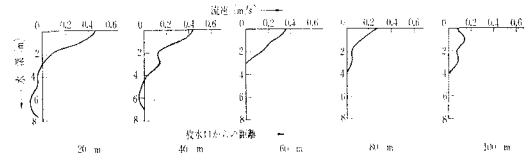


電力中央研究所 正会員 和田 明

I. 序文：冷却水放水による流れと熱拡散の現象は、複雑な過程から成り立っていて両者ともお互いに独立に考えられる現象過程ではありえなく、両者の相互干渉にもとづく流れと拡散場と形成しているものと考えられる。そこで、これらの現象過程を確認するために、流れと熱拡散との相互干渉と考慮に入れた放水口を含めた鉛直断面内（ $x-z$ 面）での数値実験を行ない、温水冷却水を表層流出せしめる方式としたときの水温鉛直分布の形成過程の確認とすることがある。

II. 冷却水放出機構の実態とその資料：放水口から放出された温水冷却水は、一つはその慣性モーメントのため、一つはその低密度のために上層流れとして湾内と流下するであろう。従ってこの上層内の冷却水の流れは、躍層面下端付近のところで下層に対して接線応力を作用させ、これが海底に沿う向岸補償流の介入を促すであろう。最近までこの現象の内部機構を把握するための研究はほとんどないと思われる。筆者らは、沿岸域における湧昇運動についての系統的な現場実測を1964年以来、水島湾、三池湾に位置している発電所放水口付近で実施してきた。これらの観測結果から、つぎのことが見出されている。それは冷却水放水にともなう湾内表面流出によって、下層内で外海水の流入現象が起るといことである。従って表層と下層との間で相対速度が大なところ、すなわち放水口付近では、下層からの湧昇運動が起っているものと思われる。図-1、2はそれぞれ、水島および

図-1 冷却水放出にともなう流速分布形状 (M 発電所放水口沖)



港火力行電所における冷却水放出による流速分布形状を示したものである。これらの図から、放水口付近での向岸流生起の状況がよくわかる。このような湧昇運動の存在は、図-3に示された熱拡散の鉛直分布と見ても理解できる。ここでは、沿岸の放水口に向う等温線の緩やかな上昇形態が、湧昇領域で見られる水温分布構造の顕著な様相を示している。

III. 計算方式：この種の問題を解明していく上に、2つの計算方法が考えられる。その一つは鉛直断面について積分した物理量（たとえば質量輸送）で解を求める方式で

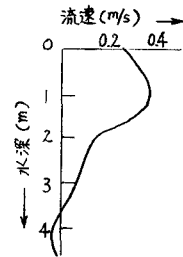
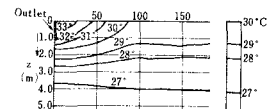


図-2 港火力放水口沖合 20m 地長での流速分布

図-3 水温鉛直分布 (M 発電所放水口付近)



ある。しかし本問題のごとき垂直断面内での流れの構造を知るためにはあまり有力な手段ではない。というのはこの方式によれば、求められるのは海面から海底に到るある鉛直線とよぎって輸送される和であるから、ある点での流速、流量とも関係がない。そう言えるのはある層厚をもつ平面状の流れ、鉛直方向に循環のなり流れに限られていた場合だけである。このように質量輸送の理論は、水の流れや熱拡散を論ずるのに無力に近い。他の方式は流速そのもので流出機構を扱うもので、この場合には、密度の変化が問題となってくる。本計算もこの方式に従うものである。図-4に示すごと

く、原点は冷却水放水口の上面にとり、座標2軸方向 (x, z) は矢印方向を正とする。冷却水の流動、熱伝散現象を支配する基礎方程式は次のように表わすことができる。

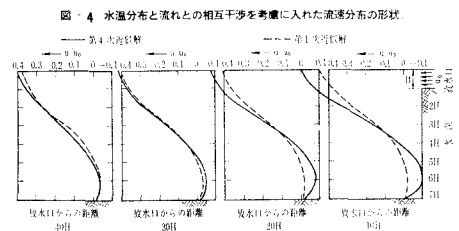
・運動方程式
$$\frac{\partial}{\partial x_j} (A_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j}) = u_i \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial p}{\partial x_i} - \rho g \lambda_{R_i} \quad \text{----- (1)}$$

・連続方程式
$$\frac{\partial (\rho u_i)}{\partial x_i} = 0 \quad \text{----- (2)}$$
 ・熱伝散方程式
$$u_j \frac{\partial T}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{K_j}{\rho} \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) + \frac{Q_o}{\rho C_w H_w} \quad \text{----- (3)}$$

ここに、 u_i : 流速成分、 A_j, K_j : 渦動粘性および渦動伝散率の成分、 λ_{R_i} : z 軸方向の単位ベクトル、 p : 圧力、 $\rho (= \rho_o (1 - \alpha T))$: 密度、 g : 重力加速度、 T : 水温、 $Q_o (= Q_1 - Q_2 T)$: 海面からの表面冷却項、加熱項の線型結合、 C_w : 海水の比熱、 H_w : 大気と水塊との間でエネルギー授受が行なわれる厚さである。また流水と熱につりての境界条件は次のようにとるべきである。(i) 海面では流水は表面に平行、固体壁では流水の速度は零。(ii) 熱束は海面および無限海域を除いた境界面に垂直方向は零、海面および無限海域設定境界線においては、水温勾配は一定の値を有するものとする。

流動と熱伝散過程の両者を同時に考慮した場を解くためには、基本式 (1) ~ (3) を連立させて同時に解く必要がある。さて現実の流出機構は、この解の表わす程単純ではないかも知れないし、伝散方程式の適用の是否、伝散率のモデル設定の方法等に批判の余地も少なくなり、他の手段による解析が困難である以上、各種の伝散モデル設定による流出機構の解明および現実の現象に対する説明ができるかを検討することはあながち無駄なことではあるまい。さて問題は、さまざまな複雑な境界条件を受けた方程式の非線形系を解くことに帰せられたわけである。この系は既存の知られた解析方法によって解くことがむずかしいので、差分近似の方法に頼ることにし、電子計算機による数値計算を実施した。

Ⅳ. 計算の実行 : 渦動伝散率の設定は乱流状態におよぼす熱成層分布の影響が Richardson 数によって支配されるとした Mamayer の提示式を基本とした。その基本形は $K_3 = A_o \cdot e^{-Ri}$ (A_o, n : 定数) であるけれども、式系の安定性の面から $Ri \rightarrow \infty$ のときにも K_3 の限界値が存在すると仮定して、 $K_3 = (A_1 + A_o \cdot e^{-Ri})$ の形を採用した。特に、図4は伝散率一定の場合の解の一般特性を示したものである。表面では outflow, そして下層では外海水の inflow の状況を呈示していることがわかる。放水口付近の相互干渉を考慮に入れた解は、第1近似解に比して表面流出速度を増加させ、底層流入速度を減少つまり放水口へ向う流水を生ぜしめている。



Ⅴ. 放水におよぼす流水の非線形効果 : これまで冷却水放水による湾内流動 (平面、鉛直断面) の算定に当っては、運動方程式内の非線形項が無視できると考えてきた。ここで改めて非線形性の影響を検討する意図で、計算を実施した。式 (1), (2) の解は u_i を求める代りに渦度 ζ , 流水の関数 ψ の連立方程式
$$\zeta = -\frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_1}{\partial x_2} - \frac{\partial u_2}{\partial x_1} \right) = -\frac{1}{2} \left(\frac{\partial p}{\partial x_1^2} + \frac{\partial p}{\partial x_2^2} \right), \quad -\frac{\partial \zeta}{\partial x_1} \frac{\partial p}{\partial x_2} - \frac{\partial \zeta}{\partial x_2} \frac{\partial p}{\partial x_1} = A_1 \left(\frac{\partial^2 \zeta}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 \zeta}{\partial x_2^2} \right)$$

の根を求めればよい。上述のⅣ,Ⅴでの諸計算の結果は、講演の際報告する。