

車いす走行におけるバリアフリー度の評価方法に関する研究^{*1}

Evaluation Method of Pedestrian Area Accessibility for Wheelchairs

木村 一裕^{*2} 清水浩志郎^{*3} 伊藤誉志広^{*4}・呉 聲欣^{*5}

Kazuhiro KIMURA^{*2}, Koshiro SHIMIZU^{*3}, Yoshihiro ITO^{*4} and Seikin GO^{*5}

1. はじめに

車いすの走行環境に関して、縦断勾配や横断勾配など、個々の交通抵抗に対する挙動特性や限界能力などが示されてきた。しかし実際の歩行空間では、それらの交通抵抗が一連となってルートを形成しており、走行時全体としての総合的な評価が必要と考えられる。そこで本研究では、歩行空間を形成している交通負担要因の負担ウェイトを計測し、これによって車いす走行における出発地から目的地までの任意の区間の交通負担度、すなわちバリアフリー度を検討することを目的としている。

車いす走行における個々の交通抵抗に着目した既往研究としては、多くの研究がある。例えば横山ら¹⁾の研究では縦断勾配の上限値と限界長について、被験者の回避行動（曲線走行）が円滑に行われるか否かに着目したものである。また段差についても多くの研究例があり、これらの成果から、視覚障害者が車道と歩道との境界を認知できる高さとして2cmという値が定められている。段差について、出発地から目的地までの一連の交通に関する交通抵抗に関する研究としては、安江²⁾らは、交通機関、商業施設、公園などを利用して移動した場合の評価を行っている。しかしながら評価方法は5段階評価とヒアリングを用いたものであって、十分に計量化しているとは言えない。そこで本研究では、階層化意思決定法（AHP）を用いて車いすにおける交通抵抗の評価を利用者の視点から行った。

なお、出発地から目的地までという「連続性」に

着目した既往研究としては、鉄道分野において飯田ら³⁾が行った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がある。

本研究は、これまで取りあげられることの少なかった「連続性」に着目し、ルートとしてのバリアフリー度の評価方法について考察を行った。

2. 研究の方法

(1) 研究の概要

本研究のフローチャートを図-1に示している。本研究では、個別負担度実験（実験A）とルート走行実験（実験B）を行い、実験Aにより求められた各ルートの負担度の順位が実験Bで評価された負担度と一致するかどうかについて検討を行った。

個別負担度実験では、縦断勾配や横断勾配、信号のない区間の横断、非歩道部の通行などについて、要因間のウェイト、各要因における水準間のウェイトの計測を行った。これにより任意区間の交通負担度は、そのルート交通状況、物理特性により推定されることになる。

さらに実験Aで得られた交通抵抗要因負担ウェイトの妥当性を検討するために、ルート走行実験（実験B）を行い、各ルート走行しにくさを3, 2, 1の順に評点してもらった。以上により実験Aにより構築された交通負担度モデルから推定された各ルートの負担度と、実際のルート走行による走行しにくさの評点とを、個人ごとに比較しモデルの適合性を検討した。このような指標を用いることによって、車いす走行の出発地から目的地までの一連の移動における任意区間の交通負担度（バリアフリー度）を計測することができると考えられる。

(2) 車いす走行における交通負担要因

本研究では、車いす走行におけるバリアフリー度の評価を行うために、車いす走行における交通負担

*1 キーワード：車いす，バリアフリー，歩行空間

*2 正員，博（工），秋田大学工学資源学部土木環境工学科

（秋田市手形学園町1-1，TEL 018-889-2359，FAX 018-837-0407）

*3 正員，工博，秋田大学工学資源学部土木環境工学科

*4 正員，東邦技術㈱（大曲市丸子町2-13，TEL 0187-62-3511）

*5 正員，㈱タナックス（小坂町小坂五十刈5-3 TEL 0186-29-2311）

要因を表-1のように設定した。身体的要因には表中にその値域を示している。

取り上げた要因は縦断勾配、横断勾配、段差などの身体的要因と、横断歩道の有無や信号の有無などの心理的要因である。縦断勾配は車いす操作において疲労を増大させる要因である。また横断勾配は、車いすの直進走行を保つ上で、同じく疲労要因となっている。また車道と歩道との段差などは、疲労要因、施設へのアクセス抵抗となる。

心理的な影響要因として取り上げたものとしては、信号のない区間を横断することは、横断中の自動車等からの安全を、車いす利用者自らが視覚によってのみ判断しなければならない状況であるばかりでなく、自動車運転者から、自分が視認されているかどうかによる不安を抱く状況といえる。同じく歩道のない区間の走行も、前方あるいは後方からの自動車との衝突という恐怖感があると思われる。なお道路横断や、歩道のない区間の走行などの心理的な要因については、片側1車線（往復2車線）の道路を想定し、また実験して評価してもらった。また信号のない道路での横断や、歩道のない道路で背面からの自動車交通の仲での車いす走行は、交通量の多少が影響するものと考えられるが、横断勾配や縦断勾配と異なり、交通量の多い少ないを共通のイメージで提示することが難しいこと、そして、たとえ交通量が少なくても、いつ自動車がくるかわからないという車いす利用者が受ける心理的な負担は、相当大きいものと考えられることから、敢えて設定していない。

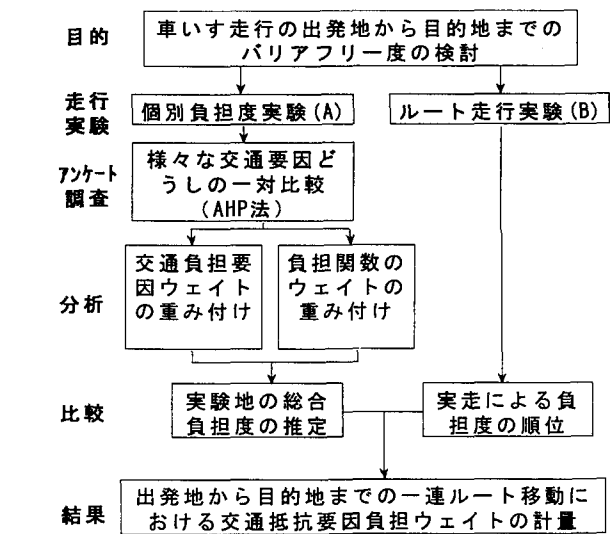


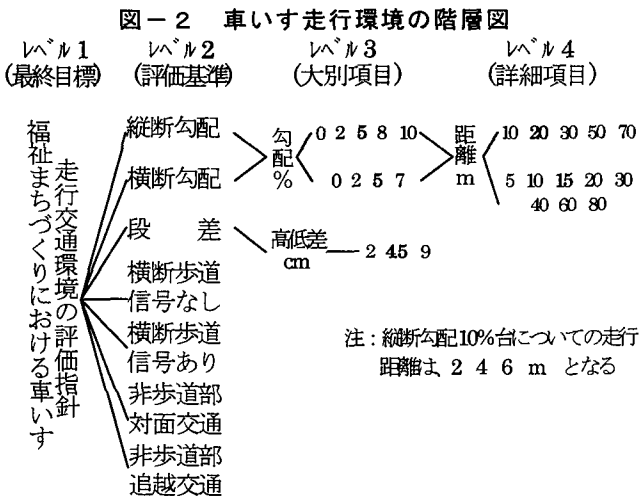
図-1 交通負担要因の階層図

表-1 車いす走行における交通負担要因

	負担要因	記号	選択した根拠
身体的要因	縦断勾配	J	平坦地の走行に比べて車いすの自重が登坂時に作用し疲労の原因となる。 値域: 0~10%, 0~70m
	横断勾配	O	直進走行するためには片腕が過度疲労となる 値域: 0~7%, 0~80m
	段差	D	車いすを一旦停止させ、瞬間的に腕力、操作能力を発揮する必要がある。 値域: 0~9cm
心理的要因	道路横断信号なし	SN	自分自身で安全確認を行いつつ迅速に道路を横断しなければならない。
	道路横断信号あり	SA	信号で自動車が正しく停止し車いすの通行を優先してくれるか不安に感じる。
	非歩道部対面交通	HT	歩道のない所で目線の低い車いすは迫ってくる自動車に対し圧迫感を受ける。
	非歩道部追越交通	HO	歩道のない所で後方からの自動車は、車いすを発見して回避してくれるか不安がある

各交通負担要因のウェイトを定量化するために階層分析法（AHP法）を用いて算出した。評価方法としては、被験者に車いす走行をしてもらい、その後一対比較におけるヒアリング調査を実施した。AHPにおける階層図を図-2に示している。レベル2の評価基準においては各交通負担要因を比較してもらっている。段差については、レベル3において各水準値間の一対比較を行った。また縦断勾配ならびに横断勾配については、レベル3で水準値間の比較を行うとともに、レベル4において走行距離の影響についても相対ウェイトとして算出している。

なお本研究では、周囲になにもない水平面を車いすが走行するときを基準(1.0)として、さまざまな状況の負担度を計測している。したがって横断勾配、縦断勾配は0%を、勾配区間の延長は設定した水準の最小値を1.0とおいて分析している。



(3) 車いす走行における交通負担度モデル

このような交通負担要因からなる総合負担度を算出するために、以下の推定式を設定した。

$$R = \sum_{i=1}^m R_i = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} w_i f_i(x_j^k) \quad \dots (1)$$

ここで、 R ：総合負担度
 m ：負担要因の数（ $m = 7$ ）
 n_i ：ルート上にある i 要因の負担数
 i ：負担要因
 j ：各負担要因の要素
 w_i ：負担要因 i に占める相対的負担ウェイト
 $f_i(x_j^k)$ ： i 要因の j 要素が k のときの負担ウェイト

(4) 走行実験の概要

本研究では歩行空間の環境整備という観点から、車いすを使用して間もない利用者を想定している。そこで、表－2に示すように、20代男子学生23名の被験者により、車いす走行における個別負担度実験（実験A）を行った。その内の15名がルート走行実験（実験B）を行った。被験者が学生の健常者であることについては、横山ら¹⁾の研究においては、通常の車いす利用者と同程度の運動能力を有していることが示されている。

表－2 実験概要

実験	個別負担度実験	ルート走行実験
被験者	男子学生23名	男子学生15名
実験場所	秋田市内	秋田市中心部
調査時期	97年12月と98年11～12月	97年9～12月
調査時間	平日9：30～16：00	平日10：00～16：00

実験Aは設定した交通状況や縦断勾配、横断勾配の水準値のある場所に移動して2～3回の走行後に評価してもらった。実験にあたっては、次の回の走行や他の実験に疲労等が影響しないよう十分に時間をおいて実施した。また実験の状況としては、積雪なし、路面はほとんどの場合乾燥状態であった。



写真－1 道路横断（信号機なし）



写真－2 非歩道部の走行



写真－3 縦断勾配の連続する歩道

3. 交通負担要因のウェイト付け

実験Aにおいて個別負担度を計測するため、以下の一対比較を行った。

- ①階層図におけるレベル2評価基準の7項目各々の交通負担要因ウェイトの一対比較（ w_i の推定）
- ②縦断・横断勾配の勾配別、距離別で、段差の高低差別での負担ウェイトの一対比較（ $f_i(x_j^k)$ の推定）

(1) 整合度

交通負担要因の一対比較においては、一連の一対比較において首尾一貫性が保たれなければならない。そこで本研究では(2)式、(3)式に示す整合度（Consistency Index, $C.I.$ ）および整合比（Consistency Ratio, $C.R.$ ）を用いて、階層図のレベル2（評価基準）の一対比較おいての整合性について検討した。いずれの値も0.1（あるいは0.15）以下であれば整合性があると判断される。なおランダム整合度（ $R.I.$ ）は大きさが同じでランダムにつくった行列の整合度と比べた整合度のことである。

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad \dots (2)$$

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \quad \dots (3)$$

ここで、 $\lambda_{\max}$ ：最大固有値
 n ：固有値の数
 $R.I.$ ：ランダム整合度

これらの式を用いて、階層図のレベル2の一対比較において整合性を検討し、表－3にまとめている。ここで被験者1名（No. 23）だけが上限値の0.15を大きく超えた。その原因としては、横断歩道・信号なしなどの心理的要因の比較における回答がうまくできなかったという報告があった。

表-3 個人レベルの整合度

被 験 者	$\lambda_{\max}$	C.I.	R.I.
No. 01	7.63	0.106	0.080
No. 02	7.93	0.155	0.117
No. 03	7.87	0.145	0.110
No. 04	7.31	0.051	0.039
No. 05	7.88	0.147	0.111
No. 06	7.69	0.115	0.087
No. 07	7.61	0.101	0.077
No. 08	7.86	0.144	0.109
No. 09	7.72	0.119	0.090
No. 10	7.89	0.148	0.112
No. 11	7.73	0.121	0.092
No. 12	7.70	0.117	0.089
No. 13	7.90	0.149	0.113
No. 14	7.52	0.087	0.066
No. 15	7.58	0.097	0.074
No. 16	7.63	0.106	0.080
No. 17	7.73	0.121	0.092
No. 18	7.49	0.082	0.062
No. 19	7.73	0.121	0.092
No. 20	7.74	0.124	0.094
No. 21	7.79	0.132	0.100
No. 22	7.95	0.158	0.120
No. 23	10.34	0.557	0.422

(2) レベル2におけるウェイト値 (w_i)

個別場所実験における被験者22名によりレベル2の評価基準の対比較から求めた各交通負担要因の平均ウェイトを図-3に示している。この図から、横断歩道・信号なしが最も負担を感じる交通負担要因であり、次いで縦断勾配および非歩道部・追越交通となっている。これは、車いす利用者にとって物理的要因ばかりでなく、走行上に対する不安などの心理的要因も関係していることがうかがえる。

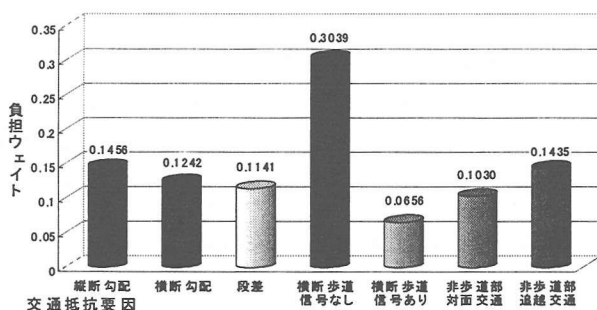


図-3 交通負担要因ウェイト (平均値)

被験者個人毎のウェイトを図-4に示している。22名について、最もウェイトの高い要因をみると、「横断歩道信号なし」が11名、「段差」が4名、「横断勾配」が3名、「縦断勾配」、「非歩道追越交通」はそれぞれ2名となっている。また被験者の負担ウェイトで最も変動の大きな要因は「段差」であった。その理由としては、車いすの前輪の持ち上げ方の巧緻の

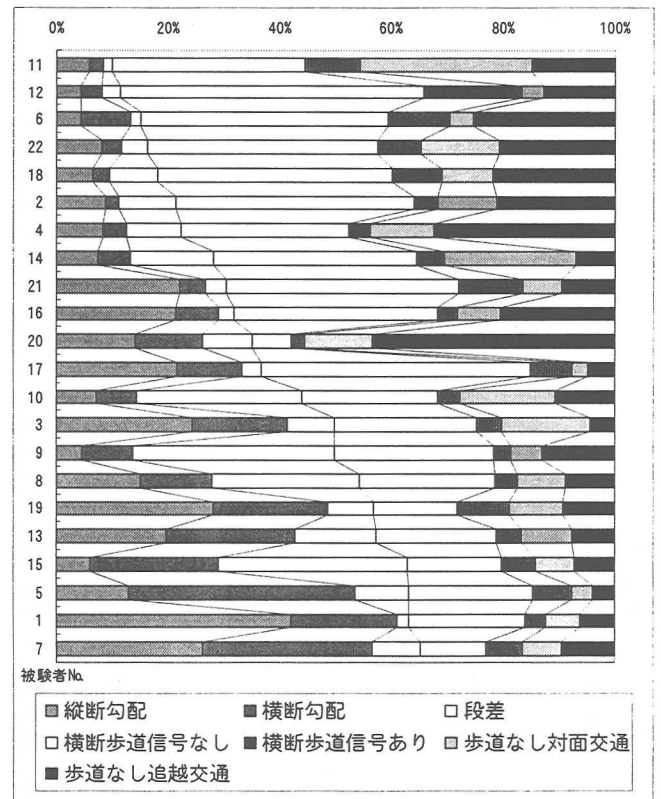


図-4 交通負担要因ウェイト (個人)

違いによって、上手いひととは全く負担を感じることがないのに対し、これが苦手なひとでは非常に負担を感じるためと思われる。

(2) レベル3、レベル4におけるウェイト関数

(a) 段差の負担度

段差の違いによる交通負担の影響について被験者22名の平均を図-5に示している。段差の負担度の評価方法としては、最小段差0cmを基準（負担度1.0）として、2cmの場合、4.5cmの場合、9cmの場合の相対比較により求めている。この図から、段差が4.5cm以降になるにつれて、相対的負担度は指数的に増加していることがわかる。

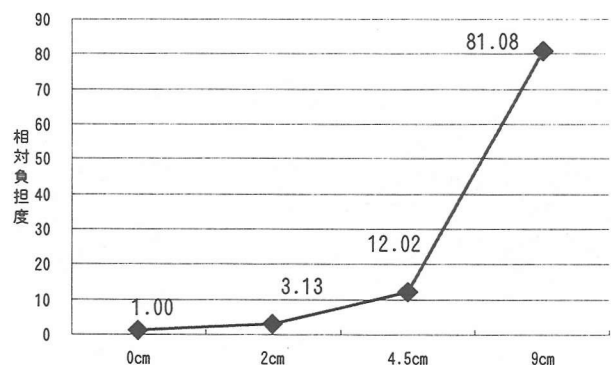


図-5 段差別相対負担度

(b) 縦断勾配、横断勾配の負担ウェイト

縦断勾配ならびに横断勾配の交通負担度は、その勾配値の大きさと、ある勾配を連続して走行する距離の長さによって決定されるものと思われる。

図-6には、走行距離一定(20m)における縦断勾配の相対的負担ウェイトを0%を基準(負担度1.0)として算出したものを示している。また図-7には走行距離の長さによる負担度の変化を各勾配値の10m走行を基準(ただし、縦断勾配10%の基準は2m)として算出したものを示している。この図より勾配が大きくなるにつれて、また走行区間が長くなるにつれて負担度が大きくなっていることがわかる。

同様に、図-8には横断勾配について、走行距離一定(15m)における勾配毎の負担ウェイトを、また図-9には、走行距離による長さによる負担ウェイトの変化を各勾配値の5m走行を基準として算出したものを示している。これらの図はいずれも22名の平均値を示したものであるが、縦断勾配と同様な特徴がみられ、勾配が大きくなるにつれて、また走行区間が長くなるにつれて負担度の伸びが大きくなってくることが読みとれる。とくに、勾配が2%より以降になると、負担度が急激に増加していることと、5%の30m以降および7%の15m以降のみ負担度が急激な変化がみられている。

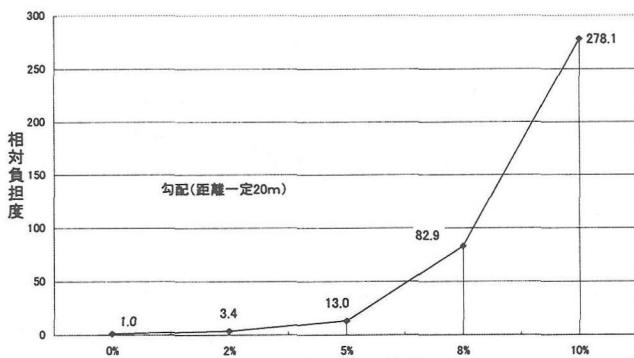


図-6 勾配別縦断勾配負担度

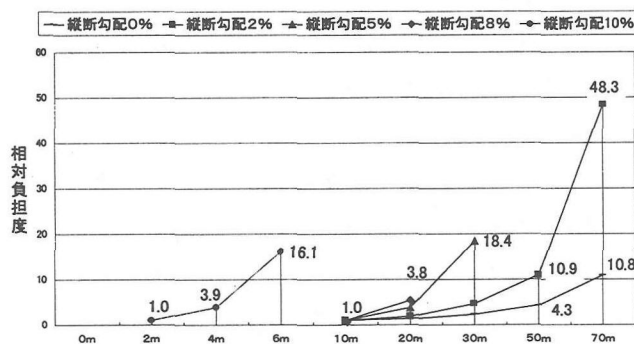


図-7 距離別縦断勾配負担度

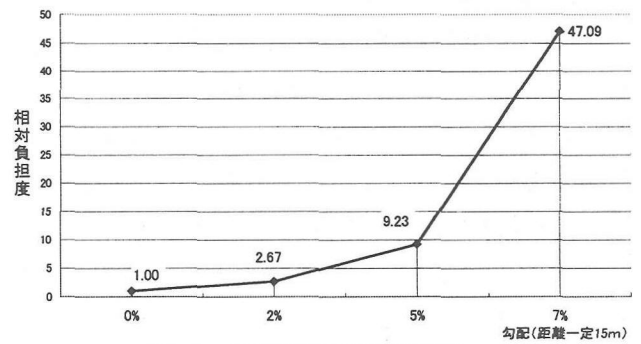


図-8 勾配別横断勾配累加負担度

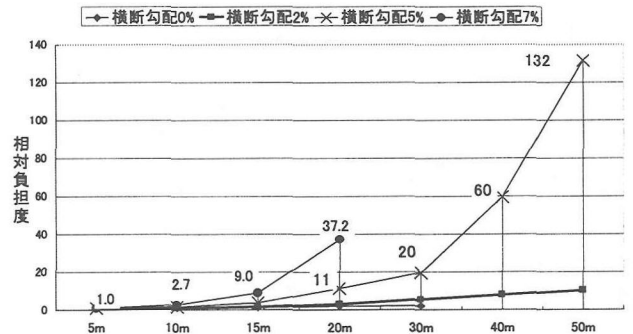


図-9 距離別横断勾配負担度

(c) 心理的要因のウェイト値

図-10には道路横断や歩道のない道路を通行するときの自動車交通の状況など、安全に関する不安感からくる心理的要因のウェイトを、それぞれ自動車がない場合、信号がない場合に対する比率として示したものである。心理的要因のなかでは、信号のない交差点での負担ウェイトが最も大きく、信号ありの約50倍の負担度となっている。また、歩道のない道路を通行する場合には、対向してくる自動車交通に比べて、後方からの自動車交通に対する負担ウェイトが19.4をと若干高くなっている。

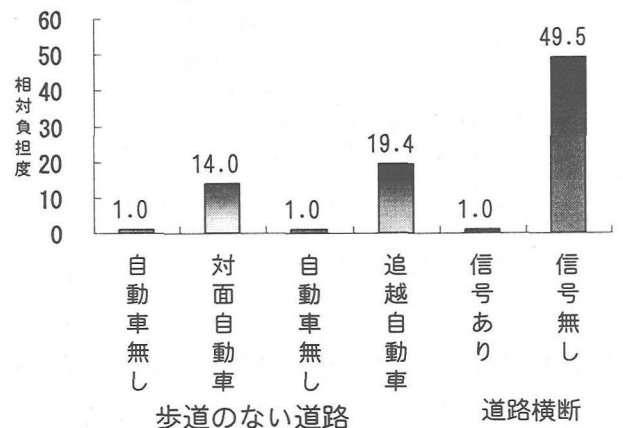


図-10 心理的要因の負担度

4. 交通負担モデルの検討

個別負担度実験(実験A)によって得られた負担ウェイトにより、さまざまな交通負担要因で構成される実際の走行ルートについて、(1)式を用いてルート負担度を推定した。またルート走行実験(実験B)により、被験者に走行しにくいルートの順に3, 2, 1の評点をつけてもらい、交通負担モデルの妥当性について、個人ごとに検討を行った。ルート走行実験は同一ODで、なおかつ異なったルートの評価が望ましいが、ルート環境に大きな違いが見出せなかったため、本研究では、取り上げた要因とその値域ができるだけ幅広く含まれるようルートを選定した。

図-11には、走行実験の経路をまた表-4には各ルートの特徴を示している。

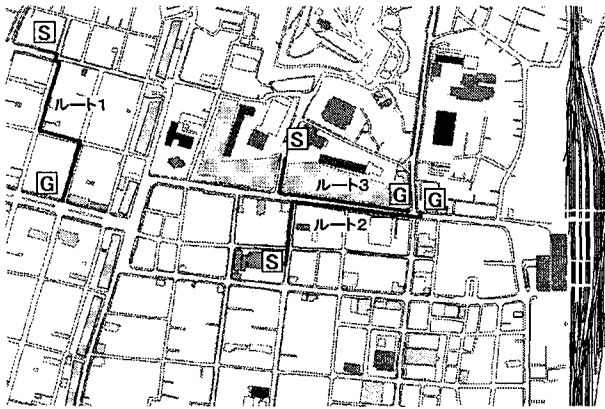


図-11 ルート走行実験の経路

表-4 各ルートの特徴

ルート名	経 路	特 徴	距 離
ルートⅠ	銀行、スーパー前→大型スーパー→銀行	すべての要因が含まれる(縦断勾配, 横断勾配, 段差, 道路横断, 非歩道部通行など)	410m
ルートⅡ	病院→文化施設 由→ホテル	物理的要因が多い。 (横断勾配が顕著 1%34m, 6%11mなど) 道路横断あり。非歩道部なし。	400m
ルートⅢ	県美術館前→公園前→ポケットパーク	物理的要因のみ(縦断勾配が顕著, 1%70m, 2%35mなど)	420m

実験Aによる交通負担度の推定値ならびに実走による順位付けの結果を表-5に示している。実験Aによる推定の結果、総合負担度の大きい順は、全被験者がルートⅠ、Ⅱ、Ⅲの順となっていることが分かった。これに対して実走による走行のしにくさについ

てみると、被験者15名の中に、11名がルートⅠ、Ⅱ、Ⅲの順、3名がルートⅡ、Ⅰ、Ⅲの順、1名がルートⅢ、Ⅰ、Ⅱの順と評価していることが分かった。

したがって、被験者15名のうち11名(73%)の実験A、Bの順位が一致し、また全体的な平均値からみたときにも一致していることから、個別負担度実験(実験A)によって得られた各交通負担要因のウェイトは妥当な数値であると考えられる。なお、4名の順位が異なった理由としては、1名はルートⅢにおける連続的な縦断勾配での走行と、3名はルートⅡにおける縦断勾配と横断勾配の複合状況での走行が負担に感じられたためとの報告があった。

表-5 モデル推定値と実走結果の比較

被験者	個別場所実験(A)			ルート実験(B)		
	ルートⅠ	ルートⅡ	ルートⅢ	ルートⅠ	ルートⅡ	ルートⅢ
No. 01	12.25	4.54	2.38	3	2	1
No. 02	3.34	1.34	0.49	2	1	3
No. 03	11.64	3.82	1.62	3	2	1
No. 04	4.24	1.46	0.53	3	2	1
No. 05	25.76	6.95	1.94	2	3	1
No. 06	6.66	2.32	0.48	3	2	1
No. 07	19.42	5.77	2.14	3	2	1
No. 08	10.27	3.11	1.18	3	2	1
No. 09	8.74	2.36	0.67	3	2	1
No. 10	7.11	2.06	0.68	2	3	1
No. 11	2.99	1.34	0.34	3	2	1
No. 12	3.94	1.99	0.33	3	2	1
No. 13	15.62	4.60	1.66	3	2	1
No. 14	5.59	1.84	0.57	2	3	1
No. 15	16.62	4.38	1.18	3	2	1
平均値	9.19	3.00	1.07	2.73	2.13	1.13

5. おわりに

本研究は、都市交通環境における車いすの走行のしやすさ、すなわちバリアフリー度について、出発地から目的までの一連の交通負担度の計測が必要であるとの認識から、各交通抵抗要因のウェイトならびに、各要因における水準間の相対負担度を計測し、交通負担モデルの構築を行った。

本研究の結果としては、以下の点があげられる。
1) 本研究での車いす走行実験において、縦断・横断勾配の勾配別、距離別で、段差の高低差でのウェイトの一対比較により、交通負担要因は勾配や走行距離や高低差によって、負担度が指数的に増加

することが分かった。

2) 評価構造の階層図におけるレベル2の交通負担要因に関する一対比較により、車いす利用者にとって、縦断勾配などの物理的要因だけではなく、道路横断などの心理的要因もかなり負担を感じていることが明らかになった。

3) ルート走行実験(実験B)との比較から、個別負担度実験(実験A)にて得られた各交通抵抗要因負担ウェイトは妥当な数値であると考えられる。

4) したがって、この結果を用いることで、任意区間の走行空間におけるバリアフリー度を計測することができると考えられる。またGIS(地理情報システム)等を用いれば、これらの交通負担度が視覚化されるとともに、最も負担の少ないルート情報の提供なども可能であると考ええる。

最後に、今後の課題としては、以下の点があげられる。

1) 各ルートの負担度について、負担度モデルによる推定値と、実験Bの順位が異なった4名のうち、3名が縦断勾配と横断勾配の複合状況での走行が負

担に感じられたという報告があった。今後合成勾配に関する負担度の評価が必要である。

2) 車いす利用の巧緻性、習熟度合いには自ずとレベルがあり、それぞれのレベルに対応した交通負担度を求めることが必要である。本研究は都市交通環境の改善、バリアフリー度の向上を図るための評価指標を提案することを目的の一つとしており、今回は、習熟していない者を想定したが、今後は、日頃車いすを使い慣れた人の交通負担度の評価も必要と考えている。

《参考文献》

- 1) 横山哲・清水浩志郎・木村一裕：路上障害物が車いすの登坂および降坂に及ぼす影響，交通工学研究発表会論文報告集，No.17，1997年11月，pp:9-12.
- 2) 安江雪菜 『交通環境のバリアフリー化を目指した金沢市の実践』 土木計画学研究・講演集 No.16(2)1993年.
- 3) 飯田克弘・新田保次氏「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),1996, pp:705-708.

車いす走行におけるバリアフリー度の評価方法に関する研究

木村 一裕^{*2} 清水浩志郎^{*3} 伊藤誉志広^{*4}・呉 聲欣^{*5}

車いすの走行環境に関して、縦断勾配や横断勾配、段差など、個別の課題に関する研究は行われているが、これらの多様な交通抵抗が連なっている実際の歩行空間に関する評価は行われていない。本研究では、実際のルートにおいて車いす走行実験を行うことで、車いす利用者にとって、走行する時に縦断勾配などの物理的要因だけではなく、道路横断などの心理的要因もかなり負担を感じていることを明らかにすることができた。また段差や縦断勾配、横断勾配はその値が大きくなるにつれて負担ウェイトが指数的に増加することが明らかとなった。

Evaluation Method of Pedestrian Area Accessibility for Wheelchairs

Kazuhiro KIMURA^{*2}, Koshiro SHIMIZU^{*3}, Yoshihiro ITO^{*4} and Seikin GO^{*5}

For wheelchair users, there are many barriers in pedestrian area such as gradients of pavement, differences in level and crossfalls of pavement, etc. Therefore, smoothness of traffic environment for wheelchairs should be evaluated on the route which holds those many barriers.

The purpose of the present paper is to propose a method to evaluate the smoothness of traffic environment for wheelchairs. The weight values of those barriers were calculated by means of analytic hierarchy process. The model was tested by the degree of agreement between estimated value and wheelchairs' evaluation on smoothness of traffic environment.
