

## 瀬戸水域における海水の交流・交換について

中 田 英 昭 ・ 平 野 敏 行  
(東京大学海洋研究所)

On the Tidal Transport and Exchange of Sea  
Water in Seto (Straits) and Approaches

Hideaki NAKATA and Toshiyuki HIRANO  
(Ocean Research Institute, University of Tokyo, Tokyo)

## Abstract

This paper deals with the problem of the exchange of sea water due to the tidal mixing in seto (straits) and approaches of Seto Inland Sea, which has much effects on the transport and distribution of fish eggs and larvae. Mekari-Seto, Ikuchi-Suiro and Kurushima Strait (Nishi-Suido), which communicate Aki-Nada with Bingo-Nada and Hiuchi-Nada in the central part of Seto Inland Sea, were chosen as the study area.

Using the volume of tidal mixing area where current drogues were dispersed, ( $V$ ), and the volume of tidal transport during a half tidal period, ( $V_0$ ), the rate of tidal exchange,  $r = (V - V_0)/V$ , was obtained in these straits respectively. The values of the rate ( $r$ ) were larger in Mekari-Seto and Ikuchi-Suiro rather than in Kurushima Strait where the value of tidal transport was the largest of these straits. The volume of tidal exchange ( $rV_0$ ) in Mekari-Seto was nearly five times as large as the volume in Kurushima Strait at the flood tide. Therefore, it was considered that the amount of tidal exchange between Aki-Nada and Hiuchi-Nada through Kurushima Strait was not so large.

In addition, estimation of average concentration of materials, such as fine sand and mud, drained continuously into the Strait was carried out using a box model of tidal mixing.

## 1. はしがき

潮流の卓越する浅海域、とくに、瀬戸内海などのように、比較的開けた湾・灘が潮流の著しく発達する海峡や瀬戸によって結ばれているような水域においては、潮流の往復運動に伴う海水の移動や交換の程度が、魚卵・稚仔あるいは流入汚染物質の輸送や分布に大きな影響を及ぼしていると考えられる。実際に、千田ら<sup>1)</sup>は瀬戸内海において流れ藻の標識放流を行い、流れ藻に付着するサヨリ卵の各灘における移動状況が水域によって大きく異なることを報告している。

また瀬戸水域における海水混合あるいは海水交換に関しては、既に速水ら<sup>2)</sup>が明石海峡において、川村ら<sup>3)</sup>が豊予海峡において、それぞれ量的な推定を試みている。しかし、これらは主に瀬戸内海と外海との交換過程を問題としたものであり、瀬戸内海の各灘を結ぶ個々の水域に

についての報告はほとんど見受けられない。一方、瀬戸内海一様の拡散係数が  $10^7 \text{cm}^2/\text{sec}$  程度であることを示した宇野木ら<sup>4)</sup>は、この値に対応する拡散が瀬戸水域における潮汐混合の過程によって期待されることを示唆しているが、生物生産や汚染環境の詳細について検討するためには、それらに対応する瀬戸内海の構造を明らかにする必要があり、その意味で、地形その他の地域特性を反映した瀬戸水域における海水の交流・交換の実態を明らかにすることは意義が深いと思われる。

以上の見地から著者らは、瀬戸内海中央部安芸灘と備後灘・燧灘とを結ぶ瀬戸水域(布刈瀬戸・生口水路・来島海峡西水道)において、海水の交流量・交換量及び交換率等の推定を試み、それらの地域的な特性について二、三の知見を得たので、ここに報告する。

Fig. 1 は本研究で対象としている水域及びその周辺

域の潮流の概況（上げ潮時）を示したものである。図中の数字は潮流図<sup>5)6)</sup>より概算した各水路における半潮時の流量（ $\times 10^8 \text{m}^3$ ）を表わしている。これをみると、安芸灘と備後灘・燧灘間をめぐり半潮時あたり50億トンの海水が流動しており、その 67%がこの水域の南側、主として来島海峡を通過していることがわかる。一方、残りの 33%の海水は、北側の布刈瀬戸（向島・因島間）・生口水路（因島・生口島間）など、大小の島々の間の水道に配分されている。これらの水域は、豊後水道から回遊する産卵親魚及び稚仔の通路筋にあっており、とくに島の周辺部はタイ類の産卵場・生育場として重要な役割を果たしている。

対象水域の規模、潮流速及び半潮時あたりの流量をまとめて Table 1 に示した。来島海峡西水道は来島海峡の最も四国側の水道（馬島・今治間）であり、来島海峡全

体の流量の約 4 割がこの水道を通過している。したがって、この水道の潮流は断面積のほぼ等しい布刈瀬戸に比べてかなり速く、およそ 2 倍の値を示している。一方、生口水路は断面積・潮流速ともに三つの水道の中で最も小さな値を示し、流量は布刈瀬戸よりさらに 1 桁少ない。

なお、解析の資料としては、これらの水域において本州四国連絡架橋漁業影響調査の一環として実施された潮流観測及び潮流板追跡調査の結果<sup>7)</sup>を用いた。報告にさきだち、本研究の機会を与えられた、南西海区水産研究所長花村宜彦博士はじめ、調査関係者諸氏、並びに、資料を快く提供された本州四国連絡架橋公団の方々に深く感謝の意を表す。

## 2. 海水交換率の算定について

一般に、潮汐混合による海水交換の度合を見積るための目安として交換率 ( $r$ ) の値が用いられることが多い。これは、潮汐の半周期間に対象水域に流入した物質質量 ( $Q$ ) に対する交換量すなわち潮流の一往復間に対象水域に取り残される物質質量 ( $dQ$ ) の割合を意味している。すなわち、

$$r = \frac{dQ}{Q} \quad (1)$$

したがって、海水交換が完全に行われる場合は、 $r=1$ 、全く交換がない場合は、 $r=0$  となり、一般には、 $r=0.1 \sim 0.5$  程度を示すことが知られている。たとえば、平野ら<sup>8)</sup>は伊勢湾・三河湾・駿河湾・東京湾における湾内水と沖合水との交換率として、それぞれ、 $r=0.15, 0.16, 0.25, 0.20$  を得ている。また、先に述べたように、速水らは明石海峡において、海水混合の度合を示す係数 ( $\alpha$ ) の値として、 $\alpha=0.12$  を報告しているが、この係数 ( $\alpha$ ) は、ここで用いている海水交換率と次のような関係にあることが知られている<sup>3)</sup>。

$$r = 2\alpha \quad (2)$$

また、前川ら<sup>9)</sup>は豊予海峡における平均の交換率として、 $r=0.11$  を得ている。

これらは、いずれも内湾あるいは海峡における塩分の

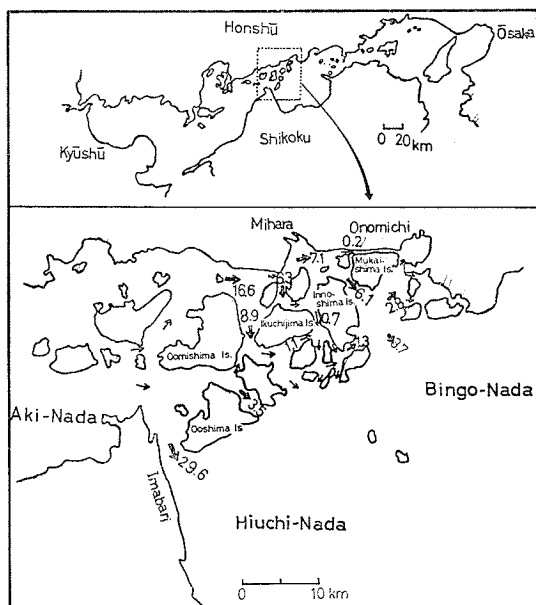


Fig. 1. General status of the tidal current (flood tide) in the Seto (Strait) located in the central part of Seto Inland Sea. Numericals indicate the volume of tidal transport ( $\times 10^8 \text{m}^3$ ).

Table 1. Geographical factors.

	Width (m)	Area of cross section ( $\times 10^4 \text{m}^2$ )	Maximum velocity of tidal current (m/sec)	Volume of tidal transport ( $\times 10^8 \text{m}^3$ )
Mekari-Seto	280	3.15	1.75	6.06
Ikuchi-Suiro	520	0.68	0.95	9.71
Kurushima Strait (Nishi-Suido)	1050	3.25	3.20	11.35

時間的変化や収支から交換率を算定したものであるが、一般に瀬戸水域内は潮流による海水の擾乱が激しく、水平的・鉛直的にほとんど均一な構造を有しており、水温塩分等の分布から交換率を導き出すことが困難な場合が多い。そこで、著者らは新たに瀬戸水域の特性に着目し、瀬戸の断面を通過した海水の流量とその流動範囲とから交換率を推定する方法を見出した。すなわち、瀬戸を通過した海水が周辺海域と全く混合しない場合には、その海水は瀬戸水域内でその流量に相当する範囲に均一に拡がると考えられる。しかしながら、実際に瀬戸の中央部において投入された潮流板の一定時間後の流動範囲に相当する容積を算定してみると、ほとんどの場合、その間の流量より大きな値が得られた。これは、その間この両者の差だけ周辺の海水が流動域内にとりこまれたものと推定される。

いま、Fig. 2 に示したように、瀬戸の中央部において投入された潮流板の半潮時の流動範囲に相当する容積（以下混合容積と呼ぶ）を  $V$ 、その間の流量を  $V_0$  とし、瀬戸を通過した容積  $V_0$  の海水が混合容積内に均一に拡がると仮定する。また、半潮時間 ( $T$ ) に瀬戸を通過する物質量を  $Q$ 、その濃度を  $C(t)$ 、瀬戸の断面積を  $A$ 、断面流速を  $U(t)$  とすれば、

$$Q = \int_0^T AC(t)U(t) dt \quad (3)$$

ここで、この間に流入する物質量の平均濃度  $C_0$  は、

$$C_0 = \frac{\int_0^T AC(t)U(t) dt}{\int_0^T AU(t) dt} \quad (4)$$

と表わすことができる。また、

$$V_0 = \int_0^T AU(t) dt \quad (5)$$

であるから、(3) 式はさらに、

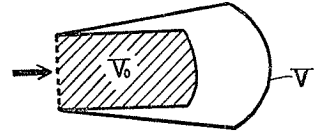
$$Q = C_0 V_0 \quad (6)$$

と表わされる。一方、一潮時の間に交換される物質量を  $\Delta Q$  とすれば、

$$\Delta Q = \int_0^{2T} AC(t)U(t) dt \quad (7)$$

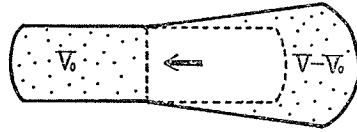
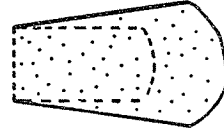
ここで、同様に、

$$C_0' = \frac{\int_T^{2T} AC(t)U(t) dt}{\int_T^{2T} AU(t) dt} \quad (8)$$



$V_0$ : tidal transport

$V$ : volume of tidal mixing area



$$r = \frac{V - V_0}{V} \quad r: \text{rate of tidal exchange}$$

Fig. 2. Schematic explanation of the tidal exchange of sea water.

とすれば、(7) 式は、 $C_0$ 、 $C_0'$ 、 $V_0$  を用いて、

$$\Delta Q = C_0 V_0 - C_0' V_0 \quad (9)$$

と表わすことができる。この場合、 $C_0'$  は平均濃度  $C_0$  で半潮時間に断面を通過して入ってきた物質が、混合容積 ( $V$ ) 内に均一に拡がり、逆の潮時に再び戻っていく場合の平均濃度を意味すると考えられる (Fig. 2)。すなわち、

$$C_0 V_0 = C_0' V \quad (10)$$

先に述べたように、海水交換率 ( $r$ ) は (1) 式によって与えられる。従って、(6) 式と (9) 式より、

$$r = \frac{C_0 V_0 - C_0' V_0}{C_0 V_0} = 1 - \frac{C_0'}{C_0} \quad (11)$$

ここで、(11) 式に (10) 式を代入すると、交換率 ( $r$ ) はさらに、

$$r = 1 - \frac{V_0}{V} = \frac{V - V_0}{V} \quad (12)$$

と表わすことができる。

(12) 式において、 $(V - V_0)$  は瀬戸を通過した海水の流動域内にとりこまれた周辺の海水の容積を意味しており、これと流動域の容積 ( $V$ ) との比率から交換率 ( $r$ ) が決定される。(12)式を用いて実際に海水の交換率、交換

量を算定した結果を次の項で述べる。

### 3. 海水の流量・交換量の推定

布刈瀬戸、生口水路及び来島海峡西水道において、上げ潮・下げ潮の最強流時に投入された潮流板の流跡を

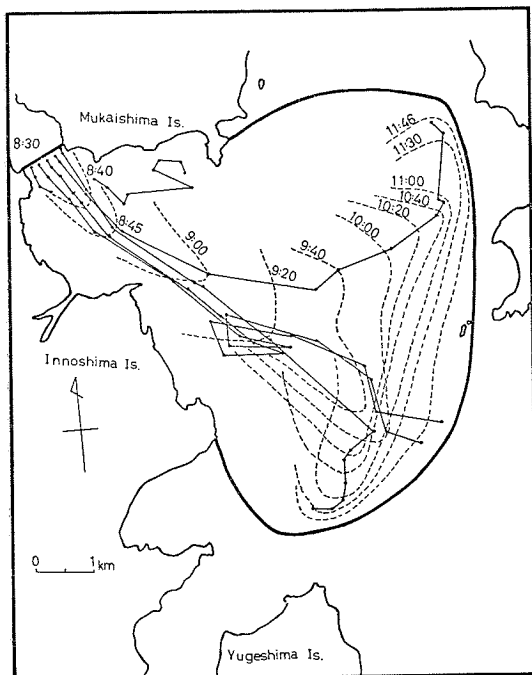


Fig. 3-1. Loci of current drogues released at the Mekari-Seto, Nov. 14, 1974, 8:30-11:50, and the tidal mixing area estimated by them (flood tide).

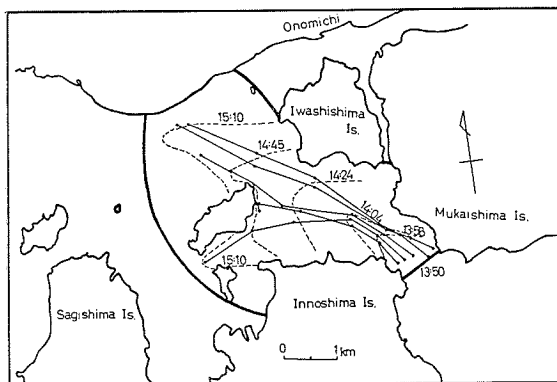


Fig. 3-2. Loci of current drogues released at the Mekari-Seto, Nov. 13, 1974, 13:50-15:10, and the tidal mixing area estimated by them (ebb tide).

Fig. 3~Fig. 5 に示す。調査は1974年11月半ばから12月初めの大潮期に実施され、各水道の中央部の5地点から水深 2 m に投入された潮流板の追跡が行われた。追跡時間は布刈瀬戸と生口水路においては上げ潮時に3時間、下げ潮時に1時間半、来島海峡では両方とも1時間半となっている。また、布刈瀬戸と生口水路においては、これらと同時に CM-2 型流速計による断面流速の一昼夜観測が行われている。

Fig. 3-1 は布刈瀬戸において上げ潮最強流時に投入された潮流板の流跡を示したものであるが、瀬戸の南東方向にかなり大きく分散していることがわかる。これに対して、下げ潮時にはほぼ水路に沿って流れ、潮流の速い割には拡がり小さい (Fig. 3-2)。また、生口水路においては、とくに上げ潮の場合に南に著しく分散する傾向を示しているが (Fig. 4)、これは恐らく南側の他の水路

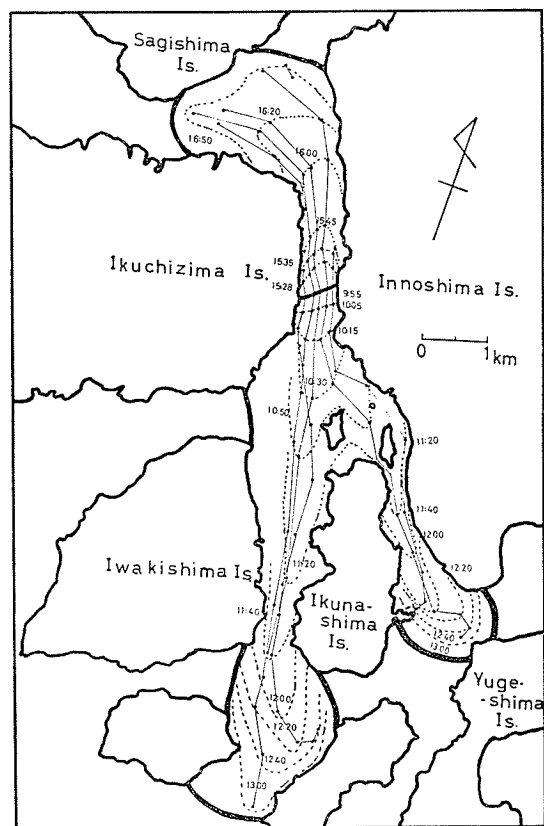


Fig. 4. Loci of current drogues released at the Ikuchi-Suiro, Nov. 15, 1974, 15:28-16:50 (ebb tide) and Nov. 16, 1974, 9:55-13:00 (flood tide). The bold lines show the division of tidal mixing area estimated by them.

瀬戸水域における海水の交流・交換について

から多量の海水が流入しているためと考えられる。一方、最も潮流の速い来島海峡西水道においては、上げ潮時、下げ潮時とも意外に潮流板が分散せず、とくに上げ潮時には四国の海岸線に沿って非常に細長く流動する傾向がみられる (Fig. 5)。

Fig. 3~Fig. 5 の中に太線で示した区画は、各水域における潮流板の3時間あるいは1時間半の流動範囲を表わしている。本来、潮汐混合による交換率を算定するためには、少なくとも半潮時の追跡資料にもとづいた流動範囲を知る必要があるが、このための資料が得られていないので、やむなく海水の混合が一定の割合で進行すると考え、次式により混合容積 ( $V$ ) を推定した。すなわち、最強流時から3時間の混合容積を  $V'$ 、1時間半の混合容積を  $V''$  とすれば、

$$V = 2V' = 2\sqrt{2}V'' \quad (13)$$

また、各水域の半潮時間の交流量 ( $V_0$ ) については、

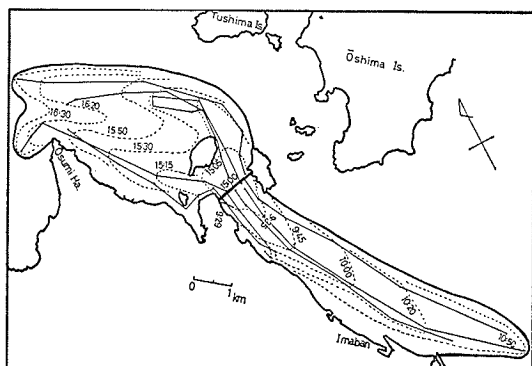


Fig. 5. Loci of current drogues released at the Kurushima Strait, Nov. 30, 1974, 15:00-16:30 (ebb tide), and Dec. 1, 1974, 9:29-10:50 (flood tide). The bold lines show the division of tidal mixing area estimated by them.

布刈瀬戸・生口水路の場合は断面流量の実測結果を用い、また、来島海峡西水道の場合は海峡部の最強流時における潮流板の漂流速度 (2.78 m/sec) から推算した。

これらの推定値は、海水の交換率 ( $r$ ) 及び交換量 ( $rV_0$ ) とともに Table 2 に示したが、それぞれ各水域の上げ潮時及び下げ潮時における海水の交流・交換の特性をよく反映していると思われる。

交流量は Table 1 に示した各水域の概算流量の値とほぼ同様の傾向を示し、来島海峡西水道において最も多く、布刈瀬戸の 1.5~2 倍の値が得られた。また生口水路は布刈瀬戸よりさらに1桁小さい値を示した。

しかし、交換率 ( $r$ ) においては来島海峡西水道よりむしろ布刈瀬戸・生口水路の方に大きな値が得られた。とくに上げ潮時にはその傾向が著しく、前者が  $r=0.07$  と非常に小さいのに対して、後者はそれぞれ  $r=0.50, 0.77$  と10倍程度の値を示した。これらは来島海峡西水道において海水混合の状況が大きく異なることを示唆していると思われる。

したがって、実質的な物質輸送に寄与すると考えられる交換量は、布刈瀬戸の上げ潮時に最も多く、来島海峡西水道の上げ潮時における交換量より1桁大きな値を示した。また、布刈瀬戸・生口水路においては上げ潮時、来島海峡西水道においては下げ潮時に交換量が多くなる傾向がみられた。

以上の結果から、安芸灘と備後灘・燧灘間の海水交換の過程について考えてみると、先に述べたように、両水域を往き来する海水の量(交流量)は来島海峡において最も多くなっているものの、交換量はむしろ布刈瀬戸において大きい値を示す場合があり、これらはとくに安芸灘から備後灘にかけての物質の輸送・分布に大きな影響を及ぼしていると思われる。また、来島海峡西水道における交換量が燧灘側で著しく少ないことから、この水道を

Table 2. Estimated volume of tidal transport and tidal exchange of sea water.

		$V(\times 10^9 \text{m}^3)$	$V_0(\times 10^8 \text{m}^3)$	$r$	$rV_0(\times 10^8 \text{m}^3)$
Mekari-Seto	flood	13.17	6.60	0.50	3.30
	ebb	6.36	5.09	0.20	1.02
Ikuchi-Suiro	flood	3.02	0.68	0.77	0.52
	ebb	1.16	0.65	0.44	0.29
Kurushima Strait (Nishi-Suido)	flood	10.66	9.93	0.07	0.70
	ebb	13.44	9.93	0.26	2.58
Total	flood	26.85	17.21	0.36	6.20
	ebb	20.96	15.67	0.26	3.92

$V$ : Volume of tidal mixing area

$r$ : ratio of tidal exchange

$V_0$ : Volume of tidal transport

$rV_0$ : Volume of tidal exchange

Table 3. Estimated value of horizontal diffusion coefficient ( $K$ ).

		$K(\times 10^7 \text{cm}^2/\text{sec})$
Mekari-Seto	flood	5.08
	ebb	1.21
Ikuchi-Suiro	flood	1.78
	ebb	0.93
Kurushima Strait (Nishi-Suido)	flood	1.51
	ebb	5.62

通じての安芸灘・燧灘間の海水混合が意外に小さいことが推測される。なお、Table 2 にも示したが、これら三つの水域を通じての海水交換率は全体として、上げ潮時に 0.36、下げ潮時に 0.25 であった。

一般に、潮流による海水混合は潮汐スケールの渦の拡散効果として考えられている。すなわち、潮流に平行な方向の拡散係数を  $K$ 、海水の交換率を  $r$ 、潮流の平均流速を  $\bar{U}$ 、最大移動距離を  $L$  とすれば、次のような関係が成り立つといわれている<sup>23)</sup>。

$$K = \frac{1}{2} r \bar{U} L \quad (14)$$

ここで、瀬戸の断面積を  $A$ 、流量を  $V_0$ 、潮汐の半周期を  $T$  とすれば、(14) 式はこれらを用いてさらに、

$$K = \frac{r V_0^2}{2 A^2 T} \quad (15)$$

と表わすことができる。

これに Table 1, Table 2 の値を代入して、それぞれの水域における拡散係数 ( $K$ ) を算出してみると、Table 2 に示したように  $K$  の値として  $0.9 \sim 5.6 \times 10^7 \text{cm}^2/\text{sec}$  が得られた。これらは、先に述べた宇野木らの推定値  $10^7 \text{cm}^2/\text{sec}$  とほぼ同程度あるいはそれ以上の値となっており、瀬戸内海における物質の拡散過程が潮流による海水混合の過程と密接に関連していることを示していると思われる。また、拡散係数の値が地域的に多少異なっており、布刈瀬戸の上げ潮時、来島海峡の下げ潮時など海水の交換量が多い場合に大きな値を示す傾向がみられた。

#### 4. 物質分布との関連について

前項で各水域において得られた海水の交換率の具体的な内容や妥当性については今後さらに吟味する必要があると思われるが、ここではその第一段階として、瀬戸水域に流出する汚染物質の平均的な分布と交換率との関連について若干の考察を試みた。

浚渫・埋立て工事等に伴ない瀬戸の中央部を流出源と

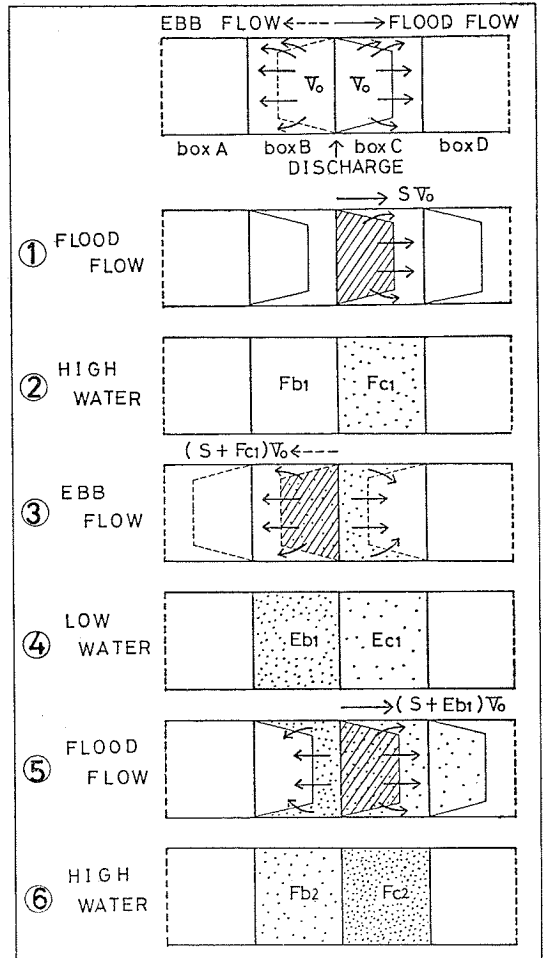


Fig. 6. Box model of tidal mixing applied to estimation of average concentration of materials discharged continuously into the Strait.

して汚染物質（たとえば微細砂泥など）が定常的に流出するような場合、それらは速い潮流によって周辺の海域に分散されながらも次第に瀬戸近辺に滞留し、ある一定の平均濃度に達すると考えられる。この過程を簡単なボックスモデルを用いて検討してみた。すなわち、Fig. 6 に示したように瀬戸(流出源)の両側に、それぞれ混合容積  $V_0$ 、 $V_0$  に相当する二つのボックス B, C を設け、さらにそれらの外側に容積が非常に大きくて流出物質の濃度がほとんど零または無視できる程度に保たれるようなボックス A, D (たとえば灘水域) を想定した。

半潮時の流量を  $V_0$  とし、流出源から単位流量あたり  $S$  の物質が流出する場合、Fig. 6 に示したように、潮時に対応した状況を順次 ①～⑥ に分けて記述すると、

① (上げ潮時): 流出物質  $SV_0$  を含む海水がボックス C に入る。

② (満潮時): ボックス C 内で均一に混合される。このとき、ボックス B 及び C 内の平均濃度をそれぞれ  $F_{b1}$ ,  $F_{c1}$  とすれば、

$$F_{b1}=0, F_{c1}=\frac{SV_0}{V_c} \quad (16)$$

と考えられる。

③ (下げ潮時): 流出源から供給される量 ( $SV_0$ ) とボックス C において交換されずに戻ってくる量 ( $F_{c1} V_0$ ) とを含む海水がボックス B 内に入る。

④ (干潮時): ボックス B 内で均一に混合される。一方、ボックス C に取り残された量  $F_{c1}(V_c - V_0)$  はボックス D から流入する海水によって稀釈される。このとき、ボックス B 及び C 内の平均濃度をそれぞれ  $E_{b1}$ ,  $E_{c1}$  とすれば、

$$E_{b1}=\frac{(S+F_{c1})V_0}{V_b}, E_{c1}=\frac{F_{c1}(V_c-V_0)}{V_c} \quad (17)$$

になると考えられる。

このようにして、以下 ⑤, ⑥ についても同様に各ボックスにおける海水混合の状況から、各ボックス内の平均濃度を算定することができる。

ここで、ボックス B, C における海水交換率をそれぞれ  $r_b, r_c$  とすれば、これらは (12) 式により、

$$r_b=\frac{V_b-V_0}{V_b}, r_c=\frac{V_c-V_0}{V_c} \quad (18)$$

と表わすことができる。したがって、一般に、ボックス B 及び C における  $n$  回目の満潮時の平均濃度をそれぞれ  $F_{bn}, F_{cn}$ , 干潮時の平均濃度を  $E_{bn}, E_{cn}$  とすれば、これらは  $r_b, r_c$  を用いて次のように表わされる。

$$\left. \begin{aligned} F_{bn} &= E_{bn} \cdot r_b \\ F_{cn} &= E_{c(n-1)} \cdot r_c + (E_{b(n-1)} + S)(1 - r_c) \\ E_{bn} &= F_{bn} \cdot r_b + (F_{cn} + S)(1 - r_b) \\ E_{cn} &= F_{cn} \cdot r_c \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

Fig. 6 からわかるように、ボックス B, C 内の流出物質の平均濃度は時間の経過とともに次第に増加してゆくとと思われるが、流出源からの供給量と海水交換によって両端のボックス A, D に失われていく量とが等しくなる時、ほぼ一定の値に到達すると考えられる。この一定値をボックス B 及び C においてそれぞれ、満潮時に  $F_b, F_c$ , 干潮時に  $E_b, E_c$  とすれば、(19) 式より次のような関係式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} F_b &= E_b \cdot r_b, F_c = \frac{(2+r_b) \cdot S}{(1+r_b)(1+r_c)-1} \\ E_b &= \frac{(2+r_c) \cdot S}{(1+r_b)(1+r_c)-1}, E_c = F_c \cdot r_c \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

但し、(20) 式において  $S$  は単位流量あたりの流出量 (濃度)、すなわち、半潮時間の流出量を  $Q$  とすれば、

$$S = \frac{Q}{V_0} \quad (21)$$

である。

Fig. 7 は (20) 式における  $F_c$  及び  $E_b$ , すなわち満潮時におけるボックス C 内の平均濃度及び干潮時におけるボックス B 内の平均濃度とボックス B, C における海水交換率  $r_b, r_c$  との関係を示したものである。図中の数字はボックス内の平均濃度の  $S$  に対する倍率を意味しており、各ボックスにおける流出物質の蓄積の割合を示すと考えられる。そこで、布刈瀬戸・生口水路・来島海峡の場合について、それぞれの平均濃度を算定してみると図にも示したが、来島海峡西水道において  $S$  に対する倍率が最も高く、平均濃度は  $S$  の 6~7 倍に達するものと思われる。また、布刈瀬戸・生口水路においても  $S$  の 2

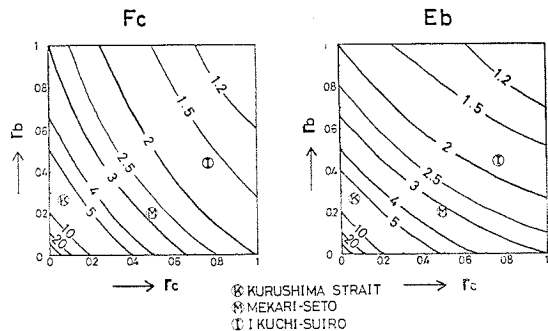


Fig. 7. Relation between the rates of tidal exchange ( $r_b, r_c$ ) and estimated concentration of materials discharged.

Table 4. Ratio of the flux and average concentration of materials discharged in Mekari-Seto and Kurushima Strait to the value in Ikuchi-Suiro.

	Flux	$S$	$E$
Mekari-Seto	8.5	0.12	0.21
Ikuchi-Suiro	1	1	1
Kurushima Strait (Nishi-Suido)	16.1	0.06	0.25

$S$ : (Amount of materials discharged)/Flux

$E$ : Average concentration at low water

～3 倍の濃度を示すことが推測された。

さらに、Table 4 は各水域における流量 ( $V$ )、単位流量あたりの流出量 ( $S$ )、および流出物質の干潮時における平均濃度 ( $E$ ) をそれぞれ生口水路に対する比率として表わしたものであるが、流量が非常に多い割には布刈瀬戸・来島海峡において平均濃度が高い値を示していることがわかる。また、生口水路においては、海水の交換率として上げ潮時に 0.77、下げ潮時に 0.44 と大きな値が得られたものの、流量が非常に少ないため、平均濃度は依然として他の二つの水域の倍を示すことにも注意する必要がある。

したがって、瀬戸水域において流出する汚染物質の分布を予測するにあたっては、瀬戸の潮流によるみかけの運搬力とあわせて、その水域の海水交換の特性についても十分に考慮する必要があると思われる。

## 5. 要約と今後の問題点

以上、安芸灘と備後灘・燧灘とを結ぶ三つの水域において、海水の交流・交換の特性について検討した結果、次のことが明らかになった。

(1) 安芸灘と備後灘・燧灘間の海水の流量は、来島海峡において最も多く、西水道の流量は布刈瀬戸の 2 倍、生口水路の 16 倍に相当する。

(2) 潮流板の流動範囲と瀬戸の断面流量から推定した海水交換率 ( $r$ ) は、来島海峡西水道よりむしろ布刈瀬戸・生口水路の方に大きい値が得られた。とくに上げ潮時にはその傾向が著しく、前者が  $r=0.07$  と非常に小さいのに対して、後者はそれぞれ  $r=0.50, 0.77$  と 10 倍程度の値を示しており、両水域における海水混合の状況がかなり異なることが推測される。

(3) 実質的な物質輸送に寄与すると思われる海水交換量は、上げ潮時には流量の最も多い来島海峡西水道より布刈瀬戸において大きい値を示しており、これらは特に安芸灘から備後灘にかけての物質の輸送・分布に大きな影響を及ぼしていると思われる。また、来島海峡西水道における交換量が燧灘側で著しく少ないことから、この水道を通じての安芸灘・燧灘間の海水混合は意外に小さいことが推測される。

(4) 海水交換率と流量から潮汐混合による拡散係数を推定してみると、 $0.9 \sim 5.6 \times 10^7 \text{ cm}^2/\text{sec}$  となり、交換量が多い場合に大きな値を示す傾向がみられた。

(5) 瀬戸水域に流出する汚染物質の平均濃度を海水交換率から算定した結果、単位流量あたりの流出量（濃度）に対して、来島海峡西水道において 6～7 倍、布刈

瀬戸・生口水路において 2～3 倍の値が得られた。

なお、今後に残された問題点について考えてみると、

(1) 瀬戸水域は潮流による水域内の混合が非常に激しいにもかかわらず、周辺海域との海水交換の大きさなど各水域によって著しい違いがみられた。これらは、瀬戸の地形的な特性あるいは水平的・鉛直的な流動構造の違いによると思われるが、杉本ら<sup>9)</sup> は水理模型実験の結果から、海峡付近における環流の存在が潮汐混合に大きな役割を果たすことを示唆しており、これらは海水の交換を支配する要因としてとくに注目する必要がある。したがって、今後、瀬戸水域及び周辺域の流動構造を現地における観測によって明らかにし、ここで得られた海水交換率との対応関係について検討を試みる必要がある。

(2) ここでは主に 1974 年 11 月、12 月の潮流板追跡調査の結果を用いて、海水の流量・交換量の推定を試みたが、これらは季節的にも変動していることが考えられる。したがって、瀬戸内海における海水流動の季節的な特性、とくに冬季北西風の影響などについて明らかにしておく必要があると思われる。

(3) 海水交換率の妥当性を知るためには、安芸灘から備後灘・燧灘にかけての水温・塩分等の分布状況との関連を調べる必要がある。これらは、安芸灘と備後灘・燧灘とを結ぶ他の水路における海水交換率の推定とあわせて今後に残された重要な課題のひとつと考えられる。

## 文 献

- 1) 千田哲資 (1966) 瀬戸内海におけるサヨリの産卵 II, 流れ藻に産みつけられた卵の漂流経路と運命. 日本生態学会誌, 16, 171-175.
- 2) 速水頌一郎, 福尾義昭, 依田大介 (1956) 明石海峡による播磨灘と大阪湾との海水交流について. 第 3 回海岸工学講演会論文集, 土木学会, 49-53.
- 3) 川村雅彦, 清水浩輔, 小山治行, 中嶋秀夫, 前川力 (1975) 豊後水道の海況と拡散係数. 海と空, 50, 43-58.
- 4) 宇野木早苗 (1972) 瀬戸内海の海水交流. 沿岸海洋研究ノート, 9, 5-14.
- 5) 本州四国連絡架橋漁業影響調査委員会 (1975) 本州四国連絡架橋漁業影響調査報告, 第 7 号, 1-283.
- 6) 海上保安庁 (1966) 三原瀬戸及付近潮流図, 海図第 6206 号.
- 7) 海上保安庁 (1964) 来島海峡潮流図, 海図第 6207 号.
- 8) 平野敏行, 上原 進 (1970) 伊勢湾, 三河湾, 駿河湾および東京湾における海水の交流・交換について—序報. JIBP-PM, 44 年度報告, 109-112.
- 9) 杉本隆成, 樋口明生 (1971) 瀬戸内海における潮汐混合の実験的研究 (I) 序報. 京大防災研年報, 第 14 号 B, 435-450.