

Ⅲ 水産海洋研究会昭和45年度秋季シンポジウム

「公害と水産海洋」

主催 水産海洋研究会

日時：昭和45年11月16日(月)10時～17時

会場：東海区水産研究所 第1会議室

コンピーナー：平野敏行(水産庁)，服部茂昌(東海水研)

話題および話題提供者

- | | |
|------------------------|-------------------------------|
| 1. 油汚染と水産海洋 | 新田 忠雄(東海区水産研究所) |
| 2. 温排水と水産海洋 | 杉浦健三・沢田保夫(東海区水産研究所)，平野敏行(水産庁) |
| 3. 産業排水と水産海洋 | 五十嵐 正治(静岡県水産試験場) |
| 4. 赤潮被害と水産海洋 | 増田 親(愛知県水産試験場) |
| 5. 瀬戸内海の海洋汚染と水産海洋 | 村上 彰男(南西海区水産研究所) |
| 6. 瀬戸内海シミュレーションとその意義 | 鬼塚 正光(通産省・公害資源研) |
| 7. 海洋汚濁研究の国際的動向 | 敦賀 花人(東海区水産研究所) |
| 8. 海洋汚染とこれからの水産海洋研究の課題 | 宇田 道隆(東海大学海洋学部) |

I(1) 温排水と水産海洋

杉浦健三・沢田保夫(東海区水産研究所)
平野敏行(水産庁)

1 はしがき

温排水を自然海域に放流する場合には、水産動植物の生活領域の物理学的・化学的・生物学的環境諸条件の変化が起こることを考えなければならないのは当然である。その環境に与える影響度合は、温排水と自然海水との温度差と、排水の放出量とによって大きく異なるものであり、さらに、生物体に直接影響のある場合と、間接的に影響のある場合とが考えられる。前者は、温排水による海水温の昇温結果として起こる流動変化、およびそれに伴う他水塊の流入現象で、環境水に質的変動を生じ、このために生物体が直接影響を受ける場合であり、後者は、主として水産生物をめぐる食物連鎖の一過程が破壊されて発生する環境異常現象である。

一般に、温排水放流の結果で海水温度が自然水温より数度昇温した場合、このような温度変化が、はたして水産生物の生育に影響を与えるかどうかということが問題となる。

もしも、環境水温の1~2℃の上昇結果が、水産生物の生育に影響を与えるものとするれば、これらの生存が不可能になる場合もあるであろう。しかし、たとえば、沿岸海域の冬期の水温変動をみると、1日の最高・最低水温の差が10℃にも達することがある。このような環境海域でもごく沿岸部ではノリ養殖が行なわれ、また、その沖合ではワカメが養殖されているのが現実である。そこで、自然界における環境水温の激変動の中で、水産生物が一応支障なく生育し続けられるのは、次のように考えるのが適当であろう。すなわち、動植物において種の発生時から長年月の間環境の物理・化学的变化に耐えぬき、しかも環境に適合しうるように形態や生理を変え得たもののみが生き残ったのである。生物進化は自己の意図によって起こり得るものではなく、生命とその環境諸条件（物理・化学・生物学的環境）との相互作用が長期間持続し、適応変化が行なわれていくものであろう。すなわち、現在生息している動植物は、生息している場の、あるリズムを持った環境変化（物理・化学・生物学的環境要因の変動周期）にあわせるように、自らの機能を発揮して生活を営んでいるものであって、かりに、環境リズムが変化した場合には、新しい環境に耐え得るもののみが生き残り、また、今までの環境内で生息し得なかつた動植物が新しく生活を開始するようになるであろう。このように、生物相の変化する速さは、主として、環境変化の規模に支配されるものであると考えられる。（今まで述べてきたことは、あくまで温排水を中心に考えたものであり、放出排水中の化学物質の与える影響は、生物の生理現象とのつながりが深く、さらに複雑なものとなるであろう。）

2 温度変化が水産動植物に与える影響

水産動植物が環境温度の変化にどのように反応し、また、影響を受けるかについては、多くの研究結果が報告されているが、その一部をまとめると次のようである。

2.1 魚と温度

魚と水温との関係を考える場合、まず、魚がその生息域で起こる水温変化をどの程度識別することができるか、すなわち、魚の温度感覚の度合を知る必要があり、ついで、その温度変化が魚体の生理、生態に与える影響をみていく必要がある。ここでは、前者の温度感覚について問題点をしぼった考察を行なった。

魚が生息水域の水温変動を刺激として受けとめる場合、識別可能な温度差や好水温帯の研究は、M. M. WELLS (1914)⁽¹⁵⁾、金丸(1922)⁽¹⁵⁾、H. O. BULL(1928~1936)⁽¹⁾⁽²⁾、P. DOUDOROFF(1938)ら多くの研究者によって種々な方法を用いた研究がなされている。これらの諸研究のうち、H. O. BULLは、条件反応の方法を用いて、微小水温変化と魚の行動についての詳細な研究を行なっている。その一例を次表に示した。

BULLは、上記の他に、ハゼ、カレイ等の多くの種類の魚についても実験を行ない、0.05~0.10℃の温度差でも反応の起こることを報告している。

これらの諸実験は、実験水槽内でよく馴らされた魚を用いての結果であるが、魚が0.1℃程度の温度変化を感知し得る程敏感であることは、それらの温度変化が魚体の生理条件の何らか

第1表 魚の反応温度差

魚 種 名	反応温度差	備 考	
Ameiurus (ナマズ4種類)	0.1	選択水温16~19℃	WELLS
Gadus callarias L. (タラの一種)	0.05	18~38回の練習結果	BULL
Gadus merlangus L. (タラの一種)	0.03~0.13	1尾では条件反応になれず、同種の稚魚3尾を入れて馴らした	"
Raniceps raninus (L.) (アナゴの類)	0.05~0.70	1年間飼育して後、実験を行なった結果	"
Blannius pholis (イソギンポ)	0.03~0.05		"
Cottus scorpius L. (カジカの類)	0.05	体長2.2cmの雄を用いた。反応する時は、動きが鋭い	"

に関与するのではなからうかと推察される。

環境水温変化がどのように魚体内に伝導されるのかについて、黒木(1967)⁽⁹⁾は、ニジマス、キンギョの2種類の魚を用いて実験を行なった。

すなわち、魚体腹腔中にサーミスターを挿入して体温変化を測定する方法で実験を行ない、次のような結果を得ている。

ニジマス：水槽水温15~18℃での実験では、朝の点灯で体温が約0.15℃下り、また、深夜の人の気配では0.3℃の急激な体温低下が起こる。これらの反応は共に約20分後には回復する。

キンギョ：朝夕の人の気配や点灯で刺激されると約0.2~0.25℃体内温が急上昇する。外部からの刺激によって体内温が昇温した場合は、元へ回復するのに約4時間半が必要である。

これらの結果から明らかなように、単に人の気配等の環境刺激でも魚の体温変化が認められることは、生息水域の環境要因の一つが微小変化を起こせば、魚体はなんらかの形で影響を受けることが考えられる。しかし、好適水温内の微小温度変化が魚体生理に与える影響については、現在のところ尙明確にされていない点が多いものと思われる。

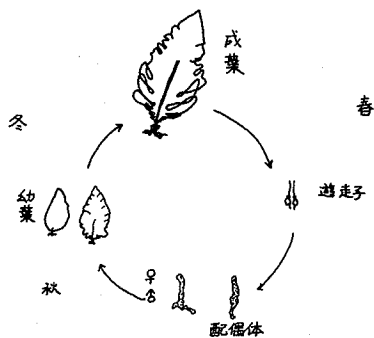
2.2. 藻類と水温

藻類は、浮遊性の単細胞体のものを除くと、そのほとんどのものが、海岸の潮間帯、漸深帯の岩、石、砂、泥等に付着して生活を営んでいる。潮間帯における環境要因の変動様式は、複雑で非常に激しいので、環境の激変動に耐えうるためには藻類は、よほど強靱か、環境変化に応じて自己の形態をうまく変遷させなければ、種属の維持は不可能であろう。環境諸要因のうち水温は、光合成を行なうに必要な光とともに重要な要因の一つであろう。藻類と温度との関係については、多くの研究が行なわれてきているが、ここでは、有用藻類のワカメとノリについて、新崎⁽⁶⁾⁽⁷⁾、須藤⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁴⁾、黒木、斉藤⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾、殖田⁽¹⁰⁾、前川他⁽¹³⁾、竹内他3名⁽¹⁷⁾らの研究結果から温度との関係を述べる。

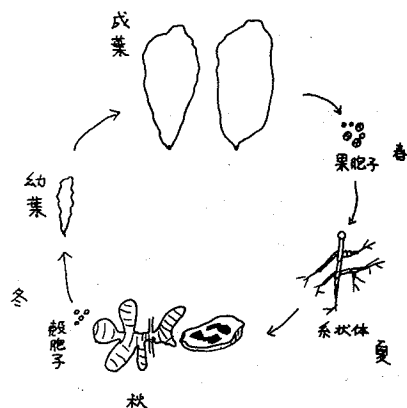
ワカメ (*Undaria pinnatifida*) は、第1図のような生活を営んでいる。すなわち冬期から早春の海水温の低温時に繁茂し、水温の上昇ともなつて葉体は枯死していく。葉体が枯死する前に孢子嚢が形成されて、遊走子が放出される。水温が急激に上昇する夏期には、配偶体となつて高温に耐え、水温が下降する時期になると雌、雄の配偶体によって受精が行なわれ、受精卵が発芽する。このように、ワカメ類は環境要因とくに水温変動に対しては、非常に複雑な自己の生態変化をもつて、自己の種の維持を計っている。

ノリ類 (*Porphyra*) は、ワカメ類よりも浅い内湾域から外洋域の潮間帯に生育し、海藻としては、一部の“岩ノリ”の類を除き広塩性である。しかし、水温変動に関しては、かなり敏感で、第2図のような生活史をもつて生活している。ノリ類の発芽時期は、同種であっても地域的環境に応じて発芽する。また、ノリ葉体の寿命は、成長、成熟速度に関係し、その成長、成熟速度は、温度と大きな相関をもっている。

ワカメ、ノリと水温の関係を第2、3表に示した。



第1図 ワカメの生活史



第2図 ノリの生活史

第2表 ワカメ (*Undaria pinnatifida*) の成長と水温との関係

生活期	水温と成長の状態
遊走子	19℃前後：遊走子の放出が最も良い。 14℃以下：遊走子の放出が少なくなる。
配偶体	17～20℃：配偶体の成長が最も良い。 23℃以上：配偶体の成長は遅くなり、やがて成長が止まる。 20℃以上の水温が長く続くと造卵器、造精子器がほとんど形成されない。
幼葉	15℃前後：成長は最も良く、水温が低くなると成長がおくれる。
成葉	6～13℃：成長は最も良い。 15℃：生育不良 20℃：ほとんど成長しない。

藻類にとって、定常的に海水が1℃昇温することは、藻類の生活史のリズムが温度1℃づつ狂ったことになる。また、生産面からみると、収穫期（冬期）が温度1℃分だけ短縮されたことに相当し、結果としては収穫減をひきおこすであろう。ノリ養殖の場合には、海水温の昇温に伴う病害の発生などの危険が考えられるし、天然ワカメでは幼葉発生前の造卵、造精器の形成時期の短縮が起こることが考えられる。いずれにしても、環境水温の僅かな変化が、藻類にとって、場合によっては、種の交替までも考えなければならぬような影響が潜在していると考えられよう。

第3表 アマノリ類(Porphyra)の成長と水温との関係

生活期	適水温
発芽期	15~22℃
成長期	5~15℃
幼葉	11~13℃
成葉	5~8℃

3 温排水の拡散分布

温排水が放流される場合、海域内にこれが拡散分布する機構については、著者らは次のように考えている。

放出された温排水は、まず、排水口で激しく擾乱混合（第1混合過程と呼ぶ）し、ついで、温排水と海水との混合海水が沖合へ拡散分布（第2混合過程と呼ぶ）すると思われる。この時の物理的状态は次のようであろう。

(1) 第1混合過程

放流された温排水は、排水口近傍で激しく排水口周辺海水と混合、擾乱を起し、一旦、沈下した排水は、混合後再び浮上する。この浮上する現象は、排水密度が排水口下層密度より小さいためと表層部流速が速くて、その摩擦力が大きいことが考えられよう。このために、下層海水は排水中へ多量に混入するものと思われる。上記のように第1混合過程では、下層海水加入の重力拡散が、渦動拡散よりも卓越しているが、しかしその重力拡散域は、排水口近傍に限られよう。その場合の排水混合海水と下層海水との境界層は、常に不安定で境界層深度の変動も激しく行なわれているものと考えられる。また、海面においては、大気との熱交換のふるまいもおおいであろうが、これは重力拡散に比較して無視できるものと考えて差し支えなからう。

(2) 第2混合過程

海水と混合した排水が海湾表層に拡散分布していく機構で、この場合は、(1)で示した重力拡散よりも渦動拡散が卓越し、下層からの海水加入はほとんどなくなり、境界層面も安定し、成層された排水深度もほとんど変化することなく、環境支配の影響のもとで分布形態を作るものと思われる。

現在までに行なわれてきた温排水拡散分布の研究は、新田⁽¹⁸⁾、和田他⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾、平野⁽²¹⁾⁽²²⁾、坂本、らによって、各自異なった角度から進められてきている。

新田は放出排水量（淡水）と排水拡散面積との関係について多くの実測値から、両者の関係を

$$\log y (m^2) = 1.2261 \log x + 0.0855$$

とした。yは排水拡散面積、xは放流排水量である。前式は淡水排水の場合であって、海水温排水の場合は、淡水排水量xを $1/100$ 倍することによって、back ground 海水より 1°C 高温の面積（温排水影響面積）が求められるとしている。

和田は、冷却水（海水）を取水する場合、放出温排水が再循環して取水されないようにするために、取水口の位置決定等に関する研究を行なった。その考え方は、温排水が湾内へ放出した場合、流速分布、水温分布が平面2次的に取りあつかうことができると仮定して、温排水を半無限静水海域に放出したときの流速、水温分布を数値計算したものである。この研究では、湾内のある特定点を対象としないならば、温排水拡散は、湾内の周囲の海水との希釈混合であると結論した。

平野は、温排水の拡散過程が排水口近傍では重力拡散が卓越し、沖合に拡ろがれば渦動拡散が主体的となって混合拡散するとの考えから、静水海域に放流された場合についてと、閉鎖的の海灣（小型）での混合過程の主役が、潮汐混合であろうとして、潮汐混合による温排水影響面積を理論的に算出した。

坂本は、火力発電所温排水の観測結果から、放出量 $x \text{ ton/sec}$ と拡散面積 $y (\text{km}^2)$ の関係を

$$y = 0.1167x$$

とした。

4 温排水が内湾に放出された時の実験例

今までの諸研究のほとんどは、温排水がどの程度拡がるのかに重点がおかれている。ここでは、温排水が実際に放流された場合、排水口近傍でどのような現象が卓越しているかについての研究を行なった一例を述べる。

調査を実施したところは、福井県敦賀湾内浦底湾にある原子力発電所の排水口および湾内で、東海区水産研究所、日本海区水産研究所および南海海区水産研究所の各海洋部と福井県水産試験場とが共同で観測を実施した。また、本研究は、科学技術庁放射能調査研究の一環として実施されたものである。

(1) 排水路および湾の地形

浦底湾（第3図参照）は、敦賀湾口西側にあつて、湾口が南に開き、表面積が約 $74 \times 10^4 \text{ m}^2$ の小湾である。発電所排水口は浦底湾奥部に位置し、その形状は、第4図に示したようなラッパ状をした水深 $1.5 \sim 2.5 \text{ m}$ の排水路である。排水口沖は、急に 4 m 程度の水深となる。

(2) 観測の内容と経過

観測は温排水の影響が良く判断のできる非成層期を選んで実施した。観測には、観測船を2隻用い、1隻は、排水路内とその排水口周辺の水温、流れの変動を把握できるようにし、他の



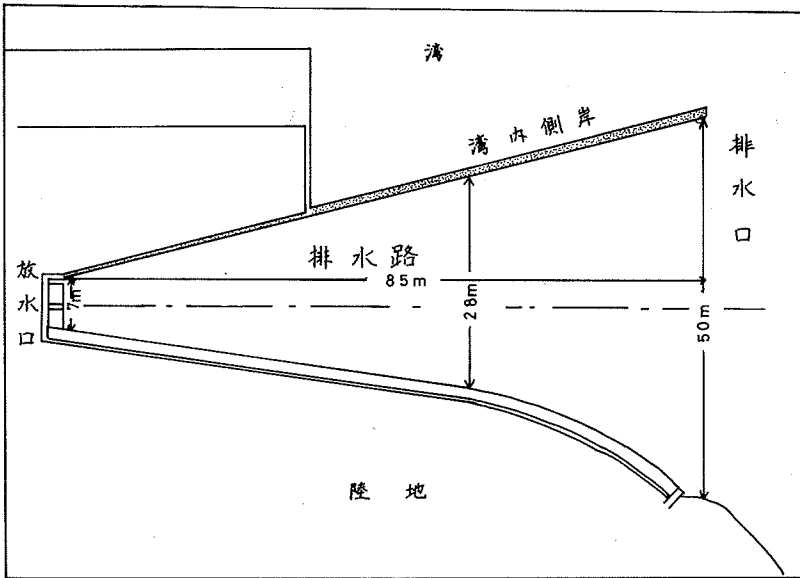
第3図 浦底湾位置図

排水近傍での流れは、下層水と表層水とが逆流しているのが認められ、これは下層海水の海水加入現象を示しているものと考えられる。海水加入がどの程度沖合まで持続されるのかに関して、Richardson 数の分布から鉛直混合の卓越具合をしらべてみた。第10図は、

1隻は温排水がどのような状態で拡散分布するかを調べるために、湾内の水温・塩素量の観測を行なった。湾内全域の0、2、5m層の水温 σ_t の水平分布は第5-1、2図に示し、第6図には排水口から湾口にかけての縦断面の水温分布を示した。また、排水口沖合近傍における水温・流れの鉛直分布を第7、8、9図に示した。

(3) 結果と考察

放出温排水は、明らかに湾内表層0~2m層を湾口外へ拡がっており、下層にはそれ程影響が及んでいないが、湾奥部では、5m層にも温排水の分布が認められる。また、温度分布は右岸よりにやや高温を示している。



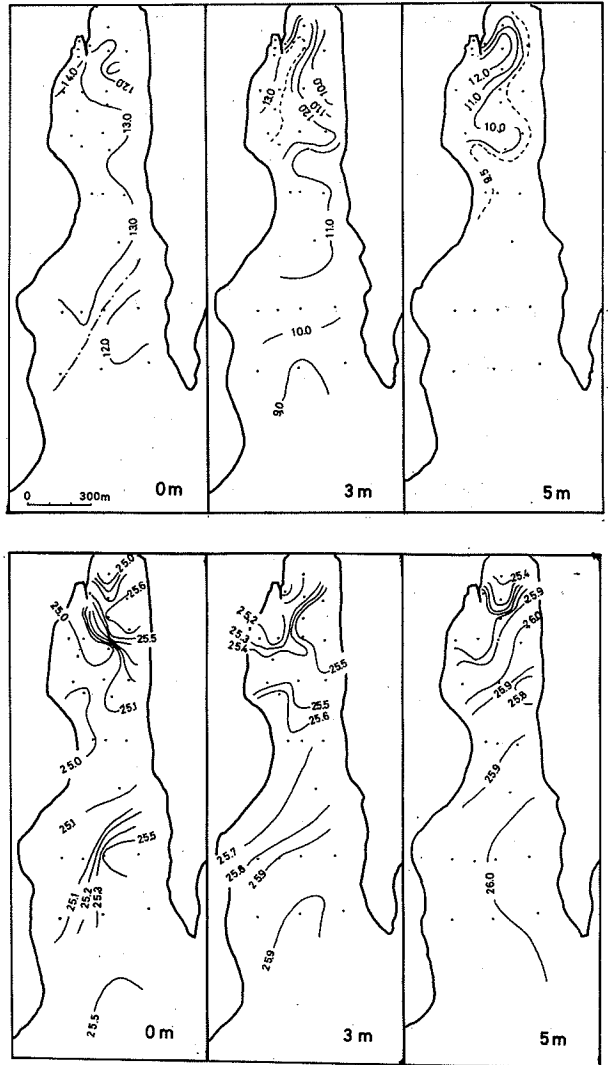
第4図 排水路平面図 (m)

$$Ri = \frac{\frac{1}{g} \left| \frac{\partial \rho}{\partial z} \right|}{\frac{1}{\rho} \left| \frac{\partial u^2}{\partial z^2} \right|}$$

の分布図である。ここに、 ρ は密度、 z は水深、 u は流速また、 g は重力加速度を表わしており、 $Ri > 1$ の場合は海流に乱れが発生しにくく、 $Ri < 1$ の場合は乱れが発生しやすいことを示している。

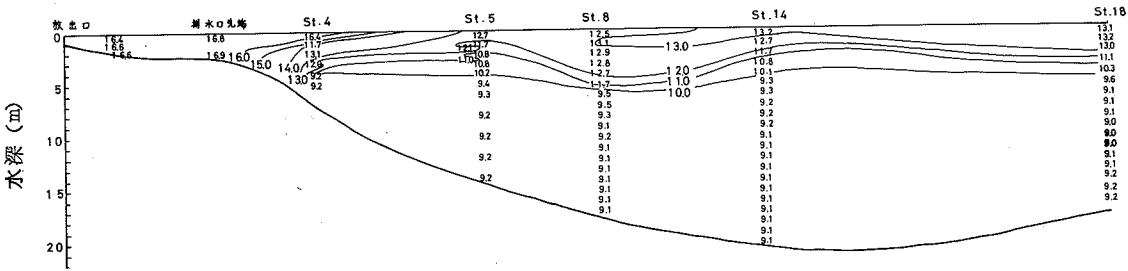
分布図から混合状態を考察すると、擾乱状態で流出した排水は、流出直後においても擾乱状態を維持し、下層海水との境界層付近において上、下層間で激しく鉛直混合をしているように考えられ、海水加入が行なわれているものと思われる。排水口沖 175 m においては、表層域 (0 ~ 2 m) では、鉛直混合はほとんど行なわれなくなり、水平方向の渦動拡散に移行していくように考えられる。しかし、その下層では、鉛直混合が排水口から持続していて、下層海水との混合が行なわれているものであろう。この下層境界層附近での混合がどの程度沖合まで持続されているかについては、この実験では明らかにされなかった。

今回の調査結果から、下層海水流量を求めるには、観測点が少なく、排水口周辺の細部にわたっての流動変動が把握できないために、詳細な結果は得られなかった。そこで、流入量については一応流れの実測値を基にして、流れの連続式から概算した。放出量を V_1 ton/sec、排水口沖 C 点における排水口平行断面を流出する量を V_2 ton/sec とすると、放出口から C 断面まで流入した海水量は $V_2 - V_1$ で表わされる。いま、C 断面を次のように考える。h : 流出



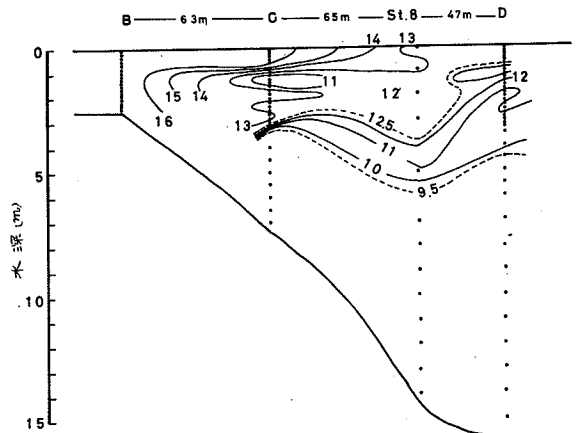
第 5-1 図 水温平面分布図 (°C)

第 5-2 図 σ_t 水平分布図



第6図 放水口から湾口までの水温鉛直分布(°C)

の深さを8m、 b : 流出幅を3m層における1.3°C等温線の内側にとると約70mとなる。すなわち A (C 断面積) = $b \times C = 210 m^2$ である。また、流出速度を0~3mまでを平均して用いると \bar{u} (流出平均流速) = 0.46 m/sec となる。これらから、流出量 V_2 は96.6 ton/sec で、流入量 V_3 は約75 ton/sec となる。

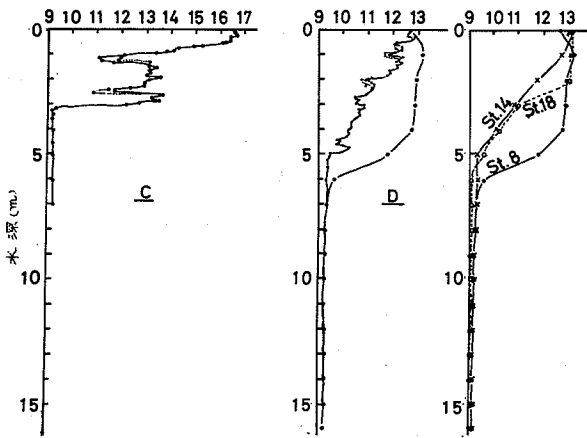


第7図 排水口近傍水温断面図

流出排水に混入する湾内海水は

非常に多量で、熱量保存則から考えると多量の海水が横方向から(湾奥部へ拡散分布した1.2~1.3°Cの高温海水)流入しているものと考えられる。しかし、かりに流出に用いられた海水水温(°C)

が、湾外からの補給であると考えると、湾口下層部では毎日 2.0×10^4 ton/day の沖合海水が流入していることになる。このように多量の沖合底層海水が湾内に流入すれば、湾内底層域には大きな質的変化の起こることが考えられ、これが水産動植物に及ぼす影響は、表層を拡散する温排水によるものは異なった形で、しかも非常に広範囲にまたがる重要な問題と

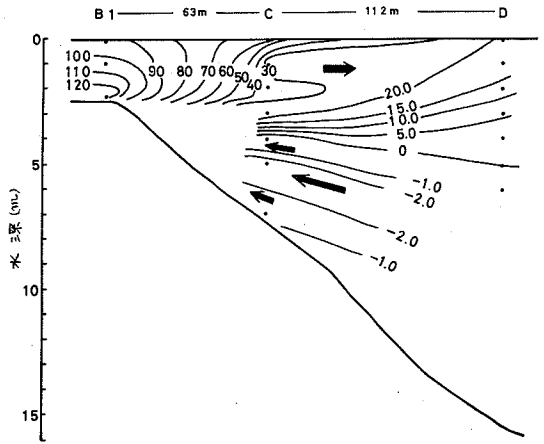


第8図 水温鉛直分布図

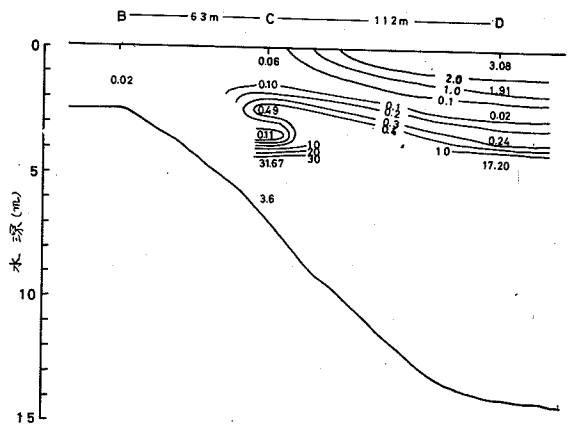
して現われるであろう。

S ま と め

温排水が海湾へ放出された場合、その海域に生息する水産動植物に与える影響は、放出される量、地形等によって異なるであろう。それも、直接、間接的に影響を与えることも考えなければならぬ。一般に、このような影響問題を考える場合は、直視的な視界に立って、直接的な問題がまず考えられて、その後間接的影響を考慮する形がとられ、後者が前者の影にかくれて忘れられているような場合の多いのが現状ではなからうか。温排水が流出した場合、確かに表層域に拡散分布する温排水が、水産動植物に直接的な影響を与えると考えられるのは当然であるが、そのために起因される他の物理的变化も見逃がすことのできない重要な問題であろうと考えられる。したがって、今後の水産海洋の研究には、このような隠れた問題点を十分に把握して、研究計画をたてる必要のあることが痛感される。



第9図 x軸方向の流れ (cm/sec)



第10図 Ri断面分布図

$$Ri = g \left| \frac{\partial \rho}{\partial z} \right| / \rho \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2$$

参 考 文 献

1. H. O. BULL : Studies on Conditioned Responses in Fishes. Part I. Jour. Mar. Biol. Ass. U. K., XV, 1928.
2. H. O. BULL : Studies on Conditioned Responses in Fishes. Part II. Jour. Mar. Biol. Ass. XVI, 1930.
3. 黒木敏郎：魚と水温刺激、日水誌、33(3), 1967.
4. 田宮博：刺戟生理学におけるWEBER-FECHNERの法則とWEISSの法則に関する一考察 科学 19(8), Aug. 1949.
5. 平田八郎：金魚の索餌日週変化と水温との関係 水産増殖5, (4) 1958.

6. 新崎盛敏：海藻類の生育と水温（Ⅰ）。水産増殖，5，（4）1958.
7. 新崎盛敏：海藻類の生育と水温（Ⅱ）。水産増殖，6，（2）1958.
8. 須藤俊造：昆布科植物の遊走子の放出、運動並びに着生 第1報、日水誌，13（4）1948.
9. 須藤俊造：ワカメ・カヂメ及びアラメの遊走子の放出について—Ⅱ。第13報，日水誌，18（1），1952.
10. 斉藤雄之助：ワカメの生態に関する研究—Ⅰ、日水誌，22（4），1956.
11. 斉藤雄之助：ワカメの生態に関する研究—Ⅱ，日水誌，22（4），1956.
12. 斉藤雄之助：アサクサノリ糸状体の生長成熟に及ぼす二、三の要因について、日水誌，22（1），1956.
13. 前川謙佑・富山昭：水温調節によるアサクサノリ糸状体からの胞子放出の人為的制御について、水産増殖，5，（4）.
14. 須藤俊造：温水とワカメ，水温と生物，農電普及叢書 第4集，P. 74~80.
15. 川本信之：魚類生理学，石崎書店.
16. 殖田三郎・岩本康三・三浦昭雄：水産植物学，恒星社厚生閣.
17. 竹内卓三・下中元信・福原昭典・山崎浩：アサクサノリ *Porphyra tenera* Kjellm 糸状体の生態—Ⅲ、日水誌，22（1），1956.
18. 新田忠雄：熊野灘沿岸開発に伴う温排水の拡散、原子力発電所建設が熊野灘沿岸海域の環境及び生物の生産に及ぼす影響予察報告書.
19. 和田明・中川友康・片野尚明：入江内における冷却水取放水の研究(1) 第12回海岸工学講演会講演集，1965.
20. 和田明・片野尚明：入江内における冷却水取放水の研究(3) 第14回海岸工学講演会講演集，1967.
21. 平野敏行：熊野灘沿岸開発に伴う芦浜附近の温排水拡散について、原子力発電所建設が熊野灘沿岸海域の環境及び生物の生産に及ぼす影響予察報告書.
22. 平野敏行：温排水の拡散分布、坂出火力発電所冷却用温排水の水産資源におよぼす影響の調査報告書(案).
23. T. H. ELLISON and J. S. TURNER: Turbulent entrainment in stratified flows. Department of the Mechanics of Fluids, University of Manchester.

(2) 閉鎖的港湾における温排水拡散分布の考察

平野敏行（水産庁）

四国坂出港湾のように湾入した、どちらかという閉鎖的港湾の湾奥部へ温排水が放流されるような場合には、放流の規模や港湾の大きさからみて、その拡がり主として潮汐作用による潮汐混