

## 運転時の人間の視野特性を考慮した 歩行者の見落としやすさ推定手法に関する検討

谷繁 龍之介<sup>†</sup> 道満 恵介<sup>††</sup> 出口 大輔<sup>†††</sup> 目加田 慶人<sup>††</sup>  
井手 一郎<sup>†</sup> 村瀬 洋<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 名古屋大学 大学院情報科学研究科, 〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町

<sup>†††</sup> 名古屋大学 情報連携統括本部, 〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町

<sup>††</sup> 中京大学 工学部, 〒470-0393 愛知県豊田市貝津町床立 101

E-mail: <sup>†</sup>tanishiger@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp, <sup>††</sup>{kdoman,y-mekada}@sist.chukyo-u.ac.jp,

<sup>†††</sup>ddeguchi@nagoya-u.jp, <sup>†</sup>{ide,murase}@is.nagoya-u.ac.jp,

あらまし 近年の歩行者検出技術の発展により、運転者に歩行者の存在を警告し、運転を支援することが可能になった。しかし、運転中に遭遇する全ての歩行者を運転者に警告することは、運転者の苛立ちや注意力低下を招くおそれがある。そのため、見落としやすい歩行者のみを運転者に警告することが重要である。本報告では、人間の視野特性を考慮して歩行者の見落としやすさを推定する手法を提案する。提案手法では、有効視野及び、周辺視野の特性の違いに適応するため、各視野において有効な画像特徴を選択し、視野毎に見落としやすさの推定器を構築する。従来手法との比較により、提案手法によって見落としやすさの推定誤差が減少することを確認した。

キーワード ITS, 運転支援, 歩行者, 見落としやすさ, 視野特性

## A study on the prediction of driver's pedestrian detectability considering characteristics of human fields-of-view while driving

Ryunosuke TANISHIGE<sup>†</sup>, Keisuke DOMAN<sup>††</sup>, Daisuke DEGUCHI<sup>†††</sup>, Yoshito MEKADA<sup>††</sup>,

Ichiro IDE<sup>†</sup>, and Hiroshi MURASE<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Information Science, Nagoya University

<sup>†††</sup> Information and Communications Headquarters, Nagoya University

Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya-shi, Aichi, 464-8601 Japan

<sup>††</sup> Faculty of Engineering, Chukyo University Tokodate, Kaidu-cho, Toyota-shi, Aichi, 470-0393 Japan

E-mail: <sup>†</sup>tanishiger@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp, <sup>††</sup>{kdoman,y-mekada}@sist.chukyo-u.ac.jp,

<sup>†††</sup>ddeguchi@nagoya-u.jp, <sup>†</sup>{ide,murase}@is.nagoya-u.ac.jp,

**Abstract** Recently, advances in pedestrian detection technology have resulted in the development of driving assistance systems that notify the drivers of the presence of pedestrians. However, warning of all existing pedestrians would interfere with the driver's concentration. Therefore, it is necessary to develop a method to predict the detectability of a pedestrian by the driver. This report proposes a method that predicts the pedestrian detectability considering the characteristics of human fields-of-view. In order to predict the pedestrian detectability precisely, the proposed method constructs a predictor specific to each fields-of-view. Comparison between the output of the proposed method and the ground-truth of pedestrian detectability showed that the proposed method significantly reduced the prediction error in comparison with the existing methods.

**Key words** ITS, driver assistance, pedestrian, detectability, fields-of-view

## 1. まえがき

近年、車載カメラや RADAR センサを用いた歩行者検出技術が発展し、運転者に歩行者の存在を警告するシステムが実用化されている。しかし、運転中に遭遇する全ての歩行者を警告すると、運転者の集中力低下や苛立ちなどの原因になり、安全な運転を妨げるおそれが報告されている [1]。そのため、運転者がどの程度歩行者を見落としやすいかを推定し、警告を取捨選択することが重要である。図 1 は歩行者毎の見落としやすさの違いを示した例である。黄の破線で囲われた歩行者は周辺とのコントラストが高く容易に見発見できるが、赤の実線で囲われた歩行者は周辺とのコントラストが低く見落とし危険性が高いと考えられる。

これまでに、車載カメラを用いた歩行者の見落としやすさの推定手法がいくつか提案されている。Engel らは、画像特徴と道路上の構造物に関する情報を用いた見落としやすさの推定手法を提案した [2]。Wakayama らは、視覚探索の特性 [3] と歩行者の動きの影響を考慮し、顕著性マップ [4] と動き特徴を用いた推定手法を提案している [5]。これらの研究では、被験者に対して 1 台のディスプレイを用いて映像を提示し、映像中の歩行者を発見させるタスクを行う。そして、発見確率に基づいて見落としやすさの目標値を設定し、手法の評価を行っている。しかし、人間の視野範囲（左右約 90°）を 1 台のディスプレイのみで提示することは困難であることから、人間の視野全体の視覚機能の影響は考慮できていない。

そこで本報告では、人間の視覚特性のうち、有効視野、周辺視野の特性の違いに着目し、視野特性に適応して歩行者の見落としやすさを推定する手法を提案する。提案手法では、視野毎に有効な特徴を車載カメラ映像から抽出し、各視野専用の推定器を用いることによって、歩行者の見落としやすさ推定の高精度化を図る。

以降、2. で視野特性に適応して歩行者の見落としやすさを推定する手法を提案する。3. で被験者実験によるデータセットの構築について述べ、4. で提案手法の有効性を検証した結果と考察について述べる。5. で本報告をむすぶ。

## 2. 提案手法

本節では、人間の視野特性に適応して歩行者の見落としやすさを推定する提案手法について述べる。まず始めに、本報告で着目する人間の視野特性について概説する。

### 2.1 人間の視野特性

人間の視野は、有効視野、周辺視野の 2 つに分類することができる。有効視野は、注視点付近の比較的明確に認知できる範囲である。有効視野よりも外側の領域は周辺視野に分類される。

以下、順に詳細を述べる。

#### 有効視野

注視点付近の視野範囲は有効視野と呼ばれ、主に人間の視覚認知はこの領域で行われる。この領域には、色を識別可能な錐体細胞が多く分布するため、人間は色の違いを細かく識別することができる。有効視野の範囲の測定については、図形の提

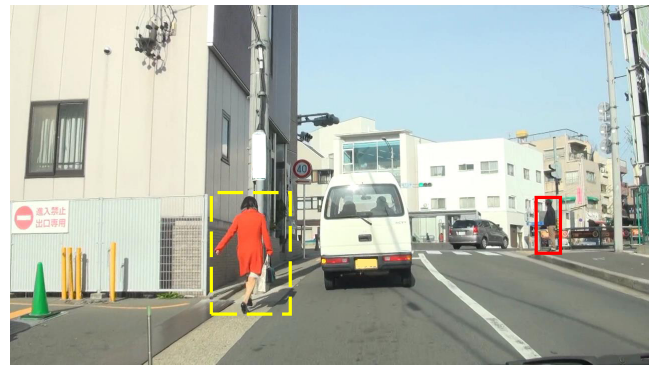


図 1 見落としやすさが異なる歩行者の例。

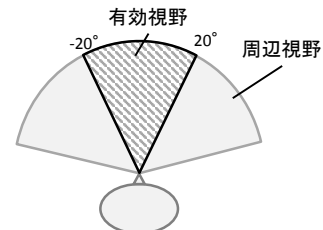


図 2 有効視野と周辺視野の範囲

示 [6] や画像の提示 [7] による測定が行われている。しかし、有効視野の範囲は注視点への注視の強さや精神状態によって変化するとされており、運転時においても視界中の環境の複雑さなどによって変化することが報告されている [8]。しかし、有効視野の範囲をリアルタイムに測定することは困難である。そのため、本報告では三浦ら [8] の報告に基づき、有効視野の範囲を注視点から左右 20° の範囲とする（図 2）。

#### 周辺視野

周辺視野は、有効視野よりも外側の視野領域である。この領域には微小な光に対しても鋭敏な桿体細胞が多く分布し、錐体細胞は少ない。また、周辺視野での視細胞の分布は有効視野の分布と比べ疎であるため、空間解像度が低くなる。そのため、人間は周辺視野において色の違いを識別することが難しく、物体を明確に知覚することはできない。しかし、桿体細胞の特性により、微小な光の変化に対して鋭敏に反応する。そのため、物体の動きに対しては有効視野よりも鋭敏に反応することができる。

### 2.2 提案手法の概要

図 3 に提案手法の処理手順を示す。提案手法では、車載カメラで撮影した映像から画像特徴を抽出し、推定器により各歩行者の見落としやすさを推定する。

具体的には、まず車載カメラで撮影された映像と、歩行者の位置、運転者の注視点位置を入力する。歩行者の位置は、既存の歩行者検出手法 [9] により求める。ただし、本報告ではこれらの手法を用いて検出済であると仮定し、歩行者の位置を手動で入力した。そして、車載カメラ映像から歩行者の見落としやすさに影響すると考えられる画像特徴を抽出する。最後に、特徴量を推定器に入力することで、歩行者の見落としやすさを推定する。以降の節で、提案手法の詳細について述べる。

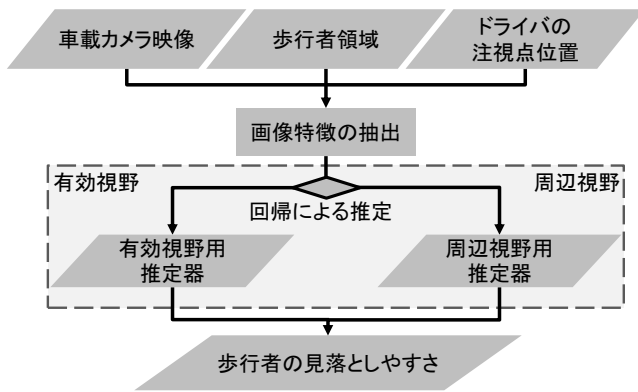


図3 提案手法の処理手順

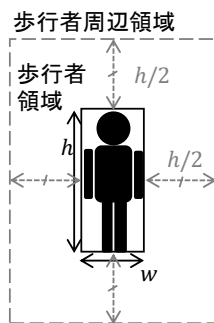


図4 歩行者領域と歩行者周辺領域

### 2.3 画像特徴

車載カメラ映像から次の3つの画像特徴を抽出する。

- (A) 有効視野の特性から有効性が期待される特徴  
歩行者領域の輝度や色に関する特徴
- (B) 周辺視野の特性から有効性が期待される特徴  
歩行者の動きに関する特徴
- (C) 視野に依存しない特徴  
歩行者の形状（歩容）や位置関係に関する特徴

上記の分類は、有効視野、周辺視野それぞれの特性を考慮し、各視野において特に有効であることが期待される特徴の分類である。しかし、他の視野においても特徴が有効である場合も考えられるため、本報告では、本節で述べる全ての特徴の中から有効視野、周辺視野それぞれにおいて有効な特徴を選択する。評価実験において特徴の有効性と視野特性の相関について仮定の検証を行う。特徴の選択方法については、2.7節で述べる。

表1に、用意した特徴の一覧を示す。ここで図4に示すように、歩行者の外接矩形を歩行者領域とし、歩行者領域周辺の一定の領域を周辺領域とする。

以降、各特徴について順に述べる。

#### 2.4 有効視野の特性から有効性が期待される特徴

有効視野は、空間解像度が高く、色の違いを明確に識別することができる。そのため、歩行者の見落としやすさの推定においても、歩行者の色やテクスチャなどの情報が有効になると考えられる。

そこで、有効視野の特性から有効性が期待される特徴として、平均輝度、平均色、輝度勾配強度、グレイテクスチャ特徴を用

表1 用意した特徴

特徴の分類	特徴の略記号	内容
有効視野の特性から有効性が期待される特徴	$C_{\mu(\text{lum})}$ $C_{\mu(\text{col})}$ $C_{\text{edge}}$ $C_{\text{tex}}$	歩行者領域、周辺領域の平均輝度、平均色 (Lab), 輝度勾配強度, テクスチャの差分
周辺視野の特性から有効性が期待される特徴	$M_{\text{opt}}$ $M_{\text{move}}$ $M_{\text{lum}}$	動きヒストグラム 歩行者の移動量 (水平方向) 歩行者領域の輝度の時間変化
視野に依存しない特徴	$P_{\text{width}}$ $P_{\text{height}}$ $N$ $D_{(p,c)}$ $D_{(p,p')}$	歩行者の幅 歩行者の高さ 映像中の歩行者数 注視点からの距離 最近傍の歩行者との距離

意した。Paulmierらは、物体の視認性には対象物体と周辺の差が影響することを報告している [10]。提案手法においても、上記の特徴を歩行者領域、歩行者周辺領域それぞれで計算し、領域間の差を特徴とする。

対象物体と周辺の輝度差、色差を表現する特徴として、平均輝度の差  $C_{\mu(\text{lum})}$ 、平均色の差  $C_{\mu(\text{Lab})}$  を特徴にした。背景領域との輝度差が小さい歩行者は、運転者が見落としやすさと考えられる。また、輝度値が同じ物体でも、色が異なることによって見落としやすさが変化すると考えられる。そのため、平均色の差を特徴に用いる。ここでは色空間として、人間の知覚に近い色空間である  $L^*a^*b^*$  を用いる。

物体の見えの複雑度を表す特徴として、輝度勾配強度  $C_{\text{edge}}$  を用意した。周辺の背景が複雑な見えをしているほど、歩行者を見つけることが難しくなると考えられる。

物体のテクスチャを表す特徴として、グレイテクスチャ特徴を用意した。対象物体と周辺の背景のテクスチャが類似している場合は対象物体を見落としやすくなると考えられる。

以下、順に各特徴量の計算方法について述べる。

#### (a) 平均輝度の差: $C_{\mu(\text{lum})}$

歩行者領域の平均輝度  $\mu(P)$  と、歩行者周辺領域の平均輝度  $\mu(B)$  を計算する。そして、次式のように  $\mu(P)$  と  $\mu(B)$  の差の絶対値を、平均輝度の差  $C_{\mu(\text{lum})}$  とする。

$$C_{\mu(\text{lum})} = |\mu(P) - \mu(B)|$$

ここで、 $|\cdot|$  は絶対値を表す。また輝度値は各ピクセルの RGB 各成分の平均とする。

#### (b) 平均色 (Lab) の差: $C_{\mu(\text{col})}$

歩行者領域の各ピクセルの  $L^*a^*b^*$  色空間における各成分の平均  $\mathbf{v}_{P(\text{col})}$  と、歩行者周辺領域での平均  $\mathbf{v}_{B(\text{col})}$  を計算する。ここで、 $\mathbf{v}_{P(\text{col})}, \mathbf{v}_{B(\text{col})} \in \mathbf{R}^3$  である。そして、次式のように  $\mathbf{v}_{P(\text{col})}$  と  $\mathbf{v}_{B(\text{col})}$  の差を計算し、平均色の差  $C_{\mu(\text{col})}$  とする。

$$C_{\mu(\text{col})} = \sqrt{\|\mathbf{v}_{P(\text{col})} - \mathbf{v}_{B(\text{col})}\|^2}$$

ここで、 $\|\cdot\|^2$  はベクトルの L2 ノルムを表す。

#### (c) 輝度勾配強度の差: $C_{\text{edge}}$

グレースケール画像に Sobel フィルタを適用し、歩行者領域、

歩行者周辺領域内の画素間の輝度差の平均を求め、平均輝度勾配強度  $P_{\text{edge}}$ ,  $B_{\text{edge}}$  とする. そして, 次式のように  $P_{\text{edge}}$  と  $B_{\text{edge}}$  の差の絶対値を, 輝度勾配強度の差  $C_{\text{edge}}$  とする.

$$C_{\text{edge}} = |P_{\text{edge}} - B_{\text{edge}}|$$

ここで,  $|\cdot|$  は絶対値を表す.

**(d) グレイテクスチャ特徴の差:  $C_{\text{tex}}$**

濃度共起行列を用いてグレイテクスチャ特徴を計算する. ここで濃度共起行列は, 画像中の相対的な位置関係  $\delta = (D_x, D_y)$  にある 2 つの画素の組における濃度の配置の関係を表す行列である. 濃度  $a$  の点からある一定の位置関係にある点の濃度が  $b$  である確率  $P_{\delta(a,b)}$  を  $(a, b)$  ( $a, b = 0, 1, 2, \dots, k$ ) の要素にもつ.  $k$  は濃度レベル数を表し, ここでは 32 とする. 画像中の全ての位置関係を濃度共起行列で表現すると情報量が多いため, 一般的に  $\delta$  として  $(1, 0)$ ,  $(0, 1)$ ,  $(1, 1)$ ,  $(1, -1)$  の 4 つの変位が用いられる. 次式のように歩行者領域, 歩行者周辺領域それぞれの濃度共起行列  $M_P$ ,  $M_B$  の差分を計算し, グレイテクスチャ特徴の差  $C_{\text{tex}}$  とする.

$$C_{\text{tex}} = \sum_{a=0}^k \sum_{b=0}^k (M_P(a, b) - M_B(a, b))^2$$

**2.5 周辺視野の特性から有効性が期待される特徴**

人間の周辺視野においては, 有効視野に比べ空間解像度が低く, 色の違いを明確に識別することは難しい. しかし, 微小な輝度変化にも鋭敏に反応することができ, 物体の動きや光の明滅に対しては有効視野よりも敏感であるという特性がある. そのため, 歩行者の見落としやすさの推定においても, 歩行者の動きの情報が有効であると考えられる.

提案手法では, 周辺視野の特性から有効性が期待される特徴として, 動き Histogram の差, 歩行者の水平方向の移動量, 歩行者領域の輝度の時間変化を推定に用意した.

以下, 順に各特徴量の計算方法について述べる.

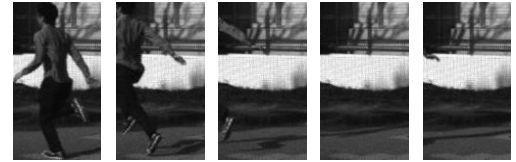
**(a) 動き Histogram の差:  $M_{\text{opt}}$**

歩行者領域, 歩行者周辺領域の動き Histogram の差を特徴に用いる. 動き Histogram にはオプティカルフローを用いる. 計算手順は以下の通りである.

- (1) 動画画像中の隣り合う 2 フレーム  $I_t$  と  $I_{t+1}$  を使用し, オプティカルフローを計算する.
- (2)  $I_t$  における歩行者領域, 歩行者周辺領域のオプティカルフローの正規化 Histogram  $H_{\text{opt}(P,t)}$ ,  $H_{\text{opt}(B,t)}$  を作成する.
- (3) 次式により, 動き Histogram の差  $M_{\text{opt}}$  を計算する.

$$M_{\text{opt}} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N d(H_{\text{opt}(P,t)}, H_{\text{opt}(B,t)})$$

ここで,  $N$  は映像フレーム数,  $d(H_1, H_2)$  は 2 つの Histogram 間の距離を表す. 提案手法では, Histogram 間の距離に Bhattacharya 距離を用いる. Histogram は, オプティカルフローの方向を  $22.5^\circ$  毎に分割した 16 ビンからなる.



Frame:  $t$   $t+1$   $t+2$   $t+3$   $t+4$   
図 5 歩行者領域の輝度変化の例

**(b) 歩行者の水平方向の移動量:  $M_{\text{move}}$**

歩行者領域の重心位置の移動量を次式のように計算する.

$$M_{\text{move}} = |P_{x(t+\Delta t)} - P_{x(t)}|$$

ここで,  $P_{x(t)}$  は  $t$  フレーム目における水平方向の歩行者の重心位置である. ここでは,  $\Delta t = 5$  とする.

**(c) 歩行者領域の輝度の時間変化:  $M_{\text{lum}}$**

図 5 に示すように, 歩行者が動くことによって, 前フレームで歩行者がいた領域の輝度は変化する. そのため, 歩行者領域の輝度の時間変化は, 歩行者の動きを表現する特徴として有効であると考えられる. 提案手法では, あるフレームにおける歩行者領域の輝度値と,  $\Delta t$  フレーム後の同じ位置の輝度値の差を特徴に用いる. 計算式は次式の通りである.

$$M_{\text{lum}} = |P_{\text{lum}}(p, t + \Delta t) - P_{\text{lum}}(p, t)|$$

ここで,  $P(p, t)$  は  $t$  フレーム目における領域  $p$  の平均輝度値である. 領域  $p$  は,  $t$  フレーム目における歩行者領域である. ここでは,  $\Delta t = 5$  とする.

**2.6 視野に依存しない特徴**

上記の 2 つの特徴に加えて, 歩行者の形状や位置を表現する特徴は有効視野・周辺視野どちらにおいても有効であると考えられる.

提案手法では, 歩行者の幅  $P_{\text{width}}$ , 歩行者の高さ  $P_{\text{height}}$ , 映像内の歩行者数  $N$ , 注視点  $c$  から歩行者  $p$  への距離  $D_{(p,c)}$ , 歩行者  $p$  と最近傍の歩行者  $p'$  との距離  $D_{(p,p')}$  を用意した. 以下に各特徴量の計算方法について述べる.

**(a) 歩行者の幅, 高さ:  $P_{\text{width}}$ ,  $P_{\text{height}}$**

対象である歩行者が, 運転者から大きく見えるほど見つけやすいと考えられる. また, 歩行者の歩容や自転車との距離によって, 歩行者の幅や高さは異なる. そのため, 歩行者の幅  $P_{\text{width}}$  と歩行者の高さ  $P_{\text{height}}$  をそれぞれ特徴に用いる.

**(b) 歩行者数:  $N$**

視界に歩行者が多いほど, 各歩行者の位置を正確に把握することは難しくなると考えられるため, 特徴として歩行者数  $N$  を用いる.

**(c) 注視点からの距離:  $D_{(p,c)}$**

注視点から離れたところに位置する歩行者ほど正確な位置を把握することは難しくなると考えられる. そのため, 注視点と各歩行者の視角を計算し,  $D_{(p,c)}$  とする.

**(d) 歩行者と最近傍の歩行者との距離:  $D_{(p,p')}$**

点在して単独の歩行者が存在する場合と集団の歩行者の場合では, 集団の方が見つけやすいと考えられる. そのため, 各歩行者から最も近い他の歩行者までの画像上の Euclid 距離を計



図 6 車載全方位カメラで撮影した画像例

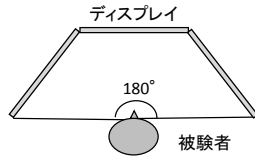


図 7 被験者実験のディスプレイ配置

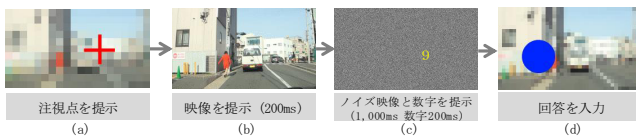


図 8 被験者実験の手順

算し、 $D_{(p,p')}$  とする。映像中に歩行者が 1 人のみ存在する場合には値を 0 とする。

## 2.7 学習段階

本節では、推定器の学習について述べる。見落としやすさの推定方法には、サポートベクトル回帰 (SVR : Support Vector Regression) [11] を用いる。SVR には LIBSVM [12] を利用する。推定器は、学習用データの車載カメラ映像から抽出した画像特徴と、各歩行者の見落としやすさの目標値から学習される。本報告では、人間の視野特性に適合して推定を行うために、視野毎に推定に有効な画像特徴を求め、推定器を構築する。変数減少法により有効な画像特徴の選択を行い、推定誤差を最小にする特徴の組み合わせを求める。

## 2.8 推定段階

推定段階では、車載カメラ映像中に存在する歩行者毎に、2.3 節で述べた特徴を抽出する。そして、特徴量を推定器に入力し、歩行者の見落としやすさの推定値を得る。

## 3. 被験者実験によるデータセットの構築

本節では、見落としやすさの目標値を設定するために行った被験者実験について述べる。初めに、被験者実験に用いた車載カメラ映像データについて述べ、次に被験者実験の方法について述べる。人間の視野特性の影響について評価を行うため、3 台のディスプレイを図 7 に示すように配置し、被験者に映像を提示する実験を行った。

### 3.1 車載カメラ映像データ

実験に使用した映像データについて述べる。映像の撮影は、全方位カメラを自動車のボンネット上に設置し、自動車を走行しながら撮影を行った。カメラは、Point Grey 社製の全方位パノラマカメラ Ladybug5 を使用した。使用したカメラには水平方向に 5 台、天頂方向に 1 台の計 6 台のカメラが搭載されており、全天球の画像を取得可能である。本被験者実験においては、このうち水平前方向きの 3 台のカメラ分の領域の画像を切り出して使用した。データ収集には、豊田市交通安全学習セン

ター内の一般的な市街地を模したコースを利用し、日中に撮影を行った。撮影した画像例を図 6 に示す。撮影した映像から、歩行者が写っている区間を抽出し、その中から歩行者に遮蔽がない映像を選択した。作成したデータセットは、歩行者を含む映像 111 本、それらに含まれる総歩行者数 185 人である。被験者実験には、歩行者を含まない映像 9 本を加えた 120 本を用いた。

### 3.2 被験者実験

被験者実験では、前節で述べた車載カメラ映像を被験者に提示し、歩行者の存在位置を回答させた。

実験の手順を図 8 に示す。以下にその具体的な内容を示す。

- (1) 「+」を中央の画面中のある位置に 1 秒間提示し、被験者に注視させて視線を固定する。背景画像として、提示する映像の 1 フレーム目を低解像度化した画像を表示する。
- (2) 映像を 0.2 秒間提示し、被験者に映像中の歩行者を視線を動かさずに視認させる。
- (3) 映像の提示後の残像を抑制するため、ノイズ映像を 1 秒間提示する。手順 (2) で被験者の視線が固定されていたことを保証するために、手順 (1) で提示した十字と同じ位置に 1 桁の数字を、初めの 0.2 秒間に提示する。
- (4) 被験者に歩行者がいたと判断した位置と、提示された数字を入力させる。入力時間に制限はなく、入力の修正は自由に行えるものとする。また、複数の歩行者位置を回答することも可能である。

上記の手順に加え、20 問毎に被験者の回答後に正解の歩行者位置を提示した。そして、疲労の影響を抑制するため、実験を 2 部に分け、その間に被験者に 2 分以上の休憩をとらせた。

この実験を、8 名の被験者 (20 代男女) に対して行った。各歩行者について、被験者の正解率を基に次式のように見落としやすさ (推定の目標値) を設定した。

$$\text{歩行者の見落としやすさ} = 1 - \frac{\text{正解した被験者数}}{\text{総被験者数 (8 人)}}$$

構築した 185 人の歩行者についてのデータセットを、提案手法の評価実験に用いた。

## 4. 手法の有効性の評価実験及び考察

被験者実験により構築したデータセットを基に、提案手法の有効性を評価した。比較手法として、視野特性を考慮しない、単一の推定器のみを用いる従来の手法を用いた。

まず、目標値と推定した見落としやすさの値の平均絶対誤差 (MAE) を図 9 に示す。評価方法は 10 分割交差検定を用いた。表の結果から、視野毎に有効な画像特徴を求め、専用の推定器を構築することで、推定精度が向上したことがわかる。

視野毎の有効な特徴の組み合わせに関する比較の一部を表 2

表 2 視野毎の有効な特徴の比較 (一部)

特徴	$C_{\mu}(\text{lum})$	$C_{\mu}(\text{col})$	$M_{\text{move}}$	$M_{\text{lum}}$	$P_{\text{height}}$	$D_{(p,c)}$
有効視野	✓	✓				✓
周辺視野			✓	✓	✓	✓

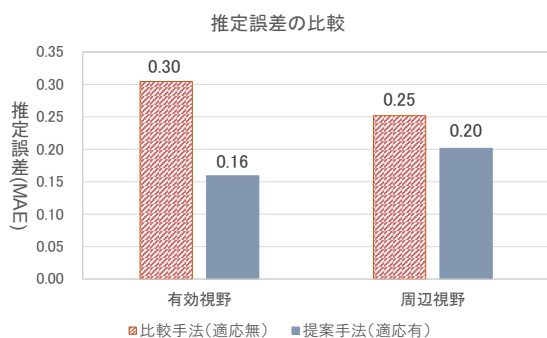


図 9 推定誤差の比較

に示す。特徴の有効性の傾向として、以下のような結果が得られた。

- (1) 有効視野では、輝度や色の特徴が有効
- (2) 周辺視野では、歩行者の動きを表現する特徴が有効
- (3) 両視野において、歩行者の位置に関する特徴 ( $D_{(p,c)}$ ) は有効。

これは、2.1 節で述べた人間の視野特性に関する知見に則した結果である。この結果からも、歩行者の見落としやすさの推定において、人間の視野特性を考慮する重要性が確認された。

次に、データセットの一例を図 10 に示す。図 10 中の歩行者 (A ~ C) について、推定誤差を表 3 に示す。歩行者 B, C では推定精度の向上を確認できたが、歩行者 A (見落としやすさ 0.25) では確認できなかった。この原因として、歩行者 A が注視点からの視角約  $19^\circ$  に位置し、有効視野と周辺視野の境界付近に位置することが考えられる。提案手法では歩行者の位置によって識別器を切り替えて推定を行ったが、有効視野、周辺視野の境界付近の歩行者に関しては、両方の視野特性が影響すると思われる。そのため、境界付近の歩行者に対しては、両推定器の出力を統合するなどの方法によって、推定精度の改善が期待される。

## 5. まとめ

本報告では、安全運転支援のために運転者への過剰な警告を防止することを目的として、人間の視野特性を考慮して歩行者の見落としやすさを推定する手法を提案した。被験者実験により構築したデータセットを用いて提案手法の評価を行った。評価実験の結果より、視野毎に有効な画像特徴を選択し、専用の推定器を学習することによって、推定精度が向上することを確認した。今後の課題として、性別や年齢による個人差の影響や、他の視覚特性の影響に関する検討、より大規模な被験者実験による手法の評価などがあげられる。

謝辞 日頃より熱心に御討論頂く名古屋大学村瀬研究室諸氏に深く感謝する。本研究の一部は、JST 戦略的創造研究推進事業 CREST, JST 名古屋大学 COI, 科学研究費補助金による。

表 3 図 10 中の歩行者の推定誤差比較

歩行者	推定値との絶対誤差	
	従来手法	提案手法
A	0.15	0.17
B	0.76	0.12
C	0.10	0.02

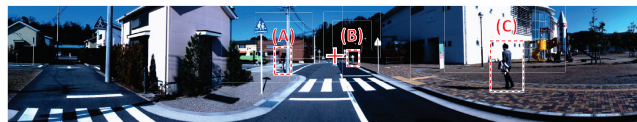


図 10 データセットの一例。十字は注視点位置を表す。

## 文 献

- [1] 北村 康弘, 畑山 俊輝, “自動車運転時の聴覚情報への対応課題がドライバーに与える影響 —生理的・行動的变化から—,” 国際交通安全学誌, vol.30, no.3, pp.327–332, Sep. 2005.
- [2] D. Engel and C. Curio, “Detectability prediction in dynamic scenes for enhanced environment perception,” Proc. 2012 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp.178–183, Jun. 2012.
- [3] Wolfe, “Visual search,” In H. Pashler, editor, Attention pp.13–73, University College London Press, 1998.
- [4] L. Itti, C. Koch, and E. Niebur, “A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis,” IEEE Trans. on Pattern Analysis & Machine Intelligence, vol.20, no.11, pp.1254–1259, Nov. 1998.
- [5] M. Wakayama, D. Deguchi, K. Doman, I. Ide, H. Murase, and Y. Tamatsu, “Estimation of the human performance for pedestrian detectability based on visual search and motion features,” Proc. 21st IAPR International Conference on Pattern Recognition, pp.1940–1943, Nov. 2012.
- [6] M. Ikeda and T. Takeuchi, “Influence of foveal load on the functional visual field,” Perception & Psychophysics, vol.18, no.4, pp.255–260, Jul. 1975.
- [7] S. Saida and M. Ikeda, “Useful visual field size for pattern perception,” Perception & Psychophysics, vol.25, no.2, pp.119–125, Mar. 1979.
- [8] 三浦 利章, “視覚的注意と安全性:有効視野を中心として,” 照明学誌, vol.82, no.3, pp.180–184, Mar. 1998.
- [9] N. Dalal and B. Triggs, “Histograms of oriented gradients for human detection,” Proc. 2005 IEEE Computer Society Conf. on Computer Vision & Pattern Recognition, vol.1, pp.886–893, Jun. 2005.
- [10] G. Paulmier, C. Brusque, V. Carta, and V. Nguyen, “The influence of visual complexity on the detection of targets investigated by computer generated images,” Lighting Research & Technology, vol.33, no.3, pp.197–205, Sep. 2001.
- [11] A.J. Smola and B. Schölkopf, “A tutorial on support vector regression,” Statistics & Computing, vol.14, no.3, pp.199–222, Aug. 1998.
- [12] C.-C. Chang and C.-J. Lin, “LIBSVM: A library for support vector machines,” ACM Trans. on Intelligent Systems & Technology, vol.2, no.27, pp.1–27, Apr. 2011.