新幹線駅の開業が沿線市町村の人口の社会増減に与える因果効果

ハン　ケイコウ[1]・寺部　慎太郎[2]・柳沼　秀樹[3]・海野　遥香[4]・鈴木　雄[5]

[1]非会員　東京理科大学大学院　創域理工学研究科社会基盤工学専攻
（〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641）
E-mail. 7623702@ed.tus.ac.jp (Corresponding Author)

[2]正会員　東京理科大学教授　創域理工学研究科社会基盤工学科
（〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641）
E-mail. terabe@rs.tus.ac.jp

[3]正会員　東京理科大学准教授　創域理工学研究科社会基盤工学科
（〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641）
E-mail. yaginuma@rs.tus.ac.jp

[4]正会員　茨城大学助教　茨城大学大学院理工学研究科
（〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1）
E-mail. haruka.uno.uj38@vc.ibaraki.ac.jp

[5]正会員　東京理科大学助教　創域理工学研究科社会基盤工学科
（〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641）
E-mail. yusuzuki@rs.tus.ac.jp

新幹線駅は在来線駅に比べ駅の影響範囲，つまり駅勢圏が広く，駅周辺の自治体に与える影響もより大きいと考えられる. 今後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が予測されるが，新幹線駅の整備はどのように地方人口を左右するかはまだ不明確である. 本研究では自治体が新幹線駅から受ける人口に関する影響を定量的に評価するために，傾向スコアを用いて地域属性，在来線や高速道路の有無などを考えながら新幹線駅の整備の因果効果を統計的に推論した．首都圏，政令指定都市，離島，北海道，四国，福島県避難地域を除外した日本全国の 1126 の市町村を対象として，傾向スコアを用いてマッチングを行い，DID 分析で新幹線駅の整備効果を定量的に算出した. その結果，新幹線駅の開業は周辺市町村の人口の社会増減率に負の効果があることがわかった.

Key Words: *causal inference, high speed railway, traffic infrastructure, propensity score, difference-in-differences analysis*

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も大きい．1964年の東海道新幹線開業以来，日本では新幹線のネットワークが拡大され続け，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予定されており，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と考えられる．一方で，日本全国の人口減少が進んでいる．21 世紀初頭に新幹線沿線市町村の人口はまだ増加していたが，2015年には，新幹線沿線市町村でさえ人口が減少する様子が見られた. 従って，新幹線の駅が近くにできることが，自治体の人口転入転出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.

そこで本研究では，新幹線駅の整備効果について統計的因果推論の枠組みで分析し，自治体属性，他の交通機関や経済などの影響を考えながら，沿線市町村人口の社会増減(転入人口と転出人口の差)に与える影響を定量化することを目的とする.

2. 既往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

まず，在来線に着目して鉄道の新設や駅の廃止が地方に及ぼす影響に関する研究が多くみられる．例えば，中川ら [1]は，鉄道新設後の市町村人口の変遷に与える影響に関する研究を行って，交通機関の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．柳川ら [2]は，交通インフラ整備と東京への一極集中の関係性について分析した．結論としては，首都圏と地方の鉄道整備水準の格差を緩和することにより，人口の分散化に寄与する可能性があることを示した．他にも，鉄道駅の廃止が立地市町村の人口の社会増減に対して与える影響に関する研究 [3]も行われている．1981 年から 1990 年にかけて廃止された駅を中心として，因果推論の手法を用いて地方鉄道存廃が駅勢圏総人口に及ぼす影響を分析した．その結論としては，地方鉄道の廃止に伴い駅勢圏総人口が減少することは統計的に示された．

新幹線に関する研究では，整備効果に着目した研究が多く見られる．大野ら [4]は人口に着目し，新幹線の人口誘導効果に関する分析を行った．結論として，新幹線の整備は三大都市圏への人口集中を東北や九州地方に振り分ける可能性があり，バブル崩壊の前にある程度に人口集中を解消する役割を果たしていることがわかった．また，地域に着目し，新幹線を整備している地域と整備していない地域を比較した研究 [5]や，整備年次に着目し，新幹線の整備効果を分析した研究 [6][7]がある．また，全国の主要都市の間の鉄道旅行時間の推移により新幹線の影響を分析する研究もある．中岡ら [8]は，地点間の直線距離と，移動所要時間について数量的に相対時間距離を定義し，これによって新幹線の整備効果を検証した．その結果，相対時間距離は整備状況の推移からだけでは見出しにくい変化の様相を数値で明確に示しているとともに時間距離図から視覚的にも確認することができた．そして新幹線が整備されつつある直接の沿線市町村だけではなく，新幹線の延長線上にある各市町村の相対時間距離も低下していることがわかる．

他に，新幹線がマクロ経済や地域経済に与える影響のシミュレーション [9]や事後評価 [10]を行った研究などがある．例えば，奥田ら [10]は東海道新幹線の有無が沿線地域経済に与える影響の事後評価を行って，新幹線整備の長期的な影響を分析した．新幹線は時代とともに延長しつつも，各産業分野についてその生産を支える重要な交通インフラになっていることを示している．また，開業当初こそ地域の生産額や新幹線開業に伴う効用に与える効果は関東に集中しており，ストロー効果を生んでいたが，時代が下るにつれ，近畿圏や中部圏にも効果が広がり，ストロー効果は緩和されつつあることを示している．

他に九州新幹線開業前後での沿線各駅周辺の交通量や地価，立地自治体の人口や観光入込客数などの社会経済指標の推移を整理し駅の類型化を行った研究 [11]もある．

また，交通インフラの整備効果に関して，事後評価により空間的範囲をめぐって分析を行った研究がある．例えばKunimi ら [12]は，交通インフラの整備効果が波及した地域の範囲を定める手法を Generalized Synthetic Control の枠組みで構築した．その他，地価の変動による交通インフラの整備の影響範囲の大きさを計算する手法を検討し，在来線の整備状況を用いてその手法検証した研究 [13]と，高速道路インターチェンジ(IC)の整備状況に基づいて，IC を中心とした円形の影響範囲の大きさと周辺市町村の工場立地の関係を分析した研究 [14]もある．

しかしながら，新幹線(高速鉄道)は沿線地域にマイナスの影響を与える可能性を示唆した研究がある．Pagliara ら [15]はイギリス，フランス，スペインとイタリアにおいて，高速鉄道の便益をジニ係数と組み合わせて分析した．この研究は各国で高速鉄道の整備が社会の格差を生む可能性があり，高速鉄道を整備するとき都市と地方の間のギャップを拡大しないようにすることが必要だと示唆した．Cavallaro ら [16]は，整備コストと平均移動時間を考慮しており，鉄道利用者の選択肢を分析した．結果として，短距離交通に対しては高速鉄道の影響は通勤鉄道の改善整備よりも小さく，中距離交通以上の場合に対して高速鉄道が役割を果たせることを示した．

傾向スコアを用いる因果推論に関する研究は多くみられる．国外では，Talebian ら [17]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 [18]の研究では，DID 分析と傾向スコアマッチング―DID 分析(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．

その他，高速鉄道だけではなく高速道路や在来線などの土木計画分野でも因果推論の研究が見られるようになってきた [19][20]．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 [21][22][23]などがある．

なお，本研究の先行研究 [24]では，日本全国の全ての新

幹線の路線を対象とした．それ以前の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，この先行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．その結果，IPW 推定量による市町村人口に与える開業効果は，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．

(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．

著者らによる先行研究には，新幹線駅の有無を根拠として処置群市町村と対照群市町村をグループ分けをしたが，本研究は各市町村の土地利用状況と新幹線駅の開業年次を考慮して，新幹線駅の開業効果を算出した．また，本研究では前節に述べた先行研究を発展させて，傾向スコアマッチング(PSM)に基づいて新幹線駅の開業効果を推定した．

本研究の意義は，Rubin[25]の枠組みで新幹線の整備が駅周辺エリア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. 分析方法

(1) 分析対象市町村と新幹線駅

本研究の分析年次は 1995 年～2020 年である．2015 年までに開通していたフル規格新幹線を対象路線としたため，2015 年までに新幹線が整備されていない四国地方と北海道の市町村を除外した．そして大都市や離島の影響を除くため，首都圏(一都三県)，政令指定都市，離島地域と福島県避難地域を除外した日本全国の 1126 の市町村を対象とした．

対象新幹線駅を選定するにあたり，新幹線駅の開業時期に着目した．それは使用した変数の統計から得られる 3 つの年次，つまり 1995(1995~2000)，2000(2000~2005)と 2010(2010~2015)年，これを集計基準年と呼ぶ．この集計基準年に基づいて，本研究の分析対象駅は，1995 年~2015 年に開業した新幹線駅を開業時期に応じて 3 つのグループに分けたものである．具体的には，グループ 1 の 1995 年～2000 年間に開業した長野新幹線の安中榛名駅から長野駅までと山陽新幹線の厚狭駅，グループ 2 の 2000 年～2005 年間に開業した東北新幹線の岩手駅から八戸駅までと九州新幹線の新八代駅から鹿児島駅まで，グループ 3 の 2010 年～2015 年間に開業した東北新幹線の七戸駅から青森駅まで，九州新幹線の新鳥栖駅から新玉名駅までと北陸新幹線の飯山駅から金沢駅までの新幹線駅を分析対象駅とした．分析年は集計基準年から 5 年ごとに設定し，2020 年まで分析を行う．例えば集計基準年が 1995 年の場合，分析年は 1995 年～2000 年，1995 年～2005 年，1995 年～2010 年，1995 年～2015 年と 1995 年～2020 年であり，その目的は時間とともに新幹線駅の開業効果の変化を分析することである．

(2) 新幹線駅ダミーの設定方法

本研究では新幹線駅あり市町村グループ(新幹線駅ダミーは 1)を処置群，新幹線駅なし市町村グループ(新幹線駅ダミーは 0)を対照群とする．

本研究は新幹線駅の整備が駅周辺市町村の人口変動に与える影響を分析するため，駅勢圏を定めることは必要である．しかしながら今の時点で新幹線駅の影響範囲(あるいは駅勢圏)に関する定義は様々あるが，まだ定説がないため，本研究では新幹線駅から市町村役場までの道路距離が 30km の圏域において新幹線駅の開業効果を分析する．それによって，新幹線駅ダミーは，定義された駅勢圏内に位置する市町村は 1 とし，他の市町村は 0 とする．それぞれの年次で，新幹線駅があるとされた市町村の数を**表-1** に示す．この表は，マッチングするときに使用される処置群市町村の総数と同様である．

表-1 新幹線駅がある市町村の数

集計基準年	1995	2000	2010
市町村の数	28	27	74

(3) 分析手法

a) 傾向スコア[26]

第 i 対象市町村の共変量(割当変数と結果の両方に影響を与える変数)の値を $\boldsymbol{x_i}$，割当変数(ある施策が行われるかどうかを示す変数)の値を z_i (1 or 0)とするとき，群 z_i =1(つまり処置群)に割り当てられる確率 e_i は傾向スコアと呼ばれる式(1)で表せる．

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

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(従属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る．そのため，本研究では傾向スコアを用いて新幹線駅の整備に関する説明変数の影響を考えて，共変量調整の手法，つまり傾向スコアマッチング(PSM)によって

新幹線駅整備の平均処置効果を推定した．

b) 使用した変数

表-2 使用した変数

説明変数	集計方法	データ出典
新幹線駅(ダミー)	新幹線駅から一定の道路距離以内の市町村を 1	鉄道時系列データ*1)
その他用地割合	その他用地面積/自治体総面積	土地利用 3 次メッシュ*1)
森林割合	森林面積/自治体総面積	土地利用 3 次メッシュ*1)
建物割合	建物面積/自治体総面積	土地利用 3 次メッシュ*1)
荒れ地割合	荒れ地面積/自治体総面積	土地利用 3 次メッシュ*1)
農用地割合	農用地面積/自治体総面積	土地利用 3 次メッシュ*1)
水域と海岸割合	水域と海岸面積/自治体総面積	土地利用 3 次メッシュ*1)
豪雪地帯(ダミー)	豪雪地帯の市町村を 1	豪雪地帯データ*1)
在来線密度	鉄道在来線延長/自治体総面積(1/km)	鉄道時系列データ*1)
在来線駅数	当該自治体行政区域内在来線駅の数	鉄道時系列データ*1)
高速道路密度	高速道路延長/自治体総面積(1/km)	高速道路時系列データ*1)
高速道路 IC 数	当該自治体行政区域内高速道路 IC の数	高速道路時系列データ*1)
ニュータウン	当該自治体行政区域内ニュータウンの数	ニュータウンデータ*1)
中心―IC 距離	市町村役場から最も近い IC までの道路距離(km)	高速道路時系列データ*1)
第一次産業割合	各市町村の第一次産業就業者数/総人口数	国勢調査*2)
第二次産業割合	各市町村の第二次産業就業者数/総人口数	国勢調査*2)
自治体人口(ダミー)	人口総数が三万人以上の市町村を 1	国勢調査*2)
社会増減率	社会増減数/総人口数	住民基本台帳*2)

*1) 国土数値情報ダウンロードサービスより *2) e-Stat より

本研究で分析に用いた変数を**表-2** に示す．新幹線駅の整備効果とは，新幹線駅周辺市町村の人口，経済，社会などの指標が新幹線やその駅の開業によって変化したことである．本研究は新幹線駅の整備効果の一つ，人口の社会増減に関する変数，つまり社会増減率をアウトカムとしてこの整備効果を定量化する．

また，傾向スコアを算出するときには，市町村ごとに新幹線駅の有無を表すダミー変数を目的変数とする．

本研究は分析対象市町村の立地特性を考慮し，新幹線駅の整備に影響する可能性がある説明変数を抽出した．使用した変数は**表-2** の通りである．自然条件と市町村土地利用に関する変数は豪雪地帯ダミー，森林(面積)割合，その他用地(面積)割合，建物(面積)割合，農用地(面積)割合，荒れ地(面積)割合と水域と海岸(面積)割合である．交通インフラに関して，在来線実延長を各自治体総面積で割ったもの(在来線密度)，高速道路実延長を各自治体総面積で割ったもの(高速道路密度)，高速道路 IC 数，各市町村の役場から最も近い IC までの道路距離を説明変数とする．地方の経済活動を反映する変数は第一次・第二次産業割合である．規模が小さい町村と規模が大きい市町を区別しマッチングするため，自治体人口ダミー変数によって人口が多い市町村と少ない市町村をクループ分けをする．そして対象市町村が近隣大都市から受ける影響を考慮するため，大都市周辺の人口が多く集まったエリア，つまりニュータウンの数を説明変数とした．人口変動に関する共変量を加えてロジスティック回帰分析を行うことで，傾向スコア，つまり各市町村が処置群に割り当てられる確率が得られる．そして人口に関する説明変数は，国勢調査に基づいて 1995 年~2020 年の間五年ごとのデータを集計する．本研究のアウトカム変数は社会増減率であり，毎年の住民基本台帳データを五年ごとに合計したものである．

c) 強く無視できる割り当て条件

強く無視できる割り当て条件とは，「どちらの群に割り付けられるかは観測された共変量の値に依存し，従属変数の値の高低によっては依存しない」[27]であり，傾向スコアを計算するための前提条件である．数理的には次の式(2)の通り，共変量xを条件付きとするときに，群 1 に割り当てられたときの従属変数y_1と群 2 に割り当てられたときの従属変数y_2が，割り当て変数zと独立であり，かつ共変量xのすべての値において群 1 に割り当てられる確率が 0 より大きく 1 より小さいということである[26]．

$$(y_1,\ y_2) \perp z|x,\quad 0 < p(z=1|x) < 1 \qquad (2)$$

しかしながらこの条件は実際問題として直接的に検証することは不可能である．このため，処置群と対照群について共変量によって割り当てが説明されていることを証明すれば，この条件が間接的に検証できる．つまりもし共変量からサンプルに対して処置の有無を予測するロジスティック回帰モデルの適合度がよければ，強く無視できる割り当て条件を満たしたと考えられる[27]．そこで

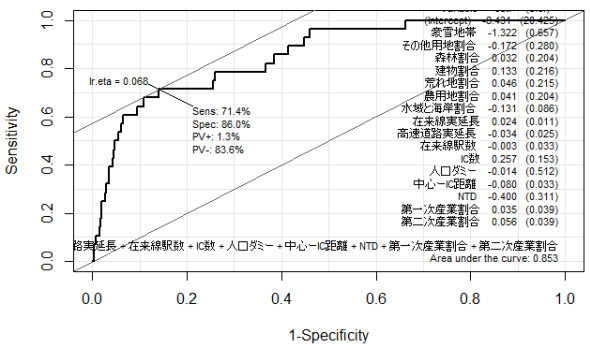


図-1 1995 年ケースの ROC 曲線

本研究では ROC 曲線を用いて，c 統計量によるモデルの適合度を計算し，この条件を満たしたかどうかを検証した．

一般的に，c 統計量は ROC 曲線の曲線下面積(AUC)の値と等しいため，ロジスティック回帰モデルの適合度は良いか悪いかは直観的に検証できる [28]．ここでは，**図-1** を例として ROC 曲線の仕組みを示す．このグラフは 1995 年ケースの ROC 曲線である．この曲線は左上に寄っているほど，モデルの適合度はよいと評価できる．そしてこの曲線の AUC は 0.853 であり，c 統計量も同様である．

e) 傾向スコアマッチング DID 分析 [29) 30) 31) 32) 33)]

傾向スコアマッチング DID 分析(Propensity Score Matching-Difference-in-Differences Analysis, PSM-DID)とは，ある政策を導入前のアウトカムと導入後のアウトカムを比較して，導入前と導入後の 2 つの時点に対して，対照群の導入前後でのアウトカム差分を時間による影響と考え，処置群の導入前後でのアウトカムから取り除いて政策導入による影響を算出する方法である．数理的には， 処置を受けた状態のアウトカムと処置を受けていない状態のアウトカムを計算して， DID 分析の回帰式(3)による処置群に対する平均処置効果が推定できる． ここで，yは人口増加率，Gは処置ダミー(新幹線駅があるかどうか)，Tは時点ダミー(新幹線駅開業前年次は 0，開業後年次は 1 をとるダミー変数)，εは誤差項，α_1～α_4は係数，GとTは無相関である必要がある [31]．

$$y = \alpha_1 + \alpha_2 G + \alpha_3 T + \alpha_4 GT + \varepsilon \quad (3)$$

図-2 によって，DID 分析の概要は直観的に理解できる．式(4)に従って処置群(G=1)の介入前(T=0)の人口増加率 a，処置群(G=1)の介入後(T=1)の人口増加率 b，対照群(G=0)の介入前(T=0)の人口増加率 c，対照群(G=0)の介入後(T=1)の人口増加率 d が算出できる．そして 4 つの値を用いて，式(4)によって処置群についての平均処置効果が算出できる．

$$ATT = (b - a) - (d - c) \quad (4)$$

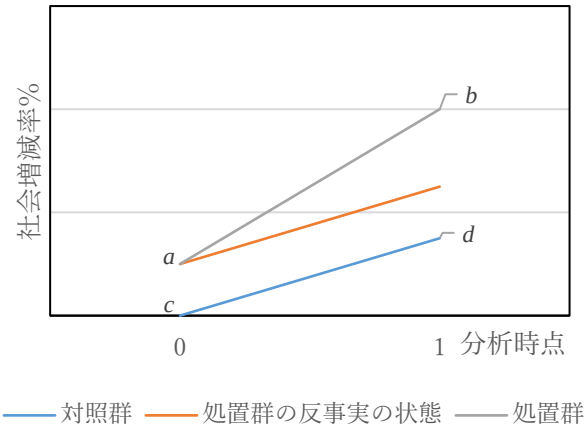


図-2 DID 分析のイメージ

これが DID 分析による新幹線駅整備が地域人口変動に与える因果効果である．

処置群の平均処置効果を推定するため，処置群の市町村について処置を受けていなかったときの状態(反事実の状態)と，対照群の状態が並行トレンドを持つ必要があるが，この仮定の成否は検証不能である [33]．本研究では傾向スコアマッチングによって，同じペアの二つの市町村が同じ発展トレンドを持つことをある程度に確保したうえで，DID 分析を行う．傾向スコアを使って DID 分析に用いる処置群と対照群のペアを組んで，回帰分析を行って因果効果を計算する．

4. DID 分析の結果

表-3 ロジスティック回帰モデル

集計年次	1995		2000		2010	
説明変数	係数		係数		係数	
切片	-8.431		-20.559		-22.999	
豪雪地帯	-1.322	*	-0.097		1.671	***
その他用地割合	-0.172		-0.092		0.235	
森林割合	0.032		0.156		0.215	
建物割合	0.133		0.304		0.266	
荒れ地割合	0.046		-0.068		0.249	
農用地割合	0.041		0.153		0.264	
水域と海岸割合	-0.131		-0.188	*	0.089	
在来線密度	0.024	*	0.027	*	0.001	
高速道路密度	-0.034		-0.008		-0.050	*
在来線駅数	-0.003		-0.007		0.024	
IC 数	0.257	*	0.178		0.179	
自治体人口	-0.013		0.305		0.546	
中心―IC 距離	-0.079	*	-0.009		-0.065	*
ニュータウン	-0.400		0.082		-0.111	
第一次産業割合	0.035		0.074	*	-0.055	*
第二次産業割合	0.056		0.008		-0.061	*
c 統計量	0.853		0.817		0.855	
***: 0.1%有意; **: 1%有意; *: 5%有意						

(1) 傾向スコアの計算結果

傾向スコアは，一般的にロジステック回帰モデルとノンパラメトリック回帰モデルによって推定することが多い [27]．本研究はロジステック回帰モデルを採用して，新幹線駅ダミーの値(1 と 0)をとることを前章の説明変数に

よって説明するモデルを構築し，モデルのパラメータの推定を行った．ロジスティック回帰分析を**表-3** に示す．この表から見ると，各集計基準年の説明変数の有意性は異なっており，有意性がある説明変数が少ない．例えば在来線密度は 2010 年~2015 年の分析対象市町村に対して処置群と対照群を区別する根拠とみなされない．また，どのケースに対しても土地利用に関する変数の有意性はあまりないことがわかる．なお，観測されたサンプル数は，1126 個であり，対象市町村の数と同様である．

前節に述べた各集計基準年の c 統計量は表-3 最下段にまとめた．c 統計量については，医学や経済の研究では 0.8 以上であればモデルの適合度はよいと評価できる [26]．しかし交通基盤施設の研究に対してまだ定説がないため，医学や経済の評価基準を用いてモデルの適合度を評価した．

今回算出したロジスティック回帰モデルの c 統計量の最小値は 0.817 であり，目安とした 0.8 より高いため，モデルの適合度はよいといえる，つまり強く無視できる割り当て条件は満足されたと判断できる．

(2) 傾向スコアマッチング

本研究では，非復元最近傍マッチング法(Nearest Neighbor)[34]を用いた．処置群の市町村の傾向スコアに最も近い市町村を対照群から抽出し，一対一のペアを作った．よって，もし処置群市町村の傾向スコアと対照群市町村の傾向スコアが同じだったら完璧なマッチングができる．しかし処置群と対照群に完全に等しい傾向スコアは存在しないため，マッチングするときバイアスが避けられない．

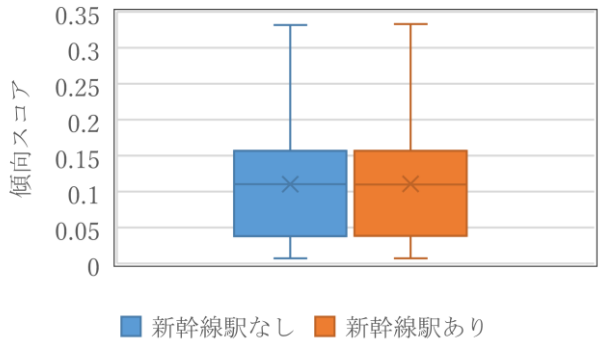


図-3 キャリパーマッチングによる傾向スコアの分布状況

本研究はできる限りバイアスを避けるため，マッチングさせるキャリパー(許容範囲)を設定し，最近傍マッチングに基づいてキャリパーマッチング [34]を行った．マッチングの段階に生じるバイアスをできるだけ取り除くため，ここはキャリパーを 0.1 に設定した．キャリパーマッチングをした処置群と対照群市町村の傾向スコアの分布状況を**図-3** に示す．この図は，集計基準年 1995 年のデータセットを使って，キャリパーを設定した上で最近傍マッチングを行った結果であり，マッチングの状況が良いことがはっきりわかる．一方，マッチング状況が改善されたものの，うまくマッチングできないペアは排除されたため，傾向スコアの値が 0.17 以上の区間のサンプル数が少ない．キャリパーマッチングに使われた駅あり市町村の数，つまりペア数を**表-4** に示す．**表-1** の駅あり市町村数，つまり非復元最近傍マッチングで組んだペア数と比較すると，減ったペア数がわかる．

表-4 PSM-DID 分析でマッチングに使われた市町村の数

集計基準年	1995	2000	2010
市町村の数	26	24	64

(3) PSM-DID 分析による因果効果

a) 全体から見る新幹線駅の開業効果

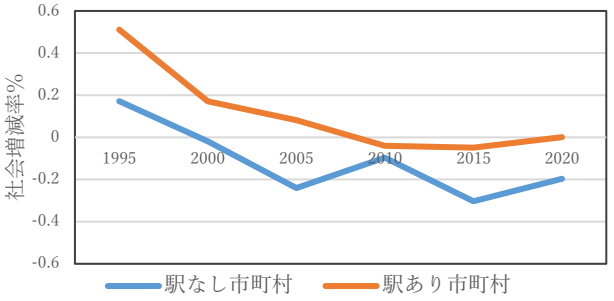


図-4 集計基準年 1995 年にマッチングしたペア市町村の経年社会増減率

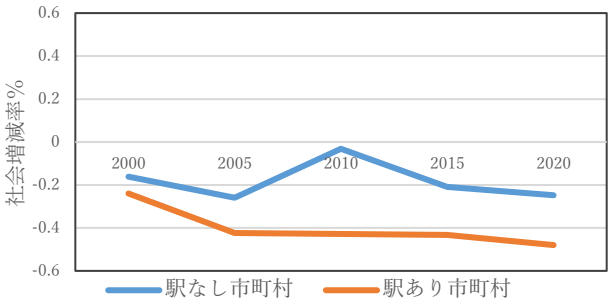


図-5 集計基準年 2000 年にマッチングしたペア市町村の経年社会増減率

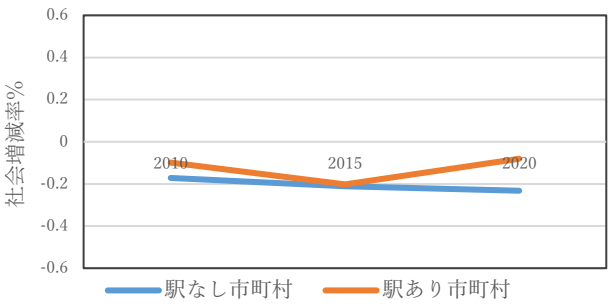


図-6 集計基準年 2010 年にマッチングしたペア市町村の経年社会増減率

PSM-DID 分析の結果は本節の通りである．まず，傾向スコアマッチングによって組んだ市町村ペアの人口の経年社会増減率平均値を**図-4，5，6**に示す．これは各集計基準年から 2020 年までの社会増減率をまとめたものである．

表-5　人口増加率による平均処置効果(%)

年	1995-2000	1995-2005	1995-2010	1995-2015	1995-2020
ATT	-0.1502	-0.0175	-0.2833	-0.0851	-0.1417
年		2000-2005	2000-2010	2000-2015	2000-2020
ATT		-0.0861	-0.3193	-0.1453	-0.1539
年				2010-2015	2010-2020
ATT				-0.0644	0.0783

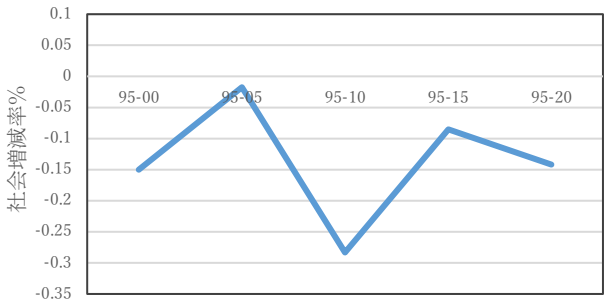


図-7　新幹線駅の整備による自治体の社会増減率の変化
(1995～2000 年間開業した新幹線駅を対象とする)

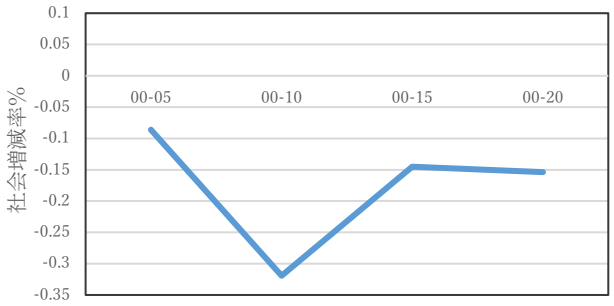


図-8　新幹線駅の整備による自治体の社会増減率の変化
(2000～2005 年間開業した新幹線駅を対象とする)

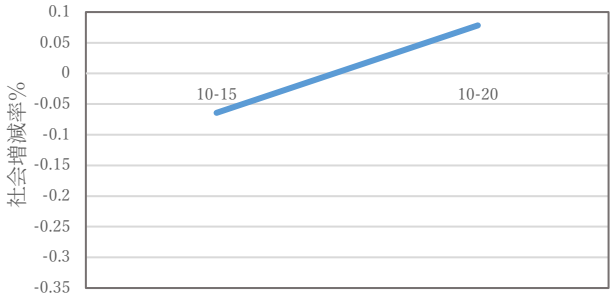


図-9　新幹線駅の整備による自治体の社会増減率の変化
(2010～2015 年間開業した新幹線駅を対象とする)

DID 分析による人口増加率をアウトカムとして算出した ATT(Average Treatment effect on Treated, 処置群についての平均処置効果)のまとめを**表-5** と**図-7，8，9** に示す．

図-7，8，9 は PSM-DID 分析の結果をまとめたグラフであり,3 つのグループに分けて処置群についての平均処置効果を示している．つまり，分析年に基づいて各分析年次の新幹線駅の開業によりどれくらいの人口増加率がもたらされるかを示している．1995~2005 年のケースを例として，横軸の 95-05 に対応しているポイントは，1995 年(95)は介入前時点，つまり時点 0(図-2 を参照)，2005 年(05)は介入後時点，つまり時点 1 であり，このポイントの値は，1995~2000 年の間に開業した新幹線駅に基づいて，1995 年の社会増減率と 2005 年の社会増減率を比較して算出した．

図-7，8，9 の全体から見ると，1995 年から 2010 年まで開業した全ての新幹線駅(新設あるいは改築)は，新幹線駅の整備による周辺 30km 道路距離内の市町村に人口の社会増減状況にマイナスの影響を与えることを示している．例外として，2010~2015 年に開業した新幹線駅に対して，開業から 5 年以上経つと新幹線駅の整備は駅周辺市町村の人口の社会増減に与える影響はプラスになったことを示している．次は集計基準年別に ATT の計算結果を考察する．

b)　1995 年から 2000 年まで開業した新幹線についての駅の開業効果

このグループは，長野新幹線(安中榛名駅~長野駅)と山陽新幹線の厚狭駅を含む．**図-7** より，1995~2005 年ケースの十年間新幹線駅の開業効果は一番高いが，まだ負の値であり，その意味は 1995 年から 2020 年まで新幹線駅あり市町村の人口の社会増減率は新幹線駅なし市町村の社会増減率より低いことを表す．また開業効果が最も低いのは分析年 1995~2010 年のケースであり，二番目に低いのは分析年 1995~2000 年のケースである．その原因は新幹線駅開業した時期に発生したバブル崩壊と 2008 年に発生したリーマンショックであると推測し，**図-4** と合わせてみると，2005 年から 2010 年において駅なし市町村の社会増減率は増加する傾向が示されている．それは新幹線駅なし市町村グループに人口社会増減率が+1%以上の市町村が含まれることであり，例えば玉東町などの人口が千人あたりの町が，数十人の変動にしても社会増減率に大きく反映されたこともある．

c)　2000 年から 2005 年まで開業した新幹線についての駅の開業効果

このグループは東北新幹線の一部(岩手駅~八戸駅)と九州新幹線の一部(新八代駅~鹿児島駅)を含む．そして**図-8** より，新幹線駅の開業効果が最も低いのは 2000~2010 年(00-10)であり，**図-5** と合わせて分析すると，野々市市，原村と南相木村など社会増減率が+1%以上の新幹線駅なし市町村の影響が大きい．その他，新幹線駅の開業効果の急減はリーマンショックによる駅あり市町村から上述した社会増減率が高い駅なし市町村への人口移動が発生

したと推測するが，それはまだ検証する必要がある．

d) 2010 年から 2015 年まで開業した新幹線についての駅の開業効果

このグループは東北新幹線の一部(七戸駅~青森駅)，九州新幹線の一部(新鳥栖駅~新玉名駅)と北陸新幹線の一部(飯山駅~金沢駅)を含む．この五年間に開業した駅の数は 3 つの集計基準年(1995 年，2000 年と 2015 年)で一番多く(14 箇所)であり，分析対象とする新幹線駅あり市町村も一番多い(**表-4** を参照)．**図-9** より，新幹線駅開業 5 年後の駅開業効果はまだ上がっていることがわかる．**図-6** と合わせて分析すると，2015 年から 2020 年までの社会増減率の急増が原因である．2010 年~2015 年新幹線駅あり市町村の平均人口社会増減率の急減に至る要因は，九州地方の人口社会増減率が急激に減少した町と村が集計されたことで，例えば熊本県の玉東町と福岡県の久山町である．2015 年~2020 年新幹線駅あり市町村の平均社会増減率の急増も，佐賀県の上峰町と長野県の野沢温泉村などの人口社会増減率が急増した市町村に影響されると考える．

各分析年に基づいた分析の結果の値は小さい(0.1%程度)が，その原因は各市町村の社会増減率は元々小さいである(平均的には千人あたり十数人程度)．

5. おわりに

本研究では，1995 年から 2020 年までの 25 年間に新幹線駅の開業が沿線自治体の人口の社会増減に与える影響を因果推論 の手法で実証的に示すことを目的に，その因果効果を推 定した．

PSM-DID 分析による新幹線駅の開業効果からみると，新幹線駅は大部の沿線市町村の人口の社会増減にマイナスの影響を与えていた．新設駅の周辺市町村と駅から離れた市町村を傾向スコアマッチングをした結果，集計基準年 2010 年を除き，新幹線駅あり市町村の人口社会変動の減少は駅なし市町村の社会変動の減少より速いことがみられる．その一方で，2010 年から 2015 年の間に開業した新幹線駅に対して，開業した直後，駅周辺市町村の人口社会増減はまだ駅なし市町村より低いが，開業 5 年以上経つと駅あり市町村の社会増減率は急激に上がったことがわかる．

本研究の計算結果によると，まず集計基準年から 2010 年までの駅開業効果の急減は，リーマンショックによる沿線地方市町村から新幹線から離れた市町村への人口移動が発生したと考えるが，リーマンショックはどのように人口を影響するかはまだ検討する必要がある．また，2010 年から 2015 年まで開業した新幹線駅に対して，駅周辺市町村の人口社会増減率は急減から急増することがあり，それが新幹線駅の開業した 5 年後の開業効果の増加に反映した．しかし 2015 年から 2020 年まで駅周辺市町村の社会増減率の増加の原因はまだ明らかではない．新幹線の開業はどの仕組みで，開業からいつまで沿線市町村の人口を影響することに関する検討も将来の課題の一つである．

なお，公共交通が発達した大都市の発展は，周辺市町村の発展を抑止し，負のスピルオーバー効果を及ぼすことがある．今後は，新幹線駅周辺市町村と駅から離れた市町村を比較して，いくつの駅勢圏を設定し駅整備効果の差異を検討する予定がある．また，新幹線整備ブームは 1972 年(山陽新幹線)から 1988 年(東海道新幹線の一部と山陽新幹線の一部)までであるため，今後はこの 16 年間の駅周辺市町村の人口の社会増減を分析することも考える．その他，新幹線駅のアナウンスメント効果を因果推論の枠組みで分析する予定があるが，新幹線駅の計画段階の効果を左右する要因が多い．例えば新設駅の場所，開業時間，乗り入れ線路，延期の有無など，アナウンスメント効果を定量的に計算する方法の検討が必要である．

REFERENCES

1) 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，pp57‐64，1993．[Nakagawa, D., Nishimura, Y., Hatoko, M.: A Study on the Effect of the Introduction of Railways on the Changing of Population of Cities[J]. Infrastructure Planning Review, 1993, 11: 57-64.]
2) 柳川篤志, 川端祐一郎, 藤井聡. インフラ整備水準が人口の一極集中に与える影響に関する研究, 土木学会論文集 D3（土木計画学）, 75 巻, 6 号, p. I_351-I_368, 2019. [Yanagawa A, Kawabata Y, Fujii S. a Study on the Effect of Development Level of Infrastructure on Concentration of Population[J]. Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. D3 (Infrastructure Planning and Management), 2020, 75(6): I_351-I_368.]
3) 植村洋史, 松中亮治, 大庭哲治. 地方鉄道の存廃が駅勢圏人口に及ぼす因果的影響の分析，土木学会論文集 D3(土木計画学)，76 巻，5 号，2020. [Uemura H, Matsunaka R, Oba T. Causal Effect of Abolition of Local Railways on Population around Stations[J]. Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. D3 (Infrastructure Planning and Management), 2021, 76(5): I_1127-I_1135.]
4) 大野栄治, 細見昭. 地域間交通整備に伴う人口分布変動の予測, 土木計画学研究・論文集, 13 巻, p. 265-271, 1996. [Ohno, E., Hosomi, A.: Population Distribution

Change due to Interregional Transport Development[J]. Infrastructer Planning Review, 1996, 13: 265-271.]

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・講演集，Vol.12， pp.597‐604，1989. [Ueda, T. and Nakamura, H.: The impact of Shinkansen on regional development, Proceedings of infrastructure planning, 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，第 33 回土木計画学研究・講演集，357， CD-ROM，2006．[Matsunaga, T. and Yamakuchi, S.: The major impact of the recent Shinkansen operation, 33th Proceedings of infrastructure planning, Issue 357, 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 Transportion Research Board，17‐04243，2017.

8) 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. [Nakaoka, R., Kon, N. and Sato, K., The impact of improvement of Shinkansen from relative time distance, Historial Study in Civil Engineer-ing, Freely submitted papers 15th, 1995]

9) 片岡将, 柳川篤志, 田中皓介, 川端祐一郎, 藤井聡. 全国新幹線整備が国土構造と国民経済にもたらす影響の計量分析, 土木学会論文集 D3（土木計画学）, 75 巻, 5 号, p. I_375-I_386, 2019. [Kataoka S, Yanagawa A, Tanaka K, et al. a Quantitative Analysis of the Effect of Shinkansen Network Expansion on National Land Structure and Economy[J]. Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. D3 (Infrastructure Planning and Management), 2019, 75(5): I_375-I_386.]

10) 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. [Okuda, T. and Usami, S.: Post-evaluation of the long-term impact on the regional economy of Tokaido shinkansen, the 50th Annual Meeting of the Japan Section of the RSAI, 2013]

11) 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.

12) Kunimi, T.., & Seya, H.. Identification of the geographical extent of an area benefiting from a transportation project: A generalized synthetic control. Journal of Transport and Land Use, 14(1), 25–45, 2021.

13) Seya, H., Yoshida, T. and Tsutsumi, M.: Ex-post identification of geographical extent of benefited area by a transportation project: Functional data analysis method, Journal of Transport Geography, Vol. 55, pp.1-10, 2016.

14) Kadokawa, K.: Highway access and the critical distance to an industrial location: a survival analysis, GeoJournal, Vol. 84, Issue 1, pp. 31-54, 2019.

15) Pagliara, F., Ilaria, H., Lucia, R., Marc, G.. Is High Speed Rail a Geographically Inclusive System? Evidence from some European Countries. Applied Spatial Analysis and Policy，15(1)，pp. 241‐263，2022.

16) Bruzzone F., Federico, C., Silvio, N.. Effects of High-Speed Rail on Regional Accessibility. Transportation. doi: 10.1007/s11116-022-10291-y，2022.

17) 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.

18) Jia, S., Zhou, C., Qin, C.. No difference in effect of highspeed rail on regional economic growth based on match effect perspective? , Transportation Research Part A, 106, pp.144‐157, 2017.

19) 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. [Otazawa, T. and Ohira, Y.: Causal in-fernce for transportation infrastructor ap-praisal: review and perspective, 58th Pro-ceedings of infrastructure planning, S1, pp.1-13, 2018]

20) 織田澤 利守, 諸橋 克彦, 横山 将大, 高速道路整備がインターチェンジ周辺地域の雇用と事業所立地に及ぼす因果効果の推定, 土木学会論文集 D3（土木計画学）, 77 巻, 2 号, p. 52-61, 2021. [Otazawa, T., Katsuhiko Morohashi, K., and Yokoyama, S.. The impact of highways on regional employment and establishments’ location: evidence from Japan, Transaction of the Japan Society of Civil Engineers D3 Vol. 77, Issue 2, pp.52-61, 2021]

21) 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. [Otazawa , T. and Akesada, T.: The im-pacts of the inter-firm transaction net-work changes on firm-level productivity, Transaction of the Japan Society of Civil Engineers D3 Vol. 74, Issue 5, pp.I_483-I_491, 2018]

22) 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. [Yuki, T. and Toshimori, O.: Estimating the causal effects of highway access on local

employment and productivity, 58th Proceedings of infrastructure planning, Vol.8, pp.1-7, 2018]

23) 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. [Nakagawa, T., Kaneko, Y. and Kato, H.: Emprical analysis of social economic impacts by urban railway construction in Tokyo metropolitan area, 57th Proceedings of infrastructure planning Vol.38, Issue 11, pp1-13, 2018]

24) 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. [Ochiai, R., Terabe, S., Yaginuma, H., Tanaka, K., Kang N.: Evaluating the impacts of Shinkansen on loca socioeconomic characteristics by propensity score, Proceedings of infrastructure planning , Vol.59, 14, 2019]

25) Rubin, D. B.. Estimating causal effects of treatments in randomized and nonrandomized studies, Journal of educational Psychology, 66(5), 688, 1974.

26) 星野崇宏, 繁桝算男. 傾向スコア解析法による因果効果の推定と調査データの調整について, 行動計量学, 31(1): pp.43-61, 2004. [Hoshino T. Estimation of causal effect and adjustment of survey data using propensity scores[J]. The Japanese Journal of Behaviormetrics, 2004, 31: 43-61.]

27) 星野崇宏, 岡田謙介. 傾向スコアを用いた共変量調整による因果効果の推定と臨床医学・疫学・薬学・公衆衛生分野での応用について, 保健医療科学, 55(3): pp.230-243, 2006. [Hoshino, T., Okada, K.: Estimation of causal effect using propensity score methods in clinical medicine, epidemiology, pharmacoepidemiology and public health; a review[J]. Journal of the National Institute of Public Health, 2006, 55(3): 230-243.]

28) DeLong, E., R., DeLong, D., M., Clarke-Pearson, D., L.. Comparing the areas under two or more correlated receiver operating characteristic curves: a nonparametric approach. Biometrics, 837-845, 1988.

29) 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. [Hoshino, T., Tanaka, H.: Empirical analysis by R From regression analysis to causal analysis, Ohmsya, 2016]

30) 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. [Hoshino, T.: Statistical science of survey observation data Causal inference, selection bias, data fusion, Iwanamishoten, 2009]

31) Wang L., Difference-in-differences analysis on railway investment-induced effects on residential distribution changes, *Doctoral dissertation*, Nagoya University, September 2021.

32) 川端一光, 岩間徳兼, 鈴木雅之, R による多変量解析入門, オーム社, 2018. [Kawahashi, I., Iwama, N.,Suzuki, M.: Introduction to multivariate analysis with R, Ohmsya, 2018]

33) 山口慎太郎, 差の差法で検証する「保育所整備」の効果−社会科学における因果推論の応用, 岩波データサイエンス Vol.3, pp.112-128, 岩波書店, 2016. [Yamaguchi, S., Effect of "Set up the nursery center" verified by the method of difference of differences: application of causal inference in social science, Iwanami data science Vol.3, pp.112-128, Iwanami Publishing House, 2016]

34) Caliendo, M., Kopeinig, S., Some practical guidance for the implementation of propensity score matching, Journal of Economic Surveys, Vol.22, No.1, pp.31-72, 2008.

(**Received** ?)
(**Accepted** ?)

CASUAL EFFECT OF THE OPENING OF SHINKANSEN STATIONS ON SOCIAL POPULATION CHANGES IN MUNICIPALITIES ALONG THE SHINKANSEN LINE

JiKang FAN, Shintaro TERABE, Hideki YAGINUMA, Haruka UNO, and Yu SUZUKI

Shinkansen stations have a wider influence area than conventional line stations, and the effect about the population change or economic on local municipalities around the station is expected to be greater. However, it is still unclear how the Shinkansen stations and the size of its influence area influenced the local municipalities population change. In order to make a quantitative evaluation, we used propensity scores to statistically infer the causal effects of the development of Shinkansen stations while considering the effects of conventional lines and expressways. However, we considered the influence of metropolitan area such as the Tokyo urban area, Shikoku, and Fukushima evacuation areas and excluded them, were targeted for 1,126 municipalities nationwide, and matched using propensity scores. It was found that the constraction of the Shinkansen Station had an minus effect on the social population change of municipalities alone the Shinkansen Line.