

## 画像処理を用いた路面湿潤状況検出方式

上 田 浩 次<sup>†</sup> 堀 場 勇 夫<sup>†</sup>  
池 谷 和 夫<sup>†</sup> 大 井 史 倫<sup>†</sup>

路面の状態が車両の走行に与える影響は大きく、重大な交通事故につながる可能性も高い。従来、この路面状況検出については、光学式検出方式が実用化されている。これらの方式においては、検出範囲がスポット的であることから、得られる情報は局所的となり、その検出結果と路面全体の状況とは異なる可能性があった。また、装置の構成としても、特殊光の投光器、受光器を必要とするため複雑となり、光軸の調整等、装置の設置時の問題点もある。そこで、本論文ではこれらの問題点を解決するため、画像処理を用いた路面湿潤状況の検出方式について提案する。本方式では、特殊な光源を用いずに撮影された画像情報から偏光特性の変化をとらえることで、路面湿潤の有無、範囲およびその程度を検出するようにした。さらに、本方式の効果を確認するため、道路上に模擬の湿潤領域を作成し、予備実験を行うとともに、実際の道路における湿潤状況の撮影画像を用いて実用上の検証を行った。

### A Detecting Method of Wet Condition on Road Using Image Processing

KOUJI UEDA,<sup>†</sup> ISAO HORIBA,<sup>†</sup> KAZUO IKEGAYA<sup>†</sup> and FUMINORI OOI<sup>†</sup>

In this paper, we propose an image processing method to detect wet condition from road images in the outdoors. The method makes use of deference between polarizing images which were taken by TV camera with a polarizing filter. When road surface is wet condition, reflected light is vertically polarized. Therefore, this condition is extracted by the ratio of a vertical polarizing image to horizontal one. On the extracted image, wet condition level is described as brightness of pixel. Then, effects of this method were confirmed by a practical experiment with photographed images.

#### 1. はじめに

車両保有台数の急増に伴い、事故発生件数も増加の一途をたどっており、社会問題として取り上げられている。この交通事故の発生状況は、路面状態、気象状態に大きく左右される。特に、降雨時の湿潤路面および凍結路面において路面とタイヤの摩擦係数が低下することと視認性の低下が相互的に悪影響を与え、東名、名神高速道路における湿潤路面での事故率は乾燥路面上に比べ3倍程度高くなっている<sup>1)</sup>。このように、路面状況が重大事故の要因となる可能性も十分考えられる。そこで、この路面状況を把握し、事前にしかも的確にその情報をドライバーへ伝達することで注意を促すシステムが実用化されてきている。このシステムにおいて、路面状況の把握については、次のような方

式で検出が行われている。まず、検出の安定性を得るため、赤外領域の波長の光を光源として用い、その赤外光を一定時間間隔のパルス光として直径 30 センチほどの路面上に投光する。そして、その反射光をとらえる 2 台の受光器を配置し、おのおの受光器から得られる正反射光成分、乱反射光成分の光強度を投光時のパルス間隔に同期して抽出し、この両者の比率から湿潤状況を検出している<sup>2)</sup>。しかし、この場合では限られた領域で計測しているため、計測点以外の広い範囲にわたる空間的状況が検出できない。例えば、路面上の一部分に水たまりが存在し、その周辺は乾燥状態であるような状況において、偶然その領域が計測領域となった場合、従来装置の計測点が局所的であるため、この状況を湿潤状態として誤検出することになる。また、この問題を解決するためには、複数個のセンサを 2 次元的に配置しなければならなくなり、装置の構成を考えれば現実的でない。さらに、変調赤外光の投光器、正反射と乱反射をとらえるための 2 つの受

<sup>†</sup> 名城大学理工学部  
Faculty of Science and Technology, Meijo University

光センサ、復調器など投受光に関して特別な装置が必要で、その構成が複雑になる。その他にも投光器、受光器の配置に関しては、光軸の調整等が必要となり設置時の問題もある。

この路面状況をとらえる方式としては、別の報告も提案されている<sup>3),4)</sup>。ここで報告されている方式では、湿潤、凍結時に路面が鏡面状態となることに注目し、鏡面時の偏光特性の変化をとらえることで路面状況を検出している。この偏光特性の検出は次のように行っている。まず、投光器と受光器を水と空気のスネル角の関係となるように配置し、受光器側において路面で反射した水平、垂直両偏光成分を検出する。そして、この両偏光成分から求められる偏光度から路面の状態を検出している。また、この報告では装置自体を車両に搭載することで走行方向に広範囲な計測を可能としている。しかし、道路管理上必要となる一定地点での連続計測を前提とした場合、この方式においても検出範囲は計測点のみの狭い領域に限定され、上記と同様な問題点を生じる。

このように、現行の開発、研究方式における問題点は計測範囲が狭い点で共通している。そこで、われわれはより広範囲におよぶ路面状況の抽出を目的として、2次元空間情報を取り扱うことが可能な画像情報を対象とした。この画像処理を用いたアプローチに関しては、対象のセンシングと監視映像の共用を可能とすることから、交通流認識等<sup>5),6)</sup>の研究も盛んであり、これらと合わせて運転環境の1つのパラメータである路面状況の検出についても検討することで、センシングの複合化等の可能性をもたらし、その意義は大きい。また、これまでにこの路面状況を画像上から導くための検討、研究がなされた例も報告されていない。

このような背景の中、本論文では、路面状況の光学的変化を定性的にとらえている偏光特性を用いた方式<sup>3),4)</sup>を画像処理に適用する方法について提案する。この偏光特性の応用に関しては、物体表面状態の非接触、非破壊検査方法として良く知られている<sup>7)</sup>。近年においても、画像処理時に弊害となる鏡面反射成分の除去、分離方法<sup>8)</sup>や画像上からの材質の検出方法<sup>9)</sup>として用いた研究例、半導体製造時のガラス基板上におけるきず、ほこりの検出<sup>10)</sup>、さらに、人の顔面皮膚表面の色素分布状況の検出<sup>11)</sup>に至るまで応用範囲は広い。これら近年における応用研究例においても、偏光特性の変化をとらえる点では共通しているが、本論文では道路交通分野の画像処理応用に関する新たなアプ

ローチとして、頻発する路面の湿潤状況への変化を検出する方法にこの偏光の性質を利用し、しかも屋外環境下での広範囲な検出を行うようにする。

本論文の中では、これまでの応用例とは異なり、屋外でしかも専用光源を用いず、自然光（散乱光）を光源として利用することを基本としている。そのため、光源の操作による被検査体への入射角の制御が困難となる。そこで、TVカメラの俯角を偏光変化が最大となるブリュースタ角になるように設置して撮影することで、路面からの反射光を受光する側で偏光変化の角度依存性を満足させる光学モデルを形成した。さらに、自然光のもとでは、TVカメラへ入射する反射光強度の変動を考慮する必要があり、その方法として水平、垂直両偏光画像の輝度比を得るようにした。また、この画像撮影時に混入する誤差成分についても言及し、その補正方法についても示した。さらに、画像を検出対象とすることから、大量の演算処理を必要とする関係上、より高速化を図るため輝度比の演算を対数差分演算に置き換える工夫も合わせて行い、その一連の処理手順を示した。そして、これらの方式の効果を確認するため、実際の路面上に作成した湿潤状況のシミュレーションサンプルによる予備実験を行うとともに、実際の雨天状況撮影画像に対して処理を施した結果についても示す。また、画像情報から得られる空間分布状況の検出効果を検討するため、路面湿潤から乾燥への移行時を対象とし、湿潤領域の分布状況を実際の撮影画像から抽出した結果についても示す。

## 2. 路面湿潤検出方式

図1に示すように、屈折率 $n_1$ の媒質1と $n_2$ の媒質2の境界面（鏡面） $\xi$ 上の点Mに向かって光のベクトル $u_1$ が入射した場合、その反射光 $u'_1$ における垂直偏光

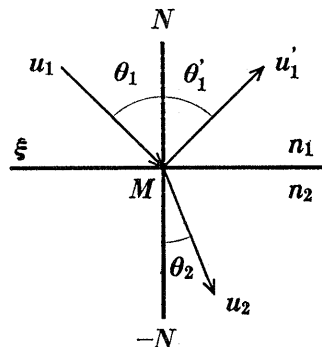


図1 光の反射と屈折

Fig. 1 Reflection and refraction of light.

成分 (S 偏光成分) と水平偏光成分 (P 偏光成分) のエネルギー強度はそれぞれ異なった変化を示す。この S 偏光成分, P 偏光成分それぞれのエネルギー反射率を  $R_S, R_P$  とするとその関係は次式のようなになる。

$$R_S = \frac{\sin^2(\theta_1 - \theta_2)}{\sin^2(\theta_1 + \theta_2)} \quad (1)$$

$$R_P = \frac{\tan^2(\theta_1 - \theta_2)}{\tan^2(\theta_1 + \theta_2)} \quad (2)$$

今, 式(2)において,  $\theta_1 + \theta_2 = 90^\circ$  の場合には  $R_P = 0$  となる。この入射角, 反射角はブリュースタ角と呼ばれ,  $\theta_b$  として記述する。ここで, Snell の法則から  $\theta_b$  は次式のような関係となる<sup>12)</sup>。

$$\frac{\sin \theta_b}{\sin\left(\frac{\pi}{2} - \theta_b\right)} = \tan \theta_b = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\theta_b = \tan^{-1} \frac{n_2}{n_1} \quad (3)$$

今回の状況では媒質として空気と水の両者を対象とすることから, そのおのおのの屈折率を用いた場合のブリュースタ角  $\theta_b$  は  $53.1^\circ$  となる。なお, この場合の入射角 (反射角) とエネルギー反射率  $R_S, R_P$  の関係は図 2 のとおりである。

次に, 粗面における光の反射について考える。この場合, 一定の角度で入射した光に対しても反射光はあらゆる方向に拡散 (乱反射) する。結局, 入射角, 反射角の関係は特定できず, 鏡面の性質は現れない。結局, 粗面における S 偏光成分, P 偏光成分の反射率はほぼ  $R_S = R_P$  の関係となる。

今, 境界面に入射する光強度を  $I$  とする反射光の各偏光成分は以下のように表せる。

$$I_S = R_S \cdot I$$

$$I_P = R_P \cdot I \quad (4)$$

この式(4)から明らかなように, 各偏光成分の強度は

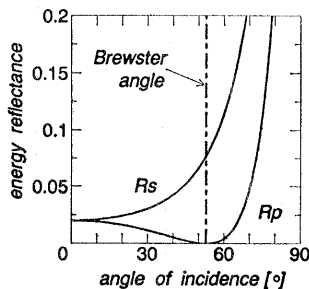


図 2 入射角とエネルギー反射率の関係  
Fig. 2 Characteristic of energy reflectance to incident angle.

入射光強度に依存した形となる。そこで, この両偏光成分の比  $H$  を求めることとする。

$$H = \frac{I_S}{I_P} = \frac{R_S}{R_P} \quad (5)$$

この式(5)において, 入射角がブリュースタ角であり, この境界面が鏡面の場合, 上記反射率の性質から, 偏光成分比  $H$  は理想的には無限大となり, 境界面が粗面の場合では  $H=1$  となる。結局, この偏光成分比  $H$  をパラメータとして扱うことで, 粗面の状態は入射光強度に依存しない形で表される。

このような鏡面, 粗面における反射光の性質を道路面の冠水, 湿潤, 乾燥状態にあてはめる。

まず, 道路面が乾燥している場合を考える。道路の乾燥状態は図 3 (a) のようになり, 粗面として振る舞うことが予想できる。このことから, 偏光成分比は  $H=1$  なる関係が成り立つ。次に, この乾燥路面が冠水状態に移行した場合を考える。この場合, 路面は図 3 (b) のようになり, 粗面が水で覆われる。このため, 水を境界面とした鏡面での性質を示し, ブリュースタ角  $53.1^\circ$  での偏光成分比は理想的に  $H=\infty$  となる。また, この乾燥と冠水の中間的状态 (雨の降り始め, 雨上がり等) での乾燥部分と湿潤部分が共存して

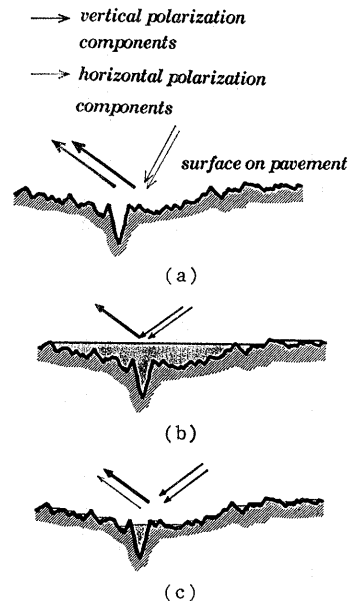


図 3 路面状況  
(a) 乾燥状態, (b) 冠水状態, (c) 湿潤状態  
Fig. 3 Condition of pavement.  
(a) Dry condition, (b) Completely wet condition, (c) Wet condition

いることからこの偏光成分比  $H$  も中間的となることが予想できる (図 3 (c)).

このように、路面状態が乾燥から湿潤へ変化すると偏光成分比  $H$  は次第に大きくなっていき、冠水状態では理想的に無限大の値をとることとなる。この性質を用いて道路面の状態が検出可能になる。

次章では自然光のもとで撮影した画像に対して、上述の検出方式をあてはめ、道路状況を検出する方法について述べる。

### 3. 画像処理方式

自然光は太陽の存在する方角からの直接光だけではなく、大気中の空気および水分等により散乱し、太陽から離れた方角でも晴天時には空は青く、曇時にはどんよりとした曇天として目に映る<sup>13),14)</sup>。つまり、昼間においては太陽の方角から生じる直接光と合わせて、これら散乱光も存在しており、図 4 (a) に示すように、あらゆる入射角の光が存在する。この状況において、直接光による反射光成分をとらえようとした場合、その反射光成分は散乱光によるものと比べてスポット的になり、しかも反射光輝度は非常に高くなることから、撮影する TV カメラのダイナミックレンジを越え、計測が困難になることが予想される。そこで、この天空からの散乱光を光源として扱い、図 4 (b) のように、TV カメラの俯角をプリュースタ角となるように設置し道路面の撮影を行う。このような撮影系により、路面からの反射光をプリュースタ角を中心とし

た画角 (立体角) でとらえることが可能となり、自然光による偏光特性検出の光学的モデルを形成できる。ただし、この場合では対象反射光がプリュースタ角に限定されていない。しかし、図 2 から明らかなように、前節で示した偏光特性の変化はプリュースタ角での一点のみに限らず、約  $30^\circ \sim 80^\circ$  までの広い範囲でその傾向を示している。このため、同様の原理を当てはめたととしても、十分な効果が期待できる。

このように設置した TV カメラの前面に偏光素子を配置し、偏光角を垂直方向と水平方向に交互に切り替え、S 偏光成分画像と P 偏光成分画像の 2 枚の画像を取り込む。その両画像上の各画素における輝度  $D_s(x, y)$ ,  $D_p(x, y)$  は式 (4) から次式のようになる。

$$D_s(x, y) = R_s(x, y) \cdot I(x, y)$$

$$D_p(x, y) = R_p(x, y) \cdot I(x, y) \quad (6)$$

しかし、実際上においてテレビカメラから取り込まれた画像には誤差成分としてビデオ回路系のアンプが持つオフセット成分  $B(x, y)$  が加算されるとともに、撮像素子面の感度むら  $S(x, y)$  等が混入している。これらの関係を考慮に入れると各画素の輝度は次式のようになる。

$$D_s(x, y) = R_s(x, y) \cdot I(x, y) \cdot S(x, y) + B(x, y)$$

$$D_p(x, y) = R_p(x, y) \cdot I(x, y) \cdot S(x, y) + B(x, y) \quad (7)$$

このように、誤差成分を含んだままの状態では、正確な状況を得ることができない。そこで、この誤差成分の補正について考える。

このオフセット成分  $B(x, y)$  は式 (7) から明らかなように加算的であり、TV カメラに入射する光強度がゼロの状態を得られる。そこで、輝度ゼロの状態 (光を遮断した状態) を撮影し、オフセット画像  $B(x, y)$  を作成する。また、撮像素子における感度むらの補正を行うため、均一輝度  $I_w$  (例えばグレーボード、白紙等) を撮影する。この撮影画像 (応答画像)  $W(x, y)$  は感度むら  $S(x, y)$  を含み、次式のようになる。

$$W(x, y) = I_w \cdot S(x, y) \cdot B(x, y) \quad (8)$$

このように、あらかじめ用意したオフセット成分  $B(x, y)$  および  $W(x, y)$  を用いて、式 (9) のように各偏光成分画像内に混入する誤差の補正を行う。

$$W'(x, y) = W(x, y) - B(x, y) = I_w \cdot S(x, y)$$

$$D'_s(x, y) = \frac{D_s(x, y) - B(x, y)}{W'(x, y)}$$

$$= \frac{1}{I_w} R_s(x, y) \cdot I(x, y) \quad (9)$$

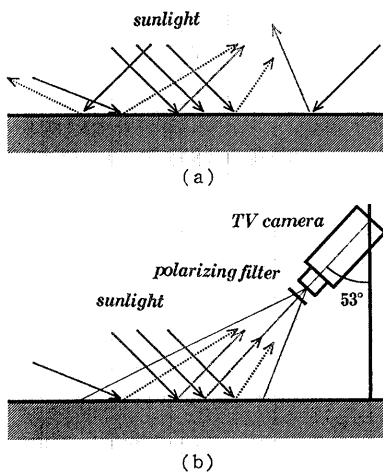


図 4 太陽光モデルと TV カメラの配置  
Fig. 4 Sunlight model and arrangement of TV camera.

$$D_p'(x, y) = \frac{D_p(x, y) - B(x, y)}{W'(x, y)}$$

$$= \frac{1}{I_w} R_p(x, y) \cdot I(x, y)$$

この両画像に対して、式(10)のように、2次元座標における各画素の比  $D_h(x, y)$  を求め、湿潤度検出画像を得る。

$$D_h(x, y) = \frac{D_s'(x, y)}{D_p'(x, y)} = \frac{R_s(x, y)}{R_p(x, y)} \quad (10)$$

なお、各画素に対してこの除算を行うに当たっては、演算時間が膨大になることが十分予想できる。特に、画像を対象とした演算では、必然的に演算量が増加するため、処理の効果は十分であっても実現上で問題を生じる場合もある。このため、処理の達成とともに演算時間の高速化、ハードウェア化をも合わせて検討する必要がある。そこで、本方式においては、式(9)における各補正画像に対して対数変換を行った後、その補正対数画像間の差分を行うことで同じ効果を達成するようにした。この演算は、テーブル変換と差分演算という最も高速演算の可能な形に置き換わり、ハードウェア化も容易となる。なお、この除算を対数差分とすることに関しては周知の事項ではあるが、ビデオレートに追従する画像処理演算の達成、ハードウェアの簡略化に視点を置いた場合、処理の実現に向けて絶大な効果をもたらすこととなる。結局、本方式のアルゴリズムは式(11)のようになり、その処理の流れを図5に示した。

$$\log D_s'(x, y) = \log \{D_s(x, y) - B(x, y)\}$$

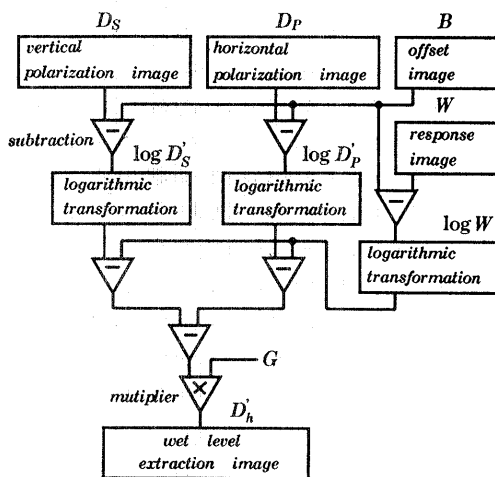


図5 処理のフローチャート  
Fig. 5 Flow chart of processing.

$$-\log \{W'(x, y)\}$$

$$\log D_p'(x, y) = \log \{D_p(x, y) - B(x, y)\}$$

$$-\log \{W'(x, y)\}$$

$$\log D_h(x, y) = \log \frac{D_s'(x, y)}{D_p'(x, y)}$$

$$= \log D_s'(x, y) - \log D_p'(x, y)$$

$$D_h(x, y) = \log D_h(x, y) \times G \quad (11)$$

ただし、この式(11)における  $G$  は湿潤度合 (パラメータ) を画像の輝度として扱うためのゲイン補正量 (定数) である。

なお、本方式においては式(10)のように、両偏光成分の比を求めることから式(9)で用いた感度むら補正用画像  $W'(x, y)$  は不要となる。しかし、各偏光画像自体を詳細に評価、検討する場合には感度むらの補正を加えて行う必要がある。

以上のように、得られた検出画像上において、路面が乾燥している状態では、S 偏光成分  $D_s'$  と P 偏光成分  $D_p'$  はほぼ等しくなることから、湿潤度検出画像  $D_h$  は輝度値の低い (暗い) 画像となる。また、路面が濡れている場合においては、S 偏光画像  $D_s'$  は P 偏光画像  $D_p'$  より大きく (理想的には  $D_p' = 0$ )、湿潤度検出画像  $D_h$  (以後、検出画像と呼ぶ) は輝度値の高い (明るい) 画像が得られる。

ここで述べてきた方式を用いて、次章では実際の路面画像を対象とした実験結果について示す。

#### 4. 実験結果

ここで提案した方式を実験的に確かめるため、図6のような枠を構内の舗装部分に作り、図4(b)のように、TV カメラの俯角を  $53^\circ$  (ブリュースタ角) となるように設置して撮影を行った。なお、ここで用いたTV カメラおよびレンズの仕様は表1のとおりであり、対象となる垂直画面角は鉛直に対し、約  $38^\circ$  から  $68^\circ$  の範囲となる。

この図6において左端(a)は水が冠水状態となるようにし、右端(c)では水を入れない乾燥状態とした。また、(b)においては(a)と(c)の中間的な状態で、湿らせる程度とした。このような状態を実際のアスファルト舗装部分に作成し、上記図5に示す流れにもとづいて処理を行った。その実験結果を図7に示す。この図7において、(a)は撮影した垂直偏光像  $D_s$ 、(b)は水平偏光像  $D_p$ 、そして、(c)は本方式を施した検出画像  $D_h$  である。また、(d)のグラフは(c)の画像上に引いた白いライン上のプロファイルを示す。

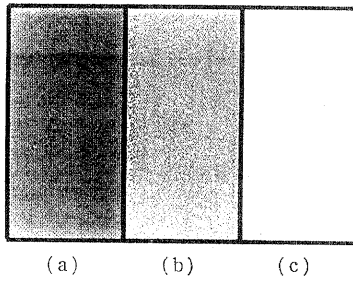


図 6 路面上に作成した実験用枠  
Fig. 6 Produced experimental frame on pavement.

示しており、横軸は水平方向 ( $x$  方向) の座標位置、縦軸はその位置の輝度値を示している。同図(c)から明らかなように、水の存在する領域は画像上において明るくなっている。また、(d)から水の量が多い枠ほど輝度値が高くなっていることもわかる。実際に撮影した場所では左側手前中央よりも少し傾斜しているため、そこに水が集まる傾向があった。その様子も検出画像  $D'_s$  からはっきりと読み取れる。この結果から、路面冠水の有無および湿潤の程度が処理画像上から検出することができ、本手法による路面湿潤状況の検出が十分に可能であることがわかる。

さらに、実際の道路上における効果を検討するため、晴天と雨天の天候状態において、同じTVカメラを用いて実験を行った。本実験では歩道橋上部(約 8m)から路面を撮影し、その撮影範囲はカメラ近傍において幅約 10m (2車線分)、遠方へ約 20m である。このように撮影された画像を用いて、図5に従い処理を施した。ここで、晴天時の結果を図8、雨天時を図9に示す。なお、この図8、9は処理画像の一部分を示している。このおのおの図において、(a)は撮影された垂直偏光画像  $D_s$ 、(b)は水平偏光画像  $D_p$ 、(c)は検出画像  $D'_s$  である。そして、(d)は(c)上に引いた白いライン上のプロファイルを示している。この図9においても、乾燥時の図8の結果に比べ路面全体の輝度値が高く、湿潤状況が明確となっている。しかし、この図9(c)の検出結果において、路側を示す白線部分では輝度値が低く、部分的に乾

表 1 TVカメラ, レンズ仕様  
Table 1 Specification of the TV camera and lens.

項目	TVカメラ
撮像素子	2/3 インチ CCD (38万画素)
走査方式	2:1 インターレス
解像度	水平: 570 本以上
最低被写体照度	0.5 lux
項目	レンズ
焦点距離	12.5 mm
絞り	手動
フォーカス	手動
F 値	F/1.8
垂直画角	30°02'
水平画角	39°43'

燥状態を示している。同様な結果が図7(c)の白い枠の部分においても生じている。これは、TVカメラで両偏光成分を撮影する際、絞りの関係から白線部分の輝度とそのダイナミックレンジを超えて撮影されたため、この部分における輝度変化を表現できず、両偏光成分とも最大値(白)としてAD変換されたことに起因する。このように撮影された画像を用いた場合、検出画像は低い輝度値となって表現される。しかし、このような状況を引き起こす白線、横断歩道等は画像上において固定的でしかも、あらかじめ既知であることから、路面状況の計測に限定すれば、処理上において計測対象部分から除外しておくことで解決できる。

次に、画像処理による状況検出の効果としては面的

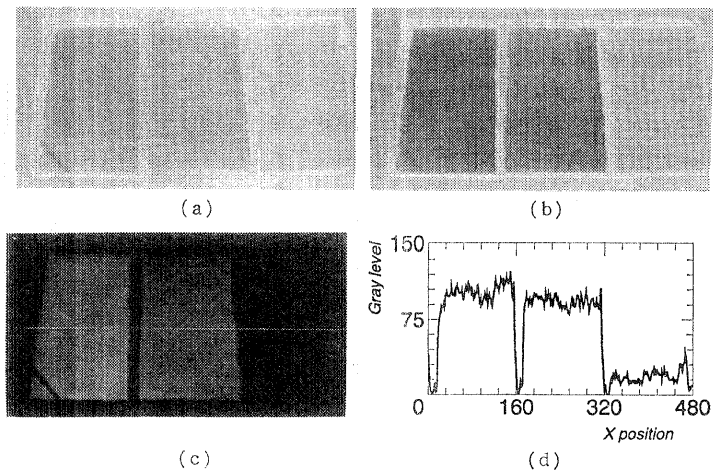


図 7 実験結果  
(a) 垂直偏光画像, (b) 水平偏光画像, (c) 検出画像,  
(d) 白線上のプロファイル

Fig. 7 Experimental result.  
(a) Vertical polarization image, (b) Horizontal polarization image,  
(c) Extraction image, (d) Profile on white line.

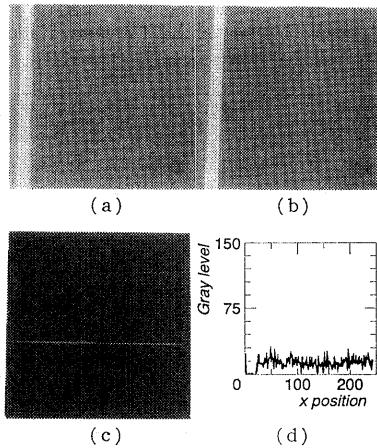


図 8 屋外での実験結果 (路面乾燥)

(a) 垂直偏光画像, (b) 水平偏光画像, (c) 検出画像, (d) 白線上のプロファイル

Fig. 8 Experimental result in outdoors (dry pavement).

(a) Vertical polarization image, (b) Horizontal polarization image, (c) Extraction image, (d) Profile on white line.

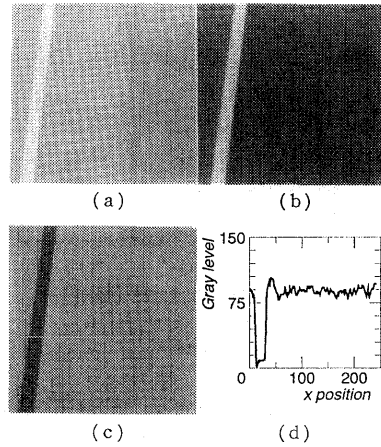


図 9 屋外での実験結果 (路面湿潤)

(a) 垂直偏光画像, (b) 水平偏光画像, (c) 検出画像, (d) 白線上のプロファイル

Fig. 9 Experimental result in outdoors (wet pavement).

(a) Vertical polarization image, (b) Horizontal polarization image, (c) Extraction image, (d) Profile on white line.

な検出状況が得られる点がある。上記、実験結果においても路面全体の状況が把握できるが、この効果を明確にするため、路面が湿潤から徐々に乾燥していく状況において本方式を施した。この結果を図 10 に示す。この図において (a), (b), (c) は上記図 8, 9 と同様である。また、(I) は路面全体が湿潤状態であり、(II), (III) は徐々に路面が乾燥していく状況を示している。このように、(I) の (c) においては路面全体が明るく湿潤状態を示し、しかも画像中央部分に輝度の高い部分が存在し、この部分に水がたまっている傾向がよく表されている。また、この路面が徐々に乾燥していく (II), (III) の検出画像 (c) においては、湿潤部分と乾燥部分がはっきり分かれており、湿潤部分の分布状態が抽出されている。このことから、従来、問題となっていた部分的湿潤による誤検出が防止できる。

このように、上記の提案方式の効果を実際の撮影画像を用いた実験により確認した。本方式では、TV カメラの画角内でとらえられる路面反射光成分を撮影し、その画像上の誤差成分除去後、各偏光画像の比を算出することで湿潤状況を画像として表現することを可能とした。そして、その画角内における湿潤部分

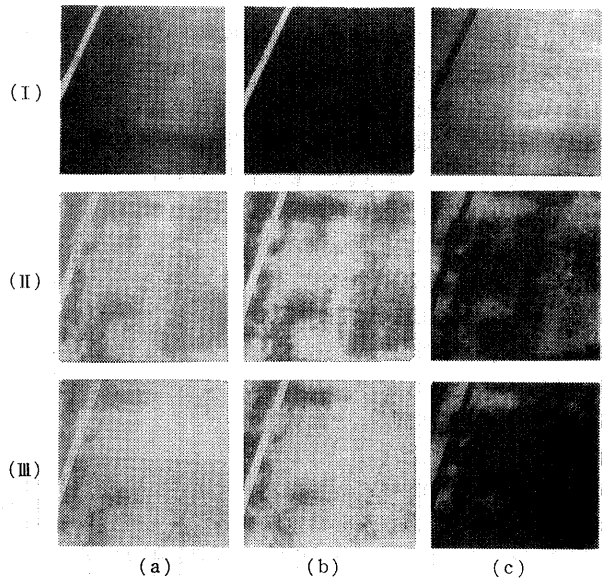


図 10 湿潤領域の分布状況

Fig. 10 Distribution of wet region.

の分布状態についても検出が可能となる結果を得た。

## 5. おわりに

自然光のもとで撮影された画像上から、偏光特性の変化を用いた路面の湿潤状況を検出する方法について

示すとともに実際に路面を撮影した画像を用いた実験によりその効果を検証した。この結果、湿潤状況の有無およびその程度を処理画像上の輝度値として判別することを可能とした。また、撮影範囲のすべてが検出領域となることから、従来の方式に比べ計測範囲を2次元的に広げることができる。さらに、この撮影範囲における湿潤部分の分布状況についても抽出が可能になり、部分的な状況による誤検出の防止が可能となった。

ここで、本方式の特長をまとめると以下のようになる。

(1) 特別な光源(波長, 変調方式)や複雑な検出器を必要とせず, 自然光を利用して計測を行うことができる。

(2) 入射光の変動に比較的影響の少ない計測が可能である。

(3) 冠水状態や湿潤状態を空間的広がりをもって検出することが可能であり, 局所的な状況の違いによる誤検出が防止できる(今回の実験では, 幅10m×長さ20mの範囲)。

(4) 処理方式内で用いられる除算演算を対数変換と差分演算に置き換えたことで, ビデオレートに追従する高速演算を可能とするとともに, ハードウェア化の容易性も得た。

(5) 撮影画像を用いるため一般用の監視カメラとの共用が可能であり, 付加価値の高いシステムの構築が期待できる。

このようにして, 路面状況の一つである湿潤状態を画像上から検出可能とした。上述したように, 本方式では自然光を利用することで特別な光源(波長, 変調方式)等は必要としない。しかし, 検出領域が建物の陰等に入り込んだ場合や, 自然光が著しく低下する夜間においては, 検出が不可能となることが十分予想できる。その意味では, 特別な光源(波長, 変調方式)は必要としないものの, 周囲の状況に応じて, 照明光が必要となると考えられる。しかし, 本方式における原理では, この光源に対して特別な波長を選ぶ必要はなく, 例えば, 道路照明との併設や車両のヘッドライトの利用等でも対応が可能であると考えられる。しかし, これらの補助照明光の利用に当たっては, 本論文の目的である計測領域の広範囲化に対して問題があり, 今後十分な検討が必要である。その他にも風等による冠水面のゆれの影響も考えられ, 今後, 本方式をより多くの場面に適用し, 実用上の問題点に対して

深く検討していく必要がある。また, 路面状況はこの他にも各種状況(路面の凍結, 積雪)が存在する。今後, この偏光特性の変化を基本として, それらの状況に対しても画像上から検出する方式について検討し, 実用化に向けて研究を進めていく。

なお, 本研究は名古屋電機工業(株)の受託研究の一環として行われたものである。

**謝辞** 本研究を進めるにあたり, 従来装置に関する資料の提供および貴重なご意見をいただいた名古屋電機工業(株)技術部部长小野寺浩氏はじめ技術部開発課の皆様へ感謝いたします。

## 参 考 文 献

- 1) 小島幸夫, 田久保宣晃: 気象要因が車両の安全走行に及ぼす影響, 科学警察研究所報告, Vol. 29, No. 1, pp. 107-126 (1988).
- 2) 建設省: 路面積雪計および凍結検知器の開発, 評価書, 建技評第79104号, pp. 10-12 (1980).
- 3) 板倉安正, 堤 捨男, 竹鼻俊夫: 反射の偏光特性を利用する車両登載用路面湿潤状態検出センサ, 照明学会論文誌, Vol. 66, No. 10, pp. 20-24 (1982).
- 4) 竹鼻俊夫: 路面反射の偏光特性を利用した路面状態センサ, 光技術コンタクト, Vol. 27, No. 3, pp. 158-164 (1989).
- 5) Morita, T., Yamaoka, S., Hayashida, M. and Toyama, M.: Image Processing Vehicle Detector for Urban Traffic Control Systems, *IEEE The 3rd International Conf. on Vehicle Navigation & Information Systems*, pp. 98-103 (1992).
- 6) 中本明夫, 羽田 尚, 小武孝榮, 丸田良則, 福島敏弘: 画像処理による交通流計測装置の調査研究, 電気学会電気鉄道研究会資料, TER-91-7, pp. 61-70 (1991).
- 7) 芳野俊彦: 光応用計測の現状, 計量管理, Vol. 36, No. 9, pp. 2-6 (1987).
- 8) Wolff, L. B.: Using Polarization to Separate Reflection Components, *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 363-369 (1989).
- 9) Wolff, L. B.: Polarization/Radiometric Based Material Classification, *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 387-395 (1989).
- 10) 住江伸吾, 西元善郎: ガラス基板表面のきずとほころの識別, 電気学会論文誌C, Vol. 112, No. 2, pp. 89-96 (1992).
- 11) 渋江ゆう子, 小山内幸, 竹内栄次郎, 岩井秀隆, 峰松義博: 女性顔面の肌色および色ムラ評価の新しい試み, 日本化粧品技術者会誌, Vol. 26, No. 2, pp. 120-130 (1992).



- 12) 石黒浩三: 光学, pp. 26-31, 共立出版 (1986).  
 13) 児玉帯刀: 光, pp. 427-428, 横書店 (1993).  
 14) 小口 高, 渡辺 堯: 太陽からの贈り物, pp. 155-162, 丸善 (1992).

(平成 5 年 5 月 11 日受付)

(平成 6 年 2 月 17 日採録)



上田 浩次 (正会員)

昭和 34 年生. 昭和 56 年名城大学理工学部電気工学科卒業. 同年名古屋電機工業(株)入社. 昭和 63 年名城大学大学院修士課程修了. 平成 5 年同大学院院研究生. 現在, 名古屋電機工業(株)技術部開発課. 主に交通系における画像処理応用に関する研究に従事. 電子情報通信学会, 日本音響学会各会員.



堀場 勇夫 (正会員)

昭和 23 年生. 昭和 49 年名古屋大学工学部電気工学科卒業. 同年(株)日立メディコ入社. 昭和 62 年名城大学理工学部電気電子工学科講師. 平成 3 年同助教授. 工学博士. 主に交通系における画像処理応用, 生体情報の計測および医用画像処理に関する研究に従事. 電子情報通信学会, 日本 ME 学会, 日本放射線技術学会, 日本超音波医学会, 日本医用画像工学会, 日本循環器学会等各会員.



池谷 和夫

大正 11 年生. 昭和 20 年東京工業大学電気工学科卒業. 通信省電気試験所研究員, 電気通信省技官, 電電公社電気通信研究所調査役, 名古屋大学工学部電気工学科教授を経て, 昭和 60 年名古屋大学名誉教授. 現在, 名城大学理工学部電気電子工学科教授. 工学博士. 音響工学, 医用電子工学, 騒音制御, 情報システムの研究に従事. 日本音響学会, 日本 ME 学会各名誉会員. 電子情報通信学会, 日本ファジィ学会, 騒音制御工学会, 海洋音響学会, 米国音響学会等の各会員.



大井 史倫

昭和 39 年生. 平成 4 年名城大学理工学部電気電子工学科卒業. 同年名古屋電機工業(株)入社. 現在, 情報通信システム部技術課. 画像処理応用, 情報通信技術に興味を持つ. 電子情報通信学会会員.