

(財)電力中央研究所 正員 角場正剛  
同 上 正員 和田 明

### 1. はじめに

沿岸部に立地された火力・原子力発電所が復水器冷却用として取水する海水中に含まれるプランクトンや卵稚仔は、復水器の冷却系統を通過し、放水口より放出される間の機械的な損傷や熱的履歴により損傷されることが認められている。このため取水口付近に重要な藻場や産卵場が存在する場合には、対象海域の生物環境に影響を与えることが予想される。この影響を軽減するためには対象地において、プランクトンや卵稚仔等の海中に浮遊している物体の取り込まれる範囲やその割合を事前に予測し、取水放水口の最適な配置を検討することが必要である。本文は、この観点より海域の平均的な流動および冷却水取水に伴う流動を数理モデルによりシミュレートし、これら以外の不規則な乱れを考慮してプランクトンや卵稚仔等の海中に浮遊している浮遊体が冷却水取水に伴い取り込まれる範囲およびその割合を確率的に検討したものである。

### 2. 沿岸海域における流速変動の特性

日本の沿岸海域における流動特性については、これまでの各地での観測結果より次の知見が得られている。<sup>1,2)</sup>すなわち、本邦の海域の流動は、内海域のような周期的な往復運動する海域と外海域のような不規則な流れの卓越する海域に大別される。前者の海域の流動は、周期的な往復流成分に不規則な乱れが重畳したものであり、後者の海域の流動は、様々な周波数成分を有した乱れの合成されたものである。それ故、前者では往復流成分を、後者ではある周期以上の長周期成分を平均流とみなし、これにそれ以下の周期を有する高周波成分の不規則な乱れを合成したものを流れと考えることができる。

### 3. 乱数発生による乱れの再現性

海域において観測された流速変動より、周潮流成分あるいはある周期以上の長周期成分を除去した後の高周波の不規則な乱れ成分の自己相関曲線は、相関係数が遅れ時間の増大とともに単調に減少し、零に漸近する形状となり、またそのスペクトルは、周波数の増大とともに単調に減少することが認められている。これらの特性を有した乱れを発生する手法としては、既に筆者らが報告しているような日野の提案した乱数モデルによる方法や、乱れがマルコフ過程に従うとしたマルコフモデルによる手法がある。これらの手法を用いて乱れをシミュレートした。その結果、観測された流速変動より周潮流成分を除去した高周波成分の乱れの自己相関係数、エネルギー・スペクトルは、シミュレートされた乱れのものと同様な一致を示しており、用いた手法の妥当性は確認されている。<sup>3)</sup>

### 4. 数理モデルによる冷却水取水に伴い取り込まれる浮遊体の確率的検討

冷却水取水に伴い取り込まれる浮遊体の確率的な検討を行うために、半無限状の海域で直線の海岸線に位置した取水口を想定し、海域での流動特性、拡散係数、冷却水取水量をパラメーターとして海域に投入した粒子が取水口に取込まれる割合を数理モデルによりシミュレーション解析した。数値解析に当っては、流体の運動および連続方程式より冷却水取水に伴う流れを求め、海域の沿岸流は海岸線に平行であると仮定し、海域に投入した粒子に乱数発生させてシミュレートした不規則な乱れを与え、各粒子の位置を時々刻々計算して取水口に取込まれる粒子の割合を検討した。

数値計算の条件は以下の通りとした。計算対象領域は、取水口を中心に左右6 km、沖合4 kmの領域とし、この領域を50 mの格子群に分割した。取水量は、50, 100 m<sup>3</sup>/s とし、取水口での取水流速は、それぞれ20, 40 cm/s とした。沿岸流としては、内海のような周期的な往復流の卓越する海域を想定し、潮流振幅としては、

10, 20, 30 cm/s の3ケースを考えた。また、沿岸流の流速は、海岸線上では零で、沖合0.5 kmで所定の流速値になるとし、その間には二次曲線形状で増加する分布形状とした。海域の乱れのパラメーターである拡散係数は、これまで各地での観測結果より判断して、潮流振幅が10, 20 cm/sの場合は  $10^4 \text{ cm}^2/\text{s}$ , 30 cm/sの場合は  $10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$  で等方性の拡散場であるとした。ただし、沖合方向の拡散係数  $K_y$  は、沿岸部付近では小さくなるものと考え、スケールの4乗乗則を適用した次式を用いた。

$K_y = \alpha l^{3/2} \leq 10^4 \text{ or } 10^5$    ここに、 $K_y$ : 拡散係数 ( $\text{cm}^2/\text{s}$ ),  
 $l$ : 沿岸からの距離 (cm),  $\alpha$ : 定数 = 0.01

これらの条件を用いて数値シミュレーションした。冷却水取水に伴い取り込まれる卵稚魚の問題を取り扱うに当り考慮すべきことは、卵または遊泳力を持たない稚魚から遊泳力を有する幼魚にまでの生長に要する時間であろう。本文では、海域に粒子を投入してから1日あるいは2日の時間スケールで検討した。沿岸方向は500 m, 沖合方向200 mの間隔で投入点を配置し、個々の点に200個の粒子を投入して取水口に取り込まれる粒子の個数を求めた。粒子は流れが最速流速の時に投入された。そのため粒子群は投入点を中心に沿岸方向に往復運動する。

粒子投入後24時間ならびに48時間経過後の投入された粒子の20, 50% 取り込まれる範囲を図-1に示す。時間の経過とともに取り込まれる範囲は大きくなる。その範囲は、潮流振幅に影響され、潮流振幅が大なる場合、沿岸方向が大きくなり、小なる場合、沖合方向が大きくなる。これらの関係と潮流流程 ( $L = \int_0^T u_T \sin 2\pi t/T dt$ ,  $u_T$ : 潮流振幅,  $T$ : 潮流の周期) について整理したのが図-2である。沿岸方向の取り込まれる範囲は、潮流振幅が小さい場合には、沿岸より200 mで潮流流程の1.5倍、沿岸より400 m沖合では1.2倍程度であり、潮流振幅の大きな20, 30 cm/sの場合は、それぞれ1倍, 0.8倍と小さくなる。すなわち、潮流振幅が大なる場合は、沿岸部でも潮流流程の範囲しか取り込まれないが、潮流振幅が小さい場合は拡散の効果により、それ以上の範囲のものも取水されることとなり、拡散の影響の大きいことが認められる。また、取り込み確率の分布は、ガウス分布の形状となり、取水量が増加することによりこの確率が大きくなるが、沿岸方向の取り込まれる範囲は顕著には大きくなり。本文では、潮流振幅、取水量をパラメーターに検討してきたが、拡散係数の影響や、恒流の存在する海域における取り込み確率についてのシミュレーションを今後検討する予定である。

参考文献 1) 和田, 角湯: 瀬戸内海における流況と分散特性, 第21回海工講, 1974年, 2) 加藤, 和田, 角湯: 福島沖合海域における流動と拡散特性, 第22回水講, 1978年, 3) 日野: Digital Computer Simulation of Turbulent phenomena, Trans. of JSCE, 1965年, 4) 和田, 角湯: 瀬戸内海における水粒子運動の数値シミュレーション, 第20回水講, 1976年

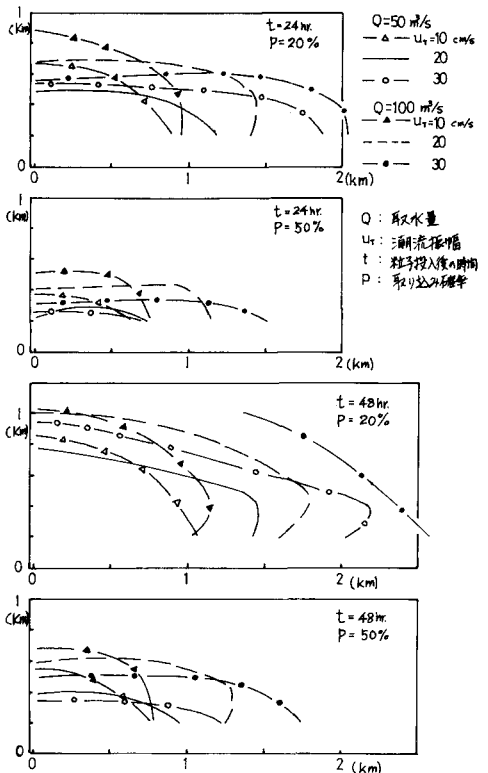


図-1 冷却水取水に伴い取り込まれる浮遊体の範囲とその確率

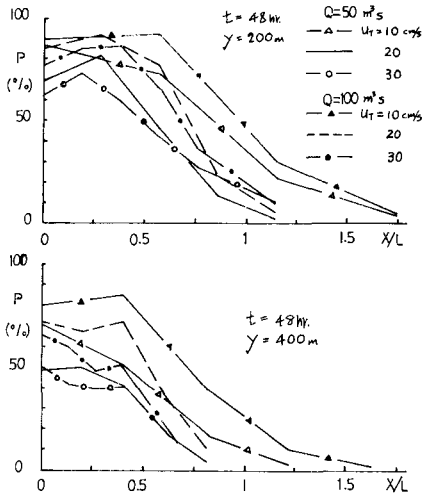


図-2 沿岸方向の取り込み確率の分布