

自動運転車乗車時の間隙通過可能性の知覚

Perception of the aperture passability when riding in a self-driving car

友野 貴之^{†,‡}, 栗原 勇人[‡], 海見 康秀[‡], 村野 良太[‡], 加藤 麻樹[‡]
Takayuki Tomono, Yuto Kurihara, Yasuhide Kaimi, Ryota Murano, Macky Kato

[†]札幌学院大学, [‡]早稲田大学
Sapporo Gakuin University, Waseda University
tomono@sgu.ac.jp

概要

自動運転車乗車時の間隙通過場面の動画とオンラインの質問紙を用いた実験を行い, 車の車速が間隙の通過判断とその確信度に与える影響について検討した. その結果, 間隙幅が車幅の1.6倍の場合, 車の速度は間隙の通過可否判断に影響を与えることがわかった. また, 間隙幅が車幅の1.9倍の場合は, 1.6倍の場合よりも, 間隙の通過可否判断に対する確信度が高くなることがわかった. 一方で, 速度は通過可能と判断した際の確信度に影響を与えるとは言えなかった.

キーワード: 自動運転車 (self-driving car), 間隙通過 (aperture passability), 安心感 (sense of security), オンライン実験 (on-line experiment)

1. はじめに

現在, 自動運転技術はレベル 1~5 までのレベル分けがなされている[1]. 自動運転車の安全性能に関しては, 安全 (工学) と責任 (法律) についての研究が多くなされている一方で[2][3], 自動運転車乗車時の搭乗者の安心 (安心感) に関する研究は多くない[4]. 人間が操縦しないレベル 5 での安心を追求するにあたり, 自動運転車が想定する安全と人間が知覚する安心との間に乖離がある可能性がある. 例えば, 速い速度で狭い路地や障害物の間を自動運転車が安全に走行することは可能かもしれないが, 搭乗者が安心しているかどうかは定かではない. そこで本研究では, 以下の2つについて検討する.

1. 自動運転車乗車時における障害物間の通過可否判断の実験を実施し, 自動運転車乗車時における通過可能性の知覚について検討する.
2. 間隙の通過可否判断に対する確信度を指標とした自動運転車乗車時の“安心感”を検討する.

なお, 本研究における“安心感”とは, 間隙の通過可否の判断に対する確信度のことを指す. 判断の確信度が低い場合は, 迷いが生じていることを指すため“安心感”は低く, 確信度が高い場合は, “安心感”が高いと考えられる. 通過可能な間隙に対して安心して通過可能と判断しているのかを確認する. 一方で, 通過不可

能な間隙に対して高い確信度で通過可能と判断している場合には, 安心しているが安全ではないことになる.

2. 方法

ソフトウェア Unity を用いてドライブシュミレーター動画 (自動車の助手席に乗車した視点で 50m 程度の距離を走行し, 2本のポールの障害物の間を通り抜けようとする場面の動画) を作成した. オンラインの質問紙 (Qualtrics) にドライブシュミレーター動画を載せたアンケートを作成し, 71 名の実験参加者に対して, 障害物の間 (間隙) の通過可否判断とその判断に対する確信度の回答を求めた. 動画ならびにアンケートはパソコンを用いて視聴, 回答するよう教示した. 具体的には, 3種類の自動車速度 (10 km/h, 20 km/h, 30 km/h) と 5種類の間隙幅 (車幅の 0.7 倍, 1.0 倍, 1.3 倍, 1.6 倍, 1.9 倍) を実験参加者にランダムに提示し, 通過可否判断 (通過できる/通過できないの 2 値データ) およびその判断に対する確信度 (1-100 の Visual Analog Scale) の回答を求めた. なお, 動画で提示した自動運転車の車幅は 2.0 m であった. また, 通過可否の判断に際して, 通過可能/通過不可能と判断したらすぐにボタンを押すよう教示した. ボタンが押されると, 動画はブラックアウトし, 回答画面 (間隙の通過可否判断) に移行するよう設定された. 各動画は実験参加者に対して 1 回のみ提示され, 繰り返し提示されていない. 動画の提示時間は, 車速に応じて異なった. 50 m の距離を 3 種類の自動車速度 (10 km/h, 20 km/h, 30 km/h) で走行するため, 速度が速くなるにつれて動画の提示時間は短くなった. 加えて, 各速度において停止距離 (制動距離 + 空走距離) を算出し, 停止に必要な距離を 50 m から引いた数値の距離を実際の走行距離として動画を作成した (図 1, 図 2). 停止距離を考慮した理由は, 通過不可能と判断した場合にブレーキを押して自動車を停止するために必要な距離を考慮しなければ, 自動運転車が障害物に衝突してしまうからである. 自動運転車が停止距離の位置まで走行すると, 動画はブラックアウトし, 回答画面 (間

隙の通過可否判断)に移行した。(図3, 図4) なお, 回答漏れによる欠損値が生じた実験参加者が9名いたため, 最終的な解析には62名を対象とした。実験に際し, 以下の2つの仮説を設定した。

1. 車速が遅い場合の方が早い場合よりも通過可否の判断が正確になる(通過可能な間隙を通過可能と判断し, 通過不可能な間隙を通過不可能と判断する)。
2. 車速が遅い場合の方が早い場合よりも間隙の判断に対しての確信度が高くなる(車速が遅い場合は, 通過可否の判断に迷いが生じ, 間隙の判断結果に対しての確信度は車速が遅い場合よりも低くなる)。

なお, 本研究の実験の手続きについては, 早稲田大学における“人を対象とする研究に関する倫理委員会”による倫理審査を受け, 承認されている(承認番号: 2021-117)。

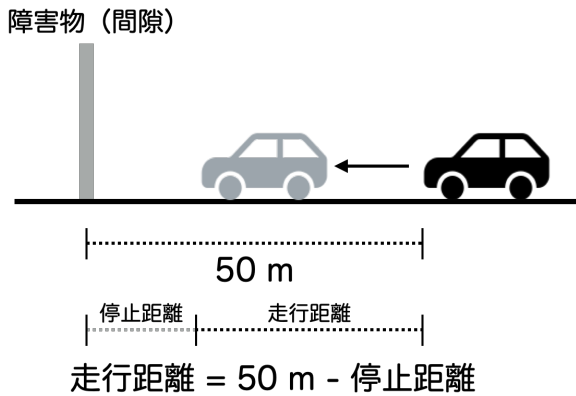


図1. 自動運転車が進んだ距離(走行距離)。車速に応じて停止距離(制動距離+空走距離)は異なるため, 動画の提示時間と走行距離も異なる。



- 映像視聴における注意点
- ・自動で映像が再生されます。
- ・映像の再生は1回のみでお願いします。動画の一時停止, 巻き戻しはしないでください。
- ・通過できるかどうか判断できたら, 「次へ」を押してください。
- ・一定時間が過ぎたら自動で質問を回答するページへ移動します。

図2. 動画に関する注意事項が記載されたオンラインの質問紙。

- 質問に関する説明
- ・動画視聴後, 2つの質問に回答していただきます。
- ・一つ目は, 映像に出てきた柱と柱のすき間を車で通れると思ったか(通過可能), 通れないと思ったか(通過不可能), どちらか一つを回答してください。
- ・回答したら, 「次へ」を押してください。

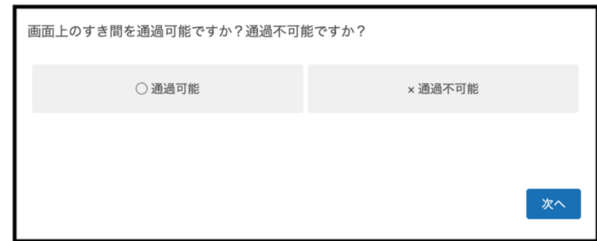


図3. 間隙の通過可否判断に関する注意事項が記載されたオンラインの質問紙。

- ・次に, 先ほど回答した「通過可能」あるいは「通過不可能」に対しどの程度確信をもって回答できたかを, 下図のようなスライダーを用いて回答してください。
- ・下図のスライダーの丸が左に行くほど「自信がない」, 右に行くほど「自信がある」となります。
- ・回答したら, 「次へ」を押してください。

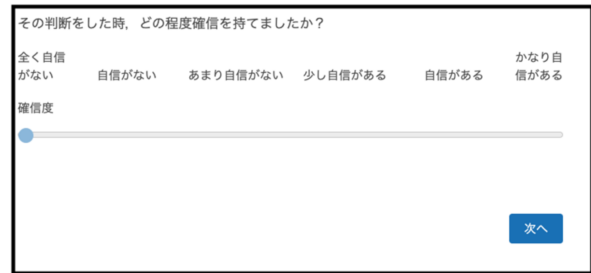


図4. 判断に対しての確信度に関する注意事項が記載されたオンラインの質問紙。

3. 結果

欠損値が生じた実験参加者を除いた62名に対して分析が行われた。各条件において提示された間隙を通過可能と判断した実験参加者の比率, 提示された間隙を通過可能と判断した際の確信度の平均値と標準偏差, 提示された間隙を通過不可能と判断した際の確信度の平均値と標準偏差をそれぞれ表1, 表2, 表3に示した。

速度に応じて間隙の通過可否判断に違いがあるかどうかを検討するために, 5種類の間隙幅それぞれにCochranのQ検定を実施した。その結果, 間隙幅が1.6倍の条件のみ有意差が認められた($Q = 12.9, p = .008$, Bonferroni法によるp値補正済み)。さらに, 下位検定としてMcNemar検定を間隙幅が1.6倍の条件に対して実施したところ, 車速が30km/hの条件は10km/hの条件よりも有意に通過可能と判断していることが明らか

になった ($p=.012$, ryan 法により p 値調整済み) (図 5) .

また, 提示された間隙を通過できると判断した際の確信度について 2 要因分散分析 (速度×間隙幅) を行った結果, 交互作用に有意な差が認められなかった ($F(8, 350) = 0.554, p = .816, \eta^2 = .013$) . 速度の違いによる主効果に有意な差は認められず ($F(2, 350) = 0.137, p = .872, \eta^2 = .001$) , 間隙幅の違いによる主効果に有意な差が認められた ($F(4, 350) = 3.277, p = .012, \eta^2 = .036$) . その後の holm 法による多重比較の結果, 間隙幅 1.6 倍と 1.9 倍の間にのみ有意な差が認められた ($adjusted p < .05$) (図 6) . 一方, 提示された間隙を通過できないと判断した際の確信度について 2 要因分散分析 (速度×間隙幅) を行った結果, 交互作用に有意な差が認められなかった ($F(8, 550) = 0.690, p = .701, \eta^2 = .001$) . 速度の違いによる主効果に有意な差が認められ ($F(2, 550) = 4.700, p = .010, \eta^2 = .017$) , 間隙幅の違いによる主効果に有意な差は認められた ($F(4, 550) = 34.835, p < .001, \eta^2 = .202$) . 速度の違いによる主効果における holm 法を用いた多重比較の結果, 速度 30 km/h の条件は 10 km/h の条件よりも有意に確信度が低かった ($adjusted p < .05$) . また, 間隙幅の違いによる主効果における holm 法を用いた多重比較の結果, 間隙幅 1.3 倍と 1.6 倍の間と間隙 1.6 倍と 1.9 倍との間以外の全ての条件間で有意な差が認められた ($adjusted p < .05$) (図 7) .

表 1. 各条件における通過可能と判断した実験参加者の比率.

Velocity	Aperture width	Percentage
10	0.7	4.84
	1.0	16.13
	1.3	27.42
	1.6	51.61
	1.9	70.97
20	0.7	4.84
	1.0	19.35
	1.3	33.87
	1.6	61.29
30	0.7	9.68
	1.0	12.90
	1.3	33.87
	1.6	74.19
	1.9	83.87

表 2. 各条件における通過可能と判断した際の確信度の平均値と標準偏差.

Velocity	Aperture Width	N	Confidence	SD
10	0.7	3	53.33	49.94
	1.0	10	70.50	29.54
	1.3	17	73.18	20.91
	1.6	32	69.88	22.78
	1.9	44	73.00	23.31
20	0.7	3	63.67	21.50
	1.0	12	71.50	27.03
	1.3	21	72.05	21.33
	1.6	38	64.16	19.91
30	1.9	52	78.52	20.54
	0.7	6	66.17	22.86
	1.0	8	74.38	32.08
	1.3	21	66.14	18.59
	1.6	46	66.96	23.03
	1.9	52	76.81	21.79

表 3. 各条件における通過不可能と判断した際の確信度の平均値と標準偏差.

Velocity	Aperture Width	N	Confidence	SD
10	0.7	59	77.68	18.84
	1.0	52	72.02	18.37
	1.3	45	61.22	21.68
	1.6	30	56.27	19.06
	1.9	18	51.33	23.10
20	0.7	59	77.46	20.19
	1.0	50	70.00	21.76
	1.3	41	58.90	21.89
	1.6	24	50.71	19.50
30	1.9	10	49.80	29.17
	0.7	56	77.46	20.29
	1.0	54	63.33	22.01
	1.3	41	56.44	23.43
	1.6	16	40.44	21.81
	1.9	10	42.10	14.62

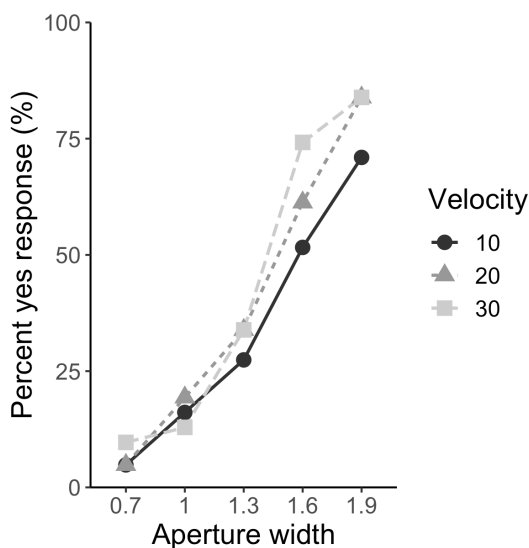


図 5. 各条件における通過可能と判断した実験参加者の

比率. McNemar 検定の結果, 間隙幅が 1.6 倍の条件において, 車速が 30 km/h の条件と 10 km/h の条件の間で有意な差が認められた.

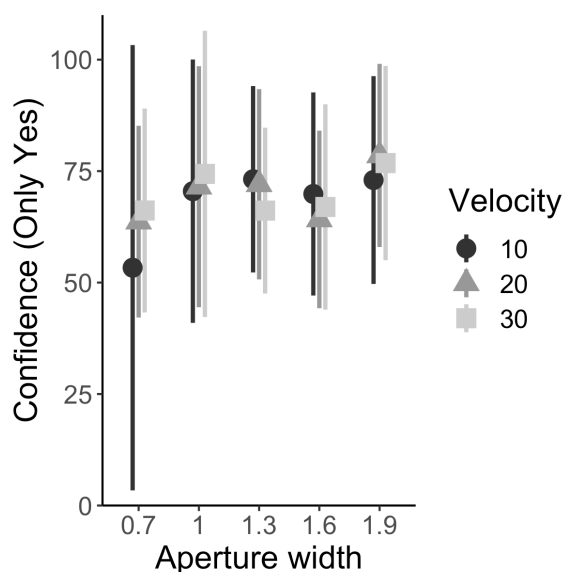


図 6. 各条件における通過可能と判断した際の確信度. エラーバーは標準偏差を示す. 多重比較の結果, 間隙幅 1.6 倍の条件と 1.9 倍の条件の間でのみ有意な差が認められた.

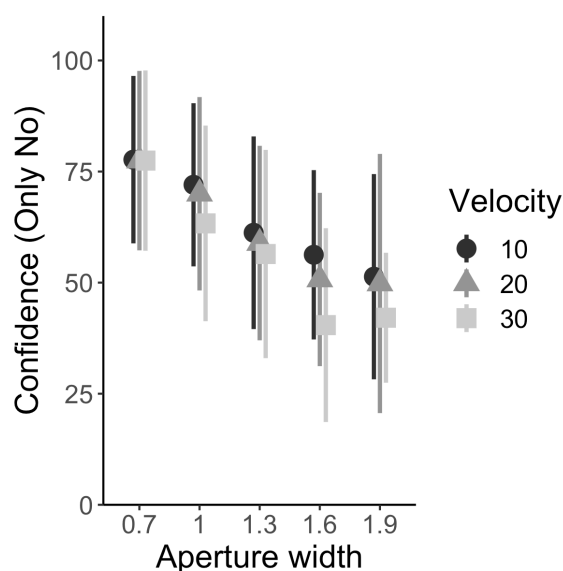


図 7. 各条件における通過不可能と判断した際の確信度. エラーバーは標準偏差を示す. 多重比較の結果, 速度 30 km/h の条件は 10 km/h の条件よりも有意に確信度が低く, 間隙幅 1.3 倍と 1.6 倍の間と間隙 1.6 倍と 1.9 倍との間を除く全ての間隙幅の条件間で有意な差が認められた.

4. 考察

本研究の結果から, 間隙の通過可否判断については, 間隙幅が 1.6 倍の条件において, 車速 30 km/h の方が 10 km/h よりも通過可能と回答した人数が多いことが明らかになった. また, 間隙を通過可能と判断した際の確信度においては, 速度の違いによる主効果が認められなかったが, 通過できないと判断した際の確信度においては, 車速 10 km/h の条件の方が 30 km/h の条件よりも確信度が高くなることが明らかとなった. これらのことから, 車速が遅い場合の方が早い場合よりも通過可否の判断が正確になる, 車速が遅い場合の方が早い場合よりも間隙の判断に対しての確信度が高くなるとした仮説 1, 2 はともに支持されなかった. 間隙幅が 1.6 倍において, 車速 30 km/h の方が速度 10 km/h よりも通過可能と回答した人数が多いという結果が生じた理由として, 普段走行している速度に近い 30 km/h の方が慣れているため, 10 km/h での走行時よりも判断が正確 (通過可能な間隙を通過可能と判断すること) であった可能性が考えられる. また, 10 km/h のような遅い速度では慎重な判断 (通過できないと判断) をする傾向がある可能性がある. ただし, 通過可能と判断する際の確信度においては, 速度による違いは見られなかった. これらのことから自動運転車乗車時の“安心感”は単に速度が遅いことで生じるのではなく, 普段の走行速度に応じた慣れによって生じる可能性がある.

今後は, 走行速度が 5 km/h や 60 km/h の条件等を追加で設定し, 速度の上下に伴って間隙の通過可否判断ならびに確信度が変化するかについて検討する. また, 動画提示時の実験参加者の視線を計測し, どのような情報をピックアップして間隙の通過可否の判断を行なっているのかについても明らかにし, 自動運転車乗車時の“安心感”についてより詳細に検討していく.

文献

- [1] 国土交通省自動車局 (2018). 自動運転車の安全技術ガイドライン, 1-10.
- [2] 小林 正啓 (2017). 自動運転車の実現に向けた法制度上の課題 情報管理, 60, 240-250.
- [3] 横山 利夫・藤田 進太郎・武田 政宣 (2015). 自動運転技術の現状と今後 安全工学, 54, 169-176.
- [4] 嶋田 淳・河原 健太・城戸 恵美子・朴 信映・吉武 良治 (2017). 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, 19, 333-341.