

簡易運転行動測定装置によるふらつき運転評価

隅田 康明^{1,a)} 林 政喜² 合志 和晃³ 松永 勝也⁴

受付日 2015年4月12日, 採録日 2015年10月2日

概要: 近年, 高次脳機能障害者の運転の中断や再開について, 客観的に評価可能な指針が求められている。運転能力の低下した認知症者を含む高次脳機能障害者は, 方向制御や速度制御をスムーズに行えず, 直進走行時やカーブ走行時にふらつき運転が出現しているものと考えられる。本研究では, このような, ふらつき運転を客観的に評価することを目的とし, 日常生活の運転行動を継続的に記録可能な測定装置の開発, および, 走行コースを限定しないふらつき運転の評価指標について検討した。開発した運転行動測定記録装置を既得免許者講習を実施している自動車教習所で稼働させ, 指導員の評価と比較した。その結果, 直進区間のふらつき運転については左右加速度の平均値と標準偏差によって, カーブ区間のふらつき運転については前後加速度の平均値と標準偏差によって, 評価できることを示した。

キーワード: ふらつき運転, 運転行動測定装置, 運転能力評価, 高齢運転者, 高次脳機能障害

Evaluation of Unstable Driving Using Simple Measurement Device on Driving Behavior

YASUAKI SUMIDA^{1,a)} MASAKI HAYASHI² KAZUAKI GOSHI³ KATSUYA MATSUNAGA⁴

Received: April 12, 2015, Accepted: October 2, 2015

Abstract: Unstable driving which is caused by decreased driving ability is one of the features of the driving behavior of elderly and higher-cerebral-dysfunction drivers. To detect unstable driving would be useful to evaluate driving ability of elderly and higher-cerebral-dysfunction drivers. Some studies have been done to evaluate daily driving behavior of elderly or higher-cerebral-dysfunction drivers. However, because the daily driving routes would be different in every driver, it is difficult to detect unstable driving behavior on daily driving. Therefore, we have developed the system that is able to evaluate unstable driving behavior by extracting straight section and curved section on the road respectively. We installed the system in the automobile of the driving school, and compared the results of the analysis of the system with instructor's subjective evaluation on the training of the safe-driving for the drivers who were working at the companies. As a result, we found that the unstable driving on straight section was able to be evaluated by horizontal acceleration. In addition, we found that the unstable driving on curved section was able to be evaluated by longitudinal acceleration.

Keywords: unstable driving, driving behavior measuring device, driving ability evaluation, elderly drivers, higher-cerebral-dysfunction drivers

¹ 九州大学大学院システム情報科学府
Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University, Fukuoka 819-0395 Japan

² 九州産業大学
Kyushu Sangyo University, Fukuoka 813-8503 Japan

³ 九州産業大学大学院情報科学研究科
Faculty of Information Science, Kyushu Sangyo University, Fukuoka 813-8503 Japan

⁴ 九州大学
Kyushu University, Fukuoka 819-0395 Japan

a) 3IE12003N@s.kyushu-u.ac.jp

1. はじめに

1.1 背景

自動車は日常生活や社会生活を送るうえで欠かせない移動手段である。平成 25 年における運転免許保有者数は約 8,200 万人であり, 自動車運転免許取得可能年齢者 7 人に 5 人が自動車を運転する資格を有している [1]。公共の交通機関が十分に発展した一部の地域以外において, 自家用自

自動車による移動は欠かせないものである。これは認知症などの高次脳機能障害を持った運転者にも同様である。65歳以上の高齢者の4人に1人は認知症あるいは軽度認知症との推計もあることから[2]、人口の高齢化が進むわが国においては、高次脳機能障害者による自動車運転への関心は今後さらに高まると予想される。脳損傷者においては、運転中断により社会活動が抑制され抑うつ状態が進行する傾向があるとの報告もあり[3]、自動車運転は豊かな社会活動のために重要である。ただし、安全な運転を行う運転技能が不足した場合には、運転を中断する必要がある。しかしながら、自動車による移動が必須である場合には、運転能力が低下したとしても運転を中断しない場合も多い[4]。

認知症者が運転を中断しない理由として、本人が家族などの勧告や助言を拒否する場合や、運転が生活に必要であるとの理由が上位を占めている[5]。また、家族であっても運転を止めるべきか判断できない場合もあり、実際には安全な運転を行える運転技能を有していたとしても、周囲の意見によって運転を再開できない場合もある。このようなことから、高次脳機能障害者の運転の中断や再開について、客観的に評価できる指針が求められている。

認知症者の運転適性評価については、米国神経学会のガイドラインでは、「軽度以上の認知症患者では事故の危険性が高く、その時点で運転中断勧告すべきであり、ごく軽度の認知症患者でも、認知症の進行悪化を考慮すると、6か月ごとに再評価すべきである」とされている[5]。また、運転能力を評価するためには路上評価が有効である[6]、[7]、[8]。これらのことから、軽度の高次脳機能障害者の運転技能を評価するためには、日常生活の運転行動を継続的に記録し、記録した運転行動データを分析することで運転技能を評価することが重要と考えられる。

脳損傷者71人を対象とした実車評価において、運転技能の低下が認められた8人について、車線適正位置保持、車線変更、直進走行、左折、交差点への進入について過半数が運転可能な範囲でなかったとの報告もある[4]。このような、運転時において車両位置を車線内に維持できない、または車線内において左右に動揺するような運転を客観的に評価することは、高次脳機能障害者の自動車運転中断や再開を判断する指標の1つとできるのではないかと考えられる。

このようなことから、本研究では、日常の運転行動を測定、記録するための測定装置の開発、および、運転行動データの記録から車両位置を車線内に維持できない、または車線内において左右にふらつくような運転を評価可能な指標について検討した。

1.2 ふらつき運転

車両の車線維持ができない運転、または車線内において左右にふらつくような運転は、運転免許技能試験において

「ふらつき」として減点項目の1つとなっている。平成26年4月に公布された運転免許に係る技能試験などの実施基準[9]に関する規程では、「ふらつき[小]」の項目は次の状態となった場合とされている（二輪車を除く）。「(1) 左右に車幅のおおむね2分の1未満の幅でおおむねS字状（長いS字状になったときを含む）になったとき。(2) 右又は左のいずれかに車幅のおおむね2分の1以上の幅でおおむね半円状になったとき（カーブで車幅のおおむね2分の1未満の幅が正常な走行軌跡から外れて走行したときを含む）」。また、「ふらつき[大]」の項目は次の状態となった場合とされている（二輪車を除く）。「(1) 左右に車幅のおおむね2分の1以上の幅でおおむねS字状（長いS字状になったときを含む）になったとき。(2) 右又は左のいずれかに車幅のおおむね2分の1以上の幅でおおむね半円状になったとき（カーブで車幅のおおむね2分の1以上の幅が正常な走行軌跡から外れて走行したときを含む）」。本研究では、このような運転行動が生じるような運転を「ふらつき運転」として、これの客観的な評価を目的とする。

2. 関連研究

高齢者や高次脳機能障害者の運転行動を測定、分析するような研究においては、市販のドライブレコーダの記録データを利用するもの[10]、[11]、ステアリングホイール操作角を測定・分析するもの[12]、[13]などがある。

ドライブレコーダの記録データを利用する研究としては、車両進行方向に対する加速度が大きい箇所の映像を記録し、その発生頻度によって運転の荒さを評価するもの[10]、常時記録型のドライブレコーダの撮影映像を目視によって分析し、運転を評価するもの[11]などがある。これらは強いアクセル操作やブレーキ操作を検出するものがほとんどであり、ふらつき運転について評価したものはみられない。

伊藤らはステアリングホイール操作の滑らかさの変化に着目し、ステアリングホイール操作角の予測誤差値のエントロピー値によって運転者負荷評価を行うステアリングエントロピー法を提唱している[14]。中野ら、朴らはこのステアリングエントロピー法を用いて白質病変を患う高齢運転者の運転を実車によって評価する実験を行っており[12]、[13]、運転中に運転以外のタスクが求められた際には、若年者より高齢者の方がステアリング操作の滑らかさが失われており、また白質病変の進行度が高い高齢者ほどステアリング操作の滑らかさが失われていることを明らかにしている。

ただし、これらの先行研究は、走行するコースが運転者個々によって異なる場合には運転技能を評価する指標とすることは難しい。また、「ステアリングエントロピー値を各負荷について求める際は、各測定につき、走行コース、速度、障害物回避などの運転行為自体は同じくする必要がある」（文献[14]、p.22）とされており、同じ走行コースを

先行車両に追従して運転する必要がある。さらに、ステアリングエントロピー値を算出するためには、運転者の無負荷状態でのステアリング操作角データを事前に計測し、計測結果をもとに各個人の運転特性の基準となるステアリングホイール操作角の予測誤差値の90%タイル値を事前に求めておく必要がある。このようなことから、各個人の走行コースが不定な日常生活の運転行動からの評価を目的とする本研究には適さない。また、走行コースを指定せず、日常生活でのドライブレコーダの加速度をトリガとしたヒヤリ・ハット箇所による運転評価では、走行するコースの違いによって強い制動が生じる回数は異なってくるという問題がある。また、西郷らは高速道路運転中の居眠り運転を速度およびヨーレートの非定常なふらつきによって評価する研究を行っている [15]。しかしながら、高齢者や高次脳機能障害者が高速道路を運転する機会は少ないことや、ふらつきの評価を行うために目標経路をあらかじめ知っておく必要がある点などで、本研究の目的への応用は難しい。

これらのことから、日常生活の運転行動におけるふらつき運転を評価するためには、運転者それぞれが自由に運転した場合でも共通して用いることのできる指標が必要と考えられる。

3. 測定装置

3.1 測定項目

日常生活での運転行動の記録から、運転操作技能を評価するためには、走行コースを限定せずに評価可能な指標が必要である。運転者それぞれが自由な走行ルートを運転した場合、走行する道路の形状によって速度やステアリングホイール操作が大きく異なってくる。こうした道路形状の影響を排除するために、走行ルート中の車両が直進した区間および車両が大きく曲がった区間のみを抽出し、その区間のみで評価することが有効と考えた。

測定装置は、日常生活での運転行動からふらつき運転を判別するために、運転行動データを長期にわたって測定・記録できるものが必要である。また、測定装置は取り付け車種を限定せず、どの車両であっても簡易に取り付け可能なものが望ましい。そこで、走行時の位置情報、速度、旋回角度（ヨーレート）、加速度（x, y, z の3軸）を測定することとした。走行時の位置情報と旋回角度によって直進区間とカーブ区間の抽出を、走行時の加速度によってふらつき運転の評価を試みた。また、走行時の状況確認のために車両の前方画像を撮影する。なお、ステアリングホイール操作角度については、取り付け可能な車両がステアリングホイール操作角度を取得可能な車両に限定されること、ステアリングホイール操作角に応じた車両の旋回角度は車種によって異なり、異なる車種や車両において共通の指標を用いることが困難と考えられることから、車両の旋回角度を記録することとした。

3.2 簡易運転行動測定装置

測定装置は、走行位置と車速測定のための GPS、加速度と角速度測定のための慣性計測装置 (Inertial Measurement Unit: IMU)、前方画像撮影のための USB カメラ、センサの制御および測定のためのマイクロコントローラによって構成した。本論文では、GPS・慣性計測装置・カメラからなる運転行動測定装置を簡易運転行動測定装置と呼ぶ。

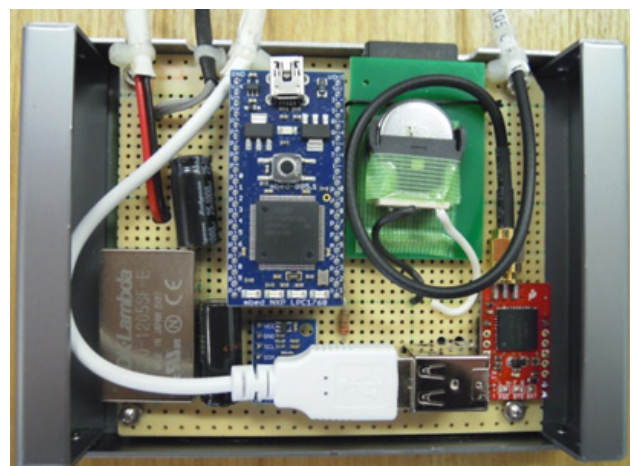
データはマイクロコントローラに接続した SD カードに記録する。記録は、1 秒間に 1 回の間隔で受信するように設定した GPS 信号の受信タイミングに合わせて、GPS データと対応付ける形式で行った。IMU からの加速度と角速度は毎秒 20 回の標準化間隔で計測し、その時点の車両の方位（起動時を 0 とした相対）、1 秒間中の最大旋回角速度、1 秒間中の合計旋回角度、1 秒間中の最大加速度（x, y, z）を計算し記録する。毎秒 20 回の角速度計測の際には、1/20 秒間で 0.01 度未満の角度変化はノイズとして切り捨てた。USB カメラによる前方画像の撮影も GPS 信号の受信タイミングに合わせて行い、1 秒間に 1 枚の画像を撮影し、記録した。この構成によって記録されるデータを、運転行動データと本論文では定義する。

ハードウェア実装に用いた主な使用部品を表 1 に、測定装置の実装結果を図 1 に示す。測定装置はできる限り単純な構成とし、電源を車両のアクセサリソケットから供

表 1 使用部品

Table 1 List of used parts.

部品	品名
マイクロコントローラ	mbed LPC1768
IMU センサ	MPU-6050 Triple-axis Accelerometer & Gyroscope 6 DOF Module
GPS センサ	Venus638FLPx 搭載 GPS モジュール
USB カメラ	Logicool HD Webcam C270
電源ユニット	CC10-1205SF-E



出典：隅田ほか (2015) [16], p.2290 の Fig. 3.

図 1 簡易運転行動測定装置

Fig. 1 Implementation results of measuring device.

給するだけで運転行動データを測定できる。記憶媒体には16GBのSDHCメモリーカードを使用した(最大32GBまで対応)。撮影画像は横160pixel縦120pixelの解像度で記録した。記録データはテキストファイルと画像ファイルからなり、1時間の記録で約6MBの容量となった。測定装置は、底面に、車両への固定のために面ファスナを貼り付け、車両へは、座席下などの面ファスナで固定可能なフロアマット上に取り付けた。

4. 直進区間とカーブ区間の抽出

日常生活での運転で記録した運転行動データから、運転操作技能を評価するためには、走行コースを限定しない評価指標が必要であり、そのためには直進区間とカーブ区間を抽出し、それぞれの区間内で評価することが必要と考えた。そこで、GPSからの位置情報と車速、車両の旋回角度を用いて、直進区間とカーブ区間を抽出した。

直進区間およびカーブ区間の抽出は、図2に示すような考えに基づいて行った。車両が直進している場合、車両の位置情報(緯度経度)から計算した直線距離と、実際の走行距離は近いものとなるはずであり、蛇行した道を走行している場合には、直線距離よりも長い距離を走行しているものと考えられる。たとえば、車両が152m走行し、直進を開始した場所から直進が終わる場所までの直線距離が150mであった場合には、走行距離と直線距離の差が小さいことから、その区間は直進していた可能性が高いものと判断する。カーブ区間も同様に、大きくカーブしている場合には直線距離よりも走行距離の方が長くなるものと考えられる。また、大きくカーブする場所においては、車両の旋回角速度が図2中の線グラフに示すような特徴を示す。この考えを基本とし、次に述べる方法で直進区間とカーブ区間を抽出した。直進区間の抽出は次に述べる考えに基づいて行った。ある n 時点と $n+m$ 時点の緯度経度から求

めた直線距離と走行距離の差が小さく、かつ、車両の旋回角度が小さい場合に n 時点から $n+m$ 時点までは直進している可能性が高い。なお、この抽出方法では、実際には直線道路であっても歩行者や駐車車両をよけるような大きな挙動があった場合には直進区間と判定されないため、道路形状による影響を除去することができるものと考えられる。本研究では、直進区間の抽出条件として直線距離と走行距離の差は、走行距離の5%未満(ただし100m以上走行の場合)、車両の旋回角度は1/20秒間の最大旋回角度が1度未満とした。

同様に、カーブ区間の抽出は次に述べる考えに基づいて行った。ある n 時点と $n+m$ 時点の緯度経度から求めた直線距離と走行距離の差が大きい区間において、車両の秒間最大旋回角度が大きな値をとる地点から車両の秒間最大旋回角度が0に近い値をとる地点までの間はカーブ路を走行している可能性が高い。本研究では、カーブ区間の抽出条件として直線距離と走行距離の差が25%以上であり、その区間内における車両の合計旋回角度が80度以上かつ、車両の秒間最大旋回角度が10度を超える時点から0.5度未満となるまでの走行距離が20m以上となる箇所とした。

さらに、凹凸が多い路面では加速度の測定値に路面からのノイズが大きくなり、加速度を用いた評価を行えない。直進またはカーブ区間として抽出された区間内の上下方向加速度の平均値が大きい場合には、前後加速度および左右加速度にも影響が大きいことが予想される。このようなことから、直線またはカーブ区間として抽出しないこととした。本研究では、上下方向の加速度の最大値が0.2以上である場合には、直進またはカーブ区間として抽出しないこととした。また、渋滞による影響を除外するために、時速10km未満の場合も直線またはカーブ区間として抽出しないこととした。前述した直進およびカーブ区間抽出の判定基準値は、開発者らの車両に簡易運転行動測定装置を設置し、記録したセンサのデータと前方画像を同時再生することで決定した。図3に走行ルートの一例を、図4に直進区間(図4中の赤線)とカーブ区間(図4中の青線)を抽出した場合の走行ルートを示す。図3および図4の走行ルートは、Google Maps上にGoogle Maps Javascript APIを利用して表示している[17]。図3および図4に示した移動経路は、自動車教習所の既得免許者講習に利用する車両1台に簡易運転行動測定装置を設置して記録した1走行分のデータを使用した。運転行動データの測定は自動車教習所の既得免許者講習での実車走行の際に行い、公道を走行する際には補助ブレーキの搭載された車両に指導員が同乗するなど、南福岡自動車学校の倫理委員会の審査を受け、倫理および安全に十分に配慮して行われた。また、運転行動を測定することについては事前に説明を行い、書面によって同意を得ている。なお、次章で述べる実験についても、南福岡自動車学校の倫理委員会の承認を受け、運転者の同

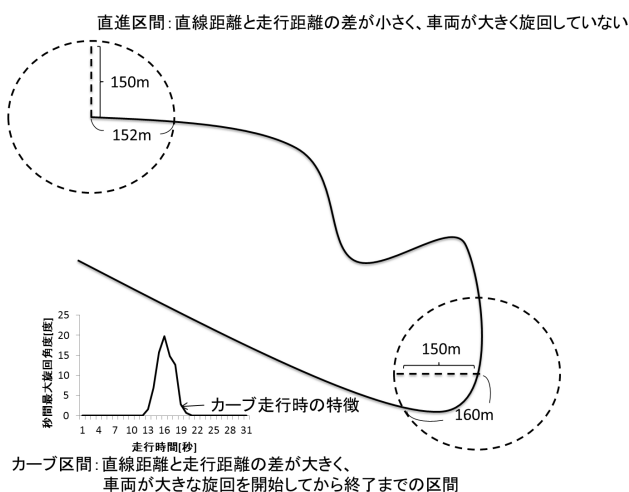


図2 直進区間とカーブ区間の抽出方法

Fig. 2 Method of determining straight section and curved section.

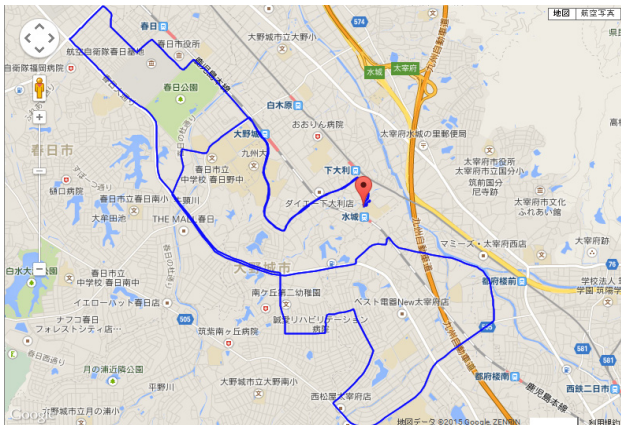


図 3 走行ルート (区間抽出前)

Fig. 3 The route traveled before extraction of straight section and curved section.

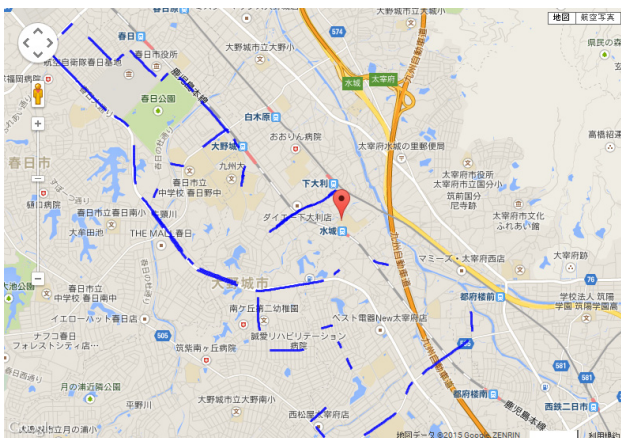


図 4 走行ルート (直進, カーブ区間抽出後)

Fig. 4 The route traveled after extraction of straight section and curved section.

意を得たうえで行った。緩やかなカーブが続く道路部分が削除されることで、走行したルート中の直進している部分と大きく旋回している部分のみによってふらつき運転を評価することができるようになる。同様に、カーブ区間の抽出によって、交差点などの大きなカーブのみでの評価を行える。これによって、運転行動データ全体の中から直進およびカーブ区間のみによる分析が可能であり、運転者がどこを走行していても共通の指標による評価を行えるものと考えられる。

5. ふらつき運転の評価実験

運転行動データ中から抽出した直進およびカーブ区間のデータを用いて、運転者の運転技能を評価可能な指標について検討する。1.2節で述べたようなふらつきのない運転を行っている場合には、運転者は車両を車線内に維持するために必要なステアリング操作を予測して行っている。ふらつきのある運転を行った場合、対向車線あるいは路肩への侵入を防ぐために急なステアリングホイール操作を行うため、車両は短時間に左右への動きを生じることとなり、正常に

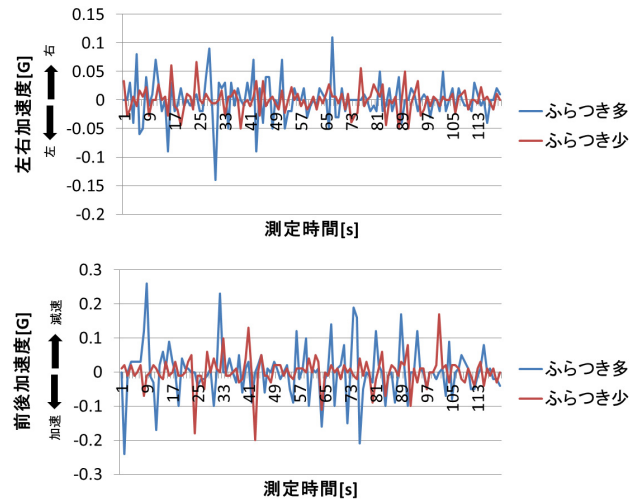


図 5 直進区間での加速度比較

Fig. 5 Comparison of acceleration in straight section.

運転している場合と比べて大きな左右加速度が生じるものと考えられる。さらに、車両を車線内に維持するための操作が遅れた場合には、減速操作によって逸脱の危険を回避する行動をとるものと考えられ、大きな前後加速度が生じるものと考えられる。たとえばカーブ走行時では、運転者はカーブ進入前に適切な速度を予測して減速しなければステアリングホイール操作が間に合わず車線を逸脱するような動きとなる。そのような場合に車線を逸脱しないためには、ブレーキを作動させながら車線方向へのステアリングホイール操作を急いで行う必要があり、通常よりも大きな左右加速度と前後加速度が生じるものと考えられる。このような考えから、ふらつき運転の評価に用いる測定項目として、左右加速度と前後加速度を主に検討することとした。

評価する運転技能としては、自動車教習所で実施されている既得免許者講習の評価項目の1つである、直進区間におけるふらつき運転、カーブ区間におけるふらつき運転、の2つの評価を目的とした。

5.1 直進区間におけるふらつき運転

自動車教習所の既得免許者講習に利用する車両1台に簡易運転行動測定装置を設置して測定した運転行動データから、指導員がふらつきが多いとした運転とふらつきが少ないとした運転をそれぞれ1例ずつ選び、直進区間のみを抽出した。抽出した直進区間でのふらつきの多い運転とふらつきの少ない運転の2分間分の左右加速度と前後加速度の一例を図5に示す。直進区間においてふらつきの多い運転はふらつきの少ない運転と比べて左右加速度、前後加速度ともに加速度の変化が大きい。直進区間走行時にふらついた運転をしている場合には、左右加速度および前後加速度の平均値と標準偏差が大きい可能性が考えられる。

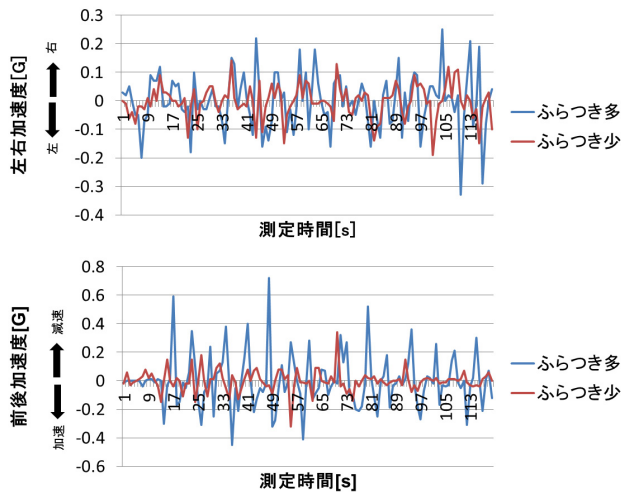


図 6 カーブ区間での加速度比較

Fig. 6 Comparison of acceleration in curved section.

5.2 カーブ区間におけるふらつき運転

直進区間と同様に抽出したカーブ区間でのふらつきの多い運転とふらつきの少ない運転での2分間分の左右加速度と前後加速度の一例を図6に示す。使用したデータは前節と同様に自動車教習所の既得免許者講習のデータであり、カーブ区間でのふらつきが多いと指導員が判断した運転と少ないと判断した運転それぞれ1例ずつを示している。カーブ区間においてふらつきの多い運転はふらつきの少ない運転と比べて前後加速度の変化が大きい。これは、カーブ区間において適切なステアリングホイール操作を行えていない場合、カーブの途中でステアリングホイール操作角度を変える必要があり、その際に加速や減速を必要としているためと考えられる。左右加速度については、ふらつきの多い運転と少ない運転で大きな違いは見られない。カーブ区間ではふらつきの有無にかかわらず、道路の形状によって左右加速度が生じるため、左右加速度ではふらつきの評価は難しいものと考えられる。

5.3 ふらつき運転評価指標の検討

運転行動データ中の直進区間とカーブ区間を抽出し、左右加速度または前後加速度の変化を調べることでふらつき運転の評価を行えるものと考えられる。これを検証するために、運転行動測定装置を2014年9月8日から2014年11月25日までの78日間、自動車教習所の教習車1台に取り付け、その間行われた既得免許者講習の際の運転行動データを分析し、指導員の主観評価と比較した。ただし、ふらつき運転の評価を目的とする旨については実験の性質上、運転者には通知していない。指導員の評価は評価シートによって行われ、期間内に測定できた既得免許者講習時のチェックリストと対応する運転行動データは健常者8人分10例であり、そのうち2例は1回目の路上講習後に追加講習が必要と判断された同一の運転者によるものであ

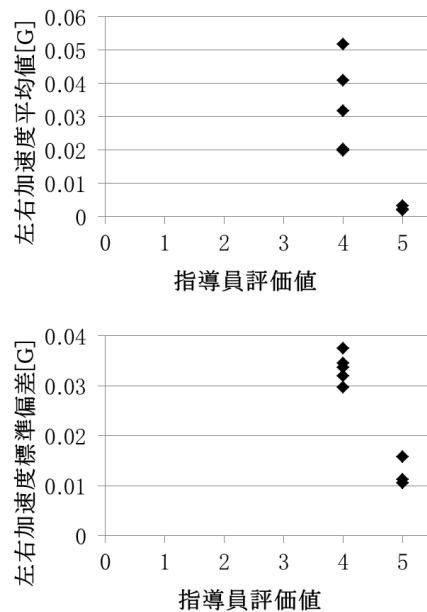


図 7 直進区間での指導員評価と左右加速度との関係

Fig. 7 Comparison of subjective evaluation and horizontal acceleration value on straight section.

た。路上講習において走行したコースは、一部同じ区間を走行しているものもあったが、全体としてはすべて異なるコースでの教習であった。既得免許者講習の評価シートは、1(不良)~5(良好)の5段階の評価で記入するもの8例と、該当する項目にチェックを付ける二者択一方式のもの2例の2種類であった。評価を行った指導員は2人であり(指導員A, 指導員B)、指導員Bが評価したものは、5段階評価シートのうちの1例と二者択一評価シートのうちの1例であった。指導員の評価は運転免許技能試験や高齢者講習での評価基準にある運転免許技能試験の「ふらつき」の項目と同様であり、評価を行うにあたっては複数の指導員が同乗して評価を行うことによって評価が近似したものとなるように訓練を受けている。ただし、5段階評価においては5:ふらつきなし, 4:ふらつき[小]1回程度, 3:ふらつき[小]数回以上, 2:ふらつき[大]1~2回程度, 1:ふらつき[大]頻繁, の基準で点数化された。二者択一評価シートでは5段階評価シートの基準においておおむね4以下の点数の場合に「ふらつきあり」として評価された。評価としては、まず5段階評価シートの結果を用いて統計処理を行い、その結果によって二者択一評価シートのふらつきを判別できるかを検討した。

5.3.1 直進区間におけるふらつき運転の評価

8例の5段階評価シートでの直進におけるふらつき運転に関係する項目は、「直進安定性(ふらつき)」であり、指導員の評価は1(不良)~5(良好)の5段階評価であった。直進区間におけるふらつき運転の指導員評価値と左右加速度の平均値と標準偏差を図7に、指導員の評価と前後加速度の平均値と標準偏差の関係を図8に示す。指導員の評価

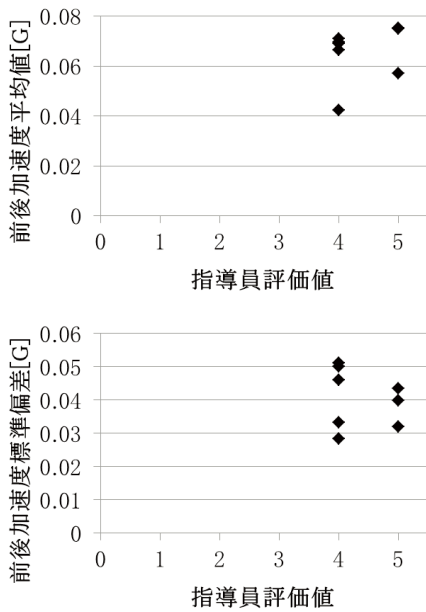


図 8 直進区間での指導員評価と前後加速度との関係

Fig. 8 Comparison of subjective evaluation and longitudinal acceleration value on straight section.

値と左右加速度の平均値の相関関係をピアソンの積率相関検定によって調べたところ、相関係数は -0.84 ($p < 0.01$) であり、強い負の相関関係が認められた。指導員の評価値と左右加速度の標準偏差値についても同様に強い負の相関関係が認められた ($r = -0.97$, $p < 0.01$)。このことから、直進時にふらついている運転をしている場合、左右加速度の平均値が大きく、また、左右加速度のばらつきも大きくなるといえる。指導員の評価値と前後加速度の平均値 ($r = -0.25$, $p > 0.1$) および標準偏差 ($r = -0.20$, $p > 0.1$) については、有意な相関関係は認められなかった。

2例の二者択一方式の評価シートでの指導員評価は、「直進ふらつき」のありかなしの二者択一であり、2例のうち1例はふらつきあり、1例はふらつきなしであった。ふらつきありと指導員に評価された運転者の左右加速度の平均値は 0.037 であり、標準偏差は 0.032 であった。ふらつきなしとの指導員の評価であった運転者の左右加速度の平均値は 0.003 であり、標準偏差は 0.014 であった。図 7 により、左右加速度の平均値では 0.01 、左右加速度の標準偏差では 0.02 を仮の閾値として設定すると、ふらつきありの運転者は 4、ふらつきなしの運転者は 5 となり、ふらつきの有無を左右加速度から判別できる。

また、走行全体で評価した場合、直進時ふらつきの指導員の評価との相関関係は、左右加速度の平均値の間では ($r = -0.20$, $p > 0.05$)、左右加速度の標準偏差の間では ($r = -0.22$, $p > 0.1$) であり、いずれも有意な相関関係は認められなかった。そのほかに表 2 に示す項目についても検討した。表 2 中の 0.3G 以上の前後加速度発生割合および 0.2G 以上の左右加速度発生割合は 0.3G または 0.2G 以

表 2 直進時ふらつきについての指導員評価との関係

Table 2 Correlation between each index and subjective evaluation on straight section.

	指導員評価との相関
前後加速度平均値 (走行全体)	0.47^\dagger
前後加速度標準偏差 (走行全体)	0.13^\ddagger
0.3G 以上の前後加速度発生割合	0.34^\ddagger
0.2G 以上の左右加速度発生割合	0.30^\ddagger
旋回角度予測誤差の 90% タイル値 (走行全体)	0.23^\ddagger
旋回角度予測誤差の 90% タイル値 (直進時)	-0.45^\dagger
旋回角エントロピー値 (走行全体)	0.16^\ddagger
旋回角エントロピー値 (直進時)	-0.53^\ddagger

† : $p > 0.05$, ‡ : $p > 0.1$

上の加速度が発生した回数を走行距離で除した値である。加速度の閾値については、運転免許に係る技能試験などの実施基準を参考とし前後加速度は 0.3G 、左右加速度については 0.3G 以上の加速度は 1 度も発生しなかったために 0.2G 以上とした。また、表 2 中の旋回角エントロピー値と旋回角度予測誤差の 90% タイル値は、ステアリング操作角度の予測誤差値 (式 (1), 式 (2) によって計算) を車両旋回角度に代替して計算したものである。予測誤差の 90% タイル値は各個人の運転特性の基準を示す値とされていることから検討項目の 1 つとした [14]。いずれの項目も指導員の評価値との相関関係は危険率 5% 水準で有意なものはなかった。

$$\theta(pn) = (\theta(n-1) - \theta(n-2)) \tag{1}$$

$$+ 1/2(\theta(n-1) - \theta(n-2)) - (\theta(n-2) - \theta(n-3))$$

$$\theta(en) = \theta(n) - \theta(pn) \tag{2}$$

5.3.2 カーブ区間におけるふらつき運転評価

8例の 5 段階評価シートでのカーブにおけるふらつき運転に関係する項目は、右左折それぞれの「速度/走行位置 (左右それぞれ 1~5 の 5 段階評価)」であり、指導員による評価は 1 (不良)~5 (良好) の 5 段階評価であった。統計処理のために、右左折の点数は加算して 0~10 点として評価した。

カーブ区間におけるふらつき運転の指導員評価値と左右加速度の平均値と標準偏差を図 9 に、指導員評価と前後加速度の平均値と標準偏差の関係を図 10 に示す。指導員の評価値と左右加速度の平均値との相関係数は -0.68 ($p > 0.05$) であり、負の相関関係にはあるが有意なものではなかった。指導員の評価値と左右加速度の標準偏差値についても負の相関関係にはあるが、有意なものではなかった ($r = -0.56$, $p > 0.05$)。指導員の評価値と前後加速度の平均値 ($r = -0.83$, $p < 0.01$) および標準偏差

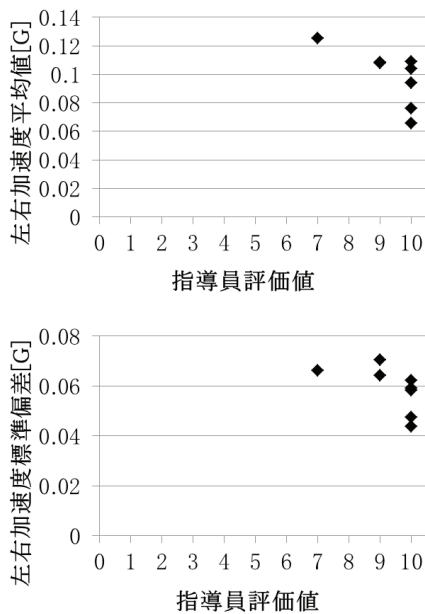


図 9 カーブ区間での指導員評価と左右加速度との関係

Fig. 9 Comparison of subjective evaluation and horizontal acceleration value on curved section.

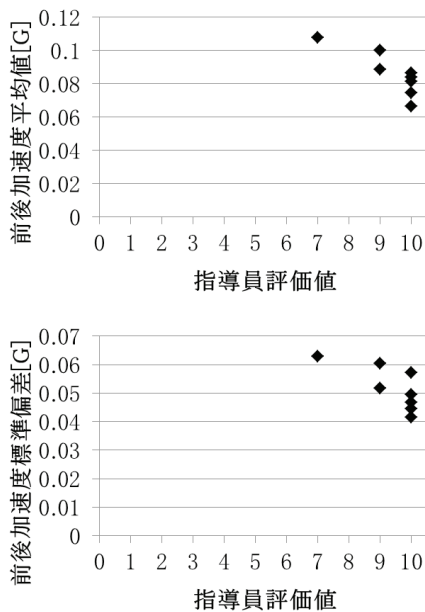


図 10 カーブ区間での指導員評価と前後加速度の比較

Fig. 10 Comparison of subjective evaluation and longitudinal acceleration value on curved section.

($r = -0.73, p < 0.05$) については、有意な負の相関関係が認められた。このことから、カーブ時にふらついている運転をしている場合、前後加速度の平均値が大きく、また、前後加速度のばらつきも大きくなる傾向があるといえる。2例の二者択一方式の評価シートでの指導員評価は、「右折/左折ふらつき」のありかなしの二者択一であり、2例ともに左右それぞれふらつきありとの指導員の評価であった。2名の運転者のカーブ区間での前後加速度の平均値は

表 3 カーブでのふらつき状態時の各指標と指導者評価との関係
Table 3 Correlation between each index and subjective evaluation on curved section.

	指導員評価との相関
左右加速度平均値 (走行全体)	0.33 †
左右加速度標準偏差 (走行全体)	0.20 †
0.3 G 以上の前後加速度発生割合 (走行全体)	0.34 †
0.2 G 以上の左右加速度発生割合	-0.61 ‡
旋回角度予測誤差の 90% タイル値 (走行全体)	0.09 †
旋回角度予測誤差の 90% タイル値 (カーブ時)	-0.28 ‡
旋回角エン트로ピー値 (走行全体)	0.09 ‡
旋回角エン트로ピー値 (カーブ時)	-0.29 ‡

†: $p > 0.05$, ‡: $p > 0.1$

それぞれ 0.10 と 0.09 であった。図 10 より、前後加速度の平均値 0.09 を仮の閾値として設定した場合、2 人ともふらつきありと判別できる。前後加速度の標準偏差については、外れ値があるために閾値処理での判別は行えなかった。

また、走行全体で評価した場合、カーブ時ふらつきの指導員の評価との相関関係は、前後加速度の平均値の間では ($r = -0.30, p > 0.05$)、前後加速度の標準偏差の間では ($r = -0.27, p > 0.1$) であり、いずれも有意な相関関係は認められなかった。そのほかに表 3 に示す項目についても指導員の評価値との相関関係が強いものがないかを検討した。このうち、走行全体での 0.2 G 以上の左右加速度発生割合 ($r = -0.61, p = 0.053$) については、やや強い相関関係であったが危険率 5% 水準においては有意なものでなかった。また、0.2 G 以上の左右加速度発生個所を撮影画像と測定データから確認したところ、10 件中 8 件が抽出されたカーブ区間内において、2 件がカーブ区間外 (カーブの出口) で発生していた。

5.4 考察

運転者がそれぞれ異なるコースを走行する場合に共通した評価を行うために、走行コース中の直進区間およびカーブ区間の抽出を行い、それぞれにおいてふらつき運転を判定できる指標を検討した。指導員による評価値と前後・左右加速度の平均値・標準偏差によるふらつき直進区間のふらつき運転評価、前後加速度の平均値と標準偏差によるカーブ区間でのふらつき運転評価を行える可能性があるものと考えられた。また、直進区間およびカーブ区間の抽出を行わずに走行全体で評価した場合には、左右加速度、前後加速度ともに指導員評価との相関関係は認められなかった。加速度以外の指標についても検討したが、危険率 5% 水準で有意な相関関係にあるものはなかった。そのうち、直進走行時の旋回角エン트로ピー値 ($r = -0.53, p > 0.1$)

はやや強い相関係数を示したが危険率5%水準において有意なものでなく、今回の実験結果においては直進時左右加速度の方が指標として適当と考えられる。また、カーブ区間では走行全体での0.2G以上の左右加速度発生割合($r = -0.61$, $p = 0.053$)がやや強い相関係数を示したが危険率5%水準において有意なものでなかった。強い左右加速度はカーブにおいて発生しやすいために、走行経路が同一でない場合にはカーブ区間とそれ以外の区間の走行距離の比率によって割合が異なる。そのため、カーブ区間が多い経路を走行した運転者ほど高い値となる可能性が高い。今回の実験では全員が一部を除いて異なる経路を走行したために、指導員の評価値との相関係数が有意なものとならなかったものと考えられる。

また、ステアリング操作角度の代わりに旋回角度を使用した旋回角度予測誤差の90%タイル値、旋回角エントロピー値と指導員の評価値との関係も調べた。カーブ時の旋回角エントロピー値が相関係数 -0.29 ($p > 0.1$)で最も強い相関係数であったが、ふらつき運転評価の指標とはならないものと考えられる。ただし、朴らの行った運転免許センター内の規定のコースを走行する実車実験の結果では、指導員の評価値と旋回角エントロピー値の決定係数(r^2 値)は右折時で0.119、左折時は0.028との結果が示されている。今回の実験結果におけるカーブ時の旋回角エントロピー値と指導員の評価値を線形回帰した場合の決定係数は0.084であり、朴らの実車実験におけるステアリングエントロピー値と大きな差はない。これらのことから、走行コースを限定せずに測定した運転行動データからふらつき運転を評価するためには、直進区間およびカーブ区間を抽出したうえでの分析が有効であり、直進区間のふらつき運転については左右加速度の平均値と標準偏差によって、カーブ区間のふらつき運転については前後加速度の平均値と標準偏差によって、ふらつき運転を評価することが有効であると考えられる。

ただし、検討に用いた運転行動データは既得免許者講習を受講した健常者のものであり、指導員による評価でもふらつきの度合いは小さいもののみであった。これは、既得免許者講習では助手席に指導員が搭乗した状態での運転であり、ふだんの運転と比べて丁寧な運転を行っているためであると考えられる。ただし、大きなふらつきが生じるような運転の前後には、小さなふらつきが連続して生じることが予想される。本研究の提案手法では、ふらつきの度合いの小さな運転であっても判別が可能であったため、ふらつきの度合いがより大きい運転についても評価できるものと考えられる。高齢者や高次脳機能障害者の運転におけるふらつき運転の特徴に応用可能かについては、高齢者や高次脳機能障害者の運転行動データを測定、分析し、健常者との比較のうえで検討する必要があると考えられる。

6. おわりに

運転能力が低下した高齢者や高次脳機能障害者を含む運転者の特徴の1つとして、ふらつき運転があげられる。本研究では、日常生活での運転行動を測定し、ふらつき運転を検出することを目的とし、簡単に設置可能であり長期間にわたって測定と記録が可能な測定装置の開発と、測定したデータをもとにしたふらつき運転の評価指標の検討を行った。全走行データの中から、直進区間とカーブ区間の抽出を行い、それぞれの区間におけるふらつき運転評価の指標を検討した。既得免許者講習を実施している自動車教習所で運転行動測定装置を稼働させ、指導員の評価と比較した結果、直進区間のふらつき運転については左右加速度の平均値と標準偏差によって、カーブ区間のふらつき運転については前後加速度の平均値と標準偏差によって、ふらつき運転を評価できるものと考えられる。

高齢者や高次脳機能障害者を含む複数の運転者の運転行動データを長期間にわたって測定し、その結果をもとにより詳細な分析を進めることが今後の課題である。

参考文献

- [1] 警察庁：平成25年版運転免許統計 (online), 入手先 (http://www.npa.go.jp/toukei/menkyo/pdf/h25_main.pdf) (参照 2015-10-10).
- [2] 厚生労働省：認知症高齢者の現状 (平成22年) (online), 入手先 (http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou_kouhou/kaiken_shiryuu/2013/dl/130607-01.pdf) (参照 2015-10-16).
- [3] Finestone, H.M., Guo, M., O'Hara, P., Greene-Finestone, L., Marshall, S.C., Hunt, L.M., Jennifer, B. and Jessup, A.: Driving and reintegration into the community in patients after stroke, *Phys. Med. Rehabil.*, Vol.2, No.6, pp.497-503 (2010).
- [4] 蜂須賀研二 (編著)：高次の機能障害者の自動車運転再開とリハビリテーション1, 株式会社金芳堂 (2014).
- [5] 日本精神神経学会 (訳)：アルツハイマー病と老年期の痴呆 (米国精神医学会治療ガイドライン), 医学書院 (1995).
- [6] Akinwuntan, A.E., Feys, H., DeWeerd, W., Pauwels, J., Baten, G. and Strypstein, E.: Determinants of driving after stroke, *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, Vol.83, No.3, pp.334-341 (2002).
- [7] Fox, G.K., Bowden, S.C. and Smith, D.S.: On-road assessment of driving competence after brain impairment, Review of current practice and recommendations for a standardized examination, *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, Vol.79, No.10, pp.1288-1296 (1998).
- [8] 蜂須賀研二：高次脳機能障害と自動車運転, 認知神経科学, Vol.9, No.3, pp.269-273 (2007).
- [9] 警察庁：運転免許技能試験に係る採点基準の運用の標準について (online), 入手先 (<https://www.npa.go.jp/pdc/notification/koutuu.htm>) (参照 2015-10-16).
- [10] 小竹元基, 木村健人, 二瓶美里, 鎌田 実：高齢運転者の認知特性と実環境における不安全行動の関連性の検討, 日本機械学会論文集C編, Vol.78, No.794, pp.3362-3373 (2012).
- [11] 堀川悦夫：ドライブレコーダーを用いた健常及び認知機

能低下高齢者の日常的運転行動の測定と分析, タカタ財団助成研究論文集 (2012).

- [12] 中野公彦, 朴 啓彰, 鄭 仁成, 方 芳ほか: 実車試験による白質病変を持つ高齢者の運転能力の評価, 生産研究, Vol.65, No.2, pp.211-215 (2013).
- [13] 朴 啓彰, 熊谷靖彦, 西田 泰ほか: 危険運転をする健常高齢ドライバーの頭部 MRI 検査解析, 平成 25 年度 (本報告) タカタ財団助成研究論文, ISSN2185-8950.
- [14] 伊藤敏行, 中山沖彦, アーウィン・ボアー: 車載情報機器に関する自工会安全性ガイドラインの策定とステアリングエントロピー法による運転者負荷評価, *IATSS Review*, Vol.26, No.4 (2001).
- [15] 西郷慎太郎, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 永井正夫: 先行車追従時のドライバモデルに基づく個別適合型運転状態診断手法に関する考察, 日本機械学会論文集, Vol.80, No.815, pp.1-17 (2014).
- [16] 隅田康明, 合志和晃, 林 政喜ほか: 速度制御と方向制御にかかわる運転機能の簡易測定記録装置の研究・開発, 自動車技術会 2015 年春季大会学術講演予稿集, pp.2288-2293 (2015).
- [17] Google: Google Maps Javascript API: Google Developers (オンライン), 入手先 (<https://developers.google.com/maps/documentation/javascript>) (参照 2015-12-16).



隅田 康明 (正会員)

2012 年九州産業大学大学院情報科学研究科情報科学専攻博士前期課程修了。現在, 九州大学大学院システム情報科学府博士後期課程に在学中, 日本靴医学会, 日本自動車技術会, 日本機械学会, 日本土木学会各会員。



林 政喜 (正会員)

2008 年九州産業大学大学院情報科学研究科情報科学専攻博士前期課程修了。2011 年同大学院情報科学研究科博士後期課程単位取得退学。博士 (情報科学)。現在, 九州産業大学情報科学部非常勤講師。日本靴医学会, 日本

自動車技術会各会員。



合志 和晃 (正会員)

1970 年生。1997 年九州大学大学院博士課程修了。博士 (情報科学)。同年九州大学助手。1998 年英国北アイルランドベルファストクイーンズ大学 (The Queen's University of Belfast) で在外研究。2002 年九州産業大学情

報科学部助教授 (准教授)。2009 年同大学教授。高度交通システム (ITS) に関する研究に従事。日本自動車技術会, 日本バーチャルリアリティ学会, 日本交通心理学会, 日本靴医学会各会員。



松永 勝也

1972 年九州大学大学院文学研究科博士課程 (心理学専攻) 退学, 文学博士。九州大学文学部心理学講座助手, 助教授, 教授, 1996 年九州大学大学院システム情報科学研究院教授, 2005 年定年退職, 九州大学名誉教授, 九州産業

大学情報科学部教授, 2012 年九州産業大学定年退職。日本人間工学会, 日本交通心理学会, 日本自動車技術会, ヒューマンインタフェース学会各会員。