

海生研リーフレットNo.9

発電所の取水を利用した海水交換促進について



平成6年3月

財団法人 海洋生物環境研究所

発電所の取水を利用した海水交換促進について

目 次

はじめに.....	3
調査の概要.....	4
調査海域の特徴.....	6
海水交換率の算定.....	10
取水による小湾の海水交換促進.....	15
むすび.....	18
参考文献.....	19
付録 I	20
付録 II	24

は じ め に

わが国の沿岸水域は、古くから漁業・養殖業の場として利用され、また近年ではレクリエーションの場としても重要視されるようになってきた。しかしながら、静穏であるために一層多面的な利用が行われている内湾の水質は、一般に著しく低下しており、自然回復がほとんど期待できない所も出現している。

一方、沿岸水域に面して建設されている火力・原子力発電所では、多量の海水が復水器の冷却水として発電所構内の一端から取り込まれ、他端から水温が約7°C上昇した温排水として放出されている。

通常、発電所の取水口と放水口は、放出された温排水が再び取水されるのを防ぐために比較的離れた位置に設けられている場合が多く、小さな湾に面している発電所では、湾内から取水し、湾外に放出している例もある。このような所では、取水によって湾外水が湾内に導入され、放水によって湾内水が湾外へ排出されている。

この温排水が持っているエネルギーを有効に利用するため、従来からいろいろの試験研究が行われているが、最近では、取放水に伴う多量の海水輸送に注目し、これを水質改善等に効果的に利用する構想も現れている。

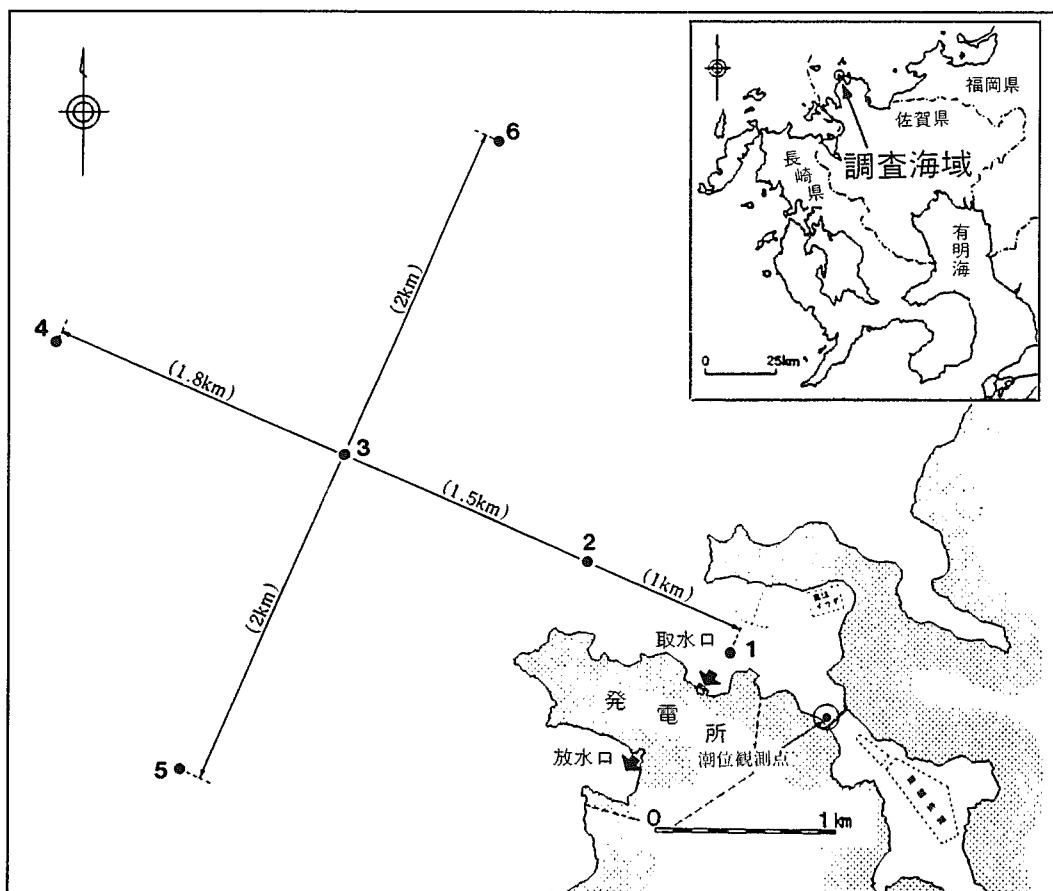
今回のリーフレットNo. 9では、九州北西岸の小湾に面して取放水口が設置されている既設発電所の前面海域で基礎的な海況調査を行い、発電所の取放水により湾内の海水がどの程度交換されているかを検討したので紹介する。

なお、ここに紹介する研究成果の一部は、農林水産省が昭和62～平成2年度の5年間にわたって、財団法人海洋生物環境研究所に委託した『大量取水漁業資源影響検討事業』で得られたものである。

調査の概要

調査海域と発電所の取放水量

調査海域は第1図に示すように九州北西岸の小湾とその周辺である。南側の半島の湾口部に建設された発電所の取放水口の位置は図に示すとおりである。この半島の北側の小湾内から取水された海水は、発電所を通過した後、半島の南側にある別の小湾を経て外海へ放出されている。この発電所は、同型同大の2基の発電ユニット（1, 2号機）で構成されており、それぞれの定格出力は55.9万kW、使用冷却水量は $37.0\text{m}^3/\text{s}$ である。したがって、総発電出力は111.8万kW、冷却水の総使用量は $74.0\text{m}^3/\text{s}$ となっている。



第1図 調査海域と流況および潮位の観測点

調査項目と観測方法

生物調査との関連のもとに、1986～89年にかけて第1図に示す取水口前面の湾内外における深浅測量、大潮期の流況、濁度、潮位観測などを実施した。各回の調査実施時期と主な観測項目は第1表のとおりであった。

第1表 調査実施時期と観測項目

調査次	調査実施時期	観測項目
第1回	1986年 8月27日～9月14日	深浅、流況 ¹⁾ 、濁度、潮位
第2回	1988年 7月30日～8月1日	流況 ²⁾ 、濁度、潮位
第3回	1989年 8月3日～8月5日	流況 ²⁾ 、濁度、潮位

¹⁾定点観測と測流板追跡調査を実施 ²⁾測流板追跡調査のみを実施

① 深浅測量

調査船に搭載した精密音響測深機(周波数200kHz)を用いて、湾内から湾口沖約1km以内の海域における深浅測量を実施した。

② 流況調査

湾内外の数カ所に測流板を投入し、これを調査船で追跡することによって、主として湾口部周辺海水の概略的な移動経路を調べた。

また、湾内外に設けた6定点(第1図)にアーンデラーフロード流速計を係留して、15昼夜連続の流況観測を行った。

③ 濁度調査

光路長50cm、測定光波長690nmの水中濁度計を用いて、湾奥部から湾口部付近までの光減衰係数の鉛直分布を測定し、懸濁物質濃度の指標とした。

④ 潮位観測

湾内の1定点に潮位計を設置し(第1図)、調査期間中の潮位を測定した。

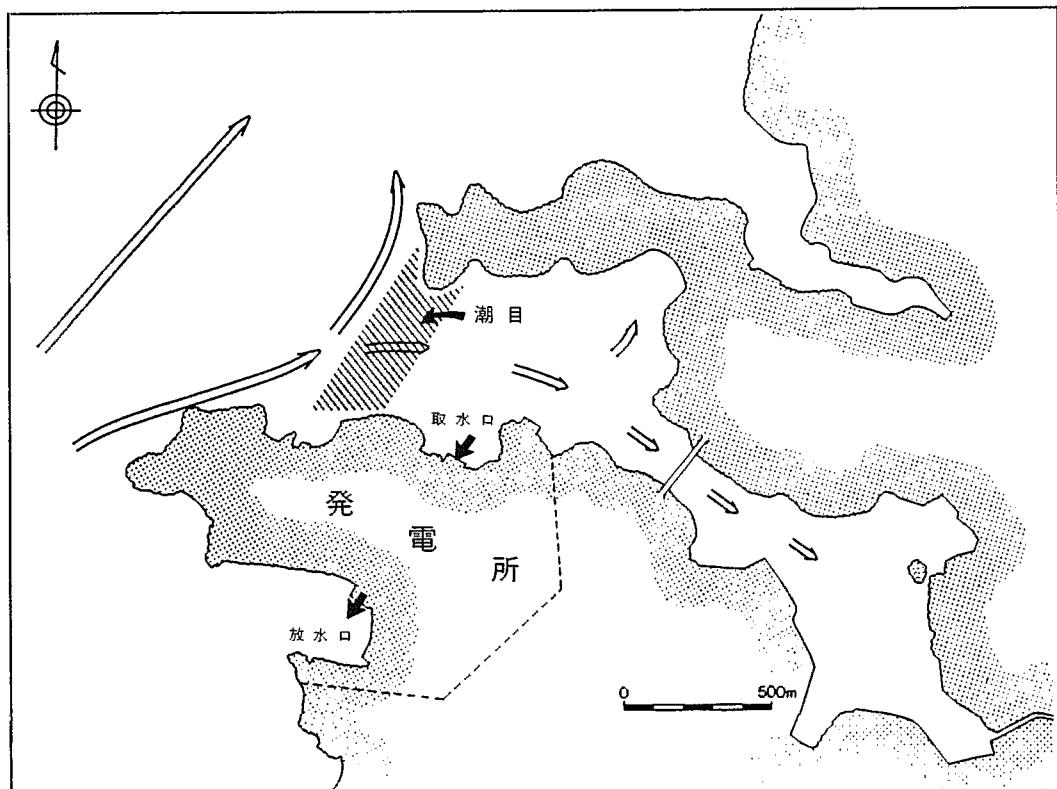
調査海域の特徴

調査海域の水深

海底地形は汀線から急勾配で深くなる谷状となっている。また、湾内の水深は約20m以下で、湾口部から湾奥に沿った海底地形の変化は緩やかであるが、湾口部から沖合に向かって急勾配で深くなっている。

調査海域の流況

大潮期に実施した第1～3回の調査結果から推定された上げ潮時、下げ潮時の基本的な流況パターンを第2～3図に示した。

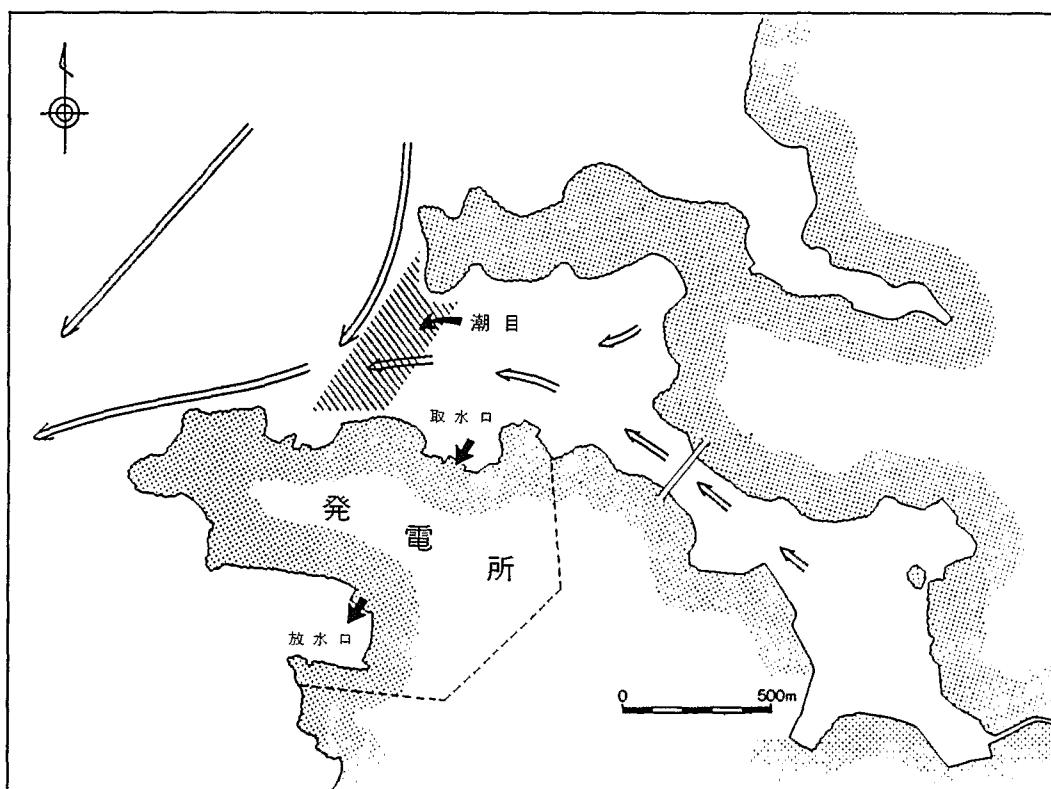


第2図 調査海域の上げ潮時における基本的な流況パターン

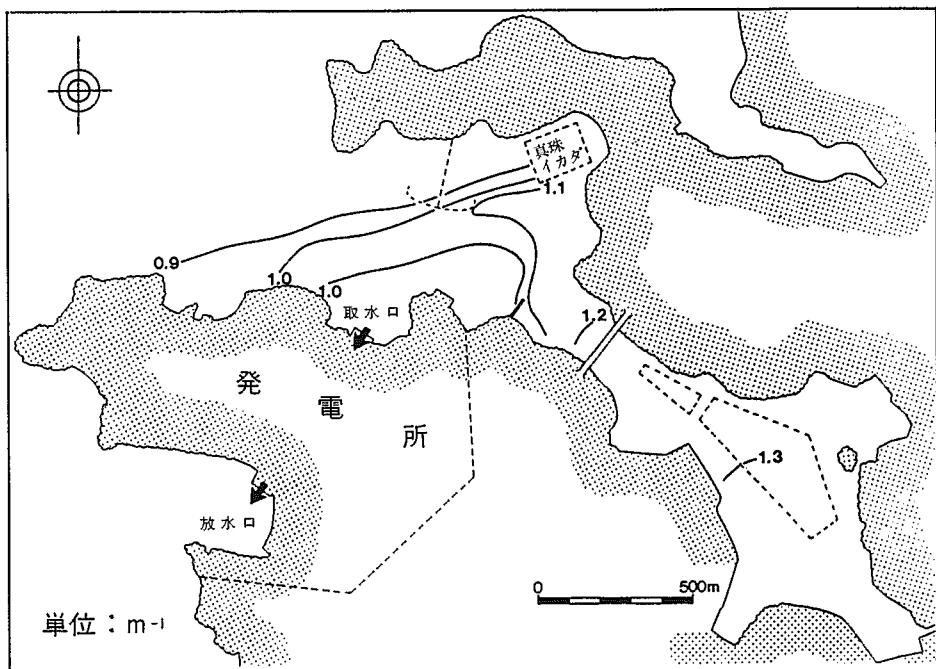
湾内では12時間で往復する流れが主体で、平均流速は約5cm/s程度である。湾口部では、上げ潮、下げ潮の両潮時とも湾外水と湾内水とが接触するため、顕著な潮目が発生する。また、湾外では12時間の往復流が卓越しているほか、24時間で往復する流れもある。流速はかなり速くなることもあり、大潮最強時には60cm/sを超える流れがしばしば発生する。

調査海域の濁度分布

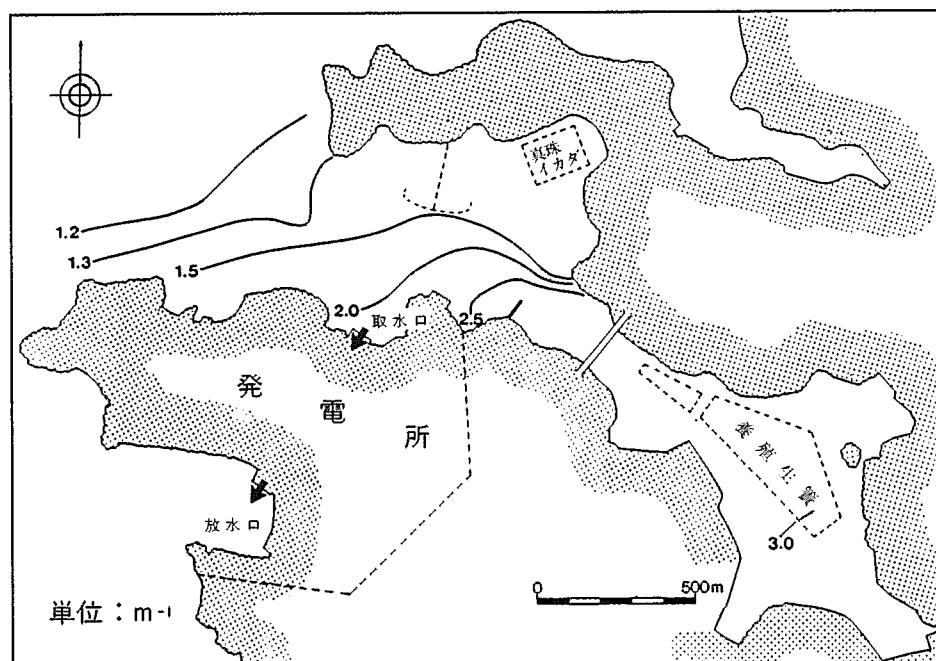
湾奥部で行われている魚類養殖や波浪による巻き上げ等で発生した濁りは、下げ潮時に湾口に向かって拡がり、上げ潮時には湾内に押し込まれた状態の分布形状を呈する。特に、湾口部付近における濁りの分布状態は海水の動きをよく反映する（第4、5図）。



第3図 調査海域の下げ潮時における基本的な流況パターン



第4図 満潮時における湾内1m層の減衰係数分布



第5図 干潮時における湾内1m層の減衰係数分布

調査海域の海面利用

湾内の流速は微弱であるが、取水口から約2km離れた湾奥部の水域でマダイ、ブリ、ヒラメ等の養殖が行われている（第6図）。



第6図 湾奥部の水域で行われている養殖場の一部分

（写真上側が湾口部）

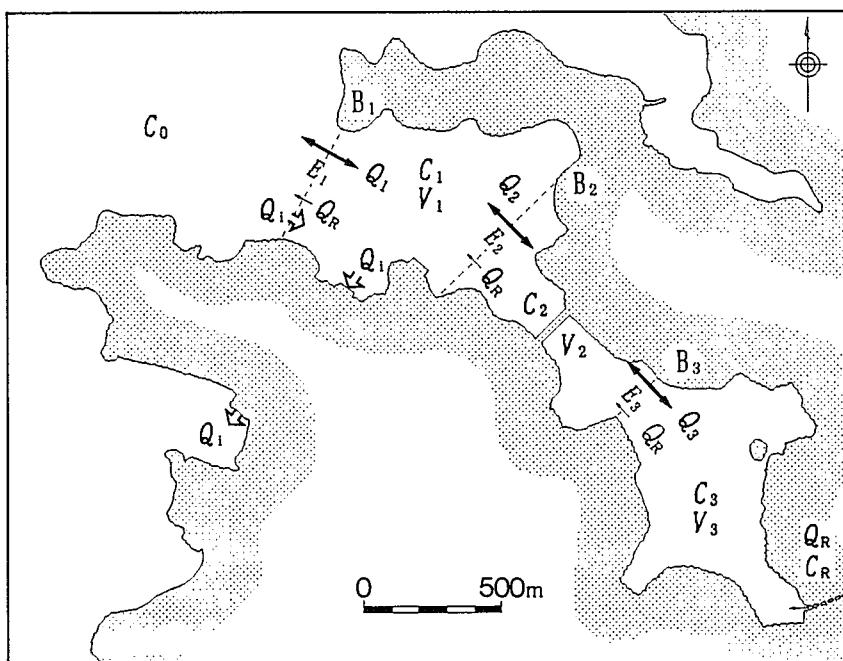
海水交換率の算定

海水交換率（所定水域内の海水の入れ換わりの尺度）の定義に関してはいくつかの提案がなされているが、ここでは海水交換率を次のような意味をもつ数量として取り扱うこととした。すなわち、一定時間内に所定の境界面を通り、対象水域内に流入した海水量 (Q_{in}) と、流入した同じ海水が同じ境界面を通って対象水域外へ流出した海水量 (Q_{out}) から、対象水域内に残留した海水量 (Q_{res}) を、 $Q_{res} = (Q_{in} - Q_{out})$ とした場合に、境界面における海水交換率 (E) を、 $E = Q_{res} / Q_{in}$ と定義する。したがって、ここで定義した海水交換率とは、対象水域内に流入した海水が、1潮汐後に同水域内にどれだけ残ったかを比率で表した数量である。

海水交換率の算定には、懸濁物質の濃度変化（濁度計を用いた測定から求めた減衰係数または濁度とも呼ばれる値の変化）を利用したボックスモデルによる方法（付録II参照）と、オイラー・ラグランジュ手法に準じた数値予測による方法（付録II参照）を用い、両者の方法から得られた結果を比較検討した。

ボックスモデルによる算定方法

ボックスモデルを利用する場合には対象水域を適切に分割することが重要である。当海域の場合では、先に示した流況・濁度調査の結果と地形等を加味して、第7図のように湾内を3つの水域区画（3ボックス）に分割した。また、それぞれの境界面を外海側から B_1, B_2, B_3 とし、そこでの平均的な海水交換率を、それぞれ E_1, E_2, E_3 とした。鉛直方向の分割については単純化した1層とし、懸濁粒子の沈降、分解等を無視した。第7図に示した海水の動きに基づいて構築した各ボックス内の物質交換式（付録IIの1～3式）を解くことにより、各境界面における海水交換率を算定した。



第7図 ボックスモデルとして仮定した湾内水の動き

Q_1, Q_2, Q_3 : ボックス1, 2, 3の海水交換量, Q_1 : 発電所の取水量, Q_R : 河川流量, V_1, V_2, V_3 : ボックス1, 2, 3の容積, C_1, C_2, C_3 : ボックス1, 2, 3の平均濁度, C_0 : 外海水の平均濁度, C_R : 河川水の平均濁度

数値予測による算定方法

まず、ナビエ・ストークスの運動方程式と連続式（付録IIの4～6式）から調査海域の一般流況を予測した。

次に、各境界面にマーカー（計算機内で発生させた仮想の水粒子）を投入し、上述の流況予測結果を用いてこれらのマーカーを1潮汐周期間連続して追跡した。さらに、マーカーの移動位置に基づいて、上げ潮時に外海側から境界面を通過して各ボックス内に流入した海水の最大容積 (V_{in}) と、1潮汐周期後、上げ潮時に流入した海水が各ボックス内に残留した容積 (V_{res}) を求め、 $E = V_{res} / V_{in}$ から海水交換率を算定した。

ボックスモデルによる海水交換率算定結果

湾外および各ボックス内に設けた複数の調査定点において測定した光波長690nmの減衰係数の値から、湾外および各ボックスごとの平均減衰係数（第7図中の C_0, C_1, C_2, C_3 ）を求め、これらの値を物質交換式（付録II参照）に代入することにより、海水交換率を算定した。

平均水面下の各ボックスの容積、水面積、平均水深を第2表に示した。また、算定した各境界面の海水交換率を第3表に示した。

湾口部の境界面 B_1 では0.44～0.65（平均0.55）、湾内寄りの境界面 B_2 では0.26～0.40（平均0.32）、最も湾奥寄りの境界面 B_3 では0.06～0.21（平均0.13）となった。

第2表 各ボックスの容積、水面積と平均水深

水域 区画	容 積 ¹⁾ ($\times 10^6 \text{m}^3$)	水面積 ($\times 10^5 \text{m}^2$)	平均水深 (m)
ボックス 1	5.25	4.60	11.4
ボックス 2	2.24	2.12	10.6
ボックス 3	3.01	4.13	7.3

1) 平均水面下の容積

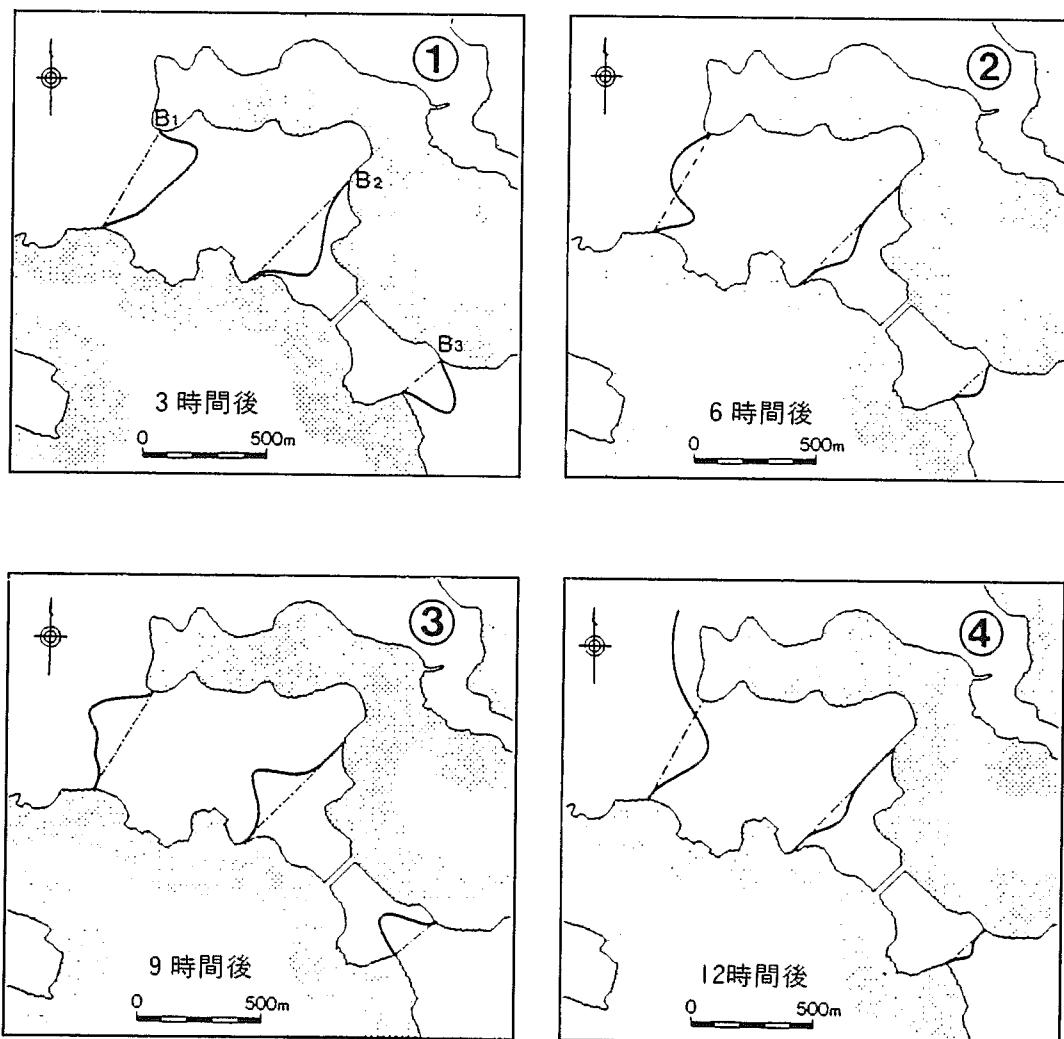
第3表 ボックスモデルから得られた各境界面の平均海水交換率

調査年月／日	E_1	E_2	E_3
1986年9/3～4(下～上)	0.65	0.26	0.06
1989年8/3～4(満～満)	0.56	0.40	0.12
1989年8/3～4(干～干)	0.44	0.31	0.21
平 均	0.55	0.32	0.13

数値予測による海水交換率算定結果

上げ潮最強時（干潮 3 時間後）に各境界面に投入したマーカーの移動位置を結んで、移動した海水の 3 時間ごとの先端部を第 8 図に示した。これらのマークー追跡結果から求めた V_{in} , V_{res} の値に基づいて海水交換率を算定した。

各ボックスにおける V_{in} , V_{res} および各境界面の海水交換率を第 4 表に示した。湾口部の境界面 B_1 では 0.45, 湾中央部の境界面 B_2 では 0.19, 湾奥部の境界面 B_3 では 0.15 となった。



第 8 図 マーカーの移動位置から推定した海水の移動範囲

第4表 数値予測から算定した各ボックス内流入海水最大容積、残留容積と各境界面の平均海水交換率

水 域 区 画	V_{in} ($\times 10^6 m^3$)	V_{res} ($\times 10^5 m^3$)	E
ボックス 1	1.02	4.55	0.45 (E_1)
ボックス 2	0.62	1.19	0.19 (E_2)
ボックス 3	0.35	0.52	0.15 (E_3)

ボックスモデルと数値予測から得られた海水交換率の比較

ボックスモデルから得られた海水交換率は、境界面B₁では数値予測による算定値の約1.2倍(ボックスモデル：0.55, 数値予測：0.45), 境界面B₃では数値予測による算定値の約0.9倍(ボックスモデル：0.13, 数値予測：0.15)となつて、両者の値はほぼ一致した。一方、境界面B₂では数値予測による算定値の約1.7倍(ボックスモデル：0.32, 数値予測：0.19)となり、ボックスモデルによる算定値の方が多少大きくなつた。

両者の値が多少相違したことについては、算定方法が異なったこと、また、境界面B₂付近では断面が急に変化しているため、予測した海水の動きが現実とは多少異なり、マーカーの動きと懸濁物質の動きの相違が他の境界面付近よりも大きくなっていたことなどが考えられる。

なお、海水交換率の値は算定方法等によってかなり相違する場合もあることを考慮すれば、ここで用いたボックスモデルと数値予測から得られた値の相違は、既往成果と比較しても容認できる程度の差と見なすことができよう。したがつて、後述の項ではボックスモデルによって得られた海水交換率の値を用いることにした。

取水による小湾の海水交換促進

ボックスモデルから算定した海水交換率を用いて、物質交換式（付録II参照）から各ボックス内の物質濃度の時間変化を予測した。なお、予測条件を以下のように設定した。

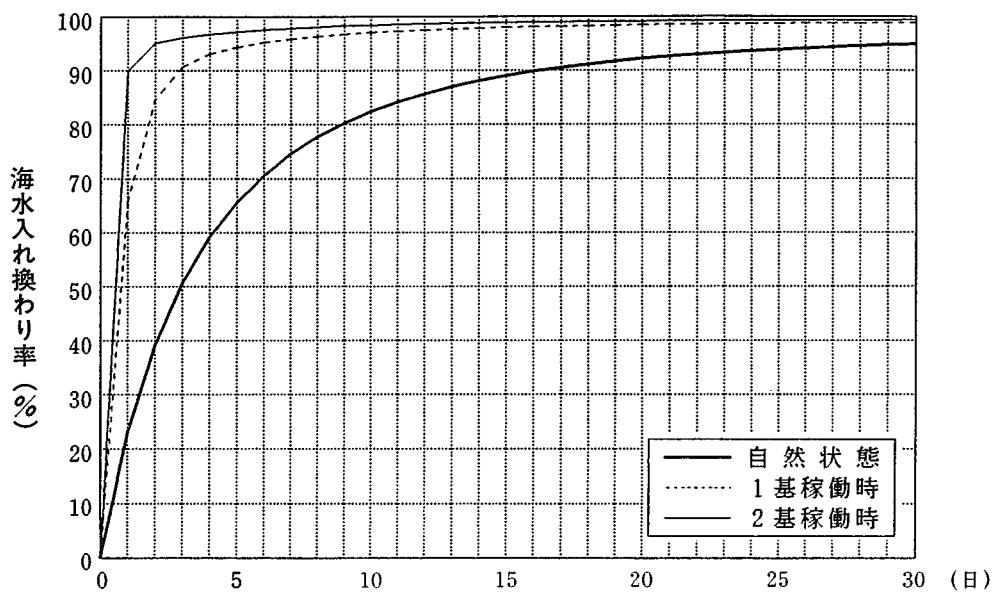
(a) 海水交換率(E)	0.55, 0.32, 0.13(境界面B ₁ ～B ₃)
(b) 潮位差(T_R)	1.1m(中潮期の潮位差)
(c) 河川流量(Q_R)	0.0m ³ /s
(d) 湾内水の初期濃度(C_b)	10.0mg/l(仮想の物質濃度)
(e) 外海水の濃度(C_0)	2.0mg/l(仮想の物質濃度)
(f) 取水量(Q_i)	37.0m ³ /s(1基稼動時) 74.0m ³ /s(2基稼動時)

さらに、各ボックス内の海水の何パーセントが入れ換わったか（湾内水の入れ換わり率）は、各ボックス内の物質濃度の変化率に等しいものと見なし、上述の予測物質濃度から、発電所が稼動していない自然状態、および発電所稼動中のそれぞれの場合における湾内水の入れ換わり率を推定した。この計算には以下の式を用いた。

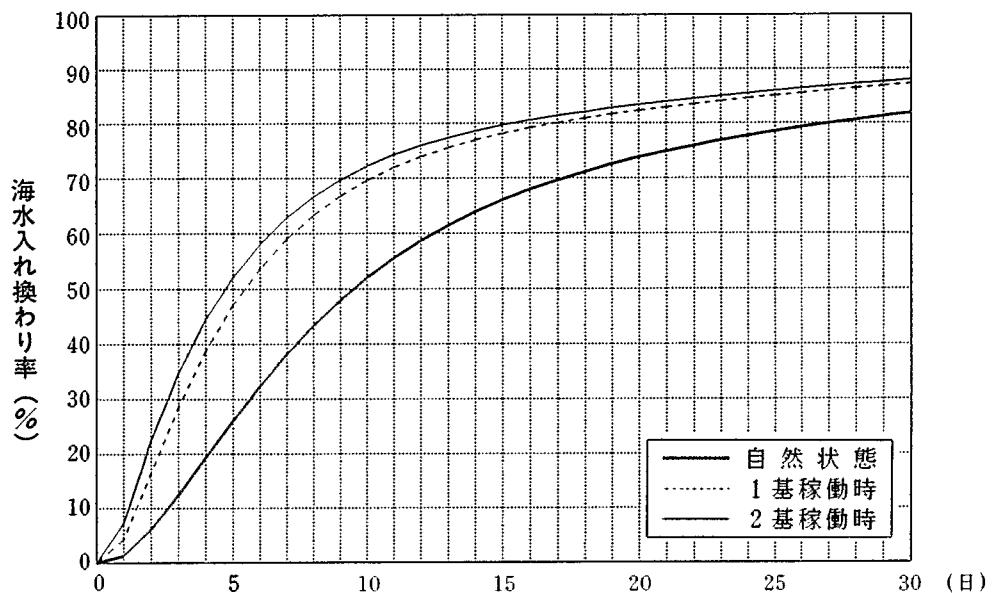
$$\text{湾内水の入れ換わり率} = \left[1 - \frac{C_i - C_o}{C_b - C_o} \right] \times 100$$

C_i : i日後の物質濃度

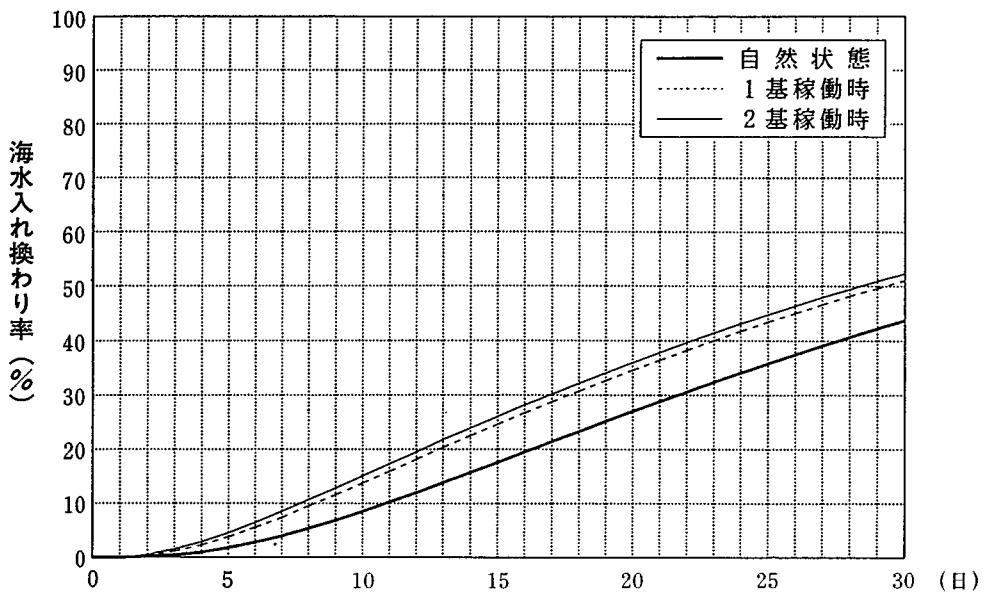
時間経過に対する湾内水の入れ換わり率の変化を第9～12図に示した。これらの結果から、自然状態と発電所稼動時とでは、湾内水の入れ換わり速度に以下のような相違が生じているものと推測される。



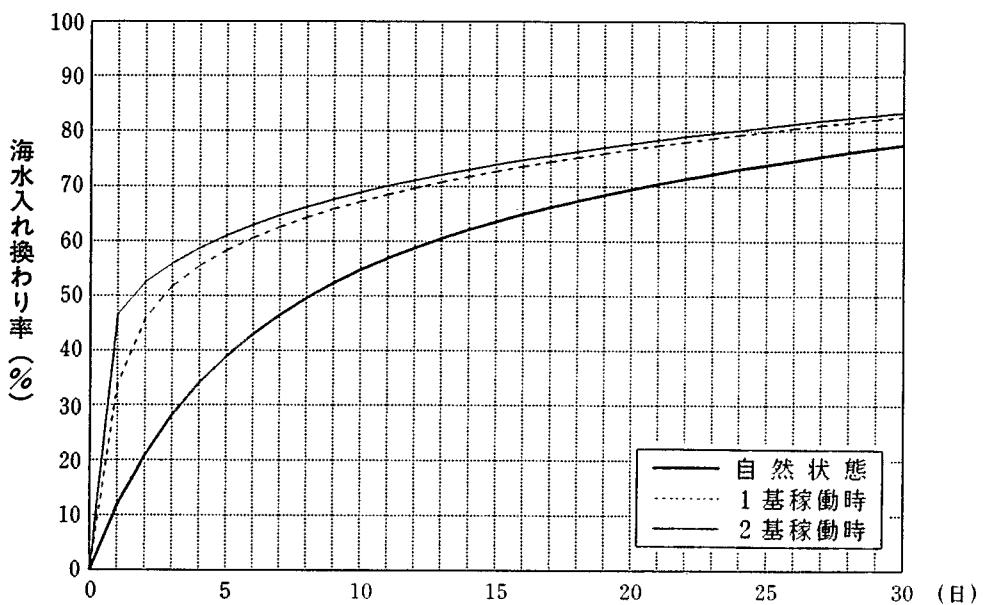
第9図 ボックス1における海水入れ換わり率の経日変化



第10図 ボックス2における海水入れ換わり率の経日変化



第11図 ボックス3における海水入れ換わり率の経日変化



第12図 湾全体の海水入れ換わり率の経日変化

① ボックス1(第9図)の海水が90%入れ換わるのに要する日数は、取水が行われていない場合は約17日間、1基稼動時には約3日間、2基稼動時には約1日間である。

② ボックス2(第10図)の海水が50%入れ換わるのには、取水が行われていない時は約10日間、1基稼動時には約6日間、2基稼動時には約5日間程度を要し、ボックス1に比べると取水効果はかなり弱くなる。

③ ボックス3(第11図)になると取水効果はさらに弱くなり、50%の海水交換に要する日数は、取水が行われていない場合には30日以上、1基稼動時には約30日間、2基稼動時には約29日間となる。

④ 湾全体(第12図)を平均的にみた場合には、50%の海水が入れ換わるために、取水が行われていない場合には約8日間、1基稼動時には約3日間、2基稼動時には約2日間を要し、70%の海水交換に対しては、それぞれ約20日間、12日間、11日間が必要となる。

むすび

発電所の取放水量は出力の規模により、また、取放水海水の移動経路は取放水口の位置、周辺の海岸地形等の諸条件によって異なるが、こうした海水輸送が、特に小湾の海水交換促進には大きく寄与することが期待される。ただし、冷却用海水の取放水形式は、発電所周辺の様々な条件を考慮して決定されるので、場所によっては、海岸地形や前面海域の流況特性等から必ずしもこの冷却用海水が効果的に利用できるとは限らない。

本小冊子では、総発電出力が111.8万kW、総冷却水量が $74.0\text{m}^3/\text{s}$ である発電所の取放水口が、海水交換促進の視点から海岸地形に対して効果的な位置関

係にある小湾の海水交換率を算定し、この算定値を用いて発電所が稼動していない時と、稼動中のそれぞれの場合における同湾内の海水交換速度を推定した。その結果、取水口を包含する区画水域（平均水面下の容積： $5.25 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、水面積： $4.60 \times 10^5 \text{ m}^2$ ）の海水交換促進には、同発電所の取水が極めて効果的に作用していることが示唆された。また、取水口から遠くなるほど海水交換に寄与する度合いは小さくなつたが、湾全体（平均水面の容積： $1.05 \times 10^7 \text{ m}^3$ 、水面積： $1.09 \times 10^6 \text{ m}^2$ ）に対してみた場合にも、かなりの促進効果のあることが示された。

参考文献

- 服部孝之・高橋 正(1988). 閉鎖性内湾の数理モデルによる海水交換予測手法の開発. 中部電力研究資料, (80):1-9.
- 今里哲久・淡路敏之(1982). 明石・鳴門海峡を通しての海水交換の数値実験. 沿岸海洋研究ノート, 20(1):19-32.
- 柏井 誠(1984). 海水交換概念と海水交換率. 日本海洋学会誌, 21(2): 169-182.
- 橋高二郎(1960). 鹹水養魚場の水の交流について. 日水誌, 26 (3):230-238.
- 宮池克人・和田 明・角湯正剛・柳瀬辰彦・宮本晋一(1980). 発電所冷却水による内湾の水質浄化. 第10回環境問題シンポジウム, 21-26.
- 須藤静夫・高月邦雄(1992). 九州北西岸の小湾に面した発電所の取水による海水交換促進. 海生研報告, No.92302. 43pp.
- 宇野木早苗(1980). 海水交換とその素過程について. 沿岸海洋研究ノート, 17(2):89-98.

付 錄 Ⅰ

発電所が復水器冷却に使用する海水量

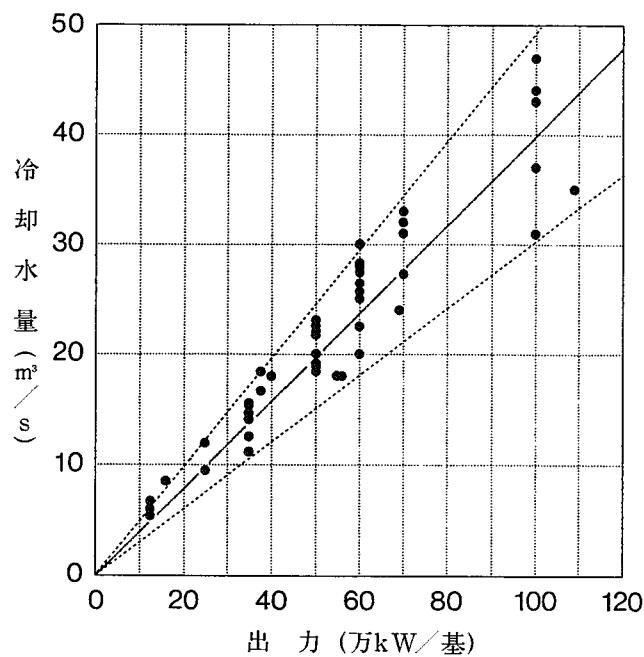
最近では多くの発電所が複数の発電ユニットを備えており、これらの発電所の復水器冷却に使用する海水量（冷却水量）が $100\text{m}^3/\text{s}$ 以上に達している所も珍しくはない。付図1、2は、昭和50年以降に運転を開始した火力発電所と原子力発電所のそれについて、1基あたりの使用冷却水量を示したものである。これらのなかには、一般的に出力が大きい原子力発電所のほかに、1基が100万kW以上の出力を備えている火力発電所も数カ所存在している。

火力・原子力発電所が使用する冷却水量を、図中に示した値から出力10万kWあたりの平均使用水量に換算すると、火力発電所では約 $4\text{ m}^3/\text{s}$ 、原子力発電所では約 $6.5\text{ m}^3/\text{s}$ となる。原子力の方が約1.6倍多くの海水を使用しているのは、熱エネルギーを動力に変える蒸気の条件を、火力の場合よりも安全側に保つためである。

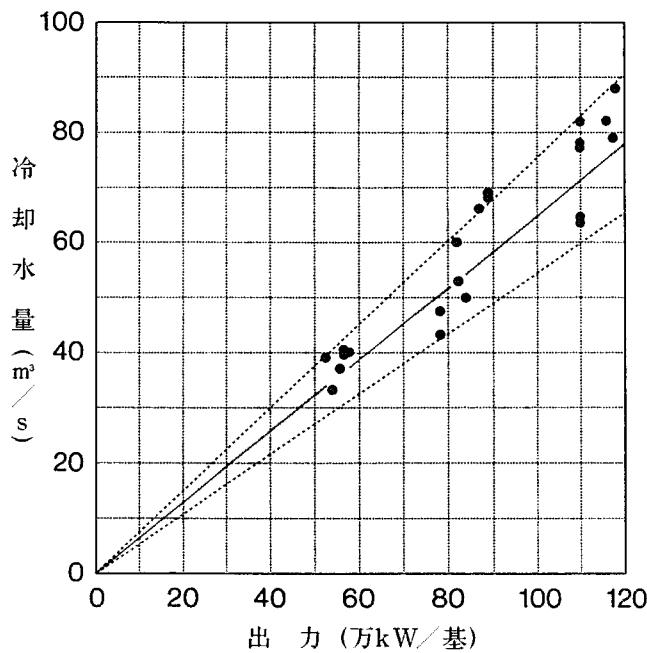
発電所取放水の利用

汽力発電所の熱効率は近年かなり向上して40%前後に達した。しかしながら、今後さらにこの効率を大幅に高めることは非常に難しいものと予想される。すなわち、使用燃料の約60%のエネルギーが廃熱として環境中に放出されているが、このうちの約70%以上が、温排水として我国の場合には沿岸海域に放出されている。

発電に使用される熱エネルギーは膨大であり、それゆえ廃熱エネルギーの大半を占める温排水を有効に利用しようとする構想はかなり以前から世界の各地で持たれてきた。例えば、現在わが国では温排水の主として温度効果を、マダイ、ヒラメ、アワビ等の種苗生産や養殖に利用することを意図した研究や企業



付図1 発電出力と冷却水量の関係（火力発電所）

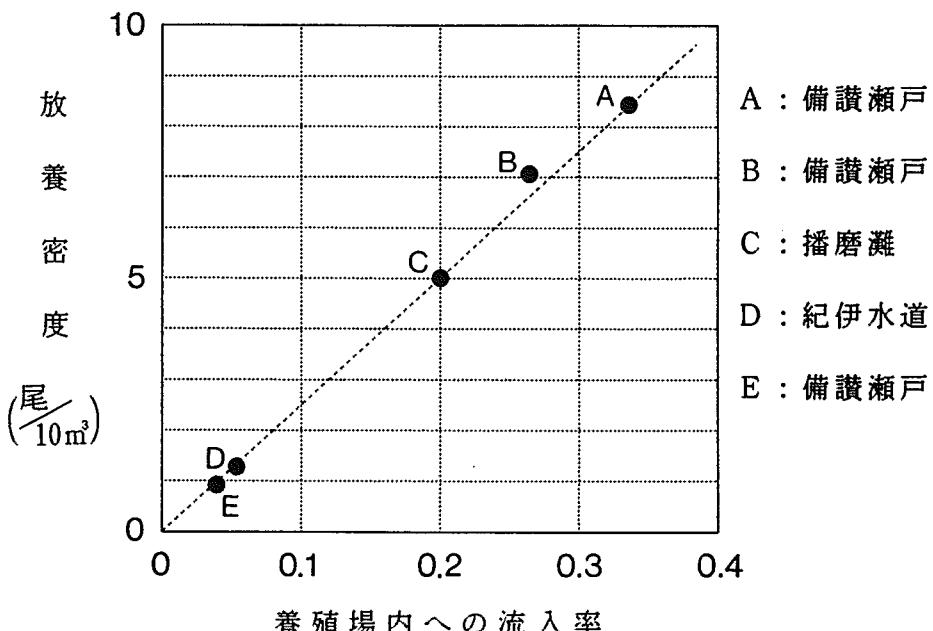


付図2 発電出力と冷却水量の関係（原子力発電所）

化試験が各地で行われている。しかしながら、その利用水量は、発電所の取放水量全体からみれば極く一部である。

また、発電所取水口の前面海域で、取水による海水輸送の効果を利用したハマチ、マダイ等の養殖が行われている所もある。一般的に、放養密度は養魚場内の海水交換に依存するところが大きく、養魚場内に適度の水流がなければ、水質・底質が悪くなったり、酸素欠乏が起こったりするなどの影響が現れ、放養密度は低下し、その対策には多額の経費を伴うこともある。付図3は、一つの研究例として、瀬戸内海の養魚場における海水の流入率（養魚場内の全水量に対する単位時間当たりの流入水量の割合）と放養密度との関係を示したものである。海水の動きが放養密度に大きく影響することが理解できる。

これまで主として温排水の温度効果を利用する考えられてきたが、こうした取放水による海水輸送を、水産養殖や沿岸水域の水質改善等に有効に利用することについても今後検討していく必要があろう。

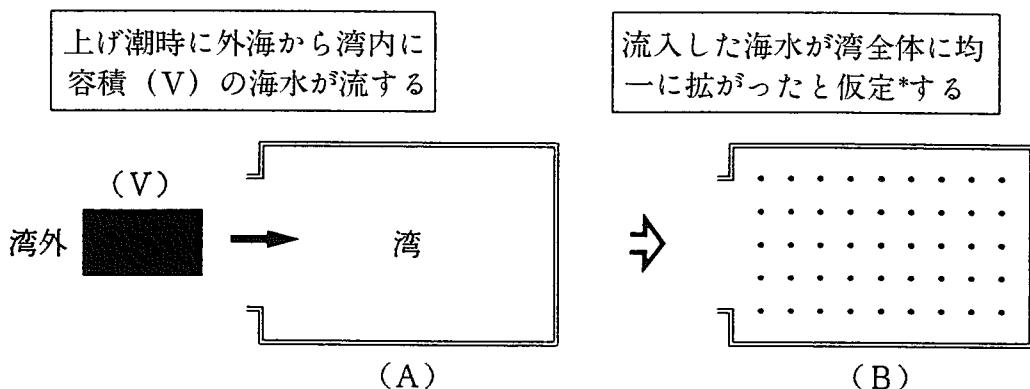


付図3 瀬戸内海の養魚場における海水流入率と放養密度の関係（橘高, 1960より）

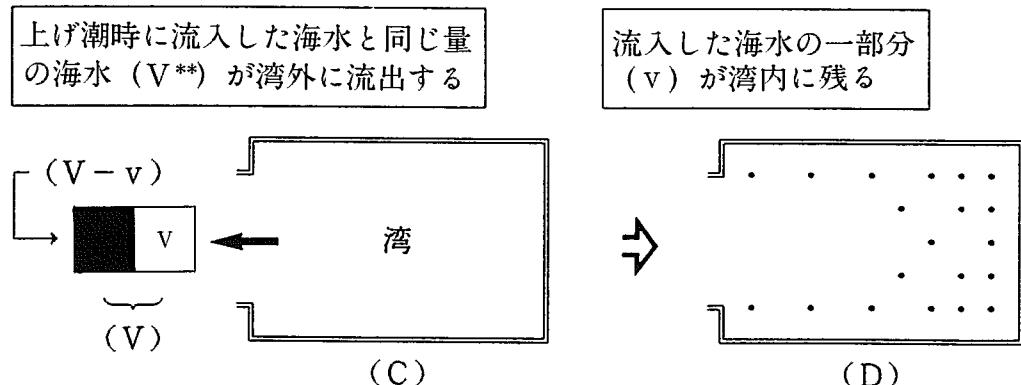
ボックスモデルによる海水交換率の算定方法

ボックスモデルによる海水交換率の算定方法とは、海水の物理的な細かい動き（例えば、拡散による海水の動き、潮汐によって起こる流れの局所的な変化など）を考慮しないで、大局的に海水の入れ換わりの強さを求める方法である。以下に、この算定方法の最も単純なモデルを示した。

<上げ潮時>



<下げ潮時>



$$\text{海水交換率} = [\text{湾内に残った海水量 } (v)] \div [\text{流入海水量 } (V)]$$

- ・ 実際には均一でないが、計算を簡単にするために物理的な細かい海水の動きを省略して、このように仮定するのがボックスモデルの特徴である。
- ・ 流入海水と全く同じ海水の一部分 $(V - v)$ と上げ潮前に湾内に存在していた海水 (v) の合計水量

前述の単純モデル（A～D）から、海水交換に伴う湾内の水質浄化を以下のように解釈することができる。

上げ潮時に外海から清澄な海水が湾内に流入し（A），この流入海水が湾内水と均一に混合する（B）。

下げ潮時には流入した海水量と同量の海水が湾外に流出する（C）。この流出海水の量は、上げ潮時に流入した外海水の一部分と上げ潮前に存在していた湾内水との合計量であるから、一潮汐周期（上げ潮開始から次の上げ潮開始まで）後には、湾外から流入した清澄な海水の一部分が湾内に残る（D）。

したがって、流出した湾内水の一部分に、同量の清澄な外海水の一部分が置き換わるため、湾内水が浄化されることになる。仮に、（C）、（D）の段階で、上げ潮時に流入した外海水と同じ海水が同じ量だけ湾外に流出したならば、一潮汐周期後に湾内に残る外海水はゼロとなり、湾内水の浄化は起こらない。

自然の海水の動きによる海水交換量に、発電所の取放水による海水輸送が加わると、一定時間内に湾内に流入する海水量が多くなり、自然の状態よりも多量の清澄な海水が湾内水と混合することになる。そのため、湾内水の浄化速度は自然状態よりも速くなる。

海水交換率を実際に計算するためには、これらの流入・流出海水量と湾内に残る海水量を現場の観測から求めなければならない。

外海から湾内に流入した海水量（＝湾外に流出した海水量）は潮位変化量を測定することによって求められるが、流入した海水が、次の下げ潮時にどれだけ湾内に残るかを求めるのは容易でない。

一般的には、一定時間内における湾内の塩分濃度の変化から、その時間内に湾内に残った外海水の量が推定される。当海域の場合には塩分濃度の変化はほとんどなかったが、顕著な懸濁物質濃度の変化（濁度計を用いた光減衰係数の

変化) が観測されたので、この光減衰係数の変化から湾内に残った海水量を推定した。

計算に使用した各ボックス内の物質交換式は以下の（1）～（3）式である。湾内水の動きに関してはいくつかの方法が考えられるが、試行錯誤の結果、当海域の場合には第7図の設定に基づく（1）～（3）式を用いるのが最も適切であると判断された。

〈ボックス 1 内の物質交換式〉

＜ボックス 2 内の物質交換式＞

＜ボックス3内の物質交換式＞

$$Q_3 C_2^n - (1 - E_3) Q_3 C_2^n - E_3 Q_3 C_3^n + Q_R (C_R - C_3^n) = V_3 (C_3^{n+1} - C_3^n) \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

ただし、 n , $n+1$ は時間ステップ(1ステップは潮汐周期の12時間)

数値予測による海水交換率の算定方法

数値予測から海水交換率を算定する場合には、普通、オイラー・ラグランジュ手法に基づく粒子の追跡結果が用いられる。このオイラー・ラグランジュ手法とは、計算機内で発生させた多くの仮想水粒子（マーカー）のそれぞれの移動経路を、対象水域の物理的な海水の動きに従って追跡する方法である。追跡して得られた仮想水粒子の移動経路から、一定期間（一般的には一潮汐周期）に湾内に流入した海水量と、流入した海水が湾内に残った量を求め、これらの水量から海水交換率が算定される。

水粒子を追跡するためには、まず対象水域の物理的な海水の動きを予測しておくことが必要である。ただし、ここでは乱れによる海水の動きを無視した。この流況予測モデルは、ナビア-ストークスの運動方程式と連続式で表すことができる。以下の（4）～（6）式で表される方程式から予測した海水の動きに従って、仮想の水粒子を一潮汐周期連続して追跡した。

＜ナビアー・ストークスの運動方程式＞

$$-\frac{\gamma^2 v (u^2 + v^2)^{1/2}}{(\xi + h)} + A_x \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + A_y \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \dots \dots \dots \quad (5)$$

〈連續式〉

u, v : $-h \leq z \leq \xi$ における x, y 方向の平均流速

$A_x, A_y : -h \leq z \leq \xi$ における x, y 方向の平均渦動粘性係数

h : 平均水面からの水深

ξ : 平均水面からの水位変化量

g : 重力加速度

f : コリオリ係数

r^2 ：海底摩擦係數



事務局 〒101 東京都千代田区内神田1-18-12 北原ビル ☎(03)3233-4173
中央研究所 〒299-51 千葉県夷隅郡御宿町岩和田300番地 ☎(0470)68-5111
実証試験場 〒945-03 新潟県柏崎市荒浜4-7-17 ☎(0257)24-8300