

画像による路面状態の検出に関する基礎的研究 —路面の反射特性について—

日大生産工 (院) ○ 齊藤 祐紀

日大生産工 池本 直隆・山崎 憲

小糸工業 (株) 穂積 順一・石原 成浩・藤波 研次

1. はじめに

交通事故の発生件数は毎年増加の一途をたどっており、社会問題としても取り上げられている。この交通事故の大きな要因として路面状態が挙げられる¹⁾。路面状態が湿潤や凍結の場合においては、タイヤと路面との摩擦係数が著しく低下し、車両が運転者の意図しない挙動を示す可能性があり、極めて危険である。路面状態に関する情報を得ることは、道路交通を円滑にするためにも必要不可欠である。

路面状態の把握については、湿潤、凍結時に路面の反射特性が鏡面反射特性となることに着目し、投光器と偏光フィルタを付けた受光器により、鏡面反射時の偏光特性の変化をとらえる方法²⁾、赤外領域の波長の光を光源として用い路面に投光し、路面からの反射光のうち、鏡面反射光と拡散反射光の比率を2台の受光器で計測する方法³⁾などが報告されている。

しかしながら、これらの方法は、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な状態を検出できないという問題がある。そこで、本研究では、2次元空間情報を取り扱うことが可能な画像情報を用いることにより広範囲におよぶ路面状態の検出を目的としている。

先に我々は、2つの観測点から路面を撮影し、撮影した2枚の画像から得られた輝度分布の変化から路面の湿潤情報を検出する方法を提案した⁴⁾。提案した方法により、路面湿潤の検出と湿潤領域の推定が可能であることを明らかにした。

しかしながら、実フィールドにおける路面状態は、湿潤の他に、積雪、凍結など多種多様である。そこで本報告は、これらの路面状態を検出する方法を検討するため、路面サンプルを用いて様々な路面状態の反射特性の計測を行った実験結果について述べる。

2. 路面状態の検出と路面の反射特性について

路面は通常、車両が安全に走行を行えるように、細かい粗面となっている。そのため、図1(a)

に示すように路面に入射した光の多くは、拡散反射するものと考えられる。

しかし、雨が降るなどして路面が湿潤となった場合、さらに路面が水で覆われ冠水となった場合には、図1(b)、(c)に示すように、路面からの反射光には鏡面反射光が増加するものと考えられる。

また、図2に示すように、路面表面の水が凍結した場合には、氷の表面が比較的平坦となることから、凍結した路面に入射した光の多くが鏡面反射するものと考えられる。

したがって、異なる2つの観測点から路面を撮影し、撮影された2枚の画像から得られた輝度分布の変化によって路面状態の情報を検出することが可能となる。さらに、様々な路面の状態における路面の反射特性は、路面状態を検出するための重要な情報となる。また、路面の反射特性が明確となることで、最適な路面の撮影方法、路面状態の検出のための処理法が確立できるものと考えられる。

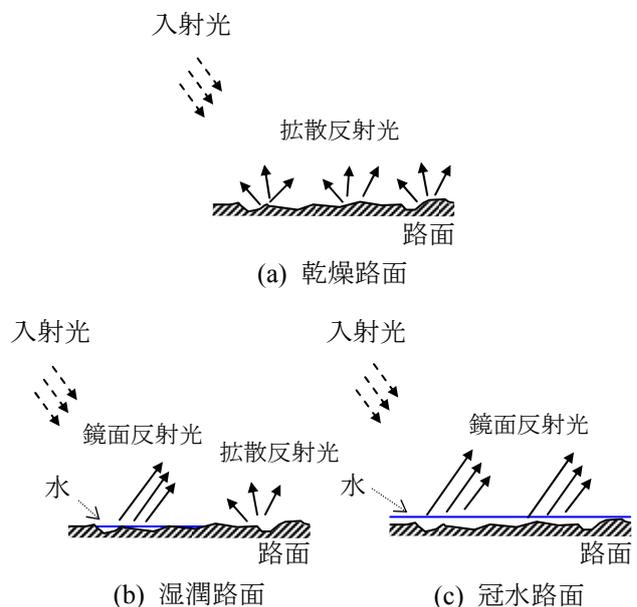


図1 路面状態と入射光、反射光の関係

Basic Study on Detection of the Wet on Road by Camera Image.

-The Reflection Characteristic on Road-

Yuuki SAITOU, Naotaka IKEMOTO, Ken YAMAZAKI, Jyunichi HOZUMI,

Narihiro ISHIHARA and Kenji FUJINAMI

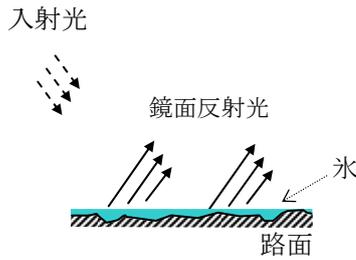


図2 凍結路面の入射光、反射光の関係

3. 実験装置および実験方法

図3は、試作した実験装置の概略を示したものである。

実験装置は、路面サンプルと路面の輝度を測定するための輝度計、路面の水平面照度を測定するための照度計、輝度計と照度計の測定結果を取り込むためのADボードとパーソナルコンピュータで構成されている。

路面サンプルは、一般のアスファルト路面と同様のものを小糸工業(株)で作成していただいたもので、大きさは、縦横30cm、厚さ5cmである。

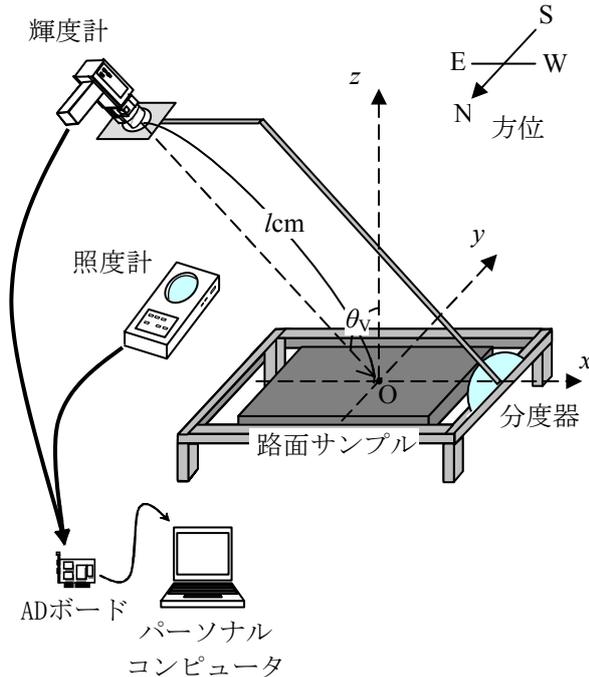


図3 実験装置の概略

この路面サンプルの中央を原点Oとし、東西南北の方向のうち、東西方向をx軸、南北方向をy軸、高さ方向をz軸とした。

なお、輝度計は、原点から距離lcm、z軸となす角 θ_v (以後、観測角と呼称する。)から路面サンプルの原点Oの輝度を測定する。

この路面サンプルを用いて、路面の状態を、乾燥、湿潤、冠水、凍結、積雪の5種類とし、

それぞれの路面の反射特性を屋外で測定することとした。なお、湿潤状態は、路面サンプル表面を湿らせる程度とし、冠水状態は、路面サンプル表面に薄い水膜ができる状態とした。また、凍結状態は、路面サンプル表面に厚さ1cm氷を置き、積雪状態は、路面サンプル表面に雪を模擬した綿を置いた。

このような路面状態の反射特性を表1に示す天候の日時に測定を行った。

表1 路面状況と日時

月日	天候	路面状態	時間
9月8日	晴れ時々くもり	乾燥・湿潤・冠水	10時12分より 17時36分
9月29日	晴れ時々くもり	乾燥・湿潤・冠水・凍結	12時22分より 16時40分
10月12日	晴れ時々くもり	乾燥・冠水	11時9分より 16時17分
10月13日	晴れ	積雪	11時34分より 13時50分

4. 結果および検討

4.1 路面の反射特性について

図4は、路面サンプルの観測角 θ_v に対する輝度係数 q の関係を示したものである。なお、輝度計と路面の原点までの距離 l を150cmとした。また、輝度係数 q は(1)式により求めた。

$$q = \frac{L}{E} \dots (1)$$

ただし、(1)式中の L は輝度計により測定した路面の輝度、 E は照度計により測定した路面の水平面照度である。

図中のプロット○、●、▲、■は、それぞれ路面状態が乾燥、湿潤、冠水、凍結の場合の測定結果を表したものである。なお、図中の各輝度係数 q は表1に示す日時に複数回測定した結果の平均値である。

図から、路面状態が乾燥の場合の輝度係数 q は、観測角 θ_v によらずほぼ一定であることがわかる。路面の反射特性が完全拡散であるとする、輝度係数 q は、

$$q = \frac{\rho}{\pi} \dots (2)$$

となる。なお(2)式中の ρ は、路面表面の反射率である。図中の破線は(2)式より算出した輝度係数 q である。したがって、路面の反射特性が完全拡散とすると、輝度係数 q は、観測角 θ_v によらず一定となる。

このことから、本実験の範囲内において、路面状態が乾燥の場合の反射特性は、ほぼ完全拡散であることがわかった。

それに対し、路面状態が湿潤、冠水、凍結の場合の輝度係数 q は観測角 θ_v が大きくなるにしたがって高くなることわかる。特に、観測角 θ_v

が $\pm 40^\circ$ から大きくなると輝度係数 q は、急激に高くなることわかる。また、凍結の場合には、湿潤、冠水の場合に比較して輝度係数 q が高いことがわかる。このことは、凍結した氷の表面の反射率は湿潤、冠水の場合に比較して高いためであると考えられる。

したがって、路面状態が乾燥から湿潤、冠水、凍結に変化すると、複数の異なる観測角 θ_V で測定した輝度は、大きく変化する。このことから、複数の異なる観測角 θ_V で測定した輝度の変化より、湿潤、冠水、積雪の状態を検知可能であることがわかる。また実験結果より観測角 θ_V を 40° 以上とすることで、検知の分解能が向上するものと考えられる。

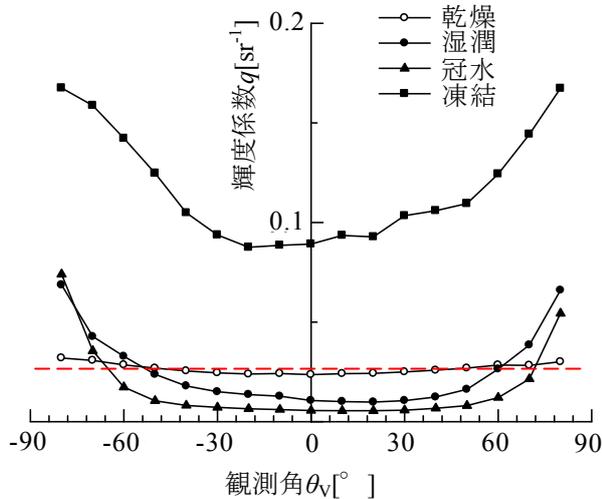


図4 観測角に対する輝度係数

図5は、路面状態を積雪とした場合における、観測角 θ_V に対する輝度係数 q の関係を示したものである。

図中のプロット○、●は、それぞれ路面状態が乾燥、積雪の場合である。

なお、図中の各輝度係数 q は前述同様、表1に示す日時に複数回測定した結果の平均値である。

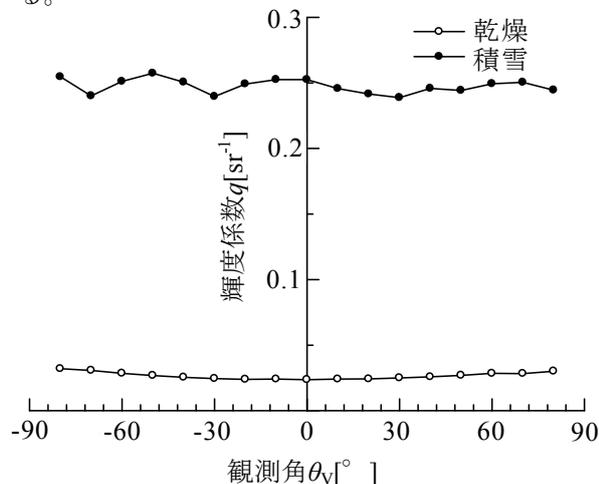


図5 観測角に対する輝度係数

図から、路面状態が積雪の場合の輝度係数 q は、乾燥の場合に比較して高いものの、観測角 θ_V によらずほぼ一定であり、路面状態が乾燥の場合とよく近似した反射特性となることがわかる。

このことより、複数の異なる観測角 θ_V で測定した輝度から路面状態を検出する場合、積雪の状態を安全な路面状態である乾燥と誤検出する可能性がある。

4.2 積雪の検出について

路面に降った雪は、路面上に均一な高さで積雪せず、その表面に凹凸が生じる。さらに、積雪した路面は、路面を走行する車両によって、轍（わだち）が生じ、路面表面の凹凸がさらに大きくなると考える。そこで、本研究では、このように生じた路面の凹凸を2つの異なる観測角 θ_V から撮影した画像からステレオ法を用いて検出する。

図6は、積雪の検出に用いる路面サンプルの状態を示したものである。

図のように路面サンプル表面に雪を模擬した綿を置き、綿と路面との段差は、5mmとした。

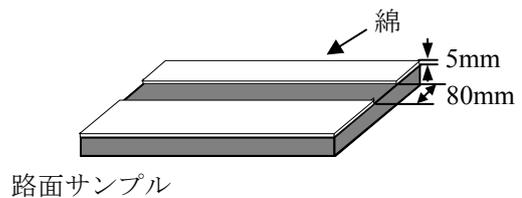


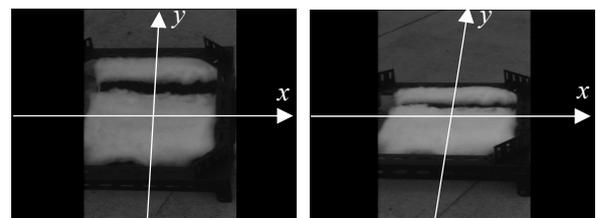
図6 轍を生じた路面

図7は、図6の路面サンプルをビデオカメラで撮影した結果である。なお路面サンプルからビデオカメラまでの距離 l は150cmである。

図7(a)、(b)はそれぞれ観測角 θ_V が 40° 、 60° の場合である。

なお、撮影時の天候は曇りである。ビデオカメラには、焦点距離11mmのレンズを装着し、絞りをオートで撮影を行った。

図から、2枚の画像上の座標と路面サンプル上の座標が一致していないことがわかる。



(a) $\theta_V=40^\circ$ の場合

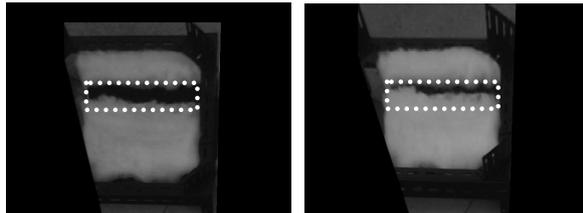
(b) $\theta_V=60^\circ$ の場合

図7 異なる観測角 θ_V から撮影した画像の比較

図8は、図7の2枚の画像間で画像上の座標

と路面サンプル上の座標を一致させ、ステレオ法により路面の凹凸を検出するため、幾何学的変換（アフィン変換）を行った結果である。幾何学的変換は、路面サンプル表面すべてのz座標を0と想定し、幾何学的変換後の撮影角 $\theta_v=0^\circ$ となるように行った。

図から、路面表面と雪を模擬した綿との段差を生じている領域で差が生じていることがわかる（図中の破線）。そこで図8(a)、(b)に生じた差をパターンマッチングで用いられるユークリッド距離を算出することで検出する。



(a) $\theta_v=40^\circ$ の場合 (b) $\theta_v=60^\circ$ の場合

図8 幾何学的変換後の画像

図9は、図8(a)、(b)のパターンマッチングのため、ユークリッド距離を(3)式で算出し、算出した結果を濃度値とした画像である。

$$D_{ij} = \left\{ \sum_{i=i_0}^{i_n} \sum_{j=j_0}^{j_m} (K_1(i, j) - K_2(i, j))^2 \right\}^{1/2} \dots (3)$$

なお、(3)式中の K_1 、 K_2 は、それぞれ図8(a)、(b)の相対輝度階調である。また、相対輝度階調とは、画像中の最大輝度階調を255となるよう正規化した値である。

したがって、画像中の輝度階調が高い領域は、図8(a)、(b)の画像において差が大きい、すなわち、路面サンプル表面が大きく凹凸していることをあらわす。

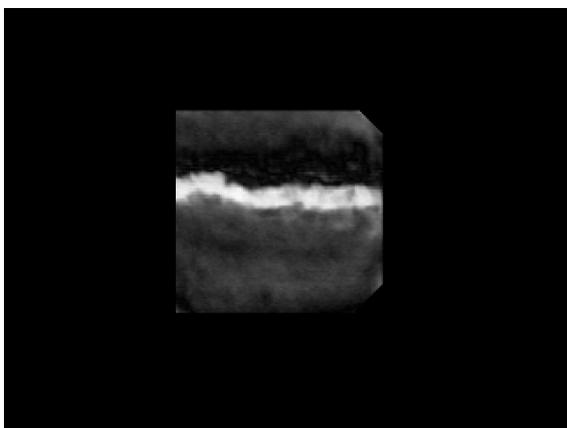


図9 ユークリッド距離を濃度値とした画像

図から、路面サンプル表面に雪を模擬した綿

によって大きく生じた段差の領域で輝度階調が高くなることがわかる。

このことから、積雪の検出は、異なる観測角 θ_v から撮影した画像からステレオ法を用いて路面に生じた凹凸を検出することで可能であると考えられる。

5. おわりに

本論では、試作した実験装置と路面サンプルを用いて路面の反射特性の測定を行った。

その結果、

- 1.路面状態が乾燥の場合には、完全拡散面とよく近似した反射特性となることがわかった。
- 2.路面状態が湿潤、冠水、凍結の場合には、観測角 θ_v により大きく輝度係数 q が変化することから、複数の異なる観測角 θ_v で測定した輝度の変化より、湿潤、冠水、凍結の状態を検知可能であることがわかった。
- 3.路面状態が積雪の場合には、路面状態が乾燥の場合の反射特性と近似することがわかった。さらに、反射特性が乾燥とよく近似する積雪の状態は、積雪によって生じた凹凸を2つの異なる観測角 θ_v から撮影した画像からステレオ法を用いて検出することで可能であることを示した。今後は、路面を撮影した画像から、乾燥、湿潤、冠水、凍結、積雪などの路面状態の判別と、積雪量の計測について検討を重ねる予定である。

参考文献

- 1)交通工学研究会：高度情報化に対応した道路及び道路交通システム，第57回・第58回交通工学講習会テキスト，pp24-25
- 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，pp10-12(1980)
- 3)竹鼻：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)
- 4)池本，磯村，穂積，石原，藤波：画像による路面湿潤の検出に関する基礎的研究—路面湿潤と輝度分布の関係—，日本大学生産工学部第32回学術講演会，p79-82(2002)
- 5)池本，磯村，穂積，石原，藤波：画像による路面湿潤の検出に関する基礎的研究—路面状態の判別について—，平成15年電全大，1-84, Vol.1, pp.226-227(2003)