

固定カメラと車載カメラによる 冬期道路管理向け視界情報評価に関する研究

中村 裕貴¹・萩原 亨²・永田 泰浩³

¹正会員 西日本旅客鉄道株式会社 (〒530-8341 大阪市北区芝田2丁目4番24号)

E-mail:yuki-nakamura@eis.hokudai.ac.jp

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

E-mail:hagiwara@eng.hokudai.ac.jp

³正会員 一般社団法人 北海道開発技術センター (〒001-0011 札幌市北区北11条西2丁目2-17)

E-mail:nagata@decent.or.jp

冬期の北海道では、暴風雪による道路交通障害や事故リスクが高まる。これまで、固定カメラ画像に WIPS という評価値を与え、気象レーダーでは検知が難しい視界不良事例に対する WIPS の利点を明示した。一方、固定カメラのデメリットとして、ドライバーの目線と異なることなどが挙げられる。そこで、車載カメラ映像を視界評価に加え、デメリットの補完を考えた。車載カメラのメリットとして、道路路線に沿った視界評価が可能になり、道路管理の支援に有為かを実証するために、カメラ画像の分析と WIPS とドライバーの視認性に関する評価実験を行った。その結果、WIPS はドライバーの視認性を評価しており、WIPS はドライバーの視線に近い状況を把握できることがわかった。視界不良は特定の場所のみならず、同時に複数箇所が生じる場合などがあり、固定カメラと車載カメラを合わせることで、より多面的な視界状況を把握できることが明らかとなった。

Key Words : driver's visibility, road management, WIPS

1. はじめに

冬期の北海道では、発達した爆弾低気圧による暴風雪被害が発生する。道路上では、暴風雪による視界不良が発生し、車両の通行を妨げたり事故のリスクが高まるなど人々の暮らしに影響を及ぼすことから、気象による障害や被害を最小限にすることが求められている。

地上の視界不良を知るため、永田・萩原らは固定カメラの画像から視界情報を自動的に算出し、道路管理者に視界情報を提供するシステムを構築した¹⁾。また、星野らは視界情報のみならず、吹雪量や吹き溜まり高さの推計技術の開発²⁾に関する研究なども行っている。視界情報の提供には、画像内の人間のコントラスト感度特性が高い空間周波数帯域においてパワースペクトルを抜き出し、その対数の合計により算出される、Weighted Intensity of Power Spectra (以降、WIPS) という定量的な評価指標を用いた。視界情報提供システムの構築のみならず、吹雪量や吹き溜まり高さの推計技術の開発に関する研究などを行った。一方、中村らは視界情報提供システム的应用による道内道路上の固定カメラ画像を用いた解析処理を

行った。その結果、GPV などの気象レーダーでは検知が難しい視界不良の事例に対し、WIPS による地表からの検知では視界不良を捉えており、固定カメラを用いた視界評価の利点を明示した³⁾。しかし、これら固定カメラを用いた視界情報収集のデメリットとして、固定カメラからの視野がドライバー目線と異なること、固定カメラが設置されていない箇所での状況が把握できないことがある。また、固定カメラの新規設置は、費用面の課題から難しい。このため、路線について細かく視界情報を収集することが固定カメラでは困難といえる。

そこで、固定カメラからの視界評価に車載カメラの映像を加え、そのようなデメリットを補完することを考えた。車載カメラのメリットとして、道路管理用の車両に常時記録するドライブレコーダーがすでに搭載されており、管理している路線全体の視界情報を把握できると考えられる。また、バスや物流トラックなどの車載カメラの利用も可能であり、時間的・空間的に密な視界情報の提供が可能となる。本研究では、車載カメラ映像による視界状況の分析や、走行映像に対するドライバーの視認性評価実験、固定カメラと車載カメラの走行映像の比



図-1 分析対象データのマップ

較・検証を行い、WIPS による視界評価が道路管理の支援に有為であるかを検証した。

2. 分析対象とWIPS

(1) 気象観測点

視界不良は風による影響を受けることがあるため、3章では固定カメラに近い気象観測点のデータを分析に用いた。対象の地域気象観測システムの観測点は、豊富アメダス(図-1の緑丸)の平均風速と最大瞬間風速のデータを用いた。

(2) WIPSについて

萩原らにより検討された WIPS は、固定カメラで視界状況を推定するための評価指標として提案され、以下の手順で求められる⁹⁾。

- ・最初に、720ピクセル×480ピクセルの画像を輝度値のグレースケール画像に変換する。
- ・次に、グレースケール画像から、WIPS を算出したい256ピクセル×256ピクセルの画像を切り出す。
- ・そして、切り出した画像の輝度値の分布を読み取り、二次元フーリエ変換を行うことにより空間周波数成分に分解する。
- ・最後に、人間の目で見て感じ取れる空間周波数領域に対してパワースペクトルを算出し、それらの対数値を合計して WIPS とする。

WIPS の値が大きいほど、コントラストの対比が鮮明で、画像の視界状況は見えやすい。吹雪や霧の状態になると、画像内の対象物があいまいとなり、値は低くなる。

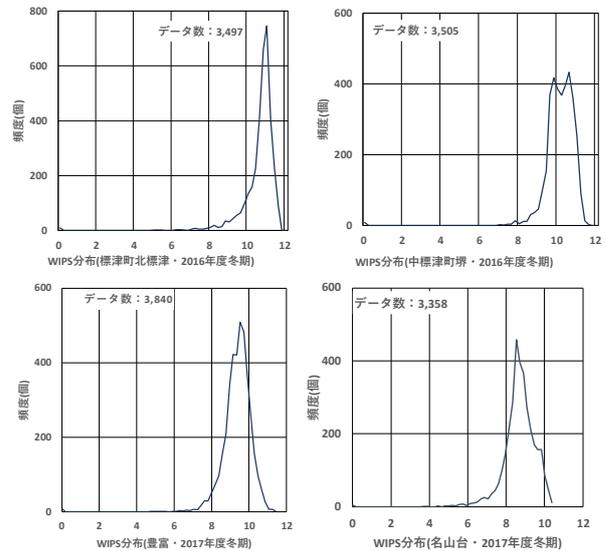
(3) WIPSの算出位置

WIPSは、カメラ画像から切り出された256ピクセル×256ピクセル画像の位置によって空間周波数が異なり、WIPS値は変化する。カメラ画像に対するWIPSは、切り出す位置により、路肩側の電柱・電線・建物・看板などの影響で数値が高く算出されることがあるため、本研究ではより運転者の視線に近い感覚で評価するために、図-2に示す画像中央部から256ピクセル×256ピクセルで切



図-2 WIPSの算出位置

(1) 冬期全体



(2) 視界不良時

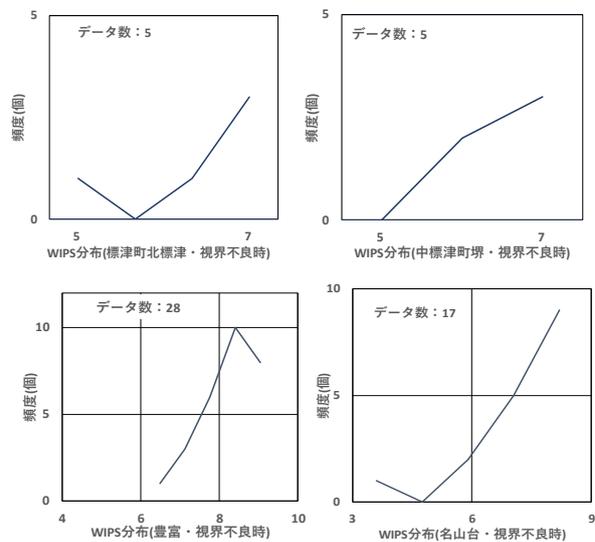


図-3 固定カメラのWIPS分布

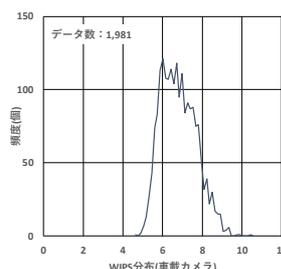


図-4 車載カメラのWIPS分布

り出した WIPS 値を分析に用いることにした。なお、車載カメラの画像を切り出す際に、ワイパーが入らないように画像を抽出し、フロントガラスの対象物による影響を受けないようにしている。また、走行映像において、車載カメラ前方を先行車が走行していた場面はなかったため、先行車が対象物となることによる影響は受けていない。

(4) 固定カメラの分析対象とWIPS

固定カメラの分析には、図-1に示す北海道開発局稚内開発建設部管理の国道 40 号豊富カメラ、名山台カメラ(図-1の赤丸)を用いた。固定カメラの分析対象期間は、2017年12月1日～2018年2月28日(うち2018年1月22日～1月27日頃、一部画像データが欠損)であり、15分間隔で撮影される画像を分析に用いた。なお、固定カメラとは Closed-circuit Television Camera カメラ(CCTV カメラ)のことを指す。

図-3(1)は、既存研究³⁾で分析に用いた2016年度冬期(2016年12月1日～2017年2月21日)標津町北標津カメラと中標津町堺カメラ、本研究で分析に用いた2017年度冬期(2017年12月1日～2018年2月28日)の豊富カメラと名山台カメラのWIPSの頻度分布である。図-3(2)は、上記期間のうちの視界不良時(2016年度が2016年12月6日・9日・11日・2017年1月23日、2017年度が2017年12月11日・27日・2018年2月22日)のWIPSの頻度分布である。

データ数は、2016年度と2017年度冬期のデータ数がそれぞれ3,497個(標津町北標津カメラ)、3,505個(中標津町堺カメラ)、3,840個(豊富カメラ)、3,358個(名山台カメラ)である。一方、視界不良時のデータ数が、2016年度がそれぞれ5個(標津町北標津カメラ・中標津町堺カメラ)、2017年度がそれぞれ28個(豊富カメラ)、17個(名山台カメラ)である。冬期のWIPSは8～11に分布が多く、視界不良時には5～8へ分布が多くなった。

(5) 車載カメラの分析対象とWIPS

車載カメラの分析には、固定カメラの付近を走行する北海道開発局稚内開発建設部管理の国道 40 号豊富～幌延間の映像(図-1の青線と青丸の区間)を用いた。車載カメラの分析対象期間は、2018年1月21日午後13時10分～13時45分であり、この時間内の走行映像から1秒間隔で画像を切り出し分析に用いた。図-4は車載カメラの走行映像のWIPSの頻度分布である。車載カメラのWIPSは、全体のデータ数が1,981個あり、視界不良が発生した時間帯に走行・撮影したため、WIPSの分布は6～8に多くなった。このように、カメラの撮影構図が異なっても、WIPSの数値分布は同様の結果になった。

3. 固定カメラの分析

(1) 2017年12月11日

図-5の事例は、2017年12月11日の午前中に捉えた視界不良である。図-5(1)は、12月11日の最大瞬間風速(豊富アメダス)とWIPSを示している。図-5(2)は、そのときの画像であり、画像内の赤枠はWIPSを算出した切り出し位置である。午前9時15分、名山台カメラのWIPS値は6.8まで低下し、画像からも視界不良を確認できる。午前中の気温は氷点下2～0℃を推移し、午前8時30分には0.5mmの降水が観測されていた。また、午前9時10分の最大瞬間風速は11.2m/sであり、風により降雪した雪が舞い上げられ生じた視界不良を推定できた事例といえる。

(2) 2017年12月27日

図-6の事例は、2017年12月27日に捉えた視界不良である。図-6(1)は、12月27日の最大瞬間風速(豊富アメダス)とWIPSを示している。図-6(2)は、そのときの画像であり、画像内の赤枠はWIPSを算出した切り出し位置である。午前11時45分、豊富カメラのWIPS値は7.0まで低下し、画像からも視界不良を確認できる。午前11時45分前後の時間帯における気温は0～1℃で、視界不良時に降水は観測されていなかった。また、午前11時40分の最大瞬間風速は11.0m/sであり、風により生じた視界不良を推定できた事例といえる。

(3) 2018年2月22日

図-7の事例は、2018年2月22日午後に捉えた視界不良である。図-7(1)は、2月22日の最大瞬間風速(豊富アメダス)とWIPSを示している。図-7(2)は、そのときの画像であり、画像内の赤枠はWIPSを算出した切り出し位置である。午後14時15分、豊富カメラと名山台カメラのWIPS値はそれぞれ6.5と5.7まで低下し、画像からも視界不良を確認できる。さらに、午後14時30分には名山台カメラのWIPS値は3.6まで低下し、視界不良を捉えていた。午後14時頃の気温は氷点下5℃で、時折0.5mmの降水が観測されていた。最大瞬間風速は、午後14時10分に8.2m/s、午後14時30分には10.1m/sを観測していた。午前から午後にかけて風速が上昇し、風雪による視界不良の発生事例といえる。

このように、固定カメラでは風速の上昇に伴い発生する視界不良を捉えることができる。しかし、固定カメラの画像は道路上部から撮影されるため、路肩側の電柱・電線・看板などの影響を受け、視界不良時でもWIPSが高くなる場合がある。また、走行中のドライバーが感じる視認性などに近い、空間的な前方の見通しを的確に把握することは難しい。

(1)風速(豊富アメダス)とWIPS[12月11日]



(2)視界の変化[12月11日](上:豊富 下:名山台)



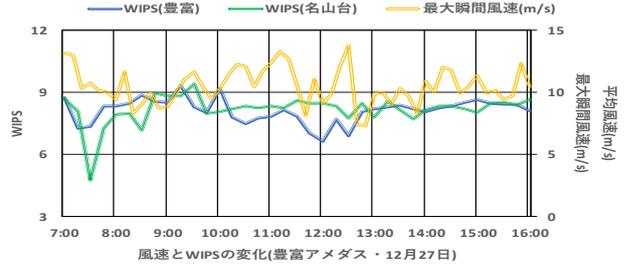
9:15 WIPS:8.6 10:00 WIPS:8.2 10:45 WIPS:8.4



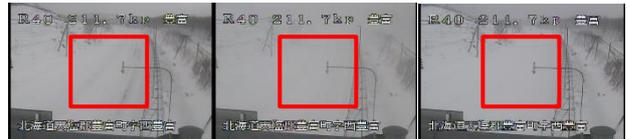
9:15 WIPS:6.8 10:00 WIPS:7.3 10:45 WIPS:8.8

図-5 気象と視界の変化[12月11日]

(1)風速(豊富アメダス)とWIPS[12月27日]



(2)視界の変化[12月27日](上:豊富 下:名山台)



10:45 WIPS:7.7 11:45 WIPS:7.0 12:45 WIPS:8.1



10:45 WIPS:8.2 11:45 WIPS:8.5 12:45 WIPS:8.4

図-6 気象と視界の変化[12月27日]

4. 車載カメラの分析

車載カメラでは、北海道開発局稚内開発建設部管理の国道40号豊富～幌延間の映像のうち、固定カメラ(豊富)付近から固定カメラ(名山台)付近までを走行する映像を分析した。図-8(1)は、車載カメラのWIPS変化と、分析に用いた映像の撮影・走行区間を示している。図-8(2)と(3)は、車載カメラの各時刻ごとの走行位置と、そのときの画像とWIPSである。画像内の赤枠はWIPSを算出した切り出し位置である。

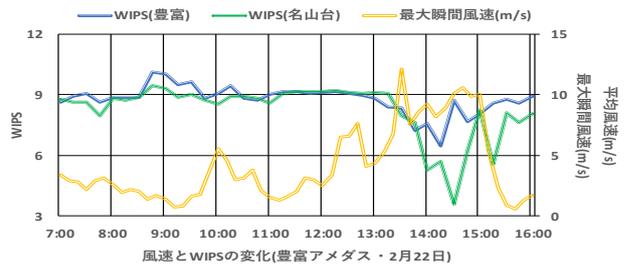
午後13時14分、車載カメラのWIPS値は5.7まで低下し、画像からも視界不良を確認できる。その後、車載カメラの視界は一時回復したが、13時22分になるとWIPS値はふたたび5.3へと低下し、視界不良が発生した。豊富アメダスによると、午後13時10分～50分における気温は氷点下11℃で、降水は観測されていなかった。また、最大瞬間風速は8.7～12.5m/sであり、走行中に風により生じた視界不良を推定できた事例といえる。

5. ドライバーによる視認性評価実験

(1) 実験の概要

車載カメラ画像のWIPSがドライバーの視認性や視界状況をどのくらい評価できるのかを調べるために、2018年7月と2019年1月に北海道大学と北海道開発技術センターで、視程距離や前方の見やすさなどに関する評価実験を行った。どちらの実験も、冬期道路を走行している映

(1)風速(豊富アメダス)とWIPS[2月22日]



(2)視界の変化[2月22日](上:豊富 下:名山台)



13:30 WIPS:8.3 14:15 WIPS:6.5 14:30 WIPS:8.7



13:30 WIPS:8.0 14:15 WIPS:5.7 14:30 WIPS:3.6

図-7 気象と視界の変化[2月22日]

像をスクリーンに映写し、12名のドライバーがどれほど運転しやすいか、どのくらい前方を見通せるかを評価した。なお、実験において夏期の道路とは比較せず、冬期道路の運転時で評価するようにした。

2018年7月の実験では、冬期道路の直線区間を走行する映像をWIPS値の平均と視程値が最大・最低・最大と

最低の中間に最も近いものを選択し、WIPSと視程距離(計測値)の関係を分析した。この実験により、WIPSは視程値とドライバーの評価に近いかを検証した。

2019年1月の実験では、冬期道路の直線区間の他にカーブ区間、対向車とのすれ違い、交差点の通過を加え、映像の分類はWIPSのみで行った。この実験では、視程値を用いなくても、WIPSのみでドライバーの視認性を評価できるのかを検証した。

また、2018年7月の実験では走行映像に対するドライバーの視認性を評価したのに対し、2019年1月の実験では、固定カメラと車載カメラを比較・検討するために、固定カメラ画像の付近を走行する映像を用いたため、それぞれ異なる映像を用いている。

(2) 評価項目

実験で用いた評価項目については、以下のとおりである。

- ・視程：前方に映し出された映像の視界が、何メートル先まで見えるかを50m未満、50～100m未満、100～200m未満、200～500m未満、500m以上の5段階で評価
- ・前方の見やすさ：映像を見たドライバーがどの程度前方を見やすいかを、前方が見づらい～前方が見やすいの7段階で評価
- ・運転のしやすさ：映像を見たドライバーがどの程度運転しやすい視界状況かを、運転がしにくい～運転がしやすいの7段階で評価

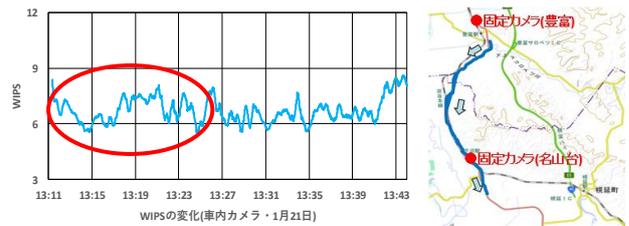
(3) 実験結果

図-9(1)と(2)は、各実験のドライバーの視認性評価とWIPSの相関関係を示したものである。なお、各実験ではWIPSと視程値により分類した21本の映像、WIPSのみで分類した22本の映像をそれぞれ評価に用いており、ドライバーによる回答数は、それぞれ252個、264個である。

2018年7月の実験では、WIPSと視程値で分類した映像のWIPSとドライバーの視認性評価の相関が、視程距離では0.81、前方の見やすさでは0.93となった。2019年1月の実験では、車載カメラ映像の種類によらず、WIPSのみで分類した映像のWIPSとドライバーの視認性評価の相関が、視程距離では0.51、前方の見やすさでは0.65となった。また、図-9(3)に示す映像種別ごとの結果では、直線区間とカーブ区間の視程距離はそれぞれ0.60と0.53、前方の見やすさはそれぞれ0.75と0.71となり、ドライバーの評価に道路線形は影響しなかった。一方、対向車とのすれ違いや交差点通過時には、視程距離は0.14、前方の見やすさは0.16となった。

このことから、視程値を用いなくても、直線区間やカーブ区間では、WIPSによりドライバーの視認性に近い視界評価をできることがわかった。そのため、車載カメ

(1)WIPSの変化と分析対象時間の走行位置[車載カメラ]



(2)各時刻の走行位置[車載カメラ]



(3)視界の変化[車載カメラ]

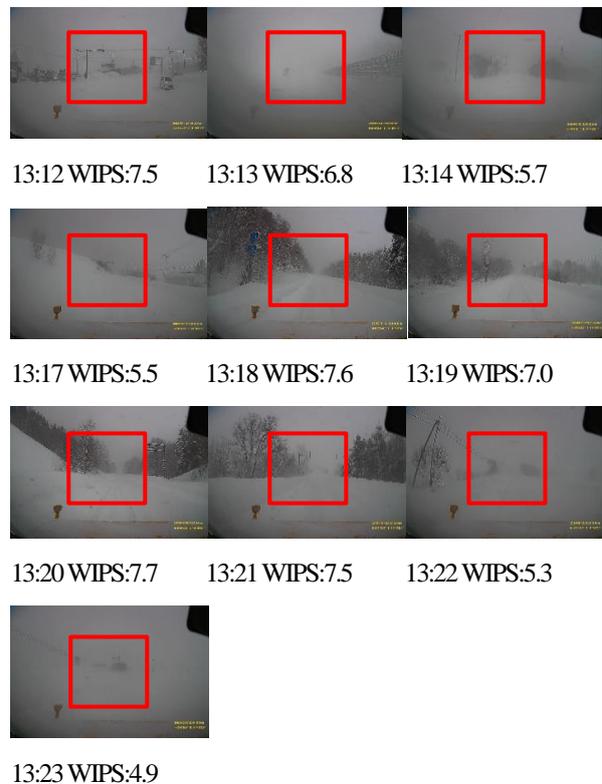


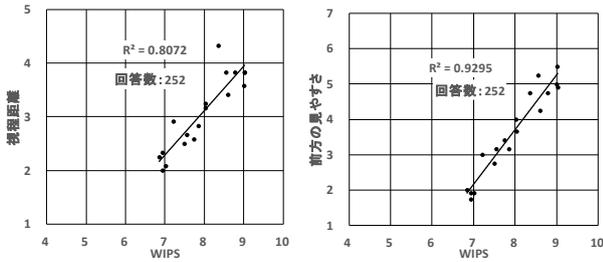
図-8 車載カメラのWIPSと走行位置・視界の変化

ラ映像のWIPSで、直線区間やカーブ区間を走行している視界状況を分析し、固定カメラと合わせることで、多面的な視界評価を行った。

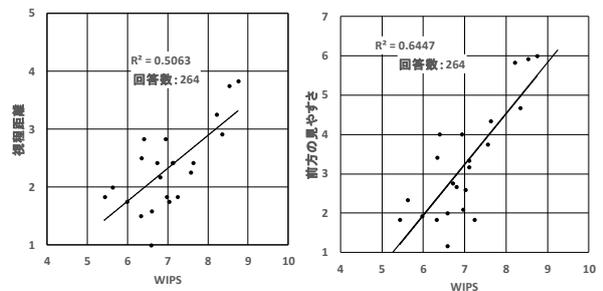
6. 車載カメラと固定カメラの比較

図-10(1)は、2018年1月21日午後13時～14時にかけての固定カメラと車載カメラのWIPSの変化を示したものである。図-10(2)は、車載カメラの時刻と走行距離に対応するWIPSの変化を表す3次元図であり、図の床面にある左側の赤い棒線は、車載カメラが豊富カメラに最も近い位置を走行した時刻、中央と右側の赤い棒線は、同様に車

(1)評価結果[WIPSと視程値による分類]



(2)評価結果[WIPSのみによる分類]



(3)映像種類別の WIPS とドライバーの評価との相関

評価項目	視程	運転のしやすさ	前方の見やすさ
種別(回答数)	決定係数		
全体(264)	0.51	0.69	0.65
直線区間(84)	0.6	0.77	0.75
カーブ区間(84)	0.53	0.71	0.71
対向車と交差点(96)	0.14	0.34	0.16

図-9 各実験の評価結果

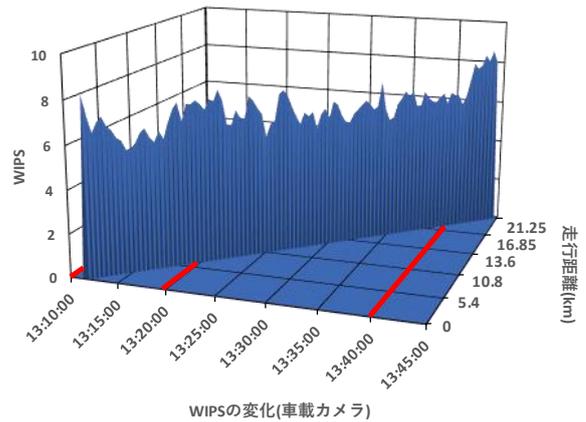
載カメラが名山台カメラの近傍を走行した時刻を表している。図-10(3)~(6)は、各カメラの位置情報と、午後13時15分、午後13時30分、午後13時45分のそれぞれの画像である。画像内の赤枠はWIPSを算出した切り出し位置である。午後13時~13時30分にかけて、豊富カメラの視界は良好だが、名山台カメラでは視界不良が発生し、WIPSは5.3や5.4と低い値を示していた。午後13時45分になると、豊富カメラでもWIPSは8.0となり、視界不良が発生した。なお、豊富カメラのWIPSが視界不良時でも8.0だったのは、画像内の電線ケーブルが対象物として切り出し位置内に入ったためと考えられる。一方、車載カメラのWIPSは午後13時15分に5.9、午後13時30分に6.6となり、画像からも視界不良を確認できるが、午後13時45分には7.9となり視界も保たれていた。

このように、車載カメラによる視界の変化は、固定カメラと比較して走行中に撮影されるため、画像内の景観が連続的に変化する。そのため、固定カメラのWIPSの変化よりも車載カメラのWIPSの変化は大きいですが、定点に設置され同じ撮影構図からの視界変化を把握する固定カメラよりも、道路前方の視界が変化の様子を捉えている。このことから、車内カメラのWIPSを用いた視界状況の判別は、より実際の運転感覚に近い視界状況を把握することができ、固定カメラでは難しい時間的・空間的に密な視界情報の提供に有効であると考えられる。

(1)WIPSの変化[車載カメラ・固定カメラ]



(2)WIPSの変化と走行距離[車載カメラ]



(3)各カメラの位置情報



(4)視界の変化[13時15分]



豊富 WIPS:9.0 車載 WIPS:5.9 名山台 WIPS:5.3

(5)視界の変化[13時30分]



豊富 WIPS:9.0 車載 WIPS:6.6 名山台 WIPS:5.4

(6)視界の変化[13時45分]



豊富 WIPS:8.0 車載 WIPS:7.9 名山台 WIPS:5.4

図-10 各カメラのWIPSと走行位置・視界の変化

また、車載カメラの視界状況と固定カメラの視界状況は、同じ分析対象区間内でも位置や時間により一致する場合と一致しない場合がある。固定カメラと車載カメラを合わせて視界状況を分析することで、固定カメラが設置されていない箇所での視界変化を把握し、より時間的・空間的に密な道路管理向けの判断支援情報の提供に貢献できると考える。

7. まとめ

本研究では、固定カメラの視界評価に車載カメラ映像を視界評価に加え、固定カメラによる評価のデメリットの補完を考えた。そして、道路管理の支援に有為かを実証するために、カメラ画像の分析と WIPS とドライバーの視認性に関する評価実験を行った。分析と評価実験の結果から、車載カメラ映像の WIPS は、前方の視界が変化の様子を捉えており、視程値を用いなくてもドライバーの視認性を評価できることがわかった。固定カメラと車載カメラを合わせて分析に用いることで、道路路線に沿った視界状況をより多面的に把握できると考える。今後、道路管理において初動対応や通行規制、除雪タイミングなどの判断支援、気象予測と組み合わせた視界情

報予測などに活用したりと、多面的な視界情報による効率的な道路管理の実現が望まれる。

参考文献

- 1) Nagata, Y., Hagiwara, T., Kaneda, Y., Araki, K. and Murakami, K.: Simple way to use closed-circuit television road images for poor-visibility information, *Transportation Research Record*, Vol. 1980, pp. 105-116, 2006.
- 2) 永田泰浩, 金田安弘, 越後謙二, 萩原亨, 正岡久明, 星野洋, 間山大輔, 松岡直基, 佐藤隆光: CCTV カメラの画像を用いた飛雪状況の評価の可能性について, 雪氷研究大会(名古屋), 日本雪氷学会, 2016.
- 3) 中村裕貴, 萩原亨, 永田泰浩: CCTV カメラの画像処理を用いた暴風雪時の視程障害検知に関する研究, 土木学会論文集 D3 (土木計画学) 特集号 Vol.74 No.5, I_165-I_172, 2018年2月.
- 4) 星野洋, 正岡久明, 間山大輔, 萩原亨, 金田安弘, 越後謙二, 永田泰浩: カメラ画像を活用した視程障害・吹きだまり検知技術開発, 日本道路会議論文原稿, 2017.6.
- 5) Hagiwara, T., Ota, Y., Kaneda, Y. and Araki, K.: Method of processing closed-circuit television digital images for poor visibility identification, *Transportation Research Record*, Vol. 1973, pp. 95-104, 2006.

A STUDY ON THE EVALUATION OF DRIVE'S VISIBILITY INFORMATION FOR ROAD MANAGEMENT CAUSED BY SNOWDRIFTS BY THE USE OF FIXED CAMERA AND CAR CAMERA RECORDER

Yuki NAKAMURA, Toru HAGIWARA, Yasuhiro NAGATA

In Hokkaido, risk of low visibility rises on the road due to storm snow damage caused by bomb low pressure occurs in winter. In previous research, we suggested that using image processing and WIPS for images taken by fixed camera to know how to occur low visibility. However, defects of using fixed camera are deference of driver's gaze, hard to know visibility situation in no fixed camera area, and so on. Thus, we added movie taken by car camera recorder to complement those defects in the present study. Car camera recorder is able to evaluate along the route. So, we analysed both camera and experimented on WIPS and driver's visibility to verify effectiveness of discrimination of low visibility using car camera recorder. As a result, there is a significant relation between WIPS and driver's visibility. WIPS of car camera recorder is able to know the situation close to drive's gaze as well. In addition, low visibility occurs one area or some areas at the same time, using fixed camera and car camera recorder is able to help us to know multifaceted visibility situation.