

# カーフェリー乗下船時の車椅子介助者の身体負荷

正員 奥本 泰久\*

高柴 克俊\*

Physical Burden of Wheelchair Helper at Getting on/off a Car Ferry

by Yasuhisa Okumoto, *Member* Katsutoshi Takashiba

## Summary

Recently, the user-friendly and human-based thoughts have been emphasized in design and development for many kinds of products. This idea is spreading widely in the social welfare system, and “universal design” or “barrier free” is taken into the product design. On ship design, the law of “traffic barrier free” is instituted, and the application of the barrier free standard based on this has been imposed for the passenger ships of 5 gross tonnage and over. Hence, the authors have investigated the car ferries sailing in Seto Inland Sea from the viewpoint of this barrier free, and it was concluded that the physical burden was especially high for old or handicapped people when passing on the slope of a boarding bridge, especially for the helper of a wheelchair user. Since the slope may incline steeply by the tide of sea, the body burden of the wheelchair helper is anticipated to be larger. This paper carried out the biomechanical analysis using the virtual human model at that situation, and showed the body burden of a wheelchair helper in this slope of boarding bridge.

## 1. 緒 言

近年、製品の設計・開発に際しては、これまでの性能面を重視したハード寄りの立場から、ユーザーの視点に立ったいわゆる「ユーザビリティ」の思想が重要視されつつある。この考えは商品開発をはじめ、社会システム全般に広がりつつあり、バリアフリーやユニバーサルデザインが注目され、各種の法整備も進んでいる。船舶に関しては、交通バリアフリー法（法律）が制定され、これに基づくバリアフリー基準（省令）にて、総トン数5トン以上の旅客船に、バリアフリー基準の適用が義務づけられている<sup>1)</sup>。

バリアフリーとは「障害を持つ人々（高齢者や妊婦などを含む）が自分の意志で自由に活動できる環境」といわれ、「高齢者、身体障害者などが円滑に利用できる特

定建築物の建築促進に関する法律（ハートビル法）」として平成6年に制定された。また、ユニバーサルデザインは「健常者ばかりでなく、高齢者や障害者などを含めた全ての人が出来るだけ使えるように配慮されたデザイン」といわれる。これには7つの原則（誰でも公平に使える、柔軟な使用が出来る、簡単で直感的に使用出来る、情報が認識しやすい、誤操作に寛容、身体負担が少ない、アクセスが容易）がある<sup>2)</sup>。著者らはこのうちのユーザーの身体的負担に着目し研究を行った。具体的には、（研究の便宜上）近隣の瀬戸内海を航走するカーフェリーに乗船し、高齢者や身障者およびそれらの介助者にとって身体的な負担が大きくなるケースや設備を調査した。その結果、船と岸壁または浮き桟橋と岸壁をつなぐスロープ（通常、渡橋）が、潮の干満によって急勾配になることがあり、このスロープ上の通行が車椅子介助者にとって身体負荷が大きかった。

通常、車椅子利用者が乗船する場合、自走は困難で介助者に依存しており、介助者も高齢者が増加している。本稿はこれらに対し、デジタルヒューマンモデルによ

\* 近畿大学工学部

る生体力学的解析を実施し、このスロープ渡橋通行時の車椅子介助者の身体負荷を検討したものである。

## 2. カーフェリーの実船調査

### 2.1 交通バリアフリー法

交通バリアフリー法は、平成12年「高齢者、身体障害者等の公共交通機関を利用した移動の円滑化の促進に関する法律」として制定されたもので、鉄道車両、バス、旅客船、航空機などを新たに導入する場合、駅、バスターミナル、旅客船ターミナル、航空旅客ターミナルなどの旅客施設を建設する際の規定である。対象者は高齢者（65歳以上）、身体障害者（車椅子使用者、肢体不自由者、視覚障害者、聴覚・言語障害者、内部障害者）、妊産婦、けが人である。

これに基づいて、平成12年省令「移動円滑化のために必要な旅客施設及び車両等の構造及び設備に関する基準」の第41—45条で、平成14年5月以降新たに供する船舶（5GT未満を除く）に対し規定がなされた。同年、交通エコロジー・モビリティ財団による「旅客船のバリアフリー化に関する基準検討会」が設置され、「旅客船バリアフリー～設計マニュアル」が作成された<sup>1)</sup>。現在建造のカーフェリーはこのマニュアルに準じた設計がなされている。これには、乗下船（ターミナル）、バリアフリー対応客室・便所、船内移動設備（通路、階段、エレベーター）などに対し、車椅子利用者や視覚障害者に配慮した構造・設備を設けるよう規定されている。構造に係わる主なものは、

- ①車椅子スペース
- ②バリアフリー客室、便所
- ③船内移動（通路幅、手摺、敷居高さ、ドア幅、段差、床勾配）
- ④エレベーター、エスカレータ

などである。

### 2.2 乗船調査

最初にバリアフリー船の実情を把握するため、現在就航中または建造中のバリアフリー適合船の調査を行った。近隣のフェリーを対象とし、Table 1に示すように、広島市宇品港から島嶼部に航行する船舶2隻、および柳井—松山航路、鳥羽—常滑航路のカーフェリー、合計4隻である。前2隻は航続距離が短いこともあってバリアフリー旅客室が車両甲板にあるが、他の2隻は客室甲板にあるため階段昇降装置（リフター）およびエレベーターが装備されている。この内、広島—江田島航路について、表のバリアフリー適合船の乗客にアンケートを実施した。結果をTable 2に示す。午前中の3便に乗船し、

合計53人に回答して貰った。利用者は20、30代と50代が多く、主に通勤客であった。栈橋やランプの通行で、きつと感じたり（8件）危険を感じた（14件）という回答があったほかは客室やトイレに関する不満が多く出ている。今回は車椅子利用者は無く、高齢者や障害者が比較的少ないこともあり、旅客船バリアフリーの規則に関する不満は少なかった。

これらの実船調査やアンケート調査結果、車椅子での船内移動には、高齢者・障害者および介助者いずれにとっても現行の規則を適用すれば大きな問題点はないと考えられるが、車椅子利用者に対しては乗降時に介助者が必要で、この介助者の身体負荷が大きいことが予想された。

通常、島嶼周りのフェリーは、Fig.1に示すように岸壁—渡橋（Bridge）—浮き栈橋（Floating bridge）—エプロン（Apron）—船内の経路で乗下船するが、潮の干満によって渡橋が急勾配になることが予想され、特に、干潮時カーフェリーから乗下船する場合に車椅子介助者にとって身体の負担が大きくなると考えられる（満潮時には浮き栈橋がほぼ岸壁高さになり勾配は少ない）。

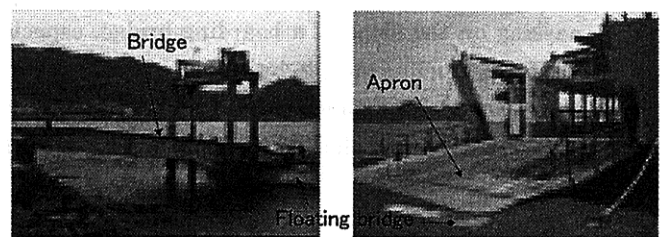


Fig.1 Boarding route to a car ferry

### 2.3 スロープの勾配

広島湾に於ける潮汐表<sup>3)</sup>によれば2003年9月～2004年8月の統計結果（発生頻度）はFig.2のようになり、平均2.24m、最大3.72mの高さが得られた。浮き栈橋の高さ変化がこの値と仮定すれば、スロープの長さ25mに対し最大勾配は1/6.7（8.5°）となる。

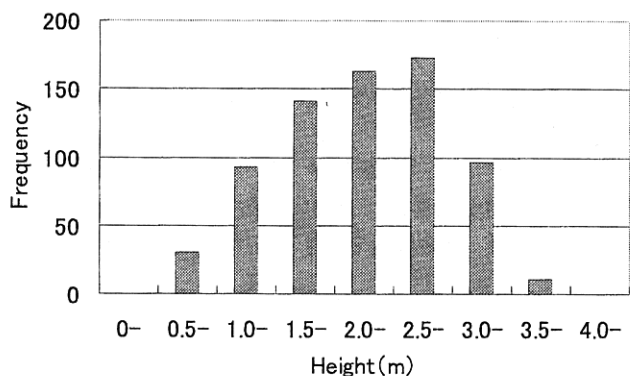


Fig.2 Statistics of tide (Hiroshima bay)

Table 1 Principal particulars of car ferries of barrier free

	航路	GT	定員	L(m)	B(m)	階段
A	広島-江田島	375	300	43.66	10.5	-
B	広島-三高	387	300	49.9	11	-
C	柳井-松山	450	150	55	11	階段昇降機
D	鳥羽-常滑	2370	500	73.3	13.6	エレベーター

Table 2 Results of questionnaires

①年齢・性別

	10代	20代	30代	40代	50代	60代	70代	80代	未記入	計
男性	0	6	2	5	6	3	2	0	0	24
女性	3	7	8	5	6	0	0	0	0	29
										53

②フェリーの利用回数  
(1カ月)

1回	2回	3回	4回	8回	12回	15回	20回	25回	毎日	その他	計
5	2	1	2	2	1	4	19	8	6	3	53

③利用目的

通勤	通学	通院	娯楽	買い物	その他	未記入	計
36	4	1	2	2	8	0	53

④利用形態

徒歩	自転車	車	車いす	その他	車or歩	バイク	未記入	計
37	5	10	0	0	0	1	0	53

⑤棧橋について  
坂がきつと感じるか

大変ある	ある	普通	ない	全くない	未記入	計
3	5	14	26	5	0	53

危なかったこと

はい	いいえ	未記入	計
14	39	0	53

⑥ランプ  
危なかったこと

はい	いいえ	未記入	計
2	51	0	53

⑦客室・トイレ・その他  
客室に満足か

大満足	満足	普通	不満	大不満	未記入	計
2	2	37	8	4	0	53

トイレに満足か

大満足	満足	普通	不満	大不満	利用無し	未記入	計
1	2	42	6	1	1	0	53

バリアフリーの部屋利用

はい	いいえ	未記入	計
5	48	0	53

バリアフリーのトイレ利用

大満足	満足	普通	不満	大不満	利用なし	未記入	計
1	1	9	0	0	42	0	53

誘導ブロック邪魔

はい	いいえ	未記入	計
0	49	4	53

点字案内利用

はい	いいえ	未記入	計
0	52	1	53

音声案内聞こえますか

はい	いいえ	未記入	計
52	1	0	53

バリアフリー知ってるか

はい	いいえ	未記入	計
49	4	0	53

ユニバーサルデザイン

はい	いいえ	未記入	計
18	35	0	53

一方、旅客船バリアフリーマニュアル<sup>1)</sup>では連絡橋のスロープは1/12 (4.76°) 以下とすることが望ましいとされ、また、公共交通機関旅客施設に対するガイドライン<sup>4)</sup>では屋内では1/12、屋外では1/20 (2.86°)、

ハートビル法では(屋内は同一)屋外で推奨値1/15 (3.8°) が明記されている。これらの規定値と比べ、干潮時の連絡橋の勾配はかなり大きく、車椅子利用者にとって身体負荷が大きくなることが予想される。

### 3. ヒューマンモデルによる身体負荷解析

#### 3.1 解析方法

ここでは、潮が引いた状態でカーフェリーに乗下船する場合を考え、傾斜のついた渡橋を車椅子で昇降する時の介助者の身体負荷について検討を行った。解析は、デジタルヒューマンモデルのシミュレーションソフト Jack (米国 UGS PLM Solutions 社製) を使用し、人体の各関節の静的負荷および消費エネルギーの解析を行った。

静的負荷解析は人体を剛棒と関節からなるリンクモデルで構成し、力の釣り合い計算から各関節に於けるトルクを求めるものである<sup>5)</sup>。また、Jack は静的負荷に耐えられる人口割合を統計的に求め、これを Percent Capable (P.C.) として出力することができる。

消費エネルギーについては(1)式によっている。すなわち、姿勢を保持するためのエネルギーとタスクのためのエネルギーを加え、単位時間当たりのエネルギー消費を算出している。ただし、本解析では細かな手作業や腕作業に対して、また、気温や湿度、環境などの影響については考慮していない。

$$\bar{E}_{job} = \frac{\sum_{i=1}^m E_{posi} \times t_i + \sum_{j=1}^n \Delta E_{taskj}}{T} \quad (1)$$

$\bar{E}_{job}$  : 平均エネルギー消費率 (kcal/min)

$E_{posi}$  : 姿勢  $i$  を保持するのに必要な代謝エネルギー消費率 (kcal/min)

$t_i$  : 姿勢  $i$  の保持時間 (min)

$m$  : 作業姿勢の総数

$\Delta E_{taskj}$  : 定常状態でのタスク  $j$  の代謝エネルギー消費量 (kcal)。休息、立位、座位など安静時の代謝を除いたネット値

$n$  : 全タスク数

$T$  : 作業時間 (min)

ここで、姿勢  $i$  を保持するために必要な代謝エネルギー消費率  $E_{posi}$  は性別、体重、姿勢に依存し、静的負荷解析から求められる。

また、タスク  $j$  の代謝エネルギー消費量  $\Delta E_{taskj}$  は Garge の算式によっている<sup>6)</sup>、Garge らは各種の作業を持上げや引張りなど単純な 22 種類のタスク (要素作業) に区分し、それぞれに対し酸素消費量の計測を実施し、統計解析 (回帰分析) して近似式を求めた<sup>6)</sup>。これは、性別、体重、姿勢の他、持上げ重量・高さ・早さ、負荷頻度、腕の水平面内の動き、体の上下運動、歩行姿勢・速度、タスク時間などがパラメータとなっている。今回の push のタスクでは次式が与えられている。

$$\Delta E = 10^{-2} X(0.112BW + 1.15F + 0.505S \times F) \quad \text{kcal} \quad (2)$$

$X$ : 水平移動量 (m)

$F$ : 作用力 (kg)

$BW$ : 体重 (kg)

$S$ : 性別による係数, 男性 1, 女性 0

消費エネルギーの許容値については、Ayoub and Mital は、1日8時間の肉体的な作業での許容エネルギー代謝率として、最大酸素消費量 (Max. aerobic power) の  $1/3$  を提案し、男性で 5.0 Kcal/min, 女性で 3.35 Kcal/min を与えている<sup>7)</sup>。ここでは女性の許容値 3.35 Kcal/min を用いることにする。

#### 3.2 介助者の身体負荷

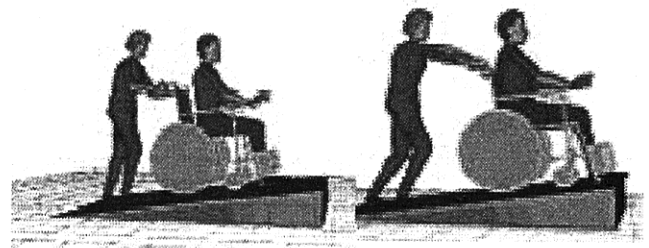
まず、近隣のフェリー乗り場に出かけ、実際に車椅子を押して渡橋を渡り、この時の介助者の姿勢を観察した。Fig.3 は代表的な 2 姿勢であり、これを元に Jack のモデルを Fig.4, Fig.5 のように作成した。前者は上り姿勢、後者は下り姿勢である。いずれも(a)は肘を曲げて



(a) Posture 1

(b) Posture 2

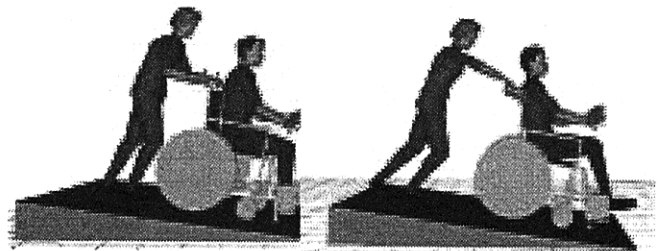
Fig.3 Typical postures



(a) Posture (U1)

(b) Posture (U2)

Fig.4 Human models (upward)



(a) Posture (D1)

(b) Posture (D2)

Fig.5 Human models (Downward)

車椅子を押す姿勢、(b)は体をやや前傾させ肘を伸ばして押す姿勢である。人体モデルは、車椅子の介助者は高齢の女性が多いことから、50～80歳の女性の平均体格（身長152cm、体重52.2kg）を採用した<sup>8)</sup>。被介助者のモデルは男性で60代以上の平均とし、身長159.4cm、体重58kg<sup>8)</sup>とした。車椅子はKAWAMURAのKR4-40(42)N<sup>9)</sup>をモデル化している（重量は18kg）。

解析は、この介助者の両手に車椅子を押す水平力を負荷した。この水平の力は被介助者の体重58kgと車椅子の重量18kgの合計76kgに対し、転がり摩擦係数を0.03として求めた。力の方向は介護者へ向かって水平に、左右の手に均等に与えた（Fig.6）。厳密には動的な影響を考慮する必要があるが、ここでは簡便のため静的な解析としている。

通常、急傾斜面を下りる場合は介助者が背面に下りるのが正しい下り方であるが、傾斜が緩やかな場合は正面を向いて下りる場合が多い。今回は比較検討のために傾斜が急な角度でも正面を向いて下りるケースを解析し、背面で下りるケースとも比較した。

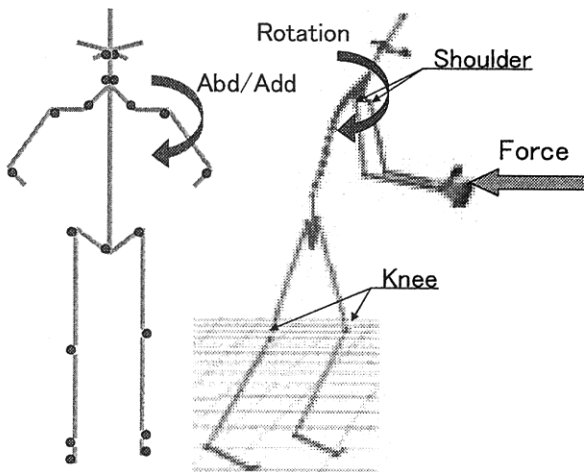


Fig. 6 Skeleton models

### 3. 3 静的負荷解析結果

まず、静的負荷解析でスロープを上る姿勢 U1, U2 について解析を行った。肩と膝に働くトルク（左右の平均値）を Percent Capable (P.C.) で表示し Fig.7, Fig.8 に示す。P.C.は既述のごとく計算された負荷（関節に働くトルク）に耐えられる人口割合であり、性別や年齢別による区分はなく、米国内で得られた一般的な統計量であるが、ここでは比較検討のためこれを用いることにする。

Shoulder に作用するトルク（Fig.7）については全般的に Rotation（腕の前後回転）では P.C.はさほど低く

ないが、Abd/Add（Abduction/Adduction；腕の内転/外転）ではスロープ角度が大きくなるとかなり低い値となっており、特に、U2（腕を伸ばして押す場合）に厳しいことがわかる。Knee でも（Fig.8）U2 が厳しく、スロープを上る動作ではU1（肘を曲げて押す）姿勢が良いことがわかる。この場合、前述したスロープ角 8.5 度では Shoulder と Knee いずれも 97% 程度である。両図より、スロープ角度が 10 度を超えるとかなり厳しくなり、15 度では U1 の場合でも 10～15% の人が耐えられないことがわかる。

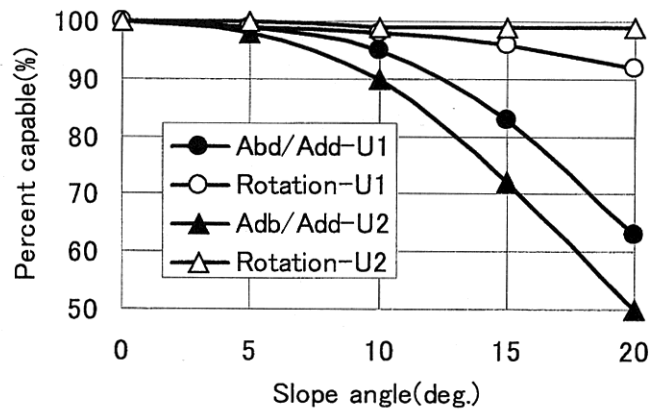


Fig. 7 Torque on shoulder (downward)

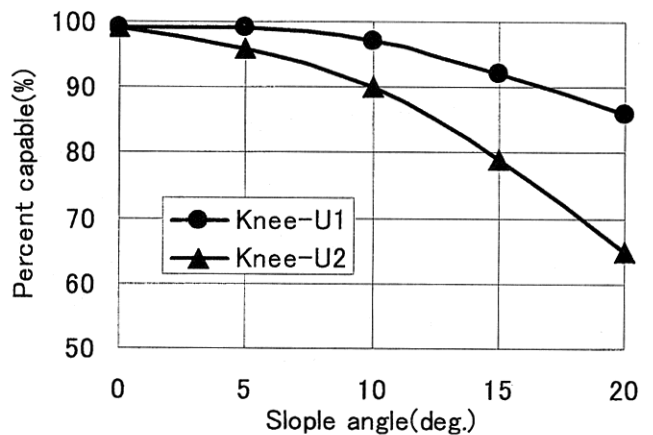


Fig. 8 Torque on knee (downward)

次に、スロープを正面に向いて下りる場合の負荷を Fig.9, Fig.10 に示す。スロープ角 8.5 度では Shoulder の P.C.が 97%、Knee では 94% である。スロープが 10 度を超えると Knee の P.C.は 90% 以下となり、この附近が限界と思われる。

また、スロープを下りるときに、正面を向いて下りる場合（D1）と背面を向いて下りる場合（B1）の負荷を比較した結果を Fig.11, Fig.12 に示す。Shoulder ではスロープの緩やかな場合は D1 と B1 とであまり差はな

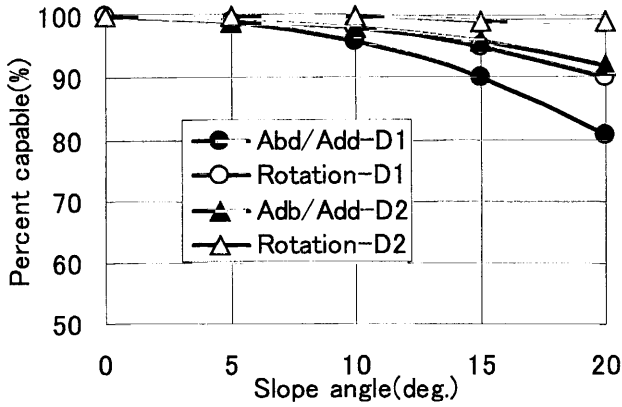


Fig. 9 Torque on shoulder (upward)

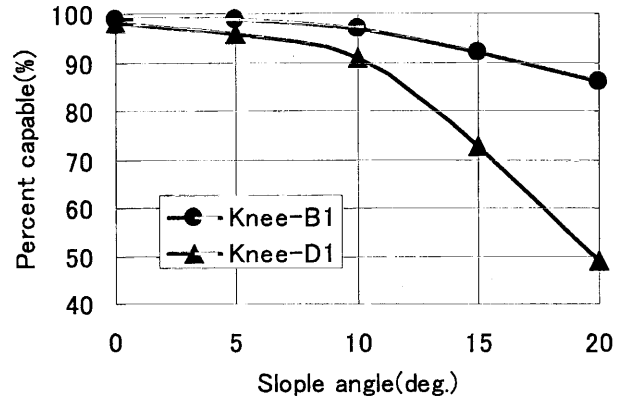


Fig. 12 Torque on knee (downward)

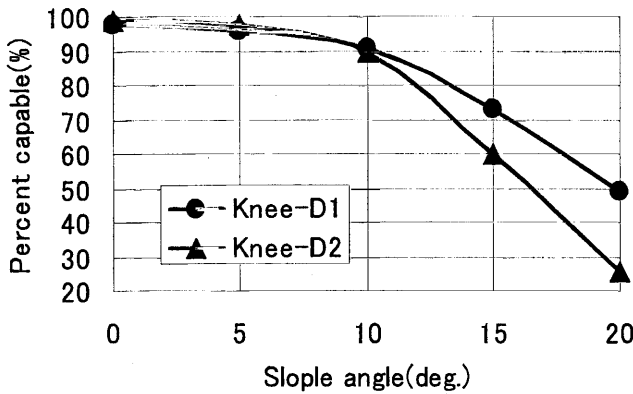


Fig. 10 Torque on knee (upward)

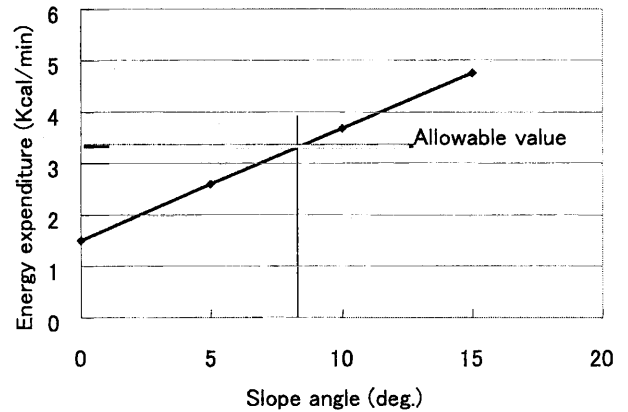


Fig. 13 Energy expenditure

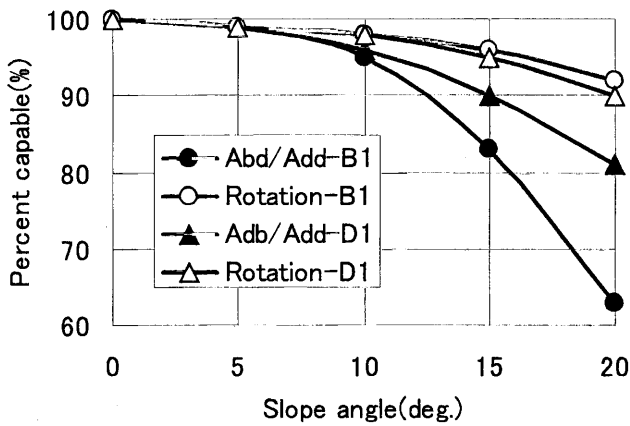


Fig. 11 Torque on shoulder (downward)

くスロープ角 8.5 度で 97% 程度であるが、Knee では差が生じ D1 の方が低くスロープ角 8.5 度で 93% となっている。Shoulder と Knee で傾向は多少異なるが、厳しい方の後者で考えると、スロープが大きくなるにつれ、後ろ向きで下りの方が望ましいといえる。なお、この場合もスロープが 10 度を超えるとかなり厳しいことがわかる。

### 3. 4 介助者のエネルギー消費

渡橋の全長 25m を前述の荷重を受けながら 1.5min (1 km/h) で渡るとし、U1 姿勢についてエネルギー消費率を求めた。結果を Fig.13 に示す。図より前述の許容値 3.35 Kcal/min はスロープが 8 度に相当し 2 章で述べた 8.5 度がほぼ上限であることがわかる。

## 4. 結 言

カーフェリーに車椅子で乗下船する場合、浮き桟橋と岸壁間の渡橋上の走行が、介助者にとって身体的負担が大きくなることに着目し、デジタルヒューマンモデルによる生体力学的解析を行った。得られた結果は以下の通りである。

- (1) スロープ上の車椅子を押し上げる動作では、膝にかかる負荷がスロープの角度とともに大きくなり 15 度では 10~5% の人がこれに耐えられない。この場合、介助者は肘を伸ばすよりも肘を曲げて押す姿勢が、肘や肩への身体的負荷が少ない。
- (2) スロープ上の下降では、同じく腕を曲げ後ろ向きに下がる方が身体負荷は少ない。この場合もスロープ角 10 度がほぼ限界と思われる。

(3) 上記動作でのエネルギー消費率はスロープの勾配に比例して大きくなり、高齢女性では8度が限界であることがわかった。この値は、広島湾での最大干満差に相当する。

旅客船のバリアフリー化の法整備が進み、船内設備は改善されつつあるが、その周辺設備についても検討が望まれる。本稿がその一助となれば幸いである。

### 謝 辞

本研究に関連しご協力頂いた大昭汽船(梅比良会長)、芸備商船(田中次長)、内海造船(野嶋副参事)および交通エコロジー・モビリティ財団に謝意を表します。

### 参 考 文 献

- 1) 交通エコロジー・モビリティ財団：旅客船バリアフリー～設計マニュアル，平成12年12月
- 2) 伊藤，桑名，小松原(編)：人間工学ハンドブック，2003，pp.807-818
- 3) (社)広島県清港会広島支部，広島海上保安部：広島湾の潮汐，平成15年9月～平成16年8月
- 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) 奥本，村瀬，宮越：バーチャルヒューマンモデルによる作業性，安全性の研究－第一報 溶接作業時の人体負荷について－，日本造船学会論文集 第187号，2000，pp.383-393
- 6) A.Garge, D.B.Chaffin, and G.D.Herrin: Prediction of Metabolic Rates for Manual Material Handling Jobs, American Industrial Hygiene Association Journal, (39),8/78, pp.661-675
- 7) M.S.Sanders and E.J.McCormic: Human Factors in Engineering and Design, Seventh Edition, McGraw-Hill, Inc., pp.245
- 8) 伊藤，桑名，小笠原(編)：人間工学ハンドブック，2003，pp.272
- 9) (株)カワムラサイクル：車いす総合カタログ Vol.10, 2003，pp.86