

道路曲線半径の変化からみた運転者の速度知覚 に対する路面側面表示の配列パターンの影響

四辻 裕文¹・松本 猛秀²・米村 圭一郎³・喜多 秀行⁴

¹正会員 神戸大学特命助教 自然科学系先端融合研究環重点研究部 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)

E-mail:yotsutsuji@people.kobe-u.ac.jp

²正会員 株式会社片平エンジニアリング大阪支店 交通部 (〒532-0003 大阪市淀川区宮原2-14-14)

E-mail:tak@katahira.co.jp

³正会員 株式会社片平エンジニアリング本社 道路交通部 (〒112-0002 東京都文京区小石川2-22-2)

E-mail:yonemura@katahira.co.jp

⁴正会員 神戸大学大学院教授 工学研究科市民工学専攻 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台1-1)

E-mail:kita@crystal.kobe-u.ac.jp

自動車専用道路のカーブでの速度超過事故の予防のために路面標示の高度化を図る目的で、カーブ緩和区間手前の直線区間に設置した路面側面表示の配列パターンがもたらす車速誘導効果に着目した。ドライビングシミュレータを用いた室内走行実験と走行動画を用いた速度知覚実験を通じて、4種類の配列パターンの効果を検証した。路面側面表示上を走行するドライバーが知覚した地点速度の推移を車速の推移に基づく隠れマルコフモデルで推計し、知覚速度の推移と車速の推移との乖離を道路曲線半径毎に見積もった。本研究の実験結果によると、道路曲線半径の変化に従って車速の過小知覚をもたらす配列パターンが存在すること、そのような危険性を考慮すると表示設置区間の後半で前半よりも大きな間隔減少率を設けた配列パターンが望ましいこと、が判明した。

Key Words : road markings, sequential pattern, vehicle speed inducement effect, speed perception, hidden Markov model, driving simulation experiment

1. はじめに

直線道路における路面上のマーキングに関して、次に示す減速効果が古くから知られている。今、車線を横断する複数のラインマークを、車両進行方向に沿って徐々にその間隔が狭くなるように平行に配列したとしよう。一定速度に順応したドライバーがそのマーキング上を通過したとき、速度出し過ぎの錯覚をそのドライバーに与えることで減速を促すという効果とそのマーキングに生じるといわれている¹⁾。近年、日本の自動車専用道路の直線区間でも、土工部の路面やトンネル部の壁面などでそのような減速効果を狙った交通安全対策が、道路交通管理者によって積極的に進められている^{2) 3)}。しかし、これらの管理者自身が指摘しているとおり、各々の対策は各々の対策箇所において有効に機能してはいるものの、マーキングがドライバーに減速を促す際のメカニズムが明確でないため、そのマーキングの設計規格が他の対策箇所でも有効であるとの移転可能性は保障されていない。設計速度に応じて道路線形が決まるように、道路線形に

応じてマーキングの設計規格を決められるならば、ここでいう移転可能性は保障され得るだろう。マーキングがドライバーに減速を促す際のメカニズムについて記述することは、この設計規格を定義することに他ならない。

著者らは、このメカニズムを記述するのに必要となる情報の一つとして、直線道路におけるマーキングの配列パターン、車速の推移、ドライバーが知覚した速度の推移の関係についての解明を室内実験を用いて試みた^{4) 5)}。ただし、ここでいう配列パターンとは、マーキングにおいて徐々に狭くなるような間隔のその減少率を車両進行方向に沿って変化させる際のパターンを意味している。著者らは、マーキングの一つとして「路面側面表示」に着目した。これは、自動車専用道路の直線区間において中央帯と保護路肩の両方に設置した縦ポールとそれらに接続するように車線を横断して設置した横ラインとが、車両進行方向に沿って徐々にその間隔を狭くさせるように平行に配列させたマーキングのことをいう。この研究の結果、直線区間では、幾つかの配列パターンのうち、最初の区間で残りの区間よりも間隔減少率を大きく設定

した配列パターンでは、その上を通過したドライバーがそれほど減速していないと認識したにも関わらず実際には車速は急減速していることがあるため、そのような配列パターンは、後続車両との追突リスクが懸念されるので避けたほうがよいと結論付けられた^{4,5)}。

本研究の目的は、自動車専用道路のカーブ緩和区間手前の直線道路に設置する路面側面表示に着目し、その配列パターン、車速の推移、ドライバーが知覚した速度の推移の関係についての解明を室内実験を用いて試みることである。カーブ手前では、たとえ路面側面表示が無くても、ドライバーは一般に減速する。したがって、直線道路での検討の結果がカーブ手前の直線区間での検討結果と同じになるとは限らない。

本研究における分析方法は、カーブ曲線半径と配列パターンの組ごとに、ドライビングシミュレーション実験を通じて計測した車速の推移データを教師データとして隠れマルコフモデルを用いて知覚速度の推移を推計することにより、カーブ曲線半径、配列パターン、車速の推移、知覚速度の推移の関係を分析するというものである。隠れマルコフモデルの初期状態分布を推計するために、速度知覚実験を通じて車速の条件付きの知覚速度状態確率を推計する。なお、このような分析の方法論は、直線道路を対象にした先行研究^{4,5)}のものと同じである。ただし、被験者に学生だけでなく一般人を含めた点、速度知覚実験の精度を高めた点が先行研究とは異なる。

2. 実験と分析の方法

(1) 手順

まず始めに、ドライビングシミュレータ (DS と略す) を用いた室内実験を通じて、路面側面表示の様々な配列パターンに対する車速の推移を計測する。使用した DS は、FORUM8 の UC-win/Road 9.1 Driving Sim である。運転席を囲むようにして、正面に 138cm×84cm のハイビジョンテレビを 1 台、側面にモニターを 2 台設置した。速度計は非表示で、走行音は流れる。カーブにおける路面の横断勾配の影響を考慮するには運転席の傾きを再現する必要があるが、本研究ではカーブ緩和区間手前の直線区間が対象なので、このような特殊な運転席は不要とした。

次に、間隔減少率がゼロの等間隔の路面側面表示の上を一定速度で走行している動画を用いた速度知覚実験を通じて、車速と知覚速度の関係を分析する。使用した走行動画 (MP と略す) は、比較 MP、基準 MP、ランダム MP の 3 種類を左側からこの順で並べたものを、260cm×90cm の大型スクリーン上で 3 種類が同時に再生できるようにした。毎回再生される中で、この 3 種類のうち変化するのはランダム MP のみである。ランダム MP における

等間隔の間隔の長さと同様再生時の再生速度が毎回ランダムに異なる。それに比べて、比較 MP と基準 MP における間隔長と再生速度は毎回変化しない。ただし、基準 MP と比較 MP の間隔長は同じだが、基準 MP に対して比較 MP の再生速度は遅くなっている。比較 MP と基準 MP との速度差と、ランダム MP と基準 MP との速度差とを比べたとき、いずれが大きいかを感じるかを回答してもらった。二項選択モデルを通じて両者の選択確率が 0.5 のときの実際の速度差をもとに、車速と知覚速度との乖離と配列パターンとの関係を分析する。

最後に、あるカーブ曲線半径と配列パターンのもとで車速の推移が与えられたときの知覚速度の推移について隠れマルコフモデル (HMM と略す) で推計する。先行研究^{4,5)}と同様、知覚速度および実速度の離散的な変化率を各々、HMM の状態変数および観測変数とみなす。

(2) 実験

a) ドライビングシミュレーション実験

図-1 に DS 運転時の画面のスナップショットを示す。往復 2 車線分離の片側車線をドライバーは走行する。この車線の左側の保護路肩と右側の中央帯とに縦ポールが設置されており、それに即して路面上に横ラインが設置されている。横ラインのライン幅は 0.45m でライン長は 3.5m、縦ポールの高さは 2.5m である。車道 13m のうち、車線 3.5m、中央帯 1.5m、左側路肩 1.75m、右側路肩 0.5m となっている。カーブの曲線半径は、200m から 1,000m まで 100m ずつ変化する。

ドライビングシミュレータ実験の被験者は、普通免許保持の運転初心者の学生 10 名とした。路面側面表示が設置された直線区間を被験者が走行しているときには速度計は非表示にした。一方、路面側面表示が設置された直線区間の手前には、車速ゼロから加速するまでの助走区間を設け、その助走区間では速度計を呈示した。ただし、助走区間の最後の 100m は、速度計を非表示にした。

先行研究におけるドライビングシミュレーション実験では高速走行の傾向が強かったため、本研究では、高速域と低速域の走行を誘導するために、助走区間の最後の 100m における目標速度を設定した。高速域の実験では、助走区間を 600m とし、最後の 100m の目標速度を 80km/h とした。他方、低速域の実験では 200m、40km/h とした。

カーブの曲線半径と助走区間の目標速度と路面側面表示の配列パターンの任意の組に対して、被験者一人当たり、3 回運転した。この 3 回の走行の直前に、被験者一人当たり 2 回の試験走行をおこなった。実験者は、運転中は前方のなるべく遠くの路面を見るように被験者に指示した。路面状況は乾燥、天候は晴れとした。

表-1 に本研究で使用した配列パターン A、B、C、D の 4 つを示す。すべてのパターンは、Z、I、II、III、IV、V



図-1 DS 運転時の画面のスナップショット

表-1 4つの配列パターン

	Section	Z	I	II	III	IV	V
	Length [m]	100	100	100	100	100	100
A	Interval [m]	12.00	10.20	9.18	8.72	8.28	7.87
	DR [%]	0	15	10	5	5	5
B	Interval [m]	12.00	11.40	10.26	8.72	7.85	7.46
	DR [%]	0	5	10	15	10	5
C	Interval [m]	12.00	11.40	10.83	10.29	9.26	7.87
	DR [%]	0	5	5	5	10	15
D	Interval [m]	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
	DR [%]	0	0	0	0	0	0



図-2 MPが並んだ画面のスナップショット (左から順に, 比較MP, 基準MP, ランダムMP)

の6つの区間に分割されている。助走区間の最後の100mが区間Zである。表中のDRとは、decrease rateの略で、区間内の間隔減少率のことである。区間Zでは、DRが0%、つまり等間隔になっている。区間I~Vの区間長はいずれも100mであり、同じ区間内では路面側面表示は等間隔に配置されている。しかし、隣り合う区間同士ではDRが変化している。配列パターンA, B, Cでは区間IからVに行くに従って間隔が徐々に狭くなっているが、DRの配列が異なっている。配列パターンAでは前半の区間で、Bでは真ん中の区間で、Cでは後半の区間で、残りの区間よりもDRが大きくなっている。しかしながら、いずれにせよ、DRの値は、0, 5, 10, 15のいずれかにしている。配列パターンDは、全ての区間で等間隔である。

b) 速度知覚実験

図-2にMPが並んだ画面のスナップショットを示す。これらのMPは同時に再生される。速度知覚実験では、ドライビングシミュレーション実験と同様、高速域と低

表-2 ランダムMPの設定 (高速域)

Case	1	2	3	4	5	6	7	8
Interval [m]	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
Speed [km/h]	75	72	70	69	67	65	60	55
Case	9	10	11	12	13	14	15	16
Interval [m]	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4
Speed [km/h]	75	72	70	69	67	65	60	55
Case	17	18	19	20	21	22	23	24
Interval [m]	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8
Speed [km/h]	75	72	70	69	67	65	60	55
Case	25	26	27	28	29	30	31	32
Interval [m]	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2
Speed [km/h]	75	72	70	69	67	65	60	55

表-3 ランダムMPの設定 (低速域)

Case	1	2	3	4	5	6	7	8
Interval [m]	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
Speed [km/h]	35	32	30	29	27	25	20	15
Case	9	10	11	12	13	14	15	16
Interval [m]	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4
Speed [km/h]	35	32	30	29	27	25	20	15
Case	17	18	19	20	21	22	23	24
Interval [m]	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8
Speed [km/h]	35	32	30	29	27	25	20	15
Case	25	26	27	28	29	30	31	32
Interval [m]	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2
Speed [km/h]	35	32	30	29	27	25	20	15

速域での実験を行う。

比較MPと基準MPにおける路面側面表示の間隔は、高速域と低速域の両方ともに12mである。高速域では、比較MPおよび基準MPの再生速度は各々、65km/hおよび75km/hである。他方、低速域では、各々、25km/hおよび35km/hである。

ランダムMPにおける路面側面表示の間隔と再生速度は、4種類の間隔と8種類の再生速度の組合せである32通りを用意する。さらに、この32通りを、縦ポールのみ、横ラインのみ、縦ポールと横ラインの3種類に対して用意する。これらを、高速域と低速域の2種類で用意する。すなわち、速度知覚実験では、被験者一人当たり、192通りのランダムMPを検討することになる。

速度知覚実験の被験者は、公募の44名とした。14名の若年の初心ドライバー、11名の老年の初心ドライバー、8名の若年の熟練ドライバー、11名の老年の熟練ドライバーであった。免許取得後3年以上が経過し、週に2回以

上は運転する人を熟練、それ以外を初心と定義した。また、50歳以上を老年、それ以外を若年と定義した。

実験者は、表-2あるいは表-3に示されたあるケースを被験者に30秒間再生した直後、7秒の間に、比較MPと基準MPとの速度差とランダムMPと基準MPとの速度差とのいずれが大きいかを感じるかを被験者に選択させる。

3. 分析モデル

(1) 隠れマルコフモデル

先行研究⁵⁾と同様に考え、連続的な速度の変化を離散的に捉えるために速度の変化率を幾つかに区分し、各々の区分をクラスと呼ぶことにする。そして、離散的なクラスを状態変数と観測変数として、クラスの推移をHMMで推計する。 Δ_s^{dq} を配列パターン $q \in Q$ の区間 $d \in D$ を走行する代表的ドライバーの知覚速度の変化率と定義する。 Δ_s^{dq} が k 番目のクラスに属するとき、そのクラスを C_{Sk}^{dq} と定義する。車速のクラスも同様に C_{Ok}^{dq} と定義する。 C_{Sk}^{dq} の上限と下限は C_{Ok}^{dq} と同じとする。区間 d の知覚速度は、区間 $d-1$ の知覚速度に C_{Sk}^{dq} を掛ければよい。すべての区間で $\{C_{0l}^{1q}, \dots, C_{0l}^{d-1,q}, C_{0l}^{dq}, \dots, C_{0l}^{Dq}\}$ が観測されたとしよう。 C_{Sk}^{dq} のマルコフ性を仮定する。

p_{lk} を $C_{Sl}^{d-1,q}$ から C_{Sk}^{dq} への推移確率と定義する。さらに、 $\Pr(C_{Sl}^{d-1,q} | C_{Oh}^{d-1,q})$ を $C_{Oh}^{d-1,q}$ の条件付きの $C_{Sl}^{d-1,q}$ の出力確率、 $\hat{p}(C_{Sk}^{dq})$ を、区間 d で知覚速度のクラスが C_{Sk}^{dq} に属するときに $\{C_{0l}^{1q}, \dots, C_{0l}^{dq}\}$ が観測される確率の中の最大値と定義する。Viterbiアルゴリズムに従い、 $\hat{p}(C_{Sk}^{dq})$ は次式から求められる。

$$\hat{p}(C_{Sk}^{dq}) = \max_l \left\{ \hat{p}(C_{Sl}^{d-1,q}) p_{lk} \Pr(C_{Sl}^{d-1,q} | C_{Oh}^{d-1,q}) \right\}. \quad (1)$$

Baum-Welch アルゴリズムに従い、推移確率 p_{lk} が推計される。 $\{C_{Sl}^{d-1,q}, C_{Sk}^{dq}\}$ と $\{C_{Oj}^{d-2,q}, C_{Oh}^{d-1,q}, C_{Om}^{dq}, C_{On}^{d+1,q}\}$ に着目しよう。 $f(C_{Sl}^{d-1,q})$ を、区間 $d-1$ の知覚速度が $C_{Sl}^{d-1,q}$ に属するときに区間1から区間 $d-1$ へと前向きに $\{C_{0l}^{1q}, \dots, C_{0l}^{d-1,q}\}$ が観測される確率の合計値と定義する。他方、 $g(C_{Sk}^{dq})$ を、区間 d で知覚速度が C_{Sk}^{dq} に属するときに区間 D から区間 d へと後ろ向きに $\{C_{0d}^{dq}, \dots, C_{0d}^{Dq}\}$ が観測される確率の合計値と定義する。 $f(C_{Sl}^{d-1,q})$ と $g(C_{Sk}^{dq})$ は各々、次式で表される。

$$f(C_{Sl}^{d-1,q}) = \sum_{i \in K} f(C_{Si}^{d-2,q}) p_{il} \Pr(C_{Si}^{d-2,q} | C_{Oj}^{d-2,q}), \quad (2)$$

$$g(C_{Sk}^{dq}) = \sum_{i \in K} g(C_{Si}^{d+1,q}) p_{ki} \Pr(C_{Si}^{d+1,q} | C_{On}^{d+1,q}). \quad (3)$$

区間 $d-1$ の推移確率 γ_{lk}^{d-1} は、 $f(C_{Sl}^{d-1,q})$ と $g(C_{Sk}^{dq})$ を用いて次式のように表される。

$$\gamma_{lk}^{d-1} = \frac{f(C_{Sl}^{d-1,q}) p_{lk} \Pr(C_{Sk}^{dq} | C_{Om}^{dq}) g(C_{Sk}^{dq})}{\sum_{a \in K} \sum_{b \in K} f(C_{Sa}^{d-1,q}) p_{ab} \Pr(C_{Sb}^{dq} | C_{Om}^{dq}) g(C_{Sb}^{dq})}. \quad (4)$$

p_{lk} は、クラス l からクラス k に推移する確率の期待値 γ_{lk}^{d-1} を、クラス l からあらゆるクラスに推移する確率 $\gamma_{l\bullet}^{d-1}$ の期待値で除した値として計算できる。 $\Pr(C_{Sk}^{dq} | C_{Om}^{dq})$ は、 $\gamma_{k\bullet}^d$ の期待値を $\gamma_{k\bullet}^d$ の期待値で除した値として計算できる。したがって、 p_{lk} と $\Pr(C_{Sk}^{dq} | C_{Om}^{dq})$ は各々、次式のように表される。

$$p_{lk} = \frac{\sum_{d-1 \in D} \gamma_{lk}^{d-1}}{\sum_{c \in K} \sum_{d-1 \in D} \gamma_{lc}^{d-1}}, \quad (5)$$

$$\Pr(C_{Sk}^{dq} | C_{Om}^{dq}) = \frac{\sum_{m \in K} \sum_{c \in K} \gamma_{kc}^d}{\sum_{d \in D} \sum_{c \in K} \gamma_{kc}^d}. \quad (6)$$

式(4)の γ_{lk}^{d-1} において式(5)の p_{lk} と式(6)の $\Pr(C_{Sk}^{dq} | C_{Om}^{dq})$ が含まれているので、EMアルゴリズムによる収束計算が必要になる⁶⁾。

(2) 二項選択モデル

速度知覚実験において、比較MPと基準MPとの速度差よりもランダムMPと基準MPとの速度差のほうが大きいと感じる確率を $P_{\text{random}}(\boldsymbol{\theta})$ で表す。 $\boldsymbol{\theta}$ は、前者と後者の特性の違いを表す。被験者が、前者と後者の大きさに違いはないと感じるとき、 $P_{\text{random}}(\boldsymbol{\theta})$ は0.5となる。今、 $\boldsymbol{\theta} = (\theta_{\text{speed}}, \theta_{\text{interval}}, \theta_{\text{frequency}}, 1)$ を定義する。ただし、 θ_{speed} 、 θ_{interval} 、 $\theta_{\text{frequency}}$ は各々、前者と後者の再生速度の差(km/h)、前者と後者の間隔長の差(m)、被験者の運転頻度(回/週)を表す。

パラメータ $\boldsymbol{\beta}' = (\beta_{\text{speed}}, \beta_{\text{interval}}, \beta_{\text{frequency}}, \beta_0)'$ に対して次式二項ロジットモデルを定義する。

$$P_{\text{random}}(\boldsymbol{\theta}) = \frac{1}{1 + \exp[-\boldsymbol{\beta}' \cdot \boldsymbol{\theta}]}. \quad (7)$$

表-4 二項選択モデルのパラメータ推定結果

	High-speed test			Low-speed test		
	T/L	L	T	T/L	L	T
β_{speed} [t-value]	0.161 [14.58**]	0.107 [9.72**]	0.124 [11.95**]	0.335 [19.04**]	0.219 [17.04**]	0.319 [18.58**]
$\beta_{interval}$ [t-value]	-0.422 [-4.70**]	-0.495 [-5.56**]	-0.482 [-5.58**]	-0.471 [-4.12**]	-0.378 [-3.96**]	-0.462 [-4.29**]
$\beta_{frequency}$ [t-value]	-0.146 [-2.14*]	0.132 [1.96*]	0.141 [2.14*]	-0.163 [-1.89]	0.016 [0.22]	0.071 [0.87]
β_0 [t-value]	0.588 [4.62**]	1.206 [9.25**]	0.578 [4.72**]	0.391 [2.46*]	0.041 [3.04**]	0.485 [3.18**]
McFadden's pseudo ρ^2	0.155	0.144	0.103	0.427	0.236	0.371
Hit rate	75.2	40.5	67.7	74.7	74.1	71.6

T/L: the transverse and lateral markings, L: the lateral-only markings, T: the transverse-only markings.

* $p < .05$, ** $p < .01$. Sample size: 1,408.

McFadden's pseudo ρ^2 : the likelihood ratio index defined as "(beginning log-likelihood - final log-likelihood) / beginning log-likelihood".

Hit rate: the percentage of choices predicted correctly in the consequences of choice.

$P_{random}(\theta)$ が 0.5 のとき、次式が成り立つ。

$$\beta_0 + \beta_{speed}\theta_{speed} + \beta_{interval}\theta_{interval} + \beta_{frequency}\theta_{frequency} = 0. \quad (8)$$

式(9)から得た θ_{speed} を用いると、区間 Z の車速から θ_{speed} を引くことで、区間 Z における知覚速度を推計することができる。

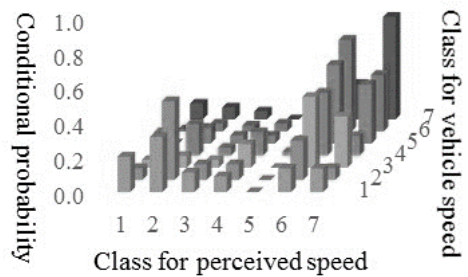


図-3 HMMの初期状態分布

表-5 クラスの設定

Class	1	2	3	4	5	6	7
UL [%]	-100	-8	-4	-2	-1	0	3
LL [%]	-8	-4	-2	-1	0	3	100

UU: the upper limit, LL: the lower limit.

3. 結果と考察

表-4に二項選択モデルのパラメータ β の推定値を示す。マクファーデンの疑似決定係数および的中率が各々およそ0.2以上および70%以上ならば、モデルの適合性は概ね良いと言われている。表-4より、高速域の縦ポールの場合を除けば適合性は概ね良いといえた。速度知覚実験において、ランダムMPと比較MPを比べたとき、 $P_{random}(\theta)$ は、表-2と表-3に示した通りランダムMPの再生速度が比較MPの再生速度よりも早い場合であったにもかかわらず、比較MPよりもランダムMPのほうが同等かそれ以上にゆっくり動いていたと被験者が感じる確率を表している。表-4において、高速域と低速域に関わらず、 β_{speed} 、 $\beta_{interval}$ 、 β_0 の符号は各々、正、負、正の値であった。 β_{speed} が正なので、他の条件が一定ならば、 θ_{speed} の増加が $P_{random}(\theta)$ を増大させる。このことは、ランダムMPの再生速度が比較MPの再生速度よりも同等かそれ以上にゆっくりと感じられたときにランダムMPが選択されることを意味する。また、 $\beta_{interval}$ が負なので、他の条件が一定ならば、 $\theta_{interval}$ の増加が $P_{random}(\theta)$ を減

小さめる。このことは、ランダムMPにおける路面側面表示の間隔が比較MPにおける間隔よりも同等からそれ以上に短いと感じられたときにランダムMPは選択されないことを意味する。つまり、等間隔のその間隔長が短くなれば、被験者は早く感じることになる。 β_0 が正なので、 θ がゼロならば $P_{random}(\theta)$ は正の値となる。加えて、式(8)より、 $\theta_{interval}$ と $\theta_{frequency}$ がゼロで且つ $P_{random}(\theta)$ が0.5であるならば、 $\theta_{speed} = -\beta_0 / \beta_{speed} < 0$ が得られる。このことは、ランダムMPと比較MPにおける路面側面表示の間隔が12mで等しい場合に、たとえ被験者がランダムMPと比較MPの再生速度が同じだと感じたとしても、実際はランダムMPの再生速度のほうが早いことを意味している。つまり、高速域と低速域において、知覚速度が車速よりも早くなるというシステムティックな乖離

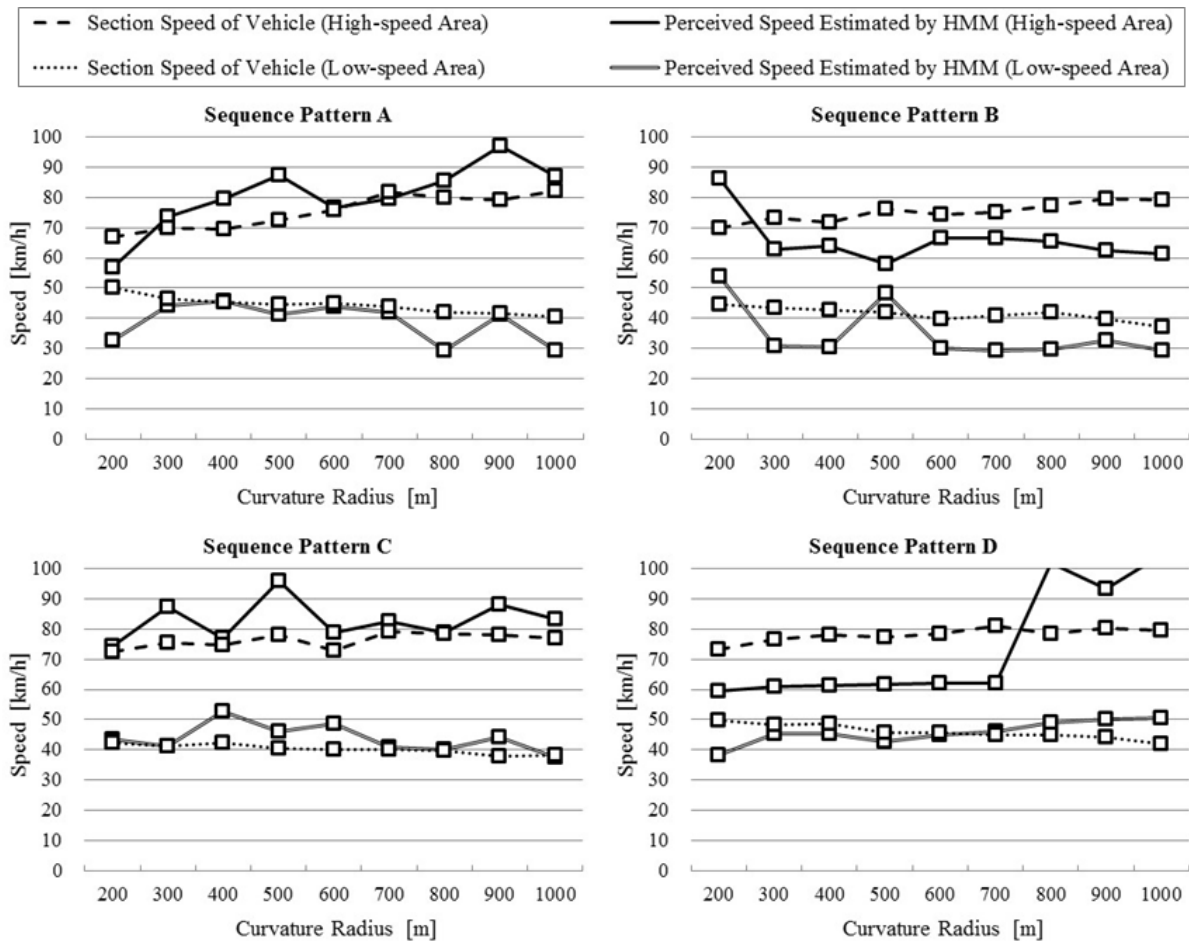


図-4 配列パターンごとの高速域と低速域でみたカーブ曲線半径と車速と知覚速度の関係

が存在することになる。これは例えば、ドライバーが車速を80km/hと知覚したとしても車速は70km/hであることを意味する。本研究では、このような傾向を「車速の過大知覚」と呼ぶ。

図-3にHMMの初期状態分布を表す。これは、配列パターンDにおける車速のクラスの条件付きでの知覚速度のクラスの確率分布を表している。被験者は3回運転するが、DSは約0.02秒ごとに地点速度を計測する。そこで、各々の区間内で3回分のすべての地点速度の平均値を求めて、それを本研究では「区間速度」と呼ぶ。区間Zにおける間隔長は12mだから、ランダムMPの中で間隔長が12mの場合の結果を利用して、知覚速度のクラスの条件付き確率を推定した。

表-5に示すように、HMMを実行するにあたり、先行研究⁴⁾と同様にして、7つのクラスに区分した。任意の区間における知覚速度は、その一つ前の区間における知覚速度に、当該区間のクラスの上限值に1を加えた値を乗じることで、推計できる。

図-4に、カーブ曲線半径ごとに車速と知覚速度の乖離を推計した結果を、配列パターンごとの高速域と低速域でまとめたものを示す。ただし、任意のカーブ曲線半径に対する車速と知覚速度の推計値は、すべての区間における車速の推移と知覚速度の推移を求めた後に、区間IVと区間Vのみを抽出し、両区間の平均値を図示している。区間Zにおいて、高速域と低速域に関わらず、被験者は車速の過大知覚をする傾向にあった。そのため、図-4では、カーブ手前に位置する後半の区間でも区間Zと同様の傾向があるか否かに焦点を絞り、区間IVと区間Vの平均値を求めている。

ここで、配列パターンA, B, C, Dの中で、カーブ手前に設置する路面側面表示の設計規格として妥当なものはどれかについて考えてみる。著者らは、カーブ手前において「車速の過小知覚」のほうが危険であると考えている。図-4において、車速の過小知覚は、車速が推移する下側に知覚速度が推移することを意味する。今、前半の区間で車速の過大知覚が起きていたとしよう。カーブ

手前の後半の区間でいずれかの配列パターンを設置しなければならないとき、そのパターンが車速の過小知覚への反転させるような傾向をもたないほうが安全である。したがって、図-4において、知覚速度の値が車速の値よりも小さくなっているようなカーブ曲線半径では、そのような過小知覚を引き起こすような配列パターンの設置は避けたほうがよいと考えられる。配列パターンAの高速域、配列パターンDの高速域、そして配列パターンDの低速域では、カーブ曲線半径が200mから1,000へと移行するにつれて過小知覚から過大知覚へとシフトしている。このとき、各々について、曲線半径の200m~300m、700m~800m、そして600m~700mのところ、過小知覚から過大知覚へのシフトを促す曲線半径の閾値が存在することが伺える。一方、配列パターンBの高速域と低速域では、カーブ曲線半径が200mから1,000へと移行するにつれて過大知覚から過小知覚へとシフトしている。このとき、各々について、曲線半径の200m~300mのところ、過大知覚から過小知覚へのシフトを促す曲線半径の閾値が存在することが伺える。ところで、配列パターンCの高速域と低速域では、曲線半径によらず過大知覚となっており、配列パターンAの低速域では、曲線半径によらず過小知覚となっている。

以上より、今回の実験結果に限れば、次のことがいえる。配列パターンBは、高速域と低速域の両方において曲線半径300m以上のほとんどの曲線半径のカーブに対して車速の過小知覚を生むため、避けたほうがよい。配列パターンAは、低速域でほとんどの曲線半径のカーブに対して車速の過小知覚を生むため、避けたほうがよい。配列パターンDは、高速域と低速域の両方において曲線半径800m以上のカーブという条件付きで、採用してもよい。著者らは、配列パターンCが、他に比べると望ましいと考える。

4. おわりに

本研究では、自動車専用道路のカーブ緩和区間手前の直線道路に設置する路面側面表示に着目し、その配列パターン、車速の推移、ドライバーが知覚した速度の推移の関係について分析をおこなった。

本研究で得られた知見は、以下の通りである。直線道路に路面側面表示を設置したうえでおこなった速度知覚実験に基づく推計結果によれば、等間隔の間隔長が短いほど被験者は早く感じたこと、等間隔ならば高速域と低

速域の両方で被験者は車速を過大知覚する傾向があったこと、が判明した。また、カーブ緩和区間の手前の直線区間に路面側面表示を設置したうえでおこなったドライビングシミュレーション実験に基づく推計結果によれば、前半と真ん中の区間で残りの区間よりも間隔減少率が大きくなるような配列パターンは避けるほうがよいこと、等間隔の配列パターンは曲線半径が800m以上のカーブの手前ならば採用してもよいといえること、が判明した。カーブの手前では、後半の区間で残りの区間よりも間隔減少率が大きくなるような配列パターンが、他に比べると望ましいといえること、が判明した。

以下のような課題も残っている。分析手法として確率モデルのHMMを用いたが、速度知覚の遅れといった現象を考慮したモデルを開発する必要がある。また、路面表示と側面表示のいずれのほうがより効果的かを示す必要があるかもしれない。今後は、カーブ手前の路面側面表示上を走行する先頭車の減速挙動が後続車群に及ぼす影響を考察していく必要がある。

謝辞：実験並びにデータ整理には当時4年生の辻智史氏（現、枚方市役所）にご協力頂いた。本研究はJSPS科研費25420548の助成を賜っている。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Denton, G. G. : A subjective scale of speed when driving a motor vehicle, *Ergonomics*, 9, 203-210, 1966.
- 2) 足立幸郎, 藤井康男, 玉川大, 岩里泰幸, 山田幸一郎, 中村裕樹: シークエンスデザインを用いた速度抑制対策の効果とその実験的検証, *土木学会論文集 D*, 66(1), 27-39, 2010.
- 3) 韓垂由美, 小野晋太郎, 佐々木正人, 須田義大, 池内克史, 玉木真, 大貫正明, 小島朋己, 綿戸綾子: 視知覚情報にもとづく道路シークエンスデザインによる走行制御効果の検証, *生産研究*, 63(2), 247-252, 2011.
- 4) 四辻裕文: 路面側面表示の配列操作が運転者の速度知覚と被追突リスクに及ぼす影響の分析, *高速道路と自動車*, 57(12), 18-24, 2014.
- 5) Yotsutsuji, H., Kitamura, K. and Kita, H. : An experimental study on the effect of sequential transverse and lateral markings on perceived speed on a single-lane straight road, *Journal of Ergonomics*, S3:010, 1-7, 2015.
- 6) Zucchini, W. and MacDonald, I. L. : *Hidden Markov Models for Time Series: An Introduction Using R*, Chapman & Hall CRC Press, London, 2009.

THE EFFECT OF SEQUENCE PATTERNS OF TRANSVERSE AND LATERAL MARKINGS ON DRIVER SPEED PERCEPTION ACCORDING TO CHANGES IN ROAD CURVATURE

Hirofumi YOTSUTSUJI, Takahide MATSUMOTO,
Keiichiro YONEMURA and Hideyuki KITA

For the purpose of enhancing road markings to prevent speeding on curved road, we focused on the vehicle inducement effect of sequence patterns of sequential transverse and lateral markings on a straight section of roadway leading into a transition section of the curved road. We tested the effectiveness of several sequence patterns through a driving simulation experiment with a driving simulator and a driver speed perception experiment with recorded moving pictures. We estimated trends in spot speed that was perceived by a driver (test subject) who went into the curve entrance under the influence of sequence patterns, by using hidden Markov model on the estimation, so that we examined a discrepancy between the perceived speed transition and the vehicle speed transition. The experimental results concluded that, (1) there existed the sequence patterns providing driver's underperception to vehicle speed according to changes in road curvature, and (2) such risk showed that the sequence pattern type which had greater decrease rates in the end section than in remaining sections was encouraged to be laid on the curved road.