

地形を考慮した公共交通機関へのアクセス評価 に関する研究—横浜市金沢区を対象にして—

森 直之¹・高見 淳史²・パラディ ジアンカルロス³

¹ 非会員 横浜市役所 (〒231-0005 神奈川県横浜市中区本町 6 丁目 50-10)

E-mail: m.naoyuki@alumni.u-tokyo.ac.jp

² 正会員 東京大学准教授 大学院工学系研究科都市工学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

E-mail: takami@ut.t.u-tokyo.ac.jp

³ 正会員 東京大学講師 大学院工学系研究科都市工学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

E-mail: gtroncoso@ut.t.u-tokyo.ac.jp

大都市圏において、1960 年代の人口急増の時期から、都市の郊外部の丘陵地を住宅地に開発している事例が多くある。これらの住宅地は、高齢化が進んでいることから、移動に不自由を感じる住民が多くなっている。そのため、公共交通機関の利便性向上が求められている。本研究では、横浜市金沢区において、地形と高齢者の歩行速度を考慮してバス停へのアクセシビリティを評価した。この手法により算出した距離(代謝的換算距離)は、道路距離に比べ、バス停までの距離が増加し、バス停到達圏域が大きく減少した。また、OD 標高差が大きくなるほど、ばらつきが大きくなることを確認した。さらに、代謝的換算距離を実務に適用するため、重回帰分析を行い、OD 標高差と道路距離を変数とした有意な回帰式を得ることができた。

Key Words: public transportation, accessibility, topography, metabolic conversion distances

1. はじめに

大都市圏において、住宅開発は、都心近郊の鉄道沿線から行われたが、1960年代からは、人口の急激な増加に伴う住宅需要の高まりにより、郊外部の鉄道駅から離れた地域にも住宅地が形成された。また、郊外部の丘陵地を住宅地に開発している場合が多くある。このような郊外住宅地は、開発時に居住した住民の高齢化が進んでいることから、住民は坂道や階段等、起伏のある地区を徒歩で移動することが困難となっており、移動に不自由を感じる住民が多くなっている。

自由に出かけることができないと、病院の受診機会、買い物や人々との交流の機会が減少し、ひいては社会的排除をもたらすことになる¹⁾。高齢化につれて運転に支障を覚える人も少なくなく、公共交通機関の利便性が低いと高齢者の社会的排除の問題が生じることとなる。行政は、限られた財政の中で、高齢者が多く住む丘陵地等にある交通不便地域に対して適切に支援する必要があるが、地形を踏まえた交通不便地域の抽出に必要な適切な手法を持ち合わせていない。公共交通機関の利便性を評価するにあたり、重要な評価指標となるのがアクセ

シビリティである。

Mavoa et al.²⁾は公共交通機関に関わるアクセシビリティ指標を、(1)公共交通機関の停留所へのアクセス、(2)公共交通機関での移動時間、(3)公共交通機関での目的地へのアクセスの3種類に分類している。このうち既往研究における「(1)公共交通機関の停留所へのアクセス」の多くは、標準歩行速度を用いており、高齢者の身体的制約を考慮していない^{3),4),5),6),7)}。高齢者は、身体的機能の低下により歩行速度が遅くなり、さらに山坂を歩行することによる負荷が大きくなる。そこで、佐藤ら⁸⁾は歩行経路上の傾斜や階段などの負荷と年齢による身体能力の差異を勘案した「代謝的換算距離」指標を提案している。しかしながら、代謝的換算距離は計算方法が煩雑であり、自治体が公共交通の計画に際して行う交通不便地域の算定には採用されていない。

そこで、本研究では「(1)公共交通機関の停留所へのアクセス」の評価を行うにあたり、横浜市金沢区において、バス停までの代謝的換算距離を算出した。さらに、代謝的換算距離を OD 標高差と道路距離で説明する重回帰分析を行った。これにより実務において、簡易な方法で地形を考慮したアクセシビリティの評価を行うことが

できると考える。なお、このような試みを行った研究は見当たらない。

本論文の構成は次のとおりである。第2章では、交通と社会的排除、公共交通機関へのアクセス、そして地形を考慮したアクセス評価についてレビューする。第3章では、代謝的換算距離の算出方法について説明する。第4章では、横浜市金沢区を対象に、GISを用いて10mメッシュごとのバス停までの距離及びバス停の到達圏域を算出する。あわせて、傾斜を考慮していない道路距離との比較及び代謝的換算距離の重回帰分析を行う。最後に、第5章で本研究の成果及び今後の発展性について議論する。

2. 既往研究

Kenyon et al.¹⁾は、社会的排除について、「数多くの要因が相互に作用し、その結果、個人または集団が社会的・政治的な生活に参加する機会が与えられず、物質的・非物質的な生活の質が低下するだけでなく、人生のチャンスや選択肢が狭まり、市民権が低下すること」と定義している。交通の観点からは、社会的包摂に必要な公共交通機関の最低レベルの基準を確立するための指標が必要である⁹⁾。

交通政策を評価するにあたり、評価指標として、アクセシビリティが用いられることが一般的である。Geurs et al.¹⁰⁾は、アクセシビリティを「土地利用及び交通システムにより、個人が交通手段を組み合わせることで活動や目的地に到達できる範囲」と定義し、土地利用、交通、時間、個人属性の4つの要素が相互に作用するとしている。

Saif et al.¹¹⁾は、公共交通機関まで適度な徒歩距離でアクセスできることがアクセシビリティにおいて重要であると指摘している。公共交通機関の停留所や駅まで歩く距離として、おおよそ400m (0.25マイル) や800m (0.5マイル) が一般的とされている^{12),13),14),15),16)}。

また、既往研究の多くは一律の歩行速度を用いてアクセシビリティを評価している^{3),4),5),6),7)}。これらは、高齢者の歩行速度の低下を考慮していない。加えて、地形に起伏のある都市においては平坦な道よりも身体的負荷が大きいことから、地形の影響を考慮することも重要である。

勾配による速度変化を表現した関数として、Tobler¹⁷⁾が経験則的に算定したハイキング関数がある。ハイキング関数を用いたアクセシビリティの研究では、モザンビーク及びパルーにおけるヘルスケアセンターへのアクセシビリティ評価が挙げられる^{18),19)}。

また、地形を考慮するため、代謝エネルギーコストを指標とした研究もある。Páez et al.²⁰⁾は、最小距離経路、最小時間経路に比べ最小代謝エネルギー経路は大きく異

なることを示した。Iseki et al.²¹⁾は、駅を起点とした自転車で行き来できる範囲について分析し、エネルギー消費量をコスト指標とした場合の範囲は、直線距離やネットワーク距離を指標とした範囲より小さくなり、直線距離やネットワーク距離は過大評価となることを示した。

エネルギーコストについて、佐藤ら⁹⁾は、「代謝的換算距離」指標を提案している。これは、消費される代謝エネルギーによって歩行中の負荷を距離の増大に置き換えるものである。具体的には、坂道歩行時に消費する代謝エネルギーを指標とした傾斜の負荷と、基準歩行速度(4km/h)に対する年齢階層ごとの歩行速度の比の逆数を移動負荷として距離を算定する。詳細については後述する。代謝的換算距離は、スーパーマーケットやコンビニ、中心市街地、コミュニティバスの路線といった、様々なアクセシビリティの研究において広く適用されている^{22),23),24),25),26),27),28)}。

一方、実務において自治体が交通不便地域を抽出する際、多くは水平距離による評価が行われるが、勾配や高低差を考慮し水平距離を補正している自治体もある²⁹⁾。しかしながら、これらの評価方法には、補正の計算式に根拠がない、補正を行う場合の勾配や高低差の閾値が不明瞭、対象のエリアが行政区画の一部に限定されている、という問題点がある。代謝的換算距離は、先述のとおり多くの研究に用いられており、これらの問題を解決することから、実務においては用いられていない。

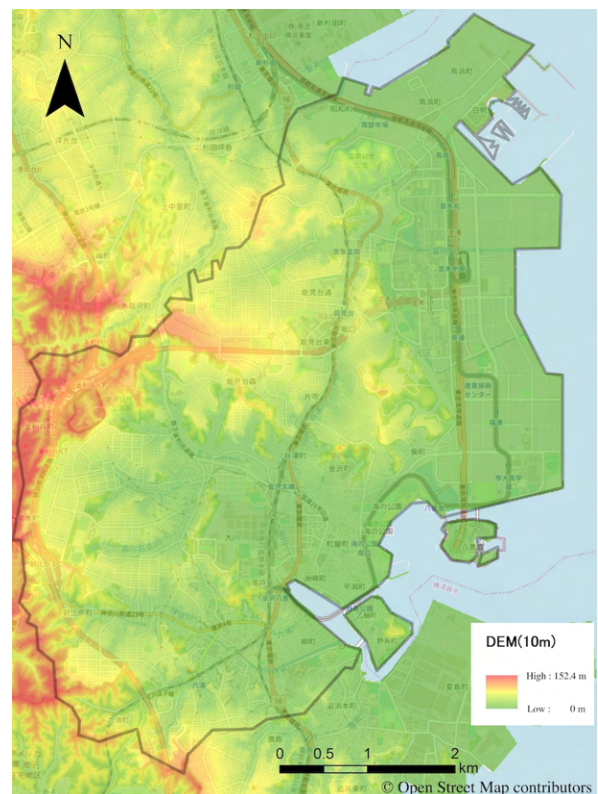


図-1 横浜市金沢区における標高

本研究の対象地域を含む横浜市は、駅周辺に生活利便施設が立地していること、そしてバス路線が駅を起点に形成されていることが特徴として挙げられる。

特に横浜市金沢区は地形上起伏が大きく（図-1；国土地理院「基盤地図情報数値標高モデル」による）、高度経済成長期に開発が多く行われたことから、山坂がありかつ高齢化の進展した郊外住宅地が多く存在している。また、バスは幹線道路を走行しているため、住宅地からバス停へのアクセスに山坂の移動を強いられることが少なくない。このような特徴をふまえ、横浜市金沢区を対象地域として選定した。

3. バス停までのアクセシビリティ

(1) 代謝的換算距離

佐藤ら⁸⁾が提案した代謝的換算距離とは、経路の各部分に、坂道歩行時に消費する代謝エネルギーを指標とした傾斜の負荷と、基準歩行速度(4km/h)に対する年齢階層ごとの歩行速度の比の逆数を移動負荷として距離を算定するもので、代謝的換算距離 L' は、次のように表される。

$$L' = L \cdot \frac{r(\theta)}{r(0)} \cdot \frac{v_3}{v_j} \quad (1)$$

$r(\theta)$: 勾配 θ の坂道歩行時の代謝エネルギー(kcal)

v_j : 年齢階層 j の歩行速度(km/h)

v_j は表-1のとおりであり、 $r(\theta)$ はエネルギー代謝率(RMR: Relative Metabolic Rate)の近似式から次のように表される⁸⁾。

$$r(\theta) = (3.113e^{4.614\theta} + 1.2) \times BMR \times W \times T \quad (2)$$

BMR:基礎代謝率(kcal/kg/日), W:体重(kg), T:時間(日)

なお、佐藤ら⁸⁾は、急勾配の下り坂の歩行は負荷がかかるため、RMRについて勾配11%以上と勾配-11%以下では同じ関数になるとしている。しかし、これは、エビデンスが不明確である点、RMRが不連続関数となりモデル構造との親和性を欠く可能性が指摘されている点²⁰⁾をふまえ、本研究では適用しないこととした。

以上により、平坦な道路上の移動距離に比べて、勾配の大きな道路上の移動では、また概して高齢になるほど、代謝的換算距離は大きく評価される。

(2) 本研究における代謝的換算距離の算定方法

本研究では、バス停までのアクセシビリティを、代謝的換算距離を用いて評価する。佐藤ら⁸⁾の手法では、1m毎の等高線で区切られた経路の各部分に式(1)を適用し、

表-1 年齢階層別の歩行速度⁸⁾

年齢階層 j	歩行速度 v_j (km/h)
1 (5~10歳)	2.17
2 (11~14歳)	3.39
3 (15~49歳)	4.00
4 (50~64歳)	3.40
5 (65~74歳)	2.82
6 (75歳~)	2.51

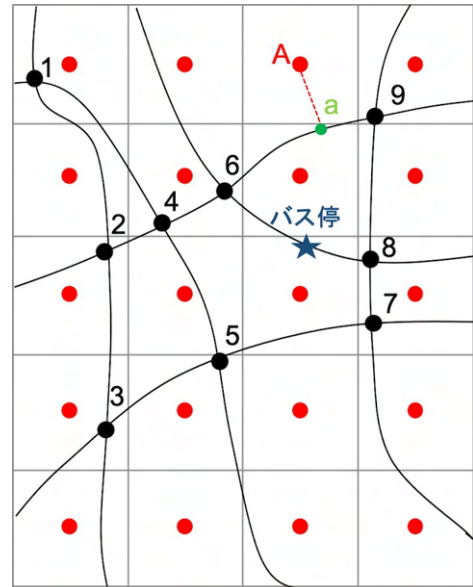


図-2 10mメッシュと道路ネットワークの例

代謝的換算距離を算定しているが、行政区域全体にこの方法を適用すると計算量が膨大になる。そこで、道路ネットワークのリンク毎に代謝的換算距離を算定することで計算量を低減した。

図-2のような簡易な道路ネットワークを例に説明する。対象地域を10mメッシュに区分し、各メッシュに含まれるノード(1~9)に10mメッシュ標高の値を与え、これに基づき代謝的換算距離を各リンクのリンクコストとして与える。そして、10mメッシュのセントロイドごとにバス停までの経路の代謝的換算距離を計算する。例えば、セントロイドAを評価する場合、最も近いラインにノードaを作り、ノードaからバス停までの代謝的換算距離が最小となる経路を計算する。

4. 代謝的換算距離の算出

(1) バス停までの代謝的換算距離

GISにより代謝的換算距離を算定するが、計算に必要なデータは、①道路GISデータ(OpenStreetMapを使用)、②10mメッシュ標高データ(国土地理院「基盤地図情報数値標高モデル」を使用)、③バス停ポイントデータ

(国土交通省「国土数値情報」を使用)である。これらのデータに加え、図-3 のとおり、GIS の空間分析機能を用いて、リンクやノードを作成した。なお、計算コスト削減のため、道路のラインから 10m のバッファーに含まれるセントロイドのみ評価対象とした。

本研究では、移動に不自由を感じている 75 歳以上の後期高齢者を対象とした。歩行速度は、表-1 より $v_6 = 2.51(\text{km/h})$ であり、リンクの代謝的換算距離 L' は、

$$L' = L \cdot \frac{r(\theta)}{r(0)} \cdot \frac{v_3}{v_6} = L \cdot \frac{3.113e^{4.614\theta} + 1.2}{3.113 + 1.2} \cdot \frac{4.00}{2.51} \quad (3)$$

これらをふまえ、まず、各セントロイドから最寄りバス停までの勾配を考慮しない平坦の道路距離を計算した。その際、区界の地域では、金沢区外の道路やバス停を利

用する可能性もあることから、金沢区より広範囲の道路及びバス停データも含めることとした。その計算結果が、図-4 である。

同様に、後期高齢者を対象とした最寄りバス停までの代謝的換算距離を計算した結果が図-5 である。そして、道路距離と代謝的換算距離の計算結果をまとめたものが表-2 である。

平均値を比較すると、代謝的換算距離が道路距離の約 1.62 倍高くなっている。なお、代謝的換算距離の最大距離は、7,025.46 m だが、7,000m を超えたポイントがほぼ同一の箇所に 5 つあった。これらのポイントを除くと最大距離は 2,564.22m である。

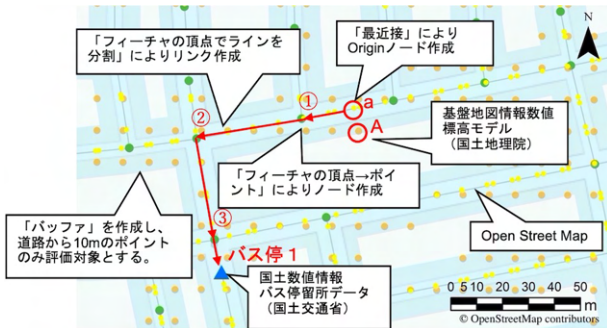


図-3 GISにおけるデータの作成

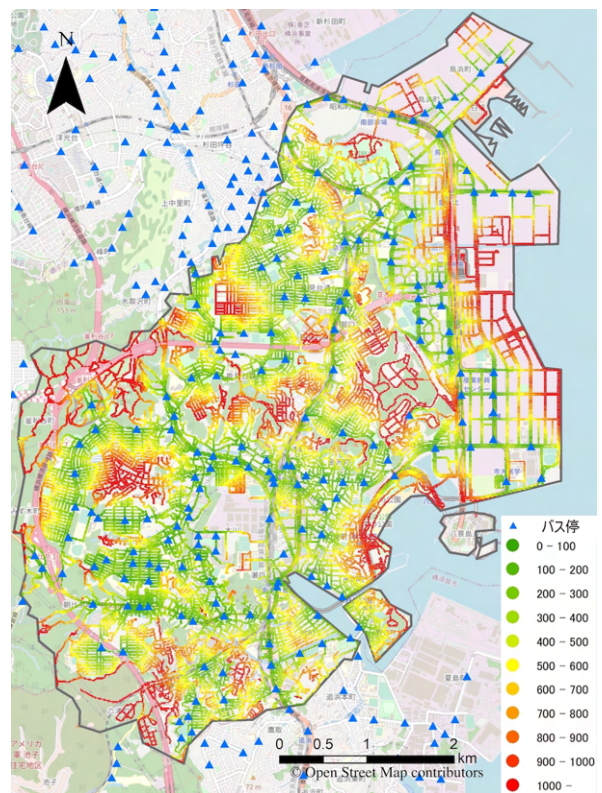


図-5 最寄りバス停までの代謝的換算距離(横浜市金沢区)

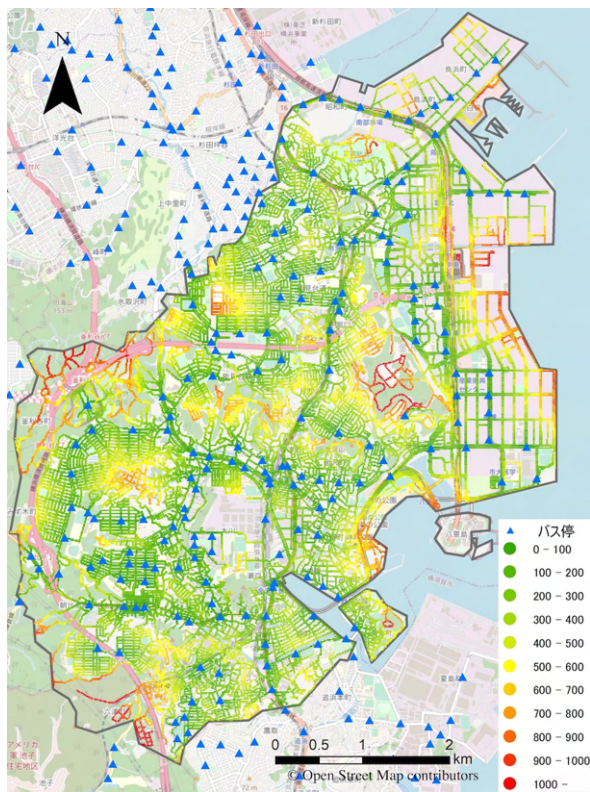


図-4 最寄りバス停までの道路距離(横浜市金沢区)

表-2 バス停までの道路距離と代謝的換算距離の比較

	道路距離	代謝的換算距離
評価対象ポイント数	98,307	箇所
平均距離	322.44 m	523.11 m
最小距離	0.0031 m	0.0055 m
第1四分位距離	164.44 m	262.68 m
第2四分位距離	275.10 m	443.07 m
第3四分位距離	437.11 m	712.39 m
最大距離	1,627.81 m	7,025.46 m

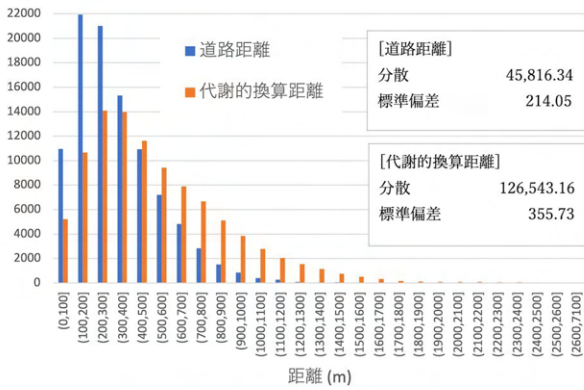


図-6 道路距離と代謝的換算距離のヒストグラム

また、道路距離と代謝的換算距離のヒストグラムが、図-6であり縦軸は度数を示している。代謝的換算距離は、道路距離に比べて、分散、標準偏差が大きな値となっており、ばらつきがある。さらに、分布が全体的に右にずれていることが分かる。

(2) バス停の到達圏解析

次に、GISのネットワーク解析機能を用いて、横浜市金沢区における直線距離、道路距離、代謝的換算距離それぞれのバス停到達圏を算定した。

なお、土木学会のバスサービスハンドブック³⁴⁾において、「利用者の自宅からバス停までの距離を無理なく歩ける距離…は健康者で300m…」と記載されていることからバス停到達圏域は、300mとした。その結果が図-7である。

本研究の評価対象であるセントロイド98,307箇所が到達圏域にどの程度含まれるか計算したところ、直線距離の圏域は78.89%、道路距離の圏域は63.04%、代謝的換算距離の圏域は35.17%であった。つまり、直線距離の圏域は、道路距離の圏域に比べ、約15ポイント過大となっている。さらに、代謝的換算距離の圏域は道路距離の圏域から約28ポイント減少している。

直線距離や道路距離などの水平距離は過大評価になることは、既往研究でも指摘されているが、改めて確認することができた。

また、金沢区は、東側は埋立地のため起伏が小さく平坦な地形であるが、内陸部は丘陵地であり起伏が大きいという特徴がある。図-5や図-7より、金沢区の東側に比べ、起伏の大きい内陸部のほうが、道路距離に対する代謝的換算距離の増大幅や到達圏域の縮小幅が大きくなる傾向がみられる。

(3) 道路距離と代謝的換算距離の比較

前節までの計算結果を踏まえ、ODの標高差と、道路距離、代謝的換算距離の関係性を検証するため、OD標高差5mごとに道路距離と代謝的換算距離を比較する。

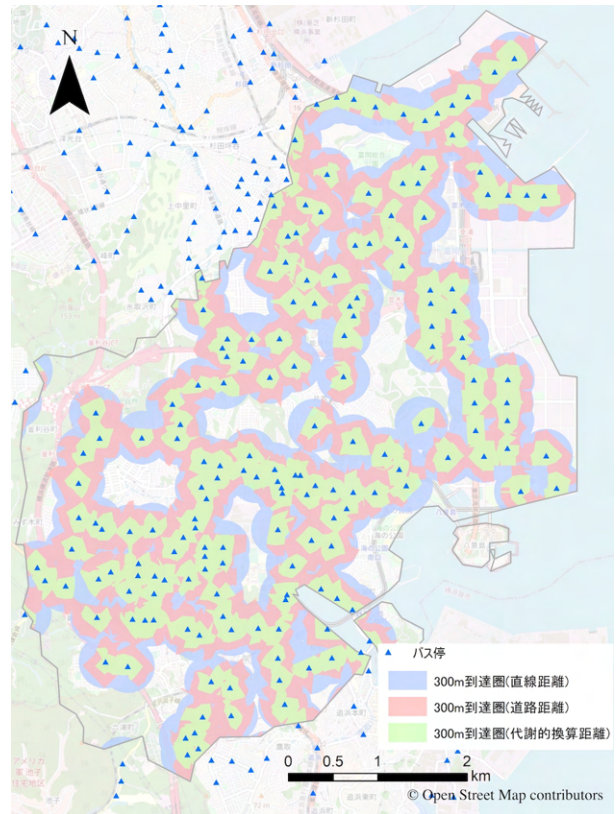


図-7 バス停300m到達圏域

ここでのOD標高差とは、バス停とセントロイドの標高の差を指す。また、比較にあたり、先述の外れ値である5つのポイントは除いた。

これらの結果をまとめたものが、表-3及び表-4である。表-3はOD標高差0m未満の場合におけるOD標高差5mごとの平均道路距離Lと平均代謝的換算距離L'、及びその比L'/Lを示している。同様に、表-4はOD標高差0m以上の場合を示している。

OD標高差が0m未満の場合、道路距離に対して代謝的換算距離は増加するものの、総じて1.5倍程度の増加である。代謝的換算距離は、「勾配による負荷」と「年齢による速度低下」を重み付けしたものであるが、「年齢による速度低下」の重み付けにより代謝的換算距離は、道路距離の約1.59倍(= $v_3/v_6 = 4.00/2.51$)になる。一方「勾配による負荷」は、勾配θの指数関数である。そのため、下り坂(負の勾配)における距離の減少幅は小さく、OD標高差が0m未満の場合には、「勾配による負荷」の影響がほとんど無いことが分かる。

一方、OD標高差が0m以上の場合、OD標高差が大きくなるほど、代謝的換算距離L'と道路距離Lの比L'/Lは増加する。特にOD標高差が25m以上になると、代謝的換算距離は道路距離に対し約2.2倍増加する。代謝的換算距離は勾配θに依存することから、OD標高差が大きい歩行経路では、経路の中に勾配の大きなリンクが多く

表-3 OD 標高差 5m ごとの平均道路距離と平均代謝的換算距離 (OD 標高差 0m 未満)

	OD 標高差 z (m)					
	$z < -25$	$-25 \leq z < -20$	$-20 \leq z < -15$	$-15 \leq z < -10$	$-10 \leq z < -5$	$-5 \leq z < 0$
平均道路距離 L (m)	637.90	507.46	421.14	362.62	316.15	250.84
平均代謝的換算距離 L' (m)	989.47	778.29	647.54	563.51	496.65	400.37
距離比 L'/L	1.5511	1.5337	1.5376	1.5540	1.5709	1.5961
標本数 N	6062	3198	4205	5600	9223	32123

表-4 OD 標高差 5m ごとの平均道路距離と平均代謝的換算距離 (OD 標高差 0m 以上)

	OD 標高差 z (m)					
	$0 \leq z < 5$	$5 \leq z < 10$	$10 \leq z < 15$	$15 \leq z < 20$	$20 \leq z < 25$	$25 \leq z$
平均道路距離 L (m)	297.62	278.48	303.31	339.70	385.48	457.50
平均代謝的換算距離 L' (m)	486.28	503.67	592.59	698.53	829.08	1026.87
距離比 L'/L	1.6339	1.8086	1.9537	2.0563	2.1508	2.2445
標本数 N	29114	4103	2046	1276	671	681

表-5 OD 標高差 5m ごとの代謝的換算距離の重回帰分析 (OD 標高差 0m 未満)

説明変数	OD 標高差 z (m)					
	$z < -25$	$-25 \leq z < -20$	$-20 \leq z < -15$	$-15 \leq z < -10$	$-10 \leq z < -5$	$-5 \leq z < 0$
(定数項)	53.3140*** (8.0141)	-92.7268*** (28.0938)	-54.5458*** (16.2682)	-2.6141 (10.5330)	-31.9731*** (3.7784)	-3.0680*** (0.4199)
道路距離	1.6399*** (0.0098)	1.6564*** (0.0081)	1.6819*** (0.0066)	1.6891*** (0.0066)	1.6499*** (0.0043)	1.6327*** (0.0013)
OD 標高差	2.6722*** (0.1449)	-1.3672 (1.2693)	0.3592 (0.9248)	3.7754*** (0.8393)	-0.9676* (0.4969)	4.0019*** (0.1533)
変数の相関係数 r	-0.2097	-0.1335	-0.0344	-0.0511	-0.1143	-0.1420
決定係数 R^2	0.8221***	0.9310***	0.9387***	0.9206***	0.9414***	0.9818***
標本数 N	6062	3198	4205	5600	9223	32123

カッコ内は標準誤差 *** $p < 0.01$ ** $p < 0.05$ * $p < 0.1$

表-6 OD 標高差 5m ごとの代謝的換算距離の重回帰分析 (OD 標高差 0m 以上)

説明変数	OD 標高差 z (m)					
	$0 \leq z < 5$	$5 \leq z < 10$	$10 \leq z < 15$	$15 \leq z < 20$	$20 \leq z < 25$	$25 \leq z$
(定数項)	-0.5281* (0.3091)	-13.3968*** (4.2569)	15.8020 (14.0847)	157.6601*** (32.6484)	40.1147 (67.3224)	16.7460 (42.4545)
道路距離	1.6003*** (0.0008)	1.6357*** (0.0045)	1.6189*** (0.0125)	1.4973*** (0.0232)	1.3838*** (0.0330)	1.4216*** (0.0347)
OD 標高差	7.7916*** (0.1409)	8.6033*** (0.5653)	6.9423*** (1.1368)	1.8614 (1.8702)	11.4885*** (3.0644)	12.0994*** (1.4610)
変数の相関係数 r	0.2180	0.0445	0.1484	0.1029	0.1694	0.2462
決定係数 R^2	0.9937***	0.9696***	0.8953***	0.7685***	0.7369***	0.7522***
標本数 N	29114	4103	2046	1276	671	681

カッコ内は標準誤差 *** $p < 0.01$ ** $p < 0.05$ * $p < 0.1$

含まれるようになるため、代謝的換算距離の増加割合が大きくなったと考えられる。

(4) 代謝的換算距離の重回帰分析

次に、OD 標高差 5m ごとに、道路距離と OD 標高差を説明変数、代謝的換算距離を被説明変数とする重回帰分析を行った。その結果をまとめたものが表-5及び表-6である。表-5はOD 標高差 0m 未満の場合、表-6はOD 標高差 0m 以上の場合を示している。

OD 標高差 5m ごとのいずれの場合においても 1%有意の回帰式を得られることができた。なお、説明変数である OD 標高差と道路距離の相関係数を算定したところ、ほぼ相関がないことを確認できた。

ここで、表-5 の OD 標高差 0m 未満の場合に着目すると、OD 標高差は、説明変数として、 $[-10 \leq z < -5]$ においては 10%有意、 $[-25 \leq z < -20]$ 、 $[-20 \leq z < -15]$ では有意とはならなかった。これは、先述のとおり、代謝的換算距離は、下り坂(負の勾配)における距離の減少幅が小さいことから、OD 標高差がマイナスだと OD 標高差の影響度が弱くなったことが考えられる。

一方、表-6のOD 標高差 0m 以上の場合に着目すると、 $[15 \leq z < 20]$ を除いて、OD 標高差が代謝的換算距離の説明に 1%有意であることが示された。しかし、OD 標高差が大きくなると、決定係数が小さくなるとともに説明変数の標準誤差は大きくなった。

以上のように、重回帰分析を行い、道路距離と OD 標高差を変数とした 1%有意の代謝的換算距離の回帰式を得ることができた。これにより、OD の道路距離と標高差が分かれば、代謝的換算距離を推定することができ、実務にも適用が可能である。しかしながら、本研究の回帰式は、OD 標高差が大きくなると決定係数が小さくなるなど、モデルのさらなる精度向上が必要である。

5. 結論

本研究では公共交通機関へのアクセシビリティ指標のうち、「(1)公共交通機関の停留所へのアクセス」に着目し、代謝的換算距離を用いて地形と高齢者の歩行速度を考慮したバス停へのアクセシビリティを評価した。まず、10m メッシュのセントロイドからバス停までの代謝的換算距離を計算し、さらに到達圏解析を行い、代謝的換算距離の圏域が、直線距離や道路距離の圏域に比べて大きく減少することを確認した。多くの自治体は直線距離を用いて公共交通機関へのアクセスを評価しているため、到達圏域を過大評価している可能性がある。そこで、現状に見合った評価を行う必要性を改めて明らかにすることができた。

次に、OD 標高差と代謝的換算距離の関係を検証し、その結果、OD 標高差が大きくなるほど道路距離に対する代謝的換算距離の増加割合が大きくなることを確認した。そして、OD 標高差 5m ごとに代謝的換算距離の重回帰分析を行い、いずれも 1%有意の OD 標高差と道路距離を変数とした回帰式を得られた。

日本は高齢化が進んでおり、交通不便地域を抽出し、移動の支援を行うことが喫緊の課題である。そこで、代謝的換算距離を用いて評価することで、地形を考慮したアクセシビリティを算定できるため、これまで自治体が指標としていた直線距離や道路距離に比べて精緻な評価が可能である。さらに、GIS で代謝的換算距離に人口密度や高齢化率を組み合わせることで高齢化が進む交通不便地域を抽出することができるだろう。このような、現状に見合った交通不便地域を抽出できるようになると行政が支援すべき地域を正確に捉えることにつながり、交通政策の向上に寄与することができる。

本研究の発展にあたり、今後、他の地域でも同様の計算を行い、標本数を増やすことで代謝的換算距離の回帰式の精度を上げるとともに、回帰式の地域特性についても検証する必要がある。

なお、本研究では、バス停までの距離のみをアクセシビリティ評価の対象とし、バス停から目的地までのアクセシビリティは考慮していない。目的地までの正確なアクセシビリティ評価を行うためには、「バスの待ち時間」や「乗車時間」を加味し「移動時間」を評価指標とすることが考えられる。また、本研究は「駅周辺に生活利便施設が立地しており、駅までバスを利用し生活利便施設にアクセスする」という前提のもと、バス停までのアクセシビリティを評価した。そのため、「地域の近隣に立地しているがバスでアクセスできない生活利便施設」へのアクセスは考慮されていない。これは、既存のバス停へのアクセシビリティのみを考えたことによる、アクセシビリティ評価の限界と言える。また、本研究の手法は、相対比較により交通不便地域を抽出することはできるが、交通不便地域と判定するための代謝的換算距離の閾値については、知見が不足している。そのため、交通不便地域の絶対的な判断を行うことができない。

これらの課題をクリアするために、更なる実証研究が必要である。

謝辞: 本研究は、東京大学 CSIS 共同研究 (No. 873) による成果の一部です。ご協力いただいた関係者の皆さまに深く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) Kenyon, S., Lyons, G. and Rafferty, J.: Transport and social exclusion: investigating the possibility of promoting inclusion through virtual mobility, *Journal of Transport Geography*, Vol.10, No.3, pp.207-219, 2002.
- 2) Mavoa, S., Witten, K., McCreanor, T. and O'sullivan, D.: GIS based destination accessibility via public transit and walking in Auckland, New Zealand, *Journal of transport geography*, Vol.20, No.1, pp.15-22, 2012.
- 3) Transport for London.: Measuring Public Transport Accessibility Levels, 2010.
- 4) Daniels, R. and Mulley, C.: Explaining walking distance to public transport: The dominance of public transport supply, *Journal of Transport and Land Use*, Vol.6, No.2, pp.5-20, 2013.
- 5) Bok, J. and Kwon, Y.: Comparable measures of accessibility to public transport using the general transit feed specification, *Sustainability*, Vol.8, No.3, pp.224, 2016.
- 6) Saghapour, T., Moridpour, S. and Thompson, R. G.: Public transport accessibility in metropolitan areas: A new approach incorporating population density, *Journal of Transport Geography*, Vol.54, pp.273-285, 2016.
- 7) Hawas, Y. E., Hassan, M. N. and Abulibdeh, A.: A multi-criteria approach of assessing public transport accessibility at a strategic level, *Journal of Transport Geography*, Vol.57, pp.19-34, 2016.
- 8) 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, Vol.71, No.610, pp.133-139, 2006.
- 9) Lucas, K.: Transport and social exclusion: Where are we now?, *Transport policy*, Vol.20, pp.105-113, 2012.
- 10) Geurs, K. T. and Van Wee, B.: Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions, *Journal of Transport geography*, Vol.12, No.2, pp.127-140, 2004.
- 11) Saif, M. A., Zefreh, M. M. and Torok, A.: Public transport accessibility: a literature review, *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, Vol.47, No.1, pp.36-43, 2019.
- 12) El-Geneidy, A. M., Tetreault, P. and Surprenant-Legault, J.: Pedestrian access to transit: Identifying redundancies and gaps using a variable service area analysis, *paper presented at TRB 89th Annual meeting*, No.10-0837, 2010.
- 13) Hess, D. B.: Access to public transit and its influence on ridership for older adults in two US cities, *Journal of Transport and Land Use*, Vol.2, No.1, pp.3-27, 2009.
- 14) Hsiao, S., Lu, J., Sterling, J. and Weatherford, M.: Use of geographic information system for analysis of transit pedestrian access, *Transportation Research Record*, Vol.1604, No.1, pp.50-59, 1997.
- 15) Kimpel, T. J., Dueker, K. J. and El-Geneidy, A. M.: Using GIS to measure the effect of overlapping service areas on passenger boardings at bus stops, *URISA Journal*, Vol.19, pp.5-11, 2007.
- 16) Lovett, A., Haynes, R., Stünnenberg, G. and Gale, S.: Car travel time and accessibility by bus to general practitioner services: a study using patient registers and GIS, *Social science & medicine*, Vol.55, No.1, pp.97-111, 2002.
- 17) Tobler, W.: Three presentations on geographical analysis and modeling, 1993.
- 18) Dos Anjos Luis, A. and Cabral, P.: Geographic accessibility to primary healthcare centers in Mozambique, *International Journal for equity in Health*, Vol.15, No.1, pp.1-13, 2016.
- 19) Carrasco-Escobar, G., Manrique, E., Tello-Lizarraga, K. and Miranda, J. J.: Travel time to health facilities as a marker of geographical accessibility across heterogeneous land coverage in Peru, *Frontiers in public health*, Vol.8, p.498, 2020.
- 20) Páez, A., Anjum, Z., Dickson-Anderson, S. E., Schuster-Wallace, C. J., Ramos, B. M. and Higgins, C. D.: Comparing distance, time, and metabolic energy cost functions for walking accessibility in infrastructure-poor regions, *Journal of transport geography*, Vol.82, 102564, 2020.
- 21) Iseki, H. and Tingstrom, M.: A new approach for bikeshed analysis with consideration of topography, street connectivity, and energy consumption, *Computers, environment and urban systems*, Vol.48, pp.166-177, 2014.
- 22) 原拓也, 石坂公一, 大橋佳子: 地方中核都市における高齢者の徒歩アクセシビリティ特性からみた住宅地の評価, 日本建築学会計画系論文集, Vol.74, No.635, pp.129-135, 2009.
- 23) 喜多秀行, 小野祐資, 岸野啓一: 公共交通利用における身体的機能を考慮したアクセシビリティ指標の構築, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.68, No.5, pp.I_983-I_990, 2012.
- 24) 中平恭之, 松尾幸二郎: 道路条件と身体能力を考慮したバス停勢圏の設定, 地域学研究, Vol.47, No.2, pp.207-224, 2017.
- 25) Nakayama, S. and Yan, W.: The package redelivery problem, convenience store solution, and the delivery desert: Case study in Aoba Ward, Yokohama, *Journal of Urban Management*, Vol.8, No.3, pp.355-363, 2019.
- 26) 早内玄, 中村文彦, 有吉亮, 田中伸治, 三浦詩乃: 高低差・勾配の交通手段選択への影響に関する研究, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.75, No.5, pp.I_565-I_574, 2019.
- 27) 鳥海重喜, 大森紘: 日立市における買い物弱者支援のための移動販売サービスに関する分析, 都市計画論文集, Vol.55, No.3, pp.443-450, 2020.
- 28) 伊東優, 今井公太郎, 本間健太郎: 長崎市の斜面住宅地におけるアクセシビリティの評価と改良-地形・年齢階層・移動手段を考慮した街路ネットワーク分析-, 都市計画論文集, Vol.55, No.3, pp.428-434, 2020.
- 29) 早内玄, 中村文彦, 有吉亮, 田中伸治, 三浦詩乃: 日本国内の現行都市交通計画における地形条件評価に関する研究, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.76, No.5, pp.I_1001-I_1011, 2021.
- 30) 土木学会: バスサービスハンドブック, 2006.

EVALUATING ACCESS TO PUBLIC TRANSPORTATION CONSIDERING TOPOGRAPHICAL FEATURES: A CASE STUDY OF KANAZAWA WARD, YOKOHAMA CITY

Naoyuki MORI, Kiyoshi TAKAMI and Giancarlo PARADY

In metropolitan areas, since the period of rapid population growth in the 1960s, suburban residential areas have been extensively developed. In addition, due to growth pressure, in many cases hilly areas in suburban areas have been developed into residential areas. Residents who have lived in these areas since the time of development are now aging, and it has become difficult for them to walk uphill as their physical condition deteriorates. At the same time, there is a need to improve transit accessibility in these ageing areas to mitigate social exclusion problems that arise from the lack of mobility. Accessibility indicators for public transportation include (1) access to transit stops, (2) duration of the transit journey, and (3) access to destinations by transit. In this study, we focused on access to transit stops and evaluated the accessibility to public transportation in Yokohama City, considering the topographical features and the walking speed of the elderly. Specifically, the metabolic energy consumed by walking on a slope was used as an evaluation index, and the walking burden was replaced by an increase in distance. Results suggest that compared to “flat” network distance, (1) there is a large decrease in the effective bus stop catchment area, and (2) metabolic conversion distances are longer, exhibiting higher variation with increasing elevation difference. Furthermore, in order to apply the metabolic conversion distance in practice, we performed multiple regression analysis and obtained significant regression equations with OD elevation difference and network distance as variables.