

画像による河川の油膜検知に関する基礎的研究

- L*a*b*表色系を用いた油膜の干渉縞の検知について -

日大生産工(院) 仲谷 英
日大生産工(研) 大嶋 航介
日大生産工 内田 暁・大谷 義彦
岩崎電気(株) 山田 哲司

1. はじめに

最近、有害物質が河川に流出する事故が多発している。特に、油の流出事故は水道の原水となっている河川の水質事故の大多数を占め、事故によって浄水場の取水停止や河川に生息する生態系に重大な影響を及ぼす。したがって、高感度であり 24 時間連続監視が可能なシステムの開発が強く望まれている。

そこで、本研究では画像により河川に流出した油を広範囲にわたって連続検知が可能なシステムを構築することを目的としている。

先に著者らは、研究の基礎段階として、以下に示す水面上の油膜の光学特性に着目し、画像処理によりそれらの特徴量を抽出する方法を考案した¹⁾。

- (1) 水面上に拡散した油膜は虹色の干渉縞を形成する。
- (2) 油膜の輝度は水面の輝度に比較して高くなる。

さらに、考案した画像処理方法について実験的検証を行ったのでその結果について報告する。

2. 油膜検知の方法

2.1 油膜の光学的特性

図 1 は、水面上の油膜による虹色の干渉縞形成の原理図を示したものである。

水の屈折率は 1.33 であり、油の屈折率は油の種類によって異なるものの、およそ 1.4 から 1.5 である。この油が水面で拡散し薄い油膜となった場合、図 1 に示すように、水面上の油膜に入射した光は油膜面で正反射する反射光 R と、屈折し油膜内に入り水面と油膜との境界面で反射する反射光 R' とに分かれる。このとき、入射する光の波長を λ とすると、反射光 R と R' の光路差 l は、(1)式となる。

$$l = 2n_1d \cos(r) + \frac{\lambda}{2} \dots (1)$$

この光路差 l が入射する光の波長 λ の整数倍のとき、反射光 R と R' の位相が等しくなり、波長 λ の光が強めあうことになる。また光路差 l は油

膜の屈折率と膜厚によって変化する。したがって水面上の油膜に多くの波長成分を持つ入射光が入射した場合、油膜の膜厚が場所や時間によって変化することで、入射光に対して正反射方向で水面を観測すると、水面上に虹色の干渉縞が観測されることになる。

また、水の反射率は油の反射率より低いことから、油膜の存在する河川に光を照射した場合、油膜での反射輝度は、油膜の存在しない水面と比較して高くなる。

このことから、河川に多くの波長成分の光を照射し、河川を撮影した画像から油膜で生じた干渉縞、および輝度の高い領域を検出することで油膜の検知を行うことができると考えられる。

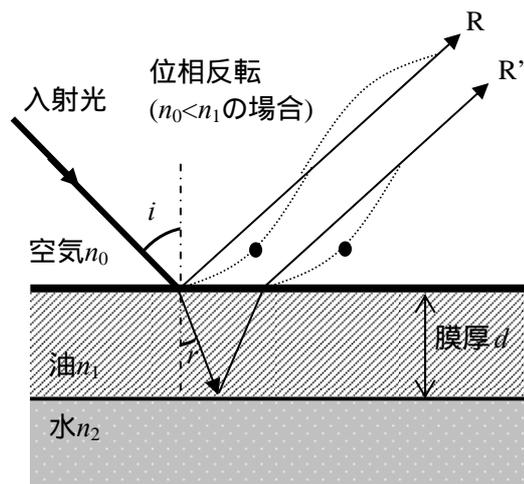


図 1 水面上の油膜の光学特性 (油膜の干渉)

2.2 油膜検知手順

油膜によって生じる干渉縞、および輝度の高い領域の抽出を行うためには、油膜の存在する領域と水面の領域の色の差と輝度の差を明らかにすることが必要である。そこで、本研究では、均等色空間を表す表色系の一つである、L*a*b*表色系²⁾⁻⁴⁾を用いて油膜検知を行う。

図 2 は L*a*b*表色系立体図を示したものである。L*a*b*表色系では明度を L*、色相 θ と彩度

Basic Study on Detection of Oil-on-Water by Camera Image.

-On Detection of Oil-on-Water Interference using colorimetric System L*a*b*-

Ei NAKATANI, Kousuke OHSHIMA, Akira UCHIDA,

Yoshihiko OHTANI and Tetsuji YAMADA

r を示す色度を a^* 、 b^* で表わされている。

$L^*a^*b^*$ 表色系は、CIE が 1976 年に推奨した表色系のひとつで、座標上に示される2色の色の一定距離が、どの距離においても、一定の知覚的な色差に対応するように定められた均等色空間であり、優れた等色差性を持つという特徴がある。

このことから、 $L^*a^*b^*$ 表色系は油膜の存在する領域と水面の領域を色の違い、ならびに輝度の差から検出するには非常に適した表色系であると考えられる。

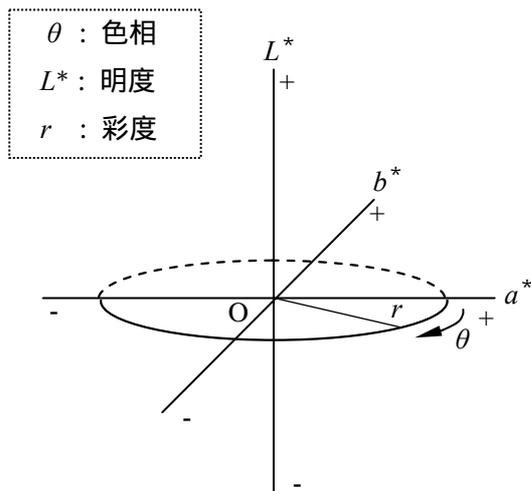


図2 $L^*a^*b^*$ 表色系

2.3 画像処理手順

図3は実際に水面に拡散した油膜を撮影した画像の一例を示したものである。

本研究では画像から $L^*a^*b^*$ 表色系の座標を算出し、画像中の色、輝度の分布状態を解析し油膜検知を行う。



図3 油膜の撮影画像

画像の処理手順を以下に示す。

はじめに、撮影した画像から各画素におけるR(赤)、G(緑)、B(青)の輝度階調値である K_R 、

K_G 、 K_B を求め(2)式によりXYZ色度座標を算出する。

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2.7689 & 1.7518 & 1.1302 \\ 1.0000 & 4.5907 & 0.0601 \\ 0 & 0.0565 & 5.5943 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} K_R \\ K_G \\ K_B \end{pmatrix} \dots (2)$$

次に、得られたXYZ値より(3)式により $L^*a^*b^*$ 色度座標を算出する。

$$\left. \begin{aligned} L^* &= 116 \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}} - 16 \\ a^* &= 500 \left\{ \sqrt[3]{\frac{X}{X_n}} - \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}} \right\} \\ b^* &= 200 \left\{ \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}} - \sqrt[3]{\frac{Z}{Z_n}} \right\} \end{aligned} \right\} \dots (3)$$

ただし、 X/X_n 、 Y/Y_n 、 Z/Z_n は、いずれも 0.008856 より大きい値で、 X_n 、 Y_n 、 Z_n は拡散反射面のXYZ表色系における3刺激値である。

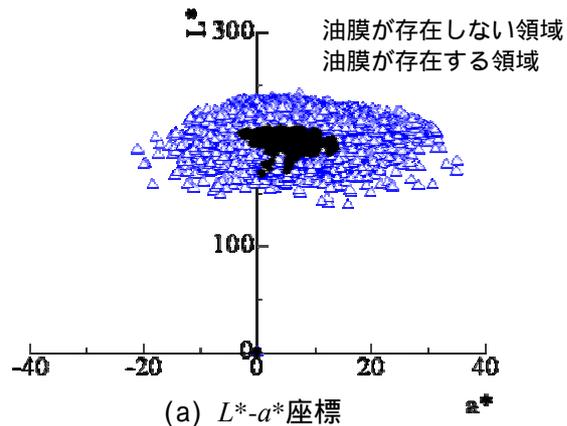
なお、 X/X_n 、 Y/Y_n 、 Z/Z_n の値 0.008856 より小さい値の場合は(4)式に代入して計算する。

$$\left. \begin{aligned} \sqrt[3]{\frac{X}{X_n}} &= 7.78 \frac{X}{X_n} + \frac{16}{116} \\ \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}} &= 7.78 \frac{Y}{Y_n} + \frac{16}{116} \\ \sqrt[3]{\frac{Z}{Z_n}} &= 7.78 \frac{Z}{Z_n} + \frac{16}{116} \end{aligned} \right\} \dots (4)$$

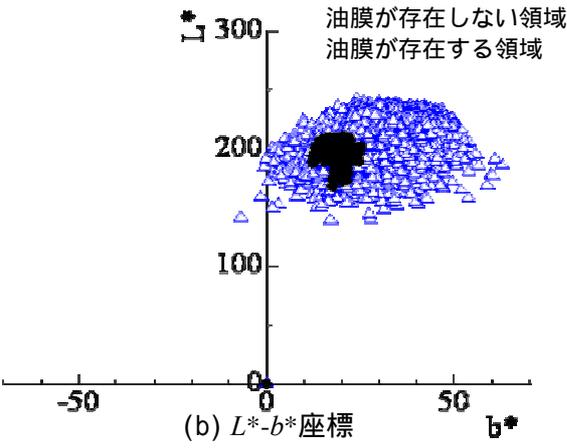
図4(a)~(c)は、図3に示す油膜の撮影画像中の“油膜の存在する領域”と“油膜の存在しない領域”の $L^*a^*b^*$ 色度座標を算出し比較したものである。

なお、(a)は、 L^*-a^* 座標、(b)は、 L^*-b^* 座標、(c)は a^*-b^* 座標についてそれぞれ示している。なお、図中の のプロットは油膜が存在しない領域、 のプロットは油膜が存在し干渉縞が生じている領域についてそれぞれ示している。

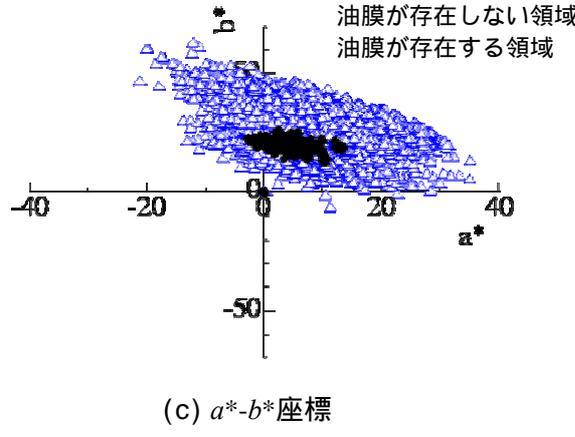
図から、油膜の存在しない場合と比較して油膜の存在する場合は、明度 L^* が高くなっていることがわかる。また、図(c)より油膜が存在しない場合と比べ、油膜が存在する場合は虹色パターンによってさまざまな色が存在しているため、色度座標上の広い範囲に色が分布していることがわかる。



(a) L^*-a^* 座標



(b) L^*-b^* 座標



(c) a^*-b^* 座標

図4 撮影画像の $L^*a^*b^*$ 色度座標分布の比較

そこで以下の手順により、色、明度の分布状態を定量化し油膜と水面との分割を行う。

画像を微小領域に分割し、(5)式により干渉縞を評価するための係数 K を算出し、各微小領域内の K を求める。

$$K(u, v) = \sum_{L=L_0}^{L_m} \sum_{a=a_0}^{a_m} \sum_{b=b_0}^{b_m} C(L^*, a^*, b^*) \dots (5)$$

この K は、 $L^*a^*b^*$ 色度分布を微小領域に分割し、分割したすべての領域のうち、データ($L^*a^*b^*$ 色度座標上のプロット)が存在する領域の個数を表すものである。ただし、式中の u, v は撮影画像上の座標である。

また、 $C(L^*, a^*, b^*)$ は分割した $L^*a^*b^*$ 色度分布の微小領域にデータが存在している場合には1、存在しない場合には0とする係数である。よって、油膜により干渉縞が発生している場合は色度座標上の多くの微小領域にデータが存在するため、 K の値が高くなる。また油膜のない水面の領域は、色度座標上の少ない微小領域にデータが存在するため、 K の値は低くなると考えられる。

K の場合と同様に、(6)式により輝度値 L を求め、各微小領域内の L を算出する。

$$L = 0.299K_R + 0.587K_G + 0.114K_B \dots (6)$$

ただし、 K_R, K_G, K_B は、それぞれ、画像の各画素におけるR(赤)、G(緑)、B(青)の輝度階調値である。

(5)式により求めた各微小領域内の K 、および(6)式により求めた L の和 $K+L$ を求める。求められた $K+L$ を正規化し、正規化された値が最も低い領域内に存在する色を、水面の色とし、求められた $L^*a^*b^*$ 色度座標より、水面の色部分のデータを削除し、画像を生成する。

3. 実験装置

図5は、提案した油膜検知方法を行うための実験装置の概略である。

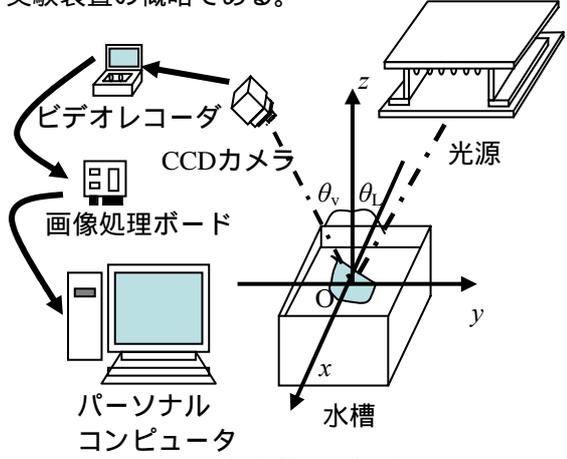


図5 実験装置の概略

試作した実験装置は、河川を模擬した水槽、水槽に光を照射するための光源、画像を撮影するための CCD ビデオカメラ、動画を記録するためのビデオレコーダ、ビデオカメラで撮影した動画を 512×640 画素で取り込むための画像処理ボード、画像から油膜検知の画像処理を行うためのパーソナルコンピュータから構成されている。

また、直角座標系 xyz の xy 平面を水槽内の水面、水槽内の水面の中心を原点 O とした。

水槽は幅 36cm、奥行き 26cm、高さ 15cm である。光源は、 z 軸とのなす角 θ_L 、原点 O からの距離 80cm の位置から光を照射する。

CCDカメラはz軸とのなす角 θ_v 、原点Oから距離 80cmの位置に設置し、画像を撮影する。また、CCDカメラは、焦点距離 55mmのレンズと偏光フィルタをマウントし、縦 512 画素、横 640 画素、R(赤)、G(緑)、B(青)それぞれ 256 階調 16777216 色のカラー画像を記録する。

光源は、15W の蛍光灯を 6 本、8cm 間隔で設置したものの前面に乳白色アクリル板を置き、乳白色アクリル板からの透過光を放射するものである。

なお、撮影条件を以下に示す。

- 光の入射角 $\theta_L=40^\circ$
- 撮影角度 $\theta_v=40^\circ$
- 絞り オート
- 油の種類 廃油

4. 結果および検討

図 6(a)(b)は、本実験装置により撮影された画像の一例である。なお、(a)は、水槽に水を入れた場合、(b)は、水槽に油膜を入れ、さらに廃油を滴下した場合である。なお、水槽内の水は河川を模擬するために絵の具で着色した。



(a) 油膜が存在しない場合 (b) 油膜が存在する場合
図 6 撮影画像の比較

(b)の油膜が存在する場合は、滴下した油が広範囲に広がり薄い油膜となり、光の干渉により虹色の干渉縞が生じていることが分かる。また、油膜の輝度は、水面の輝度と比較して高いことが分かる。

図 7(a)(b)は、撮影した画像から 2.3 に示す画像処理手順に従い画像を生成し、適切な閾値により、2 値化処理を施した結果である。



(a) 油膜が存在しない場合 (b) 油膜が存在する場合
図 7 2 値画像の比較

なお、(a)は図 6(a)の油膜が存在しない場合の画像から、(b)は図 6(b)の油膜が存在する場合の画像から、それぞれ算出した結果である。図から、油膜の存在する場合のみ、2 値化処理により油膜の存在する領域が抽出されていることがわかる。

図 8(a)(b)は、本実験装置の光源に減光フィルタ(透過率 50%)を装着し、撮影された画像の一例である。なお、(a)、(b)は図 6 同様である。

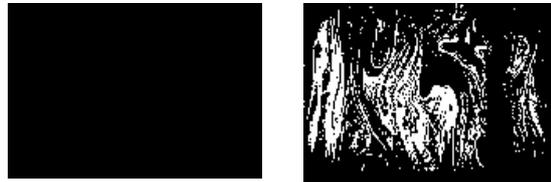


(a) 油膜が存在しない場合 (b) 油膜が存在する場合

図 8 撮影画像の比較

(b)の油膜が存在する場合は、滴下した油が広範囲に広がり薄い油膜となり、光の干渉により虹色の干渉縞が生じていることが分かる。また、油膜の輝度は、水面の輝度と比較して高いことが分かる。

図 9(a)(b)は図 8の画像から 2.3 に示す画像処理手順に従い画像を生成し、適切な閾値により、2 値化処理を施した結果である。



(a) 油膜が存在しない場合 (b) 油膜が存在する場合
図 9 2 値画像の比較

なお、(a)は図 8(a)の油膜が存在しない場合の画像から、(b)は図 8(b)の油膜の存在する場合の画像から、それぞれ算出した結果である。図から油膜の存在する場合のみ 2 値化処理により抽出される画素が存在することがわかる。

したがって、抽出される画素の有無によって油膜の検出が可能であると考えられる。

5. おわりに

河川を撮影した画像から、干渉によって生じる干渉縞を $L^*a^*b^*$ 表色系を用いて油膜の検出を行う方法を提案し、実験装置を用いて提案した方法の実験的検証を行った。

その結果、以下のような結果が得られた。

- (1) 撮影した画像から油膜の干渉縞を評価するための係数 K と輝度値 L を算出し、値が最小となる領域に含まれる色を水面とすることによって油膜の干渉縞を検出することが可能であることがわかった。
- (2) 光の量を減少させた場合においても油膜の干渉縞の検出が可能であることがわかった。

参考文献

- (1) 池本、山田:画像による河川の油膜検知に関する基礎的研究 - 油膜の輝度分布について - , 第 38 回日本大学生産工学部学術講演会 pp.97-100 (2005)
- (2) 日本色彩学会編:新編 色彩科学ハンドブック pp.275-276(1998) 東京大学出版会
- (3) 高橋、下田:新編 画像解析ハンドブック pp.549-555 (2004) 東京大学出版会
- (4) 照明学会編:大学課程 照明工学(新版)pp.164-168 (1997) 朝倉社