

伊勢湾水理模型実験と現地調査 (第2報)

——伊勢湾の海水交流について——

藤森 研一*・稲富 隆昌**・内田 豊彦**・園山 哲夫**

1. まえがき

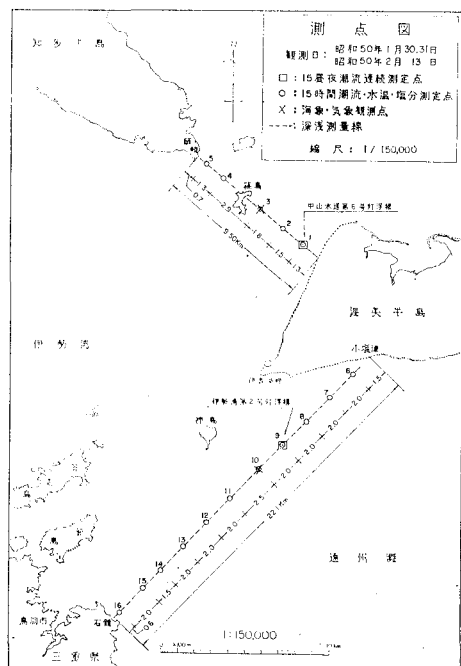
伊勢湾, 三河湾は水面積 2 230 km², 平均水深は, 伊勢湾で 19.8 m, 三河湾で 9.4 m と浅海性かつ海底が褶鉢状の地形をもつ半閉鎖性の内湾である。今後伊勢湾の利用にあたっては湾がもつ海洋構造およびその自然環境を十分に認識しなければならない。海水交換の実態把握は内湾の汚染浄化機構解明の基本的なものである。

今回現地調査, 水理実験, 数値模型にて伊勢湾の海水交換の実態を調査したので報告する。

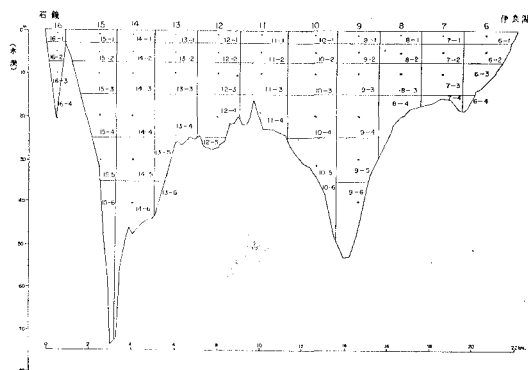
2. 現地調査

(1) 調査方法

伊勢湾の湾口において, 一潮汐間に外海水と湾内水が交換する割合を調べるため昭和 50 年 1 月 30 日~31 日 (第 1 回目) および 2 月 13 日 (第 2 回目) の 2 回現地調



図—1 調査地点



図—2 伊良湖水道断面ブロック図

査を実施した。調査測線および測点は, 図—1, 2 に示すとおりである。

伊勢湾の湾口に 9 測点を選び, 各測点においては, 現地の水深に応じて, 4~6 層に分けて塩分濃度と流速の測定を行った。また同時に外海水の塩分濃度の測定を行った。流速は CM-2 型電流流速計によって 15 時間観測を行い, 塩分はオート・ラボ社製サリノメーターで 30 分ごとに測定した。

(2) 海水交換率の求め方

海水交換率の定義は, パーカーらの定義にしたがって一潮汐間の上げ潮時の流量中に含まれる外海水の割合とし, トレーサーとして塩分濃度を用いて次式より求めた。

$$\gamma = \frac{C_F - C_E}{C_0 - C_E}$$

ここに, C_F は上げ潮時の平均塩分濃度, C_E は下げ潮時の平均塩分濃度, C_0 は外海水の平均塩分濃度である。

上式によって, ブロックごとに交換率を求め, 各断面, 全断面における海水交換率は次式によって求めた。

$$\gamma = \frac{\sum Q_F r_i}{\sum Q_F}$$

ただし, r_i が負の場合は $r_i=0$ とおく

ここに, Q_F はブロック i における上げ潮時の全流入量

r_i はブロック i における海水交換率

なお, ブロックごとの海水交換率を求める場合の外海水の塩分濃度としては, 伊勢湾の流況および模型による潮

* 正会員 運輸省第一港湾建設局秋田港工事事務所長

** 正会員 運輸省第五港湾建設局設計室

流実験の結果を参照して、ブロック前面の海域の塩分濃度の平均値を用いた。

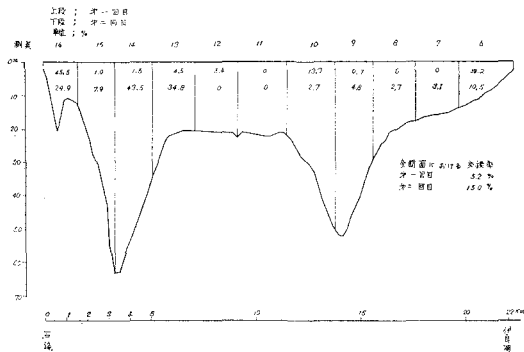
(3) 調査結果

まず伊勢湾における海水収支を、潮位差と潮流観測結果から推計した。調査時における湾内の験潮所の潮位差から求めた伊勢湾の平均潮位差と伊勢湾の諸元から、湾口部の海水収支は表—1 のようになる。

一方、同表にある潮流観測結果から求めた海水収支とはかなり異なる。これは河川流量等による流出恒流の他、場所的に強い恒流があり、それを測点9では観測したが、逆にそれと同等程度の流入恒流を観測できなかったからではないかと思われる。

表—1 海水収支

	調 査	流 出 量	流 入 量
潮位差による	第 1 回	$45.1 \times 10^8 \text{ m}^3$	$45.9 \times 10^8 \text{ m}^3$
	第 2 回	35.0×10^8	33.8×10^8
潮流観測による	第 1 回	$51.2 \times 10^8 \text{ m}^3$	$41.5 \times 10^8 \text{ m}^3$
	第 2 回	36.5×10^8	27.7×10^8



図—3 海水交換率 (現地調査)

図—3 に示す海水交換率は断面ごとにかなりばらつきがあり、また第1回目と第2回目の結果が異なっている。しかし伊良湖水道での交換率は小さく、神島から石鏡側の断面での交換率が大きくなる傾向は一致している。断面全体での海水交換率は第1回目が 5.2%, 第2回目が 15.0% となっている。これらの数値のばらつきの原因については、伊勢湾口は地形が複雑で、潮流が一樣でなく、東京湾、大阪湾に比べれば湾口が広く、転流時間等にも差があり、今回の測点数では、潮の動きを完全にはとらえていないと思われること、さらに1回目と2回目では気象、海象条件が必ずしも一致していないこと等によるものと思われるが、伊勢湾口における一潮汐間の海水交換率を概略的には把握できるとと思われる。

3. 水理模型実験

(1) 海水交換率実験

a) 実験方法

現地調査で伊勢湾口の海水交換率を求めたが、全く同様の方法で模型実験を行い交換率を求めた。

実験は伊勢湾水理模型実験場の平面縮尺 2 000 分の 1、鉛直縮尺 160 分の 1、時間縮尺 160 分の 1 の伊勢湾水理模型を使用した。

実験方法は、トレーサーとしてフルオレセソナトリウム (ウラン) を用い、湾口部を仕切り板で締め切り、湾内のウランの濃度を一定 (今回の実験では 2 ppm) とし、起潮開始と同時に仕切り板を上げ、実験開始後 8 潮汐目と 55 潮汐目の海水交換率を求めた。測点は現地調査の位置を模型上において、満潮から満潮まで 4 分 40 秒間を 14 秒間隔で採水した。また同時に満潮から干潮までの間の外海水を採水した。さらに各測点での流速状況を調べるため超音波式流速計で流速測定した。

b) 実験条件

実験条件は以下のとおりである。

(イ) 潮汐	M ₂ 分潮	現地	模型
	潮差	89 cm	5.6 mm
	周期	12時間25分	4分40秒

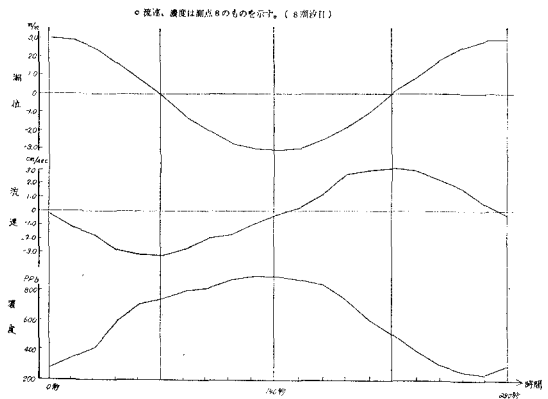
(ロ) 河川流量

河川流量については平均的なものとして 48 年度環境庁「伊勢湾水質汚染総合調査」結果を用いた。

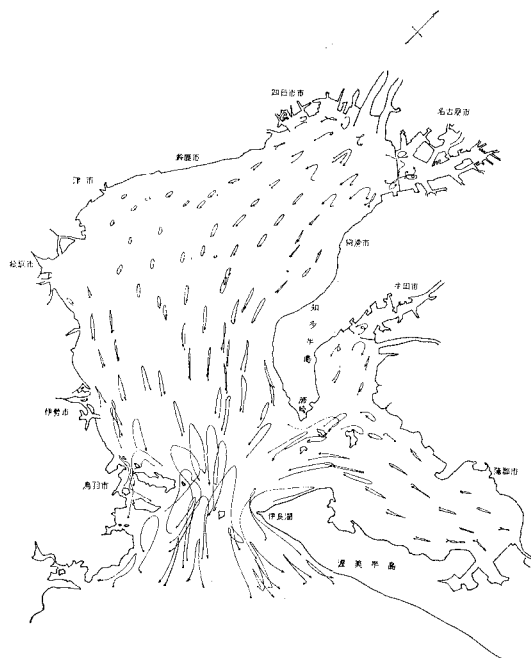
c) 実験結果

図—4 は測点8における潮位と流速の断面直角成分とウラン濃度変化の関係を示したものである。潮位は伊良湖で測定したもので満潮から満潮まで $\pm 3 \text{ mm}$ で変化しており、その間流速は下げ潮から上げ潮へと変化する。濃度は下げ潮が始まると同時に湾内から濃度の高い水が流出し高くなる。干潮の時にピークに達する。上げ潮が始まると外海水の影響を受けて、濃度が下がり始め満潮時に最低となる。

図—5 に示す模型実験によって求めた大潮時の伊勢湾の流跡図によれば、伊勢湾口部で流程距離が大きく、外海に向かって拡がる形となっており、伊良湖水道では下



図—4 潮位、流速、濃度関係図



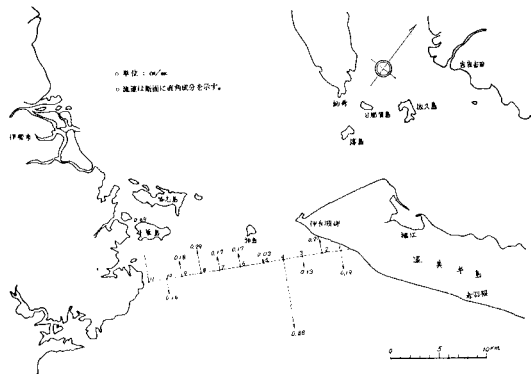
図—5 流跡線（大潮）

げの傾向がみられ、志摩半島よりでは上げの傾向がみられる。

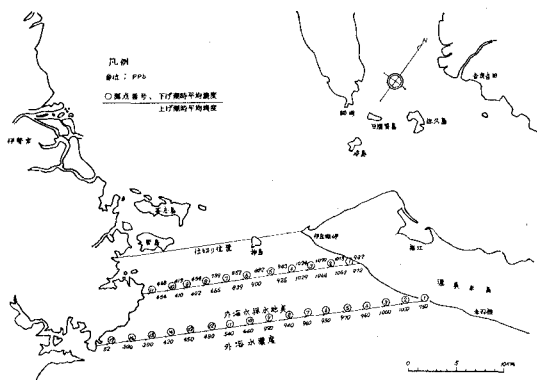
この一般的傾向は今回の実験の断面に直角方向の恒流分布図、図—6 を見てもいえ、神島を境として伊良湖側は下げの恒流が卓越し、志摩半島側では上げが卓越している。

図—7 は 55 潮汐目の下げ潮時の平均濃度、上げ潮時の平均濃度および外海水濃度の分布状況を表わしている。伊良湖水道側では濃度が高く、志摩半島側が低い。これからも伊良湖側では海水は流出し、志摩半島では外海水の流入があると推察される。

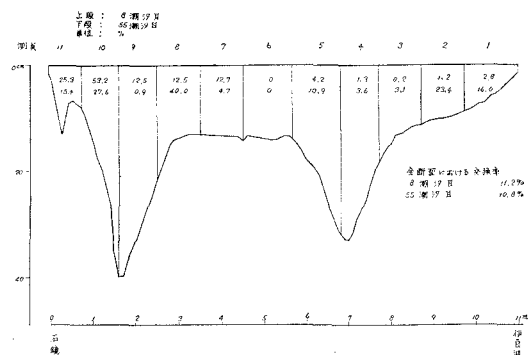
海水交換率の算定方法は現地調査の場合と同じである。海水交換率は図—8 に示す。8 潮汐目と 55 潮汐目では断面ごとにみるとかなりばらつきはあるが、一般的に志摩半島よりでは交換率は大きく、伊良湖側では小さ



図—6 恒流図（模型実験）



図—7 海水交換率実験濃度分布図（55 潮汐目）



図—8 伊勢湾の湾口における海水交換率（水理模型実験）

い。この一般的現象は現地調査結果と一致している。さらに伊勢湾口全体についての一潮汐間の海水交換率は 8 潮汐目が 11.2%，55 潮汐目が 10.8% とほぼ同一の結果となった。

(2) 海水交換日数実験

a) 実験方法

伊勢湾の海域のもつ海水交流の度合を調べるため、各海域が外海水と河川水によって何日間置き換わるかを調べる模型実験を行った。

模型は伊勢湾水理模型実験場の模型を使用し潮汐、河川流量等、実験条件は海水交換率実験と同じ条件で実験を行った。

実験の方法はまず河川水の海水交換に占める割合を調べるため、河川から一定濃度のフルオレッセンナトリウム（ウラン）を現地の河川流量に合せて流し、750 潮汐間の河川水の拡散状況を測定することにより調べた。

次に最初に湾内に存在していた水を湾内水と呼ぶこととして、湾内水の減少の割合を調べるため、海水交換率実験で仕切った位置から湾内側の水をウランで一定濃度とし、起潮と同時に仕切板を引き上げて、750 潮汐間実験を行った。なお、この時各河川からは真水を所定の流量で投入した。

これら二つの実験から各潮汐ごとに湾内約 130 か所に

セットされた採水装置により採水した試料を蛍光光度計で濃度測定し、その濃度を初期濃度で割ることにより、その海域での河川水の割合と湾内水の割合を求めた。

b) 海水交換日数の定義

最初に湾内に存在する水を湾内水と規定し、湾内水が河川水と外海水と交流して置き換えられて、最初の容積の $1/e$ となる日数を海水交換と定義する。これは湾内水が指数関数的に減少するため、 $1/e$ となる日数は宇野木らりの滞留時間の概念にならなかったもので、逆輸送をも考慮した滞留時間になっている。実験結果から河川水の割合 $r(t)$ 、湾内水の割合 $b(t)$ が求められ、 $b(t)=1/e$ のとき $t=T$ を海水交換日数とする。そしてその時の河川水、湾内水の割合 $r(T)$ 、 $b(T)$ から外海水の割合 $S(T)$ を求める(図-9 参照)。

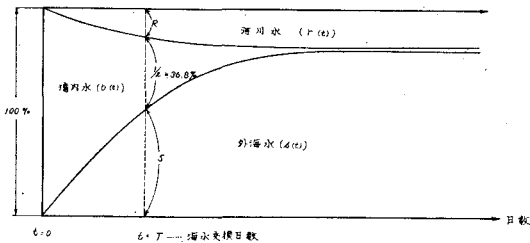


図-9 海水交換日数の定義

c) 実験結果

海水交換日数の実験結果は図-10に示す。交換日数は名古屋港で38日、木曾三川沖では74日、湾奥部では200~300日、三重県側の津、松阪沖では360日前後となっており、海水が滞留している。さらに湾口部では37日、70日となっており、三河湾では300~360日前後と非常に海水が交換しにくい結果を示している。



図-10 伊勢湾海水交換日数図

外海水と河川水の割合の時間的変化をブロック 29 について示したのが図-11である。一般に伊勢湾奥部では河川水の影響が大きく、交換日数が早くなり湾口部では河川水に比べ外海水との交換により交換日数が早くなっている。その他の海域では両者の影響が弱まるために交換日数が長くなるのではないかと考えられる。伊勢湾奥における外海水との海水交換量はゼロという結果が出ているがこの原因のひとつとして外海水、湾内水との密度(真水)が一定としているために生じたものと考えられる。

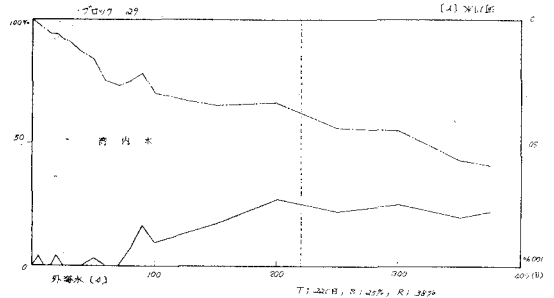


図-11 外海水と河川水の割合変化図

4. 数値計算

(1) 海水交換日数の定義

本計算は水理実験と同様に伊勢湾、三河湾の内湾水が外海水と淡水(本計算においては計算の単純化のため河川水のみを取扱った)によって置換えられる割合を時間的に抱えたものである。

(2) 計算手法

計算は図-12に示すように伊勢湾、三河湾を10 km メッシュに分割した2次元一層の移流拡散モデルを用いて行った。モデルにおける移流、拡散は既存の伊勢湾潮流計算(2次元一層モデル、2 km メッシュ、 M_2 分潮、年平均河川流量)の結果を10 km メッシュに平均化して用いた。まず移流については潮流計算結果の恒流(潮汐残差流)を各10 km メッシュに単純平均せずに+方向、-方向の流速に分割して用いた。拡散は混合距離説に基づく潮流による拡散係数と湾内の水理特性にみられる成層現象を補正するための拡散係数を加えたものを用いた。一層モデルでは密度の異なった外海水と河川水とはまともにぶつからざるを得ない。すなわち河川水の湾外流出、さらには外海水の湾内流入が阻害されることになる。この密度差の効果を拡散係数の補正ということを出すことにした。補正値の決定は伊勢湾の年平均塩素量分布より河川水、外海水の混合率を用いて行った。

計算は定義において述べたように最初に規定された時刻における湾内水が外海水と河川水とによって置換えられる割合を時間的(計算時間ステップは1日)にみわた

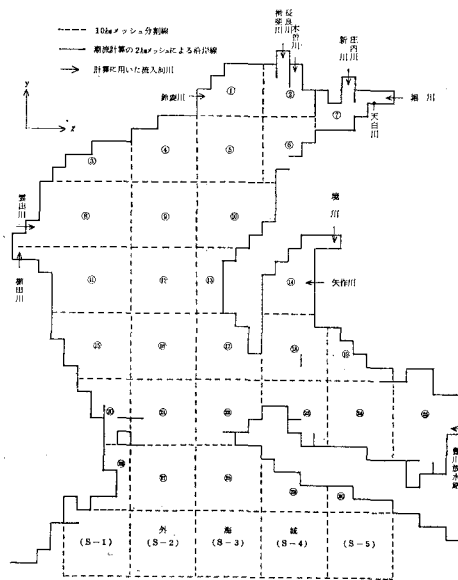


図-12 伊勢湾の 10 km メッシュ分割図

めにまず外海水の濃度を常に 1, 湾内と河川水をゼロ, さらに河川水濃度を常に 1, 湾内水と外海水をゼロとした二つの計算を行い外海水の割合, 河川水の割合を求めた。

(3) 計算結果

計算はまず外海水と河川水が湾内水と完全に置換した場合, すなわち定常状態に達した場合を行った。その計算結果を図-13 に示す。結果は現地観測値とほぼ合致している。次に定義に示した海水交換日数, さらにその時の外海水, 河川水の割合を示したのが図-14 である。

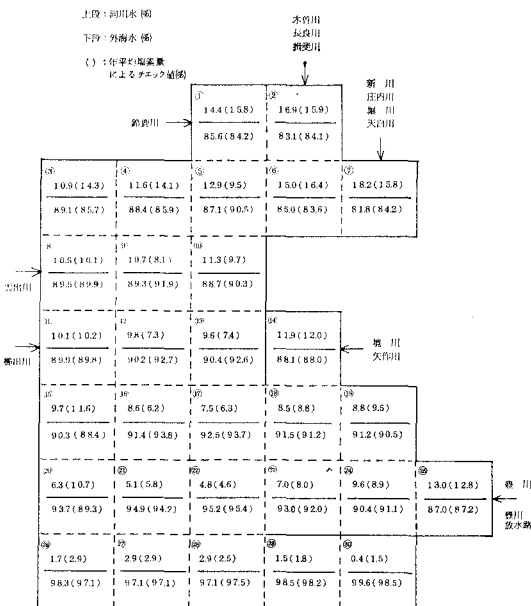


図-13 定常解における河川水と外海水の割合

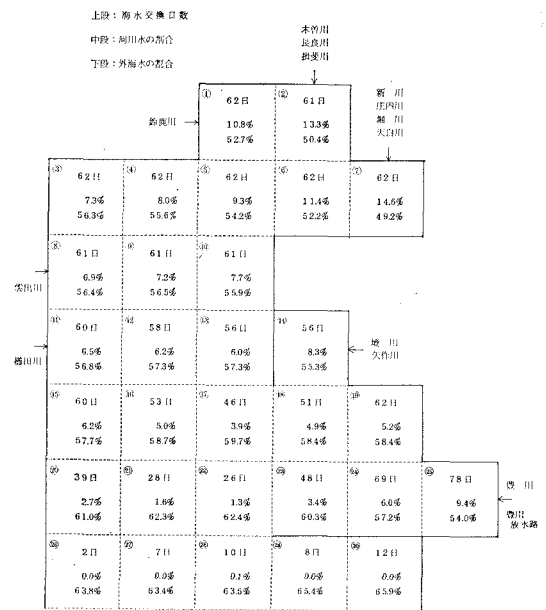


図-14 海水交換日数

結果をみると伊勢湾奥で約 60 日, 三河湾のうち, 矢作川, 境川付近で 56 日, 豊川の流入する湾奥は最も遅い 78 日であることがわかる。その時の河川水の割合は 15% までで, 全般的に外海水の要素が大きいことを示している。また伊勢湾奥における湾内水の外海水, 河川水とによる交換状況を時間的にみたのが図-15 で 1 年後にはほぼ湾内水が外海水と河川水によって湾外に押出されることがわかる。

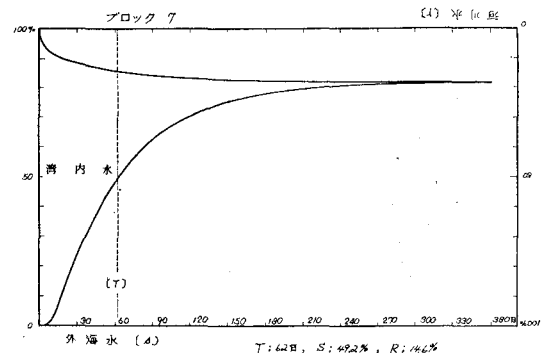


図-15 外海水と河川水の割合変化図

本モデルにおける海水交換のうち, 外海と伊勢湾口における境界は実験条件で述べたように逆輸送を考慮していないため現実のような外海に出た内湾水が一部戻ってくることを考慮すると実際の交換日数は計算結果より長くなるものと考えられる。

5. あとがき

以上, 伊勢湾, 三河湾の海水交換の実態を現地調査, 水理実験, 数値計算にて調査した。伊勢湾は特に湾奥に

木曾三川、庄内川などの非常に大きい河川を擁しさらに冬期は対流のため上下層が比較的均一化（ただし湾奥部では河川の影響で成層化している）し、夏期には湾全体が成層化する複雑な海洋構造を呈している。このような複雑な伊勢湾の海洋構造を単純化した水理模型、数値模型で代表させているため、両者の結果にはまだかなりの相違がみられるが、現地調査結果を含め伊勢湾の海水交

流の概略的な実態は把握できたものと思われる。今後も今回の調査結果に基づきさらに伊勢湾の海水交流の実態を解析していく予定である。

参 考 文 献

- 1) 宇野木早苗・岸野元彰・岡見 登：伊勢湾の平均的海況，恒流および海水交流，産業公害防止協会，pp. 1～88, 1974.