

可視化画像情報を用いた浮遊泥濃度の時空間分布計測手法に関する基礎的研究

熊本大学 学生員 ○谷口正浩、白木原圭太 正員 滝川 清、山田文彦

1. はじめに

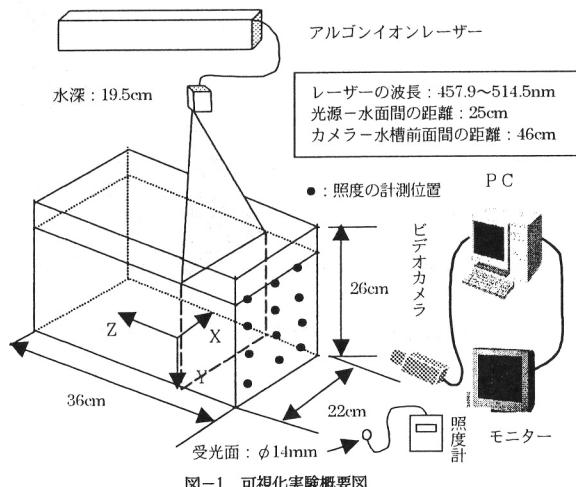
有明海域特有の干潟の地形変化を予測するには、潮流などにより巻き上げられた浮遊泥濃度の時空間分布を定量的に把握する必要がある。本研究では、近年技術発展が著しい画像処理技術を用い、画像の輝度情報をもとに浮遊泥濃度の時間・空間分布を推定(逆解析)する計測手法の開発を目的としている。今回、その基礎的研究として、ビデオ(可視化)画像の輝度と浮遊物質濃度との関係について検討すると共に、輝度-浮遊物質濃度の関係式を理論的に定式化し、その関係式中に含まれる未知係数を実験的に同定する方法について検討した。また、それらの同定値を用いてほぼ一様な濃度場での入射光の減衰や多重散乱特性についても検討を行った。

2. 実験の概要

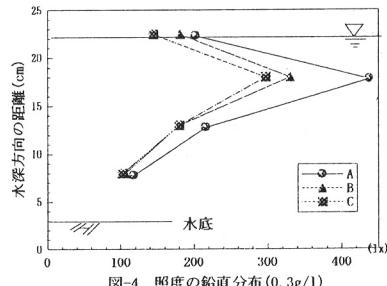
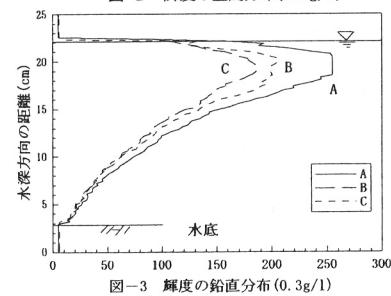
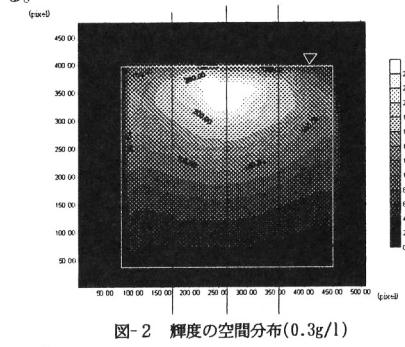
ビデオ画像の輝度は、浮遊物質の濃度・粒径・色などの相違による光の減衰や放出・散乱などの影響を受けやすい。そこで今回は、基礎的研究としてこれらの影響を取り除くため、粒径が均一で白色のカオリナイトを用いて一様濃度場($0.3, 0.5, 1.0 \text{ g/l}$)を作成し、実験を行った。可視化手法は、アルゴンイオンレーザー(出力:4W)をシート状にして水槽上方から照射することで可視化断面(水槽前面より $z=0 \sim 4\text{cm}$ の計5断面)を作成し、ビデオカメラで側方より撮影を行った(図-1)。得られたビデオ画像はパソコン上で 512×480 画素、256階調の輝度に変換される。また、照度計(Minolta,T-10M)を使用し、水槽前面の12点で照度も計測した。

3. 実験結果

図-2は、濃度 0.3g/l の輝度分布を示し、同図中の3つの断面(A, B, C)における輝度の鉛直分布を図-3に示す。輝度



は、水面下 $2 \sim 3\text{cm}$ の所で最大値をとり、その後水深方向に減少する。B, C断面より中央のA断面の輝度が全体的に高く、ほぼ左右対称な分布をとることがわかる。図-4は同条件での照度の鉛直分布を示している。これより輝度と照度は非常によく似た分布傾向を示し、両者には相関があることがわかる。次に、各濃度での中央断面における輝度の鉛直分布を比較したものを図-5に示す。濃度が異なっても輝度のピーク値に明確な差が見られない。よってこの分布のみでは濃度の逆解析は非常に困難である。そこで、照度計の計測結果を各濃度ごとに比較してみると、照度のピーク値は高濃度ほど高くなっていること、濃度による差が明確である(図-6)。そこで前述の輝度と照度の相関性に着目して、照度の値を用いた輝度の補正を行った(図-7)。なお補正是、 1.0g/l の照度の最大値を輝度の最大値 255 とし、線形的に補正した。これによって輝度と濃度の関係が明確になり、以降の解析にはこの補正後の輝度分布を用いる。



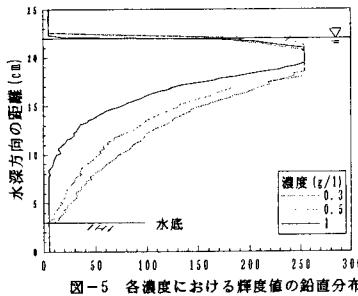


図-5 各濃度における輝度値の鉛直分布

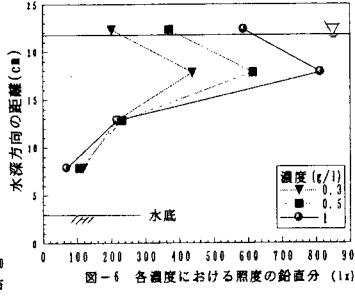


図-6 各濃度における照度の鉛直分布 (lx)

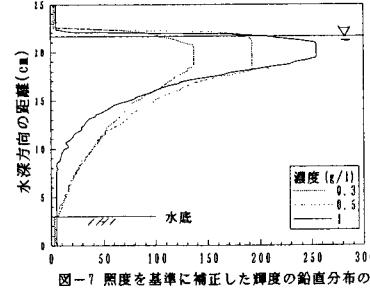


図-7 照度を基準に補正した輝度の鉛直分布の比較

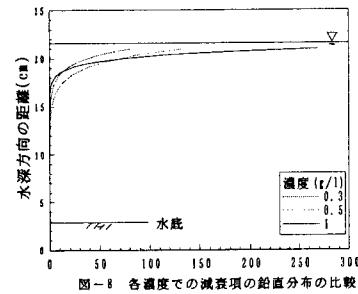


図-8 各濃度での減衰項の鉛直分布の比較

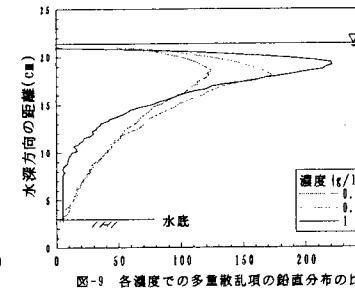


図-9 各濃度での多重散乱項の鉛直分布の比較

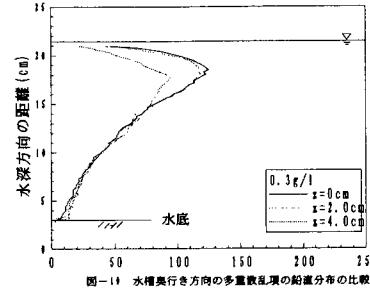


図-10 水槽奥行き方向の多重散乱項の鉛直分布の比較

4. 輝度—濃度関係式を用いた計算結果

次に、輝度と濃度の関係式について理論的に考察する。ここでは、光の伝播特性を表す放射伝達方程式⁽¹⁾（神田ら）を参考に誘導した。詳細は省略するが、最終的には輝度-浮遊物質濃度の関係式を次式で表す。

$$L(x, y, z) = K(x) \exp\{-\alpha(x)c(y\Delta y + z\Delta z)\}c + \beta(c, x, y, z) \quad (1)$$

ここで、 L :輝度、 K :散乱項と入射光強度によって決まる係数、 α :散乱係数、 β :射出項、 Δy :1画素の実長、 Δz :計測断面間隔、 c :濃度である。

つまり、(1)式の右辺の第1項は減衰項を、第2項が射出項を示している。射出項には媒質が熱源を持つ眞の射出と散乱項の一部が再び光路上に戻ってくる見かけの射出(多重散乱)の両方が含まれている。そこでサーモグラフィー(チノー、CPA-570)を用いて、温度分布を調べたが、レーザーを照射しても温度分布に変化が見られなかつたので、本研究では、この射出項を多重散乱項として取り扱う。解析手順としては、水面方向(x軸方向)に散乱係数 $\alpha(x)$ と係数 $K(x)$ を実験値より同定することでまず、式(1)の減衰項を評価する。なお、これら未知定数の同定については講演時に発表する。図-8は各濃度(水槽前面、 $z=0$ cm)の中央断面(A)における減衰項の鉛直分布を示す。減衰項は図より、濃度に関係なく水表面下5.0cm以内のみに分布し、水深方向に急激に減衰していることがわかる。次に多重散乱項 β は輝度から減衰項を差し引いたものとして次式で評価

する。

$$\beta(c, x, y, z) = L(x, y, z) - K(x) \exp\{-\alpha(x)c(y\Delta y + z\Delta z)\}c \quad (2)$$

図-9は各濃度(水槽前面、 $z=0$ cm)ごとの中央断面(A)における多重散乱の鉛直分布を示す。図より、各濃度とも水深方向(y軸方向)において水面から3.0cmの深さで最大値をとっている。また多重散乱項は、濃度が高くなるにつれて、そのピーク値が高くなり、これより高濃度ほど多重散乱の影響が大きいことがわかる。図-10は0.3g/lの奥行き方向(z軸方向)の多重散乱の鉛直分布を比較した。奥行き方向に進むほど多重散乱の影響は小さくなっていることがわかる。

5. おわりに

今回、ビデオ画像の輝度と浮遊物質濃度の関係や輝度と照度との関係を調べ、濃度場の逆解析のために、輝度との相関の高い照度を用いて、輝度の補正方法を提案した。また、理論式に基づいて、減衰項や多重散乱の特性についても検討を行った。今後は、多重散乱項の濃度依存性を実験結果に基づき定式化し、浮遊物質濃度の逆解析を行う予定であり、これらの結果の詳細については講演時に発表する。

＜参考文献＞

- 1) 神田ら(1999)：光の多重散乱の影響を考慮した浮遊物質の画像計測法、水工学論文集、第43卷