、港、空港までの距離、第 1 次産業が有意に負の影響を、建物密度、第 3 次産業が有意に正の影響を与えることがわかる。

次に、差の差分法による推定結果を表-2 に示す。上述の通り、 $AREA \cdot POST$  の回帰係数  $\delta$  が高速道路整備による IC 周辺地域の雇用促進効果を表す。いずれの期間においても  $\delta$  は有意に正の値を示しており、IC 周辺 2km 圏内で 181.6~329.7 人 (14.5~26.3 人/km<sup>2</sup>) の雇用を生み出されていることが明らかとなった。

次に、傾向スコアで層別化を行った上で各層ごとに差の差分分析を行った。一般に、層別化を 5 段階に分けて行うと傾向スコアのモデルに含まれている変数によるバイアスの 90% を除去することができると言われて

表-1 傾向スコアの推定結果 (限界効果)

共変量	限界効果	(1)	(2)	(3)	(4)
平均標高		-1.02e-06 (1.07e-06)	-3.49e-06* (1.91e-06)	-8.14e-08 (8.59e-07)	-7.27e-06*** (2.67e-06)
最大傾斜角度		-7.16e-05* (4.33e-05)	-2.83e-05 (5.43e-05)	-4.78e-05 (3.53e-05)	-4.63e-05 (7.37e-05)
鉄道駅までの距離		-0.0333*** (0.0104)	-0.0362*** (0.00971)	-0.0266*** (0.00918)	-0.0509*** (0.0114)
港までの距離		0.000203 (0.000498)	-0.00391** (0.00162)	-0.00156* (0.000860)	-0.00680*** (0.00230)
空港までの距離		-0.00148* (0.000787)	-0.00101 (0.000848)	-0.000445 (0.000506)	-0.00614*** (0.00201)
3 大都市圏までの距離		-0.000105 (7.38e-05)	-0.000444** (0.000180)	7.58e-05 (6.36e-05)	-0.000183 (0.000132)
建物密度		0.00289* (0.00169)	0.00422* (0.00228)	0.000623 (0.00106)	0.00614** (0.00291)
建設業就業者率		-0.00926 (0.0290)	0.196** (0.0873)	-0.0279 (0.0281)	0.138* (0.0762)
製造業就業者率		-0.0178 (0.0286)	0.189** (0.0843)	-0.0201 (0.0266)	0.137* (0.0746)
電気・ガス業就業者率		-0.0182 (0.0334)	0.227** (0.0947)	-0.0103 (0.0284)	0.0838 (0.0808)
運輸・通信業就業者率		-0.0130 (0.0302)	0.194** (0.0872)	-0.0297 (0.0288)	0.0999 (0.0728)
卸売・小売業就業者率		-0.00193 (0.0288)	0.222** (0.0937)	-0.0199 (0.0266)	0.156** (0.0787)
金融・保険業就業者率		-0.0461 (0.0413)	0.137* (0.0818)	-0.0178 (0.0352)	0.00642 (0.0835)
サービス業就業者率		-0.0245 (0.0297)	0.193** (0.0853)	-0.0159 (0.0259)	0.130* (0.0740)
公務就業者率		-0.00853 (0.0279)	0.202** (0.0874)	-0.0151 (0.0252)	0.115 (0.0712)
第 1 次産業就業者率		-2.76e-05 (2.49e-05)	5.98e-05 (3.92e-05)	-6.79e-05* (3.72e-05)	7.45e-05 (4.75e-05)
第 2 次産業就業者率		1.17e-05 (2.82e-05)	8.85e-05 (5.66e-05)	-5.50e-06 (3.63e-05)	7.04e-05 (5.66e-05)
第 3 次産業就業者率		3.97e-05 (2.51e-05)	2.71e-05 (3.32e-05)	-4.23e-05 (3.29e-05)	8.88e-05** (4.32e-05)
自市区町村就業者率		0.000308 (0.00104)	0.00146 (0.00169)	-0.00106 (0.00110)	0.00344 (0.00233)
持ち家世帯率		-2.28e-05 (1.82e-05)	-7.99e-05** (3.71e-05)	1.86e-05 (1.82e-05)	-0.000102** (4.18e-05)
大卒率		-0.000135 (8.23e-05)	0.000158 (0.000112)	-2.75e-05 (6.00e-05)	-2.31e-05 (0.000127)
課税対象所得		7.90e-07 (6.82e-07)	-7.06e-07 (9.26e-07)	-7.49e-08 (5.46e-07)	1.43e-06 (1.18e-06)
高齢者率		0.0107* (0.00572)	-0.0106 (0.00763)	-0.00195 (0.00401)	-0.00144 (0.00839)
N		8,531	8,524	8,468	8,596

Standard errors in parentheses. \*\*\*:  $p < 0.01$ , \*\*:  $p < 0.05$ , \*:  $p < 0.1$

ている。ここで、いずれの期間においても、傾向スコアが 0~0.5 の間に多くのサンプルが分布していることから、傾向スコアを 0.1 刻みで 5 つの層に分けた。ここでは、2009~2014 年の期間を対象とした推定結果を表-3 に示す。層別化によりサンプル数が 5 分割されたため有意でない結果も含まれているものの、各層において  $AREA \cdot POST$  の回帰係数は正の値である。また、0~0.4 の範囲では、傾向スコアの値が大きくなるにつれて、係数の値も大きくなるが見て取れる。

表-2 差の差分法の推定結果

Period	1996~2001		2001~2006		2006~2009		2009~2014	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
AREA	-	-314.1 (972.3)	-	-899.9 (1,305)	-	-393.7 (826.1)	-	-1,323 (1,141)
POST	-243.9*** (70.25)	-243.9*** (70.25)	-245.4*** (74.99)	-245.4*** (74.99)	78.86* (44.01)	78.86* (44.01)	-270.4*** (55.34)	-270.4*** (55.34)
AREA · POST	314.9*** (99.35)	314.9*** (99.35)	259.0** (106.1)	259.0** (106.1)	181.6*** (62.24)	181.6*** (62.24)	329.7*** (78.26)	329.7*** (78.26)
Constant	5,333*** (35.13)	5,490*** (687.5)	5,901*** (37.49)	6,351*** (922.4)	3,265*** (22.00)	3,462*** (584.2)	6,609*** (27.67)	7,271*** (807.2)
FE	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No
N	788	788	744	744	524	524	1,048	1,048
R <sup>2</sup>	0.032		0.028		0.128		0.046	
Number of id.post	394	394	372	372	262	262	524	524

Standard errors in parentheses. \*\*\*:  $p < 0.01$ , \*\*:  $p < 0.05$ , \*:  $p < 0.1$

## (2) 考察

これまでの結果より、1996~2014 年に行われた高速道路整備は IC 周辺地域の雇用を 14.5~26.3 人/km<sup>2</sup> 増加させたことが明らかとなった。また、傾向スコアの値が高い地域がより高い雇用促進効果を得られる傾向があることがわかった。この結果と限界効果の推定結果を合わせると、標高が一定程度低く傾斜が緩いこと、道路以外の交通インフラ拠点までの距離が近いこと、建物が一定程度密集していること、第 1 次産業より第 3 次産業の比率が大きいことが、高速道路整備による雇用促進効果を引き出すための条件である可能性が示された。

表-3 層別化・差の差分法の推定結果 (2009~2014 年)

PS	0~0.1	0.1~0.2	0.2~0.3	0.3~0.4	0.4~0.5
AREA	-	-	-	-	-
POST	-25.2 (47.9)	-266.1*** (89.5)	-494.1** (200.3)	-1133.973*** (326.3)	-585.0 (482.4)
AREA · POST	94.7 (67.7)	341.8*** (126.5)	361.4 (283.3)	1424.1*** (461.5)	684.4 (682.2)
Constant	2776.9*** (23.9)	5224.4*** (44.7)	12547.9*** (100.2)	19823.9*** (163.2)	8446.7*** (241.2)
FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
N	460	268	140	92	36
R <sup>2</sup>	0.010	0.068	0.088	0.226	0.086

Standard errors in parentheses. \*\*\*:  $p < 0.01$ , \*\*:  $p < 0.05$ , \*:  $p < 0.1$

## おわりに

本研究では、我が国における高速道路整備が IC 周辺地域の雇用に及ぼす因果効果を傾向スコアマッチング・差の差分法を用いて推定した。まず、傾向スコアについて、平均標高、最大傾斜角度、鉄道駅、港、空港までの

距離、第 1 次産業が有意に負の値、建物密度、第 3 次産業が有意に正の値を示していることがわかった。また、差の差分分析の結果、いずれの期間においても有意に正の結果を得たことから、高速道路整備が周辺地域の雇用を促進する効果を持つことが示された。また、傾向スコアの値で層別化したのちの差の差分分析では、層別化によるサンプル数の減少に伴い有意でない結果が含まれるものの、傾向スコアの値が高いほどより大きな処置効果が現れることが明らかとなった。以上の結果は、ストック効果の最大化に向けて重要な知見であるといえる。

今後の課題としては、差の差分分析においてサンプル数を確保しながら推定を行うために、推定モデルの定式化に工夫を加える必要がある。また、対照群をランダムに抽出する手法の頑健性についても確認を行う必要がある。さらに、「どの程度の空間的範囲で効果が現れるか」や「高速道路整備がどのような産業構造の変化をもたらすか」などの観点から分析を拡張する必要がある。

## 参考文献

- 1) Chandra, A. and Thompson, E., Does public infrastructure affect economic activity? Evidence from the rural interstate highway system, *Regional Science and Urban Economics*, Vol.30, pp.457-490, 2000.
- 2) Datta, S., The impact of improved highways on Indian firms, *Journal of Development Economics*, Vol.99, pp.46-57, 2012.
- 3) Xu, H. and Nakajima, K., Highways and industrial development in the peripheral regions of China, *Papers in Regional Science*, Vol.96, No.2, pp.325-356, 2017.

(平成 31 年 3 月 8 日 受付)