

車椅子使用時に感じる不安に関する一考察*

山田 功^{*1}, 松島伸明^{*2}, 坂下裕矢^{*2}
 矢田拓也^{*3}, 細井盛一^{*4}
 白倉賢二^{*5}, 久田信行^{*6}

A Study on the Anxiety at Utilization of Wheelchair

Kou YAMADA^{*7}, Nobuaki MATSUSHIMA, Yuya SAKASHITA, Takuya YADA,
 Seiichi HOSOI, Kenji SHIRAKURA and Nobuyuki HISATA

^{*7} Department of Mechanical System Engineering, Faculty Engineering, Gunma University,
 1-5-1 Tenjincho, Kiryu-shi, Gunma, 376-8515 Japan

In this paper, we examine the anxiety at utilization of wheelchairs. When the human use wheelchairs, from the influence of environment, the human feel a sense of unease. In particular, when the human go up slopes using wheelchairs, the human feel a sense of unease. The sense of unease is under influence of the organ of vision and the vestibular organ. In this paper, we clarify the relation between the sense of unease and the vestibular organ, when the human go up slopes using wheelchairs.

Key Words: Human Engineering, Biomechanics, Bio-Motion, Wheelchair, Anxiety, Quality Of Life(QOL)

1. ま え が き

近年, 世界一の平均寿命, 医療技術の進歩と少子化等の情勢から, 日本はすでに高齢社会に突入しているといわれている⁽¹⁾⁽²⁾. そのため, 老化に伴う歩行障害を補ったり, 移動能力が獲得できれば様々な分野で活躍できる人のための車椅子^{(3)~(5)}の高性能化に関して高い関心を集めている^{(6)~(16)}. これらの研究は, 車椅子使用可能環境を拡大することを目的とし, 従来の車椅子が苦手とする環境, たとえば階段昇降など, においても移動可能な車椅子の開発と車椅子の使いやすさを改善する方法を検討している.

従来の車椅子が苦手とする環境においても使用可能な車椅子に関して, これまでにつぎのような研究が行われている. 従来の車椅子では階段昇降が難しいため, 階段昇降可能な車椅子の開発が行われている^{(6)~(8)}. 宮城らは, 脚・車輪式の階段昇降車椅子を開発している⁽⁷⁾⁽⁸⁾. 和田, 浅田⁽¹²⁾, 森, 中野, 高橋⁽¹³⁾, 高橋ら⁽¹⁴⁾は, 本体の向きを変えずに狭路を移動可能な車両幅可変機構を有する全方向移動車椅子を提案している. 藤井, 和田は, 電動車椅子使用者の使いやすさを定量化

する操作インピーダンスという概念を提案し, 実機の操作インピーダンスが使用者の期待するインピーダンスに一致する場合に操作性がよいと判定できることを明らかにしている⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾. 参考文献^{(6)~(15)}では, 車椅子を改良することにより車椅子の使用可能環境を拡大し, 操作性を向上する方法を検討しているが, 車椅子の使用可能環境を拡大する目的のためには, 逆のアプローチ, すなわち, どのような街づくりをすると車椅子使用者の使用可能環境を拡大できるかという研究も行われている⁽¹⁶⁾.

ところで, 車椅子使用可能環境の拡大を目的とする問題を検討する際に忘れがちなのが, 人は物ではなく, 感情を有する生き物であるということである. そのため, たとえば物理的にはなんら問題なく車椅子を使用して乗り越えられる段差であったとしても, 車椅子使用者が不安を感じ, 実際には乗り越えられない場合もある. 車椅子使用者の不安感を無視して, 車椅子を設計したり, 街づくりをすると, 本来の目的である車椅子の使用可能環境を拡大することはできない. 車椅子使用者が感じる不安は, 視覚と前庭器官(ジャイロスコープの働きをする平衡感覚を司る器官⁽¹⁷⁾)からの情報に基づいている. すなわち, 視覚と前庭器官からの情報を脳で処理し, ある刺激(以下では簡単に不安の閾値と呼ぶことにする)以上の刺激が加わることで, 車椅子使用者が不安を感じることになる. 車椅子使用者が感じる不安の閾値は, 車椅子使用者の特質,

* 原稿受付 2003年8月12日.

^{*1} 正員, 群馬大学工学部(☎376-8515 桐生市天神町1-5-1).

^{*2} 学生員, 群馬大学工学部.

^{*3} アドテックス(株)(☎370-1201 高崎市倉賀野町2454-1).

^{*4} 医療法人細井内科医院(☎376-0007 桐生市浜松町1-2-5).

^{*5} 群馬大学医学部附属病院(☎371-8511 前橋市昭和町3-39-15).

^{*6} 群馬大学教育学部(☎371-8510 前橋市荒牧町4-2).

E-mail: yamada@me.gunma-u.ac.jp

たとえばバランス感覚の善し悪し、身長、我慢強さなどによって異なるものである。車椅子使用者のどの特質が不安の閾値を決定しているのかを検討し、それらの特質から車椅子使用者の不安の閾値を推定できる方法を開発すると、車椅子使用者が不安を感じることなく使用できる車椅子を製作する基礎データが得られるので、有用である。不安の閾値は、視覚と前庭器官の共同作用⁽¹⁷⁾で決定されるため、視覚からの情報が車椅子使用者のどの特質と結びつき不安の閾値を変えるのか、また前庭器官からの情報が車椅子使用者のどの特質と結びつき不安の閾値を変えるのかを明らかにすることは難しい問題であり、これまで検討されていない。

本研究の目的は、これまで検討されていない、車椅子使用者の不安の閾値を決定している特質（要因）の抽出と、その特質から車椅子使用者の不安の閾値を推定する方法を明らかにすることである。車椅子使用者のどの特質が不安の閾値を決定しているのかを検討する際に、視覚、前庭器官が共同して作用することが問題となる。そのため、まず、車椅子使用者に目を閉じてもらうことで視覚情報を排除し、前庭器官からの情報が車椅子使用者のどの特質と結びつき不安の閾値を変化させるのかを明らかにする。つぎに、視覚と前庭器官の情報が車椅子使用者のどの特質と結びつき不安の閾値を変化させるのかを明らかにする方法を採用する。これにより、視覚情報が車椅子使用者のどの特質と結びつき不安の閾値を変化させるのかを明らかにすることができる。このとき、現在車椅子を使用していない健常者と車椅子を常用している者とは、不安を誘起する要因が異なることもありうることに注意しなければならない。そこで、この研究の第一段階として、本稿では、車椅子がスロープにある場面を想定し、スロープの傾斜角度（勾配）が原因となる不安に関して、前庭器官からの情報が車椅子使用者（現在車椅子を使用していない健常者）のどの特質と結びつき、不安の閾値が変化するかを検討する。そのために、傾斜角度を徐々に変更することができる実験装置を製作した。実験装置に被験者が乗り、傾斜角度を徐々に上昇させ、被験者が不安を感じた傾斜角度を測定する。さらに、車椅子使用者の特質をアンケート法を用いて調査する。アンケート法を用いて、車椅子使用者が不安を感じる傾斜角度が推定できるかを検討することで、前庭器官からの情報が車椅子使用者のどの特質と結びつき不安の閾値を変化させるのかを明らかにする。すなわち、本稿の方法は、前庭器官からの情報を直接測定することは困難であり、視覚情報を排除することで前庭器官からの情報のみで不安の閾値が決定されるこ

とに着目し、アンケート法を用いて間接的に前庭器官が車椅子使用者のどの特質と結びつき不安の閾値を変化させるのかを間接的に測定する方法といえる。

2. 測定方法

ここでは、前庭器官からの情報が車椅子使用者のどの特質と結びつき不安の閾値を変化させるのかを明らかにするためにに行った測定方法をまとめる。

車椅子がスロープにある場面を想定し、傾斜角度を徐々に変更することができる実験装置を製作した。製作した実験装置に被験者を乗せ、傾斜角度を徐々に上昇させ、被験者が不安を感じた傾斜角度を測定する。なお、ここで測定した、被験者が不安を感じた傾斜角度が、不安の閾値であることに注意する。別に、車椅子使用者の特質をアンケート法を用いて調査する。被験者が不安を感じた傾斜角度とアンケート結果をもとに重回帰分析を行うことで、前庭器官からの情報が車椅子使用者のどの特質と結びつき不安の閾値を変化させるのかを明らかにする。

つぎに、実験装置、測定方法、アンケート内容の詳細をまとめる。

2.1 実験装置 前庭器官からの情報が車椅子使用者のどの特質と結びつき不安の閾値を変化させるのかを明らかにするために、必要となる実験装置の概略を図1に示す。図1の実験装置は、可動性を高める

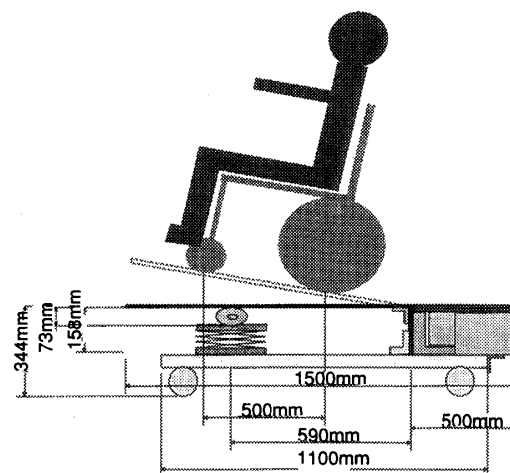


Fig. 1 Experimental device

キャストのついた台車部、ジャッキ、傾斜角度測定用のデジタルレベル、車椅子と被験者が乗る 12[mm] 厚の SS 鋼板（以下では簡単に鋼板と記述する）から構成される。台車部のキャスターとしては、測定中に移動しないようにストッパー付きのものを採用した。ジャッキは、ストローク量が 215[mm] であり、鋼板を

0[°]から最大20.02[°]まで傾斜させることができる。傾斜角度測定用のデジタルレベルとしては、精度0.05[°]のものを使用した。鋼板の上には、滑り止めのためのゴムシートを敷いた。被験者の安全性を考慮し、車椅子に車輪止めを設置し、鋼板の傾斜角度を最大にしたとしても、車椅子が滑り落ちたり、転倒しないようにした。車椅子の設置方向は、車椅子の前輪が持ち上がる方向、すなわち、図1の方向とした。被験者を変えたとしても、車椅子は、鋼板上の所定の位置にあるように設置した。

2.2 測定方法 被験者には、実験装置上に設置してある車椅子に腰を深くかけてすわり、アームレストに自然に手を乗せ、正面を向いた状態で目を閉じてもらった。ジャッキを一定速度で回転させることにより鋼版を傾けた。すなわち、鋼版を傾ける速度は、角度換算で0.45[°/s]～0.0125[°/s]とし、傾斜角度が大きくなるにつれ鋼版を傾ける速度が小さくなるようにした。被験者には、不安を感じたところで合図をもらい、その傾斜角度をデジタルレベルで計測した。

2.3 アンケート内容 車椅子使用者が感じる不安の閾値に関係していると推測される車椅子使用者の特質を列挙し、そのすべての情報をアンケートにより調査を行った。なお、アンケートの質問事項は、何回かの基礎実験に基づき、選定を行った。

使用したアンケートの質問事項を以下にまとめる。質問は、身体的情報(5項目)、今日(実験日)の体調等(2項目)、精神的情報(2項目)、運動に関する情報(4項目)、実験装置に対する印象(1項目)、実験中の緊張(1項目)の計15項目について行った。

1. 身体的情報

- 性別
- 年齢
- 身長
- 体重
- 靴のサイズ

2. 今日の体調等

- 今日の体調
- 昨晚の睡眠時間

3. 精神的情報

- 我慢強いほうか否か
- 絶叫マシン(ジェットコースターなど)の類に相当する乗り物の好き嫌い

4. 運動に関する情報

- いつ頃から自転車に乗れるようになったか
- 運動の好き嫌い
- 毎日、もしくは時々運動をしているか

- 上記の質問(「毎日、もしくは時々運動をしているか」)で、時々運動をしていると答えた方への質問

一週間に何日くらい運動をしているか

5. 装置に対する印象

- この実験装置をみて、不安を感じたか

6. 実験中の緊張

- 測定中、緊張したか

3. 測定結果とその解析

被験者は、10代～70代まで男性56人、女性28人、合計84人である。被験者が各年代に集中することのないようにしている。なお、今回測定した被験者は、全員障害がなく、測定時においては車椅子を使用していないことに注意する。

鋼版を上昇させたときに、被験者が不安を感じた傾斜角度の基礎統計量を表1に、ヒストグラムを図2にまとめる。表1、図2から、以下のことが確認さ

Table 1 The measure of central tendency

the average value	8.73
the median value	8.28
the mode	4.65
the maximum value	17.15
the minimum value	4.15
the variance	12.34
the standard deviation	3.51

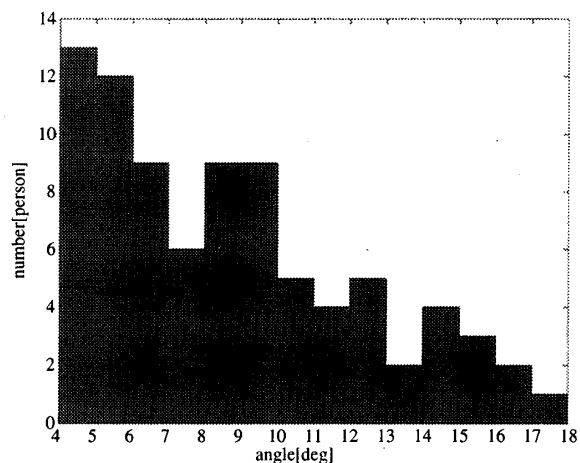


Fig. 2 Histogram

れる。

1. 被験者が不安を感じる傾斜角度は、4[°]より大きい。
2. 被験者が不安を感じる傾斜角度は、18[°]より小さい。

3. ヒストグラムは、単調ではない。すなわち、複数のピークからなる山で構成される。

なお、被験者の安全性を考慮して、車椅子に車輪止めをつけて不安感を感じる傾斜角度の測定を行ったが、車椅子が町中で実際に使用される場合には車輪止めが車椅子が動かないようにされていることはない。そこで、車椅子に車輪止めをつけずに、検証実験を行ったところ、15.7[°]以上の傾斜角度においては、上体の角度を変えても、支えがないと倒れてしまうことが判明した。15.7[°]以上の傾斜角度で不安を感じた被験者のデータは、車椅子が町中で実際に使用される場面を想定した場合には意味を持たない。そのため、15.7[°]以上の値の対象となる4人の被験者のデータは排除し、データ解析を行う必要がある。

なお、JISでは、手動車椅子で自走する場合、スロープの傾斜角度は、2.85[°]以内とされている⁽⁴⁾。JISでは、車椅子を自走する場合を考えていることに対し、図2の結果は、スロープに静止している場合を考えているという点で異なる。そのため図2の結果はJISの根拠を完全に示すことにはなっていないが、スロープに車椅子を静止させているときには、JISで定められた傾斜角度ならば、車椅子使用者が不安を感じることはないと言える。

つぎに、アンケート結果の各質問事項から、被験者が不安を感じる傾斜角度が推定できるかどうかを検討する。すなわち、実験により得られた被験者が不安を感じる傾斜角度を y 、アンケートの質問事項を説明変量 x_1, \dots, x_{15} とし、重回帰分析を用いて解析を行う。ここで、説明変量 x_1, \dots, x_{15} は、それぞれアンケートのつぎの質問事項に対応する。

x_1 :性別 (1. 男, 2. 女)

x_2 :年齢 (____ 才)

x_3 :身長 (____ cm)

x_4 :体重 (____ kg)

x_5 :靴のサイズ (____ cm)

x_6 :今日の体調 (1. 非常に悪い, 2. 悪い, 3. ふつう, 4. 良い, 5. とても良い)

x_7 :昨晚の睡眠時間 (1. 不眠, 2. 3時間くらい, 3. 6時間くらい, 4. 9時間くらい, 5. 12時間以上)

x_8 :我慢強いほうか否か (1. 我慢強くない, 2. やや我慢強くない, 3. どちらでもない, 4. やや我慢強い, 5. 我慢強い)

x_9 :絶叫マシン (ジェットコースターなど)の類に相当する乗り物の好き嫌い (1. 大好き, 2. 好き, 3. ふつう, 4. 嫌い, 5. 大嫌い)

x_{10} :運動の好き嫌い (1. 大好き, 2. 好き, 3. どちらでもない, 4. 嫌い, 5. 大嫌い)

x_{11} :いつ頃から自転車に乗れるようになったか (1. 小学校入学以前, 2. 小学校低学年 (1, 2年生), 3. 小学校中学年 (3, 4年生), 4. 小学校高学年 (5, 6年生), 5. 中学校入学以後)

x_{12} :毎日もしくは時々、運動をしているか (1. 全くしていない, 2. まれにしている, 3. 時々している, 4. 頻繁にしている, 5. 毎日している)

x_{13} :一週間に何日くらい運動をしているか (1. 1日くらい, 2. 2日くらい, 3. 3日くらい, 4. 4日くらい, 5. 6日くらい)

x_{14} :測定中、緊張したか (1. 緊張した, 2. やや緊張した, 3. どちらでもない, 4. それほど緊張しなかった, 5. 緊張しなかった)

x_{15} :この実験装置をみて、不安を感じたか (1. はい, 2. 少し不安になった, 3. いいえ)

ただし、 $x_i (i=1, \dots, 15)$ は、上記の()内の数値をとるものとする。

3.1 全範囲の一括分析 まず、図2のすべての範囲(4[°]~15.7[°])を一括して重回帰分析を行った結果を示す。重相関係数 R 、決定係数 R^2 、自由度調整済み決定係数 \hat{R}^2 を表2にまとめる。重相関係数 R 、

Table 2 Multiple regression

	R	R^2	\hat{R}^2
Coefficient	0.372	0.139	-0.077

決定係数 R^2 、自由度調整済み決定係数 \hat{R}^2 が1に近くないので、重回帰式のあてはまりが悪いことが明らかにされた。なお、上記の結果は、変数選択分析を行い、自由度調整済み決定係数が一番1に近くなるように、説明変数を選んであることに注意する。このことは、全範囲を一括して重回帰分析を行っても、不安の閾値を推定することは困難であることを意味する。被験者が感じる不安に対し、低い傾斜角度で感じる要因、高い傾斜角度で感じる要因は異なっている場合には、このように全範囲を一括して重回帰分析を行っても有用な情報は得られない。このような場合には、傾斜角度を何段階かに分割することにより、前庭器官が車椅子使用者のどの特質と結びつき不安の閾値を変化させるのかを明確にできる可能性がある。そこで、3.2では、傾斜角度を何段階かに分割して重回帰分析を行うことにより、前庭器官からの情報が車椅子使用者のどの特質と結びつき不安の閾値を変化させるのかを明らかにできるかどうかを検討する。

3.2 分割分析 試行錯誤的に解析を行うことにより、図2のヒストグラムを4段階に分割するとよい

ことが判明した。すなわち、傾斜角度を $4.0[^\circ] \sim 5.6[^\circ]$, $5.6[^\circ] \sim 8.0[^\circ]$, $8.0[^\circ] \sim 11.0[^\circ]$, $11.0[^\circ] \sim 15.7[^\circ]$ に分割すると、2.3 で述べたアンケートの質問事項から、車椅子使用者が不安を感じる傾斜角度を精度よく推定できる。

つぎに、傾斜角度を $4.0[^\circ] \sim 5.6[^\circ]$, $5.6[^\circ] \sim 8.0[^\circ]$, $8.0[^\circ] \sim 11.0[^\circ]$, $11.0[^\circ] \sim 15.7[^\circ]$ に分割すると、2.3 で述べたアンケートの質問事項から、車椅子使用時に人が不安を感じる傾斜角度が精度よく推定できるとい解析結果を示す。 $4.0[^\circ] \sim 5.6[^\circ]$, $5.6[^\circ] \sim 8.0[^\circ]$, $8.0[^\circ] \sim 11.0[^\circ]$, $11.0[^\circ] \sim 15.7[^\circ]$ に分割し重回帰式を求めると、

$$\hat{y}_1 = \sum_{i=1}^{15} b_{1,i}x_i + b_{1,0} \quad (1)$$

$$\hat{y}_2 = \sum_{i=1}^{15} b_{2,i}x_i + b_{2,0} \quad (2)$$

$$\hat{y}_3 = \sum_{i=1}^{15} b_{3,i}x_i + b_{3,0} \quad (3)$$

$$\hat{y}_4 = \sum_{i=1}^{15} b_{4,i}x_i + b_{4,0} \quad (4)$$

となる。ただし、 \hat{y}_1 , \hat{y}_2 , \hat{y}_3 , \hat{y}_4 は、それぞれ $4.0[^\circ] \sim 5.6[^\circ]$, $5.6[^\circ] \sim 8.0[^\circ]$, $8.0[^\circ] \sim 11.0[^\circ]$, $11.0[^\circ] \sim 15.7[^\circ]$ の区間における傾斜角度 y の推定値である。また、 $b_{i,j}$ ($i=1, \dots, 4; j=0, \dots, 15$) とその標準偏回帰係数は、それぞれ表 3, 表 4, 表 5, 表 6 にまとめられる。

表 7 に傾斜角度を $4.0[^\circ] \sim 5.6[^\circ]$, $5.6[^\circ] \sim 8.0[^\circ]$, $8.0[^\circ] \sim 11.0[^\circ]$, $11.0[^\circ] \sim 15.7[^\circ]$ に分割したときの重相関係数 R , 決定係数 R^2 , 自由度調整済み決定係数 \hat{R}^2 を、表 8 に回帰による変動と残差による変動に対する自由度, 検定統計量 F 値, 有意確率を示す。

表 7 から、傾斜角度を $4.0[^\circ] \sim 5.6[^\circ]$, $5.6[^\circ] \sim 8.0[^\circ]$, $8.0[^\circ] \sim 11.0[^\circ]$, $11.0[^\circ] \sim 15.7[^\circ]$ に分割したときの重相関係数 R , 決定係数 R^2 , 自由度調整済み決定係数 \hat{R}^2 はそれぞれ 1 に近い値であり、重回帰式はあてはまりが良いことが示されている。また、表 8 から、有意確率が最大でも 0.043 である。このことから、有意水準 5% 以下という基準で、求めた重回帰式 (1)~(4) 式は推定に役立つことが明らかにされた。

車椅子使用時に不安を感じる傾斜角度に関して、表 3 ~ 表 6 からわかることは、以下にまとめられる。

- (i) 男性よりも女性の方が不安を感じる傾斜角度が大きい。
- (ii) 年齢が高くなるにつれ、不安を感じる傾斜角度が大きくなる。
- (iii) 身長が高くなるにつれ、不安を感じる傾斜角度が

Table 3 The coefficient ($b_{1,i}$)

i	$b_{1,i}$	Standardized partial regression coefficient
0	2.328	
1	0.375	0.419
2	0.014	0.589
3	-0.002	-0.040
4	0.010	0.387
5	0.171	0.475
6	0.146	0.289
7	0.150	0.137
8	-0.204	-0.493
9	0.280	0.795
10	0.181	0.309
11	-0.199	-0.402
12	-0.463	-1.100
13	-0.030	-0.111
14	0.026	0.074
15	-1.078	-1.317

Table 4 The coefficient ($b_{2,i}$)

i	$b_{2,i}$	Standardized partial regression coefficient
0	2.358	
1	1.150	0.732
2	0.057	1.258
3	-0.192	-2.277
4	0.005	0.086
5	1.186	2.320
6	-0.293	-0.186
7	1.004	0.643
8	0.141	0.172
9	-0.307	-0.536
10	0.290	0.279
11	0.084	0.098
12	0.802	1.014
13	-0.765	-1.301
14	0.285	0.595
15	-0.522	-0.477

小さくなる。

- (iv) 靴のサイズが大きくなるにつれ、不安を感じる傾斜角度が大きくなる。
- (v) 睡眠時間が多いほど、不安を感じる傾斜角度が大きくなる。
- (vi) 自分自身では我慢強い方だと思っている人が、逆

Table 5 The coefficient ($b_{3,i}$)

i	$b_{3,i}$	Standardized partial regression coefficient
0	10.648	
1	-0.066	-0.035
2	0.005	0.083
3	0.067	0.647
4	-0.048	-0.671
5	-0.037	-0.067
6	0.747	0.651
7	-0.353	-0.181
8	-0.052	-0.068
9	-0.483	-0.810
10	-0.289	-0.263
11	0.218	0.235
12	-0.453	-0.528
13	0.205	0.351
14	0.043	0.061
15	-2.488	-0.582

Table 6 The coefficient ($b_{4,i}$)

i	$b_{4,i}$	Standardized partial regression coefficient
0	64.409	
1	0.086	0.029
2	-0.084	-0.932
3	-0.306	-1.591
4	-0.308	-2.156
5	1.227	1.408
6	-2.224	-1.550
7	2.108	0.752
8	-1.389	-1.243
9	-0.975	-1.165
10	-1.524	-1.305
11	1.235	0.887
12	1.904	1.699
13	-0.804	-1.059
14	0.452	0.373
15	-2.063	-1.113

Table 7 Multiple regression

Angle	R	R^2	\hat{R}^2
4.0[°] ~ 5.6[°]	0.983	0.966	0.839
5.6[°] ~ 8.0[°]	0.991	0.983	0.917
8.0[°] ~ 11.0[°]	0.961	0.924	0.761
11.0[°] ~ 15.7[°]	1.000	1.000	0.997

Table 8 Analysis of variance

	DF	F-value	Observed significance level of the test
Regression (4.0-5.6)	15	7.615	0.031
Regression (5.6-8.0)	15	15.004	0.009
Regression (8.0-11.0)	15	5.661	0.014
Regression (11.0-15.7)	15	336.658	0.043

に比較的低い傾斜角度で不安を感じる傾向にある。

- (vii) 運動時間 (x_{13}) が多いほど、不安を感じる傾斜角度が小さくなる。
- (viii) 実験時の緊張の度合いが大きいほど、小さな傾斜角度で不安を感じる。
- (ix) 実験装置を見て不安を感じた人の方が、不安を感じる傾斜角度が大きくなる傾向にある。

上記の (i), (ii), (vii) から、前庭器官の感度が高い傾向にある、年齢が低く、常日頃運動をしている人のほうが、不安を感じる傾斜角度が小さくなる。女性よりも男性の方が前庭器官の感度が高い傾向にあること、睡眠を十分にとると前庭器官の感度が高まることから、前庭器官の感度が不安の閾値と関係深いという根拠となっている。以上のことから、これら年齢、日頃の運動、性別、睡眠時間が、前庭器官の感度を高くし、不安を感じる傾斜角度に影響を与えていることが明らかにされた。また、身長が高い人ほど、不安を感じる傾斜角度が小さくなることから、測定開始前に視覚で得た情報が関係していることも明らかにされた。これは、車椅子使用者が感じる不安は、視覚と前庭器官からくるものであり、視覚の情報を無視できないということに、合致する。

つぎに、傾斜角度を 4.0[°] ~ 5.6[°], 5.6[°] ~ 8.0[°], 8.0[°] ~ 11.0[°], 11.0[°] ~ 15.7[°] に分割したとき、推定値 $\hat{y}_i (i = 1, \dots, 4)$ に大きい影響を与えている要因を検討する。表 3 の各係数 ($b_{1,i}$) に対する標準偏帰帰係数の絶対値をみることにより、4.0[°] ~ 5.6[°] においては、実験装置をみて不安を感じたか、運動をしているか、絶叫マシンの類に相当する乗り物の好き嫌い、年齢、我慢強さ、靴のサイズの影響が大きいことがわかる。5.6[°] ~ 8.0[°] においては、靴のサイズ、身長、一週間に何日くらい運動をしているか、年齢、運動をしているか、性別の影響が大きいことがわかる。

8.0[°]～11.0[°]においては、絶叫マシンの類に相当する乗り物の好き嫌い、体重、体調、身長、実験装置をみて不安を感じたか、運動をしているかの影響が大きいことがわかる。11.0[°]～15.7[°]においては、体重、運動をしているか、身長、体調、靴のサイズ、運動の好き嫌いの影響が大きいことがわかる。これらのことから、4.0[°]～5.6[°]、5.6[°]～8.0[°]、8.0[°]～11.0[°]、11.0[°]～15.7[°]のいずれも、さほど目立った特徴はみられないが、低角度(4.0[°]～8[°])においては年齢、高角度(8.0[°]～15.7[°])においては、身長、体重、体調、すべての角度において運動をしているかの影響が大きいことがわかる。不安の閾値へ影響を与える要因が低角度と高角度では異なることが、3-1で述べた全範囲を一括して重回帰分析を行っても有用な情報が得られない根拠となる。これは、傾斜角度を分割して分析してはじめて明らかになったことである。

3.3 判別方法 3-2の議論から、車椅子使用時に不安を感じる傾斜角度は、分割分析を行うことにより、4.0[°]～5.6[°]では(1)式、5.6[°]～8.0[°]では(2)式、8.0[°]～11.0[°]では(3)式、11.0[°]～15.7[°]では(4)式で求められることが明らかにされた。すなわち、車椅子使用者が4.0[°]～5.6[°]、5.6[°]～8.0[°]、8.0[°]～11.0[°]、11.0[°]～15.7[°]のいずれの傾斜角度付近で不安を感じるかが事前に判明しているならば、(1)～(4)式を用いて、不安を感じる傾斜角度が高い精度で推定できる。しかし、車椅子使用者が4.0[°]～5.6[°]、5.6[°]～8.0[°]、8.0[°]～11.0[°]、11.0[°]～15.7[°]のいずれの範囲で不安を感じるかが既知であるというのは、実際的ではない。(1)～(4)式のいずれの式を用いて、車椅子使用時に不安を感じる傾斜角度を推定できるのかを、2.で述べたアンケートに基づき判定できる方が実際的である。そこで、つぎに、2.で述べたアンケートと判別分析法を援用して、(1)～(4)式のいずれの式を用いて車椅子使用時に不安を感じる傾斜角度を推定できるのかを検討する。

まず、線形判別法を援用し、つぎのアルゴリズム1を用いて、4.0[°]～5.6[°]、5.6[°]～8.0[°]、8.0[°]～11.0[°]、11.0[°]～15.7[°]のいずれの範囲で不安を感じるのかを判定できるか否かを検討した。

アルゴリズム 1

- Step 1) 区間 4.0[°]～11.0[°] と区間 11.0[°]～15.7[°] に不安を感じる被験者を線形判別法を用いて判別
 Step 2) 区間 4.0[°]～8.0[°] と区間 8.0[°]～11.0[°] に不安を感じる被験者を線形判別法を用いて判別
 Step 3) 区間 4.0[°]～5.6[°] と区間 5.6[°]～8.0[°] に不安を感じる被験者を線形判別法を用いて判別

上記のアルゴリズムにより得られた線形判別関数は、

$$z_1 = \sum_{i=1}^{15} w_{1,i}x_i + w_{1,0} \quad (5)$$

$$z_2 = \sum_{i=1}^{15} w_{2,i}x_i + w_{2,0} \quad (6)$$

$$z_3 = \sum_{i=1}^{15} w_{3,i}x_i + w_{3,0} \quad (7)$$

である。ただし、 z_1 、 z_2 、 z_3 はそれぞれ、区間 4.0[°]～11.0[°] と区間 11.0[°]～15.7[°] に判別、区間 4.0[°]～8.0[°] と区間 8.0[°]～11.0[°] に判別、区間 4.0[°]～5.6[°] と区間 5.6[°]～8.0[°] に判別する判別得点を意味し、 z_1 が正の時に区間 4.0[°]～11.0[°]、負の時に区間 11.0[°]～15.7[°]、 z_2 が正の時に区間 4.0[°]～8.0[°]、負の時に区間 8.0[°]～11.0[°]、 z_3 が正の時に区間 4.0[°]～5.6[°]、負の時に区間 5.6[°]～8.0[°] に判別されることを意味する。また、(5)、(6)、(7)式の $w_{i,j}$ ($i=1,2,3; j=0, \dots, 15$) は、参考文献⁽²¹⁾⁽²²⁾などに記述されている線形判別法で求められ、表 9 にまとめられる。上記の

Table 9 The coefficient of linear discriminant function

i	$w_{1,i}$	$w_{2,i}$	$w_{3,i}$
0	-12.2146	-9.8706	-15.9319
1	0.5278	0.5753	1.6127
2	0.0140	0.0233	0.0379
3	0.0445	-0.0200	-0.0607
4	0.0014	0.0131	-0.0275
5	0.1461	0.4812	0.8888
6	0.1330	0.0232	0.3742
7	0.0432	1.0390	0.3384
8	-0.1065	0.0476	0.1963
9	0.1113	-0.0955	-0.0815
10	0.4002	-0.8944	1.0133
11	0.3334	0.1093	-0.8128
12	0.1770	0.0569	-0.2906
13	0.2977	-0.0901	0.3758
14	-0.0386	-0.0560	-0.3145
15	-1.1427	-0.9299	0.1118

アルゴリズム 1 を用いたときの正答率を表 10 に示す。表 10 から、正答率は 70[%] 程度とそれほど高いとは

Table 10 Correct discrimination of Algorithm 1

	Correct discrimination[%]
Step 1)	73.8
Step 2)	70.8
Step 3)	68.4

いえ、アルゴリズム 1 を用いた判別方法は、信頼性に欠けるという問題点が残る。

そこで、3.2で述べた推定式((1)~(4)式)とアルゴリズム1を融合することで、正答率を上げることを考える。すなわち、たとえば、アルゴリズム1のStep1)を実行し、区間11.0[°]~15.7[°]に誤って判別された時に、(4)式の推定値が11.0[°]~15.7[°]の値とならないならば、区間11.0[°]~15.7[°]と判定されたことが誤りであると判断し、区間4.0[°]~11.0[°]に含まれるデータとして、再度Step2)で判別分析を行う方法を採用する。このアイデアを用いると、アルゴリズム1は、つぎのアルゴリズム2に書き直される。

アルゴリズム2

- Step 1) 区間4.0[°]~11.0[°]と区間11.0[°]~15.7[°]に不安を感じる被験者を線形判別法を用いて判別。区間11.0[°]~15.7[°]と判定されたデータの推定値 \hat{y}_4 を(4)式で計算し、 \hat{y}_4 が11.0[°]~15.7[°]の範囲内に入っていない場合には、そのデータを区間4.0[°]~11.0[°]に含まれるものとして、つぎのステップへ。
- Step 2) 区間4.0[°]~8.0[°]と区間8.0[°]~11.0[°]に不安を感じる被験者を線形判別法を用いて判別。区間8.0[°]~11.0[°]と判定されたデータの推定値 \hat{y}_3 を(3)式で計算し、 \hat{y}_3 が8.0[°]~11.0[°]の範囲内に入っていない場合には、そのデータを区間4.0[°]~8.0[°]に含まれるものとして、つぎのステップへ。
- Step 3) 区間4.0[°]~5.6[°]と区間5.6[°]~8.0[°]に不安を感じる被験者を線形判別法を用いて判別。区間5.6[°]~8.0[°]と判定されたデータの推定値 \hat{y}_2 を(2)式で計算し、 \hat{y}_2 が5.6[°]~8.0[°]の範囲内に入っていない場合には、そのデータを区間4.0[°]~5.6[°]に含まれるものとする。

上記のアルゴリズム2を用いたときの正答率を表11に示す。アルゴリズム2を用いると、すべてのステッ

Table 11 Correct discrimination of Algorithm 2

	Correct discrimination[%]
Step 1)	88.8
Step 2)	92.1
Step 3)	87.9

プにおいて正答率が90[%]程度と高い精度で判別分析が行え、信頼性が高いことがわかる。また、検証を行ったところ、アルゴリズム2を用いたときには、誤判定であったすべての被験者において、不安を感じる傾斜角度が低く見積られる判別が行われていることが明らかにされた。これは、不安を感じることなく使用できる車椅子を製作する基礎データを求める際に、

このアルゴリズム2が有用であることを意味する。すなわち、車椅子使用者がスロープで車椅子を使用する場合、アルゴリズム2を用いて、どの程度の傾斜角で車椅子使用者が不安を感じるかを推定することができるので、アルゴリズム2で求めた不安を感じる傾斜角以上の傾斜角にならないような調整機能を具備した車椅子を製作することにより、不安を感じることなく使用できる車椅子を製作することができる。

4. 推定アルゴリズム

ここでは、本稿で述べた車椅子使用者が、不安を感じる角度を推定するためのアルゴリズムを簡単にまとめる。

- 2.3で述べたアンケート調査を行う。
- アルゴリズム2を用いて判別分析を行う。
- 推定値を(1)~(4)式を用いて求める。

5. あとがき

本稿では、車椅子使用可能環境を拡大するため、車椅子使用者の不安の閾値を決定している特質(要因)の抽出と、その特質から車椅子使用者の不安の閾値を推定する方法を明らかにする研究の第一段階として、車椅子がスロープにある場面を想定し、スロープの傾斜角度が原因となる不安に関して、前庭器官からの情報が車椅子使用者のどの特質と結びつき不安の閾値が変化するのかを検討した。男女別、睡眠時間、年齢、日頃運動しているかという、前庭器官の感度を鋭敏にする要素が影響し、特に低角度(4.0[°]~8[°])においては年齢、高角度(8.0[°]~15.7[°])においては身長、体重、体調、すべての角度において運動をしているかの影響が大きいことを明らかにした。また、アンケート法を用いると、比較的高い精度で、車椅子使用者が不安を感じる傾斜角度が推定できることを明らかにした。なお、本稿では車椅子を後方に傾斜させる方向のみ議論したが、他の方向に関しては、新たな議論をする必要があり、稿をあらためて検討することにした。また、前庭器官の感度をいかに定量化するかなどは、工学的な応用の観点からも必要であり、今後の研究課題としたい。

末筆ながら、忙しい中実験に協力をいただいた群馬大学の教職員、筆頭著者の研究室の学生諸君に感謝する。また、重要なご指摘をいただきました査読委員に深く感謝する。なお、本研究の一部は日本証券財団の援助を受けた。ここに記し感謝の意を表したい。

文 献

- (1) 内閣府編, 平成15年版高齢社会白書, ぎょうせい, (2003)
- (2) 手嶋, 高齢者用福祉ロボットの現状と将来, 精密工学会誌, Vol.65, No.4, (1999), pp.507-511
- (3) 松原, 移動補助具 杖・松葉杖・歩行器・車椅子, 金原出版株式会社, (2000)
- (4) 日本工業標準調査会, JIS-T9201. 手動車いす, 日本規格協会, (1998)
- (5) 日本工業標準調査会, JIS-T9203. 電動車いす, 日本規格協会, (1998)
- (6) 米田, 舟久保, 車椅子・歩行介助装置の現状と課題, 日本ロボット学会誌, Vol.11, No.5, (1993), pp.644-648
- (7) 宮城ほか, 階段昇降可能な介助用移動車の開発に関する研究(第1報)プロトタイプの開発, 1990年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, (1990), pp.565
- (8) 宮城, 内田, 米田, 小山, 舟久保, 脚・車輪式による階段昇降可能な車椅子の開発(第2報)-画像による階段計測システムを用いた自動階段昇降実験-, 精密工学会誌, Vol.64, No.6, (1998), pp.840-844
- (9) 竹内, 白石, 車椅子の走行制御に関する研究, 精密工学会誌, Vol.65, No.7, (2000), pp.1030-1034
- (10) 藤井, 和田, 乗り手にやさしい電動車椅子の実現に関する研究, 日本機械学会論文集(C編), Vol.66, No.645, (2000), pp.1645-1651
- (11) 藤井, 和田, ユーザの扱いやすさを考慮した電動車椅子制御系の構築-システム行列の区間変動下における制御性能を考慮した設計-, 日本ロボット学会誌, Vol.19, No.6, (2001), pp.760-765
- (12) 和田, 浅田, 車両幅可変機構を有する全方向移動車の設計とその車椅子への応用, 日本ロボット学会誌, Vol.16, No.6, (1998), pp.816-823
- (13) 森, 中野, 高橋, 全方向移動ロボット ODV9の基本原則と小段差乗り越えについて, Vol.18, No.1, (2000), pp.150-157
- (14) 高橋, 横田, 王, 森, 中野, 車両幅可変型全方向移動ロボットの機構と制御, 日本ロボット学会誌, Vol.19, No.5, (2001), pp.638-645
- (15) 飯塚, 牧野, 電動車椅子の高機能化に関する研究, 日本設計工業会 2001年度秋期研究発表講演会, (2001), pp.123-126
- (16) 藤井, 車いす使用者のための街づくり, 総合リハビリテーション, Vol.23, No.2, (1995), pp.105-109
- (17) B.Engstrom (訳 高橋, 中村, 光野), からだにやさしい車椅子のすすめ 車椅子ハンドブック, 三輪書店, (1994)
- (18) 土屋, 日常生活活動(動作)-評価と訓練の実際-, 医歯薬出版, (1997)
- (19) 木村, 生活環境論, 医歯薬出版, (1997)
- (20) 野村, バリア・フリーの生活環境論, 医歯薬出版, (1992)
- (21) 松原, 統計の考え方, 放送大学教育振興会, (2000)
- (22) 石井, 上田, 前田, 村瀬, パターン認識, オーム社, (1998)