

## 色フィルタとテクスチャ解析を用いた動画像からの道路標識の抽出

三輪道雄<sup>†</sup> 大原知之<sup>†</sup> スカンヤ ポンスーパツ<sup>†</sup> 石井雅博<sup>†</sup> 小池康晴<sup>†</sup> 佐藤誠<sup>†</sup>

東京工業大学精密工学研究所

本稿では、道路を走行する車から撮影した動画像から標識を効率良く安定に抽出する方法について述べる。標識設置方法は法律によって決められており、決められた色に塗られている、特別な位置に設置されている、単色の背景に文字が規則正しく並んでいる、といった特徴を持っている。道路を撮影した動画像には大量の動画フレームが含まれており、同じ標識が少しずつ位置を変えながら数多くのフレームに撮影されている。この中から、一つの標識について最適に撮影された動画フレームを一枚だけ抽出するのが本論文の目的である。標識が最も大きく撮影されているフレームの選択は色フィルタと検出ウインドウを組み合わせることによって可能である。また標識以外のものは適切なテクスチャ解析を用いる事によってほぼ排除することができる。

### Extracting a traffic sign from the video stream using color filtering & texture analysis

Michio MIWA Tomoyuki OOHARA Phonsuphap SUKANYA  
Masahiro ISHII Yasuhiro KOIKE Makoto SATO

P & I Laboratory, Tokyo Institute of Technology

This paper describes a method for extracting a traffic sign from a video stream that is taken from the car running on the road. We focused on the features of a traffic sign. After examining Japanese traffic sign's rule book, we found three distinctive features. It is painted in special colors. It is set at regulated position and height. It has a textural characteristic because fonts are placed regularly. We made an experimental system which composed of three modules: A color filter which extracts the traffic sign's color and has robustness with respect to light changing, a histogram analysis which analyzes the extracted pixels from the color filter and finds a traffic sign, a textural analysis which distinguish the traffic sign from other object. Robustness and the effectiveness of our method was confirmed by an experiment.

#### 1. まえがき

道路を撮影した動画像から標識を抽出することができれば、道路管理用の画像データベースを作成したり、カーナビゲーション用の画像を作成したりすることができる。この際、大量の動画フレームの中から標識の画像をもれなく精度よく抽出する必要がある。動画像の中から特徴のあるものを抽出する方法としては、色情報を用いる方法がある。色情報を用いること

により、カメラの視点が多少変化しても物体を追跡することができる<sup>1,3)</sup>。道路標識を、RGB空間の色強度を比較して赤い色のみを抽出する研究がある<sup>1)</sup>。また、道路標識の形を利用して認識する研究としては円形度を求めて行う研究がある<sup>2,3,4)</sup>。しかし、色や形のみでの比較では道路脇に同じような色や形のものが存在していたとき、標識と区別することが困難である。複数の動画フレームを利用する例としては、時空

間画像に対してスリットを設定する事により空間中の直線成分のみを抽出する研究がある<sup>5)</sup>。しかし、直線成分の抽出のみでは陸橋やビルの直線成分と標識の直線成分を区別することが困難である。

本論文では、道路標識の持つ特徴である、周囲の自然物と比較して特徴のある色に着色されていること、道路に対して決められた位置に設置されていること、同じ色の背景に規則正しく文字が並んでいることを利用して、3つの手法を組み合わせる事により標識をもなく精度よく抽出する方法について述べる。第1の手法は、光源の変化に強く周囲の自然物体に反応しにくい色フィルタである。第2の手法は、大量の動画フレームから標識が撮影されている最適の画像を抽出する検出ウインドウである。第3の手法は、第2の手法までで選択された画像の中から標識と標識以外のものを高精度に識別するテクスチャ解析である。以下、第2章で本論文で対象とする標識を整理し標識抽出の方針について述べる。第3章から第5章ではそれぞれ3つの手法について述べ、第6章で実験結果について述べる。

## 2. 標識の特徴と探索の方針

### 2.1 標識の特徴

本論文では道路標識のうち、道路上に覆い被さるよう設置されているF型と門型<sup>6)</sup>を認識対象とする。F型、門型の標識の場合、高さは5.0mである。また、標識の縦の長さは2m前後、横幅は3mから6m程度である。

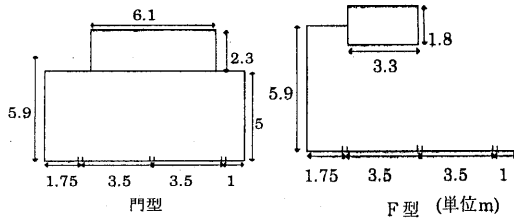


図1 典型的な道路標識  
Typical road mark

色は用途に応じて、赤、緑、青が使われているが、正しくは、表1のように決められている<sup>6)</sup>。

表1 道路交通標識に用いる表面色

表面色	赤	黄	緑
	(0.56,0.39)	(0.47,0.45)	(0.24,0.43)

各色はx y色度図上の値を示す

標識の文字は表2のように決められている<sup>6)</sup>。文字から標識の端までの間には、文字の大きさの0.5から1倍程度の余白を設けている。このように標識では文字が規則正しく並んでおり、テクスチャとしての特徴がある。

表2 文字の大きさ

漢字の大きさ	30cm
ローマ字 (大文字)	漢字の大きさの1/2
(小文字)	大文字の3/4程度
数字	漢字の大きさの1倍、0.7倍、0.5倍

### 2.2 標識の抽出の課題と方針

移動する車から撮影した動画像から道路標識を抽出する際の課題としては(1)大量の動画フレームから標識を探し出す必要がある、(2)同じ標識を撮影した画像が多数ある、(3)周囲の風景に標識と似通った画像が存在する、といったことがある。

車に搭載したビデオカメラから道路を撮影した場合、道路上にある標識はカメラに近付き、ついには視野から消えていく。標識は特徴のある色に着色されているので、画像周辺を通過する画素を調べれば標識の通過を知ることができると考えられる。そこで、本研究では、次のような手順で標識を認識することにする。(1)画像上部に検出ウインドウを設定し、このウインドウ内の画素を標識の色に反応しやすい色フィルタによって調べる。(2)色フィルタに該当した画素の数は、標識が最も大きく撮影されている時極大になると考えられるのでこの画像を抜き出す。(3)この結果得られた画像には標識以外のものが含まれていることがあるので、テクスチャ解析を施すことによって、標識以外のものを取り除く。

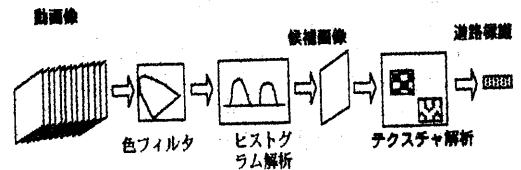


図2 標識抽出の手順  
Pic.2 The process of recognizing the road mark

### 3. 色フィルタの設計

色の度合いはx y色度図上で表すことができる。カメラによって観測される色の度合いは、物体の持つ色度と光源の色度の合成によって求める事ができる<sup>7, 8)</sup>。標識の色度は先に述べたように表1のように決まっている<sup>6)</sup>。一方、光源の色は光源の持つ温度に

よって決まり、色度図上では黒体軌跡と呼ばれる(1)式に沿って移動することが知られている<sup>9, 10)</sup>。

$$B(x) = -3.000x^2 + 2.870x - 0.275 \quad (1)$$

例えば、光源の特性を決めるものとして標準照明光A、B、C、D<sub>65</sub>設定されており、これらの色は黒体軌跡上にある。表3にこれを示す。この結果、カメラによって観測される標識の色は、図3の黒体軌跡と標識の色の間にあることになる。

ところで、光源以外の野外自然物体の色度分布は、図3のように分布している<sup>10)</sup>。空などの野外自然物は黒体軌跡周辺に分布していることが分かる。

表3

照明光	内容	絶対温度	x	y
A	完全放射体 (黒体輻射)	2856K	0.4476	0.4074
B	直射日光	4870K	0.3484	0.3516
C	平均の昼光	6770K	0.3101	0.3163
D <sub>65</sub>	太陽の光と 全天空からの 光全てを集めたもの	6500K	0.3127	0.3290

本システムでは標識の通過が色フィルタによって検出できれば良く、野外自然物体との区別ができる程度の範囲を設定すればよいので、範囲としては、 $y > B(x) + 0.05$ 、 $x < 0.33$ 、 $y > 0.25$ としている。

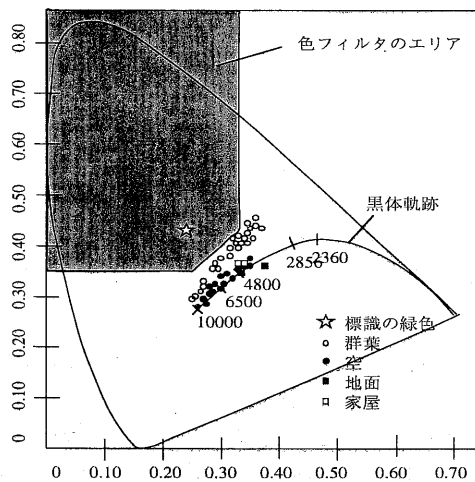


図3 色フィルタの範囲  
Fig.3 The area of color filter

#### 4. 検出ウインドウの位置と大きさ

次に、色フィルタを設定するウインドウの位置と大きさについて検討する。単純なモデルとして、標識は

F型で道路の左車線の上部中央にあるものとし、車は左車線を走行しているとする。標識中央の路面に世界座標系(X, Y, Z)の原点を置き、垂直方向にY軸、道路と平行でカメラの方向にZ軸、YZ平面に垂直にX軸を取る。これに対してカメラの座標系(x', y', z')は視点に原点を取り、z軸は世界座標のZ軸と等しく、x軸y軸は各々世界座標系のX軸Y軸と平行に取る。視点の位置は世界座標系で(0, 0, L)、カメラの投影面は視点からfの位置にあるとする。標識とビデオカメラで撮影した画像の関係を図4に示す。

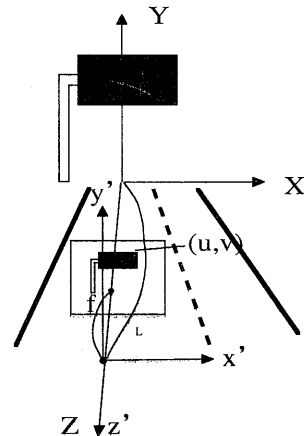


図4 標識とビデオカメラで撮影した画像の関係

Fig.4 The relation of a road mark and a video camera

この時、世界座標系の物体の点P(x, y, z)に対応する画像上の点P'(u, v)は

$$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f \frac{x}{z} \\ f \frac{y}{z} \end{pmatrix}$$

によって表すことができる。

標識の上端までの高さを $h_1$ 、下端までの高さを $h_2$ とする。検出ウインドウの上端と下端を画像の中心から $H_1$ 、 $H_2$ とし、画像の高さを $2H_0$ とする(図5)。

標識の幅を $u_0$ とすると標識の上端、下端、および幅は $f h_1 / L$ 、 $f h_2 / L$ 、 $f u_0 / L$ によって表される。

カメラが標識に近づく時、検出ウインドウ内の標識の面積は図5のように $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$ 、 $S_4$ の4つのケースが考えられ式(2)から(5)となる。この時 $L_1$ は標識がウインドウにかかり始めた時、 $L_2$ は標識

の上端がウインドウの上端に重なった時、 $L_3$ はウインドウの下端と標識の下端が重なった時、 $L_4$ はウインドウの上端に標識の下端が重なった時を示している。

$$S_1 = \frac{f}{Z} u_0 \left( \frac{f}{Z} h_1 - H_2 \right) \quad (L_2 < Z < L_1) \quad (2)$$

$$S_2 = \frac{f}{Z} u_0 (H_1 - H_2) \quad (L_3 < Z < L_2) \quad (3)$$

$$S_3 = \frac{f}{Z} u_0 \left( \frac{f}{Z} h_1 - \frac{f}{Z} h_2 \right) \quad (L_2 < Z < L_3) \quad (4)$$

$$S_4 = \frac{f}{Z} u_0 \left( H_1 - \frac{f}{Z} h_2 \right) \quad (L_4 < Z < L_3) \quad (5)$$

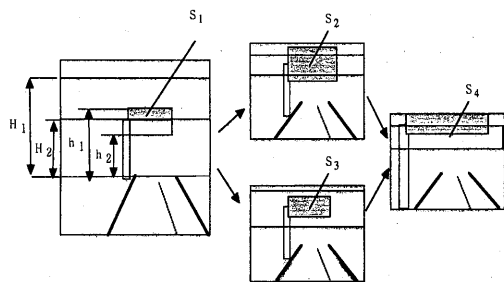


図5 ウインドウを通過する標識の面積

Fig.5 An are of road mark in the detection window

検出ウインドウ内の標識の面積を示す曲線は、カメラが移動するに従って、 $S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow S_4$  (標識がウインドウからはみだす場合、図6)、 $S_1 \rightarrow S_4$  (標識とウインドウが同じ場合、図7)、または  $S_1 \rightarrow S_3 \rightarrow S_4$  (標識がウインドウより小さい場合、図8) と変化する。標識の位置を検出しやすいのは、ヒストグラム曲線が最も単純な形となる図7の場合である。この時  $S_2 = S_3$  となり、(3) および (4) 式から

$$Z(H_1 - H_2) = f(h_1 - h_2) \quad (6)$$

となる。この時のカメラの位置は標識からの距離が(7)式で与えられる場所に近づいた時である。

$$Z = \frac{fh_1}{H_1} \quad (7)$$

(6)式で、 $f, h_1, h_2$  は定数であり、このため、 $Z$ が小さくすなわちカメラが標識に近付けば近づくほど  $H_1 - H_2$  の値を大きくすることができる。これは検出ウインドウの幅を大きくすることに相当している。 $H_1$ の限界は  $H_0$  のときであり、この時(7)式より、

$$Z = \frac{h_1 f}{H_0}$$

となる。結局、検出ウインドウとしては、

以下の条件の時が最適となる。

$$H_1 = H_0 \quad (8)$$

$$H_2 = H_1 - \frac{f}{Z}(h_1 - h_2) = H_0 \frac{h_2}{h_1} \quad (9)$$

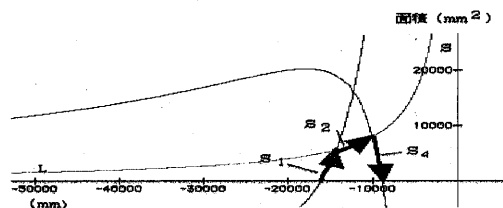


図6 標識よりウインドウが狭い場合  
Fig.6 When a road mark width is wider than that of widow

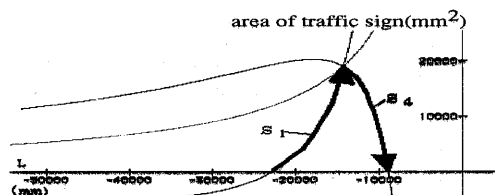


図7 標識とウインドウが同じ大きさになる場合  
Fig.7 When a road mark width is equal to that of window

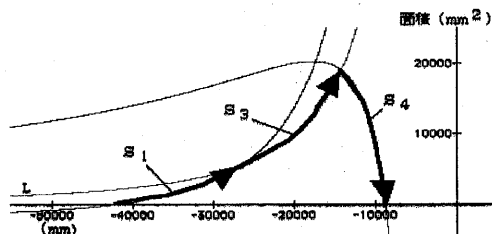


図8 標識よりウインドウが大きい場合  
Fig.8 When the window width is wider than that of a road mark

## 5. テクスチャ解析

これまでに選択された動画フレームには、標識と似た色に着色された橋脚等の画像が含まれている。そこで、テクスチャ解析を行って標識の画像とそれ以外の画像を判別する。テクスチャ解析に求められる条件としては、規則正しいパターンとそうでないものを区別するのみでなく、光源の変化による陰影の変化に影響

表4

	対象となる 標識の数	画像の枚数	録画時間 (分)	色フィルタの結果 ( ) 内は標識	テクスチャ解析の結果 ( ) 内は誤り	
					標識と判断	標識以外と判断
湾岸線	16	23000	12	32 ( 16)	16(0)	15(1)
環状線 1	7	20700	11	21 ( 7)	8(1)	13(0)
環状線 2	4	17800	10	10 ( 4)	4(0)	6(0)
合計	27	61500	33	63 ( 27)	28(1)	34(1)

を受けにくいものが望まれる。ここでは、スキャナ、佐藤らが開発した Surface-Shape オペレータ (SS オペレータ) を用いた解析手法を用いることにする<sup>11, 12)</sup> (付録参照)。

この手法によれば、標識のように縦横に規則正しいパターンがあるものと、そうでないものを Clumpiness と Miscibility と呼ぶ2つの量によって表すことができる。あらかじめ標識とそれ以外の画像についてグループ分けしたのについて、これらの量を求めおき、判断すべき画像がどちらのグループに近いかによって標識とそれ以外のものを区別する。

## 6. 実験結果

### (1) 実験の概要

以上の考察に基づき実験システムの構築を行った。実験システムに用いたカメラは、カラー CCD ビデオカメラで、RGB 各 40 万画素、画像サイズとしては 720 \* 480 の画像が得られる。用いたレンズは焦点距離 16 mm のものである。このカメラを吸盤式のカメラ台によって車のフロントガラスの内側にとりつけ、ビデオデッキと接続して撮影した。撮影時のシャッター速度は 1/1000 秒で固定しており、絞りも固定している。解析時には、このデータをパソコンに読み込んで行った。実験データとしては、昼間の午前 10 時から午後 3 時まで撮影した首都高速湾岸線および環状線のものを用いた。撮影時間はそれぞれ 10 分程度ずつで、この中には目視で確認できる標識として、合計 27 個の標識がある。動画フレームとしては合計 61500 枚ある。なお、トンネル内は、極端に暗いので対象外とした。

### (2) アルゴリズム

入力した動画像に対して動画フレーム毎に検出ウィンドウを当てはめ、検出ウィンドウ内の各画素に対して色フィルタを施し、該当するものの画素数を求める。検出ウィンドウの幅は、門型の標識がちょうど収まるよう設定している。この時、色フィルタに該当す

る画素同士が 2 近傍以上離れている場合はノイズとして除去している。全ての動画フレームに対して画素数を求める。次に、画素数の変化によって得られる山を調べ、各山の頂点に対応する画像を抜き出し、標識と思われる領域を長方形でブロック化する。最後にこの長方形毎にテクスチャ解析によって、標識と標識以外の画像の識別を行う。

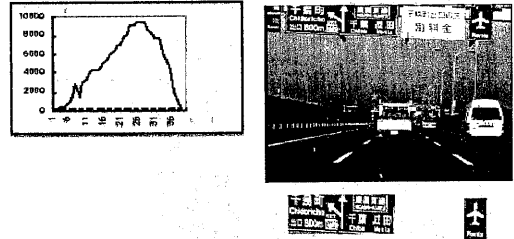


図9 標識の通過によって得られる面積曲線  
Fig.9 Result of a road mark pass through recognition window

### (3) 考察

標識が検出ウィンドウを通過する際にできる山は図9のようになっており、山のピークに対応する動画フレームを選択する事により、標識が最も大きく撮影された画像を選択することができる。ある区間を通して見たものが図10である。標識の候補画像がある毎に曲線が得られる。

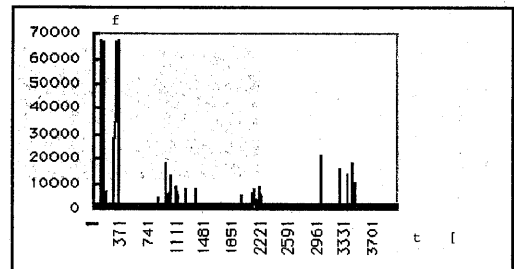


図10 色フィルタの結果によるグラフ  
Fig.10 Result of color filter

表4は、動画像から標識を抽出した結果を示している。色フィルタの結果では、標識はもれなく抽出されている。また、標識以外のものがその2倍程度同時に抽出されている。この中には、道路の上を横切る陸橋や、道路脇の看板などがある。図11に抽出された標識を示す。また、図12に標識以外のものを示す。標識以外のものには、街路灯、隣を走るトラック、ビル、木、道路の上を横切る橋などがある。

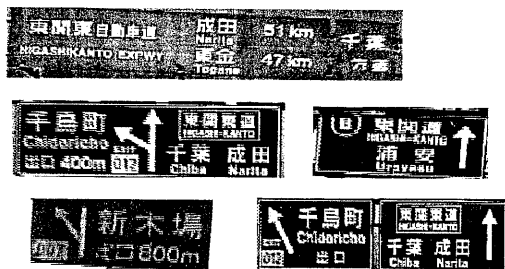


図11 抽出された標識  
Fig.11 Detected road marks

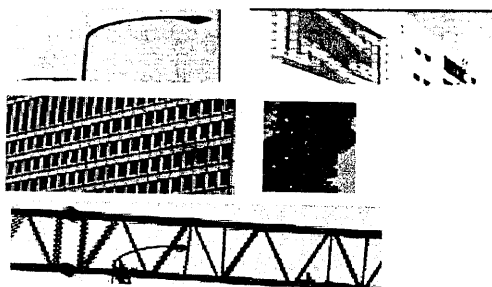


図12 抽出された標識以外のもの  
Fig.12 Detected other objects

テクスチャ解析を行う事により、これらのものを標識と標識以外のものに識別することができた。例外の2枚は、標識以外のものも同時に切り出された場合、および陸橋の裏側にある鉄板の規則正しい並びである(図13)。



図13 認識に失敗した例  
Fig.13 Error of detection

## 7. むすび

色フィルタ、検出ウィンドウおよびテクスチャ解析を組み合わせた道路標識の認識方法について検討し

た。単独の方法では条件設定が困難であったり、高い精度が得られないが、3つの方法を効果的に組み合わせることにより、適合率100%、再現率93%の精度が得られた。本論文では、緑色の標識のみを対象としたが、黄色や赤の標識についても、他の自然物体と色度が異なっていることから、同様の方法で扱うことができると考えられる。今後の課題としては、本論文であつかった門型およびF型以外のタイプの標識を扱う場合の検出ウィンドウの位置と大きさ、逆光や夜間、トンネル内における色フィルタの設定方法等について検討したい。

### 参考文献:

- 1) 中村雅司、若松英樹、新保孝、梅野正義: "車載用視覚補助システムの研究"、信学技報、PRMU97-36
- 2) 富永昌治、岡山敏之: "ハイライトや相互反射の影響を含むカラー画像の解析法"、電子情報通信学会論文誌D-II Vol. J80-D-II No. 6
- 3) 森木登 三木成彦: "道路情景中の最高速度標識の検出および認識"、電子情報通信学会論文誌D-II Vol. J77-D-II No. 7
- 4) 劉詠梅、山村毅、大西昇、杉江昇: "シーン内の文字列領域の抽出について"、電子情報通信学会論文誌D-II Vol. J81-D-II No. 4
- 5) 李春暎、全 火丙 東、坂内正夫: "双曲線スリットによる平面時空間画像の生成と3次元情報の獲得"、電子情報通信学会論文誌 D-II Vol. J81-D-II No. 6
- 6) (社) 日本道路協会: "道路標識設置基準・同解説書"、昭和62年1月
- 7) 富永昌治、岡山敏之: "ハイライトや相互反射を含むカラー画像の解析法"、電子情報通信学会論文誌D-II 1997(6)
- 8) 富永昌治 今村淳志: "複数の不均質物体に対するカラー画像の解析"、情処論文誌 Jan. 1994
- 9) 池田光男: "色彩工学の基礎" 1980、朝倉書店)
- 10) 日本色彩学会編: "色彩科学ハンドブック" 昭和55年2月25日
- 11) スカンヤボンスーパツ、高松亮、佐藤誠: "形状作用素とそのテクスチャ解析への応用" 映像情報メディア学会、1997年10月、Vol.51, No.10 pp.1730-1737 (1977)
- 12) P. Sukanya, R. Takamatsu, M. Sato, "The Surface-Shape Operator and Multiscale Approach for Image Classification," IEICE Trans. Fundamentals, vol.E81-A, no.8, pp.1683-1689, August 1998.
- 13) T.D.Grove, K.D.Baker, T.N.Tan "Color Based Object Tracking", ICPR'98 Proceedings, 14th International Conference on Pattern Recognition August 16-22, 1998, pp.1442-1444.

付録: S Sオペレータのテクスチャ解析への応用  
2次元の濃淡画像パターンを2変数関数 $f(x,y)$ に

よって構成される曲面とした時、ヘシアン

$$H_f = \begin{bmatrix} f_{xx} & f_{xy} \\ f_{xy} & f_{yy} \end{bmatrix}$$

は曲面の凹凸を記述する要素として用いられる。SS オペレータは、

$$\theta_f(x, y) = \arctan \left( \frac{\sqrt{(f_{xx} - f_{yy})^2 + 4f_{xy}^2}}{f_{xx} + f_{yy}} \right)$$

として定義され、 $\theta$  の範囲によって曲面の構造を知ることができる。

SS オペレータを画像全体に施したのちに、aura マトリックス

$$A = [a_{ij}]$$

を定義する。 $a_{ij}$  は画素  $s$  の近傍を  $N_s = \{s \pm d\}$  としたとき、例えば水平方向に関しては、

$$a_{ij} = \text{Prob}(\theta_f(x, y) = i \wedge \theta_f(x, y \pm d) = i)$$

によって定義される。画像全体の特徴を表す量として、Clumpiness と Miscibility を定義する。

$$C = \sum_i \sum_j a_{ij} / ((i - j)^2 + 1)$$

$$M = \sum_i \sum_j a_{ij} / ((i + j - n)^2 + 1)$$

Clumpiness は画像に方向性がある時大きくなり、Miscibility は画像に方向性がない時大きくなる。標識と標識以外のサンプル画像に対して、Clumpiness と Miscibility を求め、その平均値を取る。判断すべき画像に対して Clumpiness と Miscibility を求め、どちらのグループに近いかを調べることによって識別を行う。

SS オペレータは MultiScale 画像に対しても施すことができる。MultiScale 画像は、Gaussian を

$$G(x, y; t) = \frac{1}{2\pi t} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2t}\right)$$

とした時

$$L(x, y; t) = \iint f(u, v) G(x - u, y - v; t) du dv$$

で表される。マルチスケールに対応する SS オペレータは

$$\theta_L(x, y; t) = \arctan \left( \frac{\sqrt{(L_{xx} - L_{yy})^2 + 4L_{xy}^2}}{L_{xx} + L_{yy}} \right)$$

で表される。

今回の実験では、原画像( $t=0$ )、と Gaussian を用いてぼかした画像( $t=9$ ) について SS オペレータを作用させ、標識の判断を行っている。図 14 に SS オペレータをかけた結果を示す。

