

交通系 IC カードデータを用いた公共交通利用の多様性評価と都市計画への政策的示唆

広島大学 学生会員 ○藤原 悠
東京大学 正会員 浦田 淳司
広島大学 正会員 藤原 章正
広島大学 正会員 力石 真

1. 背景・目的

都市と交通、あるいは土地利用と交通は相互に影響し合うため、人や物の空間移動をよりよく理解することは、よりよい都市計画や交通計画の第一歩となる。空間移動を理解するために、長い間、PT調査等のアンケート調査データに依存してきたが、近年の情報通信技術の急速な発展に伴い、データ提供者に負担をかけることなく、大量のデータを得ることができるようになった。これらのデータに基づく研究や社会実装が積極的に進められている。本研究では、これらのデータの更なる活用を念頭に、交通系 IC カードデータの長期的な交通計画への活用可能性を探る。

交通系 IC カードデータは、個人レベルでの公共交通利用の長期的な履歴に関する情報を提供するため、空間的・時間的に駅がどのように利用されているかという情報は、公共交通がどのように都市活動を支えているかを理解するために利用することができる。例えば、駅やバス停が主に一定数のリピーターによって利用されているのか、それとも非リピーターによって多く利用されているのかを把握できる。また、公共交通が通勤目的でしか利用されていない(ピーク時にリピーターが多い)場合、公共交通はショッピングやレジャーなどの非通勤活動をサポートしていないと推測できる。しかし、社会経済属性データや旅行目的のデータは通常入手できないため、データには時間と場所の情報が主であり、公共交通の利用目的を正確に推察することは困難である。そのため、公共交通の利用に関する推論を得るための分析手法を開発する必要がある。

本研究では、駅/バス停レベルでの公共交通利用の周期性を定量化し、土地利用パターンや駅/バス停へのアクセス性との関係を分析することで、都市における各駅/バス停の役割を推定する手法を開発する。具体的には、交通系 IC カードデータを用いて、公共交通の定期的な利用度(以降、「日常度」と表記する)を定量化する方法を提案する。そして、トリップごとの公共交通利用の日常度を用いて、「定期的に公共交通機関を利用している人と不定期に利用している人など、様々な頻度で公共交通機関を利用する人が混在している度合い」を多様性と定義する。提案手法を、広島県の公共交通機関で広く利用されている IC カード「PASPY」から得られたデータに適用し、その政策的示唆について議論する。議論においては、定期的な利用者と非定期的な利用者の両方が利用する駅・バス停の方が、利用が偏っている駅/バス停よりも、都市にとってより良いものになると仮定する。言い換えれば、公共交通利用の多様性が高い方が、公共交通機関の利用のされ方として望ましいと仮定している。

駅/バス停の特徴をさらに明らかにするために、公共交通利用の多様性に寄与する要因を分析する。特に、土地利用とアクセシビリティが公共交通利用の多様性に与える影響に注目する。土地利用は、旅行目的の代理変数として考えることができ、ここでは、目的地選択モデルから得られる期待最小一般化費用をアクセシビリティ指数として算出する。図-1は、分析の流れをまとめたものである。

キーワード 交通系 IC カード, データマイニング, 多様性, 土地利用, アクセシビリティ

連絡先 〒739-8529 東広島市鏡山 1-5-1 広島大学 大学院先進理工系科学研究科 TEL 082-424-46

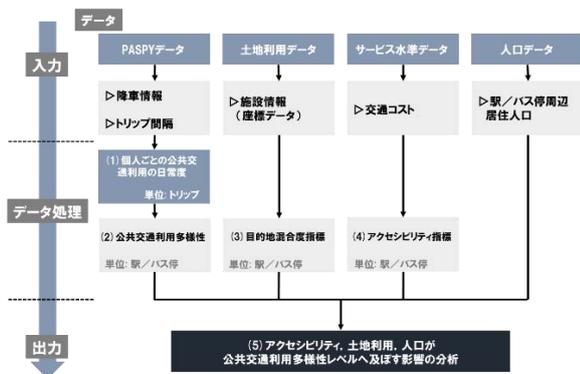


図-1 分析の流れ

2. 交通系 IC カードデータ

本研究では PASPY のデータを使用した。PASPY は 2008 年に広島地区で導入された非接触型 IC カードで、2021 年 1 月時点で鉄道、バス、タクシーなど 31 社が利用している。今回使用したデータは、2017 年 7 月 1 日から 2018 年 6 月 30 日までの 365 日間で収集したものである。この期間中、935,037 人のカード所有者が合計で 92,809,518 回の公共交通利用があった。

3. 公共交通利用の日常度の算出

まず、特定の日時に特定の目的地（駅／バス停）へのトリップが発生するかしないかの二肢選択を目的変数としたロジスティック回帰を各個人に対して行った。本研究では、トリップが発生する確率の予測値 P_{ijt}^{\wedge} を、“日常度”と定義する。具体的には、人は時間帯によって行動が異なると仮定し、1 日を午前 0 時～9 時 59 分、午前 10 時～午後 3 時 59 分、午後 4 時～11 時 59 分の 3 つの時間帯に分け、時間帯ごとに、個人 i が目的地（＝駅・バス停） j に移動したかどうかを表すダミー変数を作成した。このように、各個人 \times 各目的地の組み合わせごとに、1,095 ケース（365 日 \times 3 時間帯）のロジスティック回帰モデルを推定し、次のように定義した。

$$P_{ijt} = \frac{1}{1 + \exp(-V_{ijt})} \quad (1)$$

$$V_{ijt} = \beta_0 + \sum_{k=1}^9 \beta_k x_{kt} \quad (2)$$

ここで、 P_{ijt} は個人 i が日時 t に駅／バス停 j を利用する確率であり、 β_0 は定数、 β_{1-9} は説明変数 x_{kt} に対応するパラメータであり、(1) 休日ダミー、(2) 曜日ダミー

(6 個)、(3) 時間帯ダミー（2 個）が含まれる。説明変数がダミー変数のみで構成されているのは、公共交通の利用リズムに着目しているためである。なお、本稿では、推定されたパラメータの有意性や説明については触れていないが、これは、推定されたモデルの数が個人 ID の数と目的地の数を掛け合わせた数に等しいため、すべての推定結果を示すことができないためである。また、計算負荷を軽減するために、特定の目的地への年間旅行回数が 12 回よりも少ない場合、モデルを推定せず、日常度 P_{ijt} は 0 に等しいと仮定した。また、さらに計算負荷を軽減するために、935,037 人のカード保有者の中から 1 万人を無作為に抽出した。この 1 万人が利用した回数は 998,440 回で、これは全体の約 1% にあたる。

4. 公共交通利用多様性指標

算出した公共交通機関の日常度をもとに、各駅／バス停がどれだけ多様に利用されているかを表す公共交通利用多様性指標を算出する。多様性を定量化するために、生物多様性の指標として広く用いられている Shannon-Wiener エントロピー指数を用い、本研究では以下のように公共交通利用多様性を定義した。

$$DI_j = - \sum_{k=1}^{11} p_{jk} \ln p_{jk} \quad (3)$$

$$p_{jk} = \frac{\sum_i \sum_t I(k - 0.1 \leq P_{ijt} < k)}{\sum_i \sum_t 1} \quad (4)$$

ここで、 p_{jk} は、 $k - 0.1 \leq P_{ijt} < k$ ($k = 0.1, \dots, 1.0$) を満たすトリップ数のトリップ総数に対する比率であり、 $I(k - 0.1 \leq P_{ijt} < k)$ は、 $k - 0.1 \leq P_{ijt} < k$ の場合に 1、それ以外の場合に 0 となる指標である。なお、日常度を 0 から 1 まで、0.1 間隔で 11 グループに離散化している。 DI_j は、グループごとのトリップ数が等しいときに最大となる。これは、日常的な活動と非日常的な活動（あるいは定期的な活動と不定期的な活動）の両方がサポートされていることを意味する。各駅／バス停の公共交通利用の多様性指数を下の地図にプロットした（図-2）。この図では、1（赤）に近いほど公共交通利用が多様であり、逆に 0（青）に近いほど公共交通利用が多様でないことを示して

いる。図が示すように、多様性を示す指標には、ほとんど空間的なパターンが見られないことから、必ずしも都市部では公共交通利用が多様化していないことを示している。これは都市計画において、公共交通利用促進の可能性という観点から重要な知見である。

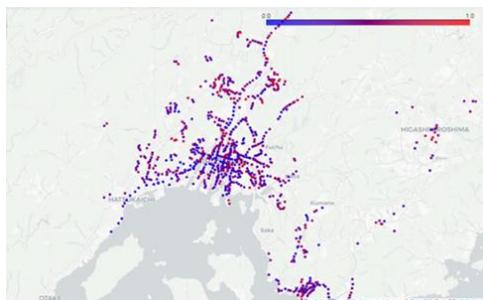


図-2 公共交通利用多様性指標

5. 土地利用実態としての目的地混合度指標

公共交通利用の多様性に対する土地利用の影響を分析するために、オフィス、店舗、学校、レストラン、レジャー施設のジオコーディングデータに基づいた、土地利用ミックス指標(図-1(3))を算出する。具体的には、各駅/バス停から半径400m、800m、1200mの範囲にあるこれらの施設の数のカウントした。

公共交通利用の多様性に対する土地利用の影響を分析するために、オフィスや学校は日常的な活動に利用され、買い物施設やレジャー施設、レストランなどは非日常的な活動に利用されると仮定した。そして、日常活動のための施設と非日常活動のための施設数の比率 a_j, b_j は、以下のように定義する。

$$a_j = \frac{D_{jD}}{D_{jALL}} \quad (5)$$

$$b_j = \frac{D_{jND}}{D_{jALL}} \quad (6)$$

ここで、 D_{jD} はオフィスや学校の数、 D_{jND} は買い物施設やレジャー施設、レストランの数、 D_{jALL} は施設の総数を表す。日常・非日常的な活動の目的地がどの程度混在しているかを目的地混合度指標として表現するために、以下のエントロピー指標を用いた。

$$LUM_i = (-1)[a_i \ln(a_i) + b_i \ln(b_i)] \quad (7)$$

この式は、土地利用が混在している地域では LUM_i が大きくなり、 $a = b$ のときに値が最大になることを意味する。この目的地混合度指標を、半径400m、800m、1200mのそれぞれについて計算した。算出した目的地混合度指標を図-3に示す。この図から、半径が大

きくなるほど、日常的な活動のための施設と非日常的な活動のための施設との間のミックスが良くなることがわかる。

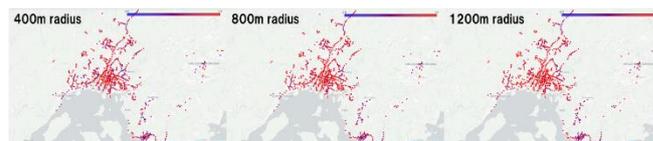


図-3 目的地混合度指標

6. アクセシビリティ指標

公共交通利用の多様性に対するアクセシビリティの影響を分析するために、PASPYデータとNAVITIMEJAPANの検索エンジンから得たサービス水準データを用いて、目的地選択モデルを構築した。そして、推定されたモデルを用いて、各駅/バス停の対数和をアクセシビリティ指標として、以下の多項ロジットモデルを用い、算出した。

$$P_{oj} = \frac{\exp(\beta_n^T x_{oj})}{\sum_{j' \in J} \exp(\beta_n^T x_{oj'})} \quad (8)$$

ここで、 P_{oj} は出発地 o から目的地 j を選択する確率、 β_n は未知パラメータのベクトル、 x_{oj} は出発地 o から目的地 j までのサービス水準変数のベクトルであり、 J は2,433駅/バス停を含む選択肢集合である。また、すべてのケースで選択肢集合内のすべての選択肢が利用可能であると仮定した。サービス水準変数は、移動時間(分)、移動コスト(円)、待ち時間(分)である。また、説明変数として、中心部(広島市中区)ダミーを加えた。モデルの推定結果は表-1に示す。

表-1 目的地選択モデル推定結果

	推定値	t値
旅行時間(分)	-0.031	-85.93
旅行費用(¥)	-0.004	-114.29
待ち時間(分)	-0.187	-75.79
中心部ダミー	0.515	72.03
標本数	102893	
初期対数尤度	-9802244.4	
最終対数尤度	-628494.8	

そして、アクセシビリティ指標 ACC_j は、以下のよう

$$ACC_j = \ln \left[\sum_o \exp V_{oj} \right] \quad (9)$$

この式は、駅/バス停 j のアクセシビリティが、他の

すべての駅／バス停からの一般化費用の対数和であることを意味している。

7. 公共交通利用多様性要因分析

公共交通利用多様性の要因を捕捉するために、目的地混合度、アクセシビリティ指標の効果を分位点回帰により分析する。また、分析において、駅／バス停周辺の居住人口を加えた。図-4は、分位点ごとの各説明変数の係数を示す。図-4より、アクセシビリティが公共交通機関利用の多様性に大きな影響を与えていることがわかる。また、60位付近では、居住人口の係数が負になっており、ニュータウンのように居住人口の多い駅・バス停は、公共交通の日常的な利用者が多いことを示唆している。アクセシビリティに関しては、低・高分位点でアクセシビリティが低くなっているが、アクセシビリティの効果は常に正の値を示しており、アクセシビリティの向上が公共交通利用多様性に大きな影響を与えていることがわかる。もう一つの興味深い知見として、我々は当初、様々なタイプの施設がある駅やバス停は様々な方法で利用されるだろうと予想していたが、土地利用の組み合わせが公共交通利用多様性に有意な影響を与えていないことである。以上のことから、公共交通利用多様性は、土地利用の混在ではなく、アクセシビリティによりもたらされることが示された。

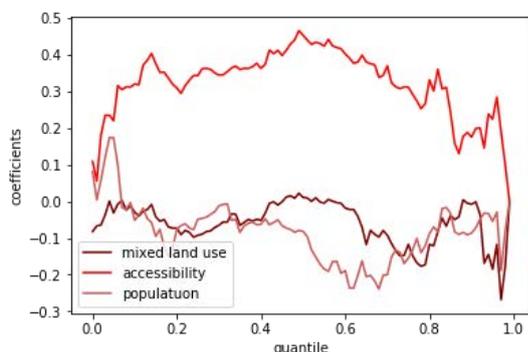


図-4 説明変数の各分位点における係数の変化

8. まとめ

近年の情報通信技術の急速な発展に伴い、ビッグデータのより良い利用方法を見つけることは、都市・交通計画の分野において重要な研究課題となっているが、データの長期的な都市・交通計画への活用はあまり進んでいない。本研究は、PASPYのデータを

用いて実証分析を行い、公共交通の多様な利用が、アクセシビリティや土地利用パターンとどのように関連しているかを検証した。その結果、2つの重要な実証結果が以下のようにまとめられる。

- (1)公共交通利用多様性には、明らかな空間的パターンは見られない。都市の中心部にある駅やバス停には多様な利用者がある(つまり、多様性指数が高い)と予想されたが、異なる結果となった。
- (2)公共交通利用多様性を高めるためには、アクセシビリティの向上が効果的である。一方、土地利用の混在は、公共交通利用多様性向上に大きな影響を与えない。

これらの結果は、公共交通利用と土地利用パターンとの関係において、駅周辺に多様な目的の施設があれば、公共交通利用も多様化する傾向にあるという固定観念が誤解を招く可能性があることを示している。これらの変数間の関係を正しく理解するには、実証分析が必要である。今回の実証分析では、公共交通の多様な利用を増やすためには、混成された土地利用の促進よりも、アクセシビリティの向上が重要であることが示された。

今後の課題として、我々が提案した手法では、目的地ごとに個人ごとにロジスティック回帰モデルを構築したが、計算負荷が高いため、より計算効率の良い方法を開発する必要がある。第二に、今回開発した多様性指標は、都市計画や交通計画に役立つと考えられるが、都市計画の政策議論に貢献するためには、他の指標(例:利用者数、地形、気候)との関連を併せて議論する必要がある。

参考文献

- 1) Gan, Z., Feng, T., Wu, Y., Yang, H., Timmermans, H. : Station-based Average Travel Distance and Its Relationship with Urban Form and Land Use: An Analysis of Smart Card Data in Nanjing City, China, *Transport Policy*, Vol.79, pp.137-154, 2019
- 2) Pelletier, M., Trepanier, M., Morency, C. : Smart Card Data Use in Public Transit: A literature review, *Transportation Research Part C*, Vol.19, pp.557-568, 2011