

湾域の海水交換に関する研究(1)

京都大学防災研究所 正員 今本 博 健
 京都大学防災研究所 正員 大年 邦 雄
 住 友 金 属 正 員 ○桑 嶋 健

1. はじめに：本研究は、潮汐残差環流や生成・消滅を繰り返す渦流によって引き起こされる海水交換の機構を明らかにするために、底が平坦な長方形湾を用いて実験的検討を行なったものである。

2. 実験装置および方法：実験装置は幅4m, 奥行き8mの水槽の中に幅3m, 奥行き1.5m, 湾口幅0.4mの長方形湾を形作ったものであり、潮汐は湾口断面に対して平行に設置されたプランジャ

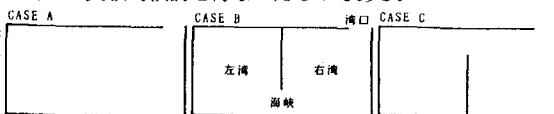


図-1 実験ケース

一式起潮機により与えられる。実験ケースは図-1に示すCASE A, B, Cを対象としており、湾内の呼称は図中に従う。実験条件は海峡幅を45cm, 水深10cm, 潮汐周期60sec とし、湾口部の潮差は各ケースともほぼ同じで約8.2~8.6mm 程度である。本実験では場の潮流特性を流況の可視化実験により明らかにし、次に染料を用いた交換実験および浮子として5mm 四方のケント紙を用いた交換実験を行ない、海水交換特性について検討を行なっている。なお位相は湾口の潮流が干潮になる時を $\Phi=0$ とし、1周期を8分割するものとする。

3. 実験結果および検討：図-2に各ケースにおける各潮時の流速ベクトル図より理解される流況模式図を示す。点線は微弱な環流あるいは剥離により生成・消滅する渦流を表している。各潮時の流況パターンは潮汐残差流ベクトルにほぼ一致し、潮汐残差環流や剥離渦流が水塊の交換に大きな役割を果たすことが理解された。こうしたことから隣接する潮汐残差環流や渦流間の水塊の交換は、これらからなる8の字形の経路に沿って生じることが想像される。

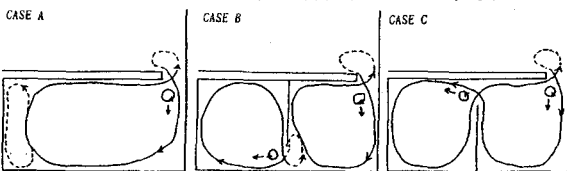


図-2 流況模式図

CASE Aにおける渦度の分布図を図-3に示す。これによると、湾口付近で生成した剥離渦流による渦度（斜線部）が湾内の環流にのって逸散しながら移動する様子が理解され、CASE B, Cでも同様の構造が見られた。次に染料を用いた交換実験の結果の一例として、CASE Aにおいて干潮時に湾外を瞬間的に着色した場合の水塊の移動過程を図-4に示す。図中、 N_c は経過潮汐周期を表す。これより、上げ潮流時には湾外水塊が剥離渦流にtrapされて環流に沿って湾奥へ移動するのに対し、下げ潮流時には湾内水塊が湾外に生成する剥離渦流にtrapされるが、次の上げ潮流によって多くが湾内へ戻ることがわかり

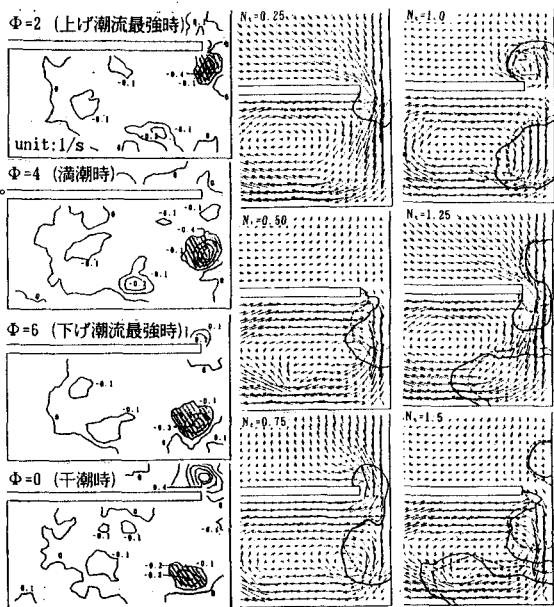


図-3 渦度分布図(CASE A) 図-4 水塊の移動過程(CASE A)

CASE B, Cについても同様であった。このように環流や渦流は水塊をtrapするはたらきがあり、これが強いほど交換が促進されることが理解される。この実験の結果より湾口・海峡部における交換係数を算定する。交換に関与する水塊の量を次のように分類する。

Q_r : 上げ潮流によって湾内に流入する水塊の量 Q_o : 下げ潮流によって湾外に流出する水塊の量
 $Q_{r,r}$: Q_r のうち湾内に残存する水塊の量 $Q_{o,r}$: Q_o のうち湾外に残存する水塊の量
 $Q_{r,e}$: Q_r のうちその前の下げ潮流による水塊の量 $Q_{o,e}$: Q_o のうちその前の上げ潮流による水塊の量
 Q_b : Q_r のうち $Q_{r,r}$ を除いた水塊の量 $Q_{b,e}$: Q_o のうち、 $Q_{o,r}$ を除いた水塊の量

これらを用いて、交換係数を流入係数 $r_r = Q_o / Q_r$ および流出係数 $r_o = Q_{b,e} / Q_{b,r}$ により定義する。本研究では、流速が鉛直方向にほぼ一様であるとして、染料雲の表層拡がり面積により水塊の量を求め、これより r_r および r_o を算定した。算定結果を表-1に示す。表中、 ≈ 1.0 は拡散による濃度の希釈により水塊の量が過大に評価されるためのもので正確ではないが、1に近い数値を表わしていると考えてよい。これより、湾口における交換特性について考察すると、以下のようである。

表-1 交換係数

		r_r	r_o
A	湾口	0.42	≈ 1.0
	海峡	0.73	≈ 1.0
B	湾口	0.10	0.85
	海峡	0.75	≈ 1.0
C	湾口	0.86	≈ 1.0
	海峡	0.86	≈ 1.0

r_o は各ケースとも ≈ 1.0 であることより、1周期目の下げ潮流によって湾外へ運ばれる水塊は、ほとんどが以前から湾内にあった水塊である。 r_r についてみると、B, Cはほぼ同じであるが、Aはこの半分近くの値になっている。この原因は、湾外に生じる剥離による渦流の特性に起因している。この渦流の強さは下げ潮流の流線の向きや潮流速により決まるが、1周期内で存在する潮時間はAが8位相のうちの3位相であるのに対して、B, Cでは5位相にわたり、海峡より湾口への強い下げ潮流が存在するBの方が強い渦流が生成される。渦流内にtrapされた水塊は渦流の崩壊時に上げ潮流により混合希釈されるが、渦流がもっとも弱いAではtrapされる湾内水塊の量が少ないために、湾内に初めて流入する湾外水塊の割合が小さくなり、 r_r が小さくなる。B, Cについては、Cの方が小さくなると考えられるが、この方法では前述したように水塊の量を正確に評価できないため、確かな結論を得ることはできなかった。

次にB, Cにおける海峡部の結果を見ると、 r_r , r_o ともにCの方が大きいことからCの方が交換がよいことがわかる。これは、図-1より明らかなように8の字構造のスケールの違いによるもので、特に右湾側はBではきわめてスケールの小さい弱い渦流であるのに対して、Cではこれに比べてスケールの大きい環流であるため、これらに規定される r_r の値はCの方が極端に大きくなる。以上のことより、環流や渦流のスケールが大きいほど、また強いほどtrapされる水塊の割合が大きくなり交換がよくなることが明らかである。

次に湾内の10cm間隔の格子点上に干潮時に多数の浮子を同時落下させた実験の結果について述べる。湾外に流出した浮子数の総浮子数に対する比率の時間的変化を図-5に示す。実線が湾外に流出した全浮子数の比率、点線が初期に湾内

右半分域にあったものの比率を表わしている。

これによると50周期後における湾外に流出した浮子数の総浮子数に対する比率は、Aが

約51%、Bが55%、C

が72%である。また、そのうち初期に湾内の右半分にあったものが占める割合はAが約54%、Bが85%、Cが54%である。これより右湾と湾外の交換はBがもっともよいが、湾全体の交換はCがもっともよいということになる。このように湾内が仕切られた湾全域の交換を評価するには、境界周辺の交換のみを評価したのでは不十分であることがわかる。また、湾内を仕切るにより湾内に8の字構造の交換を生じさせ、これにより湾内の交換を改善することが可能であることが明らかになった。

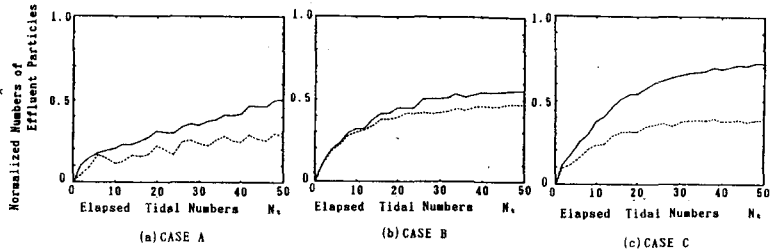


図-5 湾外流出浮子率の時間的変化