

# 図看板の評価に基づく工事区間誤進入抑制に向けた規制情報提供 Regulatory Information Design based on Evaluation of Graphic Signs for Reduction of Accidental Entry into Construction Zones

飯田 克弘<sup>1</sup>, 和田 侃樹<sup>2</sup>  
Katsuhiro IIDA<sup>1</sup>, and Tsuyoki WADA<sup>2</sup>

近年, 工事規制区間に誤進入する事故が急増している. 本研究では, 規制始端部から誤進入する事故への対応として, 法定標識と, 法定外看板である図看板を組み合わせた場合の規制情報提供の提案を試みた. 具体的には, ドライビング・シミュレータを用いた室内走行実験結果により被験者ごとの情報取得と運転行動を明らかにし, 図看板の設置効果を評価した. ここでは表示の設置間隔が狭いと見落としに繋がることも明らかにした. この結果を踏まえてヒアリングを行ったところ, 規制車線側の斜め矢印線が長く描かれた図看板は車線変更の必要性を伝え, 車線変更を促すことが示唆された. これらの結果を踏まえ, 工事規制区間での誤進入抑制が期待できる規制情報提供を提案した.

In recent years, accidents involving vehicles mistakenly entering restricted construction zones have increased, raising serious safety concerns. To address this issue, this study proposes a regulatory information design that integrates statutory signs with non-statutory graphic signs to enhance driver compliance. An indoor experiment using a driving simulator was conducted to evaluate the effects of sign installation conditions on drivers' information acquisition and driving behavior. The results showed that signs placed too close together were more likely to be overlooked, thereby diminishing their regulatory effectiveness. In addition, follow-up interviews indicated that a graphic sign with a long diagonal arrow on the restricted lane side clearly conveyed the necessity of a lane change and encouraged drivers to comply in a timely manner. By integrating quantitative data from the driving experiment with qualitative insights from interviews, this study provides comprehensive evidence for the effectiveness of combining statutory and graphic signs. These findings suggest a regulatory information provision method that has the potential to reduce erroneous lane entries and contribute to improved safety in restricted construction zones.

**Keywords:** 規制情報提供, 法定外看板, ドライビング・シミュレータ, CNN  
Regulatory Information Design, Non-Statutory Sign, Driving Simulator, CNN

## 1. はじめに

NEXCO3 社管内における工事規制区間へ誤進入する事故の発生件数<sup>1)</sup>は, 2020 年度に 704 件, 2021 年度に 1095 件, 2022 年度に 1457 件であり, 3 年間で 2 倍以上に急増している. また, 2021 年度には, 工事規制区間に誤進入してきた大型貨物にはねられ, 規制材を点検していた作業員が死亡する事例も発生していることから<sup>2)</sup>, 人命リスクも含め問題視されている.

この問題に対し, 筆者らは先行研究<sup>3)</sup>で, 工事規制区間の手前に設置される保安施設設置の技術的根拠が明確でないことを指摘するとともに, 特に漫然運転や脇見運転が原因で工事規制区間始端部から誤進入する事故への対応として, 運転者に早期かつ適切に規制情報を提供する方法(以下, 規制情報提供)を検討した. 具体的には, 法定標識(本標識)のみを対象とし, その種類や設置枚

数, 配列に関する技術的根拠を把握した. なお, 法定標識には, 最高速度標識, 道路工事中標識, 車線数減少標識が含まれる. さらに, 把握した技術的根拠を基に, 規制情報提供を提案した(図1).



図1 先行研究<sup>3)</sup>で提案した規制情報提供

ここで, NEXCO 中日本の保安施設設置マニュアル(図2), および, 現行の多くの工事規制区間にて, 上述の法定標識以外に法定外看板の設置が確認できるが, これらの技術的根拠についても公表されている資料からは確認

1 正会員, 博士(工学), 大阪大学大学院工学研究科  
〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 e-mail: iida@civil.eng.osaka-u.ac.jp Phone: 06-6879-7611  
2 修士(工学), 阪神高速道路株式会社

表1 工事規制区間手前に設置される法定外看板 (Google ストリートビュー)



できない。そこで、マニュアルおよびGoogle ストリートビューを用いて、工事規制区間手前に設置される法定外看板を調査したところ、三種類の看板が主に確認された(表1)。その内、縦書きの二種類の看板(表1, ①と②)については、村らの研究<sup>4)</sup>により、削減しても運転行動への影響が見られず、削減可能であることが示唆されている。一方で、図で車線変更を誘導する看板(表1, ③, 以下、図看板)については、既往研究で扱われた事例がないが、運転者が直感的に指示を理解しやすく、縦書きの二種類の看板より高い効果が期待できる。そのため、本研究では図看板に着目し、ドライビング・シミュレータ(以下、DS)を用いた室内走行実験結果により被験者ごとの情報取得と運転行動を明らかにし、図看板の設置効果を評価した。さらに、代替案間での評価結果の違いを考察するために、実験に参加した被験者を対象として、追加でヒアリングを行った。そして、本研究で得られた知見を整理し、誤進入事故の抑制が期待できる法定標識と図看板を組み合わせた規制情報提供を提案した。

2.2 実験対象となる図看板デザインの選定

先行研究<sup>3)</sup>の結果に組み合わせる図看板を新たに考案する場合、視認性と、図形的観点における意味の理解度を評価する必要がある。しかし、現状で表2に示す9種類の図看板デザインが存在しており、研究結果の実務上のフィードバックを考えた場合、この9種類を対象とすることが前提となると考えた。表2のすべてのデザインを検証することが望ましいが、DSを用いた室内走行実験を実施する場合、被験者の慣れの影響を考慮すると、検証するデザイン数は絞り込む必要がある。そこで、本研究では実験で検証する代表のデザインの選定を行なった。

具体的には、畳み込みニューラルネットワーク(以下、CNN: Convolutional Neural Network)を活用して各デザインの特徴量を抽出し、クラスタ分析により分類して各クラスタから代表となるデザインを選定した。ここで、CNNとは、主に画像認識や画像分類、物体検出などのタスクに特化したディープラーニングモデルの一つで、画像の局所的な特徴を抽出することができる<sup>5)</sup>。本研究では、CNNの中でも特に事前学習済みモデルの一つであるVGG-16を使用した。VGG-16はImageNetと呼ばれる大規模画像データセットで学習された16層からなるCNNモデルで、広範囲のイメージに対する豊富な特徴表現を学習済みであり、本研究に適していると考えた。

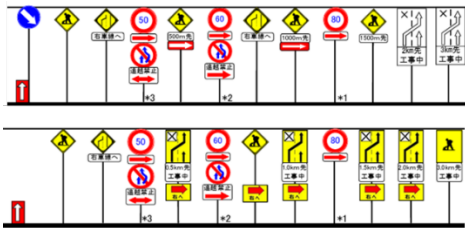


図2 保安施設設置マニュアル (NEXCO 中日本)

2. 実験対象とする図看板のデザイン

2.1 実在する図看板のデザイン

1章で述べた通り、実在する図看板のデザインを調査した結果、9つのデザインが確認された(表2)。

表2 実在する図看板のデザイン



2.3 デザインの選定結果

VGG-16を用いて各デザインの特徴量を抽出した後に、データの可視化を目的に、特異値分解(SVD)<sup>6)</sup>によって次元削減を行った。その結果を表3に示す。

v1ベクトルは矢印のデザインの特徴を強く反映していると解釈できる。値が正の大きい値を示すデザイン(7, 8)は、規制車線側のみの走行経路を表し、その矢印が車線変更後まで描かれている特徴がある。値が0付近のデザイン(3, 4, 5, 6, 9)は、規制車線側と非規制車線側の走行経路を表し、規制車線側の矢印が車線変更後まで描かれている特徴がある。値が負の大きい値であるデザイン(1, 2)は、規制車線側と非規制車線側の走行経路を表し、規制車線側の矢印が車線変更の途中まで描かれている特徴がある。

表3 SVDの結果

	v1	v2	v3
デザイン1	-84.52	-74.56	-8.00
デザイン2	-85.44	-16.57	85.31
デザイン3	-0.41	18.25	-68.32
デザイン4	9.20	72.15	21.64
デザイン5	-2.88	57.75	-54.55
デザイン6	-1.15	77.39	24.46
デザイン7	86.72	-76.38	-18.55
デザイン8	96.14	-22.14	71.91
デザイン9	-17.66	-35.90	-53.89
分散率	31.59	28.29	24.45
累積分散率	31.59	59.88	84.33

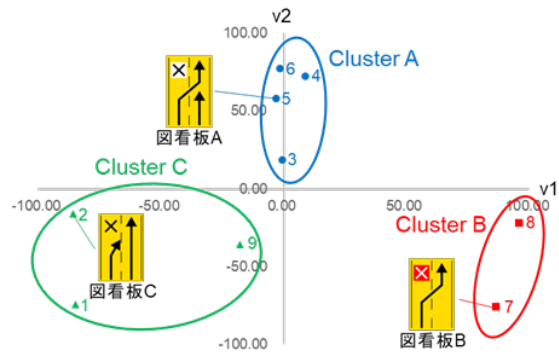


図3 図看板のデザイン選定の結果

表4 実験で使用した規制パターン

規制パターン	標識車までの距離(km)										
	1.7	1.5	1.3	1.2	1.1	1.0	0.8	0.7	0.5	0.2	0.0
規制基準											
規制代替(A-1.5)											
規制代替(B-1.5)											
規制代替(C-1.5)											
規制代替(A-1.1)											

v2 ベクトルは矢印とバツ印のデザインの特徴を反映していると解釈できる。まず v2 ベクトルの値は矢印のデザインにより正負に分けられる。規制車線側と非規制車線側の走行経路を表し、規制車線側の矢印が車線変更後まで描かれている特徴のあるデザイン (3, 4, 5, 6, 9) は正の値を示し、その他のデザイン (1, 2, 7, 8) は負の値を示す。そして、それら正負の各グループ内で、バツ印のデザインにより値が変動する。正の方向に向かって、赤色の四角形と白色のバツ印を組み合わせたデザイン (1, 3, 7, 9)、白色の四角形と黒色のバツ印を組み合わせたデザイン (5)、赤色のバツ印のみのデザイン (4, 8)、黒色のバツ印のみのデザイン (2, 6) の順に大きくなる。一方で、v3 ベクトルは v1, v2 ベクトルと比べて解釈が難しく、より抽象的な特徴を捉えていると考えられる。v1, v2 ベクトルで図看板の矢印とバツ印の特徴を十分に捉えられていると考え、本研究では、累積分散率が約 60%に対応する 2 次元まで削減することとした。さらに、9 つのデザインの SVD による次元削減後の特徴量を、k 平均法によるクラスタ分析を用いて、3 クラスタに分類した (図 3)。Cluster A は矢印が 2 本あり、車線変更後も矢印が描かれたクラスタ、Cluster B は矢印が規制車線側の 1 本のみで、車線変更後も矢印が描かれたクラスタ、Cluster C は矢印が 2 本あり、車線変更の途中まで矢印が描かれたクラスタとなった。つまり、図看板の矢印のデザインにより重み付けされた。そして、各クラスタの重心に最も近い点をそのクラスタの代表のデザインとして選定した。その結果、デザイン 5, 7, 2 が選定され、それらをそれぞれ図看板 A, B, C とし (図 3)、室内走

行実験で検証の対象とするデザインとした。

### 3. 室内走行実験

#### 3.1 実験概要

本実験は、被験者ごとの情報取得と運転行動に関するデータ取得を目的に、普通自動車免許を取得している 25 歳以下の学生 24 名の被験者に対して、DS を用いて実施した。実験は、2024 年 11 月の平日 8 日間で実施した。

#### 3.2 実験で使用した道路モデル

先行研究<sup>3)</sup>と同様に、走行結果の現況走行再現性が確認された<sup>7)</sup>中央自動車道 (改良前)、山陽自動車道、高松自動車道の 3 つの区間を、道路構造令および高速道路設計要領に準拠して設計・調整し、結合した全長約 12km の道路構造モデルを使用した (図 4)。

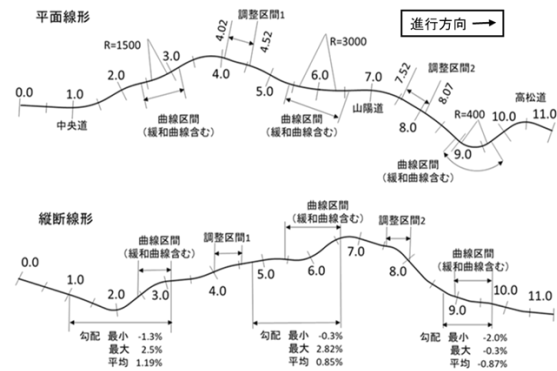


図4 道路モデルの線形図

### 3.3 実験で使用した規制パターン

本実験では, 先行研究<sup>3)</sup>にて提案した図1の規制情報を基準の規制パターン(以下, 規制基準)とし, 規制基準に図看板A, B, Cをそれぞれ追加した4パターンを含む, 合計5パターンを使用した(表4). なお, 以降, 図看板Aを標識車までの距離1.5kmの地点に追加で設置したパターンを「規制代替(A-1.5)」と呼ぶこととする. 同様に, 他のパターンも「規制代替(B-1.5)」, 「規制代替(C-1.5)」, 「規制代替(A-1.1)」と呼称する.

ここで, 図看板を標識車までの距離が1.5km地点と1.1km地点に追加した理由について述べる. Googleストリートビューを用いて, 中央自動車道下りの岡谷JCTから小牧JCTまでの区間における規制情報提供を調査した結果, 図看板が設置されていたものが7箇所観測された. それらの配列を見ると, 上流から2枚目に図看板が設置される傾向がみられた(5/7箇所). 一方, 7箇所すべてにおいて, 上流から1枚目には道路工事中標識が設置されており, 図看板は1枚目の道路工事中標識の次に設置される傾向があると捉えることもできた. つまり, 図看板は上流側から2枚目, もしくは, 1枚目の道路工事中標識の次に設置される傾向があると考えられる. この傾向を規制基準に反映し, 標識車までの距離が1.5km地点と1.1km地点を図看板の設置位置とした.

### 3.4 走行条件

先行研究<sup>3)</sup>と同様に, DSの映像に図4の道路モデルと表4の各規制パターンを投影した. そして, 3.0kpから80km/hで走行開始し, 道路状況に応じた運転を行い, 標識車を通り過ぎた地点で走行終了とした. なお, 先行研究<sup>3)</sup>と同様に周辺車両を追越車線に自車両前後2台ずつ, 余裕のあるギャップを設けて配置した(図5).

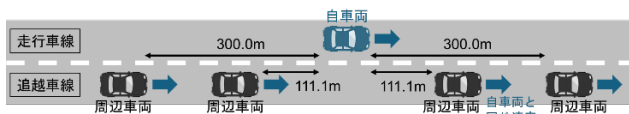


図5 周辺車両配置図

また, 先行研究<sup>3)</sup>と同様に, 工事規制区間での走行を重ねることによる慣れの影響(順序効果)を考慮し, 規制パターンの走行順序を各被験者にランダムに設定した.

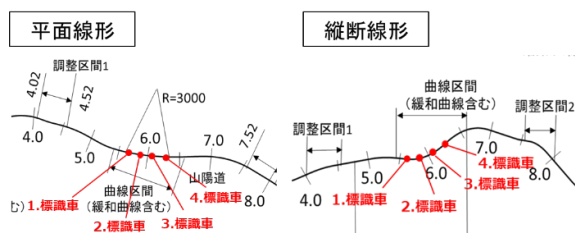


図6 標識車の設置地点

また規制パターンでの走行の間には, 介入課題として, 工事規制区間以外での走行を実施した. さらに, 同じ位置に工事規制区間を設置すると, 被験者がその位置を予想する可能性があるため, 先行研究<sup>3)</sup>と同様に, 各走行において道路条件(平面線形条件, 勾配)が同様である同一曲線内で表示の出現位置を変更した(図6).

### 3.5 実験手順

まず, 被験者には, 実験上の注意事項や個人情報の取り扱いなどを説明した. これらの事項に対する了承を確認した後, 同意書に署名捺印を得た. その後, 実験で使用する装置や実験の流れについて, 説明を行った.

次に, DSの操作および運転感覚に慣れるための練習走行を実施した. 走行終了後, 視線を計測する装置(ナックイメージテクノロジー社製アイマークレコーダーEMR-9, 以下, EMR)を装着し, 被験者に許可を取り, EMRの録画およびDSに投影された走行風景の画面録画を行った. その後, 実験走行を開始するに当たっての注意事項を教示した. 次に, 教示する条件を示す.

- ・ 壁や他の車両に衝突しないように走行すること
- ・ 走行速度の目安として, 走行開始時の最高速度は80km/hであること
- ・ 普段通りの運転を心がけること

実験走行終了後, EMRを取り外し, 実験走行に関するヒアリング(3.6(2)項で詳述)を行った.

### 3.6 取得データ

#### (1)運転挙動データ

走行開始からの経過時間[s], 走行車線, 走行地点(kp)[km], 速度[km/h], 加速度[m/s<sup>2</sup>], 車線中心からのずれ[m]を0.1秒ごとDSにより記録した. 分析の際は, これらを線形補間により0.001kpごとのデータに変換し, 車線変更位置(4.1節で詳述)を算出する. また, EMRにより視線座標データを取得した. 視線座標データを用いて, 各表示の注視時間を算出し, 走行中に, 運転者が確認する傾向が高い表示や見落としやすい表示を把握する.

#### (2)ヒアリングデータ

実験走行終了後, まず画面録画した自身の走行風景をレビューし, 被験者が実験走行の状況を思い出したことを確認した. その後, 車線変更が必要であると認識した対象(法定標識, 図看板, 矢印板および標識車)を各規制パターンにおいて質問した. その結果を用いて判断対象位置(4.1節で詳述)を算出する.

## 4. 図看板のデザインの違いが与える影響の把握

本章では, 運転挙動データとヒアリングデータを用いて, 規制基準と規制代替(A-1.5), (B-1.5), (C-1.5)の比較評価を行う. そして, 得られた結果から, 図看板のデザイ

ンの違いが与える影響を把握する。

#### 4.1 分析指標

先行研究<sup>3)</sup>と同様に、車線変更が必要であると判断した対象の位置(以下、判断対象位置)、および、車線変更位置を分析指標として用いた(図7)。ここで、判断対象は各法定標識、矢印板、標識車および図看板のいずれかとなった。また、DSには0.1秒ごとに、走行地点(kp)および車線中心と車両中心の距離(m、車線中心に対して右側に位置する場合は+値、車線中心に対して左側に位置する場合は-値)が記録されている。実験で使用した道路モデル(図4)は車線幅が3.5mであるため、走行車線中心と車両中心の距離が+1.75m以上になると、車両中心の位置が追越車線側に移動し、車線変更を行ったと判断できる。このようにして、車両中心の位置が追越車線側に初めて移動した時刻における走行地点(kp)を車線変更位置とした。

また、表示注視時間を新たに定義し、分析指標として用いた。EMRで取得した視線座標データから、被験者が走行中に各表示を注視した時間を算出し、表示注視時間とした。ここで、前方に設置されている表示を発見し、通り過ぎるまでの間に、視点は「表示」と「表示以外の注視対象」との間で移り変わる(図8)。この一連の過程で「表示」を注視している時間を合計し、表示注視時間とした。なお、表示を一度も注視せずに通過した場合、その表示の表示注視時間は0秒となる。この場合は特に見落としが発生したとみなした。



図7 判断対象位置と車線変更位置

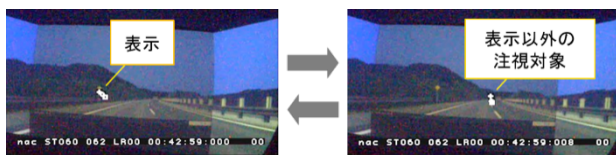


図8 視点の移動

#### 4.2 車線変更位置の比較

車線変更位置を用いて各規制パターン間の比較を行った。規制基準と規制代替(A-1.5), (B-1.5), (C-1.5)間における車線変更位置の中央値の差について、ボンフェローニ補正を適用し、ウィルコクソンの符号付順位検定を実施した。なお、1枚目の表示が映像上に現れるよりも手前で車線変更した被験者2名は分析対象から除外した。その結果、

規制代替(A-1.5)と(B-1.5)では規制基準に対して有意に車線変更が早まることが確認された( $p < 0.05$ )。一方で、規制基準と規制代替(C-1.5)間では有意差が確認されなかった( $p = 0.25$ )。また、規制代替(A-1.5), (B-1.5), (C-1.5)間では有意差は確認されなかった。規制代替は規制基準に対して図看板を1枚付加したものであり、ここで生じた結果は図看板の効果と言える。つまり、車線変更を早めるという情報伝達効果が図看板A, Bには認められるが、図看板Cのデザインには認められないことが示唆された。

次に、図看板の情報伝達効果には、対象の注視時間に関係すると考え、規制代替(A-1.5), (B-1.5), (C-1.5)に設置された図看板の表示注視時間を比較した。なお、走行中にEMRがずれる等視線データが正常に計測できていなかった被験者4名を分析対象外とした。規制代替(A-1.5), (B-1.5), (C-1.5)間で図看板の表示注視時間の中央値の差について、ボンフェローニ補正を適用し、ウィルコクソンの符号付順位検定を行ったが、有意差は確認されなかった。つまり図看板A~Cは同程度注視されている。この結果と前段の結果から、図看板Cのデザインの車線変更を早めるという情報伝達効果は図看板A, Bと比べて低いことが示唆された。

#### 4.3 個別データの可視化とケース分類

横軸に標識車までの距離、縦軸に被験者idを設定し、各被験者の判断対象位置、車線変更位置、見落とされた表示の設置位置をプロットした図を作成し、被験者ごとのデータを可視化した(図9)。青点が判断対象位置、赤点が車線変更位置、バツ印が見落とされた表示の設置位置を表しており、同一被験者の判断対象位置と車線変更位置の2点は線で結んでいる。

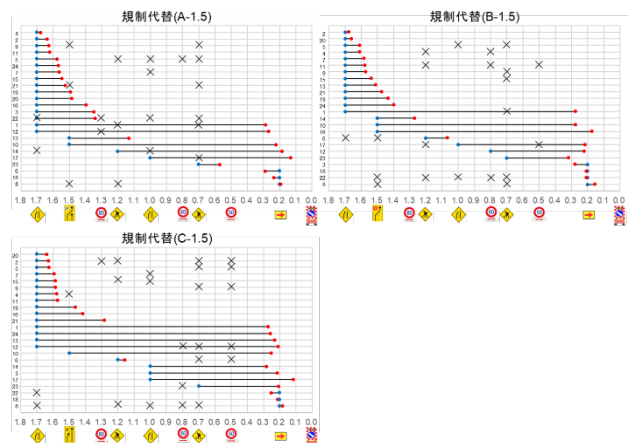


図9 判断対象位置, 車線変更位置, 見落としの分布

さらに、規制パターンごとに、被験者24名のデータを判断対象位置や車線変更位置の観点からケース①~⑥に分類した(図10)。なお、規制パターンごとの各ケースの割合は表5に示す。

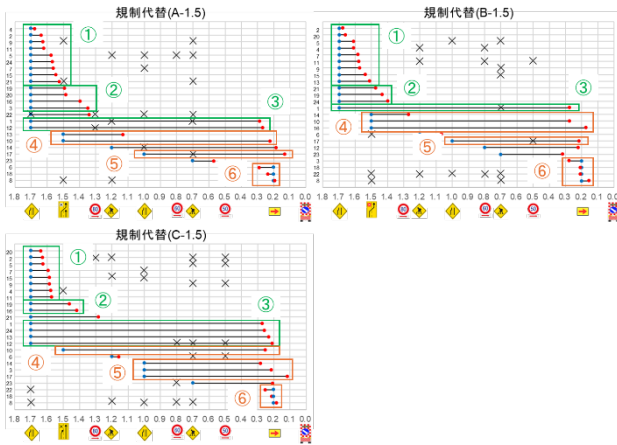


図 10 ケース分類

表 5 ケース分類の割合

	ケース①	ケース②	ケース③	ケース④	ケース⑤	ケース⑥	その他
規制代替(A-1.5)	37.5%	16.7%	8.3%	8.3%	4.2%	12.5%	12.5%
規制代替(B-1.5)	37.5%	12.5%	4.2%	12.5%	4.2%	16.7%	12.5%
規制代替(C-1.5)	33.3%	8.3%	16.7%	4.2%	12.5%	12.5%	12.5%

まず、図 10 中の緑色で囲ったケース①～③は、1 枚目の車線数減少標識を判断対象としたものであり、それらを車線変更位置に基づいて分類した。ケース①は1 枚目の車線数減少標識通過直後（標識車までの距離 1.7km～1.5km 区間）に車線変更を行ったケースであり、規制代替(A-1.5), (B-1.5), (C-1.5)で同程度に確認された（表 5, ケース①）。これは、車線数減少標識が車線変更の必要性を伝え、車線変更を促す効果を有しているため<sup>4)</sup>であり、29.2%が同 id の被験者で構成されていることから、図看板の影響をあまり受けていないケースと考えられる。また、ケース②は図看板通過直後（標識車までの距離 1.5km～1.3km 区間）に車線変更を行ったケースであり、ケース③は規制始端部付近（標識車までの距離 0.5km～0.0km 区間）まで車線変更を行わずにそのままの車線を保持したケースである。ケース②と③の割合を見ると、規制代替(A-1.5), (B-1.5)においては、ケース②がケース③よりも大きい割合を占めたが、規制代替(C-1.5)ではケース③がケース②を上回る傾向が見られた。つまり、この点においても 4.2 節で述べた、車線変更を早めるという情報伝達効果の低さが示唆された。

次に、図 10 中オレンジ色で囲ったケース④～⑥は、1 枚目の車線数減少標識を判断対象としなかったものであり、それらを判断対象位置に基づいて分類した。ケース⑥は規制始端部付近の矢印板を判断対象としたケースであり、各規制パターンにおいて同程度に確認された（表 5, ケース⑥）。このケースにおいても、先行研究<sup>7)</sup>で矢印板と標識車が判断対象となる被験者が一定数存在することが示されており、8.3%が同 id の被験者で構成されていることから、規制区間を実際に視認して車線変更を行うケースと考えられる。また、ケース④は図看板を判

断対象としたケースであり、ケース⑤は2 枚目の車線数減少標識を判断対象としたケースである。表 5 で、ケース④と⑤の割合を見ると、規制代替(A-1.5), (B-1.5)においては、ケース④がケース⑤よりも大きい割合を占めたが、規制代替(C-1.5)ではケース⑤がケース④を上回る傾向が見られた。つまり、この点においても上述した 4.2 節の結果と符合する結果が確認された。

最後に、規制代替(A-1.5)と(B-1.5)間については、ケース①～⑥のケース分類の結果から大きな傾向の違いは確認できなかった。それも踏まえ、以上の結果が得られた要因については 6 章の追加ヒアリングにて追加で調査する。

## 5. 図看板の設置位置の違いが与える影響の把握

本章では、運転挙動データとヒアリングデータを用いて、規制基準と規制代替(A-1.5), (A-1.1)の比較評価を行う。そして、得られた結果から、図看板の設置位置の違いが与える影響を把握する。

### 5.1 分析指標

4.1 節と同様に、判断対象位置、車線変更位置、表示注視時間の三つの指標を使用した。

### 5.2 車線変更位置の比較

車線変更位置を用いて各規制パターンの比較を行った。規制基準と規制代替(A-1.5), (A-1.1)間における車線変更位置の中央値の差について、ボンフェローニ補正を適用し、ウィルコクソンの符号付順位検定を実施した。なお、4.2 節と同様に被験者 2 名は分析対象外とした。その結果、規制代替(A-1.5)と(A-1.1)では規制基準に対して有意に車線変更が早まることが確認された ( $p < 0.05$ )。一方で、規制代替(A-1.5)と(A-1.1)間では有意差が確認されなかった ( $p = 0.76$ )。

### 5.3 個別データの可視化とケース分類

4.3 節と同様に、判断対象位置、車線変更位置、見落としの分布図を作成した（図 11）。

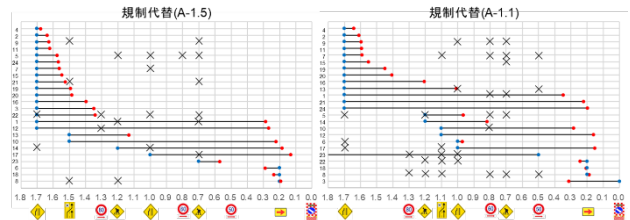


図 11 判断対象位置、車線変更位置、見落とし分布

さらに、4.3 節と同様の基準でケース①～⑥に分類した（図 12）。なお、各ケースの割合を表 6 に示す。

まず、図看板の影響が小さいと推測されるケース①と⑥は規制代替(A-1.5)と(A-1.1)で同程度の割合で確認され

た(表6, ケース①と⑥). また, ケース①では25.0%, ケース⑥では8.3%が同一idの被験者から構成されていることから, 図看板の影響は小さいと推測される.

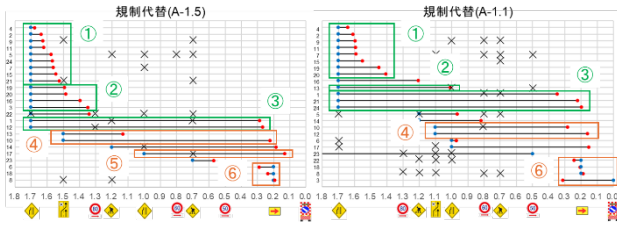


図12 ケース分類

表6 ケース分類の割合

	ケース①	ケース②	ケース③	ケース④	ケース⑤	ケース⑥	その他
規制代替(A-1.5)	37.5%	16.7%	8.3%	8.3%	4.2%	12.5%	12.5%
規制代替(A-1.1)	33.3%	4.2%	12.5%	8.3%	0.0%	16.7%	25.0%

続いて, 規制代替(A-1.1)のケース②が図看板通過直後(標識車までの距離 1.1km~1.0km 区間)に車線変更を行ったケースであることに留意して, ケース②と③の割合を見ると(表6, ケース②と③), 規制代替(A-1.5)においては, ケース②がケース③よりも大きい割合を占めたが, 規制代替(A-1.1)ではケース③がケース②を上回る傾向が見られた. つまり, 規制代替(A-1.1)では, 規制代替(A-1.5)と異なり, 図看板通過後に車線変更する割合が低下する傾向にあることが示唆された.

その原因として, 規制代替(A-1.1)で見落としが多発していることが考えられる. 被験者全体の標識車までの距離 1.7km~0.5km 区間の見落とし発生率(見落とし発生数÷表示の総数)は, 規制代替(A-1.1)では20.0%, 規制代替(A-1.5)では13.1%であった. 見落とし率の母比率の差についてz検定を実施したところ, 規制代替(A-1.1)では見落とし発生率が有意に高いことが確認された( $p < 0.05$ ). つまり, 車線変更を行うきっかけを失った可能性が示唆された. なお, これらの結果が得られた要因については6章の追加ヒアリングにより調査する.

なお, ケース④と⑤の割合を見ると(表6, ケース④と⑤), 規制代替(A-1.5), (A-1.1)の両方とも, ケース④がケース⑤よりも大きい割合を占めており, この点では異なる傾向は見られなかった.

## 6. 追加ヒアリングによる規制情報提供の把握

### 6.1 追加ヒアリングの概要

本ヒアリングは, 4章, 5章で示した通り, 定量的なデータで説明しきれない判断や行動の理由を明らかにすることを目的に, 室内走行実験に参加した被験者24名から判断対象位置や車線変更位置の傾向が異なった5名(id1, 7, 10, 21, 24)を対象として実施した. なお, 2025年1

月14日, 15日の計2日間で実施した.

### 6.2 追加ヒアリングの質問内容

追加ヒアリングでは, 被験者に対して運転行動と図看板のデザインに関して以下の質問を行った.

- 1) 各規制パターン走行中に, 図看板を見て感じた印象. また, 図看板のデザインの違いの認識可否.
- 2) (図看板A, B, Cのデザインを記したフリップを見せながら)車線変更を促されていると感じる順に図看板A, B, Cの順位付け, および, その理由. さらに, 図看板の矢印とバツ印のデザインが, 上記の順位付けに寄与した程度の大小.
- 3) 規制代替(A-1.1)の特に4枚連続して設置された表示(1枚目の最高速度標識から2枚目の車線数減少標識まで)での表示枚数や見やすさの印象.
- 4) 判断対象位置と車線変更位置が離れた位置にある場合, その行動をとった理由と, 行動中の意識.

### 6.3 追加ヒアリングの手順

追加ヒアリングは被験者と対面で実施した. まず, 被験者には, 個人情報の取り扱いなどの重要事項を説明し, ヒアリング中のメモおよび録音について同意を得た. また, 被験者には質問に回答する以外に, 思いついたことがあれば自由に発言するよう伝えた.

次に, 自身の走行結果を走行順に記したフリップを提示し, 録画した走行風景(3.6(1)項のヒアリング前に提示したものと同じ)を走行順に見せた. 被験者が実験走行の状況を思い出したのを確認し, 追加ヒアリングを開始した. 走行風景を適宜再生し, 6.2節の質問を行った. なお, 質問の順番は固定せず, 会話の流れに沿って進めた.

### 6.4 追加ヒアリングの結果

#### (1) 4章分析結果と関連する結果

図看板を見て感じた印象を質問した結果(6.2節1)), 「車線変更が必要だと感じた」, 「車線変更を促された」という回答が多く得られた(4/5名). 中には「車線数減少標識よりも図看板に車線変更を強く促された」という回答も確認できた(2/5名).

また, 車線変更を促されていると感じる順に図看板A, B, Cを順位付けしてもらった結果(6.2節2)), 「図看板Bが1位, 図看板Aが2位, 図看板Cが3位」という回答で全員一致した. 図看板Cを3位とした理由では, 「規制車線側の矢印の斜めの線(以下, 斜め線)が車線変更を認識する要素であり, その斜め線が短いとそもそも車線変更を促すための表示と認識しづらい」という回答が得られた(3/5名). また, 図看板Cのバツ印が黒色であることから, 「矢印とバツ印が黒一色で区別されず, 内容が理解しづらい」という回答も確認された(2/5名). な

お、矢印のデザインの違いとバツ印のデザインの違いのどちらが順位付けに寄与したかについて質問した結果、「矢印のデザインの違いがより大きく寄与した」という回答が多かった(4/5名)。この結果は、2.3節にてCNNにより図看板の矢印のデザインに重み付けされて特徴量が抽出された結果と整合する。

以上の結果より、図看板は内容が理解された場合に、車線変更の必要性を伝え、車線変更を促す効果を有する可能性が伺える。そして、図看板Cのデザインは内容を認識しづらいため、4.2節で言及した、車線変更を早めるという情報伝達効果が低くなったと推察される。なお、走行中に図看板のデザインの違いを認識できたか尋ねた結果(6.2節1)), 「認識できなかった」という回答が多く得られた(4/5名)。この点については、4章の分析結果から規制代替(A-1.5)と(B-1.5)では傾向に違いが見られなかったこと、ヒアリングの結果から図看板の矢印のデザインの違いがより大きく影響することが示唆されたことから次のことが推測される。デザインの違いを完全に把握できなくても、斜め線が長く描かれている図看板AとBのデザインでは、直感的に指示する内容を認識でき、それが4.3節で述べた「車線変更の必要性を伝え、車線変更を促す効果」に繋がった可能性がある。実験試行数が十分といえず断定は難しいが、本研究の背景にある規制始端部での事故抑制の手がかりを把握できたと考える。

### (2) 5章分析結果と関連する結果

まず、規制代替(A-1.1)の特に4枚連続して設置された表示(1枚目の最高速度標識から2枚目の車線数減少標識まで)に対して、表示枚数や見やすさについて感じたことを尋ねた結果、(6.2節3))「4枚が限界でこれ以上は認識が困難だと思う」という回答を取得できた(2/5名)。また、「4枚すべての表示を視認することが困難だった」という回答も得られた(1/5名)。

次に、車線変更を判断してから実際に車線変更を行うまでに意識していたことを質問した結果(6.2節4)), 「前方および非規制車線である右側に意識が向く」という回答が多く得られた(4/5名)。この結果から、先行研究<sup>3)</sup>で課題として指摘していた保留行動(早めに情報を取得し、その後注意や判断が疎かになる行動)は確認されなかった。

以上の結果より、高速道路走行時の運転負荷がかかった状態で、かつ、前方や右側に意識が向いている状態では100m間隔で4枚連続して設置された表示すべてを視認することが難しく、見落としにもつながったため、5章の結果が得られたと考えられる。

### 6.5 規制情報提供の把握

まず、先行研究<sup>3)</sup>で提案した規制情報提供(図1)を基準とした場合、それに図看板を追加で設置すべきかにつ

いて検討した。これは、4.2節と5.2節の分析結果より、規制基準に対して規制代替(A-1.5), (B-1.5), (A-1.1)が有意に車線変更を早めたことや、6.4(1)項にて、車線数減少標識よりも車線変更を促されたと回答した被験者が確認されたことから、追加で設置すべきと結論付けた。

次に、図看板のデザインについては、6.4(1)項より、車線変更を認識する重要な要素である斜め線が長く描かれることで「車線変更の必要性を伝え、車線変更を促す効果」を有することが示唆された。つまり、図3中のCluster AもしくはCluster Bに属するものから選定する必要があると考える。その他のデザインについては6.4(1)項の順位付けの結果を参照することとした。したがって、最も評価が高かった図看板Bのデザインを採用した。

最後に、図看板の設置位置について検討した。6.4(2)項より、表示を100m間隔で4枚連続して設置すると、それらの表示すべてを認識することが難しく、見落としの原因になる可能性が示唆された。そのため、図看板はなるべく表示間の間隔を開けるように設置する必要がある。よって、標識車までの距離が1.5kmの地点に設置することが好ましいと考えた。これは現状の規制区間での設置と一致しており、現状を肯定する技術的根拠が得られたと考えることができる。

以上の結果から、図看板Bを1.5km地点に設置した図13が誤進入抑制に向けた法定標識と図看板を組み合わせた場合の規制情報の提供方法であると考えられる。

## 7. おわりに

本研究は、規制始端部から誤進入する事故の抑制に向けた、法定標識と図看板による規制情報提供の提案を最終的な目標とし、図看板のデザインや配列に関する技術的根拠の把握を試みた。以下に、本研究で得られた成果を示す。

- ・ 斜め線が長く描かれた図看板は、車線変更の必要性を伝え、車線変更を促す効果を有する可能性が示唆された。また、中には図看板に車線数減少標識よりも強く車線変更を促された被験者も確認できた。
- ・ 表示の設置間隔が狭いと見落としに繋がり、車線変更のきっかけを失う可能性が示唆された。
- ・ 以上を踏まえ、本研究で、基準とした規制情報提供に図看板Bを標識車までの距離1.5kmの地点に追加することが望ましいといえる。

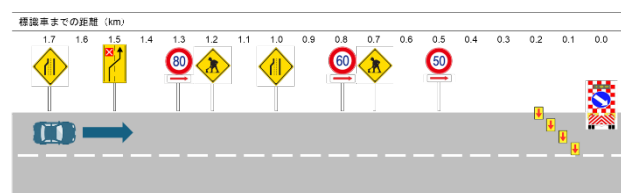


図13 法定標識と図看板による規制情報提供

参考文献

- 1) NEXCO 東日本, NEXCO 中日本, NEXCO 西日本: 高速道路上での工事規制内への進入事故が多発しています! ~事故原因の約9割が前方不注視!前をしっかり見て, 運転に集中して!~, [https://www.nexco.co.jp/corporate/pressroom/news\\_release/6017.html](https://www.nexco.co.jp/corporate/pressroom/news_release/6017.html), 2024. (最終閲覧日: 2025年3月25日)
- 2) NEXCO 中日本: 令和5年度 第2回定例会見, [https://www.nexco.co.jp/assets/pdf/pressroom/data\\_room/regular\\_mtg/r05/0726/01.pdf](https://www.nexco.co.jp/assets/pdf/pressroom/data_room/regular_mtg/r05/0726/01.pdf), 2023. (最終閲覧日: 2025年3月25日)
- 3) 飯田克弘, 丸橋慧士: 本標識の作用明確化に基づく工事規制区間における情報提供, 交通工学論文集(特集号), Vol.11, No.2, pp.A\_1-A\_10, 2025.
- 4) 村一翔, 藤生慎, 高山純一, 芹川博, 高瀬浩一, 山本和久, 南貴大, 森崎裕磨: 高速道路における規制区間の標識設置枚数の削減可能性に関する分析~ドライビングシミュレーターを用いて~, AI・データサイエンス論文集, Vol.2, No.J2, pp.926-932, 2021.
- 5) 斎藤康毅: ゼロから作る Deep Learning—Python で学ぶディープラーニングの理論と実装, オライリー・ジャパン, 2016.
- 6) 山本哲郎: 数値解析入門[増訂版], サイエンス社, 2003.
- 7) 飯田克弘, 藤原一雅, 河合健: 室内実験による渋滞現象の再現性検討と渋滞発生過程における交通流分析, 交通工学研究発表会論文報告集 22, pp.13-16, 2002.