

冬期道路環境が走行速度に及ぼす影響に関する研究

Influence of Winter Road Conditions on Free-Flow Speed

武知 洋太* 伊東 靖彦** 松澤 勝*** 加治屋 安彦****

Hirotaka TAKECHI, Yasuhiko ITO, Masaru MATSUZAWA, and Yasuhiko KAJIYA

積雪寒冷地である北海道の冬期道路での安全走行支援には、リアルタイムな視界や路面状況、これらに基づく走りやすさに関する情報を提供することが重要と考えられる。しかし、リアルタイムな冬期道路の走りやすさを提供するには、走行速度に影響を及ぼしている冬期道路の要因と影響度について先ず明らかにすることが必要となる。

そこで、被験者走行実験と定点観測の結果を基に郊外道路における走行速度と季節、道路線形、道路幅員、視界、風速及び路面状況の関係について分析を行った。その結果、積雪期の走行速度は、無雪期に比べ低下しており道路の曲線半径、視界状況の影響を強く受けていることが明らかとなった。一方、道路幅員、風速、路面状況の走行速度への影響については一定の傾向は見られなかった。

《キーワード：冬期道路；走行速度；走行環境；吹雪；風速；視程；雪氷路面；道路線形；道路幅員》

In snowy Hokkaido, it is important to support safe driving on winter roads by providing information in real-time on visibility, surface conditions, and driving conditions. In deciding what real-time winter road information to provide, it is necessary to clarify the factors that influence free-flow speed on winter roads and to determine the relative importance of each factor.

Test driving and fixed-point observations were conducted to examine the relationships between free-flow speed on suburbs road and the following: season, road alignment, road width, visibility, wind velocity and road surface conditions.

The free-flow speed in the snowy season was found to be less than in the snow-free season, and it was found to be influenced by road alignment (curve radius) and visibility. Road width, wind velocity and road surface conditions were not found to be associated with changes in free-flow speed.

《Key words: winter road; free-flow speed; road environment; snowstorm; window velocity; visibility; icy road; road alignment; road width》

1. まえがき

1.1 調査目的

積雪寒冷地である北海道の冬期道路では、降雪、吹雪による視程障害や非常に滑りやすい雪氷路面が発生し厳しい道路状況となる。また、北海道は主要都市が峠を介し広域に分散しており、都市間を移動するドライバーは冬期に道路構造及び視界や路面状況など道路状況が変化する中での走行を強いられている。

このため、リアルタイムな視界や路面状況、これらに基づく走りやすさに関する情報を提供していくことが、ドライバーの安全走行を支援する上で重要と考えられる。

現在、国土交通省では「道路の走りやすさマップ」が作成され、全国で試行されている。北海道においても道路の車線数、カーブ・縦断勾配など静的な情報に基づき市街地部、郊外部・山地部別に5ランクに分類された冬期道路の走りやすさが公開されている¹⁾。しかしこの走りやすさは、時間とともに変化する視界や路面状況など動的な情報が加味されたものとはなっていない。

そこで本調査では、リアルタイムな走りやすさを検討していく上で必要となる、走行速度に影響を及ぼす要因とその影響度について調査を行った。

1.2 既往研究

積雪寒冷地の冬期道路環境が走行速度に与える影響については、これまでに調査が行われている²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾。

市街地における積雪期の走行速度について高橋ら²⁾は、積雪期の排雪直後の走行速度が無雪期に比べ8%低下することを示した。また蜷川ら³⁾は、山地部において冬は夏にくらべ平均速度が低下することを報告している。

道路線形の走行速度への影響については、山地部のカーブ区間の道路における走行挙動について調査が行われており、無雪期の日中には曲線半径が小さい程、カーブ流入部から中央部にかけて減速度が大きいこと⁴⁾、季節にかかわらず曲線半径が100m大きくなる毎に平均速度が約2km/h大きくなること³⁾が報告されている。

道路幅員の走行速度への影響については、札幌市内の市街地において、除雪による路肩への雪の堆積によって有効幅員が低下すると走行速度が低下すること、除雪によって有効幅員が増加すると走行速度が回復すること⁵⁾が報告されている。

冬期道路における気象や路面状況の走行速度への影響について加治屋ら⁶⁾は道内の市街地近郊において、福沢ら⁷⁾は道内の郊外部において視界不良が発生することによって走行速度が低下すると報告している。またKyieら⁸⁾によると、走行速度に強く影響する要因には風速、視程、降水(降雪)強度、路面状況が報告されている。

これらをまとめると、走行速度に影響を及ぼす要因には、季節、道路線形、道路幅員、風速、視程、路面状況が挙げられる。

しかしこまでの研究では、走行速度への道路構造と気象、路面状況の両側面からの影響については、明確にされていない。

そこで、本文では、北海道の郊外平野部で行った被験者走行実験や定点観測の結果を基に、走行速度と季節、道路線形、道路幅員、風速、視界及び路面状況(以下:走行環境)との関係について分析を行った。

2. 調査方法

2.1 調査概要

本調査では、被験者走行実験及び定点観測によって車両の走行速度を把握し、走行速度に対応した走行環境との関係について分析を行った。調査区間はともに北海道の道北圏に位置する豊富町と稚内市を結ぶ一般国道40号とした(図-1)。なお、当該区間は郊外部の平坦な道路である。



図-1 調査箇所

2.2 被験者走行実験による走行速度の分析

被験者走行実験は、無雪期(平成17年10月18～19日)及び積雪期(平成18年1月22～25日)の日中及び夜間に実験を行った。実験区間(KP222.7-KP241.4)は図-2、写

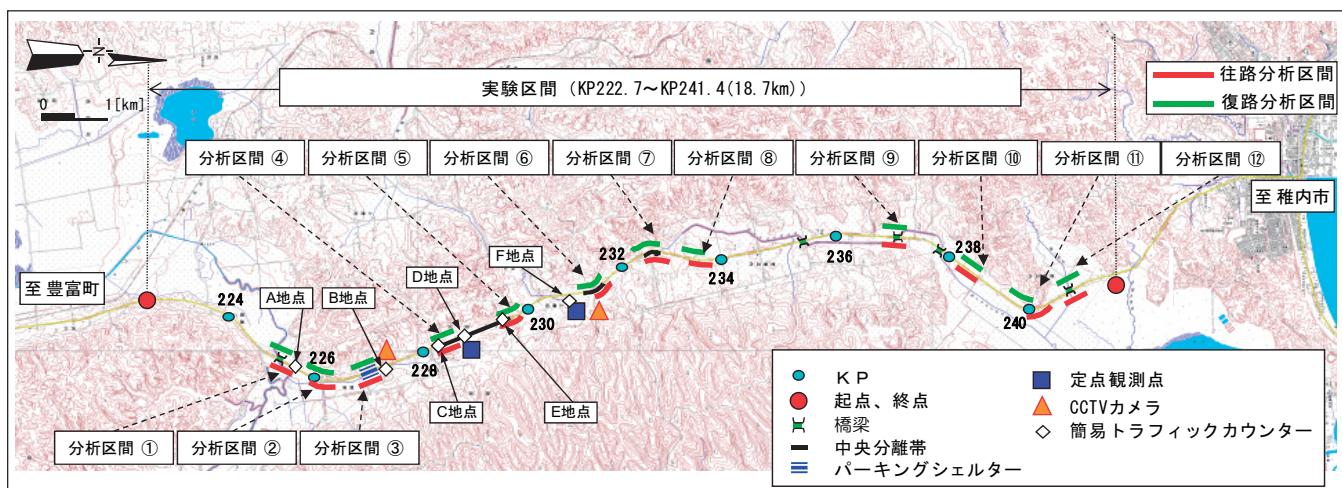


図-2 実験区間概要



写真-1 被験者走行実験における各分析区間 [復路 (豊富→稚内)] の状況



写真-2 被験者走行実験の状況

表－1 被験者走行実験の走行速度分析区間

道路線形	分析区間① 直線	分析区間② カーブ (R=400)	分析区間③ 直線	分析区間④ 直線	分析区間⑤ カーブ (R=500)	分析区間⑥ カーブ (R=300)	分析区間⑦ カーブ (R=200)	分析区間⑧ カーブ (R=1000)	分析区間⑨ 直線	分析区間⑩ 直線	分析区間⑪ カーブ (R=500)	分析区間⑫ 直線
縦断勾配	平坦	平坦	平坦	平坦	往路:上り 復路:上り	坂の頂上付近	平坦	坂の頂上付近	平坦	平坦	平坦	平坦
矢羽根	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
デリニエータ					○	○	○					
シェブロン標識		○				○				○	○	
道路付属物	車両用防護柵	○			○				○			
中央分離帯					○	○	○					○
防雪林(既存林)					○							
パーキング				○								
スノーシェルター												
備考	新佐呂間橋 L=45.0m				坂の頂上 付近					村上橋 L=14.0m		

真－1に示す通りである。実験には20～60歳代で性別、年齢層がなるべく均等となるよう無雪期に8名、積雪期に22名の被験者を集めた。

実験では被験者に乗用車で実験区間を往復走行させ(写真－2)、無雪期には車両挙動計測装置(ULOGGER－TRJ)によって、積雪期にはセーフティーレコーダー(SRcomm)によって走行速度を把握した。また、実験走行中の道路状況を把握するため、ビデオカメラを用いて車内より道路前方の撮影を行った。実験は自由走行でを行い、走行中に追従走行となった際は路側に車両を一時停車させ、十分車間を取った後に走行させた。

分析では、道路構造が異なる分析区間を往路復路別に12区間設定(図－2、写真－1、表－1)し、平均走行速度と季節、道路線形、道路幅員との関係について分析を行った。各分析区間の延長は全て500mとし、往路、復路に区分して走行速度を整理した。なお、道路幅員は積雪期の実験中に撮影した道路上の各画像から、車両が走行可能な有効幅員を読み取りによって判断した。また、データ数が少ないため、被験者間の属性の違いによる影響について考慮せず分析した。

2.3 定点観測による走行速度の分析

走行速度は、北海道開発局稚内開発建設部が積雪期(平成18年2月8日～14日)に図－2、表－2に示す6箇所(A～F地点)において簡易トラフィックカウンター(3M STC-2100P)で観測したデータを用いた。観測地点は全て上り車線の直線区間である。各観測箇

所の道路状況を写真－3に示す。

観測地点1箇所当たりでは、観測期間中に車両約8000台の走行速度が観測された。このうち自由走行時の走行データのみを抽出するため、前走車が通過後5秒以内に通過した後続車の速度データは追従走行と見なし、分析対象から除外した。



写真－3 定点観測箇所 [稚内→豊富] の状況

表－2 定点観測箇所

道路線形	A地点	B地点	C地点	D地点	E地点	F地点
勾配	直線	直線	直線	直線	直線	直線
矢羽根	○	○	○	○	○	○
中央分離帯				○		
道路付属物	ガードロープ			○		
デリニエータ				○		
Pシェルター		○				
備考	新佐呂間橋の手前 300m	パーキングシェルターの手前 約30m		防雪林	坂の頂上 付近手前 約20m	



写真-4 反射型視程計・風車型風向風速計の設置状況 [写真の向き：稚内自→豊富至]

気象状況については、図-2に示したD地点、F地点の2箇所で反射型視程計(TZE-A4)、風車型風向風速計(KDC-S4)を用い視程と風向風速の観測を行った。なお、反射型視程計、風車型風向風速計は路側の路面から高さ約2mの位置に設置した(写真-4)。

さらに、図-2に示したB地点、F地点に設置された道路管理用CCTVカメラの画像を録画し、画像からの読み取りにより路面状況を判別した。路面状況は「北の道ナビ」の「冬道安心ガイド」⁹⁾を参考に乾燥、湿潤、シャーベット、圧雪、凍結の5つに分類した。

分析では、A～E地点で観測した走行速度にはD地点で観測した視程及び風速データ、F地点で観測した走行速度にはF地点で観測した視程及び風速データを対応させた。一方、路面状況は周辺環境や場所によって大きく異なることが考えられるため、B地点、F地点で観測した走行速度にのみ対応させた。

3. 被験者走行実験による走行速度の分析結果

ここでは、無雪期、積雪期に行った被験者実験の結果を基に分析した季節、道路線形、道路幅員と走行速度の関係について示す。

3.1 無雪期、積雪期での走行速度の変化

図-3は、各分析区間における無雪期の平均走行速度に対する積雪期の平均走行速度の比を走行速度比として昼夜別に示したものである。なお、道路線形を考慮し、直線区間とカーブ区間に分けて示した。

図-3より直線区間での走行速度比は、区間9、10を除くと1.0～0.864で分布しており、積雪期には無雪期からの走行速度の低下が見られる。区間9、10で速度低下が見られなかった原因としては、前方に連続した直線道路が700m以上長く続いていること、他の区

間に見られる中央分離帯やパーキングスノーシェルターなどの道路構造物が区間に存在していないことが考えられる。

一方、カーブ区間では走行速度比が0.971～0.839に分布しており、分析区間に関わらず積雪期は無雪期に比べ走行速度が低下している。また、積雪期の速度低下は直線区間に比べカーブ区間でより顕著になる傾向がみられる。

以上の結果から、市街地や山地部での調査結果²⁾³⁾と同様、郊外部においても積雪期には無雪期に比べ走行速度が低下することが明らかとなった。また、低下割合については市街地の路側堆雪を排雪した状態²⁾と同程度であった。

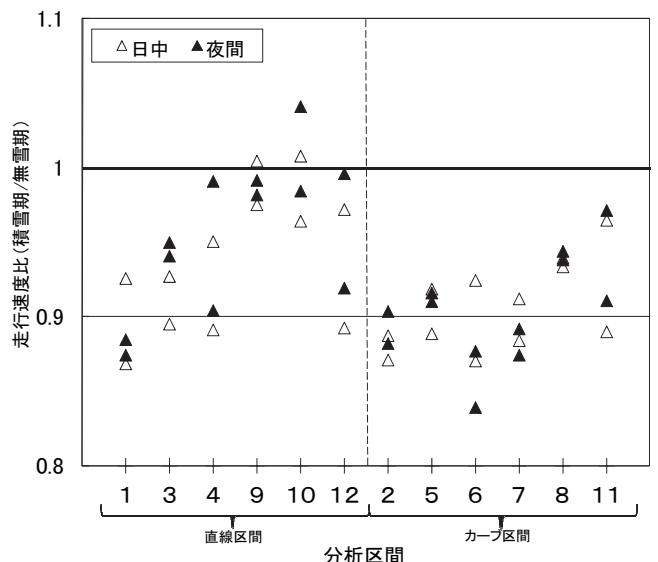


図-3 無雪期と積雪期の走行速度比

3.2 道路線形と走行速度の関係

道路構造令においては道路の設計速度によって曲線半径が定められている¹⁰⁾。また、既往調査³⁾によると山地部では曲線半径が小さくなる程に走行速度が低下

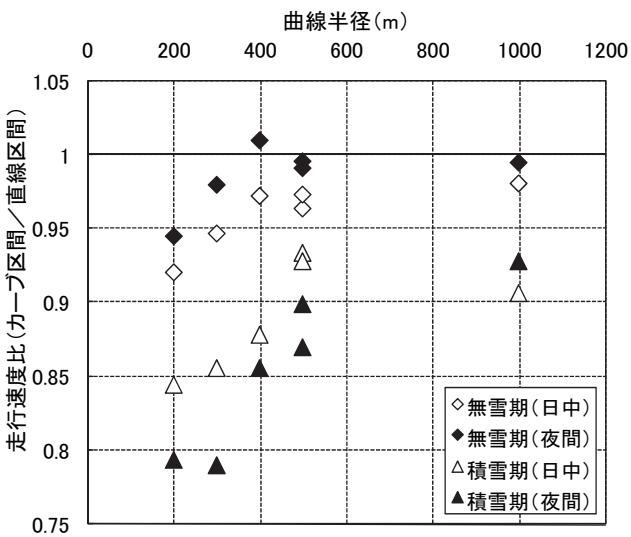


図-4 カーブ区間の曲線半径と走行速度比

しており、郊外平地部の冬期道路においても道路線形の影響は大きいものと推察される。

そこで、直線区間とカーブ区間の走行速度比から道路線形の影響を分析した。

調査結果の分析に当たっては、沿道利用が少なく中央分離帯の無い直線区間である分析区間10を走行速度の比較対象に設定し、各カーブ区間との平均走行速度を比で表し比較を行った。

図-4は、各カーブ区間の曲線半径と走行速度比を季節及び時間帯別に示したものである。

無雪期は、曲線半径が400～1000mの比較的緩やかなカーブ区間では時間帯に関わらず走行速度比が0.95以上となっており、直線区間からの速度低下はあまり見られない。一方、曲線半径が200m～300mの比較的急なカーブ区間では、曲線半径の大きなカーブ区間に比べ走行速度比が低下している。このことから、無雪期にはカーブ区間の曲線半径が300mを下回ると、走行速度への影響が出始めると考えられる。

積雪期は曲線半径1000mのカーブ区間においても走行速度比が日中で0.906、夜間で0.928と直線区間に比べると平均走行速度がそれぞれ9.4%、7.2%低下しており、無雪期とは異なり曲線半径が400m以上のカーブ区間でも速度低下が見られた。

また、積雪期の日中では曲線半径が500mと400mの間で走行速度比が0.928から0.878へ、夜間では曲線半径が400mと300mの間で走行速度比が0.855から0.790へ大きく低下している。このことから、積雪期には曲線半径が400m以下のカーブ区間になると走行速度の低下が顕著になるといえる。

3.3 道路幅員と走行速度の関係

次に、積雪期の実験結果から道路幅員と走行速度の関係について分析を行った。

図-5には、0.5m間隔で区分した冬期道路の有効幅員と走行速度比の関係を時間帯及び道路線形別に示した。道路構造令¹⁰⁾によれば、設計速度60km/hに必要な標準の車線幅員は3.25mである。また、郊外部の設計速度が60km/hの一般国道(第3種2級)に望ましい路肩幅員は1.00mである。

そこで、道路構造令で走行速度60km/hに必要とされる有効幅員を車線幅員と路肩幅員を足しあわせた4.25mと考え、有効幅員4.0-4.5mと各有効幅員での平均走行速度の比を走行速度比とした。

図-5より、市街地における既往研究⁵⁾とは異なり、時間帯や道路線形に関わらず、堆雪による有効幅員の低下に伴って走行速度が低下する傾向は見られなかった。

今回の調査では、有効幅員が全て3.0m以上であったため、有効幅員が3.0m以上確保された道路においては有効幅員の違いが走行速度に与える影響は小さいものと考えられる。

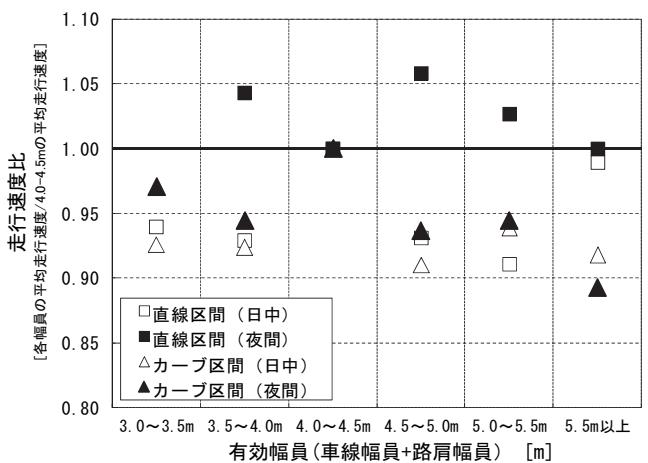


図-5 有効幅員と走行速度（積雪期）

4. 定点観測による走行速度の分析結果

ここでは、積雪期に定点観測によって取得した走行速度と気象状況に関するデータを基に分析した気象や路面状況と走行速度の関係について示す。

4.1 風速と走行速度の関係

図-6は風速と走行速度の低下割合の関係を示したものである。横軸には風速を1m/s毎の階級に分けて示した。縦軸には積雪期の0-1.0m/s(無風)時の平

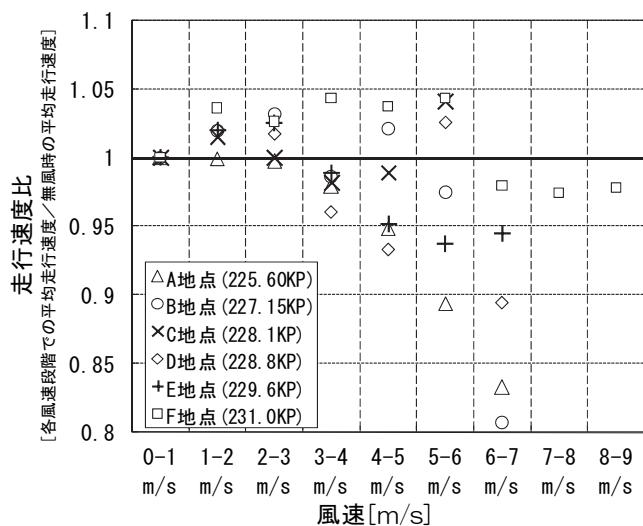


図-6 走行速度比と風速（積雪期）

均走行速度に対する各風速状況の平均走行速度の比を示した。

図-6より、平均風速が6.0-7.0m/sでは走行速度比がA地点で0.833、B地点で0.806、D地点で0.894を示しており、平均風速が高いと各観測地点の走行速度は低下する傾向が見られる。一方、C地点、E地点、F地点では走行速度比が1.348、0.945、0.979と風速が6～7 m/sと高くなても走行速度が低下する傾向はあまり見られなかった。

このように、風速の増加に伴う走行速度の変化には観測地点によって大きなバラツキがあり、一定の傾向は見られなかった。この原因としては、風速増加による走行速度への直接的な影響が小さいこと、または風速以外の要因が走行速度に影響していることが考えられる。

ただし今回の調査では、平均風速が5 m/s以上のデータ数は全体の2%と少なく、9 m/sを超えた状態での走行速度は取得されていない。このため、強風時のデータ数を増やし走行速度への風速の影響を検証していくことが必要と考えられる。

4.2 吹雪視程と走行速度の関係

図-7は視程と走行速度の低下割合の関係を示したものである。横軸には、視程状況を1000m以上、500-1000m、200-500m、100-200m、100m未満の5つの階級に分けて示した。縦軸には、積雪期の視程1000m以上での平均走行速度に対する各視程階級での平均走行速度の比を各観測地点別に示した。

図-7より、視程が低下するにつれ走行速度比は観測箇所に關係無く低下する傾向が見られる。視程

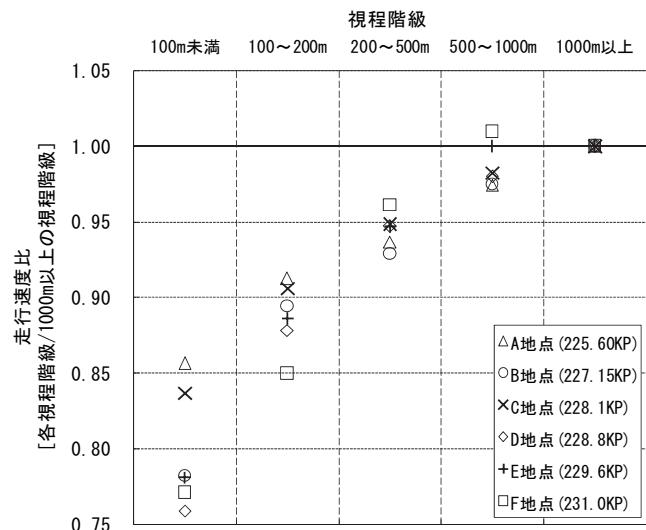


図-7 視程階級と走行速度比（積雪期）

200m～100mの走行速度比は0.912～0.850、平均0.888に低下しており、視程200m以下では顕著に走行速度が低下している。また、視程100m未満では走行速度比がさらに低下し、0.856～0.759、平均0.797を示している。この結果は、加治屋ら⁶⁾による「市街地近郊において視程が200m付近から走行速度が低下した」という調査結果と同様の傾向である。

このように、走行速度と視程の関係においては、観測地点に関係なく視程階級が小さくなるほど走行速度が低下する傾向が確認できた。このことから、気象条件の中で視程階級は走行速度への影響が大きい重要な要素であると考えられる。

ただし、視程100m未満の階級では100～200mの視程階級に比べて観測地点による走行速度比のバラツキが大きくなっているように、観測地点による速度低下割合のバラツキは視程階級が低い程大きくなる傾向がみられる。この原因については、道路付属物の設置状況、道路構造の違いなど視程状況及び道路線形以外の要因が視界状況の悪い場合にのみ走行速度の維持や低下に寄与していると考えられる。

今後は、この要因についても調査を進めていきたい。

4.3 路面と走行速度の関係

最後に、B地点及びF地点の路面状況と走行速度比の関係についての分析結果を述べる。

図-8は、積雪期の乾燥路面での平均走行速度と各路面状況での平均走行速度の比を観測地点別に示したものである。なお、地点Bでは観測中に乾燥路面が発生しなかったため、乾燥路面での平均走行速度は地点Fの値を基準とした。

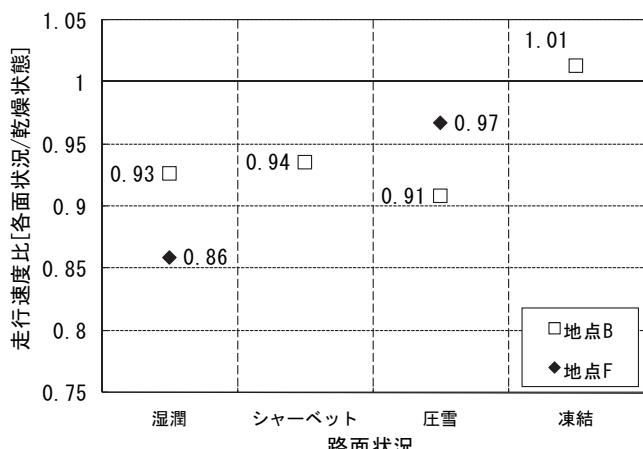


図-8 路面状況と走行速度比（積雪期）

図-8より、地点Bでは湿潤、シャーベット、圧雪で乾燥路面から約10%の速度低下が確認できる。しかし、3つの路面状態の違いによる走行速度の低下割合にはあまり差が見られない。また、凍結路面では走行速度の低下は見られなかった。一方、F地点での走行速度比は路面状態が湿潤のとき0.86、圧雪で0.97を示しており、圧雪路面に比べ湿潤路面で走行速度が低下していた。このように路面の違いによる速度低下には一定の傾向が見られなかった。

これらの結果から、今回計測できなかった非常に滑りやすい路面を除くと、路面状態の違いによる走行速度への影響は視界状況の違いに比べると小さいと考えられる。

ただし、観測地点は郊外部の見通しの良い直線区間で、交通量が少なく(約1100台/日)、対向車の存在がほとんどない区間であった。さらに分析では自由走行時のデータのみを抽出したため、前走車が存在しない状況での走行速度を抽出している。前走車、対向車へ衝突する危険性の低い調査箇所、分析条件であったことが、路面状況の違いによるドライバーの恐怖感を軽減させていたことも考えられ、道路や交通状況によっては結果が異なることも考えられる。

また、地点Bでは基準とした乾燥路面が発生していなかったことが結果に影響していることも考えられる。

このため、走行速度への路面状況の影響については、さらにデータを増やし検証していくことが必要と考える。

5.まとめと今後の課題

本調査では、無雪期及び積雪期に被験者走行実験、積雪期に走行速度と気象状況の定点観測を行い、走行

速度への季節、道路線形、道路幅員、風速、視界及び路面状況の影響について分析を行った。

その結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 積雪期の走行速度は、道路線形に関わらず無雪期に比べ低下することがわかった。無雪期からの速度低下割合は、直線区間で平均5.3%、カーブ区間で平均9.4%を示しており、直線区間に比べカーブ区間でより速度低下が見られた。
- 2) 積雪期には曲線半径の大小にかかわらずカーブ区間では、直線区間に比べ走行速度が低下する傾向が見られた。また、カーブ区間の曲線半径が500～400mより小さくなると、走行速度の低下がさらに顕著になる傾向があり、曲線半径が200mでは直線区間に比べ日中で15.5%，夜間で20.6%の速度低下が見られた。
- 3) 有効幅員が3.0m/車線以上確保されている場合、路肩などへの堆雪による有効幅員低下の走行速度への影響は低いと考えられる。
- 4) 平均風速が高いほど走行速度が低下する傾向を想定していたが、観測地点によっては風速の増加による走行速度の低下が見られず、風速による走行速度への影響については一定の傾向は見られなかった。
- 5) 吹雪によって視程が低下するほど、視界良好時に比べて走行速度は低下する傾向が見られた。視程100m未満では視程1000m以上の視界良好の時に比べ20.2%の速度低下が見られた。
- 6) 乾燥路面に比べると積雪路面では約10%の速度低下が見られたが、路面状態の湿潤、シャーベット、圧雪、凍結の違いによる低下割合には一定の傾向が見られなかった。

今後は、観測データをさらに増やし走行環境と走行速度の関係について検証を進め、冬期走行環境の走行速度への影響を明確にした上で、リアルタイムな冬期道路情報の提供について検討していきたい。

謝辞

本調査では、被験者走行実験及び定点気象観測などの作業において(財)日本気象協会にご協力を頂いた。また、固定点で観測された走行速度データについては稚内開発建設部より提供していただいた。ここに謝意を示す。

参考文献

- 1) 国土交通省北海道開発局：
道路の走りやすさマップ 北海道版、http://www.hkd.mlit.go.jp/zigyoka/z_doro/hashiriyasusa-map/
- 2) 高橋尚人、宮本修司、林華奈子、浅野基樹：プローブカーを利用した札幌市における冬期の平均旅行速度変化に関する分析、第58回年次学術講演会講演概要集(CD-ROM)、(社)土木学会、2003
- 3) 蟻川浩一、和田芳明、萩野治雄、大塚民雄、高森衛：積雪寒冷地の山地部道路における自由走行車の速度、土木試験所月報 No.388、pp.14-19、北海道開発局土木試験所、1985
- 4) 傳章則、高木秀貴、大沼秀次：非市街地事故多発カーブ区間における車両走行挙動について、第39回(平成7年)北海道開発局技術研究発表会発表概要集(2)、pp.123-128、(財)北海道開発協会、1996
- 5) 渡辺昌治、金田安弘、越後謙二、永田泰浩、正岡久明：冬期におけるマイカー通勤時の走行速度に及ぼす気象雪氷要因に関する調査、第22回寒地技
術シンポジウム報告論文集、pp.399-404、(社)北海道開発技術センター、2006
- 6) 加治屋安彦、松澤勝、鈴木武彦、丹治和博、永田泰浩：降雪・吹雪による視程障害条件下のドライバーの運転挙動に関する一考察、第20回寒地技術シンポジウム報告論文集、pp.325-331、(社)北海道開発技術センター、2004
- 7) 福沢義文、竹内政夫、石本敬志、野原他喜男：吹雪観測と交通管理への利用－一般国道40号稚内～豊富－、土木試験所月報 No.395、pp.2-16、1986
- 8) MICHAEL Kyie, ZAHER Khatib, PATRICK Shannon, FRED Kitchener : Effect of Environmental Factors on Free-Flow Speed, Furth International Highway Capacity Proceeding, pp.108-119, Transportation Research Board National Research Council, 2000
- 9) 土木研究所寒地土木研究所：北の道ナビ 冬道安心ガイド、http://northern-road.jp/navi/info/guidel_3.html
- 10) (社)日本道路協会：道路構造令の解説と運用、(社)日本道路協会、p.22、2004



武知 洋太*
Hirotaka TAKECHI

寒地土木研究所
寒地道路研究グループ
雪氷チーム
研究員



伊東 靖彦**
Yasuhiko ITO

寒地土木研究所
寒地道路研究グループ
雪氷チーム
主任研究員



松澤 勝***
Masaru MATSUZAWA

寒地土木研究所
寒地道路研究グループ
雪氷チーム
総括主任研究員
博士(工学)
気象予報士
技術士(建設)



加治屋 安彦****
Yasuhiko KAJIYA

寒地土木研究所
寒地道路研究グループ
雪氷チーム
上席研究員
博士(工学)
技術士(建設)