

明石海峡を通じての海水交換特性 — 三次元数値実験 —

大阪大学大学院○学生員 末吉寿明
清水建設(株) 正 員 山見晴三
大阪大学工学部 正 員 中辻啓二
大阪大学工学部 正 員 村岡浩爾

1. はじめに 大阪湾における水環境を考えるうえで、明石海峡を通じて交換される海水成分を潮流場における流動構造と対応させて定量的に見積ることが重要である。最近のリモート・センシング技術の成果から明石海峡での海水交換過程は、東流時に播磨灘側から流入し慣性力により進行しつづける水塊と、西流時に大阪湾から流出する須磨沖と淡路島・仮屋沖の両水塊が相互に交流することにより構成されることが、分かっている¹⁾。本研究では、三次元数値モデルおよびラグランジュ拡散解析を用いた数値実験から海峡部周辺での海水の交換過程を把握するとともに、柏井²⁾により提案されている式を用いて海峡部の海水交換率を算定し、既存の明石海峡での解析データと比較する。

2. 数値実験の内容 明石海峡での海水交換特性を解明するため三次元数値シミュレーションによる明石海峡モデルの開発を行った。播磨灘・紀伊水道を含んだ大阪湾を対象して、密度流(河川水+水表面熱収支)を考慮した潮流計算をあらかじめ行っておき、明石海峡モデルの開境界ではその結果を調和分析して、流速と水位変動量の条件で与えた。大阪湾広域モデルについては本質的に文献³⁾と同じものを採用した。また明石海峡モデルでは明石海峡を中心に東西に約40km、南北に約35kmをモデル海域とし、差分格子網を水平方向に500m、鉛直方向に4, 6, 10, 20, 20mの5層に設定して、地形形状を詳細に再現した。また海峡部近傍の流れの局所的な乱流運動を表現するため、Smagorinskyの仮説に基づくSGS動粘性係数の概念を導入し、格子スケールから欠落する乱れ成分を時空間的な変数として評価した。海峡部では鉛直混合が激しく成層化しないことから、流動の駆動力に潮汐流のみを取り扱う。潮流条件は平均大潮とする。なお大阪湾広域モデルでは淀川河川流量として、平水時に相当する205m³/secの流量を与えている。また、ラグランジュ拡散解析を用いた粒子追跡では水表面における水平二次元を考えた。

3. 明石海峡における海水交換過程 図-1 (a), (b)はそれぞれ明石海峡東流時および西流時の1/2潮汐間に交換される水塊の初期位置と、その6時間毎の状態を示したものである。東流時に大阪湾に流入する海水(図-1 (a))は振動流動場に基づく速い流れに加速されてジェット状の水塊を構成し、1潮汐後には沖ノ瀬を中心として半径約5 kmの三日月状の水塊を形成する。1.5潮汐後、その播磨灘側海水によって構成される水塊は再び東流時の大阪湾奥向きの流れにより沖ノ瀬を中心として放射状に緩やかに輸送され、その後は、沖ノ瀬環流に取り込まれて湾全域へと拡散されていく。一方、西流時の1/2潮汐間に大阪湾から流出する海水(図-1 (b))は主に須磨沖および仮屋沖の海域に位置する水塊である。これは東流時に播磨灘から流入する海水の初期位置の分布状況と比べると明瞭な違いが観られる。この西流時の水塊は、海峡部通過後に、播磨灘で放射状に拡がるが、1潮汐経過後にはそのほとんどが大阪湾に引き戻されている。

海峡を挟んで大阪湾・播磨灘の各側で発達している流動の違いが、上述した交換過程における違いをもたらしたものと考えられる。すなわち、大阪湾側では沖ノ瀬環流が支配的となるために湾内に流入した水塊は海峡部での交換スケールと関係ないほどに湾奥深くへと輸送される。しかし播磨灘側では沖ノ瀬環流ほどの強い循環流が発達していないために、1潮汐後には再び大阪湾に流入する。このことから、大阪湾内水は明石海峡を通じて播磨灘へ輸送され、外海水と混合した後、再度大阪湾内へと戻るといった、一連の海水交換のプロセスを見出すことが出来る。

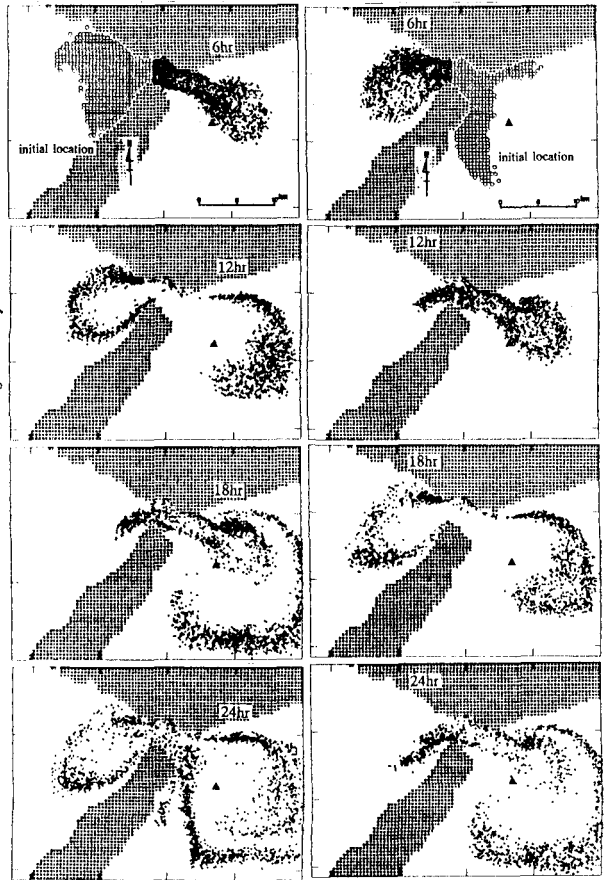
Toshiaki SUEYOSHI, Seizou YAMAMI, Keiji NAKATSUJI and Kohji MURAOKA

4. 明石海峡における海水交換率の算定と既存

データとの比較 数値計算上の取扱としてトレーサ粒子数の収支から明石海峡東流時の海水の置換率 r_e および西流時の海水の置換率 r_w を求め、柏井による海水交換率の算定を行った。その結果を、実測と数値実験により得られた明石海峡の既存の海水交換率と併せて表-1 にまとめる。1 潮汐間で東流時に流入する海水のうち初めて大阪湾に流入する海水の割合 ($r_e=42\%$) は、その逆の、西流時に初めて大阪湾から流出する海水の割合 ($r_w=35\%$) より大きいことが分かる。また、粒子数の収支から、東流時に大阪湾に流入する粒子数は西流時に大阪湾から流出する粒子数の約1.5倍であったので、実質的には大阪湾から流出する海水の2倍近くの量が播磨灘から新たに流入していることになる。したがって、明石海峡では播磨灘側から大阪湾へ新たに流入してくる交換特性が卓越していることになり、大阪湾にとって明石海峡は海水交換によって湾内水を循環させる重要な役割を果たしているものと考えられる。また、柏井による海水交換率の比較を行うと、本数値実験で得られた値24%は現地観測に基づく塩分収支から求めた交換率より小さく、Imasatoによる数値実験結果よりも大きくなった。Imasatoの数値モデルが水平二次元モデルであること、および本数値実験の交換率算定が表層における流れのみしか考慮していないことから、この実測との差は鉛直方向の影響によるものではないかと考えられる。

5. おわりに 明石海峡での海水の交換は海峡周辺の流動特性から主に播磨灘側で起きており、大阪湾に対して湾内水の循環を促進させる役割を果たしていることを示した。明石海峡での海水交換特性は海峡を挟んだ両海域の流況と密接に関係しているが、今後、海水交換率の算定においては海峡周辺の流動機構と合わせた視点に立って考えていく必要がある。

参考文献: 1) 藤原建記, 瀬戸内海における海水交流, 海の気象, 海洋気象学会, 1981 2) 柏井誠, 海水交換概念と海水交換率, J. Oceanogr. Soc. Japan, 1984 3) 中辻啓二 他, 淀川洪水流に及ぼす密度流と潮流の相乗効果, 海溝, 1991

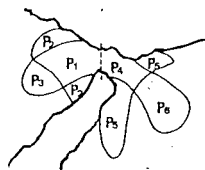


▲: 沖ノ瀬

(a) 明石海峡東流時に大阪湾に流入する粒子の経時変化 (b) 明石海峡西流時に大阪湾から流出する粒子の経時変化
図-1 粒子追跡による海水交換過程

表-1 明石海峡における海水交換率²⁾

引用文献	算定方法	海水交換率(%)		
		r_e	r_w	r_a
Imasato et al (1980)	N M	41	11	(10)
Imasato and Awaji (1982)	N S	—	—	16
Shimizu and Kawamura (1981)	F S	—	—	34
“	F S	—	—	33
“	F S	—	—	28
実験結果		N M	42	35 24



- ①: r_e : 明石海峡東流時の流入量のうち、初めて大阪湾内に流入する播磨灘側海水の占める割合 $r_e = P_2 / (P_1 + P_2)$
 r_w : 明石海峡西流時の流出量のうち、初めて大阪湾外に流出する大阪湾側海水の占める割合 $r_w = P_4 / (P_3 + P_4)$
 r_a : 柏井の定義による海水交換率 $1/r_a = 1/r_e + 1/r_w - 1$

- ②: 算定方法: F=Field observation, N=Numerical experiment.
S=Salinity, M=Marker