

# 今後の電力開発と環境保全

## — 温排水問題について —

(財) 電力中央研究所 和田 明

### 1. 発電所温排水の現状

火力あるいは原子力発電所はそれぞれボイラ、原子炉から取り出した熱エネルギーをタービン発電機により電気エネルギーに変換するもので、この際の熱効率は最新火力でも40%程度である。すなわち現状では、有効に電気エネルギーになった量にほぼ匹敵する熱量を外部に放出せざるを得ない。この放出熱量は本質的には熱効率の向上を待たねば減少できないものであり、十分な熱容量を有する媒体である大気系または水系に拡散することになる。問題とされるのは蒸気タービン発電所において復水器により放出される熱量である。火力および原子力発電所から放出される熱量は次表のとおりである。

第1表 発電所の熱効率\*

	熱効率 (%)	復水器から放出する熱量 (Kcal/KWh)
火力 新税火力	40.0	983
将来目標	42.6	857
原子力 軽水炉	34.0	1,690

\* 火力発電所の場合は煙突などからの熱損失もあるが、原子力発電所の場合は熱損失の大部分は復水器から放出される。

わが国における復水器冷却水の設計最大使用水量は出力10万kW当り、火力発電所で3.5～4 m<sup>3</sup>/sec. 原子力発電所で6～6.5 m<sup>3</sup>/sec となり、原子力は火力にくらべて50%ほど多くの冷却水を必要とする。

今後の技術開発によって、原子力発電所の蒸気条件が新鋭火力なみに改善され、熱効率

34%以下の現行軽水炉型から熱効率40～42%の新型炉 (AGR やHTGR) へと発展すれば、単価出力当りの冷却水量を減ずることを期待できよう。

復水器での熱交換によって昇温されて海域へ放出される冷却水は、環境水温よりも平均5°～7℃程度の水温上昇を伴う。冬期においては水温が低いため冷却水量を設計最大使用水量 (夏季) の $\frac{1}{2}$ 近くにしばって運転するので、排水温の値は大きくなる。

一方、夏期には海面下3～4 mの深さに水温躍層が形成されることに着目して、下層のより温度の低い海水を選択的に取水することにより、放水温度をそれだけ低くおさえることができる。

### 2. 水温規制問題の背景

近年、温排水による公共用水域の水温上昇が環境に及ぼす影響について各方面における関心が高まっている。温排水を排出する工場、事業場としては、発電所をはじめ鉄鋼業、化学工業、食料品製造業などの事業場があげられるが、現在問題とされているものはほとんどすべてが発電所からの復水器用冷却水の温排水である。これは発電所からの温排水が他の業種の温排水に比し、圧倒的に水量が多いからである。

わが国の火力、原子力発電所は近年そのほとんどすべてが海岸に立地し、大量の冷却水を海水に依存している。従来の火力発電所は需要地に近接して建設されてきたが、このような地点にあつては沿岸海域は港湾として漁

業権のすでに消滅している例が多く、また設備ユニットも比較的小型であったため、温排水による海域での水温上昇が問題として取り上げられたことは少なかった。しかし、ここ数年来急激な電力需要に対処するため、発電所の規模は大容量化し、立地地点も産業都市におけるコンビナートを除いては、需要地からかなり遠隔な地点に求められるようになってきている。

このような臨海工業地帯ではない地域の湾や外洋に面して立地する発電所の場合は、温排水が養殖場や漁場に及ぼす影響の推定とその対策という重要な課題が提起されている。水温の上昇が水棲生物に与える影響については、まだ十分な調査研究がなされていないため、この関心は主として水産業関係者からの漁業への懸念として表明されているのが実状である。

アメリカは発電所からの温排水が環境問題の1つとして社会的に注目を集め、発電所立地計画に支障を来した最初の国である。この国の発電所は従来内陸に立地し、五大湖やミシシッピ川などの河川・湖沼に冷却用水を求めるために、水温上昇が水棲生物に影響を与えるものとして問題を生じたケースが多く、州ごとの排水水温規制などの法的措置に対処して冷却池、冷却塔の使用等必要な対策を施してきている。

このような内外の情勢を反映して、わが国においても水温の人為的上昇について社会的管理を加える必要があるとの指摘がなされ、1970年12月の国会において成立した水質汚濁防止法においては、水温上昇が水質汚濁の1つとして明確に位置づけられた。規制の対象となる水温とは法の規定によれば、「熱による水の汚染状態であって、生活環境にかかわる被害を生ずるおそれがある程度のもの」である。しかしこの水温は、人の健康にかかわる被害を生ずるおそれがある物質、あるいは水質汚濁を示す項目とは本質的に異なっており、水域の水が有するエネルギーのポテンシャルを示す数値と解すべきである。しかも、

水域の水温それ自体、季節、日時さらに気象、海象などの自然条件の変化に伴って変動するものである。この場合、人間自体が被害をうける程度の人為的水温の変動と、人間生活にとって有用な生物が被害をうける程度の人為的水温の変動が対象となるべきであろう。

水質汚濁防止法による排水基準の設定については、基礎的調査研究資料が充分でないため現在まで設定されていないが、1～2年後に排水基準を設定することを目途として調査研究が進められている。現在、中央公害対策審議会の下部機構として水質部門特殊問題専門委員会のなかに温排水分科会を設け、規制に関する基本的方針の策定のための調査研究計画および調査研究結果に助言を与えることとしている。温排水の排出基準の設定にあたっては、基準設定の根拠となる調査研究資料の整備が必要であるが、そのほか基準の設定方法に関して次のような問題がある。

- (1) 全国一律基準の作成にあたって、地域別、時期別の温度差をどう考えるか。
- (2) どの地点の温度で基準を設定するか。  
(温度の絶対値をとるか、温度差で決めるか。)
- (3) 排水量の規模別、業種別に区別するか。
- (4) 河川、湖沼、海域の別をどう考えるか。
- (5) 立地条件の類型別に基準設定するか。

このように、温排水に関する排水基準の設定にあたっては、水温が他の規制項目とは異質であることもあって多くの検討すべき問題点が残されている。

### 3. 温排水問題に関する研究手法

原子力および火力発電所の大容量化にともなう復水器冷却水量の増大によって、海域へ排出される温排水による水温上昇は周辺海域の環境に対して種々の影響を及ぼすものと懸念され、近時社会的な関心のまともとなっている。このため温排水問題を解決するためには、温排水拡散現象の解明、水温が海生生物へ与える影響、温排水の影響低減化対策、温排水利用等の各項目について研究を行ない、環境

保全の立場からこの問題の解決をはかるべく努めなければならない。

温排水の拡散現象は、海という自然現象が支配する場におけるきわめて多くの要素が複雑に関与する問題であるから、研究の展開に当っても、理論的な基礎研究のみならず、現場における実証的な調査研究および電子計算機と水理模型を駆使する実験的研究の3本の柱を併行させて進めることは当然である。このうちでも特に現場実測による調査研究は必要欠くべからざるものである。いかに精巧をきわめた拡散機構の理論解を求めたとしても、この解が実際の現象を再現するものでなければ無意味なものとなる。したがって、できうる限り現地での観測調査を実施し、拡散過程の資料を集積し、それを正しく処理して帰納的に問題の本質に近づく努力が必要である。一方、個々の基礎的な現象の理論解析によっても、それぞれの局所的な問題を解明することはできるが、総合的な沿岸海洋学問題の解決には限度がある。以上の観点から、実際的な問題の解決には専ら数理模型あるいは潮汐水理模型実験の手法が広く用いられている。温排水問題に関する諸研究の重要な課題の一つとして温排水の水温影響低減化のための対策面の研究を挙げることができる。

アメリカをはじめ各国においては、さまざまな手段、工法の採用によって、環境対策上の配慮につとめている。わが国においても、大容量化にともなう冷却水量の増大によって、沿岸海域へ排出される多量の温排水が水産・養殖業へ被害を与えたとの懸念のもとに、発電所立地の円滑な取得が阻害されている現在、この打開方策として、温排水の環境への影響をできる限り小さくする努力が必要であり、さらに又、近い将来、水質汚濁防止法による水温排出基準が設定されるに至れば、この規制の内容いかんによっては、これに対処すべき温排水の排熱管理が必要となる場合も生ずるものと予想される。

このような電源立地推進および環境保全の立場から、海域へ放出される温排水の水温の

影響をできるだけ低減させる各種の方法について調査研究が必要である。

#### 4. 温排水拡散に関する調査研究の現状

##### 4.1 温排水拡散予測に関する手法

温排水の拡散範囲は、冷却水の放出流量および放出水温はもとより、放水口周辺の海岸地形、放出方式、潮汐流をふくむ沿岸流の作用、海の中の乱れの特性、大気と海面との間の熱収支に関与する気象条件など、数多くのさまざまな要素によって変化するものである。したがって、海域に放出された温排水の拡散現象を解明し、拡散範囲を予測するためには、温排水拡散の物理的過程に基づき、冷却水放出にともなう流れや沿岸流の力学的挙動と温排水の熱拡散現象の両者を同時に考慮し、これに上記の種々の要素を加味して、問題を解かなければならない。

この目的にそって、電力中央研究所が開発した数理モデルによるシミュレーション解析手法とは、温排水の流れや沿岸流の挙動を支配する流体力学の運動方程式と連続方程式および海面・大気間の熱収支を考慮した熱拡散方程式とに基づき、これに現象に関与する上述の多くの因子を基本方程式におりこんで解く方法である。

この数理モデルによるシミュレーション解析手法は、従来の既存の温排水予測のための経験式や半理論式のように、温排水拡散面積が放出流量と放出水温差とだけで定められる方式とは異なり、自然現象が複雑に関与する多くの物理的な素過程を考慮に入れて理論的に解析する手法であることから、個々の対象海域ごとの特性に応じた解を求めることが可能である。

##### 4.2 温排水拡散の現地観測

###### A. 実態調査の現状

以上述べてきたように、いかに精巧な理論体系をうちたて、これに基いて解析計算を行なったとしても、その解が実際の現象を再現するものでなければ無意味なものとする。ここに、現地における海象調査ならびに温排水

拡散の実態調査の重要性が強調される。

すなわち、気象・海象条件との関連のもとに系統的・組織的に拡散実測調査を実施し、温排水拡散の実態を把握するとともに、予測計算と比較検討して、解析手法の妥当性と解の信頼性の向上に努めるべきである。

この実測調査に当っては、物理拡散面の測定のみならず、同時に海生物に関する調査も実施し、温排水が環境に及ぼす影響を総合的に把握するように努めるべきである。

B. 拡散実測調査結果の例

電力各社は既設の火力発電所や最近運転を開始した原子力発電所について、温排水拡散の実態調査を実施しているが、これらの調査は数理モデルによる予測解析結果との対比のもとに、目下検討中であって未発表の段階にある。そこで、本節では公表された資料に基づき環境庁で実施した実測結果を要約紹介する。

(1) 姉ヶ崎火力発電所の温排水拡散実測調査

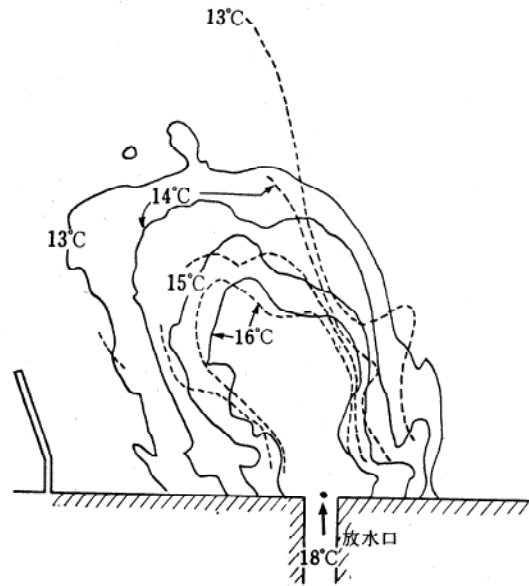
調査の方法は、船による海上でのサーミスタ温度計による測定と、航空機からの赤外線映像装置による測定の両者の併用によっている。

測定対象の冷却水放出流量は、出力600 MW×3基に対して58.3m<sup>3</sup>/secであった。

海上での水温計による測定結果では、放水口における排出水温18℃、温排水の影響を受けない海域の表層水温は10～11℃であった。赤外線法による水温区分と船による表層水温測定結果に基づく水温分布を比較すると、第1図のようになる。両者の一致は放水口近傍の高い水温の等温線について良好である。

(2) 美浜原子力発電所の温排水拡散実測調査

調査の方法は、船による拡散実測調査（通産省担当）と航空機による赤外線映像装置（環境庁担当）による測定の両者の併用によっていた。測定対象の冷却水流量は26m<sup>3</sup>/secであった。海上での水温測定より、放出水温は33.6℃、自然環境水温は27.0℃と推定された。第2図は水温分布の実測結果のうちから、拡



—：赤外線法  
 - - -：船上追跡による表層水温

図-1 赤外線法と水温計測定法による水温分布の比較

散範囲を与える一例を示す。この地点の沿岸流は海流（対馬暖流）の影響を受けるので、沖合海流の海岸への接近、離反に伴い、その流向を北向きあるいは南向きと逆転して流動する。したがってこのような地点の温排水拡散の形状はこの海流の不規則な流れに支配され、拡散分布形状に大きな変化が表われている。

このように拡散面積が大きく変化するの、放水口前面海域での流れの大小により温水層の厚さが2～3mの範囲で変化するためと考

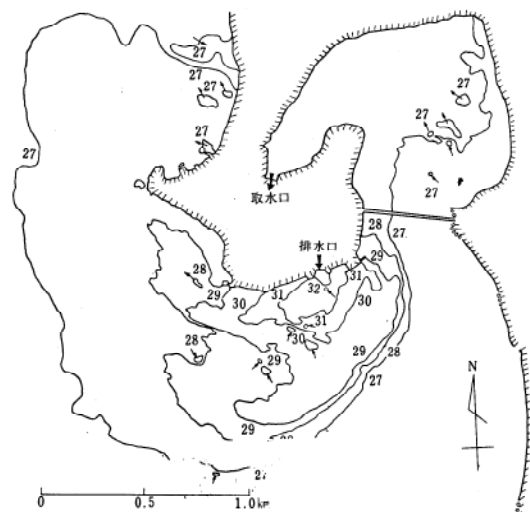


図-2 美浜原子力発電所温排水拡散分布の一例  
 (温度単位：℃)

えられる。

上述のように船上による水温測定と赤外線映像装置による測定結果から、両者の一致はパターンとして良好であって、特に細部の現象については赤外線方式は拡散現象をよく説明している。このようによい一致がみられるのは、海域の水塊が表面においても一般に乱れた状態にあるためと考えられる。

5. 温排水の海域への影響を低減する対策

温排水の水温影響を防止するための積極的な技術対策としては以下の方法が考えられる。

a. 大気へ排熱する方法

- (イ) 空気復水器, (ロ) 乾式冷却塔, (ハ) 湿式冷却塔, (ニ) 人造冷却池方式, (ホ) 噴霧冷却池など

b. 深層取水による放水温度の相対的低下

- c. 海への排熱の混合冷却を助長する方法
- (イ) 希釈混合放流, (ロ) 深層放流, (ハ) エア・バブルカーテンによる強制混合放流など

項目 a. の海水への放出熱量そのものを少なくする方法として、低圧蒸気の抽出による周辺地域への蒸気の供給、あるいは温室栽培への利用、大気への熱逸散効果を考慮した冷却塔、冷却池の使用ならびに曝気工法などが考えられる。冷却塔や冷却池などによる大気への排熱方式はアメリカをはじめ諸外国において、内陸立地の原子力や火力発電所に対して大規模なものが数多く採用されている。しかし、わが国においてこの方式を大容量の発電所に適用する場合、わが国の土地事情や気象条件など独自の環境要素に支配されて、その実現は困難であると考えられる。これらの方法は技術的には可能であるが、経済性については当該地点の立地条件による適正な評価がされるべきであろう。

取水放水時において対策を施す方法として、以下の方法が考えられる。

項目 b. は取水海域に形成される水温成層に着目して、下層のより温度の低い海水を選択的に取水することより、温排水の拡散面

積を縮小さしめることが可能である。海域へ放流された温排水が取水口へ再循環することの弊害を防止する対策としても、取水口に深層取水設備を設置することは冷却水の排出温度を相対的に低下せしめる方策として、熱汚染軽減対策の一方法と考えることができる。この深層取水工法については、スキーマ・ウォール方式（堺港火力発電所、敦賀原子力発電所、鹿島火力発電所、姉ヶ崎火力発電所など）や、海底取水管方式（島根原子力発電所、大分火力発電所、竹原火力発電所など）が実際の発電所に採用されており、運転を開始した発電所においてはその効果が確認されている。

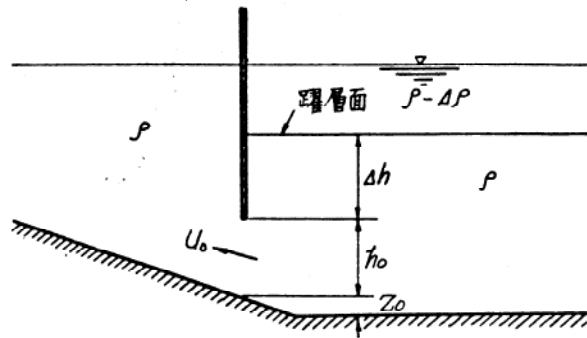


図-3 スキーマウォール型深層取水工

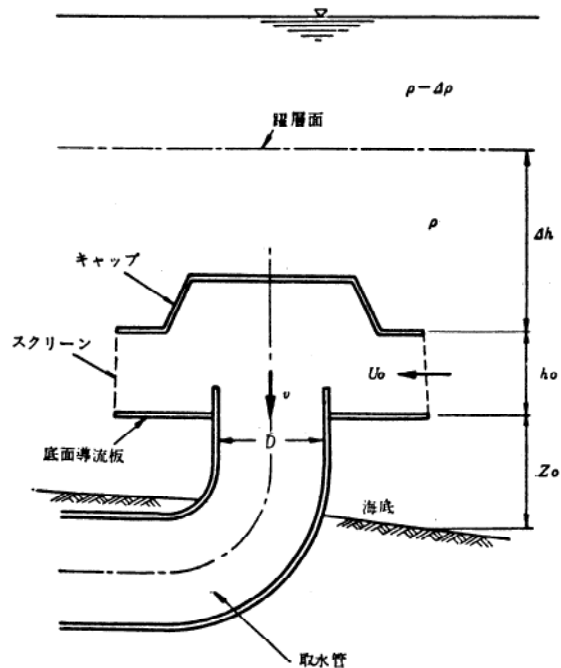


図-4 海底取水管式深層取水工

図一3および4はそれぞれスキーマ・ウォールおよび海底取水管方式による深層冷水の取水工を図示したものである。

深層取水の前提は、原理的に取水海域に安定した水温成層が形成されることであるが、わが国の沿岸においては、一般に夏期、海面下3~4mの深さに水温躍層が形成され、下層の水温は表層より $1^{\circ}\sim 3^{\circ}\text{C}$ 低いことが期待される。そのような地点では水深10m程度の位置に深層取水設備を施し、海面下約4m以深の水塊を選択的に取水すれば、深層取水の効果が得られる。

項目 c. の方法では、温排水の放出方法を工夫することによって、海への排熱の混合冷却を助長し、排出後の水温低減を促進して、温排水の影響をできるだけ小範囲にとどめようとするいくつかの方式が考えられる。

(イ) 希釈混合放流：これは復水器から出た温排水に別途復水器を通らない冷却水を導入し、水温の低下した水を放流する方式である。

排水口出口の温度上昇を低減させる場合には効果的な方式であり、技術的には比較的容易である。しかしながら温度上昇巾を低減させるだけで海域への排出熱量は希釈放流をしない場合と等しいので、環境水温より $1^{\circ}\sim 2^{\circ}\text{C}$ 高い拡散範囲は希釈放流する場合はほとんど変わらないものと考えられる。

また、温度上昇巾の低減度合に比例して水量が増大するので特に大容量プラントの場合、大量の排水の周辺水域に対する影響および排出方法等、技術的な問題についても更に検討を要する。

(ロ) 深層放流：どのような方式を採用するとしても、海域へ放出される総熱量は一定であるから、水温上昇を低くおさえるためにはより低温な水を使用することが第一であろう。しかし、その結果としての海域での温度分布は自然状態とは異なる分布状態を呈する。そのために生態系へ与える影響は予測しがたいが、現時点では温排水の温度変化をでき得る限り自然状態に近づけることが望ましいものと考えられる。

水温上昇を低くおさえるためには、(イ)で述べたような希釈混合放流方式を用いればよいわけであるが、海水汲上げに要するエネルギーが増大してしまう。そこで考えられることは、放出された温排水をより早く周囲の海水と混合させてしまうことである。

このような放流形式の1つとして海底管を布設して沖合の海底から鉛直上方あるいは水平方向に噴出する海中放流管が考えられる。放水管を深さ10m以上の海域まで導き、先端部に設けた分岐多孔管のノズルから噴流状に放流し、重力拡散によって底層水との混合希釈効果を高め、海面へ浮上するまでの間に十分な水温の低減をはかる。この重力拡散の過程で底層水が噴流水に連行されて表層へ湧昇するので、底層水の豊富な潜在生産能力を高めることにより湧昇域漁場形成の可能性も考えられる。温排水放出点は技術的、経済的考えからできるだけ岸に近いことが要求されることが多い。海中放流管の機能的な設計基準樹立するためには、いろいろな海況条件下での混合過程が把握されなければならない。

本文では、本邦沿岸各地で、新增設が計画されている原子力・火力地点を対象にして実施した電力中央研究所における水中放流拡散実験の結果について紹介する。

(i) 深層放流による温排水の噴流拡散と冷却効果

このような場合における温排水の混合、分散は二つの過程に基いて行なわれる。

#### (1) 重力拡散 (第1次拡散)

周囲の海水より密度の小さい温排水はその密度差と放出口における慣性によって放出口より徐々に海面まで上昇する。

希釈混合の度合は放出口の形式と噴流の特性によって異なる。

#### (2) 渦動拡散 (第2次拡散)

海面近くまで拡散しながら上昇した温排水は、潮流、海流、風浪等によって水平拡散する。重力拡散によって希釈された温度が一般に許容温度の基準にまで希釈されていないときは、乱流渦動拡散による希釈を期待する場

合が多い。ところで放出口の設計にあたっては、排出速度や排出量の効果を数値的に予測しなくてはならない。一般に、噴流水の希釈混合を支配する主要な因子として放出口先端部における内部フルード数 $F_i$ の値である。 $F_i$ はノズル出口端の流速を $u_0$ 、放出水の密度を $\rho$ 、放出水と周囲水との密度差を $\Delta\rho$ 、ノズル口径を $D$ とすると次式で表現される。

$$F_i = \frac{u_0}{\sqrt{\frac{\Delta\rho}{\rho} D}}$$

図-5は温水を鉛直上向きに噴出した場合の、 $F_i=10\sim30$ の範囲に対するプリューム中心軸の温度の低減割合を示したものである。図の横軸はノズル端から鉛直上向きの無次元距離( $X/D$ )、縦軸は温度の無次元比 $(T-T_e)/(T_0-T_e)$ 、 $T$ :任意の点の温度、 $T_0$ =放水温、 $T_e$ =環境水温)表わす。図中にはAbrahamおよびAnwarの理論解を比較のために示してあるが、実験結果はノズル近傍を除けば理論解に一致をみる。

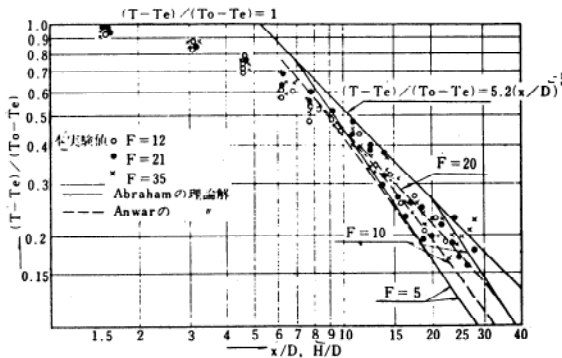


図-5 鉛直プリュームの希釈特性

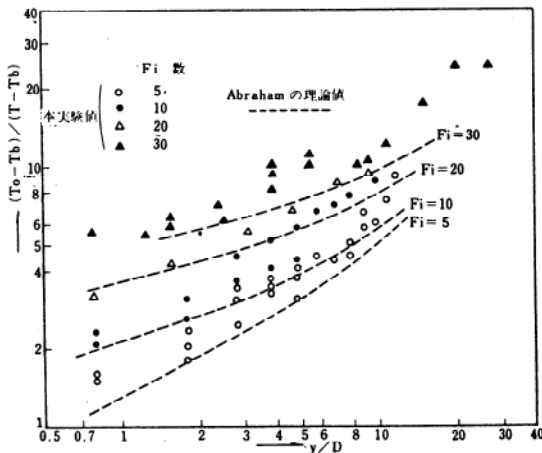
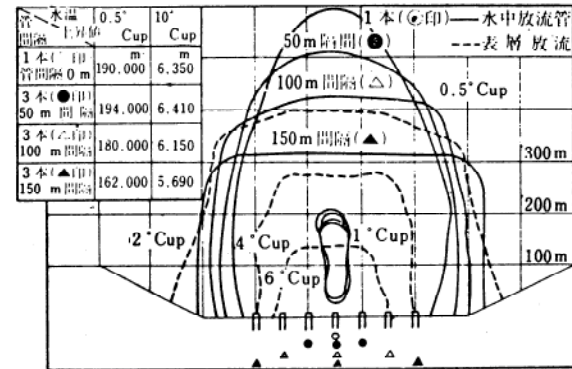


図-6 水平プリュームの希釈特性

図-6は温水を水平に放出した場合の $F_i=5\sim30$ の範囲に対するプリューム中心軸の温度の希釈割合を示したものである。図の横軸はノズル中心線から鉛直上向きの無次元距離( $Y/D$ )、縦軸は温度比の逆数、すなわち希釈率を与える。図中にはAbrahamの理論解を破線で示してあるが、本実験値はAbrahamの解にくらべて希釈の良い結果を示している。図-5と図-6を比較すると、水平プリュームは鉛直プリュームにくらべて高い希釈を期待できる。

(ii) 岸壁に設置した水中放流管による温排水の噴流拡散

図-7は一定の流量を一定流速で1本の管から出す場合と3本にわけて出す場合さらに3本の管の間隔を変えた場合の水温分布を示したものである。図-7の結果によれば、0.5℃上昇の面積は管間隔が大きくなるほど徐々に小さくなる。これは管間隔が大きくなるにつれ、管と管の間から冷水加入が起り冷却効



流量: 22m<sup>3</sup>/sec, 放出流速: 5.52m<sup>3</sup>/sec  
管径 2.2m (1本の場合), 1.3m (3本の場合),  
放水温: 環境水温+ 6.5℃

図-7 管間隔を変えた場合の水温上昇値分布図果がよくなるためである。しかしながら、管間隔を広げすぎるのは経済的な観点からあまり好ましいことではないので、水温低下と放流による場合の乱れを考慮して総合的に決定する必要がある。

比較として、従来方式である表層放流方式(40m幅 2.2m深さの放水口から放出流速 $u_0=25\text{cm/sec}$ ・ $F_{i0}=1.26$ )による結果を図-7に合わせて示した。これからわかるように、本実験のような海域条件をもつ地点においては、水中拡散放流方式がきわめて効果的



だと判断される。

(ハ) エア・バブルカーテンによる強制混合：放水口前面の海底に設置した多孔給気管から空気泡を噴出させたエア・バブルカーテンを形成させ、放水口周辺で表層温排水と底層の冷水とを混合させて、放水口近傍での水温の低減化をはかるものである。

関西電力、海南火力発電所においては、放水口前面海底に径2インチ～2.5インチ、全長300メートルの給気管を配置し、これに50 cm 間隔に3 mmの孔をあけた装置を試験的に設けて、2回にわたり現地実験を行った。その結果は、エア・バブルカーテンで囲まれた内側領域で、混合冷却による水温低減化および水温鉛直分布の均一化が期待できることがみとめられている。

上述の温排水の水温影響低減化を目的とする各種の対策面の研究開発を、技術的にも経済評価の面からも、検討を加えるべき気運に到達している現状であると考えられる。

以上の対策工法は海水温の上昇を防ぐことを第一目的として、海況を研究する立場から述べたものであって、温排水処理についての完全な解答を与えるものではない。この問題に対する解答は生物学者から与えられるものとする。

## 6. 諸外国における温排水に関する処理対策の現状

冷却用水としての淡水、海水の依存度は、各国の立地条件に支配され、イギリスは海水2：河川水1の割合であり、アメリカは海水1：河川、湖沼水3の割合となっている。

世界各国の多くの発電所においては、復水器冷却水を河川、湖などの表層水域から取水し、もとの水域へ放出する方式を採ってきた。しかしながら、急速な電力需要の増大に伴い、大容量発電所からの排熱処理のために上述の方式以外の各種の方策について調査研究が行われ、多くの国々で大気への排熱・冷却方式へ転換がはかられている現状である。このように、外国で採用されている排熱方式は、大

別して2つの方法に分けられる。

その1つは、冷却水を依存する水圏へ排出する方法であり、他のものは冷却塔、人工冷却池などの人工的設備を施して直接大気へ排熱する方法である。

### (1) 水圏への排熱方式

河川、湖、貯水池ならびに海域から冷却水を取水し、復水器通過後の温排水をもとの水域に放出する方式である。

河川を冷却水の水源として利用している例として、取水口より下流側に放水口を設け、これより下流の河道内で放熱冷却しようとして、排熱の一部を冷却塔へ導いて冷却し、再使用する方式を用いている。

湖や貯水池へ放熱する場合の前提条件としては、冷却水量に比してそれらの容積がきわめて大きいことが必要であろう。水深が10 m 以上もあるような深い湖や貯水池においては密度成層が形成され、これが年サイクルで変化する。このような深い池での取放水方式として、(a) 表層取水、表層放水、(b) 深層取水、表層放水、(c) 深層取水、深層放水などの場合が考えられている。アメリカなどにおいて、これらの取放水方式の選択に当たっては、湖や貯水池の流出入量や冷却水取放水口の配置を考慮してモデル解析を行い、貯水池内の鉛直水温分布を予測する方法の研究を実施している。

一方、ソビエトにおいては、発電所温排水の放出水域として、特に自然の湖、人工の貯水池を用いることが広く行われている。特に、水深が6～8 m 以上の貯水池の場合には、池内における立体循環を考えている。すなわち、温排水は表層へうすくひろげて放流し、一方、取水のためには深層取水設備を設けて底層の水を取入れる方式を採っている。このような貯水池における温排水の挙動の解析方法として熱収支を計算する手法が採られている。なお、貯水池への排熱を減少させるための方策として、温排水を貯水池へ直接放流することを避け、天然の入江や十分な水面積をもつ人工的な水域へまず放流し、そこで望ましい水



温まで冷やした後に貯水池本体へ導入することも行われている。

## (2)大気圏への排熱方式

大気への排熱は、水圏への排熱よりもはるかに広汎な分野で環境への影響を考慮しなければならない。すなわち、河川や湖はその物理的挙動が比較的安定しているのに対して、大気の挙動は著しく変動し、その乱れによる熱逸散効果は日により、地勢の影響により、時々刻々場所ごとに大幅に変化する。

ヨーロッパにおいては、発電所の内陸立地に関連して、蒸発冷却による冷却塔を使用することによって、大容量の発電所を実現させようとする方向にある。しかし、大容量の冷却塔の運転実績はまだ日が浅く、現在までに限られた研究や現地調査が行われているに過ぎないので、大気への排熱が環境に及ぼす影響についてはまだ十分な資料が得られていない。

冷却塔からの排熱の大気中への拡散とその環境に及ぼす影響を明らかにするための数理モデルがアメリカを中心とする多くの研究者によって研究開発され、排熱浮上プルームの上昇高さ、影響範囲と発生頻度との関係、霧の発生予測などの予測計算に用いられている。

## 7. むすび

原子力および火力発電所の温排水に関する対策問題について、わが国の現状および問題点などについて述べてきた。温排水が生物に与える影響は、生物環境が自然条件の変化で著しく変動するのに加え、精密なシステムで構成されているので、今後解決しなければならない問題が多数残っている。

今後の電力需要の増大に伴って、発電所は大容量化するとともに、集中化の傾向をみせており、今後発電所からの温排水の放出は一層問題化することが予想される。このため、これまである程度進んできた温排水の拡散予測、温排水の有効利用などの調査研究はもとより、温排水の放出が生物に与える影響に関

する調査研究、温排水の影響を軽減させるための調査研究を一層積極的に推し進める必要がある。

以上