

元大 正 員 栗谷 昭一
 学生 岡 田 照夫

現在、海洋汚染の諸問題は、拡散係数を仮定し simulation などの方法によって取扱われることが多い。この拡散係数の仮定に際しては、その海域でのプイ群、又染料の投入実験によって推定されるが、この実験データの解析にあたって、プイ群の重心回りでの分散、染料の濃度変化、面積変化から拡散係数を推定する方法が多く採用されている。今回はプイ群の実験データから実験海域の拡散係数を推定する場合の解析法に関する考察をこのようにする。

1. 現在多く採用されている解析法

対象とする拡散現象のスケールが乱流場中の慣性領域の渦のスケールと同程度とすると、局所等方性理論により、乱れ程度に離れ、2点間の相対距離 Y の変化は realization mean としてとらえられる

$$\left\langle \frac{dY^2}{dt} \right\rangle = C \varepsilon^{1/3} \langle Y^{4/3} \rangle \quad C; \text{constant}, \varepsilon; \text{エネルギー散逸率} \quad (1)$$

で表わされる。この2粒子の相対拡散を多数の粒子の重心のまわりの拡散にまで拡張する。すなわち、多数の粒子を同時に乱流場投入した時、粒子の重心に対する相対的運動は群の広がりと同程度のスケールの渦、およびそれよりも小さい渦によってのみ行われる。これは2粒子の相対拡散と同じ概念であり、今、重心回りの分散を σ^2 、拡散係数を K_σ とすると、

$$K_\sigma = C \varepsilon^{1/3} \sigma^{4/3} \quad (2)$$

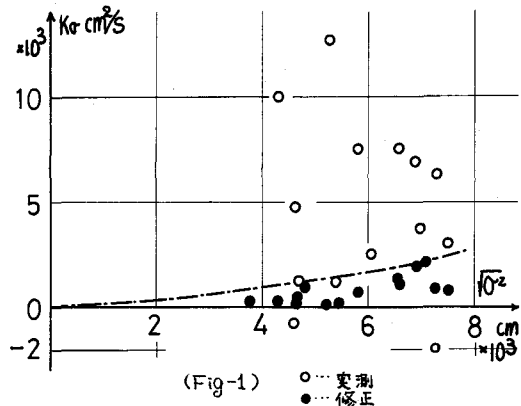
の関係が得られる。この関係を用いる事によって1回の実験からだけでなく、分散の時間的変化を求めただけで拡散係数が容易に推定できるため、現在ではこの解析法がよく用いられている。

今 (Fig-1) の O 記号で示したのは大分県香々地沖でのプイ群の拡散の実験データと (2) の関係を用いて解析したものであるが、値のバラツキが大きく、正確な拡散係数は推定できない。この原因としては、乱流成分ではない、一樣な拡大・縮小、又剪断作用による変形の影響を分散も含みためであると思われる。この2つの作用の影響を除く事を考える。今、対象として重心回りの相対拡散を考えているから、拡大、剪断の作用と共に並進、回転の影響を除くことができる。

N 個中の任意のプイの座標を (x_{ij}, y_{ij}) [添字 j は投入後の経過時間を表す。] とすると、

$$\begin{cases} x_{i,j+1} = x_{i,j} + a - b x_{i,j} - c y_{i,j} \\ y_{i,j+1} = y_{i,j} + d - e x_{i,j} - f y_{i,j} \end{cases} \quad (3)$$

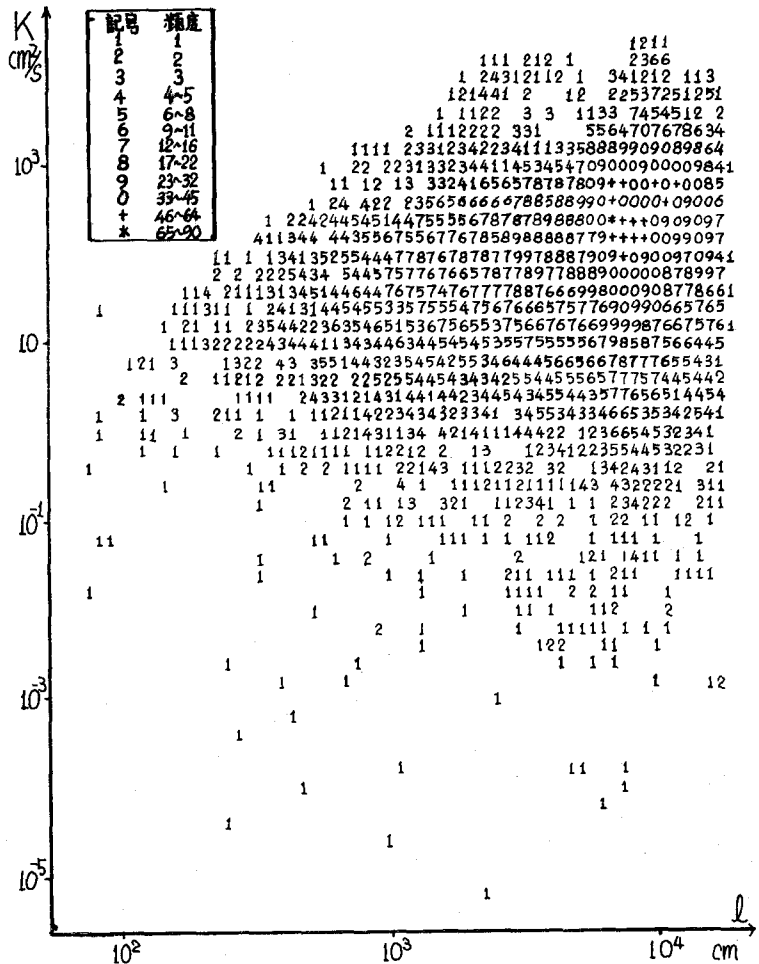
なる点 $(x_{i,j+1}, y_{i,j+1})$ は点 $(x_{i,j}, y_{i,j})$ にあるプイが $(x_{i,j+1}, y_{i,j+1})$ に移動した運動から、相対拡散に関与しない重心の移動、回転、一樣拡大・縮小、剪断変形の影響を除いた場合、プイが到達する点である。ここで



を考えると、 F は乱流そのものによる変化を意味する。(4)に最小二乗法を用いて、係数 a, b, c, d, e, f を求めし (x_{i+1} , y_{i+1}) を求め、この値を用い分散の時間的遷移から拡散係数式めると (Fig-1) の記号●となり、実測値から求めたものより全般的に小さな値を示し、又点のバラツキも少ないが (2) の関係とは相当異なり、正確な拡散係数の推定は期待できない。

$$\begin{cases} \Delta x = \Delta x_0 \\ \Delta y = \Delta y_0 \end{cases}$$
$$\begin{cases} \Delta x = Ax \\ \Delta y = Ay \end{cases}$$
$$\begin{cases} \Delta x = -By \\ \Delta y = Bx \end{cases}$$
$$\begin{cases} \Delta x = C(x \cos 2\theta + y \sin 2\theta) \\ \Delta y = C(x \sin 2\theta - y \cos 2\theta) \end{cases}$$
$$\begin{aligned} a+bx+cy &= \Delta x_0 + \Delta x - By \\ &\quad + C(x\cos 2\theta + y\sin 2\theta) \\ d+ex+fy &= \Delta y_0 + Ay + Bx \\ &\quad + C(x\sin 2\theta - y\cos 2\theta) \end{aligned}$$
$$A = (b+f)/2$$
$$C = \sqrt{(b-f)^2 + (c+e)^2} / 2$$

Scatter plot showing the relationship between $r = (10^{-2} - 10^{-22})/10^{12}$ cm (Y-axis) and $A+C$ (X-axis). The data points are scattered around a horizontal line at $r \approx 0.1$.



(Fig-3)

関係と (Fig-2) を示す。これは分散に対して乱流成分ではない、一樣な拡散、剪断変形が少なからず影響をおよぼす事を表わしている。従って乱流成分以外の影響を受ける分散という物理量から乱流によって起こる拡散現象の係数を推定する事は不合理であると判断出来る。

2. Richardson の法則

(1) の関係から拡張した (2) の関係によって、拡散係数を推定することが妥当ではない場合、(1) の関係から拡散係数を求める。この場合、realization mean を取る必要がある。しかし乱流場と同時に多数の粒を投入したならば、粒子群の各々に対して two-particle analysis を採用し、かつ粒子数が多ければ、その結果の平均は realization mean と等しくなるであろう。

前述のデータに対して、Richardson の neighbour diffusivity K_r を、最初 l_0 の距離隔たった 2 粒子が T 時間後に l になった時、

$$K_r \equiv (l - l_0)^2 / 2T \quad \dots \dots (5)$$

と定義し、解析を行なうと (Fig-3) を得るが scatter が大きく平均化を必要がた。多数の試行に対する $\Delta l \equiv l - l_0$ の頻度分布が $\Delta l = 0$ を中心として正規分布になるとし、 $\log K_r$ に対する頻度分布を計算すると、

$$P(\log K_r) = C \cdot \sqrt{K_r} e^{-K_r} \quad (C: \text{const}) \quad \dots \dots (6)$$

と仮定する。(Fig-3) の頻度 ($\log l - \log(l_{\text{std}})$, $K_r \sim K_r + \Delta K_r$ のメッシュにある点の数) を一定の l において、 K_r に対する頻度分布を示すと (Fig-4), (Fig-5) となり (6) の分布とほぼ一致する。このことより平均の方法としては (Fig-3) において横座標である l を対数を取り、適当なメッシュに割り、 K_r を平均するのが適当となる。この方法で (Fig-3) を平均すると (Fig-6) を得る。この結果は $l = 2.0 \times 10^2 \sim 3.0 \times 10^2 \text{ cm}$ の範囲で Richardson の法則

$$K_r \propto l^{4/3} \quad \dots \dots (7)$$

によく適合する、 l の範囲の下限は実験に使用したアジイの最長尾が 60 cm 以内になるものと思われる。このことから、今回データとして用いた各々の地帯海域での、実験時の相対拡散係数は、

$$K_r = 0.1640 l^{4/3} \quad [l \leq 3.0 \times 10^2 \text{ cm}] \quad \text{で求められるであろう。}$$

3. あとがき

アジ群の投入によって海域の拡散係数を求める場合、分散の変化から推定する値は、実際のそれとは一致しないこともありうるから、解析法・測定法の容易さからただで無条件に採用すべきではなからう。4/3 乗則の成立に前提とし、Richardson の手法を用いればより正確な拡散係数が求められるであろう。

最後に、今回のデータを提供されたアジア航運株式会社、に謝意を表する。

