

# 閉鎖性内湾の流動・水質環境に及ぼす発電所冷却水の効果

(株)水圏科学コンサルタント 正会員 ○高野 泰隆  
日本大学 大学院 学生会員 長谷川一幸  
日本大学 正会員 和田 明

## 1. はじめに

国内における火力・原子力発電所は海水を冷却水に使用するため、沿岸に立地している。発電所は海水に流れと温度負荷を与える以外、水質環境影響物質を負荷しないが、環境に対して流動変化や温度変化を通じて2次的に影響力を持つと考えられる。従来、発電所の海域環境影響は、水温上昇の範囲から検討されてきたが、近年の水質解析モデルの発達により、水質変化の視点から検討することが可能になってきた。

発電所海域では放水の温度上昇により光合成が活発になるため、有機物起源の汚濁が起きる可能性がある。一方、取放水は、水循環を助長して富栄養物質を湾外に運ぶ効果も期待できるため、発電所が、実際に内湾の環境にどのように影響しているかは不明である。このため、流動・水質モデルにより、現状と仮想発電所を設置した場合の計算を行い、冷却水が湾の流動・水質環境に及ぼす効果を定量的に検討する。

解析は富栄養化の進んだ三河湾を対象に行った。(図1)

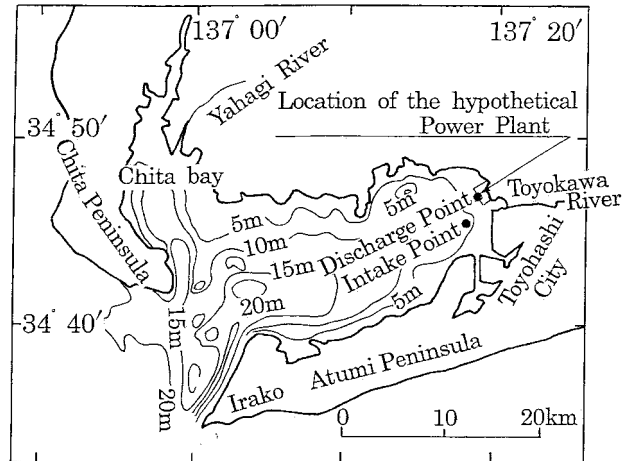


図1 三河湾の海底地形と仮想発電所の位置

## 2. モデル計算手法

### 2.1 流動モデルの概要

三河湾における潮汐は共動潮の性格が強い。これに伴い  $M_2$  潮流の長軸は湾縦断方向を向き、湾口から湾奥に向かって振幅が10分の1程度にまで減少する<sup>1)</sup>。また恒流は密度成層に原因する循環や潮汐残差流等によって形成され、物質の移動を支配している。流動計算では、潮汐、密度構造と河川流入および海面での熱交換を考慮し、運動量、連続、塩分・水温拡散の各方程式により3次元モデルを構成する。

流動モデルの境界条件は次のように与える。海面では、 $u=v=0$ ,  $\partial T/\partial l = \partial S/\partial l = 0$  とする。 $l$  は海面に直交する方向である。境界潮位は  $M_2$  潮の水位変動を周期12時間のサインカーブで与える。外海境界で、流れは1階微分 $=0$ 、水温・塩分は、流入時は外海値が流入し、流出時は2階微分 $=0$ とした。

### 2.2 水質モデルの概要

水質モデルは、生態的構成要素を拡散方程式に組み込むことで構成される。水質モデル構成要素の現存量を  $C$  とすると、現存量の時間変化は、拡散および移流による輸送、流入負荷、沈降、堆積および生物化学的過程による量の変化で表される。適用モデルは、米国 EPA がチェサピーク湾の水質解析で使用した低次生態系モデルを原型としている<sup>2)</sup>。低次生態系モデルは以下の10要素から構成されている。

1)植物プランクトン態炭素( $P_c$ )、2)溶存態有機燐(DOP)、3)粒子状有機燐(POP)、4)溶存態無機燐(DIP)、5)溶存態有機窒素(DON)、6)粒子状有機窒素(PON)、7)アンモニア態窒素( $NH_4$ )、8)硝酸と亜硝酸態窒素( $NO_2 + NO_3 : NO_{23}$ )、9)炭素分解に係わる生物化学的酸素要求量(CBOD)、10)溶存酸素(DO)。

また、BODは計算後、内湾のTOCとCOD観測値の関係<sup>3)</sup>とモデル計算で得られるTOCとBODの関係から、CODに換算した。水質計算の境界条件は、流動計算に準ずる。

## 3. 解析結果

### 3.1 流動計算結果

基礎データは、愛知県水産試験場、愛知県環境部の水温・塩分観測値、国土交通省の流量観測値、気象庁の気象観測値を用いた。潮位は伊良湖と師崎の  $M_2$  分潮の平均値 55.3cm を用いた。仮想発電所は、底層取水・表層放水で、放水量  $400m^3/s$ 、昇温 7 と仮定した。現況と仮想発電所がある場合の平均流の差分から、放水の影響は水平には放水口前面約 7~10km、鉛直には 5m 深まで達し、下層では流入成分が、上層では流出成分が増加することを示す。発電所取放水による湾の海水循環量の変化を示したものが図2である。

キーワード 発電所冷却水、流動・水質モデル、海水交換、水質環境改善

連絡先 〒145-0064 東京都大田区上池台 1-14-1 (株)水圏科学コンサルタント TEL03-3748-5900 E-mail : [takano@lasc.co.jp](mailto:takano@lasc.co.jp)

湾奥の断面では，流入量を自然状態の  $225\text{m}^3/\text{s}$  から  $424\text{m}^3/\text{s}$  に倍増させ，放水口から  $27\text{km}$  離れている湾口断面では，流入量を自然状態の  $1316\text{m}^3/\text{s}$  から約  $40\text{m}^3/\text{s}$  多い  $1354\text{m}^3/\text{s}$  に増加させる．この量は取放水量の  $10\%$ ，流入出量の  $3\%$  に相当し，計算の流量収支誤差  $0.3\%$  に比較して有意と判断される．上下層の流量の差は，河川流入量の差である．

### 3.2 水質計算結果

使用したデータは，流動計算データと同じ機関のものである．現況計算結果は，5 か年間の水質観測平均値に比較して，各要素とも良好な再現性を示した．図 3 に現況・予測両計算の水質変化を比較した．発電所がある場合は栄養塩豊富な底層水は海表面に出た後，急速な植物プランクトン増殖に伴って水質変化する．1 昇温範囲は約  $10\text{km}$  沖に達する．表層水に比較し，2 倍以上高い DIN 濃度と 1.5 倍程度高い DIP 濃度を持つ冷却水は， $6\text{km}$  沖までに拡散と植物プランクトン増殖で使われる．植物プランクトン量は放水口で現況の  $60\%$  程度の濃度であるが，急速に増殖して  $3\text{km}$  沖で現況濃度を超える．濃度のピークは， $6\text{km}$  付近に現れる．COD 濃度は Chl-a 濃度の変化と同じ経過をたどり，汚濁が有機物起源であることを表す．DO は，増殖と曝気により  $8\text{km}$  沖で現況濃度に回復している．以上の各変化から分かるのは，水質の主要な変化が水温 1 上昇範囲内で起きている事である．Chl-a と COD はやや外側まで変化しているが，変化のピークは 1 上昇範囲の内側にある．

### 4. まとめ

現状と仮想発電所を設けた計算の流動差分から，夏季の成層時には発電所放水が湾の海水流入出量を増加させる効果を持つことが明らかになった．この海水交換効果は，湾の容積と発電所放水量の比および設置位置によって変化すると考えられるが，今回の検討から，容積  $5.4\text{km}^3$  の三河湾であっても， $400\text{m}^3/\text{s}$  程度の取放水を行えば，放水点から  $27\text{km}$  離れた湾口部においても循環量が  $3\%$  程度増加することが示された．今回の計算によれば，夏季の三河湾口の海水循環量は  $1300\text{m}^3/\text{s}$  程度であることから，取放水の効果は，湾の閉鎖性が強く循環量が小さければより効果的であると思われる．

流動と同じく発電所の有無による計算差分から検討した水質変化は，放水口の極近傍では大きくなったが，有意な変化範囲は概ね温排水による水温 1 上昇範囲内に止まることが示された．また，循環量の増加に伴って，湾口断面の上層から高濃度な植物プランクトン，COD が湾外に流出し，下層から低濃度な植物プランクトン，COD が流入する結果が示され，長期的には発電所が湾の水質環境を改善できる可能性を示したものと考えられる．

### 5. 謝辞

本文をまとめるにあたり，(財) 海洋生物環境研究所の柴崎道廣氏に多大な御協力を得ました．ここに深く感謝の意を表します．

### 6. 参考文献

- 1) 宇野木早苗，日本沿岸海洋誌，その 15: 伊勢湾・三河湾( )，伊勢湾・三河湾の物理環境，日本沿岸海洋誌，(1978)，pp.143-154
- 2) Thomas, J. Mulligan, A steady-state coupled hydrodynamic/water quality model of the eutrophication and anoxia process in Chesapeake Bay. Hydroqual Inc, (1987)
- 3) 日本海洋学会編，海洋環境調査法.7.化学調査，7.5.2 TOC と COD，恒星社厚生閣，(1985) pp.291-300

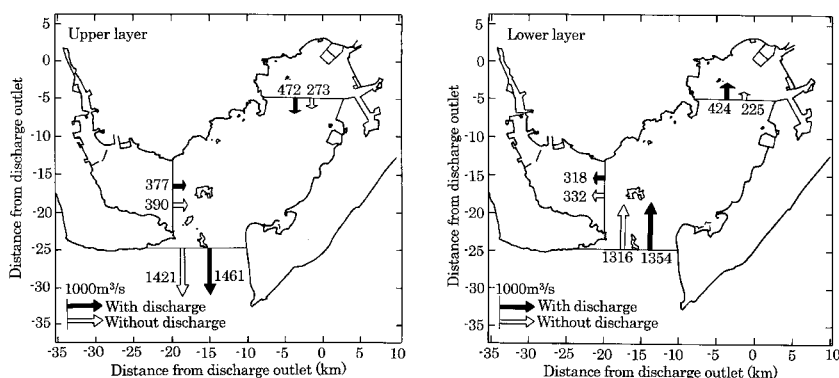


図 2 湾の流入出量によぼす発電所取放水の効果

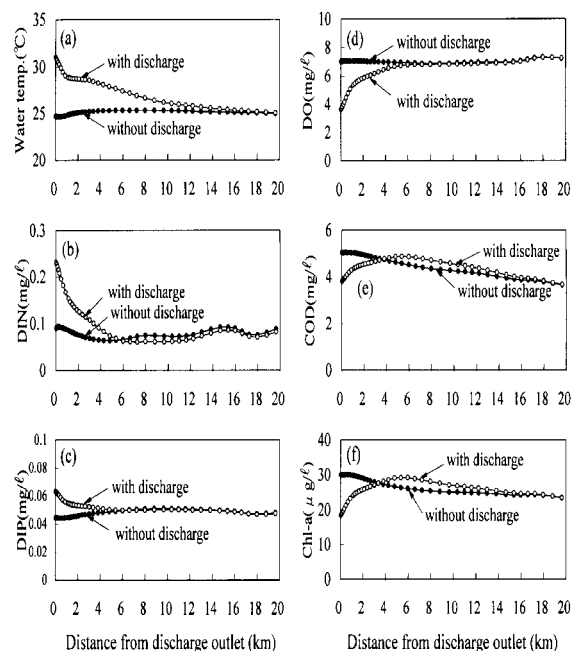


図 3 放水点からの距離方向の表層水質変化