

地方都市の公共交通ネットワークの利便性評価手法

奥田 大樹* 渡邊 拓也* 深澤 紀子* 鈴木 崇正*
 榊原 弘之** 中村 優志***

Evaluation Method of the Convenience of a Public Transportation Networks in a Local City

Daiki OKUDA Takuya WATANABE Noriko FUKASAWA Takamasa SUZUKI
 Hiroyuki SAKAKIBARA Yushi NAKAMURA

The object of this study is to develop a quantitative evaluation method of the convenience of a public transportation network in the whole region for implementing the relative evaluation of various improvement plan of public transportation network based on current situation. In this paper, first, the theory of the quantitative evaluation method of the convenience of public transport networks in local cities is shown. Then, the findings concerning the way of the public transportation is actually used in a certain local city obtained from the field survey in that city, and the development of the system for carrying out calculations of the convenience automatically based on the quantitative evaluation method are shown. Finally, the course of the development plan in the future is showed.

キーワード：地方都市，公共交通ネットワーク，利便性，アクセシビリティ，利便性評価システム

1. はじめに

モータリゼーションの進行や、人口減少・少子高齢化といった社会経済情勢の変化に伴い、地方都市を中心に、公共交通を取り巻く環境は年々厳しさを増している。一方で、子供や高齢者など、自動車の保有や運転が困難な人々にとって、地域の公共交通は日常生活における重要な移動手段であり、地域の公共交通の衰退は、これら人々の生活や各種活動の機会の喪失に直結する¹⁾。そして、このような状況が深刻化すると、若年層を中心とした加速度的な人口流出や、高齢者の社会的な孤立を招くこととなり、地域の存続すら脅かす要因となり得る。また、他都市から業務や観光等で訪れる来訪者にとっても、地域の公共交通は重要な移動手段であり、これの衰退は、都市間の広域的な交流を阻害する要因にもなり得る。

地方都市の公共交通事業者が、厳しい環境の中であっても、地域の足としての責務を果たすべく、最大限の努力を払っていることは疑いない。一方で、地方都市の公共交通では、例えば図1で示したように、接続があまり考慮されていない経路設定や、輸送サービスが重複してしまうような運行ダイヤ設定となっている場合があり、地域全体として見た場合、必ずしも望ましい公共交通ネットワークが形成されていない状況が散見される。多

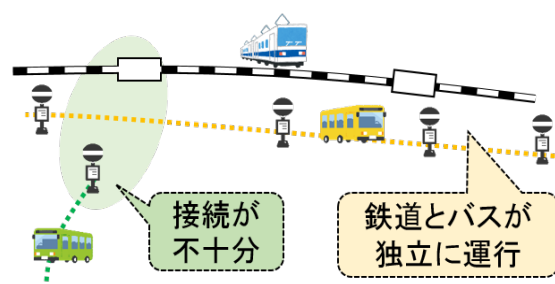


図1 連携が不十分な公共交通ネットワークの例

くの地方都市では、パーソントリップ調査といった、地域全体を対象とした公的な交通実態調査が実施されていないため、公共交通事業者が、地域全体の交通実態やニーズを把握することが、困難である場合が多い²⁾。そのため、公共交通事業者には、自身の運営エリア内で把握できている限定的な交通実態やニーズに応じて、個別に輸送サービスを設定せざるを得ないという事情が存在している。そしてこのことが、個別の公共交通としては一定の輸送サービス水準は確保できているとしても、地域全体の公共交通ネットワークとしては、必ずしも望ましいものとなっていない状況が発生している一つの要因と考えられる。しかし、裏を返せば、各公共交通機関の接続や連携等を改善し、効率的に連動する公共交通ネットワークを形成することができれば、大規模な設備投資等を実施することなく、地方都市の公共交通の利便性を改善することが可能と考えられる。

* 信号・情報技術研究部 交通計画研究室

** 山口大学大学院 創成科学研究科

*** 元 山口大学工学部 社会建設工学科

特集：輸送・交通計画技術

地域にとって望ましい公共交通ネットワークを構築するには、そのあるべき姿について、地域全体で認識を共有することが重要であり、そのためには、地域の公共交通ネットワークを定量的に評価する、統一的な利便性の評価指標が必要となる。

本研究の目的は、地方都市の公共交通ネットワークの利便性の評価指標を、公的な交通実態調査のデータが無くても定量的に推計する手法を開発し、これを用いて、様々な公共交通ネットワーク改善案の効果を、現状を基準として相対的に評価することである。そして本稿では、これまでに構築した利便性評価手法の理論をはじめ、評価手法の具体的な構築に必要なデータ収集の実施概要と、収集されたデータの分析結果から得られた知見、及び併せて開発を進めている公共交通ネットワークの利便性評価システムの概要について述べる。なお、平日と休日で人々の公共交通の利用傾向は異なると考えられるが、本稿では、人々の移動や各種活動が活発であり、年間日数も多い平日を前提として述べる。また、ターゲットとする地方都市は、三大都市圏外に位置し、人口10～30万人程度で、鉄道や路線バスなどの公共交通を持ち、小規模ながら都市圏を築いているような都市とする。

2. 公共交通ネットワークの利便性評価手法

2.1 公共交通ネットワークの利便性評価手法の概要

本研究では、既往の評価手法等を参考³⁾に、以下に示す3つの要素を掛け合わせて、地域全体の公共交通ネットワークの利便性評価値を算出し、これを地方都市における統一的な公共交通ネットワークの利便性の評価指標とする。

- 都市内の任意地点 ij 間における、出発時間ごとの公共交通移動のアクセシビリティ
- 都市内の任意地点 ij 間の移動の区間重要度
- 都市内の任意地点 ij 間の移動の時間重要度

この関係を図2に示す。ただし、ここで定義する公共交通ネットワークの利便性評価値は、絶対的な意味を持つ指標ではない。例えば、図3に示すように、各交通機関の接続や運行ダイヤを見直した場合に、地域全体の公共交通ネットワークの利便性が、どの程度向上するのかについて、現状の公共交通ネットワークの利便性評価値を基準として、相対的に評価することが本研究の目的である。

2.2 公共交通移動のアクセシビリティ

アクセシビリティとは、物やサービス等への近づき易さや利用しやすさの度合いを表す概念であり、近接性や

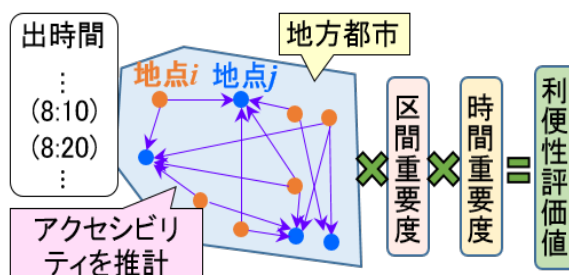


図2 公共交通ネットワークの利便性評価値の推計

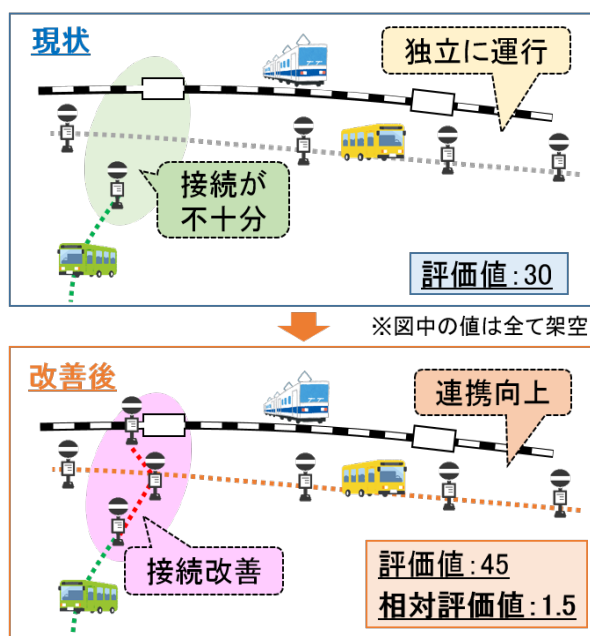


図3 公共交通ネットワーク改善案の相対的な評価

近接可能性とも呼ばれる。アクセシビリティには様々な計測手法があるが、本研究では、ログサム変数でこれを表すこととした⁴⁾。ログサム変数とは、選択肢群に対するある個人の離散選択行動にロジットモデルを適用した場合に、その個人が得られる期待最大効用を表す。ログサム変数が向上することは、ある個人にとって、選択肢群の構成がより望ましいものになったという事を意味するため、公共交通ネットワークの利便性評価値として用いるには、適切な指標であると考えられる。

式(1)は経路選択モデルであり、 $P_{ij,\sigma}^n(t)$ は、ある個人の離散選択行動にロジットモデルを適用するとした際に、個人 n が任意地点 ij 間の移動で選択可能な K 個の公共交通経路の中から、出発時刻 t において経路 σ を選択する確率を示す。式(2)及び式(3)は、任意地点 ij 間の経路 σ の効用関数であり、式(4)は、個人 n の任意地点 ij 間の公共交通移動のアクセシビリティ $ACC_{ij}^n(t)$ (ログサム変数) を示す。

$$P_{ij_σ}^n(t) = \frac{\exp(V_{ij_σ}^n(t))}{\sum_{\omega \in K} \exp(V_{ij_ω}^n(t))} \quad (1)$$

$$U_{ij_σ}^n(t) = V_{ij_σ}^n(t) + \varepsilon^n(t) \quad (2)$$

$$V_{ij_σ}^n(t) = C + \sum_l \alpha_l X_{ij_σ_l}(t) \quad (3)$$

$$ACC_{ij}^n(t) = \frac{1}{\beta} \ln \left[\sum_k \exp(\beta V_{ij_k}^n(t)) \right] \quad (4)$$

$U_{ij_σ}^n(t)$: 個人 n が出発時刻 t における任意地点 ij 間の移動で選択した経路 σ の効用

$V_{ij_σ}^n(t)$: 個人 n が出発時刻 t における任意地点 ij 間の移動で選択した経路 σ の効用 (確定項)

$\varepsilon^n(t)$: 効用の誤差項 (ガンベル分布)

$X_{ij_σ_l}(t)$: 出発時刻 t における ij 間の経路 σ の効用関数の l 番目の説明変数

α_l : l 番目の説明変数のパラメータ

β : スケールパラメータ

経路選択モデル、及び効用関数は、公共交通の利用実態データや、それら公共交通を利用した際の所要時間や費用といった、実際の輸送サービスデータに基づき構築されるものである。しかし、前述したとおり、地方都市ではパーソントリップ調査といった、地域全体を対象とした交通実態調査が実施されていないため、分析対象都市において、利用実態データを収集するための実地調査を実施する必要がある。

自動車の分担率が圧倒的な地方都市⁵⁾では、一般的な平日における、公共交通利用者の利用目的、移動時間帯、及び旅客流動量の関係性は、図4で示したようになり、朝夕は学生の通学利用が大半であるなど、時間帯によって、公共交通利用者の属性や移動目的、移動の性質、移動条件等に違いがあると考えられる。よって本研究では、朝夕と日中時間帯を区別して実地調査を実施し、それぞれの調査で得られたデータを基に、経路

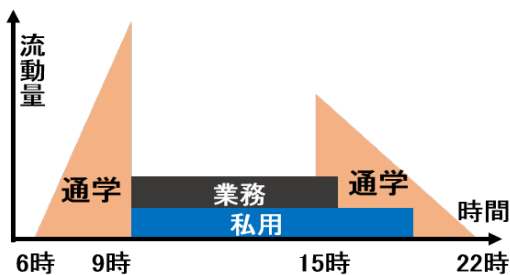


図4 公共交通利用者の移動目的、移動時間帯、及び旅客流動量の関係

選択モデルも時間帯別に構築することとする。そして、任意地点 ij 間の公共交通移動のアクセシビリティを推計する際には、出発時間帯に応じてこれらのモデルを使い分ける。

2.3 移動の区間重要度

人々は何らかの目的を持って移動するため、人々の目的地の多くは、例えば、通院目的の人は病院に向かうといったように、自身の目的が達成可能となる地区や施設に集中すると考えられる。また、多くの移動の出発地となる人々の居住地も、一様に分布はしていない場合がほとんどである。よって、地域全体の公共交通ネットワークの利便性評価値を推計するには、移動区間ごとの重要度を考慮する必要があると考えられる。本研究ではこれを区間重要度とし、任意地点間の移動ごとに、これを定義することとした。

区間重要度が高い移動としては、例えば、人口密度が高い地点を出発地とする移動や、中心市街地や学校、病院などの重要施設を目的地とする移動などが考えられる。よって本研究では、人口や従業者数、学校の学生数、病院の病床数といった定量的なデータを用いて、各任意地点間の区間重要度を表すこととした。これらデータは、国勢調査データや経済センサスデータ等から入手可能である⁶⁾。

2.4 移動の時間重要度

前述のとおり、人々は何らかの目的を持って移動するが、例えば通学目的の移動であれば朝夕に集中的に発生し、その他の時間帯ではほとんど発生しない。よって、地域全体の公共交通ネットワークの利便性評価値を推計するには、移動時間帯ごとの重要度を考慮する必要があると考えられる。本研究ではこれを時間重要度とし、任意地点間の移動ごとに、これを定義することとする。

時間帯の重要度が高い移動としては、例えば、学校への朝夕の移動や、病院への診療時間帯内の移動などが考えられる。よって本研究では、重要施設の始業時刻や営業時間といった定量的なデータを用いて、各任意地点間の時間重要度を表すこととした。

2.5 地域メッシュを活用した移動経路の近似

地域内の任意地点はほぼ無限に存在するため、実際に公共交通ネットワークの利便性評価値を推計するには、地域内の任意地点間の組み合わせ数を、現実的に計算が可能となる水準まで削減する必要がある。本研究では、総務省が定義した地域メッシュを活用し、各地域メッシュの中心点が、それらメッシュ内に存在する全ての任意地点を代表することとして、任意地点間の移動を、地域メッシュ中心点間の移動に置き換え、組み合わせ数を

特集：輸送・交通計画技術

削減することとした。適用する地域メッシュは、1辺が約250mの1/4地域メッシュを基本とし、土地利用状況や公共交通の配置等に応じて、1辺が約500mの1/2地域メッシュ等の適用も考慮する。また、公共交通移動のアクセシビリティの推計を容易とするため、公共交通機関で移動する区間以外の移動経路は、地域メッシュの中心点を結んだ直線リンクで近似することとした。これは、我が国では全国的に道路整備が進んでおり、移動経路を直線で近似しても、現実の道路経路と、大きな誤差は発生しないと考えられることが理由である。駅やバス停へのアクセス・イグレス経路についても、これらが位置する地域メッシュの中心点と、直線で結んだ経路とする。例えば、図5の青線で示した、任意地点*i*から*j*までの鉄道移動経路は、赤線で示した地域メッシュ01中心点から11中心点までの、鉄道移動経路に置き換えられる。

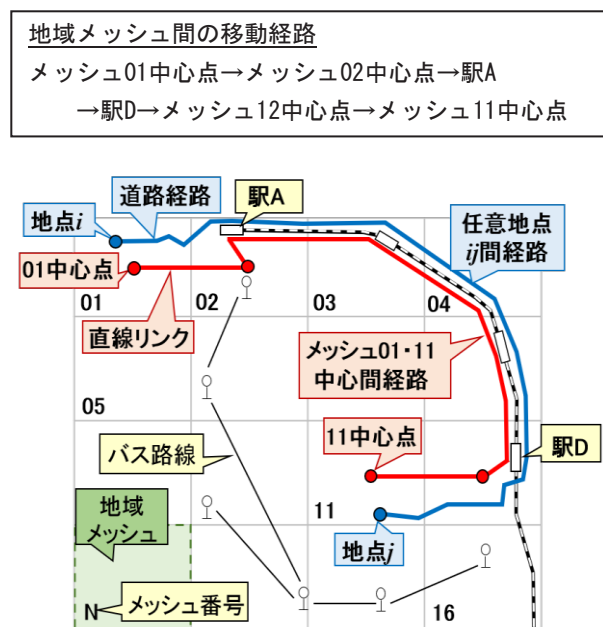


図5 地域メッシュ中心点間移動への置き換え

地域全体の公共交通ネットワークの利便性評価値は、図6で示したとおり、各地域メッシュ中心点間の公共交通移動のアクセシビリティ、区間重要度、及び時間重要度を掛け合わせて推計する。

3. 公共交通の利用実態調査と得られた知見

3.1 調査の実施概要

本研究では、人口20万人弱の地方都市A市を中心とした、小規模なA都市圏を分析対象都市とした。A市には、学校や病院などの重要施設が比較的多く、小規模ながら商業地やビジネス街も存在している。また、大型のショッピングモールも存在する。他の地方都市と同じく、A都市圏でも自動車が圧倒的な分担率となるが、都市圏内の多くの地域は、鉄道や路線バスで移動可能である。また、高速鉄道などの幹線交通機関も比較的使用しやすく、他都市との広域的な旅客流動も存在している。

公共交通の利用実態の調査手法については、まず、朝夕は学生の通学利用が大半であることから、分析対象都市内の学校を対象とした訪問調査が最も効率的なデータ収集手法と考えられるため、これを実施することとした。次に、日中については、人々の移動時間帯や移動目的が様々であることから、特定の施設における訪問調査は困難と考えられる。一方で、旅客流動量が比較的小さく、大きな波もないことから、駅やバス停での公共交通利用者に対する直接インタビュー調査が、最も効率的なデータ収集手法と考えられるため、これを実施することとした。表1は、A市における、公共交通の利用実態調査（平日）の概要を示したものである。なお、本研究は需要予測が目的ではないため、対象都市内の流動量を把握する必要はなく、人々の公共交通の利用傾向が把握できる程度の規模で十分である。また、実態調査は休日でも実施したが、本稿では、人々の移動や各種活動が活発であり、年間日数も多い平日について述べる。

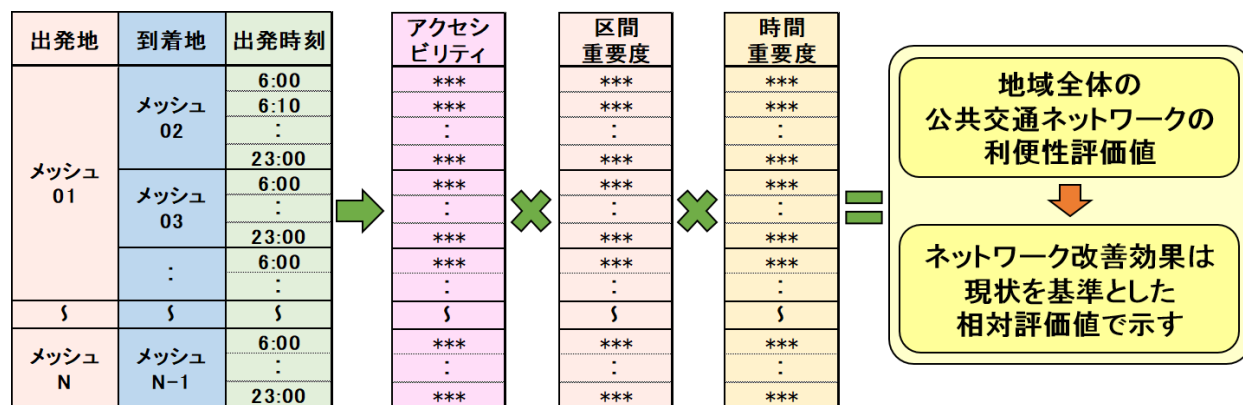


図6 公共交通ネットワークの利便性評価値の算出イメージ

表1 公共交通の利用実態調査の概要（平日）

調査箇所 および 調査手法	通学	都市圏内の3校の高等学校での訪問調査（回答は即日回収）
	日中	都市圏内の6ヶ所の駅と4ヶ所のバス停でのインタビュー調査
調査日	通学	2016年11月の平日 ▪ 各校1日ずつ実施
	日中	駅：2016年11月の平日 ▪ 全駅で調査日は同じ バス停：2017年12月の平日 ▪ 各箇所調査日は異なる
回収 回答数	通学	有効1,118票（全数1,235票）
	日中	有効645票（全数748票） ▪ 駅：391票 バス停：254票
主な 調査項目	共通	▪ 性別等の個人属性 ▪ 居住地（町目・大字単位）
	通学	▪ 普段の通学行動 ▪ 公共交通機関のサービス水準が変化した場合の通学行動（仮想選択問題） <i>etc</i>
	日中	▪ 当日の公共交通利用状況 ▪ 普段の自動車利用状況 <i>etc</i>

3.2 利用実態調査（平日）から得られた知見

3.2.1 朝夕の公共交通の利用実態

学生の主な通学手段は、徒歩・自転車、路線バス、及び鉄道であり、その選択傾向には自宅と学校の距離との関係性が見られた。図7は、自宅と学校からの距離と通学手段の関係性を、模式的に示したものである。自宅と学校の距離が約3km圏内の近距離帯では、学生の大半は徒歩・自転車を選択していた。そして3km～5km圏の近～中距離帯では、徒歩・自転車と路線バスの間に競合関係が見られた。ただし、路線バスが競争力を持つには、利用可能なバス路線の輸送サービス水準も重要であり、これが低いバス路線しか利用できない学生では、路線バスの選択率は非常に低かった。当該距離帯では、路線バスは徒歩・自転車よりも速達性等の面で有利であるものの、圧倒するほどではないため、徒歩・自転車と競合関係になり易いと考えられる。また、バス路線の輸送サービス水準を、仮想的に変化させた場合の仮想設問でも学生の感度は比較的高くなっており、このことも、路線バスが徒歩・自転車と競合し易いことの証左と考えられる。鉄道については、速達性や定時性等の面で路線バスよりも優れるが、駅間の長さなどによる自宅・学校と駅のアクセス・イグレス性の低さ等の影響で、当該距離帯における選択率は低く、他の交通機関とあまり強い競合関係は築かれていなかった。5km～7kmの中距離帯になると鉄道の選択率が上昇し、距離帯が伸びるほど、駅のアクセス性・イグレス性の影響は小さくなっていった。これは、移動距離が延びるにつれ、鉄道の速達性や定時性の高さの重要性が増すためと考えられ、遠距離通学の

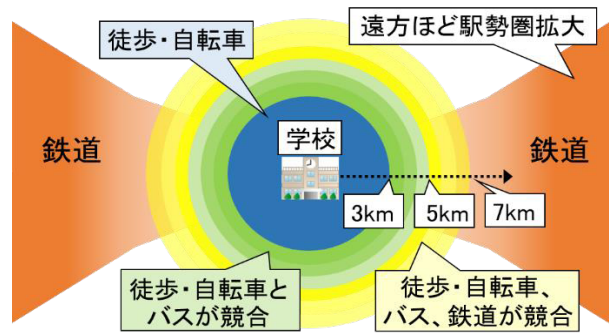


図7 自宅と学校の距離と通学手段の関係

学生にとっては、鉄道が事実上唯一の通学手段となっており、駅勢圏も拡大したと考えられる。また、鉄道の輸送サービス水準を、仮想的に変化させた場合の仮想設問においても学生の感度は比較的低くなっており、このことも、特に長距離帯において、鉄道の選択率が卓越することの証左と考えられる。

以上より、学生は、所要時間といった輸送サービスや、自宅・学校と駅・バス停とのアクセス・イグレス性等を比較して、合理的な判断に基づき通学手段を選択していると言え、得られたデータから、朝夕の公共交通移動に関する経路選択モデルを構築することが可能と考えられる。ただし、徒歩・自転車の選択傾向にやや性差が見られた点や、公共交通で通学する学生の大半は、保護者が購入した通学定期を保有し、利用に際して対価の支払いが発生していない点等に、注意が必要である。

3.2.2 日中の公共交通の利用実態

日中の鉄道利用者の性別・年齢は多様であり、運転免許保有率も50%程度と比較的高かった。利用目的も様々であるが、利用者の約40%は、都市間移動といった比較的長距離を移動する人々であった。これは、学生の通学実態と同様に、鉄道の速達性や定時性の高さが理由と考えられ、自動車と比較しても鉄道の利便性が高いという合理的な判断の下で、選択されたと考えられる。また、他地域からの来訪者による利用も多く、鉄道が広域的な交流を支えていることも把握できた。

日中の路線バス利用者は、自由に利用できる自動車を持たない高齢者、特に高齢女性の比率が圧倒的に高く、回答者の約半数は、70歳以上の高齢女性であった。また、都市圏内の近～中距離移動で利用されている場合がほとんどであった。当該距離帯における、自動車の機動性や自由度の高さは際立っており、路線バスの輸送サービス水準は、自動車を自由に使える人々にとって、競争力を有する水準に達していないと考えられる。ただし、中心市街地や病院など、バス路線が充実している地区では、自由に自動車を利用できる人々の路線バス利用も存在しているため、これら人々も合理的な判断の下で、交通手段を選択していると考えられる。また、鉄道と路線バ

特集：輸送・交通計画技術

スの乗継ぎも、比較的接続が良い一部の駅では発生しているため、鉄道と路線バスの接続や連携の改善は、公共交通ネットワークの利便性向上に寄与するものと考えられる。

以上より、鉄道と路線バスの利用傾向には大きな差があり、さらに路線バスでは利用者にも偏りがあるものの、各々が自身の移動条件の下で、合理的な判断に基づき交通手段を選択していると言える。そして、得られたデータから、日中の公共交通移動に関する経路選択モデルを構築することが可能と考えられる。ただし、分析対象地域では、路線バス運賃の高齢者割引が実施されており、注意が必要である。

4. 公共交通ネットワークの利便性評価システムの開発

地域全体の公共交通ネットワークの利便性評価値を推計するには、膨大な作業量や計算量が必要となる。そのため本研究では、一連の作業や計算を自動化するために、地理情報システム (GIS) を活用した公共交通ネットワークの利便性評価システム (以降、評価システムとする) を、併せて製作している。図 8 は、製作中の評価システムの画面であるが、現在の評価システムは、地図データや地域メッシュデータ、公共交通の路線データ等の各種地理空間情報データや、公共交通の運行ダイヤといった、各種輸送サービスデータをシステム内に格納しており、これらに基づき、任意地点間の公共交通移動経路を、出発時間ごとに抽出し、それら各経路の所要時間や費用などの、輸送サービスデータを整備することができる。

今後は、各地域メッシュ中心点間の公共交通移動のアクセシビリティの自動計算機能や、区間重要度と時間重要度を格納するためのデータベースを作成し、公共交通ネットワークの利便性評価値の自動推計を可能とする予



図 8 製作中の評価システム画面

定である。また、運行ダイヤやバス路線の編集が可能となるような機能も作成し、様々な公共交通ネットワーク改善案のシミュレーションが、本評価システム上で実行できるようにする予定である。

5. おわりに

本稿では、地方都市への適用を前提に開発を進めている、地域全体の公共交通ネットワークの利便性評価手法の評価理論と、評価手法の具体的な構築に必要なとなる、公共交通の利用実態データの収集手法やその実施概要を述べた。そして収集されたデータの分析結果から、モータリゼーションが進行した地方部においても、公共交通利用者は自身の移動条件の下で、合理的な判断に基づき、地域内の移動手段として、公共交通を選択していることを把握することができた。

今後は、取得された公共交通の利用実態データを基に、分析対象地域における公共交通ネットワークの利便性評価値の、具体的な算出を行う。そして、例えば、公共交通事業者の負荷を増大させることなく、地域の公共交通の、改善構想に資する研究開発を進める。

文献

- 1) 例えば、宮崎耕輔，高山純一，中山晶一郎：地方鉄道の廃線が地域住民の生活に与えた影響分析に関する研究，土木計画学研究・講演集 Vol.34,2007
- 2) 片上諒，平岡秀和，早崎藍，鈴木春菜，高野伸栄，榊原弘之：中小地方都市の公共交通計画のための簡易交通実態調査手法に関する研究，社会技術研究論文集 Vol.11,pp.22-32, 2014
- 3) 例えば，国土技術政策総合研究所：アクセシビリティ指標活用の手引き（案），
<http://www.nilim.go.jp/lab/jcg/index.files/accessibility.pdf>（参照日：2018年10月5日）
- 4) Richerdson, A. J. and Young, W.: Ameasure of linked-trip accessibility, Transportation Planning and Technology, Vol 7, pp. 73-82, 1982.
- 5) 国土交通省：平成 22 年度全国都市交通特性調査，
http://www.mlit.go.jp/toshi/city_plan/toshi_city_plan_tk_000007.html（参照日：2018年10月5日）
- 6) 総務省統計局：統計データ，
<http://www.stat.go.jp/data/>（参照日：2018年10月5日）