

# コントラスト特徴とアピアランス特徴の統合による道路標識の視認性推定

道満 恵介<sup>†a)</sup>      出口 大輔<sup>†</sup>      高橋 友和<sup>††</sup>      目加田慶人<sup>†††</sup>  
井手 一郎<sup>†</sup>      村瀬 洋<sup>†b)</sup>      玉津 幸政<sup>††††</sup>

Estimation of Traffic Sign Visibility Based on the Integration of Contrast Features and Appearance Features

Keisuke DOMAN<sup>†a)</sup>, Daisuke DEGUCHI<sup>†</sup>, Tomokazu TAKAHASHI<sup>††</sup>,  
Yoshito MEKADA<sup>†††</sup>, Ichiro IDE<sup>†</sup>, Hiroshi MURASE<sup>†b)</sup>, and Yukimasa TAMATSU<sup>††††</sup>

あらまし 本論文では、背景とのコントラスト及び道路標識の見えに基づく画像特徴の統合利用による道路標識の視認性推定手法を提案する。近年、様々な運転支援システムが自動車に搭載されるようになってきているが、過度の情報提供はドライバーの注意散漫の原因となる。そこで本研究では、道路交通において重要な情報源となる道路標識を対象とし、道路標識の視認性に応じてドライバーへ情報を提供する不快感のない運転支援システムの実現を目指す。提案手法では、道路標識の視認性に大きく影響する要因として、背景との明るさ、色、複雑さのコントラストに基づく画像特徴、及び、道路標識自体の明るさ、色に基づく画像特徴を車載カメラ画像から抽出する。そして、認知科学的な知見に基づいてこれらの画像特徴を統合し、道路標識の視認性を定量化する。評価実験の結果、提案手法により高精度な視認性推定ができることを確認した。また、提案手法で利用する複数の画像特徴及びそれらの統合モデルの有効性を確認した。

キーワード 視認性推定, 道路標識, 車載カメラ, ドライバディストラクション, ITS

## 1. ま え が き

近年、自動車の運転支援システムに対する需要が高まっている。特に、車載カメラを用いて車両前方の道路標識、歩行者、車両等の物体を自動検知し、その存在をドライバーに知らせる物体検出・提示システムの開発は重要な課題である。このシステムは、車載カメラ画像からの物体検出、検出された物体に関する情報提供という二つの技術からなる。前者の技術に関する研

究は従来から数多くなされているものの、それらの多くでは後者の技術までは議論されていない。しかしながら、実応用を考えると、検出した物体に関する情報をどのようにドライバーに提供するかは重要な問題である。例えば図 1 に示すような多量の情報が一度にドライバーに提供されると、ドライバーディストラクション（ドライバーの注意散漫）[1] の原因になる。よって、システムからの情報を適切に取捨選択し、ドライバーが必要とする情報を積極的に提供する技術が必要不可欠である。

情報の取捨選択に関して、ドライバーの視線が向いていない物体の情報を提供する方法 [2] が考えられる。しかし、視線が物体に向いていたとしても、その物体を認知しているとは限らない。この現象は“意識の脇見”と呼ばれ、各種車載システムからの過度な情報提供等により発生しやすくなることが報告されている [3]。これに対して、ドライバーからの視認性が低い物体の情報のみを提供する方法 [4], [5] が考えられる。例えば、図 2 の各シーンにおける道路標識（規制標識）の視認

<sup>†</sup> 名古屋大学大学院情報科学研究科, 名古屋市  
Graduate School of Information Science, Nagoya University,  
Nagoya-shi, 464-8601 Japan

<sup>††</sup> 岐阜聖徳学園大学経済情報学部, 岐阜市  
Faculty of Economics and Information, Gifu Shotoku  
Gakuen University, Gifu-shi, 500-8288 Japan

<sup>†††</sup> 中京大学情報理工学部, 豊田市  
School of Information Science & Technology, Chukyo University,  
Toyota-shi, 470-0393 Japan

<sup>††††</sup> (株) デンソー, 刈谷市  
DENSO CORPORATION, Kariya-shi, 448-8661 Japan

a) E-mail: kdoman@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp

b) E-mail: murase@is.nagoya-u.ac.jp

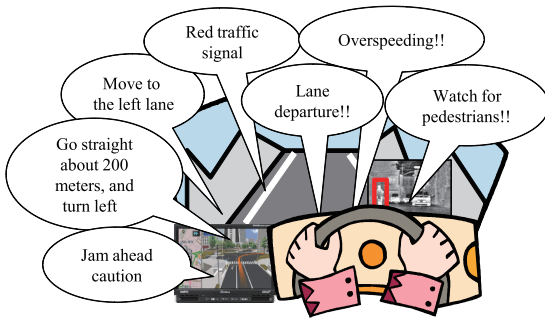


図 1 車載システムからドライバーに提供される過量の情報の例

Fig. 1 Example of excessive amount of information provided from in-vehicle systems to a driver.



(a) 道路標識の視認性が高いシーン



(b) 道路標識の視認性が低いシーン

図 2 道路標識の視認性比較

Fig. 2 Comparison of traffic sign visibility.

性は大きく異なる。図 2(a) では道路標識の視認性が高いため、システムから情報を提供しなくても、ドライバーがその存在に気付く可能性が高い。一方、図 2(b)



(a) 空/75 (b) 空/90 (c) 建物/90

図 3 視認性に影響を及ぼす要因 (背景の種類/標識領域の平均明度値)

Fig. 3 Factors that affect the visibility (background type/average luminance in the sign region).

では道路標識の視認性が低いため、ドライバーが気づかない可能性が高い。以上のことより、視線が物体に向いていない、若しくは、視線が物体に向いていたとしても視認性が低い場合には、ドライバーが見落とす可能性が高いと考えられる。そこで本研究では、交通安全において重要な役割を担う道路標識 (e.g. 規制標識、警戒標識、指示標識) を対象とし、ドライバーの視線が道路標識周辺に向いている状況において、その視認性を車載カメラ画像から推定する方法に注目する。これにより、道路標識の視認性に応じてドライバーへ情報を提供するシステムの実現を目指す。

これまでに提案された車載カメラ画像からの視認性推定手法は、いずれも対象物体と背景のコントラストのみ [4]、または、対象物体の見えのみ [5]~[7] に注目している。しかし、実環境においては、どちらか片方の特徴のみから道路標識の視認性を推定することは困難である。例えば、図 3(a) では、背景との明るさのコントラストは高いが道路標識が暗く、視認性が低い。また、図 3(c) では、道路標識の明るさは図 3(b) と同程度であるが、背景の複雑さが視認性を低下させている。このように、実環境下における道路標識の視認性には、背景とのコントラスト及び道路標識の見えに関する複数の画像特徴が影響する [8]。そのため、安定して高精度に道路標識の視認性を推定するには、これらの影響を複合的に考慮する必要がある。

そこで本論文では、背景とのコントラスト及び道路標識の見えに基づく画像特徴を認知科学的な知見に基づいて統合利用することで、道路標識の視認性を高精度に推定する手法を提案する。以降、2. では関連研究について述べ、3. では提案手法について述べる。続く 4. では提案手法の有効性を評価するための実験について述べ、5. で考察する。最後に 6. でまとめる。

## 2. 関連研究

車載カメラ画像からの視認性推定に関する従来研究には、背景とのコントラストに着目したもの、対象物体の見えに着目したものがある。

**背景とのコントラストに着目した研究：**一般に、一様な背景の中で物体を視認するためには、物体周辺の背景との間に十分な明度のコントラストが必要であることが知られている [9]。ただし、実際の走行シーンにおいては、視野全体の明度が一様であることは極めてまれであり、背景の複雑度が視対象の視認性に大きく影響すると報告されている [8]。これに関して、木村らは、複雑度のコントラストに基づいて交通信号機の視認性を推定する手法を提案し、車載カメラ画像を用いた評価実験によってその有効性を示している [4]。

**対象物体の見えに着目した研究：**道路標識の明るさや色は視認性に大きく影響する [8]。Siegmann らは、標識領域の明度値を用いて視認性を推定する手法を提案している [6]。Simon らは、色ヒストグラムで表現された道路標識の見えを SVM で学習し、特徴空間における道路標識と背景の識別境界からの距離に基づいて視認性を推定する手法を提案している [5]。Maerz らは、道路標識の種類に応じて、標識領域の明度値または RGB 各成分に基づいて視認性を推定する手法を提案している [7]。

上述の従来手法は、いずれも対象物体と背景のコントラスト、または、対象物体の見えに基づく単一の画像特徴を利用している。そのため、背景とのコントラストに基づく複数の画像特徴、及び、道路標識の見えに基づく複数の画像特徴がもたらす複合的な影響を考慮していない。次節では、認知科学的な知見に基づき、これら複数の画像特徴を統合するモデルを提案する。

## 3. 提案手法

提案手法における処理の流れを図 4 に示す。提案手法では、車載カメラ画像における道路標識とその周辺を含んで切り出された領域 (e.g. 図 3) を入力とする。以降では、これを「標識周辺画像」と呼ぶ。そこから、明るさ、色、複雑さのコントラストに基づく画像特徴量  $\mathbf{c} = (c_1, c_2, c_3)^T$ 、及び、明るさ、色に関する道路標識の見えに基づく画像特徴量  $\mathbf{a} = (a_1, a_2)^T$  をそれぞれ計算する。これらを統合利用することで、道路標識の視認性評価値  $V$  を推定する。以降、本論文で提案する画像特徴の統合モデル、各種画像特徴の抽出方法

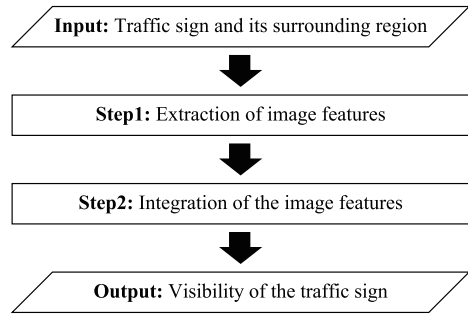


図 4 提案手法における処理の流れ  
Fig. 4 Process flow of the proposed method.

について順に述べる。

### 3.1 画像特徴の統合モデル

道路標識を視認するには、背景から物体の存在を検出し、更にそれが道路標識であることを認識しなければならない。認知科学の分野では、複数の妨害刺激の中から特定の目標刺激を検出する課題を視覚探索課題と呼ぶ。Ogawa らによれば、人間の視覚探索は、ポップアウトに基づくボトムアップ型処理、知識や予測に基づくトップダウン型処理の 2 種類の処理からなり、両者の間には相互作用がある [10]。すなわち、ポップアウトの程度と知識や予測の程度の両方が十分な場合には、両者の処理が相互に協調し合い、視覚探索処理が促進される。反対に、どちらかが十分でない場合には、視覚探索処理は促進されない。道路標識を対象とした場合には、ボトムアップ型処理には背景との画像特徴のコントラストが影響し、トップダウン型処理には道路標識らしさが影響すると考えられる。また、両者が同時に良好な状態であるほど、道路標識の視認性は高くなる。これら三つの影響を考慮し、本研究では背景とのコントラスト及び道路標識の見えに基づく画像特徴量  $\mathbf{c}$ 、 $\mathbf{a}$  と視認性評価値  $V$  の関係を次のように定式化する。

$$V = F_c(\mathbf{c}) + F_a(\mathbf{a}) + F_{c \times a}(\mathbf{c}, \mathbf{a}) \quad (1)$$

ここで、第 1 項は背景とのコントラスト、第 2 項は道路標識の見え、第 3 項は両者の相互作用 (交差項) がそれぞれ視認性に与える影響を表現する。

$V$  の具体的な計算方法として、 $c_1, c_2, c_3, a_1, a_2$  を変数とする  $P$  次多項式 ( $P \geq 2$ ) で  $V$  を表現することを考える。このとき、例えば  $P = 2$  の場合、 $\tilde{\mathbf{f}} = (c_1, c_2, c_3, a_1, a_2, 1)^T$  として、式 (1) は次式のように書ける。

$$V = \tilde{f}^T W \tilde{f} \quad (2)$$

ここで、 $W$  は各項の係数を要素にもつ  $6 \times 6$  の下三角行列である．ここから式 (2) の右辺を展開し整理すると、 $\tilde{c} = (c_1, c_2, c_3, 1)^T$ 、 $\tilde{a} = (a_1, a_2, 1)^T$  として、次式のように書ける．

$$\tilde{c}^T W_c \tilde{c} + \tilde{a}^T W_a \tilde{a} + c^T W_{c \times a} a \quad (3)$$

ここで、 $W_c$ 、 $W_a$ 、 $W_{c \times a}$  はそれぞれ各項に関する係数行列である．式 (3) の第 1 項は  $c$ 、第 2 項は  $a$ 、第 3 項は  $c$  と  $a$  の交差項からなり、式 (1) における右辺の各項と対応する形で  $V$  を表現できる．よって、式 (3) は画像特徴量  $c$ 、 $a$  と道路標識の視認性評価値  $V$  の関係を表現できる統合モデルの一つであると考えられる．なお、式 (2) における各係数の決定方法に関して、 $c$ 、 $a$  と  $V$  の適切な関係を表現する  $W$  をトップダウンに与えることは困難である．そこで、提案手法では、学習データを用いた線形回帰により  $W$  を学習する．具体的には、まず、 $N$  個の標識周辺画像と視認性評価値のペアから、画像特徴量と視認性評価値の関係式 (式 (2)) を求める．その後、それら  $N$  本の関係式から最小二乗法により  $W$  の各要素を求める．

### 3.2 画像特徴量の計算

前処理について述べた後、背景とのコントラストに基づく画像特徴量  $c$ 、道路標識の見えに基づく画像特徴量  $a$  の計算方法について順に述べる．

#### 3.2.1 前処理：標識周辺画像の切出し

入力された車載カメラ画像から道路標識を含む領域 (標識領域  $s$ ) 及びその周辺領域 (背景領域  $\mathbb{B}$ ) を切り出すことで、標識周辺画像を得る．なお、入力画像上の道路標識の位置と大きさ、種類は既知であるとする．様々な環境変化に対してもロバストに道路標識を検出・認識する手法はこれまでに数多く提案されており [11], [12]、本研究ではこれらが利用可能であるとする．以降の処理では、標識周辺画像を元に各種画像特徴を抽出する．

#### 3.2.2 背景とのコントラストに基づく画像特徴

認知科学の分野では、明るさや色のコントラストは視対象の視認性に大きな影響を及ぼす基本的要素として知られている [9]．また、背景テキストチャが複雑になる車載カメラ画像においては、エッジ強度に基づいて計算される複雑度のコントラストを考慮することが有効であると報告されている [4]．これらに加えて、実際の交通シーンでは道路標識の周辺に画像特徴が異なる

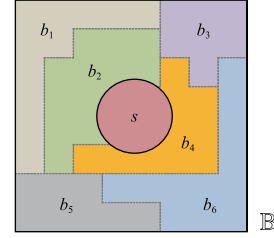


図 5 標識周辺画像における標識領域  $s$  と部分背景領域  $b_n \in \mathbb{B}$  ( $n = 1, \dots, 6$ ) の例

Fig. 5 Example of a surrounding region surrounding a sign region  $s$  and background sub-regions  $b_n \in \mathbb{B}$  ( $n = 1, \dots, 6$ ).

複数の領域が存在し、標識領域に近くかつ大きい領域ほど道路標識の視認性への寄与は大きくなると考えられる．

以上のことから、まず、TOD (Threshold Order-Dependent) クラスタリングアルゴリズム [13] に基づき背景領域  $\mathbb{B}$  を領域分割する．これにより、図 5 に示すような複数の部分背景領域  $b_n \in \mathbb{B}$  を得る．その後、明度、色度、複雑度の  $s$ - $b_n$  間の局所コントラスト  $c_1^{(b_n)}$ 、 $c_2^{(b_n)}$ 、 $c_3^{(b_n)}$  を次式で計算する．

$$c_1^{(b_n)} = |\Delta \bar{L}^{*(b_n)}| \quad (4)$$

$$c_2^{(b_n)} = \sqrt{(\Delta \bar{a}^{*(b_n)})^2 + (\Delta \bar{b}^{*(b_n)})^2} \quad (5)$$

$$c_3^{(b_n)} = |\Delta \bar{E}^{(b_n)}| \quad (6)$$

ここで、 $\Delta \bar{L}^{*(b_n)}$ 、 $\Delta \bar{a}^{*(b_n)}$ 、 $\Delta \bar{b}^{*(b_n)}$  は知覚的に均等な CIELAB 色空間における  $s$ - $b_n$  間の平均  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  の差、 $\Delta \bar{E}^{(b_n)}$  は Sobel フィルタで計算される  $s$ - $b_n$  間の平均グレースケールエッジ強度の差である．次に、 $s$ - $\mathbb{B}$  間の明度、色度、複雑度のコントラスト  $c_1$ 、 $c_2$ 、 $c_3$  をそれぞれ次式で計算する．

$$c_i = \frac{1}{A^{(\mathbb{B})}} \sum_{b_n \in \mathbb{B}} A^{(b_n)} c_i^{(b_n)} \quad (7)$$

ここで、 $s$  の重心を原点とする画素の座標を  $\mathbf{p}$  として、 $A^{(b_n)} = \sum_{\mathbf{p} \in b_n} \|\mathbf{p}\|^{-1}$ 、 $A^{(\mathbb{B})} = \sum_{b_n \in \mathbb{B}} A^{(b_n)}$  である．

以上により計算される画像特徴量  $c_1$ 、 $c_2$ 、 $c_3$  はそれぞれ正の実数値をとり、値が高いほど視認性が高いと考えられる．

#### 3.2.3 道路標識の見えに基づく画像特徴

道路標識の見えは視認性に大きく影響し [8]、特に道路標識の明るさ、色を考慮することは有効であると考えられる [5], [6]．一方、道路標識には様々な色や形状

の種類が存在し、ドライバはそれぞれの見えをテンプレートとしてあらかじめ学習し記憶している。そのため、テンプレートの見えに類似する道路標識ほど、視認性が高いと考えられる。

以上のことから、見えの劣化を含まない理想的な標識画像をあらかじめ道路標識の種類ごとにテンプレートとして用意しておく。そして、道路標識の種類  $k$  に応じたテンプレート  $s_k$  を用いて、明度、色度の  $s-s_k$  間の類似度  $a_1$ ,  $a_2$  をそれぞれ次式で計算する。

$$a_1 = K_1 - |\Delta \bar{L}^{*(s_k)}| \quad (8)$$

$$a_2 = K_2 - \sqrt{(\Delta \bar{a}^{*(s_k)})^2 + (\Delta \bar{b}^{*(s_k)})^2} \quad (9)$$

ここで、 $\Delta \bar{L}^{*(s_k)}$ ,  $\Delta \bar{a}^{*(s_k)}$ ,  $\Delta \bar{b}^{*(s_k)}$  は、CIELAB 色空間における  $s-s_k$  間の平均  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  の差である。また、 $K_1$  または  $K_2$  は、それぞれ式 (8), 式 (9) の右辺における第 2 項の理論的最大値である。

以上により計算される画像特徴量  $a_1$ ,  $a_2$  はそれぞれ正の実数値をとり、値が高いほど視認性が高いと考えられる。

## 4. 評価実験

提案手法の有効性を評価実験を通じて調査した。以降、実験のための準備、実験方法、実験結果を順に述べる。

### 4.1 準備：実験用データセットの作成

本実験では、交通シーンにおける見落としの危険性を考慮して、図 6 に示す警戒標識、規制標識、指示標識を対象とした。そして、対象標識を日中の様々な照明条件下で撮影して得られた車載カメラ映像から、標識領域 ( $45 \times 45$  pixels) を中央に含む 100 枚の標識周辺画像 ( $225 \times 225$  pixels) を抽出した。

視認性推定精度を定量評価するため、各画像に対する視認性評価値の真値を Thurstone の一対比較法 [14] に基づいて設定した。Thurstone の一対比較法は、心

理学の分野で開発された統計的官能検査法の一つであり、複数の試料に対する感覚量を対比較に基づいて間隔尺度化するものである。利点としては、被験者にとって判断が容易、結果の再現性が高い、微細な性質の違いに対する識別力が高いことが挙げられる。また、文字の視認性や画質の評価等に利用されているため [15]、道路標識の視認性の間隔尺度化にも適用可能であると考えられる。

本実験では、各標識周辺画像対を 4~5 名の被験者が対比較するよう調整し、65 名の被験者 (20~30 代の男女) から計 23,100 回の対比較結果を得た。そして、Thurstone の一対比較法に従い算出された間隔尺度値を  $[0, 1]$  に正規化し、これらを各画像に対する視認性評価の真値として利用した。標識周辺画像の例とそれぞれに対する真値を図 7 に示す。

### 4.2 実験方法

明るさ、色、複雑さのコントラスト [4], [9] に基づく画像特徴量  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$ 、道路標識の明るさ、色 [5], [6] に基づく画像特徴量  $a_1$ ,  $a_2$  をそれぞれ単独で利用した場合を比較手法 (5 種類) とした。また、提案手法ではこれらの画像特徴量を式 (3) により統合した。そして、比較手法と提案手法を 10 分割交差検定で評価した。具体的には、まず、前節で作成した標識周辺画像 100 枚を 10 枚ずつの計 10 セットに分割した。その後、9 セットに対する回帰により式 (3) における各係数を学習し、残りの 1 セットに対して視認性評価値を推定する操作を、10 セット分繰り返した。最終的に、真値  $[0, 1]$  に対する視認性推定値の絶対値誤差の平均 (MAE) と標準偏差 (SD) により、各手法の視認性推定精度を評価した。

### 4.3 実験結果

実験結果を表 1 に、標識周辺画像に対する視認性評価値の例を表 2 にそれぞれ示す。提案手法による MAE, SD はともに最も小さく、高精度に視認性を推定できた。このことから、単一の画像特徴を用いる従来手法 [4]~[6], [9] と比較して、各種画像特徴及びそれらの交差項を考慮した提案手法の有効性を確認した。なお、本研究は視認性に応じてドライバへの情報提供の方法を調整するシステムの実現を目指している。例えば 5 段階で情報提供の方法を切り換えるシステムにおける誤差を  $\pm 1$  段階に収めるには、視認性推定誤差が  $\pm 0.2$  以下である必要がある。提案手法では、100 枚中 98 枚の標識周辺画像に対して  $\pm 0.2$  以下の誤差で視認性を推定できていた。一方、比較手法の中で最

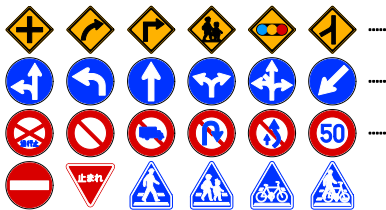


図 6 本実験で対象とする道路標識

Fig. 6 Target traffic signs in this experiment.



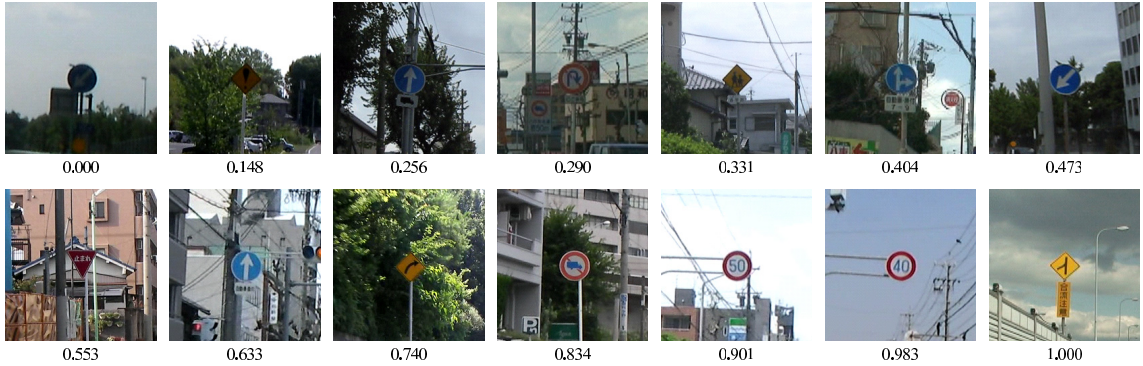


図 7 実験に使用した標識周辺画像と視認性評価の真値 [0, 1] の例  
Fig. 7 Example of the surrounding regions and their ground-truth visibility values used in this experiment.

表 1 実験結果：視認性推定精度の比較  
Table 1 Experimental result: Comparison of the visibility estimation accuracy.

手法	利用する画像特徴	MAE	SD
比較 1	明度のコントラスト [9] ( $c_1$ )	0.314	0.193
比較 2	色度のコントラスト [9] ( $c_2$ )	0.260	0.184
比較 3	複雑度のコントラスト [4] ( $c_3$ )	0.213	0.146
比較 4	道路標識の明度 [6] ( $a_1$ )	0.169	0.113
比較 5	道路標識の色度 [5] ( $a_2$ )	0.195	0.122
提案	コントラスト+見え ( $c, \alpha$ )	<b>0.082</b>	<b>0.073</b>

表 2 標識周辺画像に対する視認性評価値  
Table 2 Visibility values for surrounding regions.

手法	標識周辺画像		
比較 1	0.979	0.271	0.440
比較 2	0.569	0.339	0.280
比較 3	0.625	1.000	0.505
比較 4	0.547	0.564	0.569
比較 5	0.559	0.561	0.615
提案	<b>0.796</b>	<b>0.664</b>	<b>0.752</b>
真値	<b>0.806</b>	<b>0.713</b>	<b>0.742</b>

も高精度であった比較手法 4（道路標識の明度を利用）では、100 枚中 61 枚であった。よって、提案手法の有用性は高いと考えられる。

## 5. 考 察

提案手法における統合モデルの有効性、背景とのコントラスト及び道路標識の見えに基づく画像特徴の有効性に関してそれぞれ考察を述べる。

### 5.1 統合モデルの有効性

提案手法では、式 (1) で表される統合モデルにより、

表 3 実験結果：視認性推定精度の比較  
Table 3 Experimental result: Comparison of the visibility estimation accuracy.

手法	式 (3) で使用する項	MAE	SD
(1)	第一項のみ	0.110	0.088
(2)	第二項のみ	0.134	0.098
(3)	第一項+第二項	0.092	0.071
(4)	全て (提案)	<b>0.082</b>	<b>0.073</b>

背景とのコントラスト及び道路標識の見えに基づく画像特徴を統合利用した。この有効性に関して、以下の四つの手法による平均絶対値誤差 (MAE) と標準偏差 (SD) を比較評価した。

- (1) 式 (3) の第 1 項のみ使用
- (2) 式 (3) の第 2 項のみ使用
- (3) 式 (3) の第 1 項+第 2 項を使用
- (4) 式 (3) の全ての項を使用 (提案手法)

その結果、表 3 に示すように、各手法の視認性推定誤差は (2) > (1) > (3) > (4) となった。なお、視認性推定誤差が  $\pm 0.2$  以下であった標識周辺画像は、(1) で 91 枚、(2) で 75 枚、(3) で 95 枚、(4) で 98 枚であった。これらの結果から、提案する統合モデルの有効性を確認した。

(1), (2) > (3) に関して、t 検定の結果、(1) と (3) 及び (2) と (3) の間には有意水準 5% で有意な差が認められた。(1) は背景とのコントラストに基づく画像特徴量のみ、(2) は道路標識の見えに基づく画像特徴量のみ、(3) はその両方を利用する。よって、背景とのコントラスト及び道路標識の見えに基づく複数の画像特徴の統合は、道路標識の視認性推定に有効であると考えられる。

(3) > (4) に関して、 $t$  検定の結果、(3) と (4) の間には有意水準 5% で有意な差が認められた。(4) は、背景とのコントラストに基づく画像特徴量及び道路標識の見えに基づく画像特徴量の交差項を利用する点のみが (3) と異なる。これに関して、交差項を利用することで視認性推定精度が向上した例を表 4 に示す。同表において、画像 (a) では、背景とのコントラスト及び道路標識の見えの両者が良好な状態にあり、道路標識の視認性は高い。また、画像 (b) では、背景とのコントラストは高いものの道路標識の見えが悪い状態にあり、道路標識の視認性は低い。図 7 から分かるように、一般に背景とのコントラスト及び道路標識の見えの両者が良好な状態でなければ道路標識の視認性は高くなり、いずれか片方の状態が悪い場合には視認性は低くなる。一方、交差項は、背景とのコントラストに基づく画像特徴量及び道路標識の見えに基づく画像特徴量の積で表現される。すなわち、交差項は、両者の値が高い場合には高い値をとり、両者のうち片方の値が低い場合には低い値をとる。そのため、(4) では、交差項を利用することで両者が視認性に与える影響を直接的に評価でき、道路標識の視認性をより精度良く

推定できたものと考えられる。以上のことから、背景とのコントラスト及び道路標識の見えに基づく画像特徴量の交差項を考慮した統合は、道路標識の視認性推定に有効であると考えられる。

## 5.2 画像特徴の有効性

提案手法では、背景とのコントラストに基づく画像特徴として明るさ、色、複雑さの 3 種類を利用し、道路標識自体の見えに基づく画像特徴として明るさ、色の 2 種類を利用した。これら 5 種類の画像特徴の有効性に関して、実験に使用した標識周辺画像とそれぞれの視認性を低下させる主要因を図 8 に示す。まず、(a)~(c) では、それぞれ明るさ、色、複雑さのコントラストが低いことが主要因となり、視認性が低下している。また、(d), (e) では、それぞれ道路標識の明るさ、色の状態が悪いことが主要因となり、視認性が低下している。このように、提案手法で利用した 5 種類の画像特徴は、状況によってそれぞれ道路標識の視認性を低下させる主要因となる。視認性を高精度に推定するためには、視認性を低下させる主要因となる画像特徴を評価することが必要である。実際に、(a)~(e) に対する視認性推定誤差は、視認性低下の主要因と考えられる画像特徴を用いた比較手法では小さく、それ以外では大きくなる傾向が見られた。

これに対して提案手法では、上記 5 種類の画像特徴を全て利用する。これにより、各シーンにおいて、視認性低下の主要因となる画像特徴の影響を複合的に評価でき、高精度な視認性推定ができたものと考えられる。なお、5 種類の画像特徴のうち 4 種類を利用した場合の視認性推定誤差を調査したところ、道路標識の色以外の 4 種類を利用した場合に視認性推定誤差が最も小さかった。このときの視認性推定誤差は、MAE が 0.096, SD が 0.078 であり、提案手法の方が高精度に視認性が推定できることを確認した。このことから

表 4 交差項の利用により視認性推定精度が向上した例  
Table 4 Examples that using the cross-terms improved the visibility estimation accuracy.

手法	標識周辺画像	
	(a)	(b)
(3) 第一項+第二項	0.976	0.000
(4) 全て (提案)	<b>0.915</b>	<b>0.060</b>
真値	<b>0.910</b>	<b>0.131</b>



図 8 道路標識の視認性を低下させる要因 (視認性評価値の真値/提案手法による視認性推定値)

Fig. 8 Factors of the deterioration of traffic sign visibility (ground-truth visibility value/visibility value estimated by the proposed method).

も、提案手法で利用する 5 種類の画像特徴はいずれも道路標識の視認性推定に有効であると考えられる。

また、本研究では、1 枚の車載カメラ画像から道路標識の視認性を推定する技術に注目した。しかし、実際の走行シーンではドライバと道路標識の位置関係は常に変化する。それに伴って、ドライバから見た道路標識の大きさ、モーションコントラスト等も視認性に影響すると考えられる。そのため今後は、これらが視認性に及ぼす影響を考慮することで、更に高精度な道路標識の視認性推定手法の実現を目指す。

## 6. む す び

本論文では、車載カメラを用いた道路標識の視認性推定手法を提案した。提案手法では、背景との明るさ、色、複雑さのコントラスト及び道路標識の明るさ、色の見えを統合利用し、視認性評価値を計算する。車載カメラ映像から抽出した標識周辺画像を用いた評価実験の結果、提案手法による視認性推定誤差は 0.082 と高精度に視認性を推定できた。これにより、提案手法の有効性及び有用性を確認した。

今後は、本論文では扱わなかった道路標識の大きさ、モーションコントラスト等を考慮した更に高精度な道路標識の視認性推定手法を検討していく。また、提案手法における統合モデルのパラメータの認知科学的知見に基づく決定方法についても併せて検討していく。

**謝辞** 本研究の一部は、戦略的創造研究推進事業 CREST、科学研究費補助金、日本学術振興会特別研究員奨励費による。本研究では、画像処理に MIST ライブラリ (<http://mist.murase.m.is.nagoya-u.ac.jp/>) を利用した。

## 文 献

- [1] M. Pettitt, G. Burnett, and A. Stevens, "Defining driver distraction," Proc. 12th World Cong. on Intelligent Transport Systems, pp.1–12, Nov. 2005.
- [2] L. Fletcher, G. Loy, N. Barnes, and A. Zelinsky, "Correlating driver gaze with the road scene for driver assistance systems," Robotics and Autonomous System, vol.52, no.1, pp.71–84, July 2005.
- [3] 塩谷 真, 小田島崇, 畑岡信夫, 西本卓也, 小林哲則, "テレマティクスにおける Mind Distraction 低減のための分散型状況依存対話制御システムの検討," 第 2 回情報科学技術フォーラムイベント企画「車載情報システムにおける音声インタフェース」予稿集, Sept. 2003.
- [4] 木村文香, 目加田慶人, 高橋友和, 井手一郎, 村瀬 洋, 玉津幸政, "運転者支援のための交通信号機視認性数値化手法," 電学論 (C), vol.130-C, no.6, pp.1034–1041, June 2010.
- [5] L. Simon, J.-P. Tarel, and R. Brémond, "Alerting the drivers about road signs with poor visual saliency," Proc. 2009 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp.48–53, June 2009.
- [6] P. Siegmann, S. Lafuente-Arroyo, S. Maldonado-Bascón, P. Gil-Jiménez, and H. Gómez-Moreno, "Automatic evaluation of traffic sign visibility using SVM recognition methods," Proc. 5th WSEAS Int. Conf. on Signal Processing, Computational Geometry & Artificial Vision, pp.170–175, Sept. 2005.
- [7] N.H. Maerz and Q. Niu, "Automated mobile highway sign retroreflectivity measurement," Final Rep. NCHRP-IDEA Project 75, Feb. 2003.
- [8] Commision Internationale de l'Eclairage (CIE), "The conspicuity of traffic signs in complex backgrounds," Technical report, CIE Technical Report 137, 2000.
- [9] 日本色彩学会 (編), 新編 色彩科学ハンドブック (第 2 版), 東京大学出版会, 1998.
- [10] T. Ogawa and H. Komatsu, "Target selection in area V4 during a multidimensional visual search task," J. Neuroscience, vol.24, no.28, pp.6371–6382, July 2004.
- [11] 道満恵介, 出口大輔, 高橋友和, 目加田慶人, 井手一郎, 村瀬 洋, "色変動を考慮した生成型学習法による道路標識検出器の構築," 信学論 (D), vol.J93-D, no.8, pp.1375–1385, Aug. 2010.
- [12] H. Ishida, T. Takahashi, I. Ide, Y. Mekada, and H. Murase, "Generation of training data by degradation models for traffic sign symbol recognition," IEICE Trans. Inf. & Syst., vol.E90-D, no.8, pp.1134–1141, Aug. 2007.
- [13] M. Friedman and A. Kandel, "Threshold order-dependent clustering algorithm," Introduction to Pattern Recognition, pp.70–73, World Scientific, 1999.
- [14] 佐藤 信, 統計的官能検査法, 日科技連, 1985.
- [15] 齋藤大輔, 齋藤恵一, 納富一宏, 齋藤正男, "一対比較と判別分析を用いた Web セーフカラーの視認性予測の試み," 電学論 (C), vol.125-C, no.9, pp.1416–1421, Sept. 2005.

(平成 23 年 5 月 25 日受付, 8 月 14 日再受付)



道満 恵介 (学生会員)

平 19 名大・工・情報卒, 平 21 同大学院情報科学研究科博士前期課程了, 修士 (情報科学). 平 23 より日本学術振興会特別研究員. 現在, 同研究科博士後期課程在学中. 画像処理・パターン認識の基礎技術及びそれに基づく ITS やマルチメディアコンテンツ生成技術に興味をもつ. 平 23 本会東海支部学生研究奨励賞. IEEE 学生会員.





出口 大輔 (正員)

平 13 名大・工・情報卒。平 18 同大大学院情報科学研究科博士後期課程了。博士(情報科学)。平 16~18 まで日本学術振興会特別研究員。平 18 名大大学院情報科学研究科研究員。平 18 名大大学院工学研究科研究員。平 20 より同大助教。現在に至る。主に画像処理・パターン認識技術の開発とその ITS 及び医用応用に関する研究に従事。CARS2004 Poster Award, CADM2004 大会賞, 平 18 日本医用画像工学会奨励賞, 平 18 日本コンピュータ外科学会講演論文賞, 日本医用画像工学会, 日本コンピュータ外科学会, 日本生体医工学会各会員。



高橋 友和 (正員)

平 9 茨城大・工・情報卒。平 12 同大大学院理工学研究科博士前期課程了。平 15 同研究科博士後期課程了。博士(工学)。同年より 2 年間名古屋大学大学院情報科学研究科 COE 研究員。平 17 より 3 年間日本学術振興会特別研究員。平 20 より岐阜聖徳学園大学経済情報学部准教授。現在に至る。画像認識の基礎研究並びにその応用に興味をもつ。画像電子学会会員。



目加田慶人 (正員：シニア会員)

平 3 名大・工・情報卒。平 8 同大大学院工学研究科博士課程了。博士(工学)。同年より宇都宮大工学部情報工学科助手。平 13 名大大学院工学研究科情報工学専攻助教授。平 16 中京大学生命システム工学部教授。平 20 より情報理工学部教授。平 18 より名大大学院工学研究科特任教授を兼任。画像処理・パターン認識とその医用応用に関する研究に従事。平 10 日本医用画像工学会論文賞, 平 17 CADM 館野賞, IEEE, 日本医用画像工学会各会員。



井手 一郎 (正員：シニア会員)

平 6 東大・工・電子卒。平 8 同大大学院工学系研究科情報工学専攻修士課程了。平 12 同研究科電気工学専攻博士課程了。博士(工学)。同年国立情報学研究所助手。平 16 名古屋大学大学院情報科学研究科助教授。平 19 より准教授。この間、平 14~16 総合研究大学院大学数物科学研究科助手併任。平 16~22 情報・システム研究機構国立情報学研究所客員助教授・准教授兼任。平 17, 18, 19 フランス情報学・統計システム研究所(IRISA)招聘教授。平 22~23 オランダアムステルダム大学情報学研究上級訪問研究員。パターン認識技術の実応用や映像メディア処理全般に興味をもっている。情報処理学会, 映像情報メディア学会, 人工知能学会, 言語処理学会, IEEE Computer Society, ACM 各会員。



村瀬 洋 (正員：フェロー)

昭 53 名大・工・電気卒。昭 55 同大大学院修士課程了。同年日本電信電話公社(現 NTT)入社。平 4 から 1 年間米国コロンビア大客員研究員。平 15 から名古屋大学大学院情報科学研究科教授。現在に至る。文字・図形認識, コンピュータビジョン, マルチメディア認識の研究に従事。工博。昭 60 電子情報通信学会学術奨励賞, 平 6 IEEE-CVPR 最優秀論文賞, 平 7 情報処理学会山下記念研究賞, 平 8 IEEE-ICRA 最優秀ビデオ賞, 平 13 高柳記念奨励賞, 平 13 本会ソサエティ論文賞, 平 14 本会業績賞, 平 15 文部科学大臣賞, 平 16 IEEE Trans. MM 論文賞, 他受賞。IEEE フェロー, 情報処理学会会員。



玉津 幸政

昭 62 九工大・制御卒。同年(株)デンソー入社。車両制御システムの開発に従事後, 走行環境センシングシステムの開発に従事し, 現在に至る。