

河 口 流 の 実 態

柏 村 正 和*・吉 田 静 男**

1. はじめに

この数年間、河口流の状況をいろいろな角度から追求してきた。基本的な性質は主として室内実験をもととし、その検証は石狩川河口の実測によって行なってきた。その中で、河口を出る際の表面流の flow pattern の種類とか、それらがどのような水理条件で発生するかという問題については、すでに数回にわたって述べたとおりかなり明確なものになった^{1)~9)}。昨年度からは水面下の流れの状況や、密度流としての流れ方の特徴について研究が始まられている。流心に沿って表面流が河口を出たところで一時加速されることが実験と実測とから検証され、これが密度流としての一つの特徴であることを述べた¹⁰⁾。これに対して河口での横断方向の流れの特徴を調べようとするのが本論文の主旨である。前年度の実験にも現われ一部はすでに述べたとおり、流心部で表層流が加速されることのほかに、河口の両端部でも加速され、しかもその流速値は流心部の値を凌駕する場合さえあった。このことはその後の石狩川での実測でも認められたので、これについてくわしく紹介したい。さらに過去の他の河川での実測にもこれと類似の結果があったことに気付いたのであわせて述べたい。そのほか、以上の現象を検証するために始めた室内実験の第一段階で得られた定性的な結果についても記述したい。

2. 石狩川河口の流速分布

表面流の各種 pattern ごとに実験によって得られた流速の状況を示したのが図-1~図-3である。流速値の等しい線をもって平面的分布を示してある。これらの図の右の縦線は河口の流心線を示しており、したがって流れの左半分の流速分布を示したものである。昨年すでに指摘したように流心に沿って河口付近で表面流が一時的に加速されていることが認められるが、同時に左のかどの部分でもやはり加速されていることがわかる。しかも A型、B型の流れでは流心部の最大流速値よりも大きい値が出ている。しかし C型では流心部の方が速度が大きい。これらの状況から河口の流れが密度流的であるほど、河口両端における流速の一時加速現象が顕著であると推察される。この実験では水槽の規模が小さいためにまだはっきりしていないが、河口での淡水厚分布の状況が表面流の一時加速現象にかなり関連しているようである。しかし河口両端で加速される現象は密度差のない一種類の流体の場合でもそれがポテンシャル流であれば現われる。噴流では現れない。ただしポテンシャル流の場合は流心が加速される現象はもちろんない。このように密度流として行なった実験ではあるが、河口両端での加速現象は密度流の特性であるとは必ずしも断じ難く、あるいはポテンシャル流に類似した性質があつて現われ

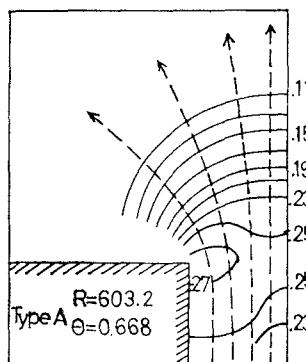


図-1 表面流の等流速線 A 型の場合
横の数値は流速値 (cm/s)

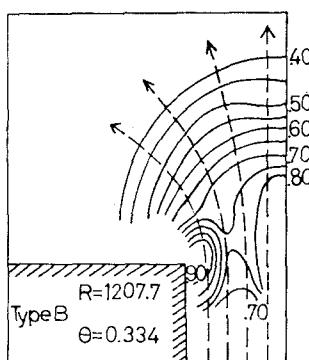


図-2 表面流の等流速線 B 型の場合

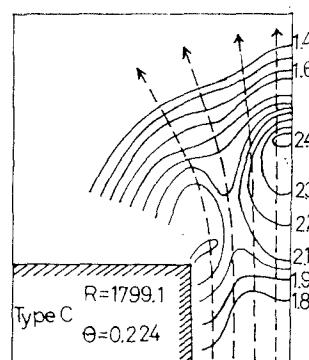


図-3 表面流の等流速線 C 型の場合

* 正会員 理博 北海道大学教授 工学部
** 北海道大学助手 工学部

るものかもしれない。

以上のような新しい実験事実を確かめるために石狩川で現地観測を行なった。河口の地形は図-4のとおりである。石狩川はななめに海へ流入しているので直角に出る場合とは若干条件が異なるが定性的な性質を知る程度ならこれでもよいであろう。右岸にはミオ筋安定化の目的で導流堤が年年延長されている。左岸は先端砂洲からなるか沖にまでびた海底の砂堆があり、その中間の比較的深い海域が航路となっている。

昭和44年8月2日に行なった実測の結果を図-5~図-9に示す。これらは水面から、0.5mごとの深さの流速、電気比抵抗、および水温の分布を示している。比抵抗は塩水濃度の状況を見るためのもので、値が

小さいほど濃度が高い。図-5の表面水の状況を見ると、航路筋に沿って淡水の主流がある。河口を出るにしたがって次第に塩分濃度をますが、それよりも左右両岸に向かっての塩分濃度増加が著しい。左岸の方向ではその傾向が極端で、左岸先端部付近では河口内にまで表層に海水が侵入している。例年には導流堤先端付近から表層が次第に放射状に広がっていくことが観測されているが、この図では測点が少なく明らかでない。水温は沿岸で高温なのが常であり、水温分布から直接淡水と海水の交流の状況を知るには多少不便ではあるが、やはり左岸先端から海水が河口内に入りこんでいることがうかがわれる。右岸導流堤基部の透過堤から右岸側の海水が川の中へ入りこんでいることもわかる。

以上の淡塩水の配置はごく常識的なものと考えられるが表層の流速については注目すべきものがある。すなわち河口内で横断方向に塩分がかなり違っているにもかか

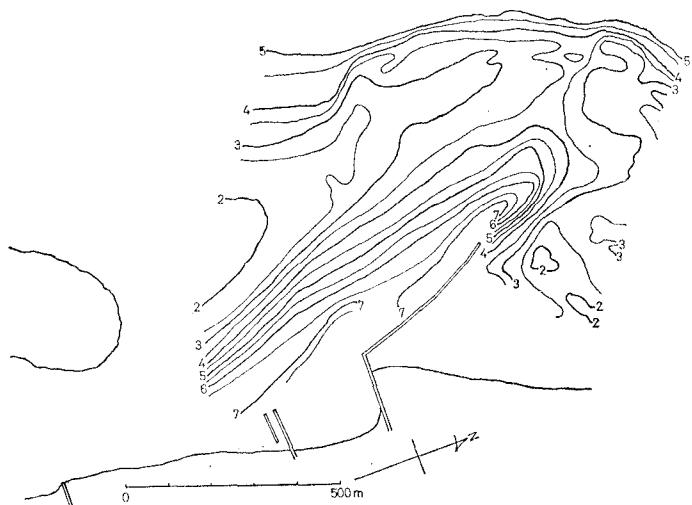


図-4 石狩川河口深浅図(昭和44年8月)

わらず、流速は両岸のごく近くを除いてはほぼ一様である。それが河口右岸の突堤および導流堤付近に達すると、淡水の主流部よりも左岸先端近くの塩水を多く含んだ部分の方が流速が大きい。このことはさきに述べた河口端における一時加速現象に相当するものであり、現地でも同様のことがおこっていることを知ることができる。念のため数年間の資料を調べてみると今まで見逃していたがやはり同様の現象が認められた。

流心主流の一時加速は、導流堤先端をすぎた、かなり沖で生じている。導流堤の延長工事が進行して年々加速点が沖へ移動しており、これは河口の実効的な位置が沖へ動いていることを示唆するものである。

図-6は0.5mの深度における分布である。傾向は表面とほぼ同じであるが、左岸先端部はすでにまったく海水に浸されている。注意すべきことは、左岸先端で表面

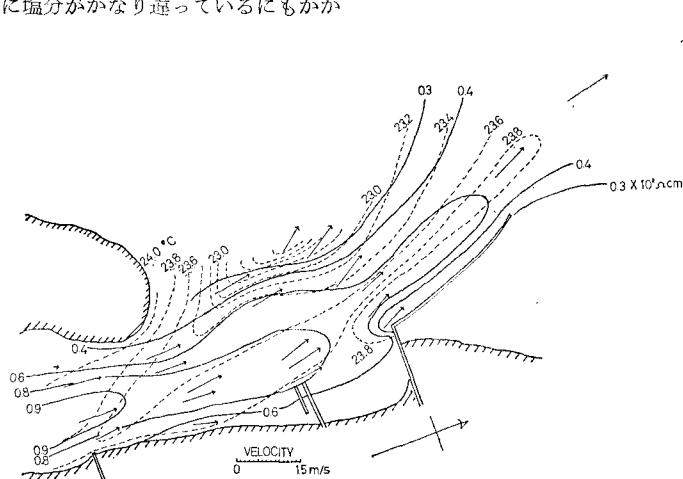


図-5 石狩川河口表面流速、水温(点線)、電気比抵抗(実線)分布

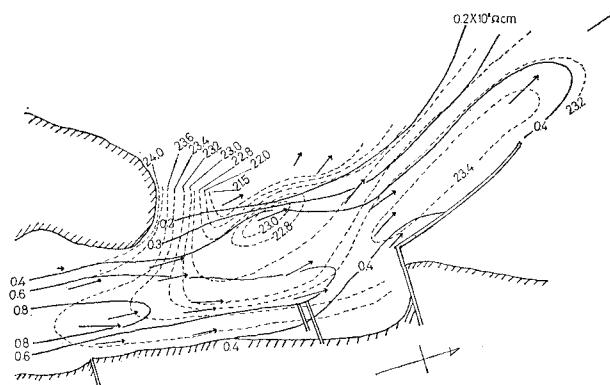


図-6 深度 0.5m の分布

流に見られた一時加速現象はこの深度ではもう見られず、流速の最大値は淡水主流に移っていることである。左岸側は淡水層がうすく、したがって左岸沿いに流下してきた淡水は下層の海水にいちはやく押し上げられ表層の加速現象をおこすのではないかと考えられる。同時に淡水塩水の混合が著しく促進され表層の高塩分をもたらすものと思われる。

1 m の深度も図-7 のように大体似ているが左岸の方

からさらに海水の侵入が進行している状況が見られる。図-8の1.5m深度では、左岸先端部の海水の圧迫により、その付近から淡水が右岸の方へ押しやられる状況がよくわかる。

図-9の2m 深度ではいま述べたあたりを境に上流側には淡水が存在しかなりの流速を持っているが、この点の下流側ではもうほとんど淡水ではなく、したがって流速もない。このことは淡水がその付近から海水の上部へ浮

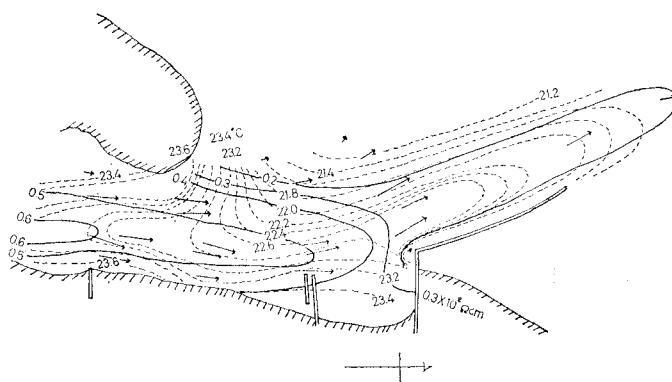


図-7 深度 1 m の分布

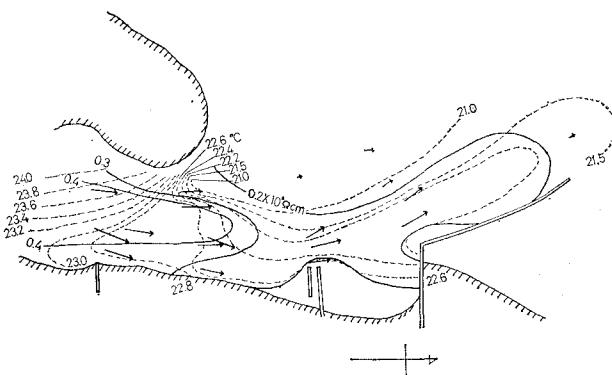


図-8 深度 1.5 m の分布

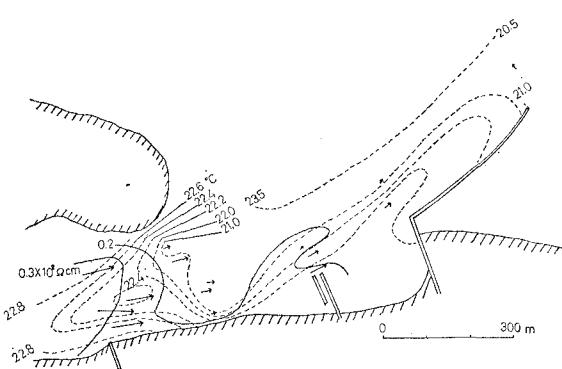
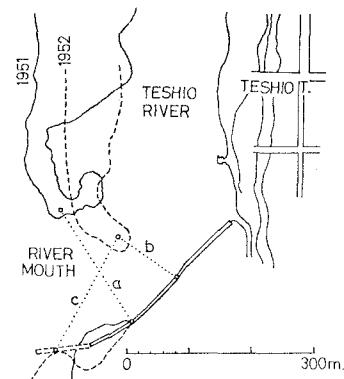


図-9 深度 2 m の分布

図-10 天塩川河口図
破線は昭和 27 年の汀線、点線は横断測線を示す

上していくことを示している。

以上に述べた河口流の測定は、石狩川が平水時で塩水くさびが上流数 km までのびていた状況下においてなされたものである。観測結果をまとめると、次のように流れの状況を要約することができる。

(1) 淡水が塩水くさびの上を流下して河口突堤の上流約 300m くらいにまで達すると、それから先に拡がる広い海面を感じると同時に、左岸先端方向から侵入する海水の圧迫により浮上を始め、次第に右岸側に押しつけられる。(2) したがって左岸側では淡水の厚さが急速に減じそれに伴って左岸先端部の表層水は加速される。(3) 淡水は航路筋に集まって次第に塩分を増しつつ流下し、導流堤先端を過ぎるあたりで外海の新鮮な海水と接触して押しあげられ、同じく加速現象を呈する。

以上述べたような河口流の実態は従来あまり知られていないかったようである。これは河口の広域にわたるくわしい観測がなかなかむずかしく、これをめんみつに行なう機会がなかったことが大きな原因であろう。石狩川の例のみでは不足と思われる所以ここに筆者が過去にこれと類似の現象を観測した天塩川の例をあげよう。

3. 天塩川河口の例

前節に示した石狩川河口の流況の特徴は注意して見なおすと、過去に実測した多くの観測の中にも類似のものが散見されるが、ここでは天塩川における例を紹介したい。

天塩川は北海道三大河川の一つで、北部天塩岳に源を発し日本海に開口する。現在河口部は左右両岸とも導流堤ができるが、水路は安定したが、数年前までは左岸の導流堤のみで右岸は自然の砂洲のままであった。したがって出水や大潮時のつど右岸の地形が大きく変形した。昭和 26, 27 年当時筆者の一人が観測した河口横断流速分布を示そう¹¹⁾。

当時の河口を図-10 に示す。昭和 26 年 7 月測定の a 断面、昭和 27 年 8 月測定の b, c 断面における流速分

布はそれぞれ図-11~13 に示すとおりである。

図-11 の a 断面は満潮をすぎ落潮に向かう時期で下層に塩水の逆流遡上する部分が見える。淡水と塩水の境界面はかなり明瞭である。この面が上層流出層中にあることが特徴的である。河口で淡塩二層が形成されているときは常にこのようになっており、塩分の鉛直循環のためと解釈され今日ではすでに常識のこととされている。

左岸は淡水層厚く、右岸が薄い。これは河道が右に弯曲して海へ注ぐことにより淡水が左岸に押しつけられるためと考えればごく自然なことと思われる。しかし予期に反し流速分布を見ると流心は左岸ではなく中央部にある。

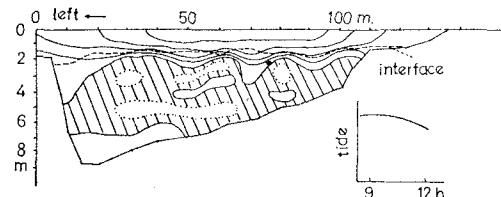
図-11 a 断面の流速分布、昭和 26 年 7 月 12 日、
0900~1230 斜線部は停流部、各等価線は
10 cm/s で実線は流出、点線は流入を示す。
横断線 0 m が左岸導流堤に相当する。
破線は淡塩水界面。

図-12 の b 断面測定結果を見ると、この時は低潮時であって、淡水海水とともに流出の時期であった。淡水層はやはり左岸が厚く、右岸が薄い。ことに右岸近くでは海水が表面に露出している。とくに流速の最大の点が完全に右岸に偏しているのが注目される。この傾向は c 断面の場合にも現われている。この時は潮位は満潮の前後に相当しており、下層海水部はかなり大きな速度で遡上している。淡水は前 2 例と同様左岸で厚く、右岸方向では薄くなり、ついに海水が表面に出ている。流心は中央部と右岸に分かれて存在している。ことに右岸の近くは表層まで海水であるのに、かなり早い速度で流出している。

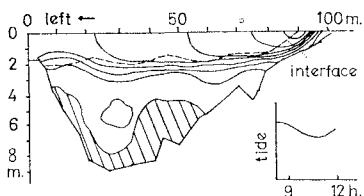


図-12 b 断面の流速分布, 昭和27年
8月8日, 0830~1130

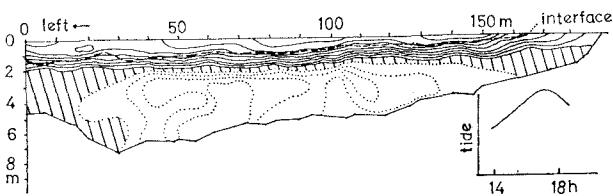


図-13 c 断面の流速分布, 昭和27年8月8日, 1430~1840

のは注目すべきことである。

他の年の観測にも二、三の例があるが、それらも同様の傾向を持っている。これらの諸観測を総括して要約すれば次のようになる。

天塙川河口は右に弯曲して海に注いでおり、淡水層は左岸に厚く右岸は薄い。ときには右岸側は海水が露出することもある。それにもかかわらず流速の極大部は左岸ではなく中央から岸寄りに存在し、ことに干潮時では極端に右偏する。

前節に述べた石狩川の場合は河道がゆるく左へ弯曲していく天塙川と逆であるが、以上述べた諸現象もまた逆の配置になっているのであり、これはやはり河口密度流の一つの特徴ではないかと思われる。天塙川では石狩川と同じく河口の河道弯曲部の内側に沿って海水が侵入するため淡水層が急激に小さくなり、表面の一時加速現象がおこって流心の右偏をもたらすのであろう。一方左岸寄りの厚い淡水層は河口を出て四方へひろがると同時にやはりそこで一時加速の現象を呈しているのであろうと想像される。

天塙川も石狩川とともに河口部は河道が弯曲しているが、もし直線的に直角に海へ注ぐ場合を実験結果と現地観測の結果とから推定するならば次のようにになると想定される。つまり河口では中央部が淡水が厚く両岸に向かって次第に薄くなり、かつ表面流速は河口両岸に近いところがまず一時加速現象により早くなり、中央流心部の表面流は河口を出しうらしくしてから一時加速されて最大の流速値を示すというような形態をとるであろう。もちろん、河口両端で流速が早いのは海水の侵入が作用していると思われる所以、密度流的流れで顕著であり、逆に流出が噴流形式になると消滅するであらうと考えられる。

以上の現地観測に基づいた河道弯曲による流れの特徴

を実験室で検証すべく、実験を開始した。河道幅 8 cm, 河道中心部の曲率半径約 50 cm の水路を塩水をたたえた大水槽に連結して流速、淡水層、表層塩分分布を調べている。実験は開始されたばかりで、まだ諸量を数値的に示すことはできないが、石狩川、天塙川の実測とまったく同じ傾向が生じている。密度流的な A型、B型の流れでは表面の流心が河口で曲率中心の方へ偏するが、流量を次第に増して、C型、D型、E型というように噴流的な流れにしていくと流心は曲率中心から遠ざかる方へ偏していく現象がとらえられている。定量的な詳細については次の機会にゆずりたい。

参 考 文 献

- 1) 柏村・吉田：密度流の研究（第1報），北大工学部研究報告，第41号，昭41年8月
- 2) 柏村・吉田：河口を出る淡水の流れ，第13回海岸工学講演会講演集，昭41年12月
- 3) 柏村・吉田：密度流の研究（第2報），北大工学部研究報告，第43号，昭42年5月
- 4) 柏村・吉田：河口密度流の解析，第14回海岸工学講演会講演集，昭42年10月
- 5) 柏村・吉田：Outflow pattern of fresh water issued from a river mouth, Coast. Eng. in Japan, Vol. 10, 1967
- 6) 柏村・吉田：河口の flow pattern について，第12回水理講演会講演集，昭43年2月
- 7) 柏村・吉田：河口の流れの構造（1），第15回海岸工学講演会講演集，昭43年12月
- 8) 柏村：密度流の研究（第3報），北大工学部研究報告，第53号，昭44年3月
- 9) 柏村・吉田：Flow pattern of density current at a river mouth, 13th Congr. IAHR, Proc., Vol. 3, (Subject C), 昭44年9月
- 10) 柏村・吉田：河口の流れの構造（2），第16回海岸工学講演会講演集，昭44年11月
- 11) 柏村：天塙川河口の二重水層，天塙港調査報告，昭34年6月