

II-600

明石海峡の海水交換と三次元潮流特性

— 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

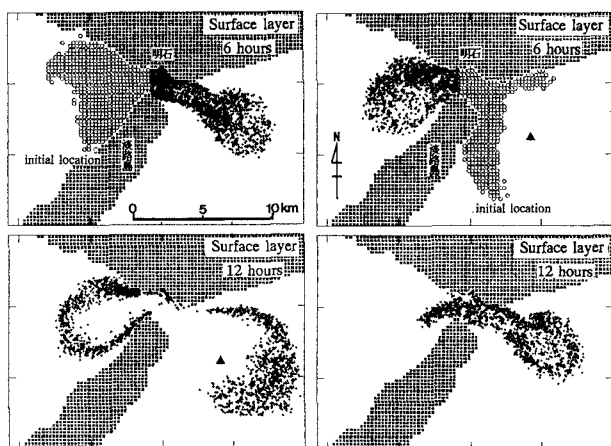
大阪大学工学部 正 員 中辻啓二

大阪大学工学部 正 員 村岡浩爾

1. はじめに 内湾における水質環境は、その系内における生物・化学的な自浄作用を除けば内湾水と外洋水とが交流する海峡周辺部での交換および希釈効果により支配されている。よって海峡部での海水交換機構を理解することは、内湾における水環境を考えるうえで重要である。このような問題に対して著者らは閉鎖性の強い大阪湾を対象に流動や水環境特性を数値実験から解明していく試みを行っている。その一環として、本報ではとくに明石海峡の海水交換特性を取り挙げ、三次元パロクリニックモデルおよびラグランジュ拡散解析を用いてその交換機構の準三次元的な特性について検討を加えた。

2. 数値実験の内容 数値実験は次の三段階に分かれている。①大阪湾を中心に播磨灘、紀伊水道を含んだ105km 四方の海域を対象に、密度流(河川水+水表面熱収支)を考慮した潮流計算を行う。潮流条件は平均大潮とし、淀川河川流量は平水時に相当する $205\text{m}^3/\text{s}$ とする。次に、②明石海峡を中心とした東西40km、南北35kmをモデル海域として、その潮流計算を行う。その際、モデル海域の開境界では①の大阪湾広域モデルで得られた流動場を調和分析し、流速と水位変動量の条件で与えている。モデルの差分格子間隔は水平方向に500m、鉛直方向に4, 6, 10, 20, 20mの5層に分割した。①、②のモデルにおける流動計算は文献1)と本質的に同じものを採用した。さらに明石海峡モデルで得られた流動場をもとに、③ラグランジュ拡散解析による粒子の追跡実験を行う。粒子は質量を持たない仮想的なものを考え、追跡は水表面(水深2m)および第三層面(水深15m)において水平二次元で行う。粒子の分布密度は $500\text{m} \times 500\text{m}$ の1格子当たり10個とした。

3. 実験結果 図-1(a), (b)はそれぞれ水表面(水深2m)において明石海峡東流時および西流時の1/2潮時(6時間)の間に大阪湾へ流入または大阪湾から流出した粒子の6時間後、12時間後の状態を示したものである。図中の白抜き丸印は各1/2潮汐の間に交換した粒子の初期位置を表している。また、図-2は第三層面(水深15m)における図-1と同様の追跡結果である。また、それぞれの層における粒子数の交換の収支を表-1にまとめる。東流時に大阪湾へ流入する水塊は海峡部の水平地形形状による縮流効果を受けて湾中央部へとジェット状の流れに乗って輸送されていく。12時間後には、その流入水塊は流れ場のせん断効果を受け、沖ノ瀬を中心に円弧状に引き延ばされる。この東流時の粒子の挙動は水表面と第三層面において基本的に変化することはないが、大阪湾に流入する粒子の初期位置の分布面積が第三層面では若干小さくなっている。粒子数の収支で比較すると、第三層面における東流時の流入粒子数は表層面のその52%である。これは播磨灘側では第三層面の地形が水表面の海面面積の約60%程に減少していることに原因している。一方、西流時に大阪湾から流



(a) 明石海峡東流時に大阪湾に流入する粒子 (b) 明石海峡西流時に播磨灘に流入する粒子

図-1 水表面(水深2m)における海水交換過程

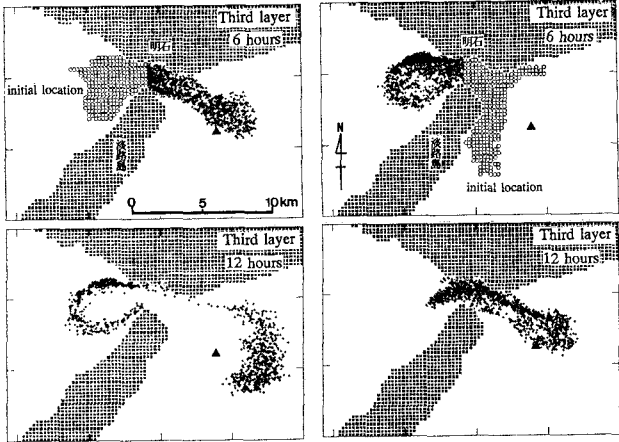
出する水塊は、明石、須磨沖と淡路島・仮屋沖の両水塊である。この水塊は6時間後には播磨灘側へと放射状に広がっている。その後、流れが東流となると、流出粒子の大部分は大阪湾へと引き戻される。播磨灘側に残留する粒子は東流時に大阪湾へ流入した粒子の残留成分とは異なり、海峡部分にわずかに分布するのみである。上下層においてこの交換過程に変化は見られず、粒子数の収支にも変化はない。

以上のように、東流時と西流時の交換過程には明瞭な違いが観られるが、鉛直方向ではその過程にほとんど変化の見られないことが分かった。この事実は、明石海峡での海水交換が潮流流動の海峡部の下流側に発生する地形性渦流に起因した潮汐残差流、すなわち海峡から発達した水平循環流に支配されていることを示唆するものである。

そこで、粒子数の収支から、東流時に播磨灘から流入した海水の大阪湾側に残留する割合 r_e 、および西流時に大阪湾から流出した海水の播磨灘側に残留する割合 r_w を求め、置換率の概念としての海水交換率の算定を行った。それを Imasato et al.²⁾ の数値実験による結果とあわせて表-2 に整理した。ただし彼らの数値実験は M_2 分潮を対象としているのに対し、本実験では $M_2 + S_2$ 分潮を対象としている。交換過程の上下層の違いを定性的にとらえた時と同様に、水表面と第三層面の海水交換率は概ね等しいといえる。また、上下層の粒子数の収支を単純に総和することにより海峡断面での海水交換率を算出した。それによると、東流時では55%、西流時では20%となった。いずれも Imasato らの海水交換率より大きな値となる。明石海峡から発達した循環流を構成する沖ノ瀬環流が大潮期に強まり小潮期に弱まる特徴がある³⁾ ことから、 $M_2 + S_2$ 分潮を扱った本実験では水平循環流の強化に誘起されて、交換率が大きくなったものと考えられる。これは明らかに、水平循環流と交換率の強い相関性を示した結果であると言える。

4. おわりに 明石海峡の数値実験により準三次元的な海水交換特性を議論した。その結果、明石海峡での海水交換特性は鉛直方向に変化しないことが分かった。それは、潮汐残差流系に支配されていることを示唆している。このことは、潮流場が強まれば海峡部での海水交換特性が向上する可能性があることを含んでいる。しかしながら、本報では水表面と第三層面での粒子追跡に基づく交換率の算定に留まっており、今後より詳細に評価するために、海峡部での鉛直方向全層についての交換性を検討していく予定である。

参考文献 1) 中辻啓二・山本信弘・山見晴三・室田 明 (1991): 海岸工学論文集, 38, pp.186-190.
2) Imasato et al. (1980): J. Oceanogr. Soc. Jap., 36, pp.151-162.
3) 藤原建紀・肥後竹彦・高杉由夫 (1989): 海岸工学論文集, 36, pp.209-213.



(a) 明石海峡東流時に大阪湾へ流入する粒子 (b) 明石海峡西流時に播磨灘に流入する粒子
図-2 第三層面（水深15m）における海水交換過程

表-1 明石海峡における交換粒子数
(単位: 個数)

	明石海峡東流時に 大阪湾へ流入する 粒子数: $P_e + P_w$	明石海峡西流時に 播磨灘に流入する 粒子数: $P_e + P_w$
	$\left[\begin{array}{c} \text{1 潮汐後に大阪湾に} \\ \text{残留する粒子数: } P_w \end{array} \right]$	$\left[\begin{array}{c} \text{1 潮汐後に播磨灘に} \\ \text{残留する粒子数: } P_w \end{array} \right]$
水表面	2 0 4 8 (1 1 2 2)	1 4 2 5 (2 4 4)
第三層面	1 0 8 2 (6 0 5)	1 1 7 3 (2 7 9)
総 和	3 1 3 0 (1 7 2 7)	2 5 9 5 (5 2 3)

表-2 明石海峡における海水交換

	海水交換率 (%)		分潮
	r_e	r_w	
Imasato et al.	41	11	M_2
水表面	55	17	$M_2 + S_2$
第三層面	56	24	
Σ	55	20	

r_e : 明石海峡東流時の大阪湾への流入量のうち、1 潮汐後も大阪湾内に残留する播磨灘側海水の占める割合
 $r_e = P_w / (P_e + P_w)$
 r_w : 明石海峡西流時の播磨灘への流入量のうち、1 潮汐後も播磨灘内に残留する大阪湾側海水の占める割合
 $r_w = P_w / (P_e + P_w)$