

神戸大学大学院 学生員 山下 健作
 神戸大学工学部 正会員 神田 徹
 神戸大学工学部 正会員 宮本 仁志

1. はじめに

筆者らは画像の輝度情報を用いた浮遊物質の瞬時的空間濃度分布の計測法について検討を行っている¹⁾。瞬時的に空間濃度分布を計測する場合、何らかの方法で濃度場の瞬間的な可視化断面を作成して画像輝度の情報を得る必要がある。そこで本研究では、レーザースキャナーを利用することにより瞬時的な輝度情報が得られる画像計測システムを検討した。また、本計測システムを一様に調整した濃度場に適用して、輝度 - 濃度関係式より瞬時的な空間濃度分布の推定を行った。

2. システムの概要

図1に画像計測システムの概要を示す。アルゴンイオンレーザーから発射されたレーザー光をスキャナーによりスキャニングさせる。レーザー光をコリメータレンズによって平行光にし、シリンドリカルレンズで水槽内に可視化断面を作成する。カメラで可視化断面を撮影し、デジタルビデオテープを介して画像処理ボード搭載のパソコンに256階調の輝度データとして保存する。スキャナーを制御することにより可視化断面を水槽前面から奥行き方向 z へ0~5cmの計6断面に作成し、各可視化断面において1/10秒間静止させた。

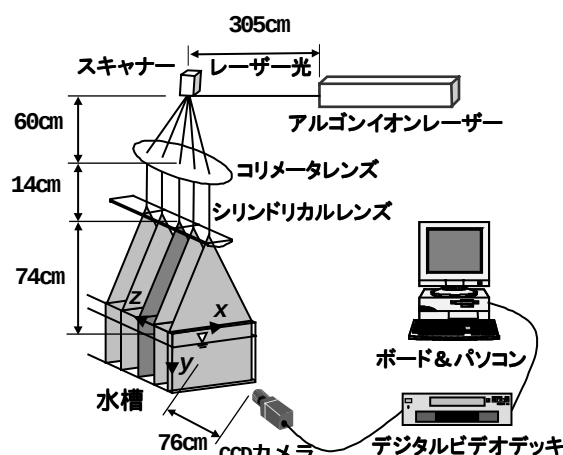


図1 画像計測システムの概要

3. 画像計測システムに関する検討

3-1 シリンドリカルレンズの影響 シリンドリカルレンズは、光の強度が光膜の中心から離れるほど弱まる特性がある。そこで、実験的に水面に入射する光強度分布に対する補正を行った。補正係数 γ は、低濃度のカオリナイト懸濁水を用いて水面における輝度分布を計測し、その分布が一様分布になるように求めた。図2に補正係数 γ の x 方向分布を示す。

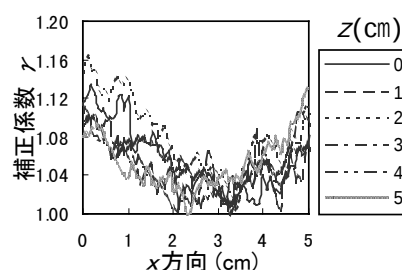


図2 補正係数 γ の x 方向分布

3-2 カメラレンズの絞りと輝度の関係 同一の濃度場を撮影してもカメラの絞り、レーザー出力、画像処理の際のゲインとオフセットなどによって得られる輝度値は異なる。そこで、本研究では絞りのみを変化させて撮影することとし、実験的に求めたカメラの絞りと輝度の関係により輝度補正を行った。式(1)にカメラレンズの絞り L と輝度 ξ の関係を示す。

$$L = \frac{5371.2}{\xi + 17.9} - 0.8 \quad (1)$$

ここに、 L は輝度、 ξ は絞りの2乗である。

3-3 画像輝度のノイズ除去 得られる画像輝度には、カオリナイト粒子形状の不均一性に起因する強い散乱光を反映した異常値（ノイズ）が含まれており、算出する濃度値の精度に大きく

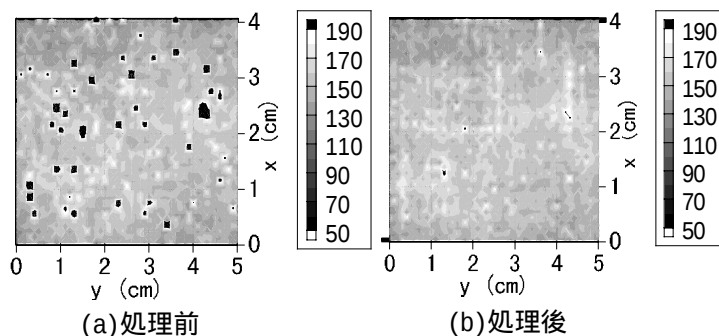


図3 ノイズ処理前と処理後の輝度分布

キーワード：計測法、浮遊物質、輝度、濃度、レーザースキャニング

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 TEL 078-881-1212 FAX 078-803-6069

影響する．ここでは，二次元離散ウェーブレット変換 (Tensor-product Transform, ウェーブレット; Daubeuchies⁴⁾)²⁾を用いて画像輝度のノイズ処理を行った．図3にノイズ処理前後の輝度分布を示す．

4. 輝度 - 濃度関係式

多重散乱の影響を考慮した画像輝度 - 浮遊物質濃度の関係式は次式で表される¹⁾．

$$L(x, y, z) = K \left\{ \exp \sum_{i=1}^{y-1} (-\alpha c(x, i, z) \Delta y) \right\} \left\{ \exp \sum_{j=1}^{z-1} (-\alpha c(x, y, j) \Delta z) \right\} c(x, y, z) + \beta(x, y, z) \quad (2)$$

ここに， L : 輝度， c : 濃度， α : 散乱係数， K : 式中の係数， β : 多重散乱項， Δy : 1画素の実長， Δz : 計測断面間隔である．

4-1 係数 K 水槽最前面の水面 ($y = z = 0 \text{ cm}$) の輝度は光の減衰と多重散乱の影響を無視できると仮定すると，式(2)は次のようになる．

$$L(x, 0, 0) = K c(x, 0, 0) \quad (3)$$

係数 K は実験を行い， L と c_0 の関係を求めて最小二乗法により同定した．

図4に L と c_0 の関係を示す．($K = 9.520 \times 10^3$)

4-2 散乱係数 α 水面 ($y = 0$) においては多重散乱の影響が無視できると仮定すると，式(2)は次のようになる．

$$L = K \exp(-\alpha c z \Delta z) c \quad (4)$$

水面の輝度分布を用いて，最小二乗法により α を同定し $\alpha = 0.2$ となった．

4-3 多重散乱 β 同定した係数 K ， α を用いて式(2)より多重散乱 β を求めた．図5に多重散乱 β の鉛直分布を示す． β の値はある水深において，極大値をとっており，断面が奥行き方向に進むにつれ極大値をとる水深が深くなっていることが分かる．

5. 一様調整濃度場における計測結果

以上より求めた係数を用いて，本計測システムを一様に調整したカオリナイト懸濁水 (調整濃度 $c_0 = 0.1 \text{ g/l}$) に適用し，得られた輝度情報より空間濃度分布を算出した．図6に断面 $z = 2 \text{ cm}$ における平均輝度分布と対応する濃度算出結果，図7に瞬間輝度分布と濃度算出結果を示す．輝度分布は多重散乱の影響によりある水深において最大値をとっているが，濃度はほぼ一様な分布で算出されている．

6. まとめ

今後は推定濃度の精度を向上させるためのシステムの検討を続けるとともに，非一様の濃度場を計測するための手法，アルゴリズムの検討を行う予定である．

<参考文献> 1) 神田 徹，宮本 仁志，岩見 収二：光の多重散乱の影響を考慮した浮遊物質濃度の画像計測法，水工学論文集，第43巻，pp.767-772，1999．2) Mallat, S.: A wavelet tour of signal processing, Academic press, 1999.

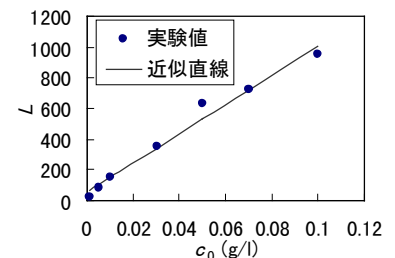


図4 L と c_0 の関係

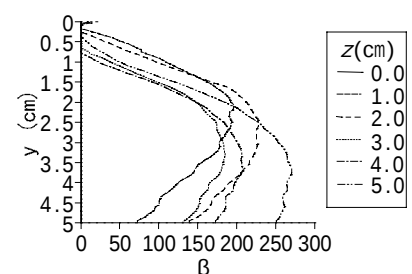


図5 β の鉛直分布 ($c_0 = 0.1 \text{ g/l}$)

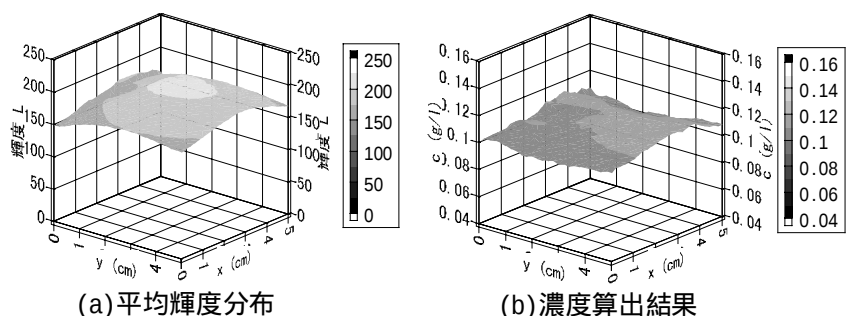


図6 平均輝度分布と濃度算出結果 ($c_0 = 0.1 \text{ g/l}$, $z = 2 \text{ cm}$)

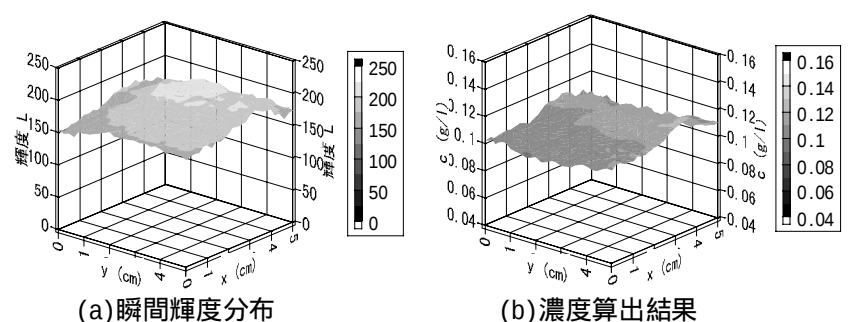


図7 瞬間輝度分布と濃度算出結果 ($c_0 = 0.1 \text{ g/l}$, $z = 2 \text{ cm}$)