

ドライビングシミュレーターを用いた 自動運転支援システム動作状況における ドライバー挙動分析

鈴木 雄¹・浜岡 秀勝²・萩原 亨³・多田 昌裕⁴・二宮 芳樹⁵

¹正会員 秋田大学大学院理工学研究科 (〒010-8502 秋田県秋田市手形学園町1-1)

E-mail:yusuzuki@gipc.akita-u.ac.jp

²正会員 秋田大学大学院理工学研究科 (〒010-8502 秋田県秋田市手形学園町1-1)

E-mail:hamaoka@ce.akita-u.ac.jp

³正会員 北海道大学大学院工学研究院 (〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目)

E-mail:hagiwara@eng.hokudai.ac.jp

⁴非会員 近畿大学大学院総合理工学研究科 (〒577-8502 大阪府東大阪市小若江3-4-1)

E-mail:tada@info.kindai.ac.jp

⁵非会員 名古屋大学未来社会創造機構 (〒464-8601 名古屋市千種区不老町)

E-mail:ninomiya@coi.nagoya-u.ac.jp

本研究では、ドライビングシミュレーターを用いて、Level2の自動運転の高速道路での走行実験を行った。これらの運転における挙動について、高齢者と若者でその違いを明らかとした。高齢者は、急な流入があった場合に自動運転を解除する傾向にあるが、その際にパニックになる状態が見られた。危険な事象が生じたときに自動運転を解除することが必ずしも安全につながるとは限らない。また、高齢者は、若者に比べて、高速道路での自動運転時に左右の確認行動が少ない傾向がみられた。自動運転への過度な信頼が、確認回数の減少に繋がっていることも考えられる。さらに、確認回数が少ないことで、急な事象に対応するまでの時間が短くなることも考えられる。これらのことから、高齢者の高速道路での自動運転での走行に対して、事前に注意喚起することが必要だと考えられる。

Key Words : *autonomous vehicle , driving behavior , driving simulator*

1. はじめに

交通事故のうち、死亡事故発生件数の約97%が「運転者の違反」に起因している¹⁾。自動運転の実用化により、運転者が原因となる交通事故が大幅に低減することが期待されている。官民ITSロードマップ2018では、2020年までに自家用車の高速道路でのLevel2およびLevel3の自動運転の実現をシナリオとして掲げている。ここで、Level2の自動運転は、システムが縦方向及び横方向両方の車両運動制御のサブタスクを限界領域において実行する、部分運転自動化である。また、Level3の自動運転は、システムが全ての動的運動タスクを限定領域において実行する条件付き運転自動化である。システムの作動継続が困難な場合は、運転者が監視・対応を行わなければならない。

本研究では、ドライビングシミュレーターを用い、

Level2の自動運転で高速道路を走行した際のドライバーの運転挙動について分析を行った。システムの作動継続が困難な場合として、急な流入車や、急な割込車を設定している。これらの場合での、高齢者と若者それぞれの運転挙動を明らかとすることを目的とする。

2. 実験の概要

(1) 実験で用いたコースと実験パターンの概要

本研究では、ドライビングシミュレーターUC-win/Road Ver.11を用いて、道央道（苫小牧東IC～恵庭IC）のコースを作成した。実験コースは、1.イベントが発生しないパターン、2.流入車が先行で流入するパターン、3.流入車が自車に接触するタイミングで流入する（PET²⁾=0）のパターン、4.流入車が後続で流入し、割



図-1 実験におけるコース

表-1 実験のパターン

スタート	発生事象1	発生事象2	ゴール
1 苫小牧東IC	なし	なし	新千歳空港IC
2 苫小牧東IC	流入車先行	なし	新千歳空港IC
3 美沢PA	流入車(PET=0)	なし	千歳IC
4 新千歳空港IC	流入車後続	割込	千歳恵庭JCT
5 千歳IC	割込	なし	恵庭IC

込も発生するパターン、5割込が発生するパターンを設定している。実験対象者は、これらの5パターンについて、自動運転およびマニュアル運転のそれぞれで走行を行う。つまり、実験対象者1人あたり計10パターンの実験を行う。これらの実験の順番は、順序効果を考慮し、実験対象者ごとに10回パターンをランダムに入れ替えて行っている。また、運転の疲れによる影響を考慮し、5パターン走行後45分間休憩を挟んだ後、残りの5パターンの走行を行っている。ドライビングシミュレーターでの運転に慣れるために、実験対象者はそれぞれシミュレーターでの走行に慣れたと自己申告するまで練習走行し、その後本実験の走行を行っている。

ドライビングシミュレーターでは自動運転中の走行速度を100km/hに設定した。条件を揃えるために、実験対象者には、マニュアル運転での走行でも、なるべく100km/hで走行することを要求している。また、自動運転での走行中に危険に感じた場合には、自動運転をボタンで解除し、マニュアル運転にて危険を回避するように要求している。その他の走行に関しては、実験対象者の自由としている。

実験のコースを図-1に示す。また、実験のパターンを表-1に示す。

(2) 実験対象者と実験環境および取得データ

本研究では、高齢者と若者の自動運転時の運転挙動の違いについて明らかとする。65歳以上の高齢者16名、若者18名による実験を行った。若者18名は秋田大学の学生とした。各実験対象者ごとの実験の期間と取得データについて表-2に示す。実験では、割込のマニュアル運転での失敗回数が多くなった。これは、実験車両が100km/hで走行することを想定していたが、マニュアル運転では、

表-2 実験の期間と取得データ

対象者	高齢者 16名				若者 18名			
	実験期間							
実験期間	2017/9/28~10/4				2017/10/5~10/27			
走行方法	自動運転		マニュアル		自動運転		マニュアル	
実験の成否	成功	失敗	成功	失敗	成功	失敗	成功	失敗
なし	16	0	16	0	18	0	18	0
割込	33	3	31	12	36	2	36	6
流入(後続)	17	1	15	5	18	1	18	5
流入(PET=0)	16	0	16	1	18	0	18	1
流入(先行)	17	1	15	0	18	0	18	0

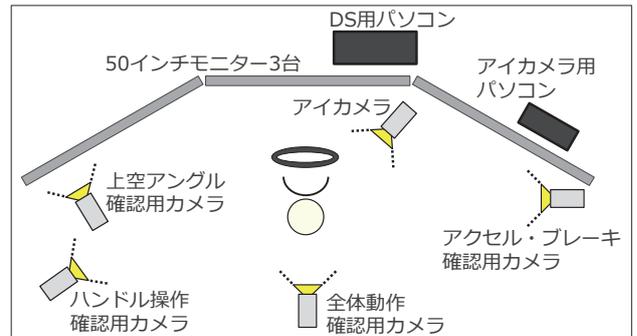


図-2 実験環境



写真-1 実験環境の写真

表-3 実験での取得データ

ドライビングシミュレーター	CSV形式 ・走行速度 ・走行位置 ・ハンドル角 ・ブレーキ ・アクセル 等
アイカメラ	CSV形式 ・顔(ヨー角, ピッチ角, ロール角) ・視線(ヨー角, ピッチ角) ・目(左右開口比) 等
ビデオ映像データ	・上空からの映像 ・ハンドル映像 ・足元映像 ・全体映像

速度が一定しないことも多く、割込のタイミングがずれた走行があったためである。失敗したパターンについては、前後半5パターン終了後に再度実験を行っている。そのため、おおむね予定通りのデータ数を取得している。ただし、高齢者15は、ドライビングシミュレーターでの運転に慣れず、最後まで走行できないパターンがあった。そのため、高齢者15の「割込」「流入(後続)」「流入(先行)」は、マニュアル運転を自動運転に振替えて対応している。

本実験では、50インチのモニター3枚を用い、運転席

の再現を行った。実験の環境について図-2に示す。また、実験環境の写真を写真-1に示す。実験では、走行速度やハンドル角、ブレーキなどのデータがCSV形式で取得できる。それらのデータに加え、実験対象者の走行中の視点を把握するための視線カメラの設置を行った。さらに、アクセルやブレーキを踏みそびれた場合や、自動運転の解除ボタンを押しそびれた場合、パニックでハンドルを放した場合などの把握のために、各種ビデオカメラの設置を行った。さらに、流入車や割込車と自車との位置関係の把握のために上空からの映像の記録も行っている。

実験で取得したデータについて表-3に示す。

3. 自動運転での走行時の運転挙動

(1) 自動運転での走行時の挙動

本分析では、自動運転での走行時の挙動として、特徴がみられた流入 (PET=0) と割込に着目する。流入や割込が起こった前後10秒間の運転挙動の分析を行っている。割込に関しては、割込が発生するパターンおよび、流入(後続)と割込みが発生するパターンの2つのパターンから、割込部分を抽出して分析を行っている。

分析の例として、若者9の流入 (PET=0) 時の自動運転での挙動を図-3に示す。また、若者4の流入 (PET=0) 時のマニュアル運転での挙動を図-4に示す。図-3では、流入ランプの横を走行する前後10秒間の運転挙動を示している。「自動運転OFF」は左軸が100の時に、自動運転を解除し、マニュアル運転で走行していることを示す。また、ハンドル角は、正の時が左側、負の時が右側となっている。若者9は、自動運転で流入 (PET=0) があつ

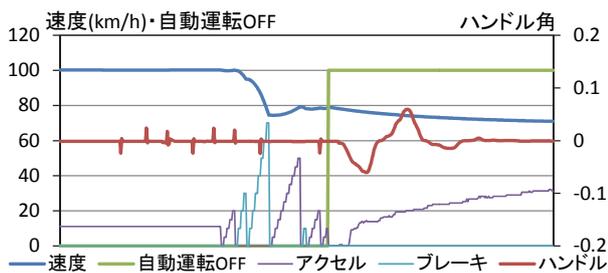


図-3 若者9 (自動運転) の実験結果

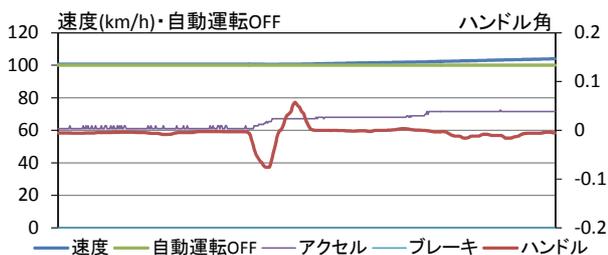


図-4 若者4 (マニュアル運転) の実験結果

た時に、最初にブレーキを踏むが反応せずに自動運転中であることを認識している。その後、自動運転を解除し、右車線に回避し、流入車を追い越した後、左車線に戻っていることがわかる。一方で、若者4はマニュアル運転で流入 (PET=0) があつた時に、ブレーキは踏まずに右車線へと回避している。

次に、走行中に流入 (PET=0) や割込があつた場合の、自動運転の解除の有無や、自動運転解除後の行動について分析を行う。自動運転の解除の有無について図-5に示す。また、自動運転解除後の行動について図-6に示す。流入 (PET=0) 時でみると、高齢者の50.0%、若者の55.6%が自動運転の解除を行っている。一方、割込でみると、高齢者の20.0%、若者の19.4%が自動運転の解除を行っている。流入 (PET=0) 時よりも、割込時の方が自動運転を解除している割合は低い。

次に、自動運転を解除した後の行動についてみる。若者でみると、流入時 (PET=0) 時には50.0%が自動運転解除による減速、10.0%がブレーキ操作、40.0%がハンドル操作による流入車の回避を行っている。一方で、高齢者では、パニックに陥る人が37.5%存在する。パニックに陥った例として、高齢者2の運転挙動を図-7に示す。パニックの内容はすべて、流入車に気づき自動運転を解除してはいるものの、急にハンドルを切ったため両側の

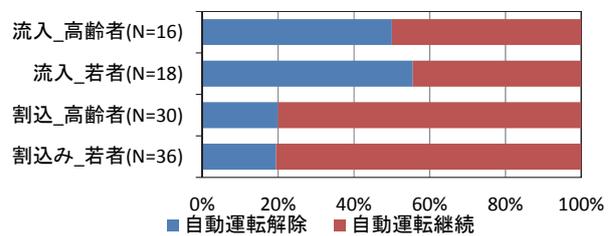


図-5 自動運転解除の有無

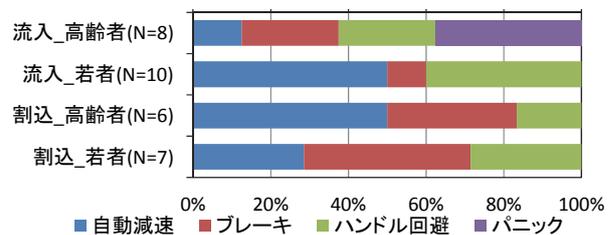


図-6 自動運転解除後の行動

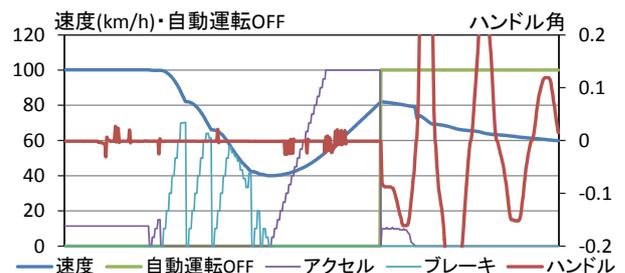


図-7 自動運転解除後のパニック (高齢者2)

ガードレールにぶつかり続けるものであった。高齢者の走行において、緊急時に自動運転を解除することは、必ずしも安全とはいえない。

次に、どのタイミングで自動運転の解除などの行動を取っているかの分析を行う。本分析では、PET²⁾と運転挙動についてみる。PETとは、対象となる車（この場合は流入車、割込車）との距離を、自車の速度で割ったものである。つまり、対象となる車が急に停止してその場に留まった場合に追突するまでの時間となる。PETと運転挙動との関係について、高齢者の流入（PET=0）の場合を図-8に示す。また、若者の場合について図-9に示す。さらに、高齢者の割込の場合について図-10に、若者の場合について図-11に示す。本分析において、「自動運転の解除」および「ブレーキ」を扱う。各グラフのそれぞれのPETには、対象となるN値を示す。「自N」は自動運転解除のN値、「ブN」はブレーキ操作のN値とな

っている。これは、例えば、PETが「2.0-3.9」の時にブレーキをかけた人は、PETが「0.0-1.9」の対象とならない。また、ブレーキや自動運転の解除を行わなくても、対象車と自車との距離や速度の関係から、最少のPETが「2.0-3.9」である場合には、PETが「0.0-1.9」の対象とならない。つまり、各グラフで示された割合は、それぞれのPET内で各行動を起こした割合となっている。本分析では、自動運転解除をしないでブレーキ操作を行った場合も、「ブレーキ」として集計を行っている。また、そのようなブレーキ操作の後に自動運転解除を行った場合も「自動運転の解除」として集計を行っている。これは、各PETでの行動をそれぞれ分析するためである。そのため、同PET内でブレーキ操作と自動運転解除を行ったものに関して、それぞれで集計を行っている。これらのことから、同PET内で「自動運転解除」と「ブレーキ操作」のN値が異なる。

まずは、流入（PET=0）時についてみる。自動運転の解除では、PETが「0.0-1.9」の場合に高齢者が45.5%、若者が55.6%となっている。若者の方が、PETが小さいときに自動運転を解除している割合が高い。また、ブレーキ操作では、PETが「0.0-1.9」の場合には高齢者と若者で共に100%となっている。流入（PET=0）でみると、PETが小さくなるほど、自動運転解除とブレーキ操作の割合が高くなる傾向にある。ただし、図-6や図-7に示したとおり、高齢者ではPETが小さいときに自動運転を解除した場合、パニックに陥ることが多い。

次に、割込時についてみる。ブレーキ操作では、高齢者と若者で共に、PETが小さくなるほど割合が高くなる。ただし、PETが「0.0-1.9」でブレーキ操作を行っているのは、高齢者で65.0%、若者で90.5%となっている。高齢者の方がPETが小さいときにブレーキ操作を行っていない。また、自動運転解除では、若者はPETが小さくなるほど割合が高いのに対し、高齢者はその傾向にない。高齢者でPETが「0.0-1.9」の場合に自動運転を解除しているのは3.8%である。割込においては、高齢者はPETが小さい場合に、自動運転の解除を行っていない。

(2) 自動運転での走行中の視線

走行中の安全確認行動が、運転の挙動に影響することが考えられる。図-12に高齢者4の視線カメラによるヨー角と、運転挙動の関係を示す。また、図-13に高齢者3の視線カメラによるヨー角と、運転挙動の関係を示す。ヨー角は正のものが左側、負のものが右側となっている。高齢者4では、流入車（PET=0）が流入してくる約6秒前に左方向を確認している。また、流入車（PET=0）を確認後、自動運転を解除し、ハンドル操作により流入車との接触を避けていることがわかる。一方で、高齢者3は、左右の確認行動を行っておらず、流入車（PET=0）も確

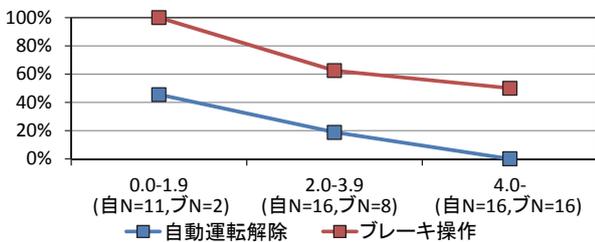


図-8 流入 (PET=0) 時のPETと運転挙動 (高齢者)

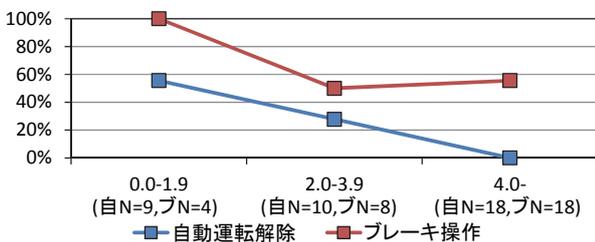


図-9 流入 (PET=0) 時のPETと運転挙動 (若者)

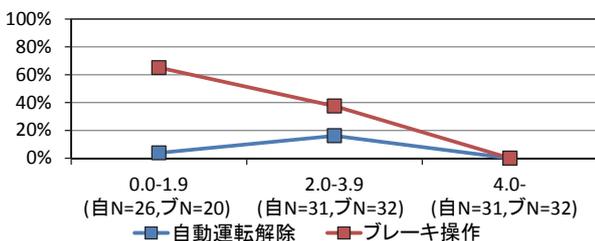


図-10 割込時のPETと運転挙動 (高齢者)

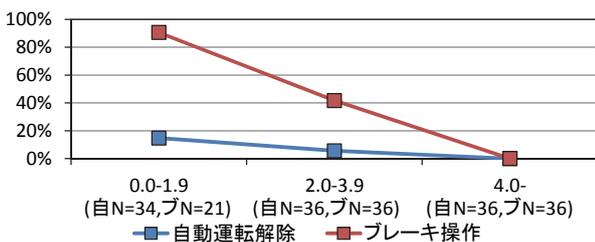


図-11 割込時のPETと運転挙動 (若者)

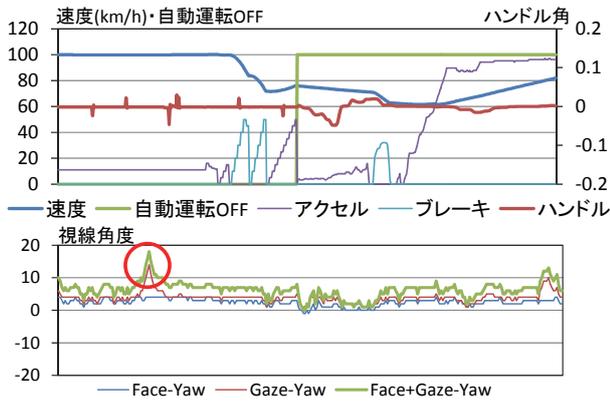


図-12 運転中の視線と運転挙動との関係 (高齡者4)

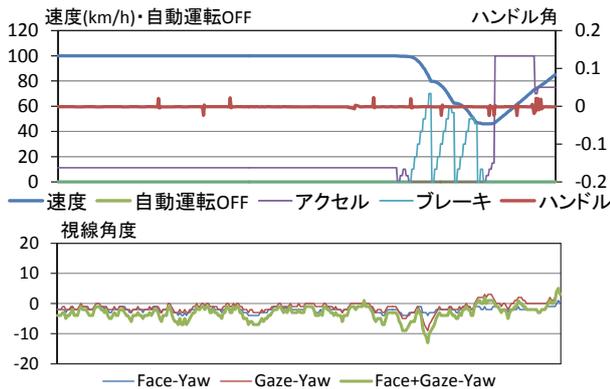


図-13 運転中の視線と運転挙動との関係 (高齡者3)

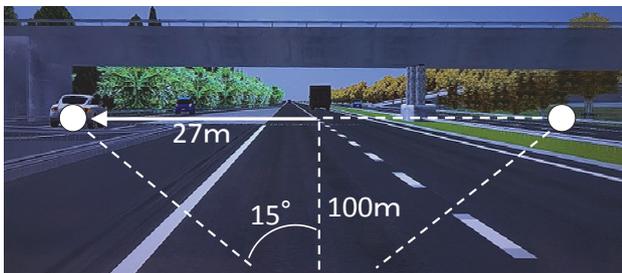


図-14 運転中の視線角

認していない。その結果、自動運転を解除することはできず、流入車と接触直前の状態まで近づくこととなった。

以上のことから、自動運転の状態であったも走行中に、危険事象の確認を行うことは重要である。走行中の確認行動について、高齡者と若者で異なることが考えられる。そこで、流入 (PET=0) が発生するパターンと、割込が発生するパターンで、高齡者と若者の確認行動の違いについて分析を行う。確認行動は、視線カメラによるヨー角について分析を行った。顔と目のヨー角を足し合わせたものを、左右の確認角度とした。本分析では、左右の確認角度として、これらのヨー角が15°以上となる回数のカウントを行った。閾値で用いた15°は、自車から100m先で左右方向27mを確認できる角度となっている。本実験で用いたコースでは、これにより流入車や割込車を確認できる。左右15°の視野について、図-14に示す。

表-4 流入 (PET=0) 全区間での左右確認回数

流入(全区間)	高齡者_自動運転	高齡者_マニュアル	両側P値
n	11	11	0.834
平均	10.364	9.636	
標準偏差	8.103	7.978	
流入(全区間)	若者_自動運転	若者_マニュアル	両側P値
n	15	15	0.466
平均	18.533	15.467	
標準偏差	11.507	11.237	
流入(全区間)	高齡者_自動運転	若者_自動運転	両側P値
n	13	15	0.083
平均	11.462	18.533	
標準偏差	8.771	11.507	

表-5 割込み全区間での左右確認回数

割込(全区間)	高齡者_自動運転	高齡者_マニュアル	両側P値
n	7	7	0.421
平均	12.000	8.000	
標準偏差	10.970	6.377	
割込(全区間)	若者_自動運転	若者_マニュアル	両側P値
n	12	12	0.656
平均	17.750	15.833	
標準偏差	11.810	8.737	
割込(全区間)	高齡者_自動運転	若者_自動運転	両側P値
n	11	12	0.210
平均	11.727	17.750	
標準偏差	10.364	11.810	

表-6 流入 (PET=0) 前後10秒間での左右確認回数

流入(前後10秒)	高齡者_自動運転	高齡者_マニュアル	両側P値
n	13	13	0.293
平均	1.231	0.846	
標準偏差	0.832	0.987	
流入(前後10秒)	若者_自動運転	若者_マニュアル	両側P値
n	16	16	0.885
平均	1.438	1.375	
標準偏差	0.964	1.408	
流入(前後10秒)	高齡者_自動運転	若者_自動運転	両側P値
n	13	18	0.342
平均	1.231	1.556	
標準偏差	0.832	0.984	

表-6 割込み前後10秒間での左右確認回数

割込(前後10秒)	高齡者_自動運転	高齡者_マニュアル	両側P値
n	9	9	0.183
平均	1.778	0.778	
標準偏差	1.641	1.394	
割込(前後10秒)	若者_自動運転	若者_マニュアル	両側P値
n	17	17	0.451
平均	1.706	1.294	
標準偏差	1.359	1.759	
割込(前後10秒)	高齡者_自動運転	若者_自動運転	両側P値
n	14	18	0.644
平均	1.429	1.667	
標準偏差	1.555	1.328	

流入 (PET=0) が発生するパターンおよび、割込が発生するパターンとで安全確認 (視線角15°) の回数について分析を行う。分析では各パターンの走行ルート全区間での確認回数、流入 (PET=0) や割込が発生する前後

10秒間での確認回数をそれぞれ集計している。これらの安全確認の回数について、視線角が異常値の連続になり、正しく判断できないものが複数個あった。それらについては除外して分析を行っている。各パターンでの安全確認回数について、流入 (PET=0) で全区間のもを表-4に示す。また、割込で全区間のもを表-5に示す。さらに、流入 (PET=0) が発生する前後10秒間のもを表-5に、割込が発生する前後10秒間のもを表-6に示す。まずは、自動運転時とマニュアル運転時の左右確認回数の比較を行う。これらの比較にあたり、左右確認回数には個人差があると考えられるため、自動運転とマニュアル運転の両方の視線角のデータが取れているものを用いている。これらの分析から、全体的にマニュアル運転よりも自動運転の方が左右の確認回数が多くなっている。しかし、両者に有意な差はみられない結果となった。自動運転になり、マニュアル運転よりも安全確認をする余裕が生まれていることも考えられるが、それらを明らかとするためには追加の分析が必要である。

次に、高齢者の自動運転時と、若者の自動運転時とで、左右の確認回数を比較する。全体的に、若者の方が確認回数が多い傾向にある。流入 (PET=0) 全区間の場合のみ、高齢者と若者との確認回数に有意な傾向 (両側P値: 0.08) がみられた。高齢者は若者よりも、自動運転に対しての過度な信頼から、多くの安全確認を行っている可能性がある。

6. おわりに

(1) 分析のまとめ

本研究では、ドライビングシミュレーターを用いて、Level2の自動運転にて高速道路を走行する実験を行った。その結果、高齢者は自動運転解除時 (緊急時) にパニックになる傾向がみられた。高齢者は、急な流入があった場合には、自動運転を解除する傾向にあるが、それらが危険な状況に繋がることも考えられた。また、急な割込があった場合には、流入があった場合とは逆に、自動運転を解除できない傾向がみられた。

左右の確認行動に関する分析では、若者よりも高齢者の方が確認回数が少ない傾向がみられた。自動運転への信用が過度に強いために、確認回数が少なくなっていることも考えられる。以上のことから、高齢者の高速道路での自動運転では、危険な事象に対して事前に注意喚起をする必要があると考えられる。

(2) 今後の研究の課題

自動運転での走行時の挙動分析 (図-8~図-11) は、各PETで、それぞれの行動を起こした人の割合を示して



図-15 安全確認の位置

いる。危険事象に対する注意喚起のタイミングを把握するためには、各PETでのそれぞれの行動がどの程度の危険につながっているのかについて分析を行う必要がある。さらに、流入や割込があつてから何秒後にどのような行動を起こしたのかについて追加分析を行う必要がある。さらに、ブレーキ操作について、行わなかった人と、行えなかった人の違いを明らかとする必要もある。

安全確認の回数に関する分析では、高齢者の方が確認回数が少ない傾向であることが明らかとなった。しかし、この確認行動の少なさが、実際に危険に繋がっているかどうかについて明らかとするためには、追加の分析が必要である。図-15は、若者13の流入 (PET=0) 時の左右確認箇所である。流入が起こる地点で多くの確認行動が行われているが、その他の箇所でも確認行動が行われている。これらの確認がどのような要因によるものなのかを明らかとする必要がある。また、流入時において右側の確認行動が行われている。ビデオで確認すると、左からの流入があつた際に、右側を別の車が走行していた。流入車を回避するために、右車線を見た可能性がある。これらの確認行動について、それぞれ詳細に分析を行う必要がある。さらに、各危険事象に対して、危険を認識してから何秒後に、どのような行動を取っているかについての分析も必要である。

謝辞: 本研究は、科学研究費助成金 (基盤研究(B))、課題番号16H04424の一部として実施したものである。記して謝意を表したい。

参考文献

- 1) 内閣府: 平成 29 年度版交通安全白書全文(PDF), http://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/h29kou_haku/index_zenbun_pdf.html, 2018.07.01 閲覧.
- 2) Hayward, J.C: Near-miss determination through use of a scale of danger, Highway Research Record, 384, pp.24-34, 1972

(2018 7 31 受付)