

画像による河川の油膜の検知に関する基礎的研究

－油膜の輝度分布について－

日大生産工 ○池本 直隆
岩崎電気(株) 山田 哲司

1.はじめに

近年、油や有害物質などが河川に流出する水質事故が多発している。特に、油の流出事故は、水道原水である河川の水質事故の 80%近くを占め、浄水場の取水停止や下流の生態系に重大な被害を引き起こす。油は拡散しやすく、拡散した油は油膜となり河川の下流数キロメートルにわたって広がることから、水環境に大きな影響をおよぼす。したがって、高感度で 24 時間連続監視が可能な河川の油膜検知システムが望まれている。

既存の油膜検知装置としては、油の臭いを検知するもの¹⁾、水と油の誘電率の差から検知するもの²⁾、光ファイバーを油検知センサとして応用したもの³⁾、水と油の光学特性を用いた反射率測定方式⁴⁾⁵⁾、偏光解析型方式⁶⁾⁷⁾、蛍光解析方式などがある⁸⁾⁹⁾。

しかしながら、これらは、検知範囲が非常に狭く、さらに、河川の水を検知装置のある施設へ引き込む必要があるという欠点がある。

そこで、本研究では、画像により河川に流出した油を浄水場などの取水口より手前で、広範囲にわたって検知可能なシステムを構築することを目的としている。

そこで、著者らは、水面上の油膜が干渉により虹色に光ることと、水に比較して油の屈折率が高いことから油膜の輝度は水面より高くなることに着目した。すなわち、河川を撮影した画像から、干渉による虹色パターンや高輝度領域を検出することで油膜の検知が可能であると考えられる。

本論では、提案した方法の基礎的検証を試作した実験装置により行った結果について述べる。

2.油膜の検知方法

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。この油が水面で広がり薄い油膜となった場合、図 1 に示すように、油膜で反射した光と、油膜面を透過し油膜と水面との境界面で反射した光とが干渉し強まる。

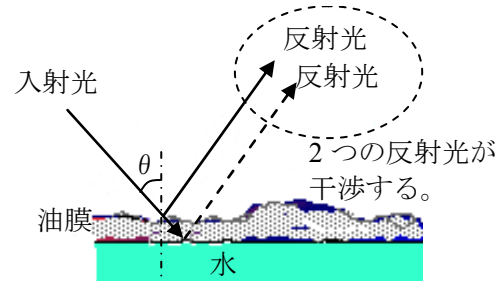


図 1 油膜で生じる光の干渉

干渉する光の波長 λ は、油膜面を透過し油膜と水面との境界面で反射する光の光路長（油膜内での距離）を l 、油の屈折率を n_1 とすると

$$\lambda = 2l \cdot n_1 \cdots (1)$$

となる¹⁰⁾。したがって、入射光に多くの波長成分が含まれている場合には、油膜の厚さによって異なる波長の光が強め合うことにより虹色パターンが生じる。しかしながら、油膜が非常に厚くなり、干渉する光の波長 λ が可視光の波長以上となった場合には、干渉による虹色パターンを観測することができない。

図 2 は、光の入射角 θ に対する水と油の反射率の関係を示したものである。

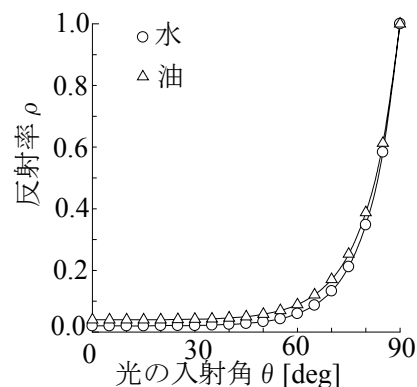


図 2 光の入射角に対する水と油の反射率の比較

なお油の屈折率は1.5としてフレネルの式¹¹⁾より算出したものである。図のように、油の反射率は水の反射率に比較して高くなる。したがって、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に比較して高くなる。

以上のことより、河川に多くの波長成分が含まれる可視光を照射し、河川を撮影した画像から油膜で生じた干渉による虹色パターンと、輝度の高くなる領域を検出することで油膜の検知を行うことができる。

3.実験装置

図3は、提案した油膜検知方法の基礎的検証のため試作した実験装置の概略である。

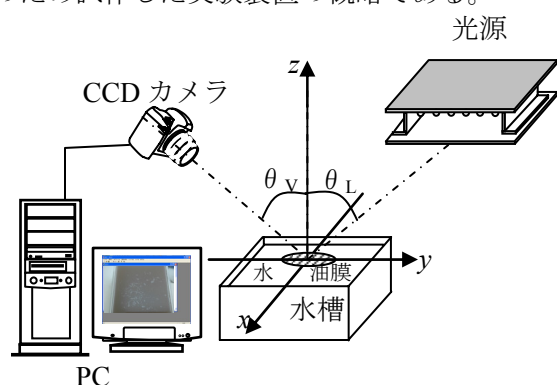


図3 実験装置の概略

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 カメラ、CCD カメラで撮影した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、直交座標系 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 2000 画素、横 3008 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。

図4は、実験装置の光源の概略を示したものである。

光源は、図のように 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。

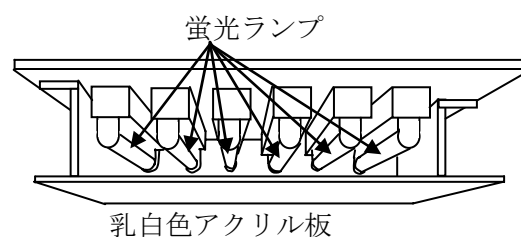


図4 光源の概略

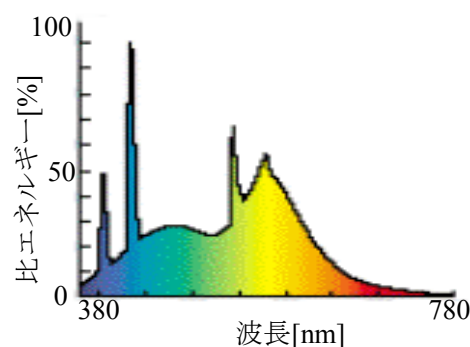


図5 蛍光灯の分光分布

図5は、実験に用いた蛍光灯の分光分布である。図のように実験に用いた蛍光灯は、可視光の多くの波長成分を含んでいる。

4.結果及び検討

図6は、本実験装置により撮影した画像の一例を示したものである。なお、撮影は表1に示すような条件により行った。図 a)は、水槽内に水のみを入れた場合、図 b),c)は、水槽に水を入れ、さらに、エンジン用油と、コンプレッサ用油をそれぞれマイクロピペットで $10\mu l$ ずつ滴下した場合である。なお、水槽内の水は、実際の河川を模擬するため絵の具により着色した。

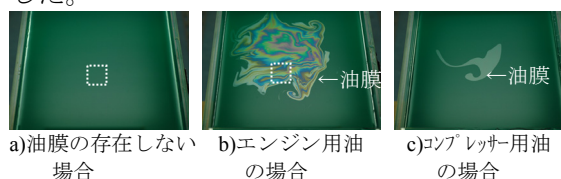


図6 撮影画像の比較

表1 撮影条件

光源の光の入射角 θ_L	撮影角度 θ_v	絞り	シャッター速度
40°	40°	4.0	1/20 S

図 b)のエンジン用油を滴下した場合は、滴下した油が広範囲に広がり薄い油膜となることから、光の干渉によって虹色パターンが生じていることがわかる。それに対して図 c)のコン

プレッサー用油を滴下した場合は、狭い範囲の油膜となり、光の干渉による虹色パターンが生じていないことがわかる。しかしながら、画像から油膜の輝度は、水面の輝度に比較して高いことがわかる。

4.1 虹色パターンの検出

図7は、撮影した画像の任意な微小領域における各画素の色度座標を(2)(3)式により算出し¹²⁾、算出した結果をxy色度図(CIE1931 色度図)上に表したものである。

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

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{X}{X+Y+Z} \\ y &= \frac{Y}{X+Y+Z} \end{aligned} \right\} \dots (3)$$

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) の輝度階調である。

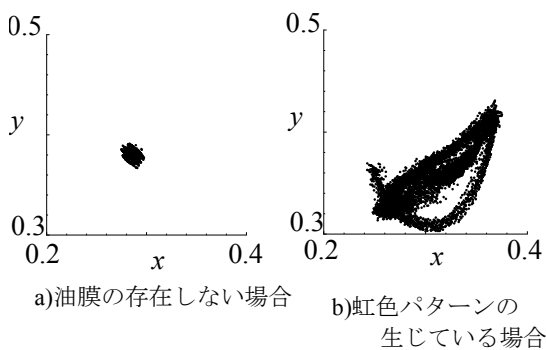


図7 xy 色度分布の比較

図 a) は、図 6a) 中の点線で囲まれた油膜の存在しない領域、図 b) は、図 6b) 中の点線で囲まれた油膜で虹色パターンが生じている領域の結果をそれぞれ示したものである。

図から、油膜の存在しない場合に比較して油膜で虹色のパターンが生じている場合には、様々な色が存在するため色度座標上の広い範囲に分布することがわかる。そこで、虹色のパターンを評価するための係数 K_c を(4)式のように定義する。

$$K_c(u, v) = \frac{\sum_{x=x_0}^{x_m} \sum_{y=y_0}^{y_n} C(x, y)}{m \cdot n} \dots (4)$$

この K_c は、xy 色度分布を微小領域にそれぞれ m, n 分割し、その分割したすべての領域のうち、データ (xy 色度座標上のプロット●) が存在する領域の割合を表すものである。

ただし、式中の u, v は、撮影画像上の座標であり、 m, n は、色度座標 x, y の分割数である。

また $C(x, y)$ は、分割した xy 色度分布の微小領域にデータが 1 つでも存在する場合には 1、存在しない場合には 0 とする係数である。

したがって、油膜により虹色パターンが生じている場合には、xy 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_c の値が高くなる。

図8は、撮影した画像(図6a), b) から(4)式により係数 K_c を算出し、算出した K_c を濃度値とする画像を生成した結果を表したものである。なお、図 a) は、油膜の存在しない場合、図 b) は、油膜で虹色パターンが生じている場合である。

図から、油膜で虹色パターンが生じている場合の K_c を濃度値とする画像は、油膜の存在する領域において K_c の値が高くなることがわかる。

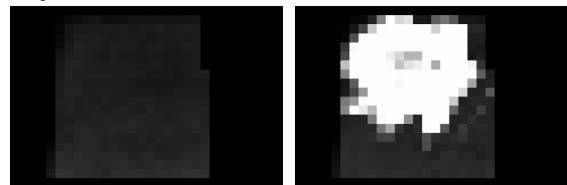


図8 K_c を濃度値とする画像の比較

図9は、図8の画像に適切なしきい値により2値化処理した結果である。なお、図 a), b) は、前述同様である。

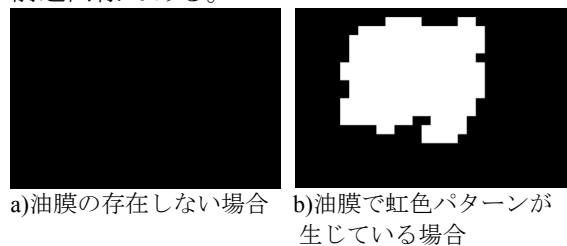


図9 2 値画像の比較

図から油膜の存在する場合にのみ 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知が可能であると考えられる。

4.2 高輝度領域の検出

図10は、撮影した画像の各画素の輝度階調から輝度 L を(5)式により算出し¹³⁾、算出した輝度 L を濃度値とする画像を生成した結果を示したものである。

$$L = 0.299 \cdot K_R + 0.587 \cdot K_G + 0.114 \cdot K_B \dots (5)$$

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) の輝度階調である。



a)油膜の存在しない場合 b)油膜が存在する場合
図 10 輝度 L を濃度値とする画像の比較

なお、図 a)は、図 6a)の油膜が存在しない場合の画像から、図 b)は、図 6c)のコンプレッサ用油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を示したものである。

図 b)から油膜が存在する領域では、輝度が高くなることがわかる。

図 11 は、図 10 の画像に適切なしきい値により 2 値化処理した結果である。なお、図 a),b)は、前述同様である。



a)油膜の存在しない場合 b)油膜が存在する場合
図 11 2 値画像の比較

図から油膜の存在する場合にのみ 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知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、干渉による虹色パターン、高輝度領域を検出することで油膜の検知を行う方法を提案し、試作した実験装置により提案した方法の基礎的検証を行った。その結果以下のような結果が得られた。

- (1)油膜で生じる虹色パターンを評価する係数 K_c を定義し、撮影した画像から算出した係数 K_c の値の高くなる領域を撮影した画像から検出することで油膜の検知が可能であることがわかった。
- (2)撮影した画像の輝度階調より輝度 L を算出し、算出した輝度 L の高くなる領域を撮影した画像から検出することで油膜の検知が可能であることがわかった。

今後は、河川の水の流れ、波、天候などの自然現象の影響について検討を重ねる予定である。

参考文献

- 1)上山、土方：「水晶振動子式高感度油臭センサによる河川油汚染モニタリング」、EICA,8-3,pp.16-20,(2003).
- 2)小川：「油漏れ検出器」、特開 2000-180289、(2000)
- 3)寺島、原ら：「光ファイバ形漏油検知センサ」、特開平 07-225174、(1994)
- 4)宇津、尾崎：「油膜検知器」、特開 2003-149134
- 5)西脇、西村：「油膜検出装置および方法」、特開 2005-024414,(2005)
- 6)金川、讃岐ら：「油膜センサを用いた浄水場沈砂池における油流入の連続自動監視」,EICA,7-2,pp.187-190,(2002)
- 7)平岡、野田ら：「油膜検知装置」、特開平 11-326187、(1999)
- 8)浦田：「紫外蛍光法による無試薬・非接触 BOD モニタリング装置」,EICA, 7-2,pp.179-182,(2002).
- 9)原口、金子ら：「油膜検出装置」、特開 2002-214140,(2002)
- 10)光学のすすめ、オプトロニクス社、p68-69
- 11)光学薄膜の基礎理論、オプトロニクス社、p29-47
- 12)照明ハンドブック、照明学会、p43-44
- 13)画像処理ハンドブック、昭晃堂、pp.183