



## 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

喜多, 秀行

小野, 祐資

岸野, 啓一

---

(Citation)

土木学会論文集D3（土木計画学）, 68(5):I\_983-I\_990

(Issue Date)

2012

(Resource Type)

journal article

(Version)

Version of Record

(Rights)

©2012 公益社団法人 土木学会

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90003389>



# 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

喜多 秀行<sup>1</sup>・小野 祐資<sup>2</sup>・岸野 啓一<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 神戸大学大学院 工学研究科市民工学専攻 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)  
E-mail: kita@crystal.kobe-u.ac.jp

<sup>2</sup>学生会員 神戸大学大学院 工学研究科市民工学専攻 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)  
E-mail: 115t116t@stu.kobe-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 岸野都市交通計画コンサルタント株式会社 (〒612-8081 京都市伏見区新町6丁目480)  
E-mail: kishino@mub.biglobe.ne.jp

交通は何らかの活動を行うための派生需要であり、公共交通サービスを評価する際、その利用によってどれだけ活動が行いやすいかを評価することが重要である。著者らはこれまでに、活動機会の獲得水準を表すアクセシビリティ指標を開発してきた。

その指標は、誰もが公共交通を利用できることを前提としている。そのため、身体機能に制約のある人は、公共交通サービスが提供されていても利用が困難であり、活動機会が十分に得られないという事象を説明できない。そこで、公共交通の利用しやすさを評価する指標に、身体機能が坂道の歩行などに及ぼす影響を評価した研究を統合し、身体機能を加味して活動機会の獲得のしやすさを評価する新たな指標を構築した。そして傾斜の急な地区を対象としたケーススタディを行い、構築した指標の有用性を示した。

**Key Words :**accessibility, public transport planning, rural areas, physical function

## 1. はじめに

過疎地域では、バスが1日数往復しか運行されていないため、公共交通を利用して通院や買い物など日常生活に必要な活動ができないという問題が発生している。交通は何らかの活動を行うための派生需要であり、公共交通を評価する際には、必要な活動がどの程度行いやすいかという視点がとりわけ重要である。

公共交通を利用して活動を行うときの移動しやすさを評価する指標として、谷本ら<sup>1)</sup>のアクセシビリティ指標がある。この指標は、定時定路線型の公共交通を利用して行う活動を対象に、活動時間、移動時間、公共交通の待ち時間などを変数として、時間配分の多様性を表すものであり、時空間的側面から公共交通利用による活動機会の獲得のしやすさを評価するものである。

谷本らの指標では、誰もが公共交通を利用可能であることを前提としているが、実際には時間的に利用可能な公共交通が運行されていても、それを利用できない人が存在する。例えば、バスのステップの昇降能力がない人はそれだけでバスが利用できなくなるなど、公共交通のサービス水準を評価するには、利用者の身体能力も考慮

する必要があると考える。また、バスを利用する能力を有する場合でも、自宅からバス停までの徒歩などに起因する身体的な疲労が移動のしやすさに影響を及ぼすことも考えられる。

公共交通の利用しやすさを時間的側面と身体的側面から統一的に評価できれば、公共交通政策を講じる上で有用であるが、著者らが知る限りそのような指標は見当たらない。そこで本研究では両者を統一的に評価しうる指標の構築を目的とする。具体的には、身体的負担がアクセシビリティに及ぼす影響と年齢階層別の疲労の感じ方の違いを組み入れることにより、谷本ら<sup>1)</sup>のアクセシビリティ指標を拡張する。本稿では、まず2において既存のアクセシビリティ指標とその改良の考え方について説明する。次に3.では疲労の反映などについて示すとともに、提案するアクセシビリティ指標を定式化する。4.ではケーススタディを通じて提案した指標の有用性を検証し、5.ではまとめとともに提案した指標の活用方法について述べる。

## 2. 本研究における考え方

### (1) 既往研究

谷本・喜多<sup>2)</sup>は公共交通のサービス水準の低い地域では、日常生活における活動機会が限定されるため、住民がその環境に応じた活動ニーズを形成している可能性を指摘し、活動機会に着目して公共交通計画を立案すべきと論じている。過疎地域の公共交通に関する研究は多数行われているが、活動機会に着目した研究事例はまだ少ない。

こうした中で、谷本ら<sup>1)</sup>は活動機会を評価するにはアクセシビリティ指標が適切であるが、既存のアクセシビリティ指標では限界があることを指摘し、所与の利用可能時間および公共交通の利用に伴う時空間的な制約のもとで、一日の活動に充てられる時間配分がどれだけ多様であるかを表す新たなアクセシビリティ指標を提案している。

岸野ら<sup>3), 4)</sup>は、谷本らのアクセシビリティ指標を応用し、定時定路線型のバスダイヤが与えられたとき、住民の活動機会がそれによってどれだけ獲得できるかを表すアクセシビリティ指標を提案するとともに、アクセシビリティを最大化するバスダイヤの設定法を示している。しかし、岸野らの指標や方法では、バス停までのアクセス距離や地形、年齢などの個人属性は考慮されておらず、本研究が意図する利用者の身体的能力を反映することはできない。

移動に対する個人属性や地形の影響の評価を試みた研究として、木澤ら<sup>5)</sup>によるものがある。木澤らは、目的地までの行きやすさとして年齢や起伏の程度、距離などの影響を加味した等価水平距離という概念を示している。この他に、Iseki and Taylor<sup>6)</sup>は駅やバス停における待ち時間や徒歩時間がトリップの満足度に及ぼす影響を評価している。しかし、いずれも本研究で考えているアクセシビリティ指標の構築には至っていない。

そこで本研究では、谷本らのアクセシビリティ指標に基づき、バスダイヤとアクセシビリティに関する岸野らの考え方を取り入れ、身体的な制約を考慮したアクセシビリティ指標を新たに構築する。

### (2) 活動機会の多様性を表すアクセシビリティ指標

谷本ら<sup>1)</sup>のアクセシビリティ指標は、公共交通利用に伴う時空間的な制約のもとで、一日にどれだけ多くの時間配分の組合せにより活動できるかという視点で、時間的な観点から公共交通を評価するための指標である。例えば、ある住民が外出に使うことの出来る時間にバスが2往復運行されている場合、活動機会を得るための外出時間の組合せが何通りあるかというような考え方である。外出パターンを $a$ 、活動と移動に充てることのできる

自由時間を $T$ 、活動のための往復の移動時間を $M$ 、外出回数を $n$ 、待ち時間を $w$ としたとき、アクセシビリティ指標 $A_n$ は式(1)のように表される。なお、 $\beta$ 、 $\gamma$ はパラメータであり、計算の過程など詳細は谷本ら<sup>1)</sup>を参照されたい。

$$A_n = \sum_a e^{-\beta T - \gamma w} \frac{(T - M - w)^{n-1}}{(n-1)!} \quad (1)$$

利用可能性が存在する場合でも、待ち時間や歩行時間が長くなるにつれ、活動機会を得にくくなり、アクセシビリティ評価を低下させると考えられる。谷本ら<sup>1)</sup>は待ち時間と外出時間によるアクセシビリティの低下をそれぞれ式(1)の $e^{-\gamma w}$ と $e^{-\beta T}$ に反映させている。

### (3) 身体的機能等を考慮した指標の改良

本研究では、谷本らによる式(1)のアクセシビリティ指標に次の2点の改良を加える。一つは、身体的な制約による公共交通の利用可能性、もう一つは、外出する際の疲労に個人属性や地形の影響を加味することである。

公共交通の利用可能性とは、例えば、長距離の歩行が困難で、自宅からバス停まで歩いていくことのできない人は、自分ひとりではバスが利用できない。このように公共交通が運行していても、個人の意思に関わらず、公共交通を利用できない状況を、本研究では公共交通の利用可能性がないとする。

一方、疲労について、式(1)のアクセシビリティ指標では外出時間の長さやバスの待ち時間に関する疲労は考慮されているが、バス停までのアクセスによる疲労は指標に反映されていない。また、年齢の違いによる疲労の感じ方の違いも考慮されていない。高齢者の利用が多い地域で公共交通計画を評価する際、バス停へのアクセスや年齢の違いなどは重要な要因であると考えられる。そのため、これらの項目をアクセシビリティに反映させる。

以上に示した2つの要素の具体的なアクセシビリティ指標への反映の方法については、章を改めて述べる。

## 3. 提案するアクセシビリティ指標

### (1) 公共交通の利用可能性の反映

公共交通の利用可能性を制約する要因として、身体的要因、経済的要因、時間的要因などが存在すると考えられる。これらの要因をアクセシビリティ指標に反映するため、式(1)に利用可能性を示す変数 $\varphi_{ik}$  ( $k=1, 2, \dots, K$ )を導入し、式(2)のように拡張する。

$$A_{qin} = \prod_{k=1}^K \varphi_{ik} \cdot A_n \quad (2)$$

$$\varphi_{ik} = \begin{cases} 0 : \text{個人 } i \text{ にとって移動途中に制約 } k \text{ が存在する} \\ \quad \text{ため, 公共交通の利用可能性がない場合} \\ 1 : \text{それ以外} \end{cases}$$

式(2)では、いくつか存在する制約のうち、1つでも越えられない制約が存在した場合、利用可能性がゼロになります、アクセシビリティ値もゼロになります。これらの要因がアクセシビリティに及ぼす影響は、連続量として反映すべきと考えられるが、現時点では便宜的に1, 0として扱っている。

公共交通の利用可能性に影響を及ぼす要因には様々なものが考えられる。渋川ら<sup>9)</sup>は交通挙動を妨げる「パリア要因」を列挙しているが、それを参考にバス利用に影響を及ぼす要因を抽出すると、表-1のように整理される。

本来、アクセシビリティ指標は、これら全ての要因を取り込んで定義すべきであるが、それらを直ちに反映することは難しい。これに対し、高齢化が進展している地域や傾斜が急な地域では、身体的機能の制約が原因で高齢者などがバスに乗車できないことが散見されることから、本研究では身体的要因に着目することとした。

その一つとして、バス停までの距離があげられる。一般に、バス停までの距離が長くなると徒歩でアクセスする抵抗が徐々に増え、ある限界を超えるとバス停まで歩いて到達できなくなる。歩ける範囲内においてバス停までの距離が公共交通利用に及ぼす影響は、後述の代謝的換算距離を介してアクセシビリティ指標に組み込む一方、歩ける限界を超える場合にはアクセシビリティをゼロとする項を式(2)に組み込む。その距離は、例えば、下肢に障害のある人では600mが限界という森山ら<sup>10)</sup>の研究成果はあるものの、人によって様々である。そのため、アンケート調査等で歩行限界の距離を個別に把握し、指標の計算に反映することが必要になる。

二つ目に、バス停までの経路上における階段の存在があげられる。藤原ら<sup>11)</sup>は、60代の7.7%、70代の14%が手すりなしで階段を上ることができないという調査結果を示している。これより、バス停までの経路上に階段がある場合、バスの利用可能性がなくなる人が少なからず存在することが示唆される。

三つ目に、バス停におけるベンチの有無もバス利用に

表-1 バスの利用可能性に影響を及ぼす要因

分類	要因
身体的要因	バス停までの歩行距離、勾配・段差、バス停のベンチの有無、バスのステップ、着席の可否、路面の凹凸
外部環境	天候、自動車交通量の多寡、歩道の有無
その他	運賃支払能力、路線・系統の複雑さ、手荷物の有無、バスの乗り心地

影響を及ぼすと考えられる。橋詰ら<sup>12)</sup>の調査では、70代の7.5%、80代の30%が20秒間、足をそろえて立つ姿勢を維持できないとしており、このような人は立位を維持してバスを待つことが困難と考えられ、バス停にベンチがなければバスを利用できない可能性がある。

さらに、徳田ら<sup>13)</sup>による実験では、手すりなしで上がる方が大変困難だと感じる段差の高さは、75~80歳では27cmという結果が示されている。一般にバスの第一ステップと地面の高低差は30~40cmあり、バスステップの存在がバスの利用可能性をなくす可能性がある。

以上に示したことより、公共交通の利用可能性に影響を及ぼす制約を表-2のように設定した。

個人のアクセシビリティ計測の際には、アンケート調査でこれらの制約が該当するか否かを質問し、該当する場合には公共交通の利用可能性は0となる。

なお、表-1に示す身体的要因のうち、着席の可否については、本研究が対象としている公共交通サービス水準の低い地域では、着席できないほどの車内混雑は見られないで考慮しないこととした。路面の凹凸については、影響は車椅子利用者に限られるため、考慮しなかった。

また、外部環境やその他の要因など、今回明示的にアクセシビリティ指標に組み込めなかった要因についても、その程度がアクセシビリティに及ぼす影響を明らかにし、計画策定時に考慮すべき要因を組み込んだ指標へと改良する必要がある。

## (2) 疲労の反映

公共交通を利用して外出する際には、精神的な疲労と身体的な疲労を感じると考えられる。ここで、精神的な疲労とは、公共交通の待ち時間や乗車中は同じ場所に留まらなければならないことに対し、無駄な時間を過ごしていると感じることを表し、身体的な疲労はバス停や駅での徒歩に対し、筋肉を使うことによって生じる疲労を表す。

このうち身体的疲労について、同じ時間歩いたとしても、平坦な道と坂道、階段では、それぞれ疲労の感じ方は異なると考えられる。また、年齢によっても疲労の感じ方は異なると考えられる。そこで本研究では、これらの要因に基づく疲労の度合いについて、代謝的換算距離の概念を用いて表す。

表-2 利用可能性に影響を及ぼす制約内容

k	制約内容
1	居住地～バス停の距離
2	居住地～バス停の階段の存在
3	バス停でのベンチの有無
4	バスのステップの高さ

佐藤ら<sup>8)</sup>によると、勾配 $\theta$ の坂道を歩行するときのエネルギー代謝率の値を $r(\theta)$ 、年齢階層 $j$ の歩行速度を $v_j$ とするとき、経路上の距離 $E$ に対する代謝的換算距離 $E^*$ は式(3)で表される。なお、 $v_3$ は基準となる歩行速度である。

$$E^* = E \cdot \frac{v_j}{v_3} \cdot \frac{r(\theta)}{r(0)} \quad (3)$$

ここで、 $v_j$ と $r(\theta)$ は、それぞれ表-3と式(4)のように設定する。 $\theta$ は坂道の勾配であり、 $\theta > 0$ は上り坂を意味する。

$$\begin{aligned} r(\theta) &= 1.2 + 3.113e^{0.4614\theta} & (\theta \geq -11(\%)) \\ r(\theta) &= 1.2 + 3.113e^{-0.4614\theta} & (\theta < -11(\%)) \end{aligned} \quad (4)$$

なお、佐藤ら<sup>8)</sup>は、高齢者にとって勾配が-11%より急な下り坂では、意識して速度を落として歩行しなければならず、抵抗感を感じる坂となるという認識のもとで、同じ勾配の上り坂と同等の負荷を与えるとしている（式(4)の第2式）。本研究では高齢者等の身体的機能を考慮したアクセシビリティ指標の構築を主たる目的としていることから、今回は新たな検討は行っていないが、その考え方を準拠する。ただし、この点については必ずしも検証されていないので、今後検討が必要である。

また、階段の歩行に対するエネルギー代謝率は上り坂では10、下り坂では2.5とされている。階段の影響を評価する場合は $r(\theta)$ にその値を適用すればよい。

代謝的換算距離では、年齢による疲労の感じ方の違いは身体能力の低下に起因しており、身体能力の低下は歩行速度の低下に現れると考えられている。高齢者と非高齢者が同じ距離を歩いた場合、高齢者の歩行速度のほうが遅く、歩行時間が長くなる分、疲労度が大きくなると判断される<sup>8)</sup>。よって、式(3)では、右辺第2項（基準歩行速度と年齢別歩行速度の比）によって年齢による疲労度の違いを反映している。

次に、同じ距離でも平坦な道の歩行と坂道や階段の歩行では、疲労度は異なると考えられる。この疲労度の違いも代謝的換算距離で考慮可能である。代謝的換算距離では、この疲労度の差をエネルギー代謝率の比で表している。杉山ら<sup>15)</sup>によるとエネルギー代謝率は筋労作の大きさと関係しており、同じ活動であれば個人差は見られないものである。

表-3 年齢別歩行速度（佐藤ら<sup>8)</sup>より作成）

年齢階級 $j$	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

エネルギー代謝率を用いることで、筋労作が原因の身体的な疲労を測定することが可能であるが、精神的疲労を測定することは不可能である。平地歩行と坂道歩行の疲労は、ともに精神的疲労ではなく、主に身体的疲労に起因するものと考えられる。よって、坂道歩行と平地歩行の疲労の差は身体的疲労を考慮できるエネルギー代謝率で表すこととした。式(3)では、右辺第3項（平地歩行と勾配 $\theta$ の坂道歩行の代謝エネルギーの比）によって坂道歩行と平地歩行の疲労度の違いを反映している。

### （3）指標の定式化

以上の考えに基づき、式(1)で表される谷本ら<sup>1)</sup>の指標に次の修正を加えて新たな指標を定式化する。

- 1) 谷本らは外出時間に比例して疲労を感じるとしているが、公共交通の利用しやすさを評価するという観点から、活動の長さを含む外出時間ではなく、移動時間に對する疲労を考慮する。
- 2) 簡単のため1回の外出で1つの活動を行うとする。ただし、それ以上活動を行うと考えるときも、同様に定式化は可能である。
- 3) 谷本らは1つの活動に対し、その活動を実行可能なバスダイヤのすべての組み合わせを利用できるものとしていたが、岸野ら<sup>3)</sup>に示された考え方順じ、活動開始時刻の直前に到着するバスと活動終了時刻の直後に出発するバスを利用するものと考える。
- 4) 移動形態によって疲労の感じ方が異なることを表すために、移動時間を徒歩と乗車に分け、さらに歩行時間は勾配ごとに計測する。
- 5) 身体的制約に伴う公共交通の利用可能性を考慮するために、利用可能性を示す $\varphi_{ik}$ を組み込む。

これより年齢階級が $j$ の個人 $i$ のアクセシビリティ指標 $A_{\varphi_{ij}}^b$ は式(5)のように導出される。なお、計算過程は小野<sup>14)</sup>を参照されたい。

$$A_{\varphi_{ij}}^b = \prod_{k=1}^4 \varphi_{ik} \times \frac{e^{-\gamma\tau}}{\gamma^2} \left\{ -1 + e^{-\gamma(-t_a + t_d + M)} - \gamma(t_a - t_d - M) \right\} \quad (5)$$

ここで、

$$\tau = \delta t_B + \sum_l \varepsilon \frac{r(\theta_l)}{r(0)} t_{wjl} + (t_a - t_d - M) \quad (6)$$

$$t_{wjl} = E_l / v_j \quad (7)$$

$$M = t_B + \sum_l t_{wjl} \quad (8)$$

なお、 $t_d$ は居住地を出発する時刻、 $t_a$ は帰宅時刻、 $t_B$ はバス乗車時間、 $M$ は移動時間である。式(5)の $e^{-\gamma\tau}$ は疲労によるアクセシビリティの低下を表し、 $\tau$ は式(6)で与えられる。 $\theta_l$ は勾配の異なる区間 $l$ の勾配、 $t_{wjl}$ は区間 $l$ に

おける年齢階級  $j$  の歩行時間であり、式(7)で与えられる。式(7)の  $E_l$  は区間  $l$  の経路上の距離である。移動時間  $M$  はバス乗車時間と歩行時間の合計として、式(8)で与えられる。 $\gamma$  は疲労によるアクセシビリティの低下を表すパラメータ、 $\delta$ 、 $\varepsilon$  はバス乗車時間  $t_B$  と歩行時間  $t_{wpl}$  を待ち時間( $t_a - t_b - M$ )と合算するための等価時間係数であり、その値は表4に示すとおりである。

なお、これらのパラメータの値は、既往研究による値を用いた。 $\gamma$  は式(1)のアクセシビリティ指標と同じ値である。谷本らは、地方部においてバスの待ち時間の限度をアンケート調査し、その結果に基づいて  $\gamma$  を推計しているが、本研究で対象とする高齢化が進む地域と類似した地域の調査であるため、同じパラメータを適用可能と考えた。 $\delta$  と  $\varepsilon$  は毛利・新田<sup>16)</sup>の研究成果に基づき次のように求めた。鉄道着席による移動を基準(1.00)とした待ち時間、バス着席による移動、徒歩の等価時間係数をそれぞれ  $\mu_1$ 、 $\mu_2$ 、 $\mu_3$  とするとき、 $\delta = \mu_2 / \mu_1$ 、 $\varepsilon = \mu_3 / \mu_1$  とした。なお、 $\mu_1 = 1.01$ 、 $\mu_2 = 2.05$ 、 $\mu_3 = 2.37$  である。

以上に示した方法により、公共交通の利用可能性を考慮した個人のアクセシビリティ値  $A_{obj}^b$  を算定できる。

## 4. ケーススタディ

### (1) 概要

ここでは、傾斜の急な地域で運行されているバス路線沿線のアクセシビリティを具体的に計測し、年齢別または地区別のアクセシビリティ値の比較、アクセシビリティ値とバス利用の関係などの分析を通じ、構築した指標の有用性について考察する。分析に必要なデータは、奈良県生駒市のコミュニティバス路線沿線住民にアンケート調査を実施することにより収集した。

以下、その検討内容について述べる。

### (2) 必要データの収集

分析に必要なデータを収集するため、生駒市コミュニティバス門前線沿線の住民に対してアンケート調査を実施した。

同線は、生駒駅南西に位置する住宅地と生駒駅南口を結ぶ延長約 4.5km のコミュニティバスである。途中 11ヶ所にバス停が設置され、一方向巡回で 8:30~17:40 の

表4 パラメータ・等価時間係数の値

パラメータ	値
待ち時間( $\gamma$ ) <sup>11)</sup>	1.814
バス乗車時間の等価時間係数( $\delta$ ) <sup>16)</sup>	2.01
歩行時間の等価時間係数( $\varepsilon$ ) <sup>16)</sup>	2.30

間に 14 便運行されている。起終点となる生駒駅南口と最も標高の高いバス停との間は直線距離で約 1.2km、標高差が 200m あり、沿線地区全体が傾斜地にあるため、本研究に必要なデータを収集するのにふさわしい路線である。沿線の人口は約 4,500 人、うち約 24% が 65 歳以上である。路線図を図-1 に示す。

アクセシビリティ指標を構築し、バス利用との関係を分析するためには、普段はコミュニティバスを利用しない人のデータも必要であるため、同線沿線の 600 世帯にアンケート調査票を配布し、交通機関を用いた外出機会が多いと考えられる高校生以上の世帯構成員全員の回答を求めた。

アンケート調査票では、年齢、コミュニティバスの利用の有無、コミュニティバスを利用する際の利用バス停(往路・復路別)、自宅住所(利用バス停までの距離や傾斜を特定するため番地までの記載を求めた)など、アクセシビリティ値を計算するために必要なデータを収集できるよう、調査項目を設定した。

なお、アンケート調査には、203 世帯 351 人から回答があった。そのうち、年齢や自宅の位置、バス利用に関する情報など分析に必要な情報を作成可能な 221 票を用いて以下の分析を行った。

### (3) アクセシビリティの計算例

アンケート調査で得られたデータに基づき、次のような活動に対する個々の回答者のアクセシビリティを計算した。

- ・自宅からバス停まで徒歩で行き、コミュニティバスで生駒駅まで行き何らかの活動を行う。
- ・活動終了後、生駒駅からコミュニティバスに乗車し、降車バス停から徒歩で帰宅する。



図-1 コミュニティバス門前線の路線図

- 年齢や居住地とアクセシビリティの関係を分析するため、滞在時間の長さがアクセシビリティに及ぼす影響を排除する意味で、生駒駅に到着後、活動に使うことのできる時間は一定（往路に利用したバスの2時間後のバスで帰宅する）と仮定した。
- アクセシビリティ値は、バスの利用の有無にかかわらず、計算した。なお、アンケート調査では、バスを利用しない人に対しても、利用が想定されるバス停などを質問している。

#### a) 身体機能に伴う移動制約とアクセシビリティの関係

図-2は、自宅から出掛ける際に利用する（または利用が想定される）バス停まで、支障なく行けるかどうかという区分に対する個人レベルのアクセシビリティ値の分布を表したものである。「バス停まで無理なく行ける」という人のアクセシビリティは、「体はつらいが何とか行くことができる」という人より高い範囲に分布していることが読み取れる。このように、提案した指標は身体的要因に伴う外出のしやすさを表すことができる指標となっている。

#### b) 年齢とアクセシビリティの関係

図-3は、年齢階級ごとに個人レベルのアクセシビリティ値の分布と平均値を示したものである。アクセシビリティの平均値は、年齢が高まるほど小さくなる傾向にあるほか、年齢が高くなるにつれ、アクセシビリティの低い人の割合が増える傾向が読み取れる。

年齢によってアクセシビリティの平均値に有意差があるかどうかを統計的に検定するため、15~49歳と50~64歳、50~64歳と65~74歳、65~74歳と75歳以上の3つの組み合わせについてt検定を行った。その結果を表-5に示す。

その結果、年齢が近接する50~64歳と65~74歳の間に有意差は見られなかつたが、15~49歳と75歳以上はそれ以外の年齢層との間でアクセシビリティに有意差があるとの結論を得た。

これらより、公共交通の計画に際しては、従来の高齢者区分（65歳以上）よりもむしろ後期高齢者（75歳以上）を基本にすべきであるとの知見が得られた。また、

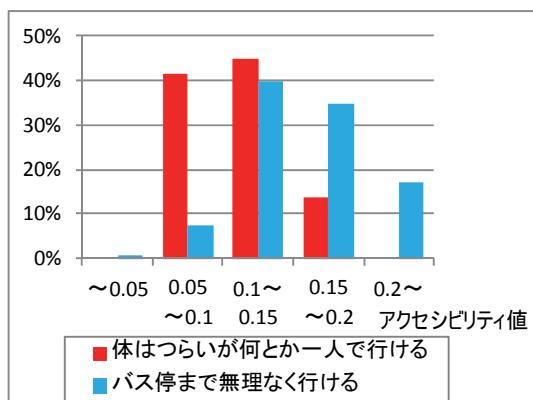


図-2 身体的要因とアクセシビリティ値の分布

年齢や身体機能を考慮したアクセシビリティを定義することにより、このような形で年齢とアクセシビリティの関係を定量的に表現することができることが示された。

また、図-4は年齢階級別にアクセシビリティ値とコミュニティバスの利用率の関係を示したものである。65~74歳や75歳以上では、アクセシビリティが高まるほどコミュニティバスの利用率が高くなることが読み取れる。一方で、15~49歳、50~64歳では、コミュニティバスの利用率が相対的に低く、アクセシビリティが高まることとコミュニティバスの利用率の間には相関関係は見られない。その理由として、高齢者はコミュニティバス以外の交通手段が利用しづらいため、アクセシビリティの大小がコミュニティバスの利用により強く影響しているのに対し、若い世代では、バイクの利用や目的地までの徒歩などコミュニティバス以外の交通手段も利用できるため、アクセシビリティとコミュニティバス利用率の相関が低くなっていると考えられる。

なお、図-4に示した年齢階層別に、アクセシビリティ値とコミュニティバス利用経験の有無の間に相関があるかどうかを、相関分析により確認した。その結果、75歳以上で相関比が最も高く（0.203）、15~49歳で相関比が最も低くなり（0.031）、年齢が高まるほどアクセシビリティ値とコミュニティバス利用の相関が高くなる傾向は見られた。しかし、相関比は最も高い75歳以上でも0.203に留まり、高い相関があるとは言い難い結果となった。

アクセシビリティ値とコミュニティバス利用の有無に高い相関が見られなかった原因の一つとして、調査対象地区には何棟かのマンションがあり、バス停までの距離や勾配が等しくなるサンプルがまとまって存在したため、

表-5 t検定の結果

比較対象	t値（自由度）	判定
15~49歳：50~64歳	2.27(98)	有意差あり
50~64歳：65~74歳	-0.63(86)	有意差なし
65~74歳：75歳以上	2.59(78)	有意差あり

注：帰無仮説「比較対象間でアクセシビリティ平均値に差はない」を検定した。有意水準5%。

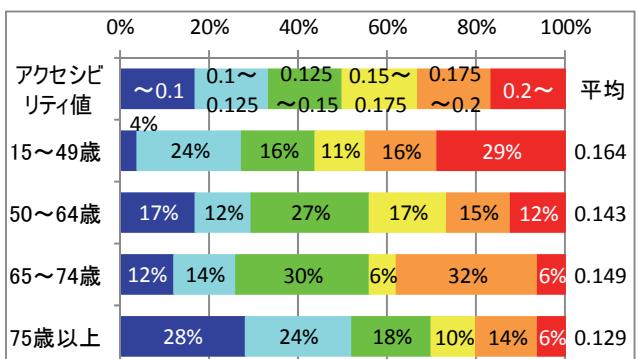


図-3 年齢階級別のアクセシビリティ値とその分布

アクセシビリティ値が特定の値に偏ったことが考えられる。今後、その影響について精査が必要である。

### c) バス停別のアクセシビリティ値

表-6は、個人単位で計算したアクセシビリティ値を、自宅から出掛ける際に利用するバス停別に集計したものである。合わせて、路線の起終点となる生駒駅南口からバス停までの距離、バス停の標高、コミュニティバスの利用率（出掛け際に当該バス停を利用とした人のうち、実際にコミュニティバスの利用経験がある人の割合）を示している。

たとえば6番のバス停では、バス停利用者のアクセシビリティは相対的に低いにもかかわらず、コミュニティバスの利用率は相対的に高い。これは、このバス停の利用者はコミュニティバスを必要としているにもかかわらず、バス停までが遠い、勾配が急であるなどアクセシビリティの改善を必要としている状態にあると解釈される。

構築した指標はこのような形でバス停の配置に関する評価に用いることができるほか、当該バス停の利用者の年齢構成や居住地分布を分析すれば、アクセシビリティを低下させている原因を解明することも可能であり、運行計画の見直しにも応用することができる。

以上に示したように、本研究に示したアクセシビリティ指標を用いることにより、年齢や地区特性によるア

セシビリティの違いを定量的に示すことができるほか、アクセシビリティとバスの利用率の関係を分析することによって、提供されている公共交通サービスの評価や問題点の把握、見直し計画の検討にも応用することができる。このようなことから、社会的に有用な指標を構築することができたと考えられる。

## 5. おわりに

本研究では時間的な側面からバスの利用しやすさを評価するアクセシビリティ指標と、身体的な側面から移動のしやすさを評価するものを統合した新たなアクセシビリティ指標を開発した。傾斜が急な地区におけるコミュニティバス沿線地区を対象にケーススタディを行った結果、提案した指標の有用性を確認することができた。

その際、提案したアクセシビリティ指標は個人レベルの指標であるが、年齢階級や地区ごとに平均値を求めたり集計することにより、公共交通サービスを評価できることを示した。

提案したアクセシビリティ指標は、公共交通利用に及ぼす歩行距離や勾配の影響について、年齢の違いや身体的制約を反映して評価できる指標となっている。この指標を適用することにより、たとえば、高齢者のアクセシビリティが最大となるバスルートの設定やバス停の配置などの計画策定が可能になる。すなわち、元のアクセシビリティ指標が備えていた時間的な要素の評価に加え、年齢や身体機能の影響を評価することができ、路線計画やダイヤ策定のみならず、高齢者に対する対策などを含めた交通政策の策定に必要な判断材料を提供することができると考えられる。

また、ある公共交通計画に対し、沿線住民のアクセシビリティ値をいくつかのレンジに区分し居住地にプロットすれば、アクセシビリティが低い住民の空間的な分布を判別できる。それに対し、施策を講じたとき（たとえば、バス停を新設する、バスの便数を増やすなど）のアクセシビリティの変化を分析することにより、どのような施策がどのような対象に対して有効かを判断する材料を提供できる。さらに、地区を単位として、公共交通を必要としている人（たとえば、自動車を運転できない高齢者など）のアクセシビリティの総和や分散を集計することにより、タクシー券を配付する地区を選定する際の参考にするなど、公平性などを考慮した政策の策定が可能になる。

以上のような成果が得られた一方で、次の点が今後の課題として残される。提案したアクセシビリティ指標に用いているパラメータについて、現状では他の調査や研究で得られたものを用いている。今後は、パラメータ推

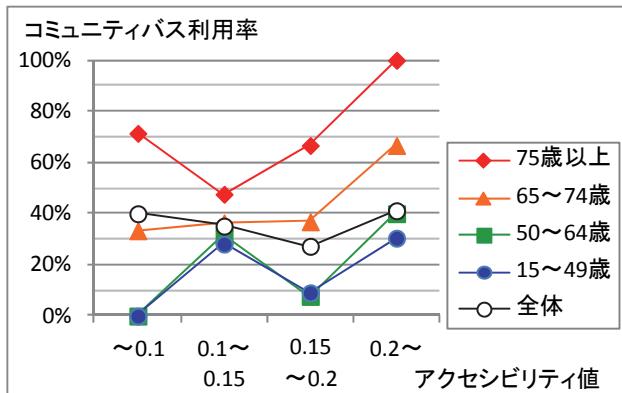


図4 アクセシビリティ値とバス利用率の関係

表-6 バス停ごとのアクセシビリティ値

バス停	生駒駅からの距離 (km)	バス停の標高 (m)	アクセシビリティ値 (平均)	コミュニティバス利用率
1	0.7	205	0.160	38%
2	1.0	230	0.188	41%
3	1.2	240	0.189	8%
4	1.4	260	0.134	31%
5	2.0	315	0.127	45%
6	2.4	310	0.082	60%
7	1.4	270	0.126	30%
8	1.1	230	0.166	46%
9	0.8	195	0.161	37%
10	0.6	175	0.149	17%

計に必要なデータを収集するとともに、独自にパラメータを推計し、現在用いているパラメータとの比較を行ってその妥当性や改善点を検討することが必要である。また、指標の活用方法や政策への反映についても、具体的な政策やケーススタディに基づく検証を行うなどの検討余地がある。

従来は、定性的な評価に基づきバス停の配置を定めていたが、提案したアクセシビリティ指標を用いることによって、定量的な評価が可能になった。今後は、バス停の新設や移設の要望に基づき実施した対応策の妥当性を、利用者からのフィードバックなどとも対比しつつ検証したいと考えている。

これらの点について、引き続き研究を深めたい。

## 参考文献

- 1) 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, Vol.65, No.4, pp.544-553, 2009.
- 2) 谷本圭志、喜多秀行：地方における公共交通計画に関する一考察－活動ニーズの充足のみに着目することへの批判的検討－、土木計画学研究・論文集, Vol.23, No.3, pp.599-607, 2006.
- 3) 岸野啓一、喜多秀行、寺住奈穂子：活動機会の獲得水準最大化を目指したバスダイヤの設定法、土木計画学研究・論文集, Vol.27, No.4, pp.633-642, 2010.
- 4) 岸野啓一、喜多秀行：活動機会の公平性を考慮したバスダイヤの評価指標、社会技術研究会論文集, Vol.7, pp.152-161, 2010.
- 5) 木澤友輔、高見淳史、大口敬：個人属性・地形要因を考慮した徒歩・自転車による「行きやすさ」の評価、交通工学研究発表会論文報告集, Vol.26, pp.205-208, 2006.
- 6) Iseki, H. and Taylor, B. D.: Style versus Service? An Analysis of User Perceptions of Transit Stops and Stations, *Journal of Public Transportation*, Vol. 13, No. 3, 2010.
- 7) 新田保次、上田正、森康夫：高齢者の交通形態別等価時間係数と時間価値、土木計画学研究・講演集, Vol.16, No.2, pp.191-194, 1993.
- 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、日本建築学会計画系論文集, No.610, pp.133-139, 2006.
- 9) 渋川剛史、原野安弘、生田進、山本洋一：「パリア」の概念と交通体系整備の課題に関する一考察、土木計画学研究・講演集, Vol.24, No.1, pp.73-76, 2001.
- 10) 森山昌幸、藤原章正、杉恵頼寧：交通サービス水準の制約により潜在化した交通需要の分析、土木計画学研究発表会・講演集, Vol. 25, CD-ROM, 2002.
- 11) 藤原勝夫、碓井外幸、立野勝彦編：身体機能の老化と運動訓練－リハビリテーションから健康増進まで－、7章 高齢者の動作様式、日本出版サービス, 1996.
- 12) 橋詰謙、伊東元、丸山仁司、齋藤宏、石川誠：立位保持の加齢変化、日本老年医学会雑誌, 23巻1号, 1986.
- 13) 徳田哲男、児玉桂子、西條富美代：高齢期の環境適応力に応じた移動寸法に関する研究、人間工学, Vol.31, No.1, 1995.
- 14) 小野祐資：公共交通の利用可能性を考慮したアクセシビリティ指標に関する一考察、神戸大学卒業論文, 2011.
- 15) 杉山允宏、桐島日出夫、平谷昭彦、大八木達也：歩行のエネルギー消費、人間工学, Vol.17, No.6, pp.259-265, 1981.
- 16) 毛利正光、新田保次：一般化時間を組み込んだ交通手段の選択モデルに関する基礎的研究、土木学会論文報告集, 第343号, pp.63-72, 1984.

(2012.2.25受付)

## DEVELOPMENT OF THE ACCESSIBILITY INDEX CONSIDERING PHYSICAL PERFORMANCE IN PUBLIC TRANSPORT USE

Hideyuki KITA, Yusuke ONO and Keiichi KISHINO

Since transport is derived demand, it is important to evaluate how easy to obtain activities by using public transport. We have built the accessibility index which shows the acquisition level of the opportunity of activity.

The index is supposed that everyone can use public transport service. Therefore, the index is not able to explain that people who have restrictions in physical function cannot obtain the opportunity of activity sufficiently. Then, we integrated the index of the ease of public transport use and the research which evaluated the influence of a physical function on a walk of a slope, and we developed a new index that evaluated the ease of acquisition of the opportunity of activity considered physical function. And we carried out the case study in the steep area, and showed the usefulness of the new index.