

ドライバー視点から見た生活道路における 歩車すれ違い時の不安感に関する考察 —VRシミュレーションを用いて—

海野 遥香¹・藤田 蓮土²・橋本 成仁³・氏原 岳人⁴

¹正会員 東京理科大学助教 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

E-mail: unoharuka@rs.tus.ac.jp

²学生会員 岡山大学大学院 環境生命科学研究科 (〒700-8530 岡山県岡山市北区津島中三丁目1-1)

E-mail: pe347v4b@s.okayama-u.ac.jp

³正会員 岡山大学学術研究院環境生命科学学域教授 (〒700-8530 岡山県岡山市北区津島中三丁目1-1)

E-mail: seiji@okayama-u.ac.jp

⁴正会員 岡山大学学術研究院環境生命科学学域准教授 (〒700-8530 岡山県岡山市北区津島中三丁目1-1)

E-mail: ujihara@okayama-u.ac.jp

昨年、国土交通省により公表された道路ビジョンでは2040年に目指す道路像として「安全性や快適性が確保された歩車共存の生活道路」が挙げられている。また、近年自動運転車両の開発研究が盛んに行われていることから、今後、歩行者と自動運転車両がすれ違う場面が増加することが考えられる。自動運転車両が普及するためには、歩行者と交錯する場面において、ドライバーが安心して乗車できることが重要であると言える。そこで本研究では、歩車がすれ違う場面に着目し、自動車のどのような挙動がドライバーに不安感を与えるのかを調査し、不安感が発生する速度と歩車間距離を定量的に示した。さらに、減速挙動のうち、減速度と最終速度に着目し、不安感に与える影響を明らかにした。

Key Words : residential street, driver's fear, pedestrian, self-driving car, virtual reality

1. 背景と目的

国土交通省により、令和2年6月18日に道路政策の中長期的ビジョン「2040年、道路の景色が変わる」¹⁾が公表された。ここでは、道路政策を通じて実現を目指す2040年の日本社会の姿と、政策の方向性を提案するビジョンが策定されている。このビジョンにおいて、2040年に実現を目指す道路像として、「安全性や快適性が確保された歩車共存の生活道路」が挙げられている。道路像として掲げられた背景として、道路は古来より、子供たちが遊んだり、大人たちが立ち話や井戸端会議を行ったりなど、人々の交流やコミュニケーションを育む場でもあったが、モータリゼーションにより、このような光景が少なくなったことが挙げられる。道路を人々が滞在し交流できる空間に回帰させることにより、人々に生活の充実感と幸福感を感じてもらおうという狙いがある。この道路を構築していくための具体的イメージにおいて、速度制限機能を備えた車を普及させることや、防護柵や段差等

の障害物をなくし、誰もが歩きやすい空間を構築すること等が挙げられている。防護柵や段差等をなくすことにより、自動車と歩行者の距離は近くなり、歩車がすれ違う回数も増加すると考えられる。さらには、速度制限機能を備えた車、将来的には、自動運転車両と歩行者の交錯が発生することも考えられる。

自動運転車両については、近年、研究開発が盛んに行われている。この自動運転車両の特長の一つとして、正確な運転挙動が挙げられ、事故を削減させることが期待されている。しかし、その正確な挙動が必ずしもドライバーの安心につながるとは限らない。自動運転車両が今後普及していく過程においても、普及した後の社会においても、ドライバーが安心して乗車できる対策が求められる。そのため、自動運転車両の挙動に対し、ドライバーが不安を感じない挙動を付け加える必要があると考えられる。

既存研究には、自動車と歩行者の交錯に関するものとして、日野ら²⁾は、歩行者と自動車の錯綜状況とそこで

の各交通主体の行動特性，ならびにそのときの歩行者の危険意識を観測調査により把握し，危険感には，幅員，速度，錯綜時の歩車間距離等が影響していることが明らかとなった．山中ら³⁾は，実空間における実験により歩車の錯綜を示す指標を提案し，歩行者の危険意識の実態を明らかにした．ドライバーの不安感に関する研究として，飯田ら⁴⁾は，交通事故やヒヤリ・ハットが生じる前に潜在的な事故リスクを評価することを可能とするために調査した．その結果，安全運転の観点から好ましくない状態を明らかにし，運転中に変動する不安と不安全な走行傾向の関連性を示した．自動運転に対するドライバーの不安感に関する研究として，城戸⁵⁾らは，不安を感じる可能性がある運転シーンにおいて，自動運転を模擬した車両で走行し，ドライバーの不安感と車間距離，自車速度の関係を求めた．さらに，どこまで許容できるかという自動運転制御につながる成果を得た．また，松岡ら⁷⁾は，自動運転の制動と快適性の関係性を明らかにした．

これらの既存研究から，歩車錯綜時の歩行者の危険感を明らかにしたものの，運転中のドライバーの不安感を明らかにしたものの，自動運転の運転挙動，回避距離に対する運転者の不安感を明らかにしたものが見受けられる．しかし，生活道路において，歩行している歩行者と自動車のすれ違い時のドライバーの不安感と自動車の運転挙動の関係性を定量的に示した研究はない．歩車すれ違い時のドライバーが不安を感じる運転挙動を明らかにすることで，2040年に実現を目指す生活道路においても，ドライバーが安心して乗車できる自動運転車両の挙動を考案する際の検討材料になると考える．

そこで本研究では，生活道路における歩車すれ違い時に，自動車のどのような挙動がドライバーに不安感を与えるのかを明らかにすることを目的とする．

2. 本研究の調査概要

(1) 実験の概要

本調査の実験では，運転免許を取得している岡山大学・岡山大学大学院の学生（42名）を被験者として採用した．被験者は，視線挙動のデータも取得可能なヘッドマウントディスプレイ（VIVE Pro Eye）（図-1）を介して，表-1の17パターンのVRシミュレーションを体験した．このとき，体験する順番で結果が左右されないようにするため，パターンをランダムにした．また，被験者には各パターンにおける歩行者と自動車のすれ違いに対して，不安感がどの程度であったかを1点~7点（とても不安~とても安心）で得点をつけてもらった．この得点を不安感得点とした．被験者のうち，日常的に運転をしている人は42名中6名であり，日常的に運転していない人の不安感得点と比較し，差が無いことを平均値の差の検定により確認した．そのため，本研究では，被験者を運転頻度で分類せずに分析を行った．

(2) 実験に用いたVRシミュレーションについて

VRシミュレーションは，ゲーム開発環境のUnityとVR作成ソフト（ソフト名：UC-win/Road Ver.14Adv）を用いて作成した．

作成したVRシミュレーションにおける道路は，図-2のように，車道幅員5m，両側に幅員1mの路側帯のある



図-1 使用したHMD(左)と実験中の様子(右)

表-1 シミュレーションのパターン表

パターン名	速度(km/h)	車種	歩車間距離(m)	減速挙動	減速度(G)	最終速度(km/h)	視点
1	20	普通車	0.50	なし	0.00	20	ドライバー
2	20	普通車	0.75	なし	0.00	20	ドライバー
3	20	普通車	1.00	なし	0.00	20	ドライバー
4	30	普通車	0.50	なし	0.00	30	ドライバー
5	30	普通車	0.75	なし	0.00	30	ドライバー
6	30	普通車	1.00	なし	0.00	30	ドライバー
7	40	普通車	0.50	なし	0.00	40	ドライバー
8	40	普通車	0.75	なし	0.00	40	ドライバー
9	40	普通車	1.00	なし	0.00	40	ドライバー
10	40	普通車	0.75	あり	0.15	5	ドライバー
11	40	普通車	0.75	あり	0.20	5	ドライバー
12	40	普通車	0.75	あり	0.25	5	ドライバー
13	40	普通車	0.75	あり	0.30	5	ドライバー
14	40	普通車	0.75	あり	0.15	5	ドライバー
15	40	普通車	0.75	あり	0.15	10	ドライバー
16	40	普通車	0.75	あり	0.15	15	ドライバー
17	40	普通車	0.75	あり	0.15	20	ドライバー

道路として設定した。車道幅員は警察庁による生活道路の定義として車道幅員が5.5m未満であること、路側帯は道路交通法の基準を参考にして各幅員を設定した。

シミュレーションの内容は、図-3のように、作成した道路の路側帯中央を歩行している歩行者と歩行者の前方正面から走行してくる自動車がすれ違う場面を設定し、表-1に示す全17パターンのシミュレーションを作成した。

パターン1~9は、自動車の速度、歩車がすれ違うときの歩行者の肩と自動車の車体の距離（以下、歩車間距離）の3水準2因子を組み合わせて作成した。パターン10~13は、40km/hで走行する自動車が、歩行者とすれ違う時の速度(5km/h)まで減速する際の自動車のブレーキの加減（以下、減速度）のみを変更しており、パターン14~17は一定の減速度(0.15G)で減速後、歩行者とすれ違う時の自動車の速度(以下、最終速度)のみを変更し作成した。

3. ドライバー視点から見た不安感を感じる自動車の挙動

(1) 速度、歩車間距離がドライバーの不安感に与える影響

本節では、歩車すれ違い時の自動車の速度、歩車間距離の2因子がドライバーの不安感にどの程度影響を与えているのかを分析した。自動車の挙動が異なる9種類のVRシミュレーションの各パターンに対して不安感得点をつけてもらい、コンジョイント分析を行った。

調査に用いたパターン別の自動車の挙動の構成要素とコンジョイント分析により得られた平均得点を表-2に示す。パターンごとの平均得点を見ると、一番高い得点となったパターンはパターン7であった。このパターンは速度が最大の40km/h、歩車間距離が最小の0.50mであった。

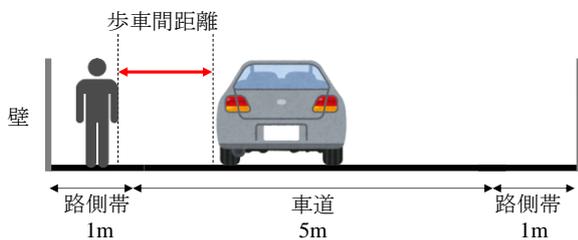


図-2 実験で用いた街路図とシミュレーションの状況



図-3 実験で用いた街路図とシミュレーションの状況

表-2 パターン別の構成要素とコンジョイント分析の平均得点

パターン名	速度 (km/h)	車種	歩車間距離 (m)	平均得点
1	20	普通車	0.50	3.000
2	20	普通車	0.75	2.643
3	20	普通車	1.00	1.810
4	30	普通車	0.50	4.833
5	30	普通車	0.75	4.167
6	30	普通車	1.00	3.500
7	40	普通車	0.50	5.786
8	40	普通車	0.75	5.500
9	40	普通車	1.00	4.952

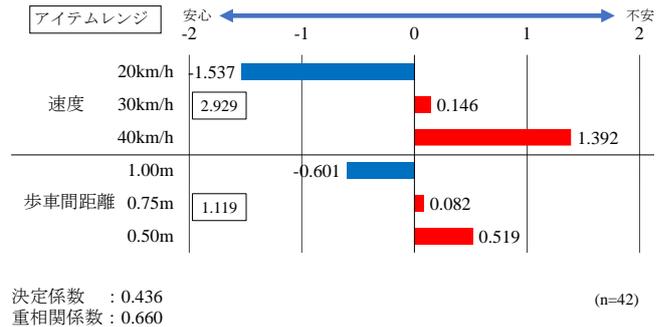


図-4 各水準の部分効用値及びアイテムレンジ

コンジョイント分析より得られた各水準の部分効用値とアイテムレンジを図-4に示す。因子ごとの部分効用値を見ると、速度が20km/hとなるとときに最も不安感得点に影響を与えることが示された。また、速度が速くなるほど、及び、歩車間距離が小さくなるほど不安感が増大することが見てとれる。アイテムレンジの大きさを見ると、速度、歩車間距離の順番に歩行者の不安感に影響を与えることが示された。ただし、決定係数は0.434と高くはない。これは、サンプル数が少ないことや、因子を速度と歩車間距離の2変数に限定したことが考えられる。

(2) 不安感発生確率推定モデル

本節では、ドライバーの不安感が発生する、自動車の速度と歩車間距離を定量的に示すために、パターン1~9の不安感得点を用いて、不安感が発生する確率を推定するモデルを求めた。

ドライバーの不安感発生確率を求めるために、不安感得点、速度、歩車間距離を用いて二項ロジスティック回帰分析を行った。不安感得点について、4未満と回答したものを「不安感あり」、4以上と回答したものを「不安感なし」とカテゴリ化を行い目的変数とした。説明変数は、速度と歩車間距離の2変数とした。その結果を表-3に示す。

二項ロジスティック回帰分析の結果より、不安感発生確率モデルを推定するため、(1)式のロジットモデルを構築した。

表-3 自動車の速度と歩車間距離によるドライバーの不安感モデル(二項ロジスティック回帰分析)

		偏回帰係数	オッズ比	P 値	判定
説明変数	速度	0.1683	1.1832	P < 0.001	**
	歩車間距離	-2.5309	0.0796	P < 0.001	**
定数項		-3.3699	0.0344	P < 0.001	**
決定係数	R2乗		Cox-Snell	Nagelkerke	
		0.2618	0.3034	0.4053	
回帰式の有意性		P値<0.001			
判別の中率		75.93%			

* : 5%有意
** : 1%有意

表-4 パターン別の構成要素と平均得点

パターン名	速度(km/h)	車種	歩車間距離(m)	減速挙動	減速度(G)	最終速度(km/h)	視点	平均得点
10	40	普通車	0.75	あり	0.15	5	ドライバー	6.452
11	40	普通車	0.75	あり	0.20	5	ドライバー	6.000
12	40	普通車	0.75	あり	0.25	5	ドライバー	5.405
13	40	普通車	0.75	あり	0.30	5	ドライバー	4.952
2	20	普通車	0.75	なし	0	20	ドライバー	5.357
5	30	普通車	0.75	なし	0	30	ドライバー	3.833
8	40	普通車	0.75	なし	0	40	ドライバー	2.500

$$Z = \frac{1}{1 + \exp[-(0.1683x - 2.5309y - 3.3699)]} \quad (1)$$

ここで、xは速度(km/h)、yは歩車間距離(m)である。

不安感発生確率をz軸方向に、速度をx方向、歩車間距離をy方向に表した不安感発生確率分布を図-5に示す。zの値が大きくなるほど不安感が発生する確率が高くなる。このモデルにおいて、不安感発生確率が10%以下となる領域は(2)式で表される、濃い青色の領域となっている。

$$0 < x \leq 6.97, y > 0 \quad \text{または} \quad 6.97 < x, y \geq \frac{0.1683x + \ln(9) - 3.3699}{2.5309} \quad (2)$$

不安発生確率が90%以上となる領域は(3)式で表される、濃い赤色の領域となっている。

$$33.08 \leq x, \quad 0 < y \leq \frac{0.1683x + \ln(\frac{1}{9}) - 3.3699}{2.5309} \quad (3)$$

今回の分析における判別の中率は75.93%であった。

(3) 歩車すれ違い時の自動車の減速挙動がドライバーの不安感に与える影響

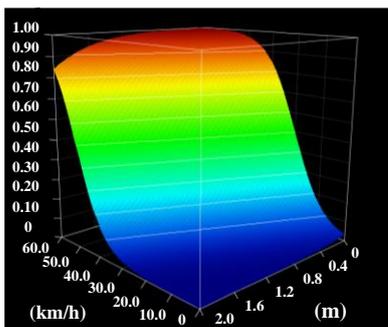


図-5 ドライバーの不安感発生確率分布

a) 減速度がドライバーの不安感に与える影響

減速度がドライバーの不安感に与える影響の分析を行うために用いたシミュレーションのパターン10~13、及び、パターン2、5、8の構成要素と各パターンに対する不安感得点の平均値を表-4に示す。

「減速挙動あり」のパターンに着目すると、平均得点はいずれのパターンにおいても不安感得点の中間である4点以上となっており、減速を行うと不安感が生じにくい傾向が示された。また、減速度が大きくなるに従い、平均得点が低くなっていることがわかる。

水準間(0.15G, 0.20G, 0.25G, 0.30G)の不安感得点の差の有無を把握するため、多重比較を行った。不安感得点は正規分布に従っていなかったため、ノンパラメトリック検定であるフリードマン検定を行った。その結果を図-6に示す。パターン10とパターン12、パターン11とパターン13の間に有意水準5%で統計的な差が見られた。これより、0.15Gで減速する挙動よりも0.25Gで減速する挙動の方が、0.20Gで減速する挙動よりも0.30Gで減速する挙動の方が不安感を感じる傾向があることが示された。

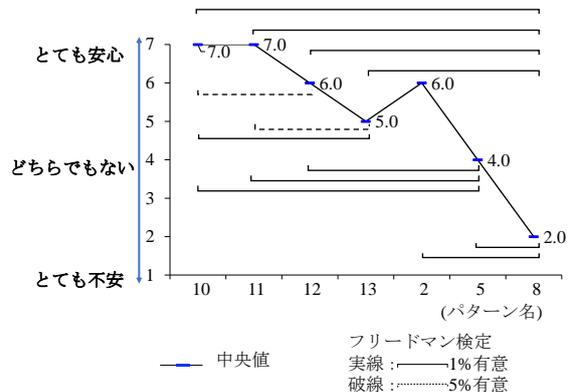


図-6 減速度に対する多重比較の結果

次に、「減速あり」のパターンと「減速なし」のパターンを比較する。パターン 8 とパターン 10, 11, 12, 13 の間に有意水準 1% で統計的な差が見られることから、今回の実験で用いた減速度の水準 (0.15G, 0.20G, 0.25G, 0.30G) で減速すると、不安感が生じにくくなることが示された。ただし、VR シミュレーションのみによる評価を行ったため、減速度を変更する際に生じる慣性力の変化による影響は考慮できていないことが留意点である。

b) 最終速度がドライバーの不安感に与える影響

最終速度がドライバーの不安感に与える影響を分析するために用いたシミュレーションのパターン 14~17、及び、パターン 2, 5, 8 の構成要素と各パターンに対する不安感得点の平均値を表-5 に示す。

「減速挙動あり」のパターンに着目すると、パターン 17 のみ 4 点を下回っていることがわかる。このパターンは、40km/h で走行していた自動車が 0.15G の減速度で最終速度 20km/h まで減速するパターンであった。また、最終速度が 5km/h 速くなるに従い、平均得点が低くなっていることが見てとれる。

水準間 (5km/h, 10km/h, 15km/h, 20km/h) の不安感得点の差の有無を把握するため、多重比較を行った。不安感得点は、正規分布に従っていなかったため、ノンパラメトリック検定であるフリードマン検定を行った。その結果を図-7 に示す。パターン 14 とパターン 16、パターン 15 とパターン 17 の間に有意水準 1% で統計的な差が見られた。よって、40km/h から最終速度 5km/h まで減速する挙動よりも、40km/h から 15km/h までしか減速しない挙動の方が不安を感じやすいこと、40km/h から最終速度 10km/h まで減速する挙動よりも、40km/h から最終速度 20km/h までしか減速しない挙動の方が不安を感じやすいことが明らかとなった。

次に「減速あり」のパターンと「減速なし」のパター

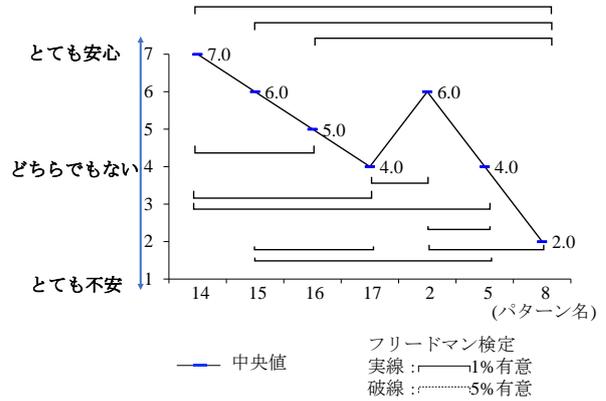


図-7 最終速度に対する多重比較の結果

ンを比較する。パターン 8 とパターン 14, 15, 16 の間に有意水準 1% で統計的な差が見られ、パターン 8 とパターン 17 の間には有意差が見られないことから、最終速度 15km/h まで減速すると不安感が生じにくくなることが示された。

c) 減速度と最終速度のドライバーの不安感に与える重要度の比較

減速挙動のうち、減速度と最終速度のどちらが不安感により強く影響を与えるのかを分析するために、シミュレーションのパターン 10~17 を用いて、重回帰分析を行った。個人の特性による不安感得点の偏りやばらつきをなくすため、目的変数には標準化した不安感得点を用いた。重回帰分析の結果を表-6 に示す。

重回帰分析の結果、標準偏回帰係数の絶対値は、減速度が 0.4331、最終速度が 0.6770 となり、最終速度の方が大きくなっている。従って、減速挙動のうち、歩車すれ違い時のドライバーの不安感には、減速度よりも最終速度のほうが強く影響を及ぼしていることが示された。ただし、修正済み決定係数が 0.3643 と低い値となっていることが留意すべき点である。これは、因子を 2 変数に限定したためであると考えられる。

表-5 パターン別の構成要素と平均得点

パターン名	速度 (km/h)	車種	歩車間距離 (m)	減速挙動	減速度 (G)	最終速度 (km/h)	視点	平均得点
14	40	普通車	0.75	あり	0.15	5	ドライバー	6.405
15	40	普通車	0.75	あり	0.15	10	ドライバー	6.048
16	40	普通車	0.75	あり	0.15	15	ドライバー	4.976
17	40	普通車	0.75	あり	0.15	20	ドライバー	3.881
2	20	普通車	0.75	なし	0	20	ドライバー	5.357
5	30	普通車	0.75	なし	0	30	ドライバー	3.833
8	40	普通車	0.75	なし	0	40	ドライバー	2.500

表-6 減速度と最終速度による歩行者の不安感モデル(重回帰分析)

変数名	偏回帰係数	標準誤差	標準偏回帰係数	VIF	F 値	t 値	P 値	判定
減速度	-6.4016	0.7310	-0.4331	1.2893	76.6808	-8.7568	P < 0.001	**
最終速度	-0.1001	0.0073	-0.6770	1.2893	187.3201	-13.6865	P < 0.001	**
定数項	2.5441	0.1800			199.6562	14.1300	P < 0.001	**
修正済み決定係数	0.3643							

* : 5%有意 ** : 1%有意 (n=42)

4. おわりに

(1) 結論

本研究では、以下のような知見が得られた。

- 1) コンジョイント分析を行い、速度、歩車間距離のうちどちらがドライバーの不安感に影響を与えているのかを明らかにした。ドライバーの不安感には歩車間距離よりも自動車の速度の方が強く影響を与えていることが示された。
- 2) 二項ロジスティック回帰分析により、ドライバーの不安感が発生する確率を算出するロジットモデルを求めた。また、ロジットモデルから、不安感発生確率分布を求め、ドライバーの不安感が生じる自動車の速度と歩車間距離の領域を定量的に示した。
- 3) 自動車の減速挙動と歩行者の不安感の関係性を明らかにした結果、減速度が大きくなるにつれて、最終速度が速くなるにつれて不安感を感じやすくなる傾向があることが示唆された。最終速度については、15km/hまで減速すると不安感が生じにくくなることが明らかとなった。また、重回帰分析を行った結果、減速挙動のうち、ドライバーの不安感には減速度よりも最終速度の方が強く影響を与えていることが明らかとなった。

(2) 今後の課題

本研究の課題として、大学生・大学院生を実験の被験者として採用したため、年齢、運転頻度などが偏ったサンプルとなっていることが挙げられる。今後は、一般の方を対象に実験を行うことで、すべての人が不安を感じない自動車の挙動を明らかにする。

また、今回は、ドライバー視点だけでなく、歩行者視点の調査も行った。「安全性や快適性の確保された歩車共存の生活道路」を構築していくうえで、歩行者が安心して歩行できる対策は必須であり、それは、歩行者が不安感を感じない自動車の挙動を明らかにすることで可能になると考える。今後は、歩行者・ドライバーともに不安を感じない自動車の挙動を提案する。

参考文献

- 1) 国土交通省：「2040年、道路の景色が変わる」
- 2) 日野泰雄，山中英生：住区内狭幅員道路における錯綜危険度と交通安全意識に関する研究，都市計画論文集，31巻，p.391-396，1996
- 3) 山中英生，木村義雄，三谷哲雄：歩行者・運転者心理を考慮した自動車占有空間の計測と住区内街路安全評価モデルの提案，都市計画論文集，28巻，p.121-126，1993
- 4) 飯田克弘，吉村海斗，蓮花一己，多田昌裕，高橋秀喜，山本隆：運転中の不安度と不安全な走行傾向との関連性，交通工学論文集，第6巻，第2号(特集号)，pp.A_31-A_40，2020.2
- 5) 城戸恵美子，新垣紀子，青山征彦，朴信映，河原健太：市街地における運転者・歩行者の不安感を考慮した自動運転の検討，認知科学，2018年，25巻，3号，p.293-309
- 6) 嶋田淳，河原健太，城戸恵美子，朴信映，吉武良治：自動運転車両における運転者の不安感評価，ヒューマンインターフェース学会論文誌 Vol.19, No.4, p.333-342, 2017
- 7) 松岡正憲，大西慶秀，杉浦憂，西澤幸男，竹原昭一郎：自動運転時の制動に関する快適性と身体挙動の関係分析，自動車技術会論文集，Vol.52, No.2, p.376-381, 2021

(?)

A STUDY ON THE DRIVER'S FEAR WHILE PASSING BETWEEN PEDESTRIAN AND VEHICLE AT RESIDENTIAL STREET

— USING VR SIMULATION —

Haruka UNO, Rento FUJITA, Seiji HASHIMOTO and Takehito UJIHARA

According to the road vision published by the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, "residential roads where pedestrians and cars coexist with safety and comfort are ensured" were cited as ideal roads aimed for in 2040. Additionally, since the development and research of self-driving cars has been actively conducted, the situation of pedestrian and self-driving car pass by each other is considered to increase in the future. For the spread of self-driving car, it is important for drivers to be able to ride with confidence in such situations. Therefore, this study focused on the situation where pedestrians and cars pass by each other, and investigated what kind of behavior of the car gives the driver a sense of fear. In consequence, it indicated that velocity and distance between pedestrian and car are strongly related to driver's fear. Furthermore, it focused on deceleration and velocity of the car when it passes by pedestrian, and clarified the effect of deceleration behavior on driver's fear.