

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ス性改善効果に関する研究*

Research on the palliation of physical burden from slope by community bus*

猪井博登**・中岡亮***

By Hiroto INOI**・Ryo NAKAOKA***

1. はじめに

公共交通が利用しにくい地域に住む人々のモビリティ確保の対策の一つとしてコミュニティバスが導入されている。コミュニティバスがモビリティ確保の効果をj得るためには、路線の設定やバス停配置が重要であり、自宅と交通機関の間のアクセスを正確にとらえることが重要である。モビリティ確保の評価として、新田ら¹⁾は、一般化時間を用いモビリティ確保の度合いを評価し一定の成果を得ている。一方、我が国では、住宅地開発が丘陵地などの切り開き行われたことが少なくなく、千里ニュータウンや多摩ニュータウンのように、街路に坂道を含んだ住宅地は多い。モビリティ確保を評価するためには、坂道が与える身体負担の影響を加味することが不可欠である。しかし、既往研究では、坂道からの負担を加味しておらず、坂道の負担における等価時間係数も明らかにされていない。なお、飯田ら²⁾による階段での負担を考慮した等価時間係数は存在するが、坂道での負担を考慮した等価時間係数は求められていない。本稿では、坂道での身体的負担を考慮した一般化時間を算出し、モビリティ確保がなされているかを評価する方法について考案する。この坂道での身体的負担の表現においては、労働学などで労働強度を表すRMRを用いる。まず、アンケートによって求めた一般化時間とRMRの関係性を検証する。さらに、ケーススタディとして、丘陵地で運行されているコミュニティバスのモビリティ確保における貢献度を坂道における身体的負担を考慮の有無含んで検証し、バス停留所の位置を変更することによるモビリティ確保における貢献度の改善を提案する。

2. 坂道での身体的負担を反映した等価時間係数

(1) エネルギー代謝率 (RMR)

*キーワード：地区交通計画、公共交通計画、計画手法論、バリアフリー化

**正員、博(工)、大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 (大阪府吹田市山田丘2-1、TEL06-6879-7610、FAX06-6879-7612)

***正員、修(工)、大和ハウス株式会社

エネルギー代謝率 (RMR) とは、労働強度を示す指標である。古沢は 1935 年に筋労働を示す指数として労働代謝を基礎代謝で除した値、すなわち労働代謝が基礎代謝の何倍に当たるかを示す数字を用いることを提案した。³⁾また、主観的強度との比例的関係が有意であることが示されている。加えて、江尻³⁾は、RMR は、労働強度を示す指標として生理学的にきわめて恒常性があり、筋労働の取扱い上、季節、年齢、性別、個人差が無視できると述べている。加えて、同じ運動を 10 分間行った場合と 5 分間行った場合を比較し、2 人の RMR は同じ値の結果になると述べている。つまり、同じ作業量の実験において、被験者の作業の継続可能時間は異なる場合においても RMR は同じ値を取ることを示した。この知見から距離の違う同じ勾配の坂道に対して RMR は一定と扱うことができる。

(2) 坂道における RMR の算出

佐藤ら⁴⁾ は人間工学基準数値数式便覧に⁵⁾ 示された7種類の勾配 (-9%, -5%, 0%, 5%, 10%, 15%, 20%) のRMRを用い式1に示した近似式を算出した。

$$r_i = 3.113e^{0.0461i} \dots \dots \dots \text{(式1)}$$

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⁶⁾ は、高齢者において11%を越える下り坂では上り坂と同じ負荷となると指摘している。

(3) 坂道における等価時間係数

等価時間係数とは、各々の移動形態における移動時間に対し、移動に伴う負担も含めた評価指標に換算するための指標である。一方、(1)で述べたようにRMRは労働の強度が基礎代謝の何倍に当たるかを示す数値である。そこで、勾配*i*%のRMRを勾配0%のRMRで除すことにより、勾配*i*%での負担が勾配0%の何倍に当たるかを算出する。ここで得られたRMRの勾配0%と*i*%の比率は、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2のように仮定した。

$$b_i = \frac{b_0 \times r_i}{r_0} \dots \dots \dots \text{(式2)}$$

b_i : 勾配*i*%を分速80mで歩行する際の等価時間係数

b_0 : 勾配0%分速80mで歩行する際の等価時間係数
 r_i : 勾配*i*%を分速80mで歩行する際のRMR
 r_0 : 勾配0%を分速80mで歩行する際のRMR

本稿では、自宅からバス停留所までのアクセスを考えるため、平地での徒歩を基準として一般化時間を算出することとする。そこで、平地(勾配0%)での徒歩の等価時間係数を1.0とする。以上から勾配*i*と等価時間係数の関係を下記に示した。

$$i > -11: b_i = e^{0.0461 i}$$

$$i \leq -11: b_i = e^{-0.0461 i}$$

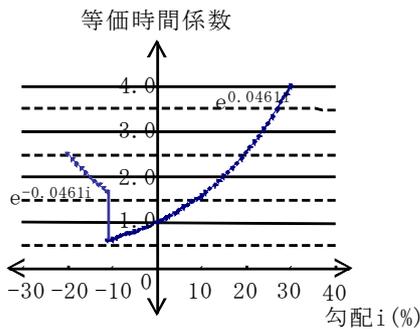


図1 勾配ごとの等価時間係数

既存の研究⁷⁾では、二項選択型のアンケート調査を行い、等価時間係数を算出されてきた。勾配ごとに等価時間係数をアンケート調査方法によって把握することは不可能であるが、式2に仮定した式では、すべての勾配に対して等価時間係数を求めることができる。

3. 検証

(1) 調査の概要

本稿では、等価時間係数算出によく用いられる二項選択型のアンケート調査を用い等価時間係数を算出し、2. で仮定したRMRを用いた等価時間係数との比較を行うことにより、仮定の正しさについて検証を行う。

アンケート調査の概要を表1に示す。本稿において、身体的負担を加味することを目的としており、2.

(1)に示したように、RMRが年齢を無視できるため、アンケート調査の対象が20代学生であったが問題はない。

表1 アンケート調査概要

調査日時	・2007年1月15日
調査対象者	・大阪大学大学生 (20歳代)
有効回答数	50名

本稿においては、勾配6.5%(坂道1)勾配8.8%(坂道2)について検証を行うこととした。加えて、補助的に自動車運転についても検証を行う。

坂道1、IIは、回答者が坂道の身体的負担を認知している必要があるため、通学経路中または大学構内で比較的多くの学生が通行し、十分な長さ(約100m以上)を有する坂道を選定した。

本アンケート調査は新田ら⁷⁾が実施したアンケート調査を参考に設問作成を行った。

坂道については、「坂道を10分間上ること」と「平地を10、12、15、20、25分間歩くこと」の選択について質問した。

自動車運転については、「バスに着席し15分間乗ること」と「自動車を15、20、25、30、35分間運転すること」の選択について質問した。なお、徒歩を基準とした等価時間係数にて比較を行うため、「平地を10分間歩行し、バスに着席し15分間乗ること」と「平地を5分間歩行し、バスに着席し25、30、35、40分間乗ること」の選択について質問を行った。

(2) アンケート調査による等価時間係数

坂道1、IIを通行した経験の有無について質問を行い、経験のある者のみにそれぞれの坂道の等価時間係数に関して回答を有効なサンプルとした。加えて自動車運転については、いずれかの坂道を利用した経験があり、自動車免許を保有する者を有効なサンプルとした。

表2 アンケート調査による等価時間係数

動作	サンプル数	等価時間係数
坂道1(勾配6.5%)歩行	50	1.6
坂道2(勾配8.8%)歩行	36	1.5
参考:自動車運転*	50	0.2

(3) 比較

式2に仮定した算出方法をもとに算出した等価時間係数を理論値と呼ぶ。なお、自動車の運転については、式2を参考に作成した式3により算出を行った

$$b_d = \frac{b_0 \times r_d}{r_0} \dots \dots \dots (式3)$$

b_d : 自動車運転時の等価時間係数
 b_0 : 勾配0%を分速80mで歩行する際の等価時間係数
 r_i : 自動車運転時のRMR
 r_0 : 勾配0%を分速80mで歩行する際のRMR

自動車運転時のRMRについては、人間工学基準数値数式便覧に示された自動車運転および車両に乗車中のRMRをもとに理論値を算出した。表3に理論値およびアンケート調査から算出した等価時間係数を示した。自動車運転を除く坂道1、坂道2、自動車運転に関しては、算定式で算出された等価時間係数とアンケート調査

で算出された等価時間係数がほぼ等しい値になった。

表3 等価時間係数の比較

動作	等価時間係数	
	理論値	アンケート調査
坂道1(勾配6.5%)歩行	1.4	1.6
坂道2(勾配8.8%)歩行	1.5	1.5
参考:自動車運転*	0.2	0.2

(4) 考察

表3に示したように、坂道1と2では数値の大小関係が理論値とアンケート調査の結果が逆転している。この点について考察を行う。表2のサンプルに示したように、坂道1については、ほとんどの学生が利用する通学路中の坂道であることに對し、坂道2はアンケート対象者の中でも通ったことのない者がいるように対象者の利用する範囲からやや離れているため、坂道の身体的負担への認知が坂道1に比較すると弱かったことかと考えられる。事例を重ねより詳細に分析することが今後の課題として残される。

以上の結果から、RMRを用い、等価時間係数を算出することはある程度利用し得る方法である。

4. ケーススタディ〜コミュニティバスによる負担軽減の効果把握

(1) ケーススタディの概要

ケーススタディとして、大阪府吹田市が千里丘地区で運行するすいすいバスをとりあげる。千里丘地区は、千里丘陵東端に作られた、坂道の多い密集住宅地である。すいすいバスの概要を表4に示した。

表4 すいすいバスの概要

運航開始	2006年12月1日
使用車両	三菱ふそうローザ (座席11、補助席4、立席17、車いす1台乗車可能)
運行頻度	平日24便 (30分に1本) 土日12便 (1時間に1本)
運行経路	坂道が存在し、バス路線がない地域を結ぶ1周1約55分の八の字型
バス停留所	モノレール駅、ショッピングセンター前など30ヶ所、バス停間隔約300m
料金	大人200円、小人100円 (周辺の路線バスと同額。路線バスへの乗り継ぎ割引あり)

(2) 評価方法

ケーススタディ地区内での路線バスのバス停留所と

鉄道駅までアクセスしやすい地域が地区全体に占める比率(以後アクセス率とよぶ)によって地域の公共交通へのアクセスを表現する。なお、バス停まで300m、鉄道駅まで700mの道路延長を有する地域をアクセスしやすい地域とする。また、アクセス率算出に際し、千里丘地域が密集市街地であるため、道路のそばに住宅が密集しており、各戸の面積を大きなばらつきはないため、道路延長の比をもってアクセス率とする。

$$a = \frac{\sum_j (l_j + l_r)}{\sum_a (l_a)} \dots \dots \dots \text{(式4)}$$

a : アクセス率
 l_j : バス停留所jから300mの範囲内の道路延長
 l_r : 鉄道駅から700mの範囲内の道路延長
 l_a : 地域の道路長

坂道の身体的負担を考える場合、平面上の路距離を等価時間係数によって除し、アクセス率を求める。

$$a_s = \frac{\sum_j (l'_j + l'_r)}{\sum_a (l_a)} \dots \dots \dots \text{(式5)}$$

a : アクセス率
 l'_j : バス停留所jまで道路長を勾配ごとの等価時間係数で除し、300m以下となる道路実延長
 l'_r : 鉄道駅まで道路長を勾配ごとの等価時間係数で除し、700m以下となる道路実延長
 l_a : 地域の道路長

本研究で対象とする道路は国土地理院2002年発行数値地図2500(空間データ基礎)近畿-2に掲載されている道路を対象とした。道路延長は同じく数値地図2500より取得した。勾配については、国土地理院2006年発行数値地図5mメッシュ(標高)京都及大阪より道路両端の標高を取得し、標高差を算出し、道路延長で除し、平均勾配を勾配とした。なお、対象地区全体の道路延長は73.84kmであった。

(3) アクセス率の変化

すいすいバス以外に、千里丘地域の外縁部には路線バスの16の停留所、1つの鉄道駅が存在する。すいすいバスがある状態とない状態でアクセス率を計算した。さらに、坂道の負担を考慮した場合と考慮しなかった計算し、表5に示した。

坂道の身体的負担を考慮しなければ、すいすいバスの導入によって千里丘地域の73.8%がバスまたは鉄道にアクセスしやすい地域になったと解釈できるが、実際には、坂道が多い地域であり坂道の身体的負担を考慮した場合、

バスまたは鉄道にアクセスしやすい地域は 63.7%となることがわかった。また、上記の結果をバス停留所ごとに算出をしたところ、坂道の負担を考慮した結果、そのバス停留所周辺のアクセスしやすいと判断された道路延長が最大で 15%減少する。つまり、すすいバスの地域の公共交通のアクセスの向上を一般化時間で評価する際、既往の方法は過剰に見積もっていたこととなる。

表5 すすいバス運行前後のアクセス率

		道路延長 (km)	アクセス率 (%)
すすいバス 導入以前	坂道の身体的負担を考慮せず	39.98	54.2
	坂道の身体的負担を考慮	38.02	51.5
すすいバス 導入後	坂道の身体的負担を考慮せず	54.46	73.8
	坂道の身体的負担を考慮	51.57	69.8

(4) バス停留所設置代替案

先程と同様に、坂道での負担感を考慮した場合のすすいバス導入後における「徒歩アクセスのしやすい地域」をもとに、バス停留所の追加を仮定し、アクセス性の改善から検証を行う。「徒歩アクセスのしやすい地域」にならなかった地域の中でバス停新設により「徒歩アクセスのしやすい地域」に変化する地域に効果が得られる場所に設置した。路線上にバス停を作ってもこれ以上徒歩アクセスのしやすい地域が増加しない状態でアクセス率を算出したところ、道路延長で54.0km、アクセス率で73.1%となった。現在のすすいバスの路線では、路線上にフリー乗降にしたとしても、アクセス性改善からみた導入効果に限界があることがわかり、地域全体をアクセスしやすい地域とすることを考えるとすると、路線の再考が必要であることがわかった。

5. まとめ

本稿では、坂道がある地域で運行されるコミュニティバスのアクセス性における改善の評価について研究を行った。アクセス性の表現によく使用される一般化時間の算出に労働学で使用されているRMRに関し蓄積された知見を応用し、RMRが坂道の身体的負担感の表現にある一定の利用が可能であることを示した。

また、ケーススタディを行い、吹田市千里丘地区で運行されるコミュニティバスを取り上げ、バス停留所まで300m、鉄道駅まで700mの範囲を公共交通にアクセスしやすい地域とした場合、坂道の身体的負担を考慮すると、アクセス性を向上しきれていない範囲があることを指摘できた。加えて、路線全線でフリー乗降を行ったとしても、

25%以上の地域が公共交通にアクセスのしにくい地域のまま残ることを指摘した。

加えて、自動車運転についてもRMRからアンケートから求めた等価時間係数を比較したところ、近い値が得られており、等価時間係数の算出にRMRが使用できる可能性を示せた。

なお、等価時間係数に含まれるのは、身体的負担のみではなく、心理的負担も含まれている。都⁸⁾らは等価時間係数を複数の年齢層で調査し、おおむね年齢が上昇するほど、等価時間係数は増加することを示した。一方RMRは年齢に関係なく作業に対して一定である。このように身体的負担は変化しないものの、身体的負担から受ける心理的負担（転倒の恐怖など）は増加すると考えられる。また、筆者ら⁹⁾の既往の研究では、車いすで坂道を登った場合、途中で休憩したほうがより長い距離を登ることができることを示した。各作業の継続時間や作業により蓄積される疲労なども検討の対象となる。

参考文献

- 1) 新田保次、竹林弘晃、黄 靖薫、川口裕久：GISを活用したアクセシビリティとモビリティによる都市交通計画の評価方法について、土木計画学発表講演集、Vol131、CD-ROM、2005.
- 2) 飯田克弘、新田保次、森康男、照井一史：鉄道駅における乗換行動の負担度とアクセシビリティに関する研究、土木計画学研究・講演集、No. 19 pp. 705-708 1996.
- 3) 江尻幸吉：労働の強さと適正作業量、労働科学研究所、1970
- 4) 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
- 5) 佐藤方彦ほか：人間工学基準数値数式便覧、技報堂、1992.
- 6) 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
- 7) 毛利正光、新田保次：一般化時間を組み込んだ交通手段選択モデルに関する基礎的研究、土木学会論文集 NO. 343、pp. 63-72、1984
- 8) 都君燮、松井寛、永坂恵隆：地方都市における公共交通利用時の交通負担感の計測とその評価、第21回交通工学研究会論文報告集、2001
- 9) 新田保次、猪井博登、小山健一、中平明憲、土木計画学研究・講演集、Vol. 29、2004