

鉄道撤退が人口に与える影響の因果推論

東北大学工学部建築・社会環境工学科 非会員 ○粕尾周平

東北大学大学院情報科学研究科 正会員 福本潤也

1. はじめに

我が国では地方鉄道の廃線が相次いでいる。存続している場合も赤字経営の路線が多い。大手鉄道会社を除けば、経営を支えているのは沿線の地方公共団体である。地域住民の同意を得られなければ赤字を負担できないため、すぐにでも廃線される可能性がある。負担の継続を問う段階の議論では、今後交通サービスを維持可能であるかが主な論点となる。しかし、地方鉄道は地域の足としてだけではなく、地域活性化、観光振興、安心感などの様々な便益をもたらすと考えられる。

地方鉄道の社会的価値について様々な研究が行われてきた。特定の路線を対象としたアンケート調査を用いた研究事例が多い一方、地方鉄道の廃線による影響を評価した研究事例は限られている。公共資本が周辺地域に与える影響は世界的にも学術的関心の高い分野であり、鉄道による経済的影響に関する研究が多数行われている。しかし、鉄道建設・駅設置・ネットワーク拡大の影響に関する研究がほとんどであり、鉄道廃線の影響に関する研究事例は数少ない。鉄道廃線に関する数少ない既往研究¹⁾では、鉄道廃線前後の2時点で周辺地域人口減少率を比較している。しかし、人口減少には鉄道廃線以外の要因も影響しており、鉄道廃線の純粋な影響評価を行っているとは言えない。

本研究では、仮想事実との対比による因果推論アプローチを用いて、鉄道廃線による影響をより厳密に定量化することを目指す。鉄道廃線路線沿線の小地域のコーホート変化率の介入時結果（処置群）と非介入時結果（対照群）の比較により、鉄道廃線による人口減少効果（具体的には、処置群に対する平均処置効果：ATET）を推定する。

2. 使用データ

本研究では経済的影響の指標を小地域の人口変化とし、各小地域の各年齢階層別コーホート変化率を比較する。人口データとして、国勢調査小地域男女年齢別人口1995年～2015年を用いる。使用する小地域は分析対象とする廃線路線と沿線地域の定義に準ずるものとした。今回の分析対象は1995年から2009年の間に廃線した22路線の駅周辺地域とする。路線の選定、駅周辺地域の定義については発表時に詳しく説明する。

コーホート変化率は以下の式から求める。

$$\begin{aligned} \cdot 5\sim 74 \text{ 歳以上人口} : t+5P_i^{g,x+5\sim x+9} \\ = tP_i^{g,x\sim x+4} \cdot \frac{tP_i^{g,x+5\sim x+9}}{t-5P_i^{g,x\sim x+4}} = tP_i^{g,x\sim x+4} \cdot R_i^{g,x\sim x+4} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \cdot 75 \text{ 歳以上人口} : t+5P_i^{g,75\sim} \\ = tP_i^{g,70\sim} \cdot \frac{tP_i^{g,75\sim}}{t-5P_i^{g,70\sim}} = tP_i^{g,70\sim} \cdot R_i^{g,75\sim} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \cdot 0\sim 4 \text{ 歳人口} : t+5P_i^{f+m,0\sim 4} \\ = t+5P_i^{f,25\sim 34} \cdot \frac{tP_i^{f,0\sim 4}}{tP_i^{f,25\sim 34}} = t+5P_i^{f,25\sim 34} \cdot r_i^{f,25\sim 34} \end{aligned} \quad (3)$$

ただし、 $tP_i^{g,x\sim x+4}$ はt年における小地域iのx～x+4歳の性別g={f,m}の人口、rは婦人・子供比率と呼ばれる原単位である。Rがコーホート変化率である。

3. 反実仮想モデル(ルービンの因果モデル)

廃線した路線沿線小地域において観測されている人口減少率と、仮想的に廃線しなかった場合の人口減少率を比較するため、ルービンの因果モデルを用いる。ある路線沿線小地域 i についての結果変数（本研究においては廃線後のコーホート変化率）を Y_i とし、その地域を沿線とする路線が廃線している（処置群である）場合の潜在的結果変数 Y_{1i} 、していない（対照群である）場合の潜在的結果変数 Y_{0i} 、処置群と対照群への割り当て変数を T_i （処置群 = 1、対照群 = 0）とする。この時、ある小地域 i における平均処置効果 τ (ATE) は以下の式で定義できる。

$$\begin{aligned}\tau &= E(Y_i|T_i = 1) - E(Y_i|T_i = 0) \\ &= E(Y_{1i}|T_i = 1) - E(Y_{0i}|T_i = 0) \\ &= E(Y_{1i} - Y_{0i}|T_i = 1) + E(Y_{0i}|T_i = 1) - E(Y_{0i}|T_i = 0)\end{aligned}\quad (4)$$

4. 分析理論

本研究で求めたいのは(4)式の第一項 $E(Y_{1i} - Y_{0i}|T_i = 1)$ 、すなわち処置群に対する平均処置効果 ATET (average treatment effect on the treated) である。結果変数 Y_i が観測されるか欠測するかがランダムな欠測条件を満たす場合、すなわち、 $E(Y_{0i}|T_i = 1) = E(Y_{0i}|T_i = 0)$ が成り立つ場合に(4)式より ATET を求めることができる。

強く無視できる割り当て条件 (SLTA) はランダムな欠測条件が成立するための十分条件である。SLTA は、潜在的結果変数 Y_1, Y_0 を共変量 X で条件付けた場合に Y_1 と Y_0 の同時分布が割り当て変数 T と独立であるという条件である。SLTA は次式で表現できる。

$$(Y_1, Y_0) \perp T | X \quad (5)$$

SLTA が成立するとき、平均での独立性 (mean independence) が成り立ち、因果効果を以下のように表現できる。

$$E(Y_1|T, X) = E(Y_1|X) \quad (6)$$

$$E(Y_0|T, X) = E(Y_0|X) \quad (7)$$

平均での独立性が成立するとき、共変量を条件付けた時の因果効果は以下のように表現できる。

$$E(Y_1 - Y_0|X) = E(Y_1|T = 1, X) - E(Y_0|T = 0, X) \quad (8)$$

式(8)は、理論上は共変量で条件付けることにより、現実には観測できない結果を無視して観測可能な結果のみを用いて ATET が推定できることを意味する。しかし、一般的に共変量は1つではなく複数存在しているため、対照群から全ての共変量が一致しているものを見つけてマッチングさせるのは難しい。そこで、本研究では共変量を1つの指標として集約した傾向スコアを用いてマッチングを試みる。本研究では傾向スコアの算出にロジスティック回帰モデルを用いる。

5. おわりに

本研究の理論において、対象としている廃線路線沿線の小地域のサンプル数の限界などにより、傾向スコアに集約できる共変量の数にも制限が出てくることが予想される。廃線による因果効果の推定結果に加えて、傾向スコアの妥当性などについては発表まで分析して報告する。

6. 参考文献

- 1) 坂本淳・山岡俊一：地域鉄道の廃止と駅周辺における社会経済の変化の関係分析、都市計画論文集、2017
- 2) Ahmadreza Talebian et al. : Assessing the impacts of state-supported rail services on local population and employment: A California case study、Transport Policy、2018