

多様な末端交通を対象とした サービスレベルの定量的評価

湧上 海斗¹・柳原 正実²・小根山 裕之³

¹非会員 東京都立大学大学院 都市環境科学研究科 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)
E-mail:fuchigami-kaito@ed.tmu.ac.jp

²正会員 東京都立大学大学院助教 都市環境科学研究科 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)
E-mail: yanagihara@tmu.ac.jp

³正会員 東京都立大学大学院教授 都市環境科学研究科 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)
E-mail: oneyama@tmu.ac.jp

近年、少子高齢化が進行しているわが国では、自家用車を自由に使うことのできない、いわゆる「交通弱者」となる高齢者が増加している。特に都市近郊における丘陵地などでは、今後局所的な高齢化が急速に進み、現在の公共交通網ではモビリティを保証できないことが考えられる。このような交通不便地域と呼ばれるような地域において、地域公共交通施策の一環として交通不便地域を把握し、モビリティを確保するための施策検討を行うことがある。しかし、多様な交通手段を同じ評価指標のもとに定量的、かつ簡便に評価するような枠組みはあまりなく、手法の構築が求められている。

よって本研究では、自家用車を含めた多様な末端交通のサービスレベルを定量的指標で示す枠組みを構築することを目的とし、道路ネットワークや標高などの地形条件やバス時刻表などの交通条件の下、年齢、出発地、目的トリップごとに交通モードの差異による現状のサービスレベルを評価することを試みる。

Key Words : *Transportation Mode, Converted Distance, Service Level*

1. はじめに

(1) 研究背景と目的

近年、少子高齢化が進行しているわが国では、自家用車を自由に使うことのできない、いわゆる「交通弱者」となる高齢者が増加している。自家用車が無ければ生活のしにくい地域は日本に多く存在し、高齢者ドライバーによって起こった凄惨な事故も近年よく見かける。この問題を解決するために、高齢者における運転免許返納を促す取り組みが全国で広がっているが、そういった土地において自家用車を使えなくなるということは、移動の足を奪われることと同義である。このような場所、状態において移動の足として公共交通がしっかりと整備されていることが生活をする上で必要不可欠となる。またそのなかで、バス停へのアクセス時などの徒歩移動には勾配のある道を通ることも考えられる。特に都市近郊における丘陵地などでは、今後局所的な高齢化が進み、交通弱者が急激に増加することで、現在の公共交通網では十分なモビリティを保証できないことも考えられる。

公共交通機関においても、従来型のバスでは入れないような隘路や勾配のある地域には公共交通が整備できない事例や、中山間地域や都市郊外部などの利用人口が限

定されてしまうエリアでは、従来型の公共交通が利用者の減少や減収による減便などで、そもそも公共交通として維持することが難しい事例も多々存在している。また、人々の生活もここ数年で急激に多様化したことで、人々の外出行動の目的や手段も多様化している。これらの中で、定時定路線型タイプの従来型交通に代わり、オンデマンド型の新しいタイプの公共交通やシェアモビリティなどの新たな交通モードの普及が進んでいる。

以上のように多様な交通モードが存在する中で、効率よく公共交通網を整備するにはその地域にあった需要や利用、特性を把握し、反映してやることが重要であり、自治体等においては、地域公共交通施策の一環として交通不便地域を把握し、モビリティを確保するための施策検討を行うことがある。一般に、駅やバス停からの距離等に基づきアクセシビリティを把握することが行われるが、多様な交通手段を同じ評価指標のもとに定量的に評価するような簡便な枠組みはあまりない。そのため、例えば交通不便地域の解消のために新たな交通モードを導入した際、どの程度サービスレベルが向上するのか適切に評価されない場合が多々ある。これらの背景から、その手法の構築が求められている。

(2) 既往研究の整理と本研究の位置づけ

公共交通のアクセシビリティ評価に関して、これまでに様々な研究が盛んに行われている。まず、公共交通を評価する類の指標・方法をレビューしたGeurs, K. T. et al. (2004)¹⁾による研究がある。これによると、サービスレベル評価の考え方のタイプとして主に土地利用ベース、交通ベース、時間ベース、個人ベースの4つが挙げられており、交通計画への利用や土地計画利用など多くの目的に対して様々な方法が用いられ、評価要素的な相関や欠落があることに注意が必要であると述べている。本研究では公共交通のサービスレベルを多様性の観点で評価することから、主に時間ベースの考え方で進めていくこととなる。

時間ベースの考え方における既往研究としては、まず、大東ら(2006)²⁾が広島市佐伯区南部を対象に徒歩、移動時間、乗換、費用を一般化時間として一元的に算出し、ArcGISを用いて段階ごとにマッピングしている研究が挙げられる。Calvin P. Tribby. et al. (2012)³⁾はGISを用いてニューメキシコ州アルバカーキで高速バス路線を追加した際のアクセシビリティへの影響を相対的な時間指標を用いて詳細な範囲での評価を可能にしている。また、時空間ネットワークを構築し、最短経路問題として扱うダイクストラ法を用いた方法でも検討がなされており、赤星ら(2012)⁴⁾のように自家用車は道路ネットワークをベースに自動車の平均速度から算出、公共交通はバス停データと時刻表を用いた時空間ネットワークからその時間を指標とした評価をされている研究などが見受けられる。ほかにも、増山(2018)⁵⁾は地方公共交通のアクセシビリティ評価を行う上で、フリーのソフトウェア、サービス、データを用いた評価方法を提案している。こちらは評価項目を公共交通の移動時間という指標に定め、道路網とバス停データを整理し、時刻表データを使用して目的地における到着時刻を仮定し、そのアクセシビリティをヒートマップにて算出している。また、自家用車によるアクセシビリティも別途算出しているが、これは公共交通評価時の端末交通の計算におけるパラメータを変更して算出しているに留まる。主に時空間ネットワークを構築し、最短経路問題として扱うダイクストラ法を用いることが現時点では一般的であるといえる。

また、活動機会に影響を与えると考えられるバスダイヤ、バス停までの歩行疲労、活動を行う施設の営業時間帯などの要素を統合的に評価し、活動機会の大きさをアクセシビリティ指標として評価した喜多ら(2015)⁶⁾の研究や、高齢者の外出行動に関して、外出頻度という視点から、都市部と地方部の地区特性の差異を考慮し、外出頻度に影響する交通モードや日常生活行動(Activities of daily living : ADL)をアンケート調査から比較分析することで、地方部では影響の少なかった「公共交通」が都市

部では影響していることを明らかにし、地区特性に応じた交通施策等を行う必要があることを提唱した、柳原ら(2015)⁷⁾の研究なども挙げられる。

次に、徒歩移動において勾配の有する道を通る際の歩行負荷に関しては猪井ら(2007)⁸⁾が佐藤ら(2006)⁹⁾と高橋(1990)¹⁰⁾、佐藤ら(1992)¹¹⁾の研究からエネルギー代謝率(RMR)を用いた近似式から勾配における徒歩の等価時間係数を算出し、コミュニティバスをケーススタディーにその有効性を示している。この既往研究を基に、佐藤ら(2006)¹²⁾が、地形条件と身体能力を勘案した歩行負荷の指標としての換算距離について、実際の都市空間での施設利用の実態調査に基づいて研究している。

加えて、本研究においてはデマンド交通について考慮するが、ひとえにデマンド交通と言えど予約時間や乗降者地点など時間的な制約が異なる様々な運行形態が存在している。これについて、需要予測と普及過程、経費などの総合的な視点から運行形態別に事業者/利用者別に比較を行った林ら(2006)¹³⁾の研究があり、双方の利害関係を整理したうえで導入を検討していく必要があると結論付けている。同様にデマンド交通の運行形態別に輸送効率の視点から比較をしている山田ら(2013)¹⁴⁾の研究があり、需要に空間的分布を考慮することで輸送効率が高められることが分かっている。

これらデマンド交通の評価方法についてもこれまでに様々な議論がなされており、国土交通省の見解¹⁵⁾ではデマンド交通におけるアクセシビリティ評価は『デマンド交通の運賃や予約時から乗車時までの待ち時間などは別途考慮が必要』とされており、具体的な方法の類は記載されていない。大和ら(2008)¹⁶⁾は、デマンドバス利用時間の不確実性から需要の多い利用に適さない問題点に注目し、リアルタイム処理方式かつ経路や時刻が非固定のオンデマンドバスにおける利用者の希望到着時刻の早着許容分をゆとり時間とし、台数とともに予約成立率、乗合率等に着眼して評価を行い、スケジューリングアルゴリズムを開発している。野田ら(2008)¹⁷⁾は、利便性と採算性という利用者事業者双方の視点から固定路線バスとデマンドバスの評価を行っており、利便性をトリップの要求開始時刻から達成時刻までの平均時刻と統一することで、両モードを同列に比較することを可能としている。松尾ら(2019)¹⁸⁾は、高齢者に対する個人の移動特性とその需要に着目し、成田市におけるオンデマンドバスの運行実績データと市民の移動データの分析を用いて交通シミュレーションを行った。予約成立率や利用者の属性、行動パターンなど従来より詳細に諸条件を考慮したデマンドバスの評価とシミュレーションを可能にしている。

以上のように既往研究は数々存在しており、公共交通のアクセシビリティ評価に関する研究においては時間や費用を一般化する手法や交通アクセスポイントまでの距離、各目的地までの所要時間を評価対象としているものなど、様々なものが挙げられる。既往研究においては、地域における多様な交通モードを対象とし、同じ評価指標のもとに定量的に評価するような枠組みはあまりない。このような枠組みのなかで評価するにあたって、目的トリップにおける希望到着時刻等詳細な差異、勾配の考慮によるバス停アクセス時などの歩行疲労、さらには運行頻度から見た期待待ち時間ではなく、公共交通のダイヤグラムを考慮し現実的な要素を考慮することが重要である。以上のような要素を考慮した研究や方法論の提案は多々あるが、これらを考慮した上で、実務的な適用性を考慮しつつ同じ評価指標のもとに定量的に評価する枠組みを提案した事例はあまり見受けられない。

したがって、この部分が本研究の新規性となり、交通政策立案者における実務的課題である、条件によって様々な指標があることから説明における煩雑性の解消や、多様な交通モードを相対的ではなく絶対的な比較が可能である点、現状や仮想の交通整備によるサービスレベルの明確化から交通整備における根拠や目安となる点などに寄与することが出来る。

そこで本研究では、これらの課題に対し、自家用車を含めた多様な端末交通のサービスレベルを定量的な指標で評価・比較することで、交通政策立案者が利用することを想定としている、今後増加していく「交通弱者」に対する公共交通機関の改善などに寄与し、多様化してゆく交通モードを含めて地域における現在の公共交通サービスレベルを客観的・定量的に評価するための枠組みとなるモデルを構築することを目的とする。

(3) 本研究における対象地域の考え方

本研究では、多様な交通モードのサービスレベルを考慮するにあたって、想定される条件を基に、その地域や考え方を規定する。

今回、サービスレベルの評価として対象とする地域は、都市圏郊外部の地域（自治体等）を対象地域として想定しており、このような地域では、地域の特性として以下の状況があることを仮定している。

- ✓ 鉄道・バス等の公共交通も含む多様な交通モードが一定レベルで存在していること
- ✓ 勾配等の地形的特性、道路幅員等の交通基盤特性、人口属性などの特性により、一部地域において交通不便な地域が形成しうること
- ✓ 一定の人口が集積しており、多様な属性の利用者が多様な目的で活動を行うことが可能であること
- ✓ 活動目的となる施設等も選択可能な程度に存

在していること

以上4つの点から、ある特定の施設へのアクセシビリティを確保するのみならず、不特定多数の活動や目的地へのアクセシビリティを確保することが求められる。したがって、多様化する交通モード自体のサービスレベルを同列に評価し、比較する。これらのことから、地方部などで見かける「生活行動の質を向上させるために、目的を満たすことのできる対象施設の配置計画と公共交通計画を共に立案する」といったモビリティと活動場所の組み合わせ最適は本研究では考慮しない。

2. サービスレベル評価の枠組み

2.1 全体の枠組み

本研究では、分析対象となる地域の道路、鉄道等はネットワークデータを用い、100mメッシュごとに区分けし、この重心を出発地としてサービスレベルを評価し、色分けを行っていく。

分析では、利用者として「非高齢者」と「高齢者」の2つに分類し、トリップの目的も「通勤・通学」、「買い物」、「通院」の3つに分類した上で交通モード毎にサービスレベルの評価を行う。

以下に分析対象としている交通モードを示す。

- ✓ 定時定路線型バス
- ✓ デマンド交通（3パターン・詳細は後述）
- ✓ タクシー
- ✓ 車（自家用車・送迎・カーシェア）
- ✓ バイク
- ✓ 自転車（自家用自転車・シェアサイクル）
- ✓ 徒歩

なお、鉄道は上記に含まれていないが、本研究では主に端末交通のサービスレベルを評価しているためである。鉄道駅が目的地として設定されることにより、間接的に考慮されることとなる。

また、デマンド交通に関しては、林ら(2006)¹⁰の研究などでも言及されているように多様な形態がある。本研究で考慮する形態については3タイプであり、以下に記載する。

- ① 乗降位置選択型・時間自由型
- ② 乗降位置自由型・時間固定型
- ③ 乗降位置選択型・時間固定型

2.2 評価指標

ある地域内における公共交通のサービスレベルを評価する指標として、本研究では以降に挙げる3つの指標を用いることにする。また、これとは別に対象地域における交通モード毎のサービスレベルを一目で判断する指標として、各々の目的トリップ別で求めたコストを交通モード毎に目的トリップの重要性などで重み付けを行い、簡便にサービスレベルを

把握できるような総合的な指標も現在検討している。

(1) 総所要時間コスト

交通モードごとに出発地から目的地に対しての総所要時間を年齢などの条件を基にコスト化し、評価指標とする。これに先立ち、多様な交通モードを比較するために行程を以下のように一般化する。

- ✓ 交通モードの予約の可否
- ✓ 乗車地点までのアクセスの可否
- ✓ 交通モードでの移動（乗り換え含む）
- ✓ 目的地までのイグレスの可否

以上を定式化すると(1)式ようになる。評価指標としての総所要時間コストと実際に移動にかかる実総所要時間が異なることには特に注意が必要である。なお、これ以降各交通モードの乗降地点のことをポイントと呼ぶこととする。

$$\begin{aligned} & R_1(\alpha_r \cdot T_r + T_{w_a} + \alpha_s \cdot T_s + T_m + T_{w_e} + T_d) \\ & + R_2(\alpha_r \cdot T_r + T_{w_a} + \alpha_s \cdot T_s + T_m + T_{w_e} + T_d) \\ & = T_t \end{aligned} \quad (1)$$

- T_t : 所要時間コスト
- T_r : 予約時間（予約をして家を出るまでの時間）
- T_{w_a} : アクセス時間（ポイントまでの徒歩時間）
- T_s : 待ち時間（ポイントで待つ時間）
- T_m : 移動時間（モードを利用して移動する時間）
- T_{w_e} : イグレス時間（目的地までの徒歩時間）
- T_d : 希望到着時刻との差分時間
- α_r : 予約時間価値パラメータ
- α_s : 待ち時間価値パラメータ
- R_1 : 先発便乗車確率
- R_2 : 後発便乗車確率

(2) 非円滑率

トリップに対して不効用となる時間をロスタイムとして定め、これが総所要時間コストに占める割合を算出する。この値が小さければ小さいほど、その交通モードによる損失時間は少なく、理にかなったトリップが提供できているといえる。

ロスタイムはトリップにおいて移動していない時間、すなわち予約時間項と待ち時間項の合計である。よって以上を定式化すると式(2)、(3)、(4)ようになる。

$$T_l = \alpha_r \cdot T_r + \alpha_s \cdot T_s \quad (2)$$

- T_l : ロスタイム
- T_r : 予約時間（予約をして家を出るまでの時間）
- T_s : 待ち時間（ポイントで待つ時間）
- α_r : 予約時間価値パラメータ
- α_s : 待ち時間価値パラメータ

$$T_{datm} : T_{lm} = P_1 T_{lm}^{d1} + P_2 T_{lm}^{d2} + \dots + P_n T_{lm}^{dn} / n \quad (3)$$

- T_{datm} : m 番目の希望到着時刻
- T_{lm} : T_{datm} におけるロスタイム
- P_n : 目的地 d_n における重み付けパラメータ
- T_{lm}^{dn} : T_{datm} における目的地 d_n に対するロスタイム

$$R = \left(\sum_{i=1}^m T_{li} \right) / \left(\sum_{i=1}^m T_{ti} \right) \quad (4)$$

R : 非円滑率

(3) 総費用コスト

総費用コストの算出は総所要時間コストと異なり、属性条件ごとに固定費 M_{fc} を加算する。これには自動車保有者に対する固定費（ガソリン代、駐車場代等）を一般化平均を取り、計上する。これにより、自家用車における送迎や公共交通のサブスクリプションなど、これまで考えにくかった交通モードに対しても費用コスト面からサービスレベル評価のアプローチが可能となる。

$$M = \left(\sum_{i=1}^n P_n F_{dn} \right) / n + M_{fc} \quad (5)$$

- M : 総費用コスト
- F_{dm} : 目的地 d_n における運賃
- P_n : 目的地 d_n における重み付けパラメータ
- M_{fc} : 固定費

2.3 評価指標算定にあたっての各要素の考え方

(1) 利用者属性ごとのパラメータ設定

利用者の属性として、以下の2つを定め、それぞれに歩行速度 W_s を定義する。

- ・ 非高齢者（15～64歳、歩行速度 W_{s1} 4.8km/h）
- ・ 高齢者（65歳～、歩行速度 W_{s2} 4.0km/h）

勾配を有する経路を徒歩移動する場合、その勾配の程度による歩行速度の増減はなく、常に一定とする。

また、地域内交通などにおいて特に高齢者は現金やICではなくシルバーパスの制度を導入している自治体も多く、こういった支払い形態によるコストの違いも考慮可能となる。

加えて、自家用車と免許の保有有無や、家族等によって送迎してもらえる環境にあるか、といった要素も属性として考慮する。

(2) トリップの時刻選択

目的トリップについては、一般的に日常生活においてトリップ行動を伴う際の行動思考順序から同様に考える。まず、トリップの目的を定めることで、

目的地が決まる。次に、トリップの目的に応じて到着しなければいけない時刻（または、到着したい時刻）が存在し、これに対して遅れ、又は早着してもよい時間が存在する、といったことが考えられる。

これらの考え方から、目的トリップに応じて、以下の3項目が制約条件として付与される。

- ✓ 目的メッシュ
- ✓ 希望到着時刻
- ✓ 許容時間

目的メッシュとは、トリップにおける目的地のメッシュを定めることで、評価指標算出時の目的地/目的地群が定まる。次に、希望到着時刻とは、前述した到着しなければいけない時刻（または、到着したい時刻）のことを指し、その目的トリップにより異なる。許容時間とは、遅れてもよい時間のことを指し、希望到着時刻と同様にその目的トリップにより詳細の条件は異なる。

(3) 勾配

道路ネットワークデータ、歩行者ネットワークデータ内の標高データを用いて移動前ノードから移動後ノードまでの勾配を図1のように計算する。

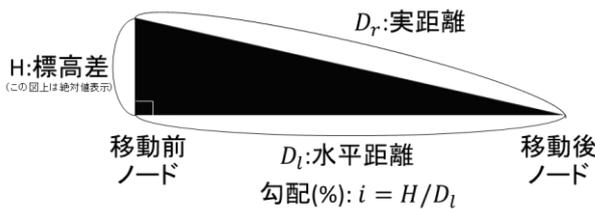


図1 勾配

標高差 H は移動後ノードの標高から移動前のノードの標高差をとる。また、ノード間（リンク1つ分）における徒歩移動時間は $T_w = D_r / W_s$ となる。

また、勾配による歩行負荷を考慮するため、 T_w に、エネルギー代謝率(RMR)を考慮した変数係数 β_i を乗じる。 β_i は後述する b_i に値し、勾配における歩行負荷と同じ歩行負荷をすべて水平方向での歩行移動で感じた場合の距離を移動したときの時間を指す。

なお、移動前ノードと移動後ノードというのはそれぞれ出発地、目的地を表すものではなく、1つのリンクに対する出発ノードと到着ノードを指す。

(4) 歩行者負荷

歩行負荷についてはエネルギー代謝率 (RMR) という労働強度を示す指標を考慮することで考える。佐藤ら⁹⁾は人間工学基準数値式便覧に¹⁰⁾示された7種類の勾配 (-9%, -5%, 0%, 5%, 10%, 15%, 20%) のRMRを用い式(6)に示した近似式を算出した。

$$r_i = 3.113e^{0.0461i} \quad (6)$$

r_i : 勾配 i % の勾配を分速 80m で登った場合の RMR

また、高橋ら¹⁰⁾によると、高齢者において11%を越える下り坂は上り坂と同じ負荷であると指摘している。よって勾配 i % での歩行負荷が勾配 0% での歩行の何倍に当たるかを算出するため、平地（勾配 0%）での徒歩の等価時間係数を 1.0 とし、坂道における等価時間係数を定義して一般化時間（式で表すと $T_w \times \beta_i$ となる）を算出する。

以上で得られた RMR の勾配 0% と i % の比率がそのまま勾配 0% と i % の等価時間係数の比率となると仮定し、等価時間係数を式(7)のように仮定する。

$$b_i = \frac{b_0 \times r_i}{r_0} \quad (7)$$

- b_i : 勾配 i % を分速 80m で歩行時の等価時間係数
- b_0 : 勾配 0% を分速 80m で歩行時の等価時間係数
- r_i : 勾配 i % を分速 80m で歩行時の RMR
- r_0 : 勾配 0% を分速 80m で歩行時の RMR

以上より、勾配 i と等価時間係数の関係を下記に示す。

$$\begin{aligned} i > -11: b_i &= e^{0.0461i} \\ i \leq -11: b_i &= e^{-0.0461i} \end{aligned}$$

ただし、高齢者においては、歩行速度 4.0km/h における勾配 i % 登坂時の RMR 近似式がないため、実距離を 1.2 倍 (4.8/4.0 倍) した値からこれまでの計算を繰り返すことで補完する。

以上までのことを整理すると、後述されるアクセス時間は $T_{wa} = \beta_a \cdot W_s$ となり、イグレス時間は $T_{we} = \beta_e \cdot W_s$ となる。

(5) 所要時間

所要時間においては基本的に前述したように、実際にかかる所要時間（実所要時間）とは別に評価指標として総所要時間コストを算出していく流れとなる。

通常、トリップは出発地から出発し、目的地に到着するまでを1トリップとし、その移動時間や所要時間を評価指標としている。⁴⁶⁾しかし、本研究では多様な交通モードを同列に比較するため、先行研究¹⁷⁾のように利用者が移動したいと思う時刻、つまりは交通モードを予約する時刻から目的地に到着する時刻を1トリップとして扱う。

まずは総所要時間コストの計算の流れと概略図を次頁に記す。

$$\begin{aligned}
 T_{dat1}: T_{t1} &= (P_1 T_{t1}^{d1} + P_2 T_{t1}^{d2} + \dots + P_n T_{t1}^{dn}) / n \\
 T_{dat2}: T_{t2} &= (P_1 T_{t2}^{d1} + P_2 T_{t2}^{d2} + \dots + P_n T_{t2}^{dn}) / n \\
 &\vdots \\
 T_{datm}: T_{tm} &= (P_1 T_{tm}^{d1} + P_2 T_{tm}^{d2} + \dots + P_n T_{tm}^{dn}) / n
 \end{aligned} \tag{8}$$

T_{datm} : m 番目の希望到着時刻
 T_{tm} : T_{datm} における総所要時間コスト
 P_n : 目的地 d_n における重み付けパラメータ
 T_{tm}^{dn} : T_{datm} における目的地 d_n に対する総所要時間コスト

$$T = \left(\sum_{i=1}^m T_{ti} \right) / m \tag{9}$$

T : 総所要時間コスト

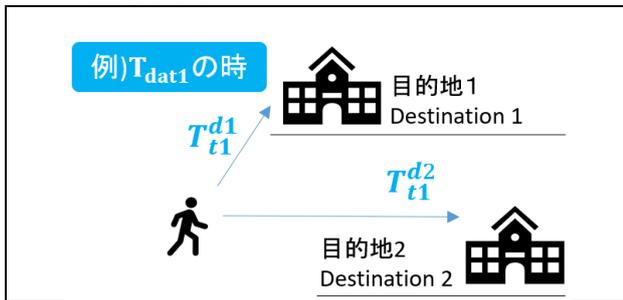


図 2 概略図

希望到着時刻 T_{dat} を任意に 1 つ定め、これに対する所要時間コスト T_t をそれぞれ求める。希望到着時刻は各目的トリップにおける分析時間帯の中で 30 分ごとに $T_{dat1}, T_{dat2} \dots$ と定める。目的地については地域内のすべての地点を対象としてハフモデルを用いて重み付けをしたパラメータ P_n を定める。これを各目的地 d_n に対して算出した所要時間 T_t に乗じることで、交通モード毎に、ある 1 つの目的地に対して任意の希望到着時刻における所要時間コストが算出される。これを分析時間帯において繰り返し行い、平均を取ることで総所要時間コストを算出する。

交通モードの予約の可否については(1)式の $R_1 \cdot R_2$ の項で考慮する。特にデマンド交通やシェアモビリティの場合、交通モードの利用に際して予約という動作が必要となるため、予約が不成立になる場合がもちろんありうる。これに関しては先行研究¹⁶⁾¹⁸⁾において予約成立率として述べられており、これらの知見の値を参考として、本研究では一律に $R_1 = 90\%$ としておく。本研究の前提として、交通モードごとにサービスレベルを評価・分析を行うという点から、先発便に乗れない場合、利用者は他の交通手段に切り替えるということはせず、同じ交通モードで後発便に乗るものとし、後発便には必ず乗れるものとする。よって $R_2 = 1 - R_1$ となる。

希望到着時刻との差分時間 T_d とは、希望到着時刻に対する早着・遅着による不効用をコストとして表すものであり、値としては早着時の時刻から希望到着時刻までの差分時間を指す。これはいくら総所要時間が短くても希望到着時刻（利用者が到着したいと思う時間のこと）に比べ早く着きすぎではかえって不効用であるという要素を表すものである。遅着に関しては、無限大の不効用がかかるものとし、分析の対象から外れる。希望到着時刻に対する遅着は許されないものと考え、基本的にはこの時刻より前に到着するトリップを総所要時間コストとして算出するが、買い物など、目的行動における時刻制約（例えば通勤・通学における始業時刻、通院における予約時刻など）が明確に存在しないものについては許容時間という概念を設け、その時間内の遅着は定刻とみなす。これにより、希望到着時刻に数分遅れるものの所要時間が最も小さいトリップがあった場合、そのトリップが最も優れていることとなり、このような目的トリップによるスケジュール制約の差を妥当に評価できる。これにより現実の人間のスケジュール勘定により即した評価を可能としている。

予約時間価値パラメータ α_r とは、予約時間における時間的価値を考慮するためのパラメータであり、これに関する知見があまり見受けられないことから本研究では $\alpha_r = 1$ として置いておく。先行研究¹⁷⁾では双方の交通モード利用におけるスケジュールの制約による利便性の評価を適切に評価できないことから、利用者が交通モードによるスケジュール制約を考えずに行動スケジュールを立てるという前提を置くことで固定路線バス（本研究では定時定路線型バス）とデマンドバスを同列に比較することを可能にしている。しかし、実際のデマンドバスにはリアルタイムで予約時間の制約のないものから始発便に関してのみ前日までに予約の必要があるものや、すべての便に対して前日までに予約の必要がある制約の厳しいものがあり、想定される様々なデマンドバスのタイプを評価の対象とするには前述の考え方では限界がある。また、デマンドバスの実情として予約に対する心理的負担や高齢者などを中心として予約方法がインターネットのみであったりと高齢者にとって利用しづらい環境であるとこれによる不効用も無視できるものではない。

よって、様々な交通モードでのサービスレベルの比較を可能とするために予約時間価値パラメータという概念を導入するが、その詳細についてはまだまだ検討の余地があるといえる。

待ち時間価値パラメータ α_s とは、待ち時間における時間的価値を表すもので、この類の話は古くから多くの研究がなされている。本研究における分析ではポイントにおいて乗車に伴う移動やベンチ/上屋の有無など細かい点までは考えないこととし、立位での待ち時間をそのまま利用者属性ごとにあてがうこととする。佐藤ら(2002)¹⁹が算出した乗換行動コストの高齢者を基準とすると表1のようになる。

表1 属性ごとの待ち時間価値パラメータ

	高齢者	通勤・通学 (非高齢者)	買い物 (非高齢者)
α_s	1	2.15	1.01

(6) 目的地の設定と統合

目的地の設定として、分析対象としている目的トリップとその目的地、到着時刻、分析対象年齢を表2に示す。日常生活行動における私事(友人宅へ向かう、や公園・娯楽施設に向かう等)の様々な目的地を設定しそれに対するサービスレベルを算出することが可能であるが、今回はひとまず、利用者属性ごとに共通する目的行動(買い物)と利用者属性ごとに大勢が異なる目的行動(通勤・通学、通院)を目的トリップとして評価対象とした。

トリップ目的 Trip Purpose	対象者年齢 Target age group		対象施設・時間帯 Target facilities and times
	非高齢者 Non senior	高齢者 Senior	
通勤・通学 Commuting to work or school	○	×	駅 Station 6:00-9:00
買い物 Shopping	○	○	スーパー・SC Supermarket・Shopping Center 9:00-15:00
通院 Commuting to hospital	×	○	病院 Hospital 10:00-14:00

表2 目的トリップ

個人の到着時刻は各目的トリップの利用目的において一般的に到着するべきと考えられる時間帯であり、需要が多く見込まれる時間帯を各自設定している。この時間帯の中で30分ごとに希望到着時刻 T_{dat} を設定し、これに対して分析対象地域における交通モードごとのサービスレベル分析を行う。

目的トリップにおいて、通勤・通学は当然地域内に勤務先、通学先があることも考えられ、その場合は目的地が「学校やオフィス」ということになるが、個人の勤務先である「特定の学校やオフィス」を目的地とするより、通勤・通学において大多数が一旦

の目的地とする「駅」を評価中の目的地とした。これは鉄道を利用して地域外へ向けて通勤・通学へするトリップを評価対象とすることで、通勤・通学のために利用する内内交通のサービスレベル評価のみならず、内外交通との交通結節点までのサービスレベルの評価も同時に検討することが出来るという利点も有する。

目的地の統合として、式(10)に記すハフモデルを用いて重み付けを行う。

$$P_i = \frac{\frac{S_i}{D_i^\lambda}}{\sum_{i=1}^n \frac{S_i}{D_i^\lambda}} \quad (10)$$

- P_i : 目的地 i の吸引力
(目的地における重み付けパラメータ)
- S_i : 目的地 i の魅力度
- D_i : 目的地 i までの実距離
- λ : 距離抵抗係数(= 1)

ハフモデルは、「近くて魅力度の高い店舗ほど顧客を吸引できる」という仮定の下、競合店やターゲット顧客や世帯が住んでいる地域の位置関係を加味し、店舗の需要予測を行う分析手法である。本研究における目的地までの魅力度は目的トリップ、すなわち目的地によって異なる。

まず、通勤・通学においては目的地が駅となることから、その駅の乗降客数を魅力度²⁰として扱う。通院については先行研究²¹によると病院の病床数よりも病院・診療所密度を魅力度として重視しており、500mメッシュ(=0.25km²)の集積度を表している。よって本研究においても任意の病院に対してその病院のあるメッシュを中心として周囲25メッシュ(病院のあるメッシュを含む、100mメッシュ×25=0.25km²)の集積度を魅力度として考える。

3. 実都市への適用

本研究においては、前述1(3)に記された4つの条件を踏まえ、東京都内郊外部のある自治体を対象として、指標の算出を試みる。本研究において使用する主なデータとそのデータ元は以下の通りである。なお、データの分析及び結果を表示するGISプラットフォームとしてはQGISを用いる。

- ・ H22(2010)年国勢調査100mメッシュデータ
- ・ 道路ネットワークデータ：DRM全道路ノード/リンクデータ
- ・ 歩行者ネットワークデータ：(株)マップル
- ・ 駅・乗降客数データ：国土数値情報
- ・ 病院データ、商業施設データ：マップル10000
- ・ 時刻表データ：各運行会社HPから作成

4. 今後の方針

今回、多様な交通モードのサービスレベルを評価するための枠組みの構築を試みた。現在は構築したモデルを実地域において、その評価指標の有用性を示し、実務レベルでの利用可能性と有意性等について考察することで今回構築したモデルの評価をする。この後に実際に新たな交通政策に対する検討や過去の交通施策を評価することで本指標における課題などを整理していく予定である。

参考文献

- 1) Karst T. Geurs, Bert van Wee : Accessibility evaluation of land-use and transport strategies:review and research directions –Journal of Transport Geography, 12, 127–140 (2004)
- 2) 大東延幸,三秋英二,折田康明：公共交通手段別のサービスレベルに関する研究, 広島工業大学紀要研究編, 第 40 巻, pp.75-80, 2006.
- 3) Calvin P. Tribby, Paul A. Zandbergen : High-resolution spatio-temporal modeling of public transit accessibility – Applied Geography, 34, 345-355 (2012)
- 4) 赤星健太郎, 高松瑞代, 田口東, 石井儀光, 小坂知義：低頻度な公共交通網を有する地域の移動利便性の評価手法に関する研究, 都市計画論文集, Vol.47 No.3, pp.847-852, 2012.
- 5) 増山篤：フリーのソフトウェア, サービス, データを用いた地方における公共交通アクセシビリティ評価, 都市計画論文集, vol.53 No.1, pp. 97-107, 2018.
- 6) 喜多秀行, 辻皓平, 四辻裕文：公共交通に支えられた活動機会の計測法と整備水準評価への利用, 交通工学論文集, 第 1 巻 第 2 号, pp. 116-122, 2015.
- 7) 柳原崇男, 嶋田真尚, 大藤武彦：高齢者の外出頻度と交通行動の地域間特性に関する一考察, 土木計画学研究・論文集, Vol.73, No.5, I_761-I_769, 2015.
- 8) 猪井博登, 中岡亮：坂道での身体的負担を考慮したコミュニティバスのアクセシビリティ改善効果に関する研究, 土木計画学研究 講演集 No36 2007.
- 9) 佐藤栄治：居住者や利用者に着目したアクセシビリティに関する立体的都市空間の分析指標の開発と都市空間再構築手法の提案 首都大学東京博士論文 2006
- 10) 高橋徹：屋外における高齢者の歩行特性に関して 総合都市研究 No.39 pp.21-37 1990
- 11) 佐藤方彦ほか：人間工学基準数値数式便覧 技報堂 1992
- 12) 佐藤栄治, 吉川徹, 山田あすか：地形による負荷と年齢による身体能力の変化を勘案した歩行換算距離の検討—地形条件と高齢化を勘案した地域施設配置モデル その 1—, 日本建築学会計画系論文集, No610, pp.133-pp.139, 2006
- 13) 林光伸, 湯沢昭：デマンドバス導入のための需要予測と運行形態の評価に関する一考察, 都市計画論文集, vol.41 No.3, pp. 55-60, 2006.
- 14) 山田稔, 塩濱慶之：地域内の需要分布特性と DRT 運行方式が輸送効率に及ぼす影響, 土木学会論文集, Vol.69, No.5 土木計画学研究・論文集 第 30 巻, I_735-I_743, 2013
- 15) 国土交通省：交通アクセシビリティ指標に関する調査研究, 国土交通政策研究 第 107 号, 2013 年 6 月
- 16) 大和 裕幸, 坪内 孝太, 稗方 和夫：オンデマンドバスのためのリアルタイムスケジューリングアルゴリズムとシミュレーションによるその評価, 運輸政策研究, Vol.10, No.4 2008
- 17) 野田 五十樹, 篠田 孝祐, 太田 正幸, 中島 秀之：シミュレーションによるデマンドバスの利便性評価, 情報処理学会論文誌, Vol.29, No.1, 2008
- 18) 松尾 康平, 稗方 和夫, 本多 建：オンデマンド交通の運行実績データによる公共交通計画の検討手法, 第 60 回土木計画学研究発表会・講演集, 2019
- 19) 佐藤 寛之, 青山 吉隆, 中川 大, 松中 亮治, 白柳 博章：都市公共交通ターミナルにおける乗換抵抗の要因分析と低減施策による便益計測に関する研究, 土木計画学研究・論文集, Vol.19, No.4, I_803-I_812, 2002.
- 20) 関 健熙：首都圏の鉄道の利用実態からみた駅の魅力度に関する研究, 東京大学学位論文, 2016.
- 21) 竹牟禮 駿, 小谷 通泰, 寺山 一輝：地方都市における買い物・通院目的地の分布実態の分析 —滋賀県東近江地域を対象として, 日本都市計画学会関西支部研究発表会講演概要集, 10 巻, 2012.

(2021.10.1 受付)