



|                     |   |
|---------------------|---|
| Title               | 道路画像と気象情報を利用した冬期道路上の視界情報に関する基礎的研究   |
| Author(s)           | 中村, 裕貴  |
| Degree Grantor      | 北海道大学   |
| Degree Name         | 博士(工学)  |
| Dissertation Number | 甲第15368号  |
| Issue Date          | 2023-03-23  |
| DOI                 | <a href="https://doi.org/10.14943/doctoral.k15368">https://doi.org/10.14943/doctoral.k15368</a> |
| Doc URL             | <a href="https://hdl.handle.net/2115/89379">https://hdl.handle.net/2115/89379</a>               |
| Type                | doctoral thesis   |
| File Information    | Yuki_Nakamura.pdf   |



令和4年度 博士論文

道路画像と気象情報を利用した  
冬期道路上の視界情報に関する基礎的研究

Fundamental Study on Visibility Information

on the road in Winter

Using Still Images along the Road and Weather Information

令和5年2月

北海道大学 大学院工学院 北方圏環境政策工学専攻

中村 裕貴

NAKAMURA Yuki



道路画像と気象情報を利用した  
冬期道路上の視界情報に関する基礎的研究

目 次

|  |           |
|--|-----------|
| <b>第1章 序論</b>  | <b>1</b>  |
| 1.1 冬期道路上で発生する視界不良   | 1         |
| 1.2 既往研究と既存技術のレビュー   | 2         |
| 1.2.1 吹雪時における冬期道路上の視界評価手法に関する研究                                | 2         |
| 1.2.2 静止画から道路上の視界不良を評価する研究                                     | 2         |
| 1.2.3 気象情報を用いた視界不良の予測  | 4         |
| 1.2.4 XRAIN の観測精度向上に向けた変遷                                      | 4         |
| 1.2.5 XRAIN を用いた地上吹雪の観測に関する技術                                  | 5         |
| 1.3 本研究の目的   | 6         |
| 1.4 本研究の構成   | 7         |
| <b>第2章 CCTV カメラの道路画像と気象情報による冬期道路上の視界不良評価</b>                   | <b>13</b> |
| 2.1 本章の概要  | 13        |
| 2.2 WIPS を求める手順  | 14        |
| 2.3 静止画の切り出し位置   | 14        |
| 2.4 対象地域と CCTV カメラの選択  | 15        |
| 2.5 視界不良の発生日時  | 15        |
| 2.6 分析に用いる気象観測点  | 17        |
| 2.7 地吹雪時の WIPS 値   | 17        |
| 2.8 WIPS 値の分布と静止画の切り出し位置                                       | 18        |
| 2.9 気象状況と WIPS の変化の比較  | 21        |
| 2.9.1 国道 244 号 越川 2 カメラ  | 21        |
| 2.9.2 国道 244 号 標津町北標津カメラ                                       | 25        |
| 2.9.3 国道 272 号 中標津町堺カメラ  | 29        |
| 2.10 本章のまとめ  | 31        |
| <b>第3章 XRAIN の降水強度と CCTV カメラの道路画像を用いた冬期道路上の降雪と視界の時間的变化について</b> | <b>33</b> |
| 3.1 本章の概要  | 33        |
| 3.2 対象地域と時間帯・分析に用いるデータ   | 33        |
| 3.2.1 対象地域と時間帯   | 33        |

|  |   |           |
|--|---|-----------|
| 3.2.2                                    | 分析に用いるデータ                                 | 36        |
| 3.2.3                                    | 雪氷の付着が WIPS へ与える影響                        | 38        |
| 3.3                                      | 相互相関関数による降水強度と WIPS の分布                   | 39        |
| 3.3.1                                    | 降水強度と WIPS の相互相関                          | 39        |
| 3.3.2                                    | 相互相関の時間間隔                                 | 39        |
| 3.3.3                                    | 相互相関を算出する時間の設定                            | 40        |
| 3.4                                      | 冬期道路上の降雪と視界の関係について                        | 40        |
| 3.4.1                                    | 分析に用いる図の構成                                | 40        |
| 3.4.2                                    | 2020 年 12 月 27 日[時間帯 No.2]                | 41        |
| 3.4.3                                    | 2020 年 12 月 31 日[K.P.67.8, 時間帯 No.4・No.5] | 43        |
| 3.4.4                                    | 2020 年 12 月 31 日[K.P.72.0, 時間帯 No.4・No.5] | 45        |
| 3.4.5                                    | 2020 年 1 月 29 日[時間帯 No.9]                 | 47        |
| 3.4.6                                    | 相互相関の結果                                   | 50        |
| 3.5                                      | 本章のまとめ                                    | 54        |
| <b>第 4 章 車載カメラの道路画像を用いた冬期道路上の視界情報の生成</b> |   | <b>56</b> |
| 4.1                                      | 本章の概要                                     | 56        |
| 4.2                                      | RVIS の開発                                  | 57        |
| 4.2.1                                    | 搭載機器について                                  | 57        |
| 4.2.2                                    | RVIS のためのエッジコンピューティング環境                   | 58        |
| 4.2.3                                    | 車載カメラの静止画を用いた WIPS の算出手順                  | 58        |
| 4.3                                      | RVIS による吹雪時の道路上の視界評価                      | 59        |
| 4.3.1                                    | 視界評価の対象区間                                 | 59        |
| 4.3.2                                    | 道路周辺の環境に関する情報の収集                          | 60        |
| 4.3.3                                    | 分析に用いる気象データと気象条件                          | 60        |
| 4.3.4                                    | 車載カメラの走行時刻と進行方向                           | 62        |
| 4.3.5                                    | 100M ごとの WIPS の算出方法                       | 62        |
| 4.3.6                                    | 4 回の走行事例と 3 つのセクションの特徴                    | 62        |
| 4.3.7                                    | 視界評価[RUN-A]                               | 63        |
| 4.3.8                                    | 視界評価[RUN-C]                               | 65        |
| 4.3.9                                    | 視界評価[RUN-B]                               | 67        |
| 4.3.10                                   | 視界評価[RUN-D]                               | 69        |
| 4.4                                      | 本章のまとめ                                    | 71        |
| <b>第 5 章 車載カメラの視界情報をベースとした視界情報の推計</b>    |   | <b>73</b> |
| 5.1                                      | 本章の概要                                     | 73        |

|                 |   |            |
|-----------------|---|------------|
| 5.2             | バスに装備する RVIS について                       | 74         |
| 5.3             | 対象区間と気象データについて                          | 75         |
| 5.3.1           | 対象区間                                    | 75         |
| 5.3.2           | 分析に用いる気象データについて                         | 78         |
| 5.3.3           | 気象条件による対象日時の分類                          | 78         |
| 5.4             | 視界情報の推計モデルの構築[気象条件 1 (降雪時) ]            | 79         |
| 5.4.1           | 説明変数の選定                                 | 79         |
| 5.4.2           | WIPS を推計する全区間モデルの構築[気象条件 1 (降雪時) ]      | 82         |
| 5.4.3           | WIPS の推計結果[全区間モデル]                      | 82         |
| 5.4.4           | WIPS を推計する 1KM 区間モデルの構築[気象条件 1 (降雪時) ]  | 83         |
| 5.4.5           | WIPS の推計結果[1KM 区間モデル]                   | 87         |
| 5.4.6           | バスの走行事例による推計結果の比較[気象条件 1 (降雪時) ]        | 89         |
| 5.5             | 視界情報の推計モデルの構築[気象条件 2 (地吹雪時) ]           | 93         |
| 5.5.1           | 説明変数の選定                                 | 93         |
| 5.5.2           | WIPS を推計する全区間モデルの構築[気象条件 2 (地吹雪時) ]     | 99         |
| 5.5.3           | WIPS の推計結果[全区間モデル]                      | 101        |
| 5.5.4           | 車載カメラの WIPS と CCTV カメラの WIPS の関係        | 101        |
| 5.5.5           | WIPS を推計する 1KM 区間モデルの構築[気象条件 2 (地吹雪時) ] | 106        |
| 5.5.6           | WIPS の推計結果[1KM 区間モデル]                   | 111        |
| 5.5.7           | バスの走行事例による推計結果の比較[気象条件 2 (地吹雪時) ]       | 113        |
| 5.6             | 本章のまとめ                                  | 119        |
| <b>第 6 章 結論</b> |   | <b>121</b> |
| <b>研究業績</b>     |   | <b>125</b> |
| <b>謝辞</b>       |   | <b>127</b> |



## 第1章 序論

### 1.1 冬期道路上で発生する視界不良

冬期の北海道では、冬型の気圧配置のときに低気圧の影響で風や雪が強まり、道路上で降雪や吹雪による視界不良が発生する。視界不良が発生すると、交通規制や事故などのリスクを増加させる。交通規制や事故の発生は、道路を走行するドライバーの安全に関わるほか、人流・物流が停滞し、経済的な損失をもたらす。近年の北海道では、吹雪の発生頻度がこれまで比較的低かった地域においても、急激に発達した低気圧により吹雪が発生し、道路交通に影響が生じる事例が増えている。北海道警察によると、降雪等のある11月から翌年の3月までの冬期期間に発生する交通事故の割合は、視界不良による多重衝突が最も高いと報告されている。中でも、視界不良による事故は1月から3月に多く発生しており、この3か月で全体の9割を占めている。道路上の視界不良は、周囲の開けた平坦な箇所、路側雪山の高い箇所、視界が変わる切土と盛土の境などで発生しやすい傾向にある。視界不良を捉えることで交通規制や事故のリスクを抑え、被害を回避することが求められている。

積雪寒冷地における吹雪による災害対策として、防雪柵の整備などハード面からの対策もされているが、整備には多くの費用と時間を要する。一方、財政制約の観点から、道路管理のコスト低減を計りつつ、効率的な道路管理が求められているため、ハード面からの対策を強化することは難しい現状がある。しかし、吹雪による道路上の視界不良は突発的・瞬間的な現象であるため、局地性の強さと時空間的な変動の大きさから、その実態を定量的に把握することは難しい。実際の冬期道路管理では、地域の気象条件に精通した道路維持担当者の経験や勘により支え続けられている側面も大きい。このような時空間的に大きく変動する道路上の視界不良を、道路路線に沿ってリアルタイムかつ的確に把握できれば、ドライバーの行動判断の支援や効率的な道路管理への貢献が期待できる<sup>2),3),4)</sup>。道路上の視界不良を把握するために、道路路線に沿った視界情報、風や降雪に関する情報などが必要である。

(a) 視界良好時



(b) 視界不良時



図 1.1 道路上で発生する視界の変化

## 1.2 既往研究と既存技術のレビュー

本節では、本論文に関連する既往研究および既存技術に関する文献をまとめ、本論文と既往研究・既存技術との関連性や課題について整理する。

### 1.2.1 吹雪時における冬期道路上の視界評価手法に関する研究

竹内をはじめ、吹雪時における冬期道路上の視界評価を試みる研究がある<sup>5)</sup>。武知らは、冬期の道路交通における視程の評価方法の確立に向け、吹雪時にドライバーが感じている道路上の視認性や運転困難度とその影響要因について調査を行った。その結果、道路周辺に存在する視線誘導施設、防雪柵などの道路付属施設や電柱、家屋などの有無によってドライバーが感じる視認性や運転困難度は異なることが明らかとなった。また、運転困難度を吹雪時における視程障害度の評価指標とみなし、視界状況の評価手法について検討を行った<sup>6)</sup>。さらに、武知らは、吹雪時に移動気象観測車を走行させて視程などの気象データと走行速度などの運転挙動データを取得し、冬期道路の吹雪危険箇所の評価方法の検討および吹雪時の視程障害に影響を及ぼす沿道環境条件について分析を行った<sup>7)</sup>。その結果、吹雪危険箇所の評価には平均視程を指標とすることが適切であることを明らかとした。平均視程が200m未満のとき、ブレーキ操作による走行速度の低下が生じ、100m未満ではハンドル操舵角の標準偏差が大きくなることを明らかとした。また風上の平坦地が長いほど、道路構造が切土に比べ盛土で視程障害が発生することを定量的に示したほか、橋梁端部、防雪柵の端部と開口部周辺で平均視程が低下する事例を確認した。松澤らは、風速や降雪強度から、視程障害の程度を推定する手法を検討した。風速と降雪強度から飛雪濃度を推定する方法を示し、視程の推定結果と実測例を比較した結果、1000 m以下の視程において、推定結果と実測例は比較的良く一致した<sup>8)</sup>。宮原らは、車載カメラの映像とミリ波レーダのデータを用いて、霧の濃さを判定する方法を提案した<sup>9)</sup>。この方法では、先行車の視界状況および先行車との距離の両方を評価することで、霧の濃さを判定することができた。

### 1.2.2 静止画から道路上の視界不良を評価する研究

静止画から濃霧や吹雪による視界不良の発生状況を把握する研究がある。Pisanoらは、視界不良発生時に対象物のエッジが見えづらくなることに着目し、検出できるエッジの減少から、視界不良を検出する方法を提案している<sup>10)</sup>。Nicolasらもエッジに着目し、移動する車両に設置したカメラから、車両の前方に位置する最遠方のエッジを検出し、最遠方のエッジの位置から視界を把握する方法を研究している<sup>11)</sup>。佐々木らは、濃霧時の光幕に着目し、光幕の輝度分布から視程を推計する方法を示した<sup>12), 13)</sup>。さらに、宗広らは濃霧時の光源部の輝度と光幕部の比と、視程計で計測された視程に関係があることを示した<sup>14)</sup>。一方、Kwon

らは道路上に視程板（黒い板）を設置し、その板を視認できるコントラストの限界値（限界コントラスト）から視程を評価する提案を用いた<sup>15)</sup>。Roman とも照明によるコントラストの差に着目し、フーリエ変換によって得られた静止画の周波数帯と視程の関係について研究を行っている<sup>16)</sup>。石本らは Kosch mieder の定義を活用し、CCD ビデオカメラをセンサーとして、吹雪や降雪による視程不良のとき、背景と目標物の輝度の差から視程と計測するシステムを開発した<sup>17)</sup>。高橋らは、画像内における目標物までの距離を事前に計測し、それぞれの対象物の形状マッチング結果から認識の可否を判定し、視程を計測する方法を提案している<sup>18)</sup>。

萩原らは、静止画のコントラストに着目し、静止画のパワースペクトルと視程に線形関係があることを示した<sup>19), 20)</sup>。萩原と永田らは、道路監視や気象把握を主目的として、国道沿いに整備されている閉鎖回路テレビカメラ (Closed-circuit TeleVision カメラ : CCTV カメラ)<sup>21)</sup>の静止画から視程状況を判定する手法として、人間のコントラスト感度関数に着目した。人間のコントラスト感度特性が高い空間周波数帯域のパワースペクトルを抜き出し、このパワースペクトルを合計した静止画の評価値 (Weighted Intensity of Power Spectra : WIPS) を求め、この WIPS から求めた 15 段階の視認性指標と、人間の目による視程評価の相関が高いことを示している<sup>22), 23)</sup>。さらに、永田らは道路監視用 CCTV カメラの静止画から道路の視程状況を把握する「視程情報提供システム」を開発した<sup>24)</sup>。道路監視用 CCTV カメラの画像に画像処理を行い、視程情報として視程不良の状況を推定する視程情報提供システムを構築してきた。気温が 0°C 未満の条件においては風速、降雪量が視程情報に大きな影響を及ぼすことを確認しており、永田らは視程情報とこれらの気象要素の予測データを用いた視程状況の予測を試みた。予測モデルとしては、重回帰モデルとカルマンフィルターを用いた<sup>25)</sup>。大久保らは、吹雪視程障害による災害の軽減・防止のため、吹雪による視程障害が発生しやすい箇所を簡易に抽出することを目的とし、車載カメラで撮影した画像から AI を用いて吹雪発生の判別を試みた<sup>26)</sup>。小倉らは、夜間の車載カメラの静止画を用いて特徴抽出を行う手法を提案した<sup>27)</sup>。この手法は、連続した夜間の静止画を入力し、次元削減を行うコンボリューション層の機能により、自動車の速度に依存しない特徴抽出が可能となる。中村らは、道路パトロールカーに搭載した車載カメラの走行映像から WIPS を求め、冬期に道路を走行する経験のあるドライバの主観的な視程との関係性について調べるために、2 種類の指標（前方の見やすさ・運転のしやすさ）を用いた評価実験を行った。その結果、車載カメラの WIPS とドライバの前方の視程や運転のしやすさには相関があり、ドライバが道路を走行する感覚に近い状態で視程を評価できることが明らかとなった<sup>28)</sup>。

### 1.2.3 気象情報を用いた視界不良の予測

気象情報を用いた視界不良の予測として、寒地土木研究所では、北海道内の旧市町村を基本とした 221 エリアで、11 月から 3 月にかけて気象情報を用いて視界情報を予測し、道路利用者へ情報提供している。視界情報の更新頻度は、現況情報が 30 分ごと、予測情報は 3 時間先までが 1 時間ごと、3 時間から 24 時間先までが 3 時間ごとである。この視界情報は、気象庁から提供されるデータ（風速・気温・降雪強度）をもとに、寒地土木研究所が開発した推定手法を用いて視界の予測を行っている。しかし、道路上の視界不良は降雪だけでなく、気象レーダに映る雲がなくても、風が強まることにより雪が空中に舞い上げられ、目の高さを超えることで発生する場合もある。降雪を伴わない吹雪は地吹雪と呼ばれ、降雪がある場合でも、空中に舞っている雪の大半は、積雪した雪に由来する<sup>29)</sup>。地吹雪が発生すると、雪が視界や太陽光を遮り見通しがきかなくなり、道路交通に影響を与える可能性がある。しかし、気象情報をベースとした視界情報提供手法では、このような地吹雪による地表での視界の変化を把握し、視界不良を検知することは難しい。松澤らは、気象条件からの視程予測の課題として雪面の雪の状況を踏まえる必要があることを指摘し、改良を試みている<sup>30)</sup>。

同様に、防災科学技術研究所では、気象庁の気象モデル（JMA-MSM）の予測結果に独自に開発した吹雪予測モデルを組み合わせ、吹雪の強さなどを予測するシミュレーションを実現し、吹雪による視程障害の危険度などを予測するシステムの開発に取り組んでいる。吹雪の強さは風速や気温などのほかに雪面の雪の状況も影響するため、気象予測データから雪面の状態と瞬間的な強風の影響も考慮し、吹雪による視程障害の危険度を予測している。新潟県や北海道東部などを対象に実証実験を実施しており、吹雪の定性的な評価が可能であることを確認しているものの、対象地域によっては地形の影響等を十分に解像できていないことによる予測精度の低下などの課題があることを、根本は指摘している<sup>31)</sup>。

### 1.2.4 XRAIN の観測精度向上に向けた変遷

日本では、河川の維持管理や防災活動のために、国土交通省が開発した高性能レーダ雨量計ネットワーク（eXtended RAdar Information Network : XRAIN）が 2016 年から利用されている。初期の仕様の XRAIN は、X バンド MP レーダ雨量計で構成されていた。土屋らは、初期の仕様の XRAIN による雨量観測では、レーダ近傍は観測精度が高く、レーダから離れるにつれて、過小傾向を示していたことを明らかにした<sup>32),33)</sup>。過小評価となる要因として、X バンド MP レーダ雨量計は、使用する波長帯の特性から降雨による電波の減衰（降雨減衰）が大きい。そのため、強雨域では電波が大きく減衰し、観測不能領域（電波消散域）が発生する場合がある<sup>34),35)</sup>。山地らは、X バンド MP レーダ雨量計と、降雨減衰が小さく電波消散域が発生し難い C バンド MP レーダ雨量計の連携技術について検討した。その結果、X バンド及び C バンド MP レーダ雨量計の合成により、250m メッシュの雨量情報の 1 分間

隔配信の広域化と電波消散域が発生しにくい観測の安定化を可能とする成果を得た<sup>36)</sup>。五十嵐らは、2018年より一般へのデータ提供が開始された新しい仕様のXRAIN(XバンドMPレーダ雨量計の情報と、MP化されたCバンドレーダ雨量計の情報を合成したもの)を用いて、合成されたレーダ雨量計では、XバンドMPレーダ雨量計で発生していた強雨による電波の減衰の影響で発生する消散がないことを確認した<sup>37)</sup>。

### 1.2.5 XRAINを用いた地上吹雪の観測に関する技術

XRAINを用いて、地上における吹雪の発生状況を面的かつリアルタイムに把握できる見込みがあることが明らかになりつつある。XRAINは空間分解能が250mメッシュ、観測間隔が1分間であるため、高頻度かつ細かく降水強度を観測できる。積雪寒冷地である北海道では、XバンドMPレーダ雨量計で構成される仕様のXRAINを用いて、地上の吹雪および降雪の観測を試みる研究がある。雲の高度は夏期と冬期で異なることから、冬期の降雪の観測精度を確保するために、北海道では冬期観測仰角の検討が行われた<sup>38),39)</sup>。

大宮らは、地上の吹雪の定量的な把握について研究している。Dualドップラー解析<sup>40),41)</sup>によって求めた風向風速を用い、上空における飛雪流量を面的に推定した値を地上の実測値と比較したところ、風による降雪粒子の移流を考慮することにより、両者の間には正の相関があることを示した<sup>42)</sup>。XバンドMPレーダ雨量計を用いて地上の飛雪流量の推定を行った。地上における推定飛雪流量をスノー・パーティクル・カウンター(SPC)による実測飛雪流量と比較したところ、両者のバラツキは大きかったものの、正の相関があることが確認され、定性的に概ね整合することが示された<sup>43)</sup>。これらの結果から、XバンドMPレーダ雨量計を用いて地上における吹雪の発生状況を面的かつリアルタイムに把握できる見込みがあることを示した。さらに、XバンドMPレーダ雨量計を用い、地上における吹雪の発生状況を面的かつリアルタイムに把握する手法を構築することを試みた。レーダから求めた降雪強度と風速より、上空における吹雪の強さ(飛雪流量)を推定した。推定飛雪流量から地上の視程を推定し、地上実測値との比較検証によって、飛雪流量・視程ともに推定結果が概ね妥当であることが確認された<sup>44)</sup>。

なお、実際の吹雪は、降雪粒子と地吹雪粒子が混在した状態であることが大半である。降雪粒子と地吹雪粒子の混在の程度を把握するためには、パーティクル・カウンター等の計器を鉛直方向に複数設置して観測を行わない限り難しい。レーダが観測しているのはあくまで上空の降水もしくは降雪粒子で、地吹雪粒子を直接観測することは出来ない。大宮らの研究は、レーダによる直接的な観測によって得られた吹雪に関するデータを解析しており、地吹雪については取り扱わないとしている。

以上に示す通り、冬期道路上で吹雪により発生する視界不良を評価・予測するために、道路周辺の環境や対象物、静止画および気象情報を用いた研究や手法の検討がされている。本

研究では、道路上の視界情報として萩原らによって開発された視界評価指標（WIPS）を用いることで、人間の目による評価と近い視界情報を生成できると考える。さらに、道路画像を用いることで、気象条件では把握しきれない地上の雪面の雪の状況を考慮した視界評価ができる可能性がある。そのほか、積雪寒冷地で時空間分解能の高いXRAINを用いた地上の吹雪を観測する技術の精度向上に向けた取り組みも進んでおり、これらの技術および手法を組み合わせることで、図1.2に示すように道路上空の気象条件と地上の雪面の雪の状況を考慮し、道路路線に沿った視界情報を生成できる可能性がある。

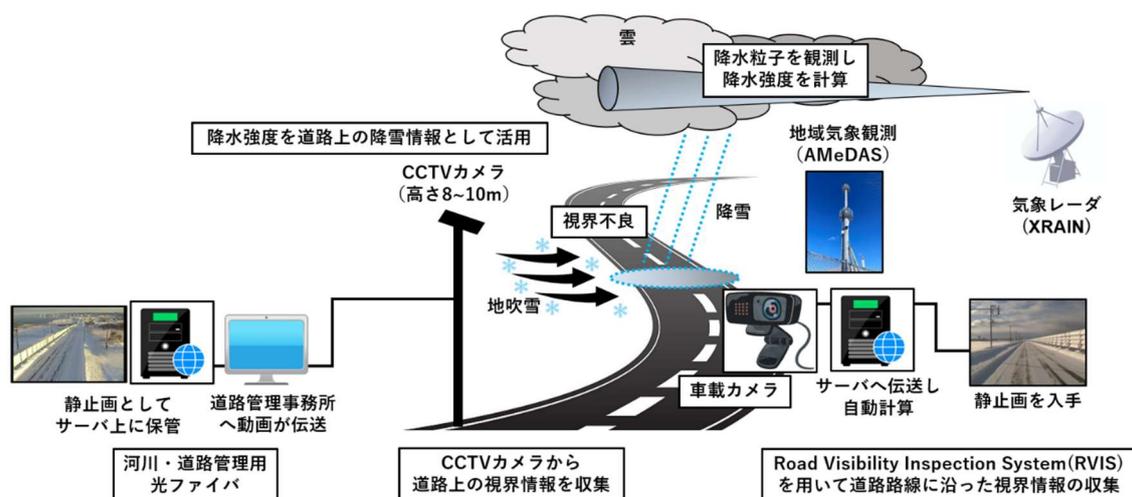


図 1.2 道路上の視界情報生成に関する概要図

### 1.3 本研究の目的

本研究の目的は、道路路線に沿った道路画像から得た視界情報と道路周辺の気象情報を利用し、道路の地点や区間の特徴を考慮した冬期道路上の視界評価を行うことである。はじめに、CCTVカメラで撮影された道路画像から、画像処理によって視界評価指標（Weighted Intensity of Power Spectra : WIPS）を得る。冬期道路上で風や雪の影響で発生する視界不良の評価において、CCTVカメラの道路画像から得た視界評価指標（WIPS）を用いることの有用性について検証する。次に、気象情報として地域気象観測システム（アメダス）の気温・風向風速・降水量、およびXRAINで観測された降水強度を道路上の降雪情報として用い、CCTVカメラと組み合わせた道路上の視界評価の利点を示す。さらに、道路を走行する車両に搭載した車載カメラで撮影された道路画像から、自動的に視界評価指標を得るシステムを構築する。道路パトロールカーに搭載した車載カメラの視界情報を用いて、道路路線に沿った視界不良の評価を行う。最後に、バスに搭載した車載カメラの視界情報、CCTVカメラの視界情報および道路周辺の気象情報を併せて用いることで、降雪時・地吹雪時において、道路路線に沿った地点や区間の特徴を考慮した視界の推計を試みる。

## 1.4 本研究の構成

本論文は以下に示す通り、全6章で構成される。

第1章：序論

第2章：CCTVカメラの道路画像と気象情報による冬期道路上の視界不良評価

第3章：XRAINの降水強度とCCTVカメラの道路画像を用いた冬期道路上の降雪と視界の時間的变化について

第4章：車載カメラの道路画像を用いた冬期道路上の視界情報の生成

第5章：車載カメラの視界情報をベースとした視界情報の推計

第6章：結論

冬期の北海道では、道路上で吹雪による視界不良が発生し交通規制や事故などを誘発する。近年、北海道では急激に発達した低気圧により、吹雪の発生頻度がこれまで比較的低かった地域においても、吹雪による道路交通への影響が生じる事例が増えている。積雪寒冷地における吹雪対策として、防雪柵の整備などハード面からの対策もされているが、吹雪による道路上の視界不良は突発的・瞬間的な現象であるため、時空間的な変動が大きくその実態を定量的に把握することは難しい。冬期における実際の道路管理では、地域の気象条件に精通した道路維持担当者の経験や勘により支え続けられている側面も大きい。時空間的に大きく変動する道路上の視界不良をリアルタイムかつ的確に把握できれば、ドライバの行動判断の支援や効率的な道路管理への貢献が期待できる。本論文では、道路画像と気象情報を利用し、冬期道路上の視界情報の評価に関する検討を行う。

各章の要旨を以下に述べる。

第1章では、本論文に関係する既存研究および既存技術に関する文献をまとめ、既存研究との関連性や課題を整理する。道路上の視界不良を評価する既存研究では、ドライバの感じる視界や運転のしやすさは、防雪柵や家屋などの有無によって異なることが明らかとなったほか、風速や降雪強度から視界不良の程度を推定する手法が検討された。静止画から吹雪の発生を評価する研究では、エッジ量の減少に着目した視界不良の検出手法の提案や、視界不良時の背景と目標物の輝度の差を利用した視程の計測が行われた。さらに、吹雪による視界不良が発生しやすい箇所を簡易に抽出することを目的とし、車載カメラで撮影した静止画にAIを用いて吹雪発生の判別を試みた。高性能レーダ雨量ネットワーク (eXtended RAdar Information Network, 以降 XRAIN) による観測技術では、運用当初は豪雨時に電波減衰により過小評価する傾向があり、観測精度を向上させるために仕様が変更され、降雨の観測精度は改善された。積雪寒冷地では XRAIN により降雪を観測するために、冬期の観測仰角を検討し、降雪の観測精度向上を目指している。

第2章では、国道沿いに整備されている CCTV カメラの道路画像から画像処理によって得られた視界評価指標を用いて、視界不良の検知を行った。GPV による視界不良の検知と

比べ、視界評価指標を用いることで、雪面の状況と風の影響による視界不良を検知できるメリットを示した。平成 28 年度冬期に記録された根室中標津エリアの CCTV カメラの道路画像から検証した。その結果、視界評価指標は降雪がなくても雪が舞いやすい雪面状況のとき、強風による視界不良を的確に評価していた。同じ状況で、GPV は地上の雪面と風を考慮できず、視界不良がそれほどでもない結果を示したことから、CCTV カメラの視界評価指標が道路上の視界不良に対し有効な指標となり得ることがわかった。

第 3 章では、冬期道路の視界は降雪や風、地形などの影響で変化する。CCTV カメラの道路画像に加え、道路路線に沿った高い時空間分解能を有する降雪情報の利用を検討した。時空間分解能の高い XRAIN により観測された上空の降水強度を、道路上の降雪情報として適用できるかどうか検証した。XRAIN の降水強度と CCTV カメラの視界評価指標に相互相関を用い、両者の影響度合いとその時間遅れを調べた。その結果、西風で降雪が観測されたとき、降水強度の時間変化は視界評価指標の時間変化に影響し、降水強度に対し遅れて視界が変化する状況が明らかとなり、降水強度を降雪情報として用いることの有用性が示された。両者の変化が異なるとき、風向風速や道路周辺の環境に関する情報が必要であることも明らかとなった。道路上の降雪情報として XRAIN の降水強度を用いることで、降雪による視界の変化を評価した。

第 4 章では、CCTV カメラの視界情報と XRAIN の降水強度に加え、車載カメラの視界情報を用いて冬期道路上の視界評を試みた。車載カメラの走行映像から自動的に視界評価指標を得るシステムを開発した。システムを用い、令和元年度冬期に国道 272 号を走行した道路パトロールカーの走行映像から視界評価指標（WIPS）を得た。走行映像の視界評価指標と道路周辺の情報を基に視界の変化を分析した結果、車載カメラの視界評価指標は、道路上の対象物や降雪の影響、道路周辺の環境などの影響を受け、道路上で視界が変化しやすい区間を示した。

第 5 章では、第 4 章で開発したシステムを搭載したバスが令和 3 年度冬期に国道 232 号を走行した映像を用い、車載カメラによる視界情報の推計を試みる。道路上の視界の変化は、対象物の有無や周辺の環境によって影響度合いが異なるため、地点や区間の特徴を考慮する必要がある。そこで、道路を 1km 区間ごとに分割して視界情報と気象情報の比較を行った。風が弱く降雪により視界が変化する可能性の高い気象条件下では、車載カメラの視界情報と気象情報を用いて、視界情報の推計を試みた。一方、風が強く地吹雪により視界が変化する可能性の高い気象条件下では、車載カメラの視界情報と気象情報、CCTV カメラによる視界情報を用いて、視界情報の推計を試みた。

第 6 章では、各章で明らかとなった結論を取りまとめ、本研究の総括を行うとともに、今後の課題について述べた。

## 参考文献

- 1) 吹雪など視界不良時における交通事故の実態, 北海道警察本部交通部交通企画課, 令和3年.
- 2) Kajiyama, Y., Kaneda, Y., and Tanji, K. Factors Inducing Multi-vehicular Collisions During Visibility Reduced by Blowing snow. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2001. Vol.1745, pp. 61-66.
- 3) Matsuzawa, M., Kajiyama, Y., and Takeuchi, M. The development and validation of a method to estimate visibility during snowfall and blowing snow. Cold Regions Science and Technology, 2005. Vol.41, Issue 2, pp. 91-109.
- 4) 加治屋安彦, 松澤勝, 鈴木武彦, 丹治和博, 金田安弘: 降雪・吹雪による視程障害条件下のドライバの運転挙動に関する一考察, 寒地技術論文・報告集, 20, pp. 325-331, 2004.
- 5) 竹内政夫: 吹雪時の視程に関する研究, 土木試験所報告, 第74号, 北海道開発局土木試験所 (1980).
- 6) 武知洋太, 松澤勝, 中村浩, 金子学, 川中敏明: 冬期道路の吹雪時における視程障害度の評価に関する研究, 寒地土木研究所月報, No.706, pp. 20-29 (2012).
- 7) 武知洋太, 松澤勝, 伊東靖彦, 金子学, 國分徹哉: 運転の危険性を考慮した冬期道路の吹雪視程障害評価と沿道環境による吹雪視程障害への影響, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 71, No. 5, pp. I\_1035-I\_1046, 2015.
- 8) 松沢勝, 竹内政夫: 気象条件から視程を推定する手法の研究, 雪氷 Vol.64, No. 1, pp.77-85, 2002.
- 9) Mori, K., Kato, T., Takahashi, T., Ide, I., Murase, H., Miyahara, T., Tamatsu, Y.: Visibility Estimation in Foggy Conditions by In-Vehicle Camera and Radar. First International Conference on Innovative Computing, Information and Control - Volume I(ICICIC'06), Beijing, pp. 548-551,
- 10) Hallowell, Robert G., Matthews, Michael P., and Pisano, Paul A.; Automated Extraction of Weather Variables from Camera Imagery, Proceedings of the 2005 Mid-Continent Transportation Research Symposium, pp. 1-13 (2005).
- 11) Nicolas Hautiere, Raphael Labayrade, Didier Aubert: Estimation of the Visibility Distance by Stereovision: A Generic Approach, IEICE TRANS.INF.&SYST., Vol.E89-D, No. 7 (2006).
- 12) 佐々木嘉雄, 一柳利文, 小野隆, 石井弘允, 穂積順一: 光幕画像による霧中の視程計測に関する基礎検討, 照明学会全国大会講演論文集, Vol. 36<sup>th</sup>, pp. 219 (2003).
- 13) 佐々木嘉雄, 一柳利文, 小野隆, 石井弘允, 穂積順一: 光幕画像による霧中の視程計測に関する基礎検討, 照明学会全国大会講演論文集, Vol. 37<sup>th</sup>, pp. 167 (2004).
- 14) 中村秀一, 一柳利文, 藤波研次, 穂積順一, 宗広一徳, 徳永ロベルトアブラハム, 伊東靖彦, 武知洋太: 画像処理による吹雪時の視程計測実験概要, 日本雪氷学会全国大会講演予稿集月報, Vol. 2005, pp. 120 (2005).

- 15) Kwon, T.K: Measurement of Motorist's Relative Visibility Index (MRVI) through Video Images. In Transportation Research Board 80<sup>th</sup> Annual Meeting Final Program, Washington, D.C. (2001).
- 16) Roman Stempok, Preeti Nagarajan: Small Target Visibility (STV) Mater that Performs Spatial Analysis of Road Scenes, PAL 2003 Symposium, Darmstadt University of Technology, pp. 1047-1055 (2003).
- 17) Keishi Ishimoto: STUDIES ON THE VISIBILITY FLUCTUATION AIRBORNE SNOW PARTICLES, 開発土木研究所報告第 107 号 (1994).
- 18) 高橋弘明, 岡村隆史, 中村靖: 風景画像におけるオブジェクト認識と視程の自動計測への応用, 第 9 回画像センシングシンポジウム.
- 19) Hagiwara, T., Fujita, S., and Kizaka, K.: Assessment of Visibility on Roads under Snow Conditions Using Digital Images. In Proceedings of 11<sup>th</sup> International Road Weather Conference (2002).
- 20) Hagiwara, T., Kizaka, K., and Fujita, S.: Development of Visibility Assessment Methods with Digital Images under Foggy Conditions. In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No.1862, TRB, National Research Council, Washington D.C., pp. 95-108 (2004).
- 21) 道路設計要領 第 5 集 電気通信施設 第 9 章 CCTV 設備, 北海道開発局, pp. 5-9-1 (2010)
- 22) Hagiwara, T., Ota, Y., Kaneda, Y., Nagata, Y. and Araki, K.: A Method of Processing CCTV Digital Images for Poor Visibility. In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No.1973, TRB, National Research Council. Washington D.C., pp. 95-104 (2006).
- 23) 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: Journal of the Transportation research Board, No.1980, TRB, National Research Council, Washington D.C., pp. 105-116 (2006).
- 24) 永田泰浩, 萩原亨, 金田安弘, 川村文芳, 田宮敦士: 吹雪多発路線における CCTV カメラの画像を利用した視界情報提供システムの検証, 土木計画学研究・論文集, Vol.206, pp. 969-978 (2009).
- 25) 永田泰浩, 萩原亨, 滝谷克幸, 金田安弘: カルマンフィルターを用いた視界情報予測手法の研究, 土木計画学研究・論文集, Vol.68, No.5, pp. I\_241-I\_250, (2012).
- 26) 大久保幸治, 高橋丞二, 武知洋太, 櫻井俊光, 國分徹哉: AI を利用した車載カメラによる吹雪検知の可能性について, 寒地土木研究所月報, No.798, pp. 32-37, (2019).
- 27) Ogura, R., Nagasaki, T., Matsubara, H.: Improving the Visibility of Nighttime Images for Pedestrian Recognition using In-Vehicle Camera. IEEJ Transactions on Electronics Information and Systems, 140(5), 531-538, (2020).
- 28) 中村裕貴, 萩原亨, 永田泰浩: 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, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 75, No. 6, pp. I\_599-I\_607, 2020.
- 29) 国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所: 道路吹雪対策マニュアル(平成 23 年改訂版), pp.76-80, 2011.3.
- 30) 松澤勝, 武知洋太, 國分徹哉, 大宮哲, 原田裕介: 気象条件から視程を推定する手法を用いた吹雪視程予測, 雪氷研究大会(名古屋), 日本雪氷学会, 2016.
- 31) 根本征樹: 吹雪予測システムの高度化に向けて, 防災科研令和 4 年度成果発表会資料, 2023.
- 32) 土屋修一, 山地秀幸, 川崎将生: XRAIN 雨量観測の実用化技術に関する検討資料, 国土技術政策総合研究所資料, No.909, 2016.
- 33) 土屋修一, 川崎将生, 五道仁実: 降雨減衰補正と合成雨量作成手法の改良による XRAIN 観測雨量の精度向上, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol. 71, No. 4, pp. I\_457-I\_462, 2015.
- 34) 岩波越, 前坂剛, 木枝香織, 真木雅之, 三隅良平, 清水慎吾: X バンド偏波レーダーによる降雨観測における簡易減衰補正, 日本気象学会大会講演予稿集, pp.128, 2007.
- 35) 中北英一, 金原知穂, 山口弘誠: X バンド偏波レーダーによる雨滴粒径分布の時空間構造の推定と非偏波レーダーへの利用, 京都大学防災研究所年報, No. 54 B, pp. 397-409, 2011.
- 36) 山地秀幸, 土屋修一, 川崎将生: C バンド MP レーダ雨量計と XRAIN による高精度広域雨量観測, 土木技術資料 58-7, pp. 26-29, 2016.
- 37) 五十嵐孝浩, 竹林洋史, 浜田裕貴, 的場萌実, 飛岡啓之, 澤田悦史, 平川了治, 上村雄介: 平成 29 年 7 月九州北部豪雨における C-X 合成レーダ雨量による土砂災害危険度判定, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol. 74, No. 5, pp. I\_1033-I\_1038, 2018.
- 38) 阿比留陽平, 三谷学人, 小野寺崇: 北海道開発局における C バンド MP レーダについて—北海道の雪の観測に向けた冬季運用の検討—, 第 62 回 (平成 30 年度) 北海道開発技術研究発表会論文, 2018.
- 39) 菅原庸平, 入交泰文, 稲垣達弘: 乙部岳 C バンド MP レーダの冬期観測仰角の検討, 第 63 回 (2019 年度) 北海道開発技術研究発表会論文, 2019.
- 40) Waldteufel, P. and H. Corbin: On the analysis of single-Doppler radar data. J. Appl. Meteor., 18, 532-542, 1979.
- 41) 立平良三・鈴木修: 単ドップラーレーダーによる上層風推定の精度. 天気, 41, 762-764, 1994.
- 42) 大宮哲, 國分徹哉, 松下拓樹, 高橋丞二, 松澤勝: X バンド MP レーダによる地上吹雪の定量的把握の可能性, 日本雪氷学会誌 雪氷 82 巻 3 号, 145-156 頁, (2020).
- 43) 大宮哲, 松下拓樹, 大久保幸治, 菅原邦泰, 西村敦史: X バンド MP レーダを用いた VVP 法による地上吹雪の面的推定, 寒地技術論文・報告集, 37, pp. 63-68, (2021).
- 44) 大宮哲, 大久保幸治, 松下拓樹, 菅原邦泰, 西村敦史: X バンド MP レーダを用いた地

上吹雪分布のリアルタイム推定手法の提案, 寒地土木研究所月報, 第 831 号, pp. 13-23, (2022).

## 第 2 章 CCTV カメラの道路画像と気象情報による冬期道路上の視界不良評価

### 2.1 本章の概要

冬期の北海道では吹雪により視界不良が発生し、道路交通に影響を及ぼすことから、視界不良を捉えることで交通規制や事故のリスクを抑え、回避することが求められている<sup>1)</sup>。地上の視界不良を知るため、永田らは Closed-circuit TeleVision Camera カメラ (CCTV カメラ) の画像から視界評価指標として Weighted Intensity of Power Spectra (WIPS) を求め視界を評価し、道路管理者に視界情報を提供するシステムを構築した<sup>2)</sup>。WIPS は静止画から算出される人間のコントラスト感度関数に着目した評価指標である。星野らは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<sup>3),4)</sup>に関する研究なども行っている。

視界不良は降雪中の雪だけでなく、気象レーダに映る雲がなくても、風が強まることにより雪が空中に舞い上げられ、目の高さを超えることで発生する場合もある。降雪を伴わない吹雪は地吹雪と呼ばれ、降雪がある場合でも、空中に舞っている雪の大半は、積雪した雪に由来する<sup>5)</sup>。地吹雪が発生すると、雪が視界や太陽光を遮り見通しがきかなくなり、自動車や鉄道、飛行機など交通機関の通行・運航に影響を与える可能性がある。しかし、GPV (Grid Point Value, 5km メッシュの気象予測情報) によるこれまでの気象をベースとした視界情報提供手法では、このような地吹雪による地表での視界の変化を把握し、視界不良を検知することは難しい。松澤らは気象条件からの視程予測の課題として、雪面の雪の状況を踏まえる必要があることを指摘し、改良を試みている<sup>6)</sup>。

第 2 章では、北海道東部に位置する根室中標津地域の国道沿いに整備されている閉鎖回路テレビカメラ (CCTV カメラ) で撮影された道路画像 (静止画) から、画像処理によって得られる視界評価指標 (WIPS) を基に、冬期道路上で吹雪時および無降雪条件時に発生する視界不良を評価できるかどうか検証する。検証において、CCTV カメラの WIPS と上空の気象情報による GPV の視程値を用い、視界不良の検知を複数箇所で行った。そのほか、実際の冬期の国道沿いで観測されているアメダスと道路気象テレメータの風速を用いて、CCTV カメラの静止画の WIPS が、地表に堆積した雪と風の影響により発生する視界不良を検知できるどうかを、GPV の視程値による視界不良の検知と比較することで検証した。

## 2.2 WIPS を求める手順

萩原らにより検討された WIPS は、以下の手順で求められる<sup>7)</sup>。

- ・まず、CCTV カメラの静止画を輝度値のグレースケールの静止画に変換する。
- ・次に、グレースケールの静止画から、WIPS を算出したい範囲で 256 ピクセル×256 ピクセルの静止画（2次元画像）を切り出す。
- ・そして、切り出した静止画の輝度値の分布を読み取り、二次元フーリエ変換を行い空間周波数成分に分解する。
- ・最後に、人間の目で見え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 の数値が大きいほど、コントラストの対比が鮮明で、静止画内の視界は見えやすい。吹雪や霧の状態になると、静止画内の対象物があいまいとなり、WIPS 値は低くなる。

## 2.3 静止画の切り出し位置

WIPS は、CCTV カメラの静止画から切り出す 256 ピクセル×256 ピクセルの位置によって空間周波数が異なり、その値は変化する。CCTV カメラの静止画に表示される道路情報の文字などの影響で、視界不良が発生しても数値が高く算出される。そこで、図 2.1 の上部・中央部・下部の合計 9 箇所（3箇所×3箇所）の位置で 256×256 ピクセルの静止画を切り出し、9 箇所それぞれ WIPS を求め、その中の最低値を分析に用いることにした。



図 2.1 256×256 ピクセルの静止画の切り出し位置

## 2.4 対象地域と CCTV カメラの選択

本章では、図 2.2 に示す北海道東部の根室中標津地域を視界不良の分析対象地域とした。この地域は、冬型の気圧配置のときに網走沖や根室沖で発達した低気圧の影響で風や雪が強まりやすい。特に、北西方向から強い風が吹くときに被害が大きくなりやすい傾向にある。対象とする根室中標津地域には 20 箇所 CCTV カメラがあり、2016 年 12 月 1 日～2017 年 2 月 21 日において、各 CCTV カメラで 15 分毎に記録された静止画を分析に用いた。20 箇所の CCTV カメラのうち、吹雪による視界不良が観測された CCTV カメラは、越川 2 (国道 244 号)、標津町北標津 (国道 244 号)、中標津町堺 (国道 272 号) の 3 箇所であった。これらの CCTV カメラを分析対象として選択し、CCTV カメラの静止画から算出した WIPS を用いて、吹雪による視界不良を検知することの利点が示されるかどうか検証した。



図 2.2 対象地域内における CCTV カメラの一覧

## 2.5 視界不良の発生日時

越川 2、標津町北標津、中標津町堺の 3 箇所の CCTV カメラでは、2016 年は 12 月 6 日・9 日・11 日・27 日に視界不良が発生した。2017 年は 1 月 23 日と 2 月 19 日に視界不良が発生した。視界不良が発生した上記の 6 日間を、対象日時とした。この 6 日間の気象条件は以下の通りである。

- ・2016年12月6日（北標津）：気温は-1～0度，10時～14時に降水を観測
- ・2016年12月9日（中標津町堺）：気温は早朝が-13～-10度，昼間は-2度
- ・2016年12月11日（北標津）：2日前に降水を観測，当日の気温は-7～-5度
- ・2016年12月27日（越川2）：前日から気温は0度以下，降水を観測
- ・2017年1月23日（中標津町堺）：気温は-5～-4度
- ・2017年2月19日（越川2）：2日前から0度以下，2日前に降水を観測

図 2.3 は上記 6 日間の対象日時における 9 時と 21 時の天気図をそれぞれ示している。いずれの日時も西高東低の冬型の気圧配置で、北海道東部の対象地域付近に低気圧があり、等圧線の間隔も狭い気象条件だった。このことから、対象日時は、低気圧の影響で風や雪が強まり吹雪が発生しやすい気象条件だった。

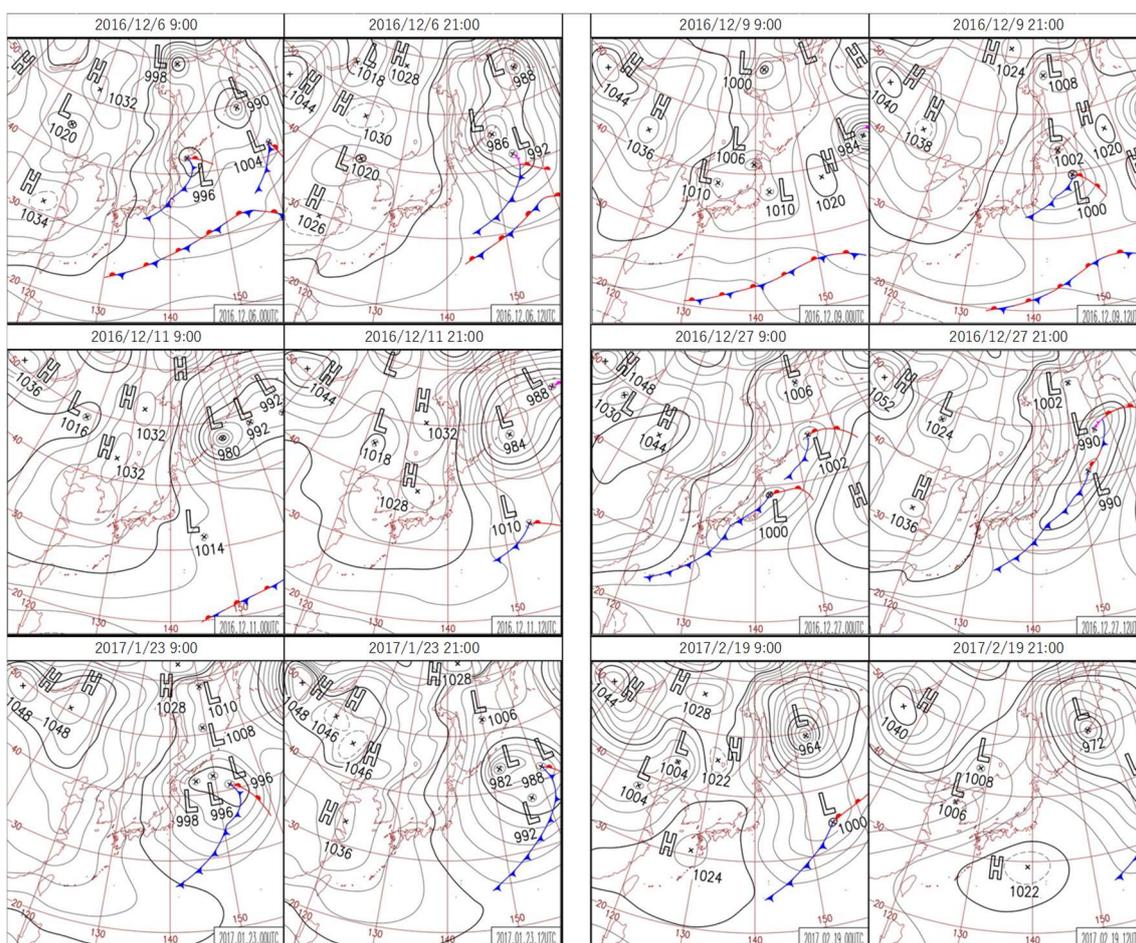


図 2.3 対象日時の天気図

## 2.6 分析に用いる気象観測点

CCTV カメラの静止画と気象に関するデータを用いて視界と気象の変化を把握するため、各 CCTV カメラに近い気象観測点のデータを分析に用いた。分析に用いた観測データは、地域気象観測システム、道路気象テレメータ、GPV の3つである。

- ・地域気象観測システム(通称“アメダス”)：気象状況を時間的・地域的に細かく監視する為、降水量、風向風速、気温、日照時間の観測を行うシステム。

- ・道路気象テレメータ：風向・風速、気温、路温、積雪深等を観測し、道路管理等のための気象データを収集するシステム。

- ・GPV：GPV とは気象庁や米国海洋大気局等の気象予測モデルをスーパーコンピュータで計算した気象の予測値のこと。本研究では5km メッシュの視程値を用いた。

気象による視界不良検知に用いた気象情報は、表 2.1 に示す各 CCTV カメラを含んだ5km メッシュで観測された GPV データを用いた。また、分析対象とした3機の CCTV カメラに対応する気象の地上観測データは各々以下の通りである。

- ・越川2カメラ：斜里アメダス、根北峠テレメータ
- ・標津町北標津カメラ：標津アメダス、根北峠テレメータ
- ・中標津町塚カメラ：根室中標津アメダス

表 2.1 各 CCTV カメラの地点・気象データ (GPV)・根北峠の位置

| 中標津町塚  | カメラ地点   | 根室中標津アメダス | GPV     |         |
|--------|---------|-----------|---------|---------|
| 東経     | 145.078 | 144.576   | 145.081 |         |
| 北緯     | 43.61   | 43.346    | 43.612  |         |
| 標津町北標津 | カメラ地点   | 標津アメダス    | GPV     | 根北峠     |
| 東経     | 144.954 | 145.079   | 144.956 | 144.475 |
| 北緯     | 43.733  | 43.397    | 43.729  | 43.455  |
| 越川2    | カメラ地点   | 斜里アメダス    | GPV     | 根北峠     |
| 東経     | 144.784 | 144.42    | 144.781 | 144.475 |
| 北緯     | 43.843  | 43.531    | 43.846  | 43.455  |

## 2.7 地吹雪時の WIPS 値

図 2.4 に、各 CCTV カメラの静止画の WIPS が、5.0~9.5 となったときのものをそれぞれ示す。WIPS が 5.0~5.2 のとき、100m 前後の道路前方を見通せないほど雪が舞っていて、視界が悪い。WIPS が 6.2~7.5 になると、徐々に道路前方を見通せるようになるが、雪が舞っている。WIPS が 8.2~9.5 のとき、雪が舞っている状況にはなっていない。これらより、WIPS が 7.5 より低いときを、雪が舞っており視界不良となっていると判断した。

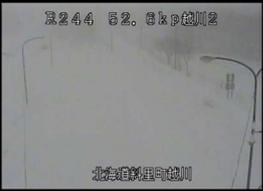
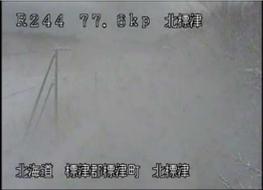
| CCTVカメラ（越川2）   |  |   |  |
|--|--|---|--|
|   |   |   |   |
| WIPS: 5.2  | WIPS: 6.2  | WIPS: 7.2   | WIPS: 8.2  |
| CCTVカメラ（標津町北標津）  |  |   |  |
|   |   |   |   |
| WIPS: 5.0  | WIPS: 6.6  | WIPS: 7.5   | WIPS: 8.5  |
| CCTVカメラ（中標津町塚）   |  |   |  |
|  |  |  |  |
| WIPS: 6.5  | WIPS: 7.4  | WIPS: 8.3   | WIPS: 9.5  |

図 2.4 WIPS 値と道路画像の視界変化

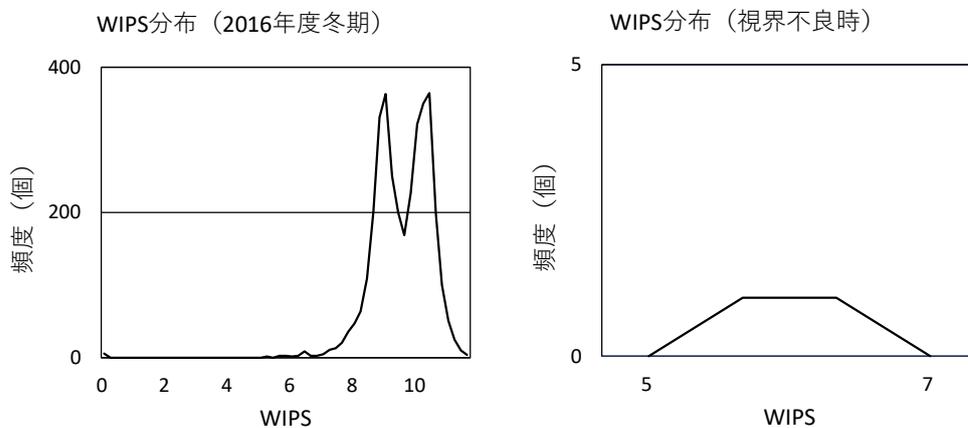
## 2.8 WIPS 値の分布と画像の切り出し位置

図 2.5(1)~(3)は、各々の CCTV カメラにおける WIPS の数値分布を示している。図 2.6(1)は、CCTV カメラの静止画における 9 箇所での切り出し位置の番号を示している。図 2.6(2)~(4)は、各々の CCTV カメラにおける WIPS が最低となった静止画の切り出し位置の分布の割合を示している。左側が冬期全体を対象としたときの結果であり、右側が視界不良のとき（WIPS が 5~7 となった）の結果である。3 箇所の CCTV カメラにおいて、12 月から 2 月までの冬期全体においては、WIPS の分布のピークは WIPS が 10 前後のときであった。3 箇所の CCTV カメラとも視界不良となった頻度は少なく、5 回程度であった。

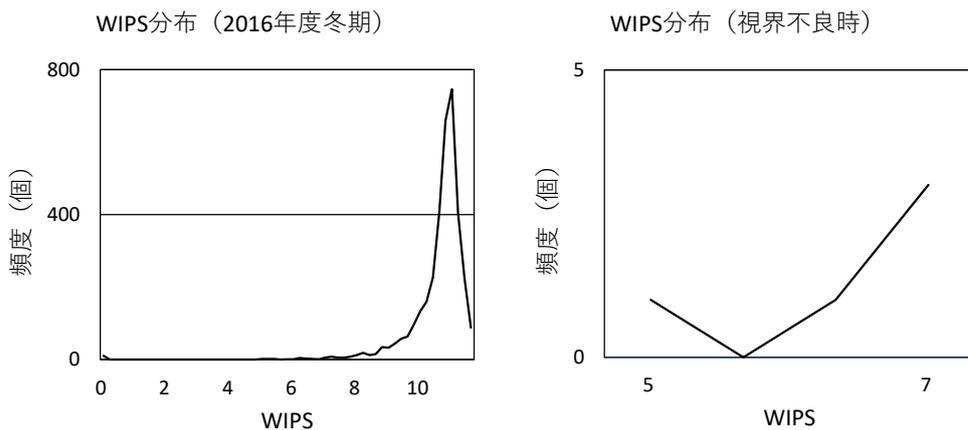
WIPS を求めた静止画の切り出し位置は、静止画の中央部（図 2.5(1)の 4 から 6）で算出される割合が最多となった。静止画の上部と下部には道路に関する情報を示す文字が記載されており、文字と背景によりコントラストが鮮明となり、数値が大きく算出されたためと考えられる。一方、越川 2 カメラの WIPS を求めた静止画の切り出し位置の分布の割合は、標津町北標津カメラ・中標津町塚カメラの WIPS 分布とは異なり、左下部（図 2.5(1)の 7）や右下部（図 2.5(1)の 9）が多くなった。越川 2 カメラで撮影された静止画は、静止画内に占める道路の割合が大きい。左下や右下は路面となっており、それらが圧雪状態となったとき、多くの領域が白色となった。このため、コントラストの対比が鮮明でなくなり、視界不

良が発生していない状態でも左下部などで WIPS が低く算出された。

(1) 越川 2 カメラ



(2) 標津町北標津カメラ



(3) 中標津町堺カメラ

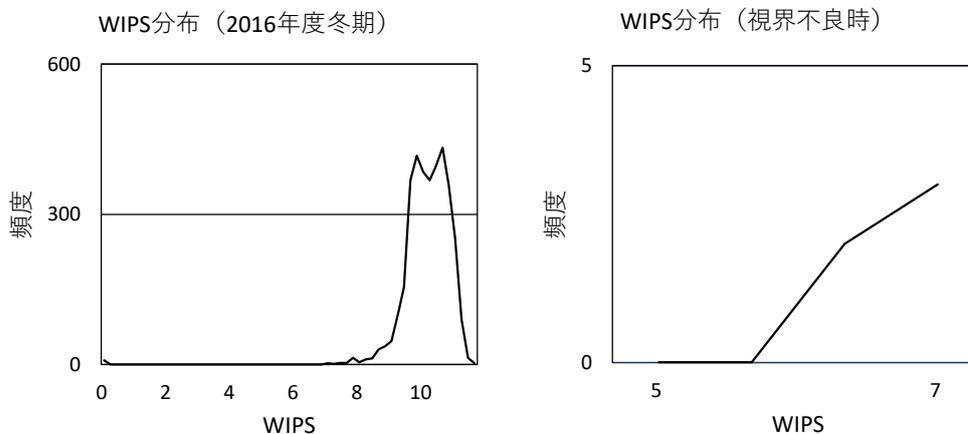
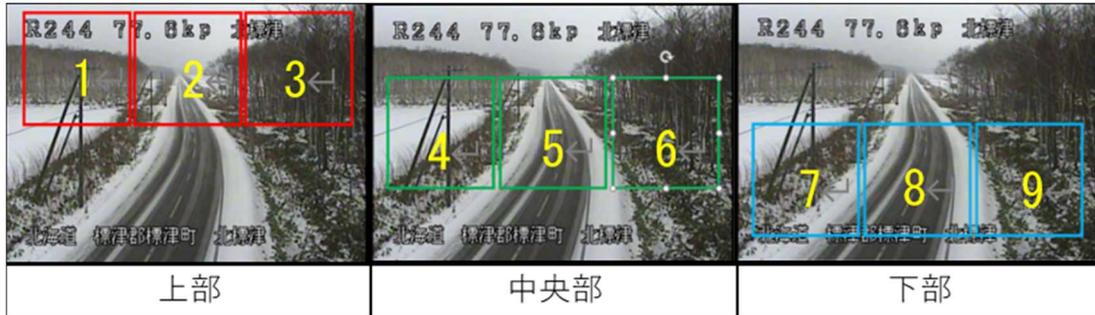


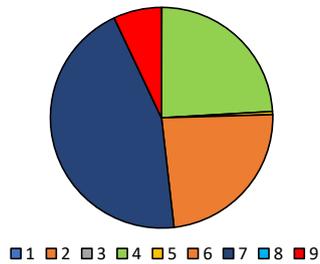
図 2.5 WIPS 最低値の数値分布

(1) 静止画の切り出し位置の番号

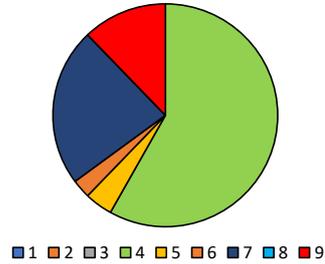


(2) 越川2カメラ

最低値算出位置の割合（越川2・2016年度冬期）

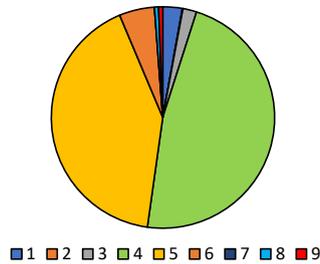


最低値算出位置の割合（越川2・視界不良時）

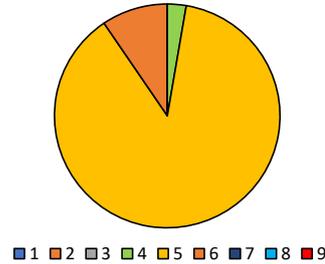


(3) 標津町北標津カメラ

最低値算出位置の割合（北標津・2016年度冬期）

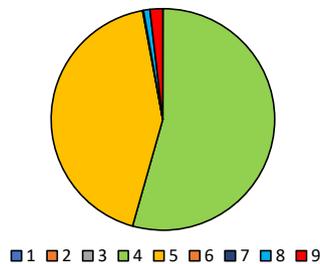


最低値算出位置の割合（北標津・視界不良時）



(4) 中標津町堺カメラ

最低値算出位置の割合（中標津町堺・2016年度冬期）



最低値算出位置の割合（中標津町堺・視界不良時）

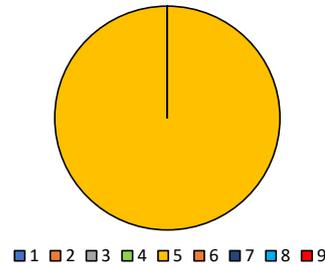


図 2.6 WIPS 最低値の切り出し位置の割合

## 2.9 気象状況と WIPS の変化の比較

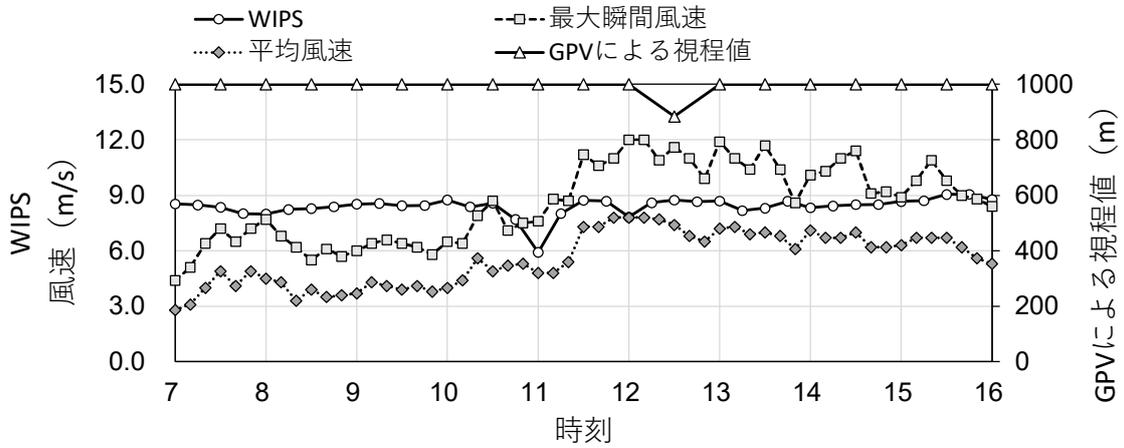
### 2.9.1 国道 244 号 越川 2 カメラ

#### 1) 2016 年 12 月 27 日

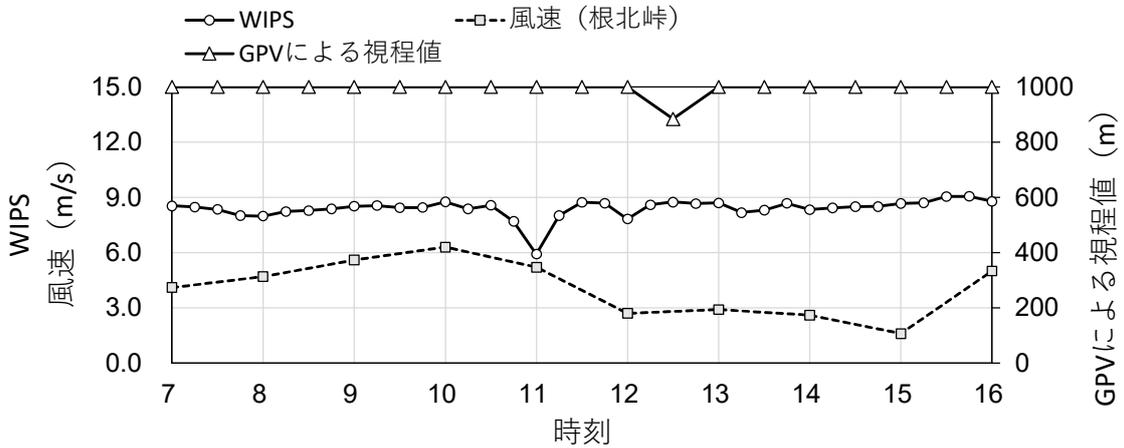
図 2.7 の事例は、2016 年 12 月 27 日午前 11 時頃に発生した国道 244 号越川 2 カメラで捉えた視界不良である。図 2.7(1)は、12 月 27 日の風速(斜里アメダス)・WIPS・GPV による視程値を示している。図 2.7(2)は、同様に風速(根北峠テレメータ)と WIPS・GPV による視程値を示している。図 2.7(3)は、この時間帯で最も視界不良となった時刻(午前 11 時)と、その 30 分前の静止画である。午前 11 時に WIPS は 5.9 まで低下し、静止画からも視界不良を確認できる。一方、同時刻の GPV による視程値は 1,000m となっていた。GPV による気象データでは、地上の視界不良を推定できなかつた事例といえる。

斜里アメダスによると、日中の降水量は 0mm だった。気温は、前日の 12 月 26 日 18 時頃より氷点下となり、20 時・22 時・23 時 30 分には 0.5mm の降水が観測されていた。前日に降った雪が 27 日の強風で舞い上げられ、視界不良が発生したと推測できる。斜里アメダスと根北峠テレメータにて、風速の推移に差が見られた。根北峠のテレメータは斜里アメダスより越川 2 カメラに近く、図 2.6(2)に示す根北峠テレメータによる風速が強くなっていることが、視界不良となったと考えられた。その後、風は弱まり、WIPS も 9.0 付近にて推移した。

(1) WIPS, 風速(斜里アメダス), GPV の視程値の変化[12月27日]



(2) WIPS, 風速(根北峠テレメータ), GPV の視程値の変化[12月27日]



(3) 視界の変化[12月27日]



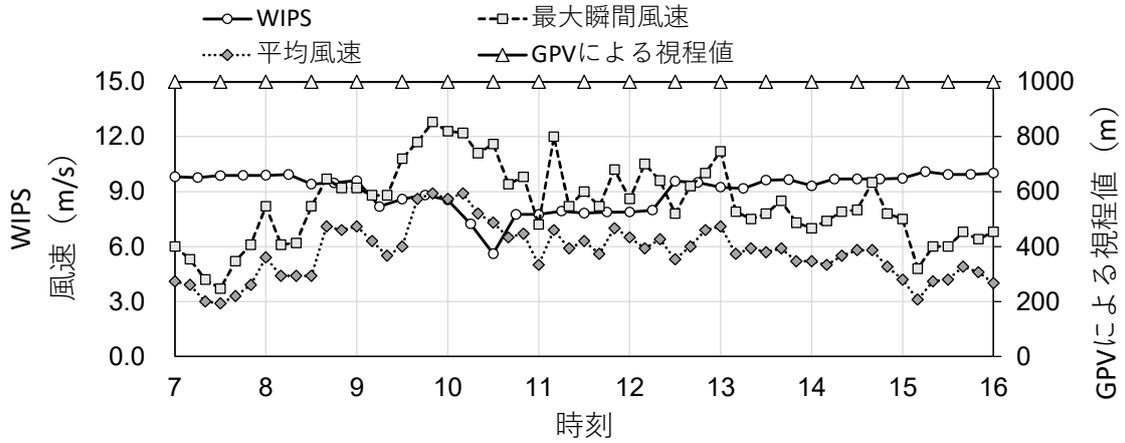
図 2.7 気象状況と視界の変化[越川2カメラ]

## 2) 2017年2月19日

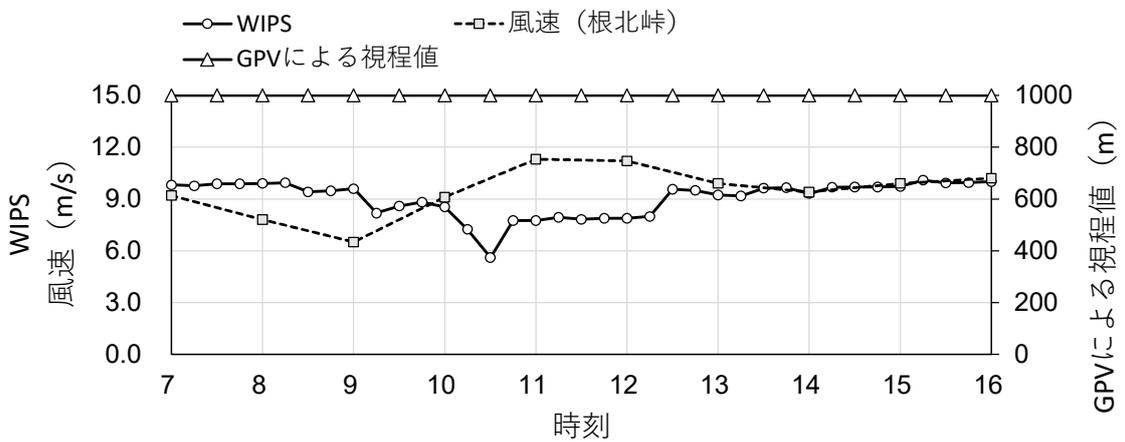
図 2.8 の事例は、2017年2月19日午前10時30分頃に国道244号越川2カメラで発生した視界不良を捉えた。図 2.8(1)は、2月19日の風速(根北峠テレメータ)・WIPS・GPVによる視程値を示している。図 2.8(2)は、同様に風速(根北峠テレメータ)・WIPS・GPVによる視程値を示している。図 2.8(3)は、この時間帯で最も視界不良となった時刻(午前10時30分)とその30分前の静止画である。午前10時30分にWIPSは5.6まで低下し、静止画からも視界不良を確認できる。一方、GPVによる視程値は終日1,000mとなっていた。こちらも、GPVによる気象データでは地上の視界不良を推定できなかった事例といえる。

斜里アメダスによると、気温は2日前の2月17日15時以降に氷点下となり、17日の降水量は時折0.5mm、19日の降水量は終日0mmだった。18日から19日にかけては、終日氷点下8℃前後の厳しい寒さが続いていた。2日前に降った雪が気温の低下により乾き、当時は最大瞬間風速も大きく、風速の上昇と共にWIPSが下降していたことから、風が強まったことで舞い上げられ、視界不良を発生させたと推測できる。

(1) WIPS, 風速(斜里アメダス), GPV の視程値の変化[2月19日]



(2) WIPS, 風速(根北峠テレメータ), GPV の視程値の変化[2月19日]



(3) 視界の変化[2月19日]



図 2.8 気象状況と視界の変化[越川2カメラ]

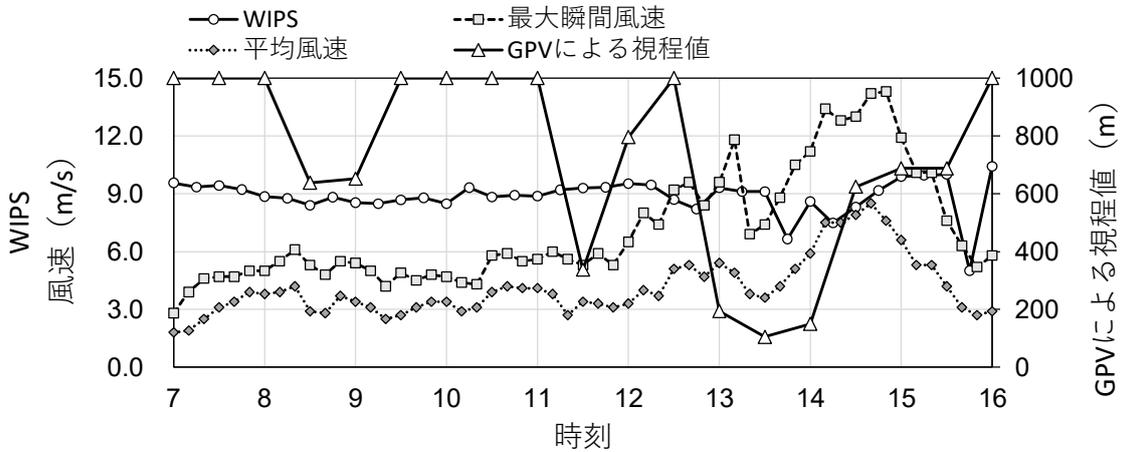
## 2.9.2 国道 244 号 標津町北標津カメラ

### 1) 2016 年 12 月 6 日

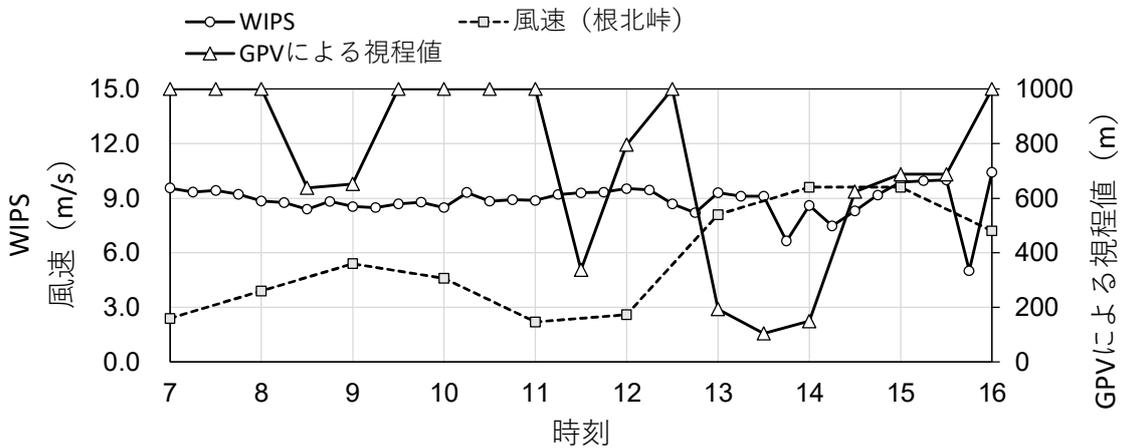
図 2.9 の事例は、2016 年 12 月 6 日午後 14 時頃に発生した国道 244 号標津町北標津カメラで捉えた視界不良である。図 2.9(1)は、12 月 6 日の風速(標津アメダス)・WIPS・GPV による視程値を示している。図 2.9(2)は、同様に風速(根北峠テレメータ)・WIPS・GPV による視程値を示している。図 2.9(3)は、この時間帯で最も視界不良となった時刻(午後 13 時 45 分)とその 30 分前の静止画である。13 時 45 分に WIPS は 6.7 まで低下し、静止画からも視界不良を確認できる。一方、GPV による視程値も 100~150m となっており、WIPS と GPV による視程値の両方で、地上の視界不良を推定できた事例といえる。標津アメダスによると、午前中から正午過ぎにかけて 0.5mm の降水が観測されており、視界不良発生時刻の降水量は 0mm であった。したがって、午前中に降った雪が、風速の変化と共に視界不良を発生させたと推測できる。

また、この日は午後 15 時 45 分にも視界不良の発生を捉えた。図 2.9(4)が、午後 15 時 45 分と前後 15 分の静止画を示している。15 時 45 分に WIPS は 5.0 まで低下し、静止画からも視界不良を確認できるのに対し、GPV による視程値は 700~800m となっていた。GPV による気象データでは地上の視界不良を推定できなかった事例といえる。標津アメダスでは、その時間帯の風速は収束していたが、標高の近い根北峠テレメータでは、標津アメダスの観測値より風速は大きい値で変化をしており、急な風速の変化により発生した視界不良を捉えたと考えられる。さらに、標津町北標津カメラに隣接する、金山カメラ(東経 144.914, 北緯 43.740)の同時刻(午後 15 時 45 分)の静止画を分析したところ、視界不良は生じていなかった。一時的に標津町北標津カメラ地点に急な風が流れ込み、視界不良を発生させたとも考えられる。

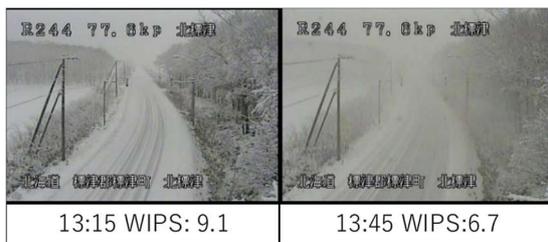
(1) WIPS, 風速(標津アメダス), GPV の視程値の変化[12月6日]



(2) WIPS, 風速(根北峠テレメータ), GPV の視程値の変化[12月6日]



(3) 視界の変化[12月6日]



(4) 視界の変化[12月6日 15時45分前後]

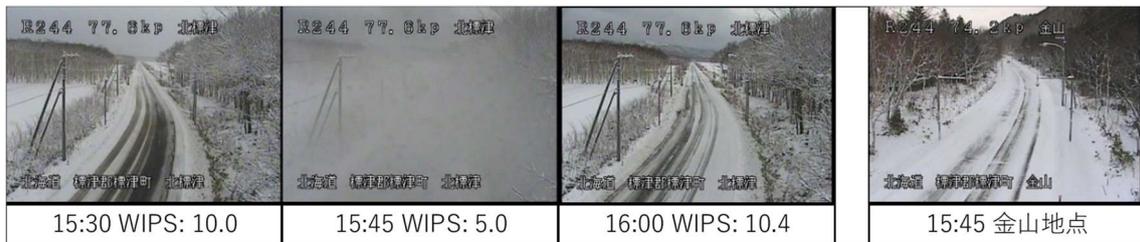


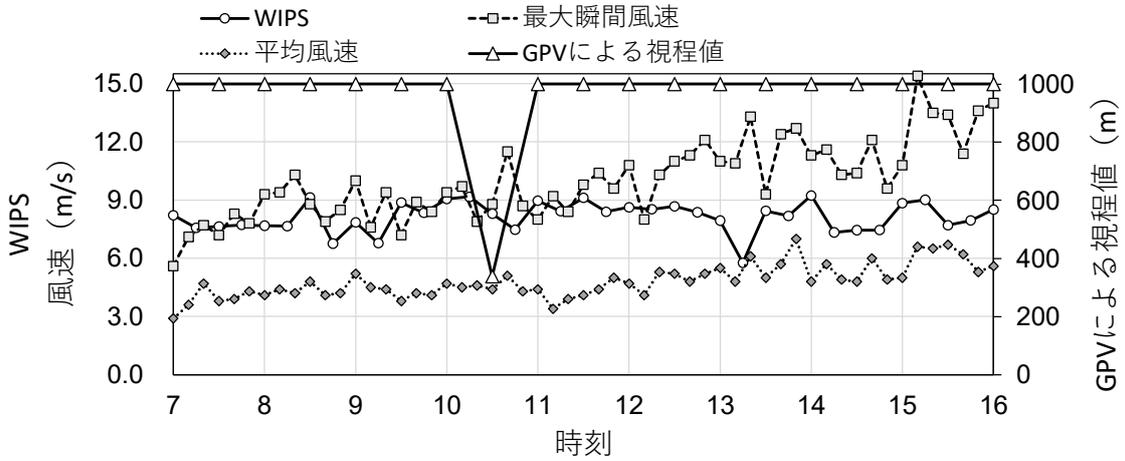
図 2.9 気象状況と視界の変化[標津町北標津カメラ]

## 2) 2016年12月11日

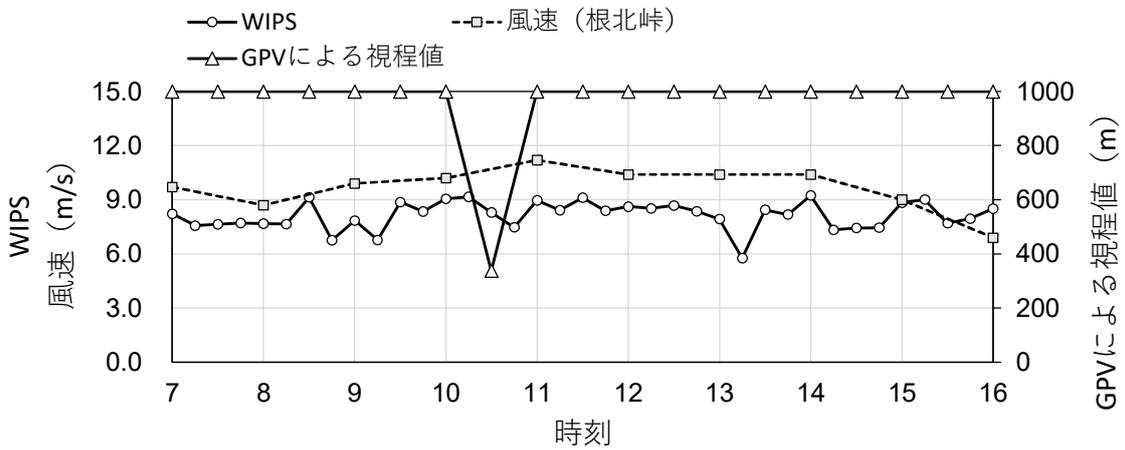
図 2.10 の事例は、2016 年 12 月 11 日午後 13 時頃に発生した国道 244 号標津町北標津カメラで捉えた視界不良である。図 2.10(1)は、12 月 11 日の風速(標津アメダス)・WIPS・GPV による視程値を示している。図 2.10(2)は、同様に風速(根北峠テレメータ)・WIPS・GPV による視程値を示している。図 2.10(3)は、この時間帯で最も視界不良となった時刻(午後 13 時 15 分)とその 1 時間前の静止画である。13 時 15 分に WIPS は 5.8 まで低下し、静止画からも視界不良を確認できる。一方、GPV による視程は 1,000m となっていた。この日(12 月 11 日)の降水量(標津アメダス)は終日 0mm であった。GPV による気象データでは地上の視界不良を推定できなかった事例といえる。図 2.10(3)の 12 時 15 分の静止画からもわかるように、風により雪が舞っている状況が見られた。13 時 15 分のタイミングで、標津アメダスの最大瞬間風速が高くなっていた。

2016 年 12 月 6 日 (図 2.9) の事例と同様に、この CCTV カメラ地点で局所的に風速が強くなり、雪が舞いあげられ視界不良となったと推測できる。

(1) WIPS, 風速(標津アメダス), GPV の視程値の変化[12月11日]



(2) WIPS, 風速(根北峠テレメータ), GPV の視程値の変化[12月11日]



(3) 視界の変化[12月11日]



図 2.10 気象状況と視界の変化[標津町北標津カメラ]

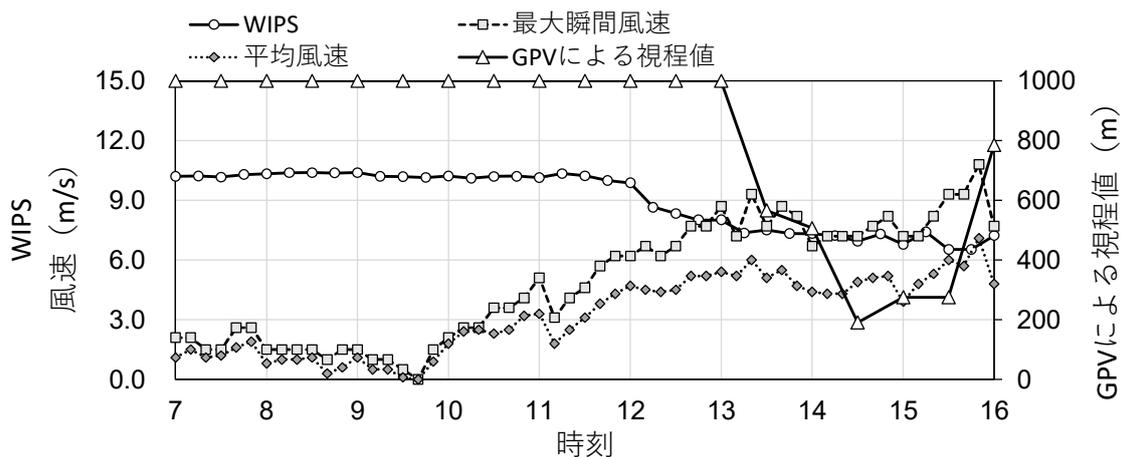
### 2.9.3 国道 272 号 中標津町堺カメラ

#### 1) 2016 年 12 月 9 日

図 2.11 の事例は、2016 年 12 月 9 日午後 14 時 30 分頃に発生した国道 272 号中標津町堺付近の視界不良である。図 2.11(1)は、12 月 9 日の風速(根室中標津アメダス)・WIPS・GPV による視程値を示している。図 2.11(2)はこの時間帯で最も視界不良となった時刻(午後 14 時 30 分)とその 1 時間前の静止画である。14 時 30 分の WIPS は 6.5 まで低下し、静止画からも視界不良を確認できる。同時刻の GPV による視程は 191m となっており、WIPS と GPV による気象データの両方から地上の視界不良を推定できた事例である。

根室中標津アメダスによると、正午過ぎから 16 時頃にかけて風速は上昇し、WIPS は下降した。降水量は正午過ぎから夕方にかけて 0.5mm~1.5mm であった。気温は早朝が氷点下 10~13℃で、午後は氷点下 2℃付近へと上昇した。よって、図 2.10 の事例は風雪により発生した視界不良と考えられる。

#### (1) WIPS, 風速(根室中標津アメダス), GPV の視程値の変化[12 月 9 日]



#### (2) 視界の変化[12 月 9 日]



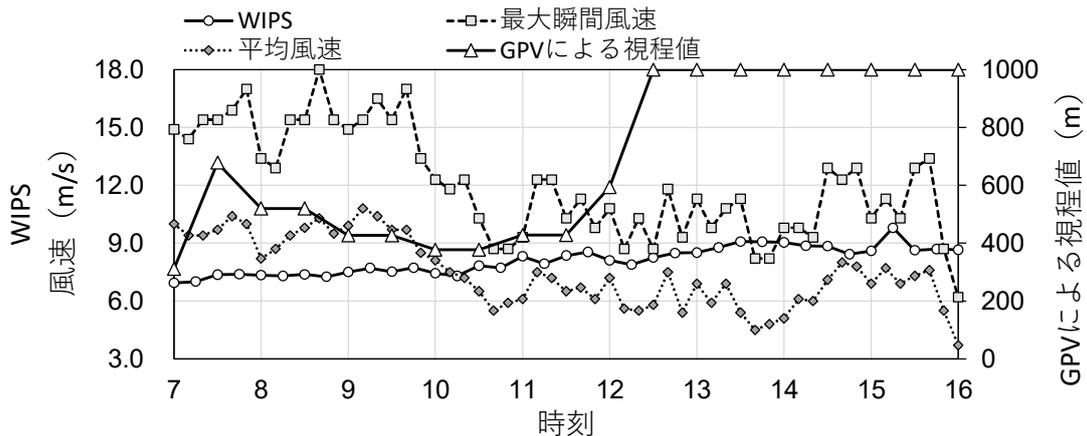
図 2.11 気象状況と視界の変化[中標津町堺カメラ]

2) 2017年1月23日

図 2.12 は、2017年1月23日午前7時30分頃に発生した国道272号中標津町塚カメラ付近の降雪を伴う視界不良である。図 2.12(1)は、風速(根室中標津アメダス)・WIPS・GPV による視程値を示している。図 2.12(2)は、この時間帯で最も視界不良となった時刻(午前7時30分)とその3時間後の静止画を示している。7時30分に WIPS は7.4 まで低下し、静止画からもやや視界不良の状態となっていることを確認できる。同時刻の GPV による視程値は500~700m となっていた。WIPS と GPV による気象データの両方から視界不良を推定できた事例である。

根室中標津アメダスによると、早朝まで風速は強く、降水量は0.5mmを観測していた。WIPS が比較的低くその変化が小さいのは、路面が圧雪状態でコントラストの対比が不鮮明となり、WIPS が低く算出されたためと言える。このように、道路全体が白くなりドライバ前方の線形誘導性が低くなった場合においても、WIPS は低くなる。

(1) WIPS, 風速(根室中標津アメダス), GPV の視程値の変化[1月23日]



(2) 視界の変化[1月23日]



図 2.12 気象状況と視界の変化[中標津町塚カメラ]

## 2.10 本章のまとめ

第2章では、3箇所のCCTVカメラで捉えた6つの視界不良の事例について考察した。解析の結果から、WIPSとGPVの視程値の双方で視界不良となった事例は、視界不良が発生した日時に、降水(降雪)が直近にあり、かつ強風となるときに観測されていた。一方、WIPSでは視界不良となったがGPVの視程値では視界不良とならなかった事例は、降雪がなくても地表に堆雪した雪が舞いやすい状況で、地表が強風となるときであった。地表が局所的に強風となる状況でも、WIPSでは視界不良を示すことができた。道路周辺で雪が舞いやすい状況かどうか、および局所的な強風をGPVの視程値では把握できず、視界不良を示さなかった。

これらの結果から、GPVの視程値では検知が難しい地表に堆積した雪が、風により舞い上げられることにより発生する視界不良を、WIPSにより検知できることを明らかにできた。ただし、視界不良の評価に静止画のWIPSを用いることの課題として、視界不良を判別する基準の明確化、静止画内の背景や対象物がWIPSに与える影響の軽減など、WIPSによる視界不良の評価の客観性を高める方法を今後検討することが必要である。また、従来の気象観測システムからの視界情報を、道路に設置されているCCTVカメラで撮影される静止画からの視界情報で補正することは、危険な状況を想定する冬期道路管理、および防雪計画の高度化において有効であり、映像による視界評価が今後導入されることが望まれる。

## 参考文献

- 1) 松澤勝：吹雪時の視程推定手法とその活用に関する研究，寒地土木研究所報告，第 126 号，寒地土木研究所，2006.5.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 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) 国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所：道路吹雪対策マニュアル(平成 23 年改訂版)，pp.76-80, 2011.3.
- 6) 松澤勝，武知洋太，國分徹哉，大宮哲，原田裕介：気象条件から視程を推定する手法を用いた吹雪視程予測，雪氷研究大会(名古屋)，日本雪氷学会，2016.
- 7) 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.

## 第3章 XRAINの降水強度とCCTVカメラの道路画像を用いた冬期道路上の降雪と視界の時間的変化について

### 3.1 本章の概要

第3章では、時空間分解能の高い降雪情報として、国土交通省の運用するXバンドMPレーダ雨量計(X-MP雨量計)とCバンドMPレーダ雨量計(C-MP雨量計)で構成される仕様の高性能レーダ雨量ネットワーク(XRAIN)で観測された降水強度の、道路沿いの降雪情報としての適用可能性について検証する。具体的には、相互相関を用い、XRAINの降水強度とCCTVカメラのWIPSの時間変化の影響度合いや時間遅れを求め、XRAINの降水強度の時間変化が道路上の視界に与える影響を明らかにする。このとき、冬期道路上の視界の変化は、降雪が弱くても風により雪が舞うことで影響を受けることもある。XRAINの降水強度に加え、アメダスの風向風速データを併せて用い、風向風速の時間変化が道路上の視界に与える影響について考慮する。これらの結果を用いて、冬期道路上の視界の評価において、XRAINの降水強度、アメダスの風向風速データ、CCTVカメラの静止画のWIPSを組み合わせ視界を評価することの利点を示す。

### 3.2 対象地域と時間帯・分析に用いるデータ

#### 3.2.1 対象地域と時間帯

本章で対象とする地域は、図3.1に示す北海道開発局留萌開発建設部管理の国道232号の22km区間(K.P.56.0~K.P.78.0)とした。K.P.は、キロポスト(距離標)のことである。図3.1には、国道232号の22km区間におけるキロポスト地点、7箇所のCCTVカメラ、2箇所の地域気象観測システム(アメダス)の位置を示している。この区間は北海道西岸に位置しており、冬期に冬型の気圧配置が緩むとき、北海道西岸では小低気圧や収束帯が発生する<sup>1)</sup>。その結果、様々な方向からの風向がぶつかり雪雲が発達し、まとまった量の降雪や風による地吹雪の影響で、視界不良が発生すると考えられる。表3.1は、分析対象とした2つの冬期期間における11の時間帯の平均気温、平均風速、主な風向をそれぞれ示している。図3.2は、11の時間帯を含む日時の天気図をそれぞれ示している。北海道の付近に低気圧があり、対象地域付近では等圧線の間隔が狭い日が多い。したがって、風が強まり吹雪による視界不良が発生する可能性が高かった。また、雪氷の付着やカメラの撮影方向が変わる影響を避けるため、7箇所のCCTVカメラのうち、これらの影響がほとんどない2箇所のCCTVカメラ(K.P.67.8とK.P.72.0)を分析に使用した。表3.2にCCTVカメラの主な仕様を示す<sup>2)</sup>。現在、CCTVカメラはHD画質(1280×720)が標準であるが、分析に用いる羽幌地域のCCTVカメラはSD画質(720×480)である。

図 3.3 は、本研究の対象地域に近い XRAIN の函岳観測所の位置と、対象地域を含む羽幌地域の 10km メッシュを示している。10km メッシュは、降水強度を提供するための 100 個の 1km メッシュから構成される。

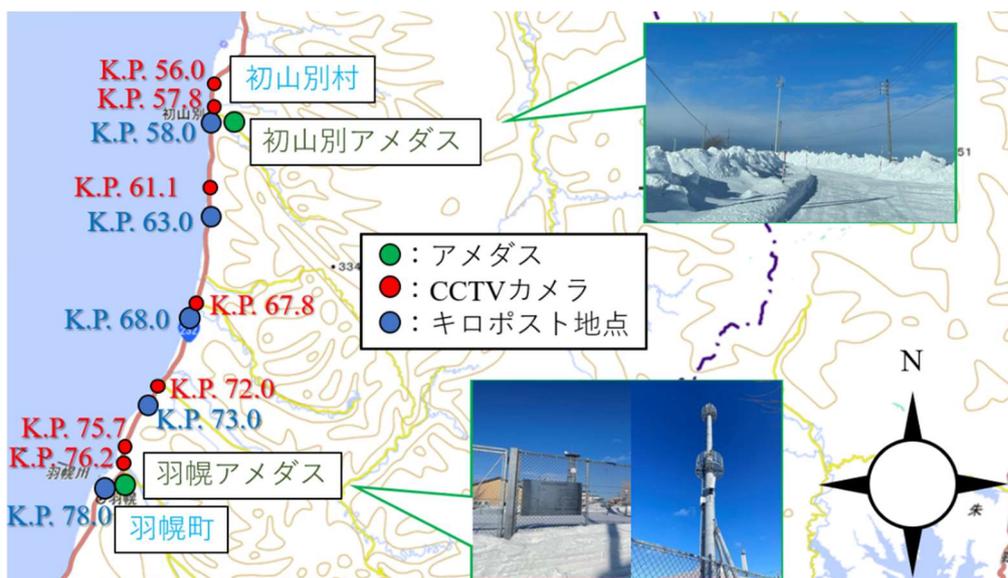


図 3.2 22 km 区間を含む羽幌地域の地図

表 3.1 吹雪による視界不良が発生しやすい時間帯の一覧

| 年月日        | 番号 | 時間帯         | 平均気温(°C) | 平均風速(m/s) | 主な風向    |
|------------|----|-------------|----------|-----------|---------|
| 2020/12/26 | 1  | 12:00-16:00 | -5.7     | 10.5      | 西北西     |
| 2020/12/27 | 2  | 11:00-15:00 | -4.5     | 8.0       | 西または西北西 |
| 2020/12/29 | 3  | 10:00-14:00 | -5.4     | 9.7       | 西       |
| 2020/12/31 | 4  | 12:00-13:30 | -7.2     | 3.3       | 南南東     |
|            | 5  | 13:40-16:00 | -6.6     | 11.9      | 西北西     |
| 2021/12/28 | 6  | 10:00-11:00 | -9.4     | 1.8       | 東南東     |
|            | 7  | 11:10-14:00 | -4.7     | 7.6       | 西北西     |
| 2021/12/30 | 8  | 8:00-12:00  | -2.5     | 6.0       | 西北西     |
| 2022/1/29  | 9  | 11:00-15:00 | -4.8     | 7.6       | 西または西南西 |
| 2022/2/3   | 10 | 12:00-13:20 | -4.1     | 3.0       | 北または北北東 |
|            | 11 | 13:30-16:00 | -3.6     | 6.8       | 北西      |

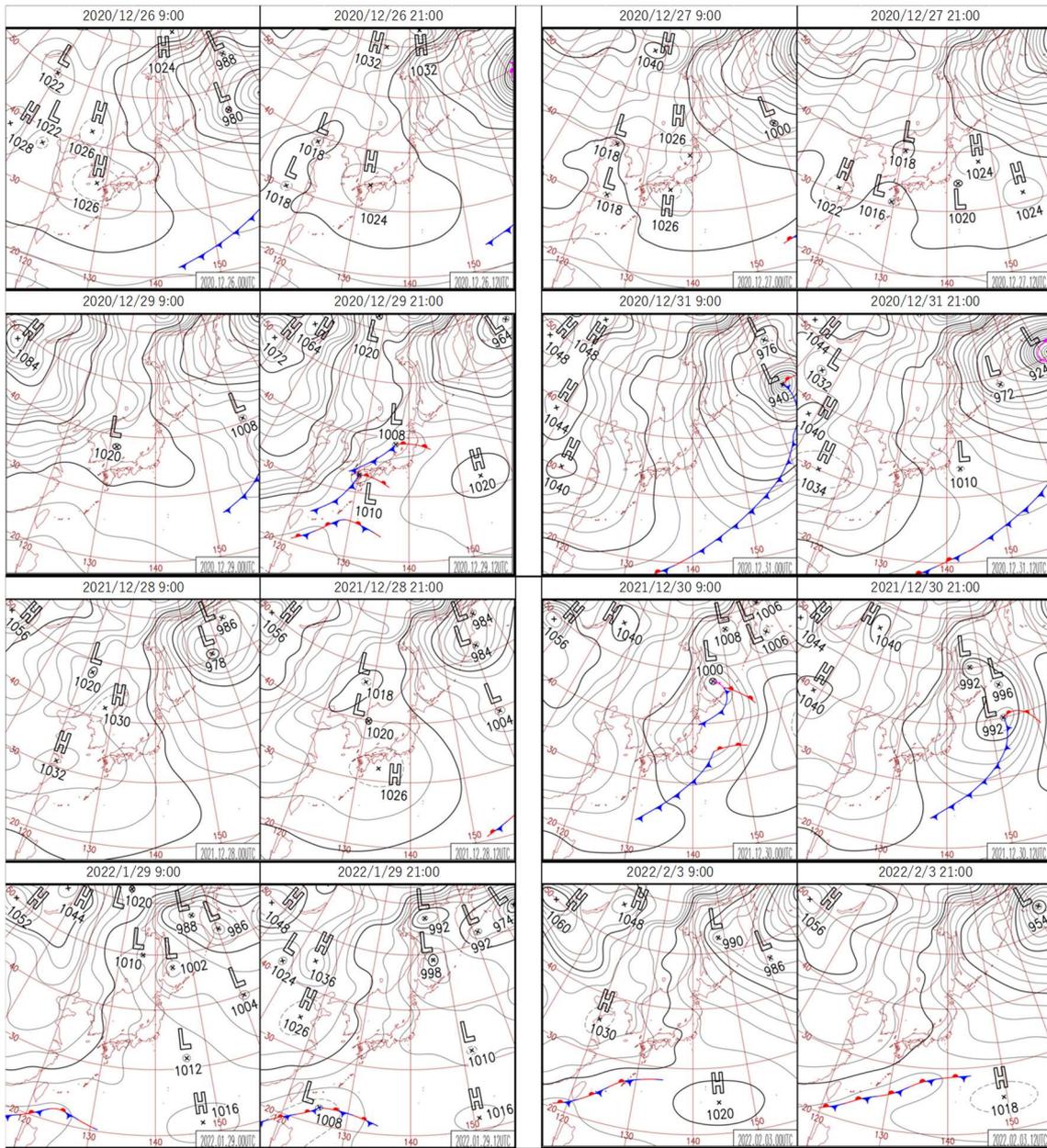


図 3.2 対象とした日時の天気図

表 3.2 国土交通省が設置する CCTV カメラの仕様

|         |                                       |
|---------|---------------------------------------|
| 撮像素子    | 単板CCD (カラー)                           |
| 有効画素数   | 約38万画素以上                              |
| 解像度     | 水平：480本以上                             |
| S/N     | 47dB以上                                |
| 最低被写体照度 | 電子感度OFF：0.4ルクス以下<br>電子感度ON：0.007ルクス以下 |
| カメラケース  | ワイパ・デフロスタ付き                           |

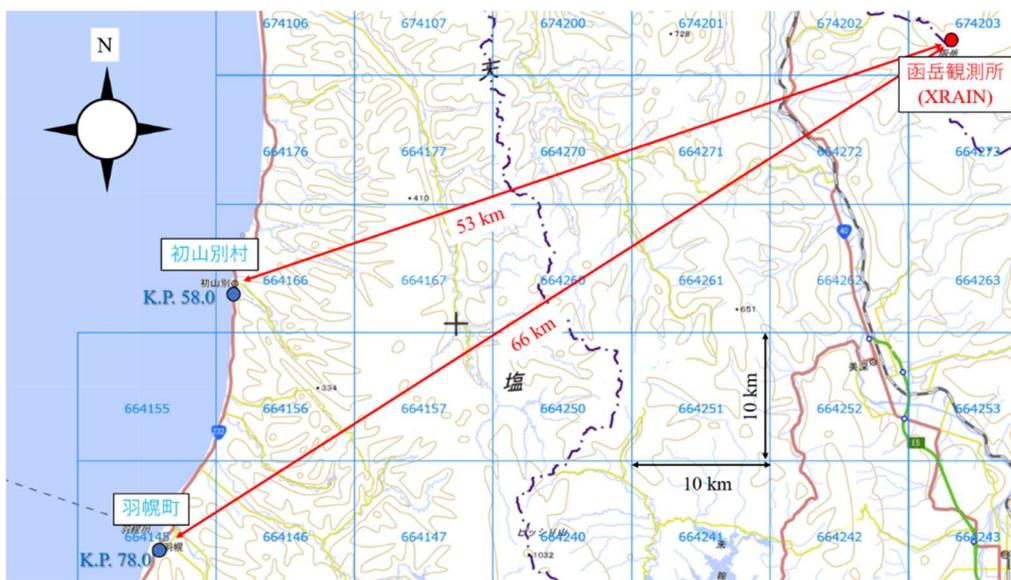


図 3.3 羽幌地域の 10km メッシュと函岳観測所の地図

### 3.2.2 分析に用いるデータ

本章で対象とする現象は、吹雪による視界不良である。冬期の北海道では、気温が低く乾いた雪質の粒子が地上に堆積し、風が強まることで吹雪が発生する。吹雪による視界不良は、降雪および積雪量の観測が数センチでも発生する。このような気象条件下において、冬期の道路路線に沿った視界の変化を分析するために、4 種のデータを用いた。

#### a) XRAIN の降水強度 (mm/h)

XRAIN は、河川の維持管理や防災活動のために、国土交通省が開発したリアルタイム雨量観測システムである。土屋らは、X-MP 雨量計で構成される初期の仕様の XRAIN による雨量観測は、レーダ近傍は観測精度が高いが、レーダから離れるにつれて過小傾向を示していたことを明らかにした<sup>3),4)</sup>。過小評価の要因として、X-MP 雨量計は、使用する波長帯の特性から降雨による電波の減衰（降雨減衰）が大きい。そのため、強雨域では電波が大きく減衰し、観測不能領域（電波消散域）が発生する場合があることを示した<sup>5),6)</sup>。山地らは、X-MP 雨量計と降雨減衰が小さく電波消散域が発生し難い C-MP 雨量計の連携技術について検討した。その結果、C-MP 雨量計と X-MP 雨量計の合成により、観測された雨量情報の 1 分間隔配信の広域化と電波消散域が発生しにくい観測の安定化を可能とする成果を得た<sup>7)</sup>。五十嵐らは、2018 年より一般へのデータ提供が開始された新しい仕様の XRAIN（C-MP 雨量計と X-MP 雨量計を合成したもの）を用いて、合成されたレーダ雨量計では、X-MP 雨量計で発生していた強雨による電波の減衰の影響で発生する消散がないことを確認した<sup>8)</sup>。

従って、X-MP 雨量計と C-MP 雨量計が合成された新しい仕様の XRAIN では、降雨減衰や電波消散の影響が少なく、道路路線に沿った降水強度を把握できる可能性があると考え

られる。ただし、XRAIN の降水強度は大気中の雨粒子の観測に基づいているが、冬期には空気中の多くは雪粒子である。雪粒子の粒径は雨粒子より大きく、レーダの反射強度は強くなるが、大きさや形状が一様でないため、降雪の観測は降雨の観測とは状況が異なる可能性がある。さらに、上空から落下する雪粒子が地面に到達するまでの移流について考慮する必要がある<sup>9),10)</sup>。冬期の降雪や吹雪を把握するために XRAIN の降水強度を降雪情報として用いる上で、雪粒子に対するレーダの反射強度や移流については今後も検討すべき課題である。降水強度 (mm/h) の原データとして、データ統合・解析システム (DIAS) から「国土交通省 XRAIN CXMP composite データセット」をダウンロードした<sup>11)</sup>。このデータセットは、C-MP 雨量計と X-MP 雨量計の地域単位の合成雨量データから構成される。降水強度の空間分解能は 250m メッシュ、観測間隔は 1 分間、情報配信までの時間は約 1 分間である。本研究では、250m メッシュの平均値から求めた 1km メッシュの降水強度から、10 分前から現在時刻までの平均値を求め、現在時刻の降水強度 (mm/h) とした。

#### b) CCTV カメラの静止画

CCTV カメラは高さ 8~10m に設置されており、道路状況やトンネル防災の監視、気象把握を主目的としている。国土交通省では、効率的で高度な維持管理などに必要な無線通信網や光ファイバネットワーク等の電気通信関係の施設を整備し、この光ファイバネットワークに CCTV カメラなどを接続することで、道路管理者が直接動画像を確認できる<sup>12)</sup>。CCTV カメラの静止画は、CCTV カメラで撮影された動画から切り出されており、静止画が動画から切り出される間隔は 5 分である。

#### c) 地域気象観測システムの気温・風向風速

分析対象地域には、2 箇所に地域気象観測システム (アメダス) があり、主に降水量・気温・風向風速・日照の 4 要素を観測している。本研究で対象とする国道 232 号では西風による吹雪が発生しやすいことから、分析に用いた CCTV カメラに近い羽幌特別地域気象観測所 (以降、羽幌アメダス) の気温・風向・風速のデータを 10 分間隔で収集した。

#### d) CCTV カメラの静止画の WIPS

Weighted Intensity of Power Spectra (WIPS) は、道路上の視界を評価するために萩原らによって開発された指標である。本研究では、冬期道路上の視界の評価指標として、CCTV カメラの静止画から WIPS を算出した。WIPS は、人間のコントラスト感度関数に基づいて画像内での空間周波数の差を表していることから、道路上で人間の視が感じる視界に近い評価ができる。WIPS を算出するための画像処理方法は、以下の通りである。

CCTV カメラの動画から切り出された静止画 (720×480 ピクセル) を使用する。次に、道路の遠方を含み、電柱や対象物の影響を避けるように範囲を定め、静止画から 256×256 ピクセルの 2 次元画像を切り出す。そして、256×256 ピクセルの 2 次元画像に記録されている

赤緑青（RGB）成分の強度から、各画素のグレースケール強度を算出した。グレースケール強度は、0 から 255 の範囲である。さらに、2 次元高速フーリエ変換（FFT）を用いて、画像を空間周波数成分ごとに分解した。FFT によって計算されるパワースペクトルの強度は、1 度ごとの周期に対する空間周波数の振幅に相当する。最後に、1.5～18 周期/度の範囲のパワースペクトルの強度を合計したものが WIPS となる。数値が高いほど視界は良好、数値が低いほど視界は不良となる。晴天時には、道路上の画像の各空間周波数成分のパワースペクトルが大きく、WIPS は大きくなる。霧や雪など視界が悪い時は、パワースペクトルは小さくなる。その結果、WIPS は小さくなる。WIPS が 8.0 より高いとき、前方の視界はおおよそ 500～1,000m である。WIPS が 7.5 から 8.0 のとき、前方の視界はおおよそ 200～500m である。WIPS が 7.5 より低いとき、前方の視界はおおよそ 100～200m である。

### 3.2.3 雪氷の付着が WIPS へ与える影響

雪氷の付着により、CCTV カメラの画像は前方の視界とは異なる状況となり、的確な視界評価は難しくなる。このため、雪氷が付着しない道路画像（静止画）を対象とし、これまでも視界評価を行ってきた。ただし、CCTV カメラのケース前方のガラス面にはワイパやデフロスタが装備されており、雪氷の付着を防ぐ対策がなされている<sup>2)</sup>。このため、多くの場面で雪氷の付着は軽度なものとなる。しかし、降雪があり強風となったとき、ケースのガラス面に雪氷が付着する。付着した雪氷で前方を視認できなくなりそうなどとき、道路管理者はカメラの方向を反対に向けるなどの対策を行う。

分析に用いた K.P. 67.8, K.P. 72.0 の 2 箇所の CCTV カメラは、冬期間においてカメラの撮影方向がほとんど変わらなかったことから、雪氷の付着が起きにくいカメラと言えた。実際、表 3.1 の分析対象日時において、WIPS の算出および視界の把握に大きく影響する程度の雪氷の付着はなかった。2020 年 12 月 26 日と 12 月 29 日に、WIPS を算出する範囲に雪氷が若干付着した。このとき、静止画内のコントラストがやや小さくなり、WIPS が視界より低い値となった。ただし、雪氷が付着した時間は短く、かつ WIPS の変化に対する影響は小さかったことから、道路上の視界の評価に用いた。一方、国道 232 号の 22km 区間にある他の 5 箇所の CCTV カメラでは、冬期間にカメラの撮影方向が変わったり、視界を把握できないほどの雪氷の付着があった。

### 3.3 相互相関関数による降水強度と WIPS の分析

#### 3.3.1 降水強度と WIPS の相互相関

相互相関関数は、時間的に変化する2変数間の関係の類似度を示すもので、2つの時系列変数の位相の時間遅れ ( $\tau$ ) の関数として表される<sup>13)</sup>。本研究では、時間的に変化する2変数間（降水強度と WIPS）の相互相関を求めた。式(1)に示すように WIPS を  $y_i$ 、降水強度を  $x_i$  とし、両者の相互相関を計算した。位相の時間遅れ ( $\tau$ ) の単位は (分) である。相互相関の値の符号が負の場合、降水強度の増加後、遅れて WIPS が低くなることを意味する。

#### 3.3.2 相互相関の時間間隔

本研究で用いる相互相関  $C(\tau)$  の時間間隔は5分間隔とした。CCTV カメラの静止画は5分間隔で動画から切り出される。一方、XRAIN の降水強度は1分間隔となる。しかし、2変数間の相互相関を求めるには、両者の時間間隔を揃える必要がある。CCTV カメラの WIPS と降水強度の観測状況を可能な限り重ねるため、相互相関の時間間隔を5分間隔とした。例えば、8時25分から8時30分間に撮像された CCTV カメラの静止画から WIPS を求め8時30分の WIPS とし、8時21分から8時30分までの降水強度の平均値を同時刻の降水強度とした。同様に、8時30分から8時35分間に撮像された CCTV カメラの静止画から WIPS を求め8時35分の WIPS とし、8時26分から8時35分までの降水強度の平均値を同時刻の降水強度とした。このように両者の観測時刻を5分間隔とし、相互相関を計算した。

$$C(\tau) = \frac{\sum_{i=1}^{N-\tau} (x_i - \bar{x})(y_{i+\tau} - \bar{y})}{\sqrt{\left\{ \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \right\} \left\{ \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 \right\}}} \quad (1)$$

$C(\tau)$  : 相互相関

$\tau$  : 位相の時間遅れ (分)

$N$  : データ数 ( $i = 1, \dots, N$ )

$x_i$  : 降水強度 (mm/h)

$y_i$  : WIPS

$\bar{x}$  : 降水強度の平均値 (mm/h)

$\bar{y}$  : WIPS の平均値

### 3.3.3 相互相関を算出する時間の設定

本章では、相互相関を算出する時間は、分析対象日時において、降水強度がピークとなった時刻の前後 30 分を含めた 1 時間単位で設定した。式(1)のデータ数 ( $N$ ) は 12 である。表 3.1 に示す 11 の時間帯において、降水強度が強くなった時間帯を調べ、その時間帯で降水強度がピークとなった時刻を求めた。相互相関を計算する時間は、降水強度がピークとなった時刻の 30 分前から 30 分後までの 1 時間とした。このとき、 $-\tau_{max}$ は-60 分、 $\tau_{max}$ は 60 分である。降水強度がピークとなる時間帯が複数ある場合は、複数の時間帯ごとに相互相関をそれぞれ計算した。相互相関の計算では、降水強度と WIPS の時間遅れの間隔を 5 分とした。

## 3.4 冬期道路上の降雪と視界の関係について

### 3.4.1 分析に用いる図の構成

XRAIN の降水強度を降雪情報として利用し、道路上の視界を評価できるかどうか、相互相関により調査した。ここでは、表 3.1 の 2020 年 12 月 27 日の No.2, 2020 年 12 月 31 日の No.4 と No.5, 2022 年 1 月 29 日の No.9 の 4 つの時間帯について詳細な結果を示す。4 つの時間帯の結果は、図 3.4 から図 3.9 までの 3 つのグラフで構成されている。

1) 2 つの折れ線グラフ：図 3.4 a) から図 3.9 a) の上の折れ線グラフは、風速の時間的変化と主な風向きを示している。図 3.4 a) から図 3.9 a) の下の折れ線グラフは、XRAIN の降水強度と WIPS の時間的変化を示している。縦軸の値が上にいくほど、風速と降水強度は強まる。また、縦軸の値が上にいくほど、WIPS の値は小さく、視界評価は不良を意味することに注意が必要である。WIPS の時間的変化上にある赤い点は、主に視界が悪い箇所を表している。

2) CCTV カメラの静止画：図 3.4 b) から図 3.9 b) は、実際の道路上の視界を把握するために、WIPS の時間的変化上の赤い点に対応する CCTV カメラの静止画を示している。静止画内の赤枠は、WIPS を算出するために 256×256 ピクセルの 2 次元画像を切り出した位置である。

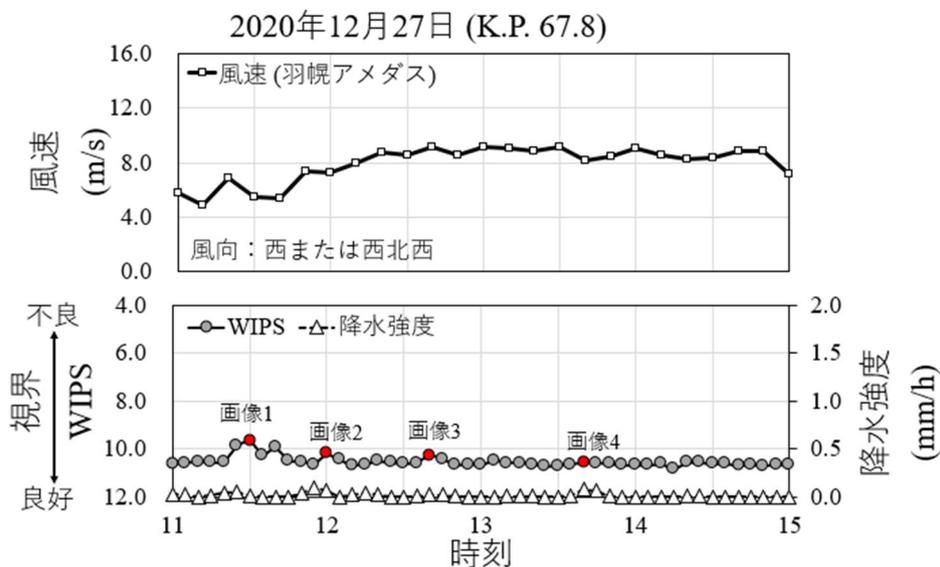
3) 棒グラフ：図 3.5 c) から図 3.9 c) の棒グラフは、降水強度と WIPS の相互相関の結果である。縦軸は降水強度と WIPS の相互相関、横軸は時間遅れ (分) を表している。図 3.5 c) から図 3.9 c) に示した白い棒は、相互相関の最大値を示している。

### 3.4.2 2020年12月27日[時間帯 No. 2]

2020年12月27日のNo.2の時間帯は、降水強度はわずかだが、風が強かった。K.P. 67.8では、降水強度の時間的変化はほぼ0.0 (mm/h) だった。図3.4 a)に示す画像1から画像4に該当する図3.4 b)の4枚の静止画によると、視界は良好だった。WIPSの時間的変化は一定であり、視界が良好である状況を連続的に示している。

K.P.72.0では、11時から12時までの降水強度は0.5 (mm/h) 未満だった。図3.5 a)および図3.5 b)の画像2では、視界がやや悪くなっている。図3.5 c)の白い棒は、相互相関の最大値を示している。相互相関が最大値のとき、符号は負だった。降水強度の時間的変化に連動して、WIPSが変化していることがわかる。

#### a) 風速と WIPS・降水強度の変化



#### b) CCTV カメラの静止画と WIPS [K.P. 67.8]

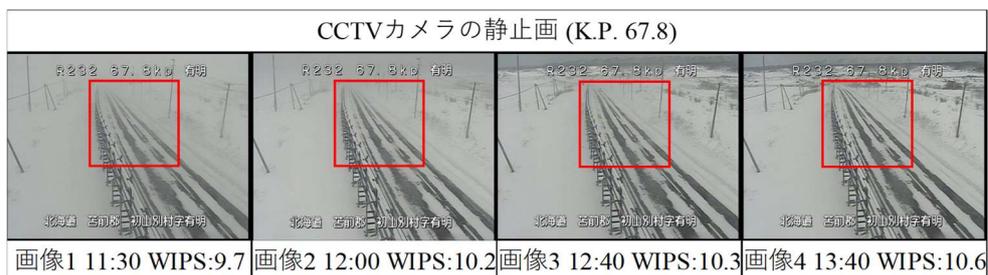
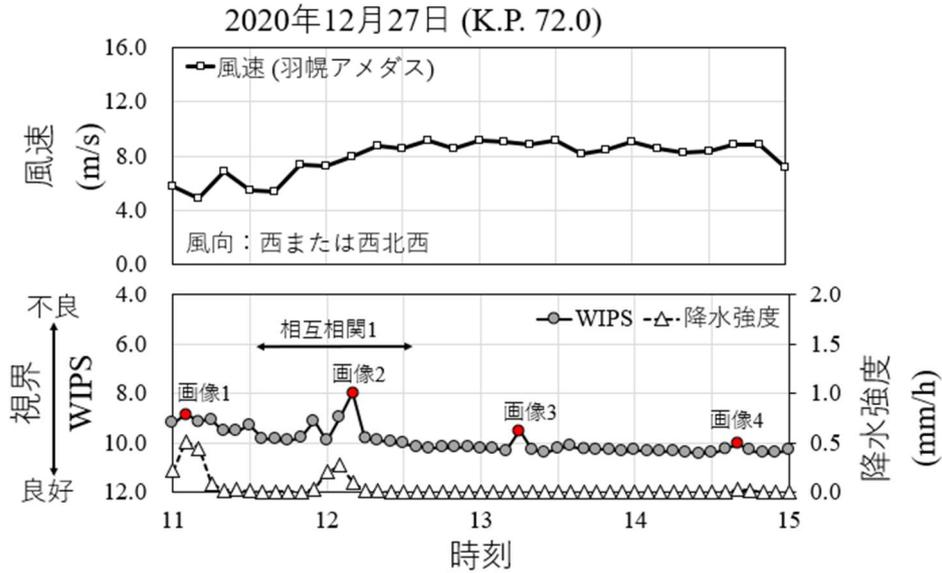
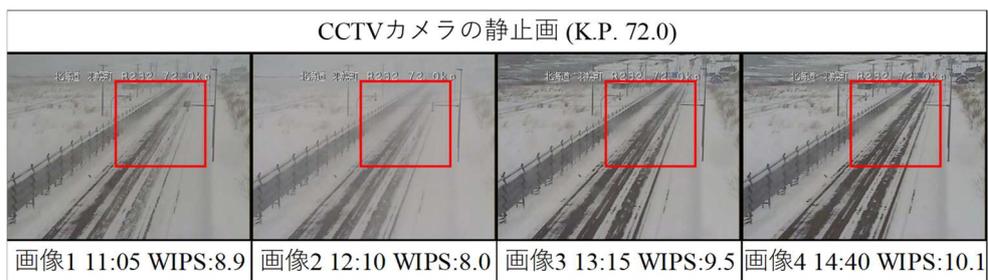


図3.4 2020年12月27日の気象と視界の時間的変化[K.P. 67.8]

a) 風速と WIPS・降水強度の変化



b) CCTV カメラの静止画と WIPS [K.P. 72.0]



c) 相互相関の結果

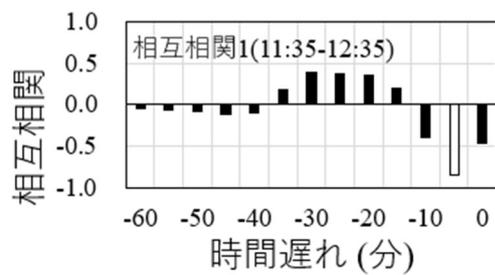


図 3.4 2020 年 12 月 27 日の気象と視界の時間的变化[K.P. 72.0]

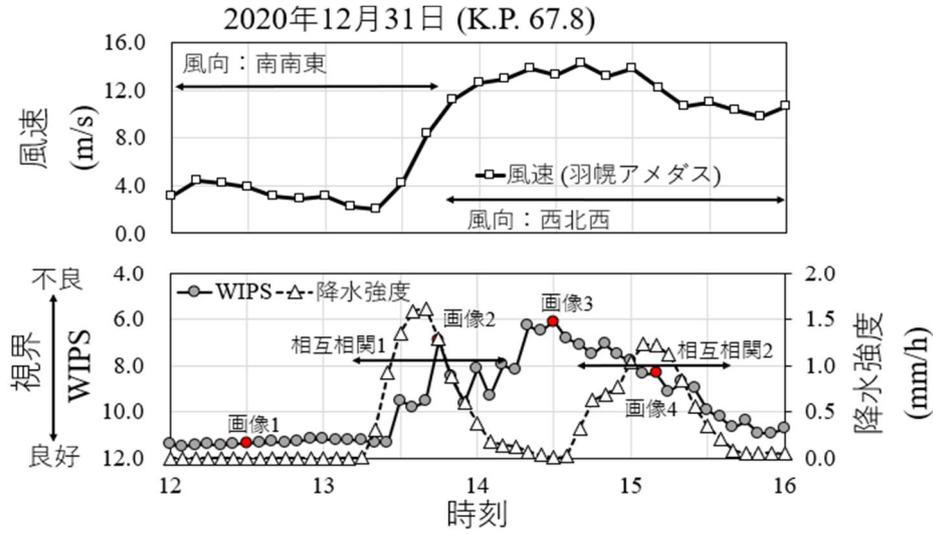
### 3.4.3 2020年12月31日[K.P. 67.8, 時間帯 No.4・No.5]

2020年12月31日のNo.4の時間帯は、風速は弱く風向は南南東だった。K.P. 67.8では、12時から13時15分までの降水強度はほぼ0.0 (mm/h) だった。WIPSの時間的变化は一定で、良好な視界を示している。同日のNo.5の時間帯に風向が西北西へ変化し、風速が2回上昇した。

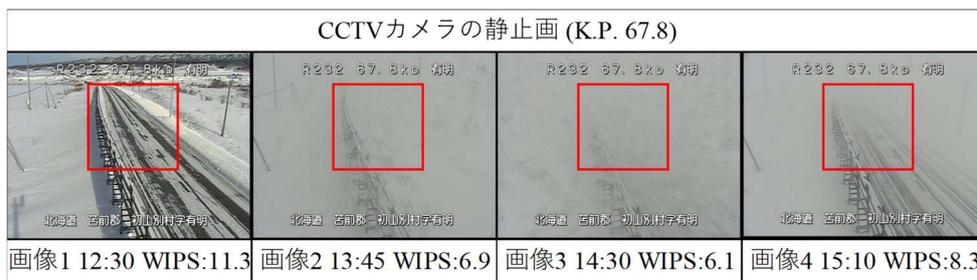
13時20分から14時の降水強度は最大1.5 (mm/h) だった。図3.6 a)および図3.6 b)の画像2の視界は、非常に悪い状態だった。14時から15時にかけては、降水強度とWIPSの時間的变化は異なった。14時30分には降水強度はほぼ0.0 (mm/h) に対し、WIPSは6.0だった。図3.6 a)および図3.6 b)の画像3では、著しい視界不良だった。このときの風速は12.0 (m/s) 以上だった。地上に降り積もった多くの雪粒子が吹雪により舞い上がり、視界が悪くなった。13時10分から14時10分にかけて、相互相関の最大値の符号は負で、時間遅れは10分だった。WIPSは降水強度と連動して動いていた。

14時40分から15時30分にかけて、降水強度が最大1.3 (mm/h) へ再び増加した。図3.6 a)および図3.6 b)の画像4では、吹雪の影響で視界不良となっている。図3.5 c)は相互相関を示しており、図中の白い棒が相互相関の最大値である。14時40分から15時40分にかけて、相互相関の符号は正で、時間遅れは25分だった。WIPSと降水強度の時間的变化は異なった。

a) 風速と WIPS・降水強度の変化



b) CCTV カメラの静止画と WIPS [K.P. 67.8]



c) 相互相関の結果

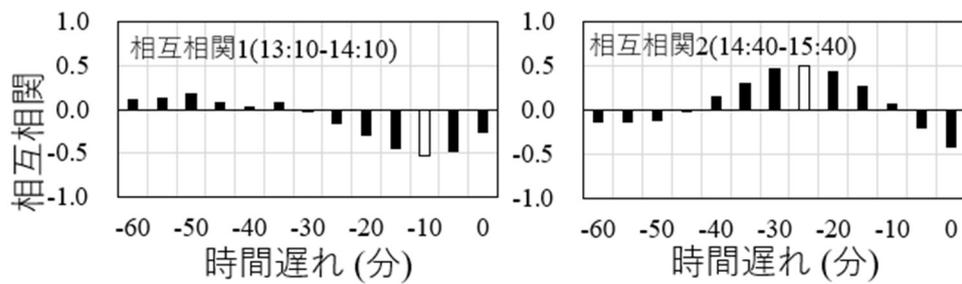


図 3.6 2020 年 12 月 31 日の気象と視界の時間的变化[K.P. 67.8]

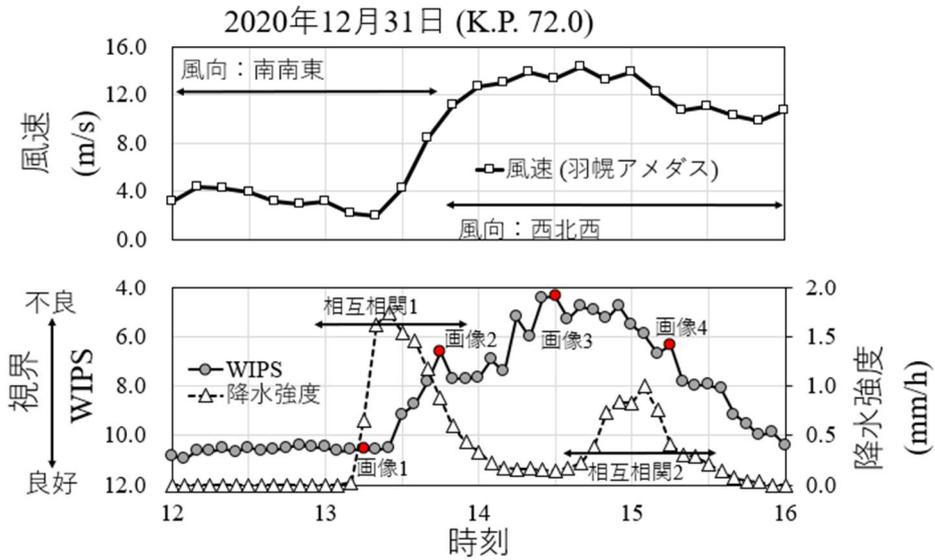
#### 3.4.4 2020年12月31日[K.P. 72.0, 時間帯 No. 4・No. 5]

2020年12月31日のNo.4の時間帯は、風速は弱く風向は南南東だった。K.P. 72.0では、13時10分から13時30分にかけて降水強度が約1.5 (mm/h)へ増加した。WIPSの時間的変化は一定で、視界は良好である。図3.7 a)および図3.7 b)の画像1では、視界は良好だった。12時55分から13時55分までは、相互相関の最大値の符号は負で、時間遅れが15分だった。

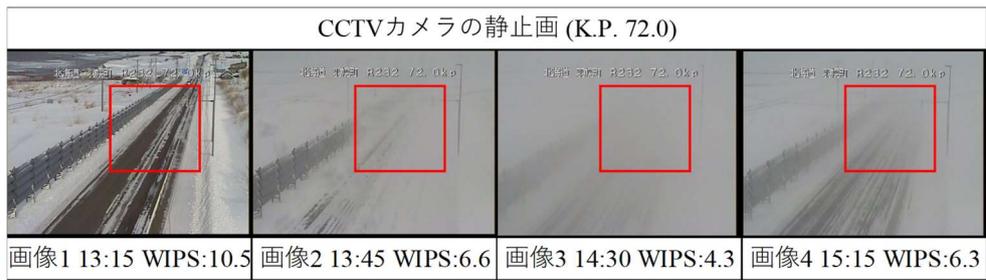
同日のNo.5の時間帯は、風速が14.0 (m/s)程度まで上昇し、風向が西北西に変化した。13時30分から14時30分にかけて、降水強度は0.5 (mm/h)以下へ減少した。13時45分の降水強度は約0.8 (mm/h)、WIPSは6.6だった。14時30分の降水強度は約0.2 (mm/h)、WIPSは4.3だった。図3.7 a)および図3.7 b)の画像2と画像3の視界は、著しく不良だった。このときの風速は、12.0 (m/s)以上だった。地上に降り積もった多くの雪粒子が吹雪により舞い上がり、視界が悪くなった。

14時30分から15時30分にかけて、降水強度が約1.0 (mm/h)へ再び増加した。図3.7 a)および図3.7 b)の画像4の視界は、吹雪の影響で不良だった。15時10分以降に降水強度は減少し、ほぼ0.0 (mm/h)になった。14時35分から15時35分にかけて、図3.7 c)に示す相互相関の最大値の符号は正で、時間遅れは25分だった。WIPSと降水強度の時間的変化は異なった。

a) 風速と WIPS・降水強度の変化



b) CCTV カメラの静止画と WIPS [K.P. 72.0]



c) 相互相関の結果

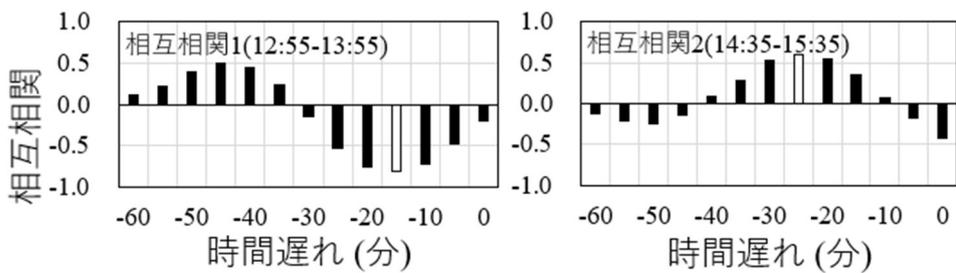


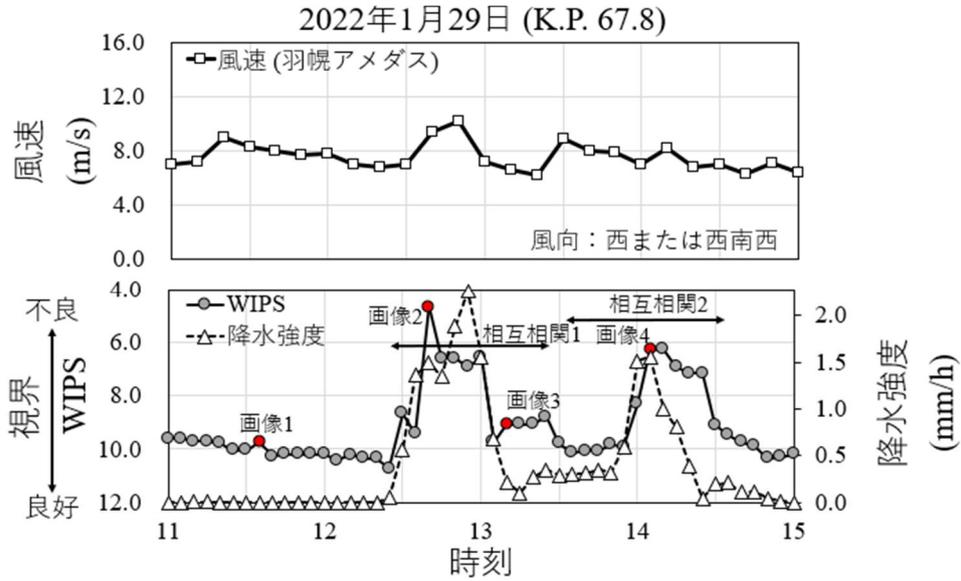
図 3.7 2020 年 12 月 31 日の気象と視界の時間的变化[K.P. 72.0]

### 3.4.5 2022年1月29日[時間帯 No. 9]

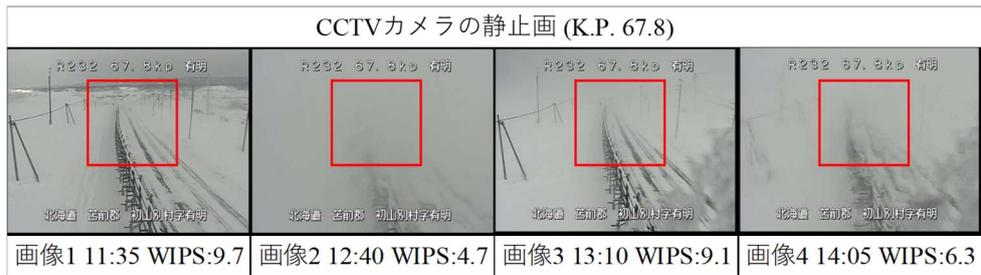
2022年1月29日のNo.9の時間帯は、風速がやや強く風向は西だった。K.P. 67.8では、12時30分から14時30分までは降水強度が増加し、その値は最大2.0(mm/h)以上だった。図3.8 a)および図3.8 b)の画像2と画像4の視界は、降雪の影響で不良だった。図3.8 c)では、12時30分から13時30分、13時35分から14時35分において、相互相関の最大値の符号は負、時間遅れは0分または5分だった。降水強度とWIPSの時間的变化は連動して動いていた。

K.P. 72.0では、12時30分から13時30分まで降水強度が増加し、その値は約1.0(mm/h)だった。12時30分から13時までは風速がやや強く、風向は西だった。図3.9 a)および図3.9 b)の画像2は、視界が悪くなっている。12時10分から13時10分の間、相互相関の最大値は0.8だった。図3.9 c)に示す相互相関の時間遅れは10分だった。12時30分から13時にかけて降水強度は減少したが、風速が増加したことで、吹雪による視界不良が発生した。13時から13時30分にかけて、再び降水強度が増加し、その値は約1.0(mm/h)だった。13時から14時にかけて風速はやや強く、風向は西だった。図3.9 a) および図3.9 b)の画像3と画像4の視界は、非常に悪かった。13時30分から14時30分において、図3.9 c)に示す相互相関の最大値は約0.6だった。13時30分から14時は降水強度が0.5(mm/h)へと減少したが、風速が強かったため、吹雪による視界不良が発生した。

a) 風速と WIPS・降水強度の変化



b) CCTV カメラの静止画と WIPS [K.P. 67.8]



c) 相互相関の結果

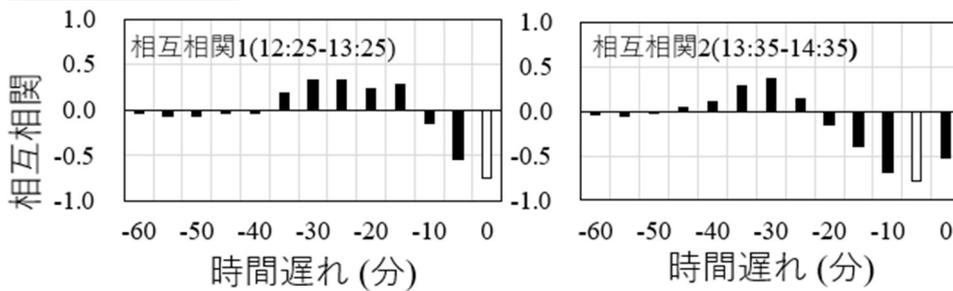
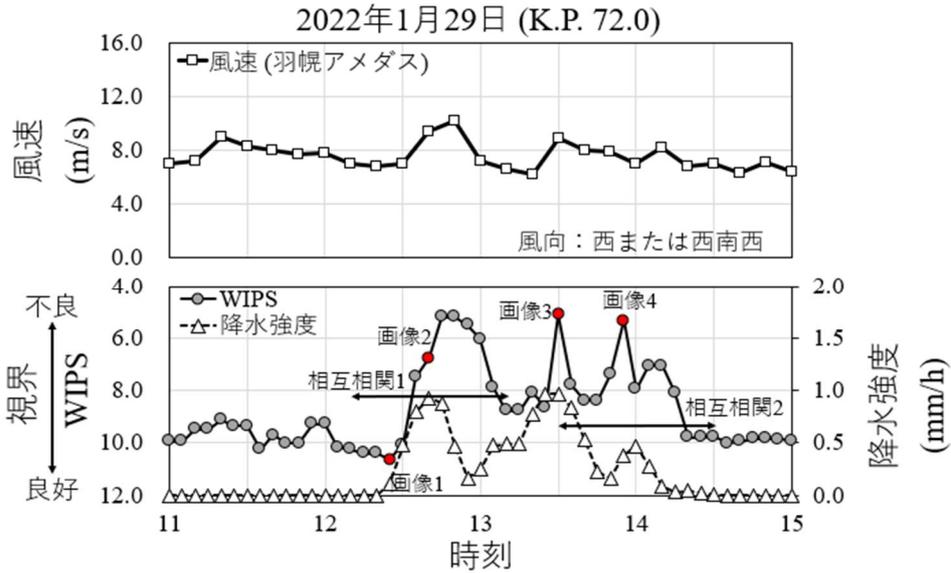
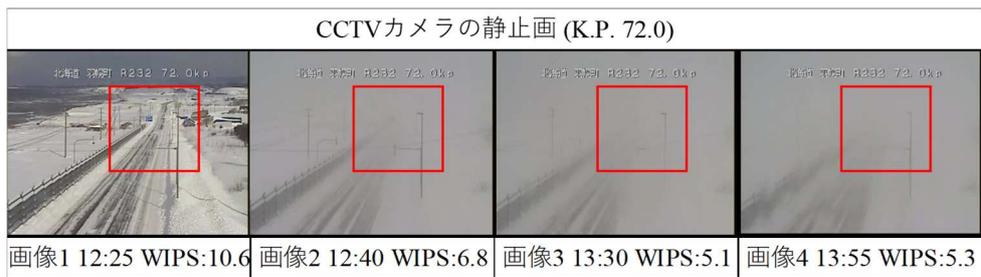


図 3.8 2022 年 1 月 29 日の気象と視界の時間的变化[K.P. 67.8]

a) 風速と WIPS・降水強度の変化



b) CCTV カメラの静止画と WIPS [K.P. 72.0]



c) 相互相関の結果

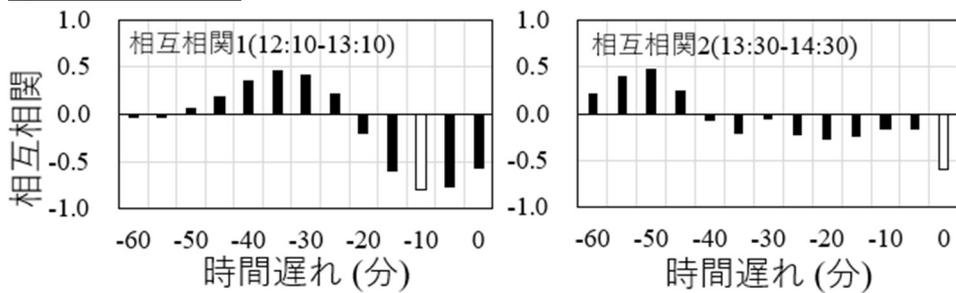


図 3.9 2022 年 1 月 29 日の気象と視界の時間的变化[K.P. 72.0]

### 3.4.6 相互相関の結果

降水強度と WIPS という、時間的に変化する 2 変数間の相互相関と時間遅れを求めた。相互相関の最大値と時間遅れによって、11 の時間帯の結果を 3 種類のカテゴリに分類した。表 3.3 は、K.P. 67.8 において表 3.1 に対応する時間帯、相互相関を計算した時間帯、相互相関の最大値と時間遅れ、カテゴリ番号を示している。同様に、表 3.4 は、K.P. 72.0 において表 3.1 に対応する時間帯、相互相関を計算した時間帯、相互相関の最大値と時間遅れ、カテゴリ番号を示している。

カテゴリ 1 は、降水強度がほぼ 0.0 (mm/h)、道路上の視界は良好だった。カテゴリ 2 では、降水強度と WIPS は連動して変化した。相互相関の最大値は 0.5 以上で、2 変数間の時間遅れは 10 分以下と比較的小さかった。カテゴリ 3 では、降水強度と WIPS の関係は複雑だった。相互相関の最大値の符号が正または 0.4 以下、2 変数間の時間遅れが大きかったとき (15 分以上) をカテゴリ 3 に分類した。

カテゴリ 1 は、降水強度がない状態で WIPS による視界が良好であることを示す時間帯を示している。ただし、CCTV カメラの設置場所の周辺に、細かな新雪が積もっている場合、降水がなくても道路上で吹雪が発生する可能性がある。No.2 の時間帯は、降水強度は弱いが、風速は 8.0 (m/s) 以上であり、カテゴリ 1 に分類される。風により雪が舞い視界が変化する可能性があったが、WIPS の時間的変化を見ると No.2 の時間帯は視界が良好だったことがわかる。この場合、前日からの強風により、雪粒子が地面に積もることはなかった。また、図 3.10 のカテゴリ 1 に該当する 2020 年 12 月 27 日の天気図によると、冬型の気圧配置で北海道の周辺には低気圧があり強風だったが、夜にかけて低気圧が北海道から遠ざかり、吹雪は発生しなかった。

カテゴリ 2 は、降水強度の変化に伴い WIPS が変化し、視界不良となった時間帯を示している。主な風向は西で、2022 年 2 月 3 日の No.10 の時間帯のみ北だった。降水強度と WIPS の時間遅れは 10 分以下と比較的小さい。相互相関の最大値は多くが 0.5 から 0.8 に分布し、符号は負だった。降水強度の時間的変化に対し、WIPS は連動して動いている。カテゴリ 2 では、同様の相互相関のもとで、視界不良の原因が 2 つ存在する。1 つは、吹雪による視界不良である。吹雪による視界不良の場合、時間遅れは 0 分から 10 分だった。視界不良は降水の有無だけでなく、西からの強い風の影響を受けている。雪粒子は 1.0~4.0 (m/s) で落下するため、気象レーダ (XRAIN) で観測された降雪が地上に反映されるまで、多少の時間差が生じると考える。図 3.10 のカテゴリ 2 に該当する 2020 年 12 月 26 日と 29 日の天気図によると、北海道上空の等圧線の間隔が狭く、風が強くなりやすい気象条件だった。もうひとつは、降雪による視界不良である。図 3.10 のカテゴリ 2 に該当する 2022 年 1 月 29 日の天気図によると、北海道の周辺に低気圧があるが、吹雪による視界不良時と比べて、等圧線の間隔が広く風は弱かった。降雪による視界不良では、時間遅れは 0 分から 5 分だった。風速は弱く、主な風向は西ではなかったことから、降雪の影響で視界が悪くなる状況を、降水強

度の時間的变化で捉えたと考える。

カテゴリ 3 は、降水強度の時間的变化に対し、WIPS が連動して動かなかった時間帯を示している。風向が西でない場合は、強風による吹雪が発生しなかったことが一因であると考えられる。道路沿いの視界不良の発生は、道路の地形が影響している<sup>14)</sup>。国道 232 号の東側は高い崖になっているため、東側からの風は弱くなる。また、風速や風向が安定せず、道路上の視界への影響が不安定になることも原因の一つである。このような場合、相互相関の最大値は 0.4 未満に分布、もしくは符号が正となった。また、2 変数間の時間遅れが 15 分以上と大きくなる傾向があった。図 3.10 のカテゴリ 3 に該当する 4 日間の天気図によると、冬型の気圧配置で北海道の北東部に低気圧が近づいており、等圧線の間隔が狭く風が強まりやすい気象条件だった。

表 3.3 相互相関の最大値と時間遅れの結果 [K.P. 67.8]

| K.P. 67.8  |           |             |         |         |      |
|------------|-----------|-------------|---------|---------|------|
| 年月日        | 時間帯(表3.1) | 時間帯         | 相互相関最大値 | 時間遅れ(分) | カテゴリ |
| 2020/12/26 | No.1      | 12:00-13:00 | -0.79   | 5       | 2    |
|            |           | 12:15-13:15 | -0.74   | 5       | 2    |
|            |           | 12:55-13:55 | -0.64   | 0       | 2    |
|            |           | 14:55-15:55 | -0.74   | 0       | 2    |
| 2020/12/27 | No.2      | 降水なし        |         |         | 1    |
| 2020/12/29 | No.3      | 10:00-11:00 | -0.57   | 5       | 2    |
| 2020/12/31 | No.4・No.5 | 13:10-14:10 | -0.52   | 10      | 2    |
|            | No.5      | 14:40-15:40 | 0.50    | 25      | 3    |
| 2021/12/28 | No.6      | 10:25-11:25 | 0.47    | 10      | 3    |
|            | No.6・No.7 | 10:45-11:45 | -0.60   | 0       | 2    |
| 2021/12/30 | No.8      | 8:00-9:00   | -0.35   | 35      | 3    |
|            |           | 8:25-9:25   | 0.34    | 35      | 3    |
|            |           | 11:00-12:00 | -0.68   | 10      | 2    |
| 2022/1/29  | No.9      | 12:25-13:25 | -0.75   | 0       | 2    |
|            |           | 13:35-14:35 | -0.78   | 5       | 2    |
| 2022/2/3   | No.10     | 12:20-13:20 | -0.70   | 5       | 2    |
|            | No.11     | 14:35-15:35 | 0.53    | 0       | 3    |

表 3.4 相互相関の最大値と時間遅れの結果 [K.P. 72.0]

| K.P. 72.0  |           |             |         |         |      |
|------------|-----------|-------------|---------|---------|------|
| 年月日        | 時間帯(表3.1) | 時間帯         | 相互相関最大値 | 時間遅れ(分) | カテゴリ |
| 2020/12/26 | No.1      | 12:15-13:15 | -0.80   | 5       | 2    |
|            |           | 12:55-13:55 | -0.59   | 0       | 2    |
|            |           | 14:55-15:55 | -0.72   | 5       | 2    |
| 2020/12/27 | No.2      | 11:35-12:35 | -0.84   | 5       | 2    |
| 2020/12/29 | No.3      | 10:00-11:00 | -0.71   | 0       | 2    |
|            |           | 11:05-12:05 | -0.72   | 0       | 2    |
| 2020/12/31 | No.4      | 12:55-13:55 | -0.81   | 15      | 3    |
|            | No.5      | 14:35-15:35 | 0.59    | 25      | 3    |
|            |           |             |         |         |      |
| 2021/12/28 | No.6      | 10:15-11:15 | 0.60    | 10      | 3    |
| 2021/12/30 | No.8      | 8:50-9:50   | -0.70   | 0       | 2    |
|            |           | 11:00-12:00 | -0.84   | 10      | 2    |
|            |           |             |         |         |      |
| 2022/1/29  | No.9      | 12:10-13:10 | -0.79   | 10      | 2    |
|            |           | 13:30-14:30 | -0.59   | 0       | 2    |
|            |           |             |         |         |      |
| 2022/2/3   | No.10     | 12:05-13:05 | -0.71   | 0       | 2    |
|            | No.11     | 14:50-15:50 | 0.47    | 15      | 3    |

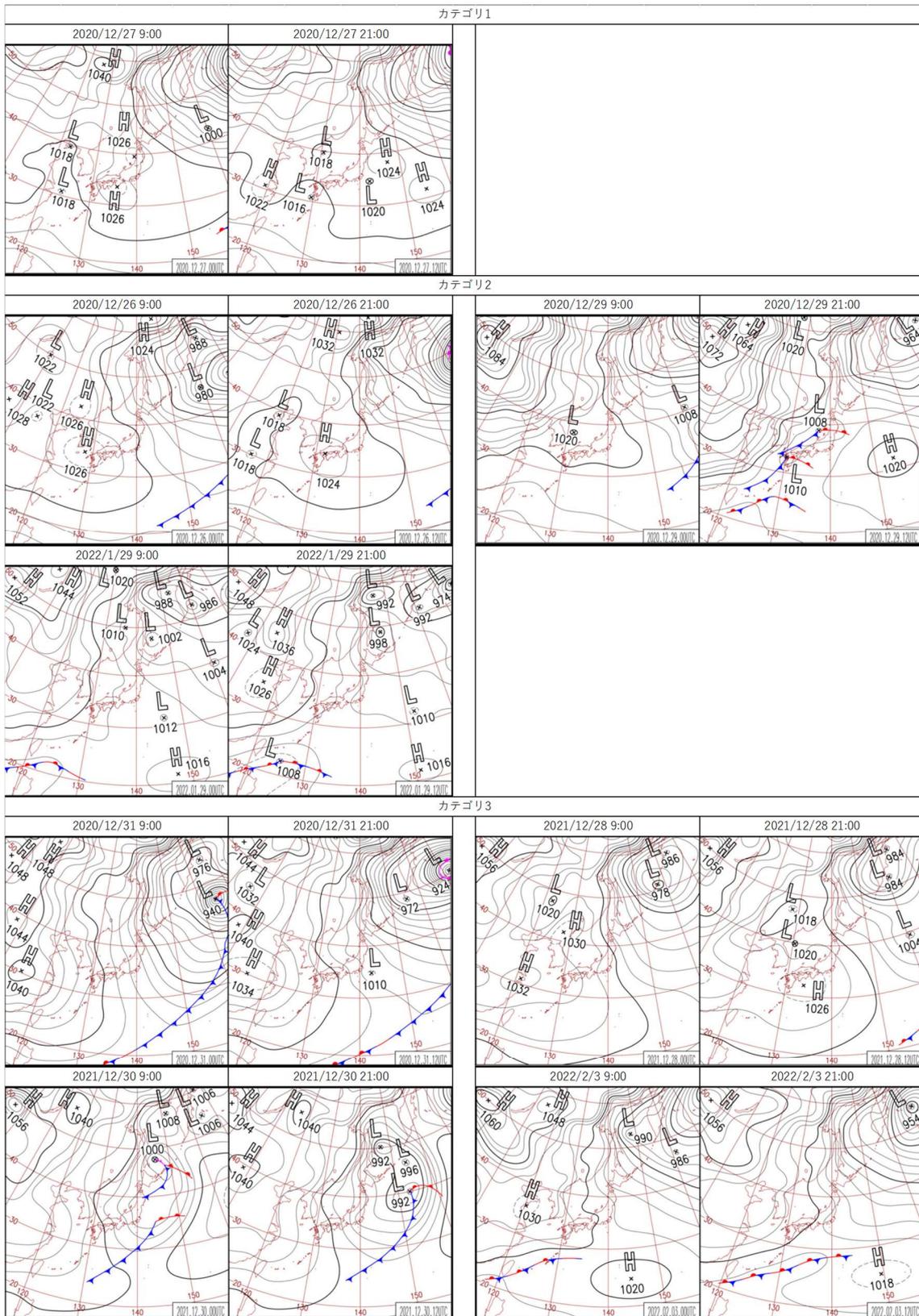


図 3.10 各カテゴリに該当する日時の天気図

### 3.5 本章のまとめ

第3章では、XRAINの降水強度を道路上の降雪情報として用い、道路上の視界を評価できるか検証した。具体的には、XRAINの降水強度とCCTVカメラの画像から求めたWIPSに相互相関を用い、両者の時間変化から、降水強度によるWIPSへの影響度合いとその時間遅れを求め、両者の関係を分析した。その結果、風向が西で降雪が観測されたとき、降水強度の時間変化はWIPSの時間変化に影響しており、降水強度に対しWIPSが遅れて変化する状況が明らかとなった。

2020年12月31日の風向風速・降水強度・WIPSの変化では、13時から13時30分間にK.P. 72.0で降水強度が増加した。一方、風向が南南東かつ風速4.0 (m/s)前後と、地吹雪が発生する条件に該当しなかったため、WIPSは高い値を推移した。その後、風向が西北西、風速が12.0 (m/s)前後へ変化し、13時30分から14時にかけてK.P. 72.0のWIPSは低くなった。14時台は、K.P. 67.8とK.P. 72.0の双方で降水強度が減少した。海岸方向からの強い風により地吹雪となり、降水強度が減少してもWIPSは低い値を推移した。XRAINの降水強度の増減だけでは評価が難しい地上の視界を説明するとき、CCTVカメラの画像のWIPS、地上で観測された風向風速などの気象データを組み合わせ、視界を評価することが望ましいと言える。

これらの結果から、吹雪により道路上の視界が変化する状況の分析において、レーダ観測であるXRAINの降水強度を道路上の降雪情報として用いることの有用性が示された。また、吹雪により道路上で発生する視界不良は、局地性が強く評価および予測が難しい現象であるため、XRAINの降水強度とWIPSの変化が異なるとき、風向風速など地上観測の気象データと、防雪柵など道路周辺の環境に関する情報が、道路上の視界の分析に必要であることも明らかとなった。

謝辞：第3章では、国土交通省水管理・国土保全局河川計画課河川情報企画室が提供する国土交通省 XRAIN CXMP composite データセットを利用した。またこのデータセットは、文部科学省の補助事業により開発・運用されているデータ統合解析システム (DIAS) の下で、収集・提供されたものである。

## 参考文献

- 1) 佐々木秀孝, 出口悟: 冬季北海道西岸に形成される収束帯の数値実験, 天気, 35 巻, p. 723-729, 1988.
- 2) 国土交通省: CCTV カメラ設備機器仕様書 (案), 平成 29 年 1 月.
- 3) 土屋修一, 山地秀幸, 川崎将生: XRAIN 雨量観測の実用化技術に関する検討資料, 国土技術政策総合研究所資料, No.909, 2016.
- 4) 土屋修一, 川崎将生, 五道仁実: 降雨減衰補正と合成雨量作成手法の改良による XRAIN 観測雨量の精度向上, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol. 71, No. 4, pp. I\_457-I\_462, 2015.
- 5) 岩波越, 前坂剛, 木枝香織, 真木雅之, 三隅良平, 清水慎吾: X バンド偏波レーダーによる降雨観測における簡易減衰補正, 日本気象学会大会講演予稿集, pp.128, 2007.
- 6) 中北英一, 金原知穂, 山口弘誠: X バンド偏波レーダーによる雨滴粒径分布の時空間構造の推定と非偏波レーダーへの利用, 京都大学防災研究所年報, No. 54 B, pp. 397-409, 2011.
- 7) 山地秀幸, 土屋修一, 川崎将生: C バンド MP レーダ雨量計と XRAIN による高精度広域雨量観測, 土木技術資料 58-7, pp. 26-29, 2016.
- 8) 五十嵐孝浩, 竹林洋史, 浜田裕貴, 的場萌実, 飛岡啓之, 澤田悦史, 平川了治, 上村雄介: 平成 29 年 7 月九州北部豪雨における C-X 合成レーダ雨量による土砂災害危険度判定, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol. 74, No. 5, pp. I\_1033-I\_1038, 2018.
- 9) 大宮哲, 國分徹哉, 松下拓樹, 高橋丞二, 松澤勝: X バンド MP レーダによる地上吹雪の定量的把握の可能性, 日本雪氷学会誌 雪氷 82 巻 3 号, 145-156 頁, 2020.
- 10) Yagmur, Derin., Emmanouil, Anagnostou., Marios, Anagnostou., and John, Kalogiros. Evaluation of X-Band Dual-Polarization Radar-Rainfall Estimates from OLYMPEX. *Journal of Hydrometeorology*, 2019. Vol.20(9), pp. 1941-1959.
- 11) Kawasaki, A., Yamamoto, A., Koudelova, P., Acierito, R. A., Nemoto, T., Kitsuregawa, M., and Koike, T. Data Integration and Analysis System (DIAS) Contributing to Climate Change Analysis and Disaster Risk Reduction. *Data Science Journal*, 2017. 16: 41, pp. 1-17.
- 12) 小木曾俊夫: 国土交通省における情報通信ネットワークの現況と活用について, 建設マネジメント技術, 2007 年 8 月号, pp. 12-14, 2007.
- 13) Oktaviani, F., Miftahuddin, and Setiawan. Cross-correlation Analysis Between Sea Surface Temperature Anomalies and Several Climate Elements in The Indian Ocean. *Parameter: Journal of Statistics*, 2021. Vol.1(1), pp. 13-20.
- 14) Steven A. Lack., and Neil I. Fox. An examination of the effect of wind-drift on radar-derived surface rainfall estimations, *Atmospheric Research*, 2007. Vol.85(2), pp. 217-229.

## 第4章 車載カメラの道路画像を用いた冬期道路上の視界情報の生成

### 4.1 本章の概要

冬期の北海道では、吹雪による視界不良が頻発し、道路交通に影響を与える。道路上の視界不良はドライバの運転を難しくし、道路交通の安全を脅かすため、道路路線に沿った視界の変化を広く評価・把握するシステムの開発が求められている。永田・萩原らは、視界不良を判断するための視界評価指標（WIPS）をCCTVカメラから求め、その適用可能性を検討した。その結果、WIPSは人間のコントラスト感度関数に基づき、静止画内の空間周波数の差を表しており、道路上での視界不良を把握できることが明らかとなった<sup>1)</sup>。第2章でCCTVカメラの静止画から得たWIPSは、GPVによる視程値よりも地吹雪時の風による視界不良を把握できることが明らかとなった。第3章では、XRAINの降水強度の変化に対し、CCTVカメラのWIPSが遅れて変化する状況が明らかとなった。しかし、CCTVカメラの視界情報による冬期道路上の視界評価には、以下のようなデメリットがある。

- 1) 道路周辺の環境や地点の特徴などが視界の変化に与える要因を把握できない。
- 2) CCTVカメラは高い位置（8～10m程度）から道路状況を監視しており、CCTVカメラで評価した視界がドライバの視界と一致しないことがある。実際の道路を走行するドライバの視界は、吹雪だけでなく路面の状態や前方の対象物など様々な要因で変化する。
- 3) CCTVカメラによる地点での視界評価は、道路全域で利用することができず、道路路線に沿った視界が変化しやすい区間を把握することが難しい。

第4章では、道路を走行する車両に搭載した車載カメラの道路画像（静止画）を用いて冬期道路上の視界を評価し、視界情報を生成する。車載カメラの静止画から自動的に視界評価指標（WIPS）を得るシステムを開発した<sup>2)</sup>。システムを用い、令和元年度冬期に国道272号を走行した道路パトロールカーに搭載した車載カメラから視界評価指標（WIPS）を得た。視界評価指標（WIPS）を用いて、国道272号の15km区間において道路上の視界の変化を分析した。

## 4.2 RVIS の開発

### 4.2.1 搭載機器について

道路パトロールカーへ搭載する道路前方の視界を評価するシステム (RVIS) を、エッジコンピューティング環境下で開発した。図 4.1 は RVIS に用いる機器の写真、表 4.1 は RVIS の機器と仕様の一覧である。道路パトロールカーの車載カメラはフロントガラス中央部に設置され、ドライバーの胸の高さに近い位置から前方の視界を撮影する。GPS の受信器は、道路パトロールカーでは磁石を利用して車内の屋根に設置されている。小型コンピュータ、データストレージ (SSD)、無線通信装置は助手席の下に装備されている。すべての機器は、インバータを使用して DC12V から AC100V に変換することで、AC100V の電源を取得している。カメラと GPS 受信器は USB ケーブルで小型コンピュータに接続されている。撮影した動画や静止画は、SSD に取り込まれる。GPS の受信機は、車両の位置・時間・速度を 1 秒ごとに受信し、これらのデータは動画や静止画を記録する SSD と同じ SSD に記録される。



図 4.1 RVIS に用いる機器

表 4.1 デバイスの種類と仕様の一覧

|          | デバイスの種類        | 仕様  |
|----------|----------------|---|
| 小型コンピュータ | Raspberry Pi 4 | CPU: ARM Cortex A72 (4 cores, 1.5GHz)               |
| カメラ      | Logicool C920s | 1080p/30fps - 720p/30fps                            |
| GPS受信器   | BU-353S4       | GPS Chipset: SiRF Star IV                           |
| ラジオ      | PIX-MT100      | LTE: -2.1GHz, 1.8GHz, 800MHz<br>-B1, B3, B19        |
| SSD      | SDSSDE60       | Storage capacity: 2TB<br>Interface: USB 3.1 (Gen 2) |

#### 4.2.2 RVISのためのエッジコンピューティング環境

RVISの目的は、鮮明な画像を取得することである。RVISでは、1.5秒間の動画と3枚の静止画をSSDに記録する。WIPSを算出するサブシステムでは、3枚の静止画から10秒ごとに3つのWIPSをそれぞれ算出する。RVISでは、1枚の静止画からわずか0.046秒でWIPSを算出することができる。さらに、WIPSが3つのWIPSの中で最も小さいとき、このサブシステムは自動的に静止画に対応するWIPSを代表値として選択する。WIPSが最も小さいときの静止画を選択することで、ワイパーブレードの影響を少なくすることができた。

データ送信のサブシステムは、LTEの無線ネットワークを利用して、代表値のWIPSと静止画のデータを10秒ごとにクラウドサーバへ送信する。このサブシステムには、接続に関する伝送エラーの例外処理機能が組み込まれている。エラーとなったデータは、LTEで送信するためのSSDに一旦記録される。接続が良好な環境では、LTEで再接続した後、このサブシステムは一時的に保管されたデータを全て送信するため、全てのデータをクラウドサーバに送信することが可能である。ただし、夜間はWIPSを利用できないため、静止画のみをクラウドサーバへ提供する。各サブシステムでは、すべての機能はpython言語で構築され、静止画および映像の処理にはOpenCVが使用されている。

#### 4.2.3 車載カメラの静止画を用いたWIPSの算出

冬期道路上の視界評価指標として、WIPSを用いた。WIPSは、人間のコントラスト感度関数に基づいて静止画内の空間周波数の差を表し、道路前方の視界を評価することができる<sup>3)</sup>。WIPSを算出するサブシステム内に画像を処理するシステムを搭載し、WIPSを算出した。まず、1.5秒の動画から0.0秒、1.0秒、1.5秒の3枚の静止画(640×480ピクセル)を選択し、WIPSを算出する。次に、3枚の静止画(640×480ピクセル)から256×256ピクセルの静止画を切り出す。256×256ピクセルの範囲は、道路パトロールカーでは画像中央部から100ピクセル下の位置とし、永田・萩原らの方法で各静止画のWIPSを算出した<sup>3)</sup>。なお、3枚の静止画のうち、最小値のWIPSをWIPSの代表値とした。

## 4.3 RVISによる吹雪時の道路上の視界評価

### 4.3.1 視界評価の対象区間

WIPS を用いた吹雪による道路上の視界の評価には、道路パトロールカーに搭載した車載カメラで撮影された走行映像を使用した。対象区間は、図 4.2 に示す国道 272 号 (NR272) の 15km 区間である。この 15km 区間がある地域は、冬型の気圧配置のときに網走沖や根室沖で発達した低気圧の影響で風や雪が強まりやすい。特に、北西方向から強い風が吹くときに被害が大きくなりやすい傾向にあるため、一部の区間で北西の風に対する防雪柵が設置されている。また、図 4.2 には対象区間のキロポストの位置も示している。キロポスト (距離標 : K.P.) は、道路上に設定された所定の距離数に関する情報である。ここでは、国道 272 号の 15km 区間を道路方向に沿って 3 つのセクションに分類した。

- ・セクション 1 (K.P. 75.0 から K.P. 70.0)
- ・セクション 2 (K.P. 70.0 から K.P. 62.0)
- ・セクション 3 (K.P. 62.0 から K.P. 60.0)

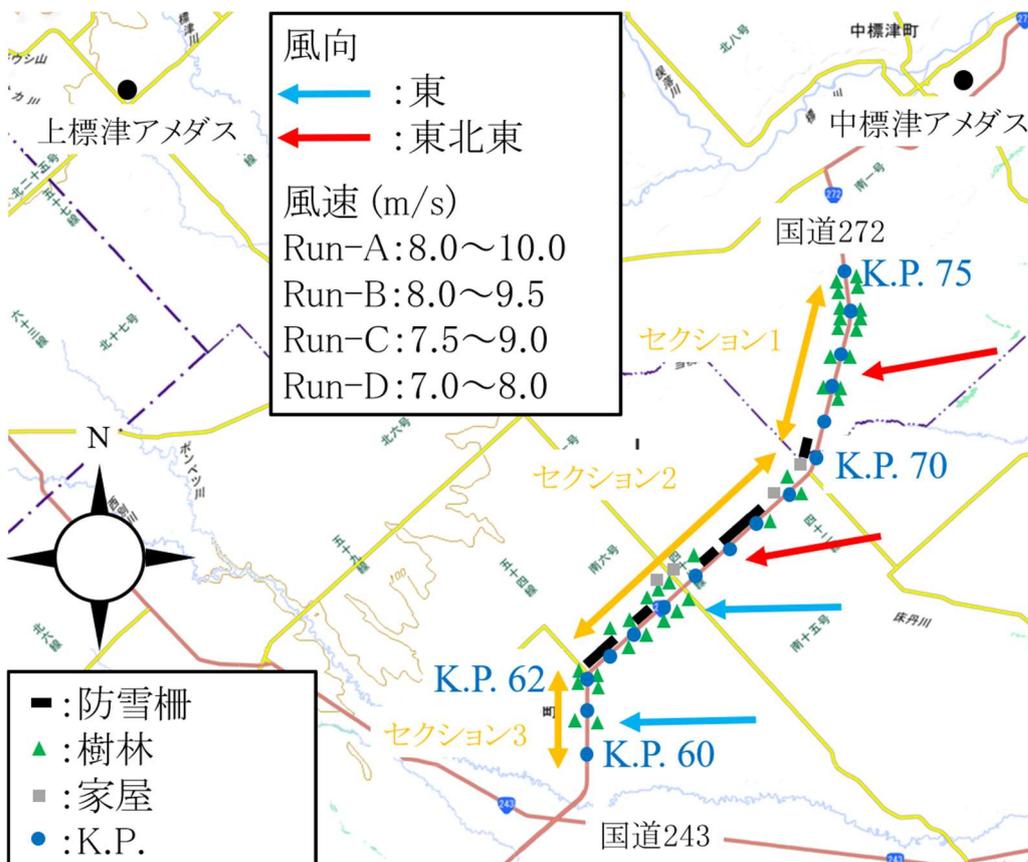


図 4.2 15km 区間を含む国道 272 号の地図

#### 4.3.2 道路周辺の環境に関する情報の収集

道路周辺の環境は、吹雪の発生に大きく影響する。図 4.2 に示す国道 272 号の 15km 区間において、100m (0.1 キロポスト) ごとに道路の西側と東側における対象物などの情報を収集した。Google map の航空写真地図を用いて、防雪柵、樹林、家屋の有無およびこれらの位置を 100m ごとに収集した。この地域は、冬期に北～北西からの風が強くなる傾向があり、吹雪の主な原因となる。15km 区間のうち、K.P. 62.0 から K.P. 70.0 まで道路の西側には長い防雪柵が設置されている。

#### 4.3.3 分析に用いる気象データと気象条件

気象条件が視界に与える影響を分析するために、道路周辺の気象データとして図 4.2 に示す上標津・中標津の 2 箇所の地域気象観測所 (アメダス) の気温と降雪量 (降水量) を使用した。これら 2 箇所のアメダスは、対象とする 15km 区間に近い。また、気象庁の局所予報モデル (LFM) から作成された格子点値 (GPV) から、2km メッシュ・1 時間ごとの風向風速を求めた<sup>4)</sup>。GPV で観測された 2km メッシュ・1 時間ごとの風向風速と、10 秒ごとの道路パトロールカーの走行位置が連動している。道路パトロールカーの走行位置と 2km メッシュの中心位置の連動については、道路パトロールカーで計測した GPS による緯度経度の値で決定した。15km 区間を道路の方向によって 3 つのセクションに分割し、各セクションの風向は以下の通りである。

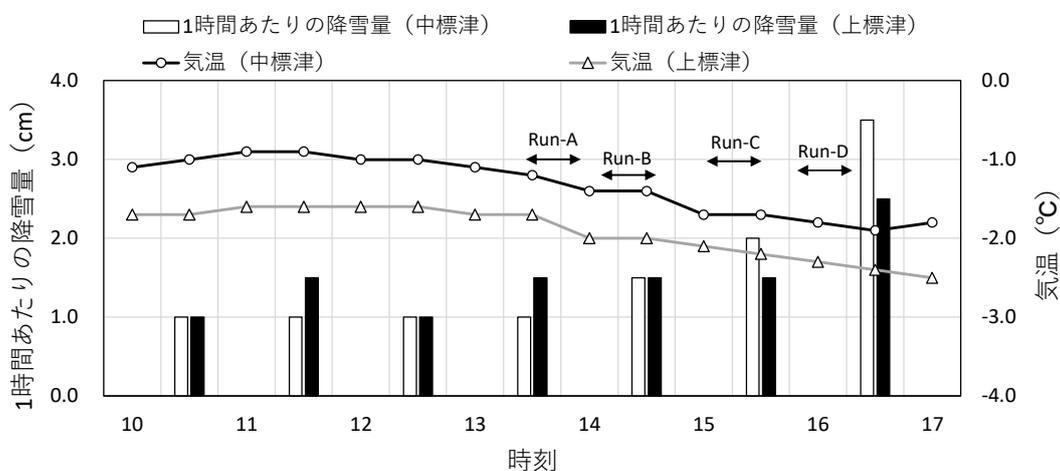
- ・セクション 1 (K.P. 75.0 から K.P. 70.0, 13:00 から 17:00) : 東北東
- ・セクション 2 (K.P. 70.0 から K.P. 65.0, 13:00 から 16:00) : 東
- ・セクション 2 (K.P. 70.0 から K.P. 65.0, 16:00 から 17:00) : 東北東
- ・セクション 2 (K.P. 65.0 から K.P. 62.0, 13:00 から 17:00) : 東
- ・セクション 3 (K.P. 62.0 から K.P. 60.0, 13:00 から 17:00) : 東

図 4.3(a)は、2020 年 3 月 5 日の 10 時から 17 時までに、2 箇所のアメダスで観測された気温と降水量の 1 時間ごとの変化である。図中の折れ線 (黒色) は上標津地域気象観測所 (上標津アメダス)、折れ線 (灰色) は中標津地域気象観測所 (中標津アメダス) で観測された気温の変化を示している。上標津アメダスの気温は、13 時に -1.7 (°C) から 17 時に -2.5 (°C) まで低下した。中標津アメダスの気温は、13 時に -1.1 (°C) から 17 時に -1.8 (°C) となった。また、図 4.3(a)の棒グラフ (黒色) は上標津アメダス、棒グラフ (灰色) は中標津アメダスで観測された 1 時間ごとの降雪量を示している。2 箇所のアメダスとも、16 時から 17 時にかけて 1 時間あたりの降雪量が増加した。1 時間あたりの降雪量は、10 時から 15 時は 1.0 ~ 1.5 (cm)、15 時から 16 時は 1.5 ~ 2.0 (cm)、16 時から 17 時は 2.5 ~ 3.5 (cm) だった。図

4.3(b)に示す2020年3月5日の天気図によると、9時時点では北海道の南側に分布していた低気圧が、夜にかけて北海道東部へ近づいている。低気圧が接近し、天候が悪化したと考えられる。

2020年3月5日13時から17時の間における、GPVによる1時間あたりの風速は約8.0(m/s)だった。この4時間の主な風向は、図4.6に示すように東または東北東だった。この気象条件では、2020年3月5日の午後はこの地域で吹雪が発生しやすいと考えられる。この4時間の間に、道路パトロールカーは15km区間を4回走行した。図5.7に、Run-A、Run-B、Run-C、Run-Dのそれぞれの走行時間を示している。

(a) 気温と降雪量の変化



(b) 天気図

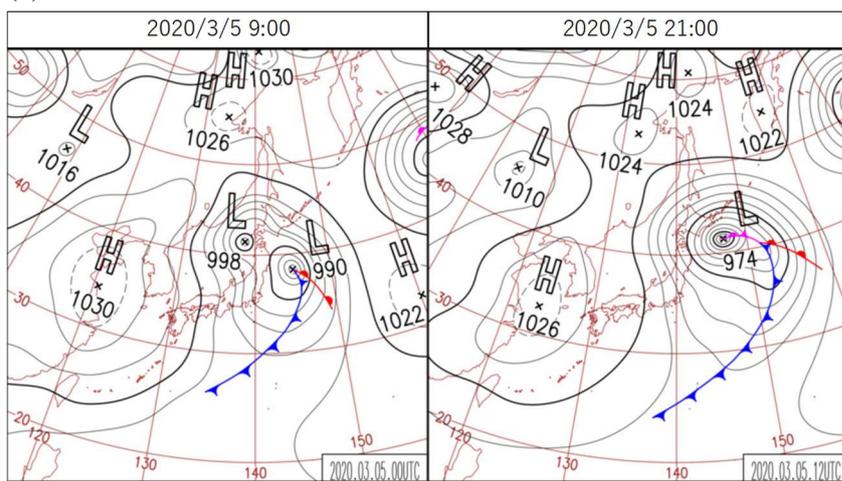


図4.3 2020年3月5日の気象条件

#### 4.3.4 車載カメラの走行時刻と進行方向

2020年3月5日13時から17時にかけて、道路パトロールカーは15km区間を4回走行した。走行時刻と進行方向は以下の通りである。

- ・ Run-A : 13時40分から14時00分, K.P. 75.0 から K.P. 60.0
- ・ Run-B : 14時15分から14時30分, K.P. 60.0 から K.P. 75.0
- ・ Run-C : 15時20分から15時35分, K.P. 75.0 から K.P. 60.0
- ・ Run-D : 16時00分から16時20分, K.P. 60.0 から K.P. 75.0

この15km区間での道路パトロールカーの走行速度は、4回の走行で概ね50(km/h)だった。車載カメラの静止画からWIPSを求めた時刻の走行位置は、道路パトロールカーに搭載したGPSで計測した緯度経度に基づいて決定した。

#### 4.3.5 100mごとのWIPSの算出方法

K.P. 60.0からK.P. 75.0の15km区間を走行する、道路パトロールカーに搭載した車載カメラが撮影した静止画を用いて、5.3.3に記載した手順でWIPSを求めた。WIPSは100m(0.1キロポスト)ごとに割り振られており、WIPSの大きなばらつきおよび欠損を避けるために、前後100mを含む0.3キロポストごとのWIPSの平均値を移動平均法で計算した。

#### 4.3.6 4回の走行事例と3つのセクションの特徴

図4.4(a)から図4.7(a)は、Run-A, Run-C, Run-B, Run-Dのそれぞれの走行に対応している。図中の黒い実線は、前後100mを含む0.3キロポストごとのWIPSの移動平均値を、0.1キロポスト(100m)ごとに示している。また、WIPSの縦軸の隣には、車載カメラのWIPSに対するドライバの前方の見やすさ(SVS)の主観評価の軸を示している。ドライバは1から7の7段階で前方の見やすさ(SVS)を評価しており、値が大きいほど前方が見やすい状況を意味する<sup>5)</sup>。図中の青い破線は、前後100mを含む0.3キロポストごとの風向に対する吹走距離の移動平均値を、0.1キロポストごとに示したものである。吹走距離が300mを超えると吹雪量が飽和することから、吹走距離の上限は300mとした。また、図4.4(a)から図4.7(a)に、道路沿いの防雪柵、樹林、家屋の詳細な位置を示している。セクション1では、道路方向は北北東で、道路沿いに防雪柵はない。K.P. 74.0からK.P. 75.0までは、道路の両側に多くの樹木があった。K.P. 74.0からK.P. 70.0までは、道路沿いに数本の木があった。セクション2では、道路方向は北東で、道路の西側に防雪柵が設置されている。また、道路の両側には樹林がある。セクション3は、道路方向は北で、道路両側に防雪柵はなかった。

道路の両側には樹林がまばらに生えていた。

図 4.4(b)から図 4.7(b)は、Run-A、Run-C、Run-B、Run-D のそれぞれの走行に対応する静止画を 5 枚ずつ選択したものである。5 枚の静止画は、各走行において WIPS が比較的良かったものを選択した。図中の菱形のプロットは、選択した 5 枚の静止画のキロポスト地点を示している。5 枚の静止画内の赤い枠線で囲まれた箇所は、WIPS を算出するための領域である。

#### 4.3.7 視界評価 [Run-A]

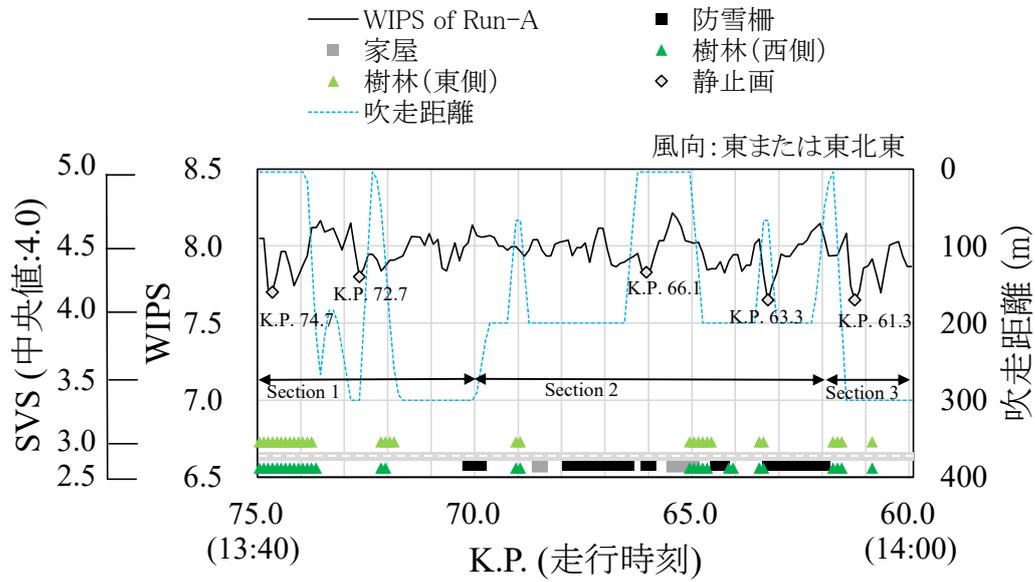
Run-A の走行時刻を含む 13 時から 14 時にかけて、上標津アメダスでは 1 時間あたり 1.5cm、中標津アメダスでは 1 時間あたり 1.0cm の降雪が観測された。

セクション 1 の風向は東北東、風速は 8.0～9.0 (m/s) だった。道路方向は北北東であるため、この区間では風は斜めに吹いており、風向に対する吹走距離は 300m 以上だった。この区間の WIPS は 7.7 から 8.3 で、WIPS に対応する SVS の値は、図 4.4(a)に示す SVS の中央値よりやや高い値を示している。図 4.4(b)の K.P. 74.7 と K.P. 72.7 の静止画から、道路前方の視界がやや良好であることがわかる。

セクション 2 では、風向は東、風速は約 9.5 (m/s) だった。道路方向は北東であるため、この区間では道路と同じ向きに風が吹いており、風向に対する吹走距離は約 200m だった。この区間の WIPS は 7.6 から 8.2 で、WIPS に対応する SVS の値は、図 4.4(a)に示す SVS の中央値よりやや高い値を示している。図 4.4(b)の K.P. 66.1 と K.P. 63.3 の静止画から、前方道路の視界はやや良好であることがわかる。

セクション 3 では、風向は東、風速は約 10.0 (m/s) だった。道路方向は北で、この区間では道路方向に対し風は斜めに吹いていた。風向に対する吹走距離は約 300m だった。この区間の WIPS は 7.6 から 8.1 だった。WIPS が 7.6 のときに対応する SVS の値は、図 4.4(a)に示す SVS の中央値より少し高い値を示している。図 4.4(b)の K.P. 61.3 の静止画では、前方の視界はやや良好である。

(a) WIPS と吹走距離の変化, 道路両側の対象物の位置



(b) 静止画と WIPS

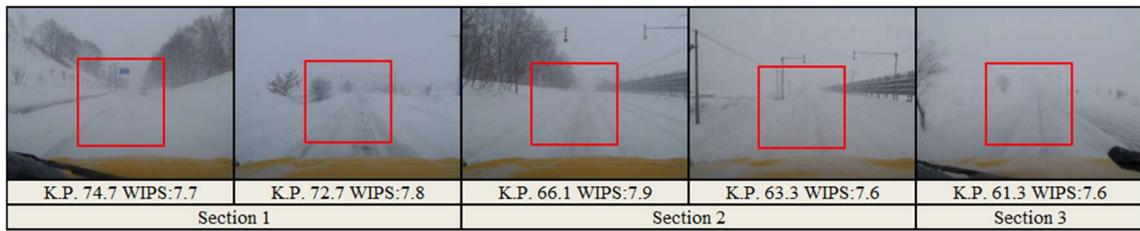


図 4.4 Run-A における視界の変化[2020年3月5日]

#### 4.3.8 視界評価 [Run-C]

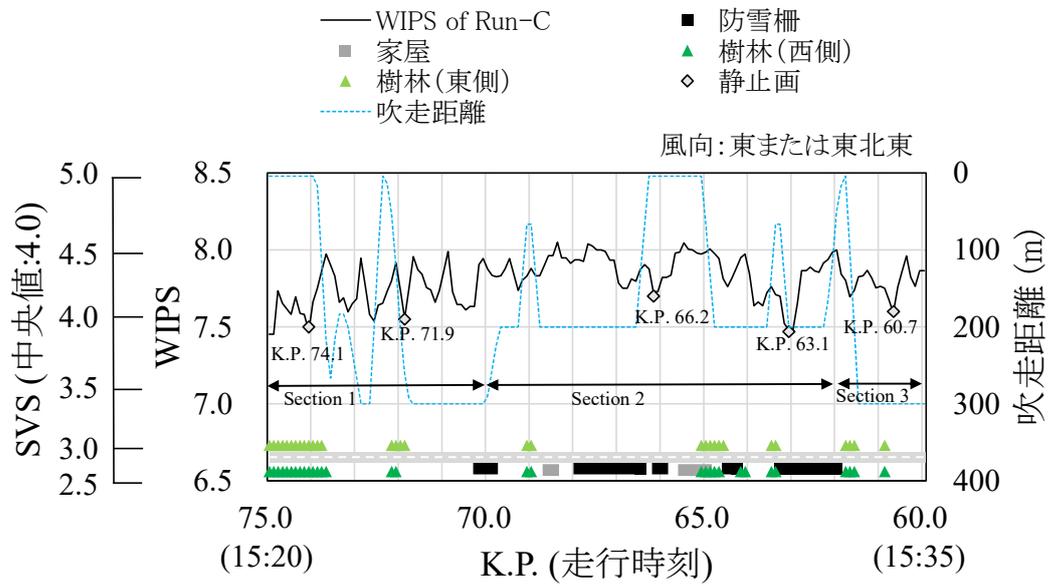
Run-C の走行時刻を含む 15 時から 16 時にかけて、上標津アメダスでは 1 時間あたり 1.5cm、中標津アメダスでは 1 時間あたり 2.0cm の降雪が観測された。

セクション 1 の風向は東北東、風速は 7.5～8.5 (m/s) だった。道路方向は北北東で、この区間では道路方向に対し斜めに風が吹いており、風向に対する吹走距離は 300m 以上だった。WIPS は 7.5 から 8.0 で、WIPS に対応する SVS の値は図 4.5(a)の SVS の中央値よりやや高い値を示している。図 4.5(b)の K.P. 74.1, K.P. 71.9 の静止画では、前方の視界はやや良好である。

セクション 2 では、風向は東、風速は約 9.0 (m/s) だった。道路方向は北東であるため、この区間では道路方向に沿って風が吹いていた。風向に対する吹走距離は約 200m だった。WIPS は 7.5 から 8.0 で、WIPS に対応する SVS の値は、図 4.5(a)の SVS の中央値よりやや高い値を示している。図 4.5(b)の K.P. 66.2 と K.P. 63.1 の静止画で示される前方道路の視界はやや良好である。

セクション 3 では、風向は東、風速は約 9.0 (m/s) だった。道路方向は北で、この区間では道路方向に対し風は斜めに吹いていた。風向に対する吹走距離を求めると、約 300m だった。この区間の WIPS は 7.6 から 8.1 で、WIPS に対応する SVS の値は、図 4.5(a)の SVS の中央値よりやや高い値を示している。図 4.5(b)の K.P. 60.7 の静止画では、前方の視界がやや良好である。

(a) WIPS と吹走距離の変化, 道路両側の対象物の位置



(b) 静止画と WIPS

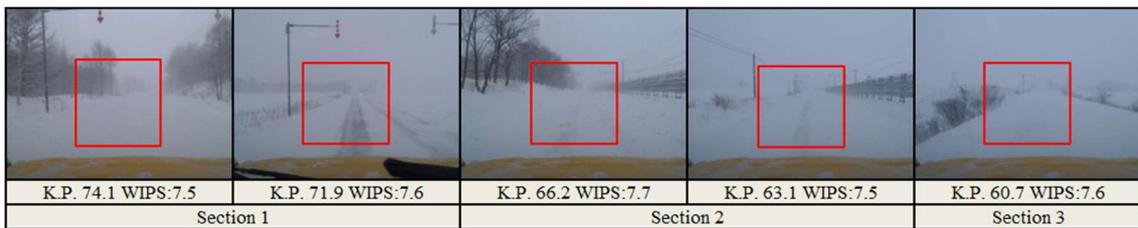


図 4.5 Run-C における視界の変化[2020年3月5日]

#### 4.3.9 視界評価[Run-B]

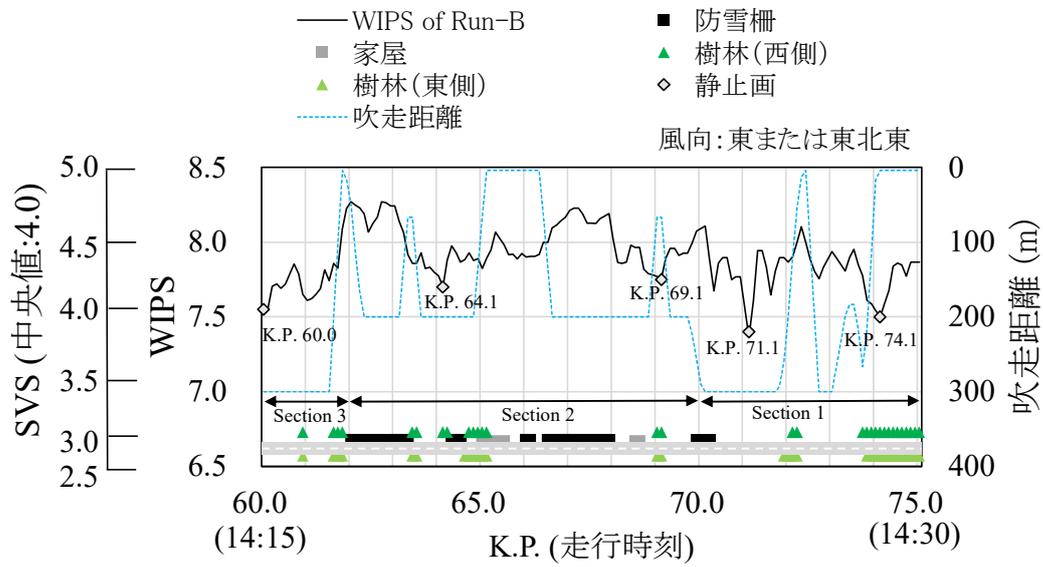
Run-B の走行時刻を含む 14 時から 15 時にかけて、上標津アメダスでは 1 時間あたり 1.5cm、中標津アメダスでは 1 時間あたり 1.5cm の降雪が観測された。

セクション 1 の風向は東北東、風速は 8.0～9.0 (m/s) だった。道路方向は北北東で、この区間では道路方向に対し風は斜めに吹いており、風向に対する吹走距離は 300m 以上だった。この区間では、WIPS は 7.4 から 8.1 だった。WIPS が 7.4 のとき、SVS の値は図 4.6(a) の SVS の中央値より若干低くなっている。しかし、図 4.6(b)の K.P. 71.1 の静止画では、前方の視界はやや良好だった。これは、図 4.6(b)の K.P. 71.1 の静止画では、路面と道路両側に雪が積もっており、雪の影響でコントラストが低下したと考えられる。

セクション 2 では、風向は東、風速は 9.0～9.5 (m/s) だった。道路方向は北東方向で、この区間では道路に沿って風が吹いていた。風向に対する吹走距離は約 200m だった。この区間の WIPS は 7.7 から 8.3 で、WIPS に対応する SVS の値は、図 4.6(a)の SVS の中央値より高い値を示している。図 4.6(b)の K.P. 64.1 と K.P. 69.1 の静止画に示す前方道路の視界は良好である。

セクション 3 では、風向は東、風速は約 9.5 (m/s) だった。道路方向は北で、この区間では道路方向に対し斜めに風が吹いていた。風向に対する吹走距離は約 300m 以上だった。この区間の WIPS は 7.6 から 8.2 で、WIPS に対応する SVS の値は、図 4.6(a)の SVS スケールの中央値よりやや高い値を示している。図 4.6(b)の K.P. 60.0 の静止画では、道路前方の視界はやや良好である。

(a) WIPS と吹走距離の変化, 道路両側の対象物の位置



(b) 静止画と WIPS

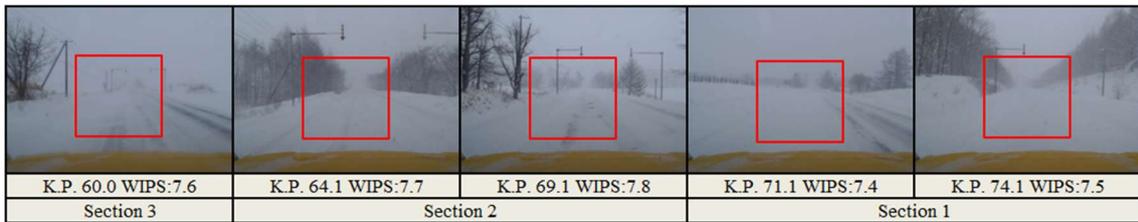


図 4.6 Run-B における視界の変化[2020年3月5日]

#### 4.3.10 視界評価 [Run-D]

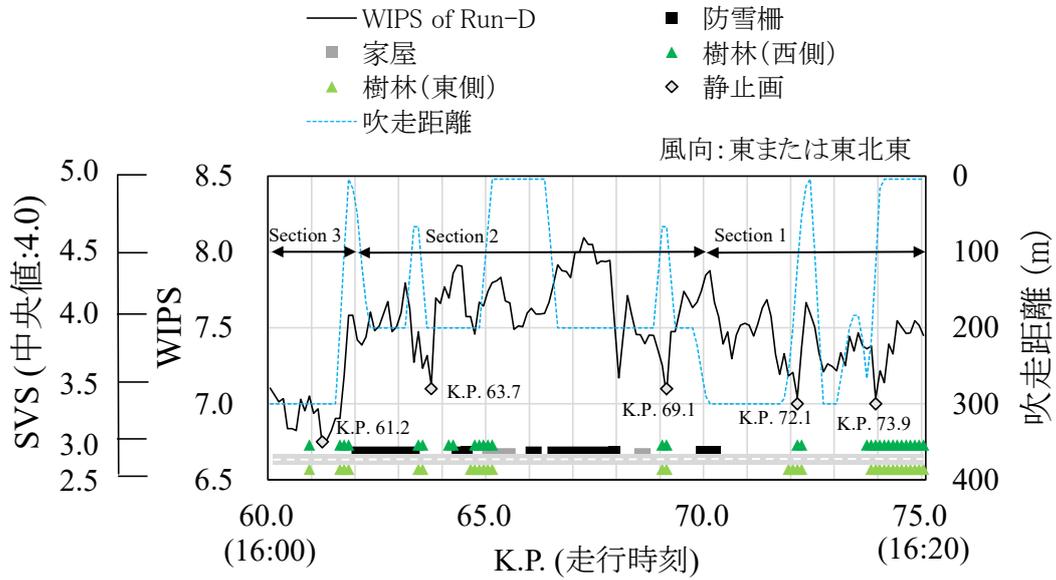
Run-D の走行時刻を含む 16 時から 17 時にかけて、上標津アメダスでは 1 時間あたり 2.5cm、中標津アメダスでは 1 時間あたり 3.5cm の降雪が観測された。

セクション 1 の風向は東北東、風速は 7.0～8.0 (m/s) だった。道路方向は北北東で、道路方向に対し斜めに風が吹いており、風向に対する吹走距離は 300m 以上だった。この区間の WIPS は 7.0 から 7.9 だった。WIPS が 7.0 から 7.3 のとき、WIPS に対応する SVS の値は図 4.7(a) の SVS の中央値より低い値を示している。図 4.7(b) の K.P. 72.1 と K.P. 73.9 の静止画では、前方の視界は不良である。理由として、この区間では東北東から吹く風の影響により、視界が悪くなったためである。

セクション 2 では、風向は K.P. 62.0 から K.P. 65.0 までは東、K.P. 65.0 から K.P. 70.0 までは東北東だった。風速は 7.5 から 8.0 (m/s) だった。道路方向は北東で、道路に沿って風が吹いていた。風向に対する吹走距離は約 200m だった。この区間の WIPS は 7.1 から 8.1 だった。WIPS が 7.1 から 7.3 のとき、WIPS に対応する SVS の値は図 4.7(a) の SVS の中央値より低い値を示している。図 4.7(b) の K.P. 63.7 と K.P. 69.1 の静止画では、前方の視界は不良となっている。防雪柵や樹林がないため、前方の視界が悪化したと考えられる。

セクション 3 では、風向は東、風速は約 8.0 (m/s) だった。道路方向は北で、道路方向に対し風は横方向から吹いていた。風向に対する吹走距離は約 300m だった。この区間では、WIPS は 6.7 から 7.6 だった。WIPS に対応する SVS の値は、図 4.7(b) によると 3.0 以下だった。図 4.7(b) の K.P. 61.2 の静止画では、前方の視界はかなり不良となっている。理由として、東からの風の影響を受けたためと考えられる。

(a) WIPS と吹走距離の変化, 道路両側の対象物の位置



(b) 静止画と WIPS

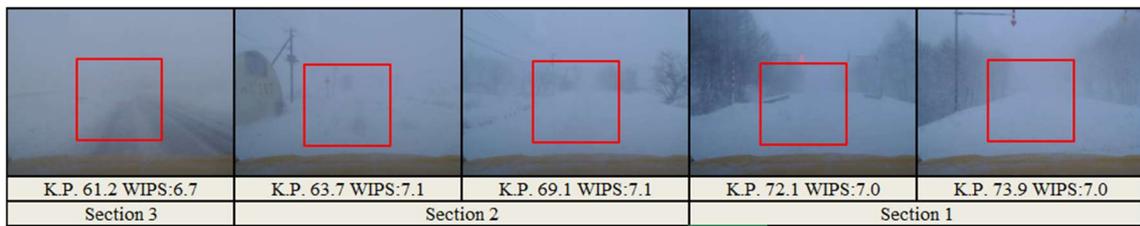


図 4.7 Run-D における視界の変化[2020年3月5日]

#### 4.4 本章のまとめ

第4章では、車載カメラの道路画像を視界評価に用いることで、CCTVカメラの道路画像による視界評価のデメリットを補完し、冬期道路上の視界を評価できるかどうか検証した。車載カメラの走行映像から自動的に視界評価指標を得るシステム（RVIS）を開発し、RVISから得た視界評価指標（WIPS）と気象データの変化から、冬期道路上で視界不良となる区間を評価できる可能性について検討した。その結果、RVISで求めたWIPSは、気象条件や道路周辺の環境による影響を受け、道路上で視界が変化しやすい地点を示しており、視界不良の発生を評価できることが明らかとなった。これらの結果から、車載カメラの道路画像を視界評価に用いることで、ドライバーの運転感覚に近い視界情報を、道路路線に沿って生成できる可能性がある。

## 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: Journal of the Transportation Research Board, 2006. Vol.1980, pp. 105-116.
- 2) Kazuhito Ohashi, Yasuhiro Nagata, Yasuhiro Kaneda, Toru Hagiwara, Sho Takahashi, and Yuki Nakamura: Development of road visibility inspection system using driving video images recorded by on-board video camera. N°393 of Routes/Roads Magazine, 2nd Quarter 2022, pp.28-35, 2022.
- 3) Hagiwara, T., Ota, Y., Kaneda, Y. and Araki, K. Method of processing closed-circuit television digital images for poor visibility identification. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2006. Vol.1973, pp. 95-104.
- 4) Takeshi, M., Teruo, O. Evaluation of LFM-GPV and MSM-GPV as Input Data for Wind Simulation. Journal of JWEA, No.42(4), 2018. pp.72-79.
- 5) 中村裕貴, 萩原亨, 永田泰浩: 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, 土木学会論文集 D3 (土木計画学) 特集号, Vol. 75, No. 6, pp. I\_599-I\_607, 2020

## 第 5 章 車載カメラの視界情報をベースとした視界情報の推計

### 5.1 本章の概要

道路の視界は、降雪や風のほか、地形や防雪柵の有無、地上の雪面の雪の状況など様々な影響を受けることが明らかとなった。車載カメラの走行映像から切り出す静止画は、道路前方の対象物や地形の特徴を含んだ視界を把握できる。従って、静止画から求める視界評価指標（WIPS）を推計することができれば、道路路線に沿った視界情報の生成に役立つと考える。視界評価指標（WIPS）を推計するためには、冬期道路上で視界が変化する要因を明らかにする必要がある。

第 5 章では、羽幌地域を走行するバスに搭載した車載カメラで記録・収集された道路画像から得た視界評価指標（WIPS）、CCTV カメラの静止画から得た視界評価指標（WIPS）、XRAIN の降水強度などを用いて、北海道開発局留萌開発建設部管理の国道 232 号における 15km 区間を対象とし、冬期道路上の視界を推計するモデルの提案を試みる。はじめに、第 4 章で開発した道路の視界を評価するシステム（RVIS）を用いて、バスに搭載した車載カメラの走行映像から視界評価指標（WIPS）を得た。次に、車載カメラの視界情報に影響を与える要素を調べるために、道路路線に沿った気象情報との比較を行った。比較にあたり、道路の視界の変化は地点や周辺の環境などの影響を受けることから、地点などの特徴を考慮するために、道路を 1km 区間ごとに分割した。そして、バスに搭載した車載カメラの視界評価指標（WIPS）を目的変数、視界情報と気象情報の比較により明らかとなった道路上の視界に影響を及ぼす要素を説明変数として、視界情報を推計するモデルを構築した。なお、降雪時と地吹雪時では、道路上の視界が変化する条件が異なる<sup>1)</sup>ことから、降雪時には気象情報のみを説明変数、地吹雪時には気象情報と CCTV カメラによる視界情報を説明変数とすることで、それぞれの気象条件下で視界情報の推計を試みた。

## 5.2 バスに装備する RVIS について

第 4 章と同様に、エッジコンピューティング環境下で開発した道路前方の視界を評価するシステム (RVIS) をバスへ搭載した<sup>2)</sup>。バスの車載カメラは運転席付近に設置され、ドライバの胸の高さに近い位置から前方の視界を撮影する。GPS の受信器は、車載カメラの隣に設置されている。小型コンピュータ、データストレージ (SSD)、無線通信装置は、運転席の後部に装備されている。すべての機器は、インバータを使用して DC12V から AC100V に変換することで、AC100V の電源を取得している。カメラと GPS 受信器は USB ケーブルで小型コンピュータに接続されている。撮影した動画や静止画は、SSD に取り込まれる。GPS の受信機は、車両の位置・時間・速度を 1 秒ごとに受信し、これらのデータは動画や静止画を記録する SSD と同じ SSD に記録される。

冬期道路上の視界評価指標として、WIPS を用いた。WIPS は、人間のコントラスト感度関数に基づいて静止画内の空間周波数の差を表し、道路前方の視界を評価することができる<sup>2)</sup>。WIPS を算出するサブシステム内に画像を処理するシステムを搭載し、WIPS を算出した。まず、1.5 秒の動画から 0.0 秒、1.0 秒、1.5 秒の 3 枚の静止画 (640×480 ピクセル) を選択し、WIPS を算出する。次に、3 枚の静止画 (640×480 ピクセル) から 256×256 ピクセルの静止画を切り出す。256×256 ピクセルの範囲は、バスでは車両ごとに位置を調整し (表 5.1)、永田・萩原らの方法で各静止画の WIPS を算出した<sup>3),4),5)</sup>。3 枚の静止画のうち、最小値の WIPS を WIPS の代表値とした。

表 5.1 車載カメラ (バス) の静止画の切り出し位置

| バス | 上辺    | 下辺    | 左辺    | 右辺    |
|----|-------|-------|-------|-------|
| A  | y=72  | y=328 | x=212 | x=468 |
| B  | y=87  | y=343 | x=172 | x=428 |
| C  | y=72  | y=328 | x=192 | x=448 |
| D  | y=157 | y=413 | x=222 | x=478 |

x, yは静止画の左上を原点にした値

### 5.3 対象区間と気象データについて

#### 5.3.1 対象区間と対象日時

対象とする区間は、北海道開発局留萌開発建設部管理の国道 232 号の 15km (K.P. 61.0～K.P. 76.0) とした。図 5.1 には、国道 232 号の 15km を含む区間のキロポスト地点 (K.P.)、CCTV カメラ、地域気象観測システム (アメダス) の位置を示している。この区間は北海道西岸に位置しており、冬期に冬型の気圧配置が緩むとき、北海道西岸では小低気圧や収束帯が発生する<sup>6)</sup>。その結果、様々な方向からの風向がぶつかり雪雲が発達し、まとまった量の降雪や風による地吹雪の影響で、視界不良が発生すると考えられる。表 5.2 は、分析に用いた 2021 年 12 月から 2022 年 2 月の 7 日間における、バスが 15km 区間を走行した時刻、午前 8 時から午前 9 時にかけての羽幌アメダスによる気象条件 (気温、風速、風向) をそれぞれ示している。図 5.2 は、分析に用いた 7 日間の午前 9 時における天気図をそれぞれ示している。表 5.2 の風向が西で風速が強い日時の天気図では、低気圧が北海道の周辺に近づき、等圧線の間隔が狭くなっている。一方、表 5.2 の風向が西以外で風速が弱い日時の天気図では、低気圧が北海道から遠ざかっており、等圧線の間隔が比較的広がっている。

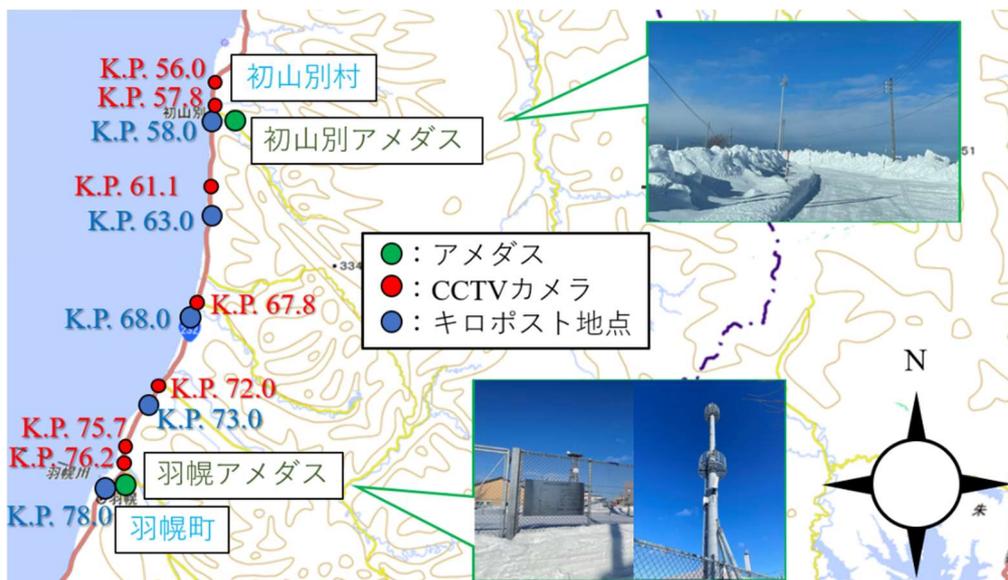


図 5.1 対象区間を含む国道 232 号の地図

表 5.2 分析に用いた日時の気象条件

| 2021年12月 |             |         |     |             |         |     |             |         |     |
|----------|-------------|---------|-----|-------------|---------|-----|-------------|---------|-----|
| 年月日      | 2021/12/19  |         |     | 2021/12/28  |         |     | 2021/12/30  |         |     |
| 走行時刻     | 8:27 - 8:42 |         |     | 8:25 - 8:38 |         |     | 8:36 - 8:53 |         |     |
| 気象条件     | 気温(°C)      | 風速(m/s) | 風向  | 気温(°C)      | 風速(m/s) | 風向  | 気温(°C)      | 風速(m/s) | 風向  |
| 8:00     | -2.9        | 5.9     | 西   | -14.9       | 2.9     | 東南東 | -2.7        | 6.2     | 西南西 |
| 8:10     | -3          | 5.2     | 西   | -13.8       | 3       | 東南東 | -3          | 5.5     | 西北西 |
| 8:20     | -2.8        | 5.4     | 西   | -13.4       | 3.3     | 東南東 | -3.1        | 3.6     | 西北西 |
| 8:30     | -2.5        | 5.6     | 西   | -13.9       | 3.7     | 東南東 | -2.6        | 3.9     | 西   |
| 8:40     | -2.4        | 4.4     | 西北西 | -13.5       | 3       | 南東  | -2.4        | 5       | 西北西 |
| 8:50     | -2.6        | 5.2     | 西北西 | -11.7       | 2.2     | 南東  | -2.7        | 5.6     | 西北西 |
| 9:00     | -2.7        | 7.8     | 西北西 | -12         | 3.6     | 南東  | -2.7        | 5.8     | 西   |
| 2022年1月  |             |         |     |             |         |     |             |         |     |
| 年月日      | 2022/1/29   |         |     | 2022/1/30   |         |     |             |         |     |
| 走行時刻     | 8:43 - 8:59 |         |     | 8:37 - 8:52 |         |     |             |         |     |
| 気象条件     | 気温(°C)      | 風速(m/s) | 風向  | 気温(°C)      | 風速(m/s) | 風向  |             |         |     |
| 8:00     | -4.8        | 7.3     | 北西  | -7.2        | 8.4     | 北西  |             |         |     |
| 8:10     | -4.6        | 7       | 北西  | -7.6        | 8       | 西北西 |             |         |     |
| 8:20     | -4.6        | 6.4     | 西北西 | -7.2        | 7.1     | 北西  |             |         |     |
| 8:30     | -5.4        | 8.8     | 西   | -7          | 5.2     | 西北西 |             |         |     |
| 8:40     | -4.6        | 6.4     | 西北西 | -7          | 6.2     | 西北西 |             |         |     |
| 8:50     | -4.8        | 8.1     | 西   | -6.9        | 6.8     | 西北西 |             |         |     |
| 9:00     | -5.3        | 7.7     | 西   | -7          | 8.2     | 西北西 |             |         |     |
| 2022年2月  |             |         |     |             |         |     |             |         |     |
| 年月日      | 2022/2/13   |         |     | 2022/2/23   |         |     |             |         |     |
| 走行時刻     | 8:30 - 8:44 |         |     | 8:28 - 8:43 |         |     |             |         |     |
| 気象条件     | 気温(°C)      | 風速(m/s) | 風向  | 気温(°C)      | 風速(m/s) | 風向  |             |         |     |
| 8:00     | -1.3        | 2.8     | 西南西 | -7          | 0.6     | 東北東 |             |         |     |
| 8:10     | -1.1        | 2.9     | 南西  | -6.9        | 0.3     | 南   |             |         |     |
| 8:20     | -1.8        | 4.2     | 南西  | -6.6        | 0.5     | 南   |             |         |     |
| 8:30     | -2.1        | 5       | 南西  | -6.3        | 1.1     | 東南東 |             |         |     |
| 8:40     | -2.2        | 4.1     | 南西  | -6.6        | 1.1     | 東南東 |             |         |     |
| 8:50     | -2.3        | 3.6     | 南西  | -6          | 1       | 南東  |             |         |     |
| 9:00     | -2.4        | 2.3     | 南西  | -5.7        | 1       | 南東  |             |         |     |

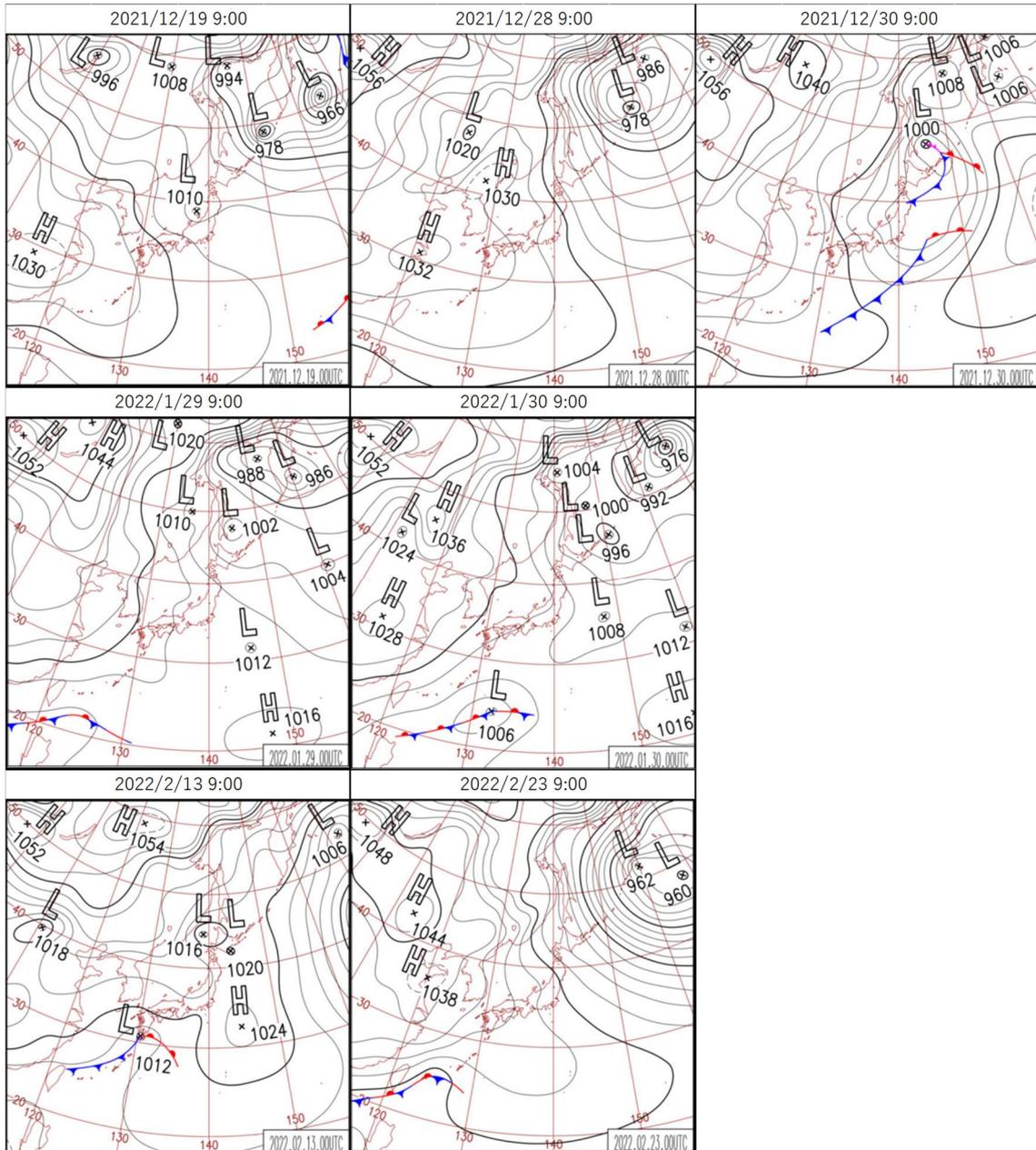


図 5.2 対象日時 of 天気図

### 5.3.2 分析に用いる気象データについて

分析対象地域には、2箇所に地域気象観測システム（アメダス）があり、主に降水量・気温・風向風速・日照の4要素を観測している。本研究で対象とする国道232号では西風による吹雪が発生しやすいことから、分析対象とした15km区間に近い羽幌特別地域気象観測所（羽幌アメダス）の降水量・気温・風向・風速のデータを10分単位で収集した。

また、道路路線に沿った降雪情報として、第3章と同様にXRAINの降水強度（mm/h）を利用した。XRAINの降水強度は、大気中の雨粒子の観測に基づいており、上空の降水と地上の降水には時間差が生じることがある。冬期には、空気中の雨粒子の多くは雪粒子であるため、落下中の雪粒子が地面に到達するまでの移流について考慮する必要がある。また、第3章で道路沿いのCCTVカメラの静止画から求めたWIPSに対するXRAINの降水強度の影響度合いを調べたとき、降水強度の変化に対し0分から10分ほど遅れてWIPSが変化する状況が明らかとなった。この結果から、バスの走行時刻に対し、時間遅れ0分・5分・10分における走行時刻から10分前までの降水強度の平均値を、バスの走行時刻に対する降水強度（mm/h）として収集した。

### 5.3.3 気象条件による対象日時の分類

表5.2に示す7日間の対象日時を、気象条件により以下のように分類した。

- ・気象条件1（降雪時）：主な風向が西でなく、風速が5.0（m/s）より小さいとき
- ・気象条件2（地吹雪時）：主な風向が西で、風速が5.0（m/s）より大きいとき

気象条件1（降雪時）のときに降水強度が観測された場合、降雪の影響で視界が変化する可能性がある。一方、気象条件2（地吹雪時）のときは、降水強度が観測されなくても、12時間雨量が多くかつ風が強いとき、地上に堆積した雪が風の影響で舞い上がることで、視界が変化する可能性がある。風の影響で視界が変化するとき、降雪による視界の変化と比べて雪粒子の分布が不連続になると考える。気象条件1（降雪時）と気象条件2（地吹雪時）に該当する対象日時は、以下の通りである。

気象条件1（降雪時）

- ・2021年12月28日、2022年2月13日、2022年2月23日

気象条件2（地吹雪時）

- ・2021年12月19日、2021年12月30日、2022年1月29日、2022年1月30日

## 5.4 視界情報の推計モデルの構築[気象条件1(降雪時)]

### 5.4.1 説明変数の選定

気象条件1(降雪時)において、車載カメラの視界評価指標(WIPS)を目的変数とした視界情報を推計するモデルを提案する。まず、モデルに用いる説明変数を選定するために、視界評価指標(WIPS)と気象情報の関係について分析する。降雪時に視界の変化に影響を及ぼす説明変数として、ここではXRAINの降水強度(mm/h)と12時間雨量について検討した。XRAINの降水強度は、走行時刻から10分前までの平均値を用いた。また、風速が5.0(m/s)より小さいことから、風による雪粒子の移流の影響は小さいと考え、時間遅れは0分のときの降水強度を用いることとした。12時間雨量は、バスが対象区間を走行する時刻から12時間前までのあいだに、羽幌アメダスで観測された降水量を積算することで求めた。

表5.3は、対象とする15km区間における、XRAINの降水強度とWIPSの散布図を1km区間ごとに並べたものである。全ての区間で、XRAINの降水強度とWIPSの決定係数は0.5以上となり、相関がある結果となった。表5.4は、対象とする15km区間における、12時間雨量とWIPSの散布図を1km区間ごとに並べたものである。ほとんどの区間で、両者に相関はない結果となった。K.P.75.0からK.P.76.0の区間では、両者に相関があった。このことから、風が弱く降雪がある時には、降雪の影響で視界が変化すると考える。

表 5.3 XRAIN の降水強度と WIPS の散布図[気象条件 1 (降雪時)]

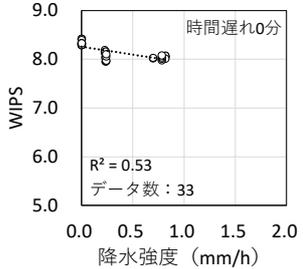
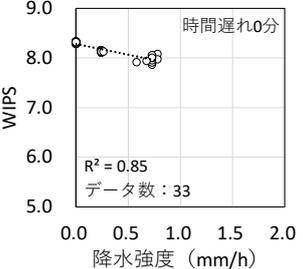
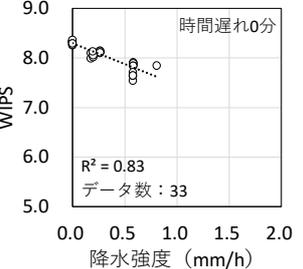
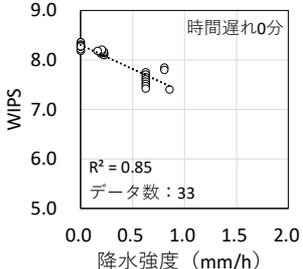
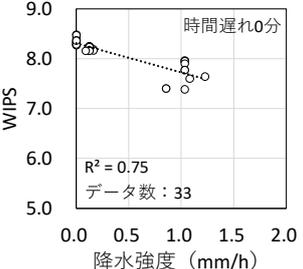
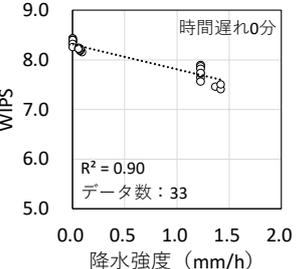
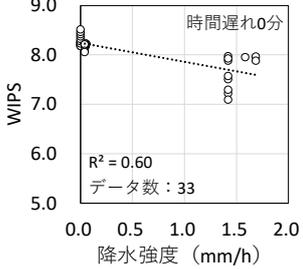
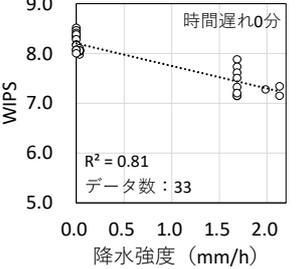
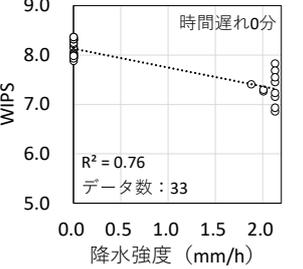
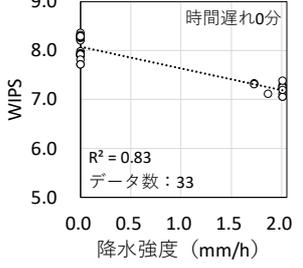
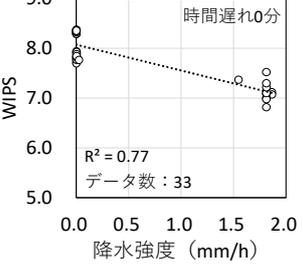
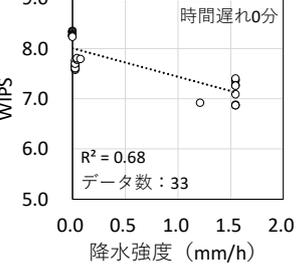
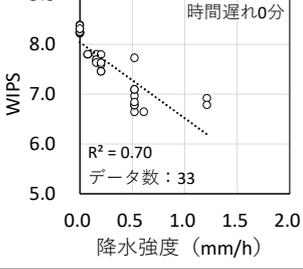
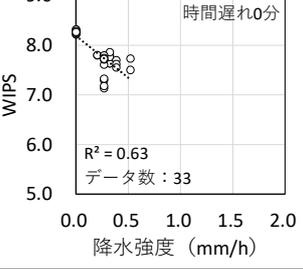
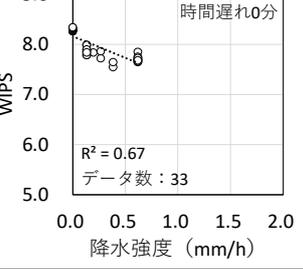
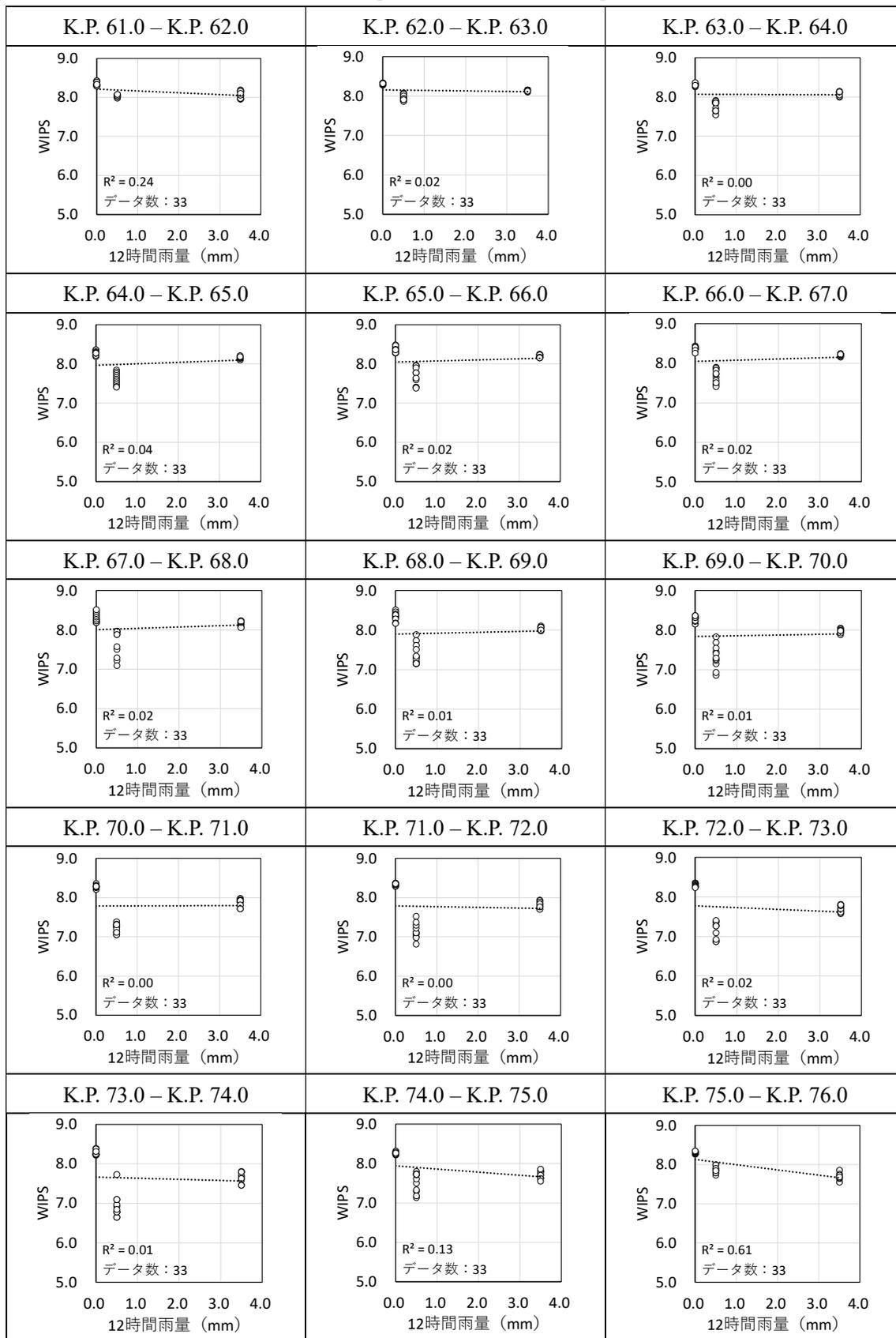
|   |   |   |
|---|---|---|
| <p>K.P. 61.0 – K.P. 62.0</p>  <p>時間遅れ0分<br/> <math>R^2 = 0.53</math><br/>           データ数: 33</p>   | <p>K.P. 62.0 – K.P. 63.0</p>  <p>時間遅れ0分<br/> <math>R^2 = 0.85</math><br/>           データ数: 33</p>   | <p>K.P. 63.0 – K.P. 64.0</p>  <p>時間遅れ0分<br/> <math>R^2 = 0.83</math><br/>           データ数: 33</p>   |
| <p>K.P. 64.0 – K.P. 65.0</p>  <p>時間遅れ0分<br/> <math>R^2 = 0.85</math><br/>           データ数: 33</p>   | <p>K.P. 65.0 – K.P. 66.0</p>  <p>時間遅れ0分<br/> <math>R^2 = 0.75</math><br/>           データ数: 33</p>   | <p>K.P. 66.0 – K.P. 67.0</p>  <p>時間遅れ0分<br/> <math>R^2 = 0.90</math><br/>           データ数: 33</p>   |
| <p>K.P. 67.0 – K.P. 68.0</p>  <p>時間遅れ0分<br/> <math>R^2 = 0.60</math><br/>           データ数: 33</p> | <p>K.P. 68.0 – K.P. 69.0</p>  <p>時間遅れ0分<br/> <math>R^2 = 0.81</math><br/>           データ数: 33</p> | <p>K.P. 69.0 – K.P. 70.0</p>  <p>時間遅れ0分<br/> <math>R^2 = 0.76</math><br/>           データ数: 33</p> |
| <p>K.P. 70.0 – K.P. 71.0</p>  <p>時間遅れ0分<br/> <math>R^2 = 0.83</math><br/>           データ数: 33</p> | <p>K.P. 71.0 – K.P. 72.0</p>  <p>時間遅れ0分<br/> <math>R^2 = 0.77</math><br/>           データ数: 33</p> | <p>K.P. 72.0 – K.P. 73.0</p>  <p>時間遅れ0分<br/> <math>R^2 = 0.68</math><br/>           データ数: 33</p> |
| <p>K.P. 73.0 – K.P. 74.0</p>  <p>時間遅れ0分<br/> <math>R^2 = 0.70</math><br/>           データ数: 33</p> | <p>K.P. 74.0 – K.P. 75.0</p>  <p>時間遅れ0分<br/> <math>R^2 = 0.63</math><br/>           データ数: 33</p> | <p>K.P. 75.0 – K.P. 76.0</p>  <p>時間遅れ0分<br/> <math>R^2 = 0.67</math><br/>           データ数: 33</p> |

表 5.4 12 時間雨量と WIPS の散布図[気象条件 1 (降雪時) ]



#### 5.4.2 WIPS を推計する全区間モデルの構築[気象条件 1 (降雪時)]

まず、表 5.3 と表 5.4 の結果から、説明変数として XRAIN の降水強度（時間遅れ 0 分）と 12 時間雨量を用い、WIPS を推計する全区間モデルの構築を試みた。WIPS の分布は正規分布であると仮定し、線形回帰モデルにより WIPS を推計した。構築したモデルを式(1)に示す。線形回帰モデルのパラメータは、統計解析アプリケーションである R4.0.4 を用いて推定した。式(1)の線形回帰モデルの結果を表 5.5 に示す。すべての説明変数の係数は、5% 水準で有意である。回帰係数の推定値の符号から、降水強度および 12 時間雨量が増加すると WIPS は低くなる。このことから、回帰係数の符号が WIPS に与える影響は合理的であると考えられる。

表 5.5 全区間モデルの推定結果[気象条件 1 (降雪時)]

| パラメータ       | 説明変数             | 推定値   | 標準誤差    | t値     | p値       |
|-------------|------------------|-------|---------|--------|----------|
| $\beta_0$   | (切片)             | 8.23  | 0.02    | 419.49 | 0.00 *** |
| $\beta_1$   | 降水強度<br>(時間遅れ0分) | -0.52 | 0.02    | -25.13 | 0.00 *** |
| $\beta_2$   | 12時間雨量           | -0.06 | 0.01    | -6.82  | 0.00 *** |
| 決定係数        |                  | 0.59  | F検定の統計量 |        | 317.1    |
| 自由度調整済み決定係数 |                  | 0.58  | データ数    |        | 453      |

$$f(WIPS) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 \quad (1)$$

WIPS: 車載カメラの静止画から求めた WIPS

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$ : パラメータ

$x_1, x_2$ : 説明変数

#### 5.4.3 WIPS の推計結果[全区間モデル]

式(1)を用いて WIPS を推計した。図 5.3 は、WIPS の実測値と推計値の散布図である。図 5.2 のプロットは正の相関を示している。しかし、実測値が 7.0 未満のとき、推計値は 7.0 から 8.0 に分布した。理由として、道路上の視界は、気象のみならず地点の影響を受けるためである。15km 区間の WIPS を一括で推計する全区間モデルを構築することは、道路周辺の環境や地形などの特徴を考慮することが難しい。冬期道路上の視界を評価するには、気象の影響に加えて地点の特徴を考慮することが必要である。

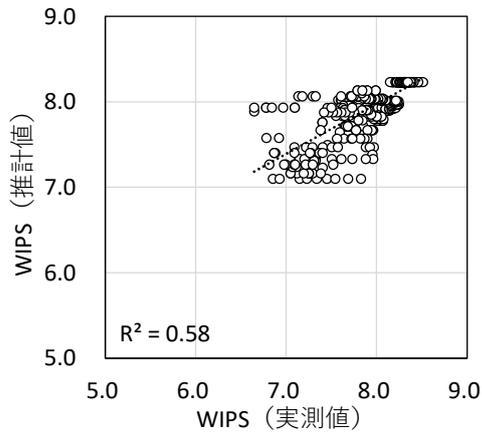


図 5.3 WIPS の実測値と推計値の散布図[気象条件 1 (降雪時)・全区間モデル]

#### 5.4.4 WIPS を推計する 1km 区間モデルの構築[気象条件 1 (降雪時) ]

次に、地点の影響を考慮するために、道路を区間ごとに分割して WIPS を推計する 1km 区間モデルの構築を試みた。WIPS の分布は正規分布であると仮定し、線形回帰モデルにより WIPS を推計した。説明変数として、すべての区間で XRAIN の降水強度 (時間遅れ 0 分) と、回帰係数が有意となった区間のみ 12 時間雨量を用いた。構築したモデルは式(1)と同様で、線形回帰モデルのパラメータは、統計解析アプリケーションである R4.0.4 を用いて推定した。式(1)の線形回帰モデルの結果を表 5.6(a)から(o)に示す。K.P. 73.0–K.P. 74.0 の 12 時間雨量のみ、5%水準で有意とならなかった。その他の区間におけるすべての説明変数の係数は、5%水準で有意である。回帰係数の推定値の符号から、降水強度および 12 時間雨量が増加すると WIPS は低くなる。このことから、回帰係数の符号が WIPS に与える影響は合理的であると考えられる。

表 5.6 1km 区間モデルの推定結果[気象条件 1 (降雪時) ]

(a) K.P. 61.0 – K.P. 62.0

| パラメータ     | 説明変数             | 推定値   | 標準誤差    | t値     | p値       |
|-----------|------------------|-------|---------|--------|----------|
| $\beta_0$ | (切片)             | 8.34  | 0.02    | 450.78 | 0.00 *** |
| $\beta_1$ | 降水強度<br>(時間遅れ0分) | -0.35 | 0.03    | -10.66 | 0.00 *** |
| $\beta_2$ | 12時間雨量           | -0.05 | 0.01    | -7.73  | 0.00 *** |
|           | 決定係数             | 0.84  | F検定の統計量 |        | 79.7     |
|           | 自由度調整済み決定係数      | 0.83  | データ数    |        | 33       |

## (b) K.P. 62.0 – K.P. 63.0

| パラメータ       | 説明変数             | 推定値   | 標準誤差    | t値     | p値       |
|-------------|------------------|-------|---------|--------|----------|
| $\beta_0$   | (切片)             | 8.30  | 0.01    | 554.28 | 0.00 *** |
| $\beta_1$   | 降水強度<br>(時間遅れ0分) | -0.44 | 0.03    | -15.23 | 0.00 *** |
| $\beta_2$   | 12時間雨量           | -0.02 | 0.01    | -3.05  | 0.00 **  |
| 決定係数        |                  | 0.89  | F検定の統計量 |        | 118.4    |
| 自由度調整済み決定係数 |                  | 0.88  | データ数    |        | 33       |

## (c) K.P. 63.0 – K.P. 64.0

| パラメータ       | 説明変数             | 推定値   | 標準誤差    | t値     | p値       |
|-------------|------------------|-------|---------|--------|----------|
| $\beta_0$   | (切片)             | 8.30  | 0.03    | 330.18 | 0.00 *** |
| $\beta_1$   | 降水強度<br>(時間遅れ0分) | -0.84 | 0.07    | -12.45 | 0.00 *** |
| 決定係数        |                  | 0.83  | F検定の統計量 |        | 154.9    |
| 自由度調整済み決定係数 |                  | 0.83  | データ数    |        | 33       |

## (d) K.P. 64.0 – K.P. 65.0

| パラメータ       | 説明変数             | 推定値   | 標準誤差    | t値     | p値       |
|-------------|------------------|-------|---------|--------|----------|
| $\beta_0$   | (切片)             | 8.30  | 0.03    | 275.26 | 0.00 *** |
| $\beta_1$   | 降水強度<br>(時間遅れ0分) | -0.97 | 0.07    | -13.28 | 0.00 *** |
| 決定係数        |                  | 0.85  | F検定の統計量 |        | 176.5    |
| 自由度調整済み決定係数 |                  | 0.85  | データ数    |        | 33       |

## (e) K.P. 65.0 – K.P. 66.0

| パラメータ       | 説明変数             | 推定値   | 標準誤差    | t値     | p値       |
|-------------|------------------|-------|---------|--------|----------|
| $\beta_0$   | (切片)             | 8.31  | 0.04    | 230.40 | 0.00 *** |
| $\beta_1$   | 降水強度<br>(時間遅れ0分) | -0.58 | 0.06    | -9.66  | 0.00 *** |
| 決定係数        |                  | 0.75  | F検定の統計量 |        | 93.4     |
| 自由度調整済み決定係数 |                  | 0.74  | データ数    |        | 33       |

## (f) K.P. 66.0 – K.P. 67.0

| パラメータ       | 説明変数             | 推定値   | 標準誤差    | t値     | p値       |
|-------------|------------------|-------|---------|--------|----------|
| $\beta_0$   | (切片)             | 8.38  | 0.03    | 314.49 | 0.00 *** |
| $\beta_1$   | 降水強度<br>(時間遅れ0分) | -0.54 | 0.03    | -19.28 | 0.00 *** |
| $\beta_2$   | 12時間雨量           | -0.04 | 0.01    | -3.58  | 0.00 **  |
| 決定係数        |                  | 0.93  | F検定の統計量 |        | 190.5    |
| 自由度調整済み決定係数 |                  | 0.92  | データ数    |        | 33       |

## (g) K.P. 67.0 – K.P. 68.0

| パラメータ       | 説明変数             | 推定値   | 標準誤差    | t値     | p値       |
|-------------|------------------|-------|---------|--------|----------|
| $\beta_0$   | (切片)             | 8.25  | 0.05    | 171.20 | 0.00 *** |
| $\beta_1$   | 降水強度<br>(時間遅れ0分) | -0.39 | 0.06    | -6.87  | 0.00 *** |
| 決定係数        |                  | 0.60  | F検定の統計量 |        | 47.2     |
| 自由度調整済み決定係数 |                  | 0.59  | データ数    |        | 33       |

## (h) K.P. 68.0 – K.P. 69.0

| パラメータ       | 説明変数             | 推定値   | 標準誤差    | t値     | p値       |
|-------------|------------------|-------|---------|--------|----------|
| $\beta_0$   | (切片)             | 8.34  | 0.05    | 181.86 | 0.00 *** |
| $\beta_1$   | 降水強度<br>(時間遅れ0分) | -0.50 | 0.03    | -14.96 | 0.00 *** |
| $\beta_2$   | 12時間雨量           | -0.08 | 0.02    | -4.31  | 0.00 *** |
| 決定係数        |                  | 0.88  | F検定の統計量 |        | 112.7    |
| 自由度調整済み決定係数 |                  | 0.88  | データ数    |        | 33       |

## (i) K.P. 69.0 – K.P. 70.0

| パラメータ       | 説明変数             | 推定値   | 標準誤差    | t値     | p値       |
|-------------|------------------|-------|---------|--------|----------|
| $\beta_0$   | (切片)             | 8.28  | 0.05    | 153.27 | 0.00 *** |
| $\beta_1$   | 降水強度<br>(時間遅れ0分) | -0.43 | 0.03    | -12.62 | 0.00 *** |
| $\beta_2$   | 12時間雨量           | -0.09 | 0.02    | -3.94  | 0.00 *** |
| 決定係数        |                  | 0.84  | F検定の統計量 |        | 80.1     |
| 自由度調整済み決定係数 |                  | 0.83  | データ数    |        | 33       |

## (j) K.P. 70.0 – K.P. 71.0

| パラメータ       | 説明変数             | 推定値   | 標準誤差    | t値     | p値       |
|-------------|------------------|-------|---------|--------|----------|
| $\beta_0$   | (切片)             | 8.28  | 0.03    | 319.89 | 0.00 *** |
| $\beta_1$   | 降水強度<br>(時間遅れ0分) | -0.52 | 0.02    | -29.33 | 0.00 *** |
| $\beta_2$   | 12時間雨量           | -0.11 | 0.01    | -10.92 | 0.00 *** |
| 決定係数        |                  | 0.97  | F検定の統計量 |        | 430.1    |
| 自由度調整済み決定係数 |                  | 0.96  | データ数    |        | 33       |

## (k) K.P. 71.0 – K.P. 72.0

| パラメータ       | 説明変数             | 推定値   | 標準誤差    | t値     | p値       |
|-------------|------------------|-------|---------|--------|----------|
| $\beta_0$   | (切片)             | 8.33  | 0.03    | 238.18 | 0.00 *** |
| $\beta_1$   | 降水強度<br>(時間遅れ0分) | -0.62 | 0.03    | -24.10 | 0.00 *** |
| $\beta_2$   | 12時間雨量           | -0.15 | 0.01    | -10.42 | 0.00 *** |
| 決定係数        |                  | 0.95  | F検定の統計量 |        | 291.5    |
| 自由度調整済み決定係数 |                  | 0.95  | データ数    |        | 33       |

## (l) K.P. 72.0 – K.P. 73.0

| パラメータ       | 説明変数             | 推定値   | 標準誤差    | t値     | p値       |
|-------------|------------------|-------|---------|--------|----------|
| $\beta_0$   | (切片)             | 8.29  | 0.05    | 174.58 | 0.00 *** |
| $\beta_1$   | 降水強度<br>(時間遅れ0分) | -0.69 | 0.04    | -16.73 | 0.00 *** |
| $\beta_2$   | 12時間雨量           | -0.16 | 0.02    | -8.35  | 0.00 *** |
| 決定係数        |                  | 0.91  | F検定の統計量 |        | 143.0    |
| 自由度調整済み決定係数 |                  | 0.90  | データ数    |        | 33       |

## (m) K.P. 73.0 – K.P. 74.0

| パラメータ       | 説明変数             | 推定値   | 標準誤差    | t値    | p値       |
|-------------|------------------|-------|---------|-------|----------|
| $\beta_0$   | (切片)             | 8.15  | 0.09    | 90.84 | 0.00 *** |
| $\beta_1$   | 降水強度<br>(時間遅れ0分) | -1.57 | 0.17    | -9.05 | 0.00 *** |
| $\beta_2$   | 12時間雨量           | -0.07 | 0.04    | -1.98 | 0.06 .   |
| 決定係数        |                  | 0.73  | F検定の統計量 |       | 41.2     |
| 自由度調整済み決定係数 |                  | 0.72  | データ数    |       | 33       |

## (n) K.P. 74.0 – K.P. 75.0

| パラメータ       | 説明変数             | 推定値   | 標準誤差    | t値     | p値       |
|-------------|------------------|-------|---------|--------|----------|
| $\beta 0$   | (切片)             | 8.19  | 0.06    | 132.35 | 0.00 *** |
| $\beta 1$   | 降水強度<br>(時間遅れ0分) | -1.69 | 0.23    | -7.25  | 0.00 *** |
| 決定係数        |                  | 0.63  | F検定の統計量 |        | 52.5     |
| 自由度調整済み決定係数 |                  | 0.62  | データ数    |        | 33       |

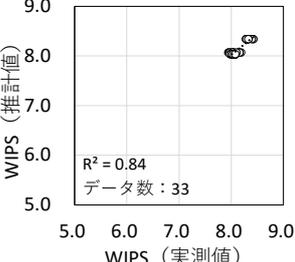
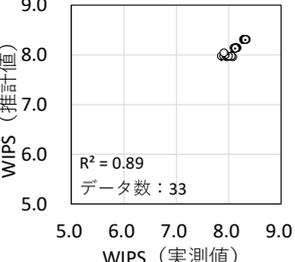
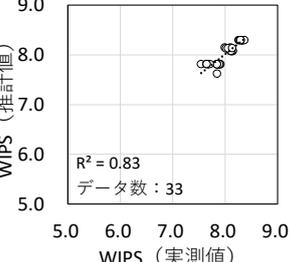
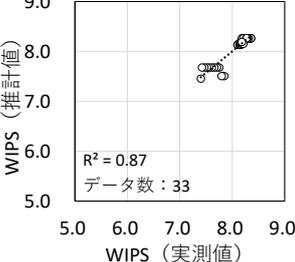
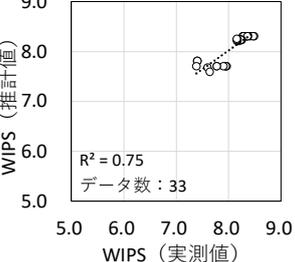
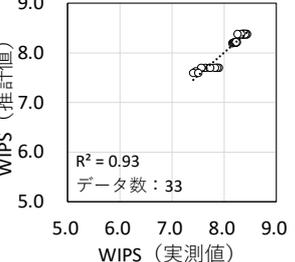
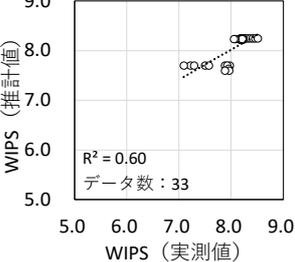
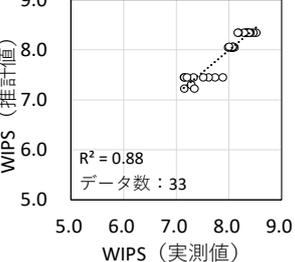
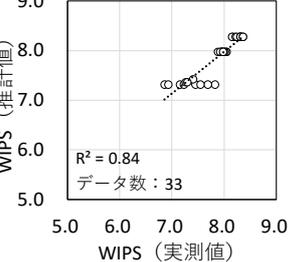
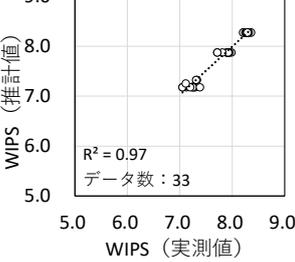
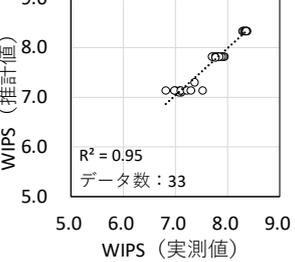
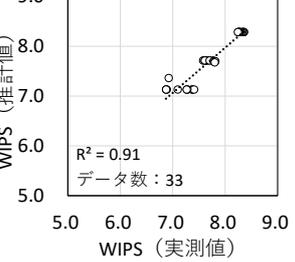
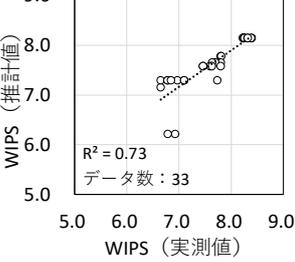
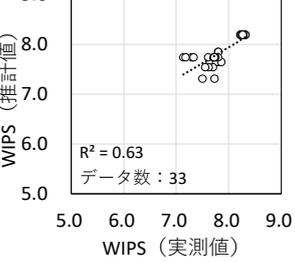
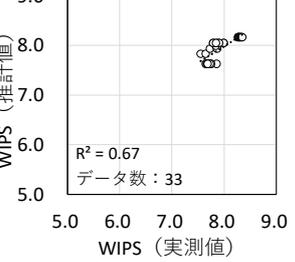
## (o) K.P. 75.0 – K.P. 76.0

| パラメータ       | 説明変数             | 推定値   | 標準誤差    | t値     | p値       |
|-------------|------------------|-------|---------|--------|----------|
| $\beta 0$   | (切片)             | 8.17  | 0.04    | 213.79 | 0.00 *** |
| $\beta 1$   | 降水強度<br>(時間遅れ0分) | -0.86 | 0.11    | -7.95  | 0.00 *** |
| 決定係数        |                  | 0.67  | F検定の統計量 |        | 63.1     |
| 自由度調整済み決定係数 |                  | 0.66  | データ数    |        | 33       |

## 5.4.5 WIPS の推計結果[1km 区間モデル]

表 5.6(a)~(o)に示すパラメータと式(1)を用いて WIPS を推計した。表 5.7 は、1km 区間モデルによる区間ごとの WIPS の推計値と実測値の散布図である。1km 区間モデルのプロットは正の相関を示しており、全区間モデルのプロットと比べ高い相関となった。

表 5.7 WIPS の推計値と実測値の散布図[気象条件 1 (降雪時)・1km 区間モデル]

|   |   |   |
|---|---|---|
| <p>K.P. 61.0 – K.P. 62.0</p>  <p>WIPS (推計値)</p> <p><math>R^2 = 0.84</math><br/>データ数 : 33</p> <p>WIPS (実測値)</p>   | <p>K.P. 62.0 – K.P. 63.0</p>  <p>WIPS (推計値)</p> <p><math>R^2 = 0.89</math><br/>データ数 : 33</p> <p>WIPS (実測値)</p>   | <p>K.P. 63.0 – K.P. 64.0</p>  <p>WIPS (推計値)</p> <p><math>R^2 = 0.83</math><br/>データ数 : 33</p> <p>WIPS (実測値)</p>   |
| <p>K.P. 64.0 – K.P. 65.0</p>  <p>WIPS (推計値)</p> <p><math>R^2 = 0.87</math><br/>データ数 : 33</p> <p>WIPS (実測値)</p>   | <p>K.P. 65.0 – K.P. 66.0</p>  <p>WIPS (推計値)</p> <p><math>R^2 = 0.75</math><br/>データ数 : 33</p> <p>WIPS (実測値)</p>   | <p>K.P. 66.0 – K.P. 67.0</p>  <p>WIPS (推計値)</p> <p><math>R^2 = 0.93</math><br/>データ数 : 33</p> <p>WIPS (実測値)</p>   |
| <p>K.P. 67.0 – K.P. 68.0</p>  <p>WIPS (推計値)</p> <p><math>R^2 = 0.60</math><br/>データ数 : 33</p> <p>WIPS (実測値)</p> | <p>K.P. 68.0 – K.P. 69.0</p>  <p>WIPS (推計値)</p> <p><math>R^2 = 0.88</math><br/>データ数 : 33</p> <p>WIPS (実測値)</p> | <p>K.P. 69.0 – K.P. 70.0</p>  <p>WIPS (推計値)</p> <p><math>R^2 = 0.84</math><br/>データ数 : 33</p> <p>WIPS (実測値)</p> |
| <p>K.P. 70.0 – K.P. 71.0</p>  <p>WIPS (推計値)</p> <p><math>R^2 = 0.97</math><br/>データ数 : 33</p> <p>WIPS (実測値)</p> | <p>K.P. 71.0 – K.P. 72.0</p>  <p>WIPS (推計値)</p> <p><math>R^2 = 0.95</math><br/>データ数 : 33</p> <p>WIPS (実測値)</p> | <p>K.P. 72.0 – K.P. 73.0</p>  <p>WIPS (推計値)</p> <p><math>R^2 = 0.91</math><br/>データ数 : 33</p> <p>WIPS (実測値)</p> |
| <p>K.P. 73.0 – K.P. 74.0</p>  <p>WIPS (推計値)</p> <p><math>R^2 = 0.73</math><br/>データ数 : 33</p> <p>WIPS (実測値)</p> | <p>K.P. 74.0 – K.P. 75.0</p>  <p>WIPS (推計値)</p> <p><math>R^2 = 0.63</math><br/>データ数 : 33</p> <p>WIPS (実測値)</p> | <p>K.P. 75.0 – K.P. 76.0</p>  <p>WIPS (推計値)</p> <p><math>R^2 = 0.67</math><br/>データ数 : 33</p> <p>WIPS (実測値)</p> |

#### 5.4.6 バスの走行事例による推計結果の比較[気象条件1(降雪時)]

気象条件1(降雪時)に分類した3日間の走行事例の視界情報を用いて、降雪時の視界情報を推計する全区間モデルと1km区間モデルの構築を試みた。図5.4から図5.6の(a)は、バスが対象区間(K.P. 61.0~K.P. 76.0)を走行した日時ごとのWIPSの実測値と推計値の変化をそれぞれ示している。図中の黒色の実線がバスに搭載した車載カメラの静止画から求めたWIPS、赤色の破線が1km区間モデルのパラメータを用いて推計したWIPS、緑色の破線が全区間モデルのパラメータを用いて推計したWIPSである。青色の二重線は、XRAINの降水強度(時間遅れ0分)の変化である。図5.4から図5.6の(b)は、バスの車載カメラで撮影された実際の走行画像と、WIPSの実測値と推計値を示している。

2021年12月28日の走行事例では、WIPSの実測値は8.2から8.5に分布し、視界は良好だった。全区間モデルで推計したWIPSは全ての区間で8.1となり、実測値と推計値の差分は最大0.4となる地点があった。1km区間モデルで推計したWIPSは8.1から8.3に分布し、実測値との差分は最大0.3異なった地点が一箇所のみで、その他の地点では実測値との差は0.2以内だった。実測値と推計値の二乗平均平方根誤差(Root Mean Squared Error: RMSE)は、全区間モデルが0.18に対し1km区間モデルが0.08だった。全区間モデルの推計値に比べ、1km区間モデルの推計値のほうが実測値に近い変化を示した。

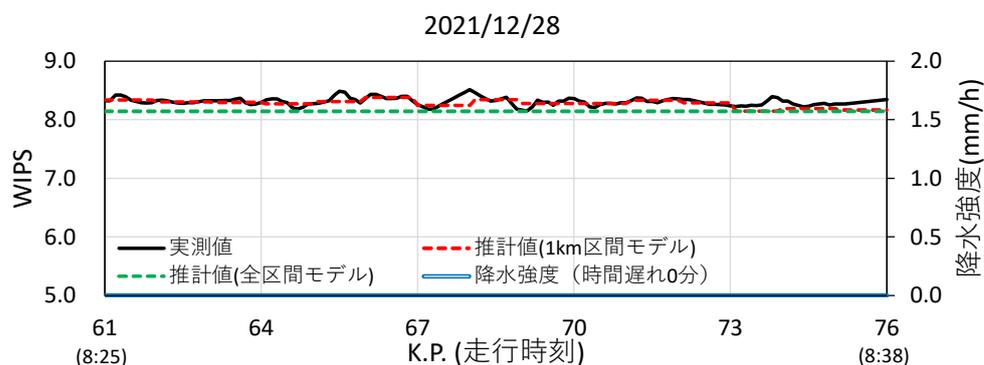
2022年2月13日の走行事例では、WIPSの実測値は7.5から8.2に分布し、K.P. 70.0からK.P. 75.0にかけて視界がやや変化した。全区間モデルで推計したWIPSは7.8から8.1に分布し、K.P. 61.0からK.P. 68.0では実測値より最大0.2低い値で推移した。一方、K.P. 69.0からK.P. 75.0では、全区間モデルで推計したWIPSは、実測値よりも最大0.6高い値で推移した。どちらの区間も、上空で観測されたXRAINの降水強度は0.0から0.3(mm/h)程度だったため、推計値はやや下がったが、視界不良を評価するほどの数値の推計結果にはならなかったと考えられる。1km区間モデルで推計したWIPSは7.5から8.2に分布し、15km区間のすべてで実測値との差分は0.2以内で推移した。実測値と推計値の二乗平均平方根誤差(RMSE)は、全区間モデルが0.23に対し1km区間モデルが0.07だった。

2022年2月23日の走行事例では、WIPSの実測値は6.6から8.1に分布し、K.P. 67.0からK.P. 74.0にかけて視界が変化した。全区間モデルで推計したWIPSは7.1から8.1に分布し、K.P. 65.0からK.P. 72.0にかけて、実測値より最大0.7低い値で推移した。一方、K.P. 73.0からK.P. 75.0では、実測値と比べて最大1.2高い値で推移した。理由として、K.P. 65.0からK.P. 72.0の上空で観測された降水強度は1.5から2.0(mm/h)程度、K.P. 73.0からK.P. 75.0の上空で観測された降水強度は0.2から0.5(mm/h)程度だった。降水強度の違いにより、全区間モデルで推計したWIPSの値が異なった。1km区間モデルで推計したWIPSは6.2から8.1に分布し、K.P. 61.0からK.P. 65.0では実測値との差分は最大0.3以内で推移した。K.P. 65.0からK.P. 69.0では、実測値との差分が最大0.6とやや大きくなった。K.P. 70.0からK.P. 76.0では、実測値との差分は多くの地点で0.2以内となったが、地点によっては最大0.7の

差分が生じた。K.P. 73.0 付近では、実測値より最大 0.7 低い値となった。理由として、K.P. 73.0 から K.P. 73.1 の降水強度は 1.2 (mm/h) だったため、WIPS を大きく下げたと考えられる。実測値と推計値の二乗平均平方根誤差 (RMSE) は、全区間モデルが 0.38 に対し 1km 区間モデルが 0.24 だった。全区間モデルの推計値と比べると、実測値に近い値で推移した。

道路を区間ごとに分割して推計を行うことで、道路の地点や区間の特徴をより細かく考慮した結果となった。

(a) WIPS の実測値と推計値の変化

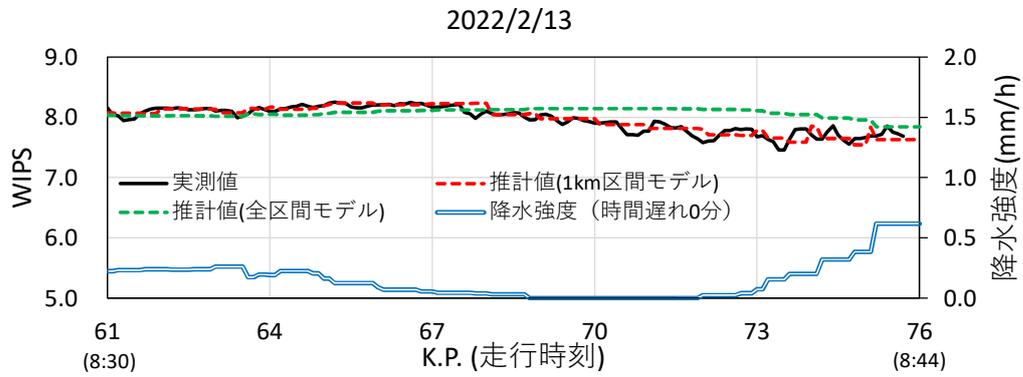


(b) 車載カメラの静止画と WIPS

| K.P. 62.7    | K.P. 65.5    | K.P. 68.2    | K.P. 71.9    | K.P. 74.6    |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|              |              |              |              |              |
| 実測値:8.3      | 実測値:8.5      | 実測値:8.4      | 実測値:8.4      | 実測値:8.3      |
| 推計値(1km):8.3 | 推計値(1km):8.3 | 推計値(1km):8.3 | 推計値(1km):8.3 | 推計値(1km):8.2 |
| 推計値(全区間):8.2 | 推計値(全区間):8.2 | 推計値(全区間):8.2 | 推計値(全区間):8.2 | 推計値(全区間):8.2 |

図 5.4 WIPS の変化と車載カメラの視界[2021 年 12 月 28 日]

(a) WIPS の実測値と推計値の変化

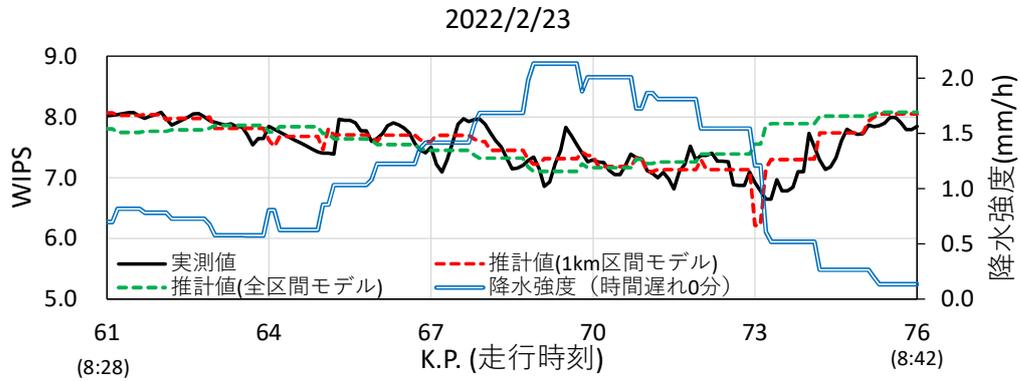


(b) 車載カメラの静止画と WIPS

| K.P. 61.9                               | K.P. 66.1                               | K.P. 68.5                               | K.P. 72.5                               | K.P. 74.9                               |
|---|---|---|---|---|
|   |   |   |   |   |
| 実測値:8.1<br>推計値(1km):8.1<br>推計値(全区間):8.0 | 実測値:8.2<br>推計値(1km):8.2<br>推計値(全区間):8.1 | 実測値:8.0<br>推計値(1km):8.0<br>推計値(全区間):8.1 | 実測値:7.6<br>推計値(1km):7.7<br>推計値(全区間):8.1 | 実測値:7.6<br>推計値(1km):7.5<br>推計値(全区間):8.0 |

図 5.5 WIPS の変化と車載カメラの視界状況[2022 年 2 月 13 日]

(a) WIPS の実測値と推計値の変化



(b) 車載カメラの静止画と WIPS

| K.P. 61.8                               | K.P. 66.6                               | K.P. 70.4                               | K.P. 73.0                               | K.P. 74.3                               |
|---|---|---|---|---|
|   |   |   |   |   |
| 実測値:8.0<br>推計値(1km):8.0<br>推計値(全区間):7.8 | 実測値:7.7<br>推計値(1km):7.7<br>推計値(全区間):7.5 | 実測値:7.1<br>推計値(1km):7.2<br>推計値(全区間):7.2 | 実測値:6.9<br>推計値(1km):6.2<br>推計値(全区間):7.6 | 実測値:7.1<br>推計値(1km):7.7<br>推計値(全区間):8.0 |

図 5.5 WIPS の変化と車載カメラの視界状況[2022 年 2 月 23 日]

## 5.5 視界情報の推計モデルの構築[気象条件2(地吹雪時)]

### 5.5.1 説明変数の選定

気象条件2(地吹雪時)において、車載カメラの視界評価指標(WIPS)を目的変数とした視界情報を推計するモデルを提案する。まず、モデルに用いる説明変数を選定するために、視界評価指標(WIPS)と気象情報の関係について分析する。地吹雪時に視界の変化に影響を及ぼす説明変数として、ここではXRAINの降水強度と12時間雨量、風速について検討した。XRAINの降水強度は、走行時刻から10分前までの平均値を用いた。なお、風速が5.0(m/s)より大きいことから、風により雪粒子が移流し、地上にその降水が反映されるまでに時間差が生じる可能性があることから、降水強度は時間遅れ0分、5分、10分でそれぞれ収集した。12時間雨量は、バスが対象区間を走行する時刻から12時間前までのあいだに、羽幌アメダスで観測された降水量を積算することで求めた。風速は、羽幌アメダスで観測された風速を10分単位で収集した。

表5.8から表5.10は、対象とする15km区間における、XRAINの降水強度(時間遅れ0分・5分・10分)とWIPSの散布図を1km区間ごとに並べたものである。降雪時と比べ、XRAINの降水強度とWIPSの相関の強さは、区間ごとによって異なる結果となった。また、最も相関が高くなる降水強度の時間遅れも、1km区間ごとによって異なった。これは、風が強く雪が舞いやすい状況のとき、道路周辺の環境や地形の影響によって、地上にその降水が反映されるまでに時間差が生じるためである。表5.11は、対象とする15km区間における12時間雨量とWIPSの散布図を1km区間ごとに並べたものである。降雪時には、ほとんどの区間で12時間雨量とWIPSに相関はなかった。一方、地吹雪時には、区間によって相関がある結果となった。同様に、表5.12は対象とする15km区間における羽幌アメダスで観測された風速とWIPSの散布図を1km区間ごとに並べたものである。K.P.61.0からK.P.65.0にかけて、両者には相関がある結果となった。この区間は、道路沿いに防雪柵がほとんどないため、風により雪が舞いやすい環境であるためと考える。

表 5.8 XRAIN の降水強度と WIPS の散布図[気象条件 2 (地吹雪時)・時間遅れ 0 分]

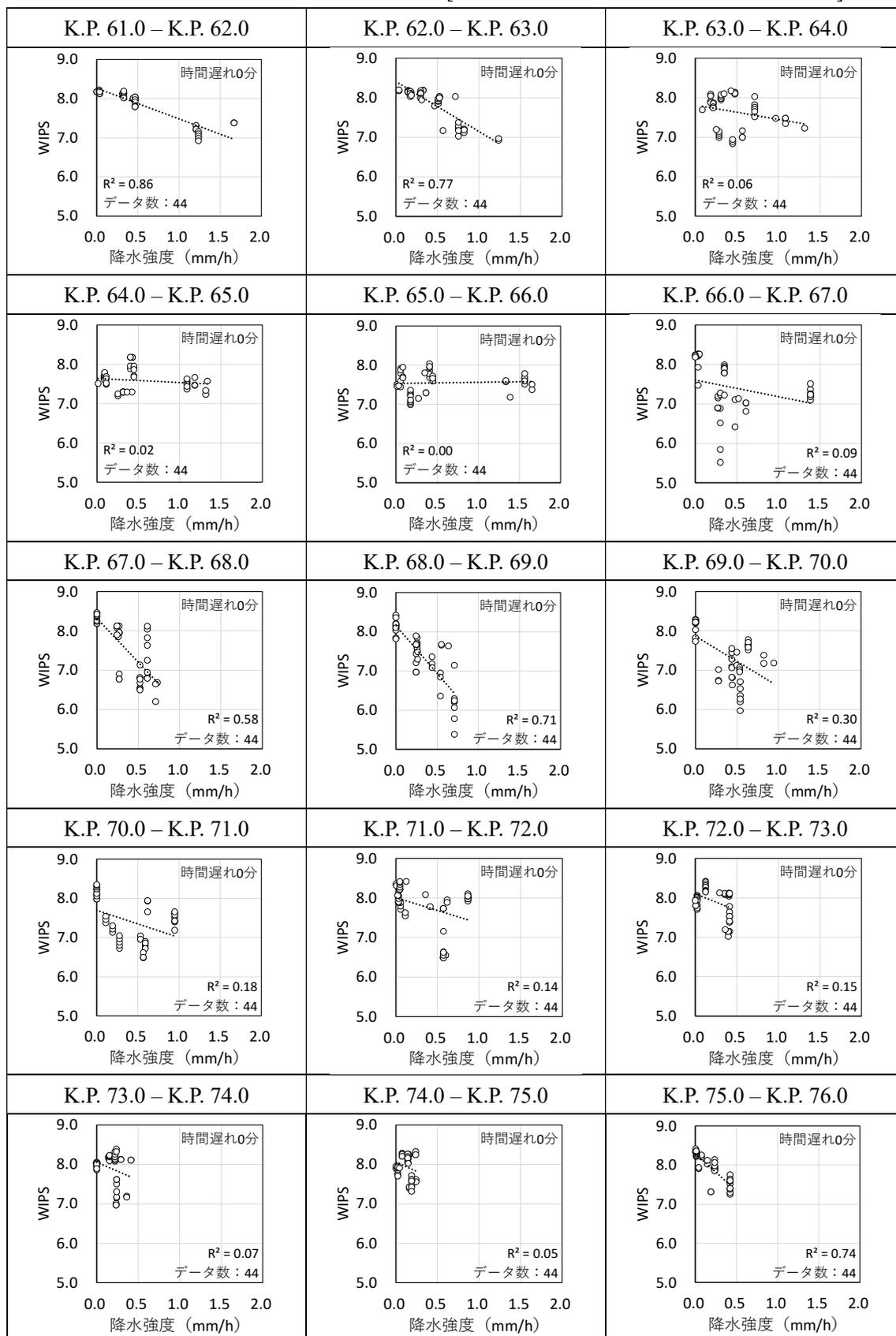


表 5.9 XRAIN の降水強度と WIPS の散布図[気象条件 2 (地吹雪時)・時間遅れ 5 分]

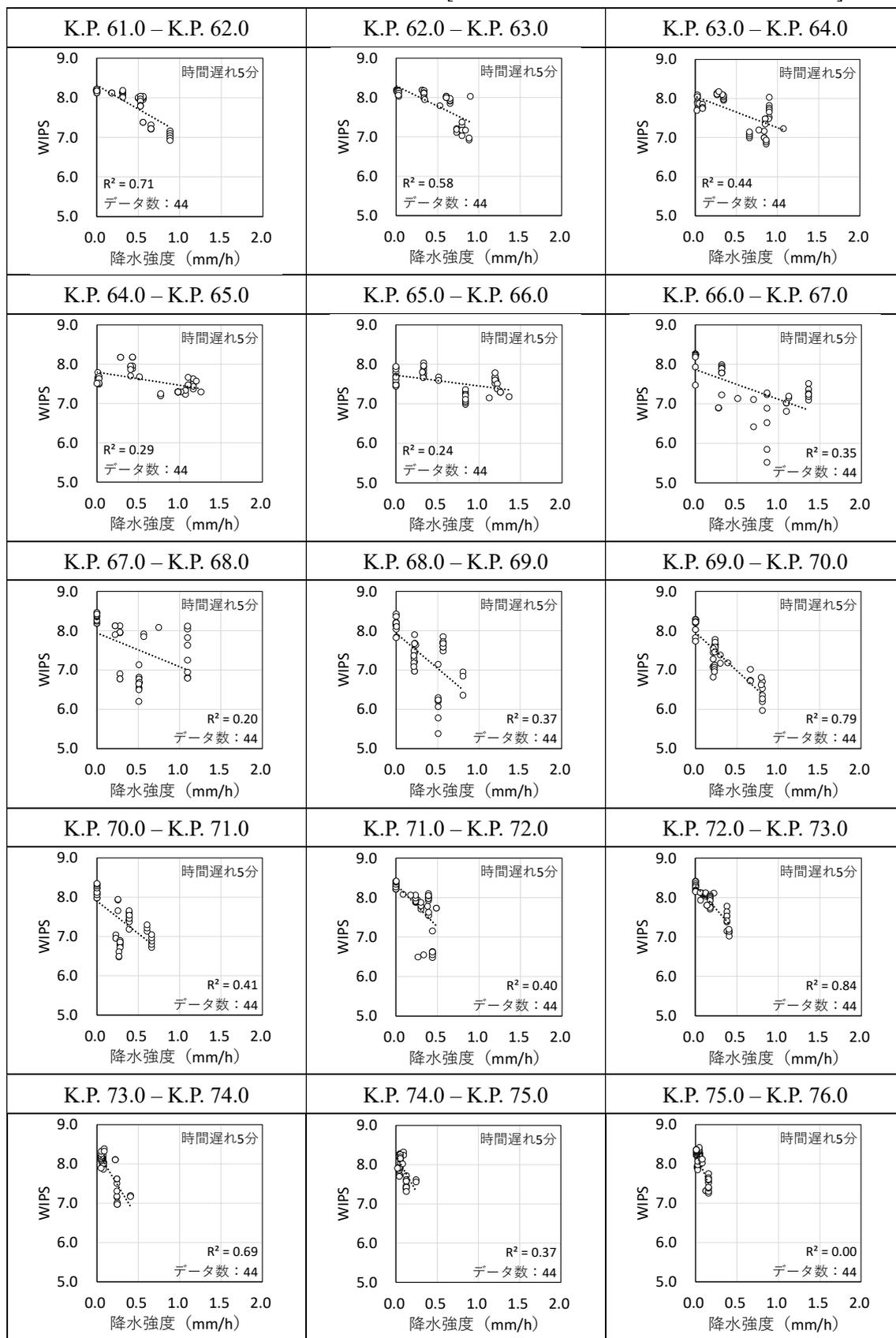


表 5.10 XRAIN の降水強度と WIPS の散布図[気象条件 2 (地吹雪時)・時間遅れ 10 分]

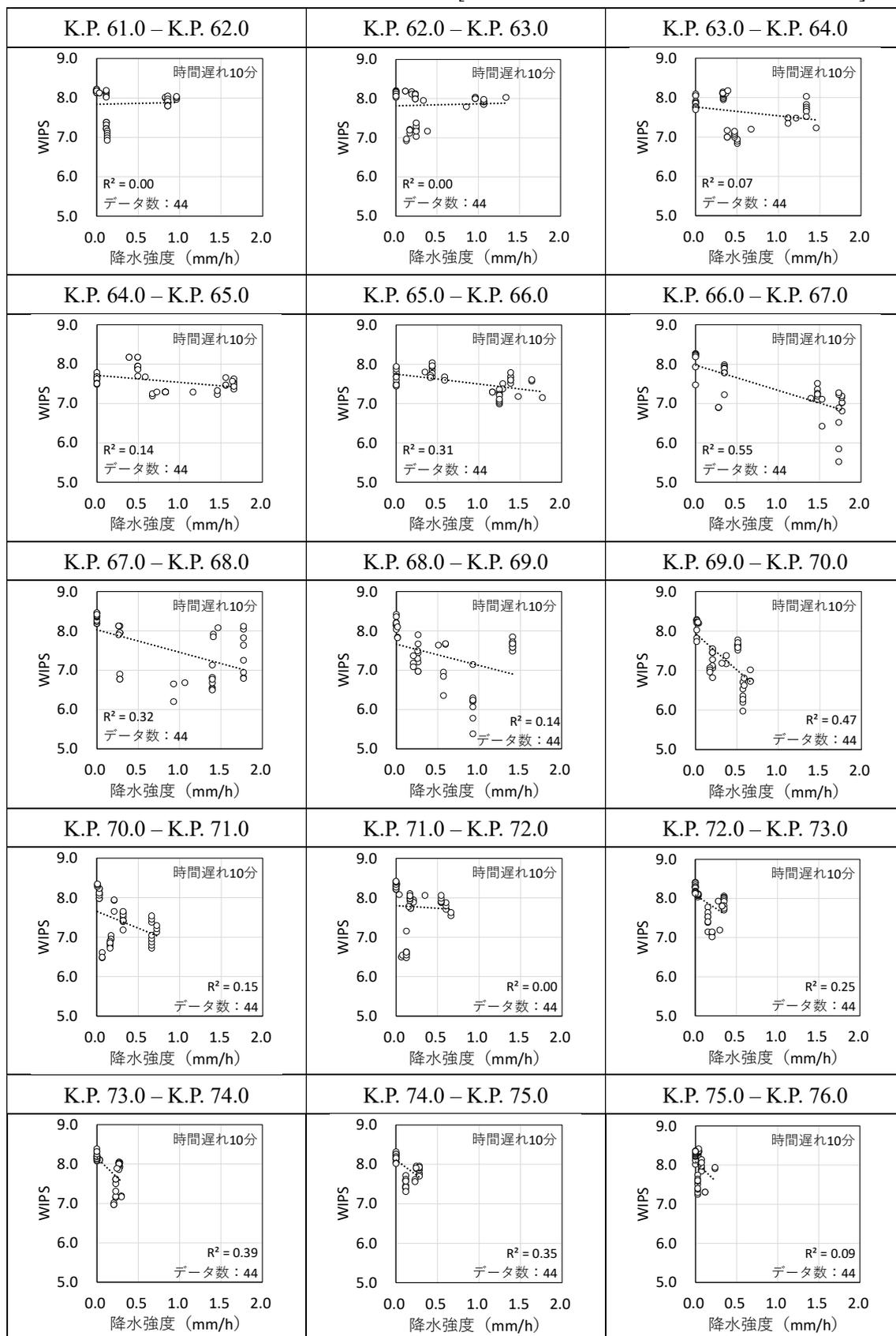


表 5.11 12 時間雨量と WIPS の散布図[気象条件 2 (地吹雪時)]

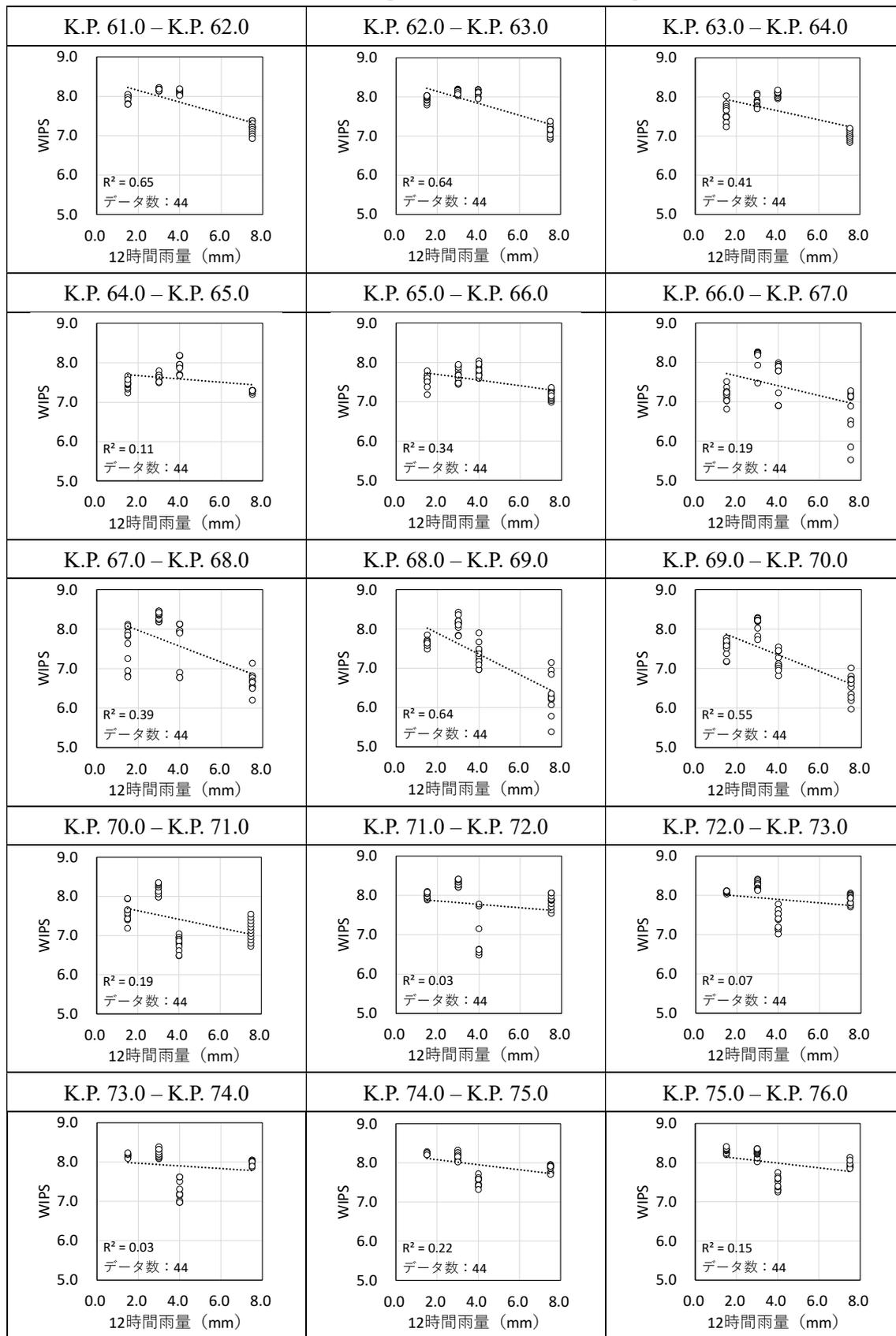
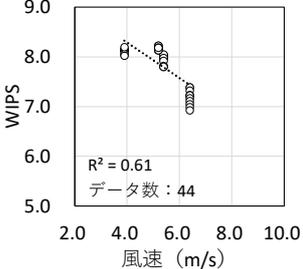
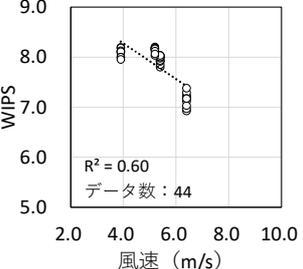
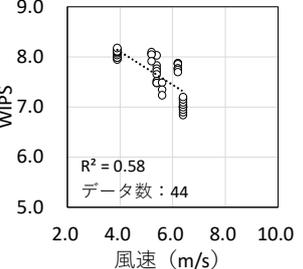
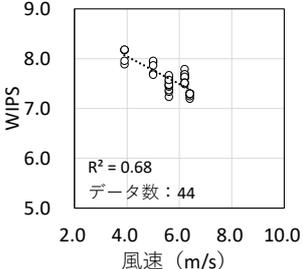
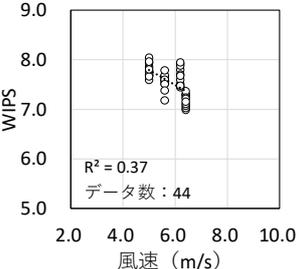
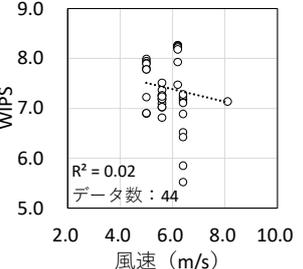
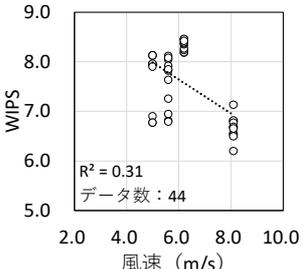
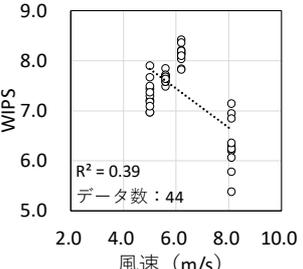
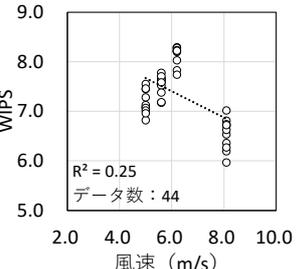
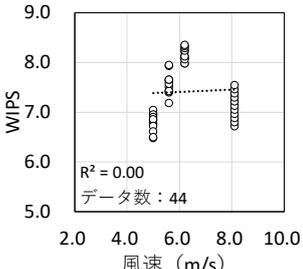
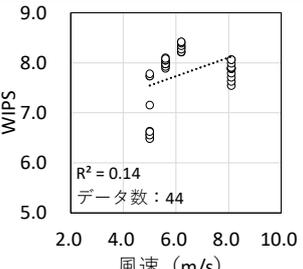
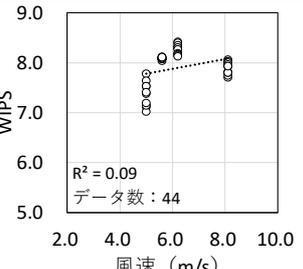
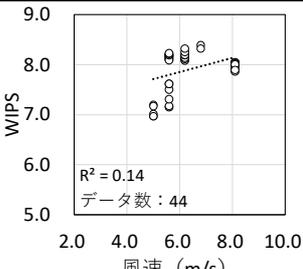
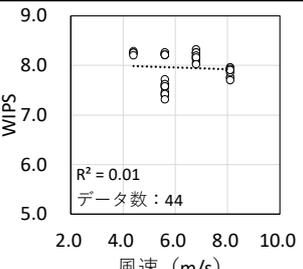
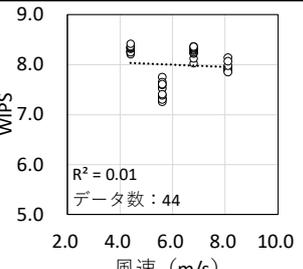


表 5.12 風速と WIPS の散布図[気象条件 2 (地吹雪時) ]

|  |  |  |
|--|--|--|
| <p>K.P. 61.0 – K.P. 62.0</p>  <p>WIPS</p> <p><math>R^2 = 0.61</math><br/>データ数: 44</p> <p>風速 (m/s)</p>   | <p>K.P. 62.0 – K.P. 63.0</p>  <p>WIPS</p> <p><math>R^2 = 0.60</math><br/>データ数: 44</p> <p>風速 (m/s)</p>   | <p>K.P. 63.0 – K.P. 64.0</p>  <p>WIPS</p> <p><math>R^2 = 0.58</math><br/>データ数: 44</p> <p>風速 (m/s)</p>   |
| <p>K.P. 64.0 – K.P. 65.0</p>  <p>WIPS</p> <p><math>R^2 = 0.68</math><br/>データ数: 44</p> <p>風速 (m/s)</p>   | <p>K.P. 65.0 – K.P. 66.0</p>  <p>WIPS</p> <p><math>R^2 = 0.37</math><br/>データ数: 44</p> <p>風速 (m/s)</p>   | <p>K.P. 66.0 – K.P. 67.0</p>  <p>WIPS</p> <p><math>R^2 = 0.02</math><br/>データ数: 44</p> <p>風速 (m/s)</p>   |
| <p>K.P. 67.0 – K.P. 68.0</p>  <p>WIPS</p> <p><math>R^2 = 0.31</math><br/>データ数: 44</p> <p>風速 (m/s)</p> | <p>K.P. 68.0 – K.P. 69.0</p>  <p>WIPS</p> <p><math>R^2 = 0.39</math><br/>データ数: 44</p> <p>風速 (m/s)</p> | <p>K.P. 69.0 – K.P. 70.0</p>  <p>WIPS</p> <p><math>R^2 = 0.25</math><br/>データ数: 44</p> <p>風速 (m/s)</p> |
| <p>K.P. 70.0 – K.P. 71.0</p>  <p>WIPS</p> <p><math>R^2 = 0.00</math><br/>データ数: 44</p> <p>風速 (m/s)</p> | <p>K.P. 71.0 – K.P. 72.0</p>  <p>WIPS</p> <p><math>R^2 = 0.14</math><br/>データ数: 44</p> <p>風速 (m/s)</p> | <p>K.P. 72.0 – K.P. 73.0</p>  <p>WIPS</p> <p><math>R^2 = 0.09</math><br/>データ数: 44</p> <p>風速 (m/s)</p> |
| <p>K.P. 73.0 – K.P. 74.0</p>  <p>WIPS</p> <p><math>R^2 = 0.14</math><br/>データ数: 44</p> <p>風速 (m/s)</p> | <p>K.P. 74.0 – K.P. 75.0</p>  <p>WIPS</p> <p><math>R^2 = 0.01</math><br/>データ数: 44</p> <p>風速 (m/s)</p> | <p>K.P. 75.0 – K.P. 76.0</p>  <p>WIPS</p> <p><math>R^2 = 0.01</math><br/>データ数: 44</p> <p>風速 (m/s)</p> |

### 5.5.2 WIPS を推計する全区間モデルの構築[気象条件 2 (地吹雪時)]

まず、説明変数として XRAIN の降水強度 (時間遅れ 0 分) と 12 時間雨量, 風速を用い, WIPS を推計する全区間モデルの構築を試みた. WIPS の分布は正規分布であると仮定し, 線形回帰モデルにより WIPS を推計した. 構築したモデルを式(2)に示す. 線形回帰モデルのパラメータは, 統計解析アプリケーションである R4.0.4 を用いて推定した. 式(2)の線形回帰モデルの結果を表 5.13 に示す. 説明変数の係数は, 風速を除き 5%水準で有意となった. 回帰係数の推定値の符号から, 降水強度および 12 時間雨量が増加すると WIPS は低くなる. 一方, 風速の回帰係数の推定値の符号は正で, 風速が上昇すると WIPS が高くなる.

そこで, 説明変数から風速を除外し, XRAIN の降水強度と 12 時間雨量で再度全区間モデルの構築を試みた. 構築したモデルを式(3)に示す. 線形回帰モデルのパラメータは, 統計解析アプリケーションである R4.0.4 を用いて推定した. 式(3)の線形回帰モデルの結果を表 5.14 に示す. すべての説明変数の係数は, 5%水準で有意である. 回帰係数の推定値の符号から, 降水強度および 12 時間雨量が増加すると WIPS は低くなる. このことから, 回帰係数の符号が WIPS に与える影響は合理的であると考えられる.

表 5.13 全区間モデルの推定結果 1[気象条件 2 (地吹雪時) ]

| パラメータ       | 説明変数             | 推定値   | 標準誤差    | t値     | p値       |
|-------------|------------------|-------|---------|--------|----------|
| $\beta_0$   | (切片)             | 8.38  | 0.10    | 85.88  | 0.00 *** |
| $\beta_1$   | 降水強度<br>(時間遅れ0分) | -0.75 | 0.05    | -16.36 | 0.00 *** |
| $\beta_2$   | 12時間雨量           | -0.13 | 0.01    | -14.15 | 0.00 *** |
| $\beta_3$   | 風速               | 0.02  | 0.02    | 0.95   | 0.34     |
| 決定係数        |                  | 0.46  | F検定の統計量 |        | 172.2    |
| 自由度調整済み決定係数 |                  | 0.46  | データ数    |        | 604      |

$$f(WIPS) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 \quad (2)$$

WIPS: 車載カメラの静止画から求めた WIPS

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ : パラメータ

$x_1, x_2, x_3$ : 説明変数

表 5.14 全区間モデルの推定結果 2[気象条件 2 (地吹雪時) ]

| パラメータ       | 説明変数             | 推定値   | 標準誤差    | t値     | p値       |
|-------------|------------------|-------|---------|--------|----------|
| $\beta_0$   | (切片)             | 8.46  | 0.04    | 216.72 | 0.00 *** |
| $\beta_1$   | 降水強度<br>(時間遅れ0分) | -0.76 | 0.05    | -16.55 | 0.00 *** |
| $\beta_2$   | 12時間雨量           | -0.13 | 0.01    | -17.35 | 0.00 *** |
| 決定係数        |                  | 0.46  | F検定の統計量 |        | 257.9    |
| 自由度調整済み決定係数 |                  | 0.46  | データ数    |        | 604      |

$$f(WIPS) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 \quad (3)$$

WIPS: 車載カメラの静止画から求めた WIPS

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$ : パラメータ

$x_1, x_2$ : 説明変数

### 5.5.3 WIPS の推計結果[全区間モデル]

式(3)を用いて WIPS を推計した。図 5.7 は、WIPS の実測値と推計値の散布図である。実測値が 7.0 から 8.0 のとき、推計値は 7.0 未満、実測値が 6.0 から 7.0 のとき、推計値は 6.8 から 7.8、実測値が 6.0 未満のとき、推計値は 6.8 以上に分布した。理由として、地吹雪時には地上の視界情報と上空の降水強度の相関が異なるためである。地吹雪時の視界を評価するには、気象の影響や地点の特徴、地上の雪面の状況などを考慮することが必要である。

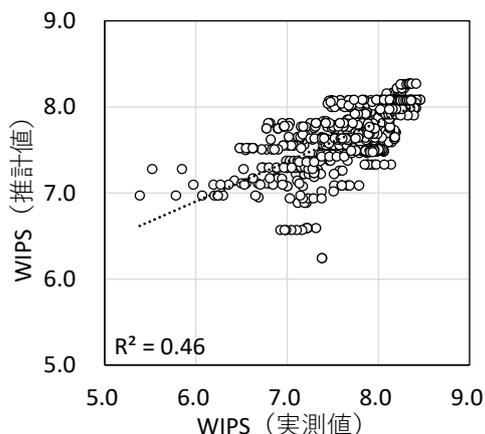


図 5.7 WIPS の実測値と推計値の散布図

### 5.5.4 車載カメラの WIPS と CCTV カメラの WIPS の関係

永田らは、RVIS で求めた車載カメラの WIPS と、道路路線に設置されている CCTV カメラの WIPS には強い相関があることを示した<sup>7)</sup>。降雪時と比べ、地吹雪時の視界は突発的・瞬間的に変化する可能性があることから、15km 区間に設置されている 4 箇所の CCTV カメラから WIPS を求め、地上の視界情報に関する説明変数として検討した。

表 5.15 から表 5.18 は、4 箇所の CCTV カメラの WIPS と、1km 区間ごとの車載カメラの WIPS の散布図である。CCTV カメラが設置されている地点の前後数 km 区間において、各区間に最も近い CCTV カメラの WIPS と、車載カメラの WIPS には相関があった。

表 5.15 車載カメラの WIPS と CCTV カメラの WIPS の散布図 [K.P. 63.5]

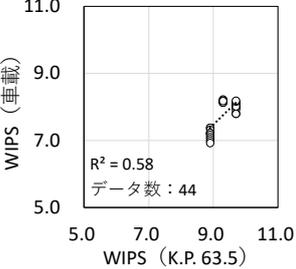
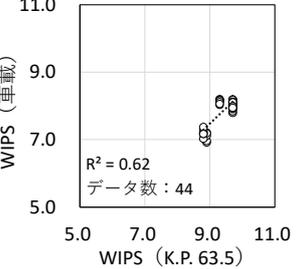
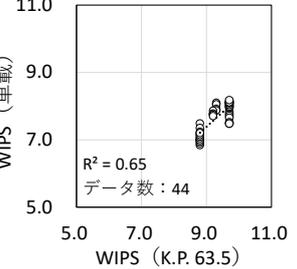
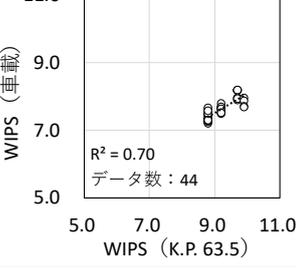
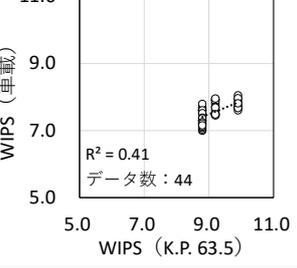
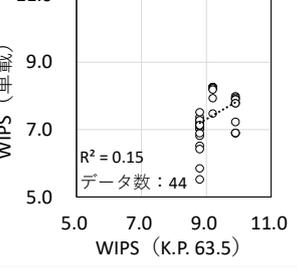
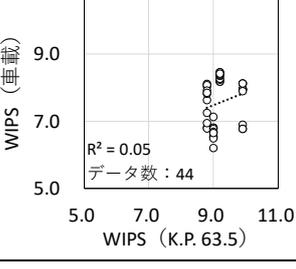
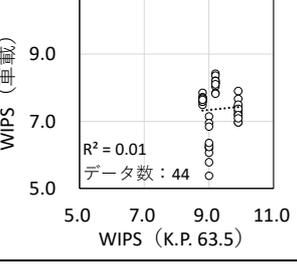
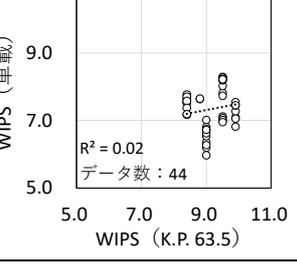
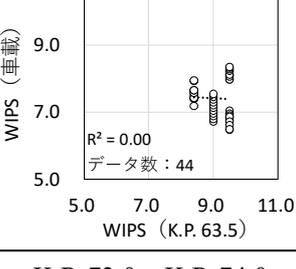
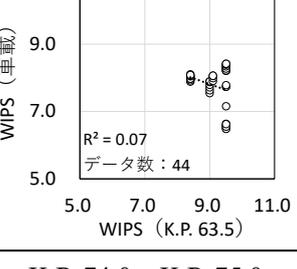
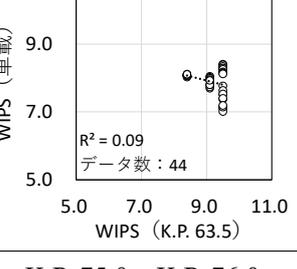
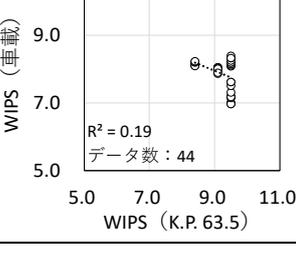
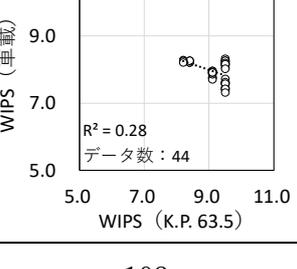
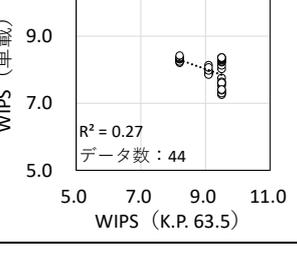
|   |   |   |
|---|---|---|
| <p>K.P. 61.0 – K.P. 62.0</p>  <p>WIPS (車載)</p> <p>WIPS (K.P. 63.5)</p> <p><math>R^2 = 0.58</math><br/>データ数: 44</p>   | <p>K.P. 62.0 – K.P. 63.0</p>  <p>WIPS (車載)</p> <p>WIPS (K.P. 63.5)</p> <p><math>R^2 = 0.62</math><br/>データ数: 44</p>   | <p>K.P. 63.0 – K.P. 64.0</p>  <p>WIPS (車載)</p> <p>WIPS (K.P. 63.5)</p> <p><math>R^2 = 0.65</math><br/>データ数: 44</p>   |
| <p>K.P. 64.0 – K.P. 65.0</p>  <p>WIPS (車載)</p> <p>WIPS (K.P. 63.5)</p> <p><math>R^2 = 0.70</math><br/>データ数: 44</p>   | <p>K.P. 65.0 – K.P. 66.0</p>  <p>WIPS (車載)</p> <p>WIPS (K.P. 63.5)</p> <p><math>R^2 = 0.41</math><br/>データ数: 44</p>   | <p>K.P. 66.0 – K.P. 67.0</p>  <p>WIPS (車載)</p> <p>WIPS (K.P. 63.5)</p> <p><math>R^2 = 0.15</math><br/>データ数: 44</p>   |
| <p>K.P. 67.0 – K.P. 68.0</p>  <p>WIPS (車載)</p> <p>WIPS (K.P. 63.5)</p> <p><math>R^2 = 0.05</math><br/>データ数: 44</p> | <p>K.P. 68.0 – K.P. 69.0</p>  <p>WIPS (車載)</p> <p>WIPS (K.P. 63.5)</p> <p><math>R^2 = 0.01</math><br/>データ数: 44</p> | <p>K.P. 69.0 – K.P. 70.0</p>  <p>WIPS (車載)</p> <p>WIPS (K.P. 63.5)</p> <p><math>R^2 = 0.02</math><br/>データ数: 44</p> |
| <p>K.P. 70.0 – K.P. 71.0</p>  <p>WIPS (車載)</p> <p>WIPS (K.P. 63.5)</p> <p><math>R^2 = 0.00</math><br/>データ数: 44</p> | <p>K.P. 71.0 – K.P. 72.0</p>  <p>WIPS (車載)</p> <p>WIPS (K.P. 63.5)</p> <p><math>R^2 = 0.07</math><br/>データ数: 44</p> | <p>K.P. 72.0 – K.P. 73.0</p>  <p>WIPS (車載)</p> <p>WIPS (K.P. 63.5)</p> <p><math>R^2 = 0.09</math><br/>データ数: 44</p> |
| <p>K.P. 73.0 – K.P. 74.0</p>  <p>WIPS (車載)</p> <p>WIPS (K.P. 63.5)</p> <p><math>R^2 = 0.19</math><br/>データ数: 44</p> | <p>K.P. 74.0 – K.P. 75.0</p>  <p>WIPS (車載)</p> <p>WIPS (K.P. 63.5)</p> <p><math>R^2 = 0.28</math><br/>データ数: 44</p> | <p>K.P. 75.0 – K.P. 76.0</p>  <p>WIPS (車載)</p> <p>WIPS (K.P. 63.5)</p> <p><math>R^2 = 0.27</math><br/>データ数: 44</p> |

表 5.16 車載カメラの WIPS と CCTV カメラの WIPS の散布図 [K.P. 67.8]

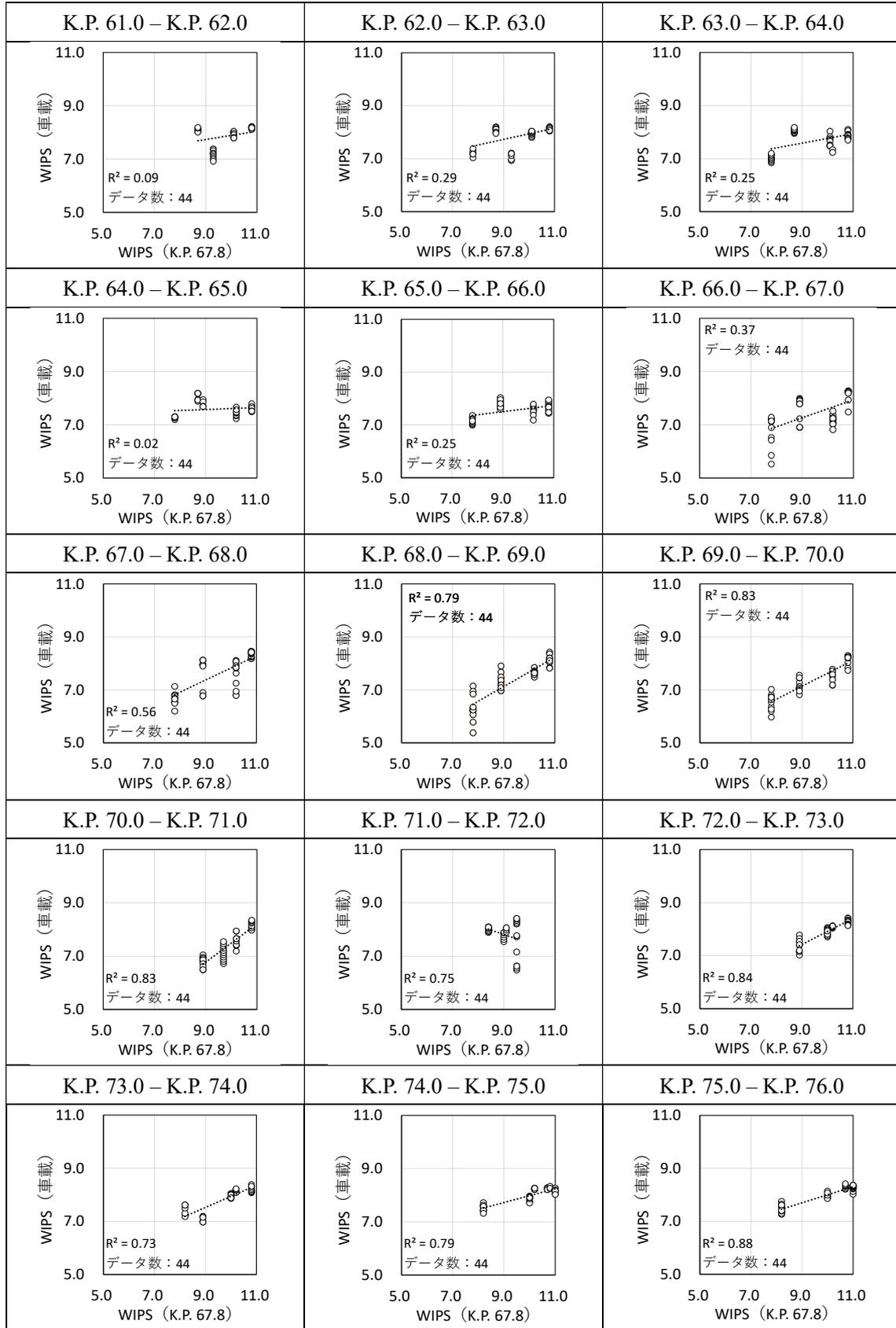


表 5.17 車載カメラの WIPS と CCTV カメラの WIPS の散布図 [K.P. 72.0]

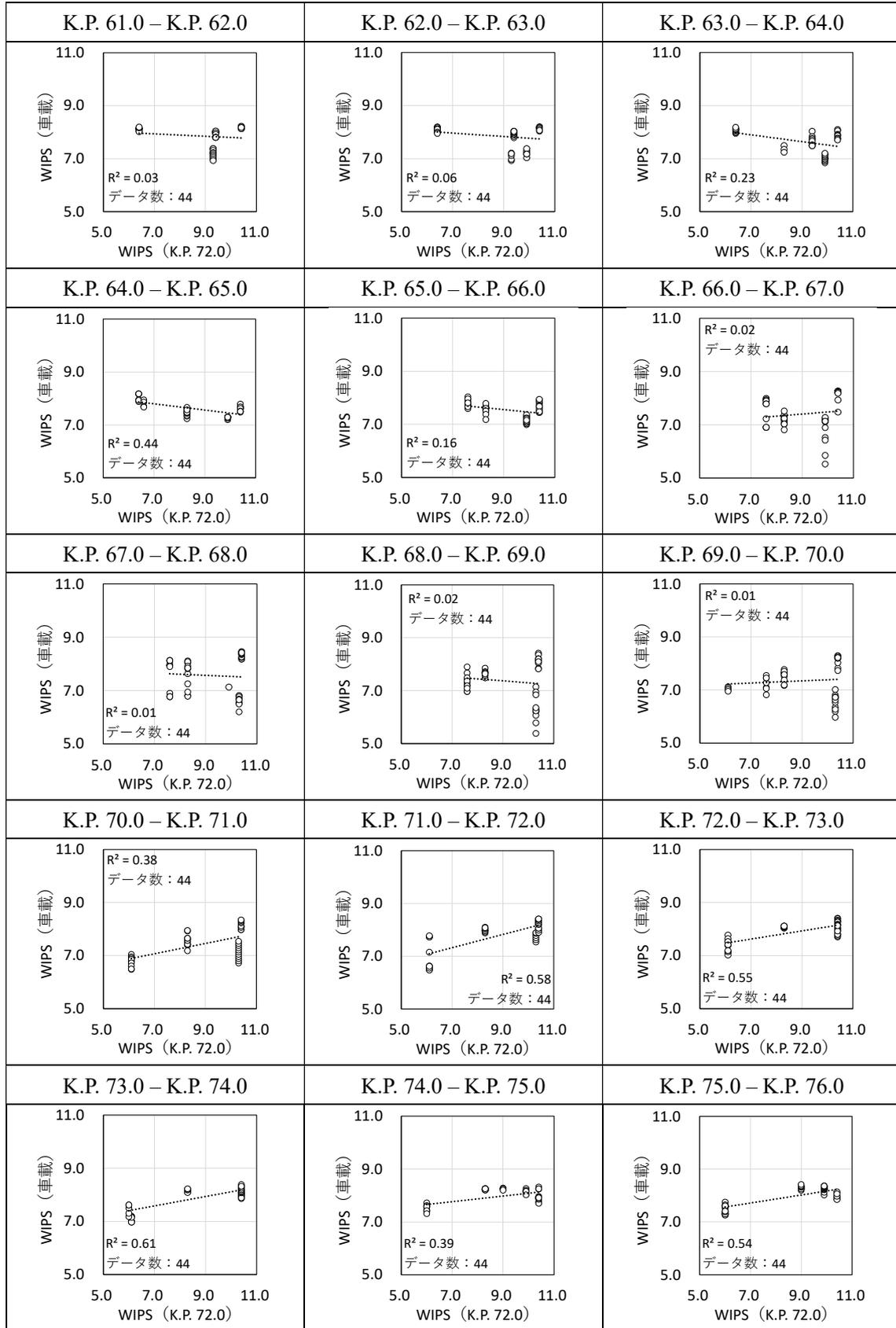
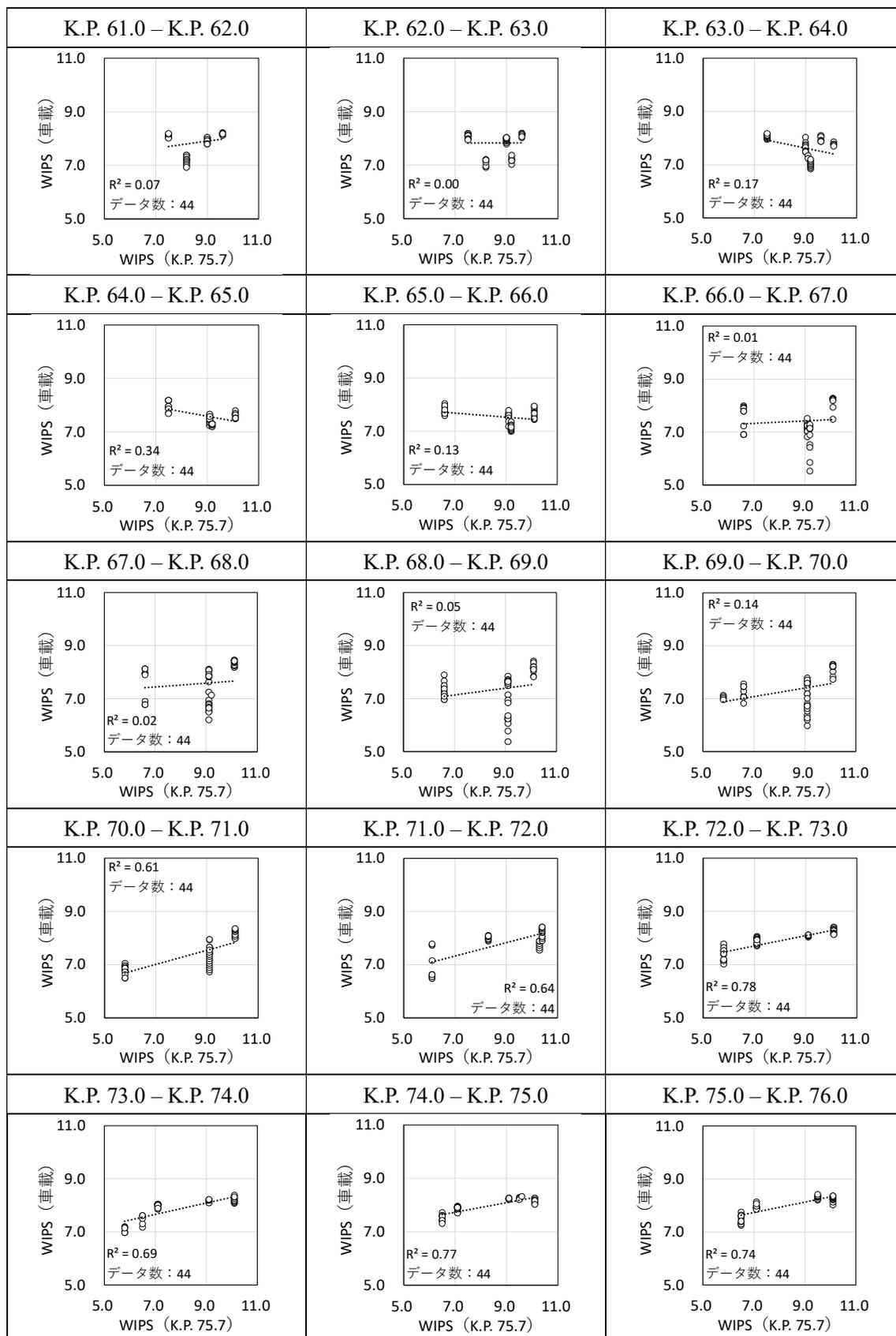


表 5.18 車載カメラの WIPS と CCTV カメラの WIPS の散布図[K.P. 75.7]



### 5.5.5 WIPS を推計する 1km 区間モデルの構築[気象条件 2 (地吹雪時) ]

次に、地点の影響を考慮するために、1km 区間ごとに近傍の CCTV カメラの WIPS を説明変数に追加してモデルの構築を試みた。WIPS の分布は正規分布であると仮定し、線形回帰モデルにより WIPS を推計した。説明変数として、すべての区間で XRAIN の降水強度と、4 箇所のうち 1 箇所の CCTV カメラの WIPS、回帰係数が有意となった区間のみ 12 時間雨量もしくは風速を用いた。構築したモデルは式(4)で、線形回帰モデルのパラメータは、統計解析アプリケーションである R4.0.4 を用いて推定した。式(4)の線形回帰モデルの結果を表 5.19 に示す。説明変数の係数は、K.P. 64.0 – K.P. 65.0 の CCTV カメラ (K.P. 63.5) の WIPS と、K.P. 71.0 – K.P. 72.0 の降水強度 (時間遅れ 5 分) のみ 5%水準で有意とならなかった。これらを除くすべての説明変数の係数は、5%水準で有意である。回帰係数の推定値の符号から、降水強度、12 時間雨量、風速が増加すると目的変数の WIPS は低くなる。CCTV カメラの WIPS が高くなると、目的変数の WIPS は高くなる。このことから、回帰係数の符号が WIPS に与える影響は合理的であると考えられる。

表 5.19 1km 区間モデルの推定結果[気象条件 2 (地吹雪時) ]

(a) K.P. 61.0 – K.P. 62.0

| パラメータ       | 説明変数                   | 推定値   | 標準誤差    | t値     | p値    |     |
|-------------|------------------------|-------|---------|--------|-------|-----|
| $\beta_0$   | (切片)                   | 5.10  | 0.79    | 6.47   | 0.00  | *** |
| $\beta_1$   | 降水強度<br>(時間遅れ0分)       | -0.63 | 0.06    | -11.26 | 0.00  | *** |
| $\beta_2$   | CCTVカメラ<br>(K.P. 63.5) | 0.33  | 0.08    | 4.01   | 0.00  | *** |
| 決定係数        |                        | 0.90  | F検定の統計量 |        | 176.8 |     |
| 自由度調整済み決定係数 |                        | 0.89  | データ数    |        | 44    |     |

(b) K.P. 62.0 – K.P. 63.0

| パラメータ       | 説明変数                   | 推定値   | 標準誤差    | t値     | p値    |     |
|-------------|------------------------|-------|---------|--------|-------|-----|
| $\beta_0$   | (切片)                   | 3.13  | 0.52    | 6.02   | 0.00  | *** |
| $\beta_1$   | 降水強度<br>(時間遅れ0分)       | -0.93 | 0.07    | -13.87 | 0.00  | *** |
| $\beta_2$   | CCTVカメラ<br>(K.P. 63.5) | 0.55  | 0.05    | 10.17  | 0.00  | *** |
| 決定係数        |                        | 0.93  | F検定の統計量 |        | 289.4 |     |
| 自由度調整済み決定係数 |                        | 0.93  | データ数    |        | 44    |     |

## (c) K.P. 63.0 – K.P. 64.0

| パラメータ       | 説明変数                   | 推定値   | 標準誤差    | t値    | p値    |     |
|-------------|------------------------|-------|---------|-------|-------|-----|
| $\beta_0$   | (切片)                   | 2.54  | 0.67    | 3.79  | 0.00  | *** |
| $\beta_1$   | 降水強度<br>(時間遅れ5分)       | -0.60 | 0.06    | -9.90 | 0.00  | *** |
| $\beta_2$   | CCTVカメラ<br>(K.P. 63.5) | 0.60  | 0.07    | 8.79  | 0.00  | *** |
| $\beta_3$   | 12時間雨量                 | -0.04 | 0.01    | -3.39 | 0.00  | **  |
| 決定係数        |                        | 0.91  | F検定の統計量 |       | 128.0 |     |
| 自由度調整済み決定係数 |                        | 0.90  | データ数    |       | 44    |     |

## (d) K.P. 64.0 – K.P. 65.0

| パラメータ       | 説明変数                   | 推定値   | 標準誤差    | t値    | p値   |     |
|-------------|------------------------|-------|---------|-------|------|-----|
| $\beta_0$   | (切片)                   | 8.66  | 1.10    | 7.88  | 0.00 | *** |
| $\beta_1$   | 降水強度<br>(時間遅れ0分)       | -0.30 | 0.07    | -4.16 | 0.00 | *** |
| $\beta_2$   | CCTVカメラ<br>(K.P. 63.5) | 0.07  | 0.09    | 0.78  | 0.44 |     |
| $\beta_3$   | 12時間雨量                 | -0.04 | 0.01    | -4.59 | 0.00 | *** |
| $\beta_4$   | 風速                     | -0.25 | 0.04    | -6.14 | 0.00 | *** |
| 決定係数        |                        | 0.88  | F検定の統計量 |       | 70.8 |     |
| 自由度調整済み決定係数 |                        | 0.87  | データ数    |       | 44   |     |

## (e) K.P. 65.0 – K.P. 66.0

| パラメータ       | 説明変数                   | 推定値   | 標準誤差    | t値    | p値   |     |
|-------------|------------------------|-------|---------|-------|------|-----|
| $\beta_0$   | (切片)                   | 8.58  | 0.34    | 25.20 | 0.00 | *** |
| $\beta_1$   | 降水強度<br>(時間遅れ5分)       | -0.20 | 0.05    | -3.79 | 0.00 | *** |
| $\beta_2$   | CCTVカメラ<br>(K.P. 67.8) | 0.08  | 0.02    | 3.74  | 0.00 | *** |
| $\beta_3$   | 風速                     | -0.29 | 0.04    | -6.67 | 0.00 | **  |
| 決定係数        |                        | 0.70  | F検定の統計量 |       | 30.9 |     |
| 自由度調整済み決定係数 |                        | 0.68  | データ数    |       | 44   |     |

## (f) K.P. 66.0 – K.P. 67.0

| パラメータ       | 説明変数                   | 推定値   | 標準誤差    | t値    | p値       |
|-------------|------------------------|-------|---------|-------|----------|
| $\beta_0$   | (切片)                   | 6.17  | 0.62    | 10.01 | 0.00 *** |
| $\beta_1$   | 降水強度<br>(時間遅れ10分)      | -0.50 | 0.09    | -5.34 | 0.00 *** |
| $\beta_2$   | CCTVカメラ<br>(K.P. 67.8) | 0.18  | 0.06    | 2.98  | 0.00 **  |
| 決定係数        |                        | 0.63  | F検定の統計量 |       | 34.8     |
| 自由度調整済み決定係数 |                        | 0.61  | データ数    |       | 44       |

## (g) K.P. 67.0 – K.P. 68.0

| パラメータ       | 説明変数                   | 推定値   | 標準誤差    | t値    | p値       |
|-------------|------------------------|-------|---------|-------|----------|
| $\beta_0$   | (切片)                   | 5.44  | 0.66    | 8.19  | 0.00 *** |
| $\beta_1$   | 降水強度<br>(時間遅れ0分)       | -1.44 | 0.30    | -4.79 | 0.00 *** |
| $\beta_2$   | CCTVカメラ<br>(K.P. 67.8) | 0.28  | 0.06    | 4.38  | 0.00 *** |
| 決定係数        |                        | 0.72  | F検定の統計量 |       | 51.8     |
| 自由度調整済み決定係数 |                        | 0.70  | データ数    |       | 44       |

## (h) K.P. 68.0 – K.P. 69.0

| パラメータ       | 説明変数                   | 推定値   | 標準誤差    | t値    | p値       |
|-------------|------------------------|-------|---------|-------|----------|
| $\beta_0$   | (切片)                   | 4.17  | 0.77    | 5.39  | 0.00 *** |
| $\beta_1$   | 降水強度<br>(時間遅れ0分)       | -1.01 | 0.33    | -3.05 | 0.00 **  |
| $\beta_2$   | CCTVカメラ<br>(K.P. 67.8) | 0.37  | 0.07    | 5.18  | 0.00 *** |
| 決定係数        |                        | 0.83  | F検定の統計量 |       | 96.7     |
| 自由度調整済み決定係数 |                        | 0.82  | データ数    |       | 44       |

## (i) K.P. 69.0 – K.P. 70.0

| パラメータ       | 説明変数                   | 推定値   | 標準誤差    | t値    | p値       |
|-------------|------------------------|-------|---------|-------|----------|
| $\beta_0$   | (切片)                   | 3.44  | 0.31    | 11.04 | 0.00 *** |
| $\beta_1$   | 降水強度<br>(時間遅れ0分)       | -0.59 | 0.13    | -4.42 | 0.00 *** |
| $\beta_2$   | CCTVカメラ<br>(K.P. 67.8) | 0.44  | 0.03    | 14.43 | 0.00 *** |
| 決定係数        |                        | 0.88  | F検定の統計量 |       | 96.7     |
| 自由度調整済み決定係数 |                        | 0.88  | データ数    |       | 44       |

## (j) K.P. 70.0 – K.P. 71.0

| パラメータ       | 説明変数                   | 推定値   | 標準誤差    | t値    | p値       |
|-------------|------------------------|-------|---------|-------|----------|
| $\beta_0$   | (切片)                   | 3.44  | 0.31    | 11.04 | 0.00 **  |
| $\beta_1$   | 降水強度<br>(時間遅れ5分)       | -0.59 | 0.13    | -4.42 | 0.00 *** |
| $\beta_2$   | CCTVカメラ<br>(K.P. 67.8) | 0.44  | 0.03    | 14.43 | 0.00 *** |
| 決定係数        |                        | 0.90  | F検定の統計量 |       | 185.9    |
| 自由度調整済み決定係数 |                        | 0.90  | データ数    |       | 44       |

## (k) K.P. 71.0 – K.P. 72.0

| パラメータ       | 説明変数                   | 推定値   | 標準誤差    | t値    | p値       |
|-------------|------------------------|-------|---------|-------|----------|
| $\beta_0$   | (切片)                   | 5.95  | 0.44    | 13.66 | 0.00 *** |
| $\beta_1$   | 降水強度<br>(時間遅れ5分)       | -0.60 | 0.42    | -1.44 | 0.16     |
| $\beta_2$   | CCTVカメラ<br>(K.P. 75.7) | 0.24  | 0.04    | 5.61  | 0.00 *** |
| 決定係数        |                        | 0.66  | F検定の統計量 |       | 39.5     |
| 自由度調整済み決定係数 |                        | 0.64  | データ数    |       | 44       |

## (l) K.P. 72.0 – K.P. 73.0

| パラメータ       | 説明変数                   | 推定値   | 標準誤差    | t値    | p値       |
|-------------|------------------------|-------|---------|-------|----------|
| $\beta_0$   | (切片)                   | 6.54  | 0.13    | 51.13 | 0.00 *** |
| $\beta_1$   | 降水強度<br>(時間遅れ5分)       | -0.52 | 0.14    | -3.62 | 0.00 *** |
| $\beta_2$   | CCTVカメラ<br>(K.P. 75.7) | 0.19  | 0.01    | 12.91 | 0.00 *** |
| 決定係数        |                        | 0.83  | F検定の統計量 |       | 101.5    |
| 自由度調整済み決定係数 |                        | 0.82  | データ数    |       | 44       |

## (m) K.P. 73.0 – K.P. 74.0

| パラメータ       | 説明変数                   | 推定値   | 標準誤差    | t値    | p値       |
|-------------|------------------------|-------|---------|-------|----------|
| $\beta_0$   | (切片)                   | 7.13  | 0.22    | 32.91 | 0.00 *** |
| $\beta_1$   | 降水強度<br>(時間遅れ5分)       | -2.11 | 0.37    | -5.76 | 0.00 *** |
| $\beta_2$   | CCTVカメラ<br>(K.P. 75.7) | 0.13  | 0.02    | 5.66  | 0.00 *** |
| 決定係数        |                        | 0.83  | F検定の統計量 |       | 98.6     |
| 自由度調整済み決定係数 |                        | 0.82  | データ数    |       | 44       |

## (n) K.P. 74.0 – K.P. 75.0

| パラメータ       | 説明変数                   | 推定値   | 標準誤差    | t値    | p値       |
|-------------|------------------------|-------|---------|-------|----------|
| $\beta_0$   | (切片)                   | 6.80  | 0.14    | 47.45 | 0.00 *** |
| $\beta_1$   | 降水強度<br>(時間遅れ5分)       | -1.57 | 0.45    | -3.47 | 0.00 **  |
| $\beta_2$   | CCTVカメラ<br>(K.P. 75.7) | 0.15  | 0.02    | 10.28 | 0.00 *** |
| 決定係数        |                        | 0.82  | F検定の統計量 |       | 95.8     |
| 自由度調整済み決定係数 |                        | 0.82  | データ数    |       | 44       |

(o) K.P. 75.0 – K.P. 76.0

| パラメータ       | 説明変数                   | 推定値   | 標準誤差    | t値    | p値    |     |
|-------------|------------------------|-------|---------|-------|-------|-----|
| $\beta_0$   | (切片)                   | 7.05  | 0.16    | 44.57 | 0.00  | *** |
| $\beta_1$   | 降水強度<br>(時間遅れ5分)       | -2.88 | 0.47    | -6.20 | 0.00  | *** |
| $\beta_2$   | CCTVカメラ<br>(K.P. 75.7) | 0.13  | 0.02    | 8.07  | 0.00  | *** |
| 決定係数        |                        | 0.87  | F検定の統計量 |       | 133.7 |     |
| 自由度調整済み決定係数 |                        | 0.86  | データ数    |       | 44    |     |

$$f(WIPS) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 \quad (4)$$

WIPS: 車載カメラの静止画から求めた WIPS

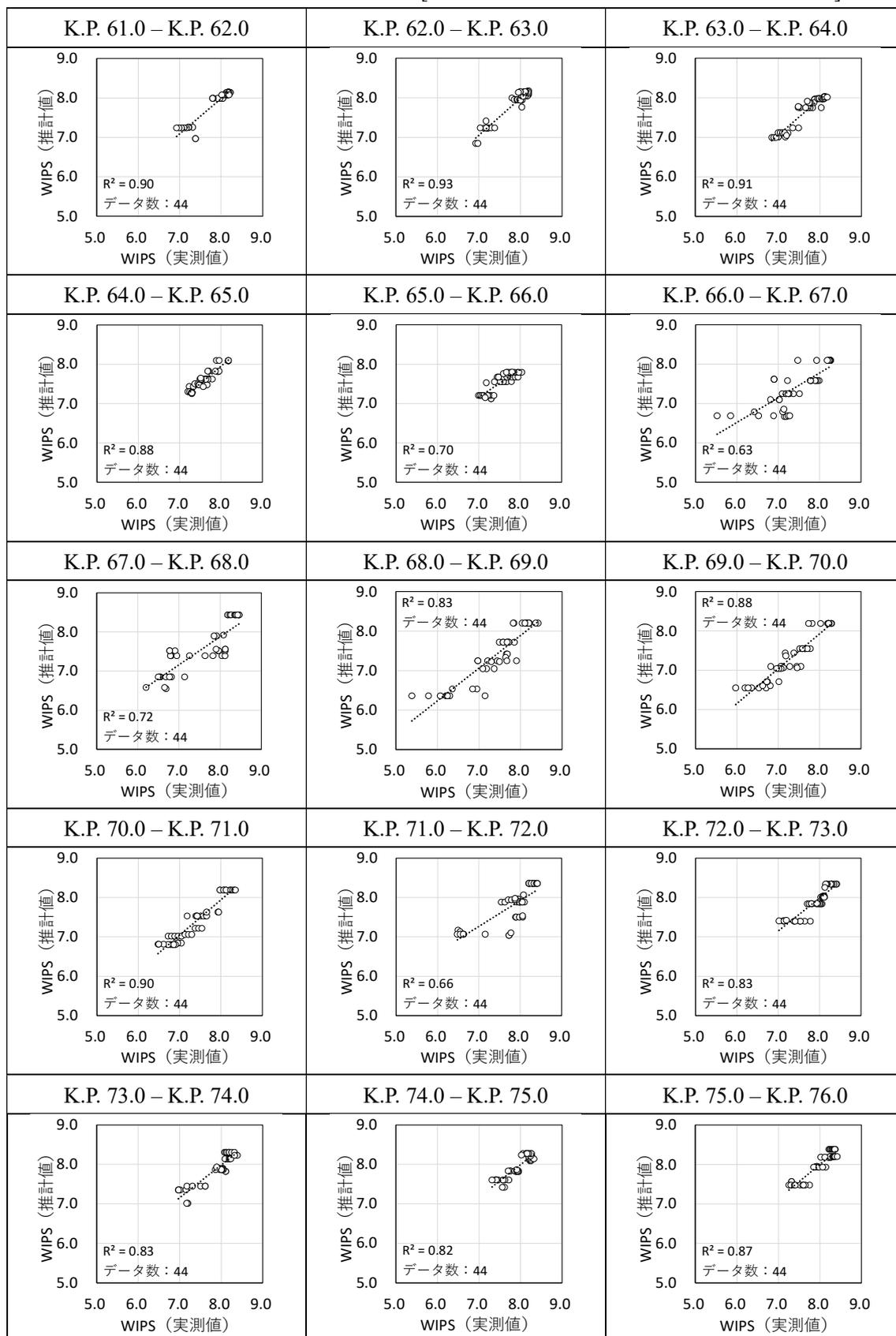
$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ : パラメータ

$x_1, x_2, x_3, x_4$ : 説明変数

#### 5.5.6 WIPS の推計結果[1km 区間モデル]

表 5.19(a)から(o)に示すパラメータと式(4)を用いて WIPS を推計した。表 5.20 は、1km 区間ごとの WIPS の実測値と推計値の散布図である。1km 区間モデルのプロットは正の相関を示しており、全区間モデルのプロットと比べ高い相関となった。

表 5.20 WIPS の推計値と実測値の散布図[気象条件 2 (地吹雪時)・1km 区間モデル]



### 5.5.7 バスの走行事例による推計結果の比較[気象条件2(地吹雪時)]

気象条件2(地吹雪時)に分類した4日間の走行事例を用いて、地吹雪時の視界情報を推計する全区間モデルと1km区間モデルの構築を試みた。図5.8から図5.11の(a)は、バスが対象区間(K.P. 61.0~K.P. 76.0)を走行した日時ごとのWIPSの実測値と推計値の変化をそれぞれ示している。図中の黒色の実線がバスに搭載した車載カメラの静止画から求めたWIPS、赤色の破線が1km区間モデルのパラメータを用いて推計したWIPS、緑色の破線が全区間モデルのパラメータを用いて推計したWIPSである。青色の二重線は、XRAINの降水強度(時間遅れ5分)の変化である。図5.8から図5.11の(b)は、バスの車載カメラで撮影された実際の走行画像と、WIPSの実測値と推計値を示している。

2021年12月19日の走行事例では、WIPSの実測値は6.8から8.4に分布し、K.P. 64.0からK.P. 71.0で6.8から7.5の低い値を示した。全区間モデルで推計したWIPSは7.0から8.3に分布し、K.P. 65.0からK.P. 66.0で実測値より最大0.7低く、K.P. 67.0からK.P. 69.0で実測値より最大1.0高い値となった。理由として、実測値より低くなった区間では、降水強度が0.9から1.6(mm/h)程度観測された。一方、実測値より高くなった区間では、降水強度は0.2から0.6(mm/h)程度だった。降水強度が弱くても、西からの風による影響で視界が変化したと考えられる。全区間モデルは、降水強度と12時間雨量を説明変数として用いているため、降水強度が弱くても風により雪が舞う状況下で地吹雪による視界の変化を推計できなかったと考える。一方、近傍のCCTVカメラのWIPS、有意となった区間で風速を説明変数に追加し、1km区間モデルで推計したWIPSは7.1から8.2に分布し、実測値との差分が0.3以上となったのは15km区間の150箇所のうち10箇所だった。実測値と推計値の二乗平均平方根誤差(RMSE)は、全区間モデルが0.28に対し1km区間モデルが0.16だった。道路を区間ごとに分割し、CCTVカメラのWIPSや風速を追加することで、雪が降っていても風の影響により、地上で視界が変化する状況を考慮できたと考える。

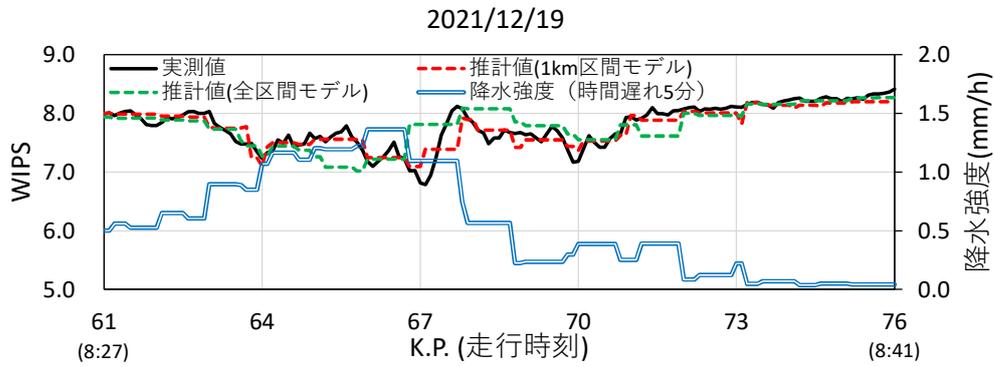
2021年12月30日の走行事例では、WIPSの実測値は6.5から8.2に分布し、K.P. 67.0前後やK.P. 70.0からK.P. 72.0などで7.0未満の低い値を示した。全区間モデルで推計したWIPSは7.5から7.8の間をほぼ一定で推移し、実測値との差分は最大1.0だった。同日は全区間で降水強度が0.2から0.6(mm/h)程度であり、推計値はやや下がった。一方、1km区間モデルで推計したWIPSは6.8から8.2に分布し、実測値との差分は最大0.7だった。実測値と推計値の二乗平均平方根誤差(RMSE)は、全区間モデルが0.48に対し1km区間モデルが0.28だった。全区間モデルの推計値に比べて、1km区間モデルの推計値は実測値に近い値で推移した。1km区間モデルの推計値と実測値との差分は、K.P. 66.0からK.P. 68.0、K.P. 71.0からK.P. 72.0の区間で大きくなった。理由として、これらの区間は地点によって防雪柵が設置されており、地点によっては防雪柵の端部や開口部などがある。防雪柵は対象物としてコントラストを大きくするのに対し、防雪柵の端部や開口部は風が通り抜け、雪が舞いやすいことから、WIPSが上下した。近傍のCCTVカメラのWIPSを追加し、1km区間

ごとに推計を試みても、地点ごとの対象物や環境の影響により複雑に変化する状況の把握は差が生じる結果となった。

2022年1月29日の走行事例では、WIPSの実測値は5.4から8.1に分布した。全区間モデルで推計したWIPSは6.2から7.5に分布した。全区間モデルの推計値と実測値との差分は、K.P. 61.0からK.P. 63.0で最大1.1低く、K.P. 71.0からK.P. 76.0で最大0.8低くなった。低くなった理由として、K.P. 61.0からK.P. 63.0では12時間雨量が7.5 (mm)、降水強度が1.2から1.7 (mm/h)程度観測されたためである。K.P. 71.0からK.P. 76.0では降水強度は0.0から0.2 (mm/h)程度だが、12時間雨量が7.5 (mm)であったため、WIPSが低くなった。K.P. 66.0からK.P. 71.0では、実測値より最大1.8高くなった。この区間では12時間雨量が7.5 (mm)、降水強度は0.1から0.7 (mm/h)程度であり、推計値はやや低くなったが、実測値ほど低くならなかった。一方、1km区間モデルで推計したWIPSは6.4から8.0に分布し、K.P. 66.0からK.P. 69.0を除く区間で実測値との差分は多くが0.2以内となった。K.P. 66.0からK.P. 69.0では、実測値との差分は最大1.2となった。差分が大きくなった理由として、この区間は地点によって防雪柵が設置されており、防雪柵がある地点ではWIPSは高く、防雪柵の端部や開口部、および防雪柵がない地点ではWIPSが低くなりやすいためである。実測値と推計値の二乗平均平方根誤差 (RMSE) は、全区間モデルが0.50に対し1km区間モデルが0.25だった。

2022年1月30日の走行事例では、WIPSの実測値は7.4から8.5に分布した。全区間モデルで推計したWIPSは7.9から8.1に分布した。K.P. 64.0からK.P. 66.0で、実測値との差分は最大0.6高くなった。全区間モデルの推計値が低くならなかった理由として、12時間雨量が3.0 (mm)、降水強度が0.1 (mm/h)未満だったためである。近傍のCCTVカメラのWIPSや風速を説明変数に追加し、1km区間モデルで推計したWIPSは7.6から8.4に分布した。実測値と推計値の二乗平均平方根誤差 (RMSE) は、全区間モデルが0.25に対し1km区間モデルが0.13だった。全区間モデルの推計値と比べ、1km区間モデルの推計値は実測値に近い値で推移した。道路を区間ごとに分割し、CCTVカメラのWIPSや風速を追加することで、雪が降っていなくても風の影響により、地上で視界が変化する状況を考慮できたと考える。

(a) WIPS の実測値と推計値の変化

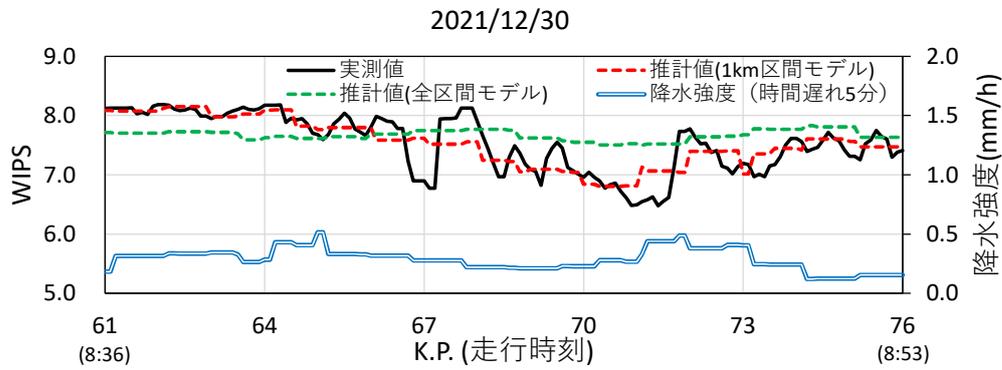


(b) 車載カメラの静止画と WIPS

| K.P. 61.0                               | K.P. 65.5                               | K.P. 69.3                               | K.P. 71.9                               | K.P. 75.3                               |
|---|---|---|---|---|
|   |   |   |   |   |
| 実測値:8.0<br>推計値(1km):8.0<br>推計値(全区間):7.9 | 実測値:7.7<br>推計値(1km):7.6<br>推計値(全区間):7.1 | 実測値:7.5<br>推計値(1km):7.5<br>推計値(全区間):7.8 | 実測値:8.1<br>推計値(1km):7.9<br>推計値(全区間):7.6 | 実測値:8.3<br>推計値(1km):8.2<br>推計値(全区間):8.3 |

図 5.8 WIPS の変化と車載カメラの視界状況[2021年12月19日]

(a) WIPS の実測値と推計値の変化

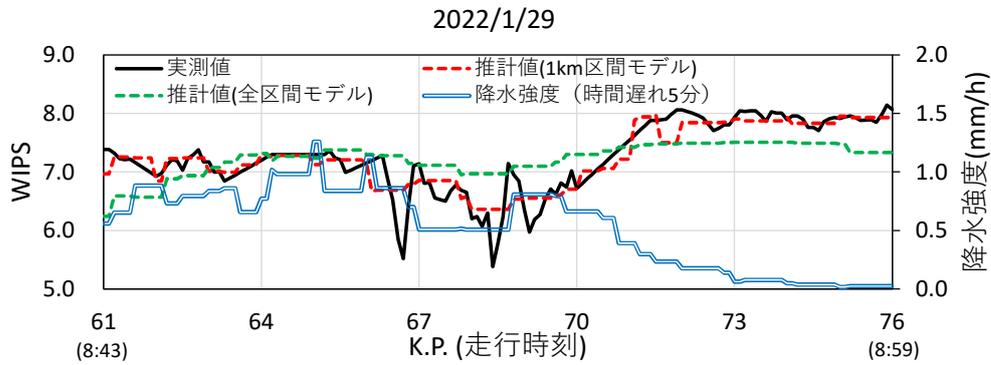


(b) 車載カメラの静止画と WIPS

| K.P. 62.0                               | K.P. 67.1                               | K.P. 70.6                               | K.P. 74.4                               | K.P. 76.0                               |
|---|---|---|---|---|
|   |   |   |   |   |
| 実測値:8.2<br>推計値(1km):8.1<br>推計値(全区間):7.7 | 実測値:6.8<br>推計値(1km):7.5<br>推計値(全区間):7.7 | 実測値:6.9<br>推計値(1km):6.8<br>推計値(全区間):7.5 | 実測値:7.5<br>推計値(1km):7.6<br>推計値(全区間):7.8 | 実測値:7.4<br>推計値(1km):7.5<br>推計値(全区間):7.6 |

図 5.9 WIPS の変化と車載カメラの視界状況[2021 年 12 月 30 日]

(a) WIPS の実測値と推計値の変化

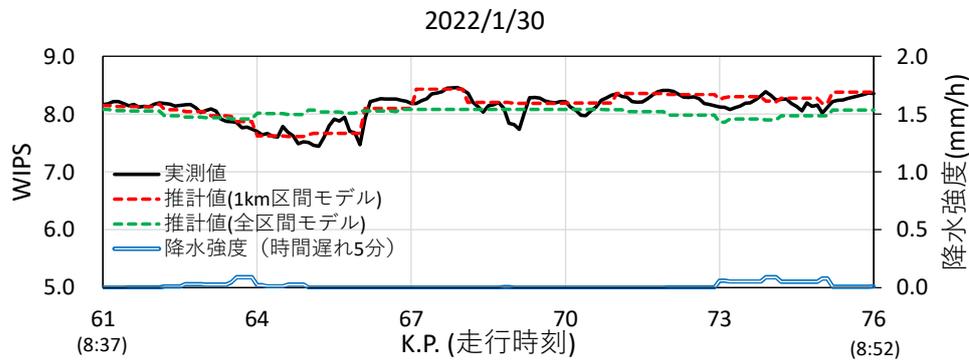


(b) 車載カメラの静止画と WIPS

| K.P. 62.1                               | K.P. 66.7                               | K.P. 68.5                               | K.P. 71.5                               | K.P. 75.3                               |
|---|---|---|---|---|
|   |   |   |   |   |
| 実測値:7.0<br>推計値(1km):6.8<br>推計値(全区間):6.6 | 実測値:5.5<br>推計値(1km):6.7<br>推計値(全区間):7.3 | 実測値:5.8<br>推計値(1km):6.4<br>推計値(全区間):7.0 | 実測値:7.9<br>推計値(1km):8.0<br>推計値(全区間):7.5 | 実測値:7.9<br>推計値(1km):7.9<br>推計値(全区間):7.3 |

図 5.10 WIPS の変化と車載カメラの視界状況[2022 年 1 月 29 日]

(a) WIPS の実測値と推計値の変化



(b) 車載カメラの静止画と WIPS

| K.P. 61.0    | K.P. 65.2    | K.P. 67.7    | K.P. 71.7    | K.P. 76.0    |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|              |              |              |              |              |
| 実測値:8.2      | 実測値:7.4      | 実測値:8.5      | 実測値:8.3      | 実測値:8.4      |
| 推計値(1km):8.2 | 推計値(1km):7.7 | 推計値(1km):8.4 | 推計値(1km):8.4 | 推計値(1km):8.4 |
| 推計値(全区間):8.1 | 推計値(全区間):8.0 | 推計値(全区間):8.1 | 推計値(全区間):8.0 | 推計値(全区間):8.1 |

図 5.11 WIPS の変化と車載カメラの視界状況[2022 年 1 月 30 日]

表 5.21 二乗平均平方根誤差の一覧

| 二乗平均平方根誤差 (RMSE) |            |        |      |
|------------------|------------|--------|------|
| 気象条件と日時          | 1km区間モデル   | 全区間モデル |      |
| 降雪               | 2021/12/28 | 0.08   | 0.18 |
|                  | 2022/2/13  | 0.07   | 0.23 |
|                  | 2022/2/23  | 0.24   | 0.38 |
| 地吹雪              | 2021/12/19 | 0.16   | 0.28 |
|                  | 2021/12/30 | 0.28   | 0.48 |
|                  | 2022/1/29  | 0.25   | 0.50 |
|                  | 2022/1/30  | 0.13   | 0.25 |

## 5.6 本章のまとめ

第5章では、稚内～札幌間を走行するバスに搭載した車載カメラで記録・収集された静止画の WIPS, CCTV カメラの静止画から求めた WIPS, XRAIN の降水強度などを用いて、国道 232 号の 15km 区間において冬期道路上の視界を推計するために、全区間モデルと 1km 区間モデルの提案を試みた。はじめに、第4章で開発したシステム (RVIS) を用いて、バスに搭載した車載カメラの走行映像から視界評価指標 (WIPS) を得た。次に、車載カメラの視界情報に影響を与える要素を調べるために、降雪時と地吹雪時において、それぞれ道路路線に沿った気象情報との比較を行った。比較にあたり、道路の視界は地点や区間の特徴を考慮する必要があることから、道路を 1km 区間ごとに分割した。比較の結果、降雪時には車載カメラの WIPS と XRAIN の降水強度には強い相関があった。さらに、車載カメラの WIPS と 12 時間雨量も関連していることが明らかとなった。地吹雪時には、車載カメラの WIPS と XRAIN の降水強度の相関は、区間によって異なる結果となった。一方、地吹雪時には車載カメラの WIPS と道路沿いの CCTV カメラの WIPS に相関があり、説明変数として適用できる可能性が明らかとなった。そして、バスに搭載した車載カメラの視界評価指標 (WIPS) を目的変数、比較により明らかとなった道路上の視界に影響を及ぼす要素を説明変数として、視界情報を推計する全区間モデルと 1km 区間モデルを構築した。推計の結果、降雪時には道路の視界は XRAIN の降水強度と関連しており、降水強度を用いて視界を推計できる可能性が明らかとなった。地吹雪時には、降水強度のほかに CCTV カメラの視界情報を用いることで、視界を推計できる可能性が明らかとなった。また、WIPS の推計において、道路の地点や区間の特徴を考慮するために、道路を分割した 1km 区間モデルの推計値のほうが、全区間モデルの推計値と比べて、バスが実際に走行したときの実測値に近い結果となった (表 5.21)。今後、より多くの走行事例を収集することで、推計精度の向上を行う必要がある。また、異なる区間においても、同様の結果を得て、道路路線に沿った視界情報の生成を目指したい。

謝辞：第5章では、国土交通省水管理・国土保全局河川計画課河川情報企画室が提供する国土交通省 XRAIN CXMP composite データセットを利用した。またこのデータセットは、文部科学省の補助事業により開発・運用されているデータ統合解析システム (DIAS) の下で、収集・提供されたものである。

## 参考文献

- 1) 大宮哲, 武知洋太, 國分徹哉, 原田裕介, 松澤勝: 複数の気象要素に基づく地吹雪発生条件, 寒地土木研究所月報 No.750, pp. 14-22, 2015.
- 2) Kazuhito Ohashi, Yasuhiro Nagata, Yasuhiro Kaneda, Toru Hagiwara, Sho Takahashi, and Yuki Nakamura: Development of road visibility inspection system using driving video images recorded by on-board video camera, N°393 of Routes/Roads Magazine, 2nd Quarter 2022, pp.28-35, 2022.
- 3) Nagata, Y., Hagiwara T., Nakamura, Y., Kaneda, Y., Matsuoka, N., Takahashi, S., Hoshino, H: Vision for Road Visibility Inspection Using Driving Video Images Recorded by Onboard Video Camera. Transportation Research Board, No. 20-04308, 2020.
- 4) Hagiwara, T., Ota, Y., Kaneda, Y., Nagata, Y. and Araki, K.: A Method of Processing CCTV Digital Images for Poor Visibility. In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No.1973, TRB, National Research Council. Washington D.C., pp. 95-104 (2006).
- 5) 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: Journal of the Transportation research Board, No.1980, TRB, National Research Council, Washington D.C., pp. 105-116 (2006).
- 6) 佐々木秀孝, 出口悟: 冬季北海道西岸に形成される収束帯の数値実験, 天気, 35 巻, p. 723-729, 1988.
- 7) Yasuhiro Nagata, Toru Hagiwara, Sho Takahashi, Kazuhito Ohashi, Yasuhiro Kaneda, and Yuki Nakamura: Feasibility Study of Road Visibility Inspection System Using Driving Video Images Recorded by On-board Video Camera, Transportation Research Board, 2023.

## 第6章 結論

冬期の北海道では、冬型の気圧配置のときに低気圧が近づくことで風や雪が強まり、道路上で吹雪による視界不良が発生する。視界不良の発生は、交通規制や事故などのリスクを増加させ、ドライバの安全かつ円滑な道路の走行に影響を及ぼす。近年、北海道では急激に発達した低気圧により、吹雪の発生頻度がこれまで比較的低かった地域においても、吹雪による道路交通への影響が生じる事例が増えている。積雪寒冷地における吹雪対策として、防雪柵の整備などハード面からの対策もされているが、吹雪による道路上の視界不良は突発的・瞬間的な現象であり、局地性の強さ・時空間的な変動の大きさから、その実態を定量的に把握することは難しい。冬期における実際の道路管理では、地域の気象条件に精通した道路維持担当者の経験や勘により支え続けられている側面も大きい。時空間的に大きく変動する道路上の視界不良をリアルタイムかつ的確に把握できれば、ドライバの行動判断の支援や効率的な道路管理への貢献が期待できる。本論文では、CCTVカメラと車載カメラで撮影された道路画像による視界情報、地域気象観測システム（アメダス）と高性能レーダ雨量計ネットワーク（XRAIN）の気象情報を利用し、冬期道路上の視界情報の評価および推計に関する検討を行った。

各章より得られた知見および成果を以下に記す。

### CCTVカメラの視界情報と気象情報による冬期道路上の視界評価（第2章）

第2章では、北海道東部の根室中標津地域の国道沿いに設置されているCCTVカメラの道路画像から、画像処理によって得られた視界評価指標（WIPS）を用いて視界不良が発生した事例の検知について考察した。その結果、WIPSとGPVの視程値の双方で視界不良となる事例は、視界不良が発生した日時に、降水（降雪）が直近にあり強風となるときに観測されていた。一方、WIPSでは視界不良となったがGPVの視程値では視界不良とならなかった事例は、地表で風が強く、降雪がなくても地表に堆雪した雪が舞いやすい状況であった。このように、地表が局所的に強風となる状況でも、WIPSでは視界不良を示すことができた。しかし、道路周辺で雪が舞いやすい状況かどうか、および局所的な強風をGPVの視程値では把握できず、視界不良とならなかった。GPVの視程値では検知が難しい地表に堆積した雪が、風により舞い上げられることによる視界不良を、WIPSは評価できることを明らかにできた。この知見から、CCTVカメラを用いた視界不良の検知の有効性を示した。

### XRAIN の降水強度と CCTV カメラの道路画像を用いた冬期道路上の降雪と視界の時間的变化について（第 3 章）

第 3 章では、XRAIN の降水強度を道路上の降雪情報として用い、羽幌地域における道路上の視界を評価できるか検証した。具体的には、XRAIN の降水強度と CCTV カメラの道路画像（静止画）から求めた WIPS に相互相関を用い、両者の時間変化から、降水強度による WIPS への影響度合いとその時間遅れを求め、両者の関係を分析した。その結果、風向が西で降雪が観測されたとき、降水強度と WIPS の変化は連動しており、降水強度に対し WIPS が遅れて変化する状況が明らかとなった。しかし、海岸方向からの強い風により地吹雪となったとき、降水強度が減少しても WIPS は低い値を推移し、降水強度と WIPS の変化は異なった。これらの結果から、吹雪により道路上の視界が変化する状況を分析するとき、レーダ観測である XRAIN の降水強度を降雪情報として用いることの有用性が示された。また、降水強度と WIPS の変化が異なるとき、風向風速など地上観測の気象データと、防雪柵など道路周辺の環境に関する情報が、道路上の視界の変化の分析に必要であることも明らかとなった。

### 車載カメラの道路画像を用いた冬期道路上の視界情報の生成（第 4 章）

第 4 章では、車載カメラの道路画像から得た視界評価指標 (WIPS) を用いることで、CCTV カメラの道路画像による視界評価のデメリットを補完し、根室中標津地域において冬期道路上の視界を評価できるかどうか検証した。はじめに、車載カメラの走行映像から自動的に視界評価指標を得るシステム (RVIS) を開発した。次に、RVIS から得た視界評価指標 (WIPS) と気象データの変化から、冬期道路上で視界不良となる区間を評価できる可能性について検討した。その結果、RVIS から求めた車載カメラの WIPS は、気象条件や道路周辺の環境による影響を受け、道路上で視界が変化しやすい地点を示しており、視界不良の発生を評価できることが明らかとなった。これらの結果から、車載カメラの道路画像を用いることで、ドライバの運転時の視界に近い視界情報を、道路路線に沿って生成できる可能性が示された。

### 車載カメラの視界情報をベースとした視界情報の推計（第 5 章）

第 5 章では、羽幌地域を走行するバスに搭載した車載カメラで記録・収集された静止画の WIPS、CCTV カメラの静止画から求めた WIPS、XRAIN の降水強度などを用いて、国道 232 号の 15km 区間において冬期道路上の視界を推計するために、視界評価指標 (WIPS) を推計するモデルの提案を試みた。はじめに、第 4 章で開発したシステム (RVIS) を用いて、バスに搭載した車載カメラの走行映像から視界評価指標 (WIPS) を得た。次に、車載カメラ

の視界情報に影響を与える要素を調べるために、降雪による視界不良が発生しやすい気象条件と、地吹雪による視界不良が発生しやすい気象条件に分類し、それぞれの気象条件下で、道路路線に沿った気象情報との比較を行った。比較にあたり、道路の視界は地点や区間の特徴を考慮する必要があることから、道路を 1km 単位で区間ごとに分割した。比較の結果、降雪時には車載カメラの WIPS と XRAIN の降水強度には強い相関があった。さらに、車載カメラの WIPS と 12 時間雨量も関連していることが明らかとなった。地吹雪時には、車載カメラの WIPS と XRAIN の降水強度の相関は、区間によって異なる結果となった。一方、地吹雪時には車載カメラの WIPS と走行区間に近い箇所の CCTV カメラの WIPS に相関があり、説明変数として適用できる可能性が明らかとなった。そして、バスに搭載した車載カメラの視界評価指標（WIPS）を目的変数、比較により明らかとなった道路上の視界に影響を及ぼす要素を説明変数として、視界情報を推計するモデルを、全区間モデルと 1km 区間モデルにてそれぞれ構築した。全区間モデルと 1km 区間モデルによる推計の結果、降雪時には道路の視界は XRAIN の降水強度と関連しており、降水強度を用いて視界を推計できる可能性が明らかとなった。地吹雪時には、降水強度のほかに CCTV カメラの視界情報を用いることで、地上の視界を推計できる可能性が明らかとなった。また、全区間モデルの推計値と比べ、1km 区間モデルの推計値のほうが、道路の地点や区間の特徴を考慮しており、バスが走行したときの実測値に近い結果となった。これらの結果から、冬期道路路線に沿って視界が変化する要素が明らかとなったほか、視界評価指標（WIPS）の推計において、道路を区間ごとに分割し、地上の雪面の雪の状況などを考慮することが望ましいと言えた。

## 本研究から得られた知見と今後の展望

本研究では、積雪寒冷地である北海道の根室中標津地域と羽幌地域を対象に、冬期道路上で発生する吹雪や降雪による視界不良を、道路監視用 CCTV カメラと車両に搭載した車載カメラの視界情報、地域気象観測システムの風向風速・気温・降水量、XRAIN の降水強度などの気象情報を用いて評価を行った。CCTV カメラの道路画像を用いた視界情報は、降雪が観測されていないときでも、風が強まり発生する地吹雪の影響で視界が変化する状況を捉えていた。道路上の降雪情報として用いた XRAIN の降水強度は、CCTV カメラの視界情報と関連しており、上空の降水強度の変化に対し、遅れて地上の視界が変化する状況が明らかとなった。車両に搭載した車載カメラの道路画像を用いた視界情報は、道路路線に沿って視界が変化しやすい区間を示していた。これらの結果を踏まえ、気象情報を利用して車載カメラの視界情報の推計を試みた。車載カメラの視界情報に影響を与える要素を調べる上で、道路の視界は地点や周辺の環境の影響を受けることから、道路を 1km 単位で区間ごとに分割して視界情報と気象情報を比較した。その結果、降雪時には気象情報、地吹雪時には CCTV カメラの道路画像を用いた地上の視界情報と気象情報を用いることで、1km 区間モデルで車載カメラの視界評価指標（WIPS）の変化に近い推計結果を得られた。

これらの結論は、冬期道路上の視界を評価し、道路路線に沿ったリアルタイムな視界情報の生成において、議論するための一つのきっかけになるものと考えられる。しかし、本研究で構築した視界情報の推計モデルについては、異なる日時の走行事例について十分に検証できているとは言えず、今後の検討課題であると認識している。また、本研究は特定地域の道路区間の昼間時間帯における事例を基に検討を行っているが、様々な走行事例を検証し、夜間帯や広範囲にわたる視界情報の生成についても、今後検討すべき必要があると考える。

リアルタイムな気象情報を基に視界情報の将来予測ができれば、CCTV カメラがない地点や車載カメラが走行していない時間帯、夜間帯などの視界情報を生成できる可能性がある。さらに、定期的な道路パトロールカーによる道路監視を省力化でき、効率的な道路管理への貢献が期待できる。そのほか、道路を走行するドライバーに将来予測に基づいた視界情報を提供すれば、経路変更や待避により交通規制や事故のリスクを事前に回避させることが可能となる。

本研究の成果が、積雪寒冷地における冬期道路上の視界情報の生成の一助になることを期待し、論文として取りまとめる。

## 研究業績

### 論文（学位論文関連）

本研究に関連する論文として、以下に示す論文を執筆した。

- (1) 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)，Vol.74, No.5, pp.I\_165-I\_172, 2018.
- (2) 中村裕貴，萩原亨，永田泰浩：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，土木学会論文集 D3 (土木計画学)，Vol.75, No.6, pp.I\_599-I\_607, 2020.
- (3) Yuki NAKAMURA, Toru HAGIWARA, Yasuhiro NAGATA, and Sho TAKAHASHI : Development of Poor Visibility Assessment Method in Winter Using Images Taken by On-Board Video Camera, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.14, pp.1824-1842, 2022.
- (4) 中村裕貴，萩原亨，永田泰浩，高橋翔，鶴巻亮一，松岡直基：XRAIN の降水強度と CCTV カメラの画像を用いた冬期道路の視界状況評価に関する研究，土木学会論文集 D3 (土木計画学)，Vol.78, No.5 (掲載決定)，2023.

## 学会発表

- (1) 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, 第 56 回土木計画学研究発表会, 2017 年 11 月.
- (2) 中村裕貴, 萩原亨, 永田泰浩: 「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」土木学会, 第 59 回土木計画学研究発表会, 2019 年 6 月.
- (3) Yasuhiro Nagata, Toru Hagiwara, Yuki Nakamura, Yasuhiro Kaneda, Naoki Matsuoka, Sho Takahashi, and Hiroshi Hoshino: 「Vision for Road Visibility Inspection Using Driving Video Images Recorded by Onboard Video Camera」Transportation Research Board, no.20-04308, 2020.
- (4) Yuki NAKAMURA, Toru HAGIWARA, Yasuhiro NAGATA, and Sho TAKAHASHI : 「Development of Poor Visibility Assessment Method in Winter Using Images Taken by On-board Video Camera」EASTS, 第 14 回 EASTS 広島大会, 2021 年 9 月.
- (5) 中村裕貴, 萩原亨, 永田泰浩, 高橋翔, 鶴巻亮一, 松岡直基: 「冬期道路の視界状況と XRAIN 雨量データの降水強度の関係について」土木学会北海道支部, 令和 3 年度年次技術研究発表会, 2022 年 1 月.
- (6) Kazuhito Ohashi, Yasuhiro Nagata, Yasuhiro Kaneda, Toru Hagiwara, Sho Takahashi, and Yuki Nakamura: 「Development of road visibility inspection system using driving video images recorded by on-board video camera」世界道路協会 (PIARC), 第 16 回冬期サービスとレジリエンスに関する世界大会 (カルガリー冬期大会), 2022 年 2 月.
- (7) Yuki NAKAMURA, Toru HAGIWARA, Yasuhiro NAGATA, and Sho TAKAHASHI : 「Development of Road Visibility Inspection System by On-board camera and Visibility Estimation Model in Winter」自動車技術会, 2022 年春季大会, 2022 年 5 月.
- (8) 中村裕貴, 萩原亨, 永田泰浩, 高橋翔, 鶴巻亮一, 松岡直基: 「XRAIN の降水強度と CCTV カメラの画像を用いた冬期道路の視界状況評価に関する研究」土木学会, 第 65 回土木計画学研究発表会, 2022 年 6 月.
- (9) Yuki Nakamura, Toru Hagiwara, Yasuhiro Nagata, Sho Takahashi, Ryoichi Tsurumaki, and Naoki Matsuoka: 「Investigation of Relationship between Weather Conditions and Visibility Conditions on the Road in Winter」Transportation Research Board, 2023.
- (10) Yasuhiro Nagata, Toru Hagiwara, Sho Takahashi, Kazuhito Ohashi, Yasuhiro Kaneda, and Yuki Nakamura: 「Feasibility Study of Road Visibility Inspection System Using Driving Video Images Recorded by On-board Video Camera」Transportation Research Board, 2023.

## 謝辞

本論文は、筆者が北海道大学大学院工学院 北方圏環境政策工学専攻 博士後期課程に在学中に取り組んだ研究成果をまとめたものです。

同専攻萩原亨教授には、博士後期課程への進学を受け入れてくださり、指導教官かつ本論文の主査として、学士課程の卒業論文から博士学位論文の執筆に至るまで、長年にわたり数多くのご指導とご助言をいただきました。萩原亨教授の研究に関するご指導は大変厳しく、幾度となく心折れそうになるような状況もございましたが、科学的な追求に対し妥協を許さない真摯な態度、研究者・指導者としてのあるべき姿を学びました。振り返ると、北海道大学の自然豊かな環境で20代の貴重な時間を過ごし、良き師の指導下で学問を修めることができたことは、私にとって非常に有意義かつ幸せな人生の在り方でした。ここに、深く感謝申し上げます。

同専攻の高野伸栄教授、高橋翔准教授、環境フィールド工学専攻の山田朋人教授には、副査として有益かつ貴重なご意見を頂戴しました。副査のほか、高野伸栄教授には学士課程および修士課程の研究活動、高橋翔准教授には修士課程および博士後期課程の研究活動、山田朋人教授には気象レーダに関する勉強会などにおいて、研究を進めるにあたり様々なご意見を頂戴しました。深く、感謝申し上げます。

北海商科大学田村亨教授には、北海道大学大学院に在職していた頃から今日に至るまで、学問の面白さや人生の本質について教えていただいたほか、私の置かれている状況が追い風のときも逆風のときも、常に気にかけてくださりました。田村亨教授より頂戴した公私にわたる幾多のご助言は私にとって羅針盤となり、時として運命に翻弄されながらも、一歩ずつ着実に前進することができました。心より、感謝申し上げます。

本研究を遂行するにあたり、多くの方のご指導やご支援を賜りました。北海道開発技術センターの永田泰浩様、金田安弘様、大橋一仁様、株式会社シー・イー・サービスの正岡久明様、星野洋様、間山大輔様、北海道気象技術センターの松岡直基様、鶴巻亮一様には、研究に用いるデータの提供および扱い方など、研究を進める上で様々なご助言を頂戴しました。厚く、御礼申し上げます。

北海道大学大学院黒瀬華枝元事務補助員、檜山美奈元事務補助員、井上幸希事務補助員、笹田万希事務補助員には、出張などに関する事務的な対応をはじめ、他愛ない世間話など、日々の様々な場面で大変お世話になりました。深く、感謝申し上げます。

最後に、長きにわたる学生生活を支え、応援してくれた父、母、姉、そして博士後期課程在学中に結婚し、学位取得までの激動の日々を共に歩み、乗り越えてくれた妻の亜加里へ、心からの感謝の意を表し、本論文の謝辞とさせていただきます。

2023年2月  
中村 裕貴