

# 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

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

<sup>1</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>2</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>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)  
(神戸大学大学院 工学研究科市民工学専攻)  
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にはその利用によってどれだけ活動が行い易いかを評価することが重要である。著者らはこれまでに、活動機会の保障水準を表すアクセシビリティ指標を開発してきた。

そこでは、誰もが公共交通を利用できることを前提としていたが、身体能力が低い住民は公共交通サービスが提供されていても利用することができないために、活動機会の獲得水準が低下してしまう。そこで、公共交通の利用しやすさを評価する指標と身体能力についての研究を統合し、身体能力を加味して活動機会の獲得のしやすさを評価するため新たな指標を構築した。

**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など、公共交通で通院や買い物など日常に必要な活動ができないといった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るので、公共交通を評価する際には、とりわけ必要な最低限の活動をどの程度行いやすいかという視点が重要である。

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、実際にはダイヤに関わらず、公共交通を利用できない住民も存在する。例えば、バスのステップの昇降能力がない住民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と考えられる。

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、著者らの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評価に及ぼす影響と年齢属性ごと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。本論文の構成として、2.で本研究におけるアクセシビリティ評価についての説明を行う。3.では、疲労度の計量方法について示し、4.で指標を提案する。5.では、提案する指標の活用方法を提示する。

## 2. 本研究における考え方

### (1) 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、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、一日にどれだけ多くのダイヤの組み合わせで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1往復運行されている場合、外出のパターンは1通りであるが、バスが2往復運行されている場合は、外出のパターンは4通りである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<sup>1)</sup>らを参照されたい。

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

利用可能性が存在する場合でも、待ち時間や徒歩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(1)式の $e^{-\gamma w}$ と $e^{-\beta T}$ に反映させている。

一般に、疲労には精神的な側面と身体的な側面の両面があると考えられる。例えば、待つことに対しては無駄な時間を過ごしているという精神的な疲労を、徒歩に対しては筋肉を使用することによる身体的な疲労を主に感じると思われる。これらの疲労を共に評価するものとして、等価時間係数<sup>2)</sup>がある。等価時間係数は、例えば「鉄道の着席15分に対して鉄道の立席は何分に相当するか」という概念であり、精神的な疲労と身体的な疲労とを統一的に評価している。これは、待ち時間・徒歩時間・乗車時間による疲労度を統一的に評価する上で有用であると考へ、本研究ではこれらの疲労を評価する際に等価時間係数の考え方を導入する。

### (2) 移動形態と年齢による疲労度の差

徒歩での移動を考える際、同じ時間歩いたとしても、平坦な道と坂道と階段では、それぞれで疲労の感じ方は大きく異なると考えられる。また、同様に高齢者と非高齢者でも疲労の感じ方は大きく違うと考えられるので、本研究では、これらの疲労度の違いをアクセシビリティ指標に組み入れる。

2.(1)で待ち時間と移動時間の疲労度の差を等価時間係数で示すとしたが、等価時間係数で高齢者と非高齢者の疲労の感じ方を評価するには問題があると考えられる。その理由は、一般に高齢者が「我慢強い」傾向があるためか、

主観評価では、非高齢者より高齢者のほうが同じ行動に対して、疲労の感じ方が小さいと評価する傾向があるからである<sup>3)</sup>。これより、主観評価を基としている等価時間係数を用いて計画を行うことは、高齢住民の厚生観点から避けるべきであろう。そこで、歩行時の年齢による疲労の感じ方の違いを示すために、3.で述べる代謝的換算距離<sup>4)</sup>の考え方を援用する。

### (3) 公共交通の利用可能性

例えば、自宅からバス停までに存在する階段の昇降能力がない住民にはバスの利用可能性がないと言える。このように公共交通が運行されていても、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。

利用可能性に影響を与える要因として、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。その中でも、高齢の住民などが身体的要因が原因でバスに乗車できないことが散見されるため、本研究では、身体的要因に着目する。なお、時間的要因は谷本らのアクセシビリティ指標で考慮可能である。

ここで、これらの身体的制約の影響をアクセシビリティ指標に反映するため、(1)式に利用可能性を示す変数 $\varphi_k$  ( $k = \{1, 2, \dots, k\}$ )を導入し、(2)式のように拡張する。

$$A_n^b = \prod_{k=1} \varphi_k \cdot A_n \quad (2)$$

$$\varphi_k = \begin{cases} 0 & \text{for 移動途中に制約}k\text{が存在しており、} \\ & \text{それに起因して利用可能性がない} \\ 1 & \text{for それ以外} \end{cases}$$

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、アクセシビリティ値もゼロになる。

## 3. 疲労度の計量化

### (1) 利用可能性の計量化

渋川ら<sup>5)</sup>が整理しているように、利用可能性をゼロにする制約はたくさん考えられるが、本研究では過疎地を対象としており、高齢化している地域が多いことから、高齢住民の利用可能性に大きく影響を与えると考えられる表-1のような制約を考える。

表-1 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
3	バス停での待ち
4	バスステップ

これらの制約が住民に与える影響度についての既往研究を小野<sup>6)</sup>がまとめているが、利用可能性という形で対応付けられるものは見当たらない。よって、現段階では $\phi_k$ はアンケートなどで個別に求める必要がある。

## (2) 年齢による疲労の感じ方と坂道歩行時の疲労

2.(2)で示したように、年齢による疲労度の違いは代謝的換算距離を用いて考慮する。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 $v_w(j)$ とすると、代謝的換算距離 $E$ は式(3)で表される<sup>4)</sup>。なお、 $v_w(3)$ は基準となる歩行速度である。

$$E = B \times \frac{r(\theta)}{r(0)} \times \frac{v_w(j)}{v_w(3)} \quad (3)$$

$v_w(j)$ と $r(\theta)$ は、それぞれ表-2と式(4)のように設定する。 $\theta$ は坂道の勾配であり、上りがプラスである。

表-2 年齢別歩行速度 (佐藤ら<sup>4)</sup>より作成)

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

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

$$r(\theta) = 1.2 + 3.113e^{-0.4614\theta} \quad (\theta \leq -11(\%))$$

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>4)</sup>。よって、式(3)では、右辺第3項で基準歩行速度と年齢別歩行速度の比とし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での歩行と坂道や階段での歩行とでは、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>7)</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。

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、共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にした。式(3)では、右辺第2項で平地歩行と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。

## 4. 提案する指標

以下、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たが、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、移動時間に対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、実際は活動開始時間の直前のバスと活動終了時間の直後のバスを選択するものと考え、1つの活動に対して1つのバスダイヤのみを考える。
- 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・乗車に分け、更に徒歩時間は勾配ごとに計測する。
- ⑤利用可能性を考慮するために、利用可能性を示す $\phi_k$ を組み込む。

これよりアクセシビリティ指標 $A_s^b$ は式(5)のように導出される。なお、計算過程は小野<sup>6)</sup>を参照されたい。

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

$$\tau = -\alpha_B - \sum_l \epsilon_l t_{wl} - \gamma(t_a - t_d - M) \quad (6)$$

ここで、 $t_d$ は居住地を出発する時刻、 $t_a$ は帰宅時刻、 $M$ は移動時間である。 $\tau$ は疲労によるアクセシビリティの低下を表し式(6)で与えられる。 $t_{wl} \sim t_{wd}$ は勾配 $l$ ごとの徒歩時間、 $t_b$ は乗車時間である。なお、徒歩時間は自宅からバス停までの距離を表-2で示した年齢ごとの歩行速度 $v_w(j)$ で除すことで求める。

次にパラメータを設定する。2.(1)で記述したように、待ち時間に対するアクセシビリティの低下を $e^{-\gamma w}$ で示す。なお、待ち以外の減衰項は、等価時間係数を用い、それぞれの移動形態の時間を疲労という観点から待ち時間に換算し、それを $\gamma$ に反映させる。つまり、ある移動形態 $i$ の待ちを基準にした等価時間係数を $q(i)$ とし、移動形態 $i$ で $T$ 分移動したとすると、この移動形態 $i$ に対

するアクセシビリティを低下させる項は $e^{-\gamma q(i)T}$ となる。ここで、式(8)の指数部分の $\gamma q(i)$ を各移動形態における疲労による低下の項のパラメータとする。このように移動形態ごとにパラメータが変更されているが、本質的には各移動形態の移動時間を、基準となる待ち時間に変換していることになっている。なお、パラメータ $\gamma$ 、 $\delta$ 、 $\varepsilon_\theta$ の値は既往研究を参考に表3に示す値とする。

表-3 パラメータの値

パラメータ	パラメータの値
待ち時間( $\gamma$ ) <sup>1)</sup>	1.814
バス乗車時間( $\delta$ ) <sup>3)</sup>	3.646
勾配が $\theta$ の徒歩時間 <sup>3b)</sup> ( $\varepsilon_\theta$ )	$4.172 \times \frac{r(\theta)}{r(0)}$

以上の手順により、個人の公共交通の利用可能性を考慮したアクセシビリティ値 $A^b$ を算定しうる。

## 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指標を開発した。提案した指標の有用性を確認するため、ケーススタディを行った。結果は紙面の都合上、発表時に提示する。

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り、交通政策を策定するためには、集落全体のアクセシビリティ評価を行うには、4.で導出したアクセシビリティ指標をどのように活用するかを考える必要がある。現状や施策後のアクセシビリティが低い住民の分布を知りたいときは、各住民のアクセシビリティ値を何段階かに区分し、居住地にプロットすることで、アクセシビリティが低い住民の物理的な分布が判別でき、路線バスを運行するかタクシー券を配布するかを決定する時などの

政策策定に活用できる。また、個人のアクセシビリティの総和や分散に着目することで、公平性などを考慮した政策の策定が可能である。この他にも、自家用車を使用できない高齢者や学生に着目することも有効だと考える。しかし、どれか1つの方法での評価では不十分であり、必要に応じてこれらの方法を組み合わせて評価することが望ましい。このように計画指標を構築することが今後の課題である。

## 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) 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, pp191-194, 1993
- 3) 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, pp205-208, 2006
- 4) 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, pp133-139, 2006
- 5) 渋川剛史・原野安弘・生田進・山本洋一：「バリア」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, vol24, No.1, pp73-76, 2001
- 6) 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, pp259-265, 1981
- 7) 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