

高齢運転者へのシミュレータ教育の効果研究

田中健次* 稲葉 緑**

高齢運転者の増加に伴い、ドライビング・シミュレータを用いた簡単な安全教習の方法が期待されている。特に、他車の行動意図理解が要求される状況の中で、自分の運転行動に潜むリスクを自ずから理解し、安全な運転へと行動が改善されることが望まれる。教習方法として、シミュレータで衝突を体験する方法、鳥瞰図的な再現映像による方法など五つの教示方法を導入し、それらの比較により、安全性向上に効果的な教習方法を追求する。高齢者では衝突体験を利用した教示方法が最も効果的であり、若年者とは望ましい教示方法が異なることがわかった。

Study on Effects of Instruction Methods on Learning of Risks for Elderly Drivers by Driving Simulator

Kenji TANAKA* Midori INABA**

This article investigated an effective instruction in driver education for the elderly using a driving simulator. In particular, support for realizing participants' driving problems for themselves was focused. Five types of method such as teaching using rear-end accident scenario, and replay of participant's driving from birds-eye view were compared. The results of experiments indicated that for the elderly group training using collision scenario in the training had the greatest effect on keeping the safe following distance, while 2D bird's-eye replay was most affected for young group.

1. はじめに

近年、運転免許保有者全体に占める高齢者の割合が高くなるに伴い、高齢ドライバーに対する事故防止対策が注目されている。その一つが70歳以上の免許更新者に義務づけられている高齢者講習である。高齢者講習の受講者数は平成16年度に126万人に達し、2020年にはその2.5倍以上に達すると予測されるため、簡易な教習の開発が急務である。

講習を通して高齢者特有の問題点を知ることが重要であると思われるが、高齢者は自分のハザード知覚能力の低下に気づきにくかったり、自己の運転技術を過大評価したりする傾向がある¹⁾ため、単純に問題点を指摘されてもそれを自己のこととして理解し、受け入れることには困難が伴う可能性が予想される。したがって、ドライバーが自分の運転行動の問題点を認識し、自ずから改善・学習するための教育の実施が必要である。

このための教育プログラムは既に提案されており、自分の実車走行をビデオで確認する方法¹⁾で効果が確認されている。しかし、今後の高齢者人口の増加を考えると、ビデオ学習は手間がかかり、並列教習可能な高齢者用のドライビング・シミュレータ教習が不可欠と予想される。ドライビング・シミュレー

* 電気通信大学大学院情報システム学研究科教授
Professor, Graduate School of Information Systems,
University of Electro-Communications

** 電気通信大学大学院情報システム学研究科助教
Assistant Professor, Graduate School of Information
Systems, University of Electro-Communications
原稿受理 2007年6月12日

タによる体験学習でも効果が報告されているが²⁾、高齢者にとって有効となるシミュレータ教育の方法、特にシミュレータの特性を活かした教示方法を追究することが急務であろう。

本研究では、口頭教示以外に四つの教示法を導入し、それら教示法の中で最も効果の高い方法はどれかを実験を通して明らかにする。

2. 実験の概要

2-1 実験の目的とシナリオ

本実験で教習に用いた走行シナリオは、左車線を走っている自車の前に交差点手前で左折を目的とした割り込み車があり、追突を回避するための車間距離を確保することが要求されるというものである(Fig. 1)。「追突」は高齢者の事故原因の上位にランクされているが、高齢者の多くは、車間距離を十分に確保し運転している。むしろ十分確保しているがゆえに割り込まれるケースがあり、追突の原因となる。そこでは、割り込み行為など他者の行動意図の理解が重要になる³⁾。本シナリオはその一つの例であり、割り込みの目的・意図を考慮した車間距離確保の必要性を理解し、自己学習することを目指したものである。

上記シナリオを使った教習において、学習効果の最も高い教示方法を下記の五つの教示法の中から選ぶことが、本実験の目的である。

(1)口頭教示(口頭O: Oral)

統制群。口頭のみで問題点を教示する。

(2)客体視教示(客体視B: Bird's-eye)

走行後、被験者の運転状況を真上からの2次元のリプレイ映像で提示し、危険性を認識する。

(3)体験型教示(体験型C: Collision)

実際に起こりうる危険な状況をシナリオ内に設定し、最悪のケースを体験させる方法。事故、あるいはヒヤリハットをシミュレータで体験する。

当初は、これら三つの教示法を比較したが、さらにリアルな再現映像の効果が予想されたため、下記の2方法を追加した。

(4)リアル客体視教示(リアル教示R: Real)

後方上空からの3次元映像によるリプレイ画面を使用し、危険性を認識する

(5)体験&リアル客体視教示(体験リアル教示CR: Collision & Real)

体験型と同様、事故やヒヤリハットを体験した後、その状況をリアルな3次元映像で再現し把握する。

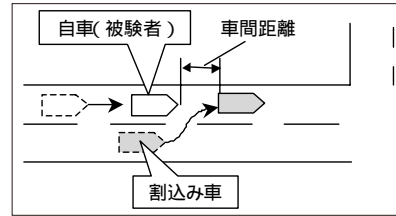


Fig. 1 実験のシナリオ

2-2 実験の手順

実験は、下記の順に行った。

シミュレータの練習

ブレーキ反応速度の測定

教習前の走行7回

教習(四つのStep)

教習後の走行7回

車間距離の確認(先行車の急停止)

はじめに、シミュレータでの運転に慣れるための練習走行を行った後、各被験者のブレーキ反応時間を測定した。50km/hでの走行中、障害物が出現したときブレーキを踏むよう被験者に指示し、障害物が表示されてからブレーキを踏むまでの時間を計測した。そのデータは、次節で説明する評価指標の中で、各被験者毎の最大停止距離を計算する際、空走距離として利用する。

メインとなる教習は、だが、その前後に各7回の運転走行を試行した。各試行では、街中の片側2車線直線道路で、左車線を50km/hで走行するように指示、バイクを各試行の初期部分で併走させ、速度の目安とした。7回の試行中の2回では、交差点手前で右車線より1台の車が前方に割り込んでくる。割り込んだ先行車は、その後も定速(50km/h)で直進し続けるが、交差点の直前で割り込み車であり、左折の可能性を念頭に十分な車間距離の確保が必要になる。教習の前後の試行で車間距離を計測し、割り込み車に対する車間距離の確保にどの程度の違いが生じるかをみた。被験者は、の先行車を急停止させるシナリオで、十分な車間距離が確保されているかを確認できる。

2-3 評価指標

教習の効果を知るために、車間距離に関する三つの評価指標を利用した。

(1)自車と先行車との車間距離の区間平均

解析区間を、割り込み車がウィンカーの点滅を始めた瞬間から、割り込み後さらに交差点に進入するまでとした。その区間内での車間距離の平均値である。

(2) 「車間距離 - 最大停止距離」の区間平均

各被験者のブレーキ反応速度に基づく最大停止距離を導入し、車間距離との差の区間平均を算出した。ここで最大停止距離とは、被験者が危険を察知してから自車両が停止するまでに進む距離である。この距離は、危険を察知してからブレーキを踏み始めるまでの「空走距離」と、物理的に停止するまでの「制動距離」との和で算出される。制動距離は、50km/hのときを18mとし⁴⁾、この減速度の割合を基にブレーキを踏んだときの走行速度から算出する。一方の空走距離は、個人の能力に依存する値である(Fig. 2)。本実験では、各被験者のブレーキ操作にかかる反応時間をあらかじめ複数回測定し、その中で最大の時間から最大停止距離を算出した。「最大」の意味は、最も遅い場合にはこれだけの距離が必要になるとの意味である。車間距離が各被験者の最大停止距離よりも小さな値のときには、その車間距離は被験者にとって不十分な距離と考える。

(3) 交差点内での「車間距離 - 最大停止距離」

最後に、先行車が急停止する可能性が最も高い、解析区間の終点である交差点内で、十分な車間距離を確保しているか否かに着目した。

2 - 4 教習の手順

本実験で検討する五つの教示方法とそれを利用した教習の手順について説明する。各教習は、下記の四つのStepで構成されている。

- [Step 1] 自己の運転の再現による危険性の気づき
- [Step 2] 割り込み車の行動理解
- [Step 3] 最大停止距離の理解
- [Step 4] 最大停止距離の確認

1) 口頭教示O

[Step 1] 割り込みのシナリオを思い出させ、自分の走行を振り返らせる。

[Step 2] 割り込み後、はじめの交差点にさしかかった時の自車速度、先行車との車間距離、先行車の行動について口頭で説明する。

[Step 3] 最大停止距離をスライド資料(Fig. 2)を用いて説明する。他車の行動意図の理解の必要性と自

分の操作反応時間に見合った車間距離を知ることの重要性を口頭で解説する。

[Step 4] 実施しない。

2) 客体視教示B

[Step 1] 割り込みのシナリオでの走行データを基に、上空からの地図上で自車と先行車の位置関係を再現し、それを被験者に示す(Fig. 3)。

[Step 2] 割り込み後の交差点付近での走行状況を中心に、先行車の左折可能性やそれに伴う危険性について、被験者自ら考えるよう求める。

[Step 3] 実験開始前に計測した最大停止距離とその重要性について被験者にスライドを使って説明、その後、上記の上空からの地図上に最大停止距離を明示して、実際の車間と比較させる。

[Step 4] 割り込みのシナリオを走行し、走行終了後、追従中の上空映像を使い、最大停止距離を確保した運転をしていたかを確認する。

3) 体験型教示C

[Step 1] 教習前の7回の試行の後に、割り込んできた先行車が交差点を左折するシナリオを1試行課す。このシナリオでは、交差点を歩行者が横断しており、先行車は急ブレーキをかけ停止する。右車線

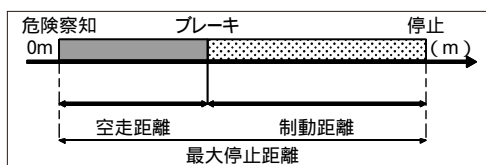


Fig. 2 最大停止距離

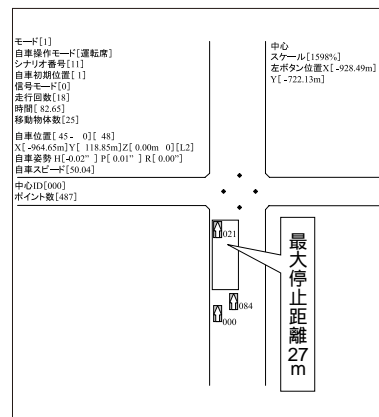


Fig. 3 客体視教示Bでの2次元鳥瞰図



Fig. 4 体験型教示Cでの衝突直後の画面

には車が走っており車線の変更は不可能であるため、自車はブレーキをかけ止まる必要がある。このとき、安全な車間距離をとっていない場合には自車は先行車に追突し、前方のフロントガラスが割れる状況を体験する(Fig. 4)。

[Step 2] 被験者に自分自身の運転を振り返り考えさせるよう質問(例「なぜ割り込み車が急停車したとき追突した - しそうになった - と思いますか」)なども利用して、考えさせる。

[Step 3] 客体視教示Bと同様にスライドを使って説明する。

[Step 4] 最大停止距離を維持する走行を行った後、[Step 1] と同様のシナリオを走行する。最大停止距離が確保されていない場合は、再度、追突を体験する。

4) リアル客体視教示R

教習方法、手続きは基本的に、客体視教示Bと同じである。異なるのは、教習時に使用する追従中の上空からの映像が、立体的でリアルな表示になった点のみである(Fig. 5)。

5) 体験&リアル客体視教示CR

[Step 1] 体験型教示Cと同じ。

[Step 2] 交差点付近での追突、あるいはヒヤリハットの状況をリアル教示Rと同じ3次元の映像を使って再現し、被験者が自分の運転について考える。

[Step 3] リアル教示Rと同じ。

[Step 4] 体験型教示Cと同様、被験者は割り込んだ先行車の急停車を体験し、走行終了後、追従中のリアル映像を使い最大停止距離の確保を確認する。

3. 実験の解析結果

3-1 被験者



Fig. 5 リアル客体視教示Rでの3次元の再現映像

Table 1 被験者

						(名)
総計	口頭 O	客体 B	体験 C	リアル R	リ体 CR	合計
高齢者	5	5	5	5	5	25
若年者	5	5	5	4	4	23

被験者は、高齢ドライバー25名(平均68.1歳、SD 3.3)と若年者23名(平均23.3歳、SD 2.8)である。高齢者は前期高齢者(65歳から75歳未満)が中心で、63歳から75歳までである。ここで高齢ドライバーだけでなく若年者も被験者としたのは、高齢者に対して適切な教習法が、高齢者のみに適切な方法であるのか、年齢に関係なく若年ドライバーにとっても同じく適切な教習法であるのかを明らかにするためである。各被験者を五つの教示法に割り振った(Table 1)。

3-2 実験の結果と考察⁶⁾

1) 車間距離の区間平均

この指標により、解析区間全体での傾向を見ることが出来る。年齢層別に教習前後それぞれで、各教示方法における車間距離の平均値を比較した結果をFig. 6に示す。高齢者の教習後の車間距離の平均値は、導入した四つの全ての教示方法で口頭教示Oより大きな値となっている。なかでも体験型Cは客体視B、新たに追加したリアル教示Rと体験リアル教示CRに比べて大きな値になっている。

しかし、教習前の各教示方法での値を比較すると、既に教示間で車間距離に有意な差があり、個人差が

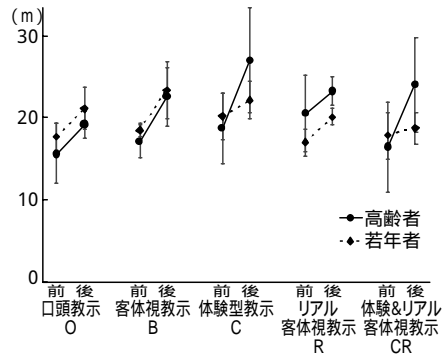


Fig. 6 車間距離の教習前後での区間平均

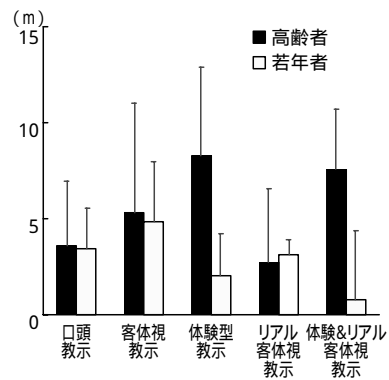


Fig. 7 車間距離の区間平均の教習前後差

無視できない状況である。そこで、各教示での教習前後の車間距離の「差」に注目し、その増加の大きさを効果と考えることにした。その比較結果をFig. 7に示す。

分散分析の結果、年齢層間に違いが見られ ($F(1,37)=5.39, p<0.05$) 全体として若年者よりも高齢者において教習前後間の差が大きく、教習前に比べて教習後の車間距離が有意に長くなることがわかった。そこで、年齢層毎の教示間比較に着目する。

高齢者では体験型教示Cと体験リアル教示CRでの前後差が、客体視教示方法Bやリアル教示Rのそれよりも大きく、後者は口頭教示Oでの差とほぼ同じである。このことから、追突体験、あるいはインシデントを体験するタイプの効果が高いものと予想される。ただし、検定による統計的な有意差は見出せない。

一方、若年者においては、2次元での客体視教示方法Bが最も効果があり、口頭教示CRや3次元でのリアル型Rがそれに次ぐ値となっている。しかし、体験型Cや体験リアル型CRの効果はそれらよりも小さい。ただし、若年者においても教示方法間に有意な差は見られなかった。

解析区間内での車間距離の最小値を比較したが、区間平均とほぼ同傾向であり、高齢者に関しては体験型Cで教習前後の差が大きく、それ以外の教示法では小さな値となった。最小値の増加は、迅速な車間距離の確保による急接近の回避傾向を示唆する結果と考えられる。

2) 「車間距離 - 最大停止距離」の区間平均

指標1)は車間距離の絶対値による比較であったが、各人のブレーキ反応時間には差があるため、各個人が必要とする車間距離は同じではない。自分の

最大停止距離に対して十分な車間距離を確保することが必要であり、この指標は、それを確認するための指標である。Fig. 8は、Fig. 6と同様に年齢層別に各教示法毎の教習前後の解析区間内平均を示す。

全体の傾向は指標1)と類似しているが、この指標ではその値の正負が重要である。教習前は全てが負の値であり、教習後でも高齢者の体験型Cと若年者の客体視型Bを除けば、負の値となっている。これは、前方に他車が割込んだ直後のある区間内で、十分な車間距離が維持されていないことを意味する。つまり、車間距離が最大停止距離以下である時間が長く続いている状況を示すものである。

この指標でも教習前後での差に着目した(Fig. 9)、2要因(年齢と教示法)間に交互作用が見られた ($F(4,37)=3.42, p<0.05$) ため、LSD法による多重分析を行った。その結果、高齢者においては

体験型C > 客体視B、リアルR、口頭教示O

が得られた。ここで、 $X > Y$ は、 X と Y の間に有意差があり、 X が大きな値を取ることを示す。

一方、若年者に対しては、

客体視B > 体験リアルCR

が得られた。

これらのように、指標1)の車間距離の確保に関しては教示方法間で有意な差は無かったが、指標2)の個人に基づいた指標では、高齢者に対して体験型の教示方法が、若年者に対しては客体視教示が、それぞれ効果的であることが示され、各個人に必要な車間距離がそれらの教習後には確保されたことが確認された。

なお本実験において、教習前後の7回の走行内において、割込み車と衝突した被験者はいなかった。

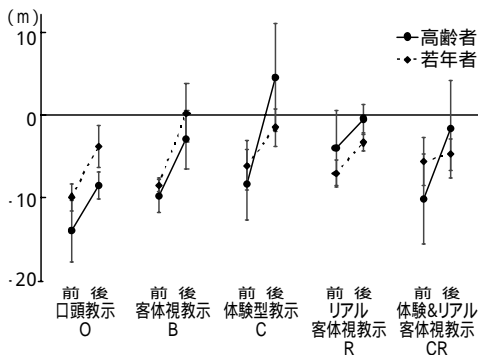


Fig. 8 「車間距離 - 最大停止距離」の区間平均

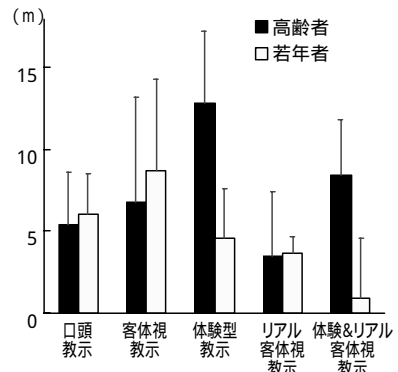


Fig. 9 「車間距離 - 最大停止距離」の区間平均の教習前後差

衝突を体験したのは、体験型教示において7回の走行後に割り込み車が交差点内で左折するために停止したシナリオ内のみであり、他の教示においては衝突を体験していない。

3) 交差点内での「車間距離 - 最大停止距離」

ここまでの区間平均とは異なり、この指標は、割り込んできた前方車が急ブレーキをかける可能性が最も高い「交差点内」において、各個人に必要な停止距離以上の車間距離をキープしていることを確認するための指標である。正の領域が交差点内において必要な車間距離が確保されていることを表す。Fig.10は教習前後それぞれでの「車間距離 - 最大停止距離」の値を示すが、教習前はすべて負領域にあり、ドライバーに十分な車間距離が確保されていなかったことがわかる。しかし、教習後は高齢者の口頭教示を除く全てで正の値となり、交差点内では自己の能力に対して必要となる車間距離を確保するように改善された様子がうかがえる。

教育前後での差における教示法による効果の違いをみた図がFig.11である。図から明らかなように、高齢者では体験型Cで他の全ての教示法に比べて大きな効果が見られ、若年者に対しては2次元の客体視教示Bが効果的とみられる。実際、2要因(年齢と教示法)の間に高度に有意な交互作用が見られ($F(4,37)=4.08, p<0.01$)、LSD法による多重分析の結果、高齢者においては、

体験型C > 客体視B、リアルR、体験リアルCR、
口頭教示O

若年者に対しては、

客体視B > リアルR、体験リアルCR

で、それぞれ有意な差が見られた。

このように、高齢者では、最も危険な地点における車間確保に関しては、他の全ての教示法に比して体験型Cが効果のある教示法であることがわかった。若年者に対しては3次元のリアル客体視教示よりも2次元の客体視教示が有意に望ましいとの意外な結果となった。

3-3 実験結果のまとめ

実験の結果、比較した五つの教示方法のうち、割り込み車との車間距離を確保するにあたり、高齢者にとって最も効果的であったのはシミュレータ上で衝突を経験する体験型教示Cであることが示された。

車間距離の絶対値の指標1)では教示方法間に有

意な差はみられなかったが、個人の操作速度に依存する最大停止距離を基準にした指標2)では、客体視教示Bなどより体験型教示Cが効果的であり、必要な車間距離も確保できるようになった。指標1)と指標2)とで異なった結果が出た理由は、50km/hでの走行を課してはいるものの、割り込みがあったときの自転車速度にはバラつきがあり、最大停止距離がそれらの速度により変わるため、車間距離の絶対値だけではその十分性が判断できなかったことによる。

最小値の比較から、割り込みに対応してすばやく減速する傾向がみられ、さらに、指標3)での最も事故の可能性の高い交差点において体験型教示の効果が発現に現れた。

これに対し、若年者にとっては衝突体験もそれほど効果はなく、むしろすべての指標で真上からの2次元の鳥瞰図による客体視型Bが大きな値を示した。上空からの図示は前方車との位置関係や車間距離が理解し易いようであり、効果的な教示方法は年齢層により異なることがわかる。

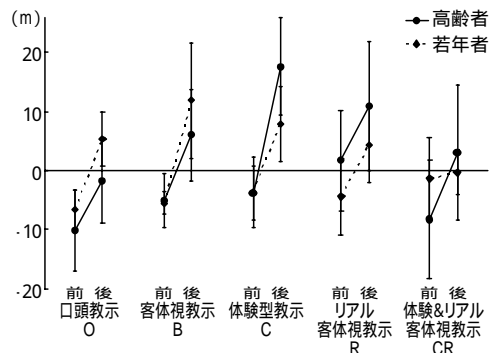


Fig. 10 交差点内での「車間距離 - 最大停止距離」

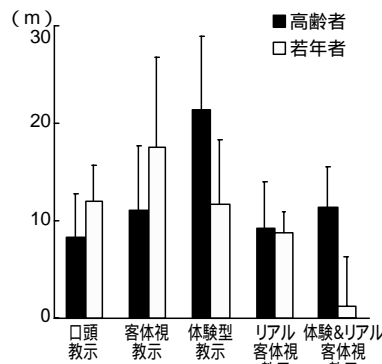


Fig. 11 交差点内での「車間距離 - 最大停止距離」の教習前後差

高齢者において体験型Cが効果的であった理由として、先行車が急停止するシナリオでの追突の印象が強く残ったことが考えられる。交差点内で特に効果が顕著であったことからそのことが推測される。実際、体験型教示の高齡被験者の感想から、体感を通して身体で理解する傾向が強いことがわかり、自己の反応速度に見合った車間距離の維持を意識するようになったといえる。一方、若年者は日頃よりゲームに慣れ親しんでいることから体験による意識付けは難しく、むしろ、再現画面での車間距離と最大停止距離との比較図示により、その危険性の理解が深まった結果と予想される。

高齢者、若年者共に、3次元のリアルな再現教示がそれ程の効果を与えなかったのは、後方上空からの映像のため必要な最大停止距離が実際よりも短く解釈されてしまった可能性があるが、それが真の理由か否かは定かではない。

4. 課題と展望

4-1 残された課題

全体的に被験者数が少なく、統計的な解析結果とはいえ、個人差の影響が出ている可能性は否めない。各人の実験前後での特徴量の差に着目し、「個人間」の影響を小さくする解析を行っているが、それでも個人差の影響は除くことはできない。さらなる実験の積み重ねが必要であることは言うまでもない。

本実験を通じて残された課題を以下にまとめる。

(1)車間距離は長いほどよいか

本実験では、教習前後差の比較で、車間距離が大きくなるほど効果があるとの観点で評価した。現実には、必要以上の車間距離の確保は無理な割込みを誘発するなど、必ずしも車間距離が大きければよいわけではないが、「適切な車間距離」を決定する根拠が明確でないため、本実験では車間距離が大きいほどよいとの評価と比較した。もし、適切な車間距離を「最大停止距離以上」と考えるならば、交差点内での結果(Fig. 8)から客体視Bやリアル教示R、CRもそれ程悪くない方法との位置づけになるが、区間平均の結果(Fig. 10)からはやや不安が残る。

(2)効果の継続性について

本実験は、各被験者の実験を1日に行い、教習前後のシミュレータ運転状況からその効果を計測している。教習直後には効果があっても、それが必ずしも長期間に渡って持続するかはわからない。特に体験型教示の効果は、一時的なものか否かを見極め

ることが必要であろう。ある程度の間隔をおいて効果維持状況を評価することが必要である。

(3)実車での効果測定について

本実験で教習効果をドライビング・シミュレータで測ったのは、それで効果が現れなければ、現実の路上運転でも効果は見込めないと予想されたためである。シミュレータでの教習前後の運転操作に変化が見られた上、感想でも、他車の運転意図の把握の重要性や車間距離確保が不十分であったことへの反省など、意識変化を期待させる言葉が多く聞かれた。教習前後の路上運転で、意識や運転操作に違いが現れていることが確認できれば、なお望ましい。

(4)自己学習の評価指標について

適切な運転を教えるのではなく、自分の運転上の問題点を発見させることをここでは自己学習と呼び、特に他車の運転意図を予想することの学習に注目した。その学習結果を評価するためには、多くのシナリオを使用して確認することが必要になるが、ここでは一つのシナリオの中で効果評価を行ったに留まっている。なお、適切な教示法はシナリオに依存することがわかっており、追い越しのための車線変更のシナリオでは、体験型教示が必ずしもよい効果を示さなかった⁶⁾。本実験での体験型教示の有効性は、追突の可能性がきわめて高いシナリオであることが効いているものと予想される。

4-2 今後の発展

本実験は、教習所での教習を想定しているが、高齡教習が義務づけられているのは70歳以上である。本実験の被験者が前期高齡者中心であるのは、70歳以下でも高齡教習を積極的に実施することで、安全運転への意識を高める必要があるとの考えに基づいている。実際、60代の被験者の声に、自分の運転に自信はあるものの、どのような能力が衰えているかを知りたいとの意見も少なくなかった。

近年のドライブレコーダの発展により、日常走行データを利用した教習も可能性が大きくなってきている。日常走行データから危険な走行状況を自動抽出し、自車速度、前方車の速度、車間距離などの記録に基づきドライビング・シミュレータで再現走行する中で前方車を緊急停車させるなどの最悪シナリオを作り出すことができるならば、自分自身の運転走行における潜在的な危険性を認識できることになる。高齡者の場合「個人内」パラッキも小さくないことが指摘されており、実走行データを利用した簡易な教育ツールが開発できれば、日々の運転への対

応も可能な効果的自己学習のシステムの構築につながる可能性がある。

本研究は、文部科学省科学技術振興調整費重要課題解決型研究等の推進「状況・意図理解によるリスクの発見と回避」の支援のもとで行われた。

参考文献

- 1) 蓮花一己ほか「高齢ドライバーへの教育プログラムと支援システムの開発」『平成15年度研究報告書』(財)国際交通安全学会、2004年
- 2) 松木祐二ほか「自動車運転における進行方向空間保持特性の研究(1)」『日本交通心理学会第61回大会講演論文集』pp 34-35、2000年
- 3) 栗林大祐ほか「ドライビングシミュレータを用いた高齢ドライバーへの教示方法に関する研究」『計測自動制御学会第33回知能システムシンポジウム論文集』pp 63-68、2006年
- 4) 東京指定自動車教習所協会『学科教本』2005年
- 5) 稲葉緑ほか「高齢ドライバーに対するリスクの自己学習に効果的な教示方法の比較」『自動車技術会学術講演会前刷集 春季大会』No.61-07、pp.13-16、2007年
- 6) 田中健次ほか「文部科学省科学技術振興調整費重要課題解決型研究等の推進 状況・意図理解によるリスクの発見と回避」成果報告書、5(2)、2007年