統計的因果推論による
地方鉄道と駅勢圏人口との関係性分析

大津賀　柚花[1]・猪井　博登[2]・中川　大[3]

[1]学生会員　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　富山大学准教授　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　富山大学特別研究教授　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

地方鉄道の利用者は，モータリゼーションの進展により，減少傾向にあった．しかし，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，回復傾向にある路線もある．また，地方都市において，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．ゆえに，駅周辺への人口集約には利便性の高い公共交通の整備が課題である．

そこで本研究では，地方都市が有する鉄軌道に着目し，地方鉄道と駅勢圏人口との関係について分析する．輸送密度，運行本数および駅勢圏人口の 3 指標におけるパネルデータと，共変量として駅周辺の土地利用データを構築する．そして，統計的因果推論の手法である差の差分析により，3 指標間の関係性や因果効果について定量的に推計する．これにより，地方鉄道のサービスや利用と駅勢圏人口との相互間の影響について示す．

Key Words: 地方鉄道，輸送密度，運行本数，駅勢圏人口，差の差分析

1. 序論

公共交通が高い利便性を持ち，継続的に多くの人が公共交通を利用することで，沿線に人口が定着し，まちが活性化されるといった公共交通と都市の好循環が大都市圏において見られる．

それに対し，地方都市では，2000 年頃までモータリゼーションの進展により，人々の主な移動手段として自動車が急速に普及した．それに伴い，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 年以降は地方における自動車の普及が頭打ちとなり始めたことにより，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[1)]．

また，自動車の急速な普及は，都市の中心部から郊外部への人口の分散や市街地の拡大による低密度な市街地が形成を促した．そこで地方都市では近年，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形成し，まちの活性化や暮らしやすさを向上させる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ためは，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．しかし，多くの地方都市では，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．

さらに，2016 年には北海道旅客鉄道株式会社（JR 北海道）が「当社単独では維持することが困難な線区について」を公表した[2)]．2022 年には，西日本旅客鉄道株式会社（JR 西日本）[3)]と東日本旅客鉄道株式会社（JR 東日本）[4)]が立て続けに 2,000 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．地方を走行する線区について，沿線人口の減少・少子高齢化，道路整備や道路を中心としたまちづくりの進展などの地方の線区を取り巻く環境が変化する中で，厳しい利用状況であること，利用面や環境面から鉄道の優位性を発揮できていない状況であることを述べた．そのうえで，地方部における利用の少ない線区の経営状況に関する情報を提示した．そして，それらの課題を地域と共有すること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という旨を発表している．また，国土交通省が 2021 年には地域鉄道の全 95 社中 91 社とほぼすべての事業者が経常収支ベースで赤字を計上している[5)]ことを公表している．

これらのことから，地方鉄道の現状として，その在り方について沿線地域と議論し，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．

以上から，地方都市における鉄道路線では，利用者の減少に伴って，利便性の高い運行本数の確保が難しくなるといった問題が生じている．これが続くことにより，人々は鉄道から他の交通手段に頼るようになり，鉄道駅周辺から人口が流出し，都市の再拡大に繋がる恐れがある．

筆者らの既往研究 [6]では，輸送密度，運行本数および駅勢圏人口の 3 指標間の関係に着目し，複数の営業主体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利便性が確保されており，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．

以上から，地方鉄道における鉄軌道と駅勢圏人口には**図-1** のような好循環の生じる関係性が望ましいと考えられる．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である，差の差分析を用いて，鉄軌道の輸送密度，運行本数および駅勢圏人口の 3 指標間の因果的な関係について定量的に明らかに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特徴

(1) 既往研究のレビュー

a) 鉄軌道と駅周辺の都市構造との関係性に関する研究

全国の地方都市における鉄軌道に着目した長尾ら [7]は，鉄軌道駅の運行頻度の高低と駅勢圏人口の 3 時点データによる経年変化から，高い運行頻度を有する駅では，人口の増加や人口集中地区（DID）内の人口が高密度になることを明らかにした．しかし，運行頻度と駅周辺の都市構造との間に関係があることを示すに留まり，複数の指標を考慮したうえでの鉄軌道と駅周辺の都市構造との関係性を議論するに至っていない．地域鉄道の維持に着目した森川ら [8]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．これは，沿線人口の変化と輸送密度の変化との直接的な関係について，他の変数を交えた分析はされていない．

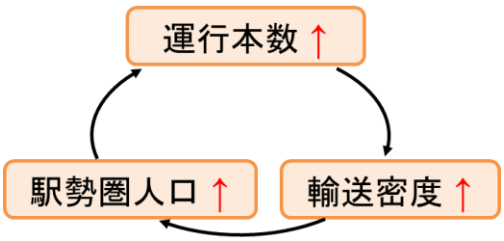


図-1 鉄軌道に関する指標と駅勢圏人口による好循環

次に，地方都市における鉄軌道の中でも富山ライトレール（LRT）に着目した研究として，鈴木ら [9]や望月ら [10]の研究がある．鈴木らは，富山市の居住人口と土地利用，地価の 3 つの指標について時系列分析を行い，LRT 導入は人口誘導や地価の下落抑制の効果があることを明らかにした．望月らは，富山 LRT 開業後の実証データや意識調査より，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．このように，地方都市で鉄軌道が沿線地域において，住民の行動や経済に変動をもたしたという結果になった例もある．これらの研究は，特定の鉄軌道に着目したものであり，全国の地方都市における鉄軌道の網羅的な研究ではない．

そして永東ら [11]は，地方鉄道の存廃による駅勢圏人口の変化に着目しており，鉄道路線の廃止から経過年数が大きくなるにつれて駅勢圏人口の減少が促進されることを明らかにした．このことから，地方都市において鉄道が駅勢圏人口の経年的な変化に影響を与えると推測される．

b) 土木計画学分野で統計的因果推論を適用した研究

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 [12]は，統計的因果推論の各手法について概説している．そして，交通基盤整備効果の因果推論に関する研究をレビューし，交通基盤整備評価への統計的因果推論アプローチの適用に向けた展望について述べている．

統計的因果推論の手法である，差の差分析を用いて分析されている土木計画学分野の研究について整理する．差の差分析を用いて処置効果の有無や処置効果の大きさを推計した研究として，植村ら [13]や織田澤ら [14]，佐藤ら [15]の研究が挙げられる．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統計的に負の影響を及ぼすことを明らかにしている．分析の際に，立地に関する変数や鉄道・交通に関する変数，土地利用に関する変数を共変量とし，傾向スコアを算出している．そして，傾向スコアで層別化されたグループごとに，差の差分析の推定モデルによって鉄道廃止の駅勢圏人口に対する影響を推定している．織田澤らは，都市間交通基盤整備に着目して差の差分析により，企業間取引ネットワークが企業の生産性に及ぼす影響について分析している．佐藤らは，富山市における居住誘導施策の効果の分析に差の差分析を用いている．また，差の差分析は国外の都市や交通分野でも注目されており，各研究に適したモデ

ルに応用されている手法である．例として，スペインにおける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推計した Marquet et al[16]や，カナダの新ライトレール交通を対象とし，LRT が住宅価格に与える影響を示した Qiu et al[17]，オーストラリアにおいて，LRT への鉄道投資が不動産価値と土地価値に与える影響について分析した Zhang[18]の研究が挙げられる．

以上の既往研究から，統計的因果推論の手法を用いる際の考慮するべき仮定や検討事項について言及されているが，差の差分析において，共変量となる変数の選択方法やモデル生成過程の適用方法は比較的任意であり，処置群と対照群の異質性についても問われることのない手法であることが把握された．

(2) 本研究の特徴

整理した既往研究のレビューから，鉄軌道と都市構造の関係性に着目している研究は多く見られた．しかし，それらは鉄軌道に関する一つの指標から，鉄軌道と都市構造との関係を評価しており，複数の指標間での関係性をについて分析している研究は見られない．また， 鉄軌道と都市構造を分析した研究の中でも，特定の鉄軌道に着目したものや，特定の都市に着目したものは見られる．しかし，特定の鉄軌道路線や都市規模によって，研究対象が抽出されており，鉄軌道規模により全国の地方鉄道を網羅的に分析はされていない．

そして，土木計画学分野において統計的因果推論を適用し，分析されている研究は散見される．このことから，一定の仮定や検討事項のもと，統計的因果推論の汎用性について理解した．また，鉄軌道と都市構造の因果関係を明らかにするため，廃止された鉄軌道路線を対象に統計的因果推論の手法により分析されている研究も見られるが，現存する鉄軌道と駅周辺の都市構造との関係性について統計的因果推論を用いて議論された研究は見られない．

これらを踏まえて，本研究の特徴として次の 3 点が挙げられる．

- 複数の鉄軌道に関する指標から，鉄軌道と駅周辺の都市構造について分析する点．
- 輸送密度の大きさで対象とる路線を抽出し，我が国が有する地方鉄道を網羅的に対象とする点．
- 現存する鉄軌道駅に関するデータから，統計的因果推論の手法を用い，鉄軌道と駅周辺の都市構造についての関係性を分析する点．

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）を対象区間とし，それらの区間に含まれる駅を本研究の対象駅とする．なお，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対象から除外する．さらに，除外後の対象区間に含まれる駅において，自然災害やデータの欠損により大幅に人口が増加または減少している場合，対象駅から除外する．以上より，JR は 108 区間 1,529 駅，地域鉄道は 39 区間 785 駅の計 147 区間 2,314 駅を本研究の対象駅とする（**図-2**）．

(2) 鉄軌道の輸送密度と運行本数データの構築

輸送密度およ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「区間単位」（ただし，JR 東海は区間別データ未発表のため「路線単位」），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「路線単位」で収集する．



図-2 本研究の対象駅

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 に発車する列車の本数をカウントする．なお，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．

(3) 駅勢圏人口データの構築

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 1km を駅勢圏とし，その範囲の人口を駅勢圏人口とする．1995, 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． 駅勢圏人口データについては，各駅の属性を考慮した分析を行うため「駅単位」でデータを構築する．

(4) 各指標の増減率の算出

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，2015 年データを 1995 年データで除した値を駅勢圏人口増減率とする．

すなわち，増減率が 1 未満の場合，経年的に減少していることを示し，増減率が 1 より大きい場合，経年的に増加していることを示す．

分析に用いるデータセットとして，使用したデータの記述統計量を表-1 に示す．

表-1 データの記述統計量

データ	平均値	標準偏差
2005年駅勢圏人口	5,646	6,016
2015年駅勢圏人口	5,467	6,006
2005年輸送密度	2,896	1,218
2015年輸送密度	2,739	1,099
2005年運行本数	20	23
2015年運行本数	17	18
駅勢圏人口増減率	0.929	0.111
輸送密度増減率	0.975	0.224
運行本数増減率	0.960	0.370

(5) 駅属性に関するデータの整備

本研究では，後述する分類により対象駅を分け，分析する．その分類の際に用いる，輸送密度，運行本数および駅勢圏人口に影響すると考えられる，駅属性に関するデータを整備する．本研究では，駅勢圏内の DID 人口集中地区の有無，土地利用区分面積についてデータを作成・整備した．

駅勢圏内の DID 人口集中地区については，国土数値情報より 2015（平成 27）年の DID 人口集中地区データを用いた．本データは，国勢調査の基本単位区（人口密度が 1 平方キロメートル当たり 4,000 人以上）をもとに，人口集中地区として設定された範囲の情報を整備したデータである．

土地利用については，国土数値情報より 2016（平成 28）年の土地利用細分メッシュデータを用いて整備した．国土数値情報には，100m 四方の土地利用細分メッシュ，同様に 100m 四方の都市地域土地利用細分メッシュ，1km 四方の土地利用 3 次メッシュ，50m 四方の土地利用詳細メッシュが整備されている．これらのデータから，本研究では，都市部や三大都市圏だけでなく，地方部まで国土全体を把握でき，より解像度の高いと判断される土地利用細分メッシュを採用した．土地利用細分メッシュと駅勢圏バッファを重ね，各利用区分で面積を算出し，利用区分面積を駅勢圏面積で除すことで土地利用区分面積割合を算出した．そして本研究では，人々が居住しており，人口の大きさに影響すると考えられる建物用地を可住地と捉え，各駅の建物用地の土地利用区分面積割合データを整備した．

4. 統計的因果推論の手法の概要

(1) 差の差分析における推定モデルの概要

本研究では，推定モデルとして差の差分析を採用する．差の差分析（Difference-in-differences: DID）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．差の差分析は，「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．

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

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方都市はいずれも，人口減少の傾向にあることから，平行トレンドが妥当であると仮定する． しかし，各区間の営業主体が異なることや，その駅属性によってバイアスが生じる可能性が考えられる．

したがって，全対象駅を共変量となりうる要素でセグメンテーションし，差の差分析を行うことで，より詳細な結果が得られることを期待される．

本研究では，回帰モデル式において，説明変数として，処置群ダミー（treat），処置後ダミー（time），treat*time で算出される DID（Difference-in-differences）ダミー（DID）を用いる．ここで，因果的関係の有無や因果的影響の大きさについて，DID パラメータで推定される統計的有意性および平均処置効果から判断する．

(2) セグメンテーションによる分類

本研究では，対象駅をセグメントにより分類し，分類後のグループを分析対象とし，それぞれについて差の差分析を実行する．以下，本研究において対象駅を分類するセグメントについて概説する．

a) 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する．

JR は，我が国の鉄道網の中心であり，大部分が都市間鉄道や通勤鉄道としての役割を担っている．また，JR グループは JR 貨物を除き 6 社の旅客事業会社があり，それぞれ事業区域が割り当てられており，その区域内の輸送を担っている．それに対し，地域鉄道は，地方都市における都市内の輸送を担う鉄軌道を運営している．それらは，鉄軌道により地域の課題解決やまちづくりと連動した運営が求められている．

したがって，特性の異なる JR と地域鉄道では 3 指標間の関係性に差異があると推察される．よって，営業主体でセグメンテーションし，『JR』と『地域鉄道』の各セグメントで分析する．

b) 2018 年輸送密度

本研究の背景として先述した，JR が情報開示した「輸送密度 2,000 人/日」に着目する．国鉄再建法で示された廃線対象は，輸送密度 4,000 人/日未満の路線であったが，この度 JR 西日本や JR 東日本が公表したのは輸送密度 2,000 人/日未満の路線である．国鉄分割民営化し地域ごとに JR が発足した 1987 年度と 2019 年度のデータを比較する形で公表された輸送密度 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，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より，鉄道からバスへ転換が検討された赤字 83 線の中に，第 1 次廃止対象路線の基準の一つとして「旅客輸送密度 2,000 人/日未満」がある [19]．ゆえに，輸送密度 2,000 人/日が地方鉄道運営および利用の一つのボーダーとして捉える．

本研究で対象区間を抽出の際に用いた，2018 年の輸送密度について，『輸送密度 2,000 人/日以上』と『輸送密度 2,000 人/日未満』のセグメントに分類する．

c) DID 人口集中地区

人口の増減に影響があると推察される，DID（Densely Inhabited District）人口集中地区について考慮する．駅属性に関するデータとして整備した駅勢圏内の DID 集中地区データを用いる．鉄軌道駅周辺に居住する人口密度が重要であると捉え，本研究では，駅が所在する地点が DID 人口集中地区に属するかではなく，駅から半径 1km 圏内の本研究で定義した駅勢圏に DID 人口集中地区が含まれるか否かでセグメンテーションする．駅勢圏に DID 人口集中地区を含む場合は『DID 含む』，含まない場合は『DID 含まない』のセグメントに分類する．

d) 建物用地率

前項同様，人口増減への影響を考慮し，DID 人口集中地区によるセグメントだけでなく，建物用地率によってもセグメンテーションする．本研究では，駅属性に関するデータとして，土地利用区分面積割合を整備した．その中から，建物用地も面積割合を用いてセグメンテーションする．建物用地面積の駅勢圏面積に占める割合が半分である，建物用地率 50%を基準とし，『建物用地率 50%以上』と『建物用地率 50%未満』のセグメントに分類する．

各セグメントにおけるデータの記述統計量について**表-2** に示す．

表-2　セグメント別データの記述統計量

セグメント / データ	JR		地域鉄道		輸送密度2,000人/日以上		輸送密度2,000人/日以上		DID含む		DID含まない		建物用地率50%以上		建物用地率50%未満	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
2005年駅勢圏人口	4,226	4,562	8,410	7,390	6,442	6,633	4,389	4,616	10,958	6,269	2,127	1,753	12,091	6,196	2,536	2,330
2015年駅勢圏人口	4,031	4,495	8,263	7,427	6,286	6,672	4,176	4,476	10,740	6,318	1,974	1,708	11,854	6,288	2,386	2,286
2005年輸送密度	3,035	1,208	2,625	1,191	3,612	974	1,767	494	2,935	1,242	2,870	1,201	2,993	1,237	2,849	1,206
2015年輸送密度	2,775	1,140	2,667	1,009	3,437	803	1,638	335	2,887	1,102	2,640	1,086	2,914	1,083	2,654	1,096
2005年運行本数	12	6	35	34	24	28	13	8	28	33	14	10	29	35	15	12
2015年運行本数	11	6	29	26	21	21	12	7	24	24	13	9	23	24	14	13
輸送密度増減率	0.910	0.112	0.964	0.102	0.935	0.113	0.918	0.107	0.978	0.095	0.896	0.109	0.976	0.095	0.906	0.112
運行本数増減率	0.932	0.234	1.057	0.177	0.973	0.156	0.977	0.302	1.017	0.210	0.946	0.229	1.006	0.193	0.960	0.236
駅勢圏人口増減率	0.941	0.216	0.998	0.557	0.988	0.420	0.916	0.267	1.002	0.517	0.933	0.221	0.981	0.525	0.950	0.264
駅数	1,529		785		1,416		898		922		1,392		753		1,561	

5.　因果的影響についての分析と考察

(1)　運行本数と輸送密度との因果的関係

運行本数と輸送密度の因果的関係について，分析する．ここで分析にあたり，因果的関係を差の差分析のモデル式に当てはめる場合，「原因」となる指標を処置とし，「結果」となる指標を目的変数とする．

本節では，運行本数の増加が輸送密度の経年変化に与える影響と，輸送密度の増加が運行本数の経年変化に与える影響について分析する．前章で示した各セグメントで分析を実行し，主な結果を**表-3** に示す．

まず，運行本数の増加が輸送密度の経年変化に与える影響に着目する．原因を「運行本数の増加」としたとき，2005 年から 2015 年にかけて運行本数が増加した場合を処置群に分類し処置群ダミー1，減少している場合を対照群に分類し処置群ダミー0 とした．全対象駅のデータセットを用いて分析した場合，有意水準 10%で有意ではなかったため，因果的関係は認められなかったが，DID パラメータの結果から正の効果があると推測される．各セグメントの分析から，複数のセグメントにおいて平均処置効果を示す DID パラメータで有意な結果となった．また，パラメータの値が正であることから，運行本数の増加は輸送密度の経年変化に正の影響を及ぼしていることが示された．分析結果より『輸送密度 2,000 人/日以上』や『DID 人口集中地区』，『建物用地率 50%以上』のセグメントにおいて統計的に有意な結果が得られた．したがって，地方鉄道において，輸送密度が 2,000 人/日以上の充分な利用者数が確保されている，または駅勢圏人口が大きい鉄軌道区間・駅で運行本数の増加と輸送密度の増加に因果的関係性が存在すると考えられる．差の差分析の結果から，『地域鉄道』のセグメントにおいても，モデル全体としては有意な結果とならなかったが，DID パラメータに有意な結果が得られた．地域鉄道は，本研究で対象にしているすべての区間において運行頻度が 2 本/h 以上確保されている．ゆえに，運行本数の増加だけでなく，高頻度の運行を維持していることも輸送密度の増加に寄与していることが考えられる．

次に，輸送密度の増加が運行本数の経年変化に与える影響に着目する．原因を「輸送密度の増加」としたとき，2005 年から 2015 年にかけての増減で処置群と対照群を分類した．『地域鉄道』や『DID 含む』，『建物用地 50%以上』のセグメントにおいて DID パラメータの結果が有意であった．また，その係数が正であったことから，輸送密度の増加が運行本数の経年変化に正の影響を与えることが示された．『DID 含まない』セグメントでは，有意水準 10%で DID パラメータが有意であるという結果になったが，その係数が負であることから，輸送密度の増加が運行本数の経年変化に負の影響を与えている．人口が集中しているような DID を含む駅や建物用地が駅勢圏の半分以上を占める駅が分類されるセグメントにお

表-3　運行本数と輸送密度との差の差分析結果

指標				駅数			DID	
原因	結果	分類	セグメント	処置群	対照群	F値	係数	P値
運行本数	輸送密度		(全対象駅)	980	1,334	0.000 ***	105.484	0.127
		営業主体	地域鉄道	370	415	0.297	197.208	0.078 *
		2018年輸送密度	輸送密度2,000人/日以上	655	761	0.000 ***	142.201	0.034 **
		DID人口集中地区	DID含む	423	499	0.000 ***	235.476	0.031 **
		建物用地率	建物用地50%以上	335	418	0.000 ***	243.233	0.042 **
輸送密度	運行本数		(全対象駅)	855	1,459	0.000 ***	1.365	0.260
		営業主体	地域鉄道	498	287	0.000 ***	9.023	0.004 ***
		DID人口集中地区	DID含む	449	473	0.000 ***	6.014	0.021 **
		DID人口集中地区	DID含まない	406	986	0.000 ***	−1.260	0.098 *
		建物用地率	建物用地50%以上	350	403	0.000 ***	5.442	0.069 *

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

いて正の影響を与えていることから，DID が含まれていないような駅勢圏内の人口が比較的少ない駅では，輸送密度が増加し需要があるような鉄軌道区間であっても運行本数を削減する傾向にあることが考えられる．

以上から，運行本数の増加が輸送密度の増加に影響し，輸送密度の増加が運行本数の増加に影響していることが分かった．したがって，運行本数の増加と輸送密度の増加は相互作用していることが推測される．つまり，鉄軌道のサービスを向上させることで利用者数が確保でき，利用者数が増加し経営面でも安定することで鉄軌道のサービスも向上することが期待される．

(2) 輸送密度と駅勢圏人口との因果的関係

輸送密度と駅勢圏人口の因果的関係について，分析する．前節同様，原因・結果となる指標を設定し分析を実行する．

本節では，輸送密度の増加が駅勢圏人口の経年変化に与える影響と，駅勢圏人口の増加が輸送密度の経年変化に与える影響について分析する．各セグメントで分析を実行し，主な結果を**表-4** に示す．

まず，輸送密度の増加が駅勢圏人口の経年変化に与える影響に着目する．全対象駅のデータセットを用いた分析では，DID パラメータの係数が正になったが，有意水準 10%でこの結果は有意でなかった．また，すべてのセグメントで分析を実施したが，DID パラメータが有意であるという結果は得られなかった．したがって，輸送密度の増加が駅勢圏人口の増加に直接の影響はないと推測される．

次に，駅勢圏人口の増加が輸送密度の経年変化に与える影響に着目する．原因を「駅勢圏人口の増加」としたとき，1995 年から 2015 年にかけて駅勢圏事項が増加している場合を処置群に分類し，減少している場合を対照群に分類した．原因を輸送密度や運行本数として置いた場合と異なり，駅勢圏人口は 1995 年から 2015 年での変化を用いた．これは，駅周辺の人口の変化が短期間では起こりづらいと考えられるためである．分析より，全対象駅では有意な結果は得られなかったが，係数は正となった．『輸送密度 2,000 人/日以上』のセグメントにおいては，有意水準 10%で有意となった．また，係数が正であることから，輸送密度が一定程度確保されている区間については，駅勢圏人口が増加した場合，輸送密度も伴って増加していると推測される．また，『DID 含まない』セグメントでも駅勢圏人口の増加が輸送密度の経年変化に正の影響を与えるという結果が得られた．ここで，セグメント『建物用地率 50%未満』においても有意水準 10%で有意とならなかったものの，P 値が 0.316 と他のセグメント結果に比べ低いことから，人口が集中していない駅において，駅勢圏人口が増加した場合，輸送密度の増加に繋がっていることが示唆された．

以上から，輸送密度の増加は駅勢圏人口の経年変化には影響していない可能性が統計的に示された．それに対し，駅勢圏人口の増加は輸送密度の増加に影響していると考えられる．したがって，駅周辺に居住地を移した人が，新規の鉄軌道利用者に繋がることが期待される．ただし，本研究では，駅勢圏人口があまり集中していないであろうグループにおいての結果であった．コンパクトシティの考え方としては，この現象が人口の集中している駅でも発現することが望ましいと思われる．

(3) 駅勢圏人口と運行本数との因果的関係

駅勢圏人口と運行本数の因果的関係について，分析する．前々節同様，原因・結果となる指標を設定し分析を実行する．

本節では，駅勢圏人口の増加が運行本数の経年変化に与える影響と，運行本数の増加が駅勢圏人口の経年変化に与える影響について分析する．各セグメントで分析を実行し，主な結果を**表-5** に示す．

まず，駅勢圏人口の増加が運行本数の経年変化に与える影響に着目する．全対象駅で分析を実施した結果，有意水準 1%で駅勢圏人口の増加と運行本数の経年変化との関係が統計的に有意であった．しかし，その係数が負であったことから，駅勢圏人口の増加が運行本数の経年変化に負の影響を及ぼしている可能性を示した．各セグメントでの分析でも，『地域鉄道』と『輸送密度 2,000 人/日以上』，『DID 含む』，『建物用地 50%以上』において，負の影響を及ぼすという結果になった．この原因として，輸送密度が大きいことや駅勢圏人口が大きいことで運行本数も多いことが挙げられると考えられる．2005 年の時点で充分な運行本数が確保されているような駅で，利用者やその周辺に居住している人が増加したの

表-4 輸送密度と駅勢圏人口との差の差分析結果

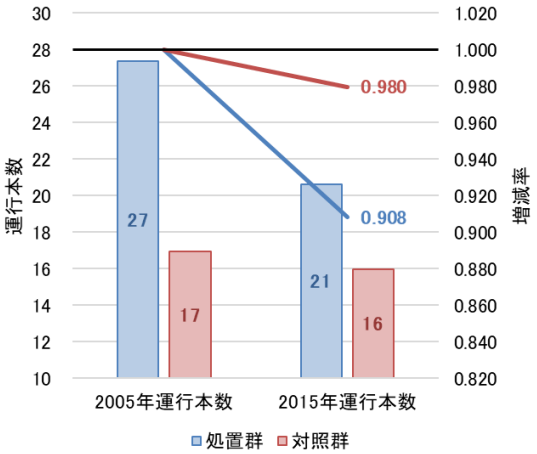
指標				駅数			DID	
原因	結果	分類	セグメント	処置群	対照群	F値	係数	P値
輸送密度	駅勢圏人口		（全対象駅）	855	1,459	0.000 ***	52.076	0.885
駅勢圏人口	輸送密度		（全対象駅）	624	1,690	0.000 ***	91.499	0.233
		2018年輸送密度	輸送密度2,000人/日以上	403	1,013	0.000 ***	125.103	0.093 *
		DID人口集中地区	DID含まない	273	1,119	0.000 ***	304.453	0.057 *

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

表-5　駅勢圏人口と運行本数との差の差分析結果

指標				駅数			DID	
原因	結果	分類	セグメント	処置群	対照群	F値	係数	P値
輸送密度	駅勢圏人口		(全対象駅)	855	1,459	0.000 ***	52.076	0.885
駅勢圏人口	輸送密度		(全対象駅)	624	1,690	0.000 ***	91.499	0.233
		2018年輸送密度	輸送密度2,000人/日以上	403	1,013	0.000 ***	125.103	0.093 *
		DID人口集中地区	DID含まない	273	1,119	0.000 ***	304.453	0.057 *

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



※増減率は2005年運行本数を1.000としたときの変化率とする。

図-3　処置群と対照群の運行本数比較

ちに 2015 年に運行本数が減少したことにより，駅勢圏人口は増加したが，運行本数は維持・増加されず減少傾向となった可能性が考えられる．図-3 に処置群と対照群の運行本数の平均変化および増減率の平均を示す．ここに示すように，処置群では運行本数が多いが，その分，対照群よりも大きく減少している．このことが原因で，平均処置効果が負の値を示したと推測される．したがって，統計的には駅勢圏人口の増加が運行本数の経年変化に負の影響を示したが，運行本数の高低や増減の大きさを考慮した分析・考察が求められる．

次に，運行本数の増加が駅勢圏人口の経年変化に与える因果的影響に着目する．全対象駅で分析を実施したが，モデル全体でも DID パラメータでも統計的に有意な結果とはならなかった．セグメントごとに分析した結果においても運行本数の増加と駅勢圏人口の経年変化に因果的関係は認められなかった．

以上から，駅勢圏人口の増加が運行本数の経年変化に負の影響を与えるという結果となった．しかし，運行本数の高低や増減の大きさを考慮した分析が課題である．また，運行本数の増加は駅勢圏人口の経年変化には影響していない可能性が統計的に示唆された．

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，運行本数および駅勢圏人口のデータを構築した．そして，差の差分析を用い，地方鉄道と都市構造の関係について分析した．分析の際に，輸送密度と運行本数を鉄軌道に関する指標，駅勢圏人口を都市構造の変化を評価する指標とした．

初めに，運行本数と輸送密度との因果的関係について差の差分析により分析した．複数のセグメントにおいて，運行本数の増加が輸送密度の経年変化に正の影響を与えており，さらに輸送密度の増加が運行本数の経年変化に正の影響を与えているということが分かった．ゆえに，運行本数の増加と輸送密度の増加には相互作用がはたらいており，鉄軌道のサービスをより充実させていくことで利用者が増加し，利用者数が増加することにより鉄軌道の事業者側が経営面でも安定することで鉄軌道のサービスも向上することが期待される．

次に，輸送密度と駅勢圏人口の因果的関係について分析した．輸送密度の増加による駅勢圏人口の経年変化への因果的影響は統計的に認められなかった．それに対し，駅勢圏人口の増加は輸送密度の経年変化へ正の影響を及ぼしていることが分かった．そのような結果は，輸送密度が 2,000 人/日以上確保されている，または駅勢圏人口が比較的小さいと思われるセグメントにおいて得られた．したがって，地方都市における鉄軌道の持続性となるような，駅周辺に居住地を移した人が，新規の鉄軌道利用者に繋がることが期待される．

最後に，駅勢圏人口と運行本数の因果的関係について分析した．統計的に，運行本数の増加は駅勢圏人口の経年変化に影響を及ぼしていないことが示され，駅勢圏人口の増加は運行本数の経年変化に負の影響を及ぼすと示された．しかし，処置群ではすでに高頻度で運行していたため，経年的に高頻度であることは維持していても，1 日に走行している全列車の本数が大きく減少している．そのために，平均処置効果が負の値を示したと推測される．ゆえに，運行本数の高低や増減の大きさを考慮した分析が必要である．

以上から，今後の課題として，指標間に因果的関係性

が認められたセグメントにおいて，そのグループに属している駅の傾向について詳細な分析し，その上での考察が必要である．そして，鉄軌道に関する指標として鉄軌道の利便性を示す指標を加味することが挙げられる．本研究では，鉄軌道の利便性を示す指標として運行本数を用いた．運行本数が増加し，利用しやすくなることで鉄軌道の利用者数の確保に繋がることが示唆された．そのため，鉄軌道の利便性を確保・向上させることで利用者数が確保され，最終的に経営的に安定し，鉄軌道を必要としている人々に還元されることを定量的に示される必要があると思われる．

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, Vol69, No.5, 2020.
2) JR 北海道：当社単独では維持することが困難な線区について，https://www.jrhokkaido.co.jp/pdf/161215-4.pdf，2023 年 10 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/220411_02_local.pdf，2023 年 10 月最終閲覧.
4) 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，2023 年 10 月最終閲覧.
5) 国土交通省：地域鉄道対策，https://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_tk5_000002.html，2023 年 10 月最終閲覧.
6) 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（CD-ROM），2022.
7) 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.
8) 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，第 49 回土木計画学研究発表会・講演集，2014.
9) 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，第 45 回土木計画学研究発表会・講演集，2012.
10) 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.
11) 永東功嗣，中川大，松中亮治，大庭哲治，松原光也：地方鉄道の存廃が駅勢圏人口の経年的変化に及ぼす影響に関する研究，第 44 回土木計画学研究発表会・講演集，2011.
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, I_1-I_15, 2019.
13) 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），Vol.76, No.5, I_1127-I1135, 2021.
14) 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), Vol.74, No.5, I_483-I_491, 2018.
15) 佐藤徹治，原祐樹，名越綾香：立地適正化計画に基づく居住誘導施策検討の実態と富山市における施策効果の分析，都市計画論文集，Vol.55, No.3, pp.561-568, 2020.
16) Marquet, O., Hipp, J. A., Miralles-Guasch, C.: Neighborhood walkability and active ageing: A difference in differences assessment of active transportation over ten years, Journal of Transport & Health, 7, 190-201, 2017.
17) Qui, F., Tong, Q.: A spatial difference-in-differences approach to evaluate the impact of light rail transit on property values, Economic Modelling, 99, Article 105496, 2021.
18) Zang, M.: Value uplift from transit investment-Property value or land value? A case study of the Gold Coast light rail system in Australia, Transit Policy, 132, 88-98, 2023.
19) 国土交通省：昭和 58 年度運輸白書，第 1 節　地域交通をめぐる新しい動き，5　国鉄特定地方交通線のバス等への転換，https://www.mlit.go.jp/hakusyo/transport/shouwa58/index.html，2023 年 10 月最終閲覧.

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.