

V 温排水に関する研究座談会

主催 水産海洋研究会

日時 昭和41年5月23日 午後1時～5時

場所 東海区水産研究所

コンピナー

宇田道隆 (東京水産大学)

話題および話題提供者

温排水の拡散影響域の推定について

平野敏行 (東海区水産研究所)

折戸湾清水火力発電所排水口附近の水温分布

渡辺信雄・稲葉栄生・松田義弘 (東海大学海洋学部)

発電所冷却水排水に伴う風密度流

和田明 (電力中央研究所)

冷却水放水による尾鷲湾内の海水温度調査

彦坂繁雄 (海上保安庁水路部)

温排水時の再循環様式に対する考え方と二三の事例

新見正 (資源科学研究所)

千葉県五井港における温排水について

菅原兼男 (千葉県内湾水産試験場)

火力発電所温排水利用によるハマチ養殖に関する研究

田中二郎 (東海区水産研究所)

1 温排水の拡散影響域推定について

平野敏行 (東海区水産研究所)

1) はしがき

温排水の拡散は、(1)工場廃水、ダム放水あるいは河川水の海湾における拡散の場合に比べて、流入する温排水と海水との比重差が小さいこと。(一般に $\boxed{\text{海水}}$ - $\boxed{\text{淡水}}$ の比重差は、 ≈ 0.02 に対し、 $\boxed{\text{海水}}$ - $\boxed{\text{温排水(約 } 10^\circ\text{C 差)}}$ の比重差は、 ≈ 0.0018 である。)(2)流出温排水の量(放出量)が比較的大きいことが特徴であろう。

一般に、海水中に、海水より比重の小さい水が流入すると、海水の表層を、ある層をなして拡がる。そして、海水と混合をおこして、流入水は海水に稀釈され、沖合に行く程、流入水の濃度は薄くなる。このような過程は、従来、拡散方程式によって表現されているが、対象となる海域、放出条件、混合過程の違いなどによって、この式を解くための諸条件が異なるから、簡単に解くことは出来ない。いままでに求められている解も、どちらかといえば、特殊な場合に限られていて、夫々ケース・バイ・ケースに、現場の諸条件に対応して求められているものである。

ここでは平坦な海岸線をもつ海域に海岸から温排水が放流された場合に、その拡散の過程がどのようになっていくことが期待されるかということを、所謂の渦動拡散あるいは

Advectionとして数学的に表示されているものにこだわらないで考察してみることにする。

2) 温排水の拡散過程

先ず、放出水は、かなりの流出速度をもって放出されよう。したがって、放出直後の海域では、放出水は乱流状態をたいていて、海水と混合する。この水は海水の比重に比べ小さいから、表層に浮上し層をなして流れることになり、この結果、表層に稀釈されたこの水は、温排水放出量に、混合によって下層から加入した海水が加わるから、混合水の流量は放出水量より多くなる。したがって、流出後ある範囲までは、少くとも、かなりの流速をもって沖合に拡がる。この過程で当然水平に混合（所謂水平渦動拡散）がおこるが、ある段階までは、上に述べた海水加入（主として鉛直混合の結果おこる下層からの海水加入）によって稀釈が進む度合の方が大きいと考えられる。しかしこの海水加入も、海水との密度差、表層混合水（以下表層水という。）の流速などによって規定される表層水の安定状態に関係することは云々までもない。一般に、このような表層水の安定、不安定は、フルード数 $F = \frac{u}{\sqrt{g \frac{\Delta \rho}{\rho} h}} > 1$ によって、 F が一つの判定の材料に用いられる。ここに u は表層水の流速、 g は重力の加速度、 $\Delta \rho$ は海水と表層水との密度差、 ρ は海水の密度、 h は表層水の厚さである。したがって、 u がある段階に達すると、海域自体の持つ流れの状態に近づき、あるいはこれより小さくなる状態に達することが予想される。この段階に達したときは、既に $\Delta \rho$ もかなり小さくなっているが、表層水自体が持っていた不安定状態（海水加入）より、海域自身が持っている乱流状態が渦動拡散として大きく作用するようになろう。そしてこの状態に達した時は、既に稀釈がかなり進んだ状態になっていると考えられる。また一方、この状態に達するまでに、 F の大きさ如何では、即ち、 u がある大きさをもっている、 $\Delta \rho$ の大きさとの関連で、表層水は不安定状態から安定状態に移行し、海水加入のない状態、即ち、現実には稀釈の行われないうちに達することも考えられる。いずれにしても、温排水の拡散稀釈には主として海水加入による段階と、海域の渦動拡散による段階とがあって、温排水放流のオ一段階では前者が卓越すると考えられる。新田は工場廃水の拡散（淡水拡散）について、その着色水がかなりシャープな前線を形成して拡がっている海域を一次的な影響面積として、その面積と放出流量との間に密接な関係があることを調査結果から示しているが、このような影響面積の縁辺部（前線付近）が海水加入から渦動拡散に移行することと極めて深い関係があるように思われる。新田はまたこの付近の稀釈倍率が60~100であると報告しているが、これは上に述べたように、海水との密度差を考えると温排水の場合では約10倍稀釈に相当し、海水との温度差で約1℃の違いを示す付近に相当する。したがって、温排水の場合も、その影響が明らかに存在すると考えられる海域（温度差で少くも1℃以上の差がみとめられるような海域）では、主として海水加入によって稀釈がおこなわれているとみることができよう。

今以上のことを考慮して、平坦海岸をもつ海域へ、放出した温排水は、海域に特殊な恒流

や潮汐流がないとすると、放出口を中心にして、ほぼ半円形に拡がるのが想像される。そしてこの半円形に拡がった表層水は、稀釈倍率を n とすると、稀釈が主として海水加入によっておこっているとみなすことができるならば、次の関係式が成り立つ。即ち、その流速 u は

$$u_n = \frac{nV}{\pi L_n h} \quad (1)$$

と表わすことができる。ここに V は温排水放出量、 L_n は放出口から n 倍にうすまった表層水までの距離、 u_n はその速度で、 h は表層水の厚さ(深さ)である。一方上述のフルード数 F は

$$F = \frac{u_n}{\sqrt{g \frac{\Delta \rho}{\rho} h}}$$

であるが、 $\rho \doteq 1$ 、 h は尾鷲火力その他の例から、ほぼ 1 m ととると、

$$F = \frac{u_n}{\sqrt{9.8 \Delta \rho}} \quad (u_n \text{ の単位は } \text{m} / \text{sec}) \quad (2)$$

さて、放出水の稀釈倍率 n と $\Delta \rho$ との関係は、はじめに述べたように、海水と温排水の比重の差はほぼ 0.0018 であるから

$$n = \frac{1}{\Delta \rho} \times 2.0 \times 10^{-3} \quad (3)$$

と推定することができる。これを(2)に代入すると、

$$F = \frac{\sqrt{n} u_n}{\sqrt{19.6 \times 10^{-3}}} \quad (4)$$

ここで、温排水が拡がって、海水より 1°C 上昇している処を影響域算定の目安とし、そこにおける、海水加入による稀釈倍率を計算すると、今仮りに放出水は海水より 7.5°C 高いとすると、 $n = 7.5$ である。

さて、影響域内における濃度分布(温度分布)は、海域の擾乱、したがって海水加入の状況と深い関係があるので、これを理論的に直ちに求めることは、今の段階ではきわめて困難であるが、尾鷲などにおける温排水の稀釈分布の状況から判断すると、近似的には、稀釈倍率 n と放出口からの距離 L_n との間には、

$$L_n = \frac{n-1}{a-1} (L_a - L_1) + L_1 \approx \frac{n-1}{a-1} L_a \quad (5)$$

とみなしても大きな誤りを生ずるようなことはないように思われる。ここで a は任意の稀釈倍率を示す。したがって、 n と L_n とに上のような比例関係があると仮定し、あらためて $a = 7.5$ とし、これを(1)式に代入すると、

$$u_n = \frac{6.5 n V}{(n-1) \pi L_{7.5}} \quad (6)$$

となる。

(6)式を(4)式に代入すると、

$$F = \frac{6.5}{\sqrt{19.6 \times 10^{-3}}} \frac{n^{\frac{3}{2}} V}{\pi (n-1) L_{7.5}} \quad (7)$$

上述のように、 $F > 1$ を不安定状態の判定の規準にとると、海水加入による稀釈が行なわれているためには、少くも、

$$\frac{6.5}{3.14 \sqrt{19.6 \times 10^{-3}}} \frac{n^{\frac{3}{2}}}{(n-1)} V > L_{7.5} \quad (8)$$

が満足されていなければならない。この式は海水加入によって 1°C 温度の高い表層水が厚さ 1m で、 $L_{7.5}$ の距離に存在するためには、稀釈倍率 7.5 以下の倍率 n の海域($L_{7.5} > L_n$)で常に(8)式を満足していることを意味している。したがって、 $\frac{n^{\frac{3}{2}}}{n-1}$ の最小値を求めれば、 $L_{7.5}$ は少くも、この値による(8)式も満足していなければならない。その最小値を計算すると、 $n=3$ である。

3) 影響域算定の一例

(8)式より、今、一例として放出量 $V=60\text{ トン}/\text{sec}$ の場合について $L_{7.5}$ を求めると、

$$\frac{1}{3.14} \times \frac{6.5 \times 100}{\sqrt{19.6}} \times 60 \times \frac{\sqrt{27}}{2} > L_{7.5}$$

$$L_{7.5} < \text{約 } 2300\text{ m}$$

と推算される。

いゝかえると、 7.5°C 温度の高い温排水が毎秒 60トン で放出される場合、海水より 1°C 温度が高くなる表層水(1m の厚さ)は、半径 2300m の半円形の範囲をこえて分布することはないであろう。ということになる。

この場合の流速 $w_{7.5}$ は(1)式から

$$w_{7.5} = \frac{7.5 V}{\pi L_{7.5}}$$

と表わされるから $w_{7.5} \approx 6.2\text{ cm}/\text{sec}$ より小さくなることはないが、 $L_{7.5} \approx 2300\text{m}$ であれば、 $w_{7.5}$ はほぼ $6.2\text{ cm}/\text{sec}$ 程度であろう。そこで、次に $w_{7.5} = 6.2\text{ cm}/\text{sec}$ の状態、海水加入による混合過程が海域の渦動拡散による混合過程より卓越しているかどうかという問題を吟味しておく必要がある。もし、前者が卓越しているならば、問題はないが、後者が卓越しているとすれば、海水加入による稀釈に、渦動拡散による稀釈が加わることになる。おそらく、海域の流動状態 $|u| > w_{7.5}$ であって、この場合には、 1°C 温度の高い表層水は、さらに早く稀釈され、 $L_{7.5} = 2300\text{m}$ より短い距離の範囲になるであろう。したがって、

海域に定常流がないならば、如何なる場合でも、放出量 60 トン/sec に対しては、 $L_{7.5} < 2300 \text{ m}$ が成り立つことになる。

さて、もし、ある方向に流速 U の定常流が存在したらどうなるであろうか。このような時には、この流れの影響をうけて $+1^\circ\text{C}$ の表層水の分布域は変化するのである。一般に沿岸には、潮汐流が存在して、例えば左右に流れが交替する。そして、これに応じた表層水分布をもつと思われるが、上述のような手段にもとづいて、これに応じた分布域を推定することは、非常にむづかしい。そこで、その極端な場合（影響がより速く及ぶ場合）として、ある方向に流速 U の定常流が存在する場合について吟味しよう。

まず、はじめに考えなければならないことは、 U が海水加入に関与するかどうかということである。この問題は甚だ複雑であって、拡散問題についての今後の大きな研究課題と考えられるが、定性的には、少くも、定常流自体のもつ渦動の度合が U の大きさに関係をもっていると考えられるし、したがって、大なり、小なり、 U の存在によってひきおこされる稀釈混合が、 u_n による海水加入にプラスされよう。その混合過程の性格は、 U の大きさや、海域のもつ特性によって、変化するものと考えられるが、大きくわけて、 U が大で、 $(|U| \gg u_n)$ 潮汐によってひきおこされているような場合には、所謂潮汐混合として考慮しなければならないし、 $|U| \approx u_n$ であれば、渦動拡散、あるいは海水加入による混合過程が、 u_n によるものに加わっている。いずれにしても、 $|U|$ が大きければ大きい程稀釈混合が進み、 1°C 以上の温度上昇を示す影響域の面積は、小さくなる。したがって、 U による Advection の効果（影響域が U の方向に漂流する度合）と、稀釈がより早く進んで影響域が縮小される度合との兼ね合いによって、影響域外縁が推定されることになろう。

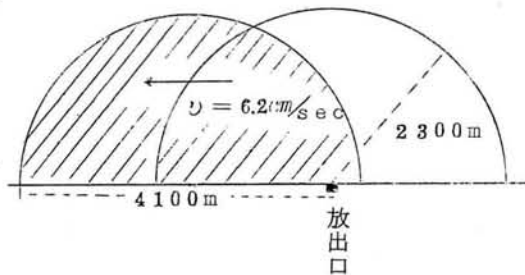
いま、 $U=0$ の場合に、放出口を出た水が $L_{7.5}$ に達するまでの経過時間 T を推定すると、

$$T = \int_{L_1}^{L_{7.5}} \frac{dLn}{u_n} \div \frac{\pi L_{7.5}^2}{(7.5-1)^2 V} \int_1^{7.5} \frac{n^{-1}}{n^{1.1}} dn = \frac{\pi L_{7.5}^2}{V} \frac{7.5-1-\log_e 7.5}{(7.5-1)^2}$$

$$V = 60 \text{ トン/sec とすると、} T \approx 2.93 \times 10^4 \text{ sec.}$$

今、 $|U| \approx 6.2 \text{ cm/sec}$ であるならば、これによる海水加入への影響も少く、漂流効果のみを示す流動としても、最大と考えられ

るから、これによる放出水の漂流距離 $U \times T$ を計算すると、約 1800 m と算定される。したがって、右図に示されるように、 $V = 60 \text{ トン/sec}$ の場合、半径 2300 m の半円形で示される影響域が、 U の方向へ 1800 m シフトしたような形の影響域が現われることになり、放出口から、この影響域の最大外縁までの距離は 4100 m



となる。

4) あとがき

以上、温排水が平坦な海岸線をもつ海域に放出された場合に考えられる拡散過程について考察し、とくに、従来考えられていた渦動拡散および Advection による拡散の他に、海水加入による希釈、拡散が重要なはたらきをしているのではないかという点を指摘し、この仮定にもとづいて、影響域推定の方法について、例をあげて述べてみた。このような拡散過程は、単に温排水拡散の場合のみでなく、所謂ダム放水、工場廃水、都市排水、河川水流入、など陸水の海洋への流入拡散過程について統一的に説明しうるものではないかと考えられる。しかし、このような拡散過程においては、未だ未解決の問題が含まれている。即ち、陸水流入量あるいは流入エネルギーと海水加入との関係、また表層成層状態とその厚さとの関連等々で、これらは、今後に残されたこの種の問題の基礎的な重要課題と考えられる。

参 考 文 献

1. 新田忠雄(1963): 海洋域における工場廃水の希釈と拡散について。用水と廃水
Vo 1. 5, No. 6,
2. 尾鷲公害調査報告書(漁業部会)、尾鷲火力関係公害対策委員会、(1960)
3. 原子力発電所建設が熊野灘沿岸海域の環境および生物の生産に及ぼす影響予察報告
(1966)

2 清水火力発電排水口附近海水温度・塩素量の分布について

渡辺信雄・稲葉栄生・松田義弘(東海大学海洋学部)

1) はしがき

わが国の沿岸各地で発電所などの工業用冷却水が海洋への温排水として放水されている例は極めて多い。従来これらは水産生物への悪影響が強調され、多量の熱資源としての利用面が看過されていた傾向があった。最近養魚育成への利用が試みられた例もあるが、一層他の方面への利用も考慮される必要がある。かかる意図の基に本シンポジウムが計画されたことに対し深甚の敬意を表するものである。利用へ途を講ずる一歩は、その排水状態の本質を知悉することが必要であることは言うまでもない。

著者などは上記の意味から、本年5月14~17日静岡県清水港折戸湾内の一隅における清水火力発電所の排水口附近の水温、塩素量分布につき細密調査を行なったので、ここにその概略を報告し参考に供する。この調査に際しては清水火力発電所の関係諸氏が、本会の主旨を了解され、種々積極的な援助を与えられたことを記し、深く感謝する次第である。

2) 測定結果の概略

測定を行なった場所はオ1図に示した点線で区切った $4 \times 10^4 \text{ m}^2$ 程度の水域で、排水口付