

1. はじめに Estuary (感潮河川) 内での物質輸送の解析について、著者は先に断面変化の著しい吉井川、巴川等の河川の横断面での25時間連続観測資料を基に解析を行い、断面変化による効果、及び Fischer²⁾ から明らかにした速度シアの効果について、その寄与の大きさについて議論した。そして特にシア効果を鉛直成分と水平成分に分け、それらから縦断方向分散係数についてその大きさを論じ、その結果を得た。その後著者は、物質輸送に寄与する各成分の計算法についてさらに吟味し、一部の成分について前報¹⁾を修正する結果を得たのでここに報告する。

2. 使用データ 吉井川 & 巴川は、Table 1 に示す規模を持つ河川である。河床勾配は極めて緩やかで、潮差と平均水深の比は、両河川とも 0.5~1.0 という大きな値を示す。測定断面数は吉井川、巴川を各々3断面と2断面、各断面での測線は5本~4本である。測定水深は吉井川で 1.0 m 間隔、巴川で 0.5 m 間隔、各々表層から測定し、塩分、流速を1時間毎同時に25時間連続観測したものである¹⁾。なお巴川については新しい資料を追加した。

Station (Location)	B(m)	h(m)	Q_s (m^3/s)	H(m)	$\bar{u}$ (cm/s)	H/h	$\bar{A}$ (m^2)	A_s (m^2)
Yoshii River, Okayama								
Sec 1	550	2.6	40	1.6	3.5	0.6	1610	869
Sec 3	460	3.7	40	1.6	4.3	0.4	1494	786
Sec 5	400	2.5	40	1.6	4.1	0.6	1015	628
Tomoe River, Shimizu								
Hagoromo Bridge	60	2.0	5	1.8	2	0.9	184.5	83
Chigō Bridge	30	1.7	5	1.7	6	1.0	42.4	42

Table 2 Salt flux in Yoshii River and Tomoe River Calculated using Equation (4)

Station	Date	$\bar{F}$	$Q_s \bar{S}_A$	$\bar{A} \bar{S}_A \bar{u}_A$	$\bar{A} \bar{u}_A \bar{S}_A$	$\bar{A} \bar{u}_A \bar{S}_A$	$\bar{A} (\bar{u}_A \bar{S}_A)_A$
Yoshii River	16-17 Sept. 1974						($\% m^3/s$)
Sec 1		169.53	1477.23	12.64	-147.25	-11.63	-1161.46
Sec 3		336.70	1193.00	9.73	-52.43	3.93	-817.33
Sec 5		179.89	691.95	0.69	57.16	-3.91	-566.01
Yoshii River	23 Sept. 1974						
Sec 1		-71.09	473.69	-3.95	51.41	23.48	-615.72
Sec 3		-131.87	613.77	1.69	17.03	4.24	-768.59
Sec 5		334.43	652.70	2.13	61.42	9.80	-391.61
Tomoe River							
Hagoromo Bridge	18-19 Aug. 1972	7.98	41.43	0.29	-1.01	-0.22	-26.80
Chigo Bridge	13-14 Nov. 1970	8.09	13.89	2.56	1.85	0.13	-9.53

3. 解析方法の経緯 Bowden による理論的に明らかにされた海の拡散現象における速度シアの果す役割は、その後、観測資料を解析することにより、その裏付けを求める努力が Hansen, Fischer, Dyer により行われた。Fischer²⁾, Dyer³⁾ の解析は以下に示すように、シア効果を鉛直成分と水平成分に細分化して解析を行っている。流れ(U)、塩分(S)、河積(A)を、 $U = \bar{U}_A + U_A + u_d$, $S = \bar{S}_A + S_A + s_d$, $A = \bar{A} + A_s$ --- (1) と分解する。添字 A は断面平均、横棒は時間平均を表わす。また U_A, S_A は $U_A = U - \bar{U}_A$, $S_A = S - \bar{S}_A$ で定義され、 u_d, s_d は $u_d = U - U_A$, $s_d = S - S_A$ と断面平均値からの偏差として表わされ、これをさらに分解する。 $u_d = \bar{u}_d + u_{dt}$, $s_d = \bar{s}_d + s_{dt}$ --- (2) とし、 u_d, s_d 及び U_d, S_d を鉛直成分と水平成分に分解する。 $\bar{u}_d = \bar{u}_{dt} + \bar{u}_{dv}$, $\bar{s}_d = \bar{s}_{dt} + \bar{s}_{dv}$, $U_d = U_t + U_v$, $S_d = S_t + S_v$ --- (3), (3) 式の中で水平成分である u_{dt}, s_{dt} は、断面時間平均値 ($\bar{U}_A, \bar{S}_A$) と、各測線での水深平均した値 (U_h, S_h) の時間平均値 ($\bar{U}_h, \bar{S}_h$) との偏差である。また $\bar{u}_{dv}, \bar{s}_{dv}$ は $\bar{U}_h, \bar{S}_h$ と、各測線での時間平均値 ($\bar{U}, \bar{S}$) の偏差、すなわち $\bar{u}_{dv} = \bar{U} - \bar{U}_h$, $\bar{s}_{dv} = \bar{S} - \bar{S}_h$ である。

以上から Hansen, Fischer, Dyer の解析式は、下記のようになる。

$$\bar{F} = \underbrace{Q_s \bar{S}_A}_1 + \underbrace{\bar{A}_s \bar{S}_A \bar{u}_A}_2 + \underbrace{\bar{A}_s \bar{U}_A \bar{S}_A}_3 + \underbrace{\bar{A}_s \bar{U}_A \bar{S}_A}_4 + \underbrace{\bar{A}_s (\bar{u}_d \bar{s}_d)_A}_5 \quad \text{--- (4)}$$

$$\begin{aligned} \bar{F} = & \underbrace{Q_s \bar{S}_A}_1 + \underbrace{\bar{A}_s \bar{S}_A \bar{u}_A}_2 + \underbrace{\bar{A}_s \bar{U}_A \bar{S}_A}_3 + \underbrace{\bar{A}_s \bar{U}_A \bar{S}_A}_4 + \underbrace{\bar{A}_s (\bar{u}_{dt} \bar{s}_{dt})_A}_5 + \underbrace{\bar{A}_s (\bar{u}_{dv} \bar{s}_{dv})_A}_6 + \underbrace{\bar{A}_s (\bar{U}_t \bar{S}_t)_A}_7 + \underbrace{\bar{A}_s (\bar{U}_v \bar{S}_v)_A}_8 \\ & + \underbrace{\bar{A}_s (\bar{U}_t \bar{S}_t)_A}_9 + \underbrace{\bar{A}_s (\bar{U}_v \bar{S}_v)_A}_{10} \quad \text{--- (5)} \end{aligned}$$

なお、 $\bar{A}_s (\bar{u}_d \bar{s}_d)_A = (5)$ 式 term (5) + (6) + (7) + (8) と表し、 $\bar{A}_s (\bar{u}_d \bar{s}_d)_A$ も別に求める。

前報¹⁾では(4),(5)式について塩分輸送量を求め、各termについて検討したが、本報では(5)式の解析法を、より吟味し、前報の(4),(5)式の結果と(5)式での新しい解析結果について比較を行った。筆者らの研究の目的はFischer, Dyerらによって得られた(4)式(5)式の各項の相対的大まさを、日本の感潮河川、特に本報では潮位変化の大まかき若狭川、巴川について求めようである。

4. 解析方法及び計算方法 (4)式による計算では各成分は断面平均値より求められるため、測定の位置が固定されなくとも算出可能であった。その結果をTable 2に示す。しかし(5)式では1固定点について時間平均値が必要であり($\bar{u}_d, \bar{S}_d$)、測定を固定する必要がある。若狭川、巴川のような水位変化の著しい断面では鉛直方向の測定位置を正確に決定することは困難である。よって前報では(Table 3, Case 1)各測線で相対水深での値を求めた後、時間平均を行なった。しかしこの方法では、やはり測定の位置が各時間で変動する欠点があるため底面より測定間隔の1/2の間隔で各時間毎の値を算出し、その英での時間平均値を求めた。各成分(各term)は、各測定値の支配面積の比重を考慮しつつ算出し、特に $U_{dt}, S_{dt}, U_{du}, S_{du}$ については U_d を基に算出した。

(例) $U_{dt} = U_h - U_a \longrightarrow \frac{1}{h} \int_{h_a}^h (U_{dt} + U_{du}) / 2 \cdot dh$, $U_{du} = U - U_h \longrightarrow U_d - U_{dt}$.

5. 結果 以上の方法により求められた結果をTable 3, Case 2に示す。この結果をTable 2と、Table 3, Case 1とを比較すれば、(1)、平均塩分輸送量($\bar{F}$)は、各々の計算方法で全く異なっている。そこでTable 3 Case 2では、term 1からterm 10までの和と $\bar{F}$ とは大まか差を生じ、 $\bar{F}$ に寄与している各項の他に不足している項もある可能性を示している。(2)、断面平均値による結果(term 2, 4)はCase 1, 2とも多少の問題とならない。しかし3項は注目すべき量である。(3)、シア効果による項として5項から8項の中で、5, 6項の大まさは、Case 1では5項の水平循環流の効果が大きく出ているが、Case 2ではむしろ逆に6項の鉛直循環流の効果が大きく寄与している結果となった。また7, 8項は、各々、水平シア、鉛直シアに寄与している項であるが、この2つの項は全体の中でも大きく寄与し、特に8項の効果が大きく示されている。

6. 考察 以上の結果の相違を得た理由として、Case 1では相対水深での値を算出しているためと、その折に測定の支配面積の比重を考慮しなかった点と考えられる。Table 2の結果についてはこのような相違は露見することなく処理され、十分に注意を必要とする。断面変動の著しい横断面で測定を行う場合、測定の設定法に充分配慮すべし、底面を基準として測定間隔を決定する方がよいと思われる。また測定時の時間のズレ、流れによる測定水深の変動、測定の測定誤差、全所精度を充分考慮の上、解析精度を決定すべきである。今後、 $\bar{F}$ に寄与するtermの検討と、解析精度についてより一層吟味する方向である。

参考文献: 1) 上嶋, 藤原, 早川. 第22回 海岸工学講演会論文集 (1975)

2) Fischer H.B., J.F.M. 53 (1972)

3) Dyer, K.R. Est and C. M. J. 2 (1974)

Table 3 Salt flux in Yoshii River and Tomoe River Calculated using Equation(5)

	$\bar{F}$	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
Yoshii River (16-17 Sep. 1974)											
Sec 1(Case1)	122.9	1137.0	26.1	-177.3	5.5	259.8	56.5	26.5	-105.1	1.0	-0.7
(" 2)	-49.7	596.7	12.9	-150.0	7.2	7.5	-318.2	-45.2	-234.5	-3.5	-15.8
Sec 3(" 1)	1299.1	990.0	10.3	-40.5	2.4	321.0	54.6	-12.2	-30.7	1.8	1.9
(" 2)	282.7	492.4	8.1	-48.4	1.0	-23.2	-21.8	-98.9	-160.2	19.9	-7.8
Sec 5(" 1)	865.7	602.1	1.5	49.7	-2.6	194.9	12.2	15.1	-5.9	-1.6	0.3
(" 2)	138.3	345.3	-9.6	44.3	-3.8	-0.1	-102.2	-100.2	-104.7	17.3	-8.6
Tomoe River											
Hagoromo Bridge											
(18 Aug. 1972)(Case1)	39.0	33.2	0.4	-1.5	-0.2	7.3	2.2	-0.8	-1.6	0.1	-0.1
(" 2)	7.5	12.4	0.3	0.4	0.0	-1.3	0.4	-0.4	-9.0	0.0	0.0
(8-9 Dec. 1976)(" 2)	16.6	24.6	0.9	3.2	-0.2	-5.4	24.6	-22.1	-19.9	2.9	1.0
Chigo Bridge											
(13 Nov. 1970)(" 1)	24.4	13.6	2.5	3.2	0.0	2.6	2.3	0.3	0.1	0.1	0.0
(" 2)	8.7	8.1	1.7	1.1	0.3	0.0	1.5	-2.1	-3.2	0.8	-0.7
(8-9 Dec. 1976)(" 2)	4.9	4.5	0.2	0.3	-0.2	0.8	6.1	-4.5	-4.3	0.4	-0.5