

特急列車の近距離利用を対象とした駅勢圏の推定

鈴木 崇正* 松本 涼佑* 深澤 紀子*

Estimation of the Station Catchment Area for Short-distance Travel on Limited Express Trains

Takamasa SUZUKI Ryosuke MATSUMOTO Noriko FUKASAWA

Demand for short-distance travel on limited express trains are not ignorable, but neither sufficient knowledges nor techniques have been provided to estimate such demand. To overcome the insufficiency in demand forecasting, we developed a model for estimating station catchment areas regarding short-distance demand for limited express trains, based on mode choice behavior. A questionnaire survey was conducted to collect travel behavior data. Service levels of transport and geospatial data were also employed. The mixed logit model was applied to consider personal difference in model choice preference. An example of the catchment area estimation obtained from the model developed is given.

キーワード：駅勢圏，特急列車，交通手段選択，混合ロジットモデル

1. はじめに

1.1 研究の背景

新幹線や特急列車は、国内の都市間・地域間移動を担う重要な交通手段の一つである。それは長距離を移動する旅客にとって必要不可欠であるだけでなく、その輸送サービスを提供する鉄道事業者にとっても、大きな輸送量と高い収益性から鉄道事業の中核の一つをなすと捉えてよい。とりわけ普通列車等の利用が比較的少ない地方においては、特急列車のもたらす収益は重要であり、輸送戦略や営業施策の入念な検討は経営全体に影響を与える。

そのような場面においては特急列車の需要推定が必要である。複数の都道府県にまたがるような長距離移動については、5年に1回実施される全国幹線旅客純流動調査（以下「純流動調査」）¹⁾が多くの場面で活用されている^{2) 3) 4)}。一方で、複数の鉄道事業者へのヒアリングによれば、1つの県内のみにとどまるような近距離移動が全体の半数近くに達するような特急列車の系統も存在する。しかし、そのような近距離需要を推定できるデータや手法の整備は進んでいない。県内移動は純流動調査の対象ではなく、県内移動も捕捉する大都市交通センサス⁵⁾は三大都市圏のみが対象である。鉄道事業者が保有する乗車実績データでは、旅客の個人属性や対抗交通手段の利用実態を把握できない。

また、近年は路線の新規建設が減少し、駅単位での整備が多い。このようなケースにおいては、駅単位での需要を推定することが不可欠である。しかし、需要推定において一般的に活用される四段階推定法⁶⁾は、大規模

なデータ収集と解析を必要とする。そのため、駅単位での需要推定における四段階推定法の活用は非効率的であり、より低コストな手法の開発が望まれる。

1.2 研究の目的

上記の課題を解決するため、特急列車の近距離利用を駅単位で推定する手法の確立が必要である。そこで本研究では、そのような手法の確立に資するため、特急列車停車駅を対象として、駅利用者が居住する地理的範囲を示す駅勢圏を定量的に推定するモデルを構築した。モデル構築にあたっては、特急列車停車駅周辺の居住者を対象とした交通行動に関するアンケート調査を行い、そこで得られたデータを使用した。このモデルの活用により、特急列車停車駅周辺の駅勢圏人口の定量化が可能となり、最終的にはその総人口から各駅の需要を推定することが可能になると考えられる。

第2章では、本研究における駅勢圏の考え方を整理する。第3章では、モデルの構築に必要なデータの収集について述べる。第4章ではモデル構築について説明した後、推定されたモデルパラメータについて考察する。第5章では構築したモデルを用いた駅勢圏推定の事例について示し、第6章でまとめと今後の課題を示す。

なお、過去の鉄道総研報告⁷⁾において、本稿で活用したものと同一のデータを用いた、特急列車の近距離利用の特性に関する検討内容を報告している。この内容は、駅勢圏モデルの開発にあたって必要となる重要な知見であるが、内容の重複を避けるため、本稿では実施した調査の概略を説明するにとどめ、収集したデータの基礎集計結果などは省略する。また本稿において、「特急列車」には新幹線を含む。

* 信号・情報技術研究部 交通計画研究室

2. 駅勢圏の考え方

駅勢圏の定量的な推定に関しては、これまでも三古ら⁸⁾、武藤ら⁹⁾、宮下ら¹⁰⁾などによって研究がなされてきた。しかし、これらの研究はいずれも都市鉄道を対象としており、特に前者2編は複数の駅のサービスレベルの差異に基づく駅どうしの競合関係に着目している。

このため、特急列車に対してこれらの知見を直接適用することは難しい。特に地方では都市部と比較して駅密度が希薄であり、複数の駅同士の競合関係を想定しにくい。また自動車利用が浸透していることに加え、鉄道利用が広域に存在するという都市部における前提は成立しにくい。よって、特急列車の駅勢圏の検討にあたっては、駅どうしの競合関係ではなく、自動車をはじめとする対抗交通手段との競合関係、すなわち交通手段選択行動を考慮する必要がある。

一般に、ある交通手段の利用者は、その交通手段の発着地点から一定の範囲内に居住していると考えられる。このことは、駅勢圏が駅を中心とする円で表現できることを意味する¹¹⁾。その範囲について統一的な基準があるわけではないが、三古ら⁸⁾は、その範囲がアクセス交通手段に依存していると指摘し、4つのアクセス交通手段それぞれについて駅勢圏の大きさを定量化することで、その差異を議論している。

しかしここでは、複数のアクセス交通手段が同時に存在していることや、それらの整備状況が駅から全方向的に一律ではないことを踏まえ、「形状が円ではない駅勢圏が1つ存在する」と捉えることとする。例えば利便性の高いアクセス交通手段が整備されている地域では駅勢圏はその交通手段に沿って延伸すると考えられる。

また、駅勢圏は鉄道自体の相対的な利便性の影響も受けると考えられる。所要時間が短い、運賃が安いなど、鉄道自体のサービスレベルが高い場合は駅勢圏が拡大し、逆に対抗交通手段のサービスレベルが高い地域では駅勢圏が縮小すると考えられる。

このように、駅勢圏の形状は円のように単純ではない。また一つの駅勢圏内部においても、駅や他の交通手段との近接性、道路の整備状況などから、その駅の利用率は均一ではないと考えられる。

上記のような性質を反映させるため、本研究では駅周辺の領域を小さなゾーンに分割し、そのゾーンごとに特急列車の利用率を定量化することにより、駅からの距離に応じた利用率の増減や、対抗交通手段の影響などを詳細に考慮しながら駅勢圏の範囲を推定することとした。地域によらず一定の基準でゾーニングがなされていること、比較的小さなゾーンであること、人口データが入手可能であることなどを踏まえ、ここでは500m四方に近似される2分の1地域メッシュ(4次メッシュ)を採用

した。

本研究における駅勢圏のイメージを図1に示す。図中の駅から特急列車を利用する人の居住範囲が推定したい駅勢圏であり、利用率はその範囲の中でも駅への近接性やアクセス交通の利便性などにより異なる。また、例えば付近に対抗交通手段として高速バスの停留所が存在すると、その周辺では高速バスの利用が多いと想定され、それに伴って駅勢圏も縮小する。

このように、特急列車の駅勢圏を定量的に把握するにあたっては、特急列車や対抗交通手段のサービスレベルなどとともに、駅やバス停など発着地点の位置関係などに基づくアクセス交通手段のサービスレベルを説明変数とした交通手段選択行動をモデル化することが一つの方法であると考えられる。

そこで本研究では、アンケート調査による交通行動データと地理情報データ、交通手段のサービスレベルデータを活用して、交通手段選択行動に基づく駅勢圏推定モデルを構築した。

なお駅単位の需要推定に関しては、駅勢圏に基づく既往文献としてピーチライナーを対象とした事後評価¹²⁾やJR可部線の延伸区間を対象とした予測¹³⁾などがあるが、いずれも駅勢圏を円で表現するなど簡易的な推定にとどまる。このほかKuby *et al.*¹⁴⁾によるアメリカ国内のLRTを対象とした各駅の乗車人員に影響を与える要因の分析、原田ら¹⁵⁾による新駅利用量の予測手法に関する検討、Somenahalli¹⁶⁾によるアデレードを対象とした駅単位の需要予測モデルの開発などがある。しかしこれらはいずれも都市鉄道を対象としており、対抗交通手段の存在を明示的に扱っていない。また駅勢圏をベースとする推定でもなく、本研究とはアプローチが異なる。

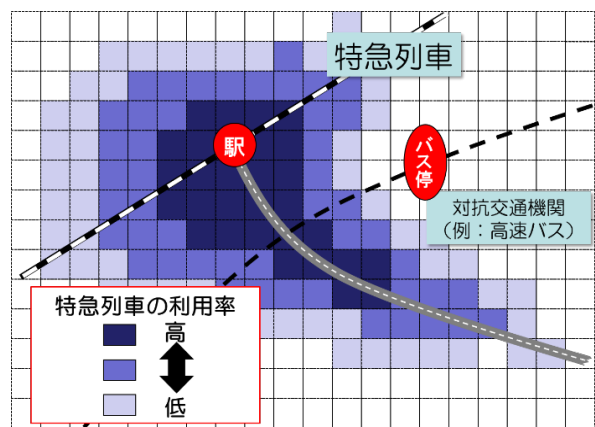


図1 駅勢圏のイメージ

3. アンケート調査によるデータの収集

モデルの構築のためには、特急列車の停車駅周辺の居住者の近距離移動に関する交通行動データを収集する必要がある。そこで、下記のとおりアンケート調査を実施した。

なお本研究では、県境をまたがない同一県内の移動を近距離利用として扱う。その中で、需要が比較的大きいことや被験者がイメージしやすいと考えられることを踏まえ、本アンケート調査や以降の分析では同一県内の移動として「居住地からその県の県庁所在地までの移動」を対象とした。

3.1 調査の方法

今回は人口分布や鉄道利用が比較的希薄な地域を対象としており、インターネット調査やポスティング調査では特急列車の利用を把握できる十分なデータを収集できない可能性があったことから、調査対象者を戸別訪問して聞き取り調査を行った。

3.2 調査対象者

被験者は、西日本地域の地方部に所在する5つの特急列車停車駅の周辺に居住する、18歳～70歳代の男女である。このとき、年齢や性別の構成、居住地の特性、居住地と特急列車停車駅との位置関係などが大きく偏らないよう配慮した。

3.3 調査項目

調査項目は、被験者の個人属性、過去の実際の近距離移動における交通行動、仮想的な状況下における交通手段選択行動の3つに大別される。

このうち個人属性は、年齢や性別などのほか、運転免許保有状況や特急列車定期券の保有状況など、交通手段選択行動において基礎的な情報となるものを含めた。

過去の実際の移動については、各被験者がもっともよく覚えている近距離移動を対象として、利用交通手段や移動の目的、同行者などのほか、鉄道を利用した場合は自宅から駅までのアクセス交通手段やアクセス所要時間などの回答を求めた。

仮想的な状況についても、想定するのは県庁所在地までの移動とした。仮想的な状況下における交通手段選択行動は、特急列車のサービスレベル（所要時間、運賃・料金、運行間隔）が様々に異なる状況を被験者に提示し、それぞれの場合において利用したいと考える交通手段を尋ねたものである。異なるサービスレベルの組み合わせを総当たりで被験者に提示すると質問数が多く被験者にとって大きな負担となりうるため、実験計画法の直交表の考え方にに基づき、少ない組み合わせで各条件の効果を

評価できるよう工夫した。各被験者に対して提示した仮想状況は、1人あたり約10件である。

3.4 調査の実施

調査は2016年1月から2月にかけて行われ、1,406名から回答を得た。モデルの構築に用いたデータは、居住場所を次節で述べる2分の1地域メッシュ統計と関連付けることができた1,280名分である。過去の実際の交通行動と仮想的な交通手段選択行動をあわせ、交通行動データは合計14,243件である。

4. モデルの構築

4.1 モデル構築の方針

上記の調査において、ラインホール交通手段（移動の主体となる交通手段）として挙げられたのは「特急列車」のほか「普通列車」「自動車（一般道利用）」「自動車（高速道路利用）」「高速バス」の5種類である。そこで、これら5つの交通手段を選択肢とする交通手段選択モデルを構築することとした。

4.2 説明変数

説明変数は、ラインホール交通手段のサービスレベルである「費用」「所要時間」「運行間隔」のほか、ラインホール交通手段の乗り場まで、あるいは乗り場からの交通手段であるアクセス交通手段の「費用」「所要時間」からなる。

ラインホール交通手段のうち鉄道と高速バスのサービスレベルに関しては、市販の時刻表^{17) 18)}を用いて整備した。運行間隔は、1日当たりの運行時間を18時間として、その値を運行本数で除して求めた。自動車のサービスレベルは、道路距離^{19) 20)}にガソリン価格^{21) 22)}や自動車平均速度²³⁾を乗じて計算した。自動車は任意の出発時刻を選択できるため待ち時間がないとみなし、運行間隔は0分とした。

アクセス交通手段については、各被験者の居住地を地域メッシュ統計の2分の1地域メッシュに落とし込んだうえで、そのメッシュ重心から各交通手段のノード²⁴⁾（駅、バス停、高速道路ICなど）までの道路距離²⁵⁾に基づき求めた。自動車の費用と所要時間の算出方法はラインホール交通手段の場合と同様であり、徒歩については費用0円、所要時間は歩行速度4km/hとして計算した。

なお今回の調査では、鉄道駅までのアクセス手段として「徒歩」と「自動車」以外の交通手段を挙げた回答者が7%にとどまった。そこで、アクセス交通手段としては徒歩と自動車のみを想定し、居住地から交通手段ノードまでの道路距離1kmを閾値として、それより短い場合は徒歩、長い場合は自動車を利用したとみなした。

4.3 モデル構造

交通手段選択のような選択行動のモデル化において一般的に用いられるのは、多肢選択ロジットモデル (MNL: Multinomial Logit) である。

ここで、今回分析に用いたデータは各被験者が異なる仮想状況に対して約 10 回ずつ回答したデータであることに留意する必要がある。このような場合には得られたデータに個人差が介在し、分析に用いた 14,243 件のデータすべてが独立であるという通常モデリングにおける仮定が成立しにくく、回答した個人ごとにデータが類似している可能性が指摘できる。

そこで今回は、各回答データが独立ではなく個人ごとのグループに分けられることを考慮できる、混合ロジットモデル (MXL: Mixed Logit) を採用した。

混合モデルとは、求解したパラメータ自体に分散 (ランダム性) が存在することを仮定するモデルであり、このランダム性が交通手段選択の個人差を表現する。ここでは、費用や所要時間などに対する交通手段選択行動の感度には個人差がないが、各交通手段に対する嗜好の強さが選択行動に影響を与えていると仮定し、モデル内における各交通手段の選択肢固有ダミー変数のパラメータにランダム性を考慮した。需要予測分野における MXL の適用事例は少ないが、永易ら²⁶⁾ や力石ら²⁷⁾、Zheng *et al.*²⁸⁾ などに見られる。

一般的に、ロジットモデルは式 (1)(2) により表現される (個人を示す添え字は省略する)。ここで P_m は交通手段 m の選択確率、 V_m は交通手段 m の効用の確定項、 N は交通手段の選択肢集合、 β_k は交通手段 m の k 番目の説明変数 x_{km} のパラメータ、 β_{0m} は交通手段 m の選択肢固有ダミー変数のパラメータ、 K は説明変数集合である。

本研究の MXL においては、選択肢固有ダミー変数 β_{0m} に個人差を許容した。このとき β_{0m} は、式 (3) に示すとおり平均 β'_{0m} 、分散 σ^2 の正規分布に従うと仮定した。MNL では β_{0m} が定数として推定されるが、MXL ではその構成要素である β'_{0m} と σ^2 が推定される。なお次節で述べる分析環境においては分散 σ^2 ではなく標準偏差 σ が推定されるため、推定結果においても標準偏差を示す。

なお MXL の計算には乱数によるシミュレーションを必要とするが、ここでは乱数発生に一樣な疑似乱数を生成する手法のひとつである Halton 数列による抽出を用いた。抽出回数は 1,000 回である。

$$P_m = \frac{\exp(V_m)}{\sum_{n \in N} \exp(V_n)} \quad (1)$$

$$V_m = \beta_{0m} + \sum_{k \in K} \beta_k x_{km} \quad (2)$$

$$\beta_{0m} \sim N(\beta'_{0m}, \sigma^2) \quad (3)$$

4.4 分析環境

分析においては、空間データを扱う GIS ソフトウェアとして、QGIS version 2.18.5²⁹⁾ と GRASS GIS version 7.2.1³⁰⁾ を使用した。パラメータの推定には、統計解析ソフトウェア R (64bit) version 3.3.3³¹⁾ と、MXL の計算パッケージである mlogit version 0.2.4³²⁾ を用いた。

4.5 パラメータ推定結果

パラメータの推定結果を表 1 に示す。MXL の比較対象として、MNL による結果も併記する。選択肢固有ダミー変数の基準となる選択肢は自動車 (一般道利用) とした。表中の「標準偏差」は各選択肢固有ダミー変数のランダム成分を示す値であり、式 (3) における σ_2 の平方根である。

MXL と MNL のいずれも、ラインホール交通手段とアクセス交通手段のサービスレベルのパラメータは有意に負である。サービスレベルが低下するほどその交通手段が選択されにくくなることを示す結果であり、一般的な傾向と整合的である。

ラインホール交通手段の費用と所要時間のパラメータから求めた時間価値は、MXL で 22.7 円/分、MNL で 30.2 円/分であり、一般的な値と大差ない。また所要時間と比較すると運行間隔のパラメータの絶対値が小さいが、これは鉄道やバスでの移動においても運行ダイヤに合わせて行動することが多く、待ち時間がさほど影響していないことを示唆している。

MNL と比較すると、MXL では最終対数尤度が大きく改善しており、尤度比も高い水準にある。一方で MNL の尤度比は 0.115 であり、十分な水準に達しているとはいえない。このことは、MXL が交通手段選択行動をよりよく表現できていることを示しているとともに、個人間での交通手段選択行動の差異が大きいことを示唆するものでもある。

この選択行動の個人差の有無は、選択肢固有ダミーの標準偏差により定量的に確認できる。今回のデータでは、4 種類の選択肢固有ダミー変数の標準偏差の値がいずれも統計的に有意であった。このことは、選択肢固有ダミー変数の値にランダム性が存在することを意味している。すなわち、説明変数として扱われた交通手段のサービスレベル以外による、選択肢となった各交通手段それぞれに対する嗜好が、個人によって大きく異なっている。

表1 パラメータ推定結果

モデル		MXL		MNL	
項目		係数	t	係数	t
ラインホール 交通手段	費用	-0.005	-52.124 *	-0.001	-39.194 *
	運行間隔	-0.024	-7.640 *	-0.004	-5.095 *
	所要時間	-0.117	-36.729 *	-0.029	-35.922 *
アクセス 交通手段	費用	-0.017	-37.302 *	-0.002	-20.562 *
	所要時間	-0.337	-23.799 *	-0.055	-11.086 *
選択肢 固有ダミー	高速バス	-6.283	-5.315 *	-0.935	-7.024 *
	自動車（高速）	-1.371	-8.232 *	0.068	1.594
	特急列車	7.909	21.898 *	0.249	2.338 *
	普通列車	1.168	4.535 *	-0.303	-3.786 *
標準偏差	高速バス	14.461	18.354 *		
	自動車（高速）	12.379	41.988 *		
	特急列車	8.772	49.029 *		
	普通列車	10.006	40.522 *		
データ数		14,243		14,243	
データグループ数（個人数）		1,280		-	
最終対数尤度		-5,755		-16,966	
尤度比		0.700		0.115	

*: 有意水準 5% で有意

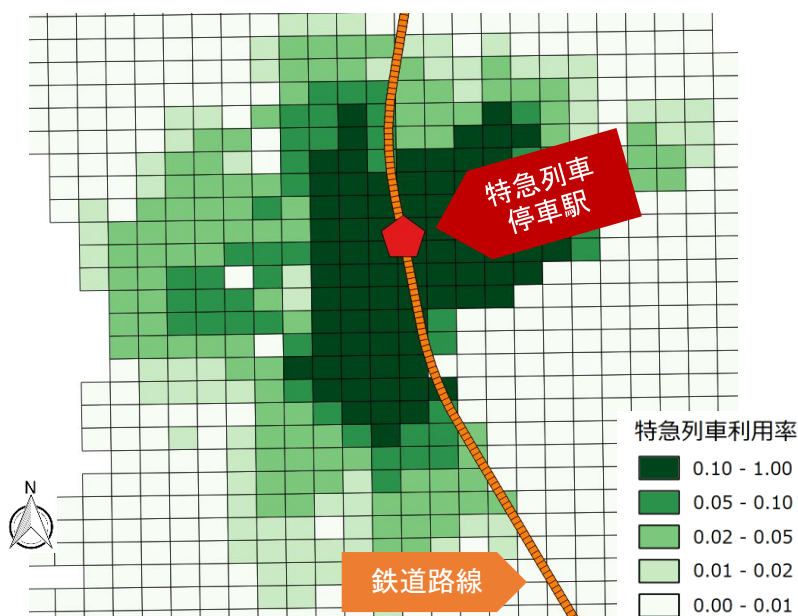


図2 駅勢圏の推定例

5. 駅勢圏の推定

ある特急列車の停車駅を対象として、前章で構築したMXLモデルを用いてその駅勢圏を推定した。駅周辺の地域を2分の1地域メッシュに分割し、それぞれのメッシュについて特急列車の利用率を定量化し、その空間的範囲を図示したものが駅勢圏である。推定にあたっては、鉄道総研で開発した駅勢圏推定システムのプロトタイプを活用した。

その推定結果例を図2に示す。特急列車の停車駅を中心として広がる緑色の領域が、その特急停車駅の近距離利用に関する駅勢圏の推定範囲である。緑色が濃いほどその駅の利用率が高いことを示す。この図が示すように、駅勢圏は円形ではなく、特急列車と競合する他の交通手段の存

在や、駅周辺の道路の整備状況などによって複雑な形状により表現されている。この地域に関しては、駅付近に河川があり、対岸からの駅アクセス利便性が比較的低いことから、そのような地域の駅利用率は低く推定されている。

6. まとめと今後の課題

本研究では、戸別訪問形式のアンケート調査によって得られた交通行動データ、地理情報データと交通手段サービスレベルデータなどにより、特急列車の近距離利用を対象とした駅勢圏を推定するモデルを構築した。その結果、MXLの活用により尤度比の高いパラメータ推定結果が得られ、またそれにより駅勢圏を定量的に推定でき、かつ視覚的に表現できることを示した。

最後に本研究の課題を示す。まず、推定された駅勢圏が現実に即していることの確認がなされていない。モデル自体の尤度比は高かったものの、これにより駅勢圏を精度高く推定できているかどうかは、このモデルによる推定結果と実態との整合性を検証する必要がある。

また、駅勢圏を推定する最終的な目的は、この結果を活用した需要推定手法の確立にある。今後はその手法の確立に取り組む必要がある。今回は特急列車の近距離利用に着目したが、手法自体はその他の交通需要にも適用することができると考えられるため、一般性のある需要推定手法への拡張にも取り組む。

文献

- 1) 国土交通省：全国幹線旅客純流動調査，http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/soukou/sogoseisaku_soukou_fr_000016.html（参照日：2018年7月13日）
- 2) 麻生雅之，吉井稔雄，高山雄貴：幹線旅客を対象とした四国の交通需要予測モデルの構築，土木計画学研究・講演集，Vol.44，CD-ROM，2011
- 3) 塚井誠人，奥村誠：幹線旅客純流動調査を活用した長期的・空間的な都市間旅客需要の変化に関する分析，土木計画学研究・講演集，Vol.39，CD-ROM，2009
- 4) 時田知典，森川高行：統合型需要モデルを用いた高速鉄道プロジェクトの需要分析，土木学会年次学術講演会講演概要集第4部，Vol.57，pp.847-848，2002
- 5) 国土交通省：大都市交通センサス，http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/transport/sosei_transport_tk_000007.html（参照日：2018年7月19日）
- 6) 金子雄一郎：交通計画学，コロナ社，2012
- 7) 渡邊拓也，松本涼佑，深澤紀子：優等列車の同一県内利用に関する駅勢圏の特性分析，鉄道総研報告，Vol.31，No.10，pp.11-16，2017
- 8) 三古展弘，正司健一：優等列車停車駅と周辺の駅までの距離を考慮した駅勢圏分析，土木計画学研究・講演集，Vol.43，CD-ROM，2011
- 9) 武藤雅威，奥田大樹：ハフモデルを適用した駅勢圏設定手法，第17回鉄道技術連合シンポジウム（J-RAIL2010）講演論文集，pp.81-84，2010
- 10) 宮下清栄，渡邊健太郎：定期券データを用いた中量軌道システムの駅勢圏分析—北九州都市モノレールを対象として—，都市計画論文集，Vol.39，No.3，pp.547-552，2004
- 11) Guerra, E., Cervero, R. and Tischler, D.: The half-mile circle: does it best represent transit station catchments?, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No.2276, pp.101-109, 2012.
- 12) 森川高行，永松良崇，三古展弘：新交通システム需要予測の事後評価—ピーチライナーを例として—，運輸政策研究，Vol.7，No.2，pp.20-29，2004
- 13) 広島市：JR 可部線の需要予測，http://www.city.hiroshima.lg.jp/www/contents/1393305849312/files/13_dai6.pdf（参照日：2018年7月17日）
- 14) Kuby, M., Barranda, A. and Upchurch, C.: Factors influencing light-rail station boardings in the United States, *Transportation Research Part A*, Vol.38, pp.223-247, 2004.
- 15) 原田昇，太田勝敏，新谷洋二：非集計行動モデルによる新駅利用量の予測方法とその評価，土木学会論文集，Vol.347，pp.49-58，1984
- 16) Somenahalli, S.: Stop-level urban transit ridership forecasting – A case study, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol.9, pp.422-436, 2011.
- 17) 交通新聞社：JR 時刻表 2016 年 1 月号，2016
- 18) 交通新聞社：高速バス時刻表 2015～16 冬・春号，2016
- 19) NEXCO 西日本：高速料金・ルート検索，<http://search.w-nexco.co.jp/>（参照日：2018年7月13日）
- 20) グーグル：グーグルマップルート検索，<https://www.google.co.jp/maps>（参照日：2018年7月13日）
- 21) 国土交通省：平成 27 年度自動車燃料消費量調査，<http://www.mlit.go.jp/k-toukei/henryou/henryou.html>（参照日：2018年7月13日）
- 22) 総務省：平成 27 年度小売物価統計調査，<http://www.stat.go.jp/data/kouri/index.htm>（参照日：2018年7月13日）
- 23) 国土交通省：平成 27 年度全国道路・街路交通情勢調査，<http://www.mlit.go.jp/road/census/h27/>（参照日：2018年7月13日）
- 24) 国土交通省：国土数値情報，<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>（参照日：2018年7月13日）
- 25) 国土地理院：数値地図 DVD，2014
- 26) 永易雅志，河上省吾：交通手段選択への Mixed Log-it モデルの適用に関する研究，土木学会年次学術講演会講演概要集第4部，Vol.55，pp.676-677，2000
- 27) 力石真，藤原章正，張峻屹，Axhausen, K.W.: 6 週間の交通日誌データを用いた交通行動の変動特性の分析—活動発生と出発時刻を例に一，土木計画学研究・論文集，Vol.26，No.3，pp.447-455，2009
- 28) Zheng, Z., Washington, S., Hyland, P., Sloan, K. and Liu, Y.: Preference heterogeneity in mode choice based on a nationwide survey with a focus on urban rail, *Transportation Research Part A*, Vol.91, pp.178-194, 2016.
- 29) QGIS Development Team: *QGIS Geographic Information System*, <http://qgis.osgeo.org>.
- 30) GRASS Development Team: *Geographic resources analysis support system (GRASS) Software*, <http://grass.osgeo.org>.
- 31) R Core Team: *R: A Language and Environment for Statistical Computing*, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, <https://www.R-project.org/>.
- 32) Croissant, Y.: *mlogit version 0.2.4*, <https://CRAN.R-project.org/package=mlogit>.