

高齢者・障害者の移動機器の最適処方に関する研究開発 —車いすへの環境負荷と操作難易度評価システムの試作—

Research on Assistive Devices of Mobility for Aged and Disabled People

- Idea for standardizing easiness/difficulty of maneuverability of manual wheelchair depend on road/floor condition -

米田郁夫 糟谷佐紀 浅和 貴 金 承喜
YONEDA Ikuo, KASUYA Saki, ASAWA Takashi, KIM Seunghee
篠山潤一 山本直樹 岡野生也 安田孝司 馬場琴子 (リハビリ療法部)
SASAYAMA Junichi, YAMAMOTO Naoki, OKANO Ikuya, YASUDA Takashi, BABA Kotoko
(Hyogo Rehabilitation Center)

キーワード :

車いす、操作性評価、操作難易度評価モデル

Keywords :

Wheelchair, Quantitative evaluation, Analysis, Indicator for estimating easiness/difficulty

Abstract :

It is important for the wheelchair users to be able to move maneuvering their wheelchairs with ease in their daily living. Maneuverability of wheelchair depends not only on mechanical efficiency of the wheelchair but also on the environmental condition where the wheelchair runs. So, we have been aiming to comprehend mechanism of influences of road/floor conditions and structure of the wheelchairs on maneuvering them quantitatively. For this study, specially designed experimental wheelchair equipped with torque meters and rotary encoders on the driving wheels was constructed to collect quantitative data.

In this paper, some information obtained through many test runs on the six types of longitudinal slopes are reported. The load/distance rate, that is momentum needed to move 1m, is useful to evaluate easiness/difficulty in maneuvering the

wheelchair quantitatively. And it became clear that the normalized value of all subjects' load/distance rate by the total weight of the wheelchair-rider coincided. Therefore, the normalized load/distance rate could be comprehensive indicator useful to evaluate the load on the wheelchair riders when he/she negotiates slopes.

Furthermore, knowledge about factor that causes failure in negotiating a longitudinal slope by the wheelchair was acquired. Making use of the knowledge, we made the indicator that can estimate whether a wheelchair rider is able to negotiate a longitudinal slope on the basis of measurement of his/her traction force using simple pulling gauge for example.

1 はじめに

研究の目的

移動は、日常生活においてきわめて頻繁に行われる基本的な動作である。そのため、移動の自由度が制限されると日常生活に支障を来す。したがって、身体的な障害により移動が困難あるいは不可能になった人に対して移動機能を確保するための技術的支援を行うことは非常に重要である。

こうしたことから、本研究は、高齢者・障害者の移動機器とくに車いすの適合と環境整備を合理的に行えるようにすることを目的として設定した。研究の視点

車いす使用者にとって楽に移動できることは、次の2つの点から重要である。

まずは、2次障害の発生の可能性を小さくするためである。R.A.Cooperら¹⁾は操作性の良くない車いすを長年使用することにより頸痛、肩痛、あるいは腱鞘炎のリスクが大きくなることを指摘している。

次に、日常生活においては、移動のための負担はできるだけ軽くして、他の生活動作に支障が生じないようにすることが重要である。

車いす走行操作時の負担に影響する要因としては、走行環境、車いす自体の機械的効率、使用者と車いすの適合性が考えられる。したがって、車いすによる移動時の負担の軽減を実現するためには、これらの要因がどの程度そしてどのように影響するかを知る必要がある。

以上のような視点に立って、本研究においては、計測用車いすを用いて、環境条件、車いすの車輪アライメント、車いすの適合条件をいろいろに変えて定量的な走行データを収集・分析する。

研究の流れ

平成13年度においては、走行環境(床材)および駆動輪取り付け位置が車いす走行に及ぼす影響を定量的に明らかにした²⁾³⁾。

平成14年度においては、駆動輪の取り付け角度が車いす走行に及ぼす影響、縦断勾配が車いす使用者に与える負担、ハンドリム取り付け位置が操作者(頸損者)の車いす操作性に及ぼす影響を定量的に明らかにした⁴⁾。

今年度は、縦断勾配について健常者および頸損者による追加の走行データを収集・分析し、環境とくに縦断勾配が車いす使用者に与える負担および車いす駆動能力から縦断勾配を走行するときの難易度を推定するためのモデルの作成を試みた。

2 縦断勾配自由走行実験

縦断勾配が車いす使用者にどの程度の負担を強いるかを定量的に評価するために、昨年度に引き続き追加の走行実験を行った。

2.1 実験装置

2.1.1 走行路

昨年度と同様、実験室内に設置した縦断勾配可

変式の走行路を用いた。走行路の縦断勾配部分の有効寸法は幅員0.9m、長さ3mである。走行路面はジュラルミン平板で作られており、表面には滑り止めシートが貼られている。

勾配は、1/20、1/15、1/12、1/10、1/8、1/6の6通りとした。これらは法令⁵⁾⁶⁾、福祉のまちづくり条例⁷⁾、長寿社会対応住宅設計指針⁸⁾などを参考に設定した。

2.1.2 走行実験内容

被験者は計測用車いす(固定フレーム型:重量245N)²⁾に乗車し、ハンドリムを操作しながら走行路を1つの勾配につきいろいろな速度で計7回走行する。

2.1.3 被験者

自由走行実験については、今年度末までに以下の健常者7名分のデータを収集・分析した。

被験者A:女性健常者(30歳;体重488N)

被験者B:男性健常者(21歳;体重583N)

被験者C:女性健常者(25歳;体重458N)

被験者D:男性健常者(40歳;体重662N)

被験者E:男性健常者(31歳;体重735N)

被験者F:女性健常者(34歳;体重490N)

被験者G:男性健常者(55歳;体重624N)

2.2 実験結果と考察

2.2.1 負担率

走行実験によって得られた駆動トルクおよび走行距離データから1m走行するのに要した運動量を求めることができる。われわれはそれを負担率と定義している⁹⁾。

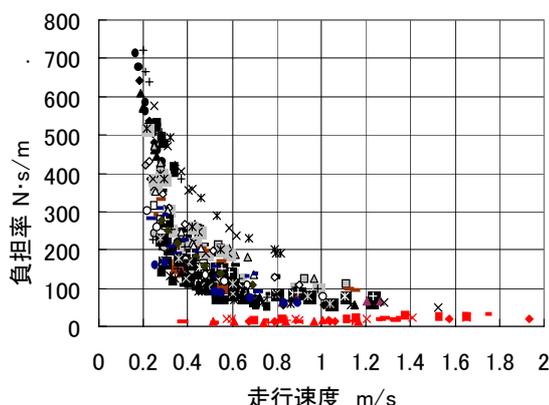


図1 負担率計算結果

Fig.1 Results of load/distance rate.

図1は被験者全員の実験走行すべてについて負担率を計算し、それぞれの試行について算出した平均速度を横軸にしてプロットしたものである。比較のために、硬い水平床面(表面

は硬い塩ビシート)を走行したときの負担率もプロットしている。そして、分かりやすくするために、図2に被験者F、G 2名分のデータのみをプロットしたものを示す。

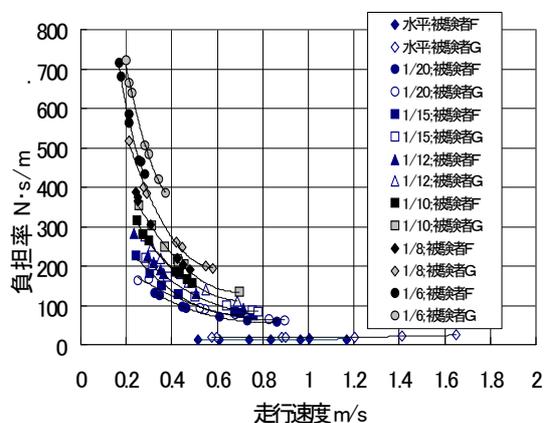


図2 負担率計算結果(被験者F、G)
Fig.2 Results of load/distance rate of subject F and G.

図1および図2より、硬い水平な床面を走行するときの負担率は走行速度に関係なくほとんど一定であることが分かる。それに対し、縦断勾配を走行する場合、速度が小さいと負担率がかなり大きくなっている。その傾向は、勾配が急峻なほど顕著になっていることが分かる。

ところで、被験者は全員「縦断勾配を走行するときは速度を大きくしたほうが楽である」という官能評価をしている。このことは図1の結果と一致している。したがって、負担率によって車いす操作のしやすさを評価することは妥当性であると言って良い。

2.2.2 操作パターン

車いすを走行させるときの操作パターンは、手でハンドリムに力を加えて駆動する期間(駆動期; driving phase あるいはpush phase)と手をいったんハンドリムから離して元の駆動開始位置まで戻す期間(惰走期あるいは復元期; recovery phase)を繰り返す反復動作になる。勾配や走行速度によって駆動力や駆動期および惰走期の時間が違ってくることが予測される。

そこで、操作パターンの違いを調べるために、一例として、被験者Fの駆動力ピーク値(図3)、駆動周期(図4)、駆動期時間(図5)、惰走期時間(図6)を見てみる。

駆動力ピーク値は、水平路面、縦断勾配路面いずれにおいても、走行速度に比例して大きくなる

(図3)。また、水平路面、縦断勾配路面いずれにおいても、走行速度を大きくするためには駆動周期を短くしていることが分かる(図4)。また、速度が大きいと駆動期時間は短くなっている(図5)。

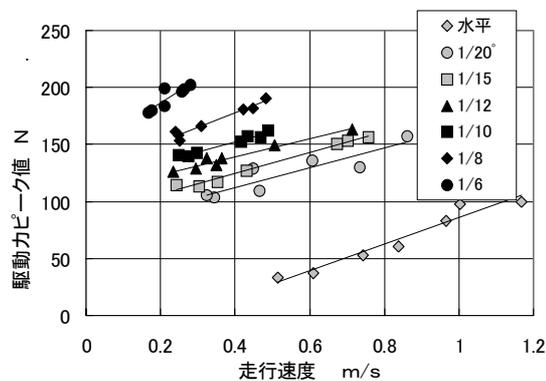


図3 速度と駆動力ピーク値の関係(被験者F)
Fig.3 Speed vs. driving force(sub. F).

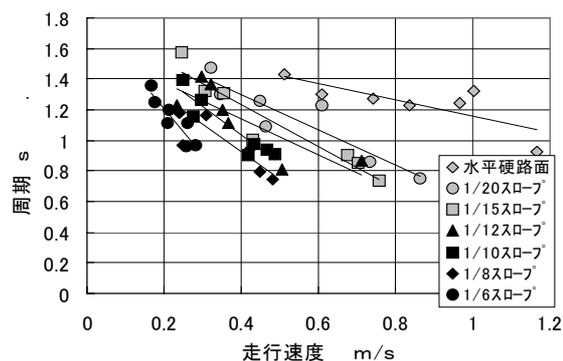


図4 速度と駆動周期の関係(被験者F)
Fig.4 Speed vs. cycle time(sub. F).

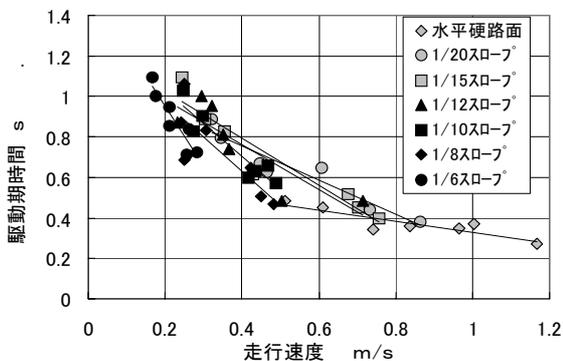


図5 速度と駆動期時間の関係(被験者F)
Fig.5 Speed vs. driving phase time(sub. F).

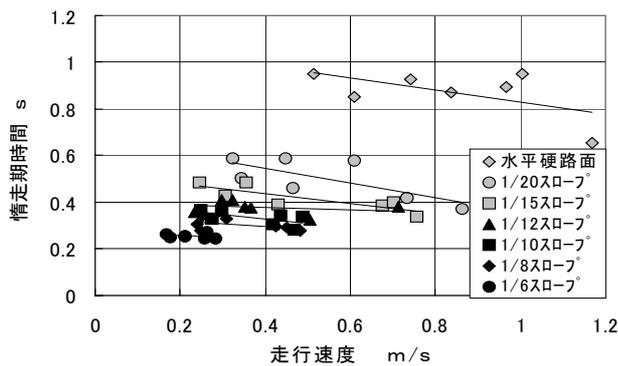


図6 速度と惰走期時間の関係(被験者F)
Fig.6 Speed vs. recovery phase time(sub. F).

次に、惰走期時間について見てみると、水平路面においては走行速度が小さいほど惰走期時間は長くなっている(図6)。縦断勾配1/20および1/15を走行したときの惰走期時間は、全体的には水平路面走行時のそれよりかなり短くなっているが、速度との関係は水平路面走行時と同じようなパターンを示している。しかし、勾配が1/12以上になると、惰走期時間と走行速度との相関はかなり小さくなり、とくに勾配1/6においては速度に関わりなく惰走期時間はほぼ一定(0.22 s程度)になっている。このことは、縦断勾配が大きくなると、惰走期において車いすが逆走しないようにするために、惰走期時間を短くせざるをえず、したがって、車いす操作の自由度がかなり制限されるということを示している。

2.2.3 正規化による負担率の指標化の可能性

2.2-(1)において、車いす走行操作時に操作者に加わる負担を評価する量として負担率が有効であることを明らかにした。計算した負担率と走行速度との関係は、被験者間で傾向は同じであるものの、大きさにはばらつきがある(図1)。したがって、図1のグラフは指標にはなりにくい。

そこで、各被験者の負担率を、それぞれ総重量(被験者体重と車いす重量の和)で除して正規化してみると、その結果は図7のようになる。正規化したことにより、被験者間のばらつきがほとんどなくなっていることが分かる。したがって、この正規化負担率は、縦断勾配が車いす使用者に与える負担の指標として使える可能性がある。

ところで、図7から、硬い水平路面における正規化負担率は走行速度にかかわらずほぼ一定であることも明らかである。本研究で得られた実験データをもとに計算した水平硬路面における正規化

負担率は約0.021N・s/m/Nである。水平硬路面は車いすにとって最も条件の良い環境である。したがって、算出した水平硬路面における正規化負担率は車いす走行操作時の負担を評価する際の基準値となりうる。

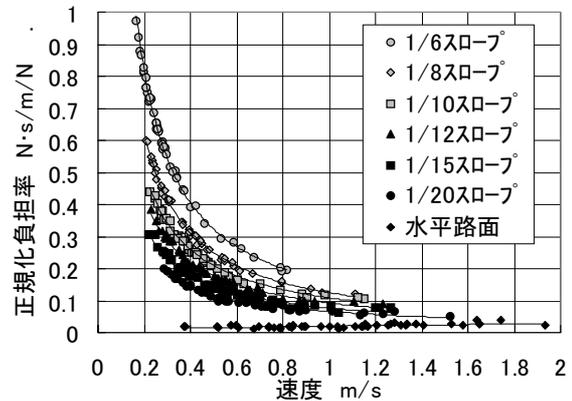


図7 正規化負担率計算結果
Fig.7 Results of normalized load/distance rate.

3 頸損者による走行実験

昨年度に引き続き、頸損者の車いす操作能力およびハンドリム位置(適合性)による操作性の違いに関するデータを収集した。

3.1 実験内容

3.1.1 最大駆動力の計測

計測用車いす後方にそりを連結する。そりに車いすが動かない程度の錘を搭載する。そして、被験者がハンドリムを前進方向に駆動するときの駆動力を計測する。

3.1.2 縦断勾配走行

計測用車いすを操作して縦断勾配可変式走行路を1回のみ走行する。完走できなくなる勾配まで走行実験を行う。その際、データを収集するとともに走行状況をビデオカメラで記録する。

3.1.3 使用した計測用車いす

計測用車いすとして、2章の実験で用いた計測用車いすのトルク変換器とロータリ・エンコーダと同じものを、各部の細かい調整が可能な採用用車いす(日進医療器製)に取り付けたものを使用した。これは、ハンドリム相対高さを変えてもバックサポート高さ・角度やフットサポート高さ等の条件が一定になるようにするためである。なお、この計測用車いすの重量は290Nである。

3.1.4 ハンドリム位置設定値

ハンドリム取り付け位置を、被験者が車いすに着座した状態で、ハンドリム頂点に手部を置いたときの肘屈曲角度で表す。各被験者について、ハンドリム位置を肘屈曲角度換算（以下、ハンドリム位置と称す）70°、90°、100°（肘を伸ばした状態が0°）の3通りに設定し、それぞれのハンドリム位置について前記の実験を行う。

3.2 被験者

昨年度および今年度を含めて以下に示すような計5名の頸損者について走行データを収集した。

- 被験者H：男性頸損者（C6b；21歳；体重442N）
- 被験者I：男性頸損者（C6b；20歳；体重385N）
- 被験者J：男性頸損者（C6b；18歳；体重475N）
- 被験者K：男性頸損者（C6b；28歳；体重519N）
- 被験者L：男性頸損者（C5b；34歳；体重409N）

3.3 頸損者による走行実験結果

頸損被験者5名の駆動力ピーク値の結果を図8に示す。参考のために収集した健康者Fのデータも示してある。また、縦断勾配を走行したときの平均速度の結果を図9に示す。ただし、被験者Kについてはハンドリム位置70°の走行実験データは収集できなかった。

ハンドリム位置による駆動力の違いを見ると、個人差はあるものの、70°、90°、100°の順に大きくなっていることが分かる（図8）。

次に、縦断勾配走行実験結果をしてみる（図9）。被験者Lは発揮できる駆動力が小さいため、いずれのハンドリム位置においても、勾配1/20を登ることができなかった。被験者Hは、ハンドリム位置90°および100°のときのみ勾配1/20を登ることが可能であった。被験者Iは、70°、90°、100°のいずれの場合も、勾配1/15までしか走破できなかった。被験者Jは、勾配1/15まではいずれのハンドリム位置でも走破可能であったが、勾配1/12についてはハンドリム位置90°および100°のとき走破可能であり、勾配1/10についてはハンドリム位置100°のときのみ走破可能であった。

また、図9から明らかなように、ほぼ全員の被験者について、同じ勾配を走破するのに、ハンドリム位置100°のときの走行速度が大きくなっている。2.2.1で述べたように、縦断勾配は速度を上げて走破するほうが楽であることから、頸損者もできるだけ速度を上げて縦断勾配を走破しようとするであろうということが想像できる。

以上のことから、本研究の走行実験結果に限って言えば、頸損者にとって、ハンドリム位置100°は70°および90°に比べて操作しやすく、力を加えやすくなっていると推測できる。

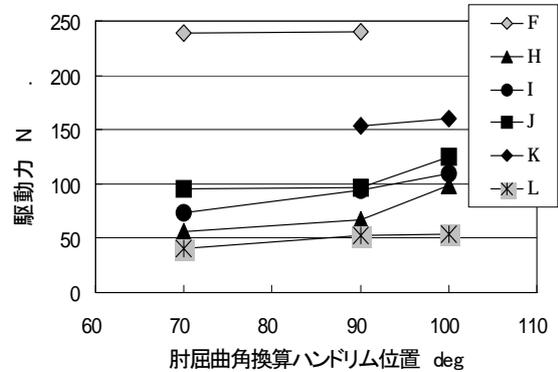


図8 ハンドリム位置と最大駆動力
Fig.8 Hand-rim position vs. driving force.

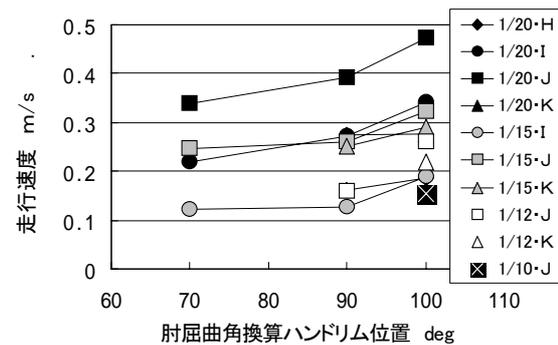


図9 ハンドリム位置と縦断勾配走行速度
Fig.9 Hand-rim position vs. running speed on longitudinal slopes.

ところで、頸損者による縦断勾配走行実験においては、聞き取りにより、走行が「楽」、「少し苦しい」、「苦しい」の3段階の官能評価も行っているが、ここでは、走行データから、評価「途中逆走することなく完走」、評価「途中逆走が見られたが完走」、評価「完走不可能」の3段階で評価してみる。その結果を3.1.1で記述した方法で計測した最大駆動力およびそれを全重量で除した正規化駆動力とともに表1に示す。

表1においては、評価を、評価を、評価をxで示している。これらの結果を官能評価と比較すると、評価は「楽」もしくは「少し苦しい」、評価は「苦しい」とほぼ一致することが分かった。

表 1 頸損者の駆動能力と縦断勾配走行実験結果

Table 1 Driving force and ability of longitudinal slope of cervical cord injured persons

頸損者H			頸損者I			頸損者J			頸損者K			頸損者L		
駆動カピーク値 (正規化値)	勾配	走行	駆動カピーク値 (正規化値)	勾配	走行	駆動カピーク値 (正規化値)	勾配	走行	駆動カピーク値 (正規化値)	勾配	走行	駆動カピーク値 (正規化値)	勾配	走行
52N (0.069)	1/6	×	72N (0.103)	1/6	×	91N (0.116)	1/6	×		1/6		33N (0.046)	1/6	×
	1/8	×		1/8	×		1/8	×		1/8	×			
	1/10	×		1/10	×		1/10	×		1/10	×			
	1/12	×		1/12	×		1/12	×		1/12	×			
	1/15	×		1/15	△		1/15	△		1/15	×			
1/20	×	1/20	○	1/20	○	1/20	○	1/20	×					
60N (0.086)	1/6	×	84N (0.121)	1/6	×	97N (0.123)	1/6	×	128N (0.154)	1/6	×	39N (0.054)	1/6	×
	1/8	×		1/8	×		1/8	×		1/8	×			
	1/10	×		1/10	×		1/10	×		1/10	×			
	1/12	×		1/12	×		1/12	△		1/12	×			
	1/15	×		1/15	△		1/15	△		1/15	△			
1/20	○	1/20	○	1/20	○	1/20	○	1/20	×					
80N (0.106)	1/6	×	102N (0.147)	1/6	×	125N (0.159)	1/6	×	133N (0.160)	1/6	×	50N (0.069)	1/6	×
	1/8	×		1/8	×		1/8	×		1/8	×			
	1/10	×		1/10	×		1/10	△		1/10	×			
	1/12	×		1/12	×		1/12	△		1/12	△			
	1/15	×		1/15	△		1/15	○		1/15	○			
1/20	○	1/20	○	1/20	○	1/20	○	1/20	×					

○:完走 △:完走(途中逆走有り) ×:完走不可

3.4 縦断勾配を走行できなくなる要因について

頸損者による走行実験を記録したビデオ映像を検証した結果から、縦断勾配を走破できない現象を以下の2つに分類することができる。

その1は、被験者Lのように、発揮できる駆動力が小さいために、縦断勾配を1ストローク分すら走行できない場合である。

その2は、縦断勾配走行路の途中で走行できなくなる場合である。この場合は、発揮できる駆動力は勾配抵抗より大きいものの、操作の巧拙や耐久力などの要因が複雑にからんでいると思われる。こうした要因を量的に表すのは非常にむずかしい。そこで、ビデオ映像を詳細に検証してみると興味深いことが明らかになった。すなわち、走行中、惰走期あるいは場合によっては駆動期において車いすが逆走し始め、その程度が次第に増大し、ついには縦断勾配を上ることが不可能になる現象が見られる。このような現象があることを考慮に入れて、縦断勾配を走行するときの難易度を推定するモデルが作成できる可能性がある。

4 追加実験と考察

縦断勾配路面上の車いすは、水平路面上の場合と違い、抵抗(勾配抵抗)に打ち勝つ力が駆動輪に加えられていなければ逆走してしまう。したがって、3.4での検証結果からも想像されるように、縦断勾配を走破するためには、惰走期に逆走しない操作ができるか否かが重要である。また、当然のことながら、惰走期における走行状態はその直前の駆動期の走行特性によっても影響を受ける。

こうしたことから、縦断勾配走行における駆動期と惰走期の走行特性の関係をより詳細に調べるため、さらには走行難易度を評価するためのモデルを作成するためのデータを得ることを目的に追加の走行実験を行った。

4.1 1ストローク走行実験

車いす走行操作における駆動期と惰走期の特性の詳細を明らかにするには、ハンドリムを1ストロークだけ駆動し停止するまでのデータを分析することが有効と考え本実験を実施した。

4.1.1 実験の概要

被験者は、計測用車いすに乗車し、ハンドリムを1ストローク分だけ駆動して縦断勾配路面上を直進走行する。各勾配につきいろいろな駆動力で7回走行する。車いすの初期位置は、キャスター輪および駆動輪ともに縦断勾配路面上にあり、キャスター輪は予め前進走行する向きに設定した状態とする。また、被験者がハンドリムを操作する前に車いすが縦断勾配路面上を逆走しないように、駆動輪の後方に輪止めを置いておく。

4.1.2 被験者

2.1.3に示した健常被験者全員について1ストローク走行実験を実施した。

4.2 1ストローク走行実験結果

縦断勾配路面における1ストローク走行実験結果の一例を図10に示す。収集したデータを基に、駆動期と惰走期の特性を分析する。

4.2.1 駆動特性と負担率の関係について

自由走行実験結果は、走行速度を大きくした方

が負担率は小さくなることを示している。そこで、1ストローク走行における駆動特性と負担率の関係はどのようになっているかを調べてみる。

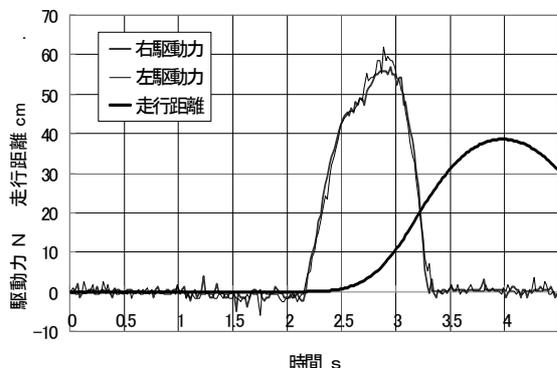


図10 1ストローク走行データ例
Fig.10 Example of data of 1-stroke running.

自由走行においては、走行速度が大きいほど駆動力ピーク値は大きくなり(図3)、駆動期時間は短くなっている(図5)。このことは、駆動力による運動量が同じでも、駆動力のグラフ波形が鋭い方が速度は大きくなることを示唆している。

そこで、駆動力のグラフ波形の鋭さと負担率との関係を調べてみる。駆動力波形の鋭さは、駆動期時間に対する駆動力ピーク値の割合(つまり、駆動力ピーク値/駆動期時間)によって表すことができる。本論ではこれを「駆動力尖鋭率」(sharpness of driving force)と定義し、駆動力波形の鋭さの指標とする。

データ処理した結果の一例として、勾配 1/12 における駆動力尖鋭率と負担率の関係を示す。図11は駆動力尖鋭率と駆動期のみにおける負担率、図12は駆動力尖鋭率と駆動期および惰走期を含めた1ストローク分全体での負担率を計算した結果である。

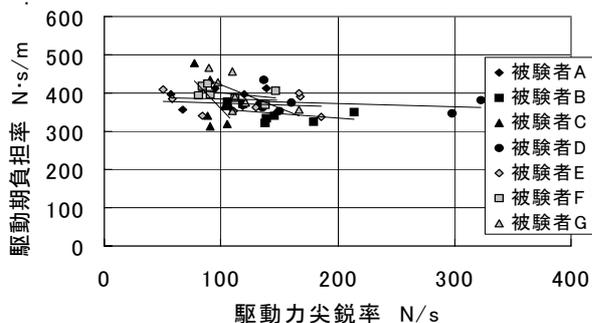


図11 駆動期における駆動力尖鋭率と負担率
Fig.11 Sharpness of driving force vs. load/distance rate at driving phase.

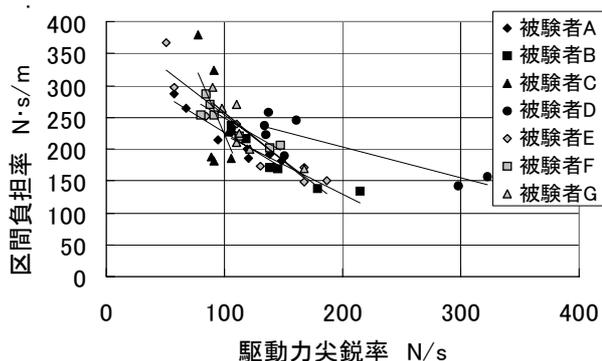


図12 駆動期・惰走期における駆動力尖鋭率と負担率
Fig.12 Sharpness of driving force vs. load/distance rate at driving & recovery phase.

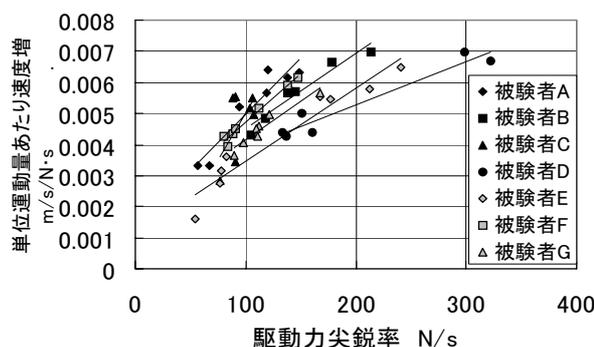


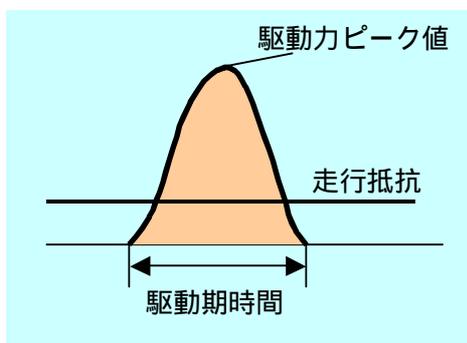
図13 駆動力尖鋭率と単位運動量あたり速度増
Fig.13 Sharpness of driving force vs. increase of speed per momentum.

駆動期のみにおける負担率に関しては、被験者CおよびGの場合は駆動力尖鋭率が大きくなると(速度を上げると)負担率が小さくなる傾向が顕著であるが、その他の被験者では駆動力尖鋭率と負担率の間にそれほど顕著な相関は見られない(図11)。一方、駆動期と惰走期を含めた1ストローク分全体について見てみると、いずれの被験者においても、駆動力尖鋭率が大きくなるほど負担率は小さくなる傾向が顕著である(図12)。

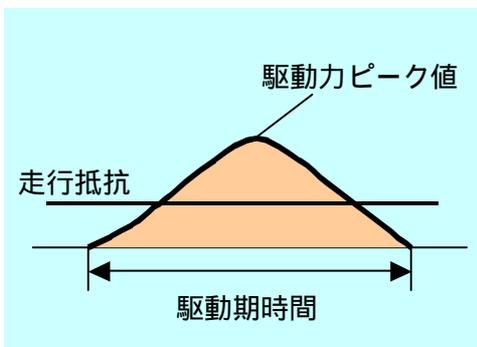
ところで、運動量は物体の速度増に寄与する。そこで、駆動期における単位運動量あたりの速度増を計算してみる。図13は勾配 1/12 における単位運動量あたり速度増の計算結果を駆動力尖鋭率に対してプロットしたものである。グラフから、同じ運動量であっても、駆動力尖鋭率が大きい方が駆動期終了時点での速度は大きくなることが示

峻される。駆動期終了時点において速度が大きいということは惰走期の走行距離が伸びることを意味し、こうしたことが結果として負担率の低下につながると言って良い。

ここで、駆動力尖鋭率と駆動期における速度増との関係について考えてみる。図 14 に駆動力と走行抵抗（勾配抵抗）の関係を概念的に示す。図 14(a)、(b)はそれぞれ速度大、速度小の駆動パターンである。また、図 14(a)および(b)の運動量（駆動力曲線と時間軸で囲まれた面積）および走行抵抗は等しいとする。また、走行抵抗は昨年度の結果⁴⁾から一定と考えて良い。



(a) 走行速度大 (speed; high)



(b) 走行速度小 (speed; low)

図 14 駆動力パターンと走行抵抗

Fig.14 Relationship between driving force and running resistance

図 14 において、駆動力曲線のうち走行抵抗より低い部分は抵抗に打ち消されてしまい、推進力として寄与するのは走行抵抗より高い部分である。したがって、同じ運動量であれば、駆動力尖鋭率が大きい方が、つまり速度を大きくする駆動パターンの方が、より多くの運動量を車いすを動かすのに使うことができる。以上のことより、縦断勾配において走行速度を大きくする方が負担率は小

さくることが説明できる。また、走行抵抗がかなり小さい場合は、走行抵抗によって打ち消される駆動力の割合は小さくなり、結果として駆動力尖鋭率の大小と有効に使える運動量との相関が小さくなる。このことは、硬い水平路面においては走行速度に関わりなく負担率がほぼ一定になることの説明になる。

4.2.2 駆動力と惰走期時間

縦断勾配路面を走行する場合、惰走期における走行特性は操作性に大きく影響する。とくに、惰走期時間がどの程度まで長くできるかは、駆動動作を余裕をもってできるか否かに関係する。そこで、1 ストローク走行実験データから、駆動力と惰走期時間の関係を見てみる。一例として、図 15 に縦断勾配 1/12 における全被験者 7 名の駆動力ピーク値と惰走期時間の関係を示す。

図 15 から明らかなように、駆動力ピーク値が大きくなれば、それに比例して惰走期時間を長くすることができる。他の勾配についても同様のパターンになることを確認している。

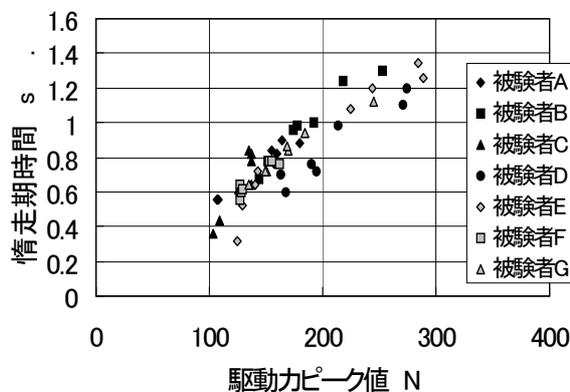


図 15 駆動力と惰走時間の関係の例
(縦断勾配 1/12)

Fig.15 Relationship between driving force peak and recovery phase time (longitudinal incline 1/12).

4.3 走行難易度評価モデルの可能性について

3.4 で述べたことから、縦断勾配路面を走行するとき、惰走期において逆走現象が起こるか否かは、走行操作の難易度を評価するための指標となる可能性がある。言い換えれば、惰走期時間長さを基にした走行難易度評価モデルが作成できる可能性がある。

4.3.1 操作余裕のスケール化

評価モデルの作成を試みるにあたり、駆動力ピーク値を車いすおよびその操作者（被験者）の全重量で正規化した値で考える。一例として、図 15 に示した惰走期時間を正規化駆動力ピーク値との関係に置き換えると図 16 を得る。

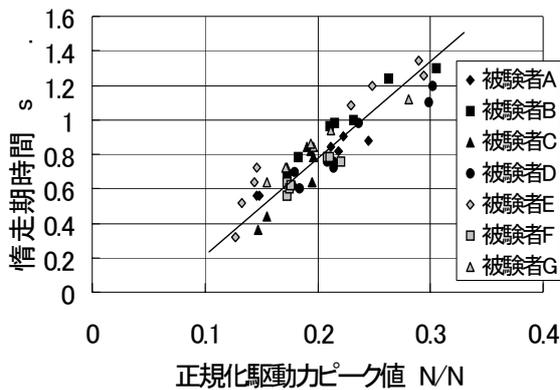


図 16 正規化駆動力ピーク値と惰走時間の関係（縦断勾配 1/12）

Fig.16 Relationship between normalized driving force peak (longitudinal incline 1/12).

図 16 の各点はほぼ直線状に分布している。正規化駆動力ピーク値と惰走期時間の関係を直線（1次方程式）で表わすことが妥当か否かを検証するために、単回帰分析を行った。その結果、実験した縦断勾配すべてについて、危険率 1% で正規化駆動力ピーク値（x）と惰走期時間（y）の関係が以下のような 1 次方程式で表せることが明らかになった。

- 勾配 1/20 ; $y = 7.356x - 0.056$ … (1)
- 勾配 1/15 ; $y = 5.583x - 0.078$ … (2)
- 勾配 1/12 ; $y = 4.779x - 0.165$ … (3)
- 勾配 1/10 ; $y = 4.388x - 0.291$ … (4)
- 勾配 1/8 ; $y = 4.014x - 0.419$ … (5)
- 勾配 1/6 ; $y = 2.672x - 0.391$ … (6)

4.3.2 走行難易度評価モデルの試作

導出した方程式(1)～(6)をグラフにまとめると図 17 のような線図（スケール）を得る。ただし、縦軸は、惰走期において逆走せずに次の駆動動作を開始するまでにどのくらい時間的余裕があるかを示すために、「惰走期時間」の代わりに「操作余裕」としている。

車いす使用者の駆動能力（駆動力ピーク値）および全重量が何らかの方法で計測できれば、その

データを基に、図 17 のスケールを使って、ある勾配の路面を走行する際に、車いすが逆走する前に次の駆動動作を行うまでにどのくらい時間的余裕があるかを推定することができる。

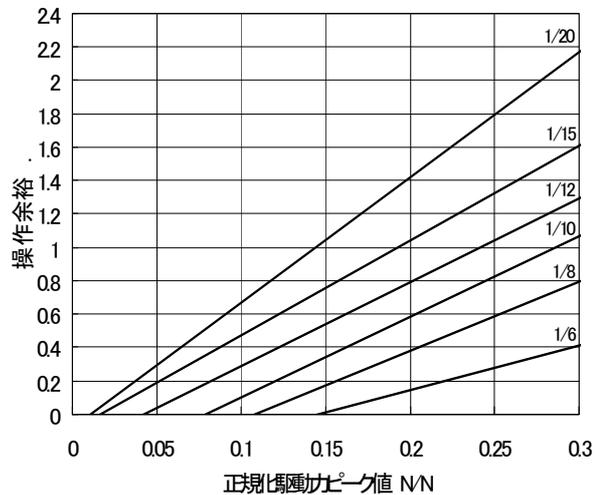


図 17 走行難易度（操作余裕）評価スケール

Fig.17 Indicator model for evaluating easiness/difficulty of operating the wheelchair on slope.

4.3.3 走行難易度評価モデルの検証

5名の頸髄損傷者によって、ハンドリム位置を変えて縦断勾配路面を実験走行したときの走行評価データ（表 1）および健常者のデータをスケール（図 17）に当てはめると図 18 を得る。

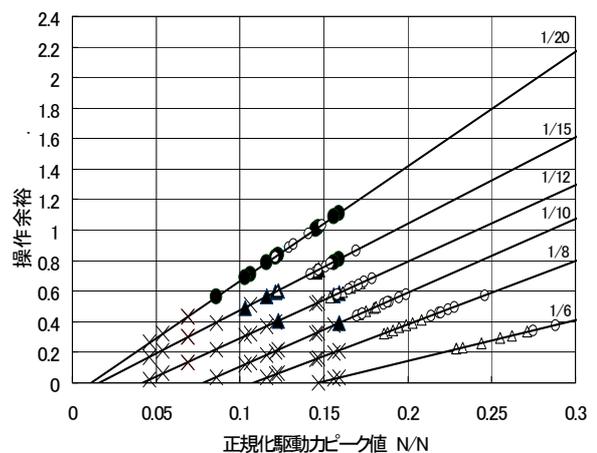


図 18 走行難易度評価スケールと実験データ

Fig.18 Relationship between experimental data and the indicator model.

頸損者のデータは大きい、 \times で示している。また、健常者の正規化駆動力ピーク値は、縦断勾配走行実験における駆動力ピーク値の平均値から求めたものであり、頸損者の正規化駆動力ピーク値は、縦断勾配走行実験とは別途に行った最大駆動力計測実験(3.1-(1))から得られたデータを処理したものである(表1参照)。また、健常者の場合は、1つの勾配につきいろいろな速度(駆動力)で7回の走行実験を行っているの、図18の逆走なし完走(小さい)および途中逆走がある完走(小さい)評価データは、正規化駆動力ピーク値が最も小さいときのものをプロットしている。健常者は全員すべての勾配についてあるいはである。一方、頸損者の場合、勾配1/8および1/6については全員が \times であり、1/20については頸損者L、およびハンドリム位置70°のときの頸損者Hを除く全員が、1/15についてはハンドリム位置100°のときの頸損者JおよびKがである。その他については、完走できてもすべてである。

次に、試作したスケールについて考察を加える。各勾配のスケールに注目すると、頸損者のデータについてと、と \times の判定が混在している部分はあるが、全体的には比較的よく分離していると言って良く、試作した走行難易度評価モデルは有効であると言える。頸損者のデータにおいて判定が混在している領域は、被験者個々人の車いす操作の巧拙に関係があるものと思われる。

今回、頸損者においては、勾配1/10を逆走しながらも完走できたのが1事例あったものの、今回の実験に限って言えば、頸損者にとって1/12より急な勾配は実用的ではないと言って良い。そして、頸損者では勾配1/12については逆走なしの完走はできていないものの、斜面距離が3m程度という条件で、作成したスケールにおいて操作余裕が0.6程度確保できる駆動能力があれば、勾配1/20、1/15、1/12を車いすで走破することは可能と判定できる(図18)。

1/12より急な勾配は、頸損者にとっては実用的ではないと考えられるが、健常者と同等の上肢機能がある胸髄損傷者の場合は、操作余裕が0.4程度確保できる駆動能力があれば1/10、1/8、1/6の縦断勾配をスムーズに上ることができると推定できる。

1ストローク走行データを基に今回作成した縦断勾配走行難易度評価モデルによって、頸損者による走行実験データから得られた走行状態が図17のスケールによって比較的明瞭に分別できた

ことから、このモデルは車いす使用者の駆動能力と対応可能勾配の関係を推定するのに利用できると言って良い。

5 研究のまとめ

本研究は、平成13年度より3ヵ年計画で行った。研究の目的を単純に「移動機器とくに車いす使用者の操作負担を可能な限り軽減する」ことに設定した。そして、操作負担の軽減を、環境が車いす走行に与える影響、車いす自体の機械的効率、使用者と車いすの適合といった3つの要因から追求した。操作負担に影響する要因を定量的に明らかにするため、計測用車いすを使った走行実験で得られた定量データを基に処理・分析するという方法を用いた。

平成13年度においては、走行環境(床材)によって車いす走行操作負担がどの程度増減するかを定量的に明らかにした。さらに、車いすの駆動輪取り付け位置によって走行効率が変化することを実験により明らかにするとともに、そのメカニズムについて考察した。

平成14年度においては、縦断勾配が車いす使用者に強いる負担を定量的に明らかにした。

また、車いす駆動輪のアライメントの不適合はかなりの操作負担増を招くことを明らかにした。さらに、車いす使用者に対するハンドリムの相対的位置を適正にすると操作性がかなり向上することが実験データによって裏付けられた。これらのことは、車いすの設計において剛性を確保することの重要性と使用者の身体条件に適合した車いすを処方することの重要性を示唆するものである。

最終年度である今年度は、縦断勾配走行実験データとハンドリム適合実験データをさらに収集するとともに、走行速度と操作性の関係について考察を加えた。縦断勾配走行時の操作負担は、車いす・使用者重量の違いがあっても正規化負担率を使えば包括的に評価できることが明らかになった。

さらに、頸損者による走行実験のビデオ映像の分析から、惰走期において逆走が生じそれが増幅することが最終的に縦断勾配を走破できなくなる大きな要因であることを明らかにした。その現象に注目して、駆動力と惰走期時間の関係の詳細を1ストローク走行実験によって分析した。そして、その分析結果を基に、車いす使用者の操作能力(駆動力)と車いす・使用者の全重量とが何らかの方法で計測できれば、縦断勾配における車いす走行の難易度を推定できる評価モデルを試作し、その

有効性を検証した。処方現場において車いす使用者の駆動能力を測る方法としては、糟谷らが段差通過時の駆動力を指標化した研究成果¹⁰⁾¹¹⁾を活用することができる。あるいは、車いすによる牽引力をばねばかりやデジタル・フォース・ゲージで簡易に計測する方法もある。

今後は、本研究で得られた実験データや知見を、現場での車いすの合理的な設計および処方、あるいは環境整備のためにより使いやすくするために、手引書のような形態にまとめることも重要である。

6 おわりに

本研究において、被験者としてご協力いただいた皆様、とくに頸損者の方々には負担の大きい実験にご協力いただき貴重な実験データを得ることができました。ここに心より感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Cooper RA., et al. Life-cycle analysis of depot versus rehabilitation manual wheelchairs. Journal of Rehabilitation Research and Development, 33-1, (1996), pp45-55
- 2) 米田郁夫他, 高齢者・障害者の移動機器の最適処方に関する研究開発(その1) - 走行環境と車輪アライメントが車いす操作に及ぼす影響の定量的評価 -, 平成13年度兵庫県立福祉のまちづくり工学研究所報告集, (2001), pp137-141
- 3) Yoneda I., et al. Quantitative evaluation and analysis of influences of floor conditions and position of rear wheels on maneuvering the manual wheelchair. Assistive Technology Shaping the Future. AAATE2003. IOS Press, (2003), pp147-151
- 4) 米田郁夫他, 高齢者・障害者の移動機器の最適処方に関する研究開発 - 手動車いすの縦断勾配における走行特性と操作性に関する定量的評価 -, 平成14年度兵庫県立福祉のまちづくり工学研究所報告集, (2002), pp137-144
- 5) 建築基準法施行令, 第二十六条
- 6) 高齢者、身体障害者頭が円滑に利用できる特定建築物の建築の促進に関する法律関係告示, 第一の二の(五) 口
- 7) 兵庫県福祉のまちづくり条例施設整備マニュアル, (2002), pp12-13
- 8) 長寿社会対応住宅設計マニュアル, 国土交通省住宅整備課, (1997)
- 9) 米田郁夫他, 片流れ路面が車いす走行に及ぼす影響, 機械学会第11回バイオエンジニアリング講演会論文集, (1999), pp344-345
- 10) 糟谷佐紀他, 段差通過時の手動車いす駆動力に関する指標化, 機械学会第3回福祉工学シンポジウム講演論文集, (2003), pp25-28
- 11) Kasuya S., et al. Study on developing the criterion of level differences for the wheelchair. Assistive Technology Shaping the Future. AAATE2003. IOS Press, (2003), pp623-627