

運転トレーニングと認知機能の関係

Relativity between cognitive function and driving training

伊藤 安海^{*1,2} 久保田 怜^{*2} 根本 哲也^{*2} 大瀧 雅世^{*3} 山田 陽滋^{*1}
 Yasumi Ito Ryo Kubota Tetsuya Nemoto Masayo Otaki Yoji Yamada

^{*1} 名古屋大学
Nagoya University

^{*2} 国立長寿医療研究センター
National Center for Geriatrics and Gerontology

^{*3} 健康科学大学
Health Science University

In recent years, the increase in the traffic accident by elderly drivers is a social problem. So, the safety measures in driving of the elderly drivers using a driving simulator are studied. In this study, the effectiveness of driving training and change of a cognitive function which used the simulator were investigated epidemiologically in the social experiment in Fuji Kawaguchiko-machi. As a result, it turned out that long-term driving training using a simulator raises the driving ability and the cognitive function of aged people.

1. はじめに

世界一の超高齢社会となっている我が国では、高速道路の逆走といった高齢者ドライバーによる事故が増加し、社会問題となっている。一方、地方都市や山間部などでは、自動車運転は高齢者の自立した生活に欠かせない手段であり、池田らが65歳以上の地域高齢者を対象に行った調査[池田 05]によると、「自動車の運転ができなくなったら日常生活上非常に困る」と考えている者は、大都市で42%なのに対し、地方都市や山間部では80%以上を占めていた。

そのため、高齢者ドライバーの安全運転を長期間継続可能にする対策が求められており、松浦らは安全運転ワークブックを用いた高齢者ドライバーの補償運転(雨の日は運転しない、狭い道で対向車がきたら停止して待つ、などの危険な運転を補う行動)の促進を提案している[松浦 08]。しかし、交通事故リスクの高い、身体機能(視力、視野、反応速度など)や有効視野の低下した高齢者ドライバーでは、運転頻度を下げ補償運転を心掛ける傾向が高いにもかかわらず、事故率が非常に高いのが実態である[Ross 09]。

本研究では、開発したドライビングシミュレータを富士河口湖町高齢者ドライバー支援事業における運転トレーニングに社会実装し、トレーニング前後およびトレーニング中の認知機能を医学的な認知機能検査(MMSE)と機器を用いた脳機能チェックを併用することで測定し、機器を用いた運転トレーニングの効果と認知機能・脳機能との関係、トレーニングを継続することによる認知機能・脳機能の変化といった観点から検討を行った。

2. シミュレータの概要

2.1 ハードウェアの概要

本研究では、一般家庭や病院で日常的に使用できるようにノートPC(マウスコンピュータ m-Book TW811S), 32型液晶テレビ(三菱電機 LCD-32MX30), ゲーム用コントローラ(Logicool GT FORCE Pro)で構成した簡易装置を用いて実験を行った。実際に簡易装置を用いて運転を行っている様子を図1に示す。



図1 装置で運転を行っている様子

2.2 検査走行(ソフトウェア)の概要

本研究では、検査走行課題としてミラー確認により周囲の車両の配置を瞬時に把握し、運転方策を判断して対処操作を行わせるシナリオを用いた。以下にその詳細を示す。また、各段階の状況について上空から見下ろした説明図を図2に、実験参加者が見ているディスプレイの画面を図3に示す。

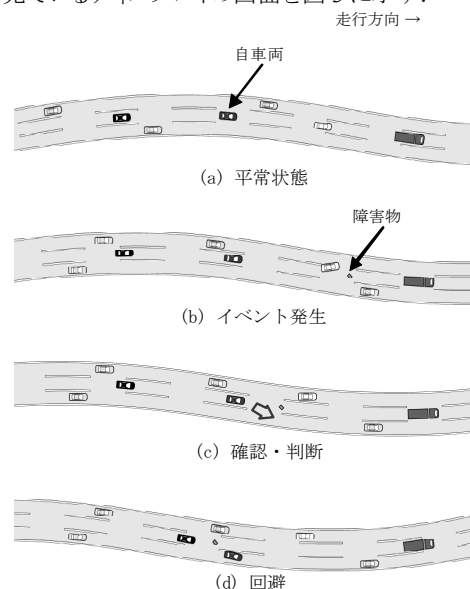


図2 検査走行における各段階の説明

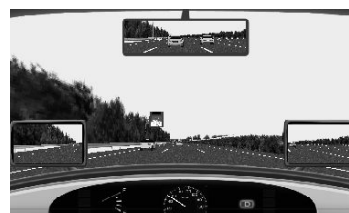


図3 実験参加者が見ているディスプレイ画面

連絡先: 伊藤安海, 名古屋大学大学院工学研究科, 464-8603
 愛知県名古屋市千種区不老町, 電話番号: 052-789-5330, Fax 番号: 052-789-5330, ito-yasumi@mech.nagoya-u.ac.jp

2.3 走行の基本設定

走行するコースは片側 3 車線の高速道路とし、実験参加者に運転させる車の前方に 2 台の先行車両を配置した。この先行車両は共に中央の車線を 50km/h で直進し、実験参加者には 2 台目の先行車両に追従して走行させることとした。また、後方にも 1 台、自車両に追従して走行する車両を配置した。

2.4 イベント

実験中は、左右の車線に出現した車群が、自車両よりもやや高い速度で、順々と自車両を追い抜いてゆく状態が継続する(図 2 (a))。

しばらくすると、1 台目と 2 台目の先行車両の間に突然障害物が出現し、2 台目の先行車両が車線変更すると、その陰から障害物が自車両の前に現れる状況とした(図 2 (b))。

続いて、自車両も障害物に接近して回避行動が必要な状況となり、実験参加者には周囲の車両の配置に応じて、最も安全な方法で回避することを課題とした(図 2 (c), (d))。ただし、回避方法として操舵と停車(急制動)を混在させると判定が困難なため、回避方法は操舵による左右どちらかへの車線変更の 2 択とし、近くに後続車両の存在しない車線に出て障害物を回り込む回避を正解とした。

先行車両の車線変更の開始から自車両が障害物に達するまでの時間は、それまでの追従速度(50km/h)を保持して走り続けた場合で約 5.5 秒である。イベントの発生は、左右のどちらかに車両が存在する時に選択的に行い、タイミングをランダムに変化させ繰り返し実施した。

2.5 シミュレータ適応課題

シミュレータへ適応出来ない高齢者の観察結果に基づき、以下①～③に示すトータル 7 分間の適応課題を開発した[伊藤 10]。適応課題では検査走行と同じ 3 車線の道路を使用するが、自車両以外の車両は現れないこととした。

①直線コースで画面の指示に対してアクセル、ブレーキ操作を行う練習を 2 分間行う。(操舵機能オフ)

②緩やかにカーブするコースをコースアウトしないように 2 分間走行する。

③ところどころに障害物(段ボール箱)が落ちているコースを、障害物を避けながら 3 分間走行する。(段ボールは 3 車線のうち 1 車線を封鎖)

3. ペダル操作による脳活性化計測

3.1 生体ゆらぎを用いた脳活性化測定

脳波、心拍、呼吸などに現れる一見不規則な波形変動を生体ゆらぎと呼び、その強弱変化や間隔変化の傾向が脳前頭葉の認知機能部の活性化合いに比例することが臨床医学研究で明らかとなった[鈴木 89]。生体ゆらぎの計測は自律神経を中継して活動制御する筋肉の活動信号から計測可能であり、最近では足踏み運動からも生体ゆらぎ(歩調ゆらぎという)が観測できることが報告されている。

3.2 時系列カオス解析による生体ゆらぎ特徴量の計測

生体ゆらぎから脳活性化度を計測するアルゴリズムには時系列カオス解析を使用するのが最近のトレンドである。

時系列カオス解析[鈴木 89]は非線形な波形信号から自己相関性(傾向)を持った力学運動の軌跡(運動特徴量)を可視化し、その傾向特性(軌道不安定性など)を可視化するのに使用され

る。この可視化をアトラクタ再構築といい、本技術ではターケンスの埋め込み定理[Floris 81]という手法(図 4 参照)を使う。P(t) は埋め込みベクトルで、 τ を埋め込み遅延時間といい、n を埋め込み次元数という。

また、傾向特性を軌道不安定性から計測するリアプノフ指数計算を使用している。この計算にはリアルタイム性を考慮した Sano-Sawada 法[Sano 85]を用い、超球サイズ、近傍点数、発展時間点数でリアプノフ指数を調整する(図 5 参照)。

生体ゆらぎにおいてリアプノフ指数が低下することは、認知能力の低下や脳活性状態の低下を意味する。

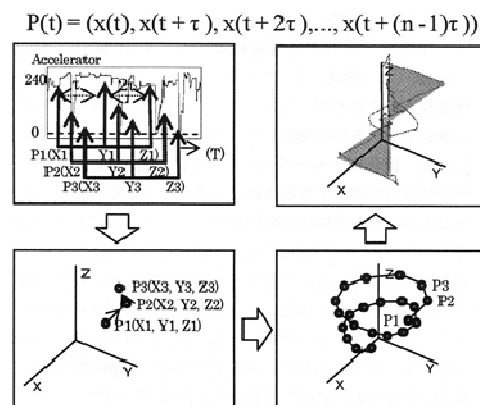


図 4 ターケンスの埋め込み定理を用いたアトラクタ再構築

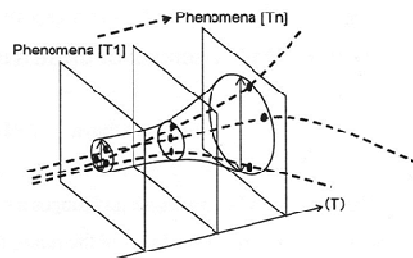


図 5 リアプノフ指数の計測

3.3 ペダル操作による脳活性化計測

我々は、日常の高齢ドライバーの運転操作から定量的に運転能力を計測する手法として、(ブレーキ、アクセルの)ペダル操作からドライバーの運転特徴量を計測する手法を提案した[奥谷 11]。これは歩調ゆらぎに代表される足踏み運動をペダル操作運動から観測するものである(以降、ペダル操作ゆらぎと称す)。なお、脳活性化度を運転能力判定レベルに当てはめるうえで、これまでの実験結果から、リアプノフ指数 3.0 未満を認知症、4.0 未満を経度認知障害(MCI)と扱うこととした。

4. 富士河口湖町高齢者ドライバー支援事業

4.1 事業の目的

富士河口湖町では高齢者福祉の方針として、高齢者自身が様々な社会活動に参加するなど積極的な役割を果たしていけるように支援をすることが重要だとしている。このため、交通安全のために高齢者からの免許証返納を奨励するのではなく、より長く安全運転を可能にするための支援策を確立することを目的として平成 20 年 9 月に事業を開始した。

4.2 事業の概要

事業の基本的な仕組みは、以下の二つの目的を達成するために町の高齢者ドライバーに対する年 3 回のセミナーへの参加

を促す、というものである。また、セミナーとセミナーの間には、シミュレータでの運転トレーニングの日を設けた。

第一の目的は、高齢者ドライバーの運転能力を定期的にチェックし現状を本人と周りの人間が把握することである。第二の目的は、継続的に運転能力トレーニングとアドバイスをを行うことで運転能力の向上を図ることである。1回のセミナーは約120分で以下の三講座を実施する。

第一講座は作業療法士による高齢者ドライバー体操で、3回行われるセミナーにあわせて身体を『頭』『上肢』『下肢』に分け、それぞれのテーマに応じた体操を参加者全員で行う。

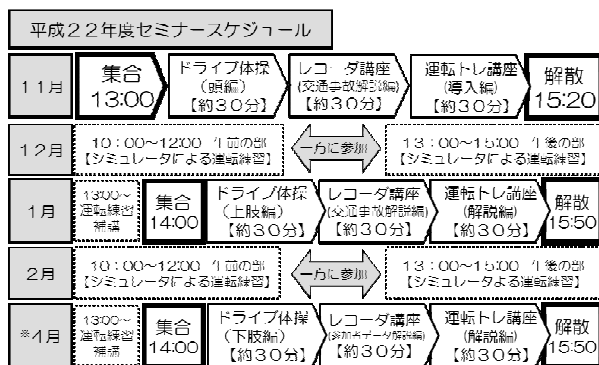
第二講座では、簡易シミュレータを使用した運転能力のチェックと運転トレーニングである。

第三講座は、ドライブレコーダを使った日常運転チェックとドライブレコーダ映像を利用した安全運転座談会である。

本研究の対象となる平成22年度の参加者は21名であった。実際のセミナーの様子を図6, 7に、スケジュールを図8に示す。



図6 高齢者ドライバー体操の様子 図7 運転座談会の様子



※東日本大震災により実施を3月から4月に変更
図8 高齢者ドライバー支援事業セミナースケジュール

5. 実験

5.1 実験参加者

本実験では、富士河口湖町高齢者ドライバー支援事業で実施しているセミナーに自発的に参加した高齢ドライバーを実験参加者(以下参加者と記載)とした。参加者は運転免許を持ち日常的に自動車の運転をしている68歳から84歳の高齢者ドライバー21名である。なお、全ての実験(セミナーおよびシミュレータによる運転練習)に参加した参加者は68歳から84歳の8名(男性6名、女性2名)、その平均年齢は77.5歳であり、本研究ではその8名のデータを用いた。

5.2 走行スケジュールおよび走行時間

参加者に対して、7分間の走行課題を約10分の休憩を挟んで4回走行してもらう実験を12月と2月の2度実施した。走行課題は、1回目を練習走行(2.5で示したシミュレータ適応課題)、2~4回目を検査走行(2.2で示した検査走行)とした。また、運転練習の効果を実感する目的で、4月の講座終了時に1回だけシミュレータの走行を行った。なお、検査走行におけるイベントの回数は1走行あたり約8回である。

5.3 認知機能検査

参加者に対して、12月の運転トレーニング開始前と4月のセミナー終了時に認知機能検査 MMSE (Mini-Mental State Examination)を実施した。なお、MMSE 検査(30点満点の質問紙検査)では27点以上を健常とし、22~26点を軽度認知障害(MCI)、21点以下を認知症の疑いがあるとする。

5.4 ペダル操作ゆらぎの計測

運転中のペダル操作ゆらぎの計測は、12月の4回目および4月のシミュレータ走行時に行った。

6. 結果および考察

6.1 認知機能および脳活性度計測

運転トレーニング開始時の平成22年12月とセミナー終了時の平成23年4月における参加者の計測結果(MMSE, ペダル操作ゆらぎ)を表1に示す。なお、ID7とID13の参加者については、12月のペダル踏み込み量の取得に失敗したため、操作ゆらぎの測定が行えなかった。

MMSEの結果は、図9に示すようにトレーニング開始時は参加者8名中、21点以下の重症者が2名、26点以下の軽症者が5名であったが、トレーニング終了時には重症者1名、軽症者3名と減少し、重症者2名については軽症レベルに回復するに至った。また、健常者は全て現状維持という結果であった。ID17の参加者については、認知症が進行している恐れがある。

ペダル操作ゆらぎの結果は、図10に示すようにトレーニング開始時と終了時を比較してリアプノフ指数が0.5以上の向上を見せた参加者が1名、リアプノフ指数が0.5以上の低下を見せた参加者が1名、リアプノフ指数が±0.5未満の現状維持を見せた参加者が4名であった。脳活性度の判定レベルに当てはめた場合、トレーニング開始時は参加者6名中、認知症と扱う重症者(リアプノフ指数3.0未満)1名、MCIと扱う軽症者(リアプノフ指数3.0以上、4.0未満)1名、健常者(リアプノフ指数4.0以上)は4名であった。トレーニング終了時は参加者8名中、重症者0名、軽症者4名、健常者は4名であった。

表1 MMSEとペダル操作ゆらぎの計測結果

ID	Gender	Age	MMSE		Pedal	
			Dec-10	Apr-11	Dec-10	Apr-11
1	M	80	20	24	2.9	3.8
2	M	78	30	29	5	4.7
7	M	82	27	30	-	4.9
8	M	77	23	25	4	3.9
10	F	70	30	29	5.5	5.1
11	M	83	22	24	3.5	3.7
13	F	76	30	30	-	5.3
17	M	74	23	21	4	3.3

- : Unmeasured

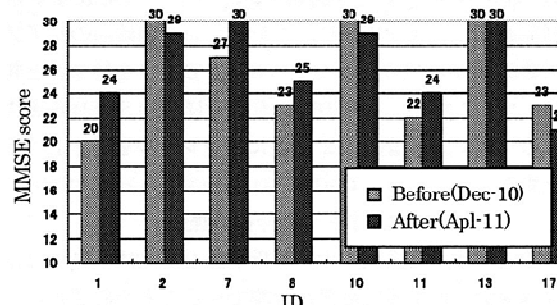


図9 トレーニング前後のMMSEの結果

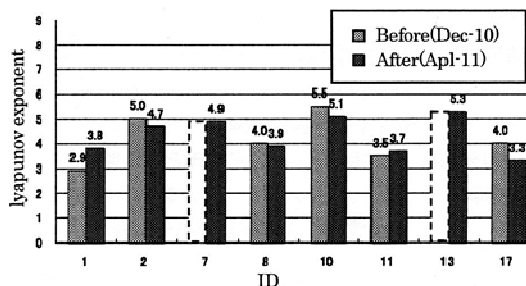


図 10 トレーニング前後のペダル操作ゆらぎの測定結果

6.2 シミュレータの成績

シミュレータの成績評価は、4 回の走行における他車両、障害物などへの衝突回数で行った。表 2 に衝突回数と成績の対応を示す。基本的に 3 回の検査走行の中で最も衝突回数の少なかったものを参加者の成績としたが、3 回とも 10 回以上衝突している場合は、練習走行の衝突回数で評価を行った。

10 月と 12 月のシミュレータ成績を表 3 に示す。表 3 において、衝突回数の欄には成績評価に用いた走行の課題(練習走行を「練」、検査走行を「検」と記載)を併記した。

10 月と 12 月の成績を比較すると、成績に変化が見られなかった参加者が 2 名、成績が僅かに(スコアが 1 だけ)上昇した参加者が 4 名、成績が大幅に(スコア 3 以上)上昇した参加者が 2 名であった。

表 2 シミュレータにおける衝突回数とスコアの関係

衝突回数	検査走行			練習走行		
	0-4	5-9	10-	0-5	6-11	12-14
スコア	5	4	—	3	2	1

表 3 シミュレータ成績の変化

ID	10 月		12 月		スコア 変化
	衝突回数	スコア	衝突回数	スコア	
1	練 1	3	練 2	3	0
2	練 1	3	検 5	4	+1
7	練 14	1	検 2	5	+4
8	練 1	3	検 6	4	+1
10	練 0	3	練 0	3	0
11	練 8	2	検 4	5	+3
13	練 0	4	検 0	5	+1
17	練 2	3	検 6	4	+1

6.3 シミュレータと認知機能・脳活性度の関係

図 11 に 10 月と 12 月の参加者のシミュレータ回避成績スコアの変化量と運転トレーニング開始時の 12 月とセミナー終了時の 4 月における参加者の MMSE スコアおよびペダル操作ゆらぎ(脳活性度)の変化の関係を示す。図 11 より、ID1 の MMSE スコアおよび ID1 と ID17 の脳活性度データを除けばシミュレータ回避スコアの上昇と認知機能・脳活性度の上昇に相関がみられた。

ID1 の参加者に関しては、認知機能、脳活性度共に上昇しているものの、シミュレータの成績は全く上昇しなかった。このことは、ドライブ体操やセミナーへの参加自体が脳機能にプラスの働きをしたものの、何らかの原因で危険回避能力といった運転能力の向上に結び付かなかったものと思われる。

ID17 の参加者は終了時の脳活性度がトレーニング開始時の脳活性度、終了時の認知機能に比べて異常に高い数値を示しており、ペダル操作ゆらぎ測定における異常運転行動(激しいペダル操作を繰り返すなど)によるエラーが考えられる。

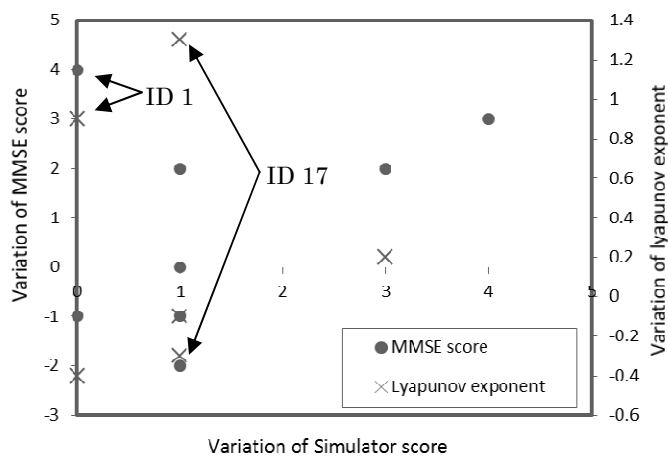


図 11 シミュレータ成績変化と認知機能・脳活性度変化の関係

7. おわりに

今回の研究により、シミュレータの活用や作業療法的な介入を長期間継続することで認知機能・脳活性度と運転能力の双方が改善される傾向が確認された。今後は、富士河口湖高齢者ドライバー支援事業などでの疫学的な研究を継続し、より効果的な高齢者ドライバー運転リハビリシステムの開発を目指す。

謝辞

本研究の一部は平成 23 年度タカタ財団助成研究「高齢ドライバー運転診断・リハビリシステムの開発」により支援された。

参考文献

- [池田 05] 池田学ほか: 痴呆症患者の自動車運転中止に関するコンセンサスと医師の役割について, 精神神経学雑誌, Vol.107, No.12, pp. 1348-1352, 2005.
- [松浦 08] 松浦常夫ほか: 高齢ドライバーのための安全運転ワークブック, 企業開発センター交通問題研究室, 2008.
- [Ross 09] Ross, L. A. et al.: Do Older Drivers At-Risk for Crashes Modify Their Driving Over Time?, Journal of Gerontology: Psychological Sciences, vol.10(B), No.2, pp. 163-170, 2009.
- [伊藤 10] 伊藤安海ほか: 高齢者ドライバーの安全運転対策におけるドライビングシミュレータの活用と課題, 交通科学, Vol.41, No.2, pp.18-23, 2010.
- [鈴木 89] 鈴木良次ほか: 生体信号—計測と解析の実際, コロナ社, ISBN:4339070564, 1989.
- [Floris 81] Floris Takens: Detecting strange attractor in turbulence, The American Physical Society, Dynamical Systems of Turbulence, vol.898 of Lecture Note in Mathematics, pp.366-381, 1981.
- [Sano 85] M.Sano et al.: Measurement of the Lyapunov Spectrum from a Chaotic Time Series, The American Physical Society, Physical review letters 2, vol.55, No.10, pp.1082-1085, 1985.
- [奥谷 11] 奥谷知克ほか: ペダル操作による高齢者ドライバーの運転特徴量の計測, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.123-11, pp.21-26, 2011.