

# 新幹線開業が沿線自治体の人口等に与える影響の 傾向スコアを用いた評価の検討

落合 里穂<sup>1</sup>・寺部 慎太郎<sup>2</sup>・柳沼 秀樹<sup>3</sup>・田中 皓介<sup>4</sup>・康 楠<sup>5</sup>

<sup>1</sup>学生非会員 東京理科大学 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641)  
E-mail:7615027@alumni.tus.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 東京理科大学教授 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641)  
E-mail:terabe@rs.noda.tus.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 東京理科大学講師 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641)  
E-mail:yaginuma@rs.tus.ac.jp

<sup>4</sup>正会員 東京理科大学嘱託助教 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641)  
E-mail: tanakak @rs.tus.ac.jp

<sup>5</sup>正会員 東京理科大学嘱託助教 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641)  
E-mail: kangnan@rs.tus.ac.jp

本研究では、新幹線整備が沿線自治体の人口や課税対象所得に与える影響を実証的に示すことを目的に、その因果効果を推定する。分析では、傾向スコアを用いることで高速道路や在来線駅などが存在するといった交絡因子の影響を排除し、新幹線開業のみの効果を算出する。

**Key Words** : causal effect, inverse probability weighting, propensity score matching, average treatment effect, high-speed rail

## 1. はじめに

新幹線駅は在来線駅に比べ駅勢圏が広く、駅周辺の自治体に与える影響は大きい。1964年の東海道新幹線開業以来、我が国では新幹線のネットワークが拡大し続け、50年以上にわたって多くの都市を結んできた。今後も、北陸新幹線の大阪延伸や北海道新幹線の札幌延伸等が進み、新たに新幹線駅が立地する自治体も、同様の影響を受けることになる。従って、新幹線の駅が近くにできることが、自治体にどのような影響を与えるかを定量化することは重要である。

さて、土木計画学分野でも因果推論の研究が見られるようになってきた<sup>1)</sup>。直近では高速道路や都市鉄道など交通基盤整備が産業や社会経済に与える影響を因果関係としてとらえ、実証的に分析した研究<sup>2,3)</sup>などがある。

そこで本研究では、新幹線の開業効果について因果推論の枠組みで分析し、社会経済に与える影響を定量化することを目的とする。

## 2. 既存研究のレビューと本研究の位置づけ

### (1) 既往研究のレビュー

新幹線に関する研究は、整備効果に着目した研究が多くみられる。例えば、新幹線を整備している地域としない地域を比較した研究<sup>4)</sup>、新幹線の整備前後を比較した研究<sup>5,6)</sup>がみられる。現在新幹線が整備されている地域に、新幹線が整備されていない場合を仮定し、整備されていない場合と現状を比較することによって整備の効果を検証している研究<sup>7)</sup>や、相対時間距離(地形図と時間距離図を重ね合わせた結果を数量的に現す指標)から新幹線の整備効果を検討したもの<sup>8)</sup>、九州新幹線の駅周辺に関わる社会経済指標の推移を整理し駅の類型化を行った研究<sup>9)</sup>もある。

新幹線ではないが、鉄道駅の整備が市町村の人口の変遷に与える影響に関する研究<sup>10)</sup>が行われている。ここでは、鉄道整備が地域に及ぼす影響を長期的・全国的なデータをを用いて分析した。その結果、交通整備が地域の発

展に影響を及ぼすという今まで常識として考えられてきたことを、過去のデータから実証的に検証した。

国外では、Talebianら<sup>12)</sup>は傾向スコアマッチングによりカリフォルニア州が行ったアムトラック駅への経済的支援が地域の人口と雇用に与える影響を評価した。この研究では、郡レベルと市レベルで経済的支援を受けた群と受けなかった群を傾向スコアマッチングにより共変量のバランスを調整し、重回帰分析を行った。その結果、カリフォルニア州による経済的支援により整備が行われたアムトラック駅がある市(郡)は、人々にとって魅力的な沿線となり人口には正の影響がみられたが、地元の雇用に対する影響は限定的であった。Jiaら<sup>13)</sup>の研究では、差の差分と傾向スコアマッチング—差の差分(PSM-DID)を用いて中国の高速鉄道が地域経済の発展に与える影響は路線を比較した場合で異なるかということを検証した。その結果、路線間で影響は異なり、中国の高速鉄道建設が経済に正の影響を与えたことがわかった。

## (2) 本研究の位置づけと意義

上述したように、新幹線の事後評価に関する既往研究ではミクロな視点で施設効果を前後比較、地域比較、有無比較を行ったものが多く行われている。しかしそれらは地域や路線を絞ったものが多い。

そこで本研究では、日本全国の全ての新幹線の路線を対象とした。また、既往研究の抱える課題として、新幹線開業による効果のみを把握することが出来ていないことが挙げられたが、本研究では自治体が新幹線駅から受ける社会経済的な影響を定量的に評価するために、傾向スコアを用いて高速道路や在来線などの影響を排除した新幹線開業による影響のみを定量的に示す評価手法を検討した。

これ以降では、分析の手法を概観し(第3章)、データの概要を示す(第4章)。そして、第5章で傾向スコアの推定を行い、それを用いて、2種類の因果効果の推定、すなわち、IPW推定量による開業効果の定量化(第6章)、傾向スコアマッチングによる開業効果の定量化(第7章)を論じる。そして第8章では結論と今後の課題を述べる。

本研究の意義は、Rubinの枠組み<sup>14)</sup>で新幹線開業が沿線自治体の人口に与える因果効果を定量的に分析することで、今後高速鉄道が整備される国内外の地域への示唆を得ることにある。

## 3. 傾向スコアを用いた因果効果推定手法<sup>15),16)</sup>

一般的に、処置が無作為に割り当てられたランダム化比較試験において因果推論を行うことは複雑ではない。処置を与えられたものと与えられていないもののアウトカムの差が処置効果の推定値となる。しかし、新幹線駅

は無作為に市町村に割り当てられているわけではないため、背景の特徴(交絡因子)、つまり新幹線駅が建設された市町村は系統的に新幹線駅のない市町村と異なり、純粋にアウトカムの差を処置効果とすることは出来ない。

このように無作為割付が不可能な状況において、ある施策の効果を調べたい際には交絡因子(説明変数に影響を与える共変量)の分布が説明変数の値によって異なる可能性がある。共変量の影響を除去するためにこれまで共分散分析などの手法が利用されてきたが様々な制約が多いという欠点があり、本研究では傾向スコアを採用した。

同じ傾向スコアを持つ2群のデータは、値を比較することができる。よって本研究では傾向スコアを用いることで高速道路や在来線駅などが存在するといった交絡因子(共変量)の影響を排除し、新幹線開業のみの効果を算出する。

## 4. 分析に用いるデータの概要

分析は、首都圏、政令指定都市、離島、福島県避難地区を除外した日本全国の1387の市町村を対象とした。

因果推論の枠組みでいうところの、処置あるいは介入は、当該市町村に新幹線駅があるかどうかである。実際には、新幹線駅から5km圏内の市町村を処置群、新幹線駅から5km圏外の市町村を対照群とする。

処置のアウトカムとなる結果変数は、人口と課税対象所得である。そして次章で述べる傾向スコアの算出に用いる共変量として、在来線実延長を市町村面積で割ったもの、高速道路実延長を市町村面積で割ったもの、沿岸部に位置するかどうか(ダミー変数)、豪雪地帯であるかどうか(ダミー変数)、可住地面積割合、合併でできた市であるかどうか(ダミー変数)、各地方であるかどうか(ダミー変数)を用いる。

これら変数の算出方法や出典を表-1に示す。

そして、東北新幹線の上野—東京間が開通した1985年を分析対象の開始年次として、以降2015年まで5年おきに7つのデータセットを作成した。従って、7つの時点それぞれで因果効果を推定することになる。

## 5. 傾向スコアの推定

### (1) 傾向スコアの概要<sup>15),16)</sup>

傾向スコアは、第*i*対象者の共変量(割り当て変数と結果の両方に影響を与える変数)の値を $x_i$ 、割り当て変数(ある施策が行われるかどうかを示す変数)の値を $z_i$ とするとき、群1へ割り当てられる確率 $e_i$ であり、式(1)で表される。

$$e_i = p(z_i = 1|x_i) \quad (1)$$

(2) 傾向スコアの推定

ロジスティック回帰分析を行うことにより傾向スコアを求める。目的変数は、当該市町村に新幹線駅があるかどうかのダミー変数(新幹線駅の半径5km圏内に位置する市を1とした)であり、説明変数は、表-1の三行目以降に示した共変量である。

ロジスティック回帰分析の結果の一部を例として表-2に示す。ここで、曲線下面積をロジスティック回帰分析のパフォーマンスの評価指標として用いる。一般的に曲線下面積が0.7以上であるとモデルのフィットは概ね良

いと言われている。本研究のロジスティック回帰分析では1985年から2015年までのモデル7つすべてが曲線下面積は0.7を上回っていたため、モデルのフィットは良いと言える。そこで、各分析年ごとに得られた回帰式を用いて、各市町村の傾向スコアを計算した。

6. IPW 推定量による開業効果の定量化

(1) IPW 推定量の概要<sup>15),16)</sup>

IPW推定量とは「傾向スコアの逆数による重み付け平

表-1 分析に用いた変数

変数名	定義	出典
新幹線駅(ダミー変数)	新幹線駅から5km圏内の市町村を1	鉄道時系列データ <sup>1)</sup>
在来線実延長/総面積	鉄道在来線延長(km)÷市町村面積(km <sup>2</sup> )	鉄道時系列データ <sup>1)</sup>
高速道路実延長/総面積	高速道路延長(km)÷市町村面積(km <sup>2</sup> )	高速道路時系列データ <sup>1)</sup>
沿岸部(ダミー変数)	海に接している市町村を1	海岸線データ <sup>1)</sup>
豪雪地帯(ダミー変数)	豪雪地帯である市町村を1	豪雪地帯データ <sup>1)</sup>
可住地面積割合	可住地面積(km <sup>2</sup> )÷総面積	可住地面積割合 <sup>2)</sup>
合併(ダミー変数)	平成の大合併によりできた市町村を1	総務省市町村合併資料集
東北地方(ダミー変数)	東北地方であれば1	
関東地方(ダミー変数)	関東地方であれば1	
中部地方(ダミー変数)	中部地方であれば1	
関西地方(ダミー変数)	関西地方であれば1	
中国地方(ダミー変数)	中国地方であれば1	
四国地方(ダミー変数)	四国地方であれば1	
九州地方(ダミー変数)	九州地方であれば1	
人口(人)	市町村別人口(人)	自治体別人口 <sup>2)</sup>
課税対象所得(千円)	納税者1人当たりの課税対象所得(千円)	自治体別納税者1人当たりの課税対象所得 <sup>2)</sup>

1)国土交通省国土政策局国土情報課「国土数値情報ダウンロードサービス」、2) e-Stat(政府統計の総合窓口)

表-2 ロジスティック回帰分析の結果の例(1985,1990,2015年)

	1985		1990		2015				
	Estimate	Std. Error	Estimate	Std. Error	Estimate	Std. Error			
(Intercept)	-1.99E+01	8.12E+02	-1.98E+01	8.10E+02	-2.04E+01	7.96E+02			
在来線実延長/総面積	6.30E-01	5.09E-01	8.60E-01	5.07E-01	3.51E+00	7.92E-01	***		
高速道路実延長/総面積	4.53E+00	1.62E+00	**	4.17E+00	1.42E+00	**	2.69E+00	1.26E+00	*
沿岸部	-6.13E-02	2.88E-01	8.08E-02	2.60E-01	-1.96E-01	2.17E-01			
豪雪地帯	-4.12E-03	3.30E-01	-1.96E-01	3.12E-01	2.36E-01	2.75E-01			
可住地面積割合	8.14E-01	5.01E-01	9.28E-01	4.70E-01	*	8.35E-01	4.52E-01	.	
合併	NA	NA	NA	NA	1.21E+00	2.20E-01	***		
東北地方	1.67E+01	8.12E+02	1.67E+01	8.10E+02	1.72E+01	7.96E+02			
関東地方	1.69E+01	8.12E+02	1.68E+01	8.10E+02	1.65E+01	7.96E+02			
中部地方	1.68E+01	8.12E+02	1.70E+01	8.10E+02	1.69E+01	7.96E+02			
関西地方	1.60E+01	8.12E+02	1.57E+01	8.10E+02	1.53E+01	7.96E+02			
中国地方	1.77E+01	8.12E+02	1.77E+01	8.10E+02	1.73E+01	7.96E+02			
四国地方	-9.85E-02	1.38E+03	-3.13E-01	1.37E+03	-6.57E-01	1.33E+03			
九州地方	1.47E+01	8.12E+02	1.44E+01	8.10E+02	1.70E+01	7.96E+02			
AIC	532		583		750				
曲線下面積	0.786		0.798		0.800				
sample数	1387		1387		1387				

\*\*\*)0.1%有意, \*\*)1%有意, \*)5%有意, .)10%有意

均を用いた因果効果の推定量」であり、式(2)に示す処置群の結果変数の周辺期待値と対照群の結果変数の周辺期待値の差で求められる。なお、式(2)における  $i(=1,2,\dots,N)$  は市町村の数、 $z_i$  は新幹線駅の有無(ダミー変数)、 $e_i$  は傾向スコア、 $y_{1i}$  は処置群の結果変数、 $y_{2i}$  は対照群の結果変数である。

$$\hat{E}(y_1) = \frac{\sum_i^N z_i y_{1i}}{\sum_i^N \frac{z_i}{e_i}}$$

$$\hat{E}(y_2) = \frac{\sum_i^N (1 - z_i) y_{2i}}{\sum_i^N \frac{1 - z_i}{1 - e_i}}$$

$$IPW \text{推定量} = \hat{E}(y_1) - \hat{E}(y_2) \quad (2)$$

(2) IPW 推定量による開業効果の定量化

第5章で推定された傾向スコアを用いて、各分析年においてIPW推定量を求める。結果変数は、人口と課税対象所得の2種類である。

a) 人口に与える効果

図-1に、IPW推定量法を用いて求めた新幹線開業による人口の差を示す。この図から、市町村が新幹線駅の近くに有る場合、無い場合に比べて5.5万人から8.0万人の差が生じていることがわかる。特に1985年から2005年にかけて人口の差は大きくなり、2010年からはやや少なくなった。

b) 課税対象所得に与える効果

図-2に、IPW推定量法を用いて求めた新幹線開業による納税者一人当たりの課税対象所得の差(単位:万円)を示す。この図から、新幹線駅が有る市町村と無い市町村とで、課税対象所得の差は8.7万円~18.0万円程度あることがわかる。この差は1990年が最も大きく、その後は減少していくものの常に正の値である。そして2010年から増加している。

7. 傾向スコアマッチングによる開業効果の定量化

(1) 傾向スコアマッチングの方法

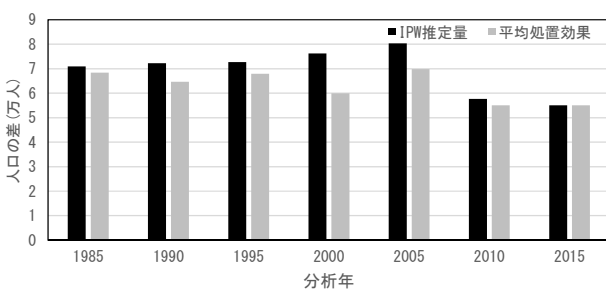


図-1 新幹線開業が人口に与える因果効果

第5章で推定された傾向スコアを用いて、マッチングを行う。各分析年ですべての市町村の傾向スコアが計算できるので、処置群に含まれる各市町村の傾向スコアに最も近い傾向スコアを持つ市町村が対照群から抽出される。つまり、分析年ごとに、処置群に含まれる市町村数の2倍の(処置群と対照群に同じ数の市町村が入った)データセットができる。

(2) 傾向スコアマッチングによる開業効果の定量化

上記のようにマッチングされたデータセットについて、平均処置効果 (ATE: Average Treatment Effect) である、処置群と対照群で結果変数の平均の差を計算する。結果変数は、人口と課税対象所得の2種類である。

a) 人口に与える効果

図-1に人口を結果変数とした平均処置効果を示す。この図から、新幹線駅が近くに立地する市町村の人口は、そうでない市町村に比べて5.5万人から7.0万人多いということがわかる。そしてその結果は、1990年と2000年以外はIPW推定量法で求めたものと同様の増減傾向を示した。

b) 課税対象所得に与える効果

図-2に課税対象所得を結果変数とした平均処置効果を示す。この図から、1985年から2005年までは負の値、すなわち新幹線駅が有る市町村より無い市町村の方が、課税対象所得が6.5~16.7万円程度多いということがわかる。すなわち、IPW推定量によるものとは逆の結果になった。

8. おわりに

本論文では、新幹線整備が沿線自治体の人口や課税対象所得に与える影響を実証的に示すことを目的に、その因果効果を推定した。分析では、傾向スコアを用いることで高速道路や在来線駅などが存在するといった交絡因子の影響を排除し、新幹線開業のみの効果を算出した。その結果、市町村人口については、IPW推定量による開業効果は、平均処置効果によるものと同様で、正の値を取り、5.5万人から8.0万人と推計された。一方で、納税者一人当たりの課税対象所得については、IPW推定量に

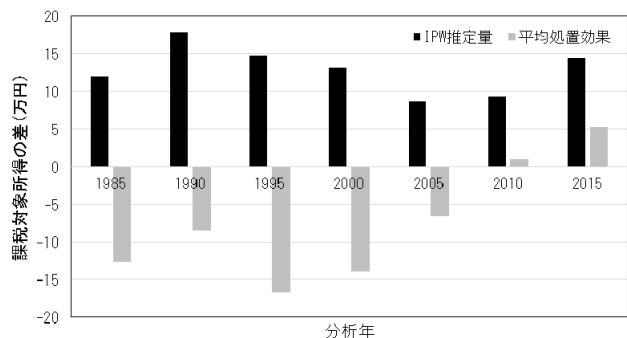


図-2 新幹線開業が課税対象所得に与える因果効果

よる開業効果は8.7万円~18.0万円程度の正の値が推計されたが、平均処置効果によるものは負の値が推計された。この結果の違いは、傾向スコアによってマッチングされた市町村の抽出によるものであると推察される。したがって、マッチングによってサンプルのバランスがどのようになっているかを把握したうえで、結果を解釈することが必要である。

#### 参考文献

- 1) 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, 第 58 回土木計画学研究発表会・講演集, S1, pp.1-13, 2018.
- 2) 織田澤利守, 明定俊行: 企業間取引ネットワークの変化が企業の生産性に及ぼす影響: 都市間交通基盤整備に着目した実証分析, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), 74 巻, 5 号, pp. I 483-I 491, 2018.
- 3) 柚木洸, 織田澤利守: 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, 第 58 回土木計画学研究発表会・講演集, 8, pp.1-7, 2018.
- 4) 中川拓朗, 金子雄一郎, 加藤浩徳: 東京圏における都市鉄道整備による社会経済効果に関する実証分析, 第 57 回土木計画学研究発表会・講演集, 38-11, pp.1-13, 2018.
- 5) 上田孝行, 中村英夫: 新幹線整備が地域発展に及ぼす影響, 土木計画学研究・論文集, Vol.12, pp.597-604, 1989.
- 6) 松永卓也, 山口修司: 整備新幹線の開業効果について, 土木計画学研究・講演集, Vol.33, 357, CD-ROM, 2006.
- 7) Fuyama, H., Terabe, S., Yaginuma, H., Kang, N., Morio, J.: An Evaluation of the socioeconomic effects around stations following the Nagano Shinkansen development, Proceedings of the 96th Annual Meeting of Transportation Research Board, 17-04243, 2017.
- 8) 奥田隆明, 宇佐美俊介: 東海道新幹線が地域経済に与えた長期的影響の事後評価, 日本地域学会第 50 回 (2013 年) 年次大会学術発表論文集, 2013, [http://www.jsrsai.jp/Annual\\_Meeting/PROG\\_50/ResumeD/rD04-1.pdf](http://www.jsrsai.jp/Annual_Meeting/PROG_50/ResumeD/rD04-1.pdf) (2019 年 3 月 8 日最終閲覧)
- 9) 中岡良司, 今尚之, 佐藤馨一: 相対時間距離からみた新幹線の整備効果に関する研究, 土木史研究, 第 15 号自由投稿論文, 1995.
- 10) Terabe, S., Maekawa, Y., Kasai, M., Kuroe, K.: Classifying high-speed rail stations based on socioeconomic changes in surrounding areas after the development of the Kyushu Shinkansen”, Proceedings of the 95th Annual Meeting of Transportation Research Board, 16-1685, 2016.
- 11) 中川大, 西村嘉浩, 波床正敏: 鉄道整備が市町村人口の変遷に及ぼしてきた影響に関する実証的研究, 土木計画学研究・論文集, No.11, pp.57-64, 1993.
- 12) Talebian, A., Zou, B., Hansen, B.: Assessing the impacts of state-supported rail services on local population, and employment: A California case study, Transport Policy, 63, pp.108-121, 2018.
- 13) Jia, S., Zhou, C., Qin, C.: No difference in effect of high-speed rail on regional economic growth based on match effect perspective?, Transportation Research Part A, 106, pp.144-157, 2017.
- 14) Rubin, D. B.: Estimating causal effects of treatments in randomized and nonrandomized studies, Journal of educational Psychology, 66(5), 688, 1974.
- 15) 星野匡郎, 田中久稔: R による実証分析 回帰分析から因果分析へ, オーム社, 2016.
- 16) 星野崇宏: 調査観察データの統計科学 因果推論・選択バイアス・データ融合, 岩波書店, 2009.

(2019.3.8 受付)

## EVALUATING THE IMPACTS OF SHINKANSEN ON LOCAL POPULATION BY PROPENSITY SCORE

Riho OCHIAI, Shintaro TERABE, Hideki YAGINUMA,  
Kosuke TANAKA, and Nan KANG

Many stations of Shinkansen have been constructed since the Tokaido Shinkansen line, the first Shinkansen line that started operation in 1964. The opening of Shinkansen effects on local municipality across wide regions. We examined quantitative evaluations about opening of Shinkansen stations. We focused on local population and taxable income of each municipality. Inverse probability weighting estimates and average treatment effect after propensity score matching were compared. Result showed that inverse probability weighting estimates give similar causal effect, whereas average treatment effect give opposite estimates. We need to carefully discuss this result due to the balance of matched dataset.