

ハンドル形電動車いすの単独事故発生防止における急停車の搭乗者への負担調査*

Load from Sudden stop of Mobility Scooter for Preventing from falling down*

森本恭行** ・猪井博登*** ・石橋達勇**** ・西岡基夫*****

Yasuyuki MORIMOTO** ・Hiroto INOI*** ・Tatsuo ISHIBASHI**** ・Moto NISHIOKA*****

1. 研究の背景および目的

(1) 電動車いすの普及と事故の増加

移動制約者が自由な日常生活を過ごすためには、自由な移動を達成する必要がある。本研究では、その移動手段として、本研究では電動車いすを取り上げる。電動車いすはダイヤや他者の都合を気にすることなく移動でき、補装具費支給制度、介護保険制度による利用費用の減額補助もあり、ハンドル形電動車いすを中心として、利用が増加している。しかし、利用の増加に比例して電動車いすの単独事故・交通事故共に増加している。単独事故に注目すると、独立法人製品評価技術基盤機構¹⁾に寄せられた96件の電動車いすの自損事故を含む製品事故によれば、約半数が転落・転倒を原因として死亡・重症という重大な結果をもたらしていることがわかる。よって、移動できる環境を実現するため、電動車いす利用者の安全な移動を確保するためにも、これら重大な単独事故の発生を防ぐ手段が必要である。

(2) 安全対策の現状とその問題点

本節では、単独事故発生に対する安全対策をレビューする。車体側の安全対策として、アクセルを強く握ることにより起動する緊急停止機能や手動ブレーキが搭載されている。しかし、搭乗者が危険を感知し、操作しなければならぬため、搭乗者が危険を見逃した場合や操作ミスをした場合は停車による危険回避を行うことができない。一方、インフラの整備による安全対策として危険地帯への侵入禁止柵等が設けられている箇所もある。しかし、インフラの整備による安全対策の問題点として、階段のように車いすにとって危険な場所だとしても、歩

行者の通行を考えれば柵等で侵入禁止にすることができないなど場所の性質に左右される。これら車体側、インフラ側の安全対策の欠点を補う安全対策が必要である。そして、それぞれの安全対策の欠点を考えれば、搭乗者が危険を認識していなくても自動で危険を回避し、場所の性質上から進入禁止にすることができない場所でも設置させることができる機能・安全対策が必要である。

以下、電動車いすの中でもハンドル形電動車いすがシェアの多くを占めていること、事故の多くがハンドル形電動車いすによるものであることにより、本研究ではハンドル形電動車いすに注目する。

(3) 研究の目的

本研究では、危険な場所に必要以上に近づいた際、ハンドル形電動車いすを自動で急停車させることで安全を確保できるシステムを提案する。このシステムを採用すれば危険を回避することで事故の発生を防ぐことができ、安全性は向上する。しかし、安全性が向上する一方で、急停車の発生により身体的・精神的負担が発生する。先に述べたように現在も重大な単独事故が発生しているため、本研究では、安全対策システムを実装した際、もっとも安全側に設定し、安全対策システムによって発生する負担や大きな乗り心地の悪化を無視することはできないと考える。よって急停車による身体的・精神的負担を調査し、また、急停車の実装方法による負担の軽減策を検討する。

もっとも安全側として、タイヤをロックし、ハンドル形電動車いすを停止させる状態（以降：急停車）を設定する。なお、ABSの実装なども考えられるが、速度が最大6kmと制限されていること、発生する減速度に対して、ハンドル形電動車いすの自重が重いこと、ハンドル形電動車いすのタイヤが比較的幅の広いものを用いており、接地面が大きいこと。これらにより得られる摩擦力が大きいため、タイヤをロックすることとABSによって得られる減速は大きく差がないと考え、タイヤのロックをもって、もっとも安全側と設定した。

よって本研究の目的は以下の2つとする。

A ハンドル形電動車いすを強制的に急停車させることによる負担を測定する

*キーワード：交通安全、地区交通計画、意識調査分析
バリアフリー

**正員、修(工)、東京急行電鉄(株)

***正員、博(工)、大阪大学大学院工学研究科
(大阪府吹田市山田丘2-1

TEL06-6879-7610、FAX06-6879-7612)

****正員、博(芸術工学)、北翔大学人間福祉学部
生活福祉学科

*****非会員、修(工)、大阪市立大学大学院
生活科学研究科

B ハンドル形電動車いす運転者にとって負担の少ない急停車の行い方を検討する

急停車によって生じた身体的・精神的負担をストレス刺激としてとらえる。ストレスを計測する指標として、本研究では心拍変動から得られる交感神経活動指標と心理学的主観指標である STAI を採用する。

交感神経活動指標と STAI から求めたストレスの結果は、ストレスの大きさを数値として表わすことができても、数値自体でストレスを与えた事象の善し悪しを評価できない。よって、急停車による搭乗者へのストレスに加えて、「ハンドル形電動車いすを利用する中で遭遇することはやむを得ない危険」・「ハンドル形電動車いす利用者が一度は経験すると考えられる程度の危険」から搭乗者に与えられるストレスの大きさも同時に計測する。そして、それらの事象によるストレスと急停車によるストレスを比較することにより、急停車によるストレス＝身体的・精神的負担の程度を測ることで目的 A を達成する。また、目的 B の内容として、急停車を行うにしても事前に停車することを搭乗者に警告音により予告することの優位性を検証する。ハンドル形電動車いすの最高速度から考えれば、警告音の停車予告を行うことにより搭乗者にストレスを与えるよりも、予告なく急停車することのほうが搭乗者にとって負担が小さい可能性がある。よって、目的 B を達成するために、予告なく急停車を行う場合と警告音による予告がある場合の負担を比べる。

2. 測定指標について

(1) 交感神経活動指標

心電波形のピークは、心室の収縮期を示し、R 波と呼ぶ。R 波の発生時刻を心臓の拍動時刻とし、次の R 波との間隔である心臓の拍動間隔を RR 間隔と呼ぶ。この RR 間隔を拍動順に表示した際の波形の乱れが発生する。この RR 間隔の揺らぎを心拍変動と呼ぶ²⁾。心拍変動は、心臓疾患、加齢やストレスなどによってその特徴を変化させる。心拍変動を分析する際に利用される指標として交感神経活動指標(LF/HF)がある。揺らぎの発生している RR 間隔の時系列データを周波数解析することで心拍変動のスペクトルをもとめると、その結果として 0.04～0.15Hz の低周波数域(LF)と 0.15～の高周波数域(HF)に特徴が現れる³⁾。LF は動脈血圧受容器反射によって生じる Mayer 波と呼ばれるもので、主に交感神経の影響を受けているものとされる。対して、HF は呼吸性不整脈(RSA)と呼ばれ、副交感神経の影響のみを受けるとされている³⁾。ストレスを受けることにより交感神経は刺激され、交感神経に影響を受ける LF は増加し、副交感神経の活動が弱まることで副交感神経に影響を受ける HF は減少する。つまりストレスを受けることによって

交感神経活動指標 LF/HF は増加することになる。

(2) STAI

新版 STAI マニュアル⁴⁾によると、STAI アンケート調査とはスピルバーガーにより体系づけられた状態不安と特性不安を各 20 項目の質問から測るアンケート調査である。状態不安とは不安を喚起する事象に対する一過性の状況反応であってその都度変化し、身体的危機や心理的ストレスに応じて上昇する。また、特性不安は脅威を与える様々な状況を同じように知覚し、その状況に対して同じように反応する傾向を現し、不安傾向に比較的安定した個人差を示す。

状態不安尺度測定では、「どのように感じているか」と言ったことを調査するのみならず、「ごく最近のある瞬間にどのように感じたのか」と言ったことを調査する際や、将来直面する可能性がある特定の場面でのどのように感じるかを予期する際にも利用できる。そこで、本研究では状態不安の計測を行いストレスの程度を測る。状態不安を測るための 20 項目はさらに 10 項目の不安存在項目(P 項目)と 10 項目の不安不在項目(A 項目)からなる。P 項目とは、例えば「イライラしている」の様にストレスに関する感情を問う項目であり、逆に A 項目は「おだやかな気持である」のようにリラックスに関する感情を問う項目である。これら P 項目と A 項目それぞれに対して現在の状況やある特定の場面における状況に対する感情を 4 段階で回答し、得点を導く。得点が大きいほどストレスが大きいと判断できる。

3. 実験

(1) 比較する事象の設定

急停車によるストレスを「ハンドル形電動車いすを利用する中で遭遇することはやむを得ない危険」・「ハンドル形電動車いす利用者が一度は経験すると考えられる程度の危険」両者から受けるストレスと比較し、急停車によるストレスの程度を測る。

ハンドル形電動車いす利用者にヒアリングを行い、「ハンドル形電動車いすを利用する中で遭遇することはやむを得ない危険」について調査を行った。その結果、「ハンドル形電動車いすを利用する中で遭遇することはやむを得ない危険」として、「自転車による不意の追い抜き」を設定した。また、「ハンドル形電動車いす利用者が一度は経験すると考えられる程度の危険」としては怪我の発生がない程度の接触事故を想定する。この接触事故を実験内では、投擲されたボールを車体に接触させることにより再現する。また、ストレス刺激となる事象＝イベントを起こさない「イベント無」も設定した。さらに急停車の実装方法として、事前に停車を予告することの有

効性を検証する。そのため、「警告音による予告後の停車」も比較実験として加えた。以上から実験では、ハンドル形電動車いすを走行として、①「予告なしの単純停車」②「予告ありの予告停車」③「自転車による不意の追い抜き」④「ボールの接触」⑤「イベント無」の5種類の走行パターンを発生させ、その際のストレスの差から急停車させることのストレスの程度を測る。

(2) 急停車の実装

ハンドル形電動車いすとして、カワムラサイクル社 KE-31-NP を使用する。この機種では、電動・手動の切り替えスイッチがついており、手動に入力することで、モーターブレーキが掛かり、急停車が実現される。本実験では、この切り替えスイッチに有線を接続し、離れた位置より、切り替えスイッチを短絡した。

(2) 実験概要

実験日 : 12月10日、14日、15日、17日、21日、1月14日

実験時間 : 9:00~12:30 (3時間30分)

使用機材 : カワムラサイクル社 KE-31-NP

被験者数 : 12名 但し、心拍計測機・PCの不調より心拍データは7人分

被験者は健常者である21歳~26歳の大学生男子を採用した。

実験会場 : 室内 床面板張り

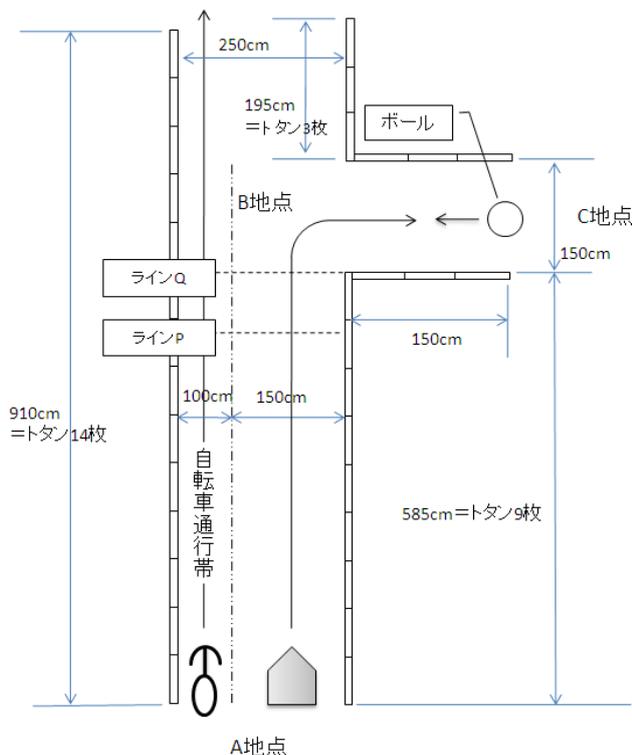


図1 コース概要図

実験ではコースを設定し、被験者がハンドル形電動車いすでコースを運転する。その際、5種類の走行パターンをランダムに発生させる。走行ごとに、ハンドル形電動車いす利用者の心拍計測を行う。加えて、STAI 調査を行う。コースは波板トタンを壁面として並べることにより作成した。コースの概要図を図1に示す。心拍計測装置はデイリーケアバイオメディカル社製 Check My Heart を使用した。

(4) 実験の流れ

- スタート地点であるA地点において、被験者のハンドル形電動車いす搭乗後に被験者に心拍計測機器を装着する
- スタートの合図と共に被験者はA地点から車いすを発進させ、B地点での右折を経て、C地点を目指す
- 走行において、5種類の走行パターンのうち、ランダムで1つを発生させる。イベントを起こすタイミングは以下の様にする
 - 「単純停車」: ハンドル形電動車いすがカーブで曲がり始めたタイミングで停車させる
 - 「予告停車」: 図1におけるラインPをハンドル形電動車いすの後輪が踏むと同時に警告音を鳴らし、続いて後輪がラインQを踏むと同時に急停車させる。ラインPとラインQの間隔は1mで設定する。
 - 「自転車の追い抜き」: ハンドル形電動車いすがカーブを曲がり始めるタイミングで追い抜くようにする
 - 「ボールの接触」: 出会いがしらの接触になるように、ハンドル形電動車いすが地点Cから確認でき次第に地点Cから投擲。接触箇所はフロントバンパー部分で統一する
 - 「イベント無」: 何も発生させず、地点Cまで到達させる
 イベント①~⑤が起こった場合すぐさま停車し、停車後2分間の心拍計測を行う。イベント無の場合はC地点で停車後、2分間の心拍計測を行う。
- 心拍計測後にSTAI アンケート調査を回答させる

1つの走行パターンにつき3回の走行を行う。つまり、1人当たり5種類の走行パターン×3回走行=15回の走行となる。15の走行終了後にヒアリング調査を実施し、以下の2点を聴取した。

- 4種類のイベントのうち、ストレスを最も感じたイベントと2番目に感じたイベントを理由とともに聴取
- 「単純停車」と「予告停車」を比べた際の、急停車時における精神的・肉体的な対応の違い

4. 実験結果

(1) 交感神経活動指標の分析結果

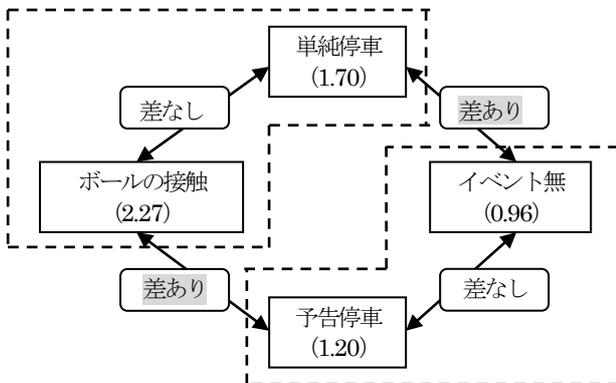
5種類の走行パターンの交感神経活動指標において、t検定を行い、走行パターン間で受けたストレスの大きさに有意差があるか分析した。結果を表1に示す。有意差を確認できた組み合わせの欄には○を付した。有意水準は5%とした。

表1 各走行パターン間の独立性検定

	単純停車	予告停車	自転車追い抜き	ボールの接触	イベント無
単純停車	-	×	×	×	○
予告停車	-	-	×	○	×
自転車追い抜き	-	-	-	×	×
ボールの接触	-	-	-	-	○
イベント無	-	-	-	-	-

t検定結果によれば、「単純停車」と「ボールの接触」、「自転車追い抜き」との間にそれぞれ有意差を確認することができなかった。また、「単純停車」「予告停車」「ボールの接触」「イベント無」の結果に注目すると、図2のように関係を表すことができる。

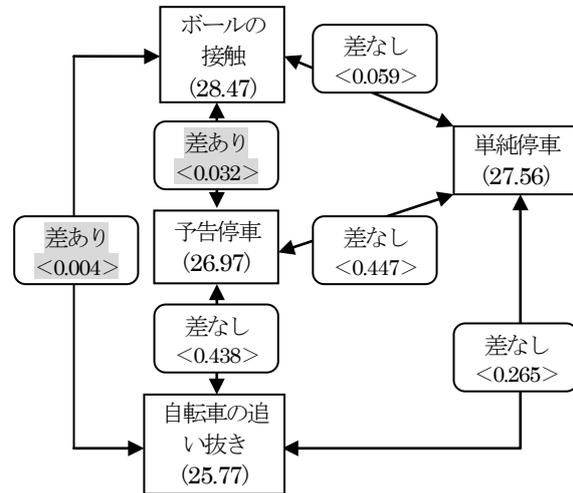
その結果点線枠の形でグループ分けすることができ、「単純停車」によるストレスの程度は最もストレスが大きく出た「ボールの接触」と近いものがあり、「予告停車」によるストレスはストレス刺激の無い「イベント無」に近いものがあると考えられる。これら結果から、危険を回避するために急停車したとしても、その負担はハンドル形電動車いす利用者が日常的に体験する危険の程度と同程度であり、その停車を事前に予告することでハンドル形電動車いす利用者の負担を大きく軽減することができることと解釈できる。そしてその軽減された負担の大きさとしては、何もストレス刺激が発生しない平常時レベルまで下げることができる可能性があることを示している。



括弧内は交感神経活動指標のスコアの平均値
図2 t検定から求められる関係図

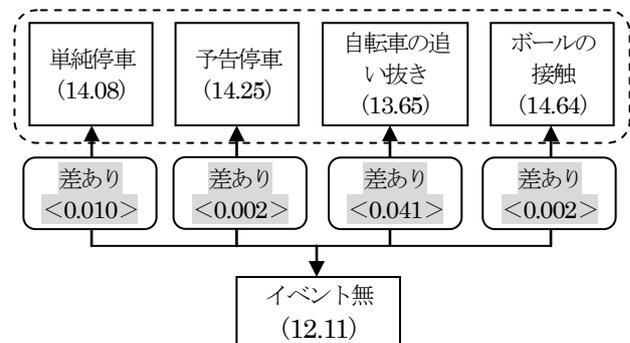
(2) STAI 調査結果

STAIのA項目、P項目それぞれのスコアにおいて、交感神経活動指標と同様にt検定を用いて各走行パターン間に発生したストレスの大きさに有意差があるか分析した。結果を以下に関係図として示す。



4つのイベントと「イベント無」との間には有意差を確認 ()内はSTAIスコアの平均値 < >内は有意確率

図3 各走行パターン間の関係図 (A項目)



()内はSTAIスコアの平均値 < >内は有意確率

図4 各走行パターン間の関係図 (P項目)

図3、図4によれば、P項目、A項目共に4つのイベントと「イベント無」間では有意差を確認できる。このことから、イベントが発生することによりストレスに関する感情の発生とリラックスに関する感情の減少という形でストレスが発生していることが分かる。また、A項目では「単純停車」と「ボールの接触」の間には有意差がないのに対して、「予告停車」と「ボールの接触」の間に有意差が見られる。この点から、急停車によるストレ

ス発生とリラックス感情の減少のうち、警告音により停車を予告することでリラックスに関する感情の減少を防いでいると考えられる。

(2) アンケート調査結果

実験後、被験者へのヒアリングを実施し、4種類のイベントのうち、ストレスを最も感じたイベントと2番目に感じたイベントとその理由について質問した。表2に示した。さらに、単純停車をストレスを受けたイベントとして回答した理由を表3に、ボールへの接触を回答した理由を表4に示した。

表2 ストレスを受けたイベントに関するヒアリング

ストレス順位	1番目	2番目
単純停車	5	6
予告停車	0	1
自転車追い抜き	1	0
ボール接触	6	5

全回答者数：12名

表3 単純停車を挙げた理由

	精神的負担	身体的負担
回答者数	9名/11名	5名/11名

表4 ボールへの接触を挙げた理由

	精神的負担	身体的負担
回答者数	7名/11名	7名/11名

また、「単純停車」と「予告停車」を比べた際の急停車時における精神的・肉体的な対応の違いについてヒアリングを行った。その結果、精神的な対応の違いとして、12名中10名が急停車に対して予告があることにより、パニックになることなく停車に対して心構えることができたとして回答した。肉体的な対応の違いとして、12名中6名が、予告があったことにより、急停車に対して身構える・ハンドルを強く握る・減速するなどの対応をとることができたと回答した。

表2によると、ストレスを感じたイベントとして「単純停車」と「ボールの接触」がほぼ同程度で多く回答された。そして表3、4によれば、「ボールの接触」の理由として精神的面と身体的面がほぼ同程度回答されているのに対して、「単純停車」は精神的面を理由としている回答が多かった。また精神的、肉体的な対応についてのヒアリングへの回答によれば、予告停車の効果としては精神的面の効果が多くみられることが分かった。この

ことにより、事前に急停車を警告音で予告することの利点は、単純に停車した際に主に発生する精神的な負担・ストレスを軽減できることにあると言える。

5. まとめ

「単純停車」と「ボールの接触」それぞれから発生するストレスは、交感神経活動指標・STAI・ヒアリング調査すべてで同程度とされた。また「単純停車」と「自転車の追い抜き」との差は交感神経活動指標、STAIで同程度とされた。これらより、危険を回避するために急停車を行ったとしてもそれはハンドル形電動自転車利用者が日常的に体験する危険による負担と同程度であり、問題とされるレベルではないと判断できることがわかった。また交感神経活動指標の分析結果では、「予告停車」と「イベント無」が同程度であった。このことから、急停車の際に事前に予告することで、急停車による負担の発生はハンドル形電動自転車を運転する平常の時と差がない程度に抑えることができる可能性があることが分かった。そしてその警告音の予告による効果は、予告なしに停車を行う際に発生するハンドル形電動自転車利用者の精神的な負担を軽減することによるものであると考えられた。そしてその効果はリラックスに関する感情の維持として現れると考えられる。

なお、本論文は科学研究費補助金 基盤(B) (20360231) 「生活機能を考慮した地域福祉交通システムの構築方法に関する研究」(研究代表者：新田保次)による研究結果をもととしていることを記し、謝意を表します。

参考文献

- 1) 独立法人製品評価技術基盤機構：ハンドル形電動自転車の安全性調査結果についての報告書
<http://www.nite.go.jp/jiko/press/080328/pdfindex.html>
- 2) 大阪大学臨床医工学融合研究教育センター
<http://www3.bpe.es.osaka-u.ac.jp/~nakamura/index.html>
- 3) 日本自律神経学会：「自律神経機能検査」第4版 項164～168 2007.7.1
- 4) 実務教育出版：「新版 STAI マニュアル」