

統計的因果推論による 地方鉄道と都市構造の関係についての評価

大津賀 柚花¹・猪井 博登²・中川 大³

¹ 非会員 富山大学大学院 理工学研究科理工学専攻 都市・交通デザイン学プログラム
(〒930-8555 富山市五福 3190) E-mail:m22c1702@ems.u-toyama.ac.jp

² 正会員 富山大学学術研究部都市デザイン学系 (〒930-8555 富山市五福 3190)
E-mail:inoi@sus.u-toyama.ac.jp

³ 正会員 富山大学学術研究部都市デザイン学系 (〒930-8555 富山市五福 3190)
E-mail:nakagawa@sus.u-toyama.ac.jp

2000 年頃までモータリゼーションの進展により地方鉄道の利用者数は減少傾向にあったが、自動車の普及が頭打ちになり、利用者数の低迷が続く路線がある一方で、回復傾向にある路線も増加しつつある。また、近年、地方都市では公共交通を軸として、その周辺に居住や都市機能を集中させるコンパクトシティを目指す都市が増えているが、その中心となるべき鉄道政策を積極的に進めている都市が極めて少ないのが現状である。以上から、鉄道の利便性と都市構造には何らかの関係があると考えられる。

そこで本研究では、鉄軌道に関する指標を輸送密度と運行本数とし、駅周辺への集約化の指標を駅勢圏人口の経年的な変化とする。地方鉄道のこれらの指標に着目し、指標間の関係や因果効果について、定量的な分析及び統計的因果推論の手法である差の差分分析によって推計した。

Key Words: local railway, user density, number of train service, population around rail station, difference-in-differences

1. 序論

近年、公共交通を軸としてその周辺に居住や都市機能を集中させた都市構造を目指す、コンパクトシティ構想が拡大している。コンパクトシティ構想を実現するうえでは、利便性の高い公共交通を整備することが1つの重要な要素であると考えられるが、多くの都市では、その中心となるべき鉄道政策が積極的に進められているとは言えない。

また、2000年頃まではモータリゼーションの進展によって地方鉄道の利用者数はほぼすべての路線において減少傾向にあった。しかし、2000年以降は自動車の普及が頭打ちとなったことによって、利用者数の低迷が続く路線がある一方で、回復傾向にある路線も増加しつつある¹⁾。

さらに、JR が立て続けに 2000 人/日未満の線区について経営状況に関する情報開示を行った²⁾。経営状況に関する課題を提示した上で、地域と共に持続可能な交通体系の実現について議論していきたい旨を発表している。

このことから、地方鉄道の現状として、その在り方につ

いて議論し、今後の運営形態について見直すことが必要な段階にあると考えられる。

筆者らの既往研究⁴⁾では、輸送密度、運行本数及び駅勢圏人口関係に着目し、複数の営業主や事業者において比較し、3 指標の関係について分析した。鉄軌道の運行本数が1時間に1本以上の頻度で運行し、列車の発車時刻がパターン化されているといった利便性が確保されている、輸送密度が増加傾向にある区間において、駅勢圏人口の増加が期待され、3 指標間で好循環につながる可能性があることを示した。

本研究では、輸送密度と運行本数を地方鉄道に関する指標とし、駅勢圏人口を都市構造の評価に用いる指標とする。そして、統計的因果推論による分析アプローチの一つである、差の差分分析を用いて、鉄軌道の輸送密度、運行本数及び駅勢圏人口の因果的な関係を定量的に明らかにする。さらに、地方鉄道における輸送密度、運行本数及び駅勢圏人口の関係を把握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方法

(1) 既往研究のレビュー

a) 公共交通や都市構造に関する研究

公共交通と都市構造との関係性に着目した研究として、全国の地方都市における鉄道・軌道を対象とし、鉄軌道駅の運行頻度の高低と、3 時点における駅周辺人口の経年変化から運行頻度と都市構造の関係を明らかにしている、長尾ら⁵⁾の研究がある。また、地方鉄道の維持に着目した森川ら⁶⁾は、沿線人口の変化と輸送密度の変化には乖離が見られることを示したうえで、一部の事業者を取り上げ、輸送や経営などの時系列データの傾向から事業者の衰退状況について考察している。しかしこれらの研究はある一定の都市人口を保有する都市や地域鉄道に限定して分析しており、複数の鉄軌道に関する指標から駅勢圏人口との関係を分析しておらず、さらに、指標間の因果的影響について分析、評価したものではない。

そして、特定の事業者、富山ライトレールに着目した研究として、鈴木ら⁷⁾や望月ら⁸⁾の研究がある。鈴木らは、富山市の居住人口や土地利用、地価の指標について時系列及び比較分析を行い、LRT 導入は人口誘導や地価の下落を抑制する効果があることを明らかにした。望月らは、富山ライトレール開業後の OD 調査や意識調査により、LRT 開業が利用者や沿線地域の住民の行動変動に与えた影響や沿線地域の社会経済に与えた影響について明らかにした。これらは、富山ライトレール開業後から間もない時点を対象としているため、長期での経年的な都市構造への効果、変動を示すには至っていない。

また、全国もしくは一部の地方都市の駅周辺人口に着目した中野⁹⁾や Oba et al¹⁰⁾は、経年的な駅周辺人口推移や人口集中度の特徴について分析している。しかし、これらは駅周辺の人口を中心に分析しており、鉄軌道に関する条件を考慮していない。

b) 土木計画学に統計的因果推論を用いた研究

土木計画学分野における統計的因果推論に着目した織田澤ら¹¹⁾は、統計的因果推論について、その手法を概説し、交通基盤整備評価への適用に向けた展望について述べている。

統計的因果推論の中でも、差の差分分析を用いて分析している研究として、植村ら¹²⁾の研究がある。植村らは、地方鉄道の存廃に着目し、地方鉄道の廃止が駅勢圏人口に負の影響を及ぼすことを統計的に明らかにしている。また、瀬谷ら¹³⁾の大規模小売店舗の出店が既存小売店舗の撤退及び売上げに与えた影響や、大庭¹⁴⁾の無電柱化事業が周辺地価に及ぼす影響、Oriol et al¹⁵⁾の高齢者の移動に着目し、歩行性の高低が高齢者の行動に及ぼす影響について、差の差分分析を用いて効果や効果の大きさを分析、推計している。

しかしながら、統計的因果推論の手法である差の差分分析は、地方都市における現存する鉄軌道には適用されておらず、地方鉄道と都市構造の因果関係を示すには至っていない。

(2) 本研究の方法

以上の既往研究のレビューを踏まえて、本研究では、地方都市における鉄道のうち一定の輸送密度の区間または路線のすべてを分析対象とした網羅的な分析を行う。輸送密度と運行本数を鉄軌道に関する指標、駅勢圏人口の経年的な変化を駅周辺の集約化の指標とする。地方鉄道と都市構造の関係として、3 指標間の因果関係に着目する。また、営業主体を JR と地域鉄道に分類し、それぞれの営業主体についても 3 指標間の因果関係について分析する。

本研究では、輸送密度、運行本数及び駅勢圏人口の 2005 年と 2015 年のパネルデータを作成する。パネルデータを用いた、各指標の経年的な変化より、3 指標の因果効果を統計的因果推論の手法である、差の差分分析を用いて推定し、因果効果を定量的に明らかにし、3 指標間の関係について評価する。

3. データベースの構築

(1) 本研究の対象区間の抽出

本研究では、地方鉄道を JR (JR 北海道・JR 東日本・JR 東海・JR 西日本・JR 四国・JR 九州)、地域鉄道 (中小民鉄・第三セクター) に分類する。地方鉄道の中から、全路線が同条件で揃う 2018 年の輸送密度データより、輸送密度が 1,000-5,000 人/日の路線・区間 (以下、区間とする) を対象とする。ただし、後述する全データが収集できない区間、または自然災害や他の公共交通機関への代替等の外的要因により、大幅に輸送密度の減少または増加が生じている区間を除外し、本研究の対象区間とする。以上より、JR は 108 区間、地域鉄道は 39 区間の、計 147 区間を本研究の対象区間とする。

(2) 鉄軌道の輸送密度と運行本数データの収集

輸送密度及び運行本数データを、2005, 2015 年の 2 時点で収集する。輸送密度について、2004-06 年の輸送密度データを平均した値を 2005 年輸送密度データとする。2005 年輸送密度データは、路線ごとのデータより、営業日数と営業キロを用いて路線別年間輸送人キロを算出し、該当区間が路線に占める輸送密度の割合から算出した。また、JR は各 JR 会社の公表値より、路線長の長い路線が多いため「区間ごと」(ただし、JR 東海は区間別データ未発表のため「路線ごと」)、地域鉄道 (中小民

鉄・第三セクター)は鉄道統計年報データより、比較的短距離の路線が多いため「路線ごと」に収集する。

運行本数は各路線の時刻表より、時間による変動が小さいことが期待され、鉄道の利便性をより有用な数値で表すことができると考えられる、平日のオフピーク時 9:00-16:59 の本数を算出する。各区間のある駅にて、オフピーク時に発車する列車を上り・下り方向で数え、それらの平均値を各対象区間の運行本数とする。各区間の運行本数の集計対象として、鉄軌道駅の利用者数が多いと考えられるターミナル駅に発着する本数とする。対象区間にターミナル駅が存在しない場合は、対象区間の端となる駅に発着する本数とする。ただし、寝台急行・寝台特急・運行日が限定されている列車は除外する。

各指標について、2005年から2015年にかけての経年的な変化を表すため、2015年データを2005年データで除した値を、それぞれ輸送密度増減率、運行本数増減率とする。

(3) 駅勢圏人口・駅勢圏人口密度の算出

本研究では、鉄軌道駅に徒歩でのアクセスが容易であると考えられる駅周辺 500m を駅勢圏都市、その範囲の人口を駅勢圏人口とする。2005, 2015 年の国勢調査結果を用いる。QGISにて、人口データを含む 500m メッシュと駅勢圏バッファにより駅勢圏内と駅勢圏外の面積比に基づいて、人口を按分することで駅勢圏人口を算出する。なお、異なる 2 駅以上の駅勢圏が重なる場合、重複を考

慮し、重複部を差し引いて算出する。また、重複部を考慮して全駅の駅勢圏を足し合わせた面積を駅勢圏面積とし、駅勢圏人口を駅勢圏面積で除した値を駅勢圏人口密度とする。

駅勢圏人口について、2005年から2015年にかけての経年的な変化を表すため、2015年データを2005年データで除した値を、駅勢圏人口増減率とする。

分析に用いるデータセットとして、使用したデータの一覧を表-1に、データの定義と記述統計量を表-2に示す。

4. 差の差分分析の概要

(1) 推定モデルの概要

本研究では、推定モデルとして差の差分分析を採用する。差の差分分析は、何らかの処置が加わったグループ(処置群)と加わらなかったグループ(対照群)のパネルデータを用いることで、共変量(処置の有無)によるバイアスを回避し、処置による因果効果を推定する。 Y_{T_t}, Y_{C_t} を処置群(T)および対照群(C)における時点tでの目的変数とする。時点tが処置前であれば0, 処置後であれば1とする。差の差分分析(Difference in difference: DID)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、式(1)のように表される。

$$DID = E[\{Y_{T_1} - Y_{C_1}\} - \{Y_{T_0} - Y_{C_0}\}] \quad (1)$$

本研究で用いる差の差分分析におけるモデル式は、式(1)より回帰モデルを用いて、t時点(t = 2005, 2015)における区間kの輸送密度または駅勢圏人口密度の値 Y_{kt} を目的変数としたとき、次の式(2)で表される。

$$Y_{kt} = \beta_0 + \beta_1 D_k + \beta_2 P_t + \beta_3 (D_k \cdot P_t) + e_{kt} \quad (2)$$

説明変数について、 D_k は処置の有無を表すダミー変数であり、区間kが処置群であれば1, 対照群であれば0となる。 P_t は処置の前後を表すダミー変数であり、処置後であれば1, 処置前であれば0となる。ゆえに、 $D_k \cdot P_t$ は処置の有無を表すダミー変数と処置前後を表すダミー変数の交差項であり、そのパラメータ β_3 が処置による因果効果、すなわち平均処置効果(ATE)である。また、 e_{kt} は誤差項を表す。

差の差分分析によってATEを推定するためには、平行トレンド仮定を満たしている必要がある。平行トレンド仮定とは、処置のなかった場合、処置群の結果と対照群の結果は平行な時間的変化を示すという仮定である。本研究で対象とする鉄軌道の区間は、地方鉄道からある一定の輸送密度を持つ区間であり、地方鉄道を保有する地

表-1 使用データ一覧

	年次		
	2005年	2015年	2018年
輸送密度	2004-06年データより算出※1	鉄道統計年報※2、各JR会社公表データ	鉄道統計年報・各JR会社公表データ
運行本数	JTB時刻表	駅すばあと	
駅勢圏人口	国勢調査4次メッシュデータ	国勢調査4次メッシュデータ	

※1 路線別年間輸送人キロデータより算出
 ※2 ひたちなか海浜鉄道は2016年データを使用

表-2 データの定義と記述統計量

データ名	定義	平均値	標準偏差
D_{05}	2005年輸送密度(人/日)	2,631	1,256
D_{15}	2015年輸送密度(人/日)	2,528	1,141
N_{05}	2005年運行本数(本)	12	18
N_{15}	2015年運行本数(本)	11	11
P_{05}	2005年駅勢圏人口(人)	16,862	18,525
P_{15}	2015年駅勢圏人口(人)	16,146	17,590
Pd_{05}	2005年駅勢圏人口密度(人/km ²)	1,777	1,179
Pd_{15}	2015年駅勢圏人口密度(人/km ²)	1,702	1,188
D_r	輸送密度増減率	0.961	0.244
N_r	運行本数増減率	0.947	0.445
P_r	駅勢圏人口増減率	0.958	0.064

方都市はいずれも、人口減少の傾向にある。しかし、各区間の営業主体が異なることや、その区間が走行する都市の規模によってバイアスが生じ、仮定の妥当性が低くなることが考えられる。

したがって、全区間を共変量となりうる要素でセグメンテーションし、差の差分分析を行うことで、平行トレンドが妥当であると仮定する。

本研究では、モデル式を用いて、処置群と対照群の差を *treat*、処置前後の差を *time*、差の差分分析によって求められる平均処置効果を DID として分析を実行する。

(2) セグメンテーションによる分類

本研究では、対象とする全区間での分析だけでなく、セグメントにより区間を分類し、分類後のグループを分析対象とし、差の差分分析を実行する。本研究で、対象区間を分類するセグメントについて概説する。

a) セグメント：営業主体

対象区間を営業主体でセグメントする。営業主体を JR または地域鉄道で分類し、営業主体で処置による因果関係の有無、効果の相違について分析、考察する。

営業主体ごとのデータの記述統計量について表-3 に示す。

b) セグメント：三大都市圏内外

本研究では、地方鉄道として輸送密度が 1,000-5,000 人/日としている。ゆえに、三大都市圏近郊の都市を走行する区間も含まれており、運行本数や輸送密度の大きさに影響すると考えられる。

ここで、三大都市圏を国土交通省が示す政策区域を用いて、次のように各都市圏の範囲と定義する。東京都を中心とした周辺都市については、既成市街地と近郊整備地帯に指定されている都市を首都圏とする。愛知県や三重県を中心とした周辺都市については、都市整備区域に指定されている都市を中部圏とする。大阪府や京都府、兵庫県を中心とした周辺都市については、既成都市区域と近郊整備区域に指定されている都市を近畿圏とする。

対象区間のうち、三大都市圏を走行していない区間を「三大都市圏外」、三大都市圏に定義した都市を走行するまたは一部走行している区間を「三大都市圏内」としてセグメンテーションする。

三大都市圏外と三大都市圏内のデータの記述統計量について表-4 に示す。

c) セグメント：輸送密度 2,000 人/日未満・以上

輸送密度の大きさによって対象区間をセグメンテーションする。前述したように 2022 年 4 月に JR 西日本が、同年 7 月に JR 東日本が、2019 年度実績において平均通過人員（輸送密度）が 2,000 人/日未満である線区（区間）の経営状況について開示した。開示された輸送密度 2,000 人/日未満の区間はすべて、経営状況が厳しいだけ

でなく、国鉄分割民営化し地域ごとに JR が発足した 1987 年度の輸送密度と比較して、2019 年度の輸送密度は大幅に減少している。また、かつて日本国有鉄道において、国鉄再建特措法に基づく特定地方交通線の考え方¹⁰より、鉄道からバスへ転換された 83 路線の中に、基準の一つとして「輸送密度 2,000 人/日」がある。

したがって、本研究では輸送密度 2,000 人/日を基準とし、輸送密度が 2,000 人/日未満の区間と 2,000 人/日以上で、運行本数や駅勢圏人口とどのような関係を示すか分析する。

対象区間を 2005 年時点での輸送密度が 2,000 人/日未

表-3 営業主体ごとのデータの記述統計量

データ	JR		地域鉄道	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差
D_{05}	2,784	1,247	2,249	1,189
D_{15}	2,589	1,170	2,368	1,029
N_{05}	9	5	20	31
N_{15}	9	5	18	18
Pd_{05}	1,622	853	2,291	1,589
Pd_{15}	1,544	834	2,229	1,631
D_r	0.930	0.252	1.053	0.199
N_r	0.964	0.347	0.901	0.643
P_r	0.952	0.061	0.973	0.069
区間数	108		39	

表-4 三大都市圏内外のデータの記述統計量

データ	三大都市圏外		三大都市圏内	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差
D_{05}	2,616	1,245	2,859	1,335
D_{15}	2,504	1,144	2,931	1,024
N_{05}	12	19	11	3
N_{15}	11	12	12	4
Pd_{05}	1,776	1,207	1,792	579
Pd_{15}	1,701	1,216	1,775	597
D_r	0.957	0.175	1.025	0.690
N_r	0.939	0.457	1.082	0.147
P_r	0.958	0.066	0.957	0.037
区間数	138		9	

表-5 輸送密度 2,000 人/日未満・以上のデータの記述統計量

データ	$D_{05_under2,000}$		$D_{05_over2,000}$		$D_{15_under2,000}$		$D_{15_over2,000}$	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
D_{05}	1,443	315	3,429	959	1,534	459	3,417	996
D_{15}	1,496	446	3,187	911	1,462	278	3,297	839
N_{05}	9	7	13	21	9	7	13	22
N_{15}	9	7	12	13	9	7	12	13
Pd_{05}	1,549	1,017	1,888	1,227	1,474	878	1,946	1,260
Pd_{15}	1,480	994	1,810	1,247	1,401	851	1,870	1,279
D_r	1.037	0.366	0.929	0.146	0.953	0.345	0.965	0.176
N_r	1.006	0.725	0.922	0.212	0.959	0.481	0.941	0.426
P_r	0.955	0.060	0.959	0.066	0.951	0.059	0.961	0.066
区間数	45		102		48		99	

満・以上でセグメントするとき、「 $D_{05_under2,000}$ 」と「 $D_{05_over2,000}$ 」とし分類する。また、2015年時点での輸送密度が2000人/日未満・以上でセグメントするとき、「 $D_{15_under2,000}$ 」と「 $D_{15_over2,000}$ 」とし分類する。

2005年及び2015年の輸送密度2000人/日未満・以上に分類したときのデータの記述統計量について表-5に示す。

5. 因果的影響についての分析と考察

(1) 運行本数が駅圏人口の経年的な変化に及ぼす影響

運行本数の高低が駅圏人口の経年的な変化に及ぼす因果的影響について分析する。本節では、「2015年運行本数が1時間に1本以上」であることを処置とする。た

だし、営業主でセグメンテーションしたとき、地域鉄道はすべての区間において運行本数が1時間に1本以上であるため、地域鉄道に関しては、「2015年運行本数が1時間に2本以上」であることを処置とする。

各セグメントの処置群と対照群における、2005年の増減率を1としたときの2015年駅圏人口の増減率平均を図-1に示す。セグメントが地域鉄道と三大都市圏内を除き、処置群で対照群より増減率が大きい。しかし、処置群と対照群との増減率平均の差は小さく、処置による変化はほとんど見られない。

また、差の差分分析結果を表-6に示す。F検定より、セグメントが全対象区間と地域鉄道、三大都市圏外、 $D_{05_under2,000}$ 、 $D_{15_under2,000}$ においてモデル全体として有意水準10%で統計的に有意であるという結果になった。そして、これらのセグメントでは説明変数としてい

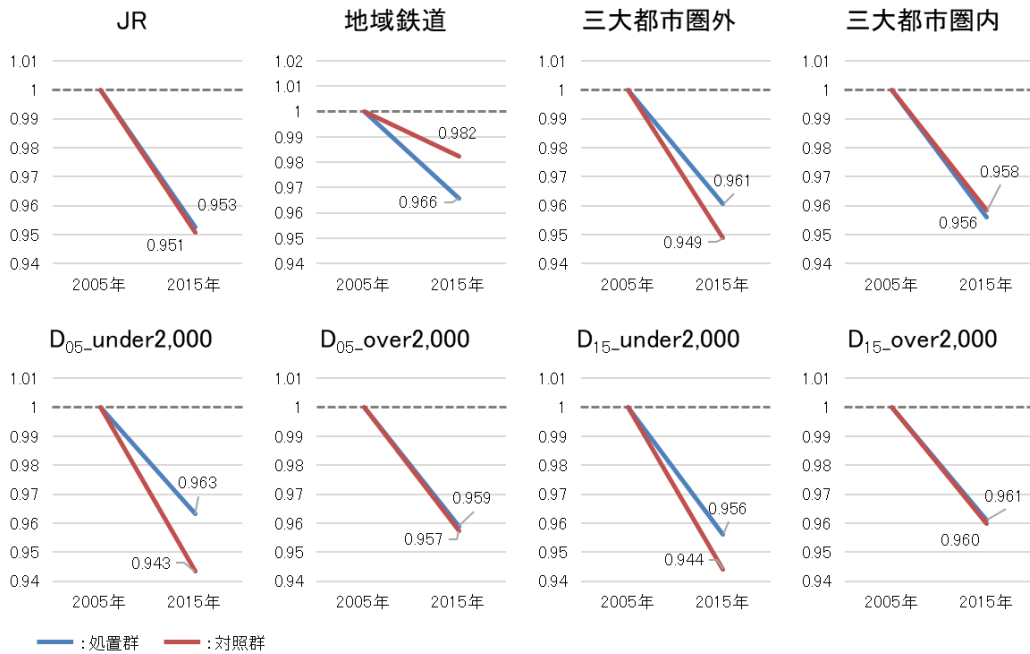


図-1 各セグメントにおける駅圏人口増減率

表-6 差の差分分析結果(1)

セグメント	区間数		F値	treat		time		DID	
	処置群	対照群		係数	P値	係数	P値	係数	P値
(全対象区間)	110	39	0.003 ***	570	0.009 ***	-81	0.757	18	0.953
JR	39	69	0.174	251	0.139	-81	0.670	10	0.966
地域鉄道	22	17	0.000 ***	1,510	0.002 ***	-35	0.945	-26	0.969
三大都市圏外	101	37	0.002 ***	618	0.007 ***	-81	0.770	17	0.958
三大都市圏内	7	2	0.944	-228	0.673	-94	0.889	33	0.966
$D_{05_under2,000}$	27	18	0.024 **	8,174	0.027 **	-596	0.881	-237	0.963
$D_{05_over2,000}$	81	21	0.368	358	0.239	-90	0.814	31	0.942
$D_{15_under2,000}$	26	22	0.034 **	519	0.036 **	-74	0.772	-13	0.971
$D_{15_over2,000}$	82	17	0.480	352	0.302	-91	0.835	35	0.942

***: $P < 0.01$, **: $P < 0.05$, *: $P < 0.1$

る *treat* のパラメータにおいても有意水準 10% で有意であるという結果になった。しかし、いずれの結果においても *time* のパラメータ及び、処置による平均処置効果を示す DID のパラメータでは有意な結果は得られなかった。

図-1 と表-6 を照らし合わせたとき、*treat* のパラメータが有意であるという結果になったセグメントにおいて、処置群と対照群の駅圏人口増減率の差が大きくなっている。

これらの結果より、運行本数が 1 時間に 1 本以上を処置としたとき、複数のセグメントで処置群が対照群よりも輸送密度の増減率が高いことを示した。また、運行本数の高低が駅圏人口の経年的な変化に因果的影響が及ぼすとは言えないという結果になった。

(2) 運行本数が輸送密度の経年的な変化に及ぼす影響

運行本数の高低が、輸送密度の経年的な変化に及ぼす因果的影響について分析する。本節では、前節と同様に「2015 年運行本数が 1 時間に 1 本以上」（ただし、地域鉄道のセグメントでは「2015 年運行本数が 1 時間に 2 本以上」）であることを処置とする。

各セグメントの処置群と対照群における、2005 年の増減率を 1 としたときの 2015 年輸送密度の増減率平均を図-2 に示す。すべてのセグメントにおいて処置群が対照群よりも増減率が高いという結果になった。さらに、地域鉄道と三大都市圏内、 $D_{05_under2,000}$ 、 $D_{15_under2,000}$ において処置群の増減率が 1 以上となっており、2015 年運行本数が 1 時間に 1 本以上であるとき、輸送密度は増加傾向にある。

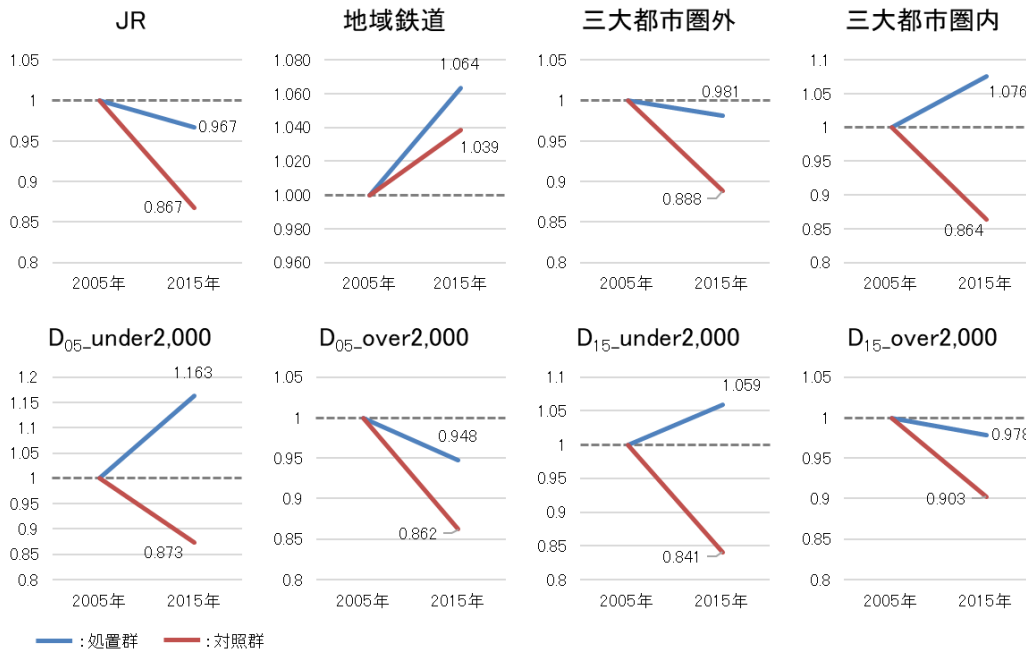


図-2 各セグメントにおける輸送密度増減率

表-7 差の差分析結果(2)

セグメント	区間数		F値	treat		time		DID	
	処置群	対照群		係数	P値	係数	P値	係数	P値
(全対象区間)	110	39	0.000 ***	617	0.005 ***	-316	0.230	230	0.454
JR	39	69	0.000 ***	940	0.000 ***	-316	0.212	147	0.643
地域鉄道	22	17	0.003 ***	917	0.008 ***	45	0.899	30	0.950
三大都市圏外	101	37	0.000 ***	590	0.009 ***	-319	0.238	243	0.442
三大都市圏内	7	2	0.571	977	0.352	-263	0.838	38	0.979
$D_{05_under2,000}$	27	18	0.061 *	-183	0.117	-197	0.124	430	0.010 **
$D_{05_over2,000}$	81	21	0.002 ***	427	0.059 *	-419	0.141	226	0.477
$D_{15_under2,000}$	26	22	0.065 *	-238	0.032 **	-285	0.014 **	310	0.048 **
$D_{15_over2,000}$	82	17	0.196	170	0.489	-357	0.260	236	0.498

***: P<0.01, **: P<0.05, *: P<0.1

また、差の差分分析結果を表-7 に示す。F 検定より、セグメントが三大都市圏内と $D_{15_over2,000}$ のとき以外では、モデル全体として有意水準 10% で統計的に有意であるという結果になった。これらのセグメントにおいて、 $D_{05_under2,000}$ 以外では $treat$ でも有意水準 10% で有意であった。さらに、 $D_{15_under2,000}$ では、 $time$ において有意水準 5% で有意であった。DID のパラメータでは、 $D_{05_under2,000}$ と $D_{15_under2,000}$ において有意水準 5% で有意であった。DID が有意であることは、処置が輸送密度の経年的な変化に影響したことを示している。したがって、これら 2 つのセグメントでは、運行本数の高低が輸送密度の経年的な変化に因果的影響を及ぼしているという結果になった。これらの DID のパラメータの係数は 430 と 310 といずれも正であるため、運行本数が 1 時間に 1 本以上であることが輸送密度の経年的な変化に正の影響を及ぼすことを示す。

推定された DID パラメータで統計的に有意となったセグメントに関して、図-2 と照らし合わせると、輸送密度増減率が処置群と対照群とで、差が大きい傾向にあることが確認できる。三大都市圏内においても処置群と対照群の差は大きいですが、区間数が少なかったため、有意な結果が得られなかったと推測される。

これらの結果より、運行本数が 1 時間に 1 本以上を処置としたとき、処置群が対照群よりも輸送密度の増減率が高いことを示した。また、輸送密度増減率が処置群と対照群とで、差が大きいとき DID のパラメータが有意となる結果が得られると推察される。そして、運行本数の高低は輸送密度の経年的な変化に、輸送密度が小さい区間において特に正の因果的影響を及ぼしていると推測される。

(3) 輸送密度の増減が駅圏人口の経年的な変化に及ぼす影響

輸送密度の増減が駅圏人口の経年的な変化に及ぼす因果的影響について分析する。本節では、「2005 年から 2015 年にかけて輸送密度が増加」したことを処置とする。

各セグメントの処置群と対照群における、2005 年の増減率を 1 としたときの 2015 年駅圏人口の増減率平均を図-3 に示す。すべてのセグメントにおいて処置群が対照群よりも増減率が高いという結果になった。セグメントが三大都市圏内以外の場合、処置群と対照群いずれも駅圏人口が減少していることを示しているが、減少幅は小さく、処置群と対照群の間に駅圏人口増減について大きな差は生じていないと推察される。

差の差分分析結果を表-8 に示す。F 検定より、セグメントが JR と地域鉄道、三大都市圏内以外では、モデル全体として有意水準 5% で統計的に有意であるという結果になった。そして、これらのセグメントにおいては、

$treat$ でも 10% 水準で有意であるという結果になった。しかし、 $time$ と DID では統計的に有意であるという結果は得られなかった。営業主体別のセグメントに着目すると、JR と地域鉄道いずれもモデル全体で統計的に有意ではない結果になったことから、輸送密度と駅圏人口の関係に営業主体は影響しないと考えられる。

これらの結果より、輸送密度の増加を処置としたとき、処置群が対照群よりも駅圏人口の増減率が高いことを示した。しかし、差の差分分析において DID が統計的に有意でなかったことから、輸送密度の増加は駅圏人口の経年的な変化に因果的影響を及ぼすとは言えないという結果になった。したがって、駅圏人口の経年的な変化には、鉄軌道に関する指標とは他の条件が起因していることが推察される。

6. 結論

本研究では、地方鉄道の 2018 年輸送密度が 1,000-5,000 人/日である区間を対象として、2005 年と 2015 年の輸送密度、運行本数及び駅圏人口のデータを構築し、差の差分分析を用いて、地方鉄道と都市構造の関係について分析した。輸送密度と運行本数を鉄軌道に関する指標、駅圏人口を都市構造の評価に用いる指標とした。

また、対象区間を共変量となりうると考えられる、営業主体、三大都市圏内外、輸送密度 2,000 人/日未満・以上でセグメンテーションし、それぞれのセグメントにおいて分析を実行した。

まず、回帰モデルを用いた差の差分分析により、運行本数の高低が駅圏人口に与える因果的影響についての分析を行った。モデル全体としては、いくつかのセグメントにおいて、有意水準 10% で統計的に有意であるという結果となった。しかし、処置による平均処置効果を示す DID のパラメータで有意な結果が得られなかったことから、運行本数の高低が駅圏人口の経年的な変化に因果的影響を及ぼすとは言えないという結果になった。

次に、運行本数の高低が輸送密度の経年的な変化に与える因果的影響についての分析を行った。モデル全体では、複数のセグメントで統計的に有意であることが示された。 $D_{05_under2,000}$ と $D_{15_under2,000}$ のセグメントで、DID のパラメータが有意水準 5% で統計的に有意であるという結果が得られた。また、それらのセグメントで DID の係数が正であったことから、輸送密度 2,000 人/日未満において、運行本数の高低が輸送密度の経年的な変化に正の因果的影響を及ぼすことを明らかにした。

続いて、輸送密度の増減が駅圏人口の経年的な変化に与える因果的影響についての分析を行った。複数のセグメントでモデル全体として、有意水準 5% で統計的

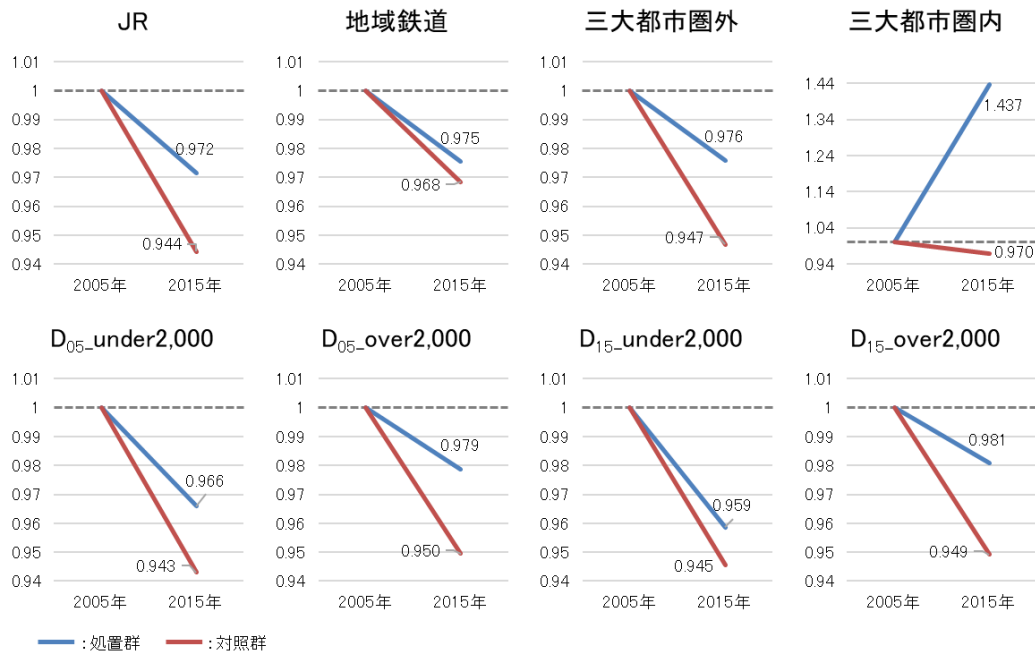


図-3 各セグメントにおける駅勢圏人口増減率

表-8 差の差分分析結果(3)

セグメント	区間数		F値	treat		time		DID	
	処置群	対照群		係数	P値	係数	P値	係数	P値
(全対象区間)	56	91	0.001 ***	533	0.007 ***	-85	0.622	43	0.876
JR	31	77	0.325	223	0.217	-75	0.583	0	1.000
地域鉄道	25	14	0.999	11	0.984	-54	0.931	7	0.993
三大都市圏外	52	86	0.001 ***	591	0.005 ***	-87	0.631	49	0.868
三大都市圏内	4	5	0.831	-261	0.558	-53	0.899	-35	0.955
D _{05_under2,000}	24	21	0.002 ***	794	0.006 ***	-77	0.791	4	0.992
D _{05_over2,000}	32	70	0.017 **	553	0.035 **	-87	0.673	70	0.850
D _{15_under2,000}	19	29	0.003 ***	664	0.007 ***	-78	0.717	-7	0.984
D _{15_over2,000}	37	62	0.047 **	486	0.064 *	-88	0.697	69	0.852

***: P<0.01, **: P<0.05, *: P<0.1

に有意であるという結果だったが、DIDのパラメータにおいて統計的に有意な結果は得られなかった。このことから、輸送密度の増加は駅勢圏人口の経年的な変化に因果的影響を及ぼすとは言えないことを明らかにした。

以上より、運行本数の高低は輸送密度の増減に正の因果的影響を及ぼすが、運行本数の高低と輸送密度の増減いずれも駅勢圏人口に因果的影響を及ぼすとは示せなかった。筆者らの既往研究によって、輸送密度、運行本数、駅勢圏人口の3指標間の関係性があることを示したが、本研究より、運行本数と輸送密度との間に因果関係が認められたのに対し、運行本数や輸送密度と駅勢圏人口との間に因果関係は示されなかった。

最後に本研究の結論を踏まえた課題を述べる。

まず、本研究の結果より駅勢圏人口の経年的な変化は、

輸送密度と運行本数以外の条件が起因していると推察される。さらに駅勢圏人口は駅や駅周辺の条件によって、人口の定着具合が異なると予想される。また、本研究では輸送密度が1,000-5,000人/日である区間を対象にしていることから統計的な分析をする上でのサンプル数が少なかったことも結果に影響したと懸念される。ゆえに、本研究は区間単位で分析したが、駅単位でデータを構築し、他の共変量となりうる要素を検討することが必要であると考えられる。また、他の共変量を加味することで、差の差分分析における処置を別に定義ができ、地方鉄道と都市構造の関係について多方面からの評価が可能になると思われる。

参考文献

- 1) 中川大：地方圏における都市と鉄道の新しい関係ーネガティブな循環からポジティブな循環への転換のためにー, 都市計画学会誌, Vol.69, No.5, 2020.
- 2) JR 東日本：ご利用の少ない線区の経営情報を開示します, https://www.jreast.co.jp/press/2022/20220728_ho01.pdf, 2022 年 9 月最終閲覧
- 3) JR 西日本：ローカル線に関する課題認識と情報開示について, https://www.westjr.co.jp/press/article/items/202411_02_local.pdf, 2022 年 9 月最終閲覧.
- 4) 大津賀柚花, 中川大：地方鉄道の輸送密度・運行本数・駅勢圏人口の経年変化とそれらの関係分析, 第 65 回土木計画学研究発表会・講演集, 2022.
- 5) 長尾基哉, 中川大, 松中亮治, 大庭哲治, 望月明彦：地方都市における鉄道・軌道の運行頻度に着目した駅周辺人口分布の経年変化に関する研究, 土木計画学研究・論文集, Vol.27, No.2, pp.399-407, 2010.
- 6) 森川裕貴, 石田東生, 岡本直久：時系列データにもとづいた地域鉄道の維持に関する考察, 土木計画学研究・講演集, Vol.49, pp.168-, 2014.
- 7) 鈴木一将, 森本章倫, 神田昌幸：LRT 導入による沿線の土地利用変化に関する研究, 土木計画学研究・講演集, No.45, 2012.
- 8) 望月明彦, 中川大, 笠原勤：富山ライトレールが地域交通にもたらした効果に関する実証分析, 日本都市計画学会学術研究論文集, No.42-3, pp.949-954, 2007.
- 9) 中野卓：全国の駅勢圏人口の経年変化と相対的な人口集中度, 日本都市計画学会・都市計画報告集, No.19, pp.385-388, 2021.
- 10) T.Oba, S.Matsuda, A.Michizuki, D.Nakagawa & R.Matsunaka : Effect of urban railroads on the land use structure of local cities, Urban Transport XIV, pp.437-445, WIT press, 2008.
- 11) 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, Vol.75, No.5, I_1-I_15, 2019.
- 12) 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, Vol.76, No.5, I_1127-1135, 2021.
- 13) 瀬谷創, 泊将史, 力石真：大規模小売店舗の出店が既存小売店舗の撤退及び売り上げに与えた影響, 土木学会論文集, Vol.74, No.3, pp.243-260, 2018.
- 14) 大庭哲治：着手・完了・抜柱時点を考慮した無電柱化事業が周辺地価に及ぼす因果的影響, 土木学会論文集, Vol.75, No.6, I_181-I_190, 2020.
- 15) Oriol Marquet , J. Aaron Hipp , Carme Miralles-Guasch : Neighborhood walkability and active ageing: A difference in differences assessment of active transportation over ten years, Journal of Transport & Health, Vol.7, , pp.190-201, 2017.
- 16) 国土交通省：昭和 58 年度運輸白書, <https://www.mlit.go.jp/hakusyo/transport/shouwa58/index.html>, 2022 年 9 月最終閲覧.

(2022.?.? 受付)

ASSESSING THE RELATIONSHIP BETWEEN LOCAL RAILWAYS AND URBAN STRUCTURE THROUGH CAUSAL INFERENCE IN STATISTICS

Yuka OTSUGA, Hiroto INOI and Dai NAKAGAWA

Until around 2000, the number of users of regional railroads was on a downward trend due to the development of motorization, but as the spread of cars reached the peak. Then the number of users continued to stagnate on some lines, while on the other hand, an increasing number of lines are on the to recovery. In addition, in recent years, an increasing number of local cities have been aiming to become compact cities, in which residences and urban functions are concentrated around a public transportation system. However, very few cities are actively pursuing railroad policies that should play a central role in such cities. From the above, it can be assumed that there is some relationship between railroad convenience and urban structure.

Therefore, in this study, the indicators related to railroads are user density and the number of train service, and the indicator of the concentration of population around stations is the change in the population around rail stations over time. We focused on these indicators for regional railroads and estimated the relationship and causal effects among the indicators through quantitative analysis and difference-in-differences analysis, a method of statistical causal inference.