

冬期道路の高度情報提供システムに関する基礎研究

～ 路側情報提供サービスのユーザ受容性～

Basic Study of Advanced Road Information System for Winter Roads: User Acceptability on Roadside Information Provision Services

松沢 勝* 加治屋安彦** 鈴木武彦***

Masaru MATSUZAWA, Yasuhiko KAJIYA, and Takehiko SUZUKI

積雪寒冷地の冬期道路は、滑りやすい雪氷路面や吹雪等による視程障害のため非常に厳しい運転環境にある。そこで、北海道開発土木研究所では、ITS 技術を活用して視程障害時の多重衝突事故を防止するシステムを検討してきた。吹雪時においては、情報板は見落としの可能性があるため、連続的に警告ができる自発光視線誘導標を活用した路側情報提供サービスの開発に取り組んでいる。

本研究では、動画CGを用いた被験者実験や、試験道路における実車実験によって、路側情報提供システムのユーザ受容性を検討した。

実験の結果、次のことが明らかになった。

- (1) 自発光視線誘導標は、道路情報板に比べ吹雪時の警告の見落としが少ない。
- (2) 自発光視線誘導標の設置間隔が 25～30m の場合にユーザ受容性が高い。
- (3) 発光警告灯の高さが 2.5m になると見落としの危険性が出てくるので、それ以下にする。
- (4) 危険警告の意味を事前に知らなくても、多くのドライバーは、点滅発光に対して何らかの障害事象が前方にあることを想定する。

《キーワード: ITS ; 自発光視線誘導標 ; 冬期道路の交通安全 ; 走行支援システム》

The driving environment of winter roads is very severe in cold, snowy regions, due to conditions that include slippery snow-covered road surfaces and snowstorm-induced poor visibility. To prevent multi-vehicle collisions at times of poor visibility, the Civil Engineering Research Institute of Hokkaido (CERI) has been examining application of ITS technologies for cold regions. Since road information boards can be overlooked during snowstorm, CERI examined a danger-warning system that employs light-emitting delineators capable of giving continuous warning.

A moving-image CG experiment with subjects and a driving experiment on a test road investigated the user acceptability of the danger-warning delineator. The experiments revealed the following:

- (1) During snowstorm, light-emitting delineators tend to be overlooked less than road information boards.
- (2) The greatest user acceptability was observed for light-emitting delineators installed at intervals of 25 - 30 m.
- (3) The danger warning light should be at a height less than 2.5 m. to avoid the risk of the light being overlooked.
- (4) Most of the subject drivers who saw the flashing warning light could imagine there was trouble ahead, even without being told in advance that the light signified hazard warning.

《キーワード: ITS:Light-emitting delineators:Winter road safety:Driving support system》

1. 研究の背景

積雪寒冷地の冬期道路は、滑りやすい雪氷路面や吹雪等による視界不良のため非常に厳しい運転環境にある。北海道全域の道路利用者に対して行った冬道でのヒヤリ体験アンケートの調査結果（回答者総数 1574 名）では1) 冬道での運転中、吹雪等による視界不良を、94%の人が経験したことがあると回答しており、その内91%の人が交通事故の危険を感じたと答えている。この結果を総合すると、8割以上のドライバーが吹雪の視界不良による交通事故の危険を感じていることになる。

また、吹雪時の事故は後続車からの発見が遅れやすいため、多重衝突事故に発展する事例も少なくない。図-1は、北海道内の多重衝突事故の発生件数の推移である。スリップ事故とともに視界不良事故が、増加傾向にあるのがわかる。

吹雪対策として、道路管理者は、防雪柵、防雪林などの整備を進めてきているが、依然として多重衝突事故は発生しており、ITS 技術を活用した冬期道路の安全対策に期待が寄せられている。

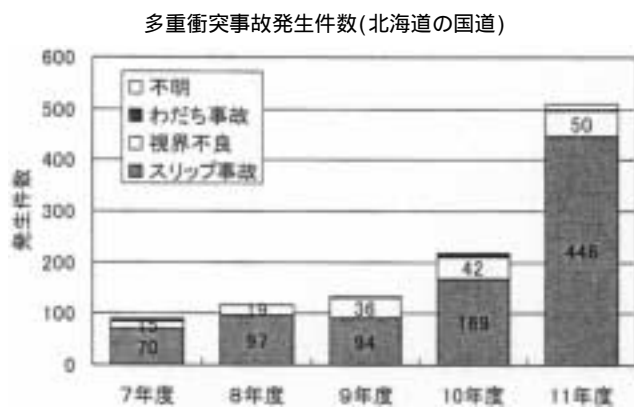


図-1 多重衝突事故件数の推移

北海道開発土木研究所では、寒冷地向けの走行支援システムとして、1994年頃から、ミリ波レーダ等、寒地型の障害検知センサの開発と、警告機能を有した自発光視線誘導標システムの開発など、寒冷地に特化したITS技術の活用を検討してきた。

本研究では、冬期道路の安全走行支援システム(冬期道路高度情報提供システム)について、その概要を説明し、自発光視線誘導標を用いた危険警告の有効性とユーザ受容性から見た仕様の検討結果について報告する。

2. 冬期道路高度情報提供システムの概要

先述のアンケートによると、視界不良時には、路側のスノーポールや、前走車のテールランプを頼りに走

行するドライバーが多く(図-2)、視線誘導の必要性が示唆される。また、吹雪時の走行中には、前後方向の追突の危険を感じるドライバーが多い。また、道路線形が視認困難なため、車線逸脱やそれに伴う対向車との衝突の危険を感じるドライバーも多い(図-3)。

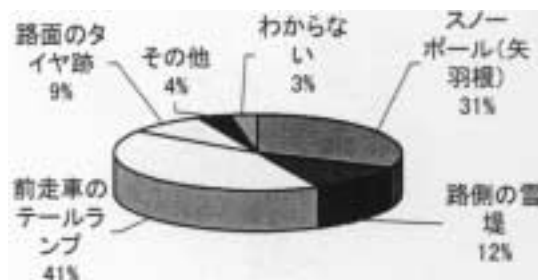


図-2 視界不良の中を走行する際に何を頼りにするか?

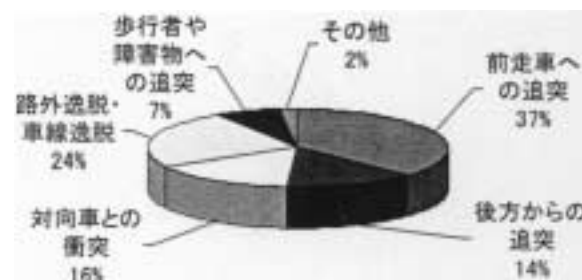


図-3 冬道の運転で視界不良を経験した際、どんな事故の危険を感じたか?

また、冬期事故については、多発区間は特定可能だが、その区間内で散在して発生する。このため、冬期道路高度情報提供システムでは、スポットではなく連続的なサービスが必要である。

一方、日本海側では、季節風による筋状の雪雲によって吹雪が発生するケースが多い。札幌都心部で晴れていても、10km 離れると吹雪になっている例は珍しくない。したがって、適切な迂回や出発のタイミングをずらすことで、かなりの吹雪を避けることが可能である。

以上の視点より、冬期道路高度情報提供システムを構成するサービスには、吹雪時の視線誘導と、多重衝突事故の誘因となる前方の停止車や低速車の検知など、連続的に危険警告するサービス(路側情報提供サービス)と、視程障害区間の迂回や出発時刻の変更など、ドライバーの適切な旅行判断を可能にする、道路気象情報提供サービス(広域情報提供サービス)が必要である。(図-4)。

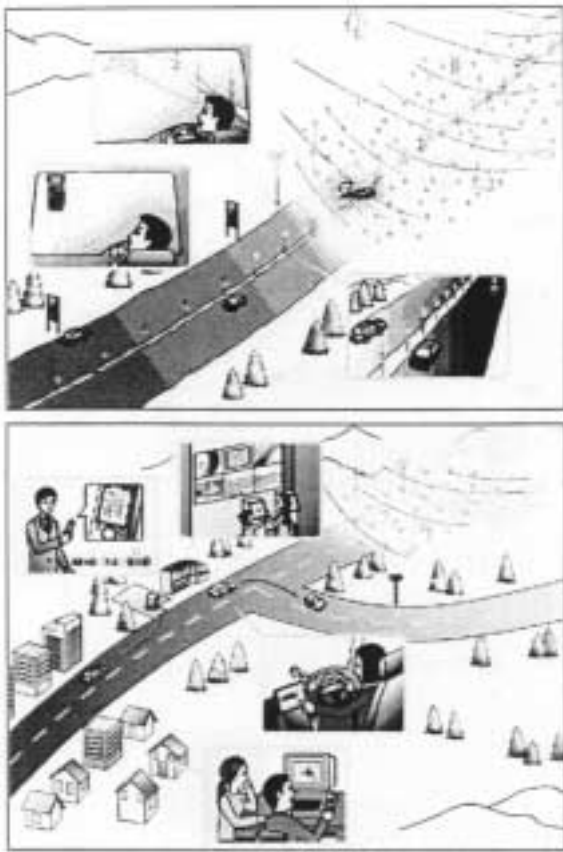


図 - 4 路側情報提供サービス(上図)と広域情報提供サービス(下図)のイメージ図

3. 研究の目的

著者らは路側情報提供サービスでは、自発光式視線誘導標で危険警告を行うことを想定している。

北海道開発土木研究所では、この自発光式視線誘導標を用いた視程障害時の危険警告システムに関する検討を行っており、既存研究により、危険警告については以下の点が明らかになった²⁾³⁾。

自発光式視線誘導標の発光による危険警告は、安全走行の支援に有効である。

短い周期の点滅の繰り返し、ドライバーに警戒感を与える。

危険警告を行う自発光式視線誘導標は、視線誘導部と危険警告部が分離したタイプのものが適する。

CG実験によると、視線誘導部の高さは、1.0～2.0mの評価が高く、危険警告部と視線誘導部の離れが0～1.0mで評価が高かった。

一方、課題として、自発光式視線誘導標による危険警告を見落とす危険性の把握や、自発光式視線誘導標を用いた危険警告システムの仕様(設置間隔、発光部の高さ等)の詳細な検討が必要である。さらに、発光

が危険警告であることの意味を知らないドライバーへの影響も把握する必要がある。本研究では、これらの課題を明らかにするため、動画CGを用いたアンケート調査や、実験用パイロットシステムを配備した試験道路における走行実験を行うとともに、アンケート調査を実施して、ドライバーが危険警告を見て何を想像するか、どのような行動をとるかを明らかにした。

4. 危険警告の見落とし率に関する実験

本実験では、自発光視線誘導標が他の装置に比べて、危険警告として有効であるかを調べるため、試験道路において、走行実験を行い、各種危険警告システムの見落とし率を評価した。

4.1 実験方法

実験は北海道開発土木研究所石狩吹雪実験場で行った。被験者は、65歳以上の高齢者ドライバー12名(うち女性4名)、65歳未満の一般ドライバー12名(うち女性4名)の計24名である。各被験者が図-5のコースを30周走行し、そのうち12周で自発光式視線誘導標(直線部)、自発光式視線誘導標(カーブ部)、路側情報板、車載器のいずれかによる危険警告を行った。被験者にはいずれかの危険警告に気付いた時点で、ハンドルに設置した押しボタンスイッチを押してもらうこととし、被験者の見落とし、危険警告の確認の遅れを記録した。なお、危険警告の発生順は被験者毎に異なるようランダムにした。

4.2 実験結果

実験による各々の危険警告システムの見落とし率を表-1に示した。

吹雪時には自発光式視線誘導標による危険警告の見落としが0回であった。これは自発光式視線誘導標が視線誘導機能も有しているため、吹雪時にドライバーの視線が集まりやすく、見落としが発生しづらいためと考えられる。一方、路側情報板は、吹雪時に見落としの発生する割合が高かった。これは、吹雪時には路側情報板の表示が読みとりづらく、さらに、視界不良によってドライバーの視線が、前方の道路上に集中するため、周囲への注意力が低下するためと考えられる。

また、高齢者が、自発光式視線誘導標の危険警告を見落とす事例は無く、自発光式視線誘導標を用いた危険警告が高齢者にとっても効果が高いことが分かった。

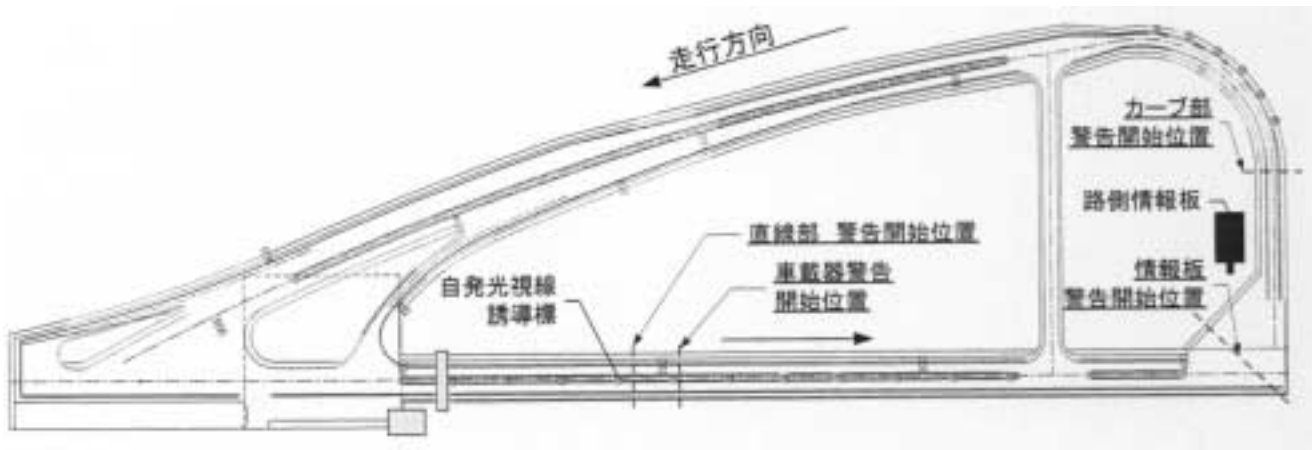


図 - 5 実車実験の概要

表 - 1 見落とし率の比較(吹雪時)

	被験者属性	データ数	完全見落とし	認識遅れ	見落とし率
視線誘導標(直線部)	一般	2	0	0	0.0%
	高齢者	7	0	0	
視線誘導標(カーブ部)	一般	2	0	0	0.0%
	高齢者	7	0	0	
路側情報板	一般	2	1	0	33.3%
	高齢者	7	2	0	
車載器情報(カーナビ)	一般	2	0	0	11.1%
	高齢者	7	0	1	

5 危険警告システムの仕様に関する調査

危険警告システムを開発して実際に配備するためには、機器の仕様や、設置方法などを明らかにする必要がある。仕様の策定に当たっては、まずドライバーの運転の妨げにならないことや、理解しやすいものであることが重要であり、これらの視点から、システムのユーザ受容性に関して調査を行った。

調査に当たっては、図 - 6 のような動画CGを作成して、これを被験者に見せて評価してもらう方法(CG実験)と、前述の石狩吹雪実験場に、実験システム(パイロットシステム)を設置して、被験者に実車を運転してもらって評価する方法(走行実験)の2つの実験を実施した。

著者らは、これまで、CG実験を通じて、自発光式視線誘導標による危険警告システムの一部の仕様について検討を行ってきた⁴⁾。

これによると、自発光式視線誘導標の設置位置について、路側設置と中央分離帯設置の両者を比較したところ、自発光式視線誘導標を設置した側の車線を走行

した場合に警戒感が強くなる傾向が顕著で、特に路側に設置した場合に、その傾向が大きいことが明らかになった。一方、快適性については、その逆に、設置側の車線を走行した場合に不快感を受ける傾向があり、誘導性に関しては、路側設置の方が若干高い評価を得られた。しかし、路側設置と中央分離帯設置との評価の差は少なく、設置位置については、その他の条件によって決定するものとした。

また、自発光式視線誘導標の視線誘導部の高さ、および、視線誘導部と危険警告部の離れに関して、危険警告の感じ方に関する評価を行った。その結果、視線誘導部と危険警告部の離れは、視線誘導部の高さが1.0m以上2.0m以下の範囲では、離れが0.5mの場合に最も高い評価を受けた。

本章では、これらの既存実験の流れを受けて、新たに自発光式視線誘導標の設置間隔(CG実験)、発光パターン(走行実験)、視線誘導部と危険警告部の離れおよび視線誘導部の高さ(走行実験)について、調査を行ったので報告する。



図 - 6 動画CGの例

5.1. 動画CGを用いた被験者実験

CG実験によって危険警告を行う自発光式視線誘導標の設置間隔の検討を直線部を想定して行った。被験者は、55名で、うち高齢者（男性のみ）が15名、女性が15名である。

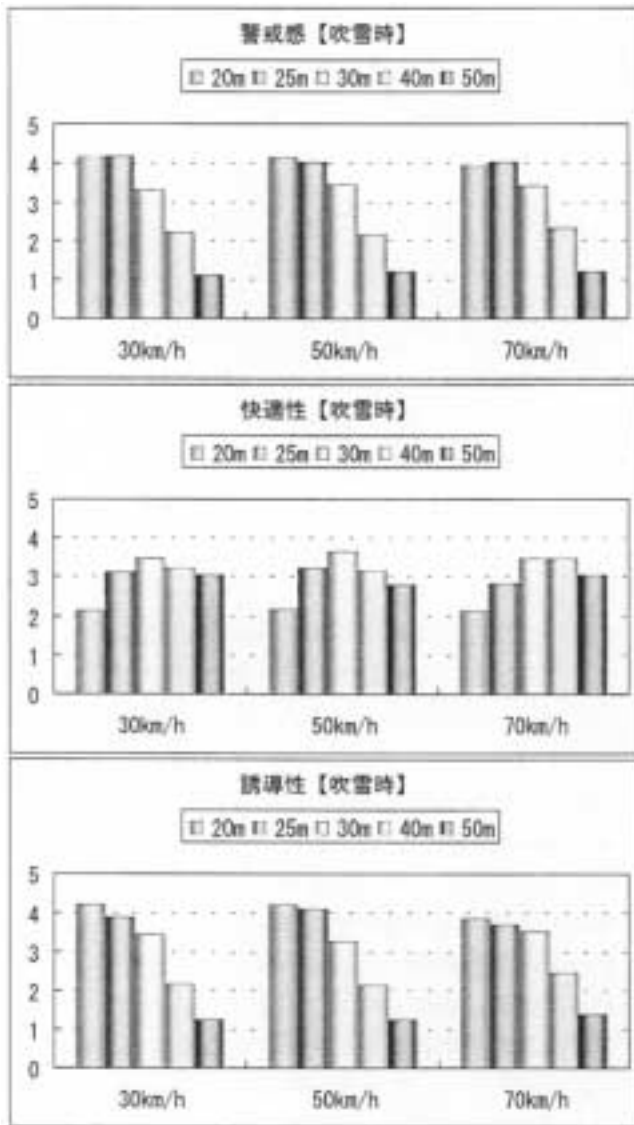


図 - 7 吹雪時における、設置位置による各観点から見た評価の優劣(被験者の平均値、ランク5が最高の評価)

実験では、500m毎に、20m、25m、30m、40m、50mの順で間隔が長くなるように設置間隔を変化させ、車速度が、30km、50km、70kmの3条件で動画CGを作成した。このCGを用いて被験者実験を行った結果、設置間隔が短いほど、ドライバーの警戒感と誘導性が高くなる傾向にあることがわかった。ランク3以上の評価を目標とすると、警戒感と誘導性は、設置間隔が20~30mの場合に評価ランク3以上を満足

する。また、快適性は、70kmでの走行時において、25mの設置間隔の場合に評価ランクが3以下になっていることを除くと、設置間隔が25~40mにおいて、評価ランク3以上を満足する。これらの結果から、ユーザ受容性の面からは直線部では25~30m程度の設置間隔が適当と考えられる(図-7)。

5.2. 試験コースにおける走行実験

危険警告部の点滅パターンや、発光部の離れによる、見落とし率や運転挙動への影響を把握するため、図-5に示した石狩吹雪実験場において、実車による走行実験を行い、警告の見落としと運転挙動の調査を行った。なお、実験では、自発光式視線誘導標によって危険警告を行った上で、障害物を発生させ、制動挙動などを計測した。

(1) 危険警告部の点滅パターンの比較

見落とし率に関する実験では、危険警告部を一定間隔で毎分60回点滅させた場合と、3回の点滅を1セットとして、毎分60回(20セット)点滅させる場合の2つの点滅パターンで実験を行った。以下では、前者を「1回点滅」、後者を「複数回点滅」と呼ぶことにする(図-8)。その結果、見落とし率に関しては、点滅方法による差は確認されなかった。また運転挙動実験においても、1回点滅と複数回点滅での差異は確認できなかった。

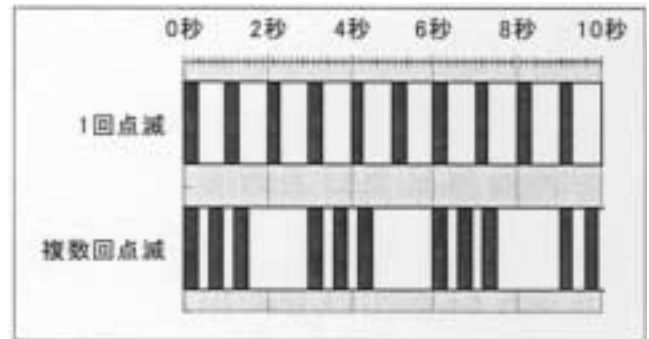


図 - 8 . 発光点滅パターン(白が消灯時)

一方、実験を終えたドライバーに、1回点滅と複数回点滅の警戒感、発光の気付きやすさなどをアンケート調査した結果、1回点滅と比較して、複数回点滅の方が発光に気付きやすく、警戒感が高いという回答を得た(図-9)。また、運転のしやすさに関しては、大きな差はなかったものの、1回点滅に比べ複数回点滅の評価がやや高かった。

(2) 自発光式視線誘導標の設置位置

視線誘導標の設置位置に関しては、過去のCG実験⁴⁾では路側設置、中央分離帯設置の両者について優劣は確認できなかった。そこで、直線区間において両条件での走行実験を行ったが、運転挙動の差は小さく、ここでも優劣を判断することはできなかった。



図 - 9 1回点減と複数回点減の聞き取り結果

(3) 視線誘導部と危険警告部の離れ

視線誘導部と危険警告部の離れについては、過去のCG実験⁴⁾では、0.5mの評価が高かった。そこで、離れが0.25mと0.5mの2つの条件で危険警告の見落とし率と運転挙動の比較を行ったが、発光部の離れの違いによる、明らかな差異は確認できなかった。

(4) 視線誘導部の高さ

視線誘導部の高さについては、過去のCG実験⁴⁾より、1.5~2.0mの評価が高かった。そこで発光部の離れを0.5mに固定し、視線誘導部の高さ1.5mと2.0mの条件で、危険警告の見落とし率と運転挙動の比較を行った。直線区間に関しては、視線誘導部の高さが1.5mに比べ2.0mの場合に、減速挙動の開始が若干早くなる傾向が見られたが、明らかな差は確認できなかった。一方、カーブ区間では、視線誘導部の高

さが2.0mの場合に危険警告の見落としが12事例中3例と多く見られた。また、図-10のように、運転挙動実験時においても、カーブ入口と障害物での速度差が大きい事例(障害物付近での急減速を行っている事例)が、視線誘導部の高さ2.0mの条件で確認されており、危険警告の見落としや、認識が遅れる可能性が示唆される。

カーブ区間において、視線誘導部の高さが1.5mの自発光式視線誘導標に比べ2.0mのものが劣る原因としては、後者の場合、危険警告部の高さが2.5mとなる一方で、視線がカーブ内側の下方向に向くため、危険警告部が視線から大きくはずれることが考えられる。

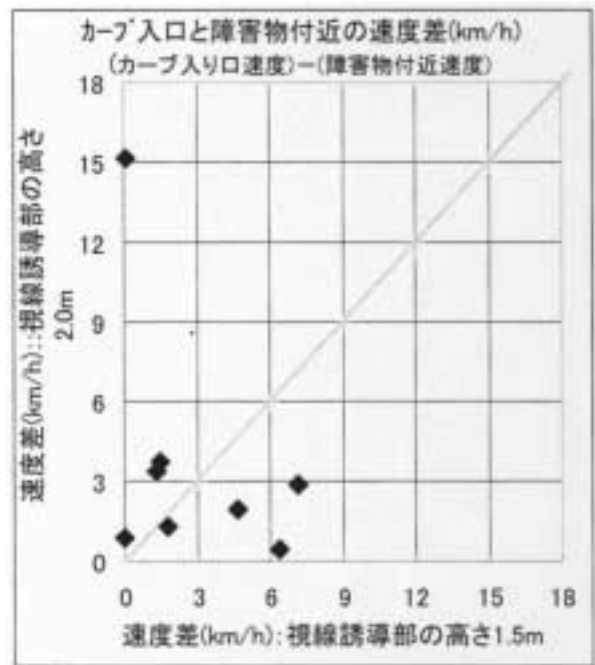


図 - 10 カーブ入口と障害物付近での速度差

6. 危険警告システムの認識

自発光視線誘導標を用いた危険警告システムを導入するにあたって、初めて危険警告を見たドライバーが、その意味を認識できるか明らかにする必要がある。自発光視線誘導標上部(危険警告部)の点滅発光の意味を知らせていない39名(うち女性13名、高齢者6名)の被験者に対し、視線誘導標上部が点滅発光しているビデオ画像を示し、アンケート調査を行った。

『自発光式視線誘導標(デリニエータ)の上部が点滅しましたが、吹雪時に一般の道路を走行してこのように点滅していた場合、何を想像しますか?(最大3つまで選択可)』の問いに対して図-11に示す回答が得られた。

図 - 11 より、「この先で吹雪などによる視界不良」という回答が最も多かった。これは質問が吹雪時を想定していることによる影響も大きいと考えられる。次に「前方のカーブ」「前方の障害物」という回答が多く、約半数の被験者から回答を得た。

この回答は、自発光式視線誘導標による危険警告の目的とほぼ一致しており、自発光式視線誘導標の点滅による危険警告が大半の方々に認識されることが示された。

自発光式視線誘導標の点滅に対して前方の障害事象（視界不良、カーブ、障害物）を想像する被験者が多いことが示されたが、その被験者がどのような運転挙動を示すかということも重要である。

そこで『吹雪時に道路を走行中、このように自発光式視線誘導標（デリニエータ）の上部が点滅したとすると、どのように運転しますか？（1つ選択）』との質問をした。これに対して図 - 12 のような回答を得た。

図 - 12 より、「警戒してやや減速して走行する」被験者が最も多く、66%を占めた。「徐行する」被験者を含めると、74%に達する。また「警戒するがそのまま走行する」「そのまま走行する」被験者も26%いるが、「停止する」被験者はおらず、自発光式視線誘導標によって、極端な運転挙動が発生する可能性は低いことが示された。

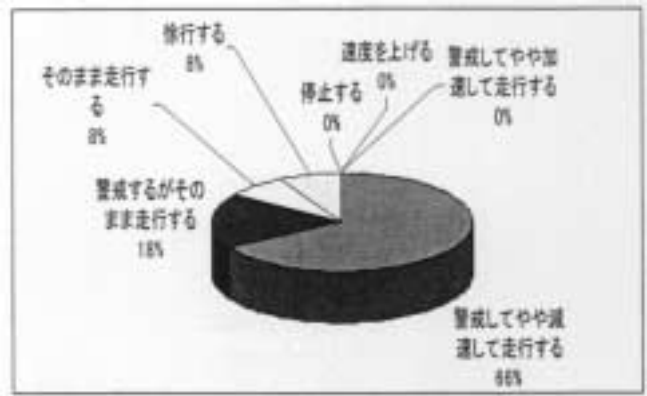


図 - 12 自発光式視線誘導標点滅後のドライバーの運転挙動

7. まとめ

本研究では、危険警告システムとしての自発光式視線誘導標の有効性と、自発光式視線誘導標の基本的な仕様について検討を行った。

試験道路で、自発光式視線誘導標の有効性に関する走行実験を行った。その結果、自発光式視線誘導標による危険警告は、連続的に警告を行うため、吹雪時に情報板と比較して、ドライバーに見落とされる可能性が低いことが明らかになった。

次に、冬期道路高度情報提供システムにおける自発光式視線誘導標の基本的な仕様を求めるため、動画CGや、試験道路における被験者実験によって自発光式視線誘導標を用いた危険警告に対するドライバーのユーザ受容性を調査した結果、以下の点が明らかになった。

自発光式視線誘導標の設置位置については、路側と中央分離帯で明確な差異は無い。また、設置間隔については、CG実験から直線部では、25～30m 程度の間隔で、危険警告に対するドライバーのユーザ受容性が高い。

試験道路における走行実験によると、危険警告部が2.5m のケースではカーブ部において見落としの危険性がある。

発光パターンについて、1回点滅と複数回点滅を比較したところ、走行実験では差異は見られない。しかし、アンケート調査では、複数回点滅の評価が高い。

また、自発光式視線誘導標の点滅発光の意味を知らないドライバーへの影響を調べるため、発光による危険警告の意味を知らせていない被験者に、危険警告を行っているビデオ画像を見せた後にアンケートを行った。その結果、吹雪時に点滅発光を見た被験者の多く

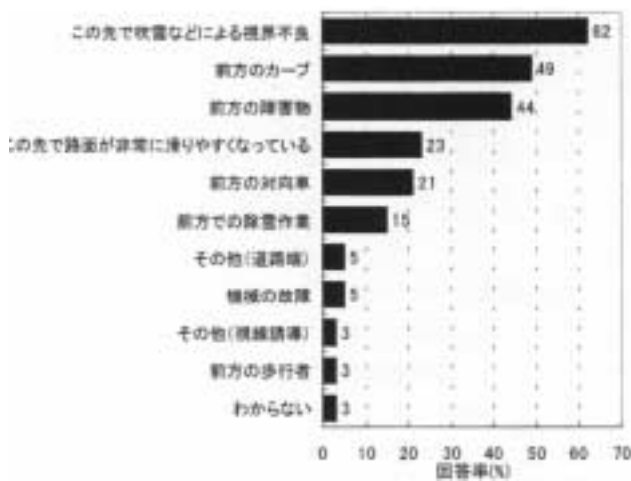


図 - 11 自発光式視線誘導標の点滅から何を想像するか

は、前方に障害事象（視界不良や障害物など）があることを想像する。また、点滅発光によって、減速を行う（徐行する）と答えた被験者が74%いたものの、停止すると答えた被験者はおらず、極端な運転挙動が発生する可能性は低いと考えられる。

8. 今後の課題

これまでの研究で、冬期道路高度情報提供サービスの有効性が明らかになるとともに、システムの基本仕様はほぼ定まった。今後は、室内実験から実道に実験の場を移し、まだ明らかにされていない実道走行時における、ユーザ受容性を調査し、実用システムの仕様と設計値の妥当性について検討する予定である。加えて、ドライバーへのシステム周知、費用対効果の試算なども含めた具体的な導入に関する問題点の検討も行っていく予定である。

謝辞

本研究に関して、（財）日本気象協会北海道支社の永田楽浩氏、および（株）ドーコンの内藤利幸氏には、実験の実施、実験データのとりまとめなどにご助力いただいた。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 金子学、加治屋安彦、福澤義文(1998): 冬期道路管理の安全走行システムに対する利用者ニーズ(第一報) - 冬道でのヒヤリ体験に関するアンケート調査から -、第41回北海道開発局技術研究発表会、平成10年2月。
- 2) 金子学、松沢勝、加治屋安彦、太田祐司、内藤利幸、丹治和博: 冬期道路高度情報提供システムのユーザ受容性に関する基礎検討(その1) - ビデオ、CGを用いた被験者実験 -、第16回寒地技術シンポジウム、2000年11月。
- 3) 松沢勝、金子学、加治屋安彦、丹治和博、永田泰浩: 冬期道路高度情報提供システムのユーザ受容性に関する基礎検討(その2) - 実車を用いた被験者実験 -、第16回寒地技術シンポジウム、2000年11月。
- 4) Matsuzawa M., Kajiya Y. and Kaneko M., : Development of a Pilot System for the Cold-Region AHS (Advanced Cruise-Assist Highway Systems), 8th World Congress on ITS, Chicago, Oct. 14-17, 2002 (CD-ROM).



松沢 勝*
Masaru MATSUZAWA

北海道開発土木研究所
道路部
防災雪氷研究室
副室長



加治屋 安彦**
Yasuhiko KAJIYA

北海道開発土木研究所
道路部
防災雪氷研究室
室長



鈴木 武彦***
Takehiko SUZUKI

北海道開発土木研究所
道路部
防災雪氷研究室
研究員