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

中村　裕貴[1]・萩原　亨[2]・永田　泰浩[3]
高橋　翔[4]・鶴巻　亮一[5]・松岡　直基[6]

[1]学生会員　北海道大学大学院　工学院（〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目）
E-mail: yuki-nakamura@frontier.hokudai.ac.jp

[2]フェロー　北海道大学大学院教授　工学研究院（〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目）
E-mail: hagiwara@eng.hokudai.ac.jp

[3]非会員　一般社団法人　北海道開発技術センター（〒001-0011 札幌市北区北11条西2丁目2-17）
E-mail: nagata@decent.or.jp

[4]正会員　北海道大学大学院准教授　工学研究院（〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目）
E-mail: stakahashi@eng.hokudai.ac.jp

[5]非会員　株式会社　北海道気象技術センター（〒064-0824 札幌市中央区北 4 条西 23 丁目 1-18）
E-mail: ryoichi.tsurumaki@howtecc.jp

[6]正会員　株式会社　北海道気象技術センター（〒064-0824 札幌市中央区北 4 条西 23 丁目 1-18）
E-mail: naoki.matsuoka@howtecc.jp

冬の北海道では，吹雪により道路上で視界不良が発生し，通行規制や事故のリスクが高まる．冬期道路の視界状況は降雪や風の影響で刻々と変化するため，道路沿いの CCTV カメラの画像だけでは，リアルタイムに視界が変化する原因を把握することが難しい．そこで，本研究では CCTV カメラの画像で捉えた視界状況と，道路路線に沿った降雪の関係を詳細に分析するため，250m メッシュ・1 分間隔の XRAIN の降水強度の利用を試みた．XRAIN の降水強度と CCTV カメラの画像から求めた WIPS に相互相関関数を用いて，両者の類似度や時間遅れを求め，XRAIN の降水強度により道路上の視界状況を推定できることを検証した．その結果，XRAIN の降水強度の変化と WIPS の変化は類似し，XRAIN の降水強度の変化に対し WIPS が遅れて変化する状況が明らかとなり，気象データを組み合わせた視界状況評価の利点を示した．

Key Words: *road management, visibility condition, XRAIN, CCTV camera, WIPS*

1. はじめに

冬期の北海道では，吹雪により道路上で視界不良が発生し，車両通行の規制や交通事故のリスクが高まる．吹雪による視界不良をセンシングするため，永田・萩原らは道路沿いに設置された Closed-circuit Television Camera カメラ（以降，CCTV カメラ）の画像から Weighted Intensity of Power Spectra（以降，WIPS）によって視界状況を評価し，道路管理者に視界情報を提供するシステムを構築した[1),2)]．WIPS は，人のコントラスト感度が高い空間周波数領域のパワースペクトルを合計したものである．吹雪や霧が生じると，光の散乱や遮蔽を要因として撮像領域内の物体や背景のコントラストが小さくなり，低い空間周波数のパワースペクトルが大きくなる．その結果，WIPS は小さくなる．また，中村らは国道 244 号と国道 272 号沿いに設置されている CCTV カメラの画像から WIPS を算出し，道路の視界不良をセンシングした．その結果，WIPS 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できており，CCTV カメラの画像を用いた視界評価の利点を示した[3)]．一方，降雪の影響による道路の視界状況を評価するとき，道路沿いの CCTV カメラの画像を用いることの課題は多い．CCTV カメラの画像だけでは，降雪の有無や風速の大小を評価しきれず，どのような理由で視界が変化しているのかを把握することが難しい．冬期道路の視界状況は降雪や風の影響により刻々と変化するため，道路路線

に沿ったリアルタイムな降雪情報を活用する必要がある．

そこで，本研究ではCCTVカメラの画像で捉えた視界状況と道路の路線沿いの降雪の関係を詳細に分析するため，250m メッシュ・1 分間隔の国土交通省 X バンド MP レーダネットワーク（以降，XRAIN）の降水強度（㎜/h）を利用することを試みる．東らは，道路走行環境下において，XRAIN の降水強度はアメダスよりも降水量を的確に計測できることを確認し，道路の走行速度を考慮した降水強度の推定手法を提案した [4]．北陸地方では，冬期降水量の推定精度向上に向けた取り組みを実施しており，増田らは XRAIN の地上降雪観測結果から，粒子別の雨量算定定数を同定した [5]．北海道では，夏期と冬期で雲の高度が異なることから，XRAIN の降水強度で降雪状況を観測するために，冬期観測仰角の検討による定量的な地上の吹雪の把握が行われている [6),7),8]．XRAINの降水強度は250mメッシュ・1分間隔であるため，観測地点が限られ道路路線に沿った視界変化の把握が難しかった地域気象観測システム（AMeDAS）より，詳細に視界変化への影響を分析することが可能となることが期待できる．

本研究では，XRAINの降水強度とCCTVカメラの画像から算出した WIPS を用いて，相互相関関数により両者の変化の類似度や時間遅れを求め，XRAIN の降水強度により道路上の視界状況を推定できることを検証する．

2. 分析対象地域と分析に用いるデータ

(1) 分析対象の地域と日時

本研究の分析対象地域は，**図-1** に示す北海道開発局留萌開発建設部管理の国道232号初山別～羽幌間の約20㎞（K.P. 56.0～K.P. 78.0）とした．この地域は，冬期に西風により吹雪が発生しやすく，初山別～羽幌間には**図-1** の赤丸で示すCCTVカメラと，緑丸で示す地域気象観測システム（AMeDAS）がある．

分析対象日時は，吹雪の発生がみられた 2020 年 12 月の 4 日間（12 月 26 日，27 日，29 日，31 日）とした．なお，7 箇所の CCTV カメラのうち，分析対象日時においてカメラの向きがあまり変わらないこと，着雪などの発生が少ないことを考慮し，2 箇所のカメラ（K.P. 67.8, K.P. 72.0）を分析に用いた．

(2) 分析に用いるデータ

冬期の道路路線に沿った視界状況の変化を分析するために，本研究では4種のデータを用いた．

a) XRAIN の降水強度（㎜/h）

XRAIN とは，国土交通省が構築した降水量を観測するシステムである．本研究では，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，250m メッシュの平均値から算出された 1 ㎞メッシュ・1 分単位の降水強度（㎜/h）を使用した．国土交通省 XRAIN CXMP composite データセットは，国土交通省 X バンド MP レーダと C バンド MP レーダの地域単位の合成雨量データのことである．合成雨量データは，250mメッシュ・配信間隔が1分で，ほぼリアルタイムのレーダ雨量情報である．また，分析対象地域の上空における雲の動きを見るために，上空の降水強度分布を地図上に表示することができる「XRAIN リアルタイム雨量情報システムリアルタイム」の合成雨量データを併せて使用した．

図-1 CCTV カメラと地域気象観測システムの位置

b) CCTV カメラの画像

CCTV カメラは，道路監視を用途として道路沿いに設置されている定点カメラのことである．CCTV カメラでは 5 分間隔で画像が収集されており，画像が撮影される時刻は指定時刻からその 5 分前までの間のいずれかである．本研究では，K.P. 67.8 と K.P. 72.0 の CCTV カメラで収集された画像を分析に用いた．

c) 地域気象観測システム（AMeDAS）のデータ

分析対象地域には，2 箇所に地域気象観測システム（初山別アメダス・羽幌アメダス）がある．本研究では，分析に用いたCCTVカメラに近い羽幌アメダスから，該当日時の気温・風向・風速のデータを 10 分単位で収集した．

d) WIPS

本研究では，CCTV カメラの画像から視界状況を評価する指標として，WIPS を用いている．WIPS は，萩原らにより開発された視界状況を推定するための評価指標である [9]．WIPSは，吹雪や霧が生じると，光の散乱や遮蔽を要因として撮像領域内の物体や背景のコントラストが小さくなり，低い空間周波数のパワースペクトルが大きくなる．その結果，WIPS は小さくなる．

CCTV カメラの画像の WIPS は，数値が高いほど視界は良好で，数値が低いほど視界は不良となる．WIPS が

8.0 より高いとき，視程はおよそ 500～1,000m である．WIPS が 7.5 から 8.0 のとき，視程はおよそ 200～500m である．WIPS が 7.5 より低いとき，視程はおよそ 100～200m である．

(3) 分析に使用する XRAIN の降水強度について

XRAIN の降水強度は上空の降水粒子の観測によるものであり，地上に降水強度が反映されるまである程度の時間差が生じる．WIPS は CCTV カメラの画像内の狭い範囲の瞬間値に対し，XRAIN の降水強度は 1km メッシュの上空の空間平均値であり，点と立方体の比較になる．さらに，降水粒子の落下や移流効果が加わることから，1 分間単位の降水強度では道路上の現象と対応するのは難しいと考えた．そこで，時間的・空間的な上空の降水強度の平均値と，狭い範囲の瞬間値である WIPS の比較を試みるために，道路の視界状況と関連づける降水強度として，10 分間の平均値を分析に用いた．

3. 相互相関関数による XRAIN の降水強度と WIPS の分析

(1) 相互相関係数について

相互相関関数は，時間的に変化する 2 変数間の類似度や時間遅れの推定に用いられる．時間的に変化する 2 つの変数のうち，一方の波形を時間τだけ遅らせたときの関数と表される．相互相関係数の絶対値が 1 に近いほど両者の時間的変化が類似していることを意味する．本研究では降水強度をx_i，WIPS をy_iとし，降水強度と WIPS の相互相関係数を(1)式から求めた．相互相関係数の符号が負の場合，降水強度が増加した後，遅れて WIPS が低くなることを意味する．

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

$C(\tau)$：相互相関係数
τ：時間遅れ（分）
N：データ数（個）
x_i：降水強度（㎜/h）
y_i：WIPS

(2) 降水強度と WIPS の時間間隔

相互相関係数を求めるにあたり，降水強度と WIPS のデータの時間間隔 t は 5 分単位とした．XRAIN の降水強度は，該当する時刻の前 10 分間の平均値を 5 分単位で算出した．WIPS は，CCTV カメラでは 5 分間隔で画像が収集されており，5 分単位で画像から算出した．分析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，相互相関係数の最大値とそのときの時間遅れを求めた．

4. 風向風速・降水強度と WIPS の変化の分析

(1) 分析に用いる図の構成について

図-2，**図-4**，**図-5** は，5 つの図で構成されている．**図-3** のみ，4 つの図で構成されている．各図の a)は，X/C バンド MP レーダ(XRAIN)リアルタイム雨量情報による，降水強度がピークとなった時刻の分析対象地域上空の降水強度分布である．上空の色が濃くなるほど降水強度は強まり，図中の緑点が K.P. 67.8，赤点が K.P. 72.0 の位置を示している．各図の b)は，羽幌アメダスの風速の時間変化および WIPS と降水強度の時間変化（縦軸）である．縦軸が上にいくほど，風速と降水強度は強まり，WIPS の視界状況は不良となる．羽幌アメダスの風速の時間変化の図には，その時間帯の主な風向を図中に示した．WIPS と降水強度の時間変化の図では，WIPS の変化の中で，視界不良や降水強度がピークとなったところを赤点で示した．各図の c)は K.P. 67.8，d)は K.P. 72.0 における，対象日時内で降水強度がピークとなった時刻の前後 30 分を含む降水強度と WIPS の相互相関係数の分布を示している．縦軸が相互相関係数の値，横軸が時間遅れ（分）である．2020 年 12 月 27 日は，K.P. 67.8 で降水強度のピークが観測されなかったため，**図-3** では K.P. 72.0 の相互相関係数の分布のみ示している．各図の e)は，WIPS の赤点に対応する CCTV カメラの画像と WIPS である．画像内の赤枠が WIPS の算出位置である．

(2) 2020 年 12 月 26 日

図-2 a)は，K.P. 67.8 と K.P. 72.0 を含む分析対象地域上空の降水強度分布である．**図-2** b)は，2020 年 12 月 26 日の羽幌アメダスの風向風速，K.P. 67.8 と K.P. 72.0 における WIPS と降水強度の変化である．12 時から 16 時にかけて，降水強度のピークは K.P. 67.8 で 4 度，K.P. 72.0 で 3 度観測された．また，降水強度の増減に対し，WIPS も時間遅れでそれに合わせた増減を繰り返した．**図-2** e)に示す赤点時の画像から，雪が舞い視界不良が発生していることがわかる．K.P. 67.8 の画像 4 の WIPS が他より低いのは，カメラに軽度の着雪があったためである．K.P. 72.0 において，14 時 10 分まで降水強度が 0 ㎜/h に対して WIPS がやや低い値を推移したのは，画像遠方で雪が舞っていたためである．

図-2 c), d)によると，降水強度がピークとなった時刻の前後 30 分における降水強度と WIPS の相互相関係数の最

大値は，K.P. 67.8 で 12 時 00 分-13 時 00 分が-0.85（時間遅れ 5 分），12 時 15 分-13 時 15 分が-0.77（時間遅れ 5 分），12 時 50 分-13 時 50 分が-0.67（時間遅れ 5 分），15 時 00 分-16 時 00 分が-0.73（時間遅れ 0 分）となった．K.P. 72.0 で 12 時 10 分-13 時 10 分が-0.80（時間遅れ 10 分），12 時 50 分-13 時 50 分が-0.49（時間遅れ 5 分），14 時 50 分-15 時 50 分が-0.61（時間遅れ 10 分）となった．相互相関係数の符号は負で，WIPS が遅れて変化する結果となった．

2020 年 12 月 26 日の気象と WIPS の変化において，K.P. 67.8 と K.P. 72.0 の双方で，降水強度が増加した後に WIPS が低くなった．降水強度が減少しても WIPS は低い値で推移した．このことから，降水強度の増減に伴い，遅れて道路上の視界が変化する状況を捉えたと言える．

(3) 2020 年 12 月 27 日

図-3 a)は，K.P. 67.8 と K.P. 72.0 を含む分析対象地域上空の降水強度分布である．**図-3** b)は，2020 年 12 月 27 日の羽幌アメダスの風向風速，K.P. 67.8 と K.P. 72.0 における WIPS と降水強度の変化である．K.P. 67.8 では，11 時から 15 時にかけて降水強度は 0 ㎜/h，WIPS は 10.0 から 11.0 のあたりを推移した．降水強度がないとき，WIPS の変化はほぼ一定で，**図-3** e)に示す画像遠方の視界は良好だった．K.P. 72.0 では，11 時から 12 時にかけて降水強度の増減に対し，WIPS も時間遅れでそれに合わせた増減を繰り返した．また，降水強度のピークは 1 度観測された．**図-3** e)に示す赤点時の画像から遠方がもやもやしていることがわかる．12 時 30 分以降は，WIPS はほとんどが 10.0 から 11.0 の間を推移した．13 時 15 分に WIPS が 9.5 となったのは，軽く雪が舞ったためである．

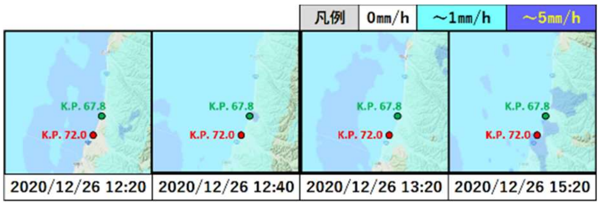
図-3 d)によると，K.P. 72.0 における降水強度と WIPS の相互相関係数の最大値は，11 時 30 分-12 時 30 分が-0.76（時間遅れ 10 分）となった．相互相関係数の符号は負で，WIPS が遅れて変化する結果となった．

2020 年 12 月 27 日の気象と WIPS の変化において，K.P. 67.8 と K.P. 72.0 の双方で，降水強度がほとんど増加せず，WIPS も大きく変化しなかった．このことから，天候が良好なとき視界は良好で，その様子を降水強度と WIPS から確認できた．

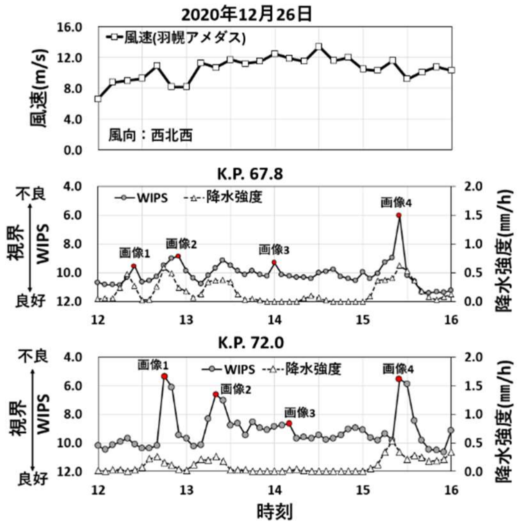
(4) 2020 年 12 月 29 日

図-4 a)は，K.P. 67.8 と K.P. 72.0 を含む分析対象地域上空の降水強度分布である．**図-4** b)は，2020 年 12 月 29 日の羽幌アメダスの風向風速，K.P. 67.8 と K.P. 72.0 における WIPS と降水強度の変化である．10 時から 14 時にかけて，降水強度のピークは K.P. 67.8 で 10 時台に 2 度，K.P. 72.0 で 10 時台と 11 時台にそれぞれ 1 度観測された．また，降水強度の増減に対し，WIPS も時間遅れでそれに合わせた増減を繰り返した．**図-4** e)に示す赤点時の画像から，

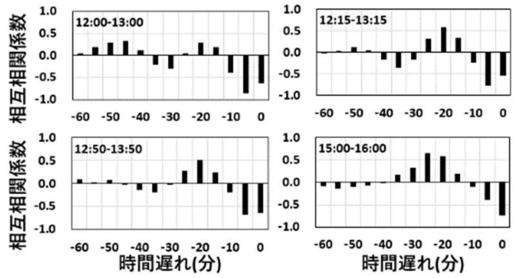
a) 分析対象地域上空の降水強度分布



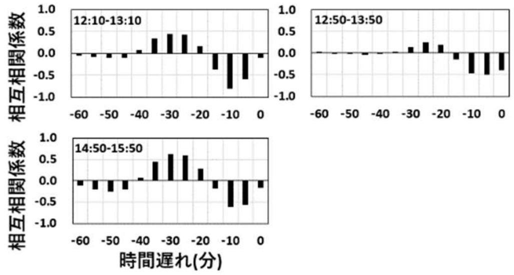
b) 風速と WIPS・降水強度の変化



c) 相互相関係数の分布[K.P. 67.8]



d) 相互相関係数の分布[K.P. 72.0]



e) CCTV カメラの画像と WIPS

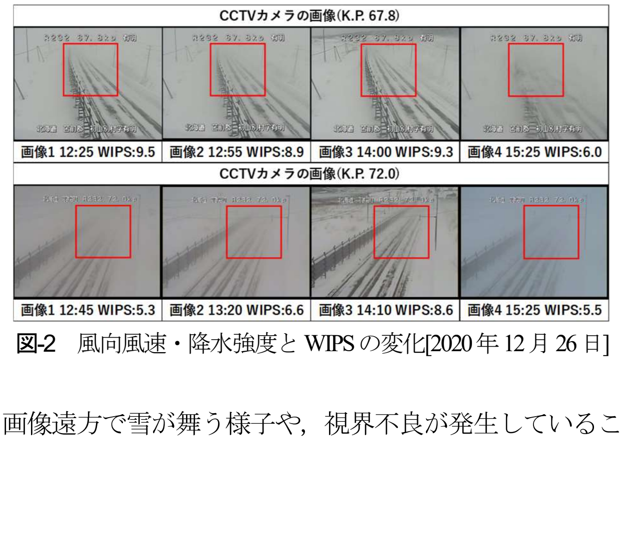


図-2 風向風速・降水強度と WIPS の変化[2020 年 12 月 26 日]

画像遠方で雪が舞う様子や，視界不良が発生しているこ

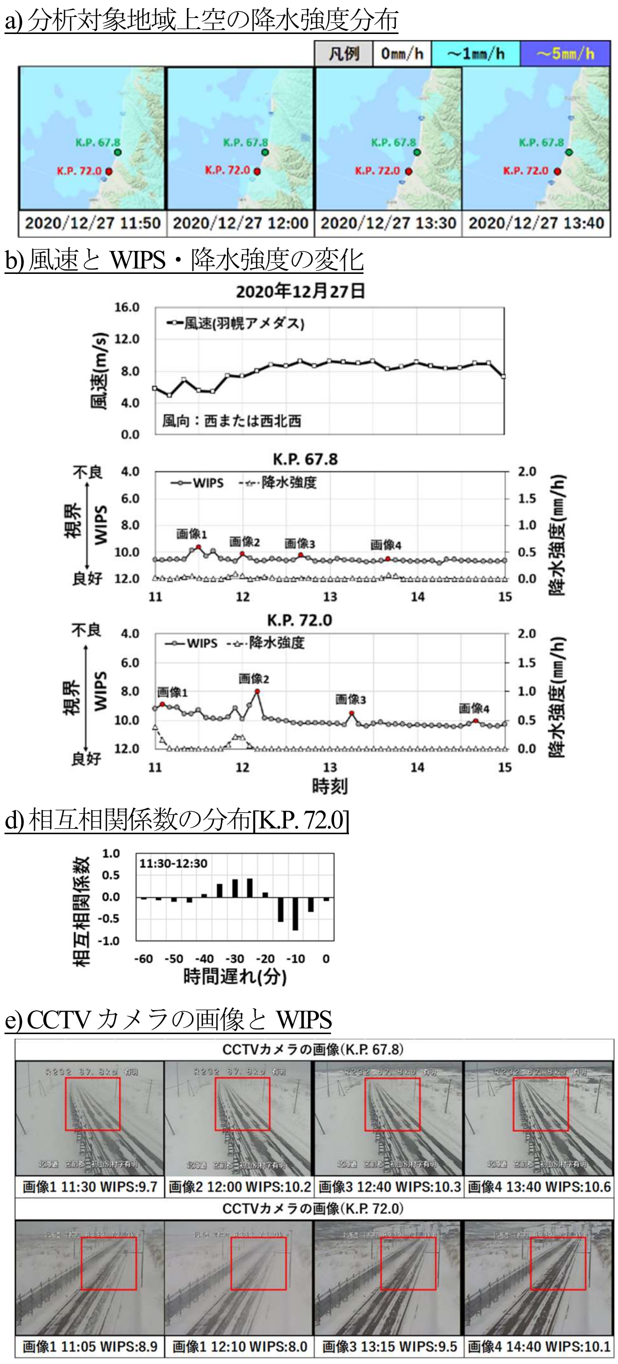


図-3 風向風速・降水強度と WIPS の変化[2020 年 12 月 27 日]

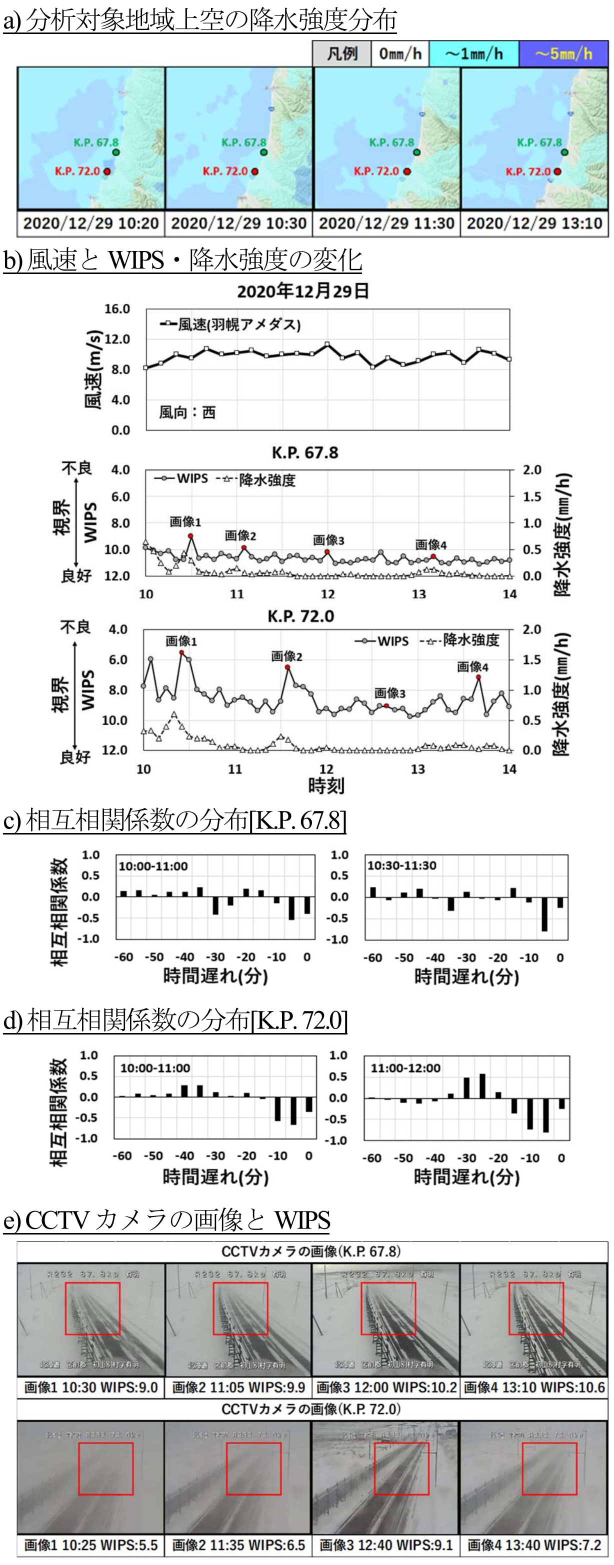


図-4 風向風速・降水強度と WIPS の変化[2020 年 12 月 29 日]

とがわかる．K.P. 67.8 で画像 1 の WIPS が他よりやや低いのは，カメラに軽度の着雪があったためである．K.P. 72.0 において，12 時台に降水強度が 0 ㎜/h に対して WIPS が変化したのは，軽度な着雪や雪が舞ったことや車両が通行した影響である．また，**図-4** e)に示す画像 4 では，地吹雪の影響で視界不良が発生した．

図-4 c), d)によると，降水強度がピークとなった時刻の前後 30 分における降水強度と WIPS の相互相関係数の最大値は，K.P. 67.8 で 10 時 00 分-11 時 00 分が-0.55（時間遅れ 5 分），10 時 30 分-11 時 30 分が-0.79（時間遅れ 5 分）となった．K.P. 72.0 では，10 時 00 分-11 時 00 分が-0.67（時間遅れ 5 分），11 時 00 分-12 時 00 分が-0.79（時間遅れ 5 分）となった．相互相関係数の符号は負で，WIPS が遅れて変化する結果となった．

2020 年 12 月 29 日の気象と WIPS の変化において，K.P. 67.8 と K.P. 72.0 の双方で，降水強度が増加した後に WIPS が低くなった．降水強度が減少しても WIPS は低い値で推移した．このことから，12 月 26 日と同様に，降水強度の増減に伴い，遅れて道路上の視界が変化する状況を

捉えたと言える．

(5) 2020 年 12 月 31 日

図-5 a)は，K.P. 67.8 と K.P. 72.0 を含む分析対象地域上空の降水強度分布である．**図-5** b)は，2020 年 12 月 31 日の羽幌アメダスの風向風速，K.P. 67.8 と K.P. 72.0 におけるWIPS と降水強度の変化である．12 時から 16 時にかけて，降水強度のピークは両カメラでそれぞれ 2 度観測された．

K.P. 67.8 では，12 時から 14 時にかけて降水強度の増減に対し，WIPS も時間遅れでそれに合わせた増減を繰り返した．**図-5** e)に示す赤点時の画像から，視界不良が発生していることがわかる．14 時から 15 時にかけては，降水強度の増減に対し，WIPS の増減は異なった．理由として，14 時以降の羽幌アメダスの風速は 12.0m/s より大きく，13 時台の降雪が風速の上昇により舞い上がり，地吹雪による視界不良が発生したためと考えられる．15 時から 16 時にかけては降水強度が増加し，画像 4 で雪が舞っている様子が確認できる．14 時台と比べて WIPS が低い値に変化しなかったのは，画像赤枠内に映り込んだ防雪柵により，コントラストが大きくなったためである．

図-5 c)によると，降水強度がピークとなった時刻の前後 30 分における降水強度と WIPS の相互相関係数の最大値は，K.P. 67.8 で 13 時 10 分-14 時 10 分が-0.62（時間遅れ 5 分），14 時 40 分-15 時 40 分が 0.50（時間遅れ 20 分）となった．14 時 40 分-15 時 40 分で相互相関係数の符号が正となったのは，降水強度の増減と WIPS の増減が異なったためである．

K.P. 72.0 では，13 時台に降水強度の増減に対し WIPS の増減が異なった．**図-5** e)に示す赤点時の画像から，降水強度が増加した 13 時から 13 時 30 分にかけては，視界不良は発生しておらず，13 時 40 分以降に時間差で視界不良が発生したことがわかる．理由として，降水強度が増加した 13 時から 13 時 30 分の羽幌アメダスの風向風速は，南南東・4.0m/s 前後だった．その後，風向風速は西北西・12.0m/s 前後へ変化し，海岸方向からの強い風により地吹雪が発生し，視界不良となった．13 時 30 分から 15 時 30 分にかけて，10.0m/s を超える風速と降水強度の観測により，WIPS は 8.0 未満を推移し視界不良が継続した．15 時 30 分以降は降水強度が減少し，WIPS は高い値へと変化した．

図-5 d)によると，降水強度がピークとなった時刻の前後 30 分における降水強度と WIPS の相互相関係数の最大値は，K.P. 72.0 で 12 時 45 分-13 時 45 分が-0.78（時間遅れ 25 分），14 時 20 分-15 時 20 分が-0.68（時間遅れ 0 分）となった．相互相関係数の符号は負で，WIPS が遅れて変化する結果となった．12 時 45 分-13 時 45 分で 25 分の時間遅れが生じた理由として，降水強度が増加した後に風

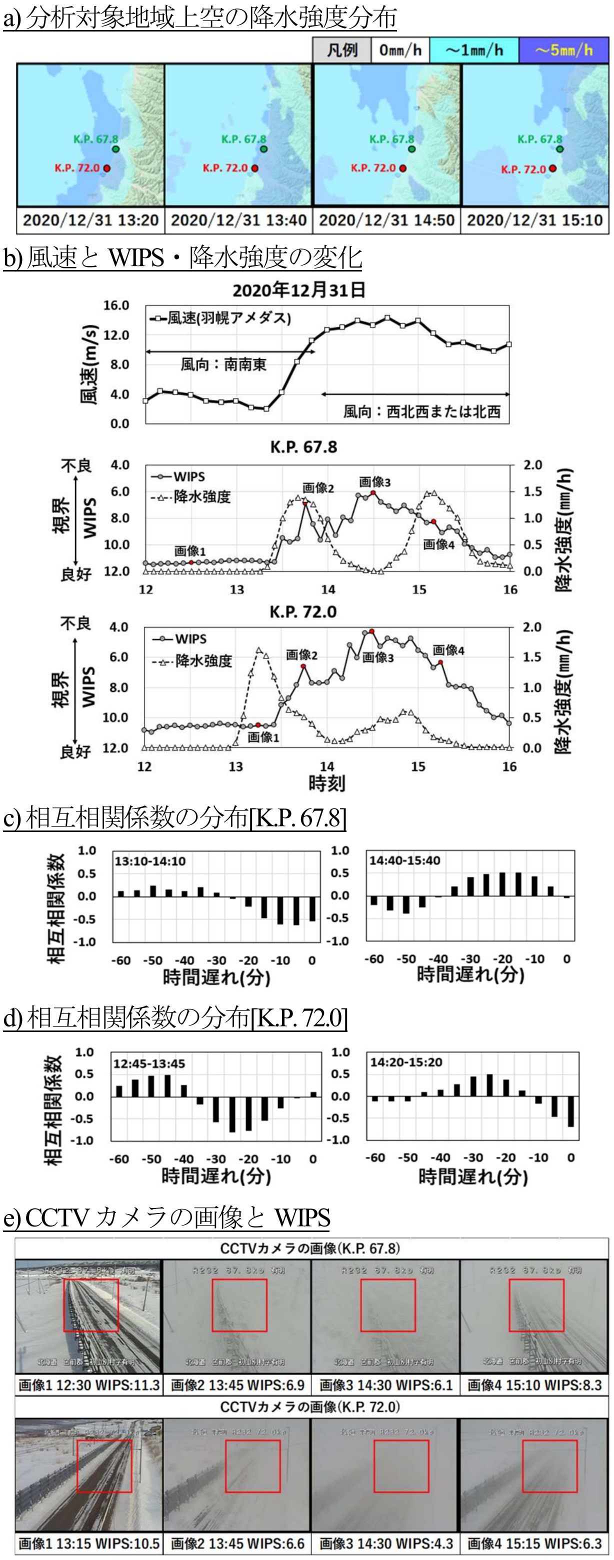


図-5 風向風速・降水強度と WIPS の変化[2020 年 12 月 31 日]

向風速が変化し，その影響で WIPS が変化したためである．

2020 年 12 月 31 日の気象と WIPS の変化において，降水強度が増加した後に，風向風速が変化したことで，遅れて WIPS が低くなった．その後，降水強度が減少しても風が強く，WIPS は低い値で推移し視界不良が継続した．このことから，降水強度の増減だけでは把握できな

い地上の視界状況を，風向風速などの気象データと組み合わせて説明できたと言える．

(6) 相互相関関数による分析結果

相互相関関数を用いて，XRAINの降水強度とCCTVカメラ画像のWIPSの類似度と時間遅れを求めた．**表-1**は，K.P. 67.8のCCTVカメラで，相互相関係数の符号が負で，かつ降水強度とWIPSの増減が比較的整合していたときの相互相関係数の最大値とそのときの時間遅れである．同様に，**表-2**はK.P. 72.0のCCTVカメラで，相互相関係数の符号が負で，かつ降水強度とWIPSの増減が比較的整合していたときの相互相関係数の最大値とそのときの時間遅れである．相互相関関数を用いて，カメラごとにXRAINの降水強度に対するWIPSの時間遅れを推定した結果，K.P.67.8では時間遅れ5分，K.P.72.0では時間遅れ5分または10分が多い結果となった．これらの結果より，上空で降雪が観測されたあと，雪粒子が落下して地上の視界が変化する状況を，XRAINの降水強度とCCTVカメラの画像のWIPSから説明できた．

表-1 時間遅れと相互相関係数[K.P. 67.8]

各時刻の時間遅れ(分)・相互相関係数[K.P. 67.8]			
2020/12/26		2020/12/29	
12:00-13:00	5分，-0.85	10:00-11:00	5分，-0.55
12:15-13:15	5分，-0.77	10:30-11:30	5分，-0.79
12:50-13:50	5分，-0.67	2020/12/31	
15:00-16:00	0分，-0.73	13:10-14:10	5分，-0.62

表-2 時間遅れと相互相関係数[K.P. 72.0]

各時刻の時間遅れ(分)・相互相関係数[K.P. 72.0]			
2020/12/26		2020/12/29	
12:10-13:10	10分，-0.80	10:00-11:00	5分，-0.67
12:50-13:50	5分，-0.49	11:00-12:00	5分，-0.79
14:50-15:50	10分，-0.61	2020/12/31	
2020/12/27		12:45-13:45	25分，-0.78
11:30-12:30	10分，-0.76	14:20-15:20	0分，-0.68

5. まとめ

本研究では，XRAINの降水強度とCCTVカメラ画像から算出したWIPSに相互相関関数を用いて，CCTVカメラごとのXRAINの降水強度の変化と，WIPSの変化の類似度およびWIPSの時間遅れを推定した．その結果，XRAINの降水強度の変化とWIPSの変化は類似していた．また，降水強度の変化に対し，WIPSが遅れて変化する状況が明らかとなった．ただし，雪粒子の落下速度や上空の気象状況をより詳細に加味した分析を行う必要がある．

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分の間にK.P. 72.0で降水強度が増加した．風向が南南東かつ風速4.0m/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12.0m/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．このことから，降水強度の増減だけでは把握できない地上の視界状況を説明するとき，風向風速などの気象データと組み合わせた視界状況の評価が望ましいと言える．

これらの結果から，XRAINの降水強度を用いることにより，道路上の視界状況を推定できると言えた．また，XRAINの降水強度に加え風向・風速・気温などの気象状況と，防雪柵など道路周辺環境の情報が道路上の視界状況の推定には必要であることもわかった．本研究で用いた地域で発生する吹雪は，日本海で発生した雨雲が西から道路に対して直角方向に向かってくることで発生していた．吹雪の原因となる雨雲の動きと風向が同じであり，比較的単純な気象条件となっていた．今後，北海道の内陸地域で発生する複雑な気象条件下での吹雪で，同様な結果となるかなどについて検証する必要がある．そして，CCTVカメラが設置されていない地点での視界状況の変化や，CCTVカメラの画像からWIPSを算出することが難しかった夜間における視界状況の変化などを推定するモデルを構築していきたい．

謝辞：本研究では、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) Nagata, Y., Hagiwara, T., Kaneda, Y., Araki, K. and Murakami, K.: Simple way to use closed-circuit television road images for poor-visibility information, Transportation Research Record, Vol. 1980, pp. 105-116, 2006.
2) 永田泰浩，金田安弘，越後謙二，萩原亨，正岡久明，星野洋，間山大輔，松岡直基，佐藤隆光：CCTVカメラの画像を用いた飛雪状況の評価の可能性について，雪氷研究大会（名古屋），日本雪氷学会，2016.
3) 中村裕貴，萩原亨，永田泰浩：CCTVカメラの画像処理を用いた暴風雪時の視程障害検知に関する研究，土木学会論文集D3（土木計画学）特集号，Vol. 74, No. 5, pp. I_165-I_172, 2018.

4) 東俊孝，矢神卓也，中北英一，古賀光彦：走行速度を考慮した降雨強度推定手法の提案，土木学会論文集 B1（水工学），Vol. 71, No. 4, pp. I_493-I_498, 2015.
5) 増田有俊，板戸昌子，谷口和哉，境和宏，上田博，山下克也，中井 専人：XRAIN を用いた冬期降水量推定精度の向上，土木学会論文集 B1（水工学），Vol. 74, No. 4, pp. I_85-I_90, 2018.
6) 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.
7) 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―
8) 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
9) 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.

(Received March 5, 2022)

A STUDY ON VISIBILITY EVALUATION ON THE ROAD IN WINTER USING PRECIPITATION INTENSITY OF XRAIN AND IMAGES CAPTURED BY CCTV CAMERA

Yuki NAKAMURA, Toru HAGIWARA, Yasuhiro NAGATA,
Sho TAKAHASHI, Ryoichi TSURUMAKI and Naoki MATSUOKA

In winter Hokkaido, poor visibility occurred by snowstorm on the road increases the risk of accidents and traffic restrictions. It is difficult to understand the cause of real-time visibility changes only from images captured by CCTV cameras along the road. This is because visibility conditions on the road in winter change by the minute due to snowfall and wind. Therefore, in this study, we attempted to use precipitation intensity of XRAIN at 250 m area-wide mesh and 1-minute interval to analyze in detail the relationship between visibility conditions from images captured by CCTV camera and snowfall along the road. Using a cross-correlation function, we determined the similarity and time-lag between precipitation intensity of XRAIN and WIPS calculated from images captured by CCTV camera. In addition, we validated that precipitation intensity of XRAIN can be used to estimate visibility conditions on the road. As a result, it was showed that the change between precipitation intensity of XRAIN and WIPS was similar and that the change of WIPS with a delay in response to changes precipitation intensity of XRAIN. It is indicated the advantages of combining meteorological data such as wind direction, wind speed and so on in evaluating visibility conditions on the road.