

# 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\*

## Research on measurement of physical and psychological burden by walking 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、ある出発点と到着点との間の経路全体をバリアフリーの観点から評価する方法はいまだ未開発の分野である。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<sup>1)</sup>では水平歩行距離1mを単位エネルギー消費量として、他の移動手段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。飯田ら<sup>2)</sup>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移動手段の個人属性別に等価時間係数を算出している。北川<sup>3)</sup>は体力負担を考慮した乗り換え抵抗をRMR(エネルギー代謝率)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。塚口らは<sup>4)</sup>エネルギー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、各移動手段ごとの身体エネルギー量を算定している。

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もとづく身体的移動負担量の両者を計測し、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。また負

\*キーワード: 歩行者交通行動, 歩行者・自転車交通計画

\*\*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

担量の計測は、個人属性別(性別、年齢階層別)、移動手段別に行い、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、身体的移動負担量が計測できることが特徴となっている。駅ターミナルに限らず任意の歩行経路において歩行負担量を計測することによって、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。

### 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ためエネルギー消費量に着目し、移動負担量の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代から70代までの男性・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・リサーチ製の加速度センサーと気圧センサーを組み合わせた携帯型の歩行形態判別装置(ICC: Intelligent Calorie Counter)を用いて測定した。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4%・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。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の項で述べる。

#### (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時間的に大きな負担があり、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データである歩行形態別のエネルギー消費量(y)を目的変数とし、所要時間(x)を説明変数とした単回帰分析を行う。

$$y = ax \quad \dots \text{式(1)}$$

表-1 身体的負担の等価時間係数

個人属性 移動形態	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
坂道入り(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
坂道入り(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

平地歩行の速度を平地歩行の距離で割ることで平地距離毎の所要時間を算出する。この所要時間を式(1)に代入することで、平地歩行距離(z)とエネルギー消費量(y)の関係式を導き出される。

$$y = bz \quad \dots \text{式(2)}$$

式(1)と式(2)の2式のエネルギー消費量が等しいとすると、それぞれの式から平地をある距離歩いたときの負担量に相当する平地以外の歩行形態の負担量が求まる。そして、平地以外の歩行形態の負担量が求まることで、その負担量に相当する所要時間が求まる。さらに、平地をある距離歩いたときの所要時間を平地歩行に換算した平地以外の移動形態の所要時間で割ることで等価時間係数が算出される(表-1)。

### (3) 算出結果

表-1より、平地歩行を基準とすると階段上りの負担が最も大きい。階段下りは平地歩行と同程度であることがわかった。坂道入りでは勾配が上がるにつれて負担は大きくなるが、坂道下りでは勾配の変化による負担の変化は見られなかった。ES, EVは平地歩行の1/2以下の負担であることがわかった。

年齢×性別に負担量を比較していくと、全体的に負担量が高かった階段上り、坂道入り(勾配9%)では男性・女性ともに60代以上が最も負担量が高い値になった。坂道下り、階段下りでは男性・女性どちらも60代以上が最も負担が高い値になった。特に、60代以上の階段下りでは平地歩行よりも負担が大きいという結果が出た。

## 3. 心理的負担量の調査

### (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

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。			
20m	40m	60m	
80m	その他( )m		

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「坂道入り・下り(勾配5%, 15%)」、「階段上り・下り」、「エスカレーター(ES)」、「エレベーター(EV)」の以上8通りの距離・段数・時間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。そして、前章の身体的負担の実験同様に、心理的な調査により得られたデータを等価時間・距離係数を算出し、評価を行う。この等価時間・距離係数に関しては次の項で述べる。

### (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時間を時間で割って求めた係数か、距離を距離で割って求めた係数の違いである。

#### 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の平地歩行100mに相当する値を横軸、累加選択率(横軸の値以下の総サンプル数/全サンプル数)を縦軸に表し、集計して得た選択率が50%のときを等価距離とした。

表-3 心理的負担の等価時間・距離係数

個人属性 移動形態		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
係時等数関係	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

また、歩行負担感を係数として扱うために距離・歩数・時間といった位置づけを行い、基準となる平地歩行100mと比較することによって換算することとした。そこで、階段を距離と距離で比較するために距離=段数×歩幅（1段を1歩の歩幅と仮定）とし、ES、EVを距離=歩行速度×時間という位置づけにより等価時間・等価距離係数（表-3）を算出した。この際の歩幅・歩行速度は人間工学基準数値式便覧（P285）<sup>5)</sup>を参考にした。

### (3) 算出結果

表-3より、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、その負担量はさらに大きくなるのがわかった。階段下りは上りと同程度の負担があり、歩行形態の中で2番目に大きな負担があることがわかった。坂道での移動は勾配が上がることで、上り・下りどちらも負担が大きくなった。ES、EVは心理的負担では平地歩行よりも負担があることがわかった。

年齢×性別に負担感を比較していくと、全体的に60代以上の女性は負担が大きいことがわかった。ES、EVによる移動では20代以下の女性の負担が最も高くなる傾向が見られた。

## 4. 鉄道駅構内の乗換え評価

### (1) 乗換え評価概要

実際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ルート（図-1）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182m、階段31段である。ルート2は平地距離287m、階段2段、坂道距離18m（勾配3%）、EV待ち時間20秒、EV移動時間70秒であった。

### (2) 乗換え評価方法

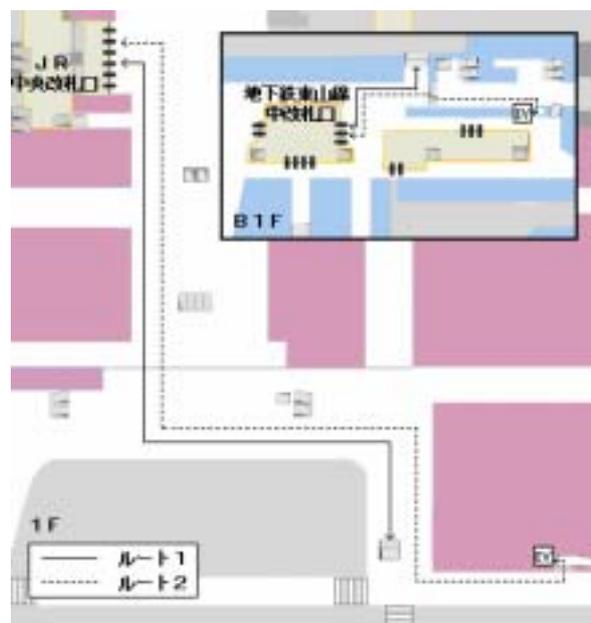


図-1 駅ターミナルにおける調査ルート

今回、評価を行った2ルート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各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。歩行形態毎の平地歩行距離への換算方法は以下に示す。

#### a) 身体的負担からの平地歩行距離への換算方法

##### ・坂道の場合

$$\frac{\text{坂道の距離}(m) \times \text{等価時間係数} \times \text{平地歩行の速度}(m/s)}{\text{坂道の速度}(m/s)}$$

##### ・階段の場合

$$\frac{\text{階段の段数}(段) \times \text{等価時間係数} \times \text{平地歩行の速度}(m/s)}{\text{階段1段あたりの速度}(段/s)}$$

##### ・EVの場合

$$EV\text{の移動時間}(s) \times \text{等価時間係数} \times \text{平地歩行速度}(m/s)$$

#### b) 心理的負担からの平地歩行距離への換算方法

##### ・坂道の場合

$$\text{坂道の距離}(m) \times \text{等価距離係数}$$

表-4 乗換え距離の換算結果

(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	342.0	339.1	343.5	341.2	342.5	347.5
	心理的負担量	ルート1	292.1	293.6	326.1	313.4	326.6	356.5
		ルート2	450.6	465.9	429.5	527.4	429.7	435.4
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	356.0	350.6	352.0	351.8	354.5	359.2
	心理的負担量	ルート1	258.5	255.8	264.5	265.4	265.9	269.7
		ルート2	441.6	457.8	428.2	511.3	421.9	428.0

## ・階段の場合

$$\text{階段の段数(段)} \times \text{等価距離係数} \times \text{歩幅}(m)$$

なお、歩幅は人間工学基準数値式便覧 (P285)<sup>5)</sup>を参考にした。

## ・EVの場合

$$EV\text{の移動時間}(s) \times \text{等価時間係数} \times \text{平地歩行速度}(m/s)$$

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(表-4)。

## (3) 評価結果

身体的、肉体的に乗換え時の負担量を換算平地歩行距離という分かりやすい指標を示すことができた。この結果、上りのルートの場合、身体的負担ではルート1の方がルート2に比べて大きくなったが、心理的負担では逆にルート2の方が大きくなった。また、下りのルートの場合、身体的負担も心理的負担も上りに比べて全般的に小さくなるがルート2の身体的負担だけは上りに比べて増加した。これは、ルート2の方が平地距離が長いことと、EV待ち時間が影響したと考えられる。

## 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、身体的・心理的それぞれについての等価時間(距離)係数を算出した。

本研究により得られた主な結果は次のとおりである。

すべての属性で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った

坂道は身体的負担では、勾配の程度より上り・下りの移動方向の違いが負担に影響を与えているが、心理的負担では上り・下りの移動方向の違いより勾配の程度が負担に影響を与える結果になった

ES, EVによる移動は身体的・心理的のどちらの負担でもあまり影響を与えなかった。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ことによるものと推測される。等価時間(距離)係数を算出することで、すべての歩行形態を平地歩行距離に換算し、わかりやすい指標を示すことができた

歩行負担量が少ないES・EVがどの場所に設置されれば、身体的・心理的の面から乗換え時の利便性が向上するかが分かる

個人属性によって、どの乗換え経路で歩行すれば負担が軽いのかを把握することもできる

今後の課題は被験者が少なかった属性を追加測定し、実験結果の精度を向上させることである。また、駅ターミナルなどの旅客施設におけるバリアフリー化を評価し、より円滑な歩行及び移動負担量を軽減するための施策を具体的に検討していくことである。

## 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) 飯田克彦 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・公演集, 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) 佐藤方彦 ほか: 人間工学基準数値式便覧, pp.285 技報堂, 1992