

冬期路面がACCを作動させながらカーブに進入するドライバの危険回避行動に与える影響

白石 直之¹・高橋 翔²・萩原 亨³・岡田 稔⁴・内藤 利幸⁵・宗広 一徳⁶

¹学生会員 北海道大学 工学部環境社会工学科 (〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目)

E-mail:bonjour-55-shirachan@eis.hokudai.ac.jp

²正会員 北海道大学大学院 工学研究院 (〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目)

³フェロー 北海道大学大学院 工学研究院 (〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目)

⁴非会員 (株)デンソー (〒108-0075 東京都港区港南1-8-15 Wビル17階)

⁵正会員 (株)ドーコン (〒060-0003 北海道札幌市中央区北3条西4丁目1-4)

⁶正会員 国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)

冬期のSAEレベル2以上の運転支援・自動運転導入にはドライバが危険を感じる走行環境の把握が必要である。本研究では公道において走行実験を行い、カーブ区間に着目し冬期道路環境でACC動作中にドライバがとった危険回避行動(実験参加者:6名)と、そのときの道路線形、路面のすべりやすさ、気象条件について検討した。走行実験の結果から道路線形と路面のすべり抵抗値、走行速度を組み合わせた条件を考え、道路線形が厳しい環境であってもすべり抵抗値が高く環境であればドライバの危険感が減少し、ドライバによる危険回避行動を減らすことができる可能性を明らかにした。また、道路線形が厳しい区間やすべり抵抗値が低い区間ではシステムが予め走行速度を低下させることでドライバに危険感を与えない走行が可能となることを示唆した。

Key Words :Safety, Adaptive Cruise Control, Driving Support, road slipperiness

1. はじめに

冬期は低ミュー路(すべり摩擦係数が低くすべりやすい路面)の出現や飛雪による視界不良、路肩の堆雪による道路横断構成の変化といった問題により自動車の運転に困難が伴う場合が多い。特に圏域中心都市間の距離が長い北海道のような地域では、SAEレベル2およびレベル3(以降、レベル2/3)による冬期におけるドライバの負荷軽減は、安全・安心な道路交通として不可欠である。しかし、レベル2/3で使われている現在の運転支援/自動運転システムは冬期に動作することが保証されていない。レベル2/3が可能な車両マニュアルには、冬期には運転支援/自動運転システムを動作させないよう注意書きが記載されている。

レベル2/3で使われるACC(Adaptive Cruise Control)は車両の加減速制御を行っており、路面のすべり抵抗は重要な制御パラメータとなる。北海道では、冬タイヤを装着したとしても現状のACCが想定しているすべり抵抗より実際の路面のすべり抵抗の方が低くなる可能性がある。北欧や米国では冬期において高速道路では黒路面管理(冬期であっても舗装の表面を出す路面管理)が行われてい

る。これらの地域では積雪も多くないことから、ACCが想定するすべり抵抗より低くなるケースは少ないと思われる。低いすべり抵抗に関する課題は大きくないかもしれない。

一方、北海道では積雪が多く、ある程度の雪氷を路面に載せた状態で路面を管理することが一般的であり、それに加え気温が0°C付近となることが多い。そのため、路面は非常に滑りやすくなる。通常運転において、このような路面に慣れていない本州から来たドライバは冬に北海道でクルマを運転したがる。北海道では、このような滑りやすい路面を踏まえたACCの制御とそれによる走行条件を検討する必要がある。

加藤ら(2019)は、冬期路面環境においてACCを用いた走行実験を行い、ドライバがACCによる走行に危険を感じた際に速度調節レバーを用いて行った減速(協調減速)をドライバのシステムへの介入とし、協調減速が発生した際の冬期道路環境を調べた。その結果、路面がすべりやすく、道路線形の厳しい区間でドライバの介入が起きやすくなることを導き、個々の道路線形を比較するとカーブの影響が最も大きいことを明らかにした¹⁾。

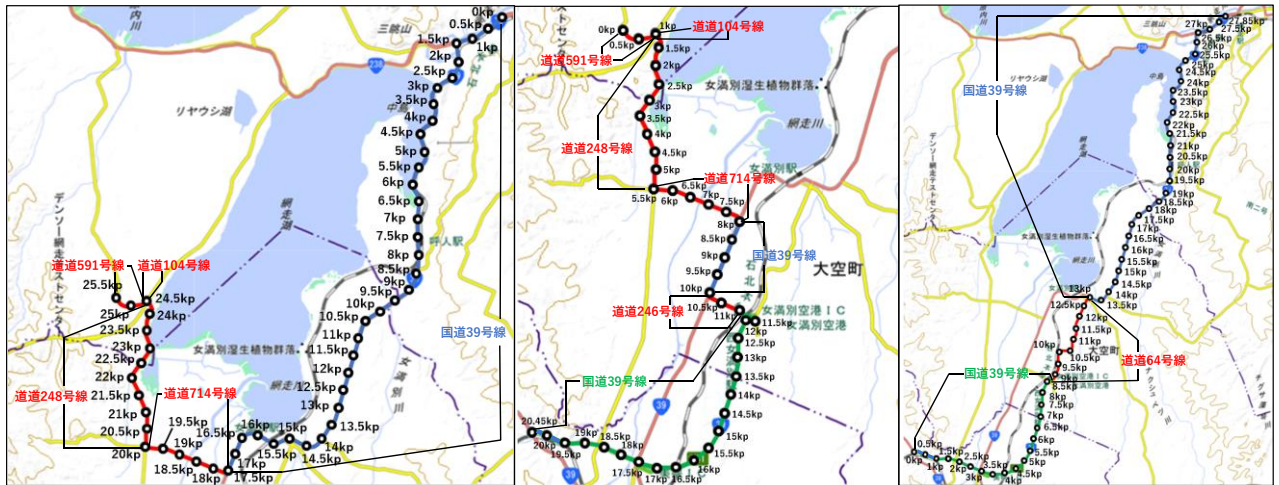


図2-1 コース図 (左から順にA, B, Cコース)

そこで本研究ではカーブ区間に焦点を当て、雪道運転に慣れたドライバーがACCを使いながらカーブに進入するときに「あぶない」と感じない、あるいはACC制御に割り込みたい（オーバーライドと呼ぶ）と思わない走行条件を実車走行の結果から明らかにする。

2. 走行調査

(1) 日時と走行コース

走行調査は2019年1月28日（月曜日）から31日（木曜日）にかけて北海道の網走市・大空町・美幌町で行った。走行コースを図2-1に示す。本調査では、以下に示す3コースを設定した。各コースの起点を0キロポスト（以降、KP）とし、各コースの起点からの距離も同様にKPを用いて各々の図に表記した。

- ・Aコース：網走市にある網走開発建設部を起点（0KP）とし大空町にあるデンソーテストセンターを終点（25.5KP）とした。走行コースの内訳は起点である国土交通省北海道開発局網走開発建設部から見て、国道39号（L=17.6km）、道道714号（L=2.4km）、道道248号（L=4.45km）、道道104号（L=0.2km）、道道591号（L=0.85km）である。国道区間は0KP - 17.6KPの計17.6km、道道区間は17.6KP-25.5KPの計7.9kmである。

- ・Bコース：デンソーテストセンターを起点（0KP）とし美幌町にある美幌高野交差点を終点（20.45KP）とした。走行コースの内訳は起点であるデンソーテストセンターから見て、道道591号線（L=0.85km）、道道104号線（L=0.2km）、道道248号線（L=4.45km）、道道714号線（L=2.4km）、国道39号線（L=2.2km）、道道246号線（L=1.55km）、国道39号線（L=8.8km）である。高規格幹線道路区間は11.65KP-19.35KPの計7.7km、国道区間は

表 2-1 走行日時と走行パターン記号

	走行日時	走行パターン
1月28日	15時56分から17時43分	11A・11B・11C
1月29日	8時12分から10時05分	21A・21B・21C
1月29日	10時18分から12時13分	22A・22B・22C
1月29日	13時36分から15時30分	23A・23B・23C
1月29日	16時01分から17時51分	24A・24B・24C
1月30日	7時58分から9時49分	31A・31B・31C
1月30日	12時52分から14時43分	32A・32B・32C
1月30日	15時27分から17時17分	33A・33B・33C
1月31日	7時49分から9時38分	41A・41B・41C

7.9KP-10.1KPと11.65KP-19.35KPの計3.3km、道道区間は0KP-7.9KPと10.1KP-11.65KPの計9.45kmである。

- ・Cコース：美幌高野交差点を起点（0KP）とし網走開発建設部を終点（27.85KP）とした。

走行コースの内訳は起点である美幌高野交差点から見て、国道39号線（L=8.8km）、道道64号線（L=4.15km）、国道39号線（L=14.9km）である。高規格幹線道路区間は1.1KP-8.8KPの計7.7km、国道区間は0-1.1KPと12.95KP-27.85KPの計16km、道道区間は8.8-12.95kmの計4.15kmである。

網走開発建設部を出発しA, B, Cコースを順に走行し出発点に戻る走行を以下に示す9回実施した。表2-1に各々の日時と3つのコース（走行パターン）別に付与した記号を示す。

(2) 道路線形

各コースの50m区間毎の道路線形（カーブ、勾配、橋梁、信号、右左折）に関する情報を集計した。図2-2はCコースのものである。全ての具体的な数値をデータ化した。図には、カーブとして曲線半径 $R \leq 3000m$ を、

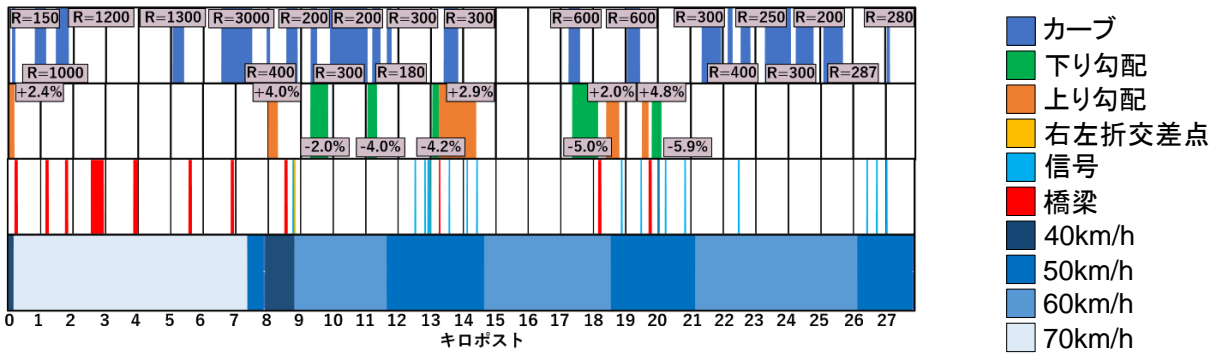


図 2-2 道路線形図 (C コース)

勾配は縦断勾配 $i \geq 2.0\%$ のみを示した。カーブ区間は緩和曲線を考慮せず R が最小となる地点とした。勾配区間は上りを下りを区別し、縦断勾配 i の絶対値が最大となる地点で代表した。併せて各コースの規制速度の変化も示した。高規格幹線道路は天候によって 50km/h 規制が敷かれている場合もあった。

(3) 走行車両

走行調査に使用した車両の説明は以下の通りである。各計測項目は 10hz (1 秒間に 10 個) で計測し、気温、路温、HFN、視程、風向・風速、車速、自動運転 ON/OFF のデータを解析に用いる際は、起点から 50m おきに設定した区間毎の平均値を用いた。

(a) 移動気象観測車 (図 2-3)

本調査では、ドーコン所有の移動気象観測車を用いて、走行中の気象状況や路面環境を計測した。車両には気象計測器、風速計、視程計が取り付けられており、走行中の気温、路面温度、風向・風速、視程、GPS (車両位置と時刻) の測定を行った。

(b) ACC 搭載車

本調査では運転支援システム搭載車として ACC 搭載車を用いた。車種はトヨタのアルファードである。走行中に使用した運転支援システムは加速・減速を自動制御する ACC 機能のみであり、ハンドル操作はドライバー自身で行った。ACC 搭載車のドライバーは運転免許を保持する成人男性 6 名であった。6 名が分担し、3 コース×9 回、計 27 パターンの走行を行った。走行調査参加者の年齢構成は、30 代 1 名、40 代 2 名、50 代 2 名、60 代 1 名である。

(c) RT3-Curve (図 2-3)

本調査では、寒地土研所有の RT3-Curve を用いて路面のすべりやすさを計測した。RT3-Curve は Halliday Technologies 社が開発した連続路面すべり抵抗測定装置である RT3-Curve のタイヤはブリヂストンエコピア (205/65R15) であり、寒地土研が所有する Toyota Land Cruiser 100VX に牽引されていた。RT3-Curve は道路とタイヤ間で発生する摩擦から Halliday Friction Number (以降、HFN) というすべり抵抗値が出力される²⁾。



図 2-3 走行車両の外観

(4) 調査手順

実験では、網走開発建設部を出発し、3つのコースを經由して網走開発建設部に戻る経路を走行した。網走開発建設部・デンソーテストセンター・美幌高野交差点の3地点を各コースの走行開始点とした。車列は先頭から移動気象観測車・ACC 搭載車・RT3-Curve の順とした (ACC 搭載車と移動気象観測車の車間は ACC に影響がない距離となるよう離して走行した)。網走開発建設部を出発したこれらの車両はデンソーテストセンターへと向かい、デンソーテストセンターの入り口で折り返し美幌高野交差点へと向かった。そして美幌高野交差点で再び折り返し網走開発建設部へと戻った。この行程の走行にかかる時間は合計でおよそ 1 時間 45 分程度であった。

ACC 搭載車は規制速度に合わせ 40~70km/h で走行し、規制速度での走行中にドライバーが危険と判断した場合はブレーキによるオーバーライド (減速) を行った。それによって自動的に ACC が OFF となりドライバーによる手動運転に切り替えられた。ドライバーが十分に安全を確保できたと判断した場合は手元のスイッチで ACC を ON に切り替え、ACC 走行を再開した。

移動気象観測車と RT3-Curve の運転はそれぞれを所有するドーコンと寒地土研が担当した。ACC 搭載車では助手席でオーバーライド発生時の道路環境や周辺状況の記録を行い、後部座席で ACC の ON/OFF の切り替えを観測した。

表3-1 各走行毎の天候、降雪量、気温、路温、走行速度、HFN

日時	1/28夕方		1/28夕方		1/28夕方		1/29午前(1)		1/29午前(1)		1/29午前(1)		1/29午前(2)		1/29午前(2)		1/29午前(2)		
コース	A		B		C		A		B		C		A		B		C		
走行開始/終了時刻	15:56-16:31		16:33-16:59		17:07-17:43		8:12-8:47		8:51-9:21		9:23-10:05		10:18-10:54		10:58-11:28		11:33-12:13		
天候	雪																		
24時間降雪量	1cm						13cm						13cm						
	平均	分散	平均	分散	平均	分散	平均	分散	平均	分散	平均	分散	平均	分散	平均	分散	平均	分散	
気温(°C)	高規格	-0.3	0.2	-0.6	0.1	-0.6	0.3	-2.9	0.1	-3.1	0.1	-3.2	0.1	-2.6	0.1	-2.6	0.1	-2.2	0.2
	一般国道	-0.3	0.2	-1.0	0.0	-0.5	0.2	-2.9	0.1	-3.1	0.0	-2.8	0.2	-2.6	0.1	-2.6	0.0	-2.4	0.2
	地方道	-1.1	0.2	-0.9	0.2	-0.6	0.3	-3.0	0.1	-3.1	0.1	-3.2	0.1	-2.7	0.2	-2.7	0.1	-2.2	0.2
路温(°C)	高規格	-	-	-2.1	0.4	-2.3	0.3	-	-	-3.2	0.2	-3.1	0.4	-	-	-1.4	0.7	-0.1	1.4
	一般国道	-2.0	0.4	-1.5	0.4	-2.5	0.5	-3.5	0.5	-3.7	0.1	-3.2	0.4	-2.9	0.4	-2.4	0.4	-1.6	1.3
	地方道	-4.2	0.9	-4.1	0.8	-2.4	0.5	-4.0	0.3	-4.1	0.3	-3.3	0.4	-3.3	0.7	-3.4	0.6	-0.8	1.6
速度(km/h)	高規格	-	-	60.1	10.2	59.4	11.1	-	-	42.4	4.9	43.8	5.0	-	-	43.8	4.4	43.9	4.9
	一般国道	49.5	7.1	52.6	7.4	49.9	9.9	47.2	7.9	52.4	7.7	49.5	7.6	49.3	7.6	51.7	7.9	48.4	7.4
	地方道	48.2	10.1	47.1	11.1	55.9	11.1	48.9	9.0	48.4	10.6	44.8	6.9	45.3	8.9	44.6	10.2	45.0	7.1
HFN	高規格	-	-	75.3	6.9	75.4	7.4	-	-	19.1	2.9	20.2	2.5	-	-	30.6	13.4	54.4	28.9
	一般国道	60.2	20.9	80.5	12.3	62.4	18.7	18.6	3.7	15.3	3.2	20.8	4.2	18.8	3.8	15.4	2.9	25.6	21.6
	地方道	27.7	10.4	27.6	8.5	71.4	15.3	20.9	9.4	18.4	5.0	19.8	3.0	17.8	3.5	17.3	3.7	45.1	27.5

日時	1/29午後		1/29午後		1/29午後		1/29夕方		1/29夕方		1/29夕方		1/30午前		1/30午前		1/30午前		
コース	A		B		C		A		B		C		A		B		C		
走行開始/終了時刻	13:36-14:14		14:17-14:46		14:51-15:30		16:01-16:35		16:38-17:06		17:09-17:51		7:58-8:34		8:38-9:07		9:11-9:49		
天候	晴																		
24時間降雪量	13cm						13cm						-						
	平均	分散	平均	分散	平均	分散	平均	分散	平均	分散	平均	分散	平均	分散	平均	分散	平均	分散	
気温(°C)	高規格	-	-	-3.7	0.1	-3.9	0.2	-	-	-5.2	0.2	-5.1	0.2	-	-	-15.6	0.5	-14.8	0.6
	一般国道	-3.0	0.3	-3.8	0.0	-4.0	0.2	-4.8	0.1	-5.0	0.0	-5.3	0.1	-18.2	1.3	-16.7	0.3	-13.6	1.3
	地方道	-3.6	0.2	-3.7	0.2	-4.0	0.3	-4.7	0.2	-4.9	0.1	-5.2	0.2	-18.8	0.6	-17.6	0.9	-14.7	0.5
路温(°C)	高規格	-	-	-1.7	0.7	-2.0	0.7	-	-	-4.5	0.5	-4.9	0.4	-	-	-12.2	1.5	-10.2	1.8
	一般国道	-2.8	0.8	-3.8	0.4	-3.8	1.3	-5.5	0.7	-4.6	0.2	-5.4	0.5	-16.2	1.2	-12.9	1.2	-10.2	2.2
	地方道	-4.4	0.6	-4.3	0.5	-2.7	1.3	-5.3	0.3	-5.0	0.3	-5.1	0.5	-15.8	1.2	-14.5	1.1	-11.0	2.1
速度(km/h)	高規格	-	-	43.9	4.5	44.4	5.5	-	-	43.8	4.7	43.8	5.2	-	-	44.1	4.4	43.9	4.9
	一般国道	44.2	7.3	49.6	7.3	45.0	5.8	48.8	7.7	52.5	7.7	47.6	7.7	47.5	8.2	51.5	9.9	49.8	7.4
	地方道	41.0	7.2	43.0	8.8	44.3	6.5	49.1	10.0	48.4	10.9	44.6	7.2	49.5	9.5	48.8	10.2	45.2	7.2
HFN	高規格	-	-	38.7	18.7	42.6	19.1	-	-	30.2	13.7	21.9	8.6	-	-	43.4	24.7	50.4	27.8
	一般国道	24.2	4.4	18.0	3.8	25.5	14.9	20.6	3.9	18.8	3.3	23.9	8.1	17.8	4.6	16.9	5.4	23.8	22.9
	地方道	17.5	3.7	18.4	4.1	36.3	18.3	18.3	3.3	17.4	3.3	22.0	7.3	19.3	3.5	18.9	4.1	39.6	27.8

日時	1/30午後		1/30午後		1/30午後		1/30夕方		1/30夕方		1/30夕方		1/31午前		1/31午前		1/31午前		
コース	A		B		C		A		B		C		A		B		C		
走行開始/終了時刻	12:52-13:28		13:31-14:01		14:06-14:43		15:27-16:03		16:06-16:36		16:38-17:17		7:49-8:26		8:29-8:58		9:00-9:38		
天候	晴																		
24時間降雪量	-						-						2cm						
	平均	分散	平均	分散	平均	分散	平均	分散	平均	分散	平均	分散	平均	分散	平均	分散	平均	分散	
気温(°C)	高規格	-	-	-4.6	0.4	-4.5	0.6	-	-	-7.3	1.3	-7.3	1.1	-	-	-3.0	0.2	-3.5	0.1
	一般国道	-5.6	0.8	-5.3	0.2	-4.6	0.7	-4.7	0.8	-7.7	1.0	-8.5	1.1	-2.9	0.3	-2.6	0.0	-3.4	0.2
	地方道	-6.6	0.7	-6.1	0.8	-4.6	0.5	-6.6	1.1	-6.9	1.3	-7.3	0.9	-2.7	0.2	-2.6	0.1	-3.5	0.1
路温(°C)	高規格	-	-	0.1	2.8	0.6	1.8	-	-	-7.3	0.9	-7.0	0.9	-	-	-4.1	0.7	-3.9	0.5
	一般国道	-1.8	3.3	-0.3	3.5	-2.1	2.8	-5.7	1.3	-7.6	1.4	-8.8	1.3	-5.4	0.6	-5.1	0.2	-5.1	0.9
	地方道	-4.3	3.5	-4.5	3.0	-1.2	3.2	-9.0	1.5	-9.4	1.4	-8.0	1.6	-5.4	0.4	-5.6	0.3	-4.4	0.9
速度(km/h)	高規格	-	-	43.7	4.5	43.9	4.7	-	-	44.0	4.1	43.7	5.0	-	-	43.8	4.2	43.8	5.2
	一般国道	47.3	6.8	52.1	8.1	48.6	6.9	48.2	8.0	51.3	9.9	49.2	8.3	48.4	9.4	52.7	7.8	50.2	7.6
	地方道	44.4	8.8	44.8	10.0	45.0	6.1	48.6	10.0	47.7	11.2	44.0	7.3	48.7	9.6	48.5	10.8	45.4	6.6
HFN	高規格	-	-	72.3	15.1	77.8	8.9	-	-	73.5	14.8	78.0	10.8	-	-	23.5	4.6	21.6	4.2
	一般国道	37.2	16.1	49.1	22.0	49.8	25.0	38.0	17.3	46.0	22.7	48.5	24.9	19.6	4.2	21.5	4.6	25.3	6.5
	地方道	25.0	4.2	26.4	7.2	60.5	26.6	27.4	7.3	26.1	5.7	61.3	26.2	17.1	3.4	16.1	4.1	21.7	4.3

3. 調査結果

(1) 気象状況と路面環境

(a) 概況

各走行の各コース毎に天候・24時間降雪量 (cm) ・気温 (°C) ・路温 (°C) ・走行速度(km/h) ・HFN値の平均と分散を求め、それらの結果を表3-1に示す。気温、路温、走行速度、HFNは高規格幹線道路、一般国道、地方

道の3種類の道路種別毎に分けて表示している。気温と路温は移動気象観測車、HFN値はRT3-Curve、走行速度はACC搭載車から取得したものをを用いた。天候と24時間降雪量は網走アメダス観測所で計測された気象庁のデータを用いた。

1月28日は天候が雪であったが平均気温は低くても氷点下1.0°C程度であり、これは全走行の中で最も高かった。

1月29日は天候が雪であり、この日の24時間降雪量は13cmと走行調査を行った4日間の中で最も多かった。

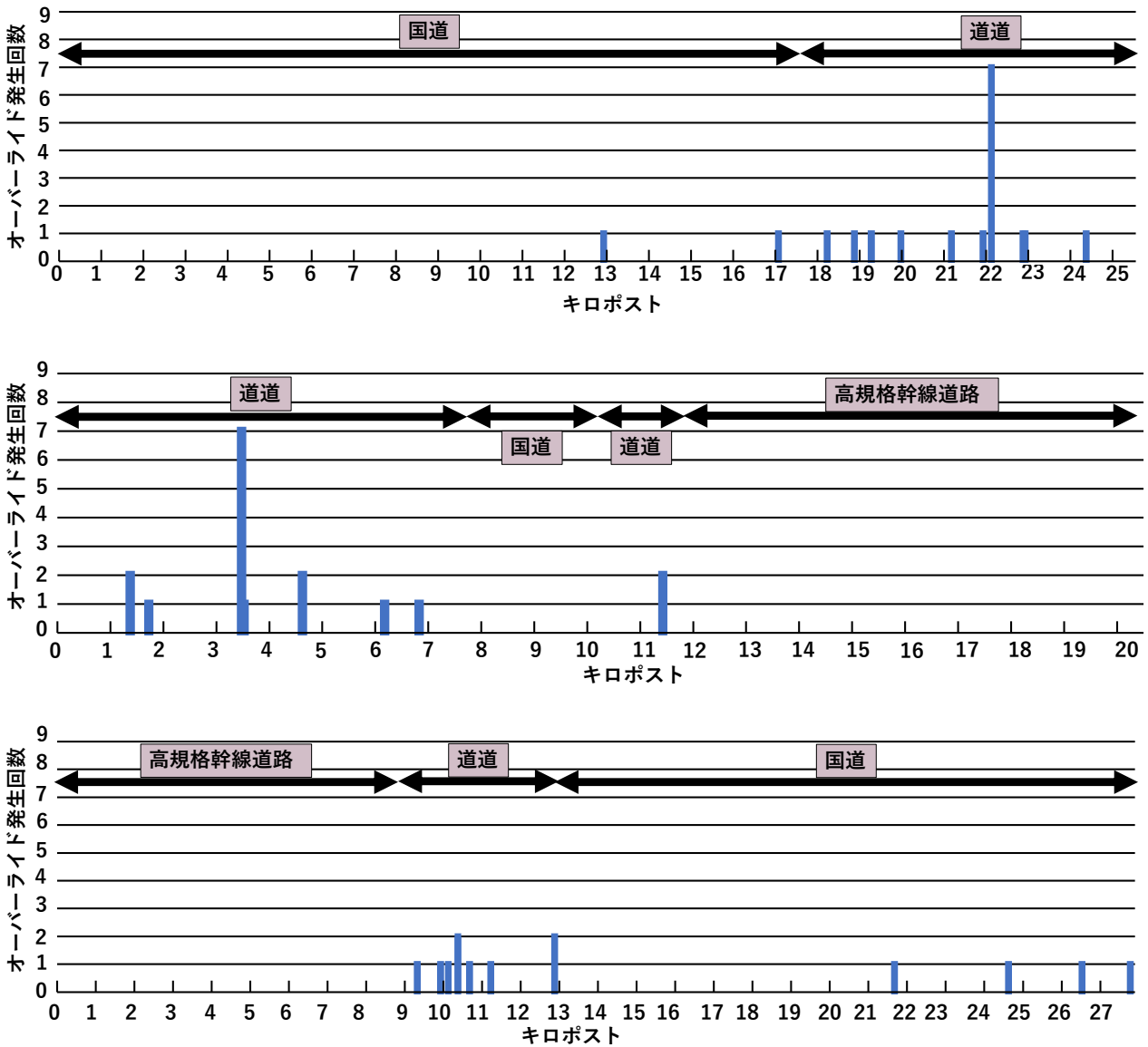


図 3-2 オーバーライド発生回数とその地点 (KP)

昼頃まで気温はおおよそ氷点下 3.0°C程度であったが夕方になると気温が氷点下 5.0°C付近まで低下した。

1月30日は一日を通し天候が快晴または晴れであり24時間降雪量は0cmであった。気温は午前中に氷点下 18.0°C以下を記録し、4日間で最も低かった。午後・夕方は氷点下 5.0°C～氷点下 8.0°C程度まで上昇した。

1月31日は天候は曇り、24時間降雪量は2cmであった。気温は氷点下 3.0°C程度であった。

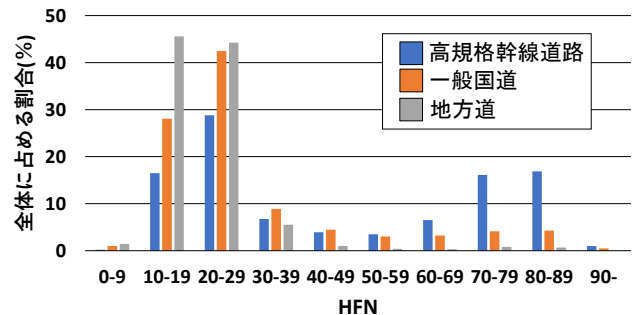


図 3-1 HFN の出現分布

(b) HFNの出現分布

図 3-1 は、全走行で計測した HFN 値を 10 ずつに分類したときのそれぞれの階級の頻度割合を示したものである。横軸の表示は、例えば 0-9 であれば 0 以上 10 未満を表している。

・地方道：HFN 値が 10-19 の階級が最も多く出現しており、その出現割合は約 45%である。地方道で二番目に

多く出現しているのは 20-29 の階級であり、出現割合は約 44%である。地方道の HFN 値は 10-19, 20-29 で合わせて 90%近くを占めている。

・一般国道：HFN 値が 20-29 の階級が最も多く出現しており、約 42%となっている。また、二番目に多く出現しているのは 10-19 の階級であり、約 28%である。一般

国道区間も 10-19, 20-29 が多くを占めており、合わせて 70%以上となる。

・高規格幹線道路：HFN 値が 10-19, 20-29 の低い領域と、70-79, 80-89 の高い領域に分かれて分布している。高規格幹線道路は 10-19 が約 16%、20-29 が約 29% で合わせて約 45%、70-79 が約 16% で 80-89 が約 17% で合わせて約 33% である。

(2) オーバーライドの発生回数

(a) オーバーライドの発生回数

9 回の走行で発生したオーバーライドの回数を 50m 区間毎に集計した結果を図 3-2 に示す。高規格幹線道路では、地方道と接続するランプ区間を除けばオーバーライドが発生していなかった。このようなランプ区間の他に、赤信号・対向車への譲り走行・救急車の優先・計測機器調整のための停車などによって発生したオーバーライドはやむを得ないものとしてオーバーライドの発生回数から除外した。また、交差点での右左折にかかるオーバーライドも集計から除外した。オーバーライドは地方道でより多く発生しており、A コースの 22KP 付近が最多で 9 回の走行中 8 回オーバーライドが発生した。ここは、道道 248 号線の曲線半径 R が 50m であるカーブを含む 50m 区間であった。また、B コースの 3.5KP 付近は同様のカーブを含む 50m 区間であり 9 回の走行中 7 回オーバーライドが発生した。その他には B コースの 1.35KP, 4.6KP, 11.4KP, C コースの 10.35KP のカーブ区間で 9 回の走行中 2 回ずつオーバーライドが発生しており、カーブ区間でオーバーライド発生が多いことが確認された。

(b) HFN 別のオーバーライド発生割合

図 3-3 に、全走行で観測した HFN 値を 10 ずつに分類したときの各階級でのオーバーライド発生割合を示す。HFN 値の階級が 0-9, 10-19, 20-29 等のときオーバーライドの発生割合が高く、60-69, 70-79, 80-89 とときは非常に低くなった。

(c) 道路線形別のオーバーライド発生割合

道路線形別がオーバーライドの発生に与える影響を図 3-4 に示す。縦軸は道路線形別のオーバーライド発生回数を、対応する道路線形の区間数で割った比である。ここで、オーバーライドに影響を与える要因となる道路線形として、カーブ、勾配を選択した。比較のためにこれら 2つの道路線形を有さない区間でのオーバーライド発生割合も示した。全区間でのオーバーライド発生割合を見てみると 2つの道路線形がない場合はオーバーライド発生割合が 0.1%程度であったのに対し、カーブがある区間は 1.4%、勾配がある区間は 0.7%であり、道路線形

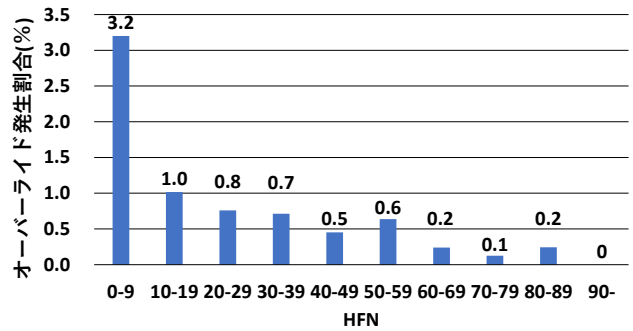


図3-3 HFNの階級別のオーバーライド発生割合

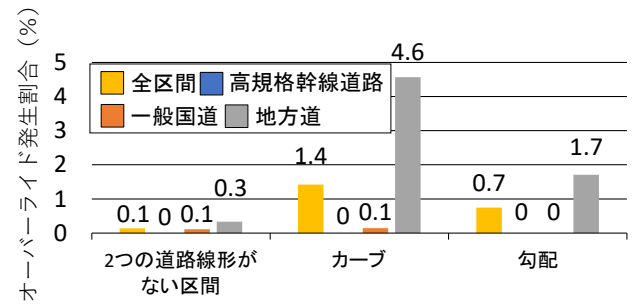


図3-4 道路線形別のオーバーライド発生割合

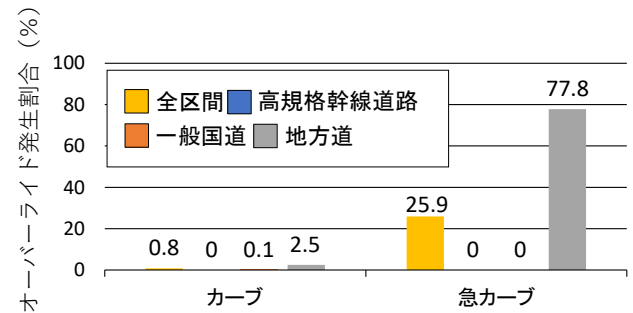


図3-5 カーブとオーバーライド発生割合

を有さない場合よりも高いことがわかる。特に、カーブ区間でのオーバーライド発生割合は勾配区間と比較しても2倍となっており、カーブの存在がオーバーライド発生割合を高めることがわかった。

・カーブ区間でのオーバーライド

カーブがオーバーライドの発生に与える影響をより詳しく調べるため、曲線半径が 150m 以下のものを急カーブ、150m より大きいものをカーブとして別々に集計し、オーバーライド発生割合を計算した。図 3-5 から、地方道の急カーブ区間では 80% 近くの割合でオーバーライドが発生していることが見て取れ、カーブの曲線半径の違いによりオーバーライド発生に与える影響に差があることがわかる。

(4) 走行速度とオーバーライドの関係

カーブ区間に着目し、走行速度とオーバーライド発生割合の関係を表したものが図3-6である。ここで走行速度はオーバーライド発生前の速度を用いるためにカーブ進入前200m地点からカーブの入り口までの間の最高速度を用いた。縦軸は走行速度別に集計したカーブ区間でのオーバーライド発生回数を、対応する走行速度を観測したカーブ区間の総数で割った比である。カーブ前200m区間の走行速度が40km/h以上50km/h未満の階級ではオーバーライド発生割合が2.3%、50km/h以上60km/h未満の階級では9.5%、60km/h以上70km/h未満の階級では10%の割合でオーバーライドが発生していた。40km/h未満ではオーバーライドが発生していなかった。これにより、走行速度（カーブへの進入速度）が高い階級の方がオーバーライド発生の割合が高いことがわかった。

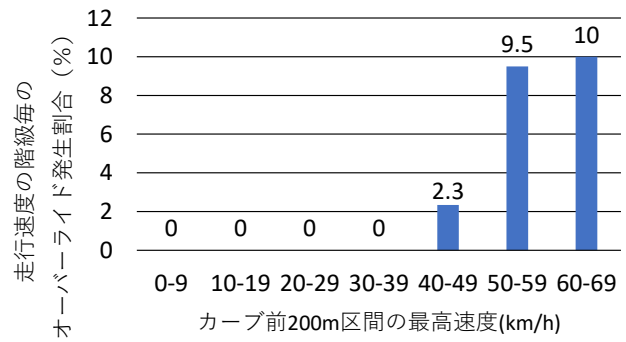


図3-6 走行速度とオーバーライド発生割合

4. ロジットモデル

(1) オーバーライド発生確率を目的変数とするロジットモデルの検討

カーブがオーバーライド発生に与える影響が大きいことから、459か所のカーブ区間に着目したロジットモデルを作成した(式4.1)。曲線半径が小さいとき、HFN値が小さくなるとオーバーライドの発生確率は大きくなるが、曲線半径が大きいとき、HFN値が小さくなくてもオーバーライドの発生確率はそれほど大きくならないという交互作用を反映したモデルとした。表4-1にパラメータの推定結果を示す。その結果、曲線半径とHFN値の交互作用が有意となった。曲線半径が同じときHFNが低くなるとオーバーライド発生確率が高くなり、HFNが同じとき曲線半径が小さくなりカーブが急になるとオーバーライド発生確率が高くなる結果となった。

$$\log\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta_0 + \beta_1 \log_{10}(R \times HFN) + \beta_2 V \quad (4.1)$$

ここで、

p : 50m区間毎のオーバーライド発生確率

$\beta_0 \ \beta_1 \ \beta_2$: パラメータ

$\log_{10}(R \times HFN)$: 曲線半径と HFN の交互作用の常用対数

V : カーブ前 200m の最高速度

(2) ロジットモデルによるオーバーライド発生確率の予測

式 4.1 のカーブ区間でのロジットモデルにより、オーバーライド発生確率を計算した。図 4-1 は 11A と 41A の結果を示したものである。11A と 41A でカーブ進入前の速

表4-1 ロジットモデルの結果

	Estimate	Std. Error	z value	P(> z)
Intercept	2.83	3.99	0.71	0.48
log(R×HFN)	0.25	0.80	-6.59	0.00 ***
V	-5.29	0.08	3.40	0.00 ***
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1				
Null deviance:	198.00			
Residual deviance	109.87			
Log likelihood		Chi-sqr test	-54.9	
rario test		p-value	0.00	

度はほとんど同じであった。横軸が各コースの起点（OKP）からの距離であり、縦軸は規制速度とカーブ区間における HFN 値、モデルで予測されたオーバーライド発生確率の予測値を示している。

11A は全走行で最も平均気温が高く、HFN 値も比較的高い走行環境であった。41A は国道、地方道共に HFN 値が 20 程度となりすべりやすい走行環境であった。両者を比較すると、0-7KP 付近の緩やかなカーブが続く区間では、HFN 値が高い 11A でオーバーライド発生確率がほとんど 0 に等しいのに対し、HFN 値が低い 41A では少しではあるが 0.1 まで上昇している。また、22KP 付近では 11A で 0.7 程度であったオーバーライド発生確率が、41A ではほとんど 1 となる結果になっている。これらのことからオーバーライド発生確率には HFN 値の影響があることがわかる。

また、11A の 0-7KP と 22KP、41A の 0-7KP と 22KP を比較することで曲線半径の影響もわかり、22KP のように曲線半径が小さく急なカーブとなっている区間ではオーバーライド発生確率が高くなることがわかる。

(3) オーバーライド発生を考慮したカーブでの推奨速度

(a) カーブでの推奨速度推定モデル

曲線半径 R と HFN 値を考慮したカーブ区間における推奨速度 V_{rec} を提案する。カーブ区間でのオーバーライド発生確率 p を表すのは 4.2 式である。

$$p = \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 \log_{10}(R \times HFN) + \beta_2 V)}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 \log_{10}(R \times HFN) + \beta_2 V)} \quad (4.2)$$

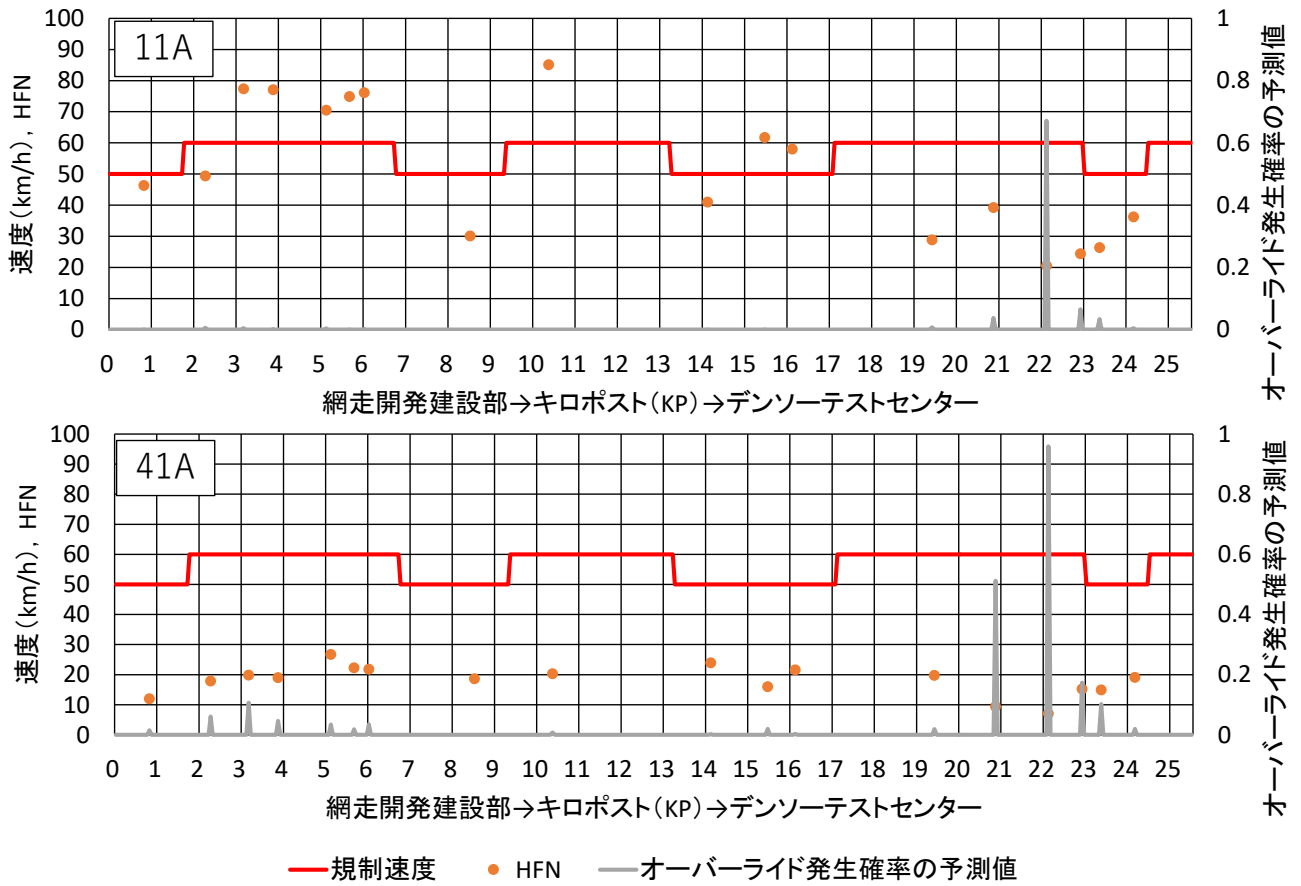


図 4-1 ロジットモデルによるオーバーライド発生確率の予測値

これが $\alpha\%$ ($=\alpha/100$) 以下となればよく、整理すると

$$\exp(\beta_0 + \beta_1 \log_{10}(R \times HFN) + \beta_2 V) \leq \frac{\alpha}{100 - \alpha} \quad (4.3)$$

両辺の自然対数をとると、

$$\beta_0 + \beta_1 \log_{10}(R \times HFN) + \beta_2 V \leq \ln\left(\frac{\alpha}{100 - \alpha}\right) \quad (4.4)$$

となり、これを走行速度 V について整理し式 4.5 を得る。

$$V \leq \frac{\ln\left(\frac{\alpha}{100 - \alpha}\right) - (\beta_0 + \beta_1 \log_{10}(R \times HFN))}{\beta_2} \quad (4.5)$$

よって、カーブ区間でのオーバーライド発生確率が $\alpha\%$ 以下となるような速度が式 4.5 の V であるので、その最大値をもって今回提案する推奨速度 V_{rec} とする。つまり、推奨速度 V_{rec} は式 4.6 で与えられるものである。

$$V_{rec} = \frac{\ln\left(\frac{\alpha}{100 - \alpha}\right) - (\beta_0 + \beta_1 \log_{10}(R \times HFN))}{\beta_2} \quad (4.6)$$

(b) 推奨速度の計算

走行調査においてカーブ区間で発生した全 25 回のオーバーライドについて、オーバーライド発生確率 $\alpha=1\%$ とし式 4.6 から推奨速度 V_{rec} を求めた。各地点の曲線半径 R 及び HFN の値を代入することで、カーブ区間におけるオーバーライド発生確率を 1% とする推奨速度

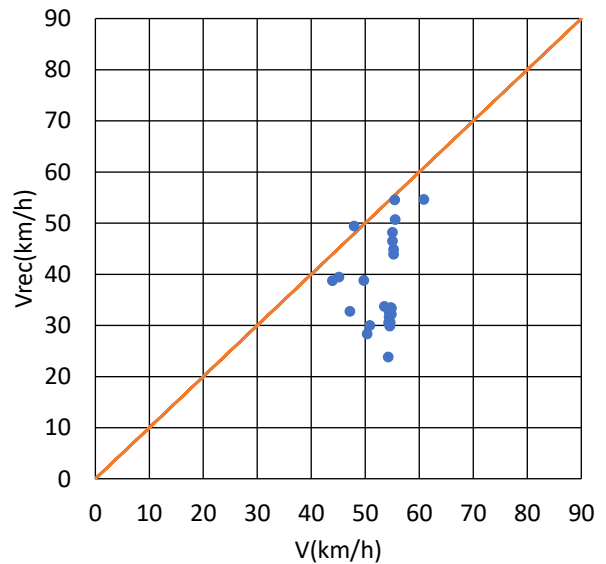


図 4-2 推奨速度と走行速度の比較

V_{rec} を求めた。推奨速度の結果を図 4-2 に示す。併せて $V_{rec} = V$ 示す直線も付した。

走行速度と推奨速度の関係を表す図 4-2 を見ると、直線 $V_{rec} = V$ よりも右側の領域に存在する点が多く、推奨速度よりも高い速度で走行しオーバーライドが発生した例が多かったことが分かる。これらの区間において、走

行速度を推奨速度と同じかそれより低く設定することでオーバーライドの発生確率を抑えうるということがわかる。このような推奨速度とすることで、ドライバに危険感を与えづらく冬期路面環境においても継続的な ACC 走行が可能となると考えられる。

一方で走行速度が推奨速度を下回っていたのにも関わらずオーバーライドが発生した点も存在した。 $(V, V_{rec}) = (55.4, 60.1)$ は、カーブ前 200m で HFN 値が 81 から 39 まで半減する形で減少している区間であったため、推奨速度以下の速度ではあったが突発的な路面状態の変化にドライバが危険を感じオーバーライドを行ったものと考えられる。このことから、ドライバの危険感がオーバーライド発生に与える影響が再確認され、道路管理者はただすべり摩擦係数を高く維持するよう努めるだけでなく、突発的なすべり摩擦係数の変化を抑えるような路面管理を行っていくことが必要であるとわかった。

5. まとめ

本研究の結果から、ドライバの危険回避行動には路面のすべり摩擦抵抗とカーブが特に影響を与えており、とりわけ曲線半径が小さい急カーブの与える影響は大きいことがわかった。路面のすべり抵抗値は低いほどドライバの危険回避行動を発生させやすく、路面のすべり抵抗値は単純な相関ではないものの降雪や気温・路温の変化に影響されていた。また高規格幹線道路や一般国道よりも地方道で低くなりやすいことが確認された。これには道路管理レベルの差が考えられる。また、カーブ区間に進入する速度が高いほどオーバーライドが発生しやすいことが示され、走行速度の影響もオーバーライドの発生

に大きいことが明らかとなった。このような計測結果から、カーブ区間を対象としオーバーライドの発生確率を推定するロジットモデルを提案した。そのモデルは、走行速度と HFN 値と曲線半径が交互作用を要因としたモデルとなった。カーブ区間を対象としたロジットモデルからオーバーライドの発生確率を低くしたときの走行速度を推奨速度として求めた。推奨速度以下での走行によりドライバは ACC 機能を継続的に利用することができる可能性を示すことができた。

以上から、ACC 動作時にシステムが道路線形と路面のすべりを考慮した走行速度を選択することはドライバによるオーバーライドの発生を減少させるのに有効となると言える。本調査ではカーブ区間を対象とした推奨速度の提案を行ったが、直線区間において HFN 値を考慮した ACC による走行速度を提案するため、先行車への追突危険度等からの検討が必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 加藤佑基, 萩原亨, 岡田稔, 内藤利幸, 宗広一徳: 速度協調システム利用時にドライバがシステム介入したときの冬期の道路状況に関する研究, 自動車技術会論文集, Vol.50, No.4, P.1120-P.1125, (2019)
- 2) 切石亮, 徳永ロベルト, 高橋尚人: 冬期路面状態評価手法の比較試験について, 寒地土木研究所月報, No.702, P.50-P.55, (2011)
- 3) 道路構造令の解説と運用 公益社団法人日本道路協会, (2015)

(2020.?? 受付)

Effects of Winter Road Surface on Driver's Risk Avoidance Behavior when the Vehicle Are Entering a Curve with Adaptive Cruise Control

Naoyuki SHIRAIISHI, Sho TAKAHASHI, Toru HAGIWARA, Minoru OKADA, Toshiyuki NAITO and Kazunori MUNEHIRO

In winter, to drive a vehicle has a lot of difficulties due to road slipperiness, low visibility and narrowed road by lying snow. Understanding the driving environment where the driver feels danger is necessary to introduce SAE Level 2 or 3 in winter, so the present study aims to clarify driver's risk avoidance behavior when the drivers are using adaptive cruise control (ACC) under the winter road conditions. In an experiment on public road, a total 6 participants drove the test vehicle with ACC-ON conditions on the expressway and several local highways. We measured driver's risk avoidance behavior, and simultaneously measured road slipperiness, road geometry and weather condition. Results indicated that road slipperiness, road geometry and the vehicle speed have an effect on the occurring driver's risk avoidance behavior. Slippery road, hard geometry and high speed driving often lead the driver's risk avoidance behavior. According to this result, it is clarified that driver's risk avoidance behavior was reduced under low regulatory speed conditions on the expressway which the road geometry design was high level whereas the road surface conditions were slippery. It suggests that driver's risk avoidance behavior can reduce if the driving support system slows down before the vehicle approach such a slippery or hard geometry condition road.