

# 方向符合照合法の降雪・吹雪時における視認性評価への応用

三田村智行, 大村 功

## Visibility Evaluation during Snowfall / Snowstorm Using Orientation Code Matching

Tomoyuki MITAMURA, Isao OHMURA

キーワード：方向符号照合, 視程, 吹雪

### 1. はじめに

本道のような積雪地域において、吹雪や降雪による視界の悪化は、車両の安全運行を妨げる大きな要因となっており、視界情報は、道路管理や車両運行管理などにおける重要な情報となっている。視界の状態を表す指標としては、一般に視程が用いられている。視程は、地表付近の大気混濁の程度を見通しの距離で表したもので、空を背景として視角0.5度以上5度以下の黒ずんだ目標を肉眼で識別できる最大距離とされている。計器により計測するときは、光源から照射された光が元の強さの5%になる距離である気象光学距離(MOR: Meteorological Optical Range)を用いる<sup>1)</sup>。

視程を計測する計器は視程計と呼ばれ、投光部から発せられた光を受光部で計測し、大気で減衰、散乱された光の量を求めてMORを算出する。目視により連続的に視程の観測を行うことは現実的ではないため、視程計により視程を観測することが多い。

しかし、視程計は高価なため多数設置することが難しく、限られた地点の視界情報しか得られない。また、吹雪時は視程計による観測値と目視による視界の状態が必ずしも一致しないという問題点もあることから、視界情報の提供の充実が求められている。

そこで、本研究では、方向符合照合法を用いた降雪時の視認性評価とこれに基づく視界状態の判定について検討し、イメージセンサとハードウェア処理を用いた小型で安価なシステムにより実現したので、報告する。

### 2. 画像による視認性評価

#### 2.1 降雪による視程障害

降雪による視界の悪化は、大気中に存在する雪により視認対象となっている物体の一部が遮蔽されることにより生じる。降雪強度が強いほど物体の多くの部分が雪に隠れ、視界が悪化する。さらに、雪が高速で移動するほど、すなわち風が強く吹雪の状態の時ほど、残像効果によって物体の多くの部分が隠れるように見え、視界は悪化する。視界を妨げている雪は時間とともに移動するため、遮蔽の状態は時々刻々と変化しており、視認対象物は、時間的に見え隠れを繰り返している。このため、視界が良好かどうかは、雪による時間的に変化する遮蔽があるなかで、視認対象物を認識できる程度と考えることができる。

#### 2.2 動画像による視認性評価

そこで、視認対象物をカメラで撮影した動画像と視認性との関係を検討する。雪は時間とともに移動するため、フレームが進むにつれその位置を変えていく。一方、視認対象物として、建物のような移動しない物体を想定すれば、フレームが進んでもその位置は変化しない。このため、降雪時の画像には、視認対象物が雪によって見え隠れする部分と、雪の影響を受けずに見え続ける部分があり、雪の影響を受けずに見え続ける部分は、時間的に隣接するフレームに共通する部分となる。

視認性を視認対象物を認識できる程度と考えると、雪の影響を受けずに見え続ける部分の割合、つまり隣接フレームの間で共通する部分の割合は、視認性を反映していると考えられる。つまり、フレーム間の類似度から視認対象物の視認性を評価し、これをもとに視界状態を判定することが

事業名：一般試験研究

課題名：画像照合技術の高度応用に関する研究

できる。

雪による遮蔽は、画素の明度が最大値付近になるノイズであり、その大きさは、遮蔽される部分の明度に依存するという特性がある。このため、類似度の評価指標は、画像の明度に着目したものよりも、視認対象物の形態的な特徴に着目したものが望ましいと考えられる。

本研究では、方向符合照合法の照合評価値から類似度を定義し、フレーム間の類似度の評価指標として使用した。

### 3. 方向符号照合に基づく類似度

方向符合照合法は、2つの画像の照合に、画像の明度そのものではなく、画素近傍における明度変化が最大となる勾配方向を量子化した値（方向符号）を用いる照合法である。この方向符号の分布は画像ごとの固有性が高い、照明不良などに起因する明度変動に影響されにくい、無相関画像間における類似度は定値性を有するという特性がある<sup>2)</sup>。

画素  $(x, y)$  での明度を  $I(x, y)$  とし、画像の  $x$  方向および  $y$  方向の勾配をそれぞれ、

$$\nabla I_x = \frac{\partial I(x, y)}{\partial x} \quad (1)$$

$$\nabla I_y = \frac{\partial I(x, y)}{\partial y}$$

と定義すると、対象とするすべての画素について、勾配角度  $\theta(x, y)$  は、

$$\theta(x, y) = \tan^{-1} \frac{\nabla I_y}{\nabla I_x} \quad (2)$$

として算出することができる。勾配演算としてはSobel演算などを用いる。適当な量子化幅  $\Delta\theta = 2\pi/N$  により量子化された勾配角度符号として、方向符号  $c_{xy}$  は次式で定義される。

$$c_{xy} = \begin{cases} \left[ \frac{\theta(x, y)}{\Delta\theta} \right] & \text{if } |\nabla I_x| + |\nabla I_y| \geq \Gamma \\ N & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

ここで、 $\Gamma$  は安定な符号生成を行うためのしきい値として使用する値で、十分な勾配値が得られない場合、すなわち低コントラストな画素であった場合に無効符号  $N$  を割り当てる。有効な方向符号は  $0 \sim N-1$  として得られる。

さらに、参照画像を  $I_{ref}$ 、比較する対象画像を  $I_{search}$ （ともに画素サイズ  $S_x \times S_y$ ）とし、それぞれの方向符号を  $C_{ref}$ 、 $C_{search}$  とする時、それらの平均残差絶対値  $D$  を照合評価値として次式により定義する。

$$D = \frac{1}{S_x \times S_y} \sum_{S_x \times S_y} d(C_{ref}, C_{search}) \quad (4)$$

$$d(a, b) = \begin{cases} \min\{|a-b|, N-|a-b|\} & \text{if } a \neq N, b \neq N \\ N/4 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

ここで、各画素間での残差絶対値  $d$  は、方向符号が巡回

的であることを考慮した算出方法を採用している。

さらに、本報告では、平均残差絶対和  $D$  の最大値が  $N/2$  であることに留意して、類似度  $S$  を次式により定義する。

$$S = 1 - \frac{2}{N} D \quad (6)$$

## 4. 視認性評価と視界状態の判定

このようにして求めたフレーム間の類似度は、明度勾配の空間配置に基づく指標であり、視認対象物の形態的特徴の保存性を反映したものとなる。また、無相関画像間の類似度に定値性があるため、雪による遮蔽の評価において、遮蔽された部分の明度の影響が抑えられる。このため、方向符合照合法による類似度は、降雪時の視認性の評価に適した指標であると考えられる。

視認対象物までの距離は、視程が100m以下まで悪化した著しい視程障害の状況においてもその形態が把握でき、フレーム間類似度により視認性を評価できるよう設定する必要がある。視認性評価に用いる視認対象物としては、強風等でも揺れない建物等が適している。また、方向符合照合法による類似度を用いるため、視認対象物は適度なコントラストを持つ必要がある。

降雪や吹雪により視程が悪化すると視認対象物の視認性も低下するので、視認性の評価指標であるフレーム間類似度から視界状態の指標である視程との関係を求め、視界状態の判定を行った。

## 5. 実験

### 5.1 実験方法

実験は、小樽市銭函の北海バネ株式会社の2階建ての建物の屋上を借り、ハウジングに収めたカメラを設置して行った(図1)。使用したカメラの仕様を表1に示す。視認対象物は、カメラから36mの距離にある同社敷地内の倉庫(図2)とし、シャッターの右側の壁の一部を用いて視認性を評価した。撮影は、フレームレートを30fps、シャッタースピードを1/107秒に固定し、オートゲインを有効にして行った。また、同社が屋上に設置したカメラで撮影した視程確認用の映像(図3)と前方散乱型視程計を用いて観測した視程(MOR)のデータを提供して頂き、比較評価に使用した。観測に用いた視程計の仕様を表2に示す。あらかじめ距離を測定したランドマークが目視により識別できるかどうかを基準に、視程確認用の映像から目視による視程をランク分け(表3)した。実験期間は、2010年1月13日から3月30日までである。



図1 設置したカメラ



図2 視認性評価用映像



図3 目視による視程確認用映像

表1 使用したカメラの仕様

型式	The Imaging Source社 DMK21BF04
解像度	640×480画素
階調	8ビット(白黒)
走査方式	プログレッシブスキャン
センサー	Sony ICX098B 1/4"
インターフェース	IEEE1394a

表2 視程計の仕様

型式	Vaisala社 現在天気計PWD12
測定方法	前方散乱方式
測定範囲	10m～2000m
精度	±10%

表3 ランドマークを基準とした視程ランク

ランク	視程[m]
0	0～100
1	100～170
2	170～260
3	260～480
4	480～630
5	630～1000
6	1000～2000
7	2000～

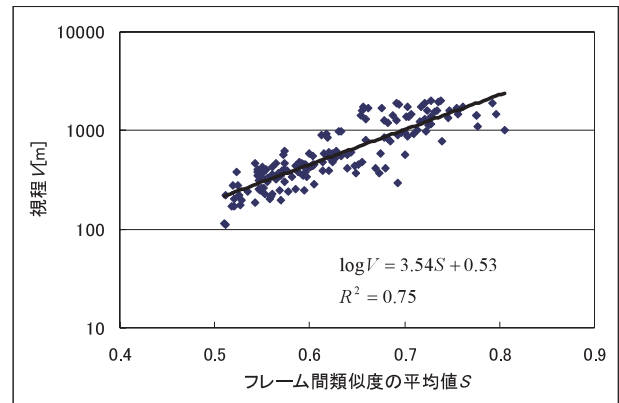


図4 フレーム間類似度の平均値と視程の関係

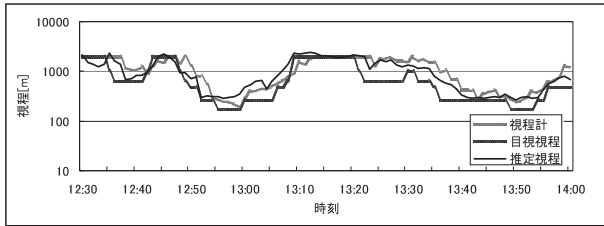
## 5.2 視認性の評価指標と視程の関係

視認性の評価指標は、1分ごとに求めた60フレーム（2秒）分のフレーム間類似度の平均値とした。視程とフレーム間類似度の平均値の関係は、回帰分析により求めた。目視による視程はランドマークを基準にした段階的なものであるため、被説明変数は視程計の観測値とした。ただし、視程計の観測値と目視の視程が一致しない場合および視程計の観測値が観測範囲の上限である2000mとなっているデータは分析から除外した。また、強風によりカメラが揺れた場合、フレーム間類似度が正しい値とならないので、この場合のデータも分析から除外した。

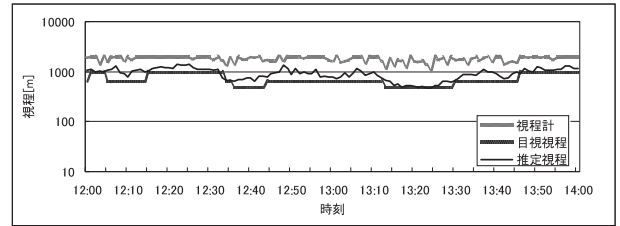
視程  $V$  とフレーム間類似度の平均  $S$  の関係は図4のようになり、回帰分析の結果は

$$\log V = 3.54S + 0.53 \quad (7)$$

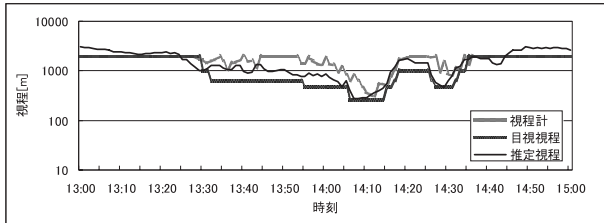
となった。決定係数  $R^2$  は0.75であり、比較的良好な相関を示した。



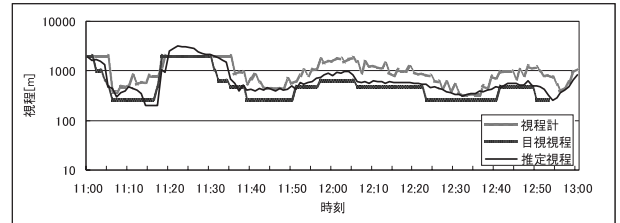
(a) 2010年2月16日12:30～14:00



(b) 2010年1月29日12:00～14:00



(c) 2010年2月14日13:00～15:00



(d) 2010年2月20日11:00～13:00

図5 推定視程と目視および視程計で観測した視程

### 5.3 視程の推定

回帰分析の結果に基づき、フレーム間類似度の平均値から視程を推定した。視程計の観測値と目視による視程が比較的一致する場合を図5(a)に、一致しない場合を図5(b)～(d)に示す。視程計の観測値については測定範囲の仕様上、目視の視程についてはランドマークの関係から、ともに2000mを超える視程については2000mとなっている。これらのデータについて、視程計観測値と視認性に基づく視程推定値をランドマークを基準とした表3に従いランク分けして目視の視程ランクと比較し、視程ランクが一致するデータの割合およびランクの差が1～3のデータの割合を求めたのが表4、表5である。視認性に基づく推定視程のランクは、目視視程のランクと比較的良く一致しており、よりの確に視界状態を判定できていることが確認できる。視程の推定値は、目視の視程と一致しない場合も多いが、その場合でも、視程計の観測値と比較して目視の視程に近い値を示すことが多い。

表4 視程計観測値と目視視程の視程ランクの一致割合

	図5(a)	図5(b)	図5(c)	図5(d)
一致	48.4%	5.8%	53.7%	27.8%
ランク差1	35.2%	52.9%	27.3%	41.7%
ランク差2	15.4%	38.0%	18.2%	27.8%
ランク差3	1.1%	3.3%	0.8%	2.6%

表5 視程推定値と目視視程の視程ランクの一致割合

	図5(a)	図5(b)	図5(c)	図5(d)
一致	38.5%	72.7%	65.3%	80.0%
ランク差1	58.2%	27.3%	33.9%	17.4%
ランク差2	3.3%	0.0%	0.8%	2.6%
ランク差3	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

### 6. FPGAを用いた小型視界状態センサの開発

視界情報の提供の充実を図る観点から、イメージセンサとFPGAを組み合わせた小型システムにより、視認性評価とこれに基づく視界状態の推定を実現した。フレーム間類似度を求めるための方向符合照合は計算量の多い処理であるが、FPGA上でハードウェア処理を行うことで、リアルタイム処理とシステムの小型化を実現している。また、類似度に基づく視程ランクの判別もFPGA上で行った。FPGAを搭載したボードが図6であり、これに組込用CCDモジュールを接続してシステムを構成した。FPGAには、量産アプリケーション向けの低価格帯のシリーズを採用しており、安価なシステムとすることが可能である。ハウジングに収めたシステムを図7に示す。撮影範囲やフォーカスの確認をするための液晶表示部を付加している。

### 7. まとめ

方向符合照合法による類似度を用いて、降雪時の視認性評価とこれに基づく視界状態の推定を行う方法について検討し、視程計による観測値と目視による視程が一致しない状況下でも、目視に近い視界状態の判定が可能であることを確認した。さらに、この視界状態の判定法を、イメージセンサとFPGAを用いた小型で安価なシステムにより実現した。

今回の報告は、限られた設置条件における実験結果であり、汎用性については検証が必要であること、吹雪の条件下では風も強く、カメラが揺れて正しい視認性評価ができない場合があること、視程100mを下回るような著しい視程不良の状況でのデータ蓄積が不足していることなど、残された課題も多い。今後、実験環境の確保を含めて検討していく必要がある。

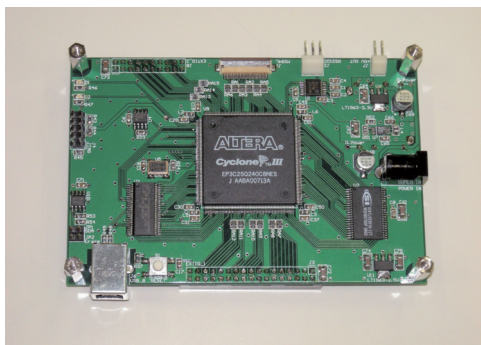


図6 FPGA搭載基板



図7 ハウジングに収めたシステム

## 謝辞

本研究は、平成19年度JST「シーズ発掘試験」の研究成果をもとに実施しました。ここに謝意を表します。

また、実験にあたっては、実験環境、気象データ、映像データの提供などで北海パネ株式会社にも多大なご協力をいただきました。厚くお礼申し上げます。

## 引用文献

- 1) 気象庁：気象観測の手引き（2007）
- 2) F.Ullah・S.Kaneko・S.Igarashi：Orientation code matching for robust object search, *IEICE Trans on Inf. & Syst.*, Vol.E84-D, No.8, pp.999-1006, (2001)