

気象・路面状態に応じてドライバーが選択する走行速度に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 25

担当チーム：寒地交通チーム

研究担当者：石田 樹、高橋尚人、宗広一徳、高田哲哉、影山裕幸

【要旨】

本研究は、道路構造と路面状態によるドライバーの選択速度への影響を把握するため、郊外部の一般国道の単路区間を対象とし、被験者の実車走行による走行実験を実施した。本実験により、カーブ区間の曲線半径、カーブ断面の位置及び路面状態の違いにより、ドライバーの選択速度が変動することを定量的データにより示した。さらに、乾燥路面状態と圧雪路面状態を対象とし、曲線半径と曲線変化率を変数とした速度選択モデルを構築した。縦断勾配0～4%区間のカーブでは、速度選択モデルの決定係数は比較的高くなった。縦断勾配4%を超えるカーブでは、モデルの決定係数は低くなった。

キーワード：路面状態、曲線半径、縦断勾配、選択速度モデル

1. はじめに

ドライバーが、安全かつ円滑な運転を確保するためには、明確に道路線形、区画線並びに他の道路付属物を認識することが求められる。しかし、北海道のような積雪寒冷地においては、気象条件が道路の路面状態に対し、大きく影響を与えている。概ね11月～3月までの約5ヶ月間降雪に見舞われ、降雪した雪が車両の通行の度に圧縮され、路面状態は圧雪の条件になりやすくなる。したがって、ドライバーは、すべりやすい道路条件で、安全な速度を維持しなければならない。特にカーブ区間では、ドライバーは対向車線へのはみ出しや路外逸脱を防ぐために、路面状態を考慮して適正な速度を判断する必要がある。

設計速度と曲線半径の関係は、米国道路交通運輸行政官協会（AASHTO）¹⁾並びに「道路構造令の解説と運用」²⁾により示されている。道路線形と速度選択に関する米国の研究事例として、水平方向のカーブ区間におけるドライバーの運転挙動に関する研究が Lamm ら³⁾により報告された。曲線半径と85パーセントイル速度並びに道路設計用の横すべり摩擦係数値の関係は McLean ら⁴⁾が研究した。しかし、これまでに、カーブ区間の路面状態の変動を考慮したドライバーの運転挙動並びに速度選択に関する研究が行われた事例はない。

本研究では、自由交通流の条件の下で、カーブ区間が連続する実道の運転走行データより、ドライバーが選択する走行速度を取得し、考察した。本研究

の目的は、次の2つである。

- ① 乾燥路面時と圧雪路面時における道路線形に応じたドライバーの選択速度の違いを明らかにする。
- ② 路面状態、カーブ区間の曲線半径、カーブ断面の位置に応じた速度選択モデルを提案する。

2. 研究方法

2.1 実験期間及び場所

実験は2011年11月と2012年1月に北海道東部地域に位置し、東西方向に延びる国道241号（L=10.5km）の区間（KP23.9～KP34.4）にて実施した。実験区間の道路の横断面構成は、典型的な郊外部の2車線道路（車線幅員3.0m×2、路肩幅員1.0m×2、総幅員8.0m）である。縦断勾配は平均で約3%である。実験区間の中に33箇所のカーブ区間を含んでおり、最小の曲線半径は54.5m、最大の曲線半径は2000mであった。

2.2 実験ケース

実験ケースは、表-1に示す通り、秋期の乾燥路面状態と冬期の圧雪路面状態を対象とした。現地のすべり摩擦係数（縦方向）については、実験開始時にR=54.5mのカーブ手前において、試験車両に搭載している加速度計（Coralba）を用いて5回以上測定した平均値とした。視界については、実験担当者を目視により40m間隔で設置されている視線誘導標（デリニエータ）をカウントすることにより測定した。結果として、秋期及び冬期ともに、天候は快晴、視界はクリアの



図-1 実験区間
(北海道釧路市一般国道 241 号)

表-1 実験ケース

時期	日付	時間帯	路面状態	すべり摩擦係数	視界	被験者数	各被験者の走行回数
秋期	2011年11月10日	昼間	乾燥	0.72	クリア	6	2
	2011年11月11日	昼間	乾燥	0.75	クリア	4	2
冬期	2012年1月9日	昼間	圧雪	0.18	クリア	5	2
	2012年1月10日	昼間	圧雪	0.22	クリア	5	2



(1) 秋期：乾燥路面



(2) 冬期：圧雪路面

写真-1 実験時の路面状態（一般国道 241 号）

条件となった。被験者ドライバーは、試験区間の道路〔西→東（上り）、東→西（下り）〕を2往復運転した（図-1）。

2. 3 被験者ドライバー

被験者は、普通運転免許を有する 30 代～40 代の男性10名を対象とした。運転経験年数は10～29年であり、年間走行距離は約5,000～30,000kmであった。全員が、運転のための十分な視力を持ち、視覚に対する健常者であった。

2. 4 試験車両

試験車両（2002年日産プリメーラ）に搭載した機器概要を図-2に示す。試験車両は、ヘッドライトをオフにした状態で運転した。試験車両のタイヤは、秋期がラジアルタイヤ（195/65 R15;ダンロップ製SP300）、冬期がスタッドレスタイヤ（195/65 R15;ブリヂストン製MZ03）であった。運転挙動計測装置としてデータロガー（DL-1）が、速度、加速度（縦と横）、距離、開始から終了までに要した時間を記録するため、車両の後部座席の中央に設置された。ドライバーの視線の動きを把握するため、赤外線CCDカメラ2台、前方向カメラ1台とデータ蓄積用PCで構成される非接触式視線計測システム（スマート・アイProシステム；スマート・アイ社製）を車両に装着した。

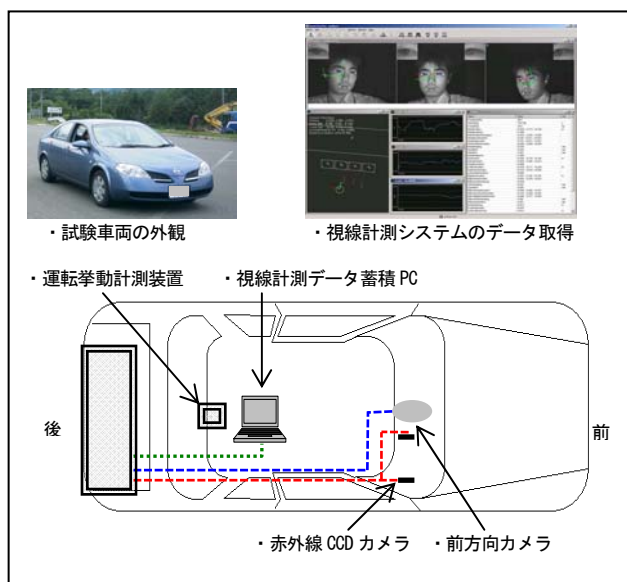


図-2 試験車両

2. 5 データ記録

運転挙動計測用データロガーと非接触式視線計測システムを用いて、以下のデータを記録した。

- 1) 速度（速度）：データロガーにより、10Hz（1秒間に10個）で記録した。
- 2) 加速度（縦と横）：データロガーにより、10Hz

で記録した。

3) ドライバーの視線：視線計測システムの赤外線 CCDカメラを用いて取得し、データ蓄積PCに10Hzで記録した。

取得したデータ（速度、加速度）は、試験区間内のカーブの始まり（BC）、カーブの中央（MC）とカーブの終わり（EC）の各カーブ断面別に集計した（図-3）。

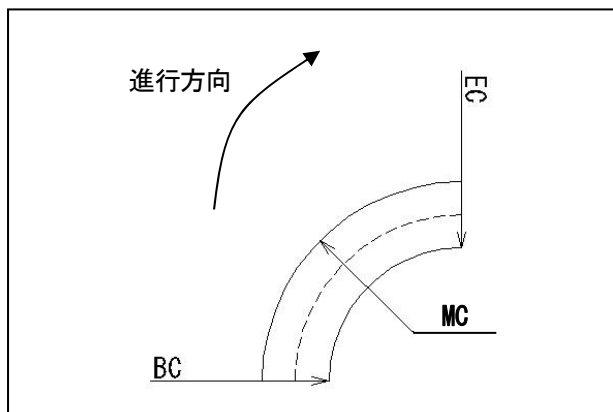


図-3 カーブ断面の位置 (BC、MC、EC)

2. 6 選択速度モデルの検討

本実験により得た速度データを対象とし、道路幾何構造（曲線半径、縦断線形）によるクロス集計を行い、路面状態別の曲線半径及び曲線変化率を変数とした速度選択モデルの構築を試行した。

3. 研究結果

3. 1 曲線半径、路面状態に応じた選択速度データの集計

試験車両は、実験走行時に速度、加速度、ドライバーの視線について計測した。取得した速度データについて、カーブの曲線半径、断面の位置別に集計した。曲線半径 54.5m、100m、200mのデータを対象とし、曲線半径と路面状態別の速度集計したものは、図-4 及び表-2 に示す通りである。本集計結果から、以下の傾向が見られた。

- ① 曲線半径 54.5m、100m、200mの各カーブ断面ともに、路面状態が乾燥路面から圧雪路面になると、速度は低下した。
- ② 曲線半径 54.5m、100m、200mの各カーブ断面ともに、カーブの始まりの BC 断面の速度が比較的高く、カーブの間である MC 断面で速度が低下し、カーブの終わりである EC 断面で再び速度が向上した。
- ③ 曲線半径が 200m、100m、54.5m と小さくなるに従って、BC、MC、EC の各カーブ断面間の速度

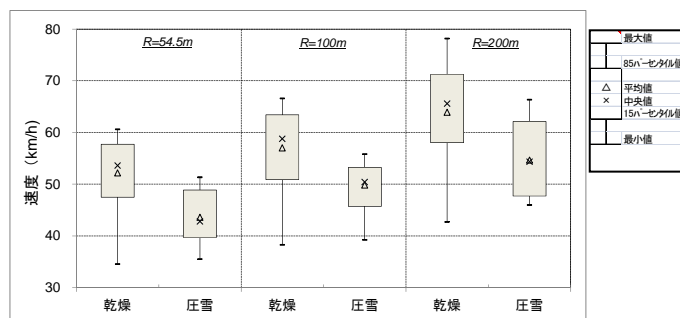
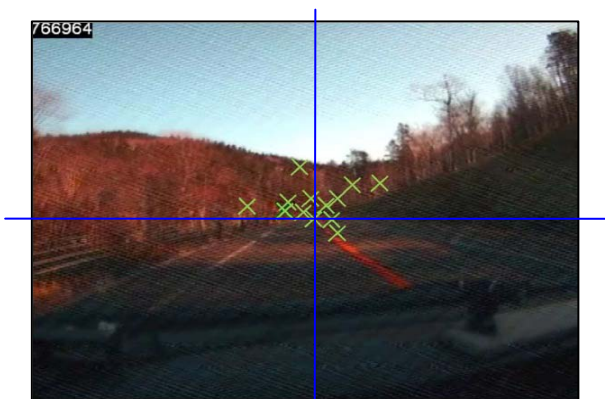


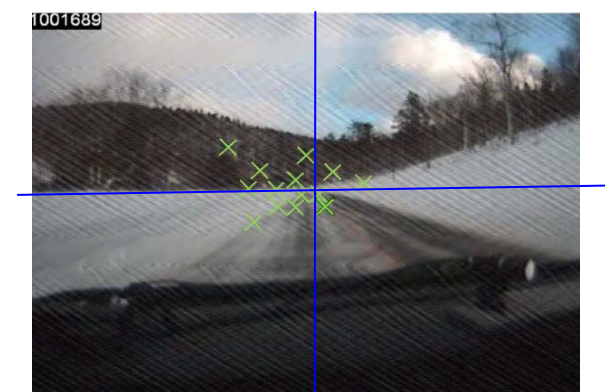
図-4 曲線半径と路面状態別の速度（下り勾配）
（カーブ断面：MC）

表-2 曲線半径と路面状態別の速度（下り勾配）

	R=54.5m		R=100m		R=200m	
	乾燥	圧雪	乾燥	圧雪	乾燥	圧雪
BC						
85パーセンタイル	61.9	52.7	59.3	49.2	70.7	57.8
平均値	56.6	46.4	52.9	46.4	64.8	53.1
15パーセンタイル	49.5	41.8	45.1	42.8	60.7	50.9
標準偏差	8.2	5.4	8.1	3.3	8.5	4.2
MC						
85パーセンタイル	52.0	41.5	60.7	51.0	69.5	58.2
平均値	45.8	38.8	53.4	45.6	64.2	53.9
15パーセンタイル	39.3	35.2	46.8	41.1	60.6	50.0
標準偏差	7.0	3.1	7.5	4.1	8.2	4.1
EC						
85パーセンタイル	57.7	48.9	63.4	53.2	71.2	62.1
平均値	52.2	43.6	57.0	49.8	63.9	54.7
15パーセンタイル	47.5	39.7	50.9	45.7	58.1	47.7
標準偏差	6.7	4.5	7.7	4.0	8.8	6.0



(1) 秋期：乾燥路面



(2) 冬期：圧雪路面

写真-2 カーブ手前のドライバーの注視点の取得例

差は、85パーセンタイル値、平均値、15パーセンタイル値共に、大きくなった。

また、非接触式視線計測システムにより、ドライバーの視線データを取得した。写真-2は、カーブ手前のドライバーの注視点の取得例である。圧雪路面時は、乾燥路面時と比べて、ドライバーの上下方向の注視角度は低くなる傾向がわずかに見られたが、本実験結果からは明確な差が見られなかった。

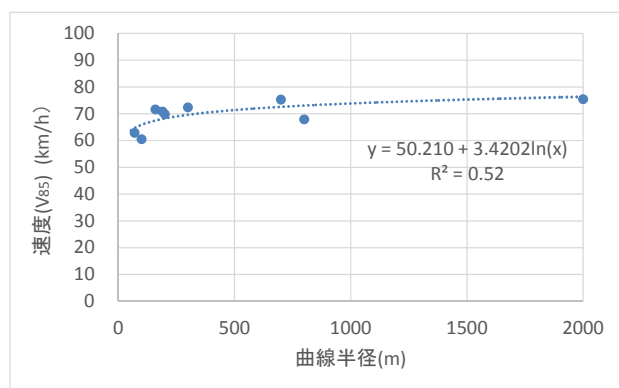
3. 2 曲線半径を用いた速度選択モデル

実験で得た速度データから、85パーセンタイル速度を集計した。85パーセンタイル速度は、米国などで一般的に適用される数値である。これは、悪天候や遅い車両の影響を受けずに、特定道路区間で車両85パー

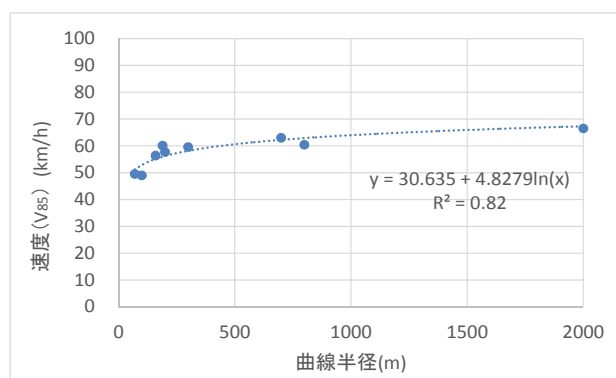
セントが選択する速度である。すなわち、85パーセンタイル速度は、その道路を走る多くのドライバーが安全で合理的であるとみなす速度と考えられている。我が国においても、85パーセンタイル速度が実勢速度⁵⁾と考えられている。

85パーセンタイル速度とカーブの曲線半径の関係(下り勾配: 0~4%)を図-5に示した。近似式の適用は、米国などによる既往研究⁶⁾を参考とし、対数近似式によった。

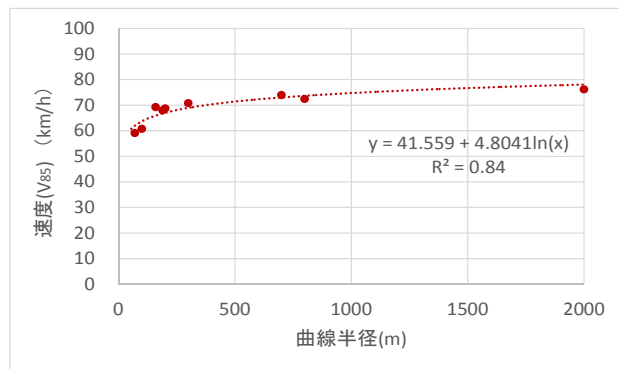
① 秋期・乾燥路面並びに冬期・圧雪路面の各カーブ断面のケースにおいて、カーブの曲線半径が小さくなると、85パーセンタイル速度が低下する傾向が見られた。



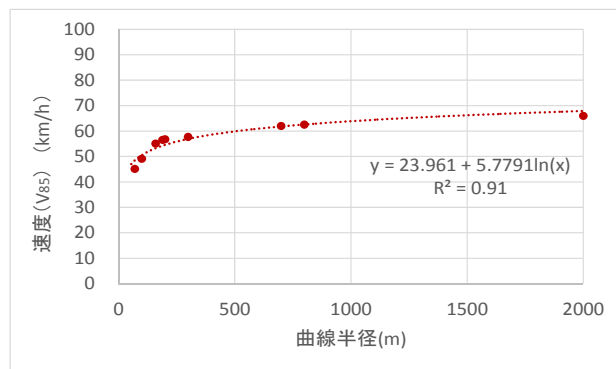
(1) BC (秋期: 乾燥)



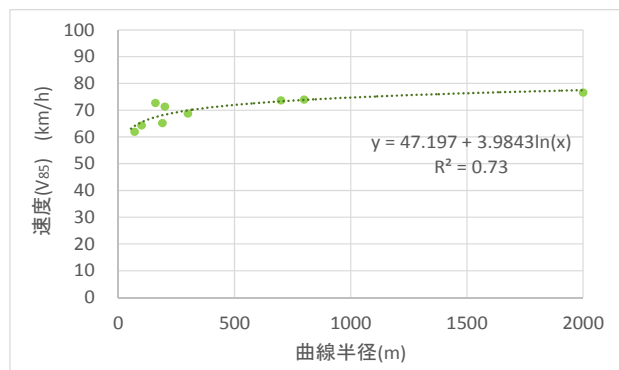
(4) BC (冬期: 圧雪)



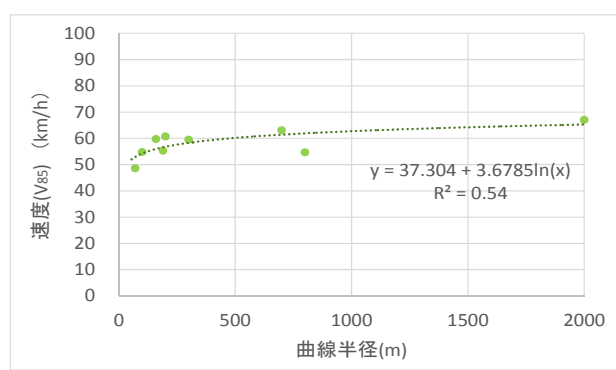
(2) MC (秋期: 乾燥)



(5) MC (冬期: 圧雪)



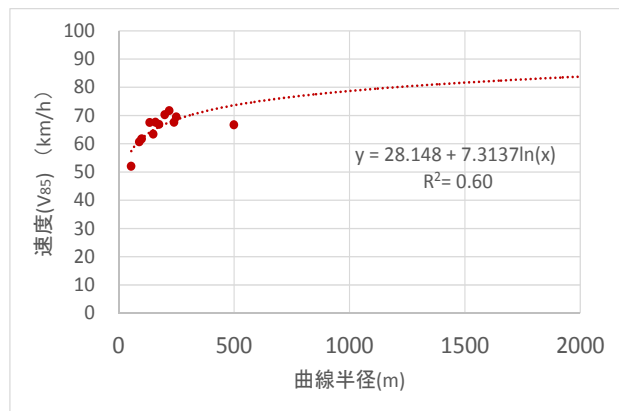
(3) EC (秋期: 乾燥)



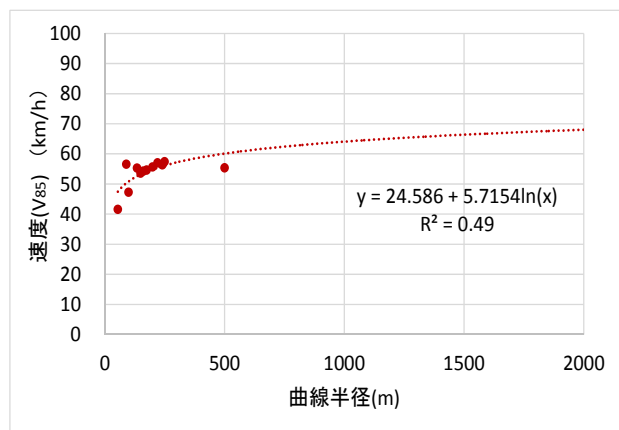
(6) EC (冬期: 圧雪)

図-5 曲線半径と速度の関係
(下り勾配: 0~4%)

- ② カーブ断面の位置別では、カーブの中央である MC 断面において、選択速度モデルの決定係数が高くなった。秋期・乾燥路面は 0.84、冬期・圧雪路面では 0.91 であった。
- ③ 秋期・乾燥路面と冬期・圧雪路面の選択速度を比較すると、カーブ中央の MC 断面で 10km/h 程度、冬期の方が速度は低くなった。曲線半径が約 200m 以下と小さくなると、秋期と冬期の差は拡大する傾向が示された。



(1) MC (秋期：乾燥)



(2) MC (冬期：圧雪)

図-6 曲線半径と速度の関係

(下り勾配：4~6%)

85 パーセントイル速度とカーブの曲線半径の関係式(下り勾配：4~6%)を図-6に示す。下り勾配：4~6%のケースでは、下り勾配：0~4%と比較し、秋期・乾燥路面、冬期・圧雪路面ともに選択速度モデルの決定係数は、低くなった。縦断勾配が大きくなると、曲線半径に加えて、縦断勾配の影響を受けている可能性がある。

3. 3 曲線変化率を用いた速度選択モデル

ドイツでは、85 パーセントイル速度のモデル式は、1973 年に提案された。同モデル式は、曲線変化

率：CCR (Curve Change Rate) により、説明される。

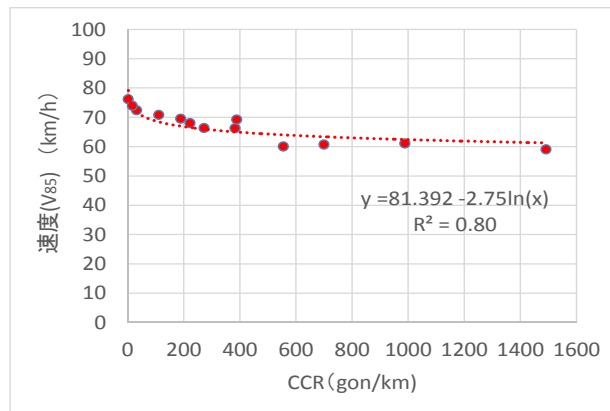
$$CCR = IA/R$$

ここで、CCR：曲線変化率(gon/km)

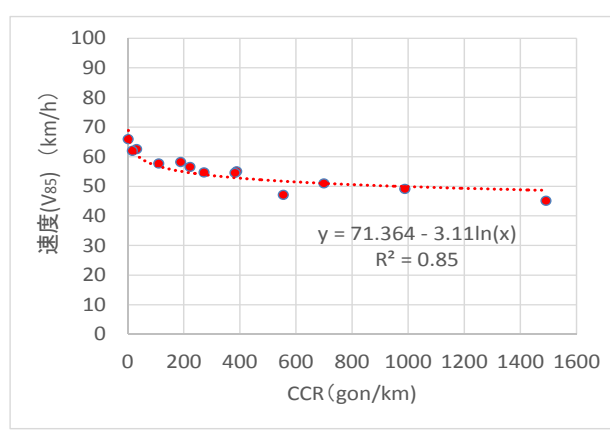
IA：交角 (gon)

R：曲線半径(km)

本研究において、カーブの曲線変化率 (CCR) を変数とした選択速度モデルの構築を試みた。85 パーセントイル速度と CCR の関係は、図-7に示す通り、



(1) MC (秋期：乾燥)



(2) MC (冬期：圧雪)

図-7 曲線変化率 (CCR) と速度の関係

(下り勾配：0~4%)

である。図-7 は、MC 断面における事例であるが、秋期・乾燥路面、冬期・圧雪路面ともに選択速度モデルの決定係数は高くなった。

3. 4 選択速度モデルの提案

上述の 3.2 による曲線半径 (R) を変数とした選択速度モデル式の一覧は表-3 に示す通りである。縦断勾配：0~4%のとき、カーブ中央の MC 断面において、選択モデルの決定係数は高くなった。また、縦断勾配：4~6%では、カーブ始まりの BC 断面などにおいて、選択モデルの決定係数は低くなった。

表-3 曲線半径による V_{85} のモデル式

縦断勾配	方向	位置	乾燥		圧雪	
			モデル式	R^2	モデル式	R^2
0~4%	下り	BC	$V_{85}=50.210+3.4202\ln(R)$	0.52	$V_{85}=30.635+4.8279\ln(R)$	0.82
		MC	$V_{85}=41.559+4.8041\ln(R)$	0.84	$V_{85}=23.961+5.7791\ln(R)$	0.91
		EC	$V_{85}=47.197+3.9843\ln(R)$	0.73	$V_{85}=37.304+3.6785\ln(R)$	0.54
	上り	BC	$V_{85}=56.057+2.7936\ln(R)$	0.36	$V_{85}=38.114+3.3936\ln(R)$	0.45
		MC	$V_{85}=47.525+4.0836\ln(R)$	0.49	$V_{85}=28.650+4.8832\ln(R)$	0.59
		EC	$V_{85}=48.530+4.1510\ln(R)$	0.57	$V_{85}=38.468+3.5326\ln(R)$	0.38
4~6%	下り	BC	$V_{85}=50.862+3.1552\ln(R)$	0.33	$V_{85}=43.274+2.2323\ln(R)$	0.18
		MC	$V_{85}=28.148+7.3137\ln(R)$	0.60	$V_{85}=24.586+5.7154\ln(R)$	0.49
		EC	$V_{85}=44.293+4.4329\ln(R)$	0.46	$V_{85}=47.786+1.7759\ln(R)$	0.07
	上り	BC	$V_{85}=63.412+0.8476\ln(R)$	0.01	$V_{85}=40.834+2.7769\ln(R)$	0.19
		MC	$V_{85}=33.465+6.5068\ln(R)$	0.66	$V_{85}=21.055+6.4702\ln(R)$	0.56
		EC	$V_{85}=47.481+4.1363\ln(R)$	0.44	$V_{85}=37.284+3.7209\ln(R)$	0.40

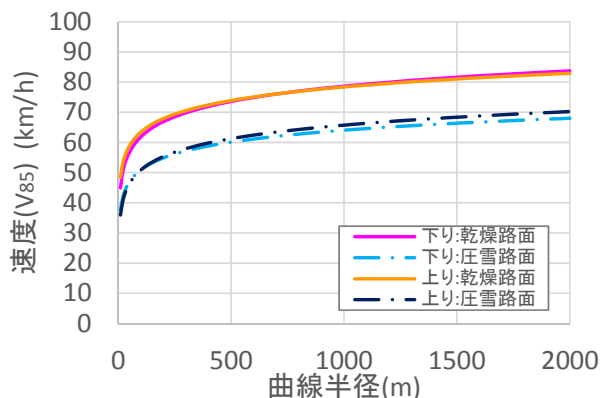


図-8 曲線半径と選択速度 (V_{85}) の関係 (MC断面、勾配: 0~4%)

曲線半径と 85 パーセントイル速度の関係の対数近似式を路面状態別、方向別に図示したのが図-8 である。本結果より、乾燥路面から圧雪路面に路面状態が変化するに従って、ドライバーの選択速度は低下することが明らかになった。

他方、上述の 3.3 による曲線変化率を変数とした選択モデルは、表-4 に示す通りである。曲線変化率を用いた選択速度モデルの決定係数は、縦断勾配: 0~4%では比較的高くなったが、縦断勾配: 4~6%ではたいへん低くなる結果となった。

表-4 曲線変化率 (CCR) による V_{85} のモデル式

縦断勾配	方向	位置	乾燥		圧雪	
			モデル式	R^2	モデル式	R^2
0~4%	下り	BC	$V_{85}=71.950 - 0.0096\ln(CCR)$	0.58	$V_{85}=71.041 - 2.8220\ln(CCR)$	0.78
		MC	$V_{85}=81.392 - 2.7500\ln(CCR)$	0.80	$V_{85}=71.364 - 3.1100\ln(CCR)$	0.85
		EC	$V_{85}=79.749 - 2.0680\ln(CCR)$	0.61	$V_{85}=68.587 - 2.1310\ln(CCR)$	0.54
	上り	BC	$V_{85}=79.497 - 1.6020\ln(CCR)$	0.28	$V_{85}=66.526 - 1.9670\ln(CCR)$	0.39
		MC	$V_{85}=81.282 - 2.1560\ln(CCR)$	0.39	$V_{85}=68.891 - 2.6450\ln(CCR)$	0.50
		EC	$V_{85}=83.180 - 2.3250\ln(CCR)$	0.45	$V_{85}=68.587 - 2.1310\ln(CCR)$	0.54
4~6%	下り	BC	$V_{85}=67.652 - 0.1520\ln(CCR)$	0.00	$V_{85}=56.654 - 0.3530\ln(CCR)$	0.02
		MC	$V_{85}=71.124 - 0.9580\ln(CCR)$	0.05	$V_{85}=59.736 - 1.0350\ln(CCR)$	0.07
		EC	$V_{85}=68.597 - 0.2400\ln(CCR)$	0.01	$V_{85}=53.504 + 0.5912\ln(CCR)$	0.03
	上り	BC	$V_{85}=56.654 - 0.3530\ln(CCR)$	0.02	$V_{85}=65.340 + 0.4256\ln(CCR)$	0.01
		MC	$V_{85}=59.736 - 1.0350\ln(CCR)$	0.07	$V_{85}=73.280 - 1.9020\ln(CCR)$	0.08
		EC	$V_{85}=53.504 - 0.5912\ln(CCR)$	0.03	$V_{85}=70.949 - 0.4170\ln(CCR)$	0.02

4. まとめ

(1) 路面状態に応じたドライバーの選択速度

冬期・圧雪路面時の選択速度は、秋期・乾燥路面時と比較して、低くなる傾向は見られた。カーブ区

間の曲線半径が小さくなるに従って、選択速度は低下した。カーブ断面の始まり (BC)、中央 (MC)、終わり (EC) 別に見ると、曲線半径の小さいカーブ (例えば、54.5m) では、秋期及び冬期ともに、BC と MC、MC と EC との速度差が大きくなった。

(2) 選択速度モデルの構築

曲線半径 (R) と曲線変化率 (CCR) を変数とした選択速度モデルを構築した。縦断勾配が 4%以下では、カーブ中央の MC 断面で、本モデルの決定係数は比較的高くなった。他方、縦断勾配が 4%を超えると、曲線半径と曲線変化率を変数とした選択速度モデルの決定係数は低下した。

(3) 可変型安全速度表示の提案

ドライバーは、特に小さな曲線半径のカーブに進入する前に、路面状況に応じて、速度を下げる必要がある。よって、カーブの手前で、通常カーブ警戒標識に加えて、補助標識として安全速度を可変表示することを提案した。



図-9 可変型安全速度表示の提案

参考文献

- 1) AASHTO; A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, Washington, D.C., 2011
- 2) 日本道路協会; 道路構造令の解説と運用、2004年2月
- 3) Lamm R., Choueiri E. M.: "Recommendations for Evaluating Horizontal Design Consistency Based on Investigations in the State of New York," Journal of The Transportation Research Board No. 1122, pp. 68-78, 1979
- 4) McLean J.: "An Alternative to the Design Speed Concept for Low Speed Alignment Design," Journal of the Transportation Research Board No. 702, pp. 55-63, 1979
- 5) 警察庁; 平成 20 年度 規制速度決定の在り方に関する調査研究報告書、2009 年
- 6) TRB; Modeling Operating Speed, Synthesis Report, Transportation Research Circular, Number E-C151, July 2011
- 7) Dilling, J.F. et al.; Research Report, Strassenbau und Starassenverkehrstechnik, Vol.151, Bonn-Bad Godesberg, Germany, 1973

STUDY ON TRAVELING SPEED SELECTED BY DRIVER ACCORDING TO WEATHER AND ROAD SURFACE CONDITIONS

Budget: Grants for operating expenses

General account

Research Period: FY2011-2013

Research Team: Traffic Engineering Research Team

ISHIDA Tateki,

TAKAHASHI Naoto,

MUNEHIRO Kazunori,

TAKADA Tetsuya,

KAGEYAMA Hiroyuki

Abstract : This study aims to determine the effects of the selected speed and driving behavior of the driver due to road conditions and road structure. The target single-line section of the general national highway, we performed experiments with actual vehicle of the subject. Through this experiment, curve radius of the curve, the position of the cross section curve, due to differences in road surface condition, that the choice for the speed of the driver change, shown by the data. In addition, it is directed to a compacted snow road surface condition and dry road surface state, we constructed a speed selection model based on the variable curve and the rate of change curve radius. The curve of the interval 0-4% longitudinal gradient, coefficient of determination of the speed selection model was relatively high. In the curve of more than 4 percent longitudinal slope, coefficient of determination of the model was lower.

Key word: Road surface condition, curve radius, longitudinal gradient, speed selection model