

電動車いす運転の熟達に伴う視行動変化の分析

前川 大和^{1,a)} 赤井 直紀^{1,b)} モラレス ルイス 洋一^{1,c)} 平山 高嗣^{1,d)} 出口 大輔^{1,e)}
川西 康友^{1,f)} 井手 一郎^{1,g)} 村瀬 洋^{1,h)}

概要

近年、先進国を中心に高齢化が進んでおり、電動車いすの需要が高まっている。しかし、電動車いすの利便性は高い一方で、事故が多発している。自動車の事故は視覚的な認知ミスが原因であることが多く、電動車いすも自動車と同様に運転者の視覚的な認知を支援することが事故防止に有効であると考えられる。また、熟練運転者と非熟練運転者の視行動に差異があることが知られており、熟練者の視行動に基づいて、運転者の視覚的な認知の支援をすることができると考えられる。本研究では、電動車いす運転における熟練者の視行動のモデル化を目指し、リスクが複数存在する箇所である死角あり狭路で運転する場合を想定して、熟達に伴う視行動の変化を 3 次元空間上で分析した。その結果、熟達するほど複数のリスクに対してバランスよく注意を払うことを確認した。

1. はじめに

世界的に平均寿命が延び、先進国を中心に高齢化が進んでいる。特に、日本の高齢化率は世界一となっており、総人口の約 3 割が高齢者となっている。それに伴い、歩行に支障がある人が増加しており、高齢者が安心安全に利用できるパーソナルモビリティの需要が高まっている。そのパーソナルモビリティの中で電動車いすが着目され、その機能の高度化が進められている。電動車いすは、道路交通法の基準を満たすものについては歩行者扱いとなり、運転するために免許を取得する必要がない。その事故は日本で年間約 180 件発生しており、電動車いす運転においても、歩行者や自転車、自動車に注意して運転する必要がある。電動車いす運転者は、多くの情報を視覚から受容して周囲への注意を払うため、安全な運転のためには、適切な視行

動が重要となる。

視行動の研究は幅広くなされており、自動車の運転において熟練者と非熟練者の視行動に差異があることが知られている [4]。そのため、熟練者の適切な視行動をモデル化することで、適切な視行動を取ることができていない運転者を支援することができ、事故防止につながると期待される。そこで本研究では、電動車いす運転における熟練運転者の視行動のモデル化を目指し、運転の熟達に伴う視行動の分析を行う。電動車いす運転において、リスクが複数存在する箇所では、特に熟達した視行動が必要となり、そのような箇所における視行動のモデル化が重要である。本発表では、その中でも「死角あり狭路」における視行動を分析する。視行動を分析する上で、何に視線を向けるかが重要であるが、それに加えて、危険の早期発見や予測のために、どこから視線を向けるかも重要である。本研究では環境の 3 次元計測技術を応用し、運転者の視行動を 3 次元空間上で分析する。

以降、第 2 節では、視行動の分析指標について述べる。次に、第 3 節では電動車いすの運転未経験者による運転実験の詳細と視行動の分析方法を述べ、第 4 節では運転の熟達と視行動の関連性を分析し、考察する。最後に、第 5 節で本発表をむすぶ。

2. 分析指標

本節では、死角あり狭路における視行動に関する仮説を立て、その視行動の分析指標を設計する。

2.1 死角あり狭路における視行動に関する仮説

本発表では、狭路の左右に死角が 1 つずつ存在する箇所を「死角あり狭路」と呼ぶ。死角あり狭路には大きく分けて以下の 2 つのリスクが存在する。

- 走行可能な走路から逸脱し、事故が発生するリスク
- 死角から人が飛び出し、衝突するリスク

これらのリスクをふまえ、本研究では非熟練者と熟練者の視行動の違いについて、「非熟練者は主に走路から逸脱しないための視行動をとるが、熟練者はそれぞれのリスク回避のバランスのとれた視行動をとる」という仮説を立てる。

¹ 名古屋大学

a) maekaway@murase.is.i.nagoya-u.ac.jp

b) akai@nagoya-u.jp

c) morales_yoichi@coi.nagoya-u.ac.jp

d) takatsugu.hirayama@nagoya-u.jp

e) ddeguchi@nagoya-u.jp

f) kawanishi@i.nagoya-u.ac.jp

g) ide@i.nagoya-u.ac.jp

h) murase@i.nagoya-u.ac.jp

2.2 視行動の分析指標

視行動を分析する上で、何にどこからどのように注意を向けるかが重要であると考えられる。そこでそれら进行分析するために、視線方向に関する指標と視対象の注視に関する指標を設計する。

2.2.1 視線方向に関する指標

非熟練者は、走路から逸脱しないために走路面がある下方を見る傾向があると考えられる。それに対して熟練者は、同様の視行動に加えて、死角からの人の飛び出しを警戒し、また周辺環境を認識するために上方を見るため、視線の平均的な高さが上がると考えられる。以上から、熟練者と非熟練者で平均的な視線の高さに違いがあると考え、鉛直方向の視線の角度を分析指標とする。

2.2.2 視対象の注視に関する指標

本研究では、視対象の注視に関する指標として、注視頻度、注視時間割合、視対象までの距離に着目する。熟練者は非熟練者に比べて、死角を見る頻度や時間が増加すると考えられる。また、進路の先に存在するリスクに対して、早めにそのリスクを意識した視行動をとると考えられる。注視頻度や注視時間割合は、視行動を分析する上で、従来から用いられている。注視頻度は、視対象を見た回数であり、注視時間割合は、データを取得している時間のうち、視対象を注視している時間の割合である、本研究ではこれらに加えて、視対象までの距離を用いる。

ここで、人間の視野は大きく中心視野と周辺視野の 2 つに分けられる。人間の視力は注視点に近づくほど高くなっており、周辺視野のうち比較的明瞭に物体が視認される範囲を有効視野という。従来研究では、注視頻度や注視時間割合を求める際に、中心視野で捉えたことを注視と判断することが多い。しかし、中心視野のみの分析では、対象が有効視野に存在して比較的明瞭に見えるにもかかわらず、対象を見ていると判断することができない。そのため、本研究では有効視野で捉えている対象に基づいて注視対象を判定して分析を行う。

3. 実験および分析手法

3.1 使用機器

本実験では図 1 左に示す電動車いすを使用し、LiDAR センサ、慣性計測装置、モーションキャプチャ装置を設置した。使用した LiDAR センサは Velodyne 社の HDL-32E であり、慣性計測装置は Xsens 社の MTi-300-2A5G4 である。また、モーションキャプチャ装置は、Optitrack 社の V120:TRIO である。視行動のデータを収集するために、視線計測装置として、図 1 右に示す眼鏡型の Tobii Pro Glasses2 を使用する。眼鏡のフレームに球体の視標を取り付けることで、Tobii Pro Glasses2 の位置と姿勢をモーションキャプチャ装置により取得することができる。図 2 に示すように、パイロンを設置して狭路を作成し、緑色領

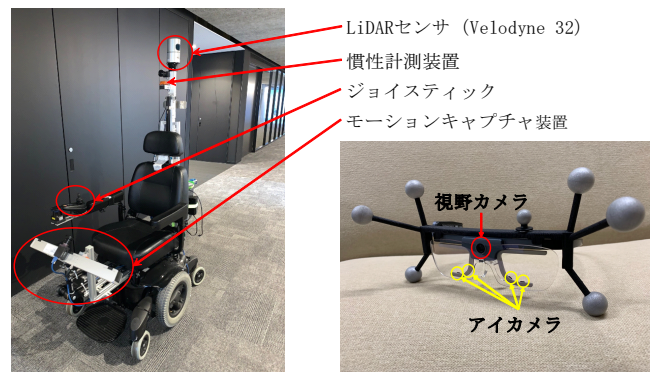


図 1 実験で使用する電動車いすと視線計測装置

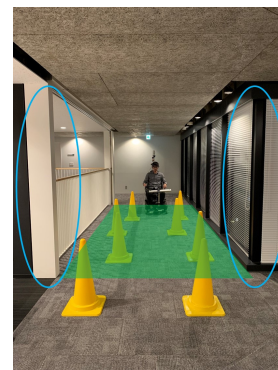


図 2 パイロン配置場所

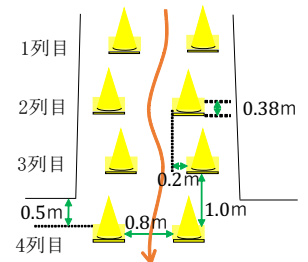


図 3 パイロン配置図

域通過時のデータを分析する。パイロンの配置図を図 3 に示す。本実験コースには、図 2 の水色箇所を示すように死角が左右に存在している。

3.1.1 実験手順

初めに、実験参加者に以下の教示を行う。

- この廊下は人通りがあり、人が飛び出してくる可能性がある。そのため、実験中も歩行者に注意して運転すること。
- コースの途中にパイロンを設置してある場所があるため、パイロンの間を通過するように運転すること。
- パイロンに衝突しないように運転すること。

前述のコースの練習走行を 3 回行う。ただし、この時はまだパイロンを設置しない。練習走行後、パイロンを設置し、実験を開始する。実験では以下のデータを取得する。

- 視線ベクトル (20 Hz)
- LiDAR センサによる周辺の構造物の 3 次元点群 (10 Hz)
- 電動車いすの速度と加速度 (30 Hz)
- 慣性計測装置による加速度と角速度 (80 Hz)
- モーションキャプチャ装置による視線計測装置の位置と姿勢 (125 Hz)

これを実験参加者 1 人あたり 29 回行う。また、死角から飛び出す歩行者を意識させるために、電動車いすが死角を通過する直前に、左右の死角からそれぞれ 2 回ずつ人の飛び出しを行う。具体的には、6, 12, 18, 24 回目を行う。ただし、死角から人が飛び出した回のデータと、運転中にパ

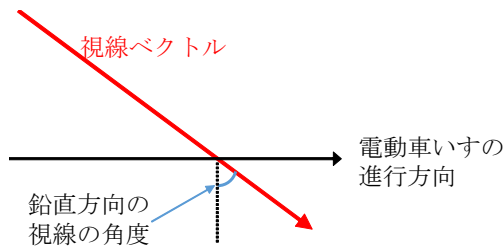


図 4 鉛直方向の視線の角度

イロンに衝突した回のデータは分析に使用しない。

上記の実験を電動車いす未経験者の 20 代男性 5 名でそれぞれ実施した。なお本実験は、名古屋大学未来社会創造機構倫理審査委員会の承認を得た上で実施した。

3.2 3次元空間における視行動分析方法

本研究では、3次元空間上で視行動を分析する。そのために、3次元地図上の電動車いすの位置について自己位置推定を行う。

3.2.1 自己位置推定

3次元地図上で電動車いすの位置を推定する。あらかじめ、LiDARを使用したSLAM [2]により実験コースの3次元地図を作成しておく。そして、推定時はLiDARによって取得した3次元点群と地図情報、電動車いす及び慣性計測装置の速度、加速度、角速度から推定したオドメトリを用いて、AMCL [1], [3]により電動車いすの地図上の走行位置を推定する。電動車いすの座標系を定義し、LiDAR センサ、カメラ、モーションキャプチャ装置の相対位置を予め計測しておき、それに基づいて3次元地図におけるそれぞれの位置を推定する。さらに、モーションキャプチャ装置から視線計測装置の位置と姿勢を取得することで、3次元地図上における視線計測装置の位置と姿勢を推定する。なお、図5に示すように視線計測装置の視野カメラを原点として x, y, z 軸をとる。

3.2.2 視線の角度の推定

電動車いすから見た鉛直方向の視線の角度を算出する。図9に電動車いすを横から見た時の、鉛直方向の視線の角度を示す。まず、視線計測装置から取得した視線ベクトルを電動車いすの座標系上のベクトルに変換する。そして、その座標系におけるピッチ角を鉛直方向の視線の角度とする。ただし、真下を向いているときを 0° 、真上を向いている時を 180° とする。

3.2.3 有効視野内対象の判定

視線計測装置から取得した視線ベクトルとLiDAR センサから取得した3次元点群を利用して、有効視野内に存在する対象の判定を行う。その対象はパイロン、死角、その他の3分類であり、さらにパイロンは通過順に1~4列目の4分類とした。パイロン、死角に関しては左右それぞれ1つつ対象が存在する。図6のように、対象の3次元点

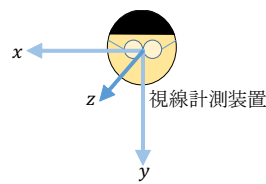


図 5 視線計測装置の座標系

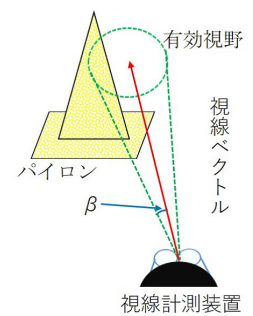


図 6 有効視野内対象の判定方法

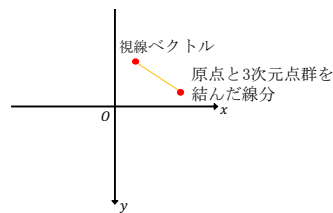


図 7 xy 平面への投影

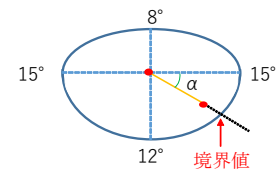


図 8 境界値の決定方法

群が有効視野内に存在する場合に、その対象を有効視野内対象と判断する。パイロン、死角に関しては左右それぞれ1つつ存在するため、左右どちらかが有効視野内に存在する場合に、その対象を有効視野内対象とする。有効視野は、心理的な要因や年齢、注視点への注意の強さによって変化するが、本発表では、文献 [5] に基づき、左右それぞれ 15° 、上 8° 、下 12° とする。まず、図7に示すように、原点と3次元点群を結んだ線分と xy 平面 ($z = 1$) の交点を求める。次に、視線ベクトルと xy 平面 ($z = 1$) の交点を求める。そして、それぞれの交点を結んだ線分と x 軸の角度 α を求める。図8の円周上は有効視野内と有効視野外の境界を表しており、図7と図8の線分は対応している。図8に示すように、求めた角度 α によって有効視野の境界値が決定される。最後に、図6に示すように、原点と3次元点群を結んだ線分と視線ベクトルとの角度 β を求め、それと境界値を比較し、境界値以下の場合に有効視野内対象と判定する。

4. 電動車いす運転の熟達と視行動の関連性の分析

4.1 視線方向に関する指標による分析

図9に実験参加者ごとの各回における鉛直方向の視線の角度と最小2乗法によって求めた回帰直線を示す。すべての実験参加者について、回帰直線が右上がりになっていることから、視線が上昇したといえる。これは、初めはパイロンに衝突しないように手前のパイロン付近を見るが、熟達するにつれてより先のパイロンを見たり、周辺環境の認識や死角からの飛び出しを意識したりするようになるため、視線が高くなったと考えられる。

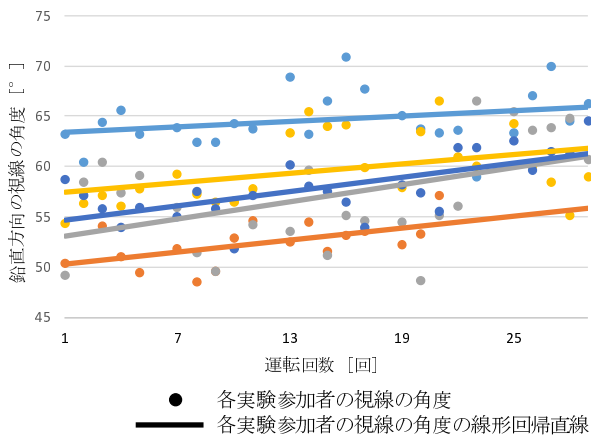


図 9 各実験参加者の鉛直方向の視線の角度

表 1 有効視野における死角の注視頻度と注視時間割合

回数	注視頻度	注視時間割合
1 – 5 回目	2.13	0.076
7 – 11 回目	3.08	0.068
13 – 17 回目	2.65	0.088
19 – 23 回目	3.00	0.070
25 – 29 回目	2.95	0.103

4.2 視対象の注視に関する指標による分析

運転者が何をどこから見ているか、視対象の注視に関する指標を用いて分析する。まず、死角の注視頻度と注視時間割合の実験参加者 5 人の 5 回ごとの平均を表 1 に示す。死角の注視時間割合が上昇していることから、熟達するにつれて死角への注意にかける時間を増加させ、人の飛び出しに対応できるようにしていると考えられる。

次に、視対象までの距離を用いて、どこから視対象を見ているか分析する。死角から視線計測装置までの距離を 0.1m ごとに分割し、各地点において有効視野内に各パイロンが存在する時間割合を算出した。運転回数を重ねるにつれて、各パイロンが有効視野内に存在する時間割合の変化を調査するため、データを 1-5 回目、7-11 回目、13-17 回目、19-23 回目、25-29 回目に分割した。その結果、運転回数を重ねるにつれて奥のパイロンを手前で見る時間割合が高くなった。これは、手前のパイロンを見ながら、より奥のパイロンとの衝突回避のために有効視野内で奥のパイロンも捉えるように視行動が変化していると考えられる。図 10 に 4 列目のパイロンが有効視野内に存在する時間割合を示す。なお、電動車いすは図の左から右へ進行している。運転回数を重ねるにつれて、各パイロンが有効視野内から外れる時点が早くなっているが、次のリスクに備えて視行動を切り替える時点が早くなっているためであると考えられる。

以上から、非熟練者は衝突回避のために、手前のパイロンを見ていたが、熟達するにつれて、より先のパイロンを

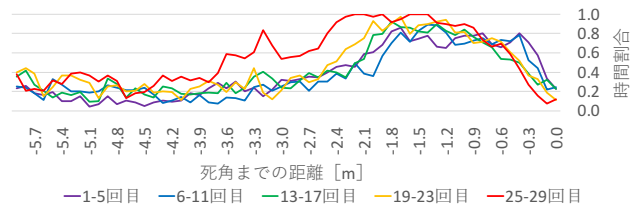


図 10 4 列目のパイロン

見たり、死角からの人の飛び出しを警戒したりして、1 つのリスクだけではなく、複数のリスクに注意を払うことを確認した。

5. むすび

本発表では、電動車いす運転における熟練者の視行動のモデル化を目指し、その初期検討として、死角あり狭路における電動車いす運転の熟達に伴う視行動の変化を分析した。まず、死角あり狭路における視行動の仮説を立て、電動車いす運転における熟達に伴う視行動の分析指標を設計した。そして、運転未経験者による電動車いすの運転実験を行ない、分析指標を用いて電動車いす運転の熟達に伴う視行動の変化を分析した。その結果から、本発表で立てた仮説「非熟練者は主に走路から逸脱しないための視行動をとるが、熟練者は走行可能な走路から逸脱し、事故が発生するリスクと死角から人が飛び出し、衝突するリスクの両者のリスク回避や周辺環境認識のためのバランスがとれた視行動をとる」を確認した。

今後の課題として、データの追加、様々な場面における視行動の分析、電動車いす運転における視行動のモデル化などが挙げられる。

謝辞

本研究の一部は、JST 未来社会創造事業、科学研究費補助金による。

参考文献

- [1] Akai, N., Morales, L. Y. and Murase, H.: Mobile robot localization considering class of sensor observations, *Proceedings of the 2018 IEEE/RSJ Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 3159-3166 (2018).
- [2] Grisetti, G., Stachniss, C. and Burgard, W.: Improved techniques for grid mapping with Rao-Blackwellized particle filters, *IEEE Transactions on Robotics*, Vol. 23, No. 1, pp. 34-46 (2007).
- [3] Thrun, S., Fox, D., Burgard, W. and Dellaert, F.: Monte Carlo localization for mobile robots, *Proceedings of the 1999 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 1322-1328 (1999).
- [4] Underwood, G., Chapman, P., Brocklehurst, N., Underwood, J. and Crundall, D.: Visual attention while driving: Sequences of eye fixations made by experienced and novice drivers, *Ergonomics*, Vol. 46, pp. 629-649 (2003).
- [5] 谷田貝豊彦, 桑山哲郎, 柴田清孝, 畑田豊彦, 藤原裕文, 渡邊順次 (編): 光の百科事典, 丸善出版 (2011).