

高齢者の安全な移動を目指したハンドル形電動車いすの運転特性の把握

Operation Performance of a Handle Type Electric Wheelchair for Safe Mobility of Older Persons

○ 小竹元基（東大院） 井上正太郎（東大院） 藤田浩徳（東大院）

鎌田実（東大 高齢社会総合研究機構）

Motoki SHINO, Shotaro INOUE, Hironori FUJITA, Minoru KAMATA, The University of Tokyo

Key Words: Safety, Older person, Driving Behavior, Driving ability, Handle Type Electric Wheelchair

1. はじめに

高齢社会の進展のもと、高齢者の QOL 向上のための移動手段として電動車いすが普及しているが、それに伴い電動車いすに関わる事故は増加傾向にある。本研究では、不安全行動を事故につながり得る運転行動と定義し、ドライバが不安全行動を起こすことにより起こる事象に注目する。現状の問題点として、不安全行動の発生要因は明確になっておらず、その行動はドライバ・移動体・環境の3つの要素が影響すると考えられる。本研究では、移動体をハンドル形電動車いす、ドライバを高齢者、環境を歩行空間として研究を進める。その中で特にドライバと走行環境の要素に注目し、高齢者の運転に関わる能力低下が原因で不安全行動が起こるのではないかと考える。そのため、各高齢者の運転能力と走行環境の特性を整理することにより、高齢者が不安全行動を起こす原因を抽出することを本研究の目的とする。但し、電動車いすの運転に関わる能力を運転能力と定義し、本論文では、高齢者一般についての議論ではなく、実験に協力してもらった高齢者内での議論である。

2. 高齢者の不安全行動の抽出

2-1 走行データ計測

日常生活の中で、高齢者が電動車いす運転時に起こす不安全行動を把握するため、図1のような電動車いす使用時に自動的に走行データが計測可能なシステムを構築した。被験者がキーオン時にレコーダに電源が入り、自動的にデータ採取を実現している。被験者は、表1に示す普段からハンドル形電動車いすを使用している、都内在住の70歳から93歳までの高齢者4名(E1~E5)を対象に、日常の走行データを計測した。被験者には、研究内容、実験内容を十分に説明し、インフォームドコンセントをえている。計測したデータは、図1に示す前方、顔、操作部の3箇所の映像を一つに合成した映像データである。

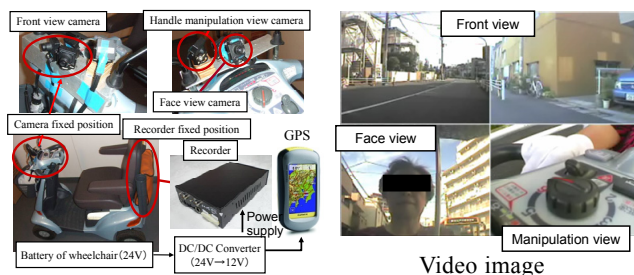


Fig.1 Drive recorded system equipped with the wheelchair

2-2 計測データの分析

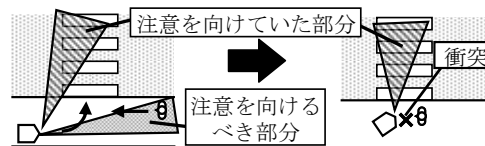
計測した走行データを基に抽出した不安全行動を表2に示す。表2より、安全不確認が最も多いことがわかった(165件/213件)。被験者E3における安全不確認の例を図2に示す。歩道を走行中、横断歩道を渡るために、顔を左に向け、前方を確認することなく左折した所、前方から来た歩行者に衝突した。また、全ての被験者ではないが、自動車の走行を妨害する、信号無視をする、段差に乗り上げる、自動車歩行者の妨害をするといった不安全行動も見られた。不安全行動が起こる場所としては、交差点が最も多いことがわかった。

Table1 Subjects

Subject	E1	E2	E3	E5
Age	72	72	93	71
Sex	male	female	female	female
Car driving experience	50 years	No	15 years	No
Wheelchair experience	2 years	21 years	15 years	3 years
Driving frequency [-/week]	7days	7days	3days	3days
Movement purpose	Shopping Go to hospital	Shopping Go to hospital Play	Shopping Go to hospital Stroll	Shopping Go to hospital
Sickness and disease	cataract lumbago diabetic	knee joint anthropathy	knee joint anthropathy	diabetic knee joint anthropathy

Table2 Frequency of unsafe driving behavior

Subject	E1	E2	E3	E5
Driving time [hour]	20	12	14	10
Freq. of unsafe behavior	74	53	50	36
Safety unconfirmation	56	46	40	23
Car driving obstruction	10	3	3	3
Ignoring a traffic signal	6	2	6	4
Difference running aground	2	0	0	2
Contact of bicycle and pedestrian	0	2	1	2
others	0	0	0	2



- 1.横断歩道を渡るため、横断歩道の手前で顔を左に向け、前方の安全確認もするべき
- 2.横断歩道を渡るため左に顔を向けた状態で左折した所、前方から来た歩行者と衝突した。

Fig.2 Example of unsafe behavior (subject:E3)

3. 不安全行動と運転行動の仮説

不安全行動の発生要因を明確にするには、不安全行動を起こすまでの過程を考える必要がある。そのため、ドライバが知覚・判断・操作する過程で、運転能力の低下が原因で不安全行動が起こると考え、既存研究⁽¹⁾を基にドライバ

が移動体で移動する過程を図3に表現した。まずドライバーは、環境からハザード（事故の可能性と関連性を持つ全てのもの）を検出する。環境からハザードを検出することをハザード知覚とする。例えば、歩行者、段差などがハザードである。次にリスクを見積もる。本研究では、事故に伴う重大性と事故の発生確率の組み合わせの損害をリスクと定義する。ハザードの持つリスクを見積もる過程がリスク知覚である。また、ドライバー・車両系における操作技能・認知技能・車両性能といったドライバーが内面的に持つ能力を自己技能と定義する。ドライバーは自己技能とリスクを比較し、どのような行動を取るか判断し、行動するという流れである。2章で抽出した不安全行動から、確認行動が特徴ある要素であると考え、その行動を決定する確認判断が重要な要素であると考えた。確認行動は視覚的な行動であるため、本研究で扱う運転能力についても視覚に関する能力を考え、加齢に伴い低下する運転能力を抽出した⁽²⁾⁻⁽⁵⁾。抽出した運転能力を表3に示す。前述した図2の安全不確認の例を考察すると、左側に注意を向けていたため、前方に注意を向けることが出来なかったと考えられる。そのため、複数のものに同時に注意を向ける分割的注意能力の低下が考えられ、図3のモデルの確認判断に影響し、前方の確認をすることが出来ず、結果としてハザードである前方の歩行者を検出できなかったと考えられる。以上のように、図2の例では、複数のものに注意を払うべき状況で、分割的注意能力の低下が確認判断に影響し、その結果起こったという仮説が立てられる。このように抽出した不安全行動213件について、モデルの要素と運転能力の関係を整理すると図3のように表される。ハザード知覚には、有効視野・分割的注意、リスク知覚には、深視力・分割的注意、確認行動と操作行動には抑制機能がそれぞれ影響していると考えられる。

Table3 Driving ability related to the elderly

Driving ability	Definition
UFOV	認知に寄与する周辺視野
Divided attention	2つ以上の課題を同時に遂行できる能力
Selective attention	不必要な情報は排除し、ある必要な情報に注意を向ける能力
Inhibition	不適切な反応を抑制し、次の反応への待機を可能にする機能
Depth perception	遠近感や立体感の能力

4. 運転能力の把握

4-1 高齢者の運転能力把握実験

運転能力の計測として、ここでは、有効視野、分割的注意、抑制機能の計測を行った。被験者には、実験内容を十分に説明し、実走行データを計測した高齢者4名のうち、参加可能であったE2, E3, E5の3名を対象に、インフォームドコンセントをえた。図4に示す、52inchの液晶ディスプレイ上に表示された情報に対して、ジョイスティック、ボタン操作でタスクを行う。計測方法を以下に示す。



(a) Display device (b) Joystick for manipulation

Fig.4 Experimental device for grasping the driving ability

4-1-1 有効視野・分割的注意能力の計測

有効視野は、ある1点を注視した状態で、その周りに視覚的な刺激を与え、刺激に反応できるかどうかの課題を行うことで計測する。また、分割的注意能力は、視覚的な刺激に対して、同時に二つのものを処理する課題を行うことで計測する。そこで既存研究⁽⁶⁾を参考に、それらを計測するために必要な中心視課題と周辺視課題、分割的注意課題を構築した。実験手順としては、中心視課題、周辺視課題、分割的注意課題の順に行う。試行回数は、中心視課題が1試行、周辺視課題と分割的注意課題は2試行である。

◎中心視課題：画面中央に1~9までの一桁の数字がランダムに一つ提示され、提示された数字を口頭で答える課題である。提示時間は100msで、提示間隔は1秒であり、計測時間は3分間である。

◎周辺視課題：画面中央を中心として放射状に周辺マークをランダムに提示し、画面中央の「+」印に視線を固定した状態で、灰色の画面上に提示された周辺マークが見えたら反応する課題とした。提示する周辺マークとして、白い丸のマークと白いランドルト環の2種類で課題を行った。白い丸のマークに対してはボタンを押して反応し、ランドルト環のマークに対しては、左右開いている向きを弁別する課題とした。また、周辺に提示するマークは、画面中央に視線を固定しやすくするため、4秒間かけて徐々に輝度を上げ、4秒間かけて徐々に輝度を下げるという提示方法で行った。画面の中心、目、マーク提示位置の成す角を定義し、周辺マークの提示位置として、水平方向についてはその角度が10°、20°、30°、40°、50°の5箇所、垂直方向についてはその角度が10°、20°、30°、33.5°の4箇所、45°の方向についてはその角度が10°、20°、30°、40°の4箇所の位置にマークを提示した。計測時間は1試行3分間であり、この間に全ての提示位置に、ランダムにマークを提示させた。

◎分割的注意課題：図5のように、中心視課題と周辺視課題を同時に行う課題とした。これ以降では、便宜上、周辺マークが白い丸の場合を分割的知覚課題、ランドルト環の場合を分割的処理課題とする。

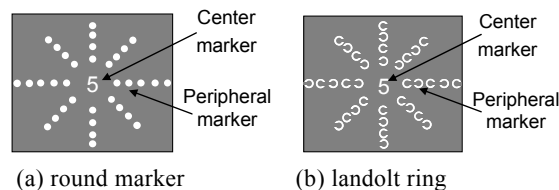


Fig.5 Divided attention test

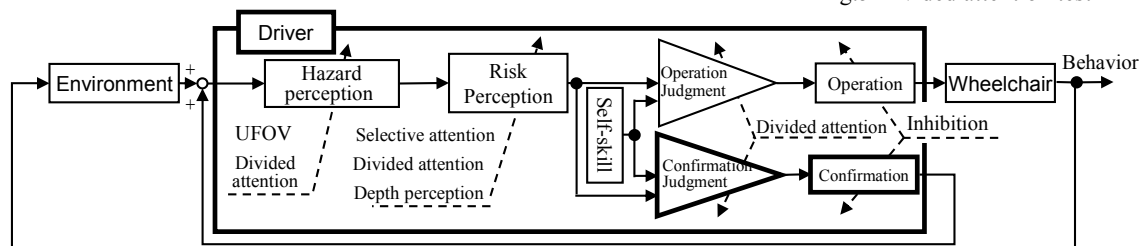


Fig.3 Model of driving behavior process

4-1-2 抑制機能

抑制機能は、不適切な反応を抑制し、次の反応への待機を可能にする機能である。そのため、視覚的な刺激の中からターゲットを検出する課題を行う最中に、時々関係の無い視覚的な妨害刺激を呈示し、この妨害刺激の有無によるターゲットの検出までの時間差により計測する。そこで、Kramer⁽⁷⁾らの方法を参考に、計測方法を構築した。図6に示すように、初期画面では灰色のサークルが6個、円周上に等間隔に並んでおり、灰色の文字がサークルの中に書かれている。その画面から標的画面に変化した際の灰色のサークルの中にある文字がCであるかCの逆（左右反転）であるかを弁別する。標的画面では5つのサークルのラインは赤になり、中の8が文字に変わる。その際、妨害マーカを与える条件として、5つの赤いサークルと全く同じ文字を含んだ白いサークルを時計の2, 4, 8, 10 時の場所のいずれかに出現させる。そこで、妨害マーカが追加される条件と追加されない条件により、弁別時間を計測する。

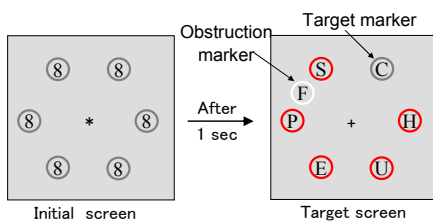


Fig.6 Procedure of inhibition test

4-2 実験結果

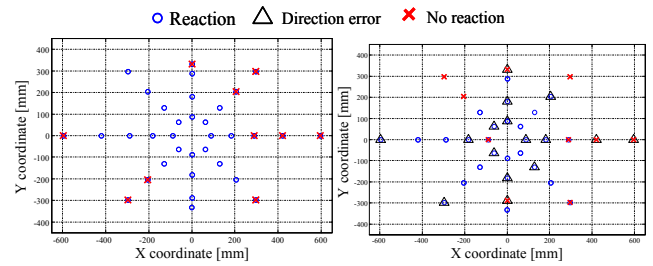
被験者 E2, E3, E5 の結果の一例について述べる。

4-2-1 有効視野、分割的注意特性

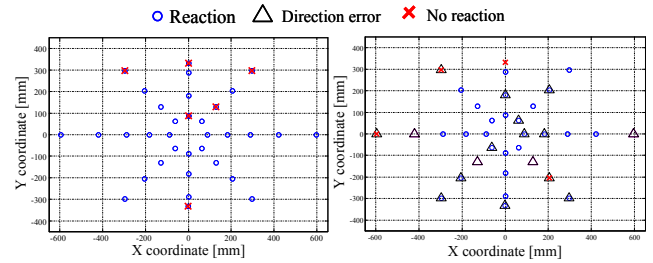
◎被験者 E2: 図 7 より、分割的知覚課題では、上部、上部右側、下部左側に反応できない部分がある。分割的処理課題になると、ランドル環の向きを判断する周辺課題に対して、反応できない部分は分割的知覚課題とかわらないが、全体的に間違い数が多くなった。その際、周辺マーカに対する反応時間は、図 10 に示すように、分割的知覚課題ではほとんど差はないが、分割的処理課題になると長くなった。また、周辺マーカが提示される位置が中心視の位置から離れるに従い、その反応時間はどの課題においても長くなる傾向にあり、今回の条件では、中心に近い部分と遠い部分で約 2 倍も異なった。

◎被験者 E3: 分割的知覚課題は、データ採取ができなかったため、周辺知覚課題、分割的処理課題により検討する。図 8 より、周辺知覚課題において、上方、下方に提示された周辺刺激に対して反応できていない部分がある。分割的処理課題になると、反応できない部分はかわらないが、全体的にランドマークの方向を弁別する周辺課題に対して、間違い傾向が多くなった。その際、周辺マーカに対する反応時間は、分割的処理課題の方が長くなり、周辺マーカの提示位置が中心視の位置から離れるに従い、長くなった。

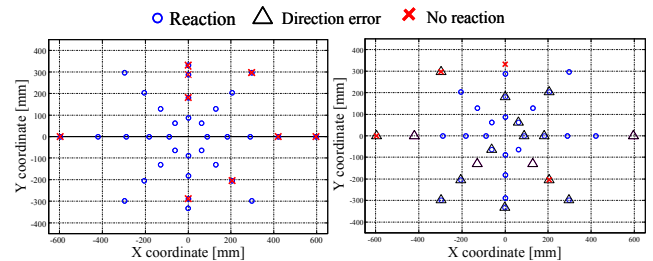
◎被験者 E5: 図 9 より、周辺知覚課題において、上方と右方に提示された周辺マーカに対して反応できない部分があり、分割的知覚課題では同方向のマーカに反応できず、反応できる範囲が全体的に狭くなった。分割的処理課題になると、全体的に反応できない部分が多くなり、左方向の周辺マーカに対する間違いが多くなった。その際、周辺マーカに対する反応時間は、図 10 に示すように、課題が複雑になるにつれ、反応時間は長くなる。また、周辺マーカが提示される位置が中心視の位置から離れるに従い、どの課題においても、周辺マーカへの反応時間は長くなった。



(a) Round marker (b) Landolt ring
Fig.7 Characteristics of divided attention test (subject E2)



(a) Round marker (b) Landolt ring
Fig.8 Characteristics of peripheral task and divided attention test (subject E3)



(a) Round marker (b) Landolt ring
Fig.9 Characteristics of divided attention test (subject E5)

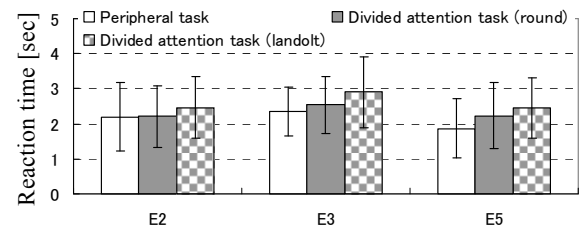


Fig.10 Reaction time to peripheral markers each test

よって、3名の被験者において、以下のことが確認できた。

- ・周辺マーカに対して反応しにくい位置は、個人差があり、共通して上方は反応しにくい。
- ・同時に複数のものを処理する分割的な課題に対して、周辺マーカに対する間違いが増え、周辺課題に対する処理精度が大きく劣る。
- ・正確に反応できた周辺マーカに対する反応時間は、中心視から離れるほど長くなる。

4-2-2 抑制機能

図 11 に結果を示す。図 6 に示すような妨害刺激のある条件の有無により、被験者 E2 ではその差が見られないが、被験者 E3, E5 は、反応時間が約 0.1 秒遅れた。有意差検定を行った結果、5%水準で有意差があることがわかった。この結果から、被験者 E2 では抑制機能の低下が見られないが、被験者 E3, E5 は注意すべき対象でないものに注意を向け、反応が遅れることがわかった。

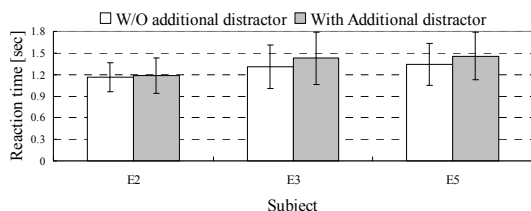


Fig.11 Results of inhibition test

5. 不安全行動と運転能力の関連性

ドライブレコーダで採取した各被験者の不安全行動と前章での各被験者の運転能力の特性から不安全行動が起こる要因を考察する。

5-1 歩行者用信号無視に伴う車両との接触－E2－

信号のある交差点において、横断歩道を横断する場面である。横断歩道を渡る際、歩行者用信号が赤であるにも関わらず、信号を無視して横断歩道を渡る行動である。横断歩道を横断する際の確認行動に注目すると、図12に示すように、フェーズ1-4では、左右の安全確認を行い、歩行者信号が赤にかわったことに気がつかず、フェーズ5で顔をあげることで赤信号を確認している。左右の安全確認をする際、歩行者用信号をハザード情報として知覚できなかったため、信号が赤であることに気づかず、信号無視をしてしまったと考えられる。運転能力からも、分割的知覚課題による上方向の情報の欠落や分割的処理課題による間違いが多いことと対応しており、複数のものを同時に処理する状況下での、処理能力の低下や有効視野の狭窄が要因である可能性がある。

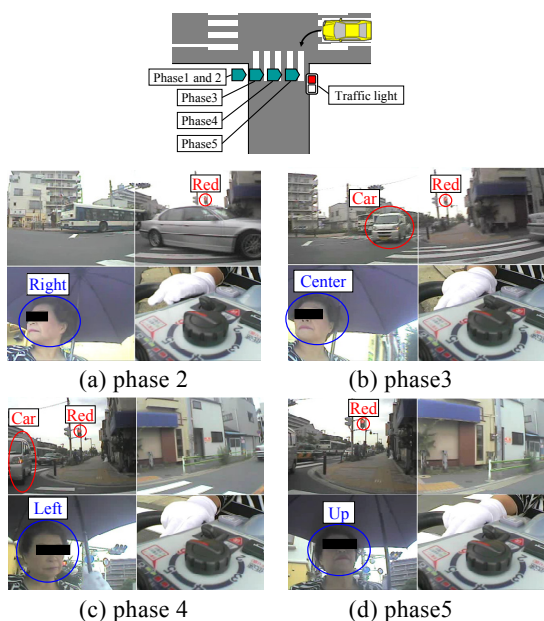


Fig.12 Explanation of unsafe driving behavior (subject E2)

5-2 歩道から車道に進入した際に自転車と接触－E5－

自車が車道脇を走行中、側方を通過した自動車に注意を向け、そのまま左側に注意が向いた状態で交差点を進入り、右側から接近する自転車に気づかず、接触ニアミスする行動である。横断歩道手前から横断するまでの行動について観察する。図13に示すように、交差点から側方の車道を通り過ぎた自動車を知覚し、その状態で交差点に進入したため、交差点前方や、交差点左右の安全確認をするという行動をとることができず、右方から接近した自転車と接触しそう

になったと考えられる。運転能力からも、抑制機能の低下が確認行動に影響を与え、分割的知覚課題による上方向と右方向の情報の欠落や分割的処理課題における有効視野の狭窄等と対応しており、交差点手前の複数のものを同時に処理する能力の低下が要因の一つであると考えられる。

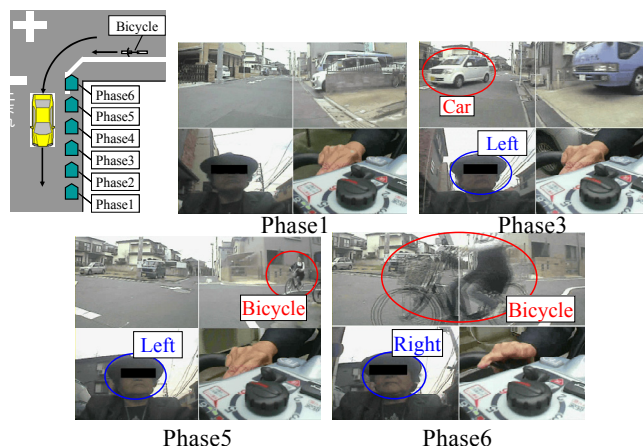


Fig.13 Explanation of unsafe driving behavior (subject E5)

6. まとめ

高齢者がハンドル形電動車いす運転時に起こす不安全行動について、運転能力と走行環境の両面から要因を分析するため、実際の生活環境下における走行データ計測、運転能力計測を行った結果、以下に示す知見を得た。

1. 走行データから高齢者が起こす不安全行動を抽出した結果、安全不確認が最も多いことがわかった。
2. 電動車いすを操作する上で必要な運転能力として、有効視野・分割的注意能力・抑制機能を挙げた。
3. 分割的注意、有効視野、抑制機能の運転能力の特徴が実環境における不安全行動に影響する可能性を示した。

謝辞

本研究は、科学研究費補助金（若手(B)）の助成事業の一環として行っており、スズキ(株)には、被験者の確保等、様々な御協力を頂きました。心よりお礼申し上げます。

参考文献

- (1) 蓮花一己, “運転時のリスクテイキング行動の心理的過程とリスク回避行動へのアプローチ”, 国際交通安全学会誌, pp.12-22, 2000.
- (2) E.Hartman, Drive vision requirements, Society of Automotive Engineers, Technical Paper Series, 700392, 1970.
- (3) Cynthia Owsley, Vision and Driving in the Elderly, Optometry and Vision Science, Vol.71, No.12, pp.727-735, 1994.
- (4) 山本裕, 山田宗男, 山本修身, 中野倫明, 山本新, 運転視力測定システムの概要とその測定方法, 電子情報通信学会技術研究報告. MI, 医用画像, Vol.106, No.75, pp.81-86, 2006
- (5) Dana J. Plude, Jane A. Doussard-Roosevelt, Aging, Selective Attention and Feature Integration, Psychology and Aging, Vol.4, pp.98-105, 1989.
- (6) 木村賢治ら他 6名, 運転者の有効視野の向上に関する研究, 自動車技術会秋季学術講演会前刷集, No.120-09, pp.21-24, 2009
- (7) F.Kramer, Sowon Hahn, David E. Irwin, and Jan Theeuwes, Age Differences in the Control of Looking Behavior: Do You Know Where Your Eyes Have Been?, Psychological Science, Vol.11, No.3, pp.210-217, 2000.