研究結果報告書

2022 年 12 月 05 日

＜研究課題＞高齢ドライバの実車走行における ペダル操作の定量的解析

代表研究者　名古屋大学未来社会創造機構　研究員　　平野 昭夫
共同研究者　名古屋大学未来社会創造機構　特任教授　青木 宏文
名古屋大学未来社会創造機構　研究員　　青木 邦友

【抄録】
高齢者のペダル踏み間違いによる事故防止に向けた基礎データ収集を目的として計測車両を用いて実走行実験を行った。計測はモーションキャプチャとドライブレコーダを使用して，走行中に一時停止や後退して駐車するシーン毎に実験参加者の足の動きや踵位置を確認した。その結果，ブレーキペダル踏み込み時のブレーキペダルからの距離は，踵固定が踵移動に比較して有意に大きい（アクセルペダル寄りで誤踏みの可能性増），停車位置では Back 駐車が通常停止/坂路停止に対し有意に大きい（アクセルペダル寄りで誤踏みの可能性増），サポートクッション有が無に対し有意に小さい（ブレーキペダル寄りで誤踏の可能性減）であることを確認した．さらに，ブレーキペダル踏み替え距離は，坂路停車で踵固定が踵移動に対し有意に小さいこと，体格と踵固定移動の関係は，踵固定が踵移動に比較し身長および足サイズとも有意に大きいことを確認し，本結果は今後の車両設計に資する。

１．研究の目的

ペダル踏み間違いやハンドル，ブレーキ操作不適などの操作不適事故が全体に占める割合は高くはないが，高齢者による操作不適事故は他の交通参加者を巻き込むことが多く，しばしば社会問題として取り上げられている．操作不適事故の共通の人的要因として「慌て，パニック」が挙げられているが，実際の事故時のドライバや車両挙動のデータを得ることが難しく，操作不適の実態は明らかでない．日本では，2020 年 1 月 31 日の国土交通省による公布により，2021 年 11 月以降に発売される国産車に，性能基準を満たした衝突被害軽減ブレーキの装着が義務化された．また，ペダルの踏み間違い事故の予防策として既販車両に後付けする加速抑制装置が開発されており，国や地方自治体は補助金によりこの装置の装着を進めてきた．しかし，踏み間違い発生後の安全装置だけではすべての事故を防げないため，操作不適事故のメカニズムを解明し，根本の対策が重要である．

我々は，高齢者のペダル踏み間違いによる事故防止に向けた基礎データ収集を目的として，標準実験車両にモーションキャプチャとドライブレコーダを搭載し，模擬走行パターンでの足の動きや踵の位置を計測分析してきたが，実走行における挙動の分析が課題であった． そこで本研究では，仮説を“通常運転時，踵の固定と移動で停車時のブレーキペダル踏み込み時の挙動には違いがある” “様々な運転操作において，踵固定は足位置が安定する”として，実走行での挙動を同一の標準実験車両を用いて測定し，検証することを目的とした．

２．研究方法と経過

2-1 実験参加者

実験参加者は 66 歳から 86 歳の男女 24 名（男性 13 名，女性 11 名 平均年齢 74.8 歳）である．本実験参加者は，名古屋大学 COI で構築している高齢ドライバ運転・人間特性データベース DAHLIA 参加者のを中心とした．本研究は名古屋大学未来社会創造機構内の倫理委員会の承認を受けて，実験参加者には実験内容を十分に説明し実施した．

2-2 装置

標準実験車両（ダイハツ MOVE CANBUS, 2016 年式）にて，足のつま先，踵，踝の位置の確認をモーションキャプチャにて行った（図 1）．また同時に常時記録型ドライブレコーダ（DR）を用いて，4 台のカメラで運転者の表情，運転者の足位置，前方，後方，を記録した（図 2）

図 1 ﾓｰｼｮﾝｷｬﾌﾟﾁｬｶﾒﾗ

図 2 ﾄﾞﾗｲﾌﾞﾚｺｰﾀﾞｶﾒﾗ

2-3 手続き

走行は，標準実験車両にて，名古屋大学構内の 1 周約 500m，途中一時停止の標識 2 か所，うち 1 か所は登り坂路での停止，の走行コースで行った（図 3）．運転姿勢は計測車両で最も運転しやすい位置に調整してもらい，通常運転しているのと同じ運転方法で，一時停止標識のある位置では確実に停止する様に教示し，車両に習熟するため 1 周練習走行を行った上で，4 周走行し計測を行った．分析には，車両に習熟した最後の計測結果を用い，1 周した最後に左回りで後退（Back）駐車し，最後の 1 周は両足の太腿を外側からサポートするサポートクッション（図 4）を装着し，運転行動に変化があるか計測した．

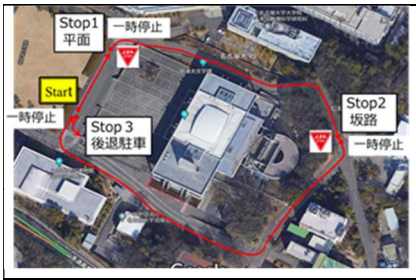


図 3 走行コース

図 4 ｻﾎﾟｰﾄｸｯｼｮﾝ

2-3 ブレーキ踏み込み位置と踏み替え距離の測定

ブレーキ踏み込み位置とアクセルからブレーキの踏み替え距離を測定するために，実験参加者の右足の甲，踵，踝（くるぶし）の 3 か所にモーションキャプチャのマーカーを取り付けた（図 5）．時間軸上の 3 次元の動きをデジタルデータに変換し（図 6），ブレーキペダルとアクセルペダルの位置座標と比較しブレーキ中心からペダルを踏み込んだ時の右足の甲の中心とのずれを算出した．さらに DR 映像から，ペダル操作時に踵を固定しているかを確認した．また，実験車両のアクセルペダルとブレーキペダルの中心の距離は，幅（w）方向 128mm，段差は両ペダル垂直方向で 38mm であった．

図 5 ﾓｰｼｮﾝｷｬﾌﾟﾁｬﾏｰｶ

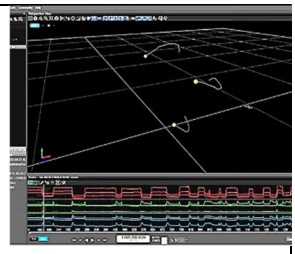


図 6 ﾓｰｼｮﾝｷｬﾌﾟﾁｬ軌跡

3．研究の成果

全実験参加者 24 名のうち，モーションキャプチャのマーカー信号が，周辺輝度との関係で調整が出来なかったため測定できなかった 2 名を除き，22 名の参加者から有効データが得られた．平面停車(Stop1)，坂路停車(Stop2)，Back 駐車，における各データを測定分析した．

3-1 ブレーキペダルからの距離

ブレーキペダルを踏んだ際の，ブレーキペダル中心から右足甲の中心との距離をブレーキペダル掛り代の代表値とした．図 7 は，各実験参加者の停車位置でのブレーキペダルから足の甲の中心までの距離，および停車パターンを示したものである．図 6 下部にはブレーキペダルからの距離にスケールを合わせたブレーキペダル，アクセルペダル，足，の図を示している．停車パターンは，踏み替えるときに「踵を固定するグループ」と「踵を移動するグループ」（踵状態　固定群：1，移動群：0），停車位置（平面（Stop1）：1，坂路（Stop2）：2，後退駐車（Back）：3），サポートクッション装着有無（無：0，有：1），の組み合わせで 1 から 12 番のパターンとした．

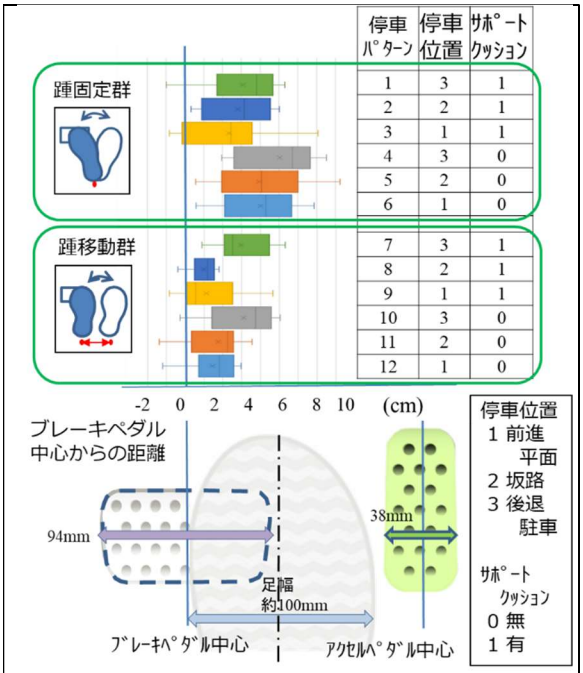


図 7 ブレーキペダルから足の甲の中心までの距離および停車パターン

ブレーキペダルからの距離の分析として，踵状態 2 水準，停止位置 3 水準，サポートクッション 2 水準，を独立変数，ブレーキペダル中心から右足甲の中心との距離を従属変数として，分散分析を行った．その結果，有意な主効果が見られた（踵状態（$F(1,107)=24.2$, $p < 0.01$），停車位置（$F(2,107)=5.85$, $p < 0.01$），サポートクッション（$F(1,107)=9.00$, $p < 0.01$）．次に Fisher の多重比較を行い，要因 1 項目の違いで有意差が見られたのは，停車パターン 12&6，11&5（$p < 0.01$），停車パターン 12&10，10&7，

8&7，10&4，4&1（$p < 0.05$）であった．ここから見て取れる要因毎の結果は，1）踵状態；12&6，11&5，10&4 から，踵固定が踵移動に比較して有意に大きい（アクセルペダル寄りで誤踏みの可能性増），2）停車位置；12&10，8&7 から，Back 駐車が通常停車/坂路停車に対し有意に大きい（アクセルペダル寄りで誤踏みの可能性増），3）サポートクッション；10&7，4&1 から，サポートクッション有が無に対し有意に小さい（ブレーキペダル寄りで誤踏の可能性減），である．

それぞれの要因に有意差があった多重比較検定結果のうち，図 8 に踵移動固定を比較した停車パターン 12&6，図 9 に停車位置の平面と後退を比較した停車パターン 12&10，図 10 にサポートクッション装着有無を比較した停車パターン 4&1，を示す．更に図 11 に，図 9 の停車位置の平面と後退の停車パターン比較 12&10 を，上肢の向きを右向きと前向きの 2 グループに層別した結果を示す．右向きのみが後退時アクセルペダル寄りで，足の動きは上肢の動きに影響を受けていることがわかる．

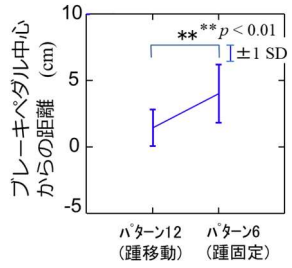


図 8 停止パターン 12&6 の踵の位置とブレーキペダル中心からの距離

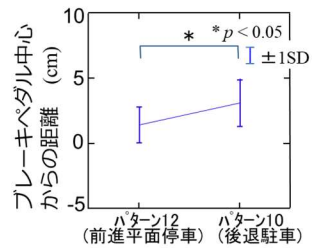


図 9 停止パターン 12&10 の踵の位置とブレーキペダル中心からの距離

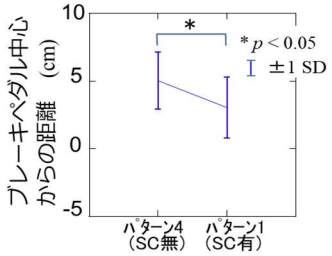


図 10 停止パターン 4&1 の踵の位置とブレーキペダル中心からの距離

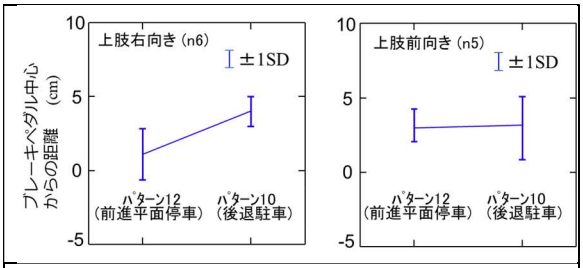


図 11 停止パターン 12&10 の踵の位置とブレーキペダル中心からの距離(上肢向き別)

3-2 ブレーキペダル踏み替え距離

停車時の足挙動の安定性を確認するため，各停車パターンでの，アクセルからブレーキへの踏み替え時の足の移動距離を確認した．ブレーキペダルからの距離の分析と同様の 3 項目（踵状態 2 水準，停止位置 3 水準，サポートクッション 2 水準）を独立変数，足の甲の移動距離を従属変数として分散分析を行った．その結果，踵状態に有意な主効果が見られた（$F(1,107) = 18.69$, $p < 0.01$）．次に Fisher の多重比較を行い，踵状態の違いで有意差が見られたのは，停車パターン 11&5, 8&2（$p < 0.01$）,であり，坂路停車で踵固定が踵移動に対し有意に小さかった．有意差があった多重比較検定結果のうち，図 12 に停車パターン 11&5 を示す．自然な状態のサポートクッション無での F 検定比較では，踵固定がばらつき小の傾向ではあるものの有意差はなかった（$F(1,65) = 1.80$, $p = 0.178$）

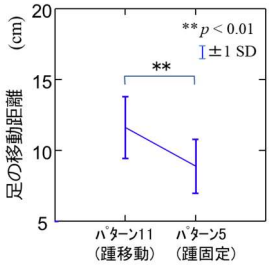


図 12 停止パターン 11&5 の足の移動距離

3-3 体格と踵固定移動

図 13，図 14 に，実験参加者の身長および足サイズと踵固定/移動を男女別に整理した結果を示す．踵固定は踵移動に比較し，身長，足サイズとも有意に大きい．図 15 は身長と足サイズの関係を男女別に相関を確認した結果であり，小柄な人が多い女性に踵移動が多いことを示している．踵固定/移動は，体格以外にも筋力や，車両のペダルレイアウト含めた各自の運転し易さ，運転姿勢に関してどのような教示を受けているか，等，様々な要因で決まると思われ，踵固定/移動は皆が容易に選択変更できない要素である．

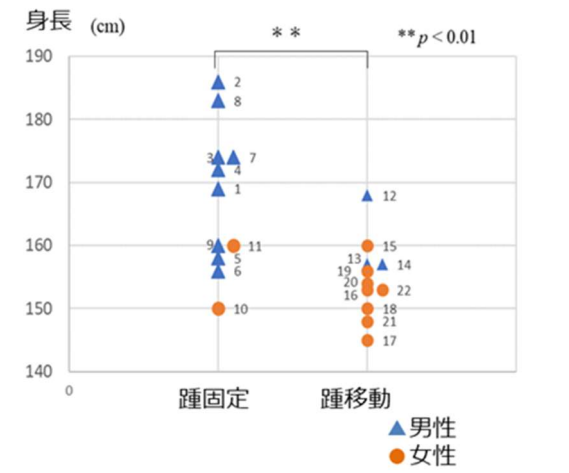


図 13 身長と踵固定/移動

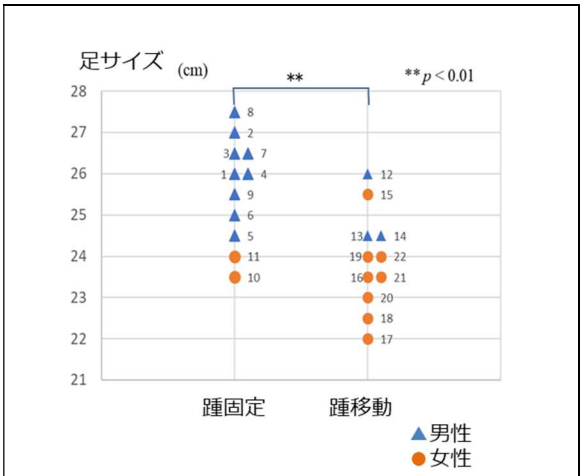


図 14 足サイズと踵固定/移動

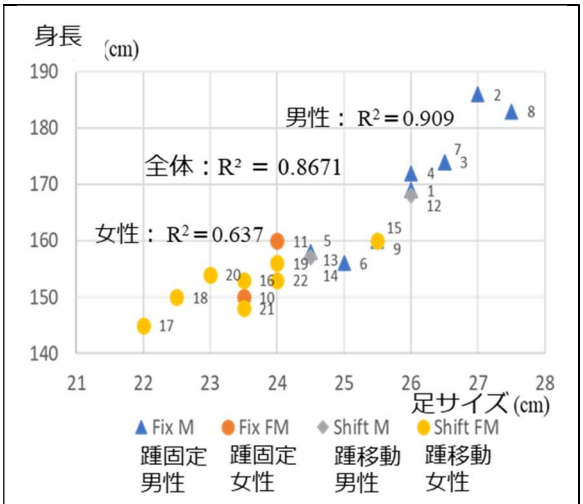


図 15 身長と足サイズの関係

4．今後の課題

本研究の実験では，実走行での足の挙動や踵の位置を観察し，一つ目の仮説の“通常運転時，踵の固定と移動で停車時のブレーキペダル踏み込み時の挙動には違いがある”が支持された．しかし，二つ目の仮説の“様々な運転操作において，踵固定は位置が安定する”については，ブレーキペダルからの距離の分析では支持されなかった．緊急ブレーキは突発的に発生するため，通常運転に比べ，認知，判断，操作の各段階の心身機能について挙動が異なる可能性があると考えられ，今後更なる解明が必要であろう．

サポートクッションの効果については，有が無に対し右足がブレーキペダル寄りになる有意な結果であり，右足に内向き（ブレーキペダル寄り）の強制力を付加するなどの何らかのアシストアイテムを用いることで運転姿勢を安全側にサポートできる可能性を示唆している．

運転時の右足位置については，踵を固定してアクセルペダルをコントロールしつつ，ブレーキ踏み込み時は制動力を確実に発生させるため踵を浮かして真上から強く踏み込む様教示される事例が見られるが，踵固定/移動は皆が容易に選択変更できない要素である．また，近年の車ではブレーキアシスト機能の中でペダル操作速度に応じた強いブレーキ液圧を発生させる仕組みが普及していることから，ブレーキ踏み込み時の踏力だけでなく，踏み替え速度や踏み込み速度などを考慮した，最適な運転スタイルを議論する必要があると考える．

5．研究成果の公表方法

本研究の成果は，2022 年度自動車技術会秋季学術講演会において発表した．（2022 年 10 月 14 日）

自動車技術会論文集 Vol. 5 4，No. 1 に掲載予定．（JSAE 事務手続き中）

論文 ID：IJAE-2022-0288

タイトル：「高齢ドライバの実車走行におけるペダル操作の定量的解析」

以上

Dec.05,2022

Quantitative Analysis of Pedal Operation by Elderly Drivers in Actual Driving Conditions

Primary Researcher: Akio Hirano, Research Fellow, Institutes of Innovation for Future Society, Nagoya University

Co-researchers: Hirofumi Aoki, Project Professor, Institutes of Innovation for Future Society, Nagoya University

Kunitomo Aoki, Research Fellow, Institutes of Innovation for Future Society, Nagoya University

In order to collect fundamental data for preventing accidents caused by pedal misapplication of the elderly drivers, we measure the pedal operation in actual driving scenes on the same instrumented vehicle. There were 24 participants for the experiment, of which 13 were men and 11 women, aged 66 to 86 years old. They are a part of the participants of DAHLIA, a database of driving and human characteristics of elderly drivers constructed by Nagoya University Center of Innovation (COI).

We use motion capture system and on-dash cams, and analyze the foot movement and the heel position, in the various driving scenes such as stopped, backed up and parked. The figure 1 shows the distance from the center of the brake pedal to the center of the right instep when the brake pedal is depressed and stopping pattern for each participants in each stopping position. The figure 2 shows the brake and gas pedal layout and foot shape scaled to the distance from the brake pedal. The stopping patterns were 12 combinations of heel status (fix, shift), stopping position (straight, slope, and backward parking), and support cushion (with, without).

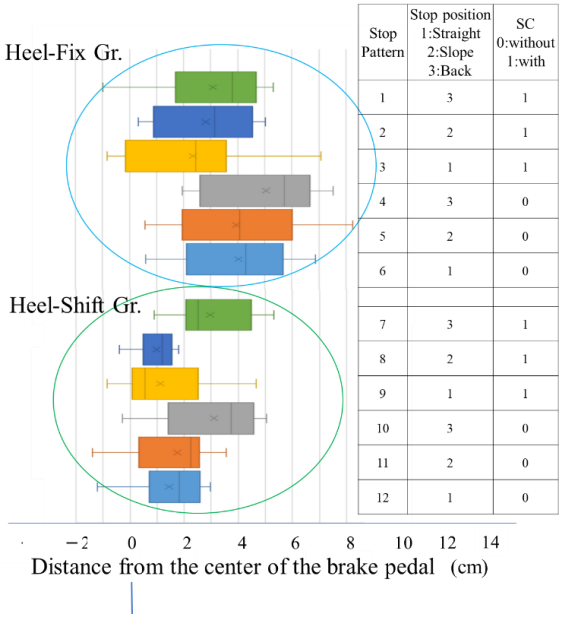
The results of the analysis of variance (ANOVA) using these factors significant main effects were found.(heel status ($F(1,107) = 24.17$, $p < 0.01$), stopping position ($F(2,107) = 5.850$, $p < 0.01$), support cushion $F(1,107) = 9.00$, $p < 0.01$).

The results of the post hoc test using these factors showed that the brake pedal position was significantly larger distance from the center of the brake pedal for heel fix group compared to heel shift group, significantly larger for back parking compared to normal stopping/slope stopping in terms of stopping position, and significantly smaller for back parking with support cushion compared to no support cushion.

Furthermore, we confirmed that the distance of foot travel from gas to brake pedal was significantly smaller the heel fix group than the heel shift group at the slope stop.

The relationship between body size and heel fix/shift, heel fix group was also significantly higher in height than heel shift group.

With regard to the position of the right foot during driving, we believe it is necessary to discuss the optimal driving style, taking into account the brake pedal changeover speed and the speed at which the brake pedal is depressed, since a system that generates strong brake fluid pressure in response to the brake pedal operation speed is widely used in recent vehicles.



Stop Pattern	Stop position 1:Straight 2:Slope 3:Back	SC 0:without 1:with
1	3	1
2	2	1
3	1	1
4	3	0
5	2	0
6	1	0
7	3	1
8	2	1
9	1	1
10	3	0
11	2	0
12	1	0

Fig. 1 Distance from the center of the brake pedal

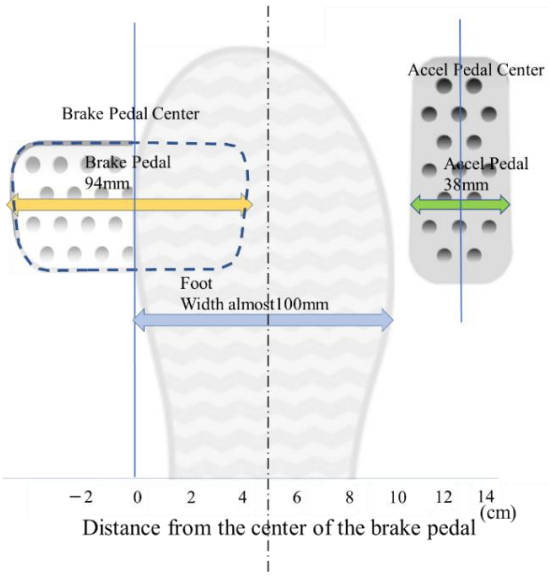


Fig.2 Brake and Gas pedal layout