

II-52 冷却水取水に伴う水粒子運動のシミュレーション

(財) 電力中央研究所

同上

和田 明

荒木 洋

1. まえがき

冷却水の水温上昇が海生生物におよぼす影響としては、温排水拡散領域内での状態ならびに取水された冷却水の復水器通過による温度上昇（7℃程度）を受ける状態が考えられる。このように、冷却水あるいは拡散領域内に含まれるプランクトン等が受ける温度履歴とさらされる総熱量（thermal dose）を知るためには、従来より展開してきた温排水拡散予測と同様に、冷却水取水を行なう場合、どこの水塊が取水されるのか予測することは前面海域の生物相分布との関連のもとで重要な課題となり得る。本文においては、平均場としての沿岸流分布を求めたのち、乱数を用いた乱れの場合における個々の粒子運動に関するシミュレーションを行なった結果を述べるものである。

2. 流れの場の一表現法

図-1に示すような沿岸海域での流れの場を例にとりて考えよう。図に示す流運分布は連続流体力学の運動なびに連続方程式の式系を組み合わせて海底地形の変化を考慮し、平均流について解いた結果を示すものである。同時に取水により流れの分布も計算してある。実際の海域においては、この平均流を包含した乱流場を形成していて、いろいろな大きさの渦が重なり合っているものと考えることができる。このときの乱流場は種々の階級の乱子の運動の和として表わされ、各乱子はそれぞれの大きさ、速度、寿命時間を有している。

一様流中の乱れの問題を考えると、任意点での乱流速度は x 方向の速度成分のみを考えると次式で表わされる。

$$u(t) = u_0(t) + u_1(t) + \dots + u_n(t) + \dots + u_\infty(t)$$

ここに、 u_0 は最大渦、 u_∞ は最小渦に対応する。このとき、 n 階級の乱子のエネルギー消散率は $\varepsilon \div u_n^3 / \Lambda_n$ (Λ_n は乱子の大きさ) であり、この量は乱子がこわれてゆく過程で n によらず保存されるので、 u_0, Λ_0 を初期値とするとき乱子スペクトルは、 $(u_n/u_0)^3 = \Lambda_n/\Lambda_0$ で表わされる。これを波数空間におけるエネルギー・スペクトラムの形に直すと、 $F(k) \propto k^{-5/3}$ の形が得られる。

上記の諸性質を利用して直接、流体の乱流運動をシミュレートすることを考える。乱流の問題にモンテカルロ法を応用するときには、現象が単にある確率分布に従う不規則現象であることのほかに相関やスペクトラムなどの統計的特性が存在しなければならない。乱流運動の研究は本来ラグランジ流の考え方に基いている。つまり流体粒子の位置の変動を統計的に扱うことによって流れの場が規定される。座標系 (x_1, x_2) に関する確率分布は確率密度関数を $\varphi(x_1, x_2)$ とすると次のようになる。

$$\begin{aligned} F(x_1, x_2) &= \Pr\{X_1 \leq x_1, X_2 \leq x_2\} \\ &= \int_{-\infty}^{x_1} \int_{-\infty}^{x_2} \varphi(x_1, x_2) dx_1 dx_2 \end{aligned}$$

$$\text{ここに、} \varphi(x_1, x_2) = \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x_1^2}{\sigma_1^2} + \frac{x_2^2}{\sigma_2^2}\right)\right], \quad \sigma_i^2 = \text{Var}(X_i).$$

粒子雲を追跡するとき、 $t = i\Delta t$ における粒子の座標を (X_i, Y_i) 、乱流成分を (u_i, v_i) とすれば、各時間ステップにおける粒子の位置は次式で与えられる。

$$X_i = X_{i-1} + (\bar{u}(X_{i-1}) + u'_{i-1})\Delta t, \quad Y_i = Y_{i-1} + (\bar{v}(X_{i-1}) + v'_{i-1})\Delta t$$

上式中、一印は平均値を表わす。

3. 結 果

変動流速は2次元の正規乱数をとるものとする。正規分布したランダムに抽出した乱数を用いて、図-1に示す流れの場における個々の粒子運動に関するシミュレーションを行なった結果が図-1および2に示してある。

図-1は汀線より300, 600, 900 m沖合の点源からの代表的な粒子の変位を示す。各点源にそれぞれ300個の粒子を放出し、各時間ステップごとにこれらの粒子を上述の方法で移動させて粒子雲の広がり状態を求めた。図-2はその結果の一部で汀線より沖合600 m地点からの粒子の広がりの変化を示すものである。

このように対象海域の場の流れの特性との関連のもとに取水に伴なう流動と解析を行ない、冷却水の取水に伴なうプランクトン等が受ける総熱量を予測評価し、その水産資源的な面への影響についての検討を行ない、もし影響が予測されるときはこれを回避するための措置として取水方式に検討を加え、必要な対策を施すべきであろう。

参 考 文 献

- 1). 千秋信一(1975): 温排水と環境アセスメント, 環境アセスメントの手法と実例資料集, フジテクノシステム
- 2). Hino, M.(1965): Digital Computer Simulation of Random Phenomena, Trans. of ASCE, No. 123
- 3). Weizsäcker, C.F(1964): Nature, Vol. 158

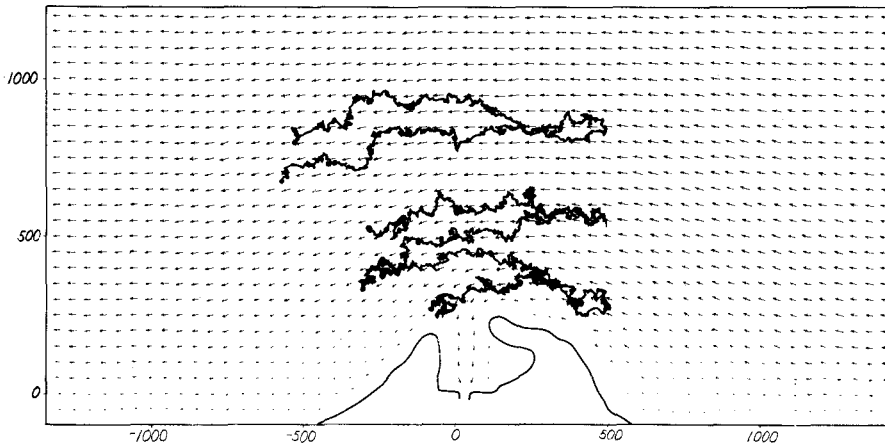


図-1 代表的な粒子の変位

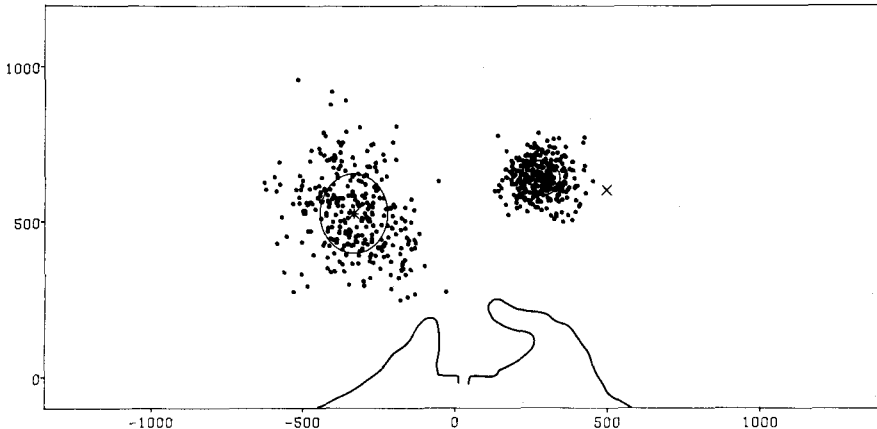


図-2 粒子雲の広がり状態