

論文 差の差分析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

金子 雄一郎¹・中川 拓朗²

¹正会員 日本大学教授 理工学部土木工学科（〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台1-8-14）
E-mail: kaneko.yuuchirou@nihon-u.ac.jp

²正会員 株式会社建設技術研究所（元日本大学大学院理工学研究科博士前期課程土木工学専攻）
E-mail: takuro.nakagawa.2714@gmail.com

社会資本整備の効果分析については、従来から整備前後の比較や地域間の比較が行われてきたが、対象事業のみの効果の抽出の困難性や因果関係の不明確性などの問題が指摘されてきた。そこで本研究では、これらの問題に対処できる計量経済学の実証分析手法の一つである差の差分析法（Difference in Differences）を用いて、都市鉄道整備が社会経済へ及ぼす影響を分析した。具体的には、2001年3月に開業した埼玉高速鉄道線及び2005年8月に開業したつくばエクスプレスを対象に、鉄道の整備前後における夜間人口密度、従業人口密度、地価の変化を地域別に把握するとともに、鉄道整備にともなうアクセシビリティの改善が、これらの指標の変化に及ぼす影響の因果効果を推定した。その結果、2路線とも夜間人口密度の増加及び地価の下落抑制との因果効果が確認された。

Key Words : urban railway construction, economic impacts, difference-in-differences

1. はじめに

東京圏の鉄道はこれまで国の運輸政策審議会答申等に基づき整備が行われ、ネットワークの充実化が図られてきた。最近の2000年以降においても、10路線（既設線の延伸や軌道を含む）が新規開業している。また、2016年4月には交通政策審議会より今後のあり方に関する答申が出され、国際競争力及び地域の成長に資するプロジェクトとして24路線が取り上げられている。

一般に鉄道整備による効果は、移動時間の短縮や交通費用の削減等の利用者への直接効果に加え、沿線地域や駅周辺地区における夜間人口の増加や企業の立地促進、労働生産性の向上、所得や資産価値の上昇などの間接効果があり、これらは総称してストック効果と呼ばれている。今後人口減少が進展していく中、厳しい財政制約下においても持続的な経済成長を実現するためには、ストック効果を最大限発揮する社会資本整備が必要である。そのための具体的な手法や仕組みを検討するうえで、社会資本整備による効果を定量的に分析することは重要である¹⁾。しかし従来までの効果計測は、整備前後の比較や地域間の比較が中心であり、対象事業のみの効果の抽出が困難であることや、因果関係の不明確性などの問題が指摘されている²⁾。

本研究では、これらの問題に対処できる計量経済学の実証分析手法の一つである差の差分析法（Difference in Differences）を用いて、都市鉄道整備が社会経済へ及ぼす影響を検証する。具体的には、2001年3月に開業した埼玉高速鉄道線及び2005年8月に開業したつくばエクスプレスを対象に、上述した間接効果のうち統計データの入手可能性などを考慮して、夜間人口密度、従業人口密度、地価の3項目に着目し、鉄道整備前後におけるこれらの指標の変化を把握するとともに、鉄道整備にともなうアクセシビリティの改善が、これらの指標の変化に及ぼす影響の因果効果を推定することを目的とする。

2. 差の差分析法の概要と既往研究の整理

(1) 差の差分析法の概要

差の差分析法は2時点間の指標値の差を処置群（Treatment group）と対照群（Control group）の2つのグループ間で比較し、処置群の因果効果を推定するものであり、概念図を図-1に示す。

本研究における処置群は鉄道整備によりアクセシビリティが改善された地域、対照群は改善されなかった地域を基本とする。開業前後の2時点における生産性指標の

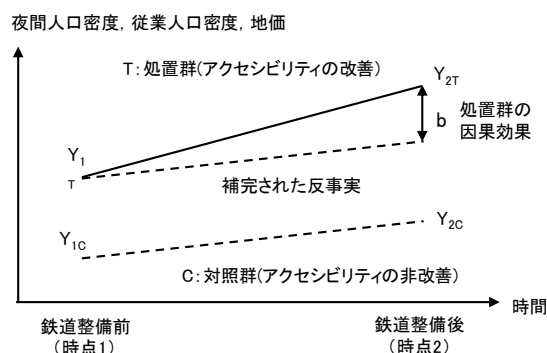


図-1 差の差分析法の概要

平均値を算出し、処置群の差分と対照群の差分との差分を算出することで、鉄道整備と処置群内社会経済指標の変化との因果効果を推定する。ここで、因果効果の推定式を式(1)に示す。

$$\tau = (Y_{2T} - Y_{1T}) - (Y_{2C} - Y_{1C}) \quad (1)$$

ここで、 τ は因果効果、 Y_{2T} は時点2の処置群の指標値、 Y_{1T} は時点1の処置群の指標値、 Y_{2C} は時点2の対照群の指標値、 Y_{1C} は時点1の対照群の指標値であり、4つの指標を用いることで容易に推定が可能である。

差の差分析法を適用する上で、まず各指標について地域別の傾向を把握する。具体的には、整備前後の2時点における夜間人口密度、従業人口密度、地価を比較することで、変化の度合いを把握する。なお、人口について密度を取る理由として、地域ごとの集積度合いを考慮するためである。

(2) 既往研究の整理

差の差分析法を用いて都市鉄道整備と人口や地価など社会経済指標の変化との因果効果を分析した既往研究は、複数存在する。Gibbonsら³⁾は1990年代後半にロンドンで整備された鉄道が周辺の地価に与える影響の因果効果を推定しており、Diaoら⁴⁾は2011年に開業したシンガポールのMRT環状線を対象に、鉄道整備が住宅価格に与える影響の因果効果を推定している。いずれの研究でも、鉄道整備により地価や住宅価格が上昇したことを明らかにしている。また、Mayerら⁵⁾は1975年から2000年の間にパリ都市圏での鉄道整備と企業の立地や雇用、人口の因果効果に関する分析を行い、周辺自治体の雇用が上昇したことを明らかにしている。

これらの既往研究に対して、鉄道が発達している東京圏については、著者ら⁶⁾の研究をはじめ、新線開業前後の社会経済指標の比較を行った調査研究はいくつか存在している。また、最近になり著者ら⁷⁾は、東京圏を対象に差の差分析法を用いて都市鉄道整備と人口密度や地価など社会経済指標の変化との因果効果の推定を試みてい

るが、対象は都市圏全域としており、個別路線に着目した分析までは行われていない。個別路線の評価の場合、アクセシビリティの改善度合いに応じて処置群と対照群を区分する閾値を設定するなど、地域の実情に応じた分析を行う必要がある。

以上の点を踏まえ本研究では、近年東京圏で整備された2つの路線に着目し、差の差分析法を用いて鉄道整備によるアクセシビリティの改善が、夜間人口密度、従業人口密度、地価の変化へ及ぼす因果効果を推定する。

3. 鉄道整備前後における社会経済指標の変化

(1) 対象路線及び分析に使用するデータ

本研究では、2001年3月に開業した埼玉高速鉄道線（赤羽岩淵駅～浦和美園駅）及び2005年8月に開業したつくばエクスプレス（秋葉原駅～つくば駅）を対象に、鉄道整備にともなうアクセシビリティの改善が、夜間人口密度、従業人口密度、地価の変化に及ぼす影響の因果効果を差の差分析法を用いて推定する。前後比較の時点は基本的に2000年と2010年とするが、夜間人口密度と地価については、最近の統計データの整備状況を踏まえて、2000年と2015年の比較も行う。

まず、アクセシビリティの指標として用いる地域間の所要時間は、交通政策審議会答申（2016年4月）の交通需要分析で用いられた小ゾーン単位で計測する⁸⁾。具体的には、任意のゾーンと東京圏内の全ゾーンとの間の所要時間（アクセス時間、乗車待ち時間、鉄道乗車時間、乗換時間、イグレス時間の合計）の平均値を算出し、これが当該ゾーンのアクセシビリティを表わすものとする。ここで東京圏については、通勤や業務での移動等を考慮して、第5回東京都市圏パーソントリップ調査と同じ圏域（東京都、神奈川県、埼玉県、千葉県、茨城県南部）とする。

夜間人口密度及び従業人口密度は、いずれも町丁目・大字単位で集計されたデータを用いる。なお、従業人口密度は使用する統計の制約上、2001年と2012年の2時点とし、産業分類は鉄道整備との関連性を踏まえて3次産業とする。また、地価は点データであるため、ゾーン内の複数地点の平均値を用いることとする。なお、時点やゾーンによっては地価データが存在しない場合もある。

以上の統計データを上述した小ゾーン単位に変換し、鉄道整備前後及び沿線内外における変化を把握する。なお、対象2路線の東京都区部（23区）内の駅については、他路線の駅勢圏に含まれる場合が多いことから、分析の対象外とする。ここで、分析に使用する統計データの概要を表-1に示す。

表-1 分析に使用する統計データの概要

項目	統計名	対象時点	備考
夜間人口	国勢調査	2015年	町丁目・大字単位
		2010年	
		2000年	
従業人口	経済センサス-活動調査 事業所・企業統計	2012年	町丁目・大字単位
		2001年	
		2000年	
地 価	公示地価	2015年	点データ
		2010年	
		2000年	

(2) 社会経済指標の変化

(a) 埼玉高速鉄道線

埼玉高速鉄道線の開業前後の夜間人口密度、従業人口密度、地価の差分を図-2に示す。時点は2000年と2010年である（従業人口密度は2001年と2012年）。これより夜間人口密度は、駅を含むゾーンを中心に増加傾向がみられ、従業人口密度は増加がみられるものの、一部ゾーン（浦和美園駅周辺ゾーン）を除き全体的に増加幅は小さい。地価は川口市の一部を除き全体的に下落傾向で

あるが、沿線ゾーンの方が下落幅は小さい。

また、2015年と2010年を比較すると、夜間人口密度は全域的に増加傾向が見られる一方、地価については、一部のゾーンを除いて全域的に下落傾向が続いている。

(b) つくばエクスプレス

(1)と同様に、つくばエクスプレスの開業前後の夜間人口密度、従業人口密度、地価の差分を図-3に示す。これより夜間人口密度と従業人口密度は駅を含むゾーンを中心に増加傾向がみられるが、夜間人口密度については全体的に増加幅は小さい。地価はつくば市の一部を除き全域的に下落傾向であるが、沿線ゾーンの方が下落幅は小さい。

また、2015年の動向を2010年を比較すると、夜間人口密度については、駅を含むゾーンを中心に増加傾向が見られる一方、地価については、一部のゾーンを除いて全域的に下落傾向が続いている。

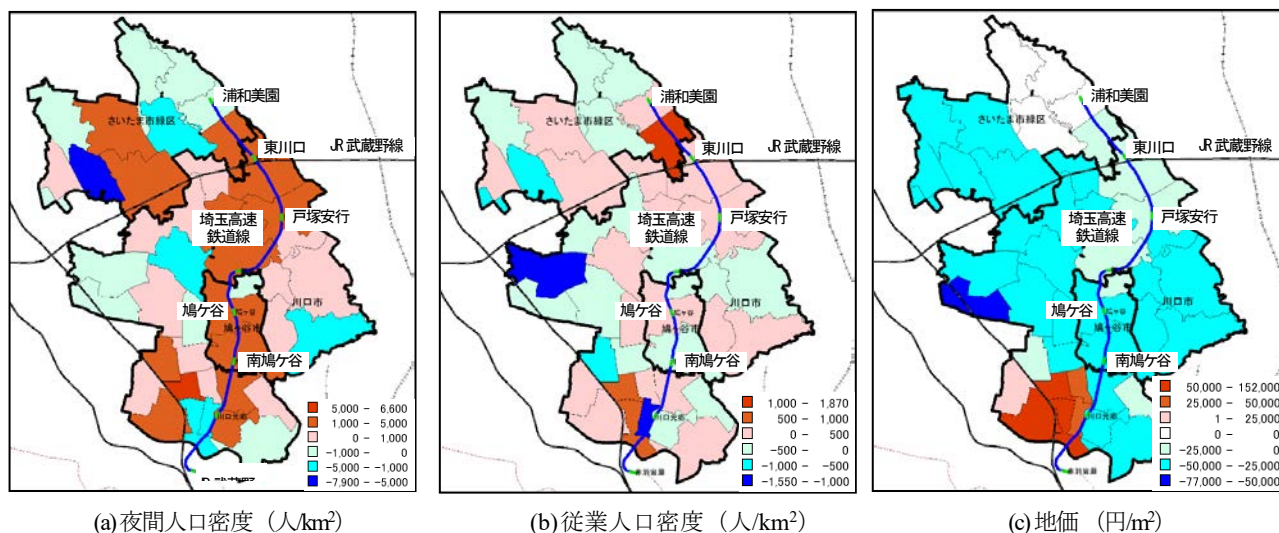


図-2 2000年～2010年の社会経済指標の変化（埼玉高速鉄道線）

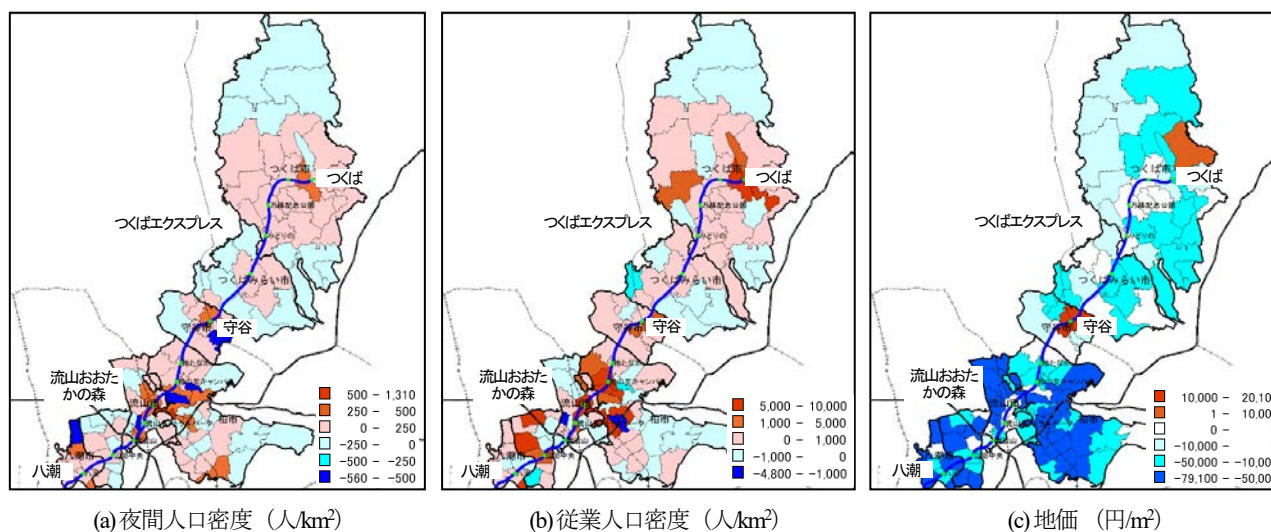


図-3 2000年～2010年の社会経済指標の変化（つくばエクスプレス）

4. 差の差分析法を用いた因果効果の推定

(1) 社会経済指標の変化

本章では、対象整備にともなう所要時間の短縮と社会経済指標の変化との因果効果を推定する。ここで、差の差分析法を適用するうえで重要となる処置群（改善ゾーン）と対照群（非改善ゾーン）を区分する際の閾値について、表-2 のとおり複数ケースを設定して統計的な有意差が生じるかを検定する。具体的には、Case1-1 と Case1-2 は駅を含むゾーンのアクセシビリティを基準としたもので、当該路線全駅の短縮所要時間の最小値以上のゾーンを処置群とするのが Case1-1、全駅の平均値以上のゾーンを処置群とするのが Case1-2 である。なお、最小値は埼玉高速鉄道線は 1.8 分、つくばエクスプレスは 2.5 分、平均値は埼玉高速鉄道線は 3.8 分、つくばエクスプレスは 14.8 分である。

一方、Case2 は既往研究³⁾を参考に物理的に閾値を設

定したもので、駅を中心に半径 1 km 圏内に含まれる地域を処置群、それ以外の地域を対照群とする。ここで 1 km と設定した理由としては、上述の交通政策審議会の夜間人口推計の過程で、最寄駅からの距離により年齢階層の社会増減傾向が異なることが示されており、特に 0 ～1 km では傾向が大きいためである。

なお、いずれのケースについても、対象地域は当該路線の駅が存する自治体（市区町）を範囲とする。これは地理的な近接性に基づき、鉄道整備前における処置群と対照群の同質性を担保するためである。

以上の設定に基づく各路線の処置群と対照群を図-4 及び図-5 にそれぞれ示す。なお、図-5 (b)及び(c)でつくば市の南側地域における複数のゾーンが対照群となっている理由として、JR 常磐線へのアクセスが可能のため、結果的につくばエクスプレスの整備前後での時間短縮が小さくなっていることが挙げられる。

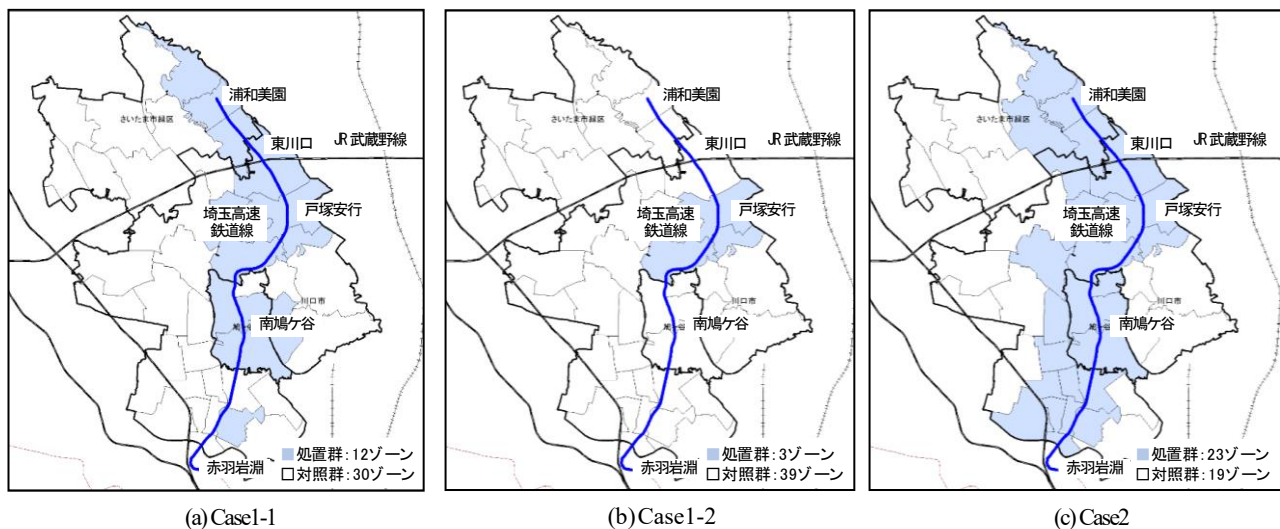


図-4 ケースごとの処置群と対照群（埼玉高速鉄道線）

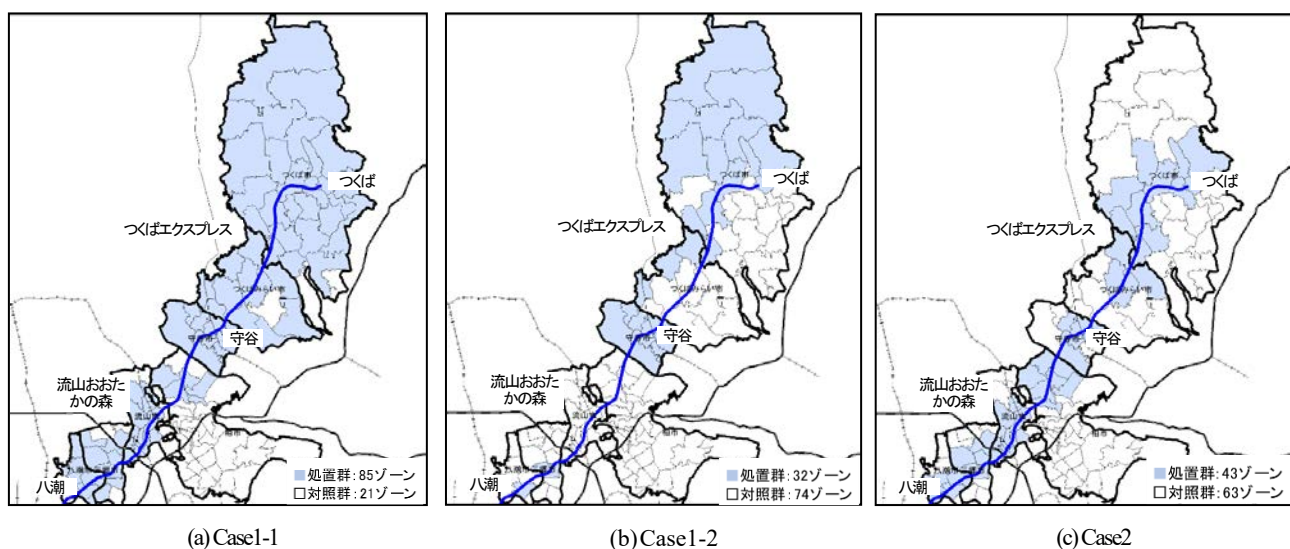


図-5 ケースごとの処置群と対照群（つくばエクスプレス）

表-2 ケースごとの処置群と対照群

Case	処置群 (改善ゾーン)	駅を含むゾーンのアクセシビリティ(※)が最小値以上の地域 (埼玉高速鉄道線:1.8分、つくばエクスプレス:2.5分)
Case 1-1	対照群 (非改善ゾーン)	上記以外の地域
Case 1-2	処置群 (改善ゾーン)	駅を含むゾーンのアクセシビリティ(※)が平均値以上の地域 (埼玉高速鉄道線:3.8分、つくばエクスプレス:14.8分)
	対照群 (非改善ゾーン)	上記以外の地域
Case 2	処置群 (改善ゾーン)	駅を中心に半径1km圏内に含まれる地域
	対照群 (非改善ゾーン)	上記以外の地域

※:アクセシビリティは当該ゾーンから他ゾーンへの移動時間の平均値として算出。

(2) 指標の平均値の差の算定

(a) 埼玉高速鉄道線

埼玉高速鉄道線における平均値の差の算定結果及び Welch の検定結果を表-3 (a)~(e)に示す。まず、ケース間での有意性を比較すると、夜間人口密度、従業人口密度、地価のいずれの指標とも Case2 の p 値が低く、統計的に有意な差が得られていることがわかる (5%有意もしくは 10%有意)。これより、駅を中心に半径 1 km 圏内に含まれるゾーンを処置群、それ以外のゾーンを対照群とすることで、一定の信頼性の下で因果効果を推定することが可能となる。

以上の結果を前提として、Case2 における個別指標ごとの因果効果を見ると、夜間人口密度については、2000 年~2010 年では 1,250 人/km²に対して 2000 年~2015 年では 1,162 人/km²と若干減少しているものの、概ね 1,000 人/km²以上増加している。すなわち、埼玉高速鉄道線の整

備によって、一定程度の夜間人口密度の増加が生じたものと考えられる。

従業人口密度については、2001 年~2012 年で 287 人/km²増加しているものの、変化の程度は低いものとなっている。これは、埼玉高速鉄道線が東京都区部と郊外部を結ぶ路線であり、沿線に業務地区がほとんど存在しないためと考えられる。

地価については、2000 年~2010 年では 32,418 円/m²、2000 年~2015 年では 32,280 円/m²とほぼ同じ水準である。図-2 (c) に示したとおり、地価については 2000 年以降、全域的に下落傾向であることから、埼玉高速鉄道線の整備によって、沿線ゾーンにおける地価の下落が抑制される効果が発現したものと考えられる。

(b) つくばエクスプレス

つくばエクスプレスにおける平均値の差の算定結果及び Welch の検定結果を表-4 (a)~(e)に示す。まず、ケース間での有意性を比較すると、夜間人口密度については Case2 が、地価については Case1-1 及び Case1-2 の p 値が低く、統計的に有意な差が得られていることがわかる (前者は 5%有意もしくは 10%有意、後者は 1%有意)。一方、従業人口密度については、いずれのケースも有意な差は得られていない。

以上より、夜間人口密度については、駅を中心に半径 1 km 圏内に含まれるゾーンを処置群、それ以外のゾーンを対照群とすることで、地価については、一定の平均

表-3 因果効果の推定結果 (埼玉高速鉄道線)

		2000年	2010年	差分	因果効果	p値	ゾーン数
Case1-1	処置群	7,494	7,921	427	-1,113	0.29	32
	対照群	11,410	12,950	1,540			10
Case1-2	処置群	3,808	5,201	1,393	755	0.12	3
	対照群	8,782	9,420	638			39
Case2	処置群	8,160	9,418	1,257	1,250	0.07 *	23
	対照群	8,749	8,757	8			19

		2000年	2015年	差分	因果効果	p値	ゾーン数
Case1-1	処置群	7,494	7,730	235	-840	0.19	32
	対照群	11,410	12,485	1,075			10
Case1-2	処置群	3,808	5,006	1,198	821	0.09 *	3
	対照群	8,782	9,159	377			39
Case2	処置群	8,160	9,122	961	1,162	0.08 *	23
	対照群	8,749	8,548	-201			19

		2001年	2012年	差分	因果効果	p値	ゾーン数
Case1-1	処置群	1,567	1,560	-8	-130	0.45	32
	対照群	3,806	3,928	122			10
Case1-2	処置群	647	833	186	175	0.41	3
	対照群	2,212	2,223	11			39
Case2	処置群	2,165	2,318	153	287	0.07 *	23
	対照群	2,022	1,888	-134			19

		2000年	2010年	差分	因果効果	p値	ゾーン数
Case1-1	処置群	204,298	176,504	-27,794	-44,020	0.08 *	28
	対照群	340,455	356,680	16,226			10
Case1-2	処置群	169,733	151,533	-18,200	-2,160	0.82	3
	対照群	246,163	230,123	-16,040			35
Case2	処置群	262,064	261,210	-854	32,418	0.02 **	20
	対照群	215,757	182,484	-33,272			18

		2000年	2015年	差分	因果効果	p値	ゾーン数
Case1-1	処置群	202,587	171,697	-30,890	-45,022	0.08 *	27
	対照群	340,455	354,587	14,132			10
Case1-2	処置群	169,733	147,250	-22,483	-4,093	0.70	3
	対照群	246,035	227,645	-18,390			34
Case2	処置群	262,064	258,173	-3,891	32,280	0.02 **	20
	対照群	213,713	177,542	-36,171			17

注: ***1%有意, **5%有意, *10%有意

表-4 因果効果の推定結果（つくばエクスプレス）

(a)夜間人口密度（2000年～2010年）

		2000年	2010年	差分	因果 効果	p値	ゾーン 数
Case1-1	処置群	2,667	2,887	220	81	0.80	85
	対照群	5,314	5,453	139			21
Case1-2	処置群	1,475	1,762	287	119	0.50	32
	対照群	3,934	4,101	168			74
Case2	処置群	2,575	2,966	391	315	0.10	43
	対照群	3,612	3,688	76			63

(c)従業員人口密度（2001年～2012年）

		2001年	2012年	差分	因果 効果	p値	ゾーン 数
Case1-1	処置群	691	813	122	30	0.71	85
	対照群	1,343	1,435	92			21
Case1-2	処置群	541	686	145	42	0.50	32
	対照群	935	1,039	104			74
Case2	処置群	770	931	161	75	0.20	43
	対照群	850	936	86			63

(d)地価（2000年～2010年）

		2000年	2010年	差分	因果 効果	p値	ゾーン 数
Case1-1	処置群	116,529	84,287	-32,243	22,104	0.00 ***	67
	対照群	175,598	121,251	-54,347			20
Case1-2	処置群	85,498	70,593	-14,906	30,959	0.00 ***	24
	対照群	147,103	101,238	-45,865			63
Case2	処置群	131,555	101,193	-30,362	10,817	0.05 *	31
	対照群	129,308	88,129	-41,178			56

(b)夜間人口密度（2000年～2015年）

		2000年	2015年	差分	因果 効果	p値	ゾーン 数
Case1-1	処置群	2,667	3,006	339	141	0.66	85
	対照群	5,314	5,513	198			21
Case1-2	処置群	1,475	1,965	490	176	0.28	32
	対照群	3,934	4,247	314			74
Case2	処置群	2,575	3,234	659	585	0.02 **	43
	対照群	3,612	3,686	74			63

(e)地価（2000年～2015年）

		2000年	2015年	差分	因果 効果	p値	ゾーン 数
Case1-1	処置群	122,458	82,653	-39,805	20,831	0.00 ***	62
	対照群	175,598	114,961	-60,636			20
Case1-2	処置群	91,860	69,984	-21,876	30,931	0.00 ***	21
	対照群	150,414	97,607	-52,807			61
Case2	処置群	140,516	100,319	-40,197	7,120	0.30	28
	対照群	132,775	85,459	-47,317			54

注：***1%有意、**5%有意、*10%有意

所要時間の短縮（4章 (I)に記載した 2.5 分以上もしくは 14.8 分以上）が図られたゾーンを処置群、それ以外のゾーンを対照群とすることで、一定の信頼性の下で因果効果を推定することが可能となる。

以上の結果を前提として個別の指標ごとに因果効果を見ると、夜間人口密度については、2000 年～2010 年は 315 人/km²に対して 2000 年～2015 年は 585 人/km²と増加しており、つくばエクスプレスの整備によって、一定程度の夜間人口密度の増加が生じたものと考えられる。

地価については、Case1-1 は 2000 年～2010 年では 22,104 円/m²、2000 年～2015 年では 20,831 円/m²、Case1-2 は 2000 年～2010 年では 30,959 円、2000 年～2015 年では 30,931 円/m²であり、金額に差はあるものの、つくばエクスプレスの整備によって、概ね 2 万円/m²～3 万円/m²程度の下落が抑制されたものと考えられる。

5. おわりに

本研究では近年開業した埼玉高速鉄道線及びつくばエクスプレスの 2 路線を対象に、鉄道整備にともなうアクセシビリティの改善が社会経済指標の変化に及ぼす影響の因果効果を推定した。処置群と対照群の区分方法のうち、一定の統計的信頼性が確保されているケースの結果に基づくと、2 路線とも鉄道整備と夜間人口密度の増加及び地価の下落抑制との因果効果が確認された。一方、

従業人口密度については、因果効果は確認されなかった。この要因の一つとして、対象とした 2 路線はいずれも東京都区部と郊外部を結ぶ路線であり、沿線地域において住宅開発等が行われている一方、業務地区の整備が限定的であることが考えられる。

最後に今後の課題として、本研究では差の差分析法を適用する際の対象地域の範囲を当該路線の駅が存する自治体（市区町）としたが、駅からの距離によって範囲を設定する方法についても検討が必要である。また、差の差分析法について、外的条件を考慮した重回帰モデルを用いることで、より精度の高い因果効果の推定を行うことも重要な課題である。

参考文献

- 1) 社会資本整備審議会・交通政策審議会交通体系分科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～，2016。
- 2) 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，土木計画研究・講演集，Vol.58，2018。
- 3) Gibbons, S., Machin, S.: Valuing rail access using transport innovations, *Journal of Urban Economics*, 57, 148–169, 2005。
- 4) Diao, M., et al.: Spatial-difference-in-differences models for impact of new mass rapid transit line on private housing values, *Regional Science and Urban Economics*, 67, 64–77, 2017。
- 5) Mayer, T. and Trevien, C.: The impact of urban transportation evidence from the Paris region”, *Journal of Urban Economics*, 102, 1–21, 2017。
- 6) 中川拓朗，堀江岳，金子雄一郎：東京圏における都市鉄道整備による社会経済への影響分析—近年の整備路線を

対象として，鉄道工学シンポジウム論文集，第21号，
pp.159-166，2017.

- 7) Kaneko, Y., Nakagawa, T., Phun, V. K., Kato, H.: Impacts of urban rail
investment on regional economies: Evidences from Tokyo using spatial

difference-in-differences analysis, *Transportation Research Board 98th
Annual Meeting*, 2019.

- 8) 交通政策審議会：鉄道需要分析手法に関するテクニカル
レポート，2016.

(2019.4.5 受付)

EMPIRICAL ANALYSIS OF SOCIAL ECONOMIC IMPACTS BY URBAN RAILWAY CONSTRUCTION USING DIFFERENCE-IN-DIFFERENCES

Yuichiro KANEKO and Takuro NAKAGAWA

The effect analysis of infrastructure development has been compared before and after construction, but the difficulty of extracting the effect of only the target project and the uncertainty of the causal relation have been pointed out. In this study, improvement of accessibility for each zone by two railway improvement in Tokyo metropolitan area since 2000 has been improved using the Difference-in-Differences which is one of the empirical analysis method, because the nighttime population density in the railway area, causal effects on changes in population density and land price were estimated.