

重複波による染料の拡散に関する実験的研究

京都大学工学部 正 員 岩垣雄一

京都大学工学部 正 員 平山秀夫

京都大学大学院 学生員 岡 幸夫

1. はしがき：漂砂問題を定量的に把握するためには、波動の場における底質の浮遊機構の解明がなされなければならない。われわれは、ここ数年来、重複波動中における1個の個体粒子の運動特性を主として実験的に調べた結果、底面が滑面の場合でも、実際の波動の場には乱れあるいは乱れに類似するものが存在することを明確に示してきた。

本研究は、このような推論を実証するため、前回と全く同じ条件の下に染料の拡散実験を行ない、その拡散域から拡散係数を求め、そのオーダーや場所的分布特性を調べて、従来得られた結果と比較検討しようとするものである。

2. 実験装置および方法：実験装置は前報と全く同様であるので、ここでは省略する。実験方法は、重複波が定常状態になったと思われる時点で、底面から染料（エキシ）を静かに注入し、その鉛直面内における拡散過程を1周期ごとにモータードライブ付きカメラで撮影した。なお、座標軸のとり方は前報と全く同じである。

3. 解析方法：(a) 拡散係数：ここでは水槽の横方向の変化はないと仮定し、 xy 平面の2次元の拡散について考える。いま、物質の拡散に関する連続の条件から求められる拡散方程式の中で、水平および鉛直方向の拡散方程式等しいと仮定し、さらに質量輸送速度を無視すれば、浅海重複波の非回転波動理論では各速度成分の時間平均は0ととれるので、移流項は消去できて、結局、拡散方程式は次式のように2次元熱伝導型方程式になる。
$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} = D(\frac{\partial^2 \bar{c}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{c}}{\partial y^2}) \cdots (1)$$
 ここで、 $\bar{c}$ は平均濃度で時間と場所の関数、 D は拡散係数、 t は時間である。いま、染料が注入されたとき、初めの染料の濃度分布が $\bar{c} = C_0 e^{-\frac{r^2}{4\alpha t}}$ ($r^2 = x^2 + y^2$, C_0, α は定数) のように同心円的で、かつ中心からの距離によって指数関数的に減少すると仮定すると、 t 時間後における染料の濃度分布は(1)式から、 $\bar{c} = C_0 (1 + 4D\alpha t)^{-1/2} \exp\{-\frac{r^2}{4\alpha t(1 + 4D\alpha t)}\}$ のように求まる。観測される染料域は可視限界と考えられるので、染料域縁の濃度は常に等しいと仮定し、さらに、ある時刻 t_{i-1} , t_i に測定した染料域の面積を等面積の円に換算して、その半径をそれぞれ r_{i-1} , r_i とすれば、若干の略算の結果、拡散係数は次式のように求まる²⁾。
$$D = (r_i^2 - r_{i-1}^2) / 4(t_i - t_{i-1}) = (S_i - S_{i-1}) / 4\pi T \cdots (2)$$
 (S_i, S_{i-1} : 時刻 t_i, t_{i-1} での拡散域の面積、 T : 波の周期) 以下この(2)式から拡散係数を求めた。

(b) 実験結果の解析法：撮影されたネガフィルムをB5版ミニコピーリダ用紙に焼付け、digital coordinator を用いて染料域の面積 S_{i-1} , S_i と中心位置を測定し、(2)式から拡散係数を求めた。

4. 実験結果：(a) flow-visualization：拡散過程の実例を静水中の場合と重複波動中の場合に分けて写真-1に示す。この写真から、静水中と波動の場での拡散過程の相違がわかる。(b) 拡散係数の場所的分布：図-1に拡散スケールがほぼ一定 ($0.5 \text{ cm} \leq r < 0.7 \text{ cm}$, $z = -25 \text{ cm}$) の場合の拡散係数の水平分布を波高別に示したものである(図中 Δ は $H < 8 \text{ cm}$, $\circ$ は $8 \text{ cm} \leq H < 11 \text{ cm}$, $\bullet$ は $H \geq 11 \text{ cm}$, H : 波高)。なお、図中の $\square, \blacksquare$ 印はそれぞれ one particle の運動の分散から求められた、水

平および鉛直方向の拡散係数の結果である。この図から、両者はほぼ一致することがわかる。

(c) 拡散スケールと拡散係数の関係：図2~4に拡散スケールと拡散係数の関係を、静水中と波動の場合に分けて示した。これらの図から、波動の場では拡散スケールの $4/3$ 乗則は成立しないことがわかる。

5. 結論：(1)重複波動中の拡散係数として $10^{-2} \sim 4 \times 10^{-1} \text{ cm}^2/\text{sec}$ という値が求められ、静水中の場合の分子拡散係数である $10^{-3} \text{ cm}^2/\text{sec}$ 程度の値と比較して明らかにオーダーが1桁以上大きいことが明確になった。(2)重複波による染料の拡散から得られた拡散係数の水平分布は、拡散スケールによって著しい差異があるが、ほぼ一定の拡散スケールの場合には、すでに1個の浮遊粒子の運動の分散から算定した分布と類似し、しかも拡散係数のオーダーもほぼ一致していることが明らかになった。(3)重複波動中における拡散係数と拡散スケールの関係は、 $4/3$ 乗則よりもむしろ $2 \sim 3$ 乗則が成立する。(4)以上の結果より、重複波動中に乱れあるいは乱れに類似するものの存在が一層明確になった。最後に、本研究は文部省科学研究費による研究の一部であることを付記し謝意を表する。 参考文献：1)岩垣・平山：第21回海岸工学講演会論文集，1974。 2)平野・杉浦：東海区水産研究所報告，第22号，Dec. 1958。

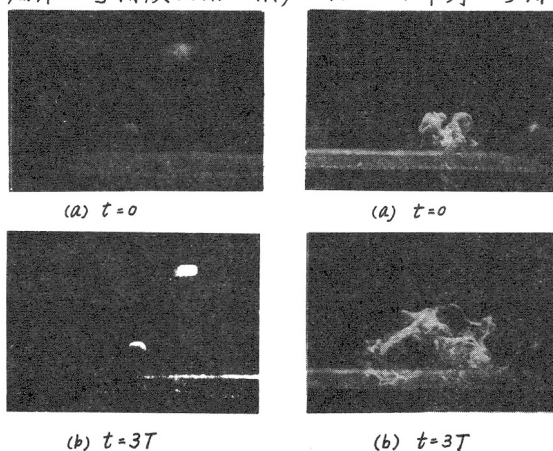


写真-1-(1) 拡散過程(静水中) 写真-1-(2) 拡散過程(波動中)

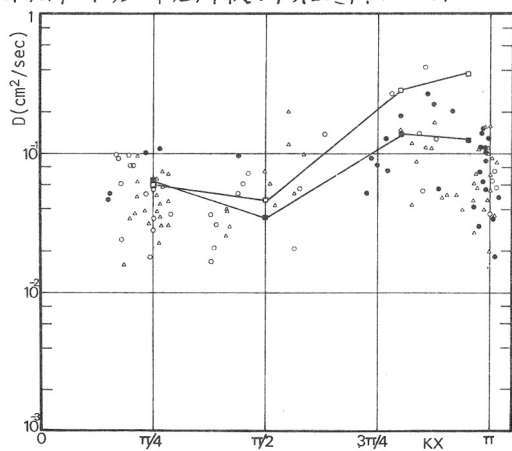


図-1 拡散係数の場所の分布 ($\pi \approx 25^\circ$, $0.5 \text{ cm} \leq r < 0.7 \text{ cm}$)

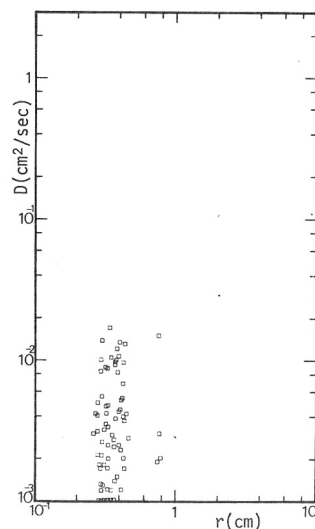


図-2 拡散スケールと拡散係数の関係(静水中)

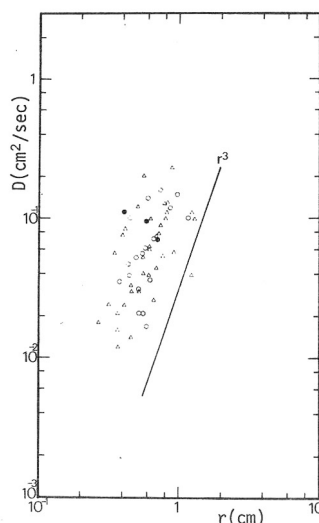


図-3 拡散スケールと拡散係数の関係(波)

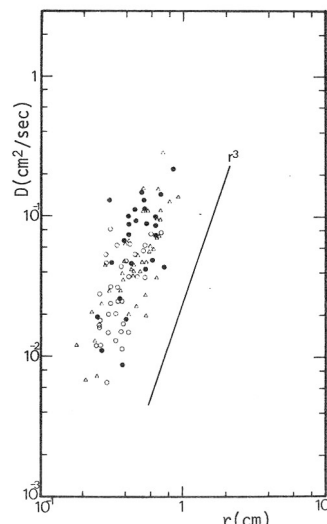


図-4 拡散スケールと拡散係数の関係(波)