

工事車線規制時の合流地点に関する 情報提供の効果

合田 理人¹・外井 哲志²・大枝 良直³

¹学生会員 九州大学大学院 工学府都市環境システム工学専攻 (〒819-0395 福岡市西区元岡744)
E-mail: michito.7824@gmail.com

²正会員 九州大学大学院 工学研究院環境社会部門 (〒819-0395 福岡市西区元岡744)
E-mail: toi@civil.doc.kyushu-u.ac.jp

³正会員 九州大学大学院 工学研究院環境社会部門 (〒819-0395 福岡市西区元岡744)
E-mail: oeda@civil.doc.kyushu-u.ac.jp

今後老朽化の進む高速道路の点検や補修のための工事が多発し、各所で車線規制による渋滞の頻発が予想される。このときの交通状況を改善する合流方法として、交互合流法がある。本研究では、車線規制渋滞時を想定したドライビングシミュレータを用いた実験を行い、路車間通信による画像と音声で交互合流に関する数種類の情報を提供し、車両が合流する区間を指定する効果やドライバーの合流に対するストレスを軽減する効果があるか分析した。その結果、ドライバーが合流のタイミングが分かる安心感や他車と情報を共有できているという信頼感などの要因からストレスが緩和されることが分かり、路車間通信による情報提供の有用性が示された。

Key Words: zipper merge, congestion, lane restriction, Intelligent Transport System, express way

1. はじめに

高速道路は1963年に初めて開通してから55年が経過しており、老朽化が懸念されている。そのため道路の老朽化対策の本格実施に関する提言¹が出され、点検や修繕の為に工事により車線規制が頻発することが予想される。現在、車線減少の合流部では合流指示がなく自由に合流できるようになっており、車線変更による交通事故や交通容量の低下による渋滞に加えてドライバーのストレスの増加が懸念されている。合流部での渋滞や交通事故に関する研究はあるが、車線規制渋滞時の合流指示方法やドライバーのストレスへの影響に関する研究は少ない。図-1に示す交互合流法は両車線側の交通流量を等しくすることができ、両車線を走行するドライバーにとって公平であるため早く流れる車線への車線変更することを無くすことや、ドライバーのストレスを軽減することができると思われる。

そこで本研究では、高速道路の車線減少区間での交互合流指示方法を提案し、作成したドライビングシミュレータを用いた人間工学実験によって、運転挙動、運転心理に与える影響を明らかにすることを

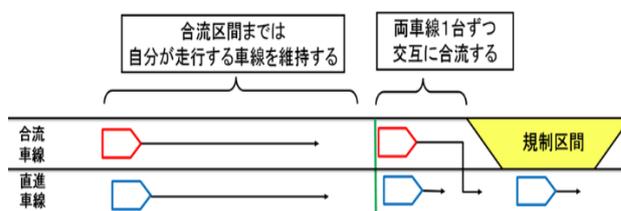


図-1 交互合流の模式図

目的とする。なお、本研究では規制が行われる車線を「合流車線」、隣の車線を「直進車線」と呼び区別する。

2. 既存研究との関連及び本研究の特徴

渋滞は社会問題の一つとして取り上げられることが多いため、それに関する研究は多く存在するが、それらの多くは渋滞解消の手段について述べたもの、実際の渋滞の解析によるモデル化を行ったものである。

渋滞解消の手段について、西成ら²は車の渋滞を簡単な数理モデルであるセルオートマトンモデルを用いて表現できることを示した。このモデルを用いて車間距離を開けるといふ渋滞の解消法を渋滞学の立場から理論的に明らかにし、実際に公道実験を行

って効果を確認している。しかし、ここでの解消法は、車線規制によって強制的に車線変更を行い合流しなければならない状況で車間が詰まることを考慮されていない。

他の渋滞解消について述べたものには、原ら³⁾の研究で名古屋高速道路の合流部における渋滞の解消のために行われた合流区間延長の効果の検証を行ったものがある。検証結果として合流区間延長の効果は交通量が少ない時には有効に働くが交通量が多いときには悪影響となっていると述べられている。

次に、交通量の多い渋滞時に有効な合流方法として、Tom Vanderbilt⁴⁾は、車線が規制される際に車両が合流する地点を車線が減少する直前の1点に絞り、そこで1台ずつ交互に合流する交互合流を前提とした後期合流法を提唱している。このなかで、後期合流法により全ての車線がフルに利用されて渋滞の長さが、各ドライバーが自分の判断で合流する場合と比較して短くなることや、両車線の流れが同じになることでドライバーが運転していて「隣の車線の方が速く進んでいるのではないか」と思うことがなくなり、不要な車線変更が減少し、追突事故のリスクが減少することが利点として述べられている。しかし、交互合流を誘導する指示方法について効果的なものは挙げられていない。また、Andrewら⁵⁾は後期合流法の効果を早期合流法と比較、評価し、また適切な導入法とその評価の結果を述べているが、合流指示方法やドライバーの心理負担の軽減については述べられていない。

他にも合流部に着目し、ドライバーの車線変更に関する意思決定モデルの構築を行った丸尾ら⁶⁾、高山ら⁷⁾の研究がある。これらの研究は実際の合流部を撮影したビデオ画像の分析にもとづいて、車線変更のモデル化を行ったものである。しかし、各車両のドライバーが他車に進路を譲るなどの心理面で細かい点まで反映されていない。

高速道路の合流部における指示方法に関して、平井ら⁸⁾はランプ合流部及びJCT合流部における、AHS（走行支援道路システム）サービスの路車間通信による本線車両への合流車両に関する注意喚起の有用性を公道実験によって検証している。また、西ら⁹⁾は織込み部での交互配置化によるジッパー合流（交互合流）を実現するために、織込み部の一定区間に車線変更を禁ずる区画線を引く方法を提案している。

さらに田畑ら¹⁰⁾は、工事規制時の交通容量や、臨界密度、臨界速度などの交通状態と規制状況との関係性について整理を行うとともに、LED標識車での情報提供による、ボトルネック部におけるわき見運転や速度低下に及ぼす影響やそれらを防止する効果について検証した。このように、高速道路の様々な合流部における合流支援についての研究は行われてきたが、車線規制渋滞時の交互合流の支援に関する研

究は見られないのが現状である。

本研究の先行研究として、藤井¹¹⁾はドライビングシミュレータを用いた走行実験の運転データにより「協力的ドライバー」と「非協力ドライバー」といった人間の心理による運転傾向の違いを交通流シミュレータに反映し、「協力的ドライバー」と「非協力ドライバー」の割合を変化させることで交通流が変化することを示した。また、田中¹²⁾は道路上の標示や標識による車線減少地点時の交互合流誘導効果について検証を行い、車線減少地点の上流から指示することが効果的であることなどの結果を得ている。

以上を踏まえうえて、本研究の特徴を述べると、車線規制渋滞時の交互合流支援の一つである合流地点の指定を車載器による情報提供を想定した音声と画像の提供によって行う点とその情報提供による合流に対するストレス軽減効果を検証する点である。

3. 実験概要

(1) 実験環境

本研究では、車線規制渋滞時での車載器による情報提供を想定し、Unity¹³⁾によって作成したドライビングシミュレータの画面上に表示される画像と接続されたスピーカーから流れる音声により交互合流の情報を提供しながら走行実験を行う。

a) Unity

Unityは、統合開発環境を内蔵するゲームエンジンである。これを用いることによって、図-2に示すような実際の運転時の画面を表現することができる。UnityにはAssetと呼ばれる3Dオブジェクトが配布されているため、それらを配置することで現実に近い道路状況を再現でき、それぞれのオブジェクトにC#によりプログラムを組み込むことで配置された自動車が走行することができる。このため、本研究ではドライビングシミュレータを作成する際にUnityを使用した。

本研究では、図-3に示すように実際に操作する自車と、プログラミングによって動作させる他車を配置し、工事規制区間として障害物を設置した直線道路を作成した。

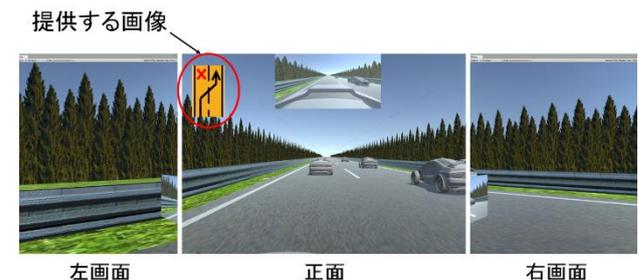


図-2 ドライビングシミュレータの運転画面

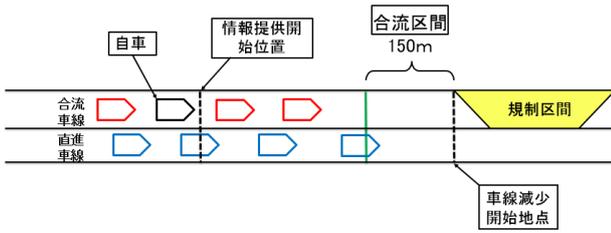


図-3 走行実験のシチュエーション



図-4 ドライビングシミュレータの構成

表-1 3 パターンの情報の相違点

	提供位置	情報内容
条件1	車線減少開始地点 1km手前	車線が減少することのみ伝える
条件2	合流区間 1km手前	合流区間まで車線を維持することを伝える
	合流区間	両車線交互に合流することを伝える
条件3	合流区間 1km手前	合流区間で交互合流が行われることを伝える
	合流区間	両車線交互に合流することを伝える

b) ハンドルコントローラ

本研究では、被験者に実際に自動車を運転しているような感覚で実験を受けてもらうために、図-4に示すようなステアリング、アクセルペダル、ブレーキペダルを操作できるハンドルコントローラ THURUSTMASTER T300RS¹⁴⁾を用いてドライビングシミュレータを構成した。

(2) 実験条件

交互合流は交通量が増えてきて車両速度が低下した渋滞時に効果的な合流方法であるため、実験時の運転環境を構成するときの交通状況を設定するパラメータとして主に走行する車両の速度と車間距離の2つがある。車両速度の設定は、NEXCO管理の高速道路の渋滞の定義¹⁵⁾の1つである40km/hを下回る30km/h、車間距離については渋滞が開始する時の車間距離¹⁶⁾である40mを下回る20mを想定する。実験条件は、表-1に示した3パターンの情報を、図-3に示す合流車線、直進車線をそれぞれ走行中に、図-5、図-6、図-7に示す各条件に沿った画像と表-2、表-3に示

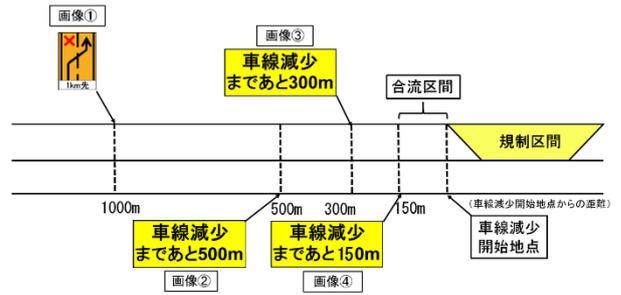


図-5 各地点で提供された画像(条件1)

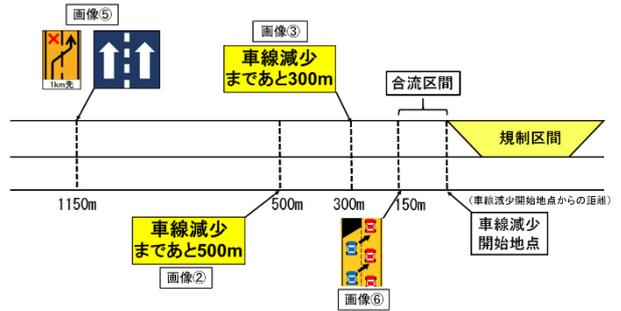


図-6 各地点で提供された画像(条件2)

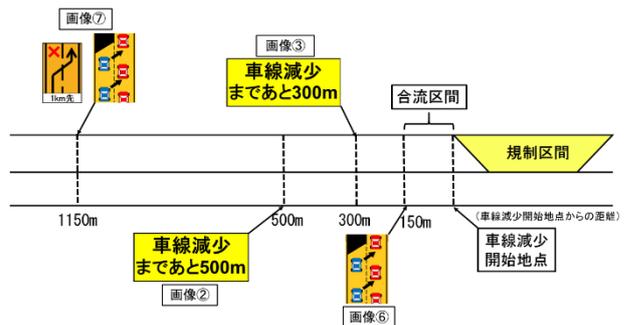


図-7 各地点で提供された画像(条件3)

表-2 各画像と同時に提供される音声(合流車線)

対応する画像	音声内容
画像①	1km先で工事により車線が減少します。
画像②	車線が減少するまであと500mです。
画像③	残り300mです。
画像④	間もなく車線が減少します。
画像⑤	この先、工事により車線が減少します。 1km先の合流区間まで今の車線をそのままお進みください。
画像⑥	右車線の車間に1台ずつお入りください。
画像⑦	この先、工事により車線が減少します。 1km先の合流区間で両車線交互に合流してください。

表-3 各画像と同時に提供される音声(直進車線)

対応する画像	音声内容
画像①	1km先で工事により車線が減少します。
画像②	車線が減少するまであと500mです。
画像③	残り300mです。
画像④	間もなく車線が減少します。
画像⑤	この先、工事により車線が減少します。 1km先の合流区間まで今の車線をそのままお進みください。
画像⑥	右車線の車間に1台ずつお入りください。
画像⑦	この先、工事により車線が減少します。 1km先の合流区間で両車線交互に合流してください。

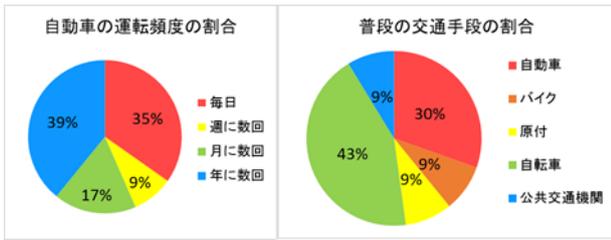


図-8 被験者の個人属性

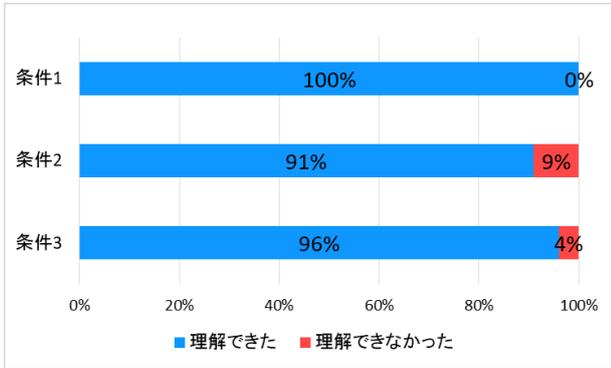


図-9 合流車線を走行した場合の被験者の情報理解度

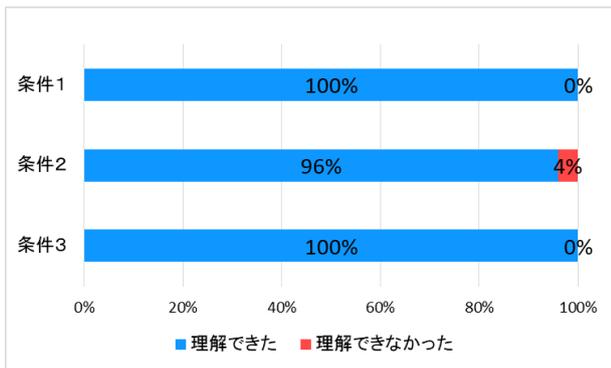


図-10 直進車線を走行した場合の被験者の情報理解度

す各画像に対応する音声で提供する。被験者が合流車線を走行する場合は自車の合流地点を、実験を通して自車と他車のUnity上の座標で自動的に記録しつつ、情報提供に対する被験者の理解度とそれぞれの車線を走行する際の合流に対して感じるストレスを聞き取りによって調査する。

(3) 被験者

本章の走行実験には20~40代の男性15名、女性8名の計23名に参加してもらった。今回の実験は、合流行動についての判断を見るものであるため、運転免許所持者のみで実験を行った。また、図-8より運転頻度や普段の交通手段に関しては、年に数回程度しかない人から毎日運転する運転経験豊富な人まで様々な人が参加したことがわかる。

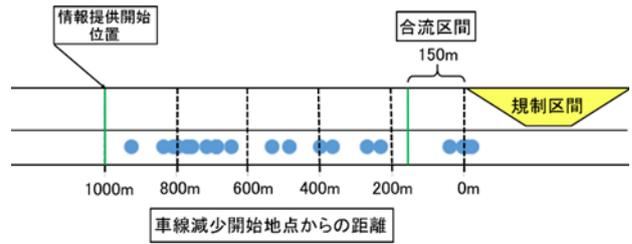


図-11 条件1における合流位置

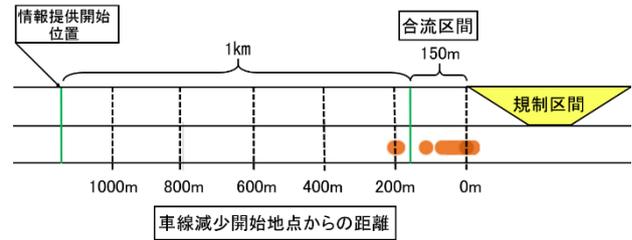


図-12 条件2における合流位置

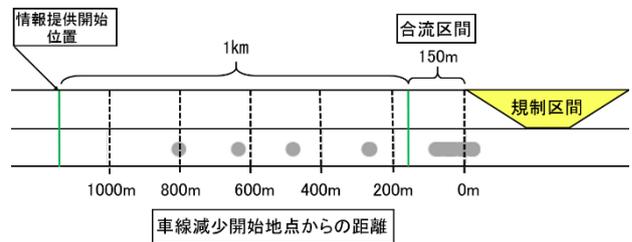


図-13 条件3における合流位置

4. 実験結果

(1) 情報の理解度

図-9に被験者が合流車線を走行した場合、図-10に被験者が直進車線を走行した場合に第3章の(2)節で示したような情報が提供された際に、その情報の内容が運転時に用意に理解できたかに関する回答結果を示す。図-9、図-10を見ると道路標識のような画像による情報提供に加え、音声によってドライバーに直接呼びかけることにより、大部分のドライバーにとって走行していて理解しやすい状況が再現出来ていたと思われる。

(2) 合流位置

図-11、図-12、図-13に各被験者が、それぞれの条件に沿った情報を受けた上での合流位置を示す。従来の情報提供である車線減少の情報(条件1)では車線減少地点から1kmの間に合流位置が散在しているのに対し、車線維持の情報(条件2)を提供すると23人中21人が設定した合流区間で合流し、残りの2人も車線減少地点から200m手前と下流側で合流した。また、1km先で交互合流するように伝えた場合(条件3)も23人中18人は合流区間で合流したが、残りの5人の合流

位置は車線減少地点から300m~800m手前と上流側まで広がっており、全ての被験者の合流地点を下流側に移動させることはできなかった。この結果から、合流地点を設定した合流区間まで遅らせるためには、ドライバーが合流区間まで進む間、車線を維持するよう促す情報が適していると考えられる。

(3) 合流車線走行時のストレス

図-14に合流車線を走行する際に合流が完了するまでに感じたストレスの割合を示し、図-15には各条件におけるストレスを感じた要因を聞いた結果、図-16には条件2、条件3の情報で条件1の時受けたストレスが解消された要因を聞いた結果を示す。ストレスを感じた度合いに関して、図より条件2と比較して条件3ではストレスを「感じなかった」と回答した人が39%から、74%まで増加しており、直進車線を走行する場合も車線維持の情報よりも交互合流の情報の方がストレス軽減の効果が高いことが判明した。また、合流車線と直進車線で比較した場合、直進車線の方が条件1と条件2、3とでストレスを「感じなかった」と回答した被験者の割合の変化が大きいことから、情報提供によって、自分が合流する際の不安感等のストレスを軽減する効果以上に、他車の行動に対する不公平感や不信感を軽減する効果が強いと推測される。

条件2の車線維持の情報でも、ある程度のストレス軽減効果は期待できるが、聞き慣れない「車線を維持する」という指示に戸惑うことや、自分のタイミングで合流できず自分の行動が制限されたと感じ、条件1よりストレスを感じた人もみられた。条件3の交互合流を行うという情報を提供した場合、条件1はもちろん、条件2と比較してもストレスを「感じなかった」と回答した人が倍増している。この結果から、

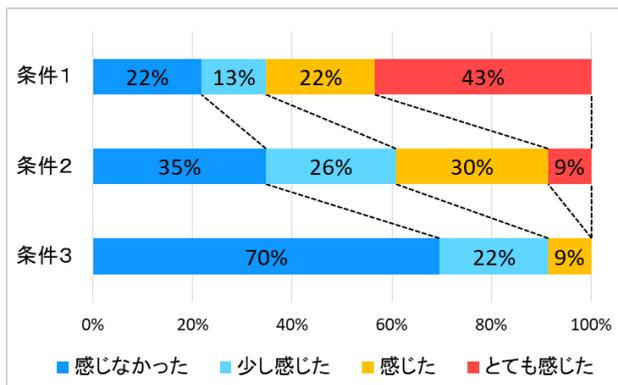


図-14 合流車線を走行した場合のストレス

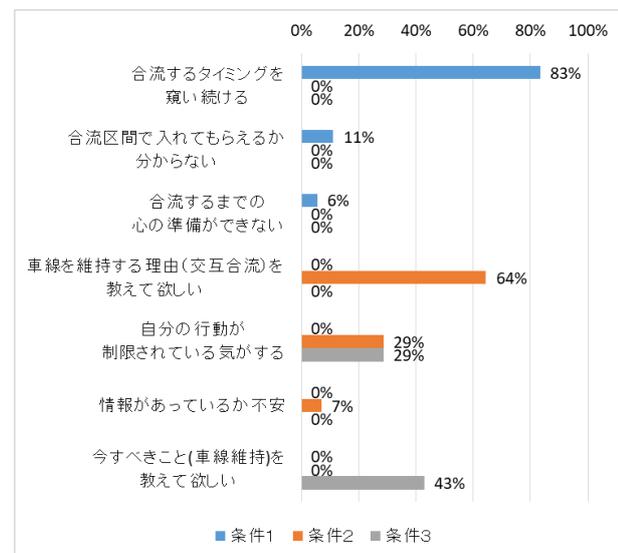


図-15 各条件におけるストレスの要因(合流車線)

ドライバーはこの先で行われる交互合流についてあらかじめ伝えられることで車線を維持することや車線減少地点手前で車線変更されることに、より納得してストレスなく走行できると考えられる。

(4) 直進車線走行時のストレス

図-17に直進車線を走行する際に合流車線を走行する車両が車線減少地点手前まで進み、車線変更した時に感じたストレスの割合を示し、図-18には各条件におけるストレスを感じた要因を聞いた結果、図-19には条件2、条件3の情報で条件1の時受けたストレスが解消された要因を聞いた結果を示す。ストレスを感じた度合いに関して、図より条件2と比較して条件3ではストレスを「感じなかった」と回答した人が39%から、74%まで増加しており、直進車線を走行する場合も車線維持の情報よりも交互合流の情報の方がストレス軽減の効果が高いことが判明した。また、合流車線と直進車線で比較した場合、直進車線の方が条件1と条件2、3とでストレスを「感じなかった」と回答した被験者の割合の変化が大きいことから、情報提供によって、自分が合流する際の不安感等のストレスを軽減する効果以上に、他車の行動に対する不公平感や不信感を軽減する効果が強いと推測される。

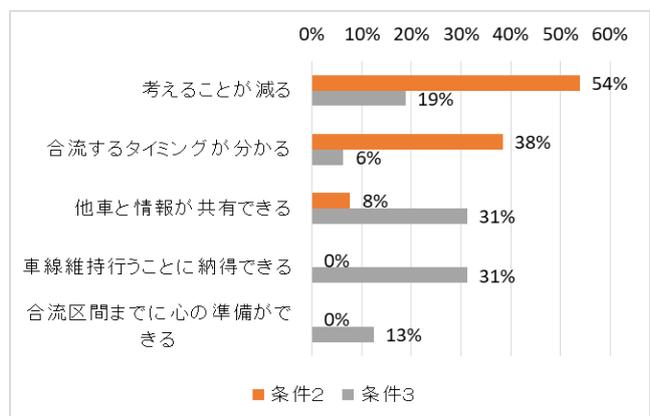


図-16 ストレスが解消された要因(合流車線)

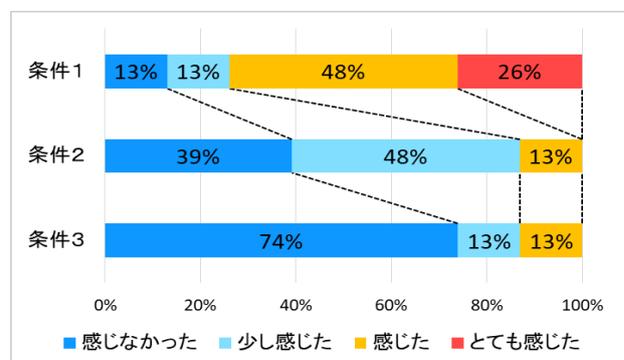


図-17 直進車線を走行した場合のストレス

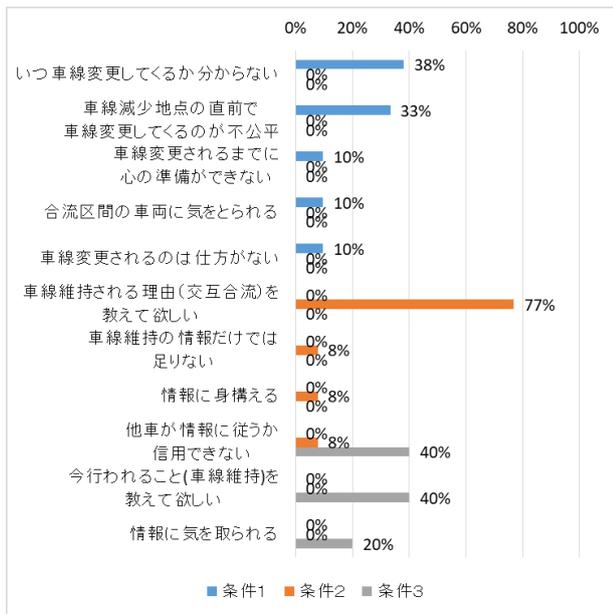


図-18 各条件におけるストレスの要因(直進車線)

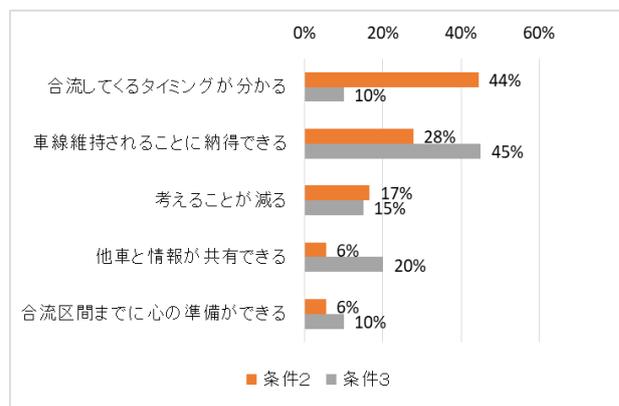


図-19 ストレスが解消された要因(直進車線)

5. まとめ

(1) 結論

本研究では、高速道路の工事による車線規制時に交互合流を支援するために、車載器で画面上の画像と音声によって情報提供を行うことを想定し、ドライビングシミュレータを用いた実験を行った。実験条件としてまずは、本研究で提案した情報内容の比較対象として従来の車線減少のみを伝える情報を提供した。次に、本研究で提案した交互合流を支援する情報内容として一つ目は、本研究で定義した合流区間から1km手前で、合流区間まで自車が走行する車線を維持し、合流区間まで進んだ後交互に合流するよう伝える情報、そして二つ目は、合流区間から1km手前で、合流区間で交互合流を行うことを伝え、合流区間に入ったときに再度両車線の車両が交互に合流することを伝える情報を提供した。これらの情報を提供した際の、被験者の合流位置と、合流に対するストレスについて調査した結果、まず従来の情報提供と本研究で提案した2つの情報提供を比較すると、本研究で提案した情報提供の有用性が示された。

次に、本研究で提案した二つの情報提供を比較すると、ドライバーの合流位置に関しては次のことが明らかになった。

- 1) 「合流区間まで車線維持」の情報を提供した場合、被験者23人中21人が設定した合流区間で合流し、残りの被験者も車線減少開始地点の200m手前と、情報提供開始地点から車線減少開始地点までの間の下流側で合流した。

- 2) 「合流区間で交互合流」の情報を提供した場合でも23人中18人の被験者が合流区間まで車線を維持し、合流位置を指定する効果のある程度期待できるが「合流区間まで車線維持」の情報と異なり、合流区間外で合流した被験者の合流位置がかなり上流の方まで散在していた。

以上のことから、合流位置を指定するときには、合流区間まで車線維持するよう伝える方が、効果が高いことが示された。

また、ドライバーの合流に対するストレスに関しては次のことが明らかになった。

- 1) 「合流区間まで車線維持」の情報を提供した場合、「車線減少」の情報を提供した場合に受けたストレスを解消された人が多く見られたが、「車線を維持する理由を先に教えて欲しい」、「車線維持の情報によって自分の行動を制限されているように感じた」など、ストレスを解消しきれなかった人や、ストレスが増した人も一定数見られた。
- 2) 「合流区間で交互合流」の情報を提供した場合、「合流区間まで車線維持」の情報よりもストレスが解消された人数が多く、交互合流が車線を維持した後に分かるため車線維持の情報では解消しきれなかったストレスや増えてしまったストレスも解消することができた。

以上のことから、合流区間まで走行する間に、「この先の合流区間で交互合流が行われる」と伝えられた方が、ドライバーは車線維持に納得してストレスなく交互合流ができることが明らかになった。

(2) 今後の課題

本研究の今後の課題として、合流位置を指定する効果の高い「合流区間まで車線維持」の情報とドライバーのストレスを軽減する効果の高い「合流区間で交互合流」の情報を、タイミングをずらして提供する多段階の情報提供を行う際のそれぞれの情報を提供するタイミングの検討や、情報提供によって合

流位置を指定できた際の交通流に及ぼす影響の交通流シミュレーションによる評価が挙げられる。

参考文献

- 1) 社会資本整備審議会 道路分科会:道路老朽化対策の本格実施に関する提言, 社会資本整備審議会道路分科会建議, 2014
- 2) 西成活裕: 渋滞のサイエンスとその解消法, 日本物理学会誌, Vol.71, No.3, 2016, pp170-173
- 3) 原正一郎, 野田宏治, 荻野弘: 名古屋高速道路における渋滞解消のための合流法改善に関する研究, 豊田工業高等専門学校研究紀要, 第41号, pp77-82, 2009
- 4) Tom Vanderbilt : 隣の車線はなぜスイスイ進むのか?, 早川書房, pp63-74, 2008
- 5) Andrew G. Beacher : EVALUTION OF THE LATE MERGE WORK ZONE TRAFFIC CONTROL STRATEGY , Virginia Transportation Research Council(A Cooperative Organization Sponsored Jointly by the Virginia Department of Transportation and the University of Virginia), VTRC05-R6, 2004. 8
- 6) 丸尾香菜子, 倉内文孝, 宇野伸宏, 高木朗義: 高速道路合流部における車線変更挙動の分析とモデル化, 土木学会中部支部研究発表会, pp307-308, 2009
- 7) 高山純一, 中山晶一郎, 西啓介, 住友拓哉: 一般道路と高速道路の合流部における合流挙動解析, 土木計画・論文集, Vol.20, No.4, pp939-947, 2003
- 8) 平井節生, 島中秀人, 平沢隆之, 綾貴穂, 西井禎克, 長野和夫: AHS安全合流支援サービスの開発, 第6回ITSシンポジウム, pp331-336, 2007
- 9) 西遼佑, 三木弘史, 友枝明保, 西成活裕: 織込部交通流の交互配置化のSimulationおよびCluster解析, 2008
- 10) 田畑大, 割田博, 深井靖史, 山下賢一郎: 首都高速道路工事規制時における捌け交通量の変化に関する分析, 土木計画学研究発表会講演集Vol.41, CD-ROM, 2009
- 11) 藤井寿太郎: 高速道路での工事車線規制に伴う合流部の渋滞対策, 九州大学大学院新領域学府修士論文, 2018
- 12) 田中洋介: 高速道路上の車線減少区間の交互合流指示方法に関する研究, 2019
- 13) Unity
<https://unity3d.com/jp/unity>
- 14) T300RS
http://www.thrustmaster.thrustmaster.com/jp_JP/products/t300rs
- 15) NEXCO 渋滞の定義は?
<http://highwaypost.nexco.co.jp/faq/traffic/rule/345.html>
- 16) 西成活裕: 渋滞学, 新潮社, 2006