

高速道路における規制区間による 標識設置枚数の削減可能性に関する研究 ～ドライビングシミュレーターを用いて～

藤生 慎¹・村 一翔²・高山 純一³・塩崎 由人⁴・芹川 博⁵
高瀬 浩一⁶・山本 和久⁷・南 貴大⁸・森崎 裕磨⁹

¹正会員 金沢大学准教授 理工研究域地球社会基盤学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail: fujju@se.kanazawa-u.ac.jp

²学生会員 金沢大学大学院 自然科学研究科環境デザイン学専攻 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail: village102@stu.kanazawa-u.ac.jp

³フェロー 金沢大学名誉教授 理工研究域地球社会基盤学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail: takayama@staff.kanazawa-u.ac.jp

⁴正会員 金沢大学特任助教 理工研究域地球社会基盤学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail: yuto@se.kanazawa-u.ac.jp

⁵非会員 中日本ハイウェイ・メンテナンス北陸株式会社 (〒920-0024 石川県金沢市西念三丁目1番9号)
E-mail: hiroshi.serikawa@c-nexco-hmh.jp

⁶非会員 中日本ハイウェイ・メンテナンス北陸株式会社 (〒920-0024 石川県金沢市西念三丁目1番9号)
E-mail: kouichi.takase@c-nexco-hmh.jp

⁷非会員 中日本ハイウェイ・メンテナンス北陸株式会社 (〒920-0024 石川県金沢市西念三丁目1番9号)
E-mail: kazuhisa.yamamoto@c-nexco-hmh.jp

⁸学生会員 金沢大学院 自然科学研究科環境デザイン学専攻 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail: takahoro1993@gmail.com

⁹学生会員 金沢大学院 自然科学研究科環境デザイン学専攻 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail: takayama@staff.kanazawa-u.ac.jp

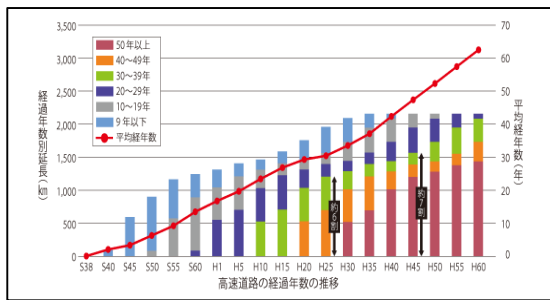
現在、高速道路では、大規模な改修工事が行われている。高速道路の改修工事に伴い、工事区間における車線規制を行う必要がある。ドライバーは工事区間による車線規制に伴い、車線変更を余儀なくされる。そこで道路事業者各社は、工事区間前方より、標識などを用いた注意喚起を行っている。しかし近年、工事区間による車線規制に気づかない、もしくは気づくのに遅れ工事区間に突入してくる車両が多数発生している。どのような標識の設置方法であればドライバーに確実に車線変更の必要性を認知させ、安全に車線変更をさせることができるかの検証を行うためには、様々な標識設置パターンを用いて繰り返し実験を行い評価することが必要不可欠である。しかし、実際の道路で様々な標識設置パターンを繰り返し実験するには、コストや安全面などの多くの問題がある。そこで本研究では、ドライビングシミュレーターを用いて安全かつ効率的に、標識の効果検証を行った。

Key Words : *Driving simulator, Highway, Regulation information board, Lane change*

1. はじめに

我が国のインフラ構造物の多くは、高度経済成長期に建設されたものが多く、高速道路もそのうちの1つである。図-1¹⁾に、NEXCO中日本の管理する高速道路の平均供用年数と経過年数の推移を示す。6割以上が供用から30年以上経過しており、補修工事が急務である。これはNEXCO中日本に限ったことだけではなく、全国各地

の高速道路において補修工事が必要である。そこで高速道路事業者各社は、高速道路の大規模なリニューアル工事を実施している。高速道路の補修工事では、車線規制が発生し、それに伴い規制区間を高速道路走行車に規制区間を知らせるための標識の設置が必要となる。標識を設置するには、標識設置地点まで車で行き路肩に停車して標識を設置する必要がある。そのため標識設置枚数が多ければ多いほど停車する回数が増えるため、高速道路

図-1 高速道路の経過年数推移¹

走行車との接触事故が起こる可能性が増加し、作業にもかなりの時間を要するため危険性と非効率性を伴う作業となる。中央分離帯側に標識を設置するためには、作業員の方が標識を持って高速道路を横断する必要があり、かなりの危険を伴う。実際に作業員の方が高速道路を横断中に高速道路走行車と接触し、命を落とした事故もある。以上より標識設置作業の観点から、標識設置枚数の削減による規制作業の安全性の向上と効率化が必要である。しかし、規制区間が発生することによって、高速道路走行車は車線変更をする必要がある。標識設置の1番の目的は、高速道路走行車に事前に規制区間を知らせ、車線変更をさせることである。ところが、規制区間の標識や看板を見逃す、もしくは気づくのが遅れ、規制区間へ突入する事故が後を絶たない。実際に規制区間に高速道路走行車が突入し死傷者が出る大事故も発生している(図-2)²。感覚的ではあるが、標識の設置枚数を減らすと規制区間への突入事故の可能性は高くなると考えられる。規制区間への突入事故を削減したい中、規制作業の効率化と作業員の安全性向上のために標識の設置枚数を減らすのは標識本来の意味を失ってしまう。

そこで本研究では、高速道路において高速道路走行車の規制区間突入事故リスクを維持(可能であれば低減)できる最小限の標識設置枚数を検証することを目的とする。研究の方法として、ドライビングシミュレータを用いて、高速道路における標識設置枚数の削減について検討する。標識設置枚数の削減に関する検討を現実の道路で行うにはかなりの危険を伴う為、きわめて困難である。そこでドライビングシミュレータを用いることで安全かつ効率的に標識設置枚数の削減に関する検討を行うことが可能である。

2. 既往研究

今田³⁾の研究では、ドライバーの視覚情報の認知過程から車線変更の挙動を分析し、車線変更挙動のタイプを車間距離重視型と速度差重視型、車間距離と速度差の双

中央道事故

トラック運転の物流社員逮捕 10人死傷

毎日新聞 2017年9月7日 21時05分 (最終更新 9月7日 21時12分)

社会 > 速報 > 事件・事故・裁判 >



工事現場へ突っ込んだトラック(中央奥)と衝突された工事車両(手前)＝岐阜県多治見市で2017年8月30日、本社ヘリから大西由彦撮影

岐阜県多治見市の中央自動車道で工事現場にトラックが突っ込み、積み荷などが下を走る国道に落下して死傷者を出した事故で、県警は7日、トラックを運転していた大阪府高槻市柱本6、物流会社社員、村田義明容疑者(47)を自動車運転処罰法違反(過失致死傷)容疑で逮捕した。「(スマートフォンの)地図アプリを起動しようとした」となどと供述し、脇見運転を認めているという。

逮捕容疑は8月30日午後1時45分ごろ、多治見市の中央自動車道上り線でトラックを運転中、工事現場に突っ込み、作業員の男性(当時40歳)を脳挫傷で死亡させ、他の作業員4人に軽傷を負わせたとしている。さらに、積み荷などが落下して国道の車4台も巻き込み、4人に軽傷を負わせたとしている。

図-2 中央道事故記事²

方を重視するバランス型の3つのタイプに分類している。

飯田ら⁴⁾の研究では、高速道路本線上に定点カメラを設置し、ビデオ映像から車線規制時の車両挙動と車線規制材配置の関係性を、PICUDを用いて分析している。その結果、交通量が多い場合には潜在的危険性が高くなる車両が多く、走行車線規制時はギャップ後方車、追越車線規制時は車線変更車の危険性が高くなる知見を得られた。また、規制する車線によらず規制材が車線内に配置され始めた地点でPICUD最小値が確認された。

近藤ら⁵⁾の研究では、マイクロ交通シミュレータKAKUMOを用いて、前年度までに開発された運転行動モデルと、今回新たに検討したモデルに対して、マクロ・マイクロ両視点からの実交通データに基づく車線変更モデルによる再現性の評価と検討を行っている。ミクロ的視点においては、NGSIMデータに基づき、車線規制要求発生の一貫性による再現性評価を行っている。また、マクロ的視点においては、東名大和サグ区間における再現性の評価を行っている。

飯田ら⁶⁾の研究では、ドライビングシミュレータを用いて被験者の属性・JCTの利用経験別に標識判読に及ぼす影響を把握した。結果として、現状の標識には改良の余地があることを明らかにした。具体的には、できるだけ文字高を拡大するとともに、複雑なJCTの形状を表す矢印を付加することが有効であるとの知見を得た。

相原ら⁷⁾の研究では、高齢ドライバーの標識判断時間を地名判断と方角判断から評価するとともに、CG映像を用いて、これを推定する方法について検討した。その結果、CG映像を用いた実験により、各種の判断時間の推定が可能であることと方角判断は地名判断に比べより多くの時間を要することが明らかになった。

小川ら⁸⁾の研究では、市販のゲーム用の機器を用いた

簡易ドライビングシミュレータを利用して、簡易ドライビングシミュレータ上における道路案内標識の視認性の検証をおこなった。交差点案内標識と高速道路における出口案内標識を対象に、簡易ドライビングシミュレータ上における判読距離と文字高の関係について調べ、実際の道路上の標識との比較により、どの程度の大きさであれば簡易ドライビングシミュレータ上において適切な視認性を確保できるかを明らかにした。

木村ら⁹⁾の研究では、実物の標識を用いて行われた既往研究との比較により、CGによる実験結果との対応関係を明らかにするとともに、CGの長所である複雑な交通場面における標識の判読性について考察し、CG映像で標識を扱うことの可能性を示した。

藤生ら¹⁰⁾の研究では、構築したドライビングシミュレータにおいて、交通量を変化させながら、情報の有無、情報種別が合流部走行の効率性や快適性に与える影響を分析した。結果として、走行支援情報システムの合流部への導入により合流部の円滑性と快適性の向上可能なシステムと交通密度の組合せが存在することが明らかとなった。

これらの研究では、工事規制材による車両挙動や車線変更挙動に関する研究は数多くなされている。これらの研究は現実の道路において定点カメラなどを用いて計測しており、実際にドライバーが何を理由に車線変更しているかまでは明らかにされていない。また、ドライビングシミュレータや標識の評価に関する研究は数多くなされている。これらの研究では、ドライビングシミュレータの有用性やドライビングシミュレータにおけた標識の視認性に関する研究が多い。ドライビングシミュレータにおける検証可能性に関して明らかにされたものが多く、ドライビングシミュレータを用いた標識によるドライバーの車線変更に与える影響に関する研究は存在しない。本研究では、現実の道路では検証が困難である規制区間による標識の設置枚数の削減についてドライビングシミュレータを用いて検証することを新規性とする。

3. 実験概要

ドライビングシミュレータを用いた走行実験とアンケート調査は、2019年8月26日・27日、10月7日・9日・10日の計5回実施した。時間は9時～15時、場所は北陸自動車道尼御前SA（下り線）で行い、被験者はSA利用者にご協力いただいた。被験者数は5日間で合計130名となった。実験の主な流れとしては、ドライビングシミュレータを用いた走行実験を行った後にアンケート調査を実施した。なお被験者の年齢は20代13名、30代10名、40代20名、50代24名、60代35名、70代28名であり、性別は男性91名、

女性37名であった。

(1) ドライビングシミュレータを用いた走行実験概要

ドライビングシミュレータを用いた走行実験では、1人の被験者に対して走行車線規制と追越車線規制のそれぞれの規制におけるシミュレーションの計2回実施した。被験者には、「高速道路を走行するシミュレーションである」、「普段の運転を心がける」、「交通ルールに順守する」の3点のみを伝え実験を行った。規制パターンとして、「現況」、「パターンA」、「パターンB」の3種類の規制パターンを準備した。走行車線規制の走行実験では走行車線から走行を開始し、追越車線規制では追越車線から走行を開始した。

(2) アンケート調査概要

アンケート調査では、個人属性（性別、年齢、免許取得日、運転歴、運転頻度、高速道路利用頻度）、ドライビングシミュレータについて（操作性、視認性、周囲の環境）、車線変更を認識した地点（標識）について尋ねた。

4. 走行車線規制における分析結果

本節では、SA利用者を対象としたドライビングシミュレータを用いた走行実験とアンケート調査より得られた走行車線規制に関する結果を示す。まず初めに、走行車線規制におけるアンケート調査より得られた、被験者が走行実験の際に車線変更を認識地点（標識）の結果より、標識がドライバーに与えた車線変更認識への効果を評価する。また、ドライビングシミュレータを用いた走行実験より得られた、走行車線規制において被験者が実際に車線変更を行った地点の結果より、走行車線規制における各規制パターンにおける車線変更挙動の把握を行った。

(1) 標識設置パターンについて

図-3に現況の標識設置パターン、図-4にパターンAの標識設置パターン、図-5にパターンBの標識設置パターンを示す。現況の標識設置パターンは、現在、高速道路補修工事で走行車線規制を行う際に実際に用いられている標識設置パターンである。パターンAは、中分の標識の撤去、テーパー部500m前地点の標識に「ここから右へ」の補助標識を追加した。先行研究よりパターンBは、中分の標識の撤去、文字標識の撤去、テーパー部500m・300m前地点の標識の撤去、テーパー部500m前地点に車線減少標識の追加、テーパー部800m・500m前地点の標識の距離標識を撤去し、「ここから右へ」補助標

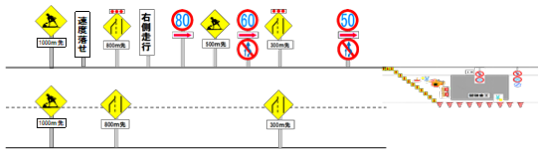


図-3 現況の標識設置パターン

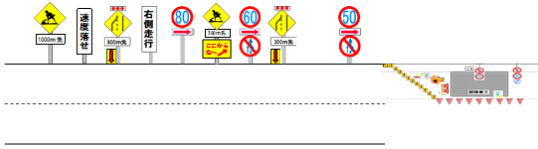


図-4 パターン A の標識設置パターン

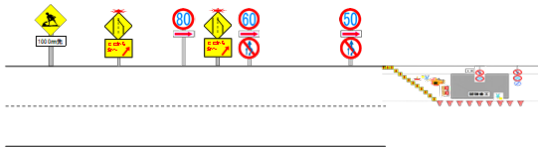


図-5 パターン B の標識設置パターン

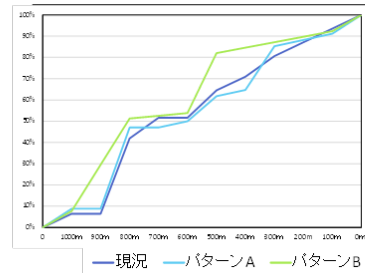
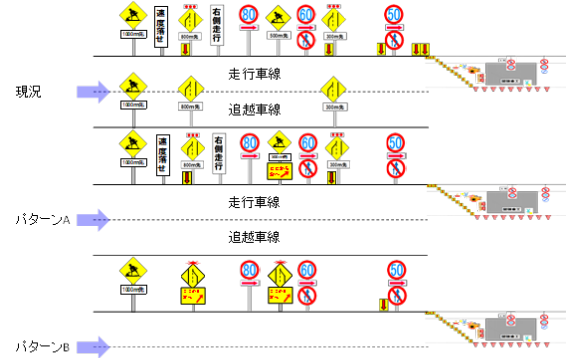


図-6 走行車線規制における車線変更認識地点 (標識)

識を追加した。

(2) 走行車線規制における車線変更認識地点 (標識) について

図-6に、走行車線規制における各規制パターンでの車線変更認識地点 (標識) の集計結果を示す。集計方法は累積割合で行った。どの標識設置パターンにおいても、規制区間800m前地点に設置された標識 (車線減少) で車線変更の必要性を認識する割合が最も高いという結果となった。また、パターンBの標識設置パターンにおいて、規制区間500m前地点 (標識) で車線変更の必要性を認識する割合の増加が見られる。先述の通り、パターンBでは規制区間800m前・500m前地点の標識は車線減少の標識を設置している。これより、車線減少の標識がドライバーへの車線変更を最も認識させるのに最も効果的であることが示唆された。しかし、パターンBの標識設置パターンにおいて規制区間500m前地点 (標識) で車線変更の必要性を認識した割合が増加しているのに対し、パターンAの標識設置パターンにおいては規制区間500m前地点 (標識) での車線変更の必要性を認識した割合に大きな増加が見られないことから、「ここから右へ」の補助標識には車線変更の必要性を認識させる効果が小さい可能性が示唆された。

(3) 走行車線規制における車線変更地点について

図-7に、走行車線規制における車線変更地点の集計結果を示す。集計方法は累積割合で行った。現況の標識設置パターンでは、約4割が規制区間に達してから車線変更

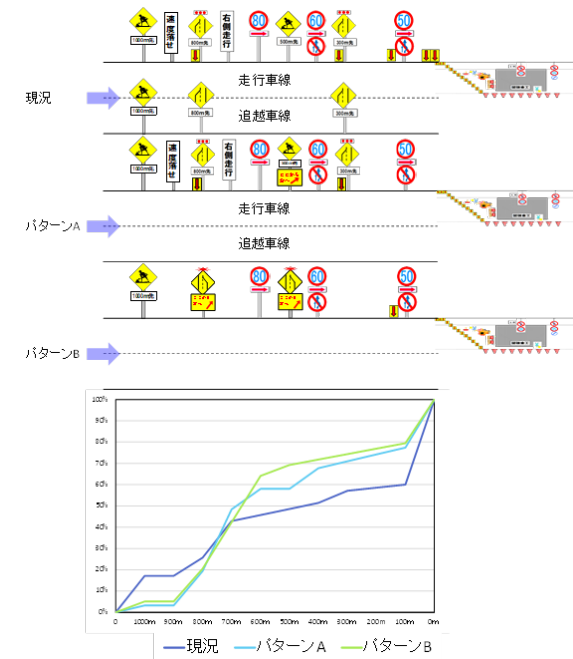


図-7 走行車線規制における車線変更地点

更をしていることが分かる。規制区間700m前地点でパターンA・パターンBの標識設置パターンにおいて車線変更をした割合が現況の標識設置パターンの車線変更をした割合を超える。パターンAとパターンBの標識設置パターンでは、規制区間500m前地点に「ここから右へ」の補助標識を設置している。これより、「ここから右へ」の補助標識が車線変更を促すのに効果的であることが示唆される。また、パターンAとパターンBの標識設置パ

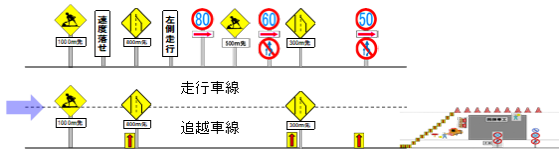


図-8 現況の標識設置パターン

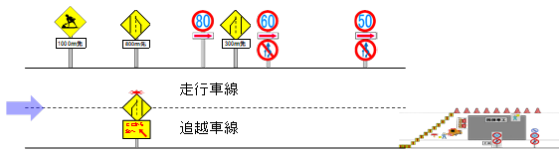
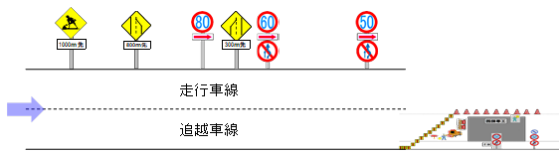


図-9 パターン A の標識設置パターン



ターンに車線変更をした割合に大きな差がないことから、これら2つの標識設置パターンに車線変更を促す効果の差は見られない。以上より走行車線規制では、中分の標識・文字標識の削減が可能であり、「ここから右へ」の補助標識により車線変更を効果的に促せることが示唆された。

5. 追越車線規制における分析結果

本節では、SA 利用者を対象としたドライビングシミュレータを用いた走行実験とアンケート調査より得られた追越車線規制に関する結果を示す。まず初めに、アンケート調査より得られた、被験者が走行実験の際に車線変更を認識地点（標識）の結果より、標識がドライバーに与えた車線変更認識への効果を評価する。次に、ドライビングシミュレータを用いた走行実験より得られた、追越車線規制において被験者が実際に車線変更を行った地点の結果より、追越車線規制における各規制パターンにおける車線変更挙動の把握を行った。

(1) 標識設置パターンについて

図-8に現況の標識設置パターン、図-9にパターンAの標識設置パターン、図-10にパターンBの標識設置パターンを示す。現況の標識設置パターンは、現在、高速道路補修工事で追越車線規制を行う際に実際に用いられている標識設置パターンである。パターンAは、中分のテーパー部1000m・300m前地点の標識の撤去、文字標識の撤去、路肩のテーパー部400m前地点の標識を撤去、路肩のテーパー部500m前地点に標識の追加である、パタ

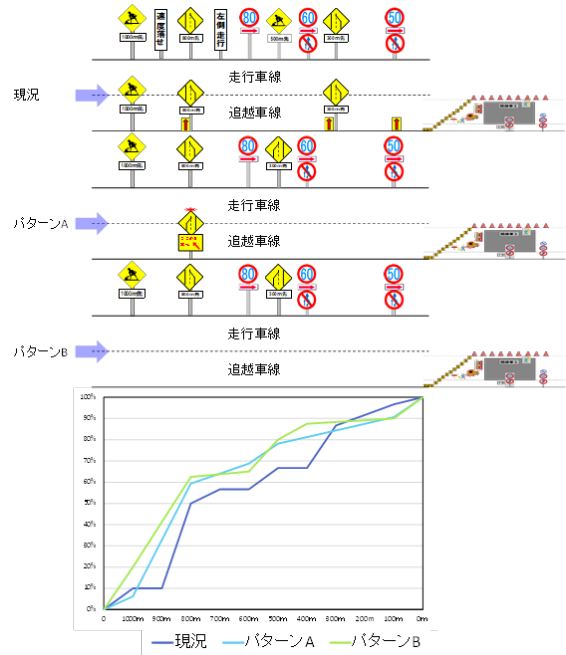


図-11 追越車線規制における車線変更認識地点（標識）

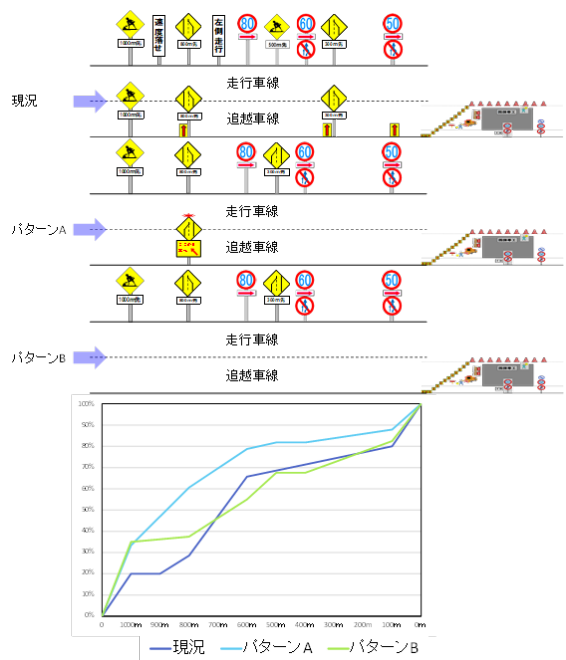


図-12 追越車線規制における車線変更地点

ーンBは、中分の標識を撤去、その他はパターンAと同様である。

(2) 追越車線規制における車線変更認識地点（標識）

図-11に、追越車線規制における各規制パターンでの車線変更認識地点（標識）の集計結果を示す。集計方法は累積割合で行った。現況・パターンA・パターンBのどのパターンにおいても標識による車線変更の認識地点

に大きな差はない。どのパターンにおいても、テーパー部 800m 前地点の標識（車線減少）における認識率上昇が最も高くなる。これより、追越車線規制においてドライバーへの車線変更を認識させるのに最も効果的な標識は車線減少の標識であるといえる。テーパー部 800m 前地点にはパターン B を除いて、路肩・中分の両側に車線減少の標識を設置している。しかし、前述のとおりどのパターンにおいても車線変更の認識地点に大きな差はないことから、追越車線規制において中分側の標識の効果は小さいといえる。アンケート調査においても、中分側の標識によって車線変更を認識した割合はかなり低い。また、全体の認識率の変化が同じような値を示していることから、現況・パターン A・パターン B それぞれの標識の設置パターンの効果に大きな差はないことが示唆された。

(3) 追越車線規制における車線変更地点について

図-12 に、走行車線規制における車線変更地点の集計結果を示す。集計方法は累積割合で行った。どのパターンにおいても 2 割以上が規制区間 1000m 前地点（標識）より前で車線変更していることがわかる。先述した通り、本実験では高速道路を走行していることを想定して行った。また、追越車線規制を想定したものでは追越車線から走行が始まっている。そのため、高速道路では基本的に左側走行しなければならない、その意識から多くの被験者が追越車線規制に関わらず走行車線へと車線変更したと考えられる。パターン A の標識設置パターンにおける車線変更をした割合は、どの地点においても現況の標識設置パターンの車線変更をした割合を上回っている。また、現況とパターン B の標識設置パターンの車線変更をした割合に大きな差は見られない。規制区間に達してからの車線変更をした割合が標識設置パターンで大きな差がないことから、追越車線規制における標識設置枚数の削減可能性が示唆された。しかし、パターン A の標識設置パターンの車線変更をした割合が、パターン B の標識設置パターンの車線変更をした割合をどの地点においても上回っていることより、パターン A の標識設置パターンで用いた規制区間 800m 前地点の追越車線側に設置されている車線減少の標識に「ここから左へ」の補助標識を組み合わせた標識に車線変更を促す効果がある可能性が示唆された。

6. まとめと今後の課題

近年、我が国では高速道路の大規模な補修工事が行われている。高速道路の補修工事では工事区間による走行車線規制又は追越車線規制が発生する。規制工事に伴

い工事従事者は規制区間をドライバーへ知らせるために標識や看板の設置が必要となる。しかし、かばんや標識の設置は高速道路を横断したりしなければならず危険を伴う。また、規制区間の発生によりドライバーが標識や看板を見逃すまたは気づくのが遅れて規制区間に突入する危険性もある。規制区間の準備作業の効率化と規制区間突入事故の削減が急務である。そこで本研究では、高速道路の補修工事により発生する規制区間への突入事故リスクを維持（可能であれば低減）できる最小限の標識設置枚数の検討を行った。検証方法として、ドライビングシミュレータを用いて検証を行った。

走行車線規制において、「車線減少」の標識がドライバーへ車線変更の必要性を認識させるのに最も効果的であることが明らかとなった。また「ここから右へ」の補助標識には、ドライバーへ車線変更を促すのに効果があることが明らかとなった。標識の設置枚数を減らしても車線変更の必要性の認識率や、車線変更地点に変化はなく走行車線規制において、標識設置枚数削減による規制区間突入事故リスクに変化はないことが明らかとなった。追越車線規制においても、走行車線規制と同様に「車線減少」の標識が車線変更を認識させるのに最も効果があることが明らかになった。追越車線規制においては追越車線側の標識が重要であると考えられるが、追越車線側の標識による車線変更の必要性の認識率の向上や、車線変更を促す効果を確認することが出来なかった。また、標識設置枚数の削減による規制区間突入事故リスクに変化はないことが明らかになった。

今後の課題として、規制区間による標識の設置パターンは無数に考えられる。本研究では 2 パターンの検証しか行っておらず、本研究で用いた標識パターンより規制区間への突入事故リスクを低減させられる標識パターンが存在する可能性がある。また、本研究ではドライビングシミュレータを用いて検証を行っている。既往研究よりドライビングシミュレータによる検証の有用性は明らかにされてはいるが、本研究で得た結果が実際の規制区間において効果があるかは不明である。今後の課題として、更なる検証を行い本研究で得た結果よりも規制区間への突入事故リスクを低減させられる標識パターンの検討を行うこと。また実際の道路において本研究で得た結果が適応可能であるかの検証が必要である。

参考文献

- 1) NEXCO 中日本 HP
<https://www.c-nexco.co.jp/koushin/>
- 2) 毎日新聞：トラック運転の物流社員逮捕 10 人死傷、2017 年 9 月 7 日、<https://mainichi.jp/articles/20170908/k00/00m/040/090000c>
- 3) 今田寛典：ドライバーの視覚情報認知過程—車線

- 規制を例にして一, 社会情報学研究, Vol.4, 1-17, 1998
- 4) 飯田克弘, 日暮智紀, 高橋秀喜, Jain Xing, 山下和彦: 高速道路の工事規制始端部における規制材配置と車両挙動との関連性分析, 土木計画学研究・論文集, Vol.27, No.5, 2010年9月
- 5) 近藤啓介, 鈴木高宏: ミクロ・マクロ両視点からの高速道路における車線変更モデルの同定, 生産研究, 59巻3号, pp205-pp209, 2007
- 6) 飯田克弘, 窪田稔: 利用者属性の影響を考慮した複雑な JCT における案内標識の評価, 土木計画学研究・論文集, Vol.18, no.5, 2001年9月
- 7) 相原良孝, 木村一裕, 溝端光雄, 高宮進, 前川佳史, 清水浩志郎: 道路案内標識判断時における高齢ドライバーの運転特性ならびに判断能力に関する研究, 土木計画学研究・論文集, Vol.18, no.5, 2001年9月
- 8) 小川圭一, 橋本尚幸, 土井和広, 久坂直樹, 久恒智朗: 簡易ドライビングシミュレータにおける道路案内標識の視認性に関する研究, 土木計画学研究・論文集, Vol.27, no.4, 2010年9月
- 9) 木村一裕, 清水浩志郎, 末岡真純, 伊藤元一: CG を用いた案内標識の判読可能性, 土木計画学研究・講演集, No.20(2), 1997年11月
- 10) 藤生慎, 清水哲夫: ドライビングシミュレータを用いた合流部走行支援情報システムの評価, 土木計画学研究・講演集, Vol.34, No.291, 2006

ANALYSIS ON THE POSSIBILITY OF REDUCING THE NUMBER OF SIGNS DEPENDING
ON EXPRESSWAYS
— USING A DRIVING SIMULATOR —

Kazuto MURA, Makoto FUJII, Jyunichi TAKAYAMA, Yuto SHIOZAKI,
Hiroshi SERIKAWA, Kouici TAKASE, Kazuhisa YAMAMOTO,
Takahiro MINAMI, and Yuma MORISAKI