II-201　海岸へ放出される温排水の拡散について

京都大学工学部　　正員　井上頼輝　学生員○多田東臣　学生員　許邦福

電力需要の増大にともない各地に火力・原子力発電所が建設されているが，そこから排出される温排水の水産生物等に及ぼす影響が問題視されている。我々はこの温排水拡散の問題を二次元の拡散方程式に於る境界値問題として解析を試み　あわせて計算機により数値計算を行なった。

直線状海岸線を有する海岸をX軸，これに垂直な水平方向をY軸にとり放水口を原点とした。放水口付近では放水流量が問題となるが，放水口から十分離れると単位時間あたりの放出熱量Q'(kcal/day)が最も重要となる。海水に与えられた熱負荷がX Y両方向に拡散し　かつ岸に平行な潮汐流$V_x(t)$が存在するものとする。海面と空気との接触による冷却　および水温上昇による有効逆輻射を考慮して熱拡散方程式をたてた。温度躍層を一定にとり上昇水温をT℃としたとき基礎方程式は(1)式となる。

$$\frac{\partial T}{\partial t}=D_x\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+D_y\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}-V_x(t)\frac{\partial T}{\partial x}+Q\,\delta(x)\,\delta(y)-HT \qquad \cdots\cdots(1)$$

$$V_x(t)=a+b_1\sin\omega t+b_2\sin(2\omega+\omega_0)t \qquad \cdots\cdots(2)$$

ここに　t：時間 (day)　D_x, D_y：X Y方向に於る拡散係数 (m²/day)　$\delta(x), \delta(y)$：デルタ関数 (1/m)
$T(x,y,t)=T$：上昇水温(℃)　Q：温度躍層を一定としたときの熱負荷率 (℃m²/day)
H：蒸発　対流　逆輻射による熱交換に関する係数 (1/day)　　a：恒流流速 (m/day)　b_1：1日潮
b_2：半日潮　　ω_0：遅角 (1/day)　　である。

(1)式をフーリエ変換((3)式参照)して後，解き　$t=\frac{2\pi}{\omega}N+\tau$　$N\to\infty$　の場合について逆変換した定常解を(4)式として示す。条件は　$T(x,y,0)=0$　$\left.\frac{\partial T}{\partial y}\right|_{y=0}=0$　とした。

$$T(x,y,t)=(2\pi)^{-2}\iint_{-\infty}^{\infty}\tilde{T}(p,q,t)\,e^{i(px+qy)}\,dp\,dq \qquad \cdots\cdots(3)$$

$$T(x,y,t_\infty)=\frac{Q}{4\pi\sqrt{D_x D_y}}\times$$
$$\int_0^\infty\frac{1}{r}\exp\left\{-Hr-\frac{y^2}{4D_y r}-\frac{\left[x-ar+\frac{b_1}{\omega}(\cos\omega\tau-\cos\omega(\tau-r))+\frac{b_2}{2\omega+\omega_0}\{\cos(2\omega+\omega_0)\tau-\cos(2\omega+\omega_0)(\tau-r)\}\right]^2}{4D_x r}\right\}dr \qquad \cdots\cdots(4)$$

ここにrはある時刻に放出された温排水が時刻$t=\tau$までに移動する時間である。

次に計算機により温排水拡散をシミュレートしたのでその結果の概略を述べる。(1)式においてX方向の拡散項は他の項に比して無視できるとして$D_x=0$　とし　(2)式において$b_2=0$　としたときの解析解は(5)式として得られた。

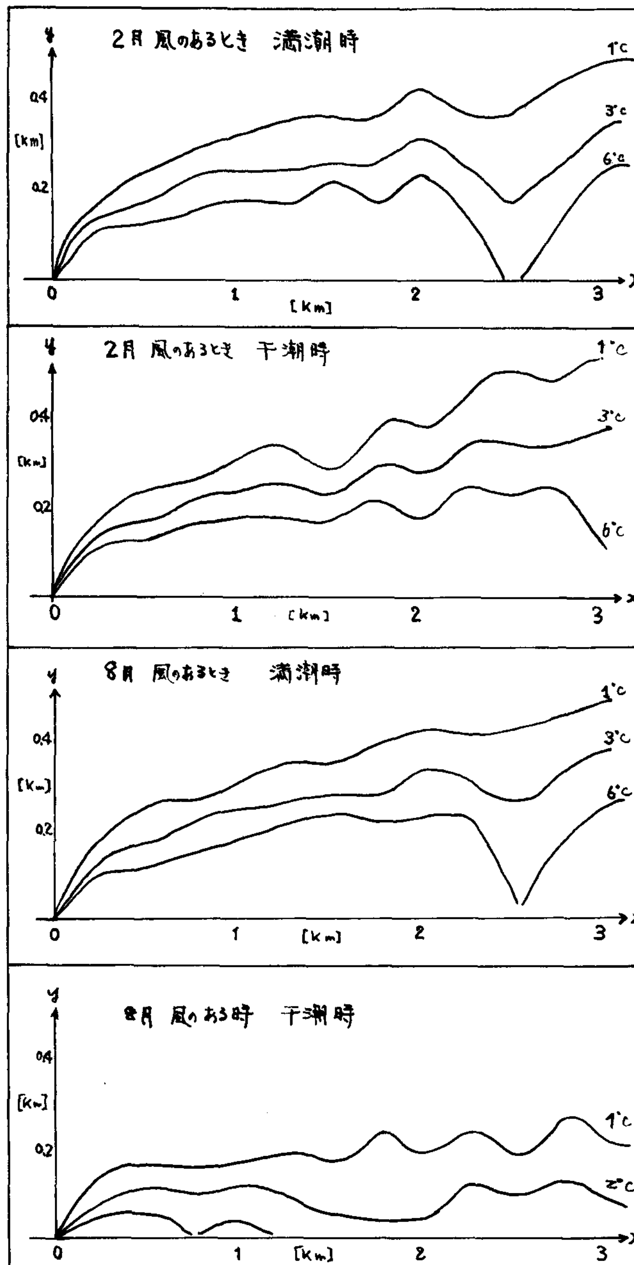
$$T(x,y,t)=Q\sum_n\left[\{2\pi D_y(t-S_n)\}^{-1/2}\,V(S_n)^{-1}\exp\left\{-H(t-S_n)-\frac{y^2}{4D_y(t-S_n)}\right\}\right] \qquad \cdots\cdots(5)$$

ここにS_nは　$f(S_n)=at-\frac{b_1}{\omega}\cos\omega t-x=0$　の解で　$0\leqq S_n<t$のものである。

無限潮時後の $T(x,y,t)$ を $T_{per}(x,y,\tau)$ とすると(6)式のようになる。

$$T_{per}(x,y,\tau)=Q\sum_{n}\left[\left\{2\pi D_y(\tau-\sigma_n(x,\tau))\right\}^{-1/2}U(\sigma_n(x,\tau))^{-1}\exp\left\{-H(\tau-\sigma_n(x,\tau))-\frac{y^2}{4D_y(\tau-\sigma_n(x,\tau))}\right\}\right]\quad\cdots(6)$$

ここに $\sigma_n(x,\tau)$ は $S_n=\frac{2\pi}{\omega}N+\sigma_n(x,\tau)$ としており $R(\sigma_n)=R(\tau)-x$ の解で $\sigma_n\leqq\tau$ のものである。



(6)式を使って数値計算した結果を右図に示す。

この結果をみると各々の地点に於ては潮の干満の差により水温上昇の度合いが変化している。また潮汐流による流速の変化が水温上昇の平坦化を妨げており、したがって場所によって沖合い迄温排水の影響が及ぶこととなっている。しかしその影響する距離は高々数百米である。図には示していないが計算最小数値である0.1°C上昇の範囲は、放水口から離れるにしたがって沖合いまで広がっていくが、1°Cの等温線より数十ないし200m程沖合いである。海面と空気の接触による冷却は風のある場合とない場合でいく分異なり式(1)におけるHの値は最小値は最大値の1/4～1/5である。Hの影響は(1)式から理解されるように、指数関数的に働くが、これを平均的に $T=3°C$ の推進力があるとして冷却効果を考えると、真夏の晴天時に太陽から受ける熱量と同程度の熱量を放散することが計算される。今後の研究としては、沖合い方向で流速 $U_x(t)$ が変化する場合、温度躍層厚の考慮、温排水流量なども加味したものに取組みたいと思っている。

最後に本研究の数値計算にあたっては京都大学工学部衛生工学教室に在席される 山田淳助手の御尽力によるものであることを付記してここに感謝の意を表する。