

歩行形態別身体的及び心理的負担量の計測に関する研究*

Measurement of physical and psychological burdens by pedestrian mode type*

田中克**・松井寛***・藤井貴浩****

By Masaru TANAKA**・Hiroshi MATSUI***・Takahiro FUJII****

1. はじめに

わが国の高齢化は少子化を伴いながら他に例のないスピードで進展している。一方、高齢者の社会活動の機会は増加しており、高齢者をはじめ身体障害者にやさしいまちづくりが今後の最も重要な課題である。ハートビル法や交通バリアフリー法の制定をきっかけに、歩行空間を構成する歩道、スロープ、階段、エスカレーター、エレベーター等の施設や車両自体の構造的改善策は相当に進んできたといえるが、これら各種バリアフリー施策によって利用者の負担がどの程度軽減されるかを定量的に捉えることも重要である。本研究では、身体的負担と心理的負担の両面から一般的な歩行経路の移動負担量を計測する方法を提案し、今後のバリアフリー施策の評価に活用することを目的に研究を行った。

歩行時の移動負担量の計測に関する研究は従来からいくつかの研究例がある。参考文献(1)では水平歩行距離1mを単位エネルギー消費量として、他の歩行形態(階段昇降、エスカレーター)による移動を水平距離に換算する算定式を提案している。この研究は歩行経路の移動負担量をRMR(エネルギー代謝率)に基づく算定式によって提案した最初の論文であるが、個人階層別の分析には至っていない。飯田ら²⁾はアンケート調査に基づき水平歩行を基準としたときの他の歩行形態(階段昇降、エスカレーター、エレベーター、動く歩道)の個人属性別の等値時間係数を算出している。この研究は歩行経路の移動負担量を心理面から捉えた最初の論文である。北川³⁾は体力負担を考慮した乗り換え抵抗をRMRを参考に、やはり水平歩行を基準として歩数ポイントに換算する方法を提案し、これに基づく移動ルートの移動負担量を算定している。ただしここで用いる移動手段ごとのRMR値は既往研究からデータを引用している。また個人階層別の分析は行われていない。塚口らは⁴⁾エネルギー

一代謝量と心拍数との関係式から、調査では心拍数のみを測定することで、移動手段ごとの身体エネルギー量を推定している。したがってこの研究ではエネルギー代謝量を直接測定するものではない。諸田らは⁵⁾アンケート調査に基づいて、歩行形態別の移動負担感を一般化時間として定量的に算出する方法を提案している。この研究では、情報提供の有無、上屋の有無等による利用施設の形態、錯綜空間通過に伴う心理的負担など負担感を幅広く取り扱っているところに特徴がある。しかし個人階層別の分析は、高齢者と非高齢者の2区分にとどまっている。

本研究は上記の既往研究に触発されて始めたものであるが、本研究の特徴として、アンケート調査に基づく心理的移動負担量と消費エネルギー量の測定に基づく身体的移動負担量の両者を独自に計測し、さらに心理的負担量と身体的負担量の関係を明らかにすることである。特に消費エネルギー量の測定は、後述の最新の携帯型行動計測装置を用いて計測精度の向上を図った。今回新たに消費エネルギー量を計測する方法をとった理由は、最近開発された比較的高性能の携帯式計測装置によって、男女さまざまな年齢層の被験者の実測が容易となったことにより、個人属性別(性別、年齢階層別)の分析が行えるためである。一方心理的負担量については飯田らや諸田らと同様に、アンケート調査から分析することとした。身体的および心理的負担量の計測は、個人属性別(性別、年齢階層別)、歩行形態別(階段昇降、エスカレーター、エレベーター、坂道)に行い、換算係数を用いることによって、歩行経路の心理的、身体的移動負担量が計測できる算定式を提案した。これによって各種バリアフリーに伴う負担量の軽減効果を定量化できるとともに、歩行経路に沿って計測された身体的、心理的負担量を説明変数に加えた経路選択モデルの構築により、より広範にバリアフリー施策の評価が可能となる。ただし本論文では経路選択モデルの提案までにはいたっていない。

2. 身体的負担量の実験

(1) 実験概要

歩行形態別の負担量がどのくらい違うのかを把握する

*キーワード: バリアフリー 移動負担量 歩行者

**学生員, 工学, 名城大学大学院理工学研究科

建設システム工学専攻

(名古屋市天白区塩釜口1-501, TEL052-832-1151)

***正員, 工博, 名城大学理工学部建設システム工学科

****非会員, 工修, (社) 中部建設協会

表-1 身体的負担の等価時間係数

歩行形態	年齢×性別					
	男性			女性		
	20代以下	30～50代	60代以上	20代以下	30～50代	60代以上
平地歩行	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
坂道上り (勾配4%)	1.42	1.35	1.31	1.30	1.48	1.49
坂道下り (勾配4%)	1.03	1.07	1.24	1.00	1.20	1.30
坂道上り (勾配9%)	1.59	1.59	1.75	1.35	1.60	2.31
坂道下り (勾配9%)	0.96	1.01	1.29	1.13	1.18	1.55
階段上り	2.05	1.76	2.19	1.91	2.10	2.49
階段下り	0.91	0.79	1.01	0.89	0.83	1.23
エレベーター上り	0.24	0.20	0.24	0.24	0.22	0.27
エレベーター下り	0.24	0.20	0.24	0.24	0.22	0.27
エスカレーター上り	0.39	0.34	0.41	0.39	0.38	0.48
エスカレーター下り	0.32	0.27	0.33	0.32	0.30	0.38
静止	0.20	0.17	0.20	0.20	0.19	0.23

ためエネルギー消費量に着目し、歩行実験によって得られたエネルギー消費量を身体的負担量と定義した。実験は20歳代から70歳代のまでの男性・女性の計35名を被験者として行った。エネルギー消費量は(株)アイ・ティ・リサーチ製の携帯型行動計測装置 (ICC : Intelligent Calorie Counter) ⁶⁾ を用いて測定した。実験は平成17年12月上旬に名城大学天白キャンパス内で実施した。今回測定を行った歩行形態は、「平地歩行」、「坂道上り・下り (勾配5%・9%)」、「階段上り・下り」、「エスカレーター (ES) 上り・下り」、「エレベーター (EV) 上り・下り」、「静止」の以上12通りである。実験場所の詳細は、平地距離100m、急な坂道 (勾配9%) 100m、緩やかな坂道 (勾配5%) 45m、階段67段 (階段高さ18cm、階段幅30cm) を含む連続した経路である。これらの歩行形態別のエネルギー消費量の測定結果をもとに、平地歩行を基準としたときの等価時間係数を導き出すことにした。この等価時間係数に関しては次項で述べる。

(2) 実験結果

a) 等価時間係数

身体的負担における等価時間係数とは平地歩行を1とした場合の平地歩行以外の歩行形態との負担量との違いを示すものである。その係数が1より大きい値であればその歩行形態は平地歩行に比べ大きな負担があり、逆に1より小さい値であればその歩行形態は平地歩行に比べ少ない負担である。

b) 算出方法

実験で得られた測定値をもとに、歩行形態別 ($k=1, 2, \dots, n$) のエネルギー消費量 (y_k) と所要時間 (x_k) の関係式を直線単回帰式で表す。

$$y_k = a_k x_k \quad \dots \text{式 (1)}$$

ここに、 a_k は歩行形態別の単位時間あたりのエネルギー

消費量を示す回帰係数である。

次に平地歩行100mを基準にとり、この距離を平均歩行速度で割れば100m平地歩行するに要する所要時間が計算でき、このときのエネルギー消費量が式 (1) によって求められる。次にその他の歩行形態を採ったとき、100m平地歩行したときに要したエネルギー消費量に相当する当該歩行形態別の所要時間を式 (1) から逆算する。これより、歩行形態別の等価時間係数は次式によって求められる。

歩行形態別の等価時間係数＝

平地歩行100mの所要時間

平地歩行100mの負担量に相当する他の歩行形態による所要時間
 $\dots \text{式 (2)}$

歩行形態別に求めた性別、年齢階層別の等価時間係数の一覧を表-1に示す。

(3) 算出結果

表-1より、平地歩行を基準とすると全体的に階段上りの負担が最も大きな値を示した。一方、階段の下りは平地歩行と同程度かそれ以下であった。ただし、高齢者特に女性の高齢者にとっては、階段下りは平地歩行より負担が大きくなる傾向がみられた。一方、ES、EV、静止は平地歩行の1/2～1/5程度以下となり、負担量が少ないことがわかった。また、坂道上りの勾配が5%から9%に上がることで、負担量は年齢によって1.03倍～1.56倍程度大きくなり、勾配による影響が見られた。しかし、坂道の下りでは勾配による変化はあまり見られなかった。

年齢×性別に等価時間係数を比較してみると、全体的に負担量が高かった階段上り、坂道上り (勾配9%) では男性・女性ともに60歳代以上が最も高い値になった。坂道下り、階段下りでも男性・女性どちらも60歳代以上が最も高い値になった。

3. 心理的負担量の調査

表-2 アンケートの質問形式の例（坂道勾配 5%）

【例】 平坦な歩道を 100m 歩いたとき、緩やかな上り坂を何 m くらい歩くのに相当しますか？該当するものに○をつけてください。また、どこにも該当しない場合は、（ ）に数字を入れてください

① 20m ② 40m ③ 60m
④ 80m ⑤ その他（ ）m

(1) 調査概要

人はどの程度歩行形態毎に負担を意識しているのかを把握するため、移動負担感に関するアンケート調査を実施した。このアンケートより得られたデータを心理的負担と定義した。

アンケートの内容は平坦な歩道を100m歩く負担感を基準とした場合に、その負担感に相当する「坂道上り・下り（勾配5%、15%）」、「階段上り・下り」、「ES」、「EV」の以上8通りの距離（坂道の場合）・段数（階段の場合）・時間（ES、EVの場合）を問いかけたものである。アンケートの質問形式の例を表-2に示す。前章の身体的負担量の実験同様に、アンケート調査により得られたデータから等価時間・距離係数を算出する。この等価時間・距離係数に関しては次項で述べる。

アンケートは平成16年10月から12月にかけて実施し、名古屋市内（千種区、昭和区、天白区、港区）で約3000部をポスティングにて配布・郵送回収した。有効回収サンプル数は333サンプル（有効回収率11%）であった。性別では、男性が 52.1%、女性が 47.9%であった。また年齢別では、20 歳代が 31.8%、30～50 歳代が 39.2%、60 歳代が 28.9%であった。

(2) 調査結果

a) 等価時間・距離係数

心理的負担における等価時間・距離係数は、身体的負担での等価時間係数と同義語である。なお、等価時間係数と等価距離係数の違いは、距離の尺度をもとに等価係数を求めるか、時間の尺度をもとに等価係数を求めるかの違いによる。以下では、EV、ESについては時間尺度を、その他については距離尺度を用いている。

b) 算出方法

アンケートより得られたデータから歩行形態別に平地歩行100mと等価な距離を横軸、累積確率（横軸の値以下のサンプル数／全サンプル数）を縦軸に表し、集計して得た累積確率が50%のときを等価な距離とした。例えば表-2に示したケースでは、図-1に示すような等価距離分布が得られた。

図-1によれば、性別による差よりも年齢差が大きいこ

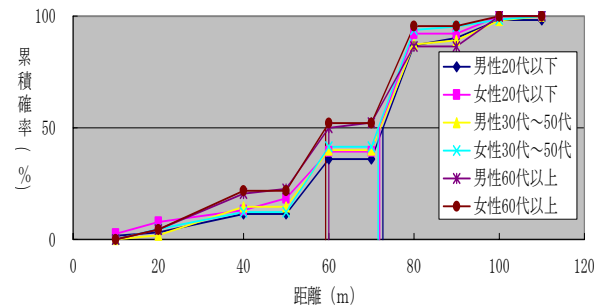


図-1 緩やかな上り坂の等価距離分布

とがわかる。また、男女ともに60歳代以上、30～50歳代、20歳代以上の順に年齢が高くなるほど等価距離が短くなる傾向が読み取れる。

次に歩行負担感を統一した係数として扱うために、距離・段数・時間といった異なる尺度の計測値を距離または時間に換算し、基準となる平地歩行 100m と比較することによって等価時間・距離係数を求めることにした。まず、階段の場合は、段数を距離に換算するために距離＝段数×歩幅（1 段を 1 歩と仮定）とし等価距離係数を求め、一方、ES、EV の場合は、平地歩行 100 mに要する時間を基準として時間＝距離/歩行速度として等価時間係数を算出した。この際の年齢別の歩幅・歩行速度は人間工学基準数値式便覧（P285）⁷⁾を参考にした。移動手段ごとの等価時間・距離係数の算定式を以下に示す。

・坂道の場合

坂道の等価距離係数＝

$$\frac{\text{基準とした平地距離 } 100\text{m}}{\text{平地距離 } 100\text{m} \text{ 歩く負担量に相当する坂道の距離}}$$

…式 (3)

・階段の場合

階段の等価距離係数＝

$$\frac{\text{基準とした平地距離 } 100\text{m}}{\text{平地距離 } 100\text{m} \text{ 歩く負担量に相当する階段の段数} \times \text{歩幅}}$$

…式 (4)

・ES、EVの場合

ES、EV の等価時間係数＝

$$\frac{\text{基準とした平地距離 } 100\text{m} \text{ にかかる歩行時間}}{\text{平地距離 } 100\text{m} \text{ 歩く負担量に相当する ES・EV の利用時間}}$$

…式 (5)

(3) 算出結果

表-3によれば、平地歩行を基準とすると階段上りの負担が最も大きいことは身体的負担と同様であるが、その心理的負担量はさらに大きくなることがわかった。一方、階段下りは上りと同程度の負担があり、階段下りが心理

表-3 心理的負担の等価時間・距離係数

個人属性 歩行形態		年齢×性別					
		男性			女性		
		20代以下	30～50代	60代以上	20代以下	30～50代	60代以上
等価距離 係数	平地歩行	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	坂道上り (勾配5%)	1.38	1.39	1.67	1.39	1.40	1.69
	坂道下り (勾配5%)	1.11	1.01	1.01	1.09	1.08	1.26
	坂道上り (勾配15%)	2.60	2.97	3.40	3.19	3.10	3.52
	坂道下り (勾配15%)	1.69	1.74	1.77	1.42	1.79	1.84
	階段上り	3.52	3.57	4.62	4.21	4.64	5.60
	階段下り	3.45	3.33	4.43	4.17	4.56	5.49
等価時間 係数	エレベーター	1.09	1.07	1.30	1.68	1.10	1.51
	エスカレーター	1.00	1.13	1.12	1.72	0.99	1.23

表-4 坂道 60 mを基準としたときの
平地歩行の等価距離係数

個人属性		基準	緩やかな上り坂	緩やかな下り坂	急な上り坂	急な下り坂
		全体	0.7	0.8	0.5	0.6
年 齢	20代以下	0.7	0.7	0.8	0.5	0.7
	30～40代	0.7	0.7	0.8	0.5	0.6
	60代以上	0.7	0.7	0.8	0.5	0.6
性 別	男 性	0.7	0.7	0.8	0.5	0.6
	女 性	0.6	0.6	0.8	0.5	0.7
年 齢 × 性 別	20代以下 (男性)	0.7	0.7	0.8	0.5	0.7
	30～40代 (男性)	0.7	0.7	0.8	0.5	0.7
	60代以上 (男性)	0.7	0.7	0.8	0.5	0.6
	20代以下 (女性)	0.7	0.7	0.8	0.5	0.7
	30～40代 (女性)	0.7	0.7	0.8	0.5	0.7
	60代以上 (女性)	0.7	0.7	0.8	0.5	0.6

表-5 表-3 より換算した平地歩行の
等価距離係数

個人属性		基準	緩やかな上り坂	緩やかな下り坂	急な上り坂	急な下り坂
		全体	0.7	0.9	0.3	0.6
年 齢	20代以下	0.7	0.7	0.9	0.4	0.7
	30～40代	0.7	0.7	1.0	0.3	0.6
	60代以上	0.6	0.6	0.9	0.3	0.6
性 別	男 性	0.7	0.7	1.0	0.3	0.6
	女 性	0.7	0.7	0.9	0.3	0.6
年 齢 × 性 別	20代以下 (男性)	0.7	0.7	0.9	0.4	0.6
	30～40代 (男性)	0.7	0.7	1.0	0.3	0.6
	60代以上 (男性)	0.6	0.6	1.0	0.3	0.6
	20代以下 (女性)	0.7	0.7	0.9	0.3	0.7
	30～40代 (女性)	0.7	0.7	0.9	0.3	0.6
	60代以上 (女性)	0.6	0.6	0.8	0.3	0.5

的には大きな負担となることがわかった。また、坂道での移動は勾配が急になると、上り・下りどちらも負担が大きくなった。一方、ES、EVの心理的負担感は平地歩行に比べ大きくなることがわかった。

年齢×性別に負担感を比較していくと、全体的に60歳代以上の特に女性の負担が大きいことがわかった。ES、EVによる移動では20歳代以下の女性の負担が最も高くなる傾向が見られた。これはパーソナルスペースが狭くなることによる影響と推察される。

(4) 等価時間・距離係数値の信頼性の検討

以上の研究では平坦な歩道 100 mを歩くときの負担感を基準に、他の移動手段の負担感を求める際の等価時間・距離係数を求めた。そこで、基準の取り方を変えた

ときにどの程度等価係数に影響を与えるかを検討することによって、本研究で求めた等価時間・距離係数がどの程度信頼性、安定性があるかを検証する。アンケート調査では、基準を様々に変更した場合についても同様に回答してもらっている。一例として、坂道を 60m の坂道歩行を基準としたときの結果を以下に示す。

アンケートにより坂道（緩急別・上下別）を 60m 歩いたときの負担感が平坦な歩道を何 m 歩くときの負担感に相当するかを質問した結果から得られた等価距離係数を表-4 に示す。比較のため、前掲の表-3 において坂道を基準としたときの負担感を平坦な歩道を歩くときの負担感に換算した等価距離係数を表-5 に示す。

表-4 と表-5 を比較すると、灰色のマスの部分は等価距離係数が一致したところであり、その他の部分でも多

少の差がみられるが、ほぼ同じような傾向を示しており、基準の取り方による差異はそれほど大きくはない。

(5) 過去の類似研究例との比較

すでに明らかにしたように、過去に類似の研究例がある。それぞれに分析方法も異なり単純に比較はできないが、おおよその比較検討に値すると思われる。消費エネルギー量からみた身体的負担量については、本研究結果では平地歩行を1としたときの階段上りの等価時間係数は男性で1.76~2.19、女性で1.91~2.49（表-1参照）であるのに対し、北川の研究では³⁾、平均で3.00としている。一方階段下りでは、本研究結果では男性で0.79~1.01、女性で0.83~1.23であるのに対し、北川は平均で1.25としている。北川の数値は性別、年齢に関係なく平均値として既往研究のRMR値を採用しているので、直接比較できないが、本研究で得られた数値はやや大きい結果となった。この差は基本的にはエネルギー消費量の測定方法の違いとサンプル数の違いによるものと考えられる。本研究としてはサンプル数をさらに増やすことにより信頼性を高めることが今後の課題である。一方アンケートに基づく心理的負担量についてみると、本研究結果では（表-3参照）EVの等価時間係数が男性で1.07~1.30、女性で1.10~1.68であったのに対し、飯田ら²⁾の研究では、平均して1.56としている。一方、ESについては、本研究結果では上り下り区別せず男性で1.00~1.13、女性で0.99~1.72であったのに対し、諸田ら⁵⁾の研究では、ES上りで1.0~1.3、ES下りで0.6~0.9としている。心理的負担量の測定は、過去の研究例を含めいずれもアンケート調査に基づいているので、質問の仕方に強く依存することになるので、設問方法をさらに工夫する必要があると思われる。

4. 鉄道駅構内の乗換え評価

(1) 乗換え評価概要

実際乗換え時の移動負担量を把握するため、今回は名古屋駅の JR 中央改札口と地下鉄東山線中改札口までの 2 経路（図-2）における上り・下りの計 4 パターンで評価を行うことにした。各ルートの形態は、ルート 1 は平地距離 182.9m、階段 31 段である。ルート 2 は平地距離 287.1m、階段 2 段、坂道距離 18.5m（勾配 3%）、EV 待ち時間 20.0 秒、EV 移動時間 70.0 秒であった。

(2) 乗換え評価方法

今回、評価を行った2経路は複数の歩行形態が存在するが、先に求めた身体的負担量、心理的負担量を用いて乗換えルートをすべて平地歩行距離に換算すれば、歩行負担量を単一尺度で比較できる。なお、ここでは身体的

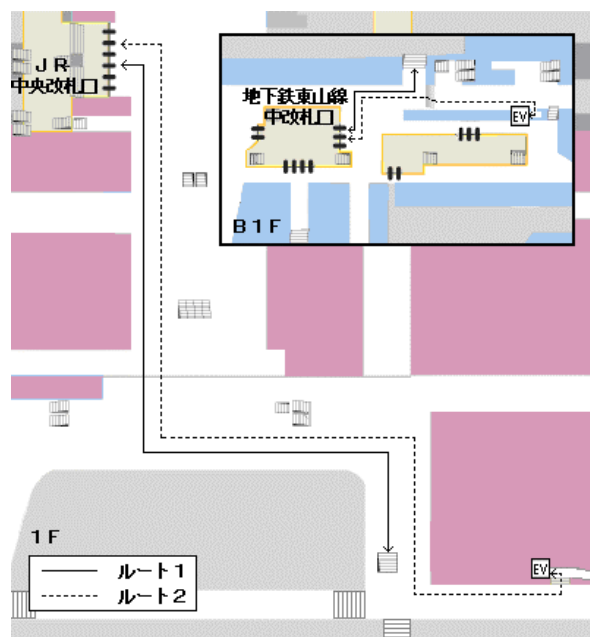


図-2 名古屋駅における乗換えルート歩行実験

負担量、心理的負担量ともに、各ルートの合計負担量はルートを構成する歩行形態別の負担量の和として表されることを前提としている。これはすべての歩行形態別の負担量が平地歩行負担量に換算できること、また平地歩行負担量が歩行時間（または距離）と線形比例の関係にあることを意味している。したがって負担の蓄積によって疲労が生じ、歩行速度が経路途中で変化したり、心理的負担が加速的に変化する状況を想定していない。あくまでも身体的および心理的負担量と歩行時間（あるいは距離）が線形比例の関係にある範囲で適用できると考えている。

総歩行距離負担量の算出方法を以下に示す。

a) 身体的負担量の平地歩行距離への換算

$$\text{身体的換算距離 } L = \sum L_n = \sum (T_n \times C_n \times V) \cdots \text{式 (6)}$$

・平地の場合

$$\text{平地歩行距離 } L_1 (\text{m}) = \text{平地の歩行距離}(\text{m})$$

・階段の場合

$$\text{階段の移動時間 } T_2 (\text{s}) = \frac{\text{段数 (段)}}{\text{1段当たりの速度 (段/s)}}$$

$$\text{平地歩行換算距離 } L_2 (\text{m}) = \text{階段の移動時間 } T_2 (\text{s}) \times \text{階段の等価時間係数 } C_2 \times \text{平地歩行の速度 } V (\text{m/s})$$

・坂道の場合

$$\text{坂道の移動時間 } T_3 (\text{s}) = \frac{\text{坂道の距離 (m)}}{\text{坂道の速度 (m/s)}}$$

$$\text{平地歩行換算距離 } L_3 (\text{m}) = \text{坂道の移動時間 } T_3 (\text{s}) \times \text{坂道の等価時間係数 } C_3 \times \text{平地歩行の速度 } V (\text{m/s})$$

・ES、EVの場合

$$\text{平地歩行換算距離 } L_4 (\text{m}) = \text{ES・EVの移動時間 } T_4 (\text{s}) \times \text{ES・EV等価時間係数 } C_4 \times \text{平地歩行の速度 } V (\text{m/s})$$

なお、身体的負担量の平地歩行距離への換算に用いる等価時間係数は表-1を用いる。

表-6 乗換えルート別平地歩行換算距離 (単位：m)

			年齢×性別					
			男性			女性		
			20代以下	30～50代	60代以上	20代以下	30～50代	60代以上
上り	身体的負担量	ルート1	351.5	342.3	359.7	341.3	357.3	380.4
		ルート2	338.9	336.5	340.7	338.2	339.9	344.5
	心理的負担量	ルート1	260.0	261.0	268.0	266.0	267.3	271.4
		ルート2	436.6	450.4	415.8	505.7	416.0	420.0
下り	身体的負担量	ルート1	247.7	247.4	253.6	249.3	248.1	264.0
		ルート2	356.5	351.1	352.6	352.4	355.1	359.7
	心理的負担量	ルート1	260.0	261.0	268.0	266.0	267.3	271.4
		ルート2	436.6	450.4	415.8	505.7	416.0	420.0

b) 心理的負担量の平地歩行距離への換算

$$\text{心理的換算距離 } L' = \sum L'_n \quad \dots \text{式 (7)}$$

・平地の場合

$$\text{平地歩行換算距離 } L'_1 \text{ (m)} = \text{平地の歩行距離 (m)}$$

・階段の場合

$$\text{階段の移動距離 } D_2 \text{ (m)} = \text{段数(段)} \times \text{歩幅 (m)}$$

$$\text{平地歩行換算距離 } L'_2 \text{ (m)} = \text{階段の移動距離 } D_2 \text{ (s)} \times \text{階段の等価距離係数 } C'_2$$

・坂道の場合

$$\text{平地歩行換算距離 } L'_3 \text{ (m)} = \text{坂道の移動距離 } D_3 \text{ (s)} \times \text{坂道の等価距離係数 } C'_3$$

・ES・EVの場合

$$\text{平地歩行換算距離 } L'_4 \text{ (m)} = \text{ES・EVの移動時間 } T'_4 \text{ (s)} \times \text{ES・EV等価時間係数 } C'_4 \times \text{平地歩行の速度 } V \text{ (m/s)}$$

なお、心理的負担量の平地歩行距離への換算に用いる等価時間・距離係数は表-3を用いる。

以上の方法で、身体的、心理的における様々な歩行形態を平地歩行距離に換算した結果を表-6に示す。

(3) 評価結果

図-3は一例としてルート1の上り（地下鉄からJRへの乗換え）における3名の被験者のICCによる消費エネルギー量の測定結果の一例を示したものである。横軸座標17～37秒付近でエネルギー消費量が増加しているのは、この時間に被験者が階段を上っていることを示している。

表-6に示すように、身体的、心理的に乗換え時の負担量を平地歩行距離という分かりやすい指標で示すことができた。この結果、上りの経路の場合、ルート1では階段を上るため身体的負担の方が大きくなったが、ルート2では心理的負担の方が長くなった。これはEVまでの迂回距離が長かったためと思われる。また、下り（JRから地下鉄への乗換え）の経路の場合、ルート1、ルート2どちらも身体的負担より心理的負担の方が大きく、とくにルート2ではその差が顕著となった。これは上りのケースと同様に、EV利用による迂回距離が影響したもの

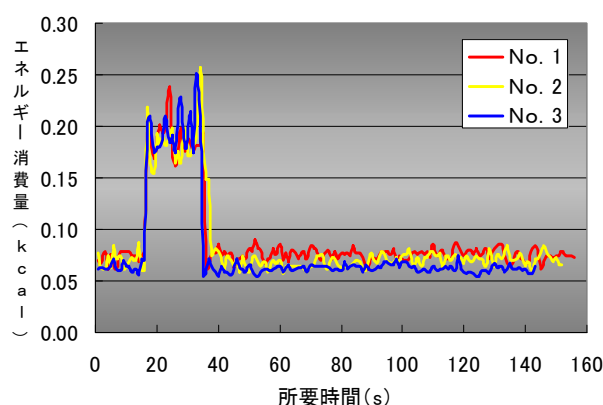


図-3 ルート1（上り）のエネルギー消費量

と思われる。

年齢×性別についてみると、階段を含むルート1は身体的負担、心理的負担ともに、60歳以上の高齢者で大きくなる。とくに階段上りの場合に著しい。一方、EV利用のルート2では、身体的負担、心理的負担ともに、年齢差による差は縮まり、とくに心理的負担においては、むしろ高齢者の方が、若年者より負担が小さくなっている。

5. おわりに

本研究は歩行形態ごとの身体的・心理的負担の度合いを定量化する方法について検討した。そのため、身体的・心理的それぞれにおける等価時間・距離係数を算出した。これより、階段上りの負担が身体的・心理的のどちらの負担についても最も大きな値を示した。階段下りは身体的負担では平地歩行と同程度であったが、心理的負担では3倍以上負担があり、アンケート調査を行った歩行形態の中で2番目に大きな負担があること示した。坂道での移動は身体的負担では、緩急どちらの勾配でも上りの方が負担は大きいという勾配変化よりも上下方向の移動変化が負担に影響を与えているが、心理的負担では上下方向の移動変化より勾配変化によって負担に影響

を与えるという逆の結果になった。ES, EVの身体的負担は平地歩行に比べてかなり小さくなるが、心理的負担は平地歩行に比べてやや大きくなった。ES, EVの負担を属性別に比較すると身体的負担では大きな違いは見られなかったが、心理的負担では違いが見られた。特に20代以下の女性が最も負担が大きい結果となった。これは、20代以下の女性がパーソナルスペースの減少に最も敏感であると考えられる。

以上のように、様々な歩行形態の身体的および心理的負担量を統一尺度である平地歩行距離に換算することにより、種々のバリアフリー施策の評価を身体的および心理的負担の両面から定量的に明らかにできる。しかも身体的負担の等価時間係数（表-1 参照）および身体的負担の等価時間・距離係数（表-3 参照）が性別・年齢階層別に与えられているので、個人属性別に効果を計測できることになる。また個別のバリアフリー施策の評価に留まらず、経路に沿った負担量が計測できるので、身体的および心理的負担量を説明変数にとった経路選択モデルの構築が可能となり、バリアフリー施策を利用経路変更効果を含めたより広域的観点から評価できることが期待できる。また個別施設の評価とは異なり、たとえば EV や ES の設置位置についても評価できるようになる。

今後の課題としては、被験者が少なかった 30 歳代～50 歳代の測定サンプルを増やし、心理的等価時間・距離係数の信頼性を向上させること、今回は明示的に扱ってこなかった混雑による負担量の増加影響を計量化する課題も残されている。また本研究で提案した身体的および心理的負担量を説明変数とする経路選択モデルの構築も今後の課題である。

参考文献

- 1) 運輸経済研究センター:スムーズに乗り継げる公共交通, 1979
- 2) 飯田克弘 ほか: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・講演集, No.19(2), pp.705-708, 1996
- 3) 北川博巳:高齢者を考慮した駅ターミナルの移動負担量に関する研究, 第20回交通工学研究発表会論文報告集, pp.121-124, 2000
- 4) 塚口博司 ほか:歩行時の身体エネルギー消費からみた歩行者支援システムの評価分析, 交通工学, vol.38, No.3, 2003
- 5) 諸口恵士ほか:一般化時間による交通結節点の評価手法に関する研究, 第25回交通工学研究発表会論文報告集, pp.145-148, 2005
- 6) 東北大学とベンチャー企業(株)アイ・ティ・リサーチの共同開発によるもので、気圧センサーを用いた上下方向移動距離推定、加速度センサーを用いた行動判別により、3次元空間内の行動を計測する携帯型装置、この計測装置の精度に付いては、張 秀俊ほか:携帯型計測 Intelligent Calorie Counterによる身体活動エネルギー消費量評価の妥当性, 第60回日本体力医学会大会, 2005を参照 詳細については <http://www.itresearch-itr.com> 参照
- 7) 佐藤彦彦 ほか:人間工学基準数値数式便覧, pp.285 技報堂, 1992

歩行形態別身体的及び心理的負担量の計測に関する研究*

田中克**・松井寛***・藤井貴浩****

本研究では、身体的負担と心理的負担の両面から一般的な歩行経路の移動負担量を計測する方法を提案し、今後のバリアフリー施策の評価に活用することを目的に研究を行った。すなわち、アンケート調査に基づく心理的移動負担量と消費エネルギー量の測定に基づく身体的移動負担量の両者を、個人属性別（性別、年齢階層別）、移動手段別に計測し、これを換算係数を用いることによって、任意の歩行経路の心理的、身体的移動負担量を統一尺度で計測できることが特徴となっている。また各種のバリアフリーの施策評価にも適用できるように工夫している。

Measurement of physical and psychological burdens by pedestrian mode type*

By Masaru TANAKA**・Hiroshi MATSUI***・Takahiro FUJII****

In this paper, we propose the measurement methods of movement burdens by pedestrian mode type from both physical and psychological point of view. We also show that these measurement methods can be well applied to the quantitative evaluation of various barrier-free devices for pedestrians through an example of a railway terminal.
