

姉川人工河川による河口噴流実験

大阪電気通信大学 山本 淳之

(1) は し が き

湖水を涵養し、その水質や湖の堆積過程を一次的に規定する湖への河川流入は、水理学的に多様な形態を示す。その多様性は、個々の河川の流量規模や河口の幾何学的形状、河水・湖水間の水質差ならびに河口周辺の湖況等の差異に基づくもので、一河川についてもこれらの要素は時とともに大きく変動する。また、河口形状は堆積物の沈積や洗掘を通じて常に河口水理条件に応じた変形を受け、他方、沿岸流況も河川水の流入状況にかなり影響される。湖への河川流入は、このような相互作用をも内包する複雑な現象ではあるが、これを基本的に把握するための方途は、若干の代表的な河口形状と湖況について、河川流量と河水・湖水間の密度差の組合せに応じて流入河川水が示す噴流ないし密度流のパターンをできる限り系統的に調査することである。このような観点から、琵琶湖へ流入する若干の中小河川の河口観測を行なってきたが、幸い、滋賀県水産試験場の御好意を得て、河川流量と水温の調節可能な姉川人工河川装置を使用して河口噴流実験を行なうことができた。昭和49年度に均質な条件下で行なった噴流観測については既に報告した¹⁾。昭和50年度には、流入水温を系統的に変化させた場合と一部流量の変化を組合せた場合の噴流観測を実施したので、結果の概略を報告する。

(2) 装置と方法

姉川人工河川装置は、吸水能力 $0.15 \text{ m}^3/\text{s}$ のポンプ4台を備え、それぞれが水深5mまたは20m層の琵琶湖の水を吸水して人工河川水路へ供給できる。水路は円形水路から直線部分を経て河口に至る。²⁾

夏期には琵琶湖は明瞭な温度成層の状態にあり、盛夏には深さ10m付近に温度躍層があるので (Fig.1)、4台のポンプによって、上層(5m深)からの高温水の取水と下層(20m層)の低温水の取水を適宜組合わせて混合し放流すれば、合計5段階に河川水温を変化させることができる。さらに、ポンプの使用台数によって流量を調節できるので、水温・流量の組合わせにより都合14種類の流入条件を実現できる。昭和50年7月26日～31日の期間に、ポンプ4台による水温条件5種類(流量約 $0.6 \text{ m}^3/\text{s}$)とポンプ1台による低温水噴流1種類($0.15 \text{ m}^3/\text{s}$)の計6種の流入条件について1日ずつ観測を行なった。高温水をH、低温水をLと略記して、実験条件の内容を一括してTable.1に示す。

Table 1. List of conditions for the experiments of the river mouth jet.

EXPERIMENT NO.	date	water supply ^(*)	discharge (m^3/s)	River water		Lake water		density difference $\epsilon = \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1}$
				temperature t_R ($^{\circ}\text{C}$)	density (g/cm^3)	temperature t_L ($^{\circ}\text{C}$) ^(**)	density (g/cm^3)	
1	July 26, 1975	4H	0.6	21.5	0.99791	27.5	0.99640	1.5×10^{-3}
2	" 27, "	3H + 1L	"	20.5	0.99813	"	"	1.7×10^{-3}
3	" 28, "	2H + 2L	"	19.0	0.99843	"	"	2.0×10^{-3}
4	" 29, "	1H + 3L	"	17.1	0.99878	"	"	2.4×10^{-3}
5	" 30, "	4L	"	13.8	0.99930	"	"	2.9×10^{-3}
6	" 31, "	1L	0.15	15.4	0.99907	"	"	2.7×10^{-3}

Remarks (*) [H: supplying water of High temperature (ca. 28°C), pumped up from the upper layer in lake. L: supplying water of Low temperature (ca. 14°C), pumped up from the lower layer in lake.

(**) t_L is represented by the temperature of near-surface water in the offing, as seen in Fig. 1.

なお、人工河川河口沖20mまでの水底地形を Fig.2に示す。(人工河川は砂を供給しないが、河口周辺の漂砂を巻込んで河口部に特有の水中デルタが形成されている。)

噴流についての測定項目は、流向・流速、水温、電気伝導度で、水中デルタ上の浅所では電流速計CM-2型および電気水質計EST-3型を用いて観測員が水中に立って測定し、より沖側では錨と岸に立てた2本の杭からのロープとによって舟を碇置して、流向流速計CM-2S型および上記の水質計(いずれも東邦電探製)により測定した。また補助的にゴムボートをも利用した。

(3) 観測結果と若干の考察

噴流の中心軸に沿った縦断面について描いた流速と水温のプロファイルを、流入水温低下の順に Fig.3 ~ Fig.6に、また、低温で流量を減少させた場合を Fig.7(1L)に示す。これらの流速分布図において、河川水の噴出方向(南々東)を中心に $\pm 45^\circ$ 、すなわち東南東~南々西の範囲内の流向を示すものは、水温との照合によっても明らかなように噴流の主体を構成する河川水であるとみて、図中にハッチを施してある。Fig.3(3H+1L, 7月27日)においては、30m沖に至るまで噴流の中心軸は明らかに湖水表面にあり、流入時の運動量が大きいため、流入水が幾分高密度($\epsilon = 1.7 \times 10^{-3}$)である影響、すなわち、密度流的に湖面下に潜入するという現象はこの程度の距離範囲では現われていないことがわかる。流入水温を段々と低下させた場合、Fig.4(2H+2L, 7月28日)においては、噴流は下方へ拡がってその厚さを増す傾向を示し、さらに Fig.5(H+3L, 7月29日)においては18m付近から、また、Fig.6(4L, 7月30日)では15m付近から、一部の河水が底層へ潜入する様子がみられるが、いずれの場合も、流速からみた噴流の中心軸は表面付近にあり、顕著な潜入は見られない。しかしながら、水温によってこれをみると、Fig.4では20m付近から中心は0.5m深へ、Fig.5では18m付近から0.5m深へ、また、Fig.6では15m付近から0.5m深へ、さらに20m付近から1m深へと潜入する傾向がみられる。次に、流量を減じた場合の Fig.7(1L, 7月31日)においては、Fig.6とほぼ同じ密度差($\epsilon = 2.7 \times 10^{-3}$)ではあるが、河口噴流は急速に減衰して14m付近から主流全体が潜入して明瞭な底層密度流を形成する。

次に、このような噴流が平面的にはどのような形状を示すかをみるため、一例として、Fig.3に対応する7月27日(3H+1L)の表面層の流速ベクトル図を Fig.8として示すにとどめる。(中間層や底面上のベクトル図、他の条件下のベクトル図、水温の平面分布図、電気伝導度の分布図、諸要素の横断面図等は紙数の都合上全部割愛した。)この図において噴流の形状をある程度みることができ、岸に平行に右手に向う沿岸流の影響も加わって噴流の軸は幾分蛇行しているようであるが、この様子は、逆流領域の存在とともに、流速の流軸方向成分(u)の等値線の形状(Fig.9)により現われている。並岸方向の流速成分(v)の分布を Fig.10に示すが、等値線の形は中心軸にほぼ対称であるといえ、10m沖以遠には明らかに沿岸流の影響がみられる。

ここで、湖況の反映としての河口噴流・沿岸流の時間的変動の一例を河口沖に設置したベルゲン型流向流速計の記録から拾ってみよう。Fig.10は7月27日(3H+L:実線)と7月30日(4L:破線)の例であるが、10m沖・1.5m深(A図)でも30m沖・9m深(B図)でも、水温や流向流向流速は一日の内にかなり変動を示している。A図で、表面の噴流の冷水が時折通過するが、平均温度からみて1.5m深は噴流の中心から明らかに外れている。B図では、27日の11時半以後と80日の9時以前および11時半以後に冷水の流れが検知されているが、流向からみて80日18時半~17時半のものが河川水の潜流であろう。

河口噴流として流入した河川水がどのような拡がりを示すかについて、以上の結果を総合して、二三の例を採り模式的に示したのが Fig.11である。図の(A):(H+3L)から(B):(4L)へと密度差が増すとき、ようやく20m沖で主流が幾分潜入するが、(B)から一挙に流量を $\frac{1}{4}$ に減じた(C):(1L)の場合、主流は10m沖から底層密度流へ転移する様子を示している。(B),(C)の平面図で、実線は表面

の噴流河川水の存在領域を、破線は水面下におけるものを表わしている。

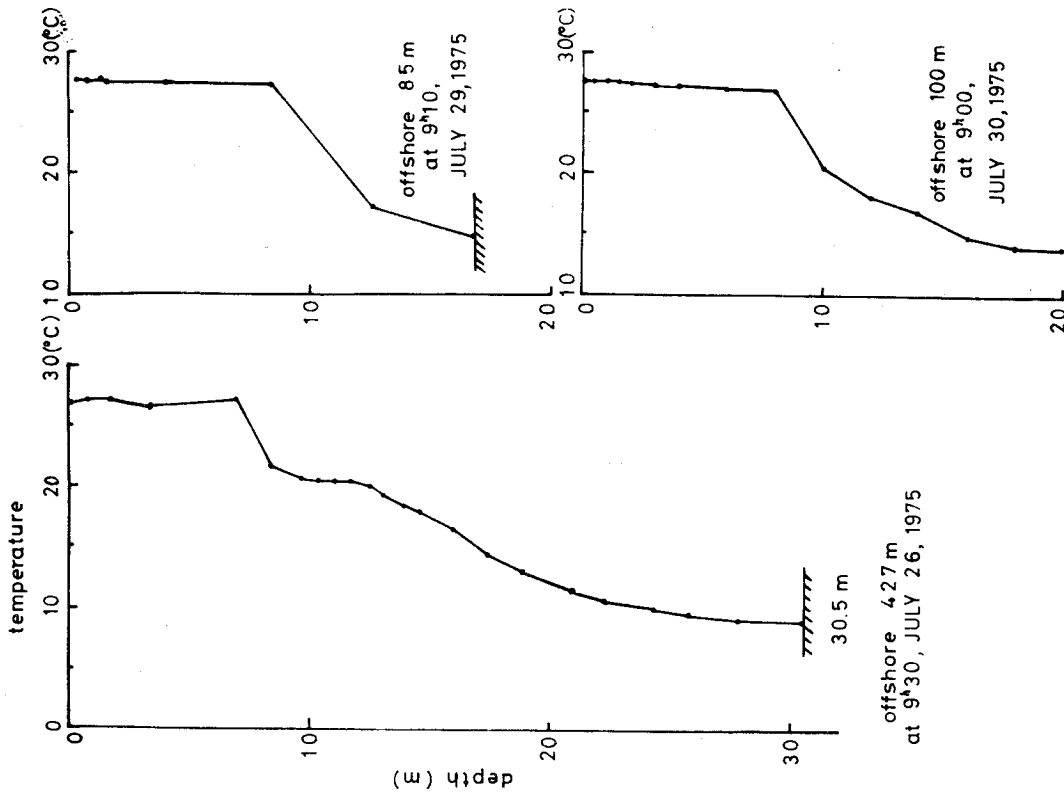
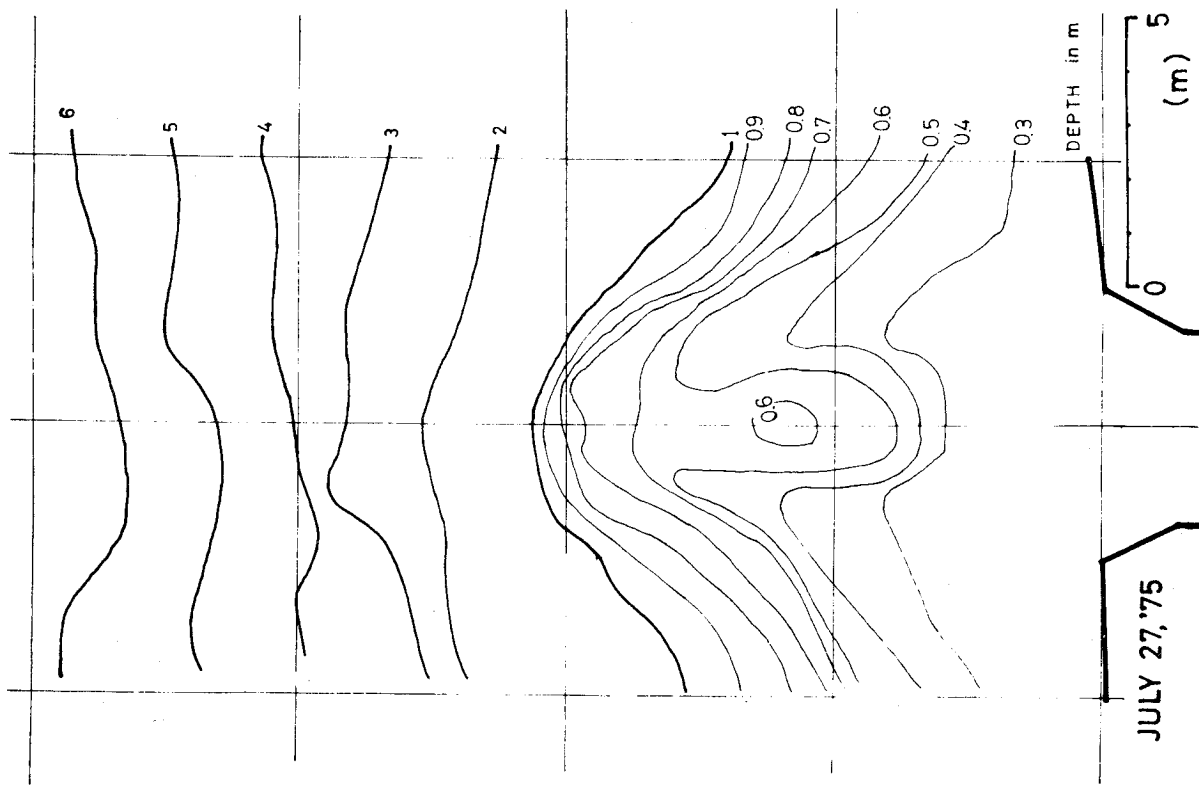
噴流軸上の流速の減衰について、Fig.12に7月27日の例を示したが、水中デルタよりも沖で中心流速が距離の $-\frac{4}{3}$ 乗に比例して減衰している。これについては、既に鶴川の河口噴流について得られた経験法則³⁾と全く一致している点が注目される。また、横断線上の流速分布は、正規確率紙の使用により、正規分布が最も良く適合することが見出されたが、同日の3m沖測線を一例としてFig.13に示す。なお、Fig.12、Fig.13からも明らかなように、このような河口噴流は単純な2次元噴流でも3次元円噴流でもないが、(Fig.13の鎖線と破線は両者の速度分布形状を表わす。)かりに、両者について確立された公式⁴⁾例えば、2次元噴流の $\varepsilon = 0.037b \frac{1}{2} u_0$ 。(ε : 渦動粘性係数、 $b \frac{1}{2}$: 噴流の半値半幅、 u_0 : 中心流速) および円噴流の $\varepsilon = 0.0161\sqrt{K}$ (K : 運動量/密度) によって渦動粘性係数を試算すると、いずれも $2 \sim 6 \times 10^2 \text{ cm}^2 / \text{s}$ 程度となる。しかし、この値が直ちに首肯できるわけではない。上記の中心流速の減衰や流速の横断分布についても今後十分な検討が必要と思われる。

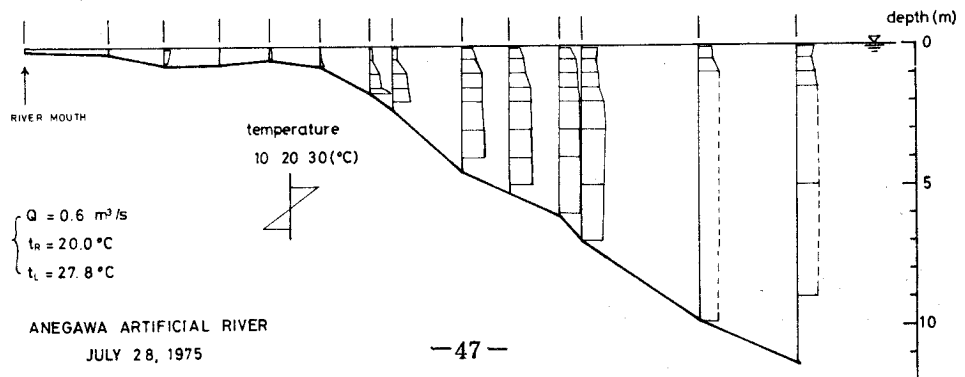
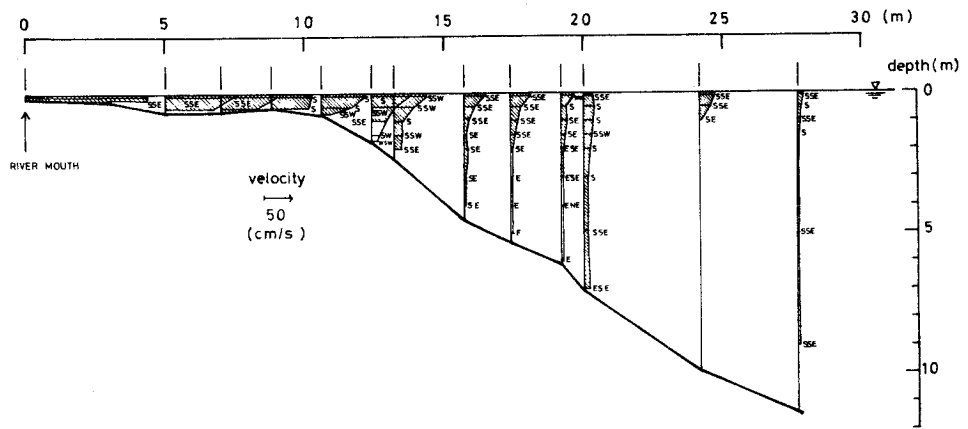
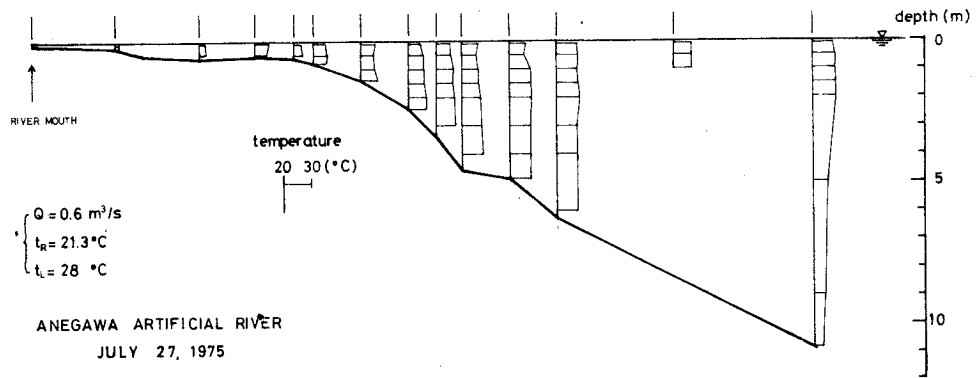
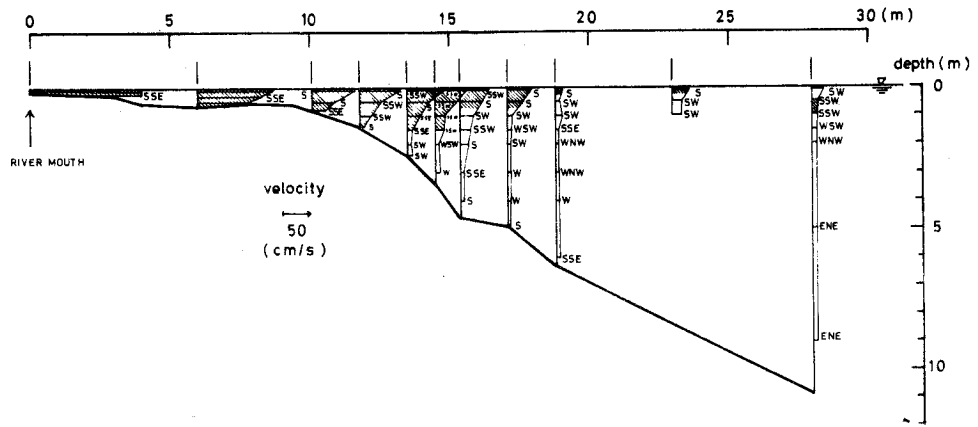
以上において、姉川人工河川装置によって数種類の条件下で河口噴流実験を行なった結果の概略を述べたが、温度条件が均質で流量を最大限に変化させた場合や水温と流量を組合せて変化させた場合はもとより、河口形状や沿岸流況の異なる場合等々、未着手の実験条件もまだ多く残されている。まず、水温と流量を系統的に変化させた場合を手始めに、噴流形状の変化や密度流発生条件の追究を目標として、今後も継続的に観測を実施する意向であるが、この装置は噴流研究にとって実質的な成果を与えてくれる多くの可能性を持っていると思われる。

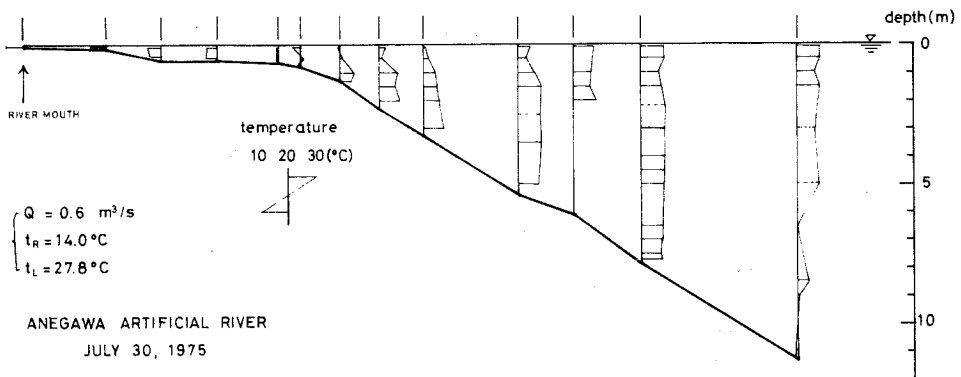
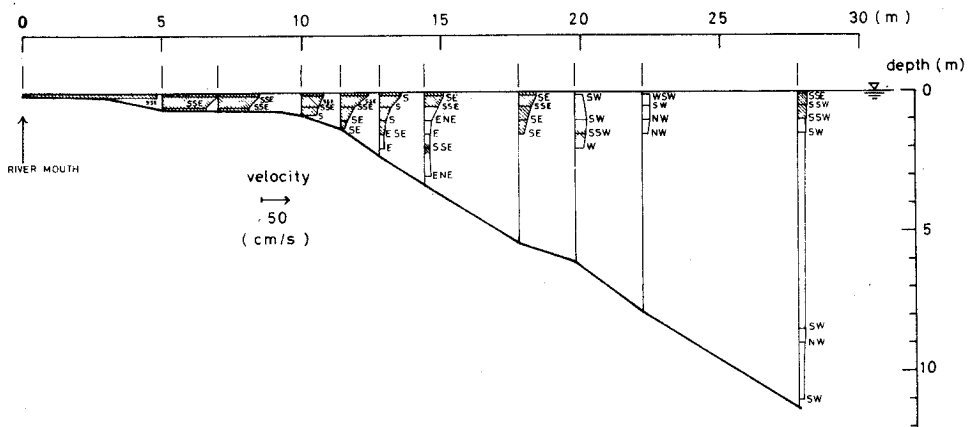
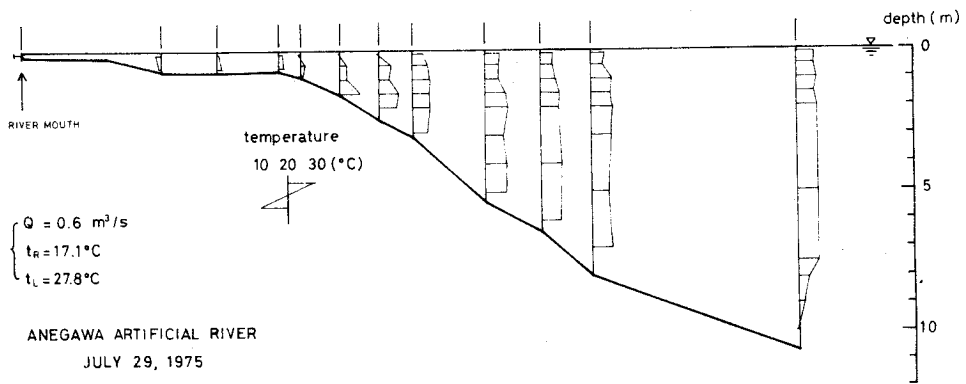
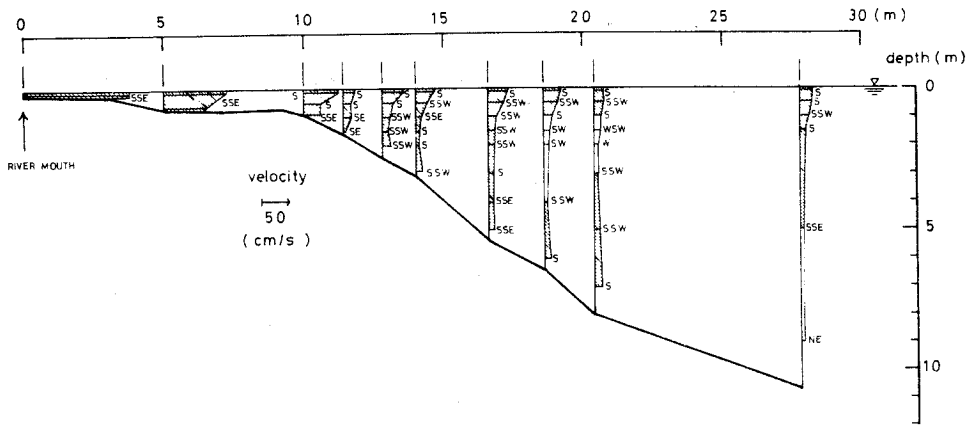
最後に、人工河川装置の使用を快諾され、多くの便宜を提供された滋賀県水産試験場の場長古川優氏はじめ場員の方々に深謝の意を表す。また、観測に際し都市科学研究所より多くの協力を得た。あわせて謝意を表す。なお、本研究は滋賀県琵琶湖問題研究機構(LBI)の研究費によるものである。

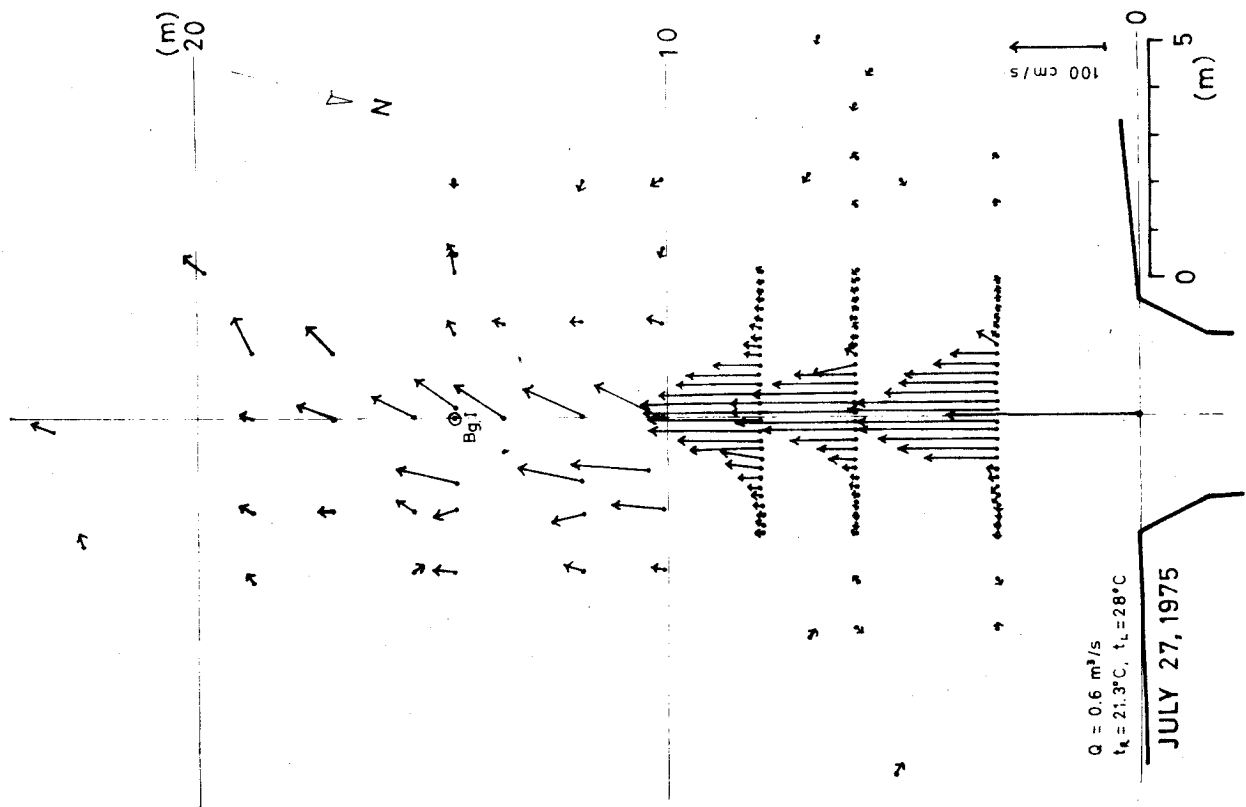
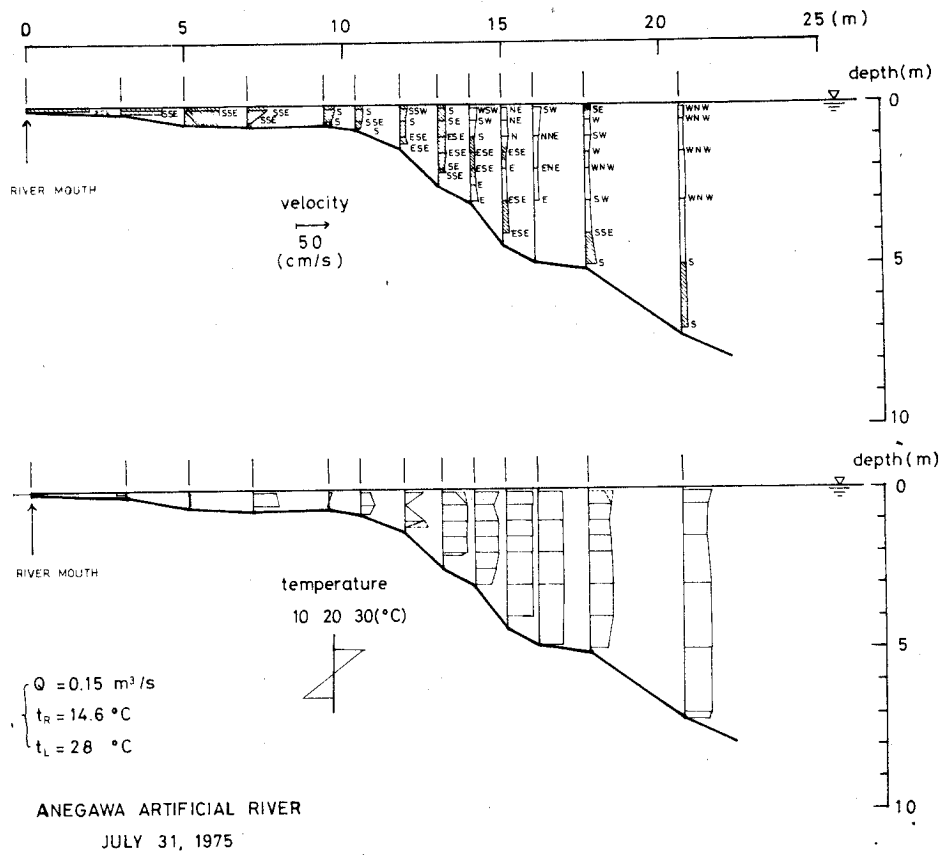
参 考 文 献

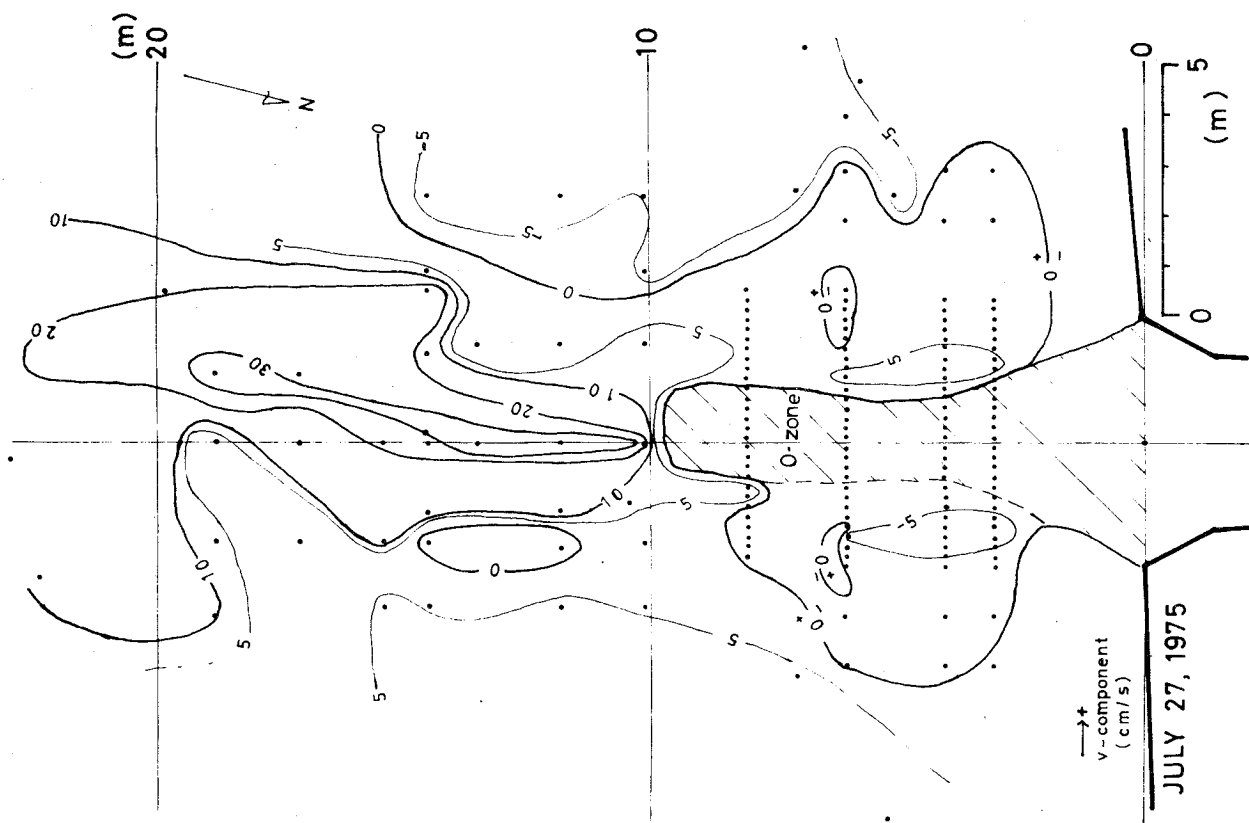
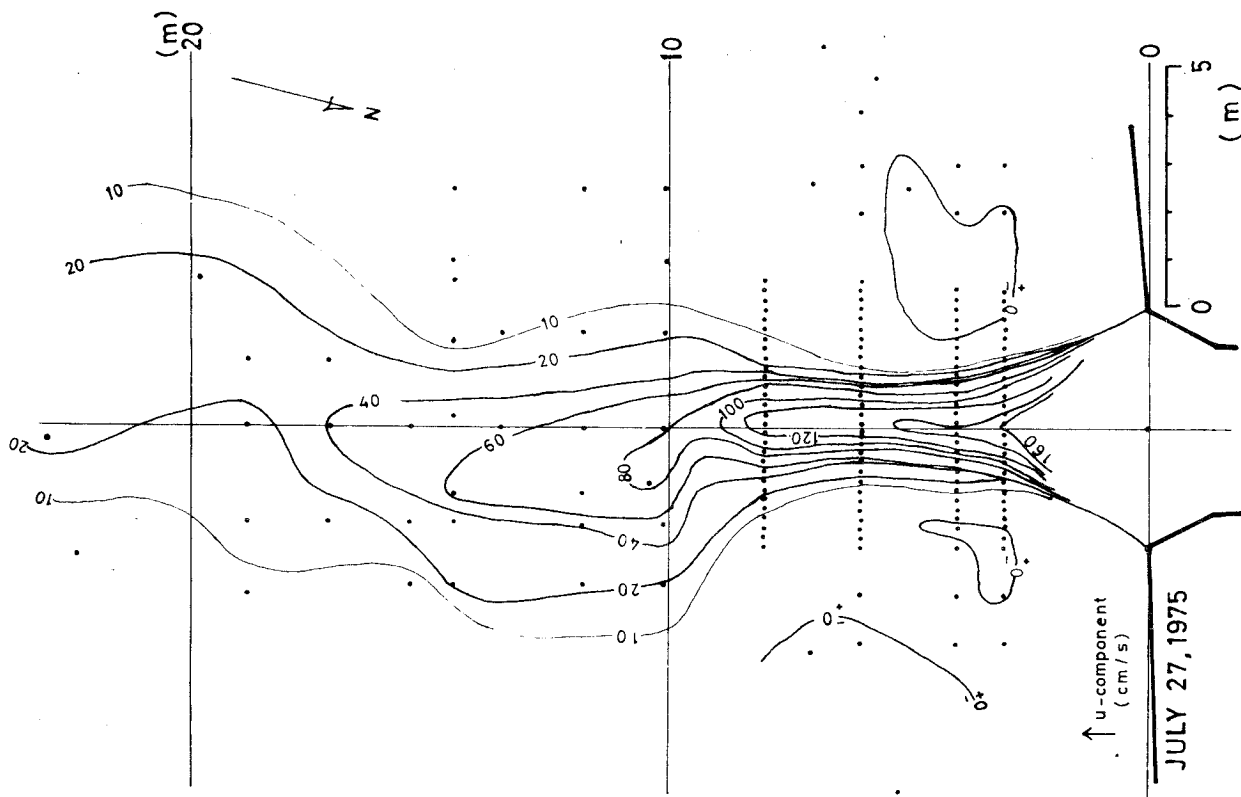
- (1) 山本淳之 : 琵琶湖における河口噴流の拡がり
昭和49年度LBI研究報告書「琵琶湖湖流の総合的観測」(奥田節夫編)
- (2) 滋賀県水産試験場(1973): 人工河川におけるアユ資源の増殖効果に関する調査報告書、滋賀県水産試験場研究報告, 25号。
- (3) 山本淳之、下村治、東原正治(1973) :
琵琶湖鶴川における河口deltaの研究
大阪電気通信大学研究論集(自然編)9号、P.207-234。
- (4) Schlichting, H.(1960) :
Boundary Layer Theory, 4th ed., transl. by
J.Kestin, (McGraw-Hill), p.607 - 608.

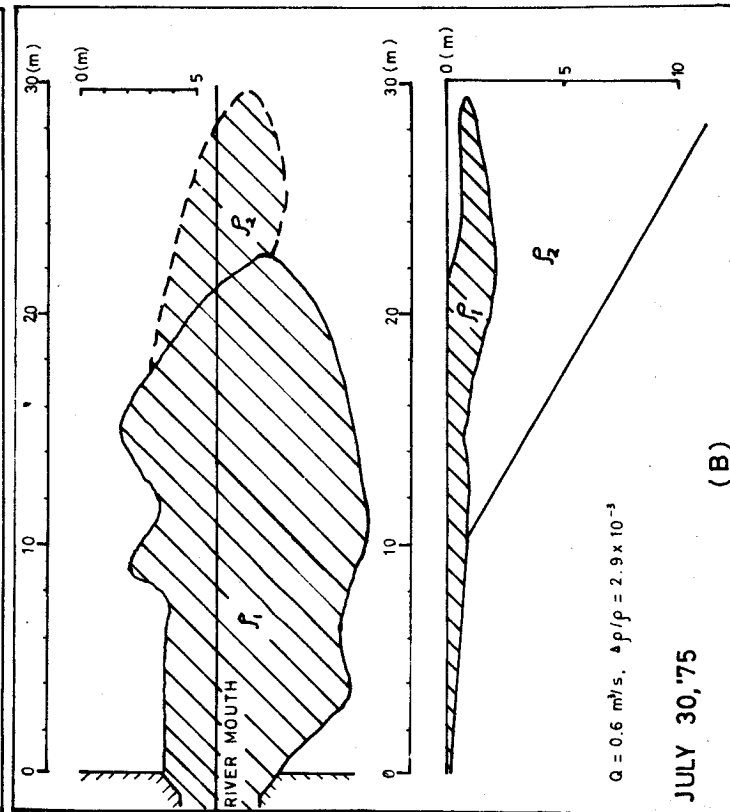
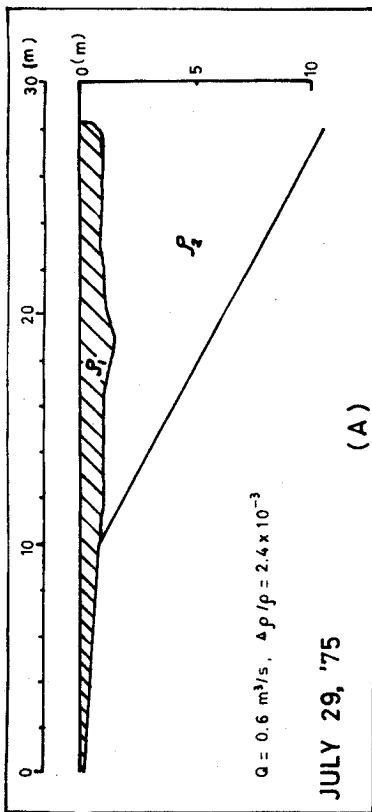












(A) 14 m off the mouth,
in the depth of 1.5 m

(B) 30 m off the mouth,
in the depth of 9 m

