

傾向スコアを用いた差の差分分析による 新幹線開業が自治体に与える影響の推定

寺園 結基¹・寺部 慎太郎²・柳沼 秀樹³・田中 皓介⁴

¹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:7616079@alumni.tus.ac.jp

²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

³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

⁴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

本研究では、新幹線整備が沿線自治体の社会経済指標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する。さらに、差の差分分析を用いることで経年変化の影響を排除し、新幹線開業のみの効果を算出する。その結果、新幹線駅が開業した自治体では、社会経済指標に正の影響を与えたことが明らかになった。

Key Words : *difference in differences, propensity score matching, 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年に東海道新幹線が開通して以来、新幹線網は徐々に拡大され、今後も建設が進む。新幹線開業が地方自治体に与える影響としては、正の影響として利便性向上による経済・土地利用効果が考えられる。一方、負の効果としてはストロー効果、並行在来線問題の発生が指摘されている。

地方自治体の新幹線の建設費負担額は原則として 1/3 であり、予算規模の小さい自治体にとって大きな負担となっている。したがって、新幹線の開業効果を定量的に示すことは、今後開業する他の新幹線の沿線自治体が行う施策の決定、または新幹線の海外展開の際の知見として重要である。

そこで本研究では、新幹線開業が社会経済指標に与える影響を、因果推論を用いて定量的に評価することを目的に分析を行った。

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

新幹線などの高速交通機関に関する研究は、整備効果に着目した研究が多くみられる。例えば、新幹線と高速道路が同時に整備された地区において、固定資産税に与える影響に関する研究¹⁾、中国の高速鉄道駅が周辺の都市整備に与える影響を分析した研究²⁾、マクロ経済モデルを用いて山陰・伯備新幹線の整備効果を分析した研究³⁾などがある。筆者らも、開業前後の諸指標の比較という観点でいくつかの研究を進めてきた^{4,5)}。

本研究で用いた手法である、傾向スコアや差の差分分析を用いて交通インフラの整備効果を推定した研究もいくつか存在する。横山ら⁶⁾は、1996年から2014年の間に供用開始された高速道路ICが周辺地域の雇用に及ぼす因果効果を推定し、IC整備は周辺地域の雇用に14.5~26.3人/km²増加させたことを明らかにした。

織田澤ら¹⁰⁾は、九州地方において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を分析した。そ

の結果、交通インフラ整備が企業の取引関係に影響を及ぼすほか、仕入れ取引数の増加は企業の生産性に正の因果効果をもたらすことを明らかにした。

金子ら¹¹⁾は、埼玉高速鉄道とつくばエクスプレスを対象に、鉄道の整備前後における人口密度と地価の変化を地域別に把握し、t検定を用いた差の差分析により整備による因果効果を推定した。結果として整備により地価の下落の抑制と、夜間人口密度の増加が明らかになった。

(2) 本研究の位置づけと意義

以上のように高速交通手段の整備効果に関する既往研究では、地域を絞ったもの、海外事例に着目したもの、モデルを用いてフロー効果とストック効果の両方を推定したものなどがある。しかし、それらは時間や社会情勢の変化を考慮できていない。また、比較対象の駅や市町村の条件の近さも考慮する必要もある。

これらの問題点を解決する手段として、傾向スコアマッチングで共変量を調節し、差の差分析を行う手法が用いられている。しかし、高速道路整備や地域を限定したものが主流である。

そこで本研究では特定期間に開業した日本全国の路線を対象とし、傾向スコアを用いて市町村をマッチングした後、差の差分析を用いて総括的に整備新幹線の開業効果を推定した。

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、新幹線が開業した市町村と未開業の市町村を比率を変えてマッチングさせる。第6章ではそれを用いて、差の差分析により、新幹線開業効果を推定する。そして第7章では結論と今後の課題を述べる。

本研究の意義は、因果推論により新幹線開業が自治体の社会経済指標に与える影響を定量的に分析することで、今後新幹線が整備される他の自治体が行う施策の決定、または海外展開の際の知見として役立てることである。

3. 傾向スコアマッチングや差の差分析を用いた因果効果推定手法

(1) 因果効果と傾向スコア¹²⁾

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(RCT)であれば、単純な群間差で因果効果をバイアスなく推定できる。新幹線開業といった公共事業はランダムには行われないが、準実験のケースを行うことにより、RCTと同様の方法で因果効果の推定を行う。

また、新幹線開業Zと社会経済指標Yの間に交絡因子(共変量)Xが存在し、交絡や疑似相関が発生する場合がある。これが存在するとき因果効果を識別するには、次の2式から構成される、強い意味での無視可能な条件

の成立が必要である。

$$\text{条件付き独立性: } \{Y(1), Y(0)\} \perp Z | X \quad (1)$$

$$\text{条件付き正値性: } 0 < P(Z=1|X) < 1 \quad (2)$$

本研究ではこの仮定が成立していると考え、次式の平均処置効果(ATE)を推定する。

$$ATE = E_X[Y(1)|Z=1, X] - E_X[Y(0)|Z=0, X] \quad (3)$$

本研究では傾向スコアを、市町村iが開業群(Z=1)に存在する確率として次式で定義する。

$$e(X_i) = \Pr(Z_i = 1|X_i)$$

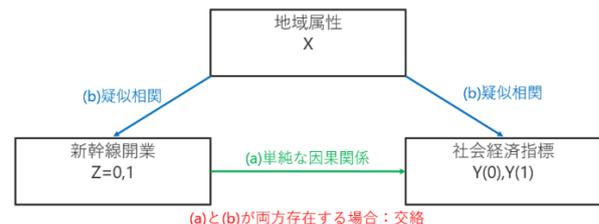


図-1 因果関係と疑似相関、交絡

(2) マッチング方法の検討¹³⁾

マッチングのアルゴリズムとしては、最近傍マッチングを採用した。これは開業群の任意の個体に対して、傾向スコアが最も近い未開業群の個体を探索する手法であり、最も有力な方法である。

マッチングの比率の設定は、1対1マッチング、固定比(1対k)マッチング、変動比マッチングがある。本研究では開業群に比べて未開業群の数が多いこと、Rの拡張ソフトであるEZRで分析を行うことから、1対1マッチングと固定比(1対5)マッチングを採用した。また、1対1マッチングではキャリパーを設定し、未開業群と開業群の条件の近さを確認した。

(3) 差の差分析¹⁴⁾

市町村を新幹線が開業した群(開業群)と開業していない群(未開業群)に分ける。新幹線開業による1地点における変化はE-Bとなる。しかし、開業群と未開業群では新幹線整備のみならず、自治体の規模や立地特性、高速道路の利便性といった条件の違いが、この差を生み出した可能性がある。数式で書くと、

$$(E-C) = \text{開業効果} + \text{社会経済情勢の変化の効果}$$

$$(B-A) = \text{社会経済情勢の変化の効果}$$

となる。したがって、開業効果は

$$(E-C) - (B-A) = \text{開業効果}$$

として与えられる。

差の差分析で処置効果を推定するうえで重要な仮定として、「平行トレンド仮定」が存在する。これは、新幹線が開業しない場合の開業群の変化は、未開業群と一致するという仮定である。本研究ではこの仮定が成立する考え、差の差分析を行う。

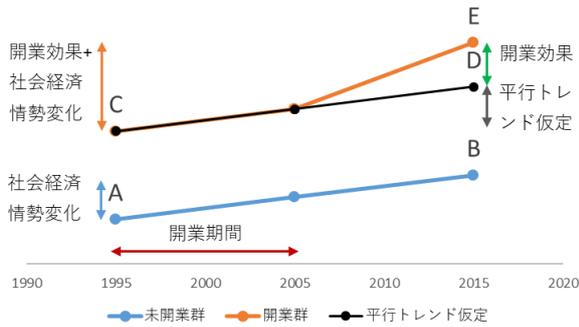


図-2 差の差分析

4. 分析に用いるデータの概要

本研究で対象とした整備新幹線は、1995年から2005年までに開業した北陸新幹線高崎長野間、東北新幹線盛岡八戸間、九州新幹線新八代鹿児島中央間の3区間である。その他の時期に開業した新幹線は母集団から除いた。

また、本研究で対象とした自治体は、新幹線開業以外の効果が大いと思われる7大都市圏、政令指定都市、離島、福島県避難地域に属するものを除外した、日本全国の991の市町村である。

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21市町村を処置群、新幹線駅から5km圏外の970市町村を対照群とする。

差の差分析での目的変数は、人口、就業者数、課税所得、地方税収、小売店数、飲食店数、大型小売店数の7つである。次章で述べる傾向スコアの算出に用いる共変量として、県庁所在地(ダミー変数)、沿岸部(ダミー変数)、可居住面積割合、市町村役場から最寄りIC間距離、在来線実延長を市町村面積で割ったもの、豪雪地帯(ダミー変数)、人口を用いる。

これら変数の算出方法や出典を表-1に示す。

5. 傾向スコアマッチング

(1) ロジスティック回帰分析

新幹線駅(ダミー変数)を目的変数、県庁所在地ダミー、沿岸部ダミー、可居住面積割合、市町村役場から最寄りICまでの距離、在来線実延長を総面積で割ったもの、人口、豪雪地帯ダミーを説明変数として、ロジスティック回帰分析を行い、傾向スコアを求めた。結果を表-2に示す。

表-1 分析に用いた変数

説明変数名	算出方法	出典
県庁所在地 (ダミー変数)	県庁所在地であるかどうか	
沿岸部 (ダミー変数)	海に接している市町村を1とした	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」より海岸線データ
可居住面積割合	可居住面積を総面積で割った	e-Stat(政府統計の総合窓口)より可居住面積割合
市町村役場から最寄りIC間距離	市町村役場から最寄りICまでの直線距離をQGISで計測した	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」より市町村役場等及び公的集会施設と鉄道時系列データ
在来線実延長/総面積	在来線の実延長(km)を総面積(km ²)で割った	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」より鉄道時系列データ
豪雪地帯 (ダミー変数)	豪雪地帯である市町村を1とした	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」より豪雪地帯データ
目的変数名	統計名	出典
人口	市区町村データ 基礎データ (廃置分合処理済)	e-Stat(政府統計の総合窓口)よりA 人口・世帯から抜粋
就業者数	市区町村データ 基礎データ (廃置分合処理済)	e-Stat(政府統計の総合窓口)よりF 労働から抜粋
課税所得	市区町村データ 基礎データ (廃置分合処理済)	e-Stat(政府統計の総合窓口)よりC 経済基盤から抜粋
地方税収	市区町村データ 基礎データ (廃置分合処理済)	e-Stat(政府統計の総合窓口)よりD 行政基盤から抜粋
小売店数	市区町村データ 社会生活統計指標 (廃置分合処理済)	e-Stat(政府統計の総合窓口)よりH 居住から抜粋
飲食店数	市区町村データ 社会生活統計指標 (廃置分合処理済)	e-Stat(政府統計の総合窓口)よりH 居住から抜粋
大型小売店数	市区町村データ 社会生活統計指標 (廃置分合処理済)	e-Stat(政府統計の総合窓口)よりH 居住から抜粋

表-2 ロジスティック回帰分析の結果

	推定値	標準偏差	z値	p値	多重共線性
切片	-3.67	0.59	-6.19	0.00 ***	
県庁所在地ダミー	-1.77	1.35	-1.31	0.19	2.62
沿岸部ダミー	-0.20	0.52	-0.39	0.70	1.29
可居住面積割合	-2.60	1.30	-2.00	0.05 *	1.76
ICまでの距離	-0.01	0.02	-0.94	0.35	1.25
在来線実延長/総面積	4.06	1.23	3.30	0.00 ***	1.70
人口	0.00	0.00	3.19	0.00 **	3.13
豪雪地帯ダミー	0.09	0.49	0.19	0.85	1.05
AIC	196.85				
曲線下面積	0.78				
サンプル数	991				

一般的に曲線下面積（C統計量）が0.7以上であれば、概ねフィットが良いとされる。今回は0.7を上回ったため、ロジスティック回帰分析は適切に行われたと考える。

(2) マッチング市町村

ロジスティック回帰分析により傾向スコア(新幹線駅開業確率)が求められ、傾向スコアが近い自治体同士でマッチングされた。図-3にマッチング市町村にマッチングされた市町村の位置を示す。なお、赤色が開業群、緑色が1対1マッチングでの未開業群、青色が1対5マッチングでの未開業群の自治体である。

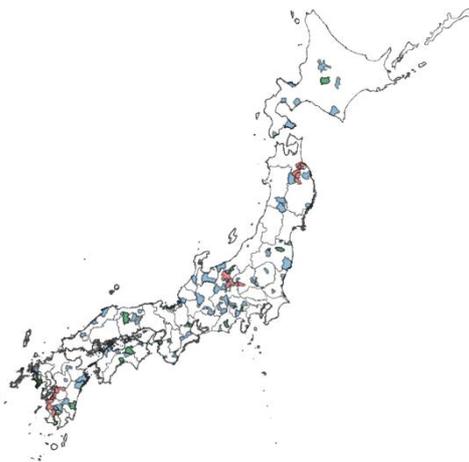


図-3 マッチング市町村の一覧

6. 差の差分析による開業効果の定量化

(1) 差の差分析の概要

本研究は4つのパターンで傾向スコアマッチングによる差の差分析を行った。目的変数は絶対量(人口など)、変化量(当該年度直前5年間の人口増減数など)の2パターン設定し、1995年と2015年の値を比較した。

マッチング比率は3章の(3)に記載の通り、1対1と1対5の2パターン用意した。

本概要での社会経済指標は、人口(人)、地方税収(億円)の2つを抜粋した。なお、就業者数と課税所得、小売店数と飲食店数は人口と、大型小売店数は地方税収と同様の傾向が見られた。

(2) 目的変数を絶対量とした差の差分析

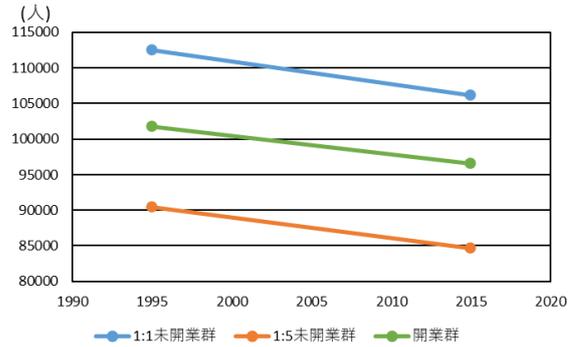


図-4 人口を目的変数とした差の差分析

人口を目的変数とした差の差分析の結果を、図-4に示す。これは、1995年と2015年の各群の市町村の人口の平均値を、グラフで表したものである。これを見ると、各ほぼ平行で緩やかに減少したが、開業群の減少は469~1227人少ないことがわかる。

この結果から、新幹線開業により、人口の減少が抑えられたことが考えられる。なお、この結果が得られたのは、利便性向上により住宅立地が増えたことが、理由として考えられる。

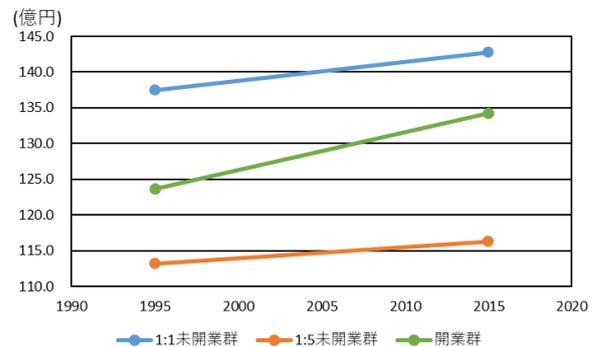


図-5 地方税収を目的変数とした差の差分析

地方税収を目的変数とした差の差分析の結果を、図-5に示す。同様に見ると各群は微増し、開業群の増加は5.3~7.4億円大きいことがわかる。

この結果から、新幹線開業により、地方税収の増加が大きくなったことが考えられる。なお、この理由が得られたのは、利便性向上により工業や商業の立地が増加したことが、理由として考えられる。

このように、すべての目的変数、マッチング比に対して開業効果が正に出たものの、各目的変数のp値は0.9以上と大きく、統計的な有意差は得られなかった。理由として、切片が大きく開業効果が十分に反映されなかったことが考えられる。

(3) 目的変数を変化量とした差の差分析

上記の問題を解決するため、目的変数を変化量に変更した場合を示す。なお、あくまで5年間の変化量であるため、絶対量の傾きと一致しない点に留意が必要である。

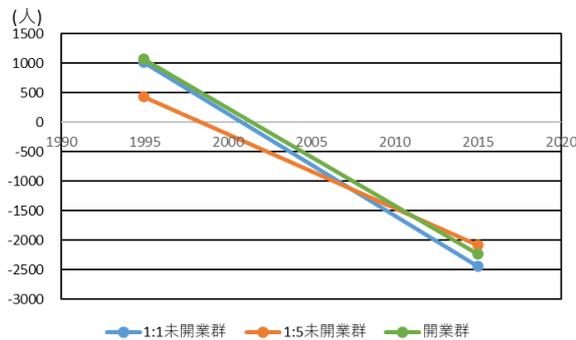


図-6 人口変化を目的変数とした差の差分析

人口変化を目的変数とした差の差分析の結果を、図-6に示す。これは、1990年から1995年までと2010年から2015年までの5年間の各群の市町村の人口変化の平均値を、グラフで表したものである。これを見ると、各群は急激に減少したことがわかる。開業群は1:1未開業群と比較すると154人減少が小さいが、1:5未開業群と比較すると800人減少が大きい。

この結果から、新幹線開業が特定の5年間の人口変化に与える影響は、はっきりと見出すことができない。理由として、5年間の設定が恣意的なことや、各群の人口が1万人単位で異なることなどが考えられる。

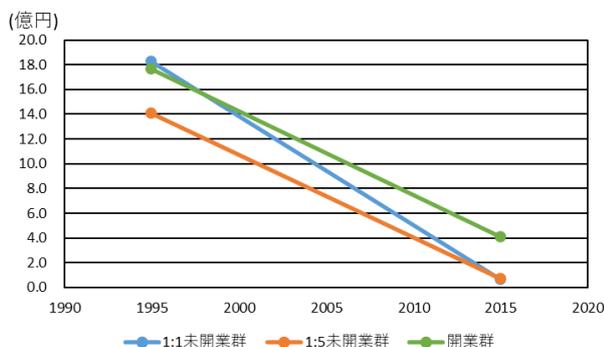


図-7 地方税収変化を目的変数とした差の差分析

地方税収変化を目的変数とした差の差分析の結果を、図-7に示す。同様に見ると各群は急激に減少したが、2015年においても値は正である。開業群は1:1未開業群と比較すると24.6人減少が小さいが、1:5未開業群と比較すると29人減少が大きい。

この結果から、新幹線開業が特定の5年間の地方税収変化に与える影響は、はっきりと見出すことができない。人口変化と同様の理由が考えられる。

以上のように、1:1未開業群と比べると開業群の減少

は小さく、1:5未開業群と比べると大きい。目的変数のp値は0.4程度まで小さくなったものの、いずれも統計的に有意ではない。このことから、目的変数を変化量としても開業効果を見出すことは難しく、市町村のような母集団が少ない差の差分析で、p値をもとに議論することに無理があると考えられる。

7 おわりに

本論文では、傾向スコアを用いた差の差分析により、共変量の影響を除いたうえで、新幹線開業が、地方自治体の社会経済指標に与える影響を推定した。

その結果、各マッチング比の未開業群市町村と比べ、開業群は多くの社会経済指標で、減少が抑えられるか増加が大きく、新幹線の開業効果が正となる傾向が得られた。一方、目的変数のp値はすべて統計的に有意にならず、本手法の結果について統計的な有意性を議論することの限界が読み取れる。

今後の課題としては、ロジスティック回帰分析に用いた説明変数の妥当性の確認、変動比マッチングの検討、対象地域・期間の検討、目的変数の検討などが挙げられる。

参考文献

- 1) 垂水裕二, 盛岡拓郎: 新幹線と高速道路の整備が地域の固定資産税収に与える影響, 都市住宅学 102号, pp.107-112, 都市住宅学会, 2018.
- 2) 張雅婷, 小松崎諒子, 谷口守: 中国の高速鉄道駅が周辺の都市空間変容へ与える影響—整備手法の特徴を中心として—, 第59回土木計画学研究発表会・講演集, pp.131-136, 2019.
- 3) 片岡将, 上田大貴, 川端祐一郎, 波床正敏, 藤井聡: 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.75, No.5 (土木計画学研究・論文集第36巻) p375-386, 2019.
- 4) 落合里穂, 寺部慎太郎, 柳沼秀樹, 田中皓介, 康楠: 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, 土木計画学研究・講演集, vol.59, 14, 2019.
- 5) 室祥太郎, 寺部慎太郎, 柳沼秀樹, 田中皓介, 康楠: 新幹線駅の利便性に着目した地方自治体における統計指標の経年変化, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), 75(3), pp. 128-138, 2019.
- 6) Shintaro TERABE, Ju-Yeon LEE, Jen-Jia LIN, Jae-Hak OH, Shigeru MORICHI, Cheng-Min FENG, and Naoyuki TOMARI: International Comparison on High-Speed Railway Impacts and Station Area Development- Japan, Korea, and Taiwan, Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, vol. 11, 109, 2017.
- 7) Hirohisa FUYAMA, Shintaro TERABE, Hideki YAGINUMA, Nan KANG, Jun MORIO: An Evaluation of the Socioeconomic Effects Around Stations Following the Nagano Shinkansen Development, Pro-

- ceedings of the 96th Annual Meeting of Transportation Research Board, 17-04243, 2017.
- 8) Shintaro TERABE, Yuichiro MAEKAWA, Makoto KASAI, and Kotaro KUROE: 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.
 - 9) 横山将大, 諸橋克彦, 織田澤利守: 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, 第 59 回土木計画学研究発表会・講演集, 2019.
 - 10) 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), Vol.74, No.5 (土木計画学研究・論文集第 35 巻), p483-491, 2018.
 - 11) 金子雄一郎, 中川拓朗: 差の差分法を用いた都市鉄道整備の社会経済効果に関する実証分析: 第 27 回交通・物流部門大会, 交通・物流部門大会講演論文集, 2018.
 - 12) 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, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.75, No.5 (土木計画学研究・論文集第 36 巻), I_1-I_15, 2019.
 - 13) 下川敏雄: EZR による統計入門第 2.0 版, <https://waidai.csc.jp/update/2018/11/EZRnyumon.pdf>, (2020 年 2 月 1 日閲覧)
 - 14) 岡本厚: 岩波データサイエンス vol. 3, pp.62-90, 2016.

EVALUATING THE IMPACTS OF SHINKANSEN ON LOCAL SOCIOECONOMIC CHARACTERISTICS BY PROPENSITY SCORE AND DIFFERENCE IN DIFFERENCES

Yuki TERAZONO, Shintaro TERABE, Hideki YAGINUMA, and Kosuke TANAKA

The effects of the opening of Shinkansen is widely crossing to all regions in Japan. There are some Shinkansen stations that are scheduled to open in the future. In this study, author evaluated about opening of Shinkansen stations from 1995 to 2015 by using quantitative analysis. The similar opening and non-opening municipality were matched by propensity score in the ratio of 1:1 and 1:5. Seven local socioeconomic characteristics were analyzed by difference in differences. In the result, there was a little positive effect between Shinkansen station and the seven socioeconomic characteristics because the intercept and the time effect are strong.