

車いす利用者の生理的応答を用いた駅ターミナル評価に関する基礎的研究*

A primary study about evaluation of a terminal using physical response by wheelchair-user *

松井祐介**・村木里志***・三星昭宏****・野村貴史*****

By Yusuke MATSUI**・Satoshi MURAKI***・Akihiro MIHOSHI****・Takashi NOMURA*****

1. はじめに

一般に駅ターミナルの利用者にとって負担や抵抗となる要因には、移動時間・費用・身体的な負担などが考えられる。特に駅の大規模化に伴う身体的な負担の増加は、身体能力の低い身体障害者・高齢者には健常者と比べはるかに大きな影響を与えるものと考えられる。急速に高齢化が進む日本において、公共交通機関の利便性・快適性の向上を図るうえで、高齢者・身体障害者の身体的な負担要因を軽視する事はできない。この問題に対処すべく誰もが利用しやすい公共交通機関をめざし、その方向性を示した交通バリアフリー法が施行された。この交通バリアフリー法に基づき新設される公共的施設にはEV、ES、身障者用トイレの設置などが義務付けられ、高齢者・身障者の利用に最低限の水準は確保されつつある。しかし、既存施設に関しては努力義務であり、設置位置などについても規定されておらず、施設内のどの個所に設置すればよいか明瞭な評価論がないのが現状である。

2. 既存の研究

近年、注目されている身体の生理的応答を駅ターミナル評価にアプローチした研究には次のようなものがある。北川¹⁾はエネルギー代謝率(RMR)に基づき、水平移動歩数1歩分の身体的負担を単位歩数 point とした算定法を導き出している。これにより適切なベンチの設置位置の検討などを行っている。さらに塚口ら²⁾は歩行時の身体のエネルギー消費量と心拍数の関係を室内で測定し、実際の駅ターミナルで走行実験を行い、心拍数を測定することで、間接的に身体負担を算出している。これを用いることにより、歩行者支援システ

ムによる身体的な負荷軽減効果を定量化評価している。

このように、歩行者における駅ターミナル内の移動抵抗に関する研究は行われており、その評価方法も用途によって数々提案されている。しかしながら、これらの研究は、歩行者に関するものであり、車いす利用者を対象とした研究は行われていない。つまり、車いす利用者からみた駅ターミナルの評価は未知数なのが現状である。

3. 本研究の目的

既存研究では、そのほとんどが歩行者を対象としている。そこで本研究では、車いす利用者の走行(水平走行、スロープ走行)中の身体的負担を表す指標として、酸素摂取量(VO_2)を測定する。そして、得られた結果から駅ターミナル利用者が移動をする際、どの程度の身体的負担が生じているかを定量的に表し、車いす利用者の身体面からみた駅ターミナルの評価方法の提案を目的とする。

4. 酸素摂取量の性質と特徴

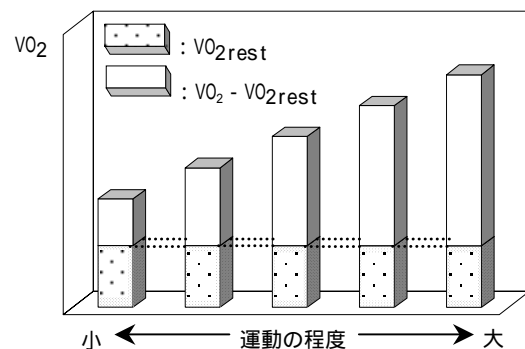


図-1 VO_2 と運動強度の関係

酸素摂取量(VO_2)とは、呼吸により体内に酸素を取り入れる量で、1分間当たりの摂取量(l/min)で示される。一般に酸素摂取量は運動時の摂取量を表し、本研究においても、酸素摂取量は運動中の摂取量を表すこととする。酸素摂取量は、「安静時酸素摂取量」と「運動に必要な酸素摂取量」から構成されているおり、これらの和で表される。ここで安静時酸素摂取量(VO_{2rest})とは、安静な状態で椅子に座っている時の摂取量であり、体温調節・内臓機能の維持など生命

* キーワーズ 車いす利用者、酸素摂取量、身体的負担、駅ターミナル評価

** 学生員 近畿大学大学院

〒577-85 東大阪市大阪市小若江 3-4-1

TEL:06-6730-5880(内線:4271)

*** 非会員 学博 九州芸術工科大学

〒815-8540 福岡市南区塩原 4-9-1

**** フェロー会員 工博 近畿大学理工学部社会環境工学科教授

〒577-8502 東大阪市小若江 3-4-1

***** 学生員 近畿大学大学院

〒577-85 東大阪市大阪市小若江 3-4-1

維持に必要とする酸素量もこれに含まれる。酸素摂取量は、運動の程度が大きくなるにつれ、より多くの酸素を体内に摂取しエネルギーをつくる必要があるため、酸素摂取量も比例して大きくなる。すなわち、酸素摂取量が大きい運動ほど、身体的な負担が大きい運動といえる(図-1)。

5. トレッドミル運動負荷実験

本実験の概要は表-1, 表-2のようにになっている。

表-1 実験概要

日程	平成14年9月25日~27日
場所	県立長崎シーボルト大学 体育館内健康科学実験室
被験者	車いす生活者6名 (男性5名, 女性1名)

表-2 被験者の属性

	性別	年齢(歳)	等級	身長(cm)	体重(kg)	介助の有無
被験者A	男性	38	1種1級	170	54	無
被験者B	男性	30	1種1級	172	62	無
被験者C	男性	34	1種1級	160	50	無
被験者D	男性	32	1種1級	170	46	無
被験者E	男性	40	1種1級	180	62	無
被験者F	女性	46	1種1級	154	49	無

(1) 実験方法

実際のスロープを仮想したトレッドミルと呼ばれる運動負荷装置を用いて走行実験を行う(表-3, 写真-1, 写真-2)。このトレッドミル上を被験者に走行してもらい、トレッドミルの勾配・速度を変化させ運動負荷を与える。この時酸素摂取量を呼気ガス分析器を用いて測定する。また、安静時酸素摂取量は実験前に測定しておく。

表-3 トレッドミルの概要

型名	BM-1100
本体	横149cm, 長さ308cm, 高さ30cm
走行ベルト面	横90cm, 長さ215cm
速度	0~30km/時
傾斜	-10~+25%
傾斜分解能	0.10%
製造	大武ルート工業



写真1-トレッドミル



写真2-実験風景

(2) 運動負荷の設定について

a) 勾配

実際の駅ターミナルに存在する勾配はさまざまであり、既存するすべての勾配を対象にトレッドミルで実験を行うことは不可能である。そこで、本実験で扱う勾配は被験者の体力面と安全面を考慮し、上限を10.0%とした。さらに、交通バリアフリー法に規定されている勾配⁴⁾(屋内1/12 8.0%以下, 屋外1/20=5.0%以下)をふまえ、-5.0%, -2.5%, 0.0%(水

平)2.5%, 5.0%, 7.5%, 10.0%, を対象に実験を行った。

b) 走行速度

本研究は駅ターミナルを利用している時に生じる身体的負担を定量化するものである。走行は日常生活を仮想しているため、日常生活の速度で実験を行う必要がある。そこで速度は以下のように決定した(表-4)。

- ・ 水平走行: 一般に車いす利用者の水平走行は速度が66m/minとされているためこれを用いる。
- ・ 傾斜の走行: 勾配ごとに被験者の日常生活時の速度とする。

表-4 被験者の走行速度

		被験者A	被験者B	被験者C	被験者D	被験者E	被験者F
勾配	0.0%	66	66	66	66	66	66
	-2.5%	100	75	50	60	30	30
	-5.0%	80	80	50	60	15	35
	2.5%	40	60	45	40	40	25
	5.0%	35	50	25	30	25	15
	7.5%	20	25	15	20	15	15
	10.0%	15	20	15	15	10	

(3) 実験結果

実験結果を表-5に示す。表の値は測定した値を平均したものである。ここで斜線部は被験者の体力を考慮し測定しなかった。

表-5 VO_{2rest} と VO_2 測定結果

		被験者A	被験者B	被験者C	被験者D	被験者E	被験者F
VO_2	rest VO_2	0.283	0.175	0.230	0.207	0.218	0.168
	レベル0 0.0%	0.395	0.342	0.450	0.407	0.430	0.315
	レベル1 -2.5%	0.360	0.181	0.267	0.242	0.277	0.176
	レベル2 -5.0%	0.280	0.211	0.281	0.279	0.280	0.251
	レベル3 2.5%	0.482	0.441	0.442	0.422	0.471	0.323
	レベル4 5.0%	0.652		0.492	0.575	0.502	0.340
	レベル5 7.5%	0.674	0.474	0.486	0.575	0.504	0.420
レベル6 10.0%	0.696	0.490	0.581	0.811	0.563		

6. 身体的負担定量化の提案

(1) 身体的負担の定義

酸素摂取量には安静時酸素摂取量も含まれ、運動せず安静にしている時は酸素摂取量 = 安静時酸素摂取量である。酸素摂取量が身体に及ぼす負担と考えれば、安静時酸素摂取量の示す負担は生命維持のために発生したものと解釈できる。本研究では運動による負担を定量化するもので、これには、運動中の酸素摂取量から運動にのみ発生した負担を抽出する必要がある。このため運動することによって発生する身体的負担は生命維持など人間の無意識な負担(負担と感じない負担)を除去したもので、すなわち($VO_2 - VO_{2rest}$)であると定義した。

(2) 身体的負担の算出方法

a) 換算係数の算出

本研究で算出する身体的負担は、水平走行を基準としている。このために必要となるのが勾配毎の移動で発生した負担を水平走行の負担に換算する係数である。

式の展開		単位
水平走行	スロープ走行(各勾配)	
$VO_2 - restVO_2$	$VO_2' - restVO_2'$	(l / min)
$\frac{(VO_2 - restVO_2)}{66 (m/min)}$	$\frac{(VO_2' - restVO_2')}{\text{実験速度 (m/min)}}$	(l / m) 単位m当たりの酸素摂取量
$f = 1.0$ (基準)	$f = K$ (換算係数)	なし
P (負担) = 1.0 × 距離 (水平)	P' (負担) = K × 距離 (スロープ)	(m)

図-2 換算係数と身体的負担の算出手順

図-2はこの換算係数を算出するための手順である。酸素摂取量と身体的負担の関係は比例すると説明したが、実験で測定したものは単位時間(分)当たりの負担(1分間あたりの VO_2)である。これを単位m当たりの負担に変換する。時間当たりを単位距離当たりに変換する場合は、速度で割ることで算出できるが具体的には次のような過程である。

速度： V (m/min)，

単位時間あたりの負担： $(VO_2 - VO_{2rest})$ (l/min)，

走行時間： T (min)，単位m当たりの負担： p (l/m)

とすると，

$$\text{走行中に生じた負担} = (VO_2 - VO_{2rest}) \times T \quad (1)$$

$$\text{実験中に移動した距離} = V \times T \quad (2)$$

$$p = \frac{(VO_2 - VO_{2rest}) \times T}{V \times T} = (VO_2 - VO_{2rest}) / V \quad (3)$$

これを水平走行、実験対象となった勾配毎に算出し、それぞれ単位mあたりの負担を算出する(図-2中、)換算係数とは水平走行を基準とする係数であることは先ほど述べた。よって各勾配で算出した値を水平走行の値で割ることにより換算係数を算出することができる。(図-2中 /)その結果を図-3に示す。

ここで y を換算係数、 x を勾配とすると

上り勾配における近似曲線

$$y = 0.0683x^2 + 0.1766x + 1.0163 \quad (x \geq 0) \quad (4)$$

下り勾配における近似曲線

$$y = -0.112x - 0.03 \quad (x < 0) \quad (5)$$

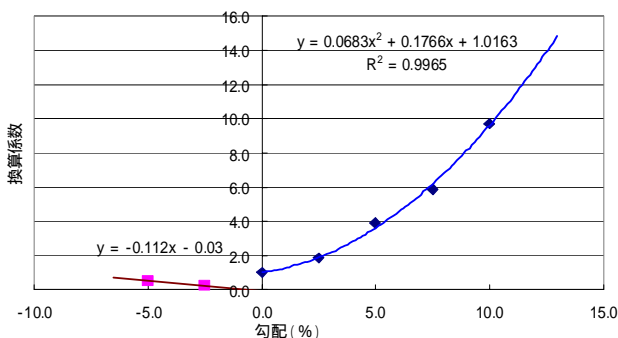


図-3 換算係数と勾配における相関関係

(3) 身体的負担算出

換算係数とは水平走行を基準とした単位m当たりの負担である。

ここで負担 P (m)，水平移動距離 L (m)，スロープ換算係数上り Ku ，下り Kd ，スロープ移動距離上り Lu (m)，下り移動距離 Ld (m)とすると負担 P は次式で表される。

$$P = L + Kd \cdot Ld + Ku \cdot Lu \quad (6)$$

仮に図-4のような仮想ルートを車いすで左から右へ移動した場合、身体に及ぼす負担は以下ようになる。

式(4)，式(5)，式(6)より

$$Ku = 5.46, Kd = 1.09, P = 64.67 (m)$$

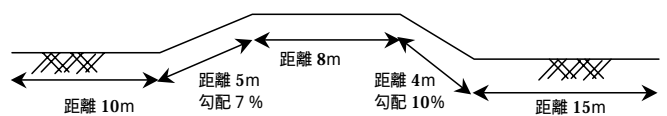


図-4 仮想ルート

この結果、負担 P が64.67mとなり、このルートを走行した場合、移動距離42mに対して水平移動64.67m分の負担と表すことができる。

7. ケーススタディ

表-6 ルート1の概要

ルート1	
順路	A B C E
総距離	658.1(m)
水平距離	517.2(m)

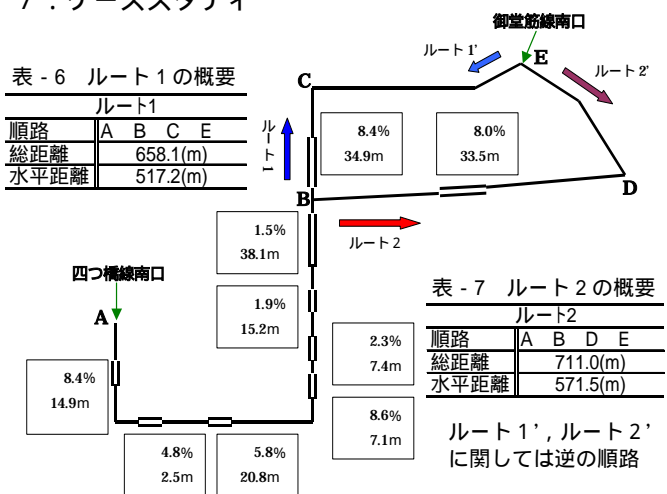


図-5 ルート概略図

表-7 ルート2の概要

ルート2	
順路	A B D E
総距離	711.0(m)
水平距離	571.5(m)

ルート1'，ルート2' に関しては逆の順路

(1) ケーススタディの概要

本研究の目的は負担の定量化とそれを用いた駅ターミナルの評価であるが、その評価の用途は限定していない。そこで今回はケーススタディとして駅ターミナルの内にある経路選択の評価を行った。内容は同じ出発地点と目的地点を持つ2つのルートを対象とし、どちらのルートが身体に負担をかけずに移動できるかを検証するものである。ルートの条件としては、車いす利用者が2つ以上の経路選択が可能なルートを有する場所とした。そこで条件に合う場所として梅田ターミナルの四つ橋線南口から御堂筋線南口間にある2つのルートを対象とした。(図-5，表-6，表-7)

(2) 評価結果の分析

ルート1とルート2の負担を比べてみる。ルート1では全長658.1mに対して負担が921.1m, ルート2では全長711.0mに対して975.4mとなり負担度はルート1が1.44, ルート2が1.37であった。(表-8)ここで、負担度とは負担/移動距離で算出した指標であり、水平なルートを基準とした、移動しやすさを表したものである。最適ルートを探査する場合、各ルートに対して負担、負担度の2通りの指標で評価することができる。以上のことから車いす走行における最適ルートの検討を行った結果、四つ橋線御堂筋から御堂筋線南口へは「負担」が小さいルート1で同様に御堂筋線南口から四つ橋線御堂筋についてはルート1が最適ルートと考えられる。

表-8 各ルートの負担・負担度算出結果

	ルート1	ルート2	ルート1'	ルート2'
順路	ABCE	ABDE	ECBA	EDBA
水平距離	517.2	571.5	517.2	571.5
総距離	658.1	711.0	658.1	711.0
負担(m)				
スロープの総和	403.9	403.9	262.2	259.3
水平	517.2	571.5	517.2	571.5
総負担	921.1	975.4	779.4	830.8
負担度(総負担/総距離)				
負担度	1.40	1.37	1.18	1.17

8. 今後の展開

今回はケーススタディとして身体的負担の算出により経路選択における最適ルートの検討を行ったが、本研究の結果は今後次のような展開が考えられる。

(1) バリアフリー評価

交通バリアフリー法により、当面は最低限の水準のクリアを目標としている。しかし実際には金銭面や労働面等からみて一度にすべてのバリアを取り除くということとは不可能である。マクロでみた場合、バリアフリーを行う駅ターミナルの順位付けが必要となってくる。バリアフリーの対象となる駅ターミナル内に存在するルートに対してすべて負担度を算出し、駅ターミナル全体における移動しやすさを定量化する。これにより、整備が必要な駅をより明確に評価することができる。またミクロでみた場合、負担度を用いて駅ターミナル内に存在するルートの良し悪しを判断することができる。

(2) 移動補助施設の設置位置の検討

交通バリアフリー法では公共的施設の新設に関してはEVの設置が義務付けられているものの、その設置には莫大なコストが必要となってくる。とりわけ既存施設の設置にはスペースの確保やその他諸経費が必要となってくるため新設の設置よりはるかに困難である。

さらにEV設置した結果、それを利用するために大きな迂回が必要となってくるのでは、最低限の水準はクリアしたものの駅ターミナルの利便性・快適性の向上とは程遠いものである。そこで、EV設置による移動負担低減効果を算出し、最も効率よく負担の軽減が可能な設置位置の検討を事前に行う事ができる。

9. まとめと今後の課題

(1) 身体的負担について

移動負担の指標、換算係数(図5)から次のようなことがわかった。下り勾配においては、勾配が大きくなってあまり身体に及ぼす影響はなかった。また上り勾配では下りに比べ勾配の変化が著しく身体的負担の増加に影響を及ぼすことが明確となった。

(2) 今後の課題

a) 被験者について

本研究では、歩行者を対象としておらず、このままでは駅ターミナル評価として不完全である。そのため歩行者についても同様の実験を行い、車いす利用者、歩行者双方からみた評価が必要である。また今後の社会情勢からすると内部障害者、視覚障害者、電動車いす利用者についても調査していく必要があると考えられる。

b) ルートの連続性

実験では勾配毎の断続的なものである。負担の算出もスロープ走行と水平走行は別々に負担を算出し、それらの総和を移動に要した負担としている。しかし実際のルート内の走行は水平やスロープが組み合わさった連続した走行になる。この連続性が身体に及ぼす影響は本研究では考慮しておらず、これらも視野に入れる必要があると考えられる。

~参考文献~

- 1) 北川博巳：高齢者を考慮した駅ターミナルの移動負担評価に関する研究、第20回交通工学研究発表会論文報告会 2000
- 2) 塚口博司 梶井宏修 黒木靖典；歩行時の身体エネルギー消費量からみた歩行支援システムの評価分析、交通工学、2003 NO.3 Vol.38
- 3) 照井一史 新田保次 飯田克弘；鉄道駅における乗り換え行動とアクセシビリティに関する研究、土木学会第51回年次学術講演会
- 4) 交通エコロジー・モビリティ財団；公共交通機関旅客施設の移動円滑化整備ガイドライン 平成13年8月
- 5) 新エスカ 21 運動生理学：著者 橋本勲 進藤宗洋ら、編集 栄養学・食品学・健康教育研究会、同文書院
- 6) 運動生理学(エネルギー・栄養・ヒューマンパフォーマンス)：McArdle, W.D Katch, F.I. Katch, V.L. 監訳：田口貞善 矢部京之助 宮村実晴、杏林書院