

時刻表データを用いた 公共交通網評価手法の提案

寺園 結基¹・伊藤 昌毅²・大口 敬³

¹ 学生非会員 東京大学大学院 工学系研究科社会基盤学専攻 (〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)
E-mail: terazono@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

² 正会員 東京大学准教授 大学院情報理工学系研究科 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)
E-mail: ito.masaki@sict.i.u-tokyo.ac.jp

³ 正会員 東京大学教授 生産技術研究所 (〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)
E-mail: takog@iis.u-tokyo.ac.jp

効率的な交通サービスを提供するためには、公共交通網の需要と供給を一致させることが重要である。しかし、交通・社会経済データの充実により需要予測の精度が向上する一方、事業者が詳細な運行データを保持するため、公的機関が供給側の評価を行うことが難しかった。

そこで、本研究では GTFS 形式の時刻表データを用いて公共交通網の供給性能の評価を行う。具体的には、高校生の通学や高齢者の通院などのシナリオを定めて、網羅的な経路探索結果を GIS を用いて時空間的に評価する。これにより、都市の交通網を詳細に評価が可能になるほか、同じ基準で都市間比較を行うことができる。

ここでは例として、札幌、熊本、広島都市圏において、学校、病院、行政機関などへの到達可能性を分析し、都市間で比較する。このことから、規模や交通モードが異なる政令指定都市において、今後の交通整備へのあり方を示す。

Key Words: GTFS, Accessibility, Intercity-comparison

1. はじめに

本研究の背景として、公共交通の経営難を挙げる。以前から人口減少やモータリゼーションの進展により、事業者の経営難が続いていた。直近では、コロナ禍による急速な利用の減少が起こり、効率よく運営する必要性が高まっている。その一方で、事業者は選択と集中により収益路線に注力し、不採算だが地域にとっての価値がある路線が廃止されてしまう可能性がある。赤字路線を維持するためには、事業者に対する欠損補助や設備費用の低減、行政独自のコミュニティバスやデマンドバスの運行など、行政の支出が前提となる。その際、費用対効果の面から政策を正確に評価することが必要となる。

一方で、第 2 章で述べるように現状のサービス水準の評価手法には課題が山積している。交通事業は固定費が大きい装置産業であり、一旦廃止や規模縮小を行うと、元のサービスを行うことは難しい。今後も持続的なサービスを提供するためには、住民の変化に合わせたニーズを満たした上で、事業者が事業を継続できる仕組み作りが必要である。データに基づく政策立案 (EBPM) の重要性が高まる中、行政は定量的なデータに基づく判断が

求められている。

そこで本研究では、時刻表などのデータを用い、住民の利便性や運営時のコストといった公共交通のサービス水準を、定量的に評価することを目的に分析を行った。

2. 既往研究・政策評価のレビューと本研究の位置付け

(1) 既往研究のレビュー

既往研究では、アクセシビリティという単語を用いた研究が多く見られる。例えば、国土交通省¹⁾は時間、空間、金銭面を考慮したアクセシビリティ指標を提案した。谷本ら²⁾は、公共交通の時刻表と活動パターンを考慮し、時刻表の有無で時間配分の多様性を示す指標が変わることを示した。これらの指標は複数都市で比較可能であるが、計算が煩雑で用いられた例は少ない。

また、アクセシビリティを独自に定義し、地域や条件を絞って解析を行った研究も多い。Guo ら³⁾はロンドンの地下鉄の乗換には多大な不利益が発生し、これを改善することで、交通ネットワークに大きな利益をもたらす

ことを示した。

Anderson ら⁴⁾ はコペンハーゲンで公共交通機関利用者の顕示的思考 (RP) を考察し、旅行者の行動をよりよく説明するためには、モデルに推定において旅行目的と旅行期間を検討することが重要だと指摘した。

これらの研究では、分析対象を特定の地域に絞ることで、アクセシビリティについて独自に深く分析を行なっている。しかし、指標の汎用性に乏しく、都市間比較を行うことが難しい。

(2) 政策評価のレビュー

既存の交通サービスを考慮する際は、公共交通サービスエリア (駅勢圏) の考え方が主に用いられてきた。これは、駅もしくはバス停から直線距離で Xm 以内の範囲を公共交通利用可能な人口とするもので、簡易に計算を行うことができる利点⁹⁾がある。しかし、本数や速達性といった駅の性質を考慮できないため、これを解決するために様々な研究⁹⁾が行われてきた。

また、最近ではクロスセクター効果により、公共交通を廃止した際の外部不経済を推定する動き⁷⁾もあるが、公共交通を改編した際の効果を推定した例は少ない。

新規に交通を整備する際は、費用便益分析 (B/C) が主に用いられる⁸⁾。これには、時間短縮や乗換抵抗の減少のように、便益の計測方法が明確で蓄積が多いというメリットがある。しかし、評価項目が交通の利用者・事業者と環境問題の改善に限定され、トリップの目的に焦点をおいた分析ができていない。

(3) 本研究の位置付けと意義

以上のように既往研究では、アクセシビリティに着目したもの、政策評価で便益を簡易に計測したものなどがある。しかし、それらは都市もしくは交通の一方を評価することができても、都市全体の公共交通網を評価することは難しい。

これらの問題を解決する手段として、GTFS (General Transit Feed Specification) データを活用して、乗り継ぎを含めたバス路線網の利便性評価を行なった研究がある。伊藤ら⁹⁾は、乗り継ぎを含めたバス路線網の利便性評価を行い、最小所要時間だけではなく、日中所要時間やジニ係数 (移動速度の違い) の値からバス路線網の評価を行うことを提案した。Fransen ら¹⁰⁾は、ベルギーのフランドル地方において、公共交通の需要と供給の指標を作成し、需要と供給のギャップが今後の交通サービスを考える際の鍵になると示した。

本研究では同様の手法を用いて、国内の政令指定都市において、住民が特定の目的地に行くというシナリオを想定することで、社会にとって必要な公共交通網について分析する。

本研究の意義を 4 点挙げる。1 点目は、時間帯による運行頻度や所要時間の違いを考慮した分析を行うことである。従来の手法の場合、駅からの同心円で駅勢圏を設定し、目的地までの最短所要時間などを評価しているが、駅の使い勝手や実際の所要時間を考慮した指標とは言えず、条件により最短ルートが変わる可能性がある。本手法では、一地域の複数事業者の時刻表データと、道路ネットワークを用いた歩行データを用いることで、時間帯による運行頻度や所要時間の違いを考慮した分析を行うことができる。

2 点目は、都市全域での移動需要に対して、公共交通の充足度合いを示すことである。従来の手法の場合、地点の交通利便性に絞った分析が行われていたが、本稿では通院や通学を目的とする特定のシナリオに対して、需要が発生することを前提として分析を行っている。将来的には複数のシナリオで重み付けをして、分野横断的な判断基準を設けることを予定している。

3 点目は、シナリオの変更にも対応できることである。GTFS データはダイヤ改正ごとに更新されるため、季節や年度の違いといったダイヤの変更にも対応できる。また、データを自作することもでき、増便・減便や路線の見直しといったシナリオを独自に作成し、都市の公共交通網を評価することができる。

4 点目は、共通の指標を用いて都市間比較を簡易に行えることである。従来の手法の場合、計算が複雑であるにもかかわらず、出力結果が交通関連の項目に限定されるため、労力に見合った成果を得ることが難しかった。本研究では、一般に公開されているデータを用いた分野横断的な分析により、都市間比較を行い、都市政策への示唆を得ることができる。

3. GTFS データと Open Trip Planner を用いた公共交通評価手法

(1) GTFS (時刻表) データの導入

GTFS データとは、公共交通機関の時刻表と、駅やバス停の位置といった地理的情報に関するオープンフォーマットのデータである。Google が開発し、Google Map での経路検索や、いくつかのアプリケーションで利用される。日本では、国土交通省が GTFS を拡張して策定した、標準的な標準的なバス情報フォーマット形式 (GTFS-JP) が主に用いられる¹¹⁾。交通事業者が直接公開する場合もあるが、行政の補助によりデータが作成される場合は、プラットフォームとなるページでデータが公開されることも多い。

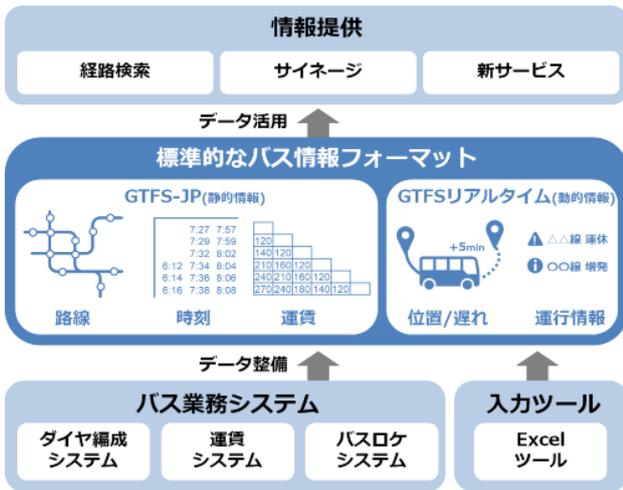


図-1 GTFSデータの概要¹¹⁾

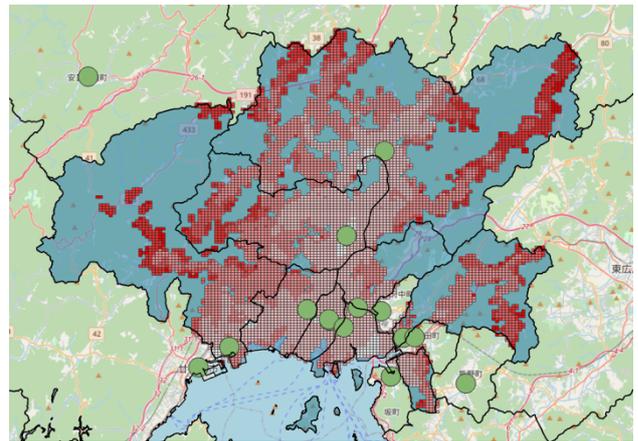


図-2 広島市で到達圏と人口メッシュを重ね合わせた計算例
青色が市域、緑の丸が目的地、赤色のメッシュが到達圏である。赤が濃いほど目的地までの最短時間が大きいことを示す

(2) Open Trip Planner を用いた経路探索

Open Trip Planner は、オープンソースの経路検索エンジンであり、GTFS データを元に自動車、鉄道、バス、自転車、徒歩といった交通機関を複合的に扱うことができる。また、設定した目的地に設定した時刻までに到着できる範囲を、経路検索エンジンを用いて算出する、到達圏地図作成機能がある。本研究では、市内に複数ある病院や高校などの同種の目的地に対して、入口が開いている時間帯に到着できる範囲を、10分刻みで本機能を用いて算出した。90分以内で到達する範囲を到達可能と判断し、10分以内から90分以内まで10分ごとに到達可能範囲を計算した。その際、交通手段として鉄道、バス、徒歩を想定し、乗換を許容した上で、合計徒歩距離には制限を設けた。

(3) 人口データとの結合

先項で作成した到達圏地図と 250m メッシュの人口データを QGIS と SQL を用いて重ね合わせ、人口あたりの利便性を測定する。各メッシュから最短となる目的地・到着時刻までの時間を計算し、QGIS で図示すると下図ようになる。この際、計算を簡易にするため、到達圏地図の範囲に一部でも被っているメッシュがあれば、メッシュ全体で到達可能と判断した。

4. 分析に用いるデータの概要

(1) GTFS データ

本研究は GTFS データの利用が前提となるため、現在のバスのデータが十分に公開されていること、一定の規模以上の都市間比較を行うことから、札幌市、広島市、熊本市の3つの政令指定都市を選定した。多くの場合バスのデータは公開されているが、鉄道と路面電車のデータは公開されていないことが多いため、不足するデータはインターネット上の時刻表から自作を行った。用いた都市、事業者のデータを以下の表に示す。

表-1 使用した GTFS データ。黒色は事業者もしくはプラットフォームが公開しているもので、赤色は自作したもの。

	札幌市	広島市	熊本市
鉄道	JR北海道	JR西日本	JR九州
	札幌市営地下鉄	アストラムライン	熊本電鉄
路面電車・短距離鉄道		広島電鉄	熊本市交通局
		スカイレール	
バス	北海道中央バス	広島電鉄	産交バス
	じょうてつ	中国ジェイアールバス	熊本電鉄バス
	札幌ばんけい	広島交通	熊本バス
	夕鉄バス	備北交通	熊本都市バス
		芸陽バス	
		エイチ・ディー西広島	
		フォーブル	
		ささき観光	
		江田島バス	

(2) 目的となる場所のデータ、検索した条件

通常のパーソントリップ調査の質問事項では、移動の目的として帰宅、私事、通勤、通学、業務の5つが設定され、平成 30 年での東京都市圏では、この順に目的別トリップ数が多くなっている¹²⁾。ただし、帰宅トリップの目的地の把握は困難であり、私事トリップの目的地は

多く存在する。そのため、本研究では公共交通を使う目的が明確なものとして、通院、通学、行政機関での手続きを想定し、目的地を抽出した。また、実際の状況に近づけるため、目的地の分類に合わせて検索条件を設定した。詳細を以下の表に示す。

表-2 目的地のデータと検索条件

項目	到着時刻	目的地の範囲	最大歩行距離(m)	特記事項
市役所・区役所	9:00~17:00	政令市	1000	住民サービスの範囲が限定
病院 (200床以上)	9:00~15:00	政令市	1000	200床は地域医療支援病院の目安
高校	7:20~8:20	県・支庁	1500	通学範囲や朝練、朝課外を考慮

(3) 人口データ

人口データとして、2015年の国勢調査をベースとした250mメッシュのデータを用いた。また、想定する住民の居住範囲を、各政令指定都市の行政区域内とした。

5. 公共交通網評価の実例

上記の方法で経路検索を行い、一定の時間以内に目的地となる場所に到達できた人口の割合をカバー率と定義する。これを用いることで、必要な移動に対する利便性がどの程度確保されているのかを、把握することができる。各都市の目的地の個数と結果を以下の表と図に示す。

表-3 各都市の目的地の個数

項目	札幌市	広島市	熊本市
市役所・区役所	12	8	6
病院	57	20	20
高校 (範囲は県・支庁)	62	74	49

(1) 市役所・区役所

短時間では札幌市のカバー率の伸びが顕著で、広島市と熊本市がほぼ同等の伸びを示す。目的地の数は少ないが、公共交通の拠点となる場合が多く、40分圏内に人口の9割が居住していることがわかる。

市役所・区役所カバー率

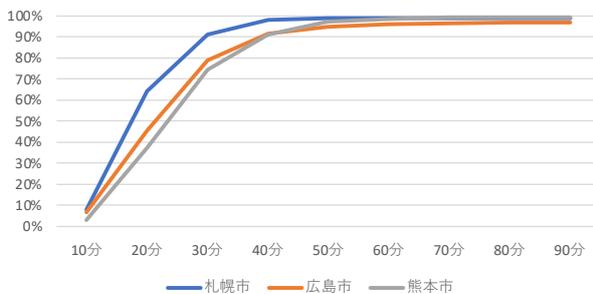


図4 市役所・区役所カバー率

(2) 病院

カバー率の伸びは札幌市が最も大きく、熊本市、広島市の順に続く。目的地となりうる規模として、地域拠点病院となる目安の200床以上に絞ったが、各都市とも20箇所存在するため、カバー率は市役所・区役所に比べて高く出る傾向がある。

病院カバー率

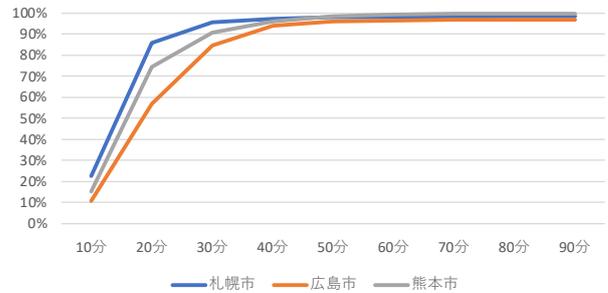


図-5 病院カバー率

(3) 高校

カバー率の伸びは札幌市と広島市がほぼ同等で、熊本市が低くなっている。ただ、各都市とも目的地が50箇所以上存在すること、高校生の体力を考慮し最大歩行距離をやや長く設定したことから、熊本市を除いてカバー率は最も高くなった。一方、普通教育と専門教育の違いや、進路状況についての考慮を行っていないため、高校生が希望する高校に通学できる割合はこれより低くなる。

高校カバー率

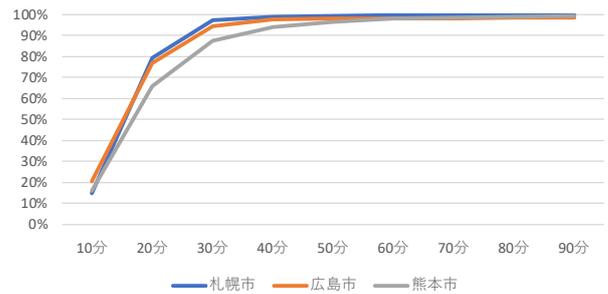


図-6 高校カバー率

(4) 計算における留意点

本手法では簡易に計算を行うため、考慮していない事項が多数存在する。まず、250mメッシュの人口データは属性が限られるため、個人属性に合わせた分析を行っていない。また、地理座標系の地図をベースとしたメッシュを用いたため、緯度が高いほど東西の距離が圧縮され、各メッシュは完全に同一の面積とはならない。さらに、人口メッシュは、到達圏地図と少しでも重なるメッ

シユは出発地として計上したため、実際の範囲より若干多く人口が集計される。これらの点などに留意が必要である。

(5) 公共交通サービスエリア（駅勢圏）を用いた場合

本手法の結果と比較するために、駅勢圏の考え方をを用いて利便性を測定した場合の結果を示す。鉄道駅から 1km、路面電車の電停・短距離鉄道の駅から 500m、バス停から 300m の範囲内に居住する人口を各駅の利用範囲と定義し、その中に入るものを公共交通サービスエリアと示した。速達性や安定性を考慮し、鉄道のみ、鉄道と路面電車・短距離鉄道、バスを含めた全ての公共交通の 3 パターン作成した。結果として、鉄道で 4-6 割程度、路面電車と短距離鉄道を含めて 5-7 割程度、バスまで含めて 9 割以上カバーできるという結果になった。ただし、全公共交通の場合でも到達圏 90 分の場合よりカバー率が低くなっており、原因として歩行距離の計算方法の違いが考えられる。

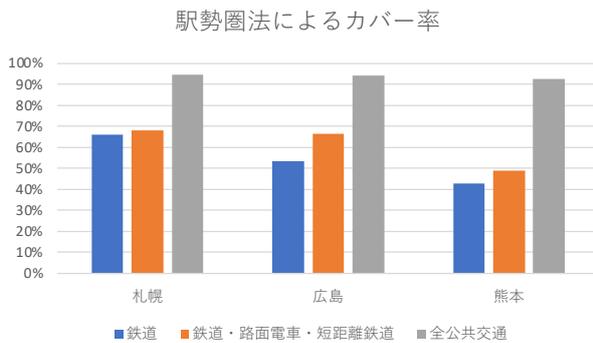


図-7 駅勢圏法によるカバー率

(6) 各都市の公共交通網に対する評価

カバー率は札幌市が最も高く、広島市と熊本市がそれに続く結果になった。この理由として、3 都市の中で札幌市の都市規模が最も大きく、唯一地下鉄が存在するなど公共交通が充実していることが考えられる。また、目的地により広島市と熊本市の順序が入れ替わった理由として、都市規模は広島市の方が大きいものの、三角州や山がちな地形が多く、直線距離での移動が難しいことが考えられる。

GTFS-GO を用いて各都市の中心部の公共交通網を以下に示す。なお、色のついた線が鉄道路線、青緑のマークが駅・停留所、小さい丸がバス停を示す。また、赤色のメッシュは 250m を表わし、これが濃いほど人口が多いことを示す。

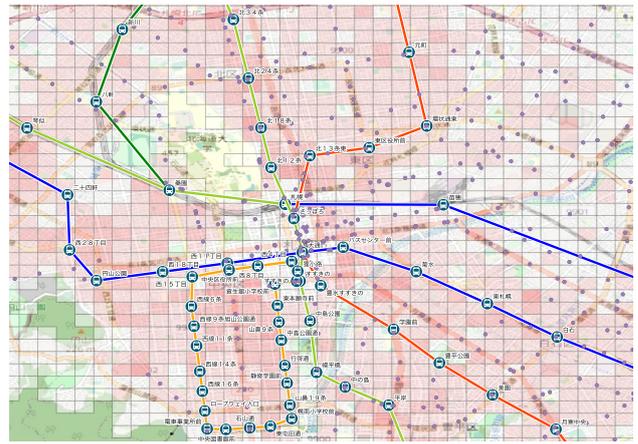


図-8 札幌市の公共交通網

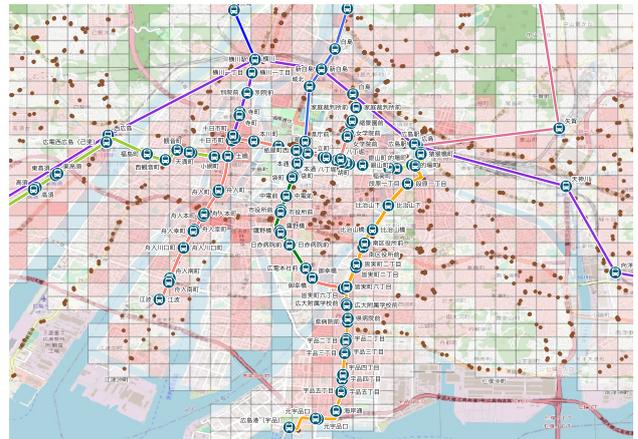


図-9 広島市の公共交通網

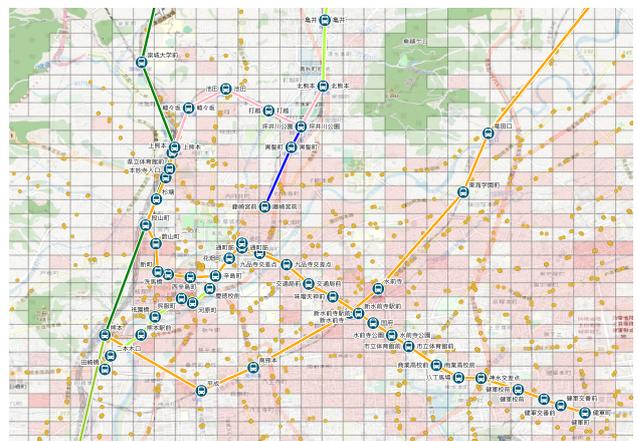


図-10 熊本市の公共交通網

6. 提案手法に対する考察

本手法では、公共交通の時刻表を用いた経路検索を行い、公共交通網を網羅的・定量的に評価した。また、特定のシナリオを想定し都市間比較を行なった。その結果、市役所・区役所、病院、高校といった 3 種類の目的地に対し、30 分以内に人口の 8 割以上が到達可能であり、公共交通の需要に対して一定以上のサービスの供給が提供

されていることを確認できた。また、従来の駅勢圏法に加えて移動時間、接続性、歩行距離を考慮することで、より実際の移動に近い条件で分析を行うことができた。

一方で、本手法の課題も多く存在する。1 点目として、目的地や個人属性についての妥当性の確認が必要である。そのため、PT (パーソントリップ)、PP (プローブパーソン) データを合わせて、トリップとシナリオを検討することが求められる。2 点目として、本手法では時刻表と目的地以外の条件を考慮できない。待合施設の快適さや、路線のわかりやすさといった評価項目の追加を検討する。ただし、評価項目が多いと多重共線性の問題を引き起こすことが考えられるため、それぞれのトリップやシナリオの妥当性の検証が合わせて必要となる。3 点目として、GTFS データを公開する事業者が少なく、鉄道に比べてバスのデータを作成することは困難を極める。バス会社が単独でデータを作成すると労力がかかるため、公的主体によるデータの整備の後押しが求められる。

7. おわりに

本研究では GTFS データを用いた経路探索により、公共交通網評価手法を提案した。

その結果、札幌、広島、熊本の 3 都市において、定量的な手法を用いて、人口あたりの公共交通の利便性を算出することができた。これにより、都市における移動需要と供給を把握し、一日の活動範囲や活動種類・拠点数などを適切に評価するための材料を得ることができた。

今後の課題として、シナリオの妥当性の確認や評価項目の検討、GTFS データの整備などが考えられる。

謝辞: GTFS ツールの提供や利用方法について、東京大学空間情報科学研究センター 客員研究員 西沢明先生から助言を得ました。心から感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省: 地域公共交通の「サービスのアクセシビリティ指標」評価手法について, 2014.
- 2) 谷本 圭志, 牧 修平, 喜多 秀行: 地方部における公共交通計画のためのアクセシビリティ指標の開発, 土木学会論文集 d, pp.91-104, 2013.
- 3) Zhan Guo, Nigel H.M. Wilson, Assessing the cost of transfer inconvenience in public transport systems: A case study of the London Underground Author links open overlay panel, Transportation Research Part A: Policy and Practice, Volume 45, pp.91-104, 2011.
- 4) Marie Karen Anderson, Otto Anker Nielsen, Carlo Giacomo Prato: Multimodal route choice models of public transport passengers in the Greater Copenhagen Area, EURO J Transp Logist, Volume 6, pp.221-245, 2017.
- 5) 国土交通省: 都市・地域総合交通戦略及び特定の交通課題に対応した都市交通計画検討のための実態調査・分析の手引き, p.82, 2010.
- 6) 武藤 雅威, 奥田 大樹: 鉄道競合地域における駅勢圏設定手法, RIRI REPORT, Vol27, pp.5-11, 2013.
- 7) 西村 和記, 東 徹, 土井 勉, 喜多 秀行: クロスセクター効果で測る地域公共交通の定量的な価値, 土木計画学研究・論文集 第 36 卷 (特集), 809-I_820, 2019
- 8) 国土交通省: 鉄道プロジェクトの評価手法マニュアル(2021 改訂版), 2021.9.26 閲覧
<https://www.mlit.go.jp/common/000224631.pdf>
- 9) 伊藤 聖樹, 小林 佑也, 松本 幸正: GTFS を活用したコミュニティバスの利便性 評価の一手法に関する研究, 第 63 回土木計画学研究発表会・講演集, pp.1-6, 2021.
- 10) Koos Fransen, Tijs Neutens, Steven Farber, Philippe De Maeyer, Greet Deruyter, Frank Witlox: Identifying public transport gaps using time-dependent accessibility levels, Journal of Transport Geography, Volume 48, pp.176-187, 2015.
- 11) 国土交通省九州地方整備局, 標準的なバス情報フォーマット FAQ (HTML 版, R2.3.31 時点版), 2021.9.27 閲覧
https://www.tb.mlit.go.jp/kyushu/m_koukatsu_r1gtfs.html
- 12) 国土交通省関東地方整備局, 総移動回数が調査開始以来, 初めて減少—第 6 回東京都市圏パーソントリップ調査の集計結果概要について—, 2021.9.25 閲覧
<https://www.metro.tokyo.lg.jp/tosei/hodohap-pyo/press/2019/11/27/documents/02.pdf>

(2021. 10. 1 受付)

Proposal of a Method for Evaluating the Level of Public Transport Service Considering Timetable Data

Yuki TERAZONO, Masaki ITO and Takashi OGUCHI

In this study, we evaluate public transportation networks using timetable data in GTFS format. Specifically, we defined scenarios such as commuting to school and hospital, performed exhaustive route searches for time and space, and evaluated the output results using GIS. The results will be used to show how the future transportation system should be developed in government-designated cities with different sizes and transportation modes.