

京都大学工学部 正員 ○井上稔輝 学生員 多田東臣

前年会⁽¹⁾で、温熱排水の海岸での拡散を理論的に示した。今回は、その後の理論の進展と、火力発電所前面海域における実測例、および生物影響の推定について述べる。

1. 理論的考察

前報において、温度躍層を一定厚さにとり、上昇水温を $T^{\circ}\text{C}$ としたとき、基礎方程式として

$$\frac{\partial T}{\partial t} = D_x \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} - U_x(t) \frac{\partial T}{\partial x} + Q \delta(x) \delta(y) - HT \quad (1)$$

ここに t : 時間 $\{\text{h}\}$, D_x, D_y : 水平方向の拡散係数 $\{\text{m}^2/\text{h}\}$, $\delta(x), \delta(y)$: デルタ関数 $\{1/\text{m}\}$, Q : 熱負荷 $\{^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{h}\}$ であり、流速 U が岸に平行に、恒流 $a\{\text{m}/\text{h}\}$, 1日潮 $b_1\{\text{m}/\text{h}\}$, 半日潮 $b_2\{\text{m}/\text{h}\}$, 屋角 $\omega_0\{-\}$ を持ち、

$$U_x(t) = a + b_1 \sin \omega t + b_2 \sin (2\omega t + \omega_0) \quad (2)$$

で示されるとき、一般解は放出時間が十分長く、平衡状態になれば

$$T(x, y, \infty) = \frac{Q}{4\pi\sqrt{D_x D_y}} \int_0^{\infty} \frac{dr}{r} \exp \left\{ -Hr - \frac{y^2}{4D_y r} - \frac{\left[x - ar - \frac{b_1}{\omega} (\cos \omega \tau - \cos \omega (\tau - r)) + \frac{b_2}{2\omega + \omega_0} \{ \cos (2\omega + \omega_0) \tau - \cos (2\omega + \omega_0) (\tau - r) \} \right]^2}{4D_x r} \right\} \quad (3)$$

で与えられることを示した。また、 x 方向の拡散項は他項に比し小さい α で無視し、半日潮は1日潮よりも小さい α で省略すると無限潮後は

$$T(x, y, \infty) = Q \sum_n \left\{ 2\pi D_y (\tau - \alpha_n(x, \tau)) \right\}^{-\frac{1}{2}} \nu(\alpha_n(x, \tau))^{-1} \exp \left\{ -H(\tau - \alpha_n(x, \tau)) - \frac{y^2}{4D_y (\tau - \alpha_n(x, \tau))} \right\} \quad (4)$$

となる。ここに α_n は $S_n = \frac{2\pi}{\omega} N + \alpha_n(x, \tau)$ で求められ、 S_n は $a\tau - \frac{b_1}{\omega} \cos \omega \tau - x = 0$ の解のうち $0 \leq S_n < \tau$ のものである。ところで、実際の発電所より放出される温熱排水は、 x 自体の持つ momentum のために、沖合方向に押し流されて、熱源が岸にあるのではなく、岸から y だけ沖合にあるよき力挙動を示す。 y は煙突から放出される煙の拡散を論ずる場合の有効高さに相当する。この場合は(1)式の $Q\delta(x)\delta(y)$ の代りに、 $Q\delta(x)\{\delta(y-y_0)+\delta(y+y_0)\}$ を用いるのが適切である。その解は

$$T(x, y, t) = \frac{Q}{4\pi\sqrt{D_x D_y}} \int_0^t \frac{1}{t-s} e^{-H(t-s) - \frac{\left(x - \int_0^t U_x(\tau) d\tau \right)^2}{4D_x(t-s)}} \times \left\{ e^{-\frac{(y-y_0)^2}{4D_y(t-s)}} + e^{-\frac{(y+y_0)^2}{4D_y(t-s)}} \right\} ds \quad (5)$$

2. 温排水の実測および理論との比較

直線状の海岸に温排水を排出する電気出力14.6万kW、熱負荷 $Q = 4.8 \times 10^6 [^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{day}]$ の小規模火力発電所前面水域について、温度上昇分布を求めた。海表面における温度上昇量 T の分布を図に示す。放流直より東方約300mに浜があり、約 $1\text{m}^3/\text{sec}$ の流量の淡水が流入するが、その影響は微弱であった。測流板による海流の測定では、流向はほぼ岸に平行であり、流速は

$$v(t) = 16500 - 28700 \sin(4\pi t + \frac{3\pi}{2})$$

で近似できる。ここで $\frac{2\pi}{3}$ は温排水を放出しはじめたときの潮位に近する初期位相である。拡散係

数として $Dx = 10^5 \text{ (cm}^2/\text{sec)}$, $Dy = 10^4$

$\text{(cm}^2/\text{sec)}$, 大気との熱交換 $H = 0 \text{ (1/day)}$

有効放水位置 $y_0 = 130 \text{ m}$, 混合深さ

$z_0 = 2 \text{ (m)}$ とし、実測値に相当する

理論値を、(5)式にもとずき電算機

で求めたのが図の理論値である。理

論値と実測値を比較してみると、(a)

は放水初期で、放流開始後2時間の

値であり、実測値に初期混合の影響

が現われている。(b)の場合、潮流は

東から西(図では右から左)にはけ

しく流れており、実測温度上昇域は

港から流出する淡水に起因するもの

であろう。(c)は放流開始後11時間

を経た場合であるが、風による影響のため、実測温水域は沖合方向に押し流されてしまっている。

3. 生物への影響

温排水により水温が上昇すると、水産生物は必ず何らかの影響を受ける。生物の適水温との関連により好影響のある場合と、悪影響のある場合がある。

3.1. 魚への影響 魚は移動能力があり、環境順応を起すので、温排水の影響を受けにくい。どの程度の温度上昇で回避運動を起すかは、まだ良くわかっていないが、一般の海水魚では $0.03 \sim 0.07^\circ\text{C}$ の温度差を識別しうる。魚の環境順応は高い水温に対しては容易に行われるが、低い水温に対しては行われにくい。そのため温水域の中に閉じ込められた魚が、まわりの冷海水によりへっ死することは時々見られるが、逆はほとんど起らない。

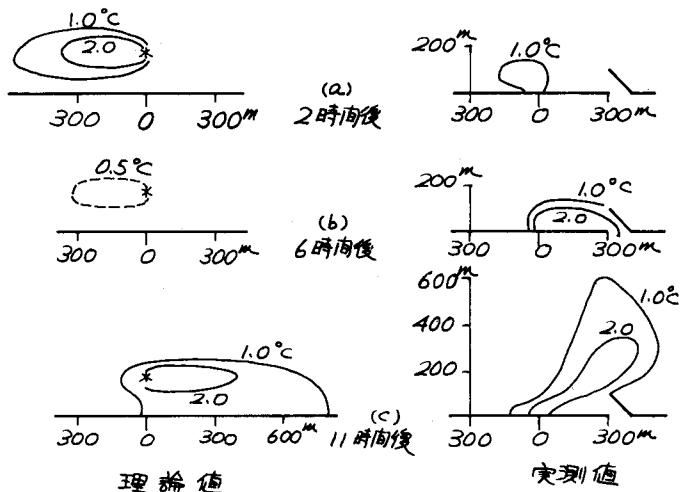
3.2 海藻類への影響 ノリは、胞子を採菌して発芽させ、50日位で成長した葉状体を採取する。幼葉期の適水温は $11^\circ\text{C} \sim 13^\circ\text{C}$, 成葉期では $5^\circ\text{C} \sim 8^\circ\text{C}$ であり、適水温がはつやの良、良値のノリができるが、秋冬期に十分の水温低下が起らないと芽いたみ、アカアサレ病、シロアサレ病が起す。

これらは、水温 10°C 以上の場合、 $1^\circ\text{C} \sim 2^\circ\text{C}$ の上昇により影響があるといわれる。その他、ソコメコンブ、テンガサ等、海藻は概して低温に強く、高水温に弱い。

3.3 貝類 貝類は概して温排水に強く、アサカガイのように温排水の利用により、養殖がより好都合に行なえるものもある。

3.4 米国における水温規制⁽²⁾⁽³⁾ 米国では、水温上昇が自然の生態学的 balance をくずすことが考えられるので、河川での水温の人工的変動量 5°F , 海洋では夏期3ヶ月間 1.5°F , 他の季節 4.0°F として、これをこえないように制限する州が多い。また、水温上昇速度も多く、州で1時間 2°F 以下としている。

実測と理論の比較



(1) 井上昭輝, 多田東臣, 許邦彦 海産へ放出される温排水の拡散について, 第26回本誌講演集, II-201

(2), (3) Krenkel and Parker, Engineering Aspects of Thermal Pollution, Biological Aspects of Thermal Pollution, Vanderbilt Press