

石狩川河口の研究(2)

福島久雄*・柏村正和**・八 鍬 功***
高橋 将****・大谷守正*****

1. 緒 論

石狩川は本邦における大河川の一つであるが、北海道における他の二大河川すなわち天塩川、十勝川にくらべて治水計画もはやく、その流域は早期に開発せられている。

前回の講演に述べたように昭和 16 年ころ石狩工業港の計画があり、筆者の一人もこれに沿って河口における二重水層の研究を行なったのであるが、この計画はその後第 2 次大戦の進行とともに中止せられた。

近年石狩川河口をふくむ石狩湾一帯の砂浜について種種の開発計画が立案、検討されつつある機運にあり、石狩川河口とその付近における漂砂、波浪、河口密度流等の海岸現象の研究は新たな重要性を加えている。

昨年来北海道開発局によって、石狩川左岸の知津狩より河口をこえて西方銭函に至る 23 km の間の汀線測量が開始され、本年は河口左岸の沖にステップ式波高計が設置され今秋より観測が行なわれる予定である。またこの地帯における深さ 15 m までの定期的深浅測量、風力、風向などの気象観測も行なわれるなど、ルーチン観測の充実整備は昔日の比でなくなった。筆者らは年来石狩川河口の調査を行なっていて、本講演会ではさきに昭和 36 年と昭和 39 年にその結果を報告したが、今回はその続報として、超音波観測による塩水くさびの挙動、河口流出水のひろがり、定置流速計による沿岸流の観測結果について報告する。

2. 塩水くさびの進入と後退

石狩川河口における塩水くさびは弱混合型であって、海水と河水の層は、特別な地形の変化がない部分ではきわめて明瞭である。増水期に河口外に追い出された海水は、河川流量の減少とともに河口内に進入し、潟水期には河口から上 10 km 近くも海水の存在することが観測されている。くさびが河口から進入しはじめる限界流量は、石狩川の場合には、計算および実測の結果から 500 ~ 600 m³/sec の間であろうとおもわれる。実際の河口に

おいて河底に凹凸のある場合には、進入しはじめた海水はまず河口付近の凹部に流入し、その凹部をみたした後、つぎの凹部に進入し、徐々に河口部全体をみたすことになるのである。

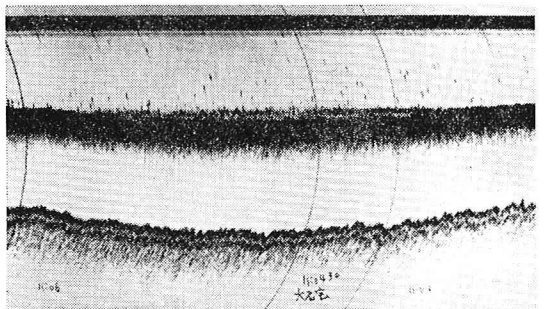
河川流量が増大して、一度進入した海水が追い出される場合には、くさびそのものが後退したあとにも、凸部によって後退をさまたげられた海水が、凹部に残存していることがよく観測された。このような凹部に残った海水はさらに流量が増加すれば、河水との接触面から河水中に拡散して行くであろうし、また流量の増加がなくても、長時間の間に徐々に拡散してその量を減ずるものとおもわれる。写真-1、写真-2 はともにくさびの先端が下流に移動した後、凹部に海水が残留している例であって、前者の場合には河口から約 0.5 km の凹部に海水が残っている。その表面は内部波が発生して乱れており、海水が河水中に拡散しているのがよくみられる。後者は河口から約 9.4 km 上流の凹部にわずかに海水が残っている状況を示しているが、この場合の境界面はきわめて安定している。

つぎに残留海水と河水との境界面が不安定な場合、すなわち境界面を通して河水中に拡散することによって、凹部にたまった海水が短時間に駆逐されるための条件について考察する。境界面に内部波が発生し、境界面が不安定になるための条件は、境界面における内部 Froude

写真-1 昭和 39 年 4 月 25 日



写真-2 昭和 40 年 8 月 11 日



* 正会員	理博	北海道大学教授	工学部
** 正会員	理博	北海道大学教授	同
*** 正会員	理博	北海道大学助教授	同
****		北海道大学講師	同
*****		北海道大学助手	同

数を F_i とするとき、 $F_i \geq 1$ によって表わされる。したがって残留海水が完全に駆逐されるための条件としては、境界面が河底まで下る場合に上の条件を適用すればよい。すなわち凹部の最低部の水深を h_0 、河水の平均流速を u_0 、河水および海水の密度をそれぞれ ρ_1 、 ρ_2 とすれば、

$$F_i = \frac{u_0}{\sqrt{g \varepsilon h_0}} \geq 1, \quad \varepsilon = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2}$$

またそのときの河川流量を Q_0 、最低部における断面を A とすれば、 $u_0 = Q_0/A$ となるから、海水がいま考えている凹部から完全に駆逐される限界流量は、

$$Q_0 = \sqrt{g \varepsilon h_0} A$$

によって求めることができる。

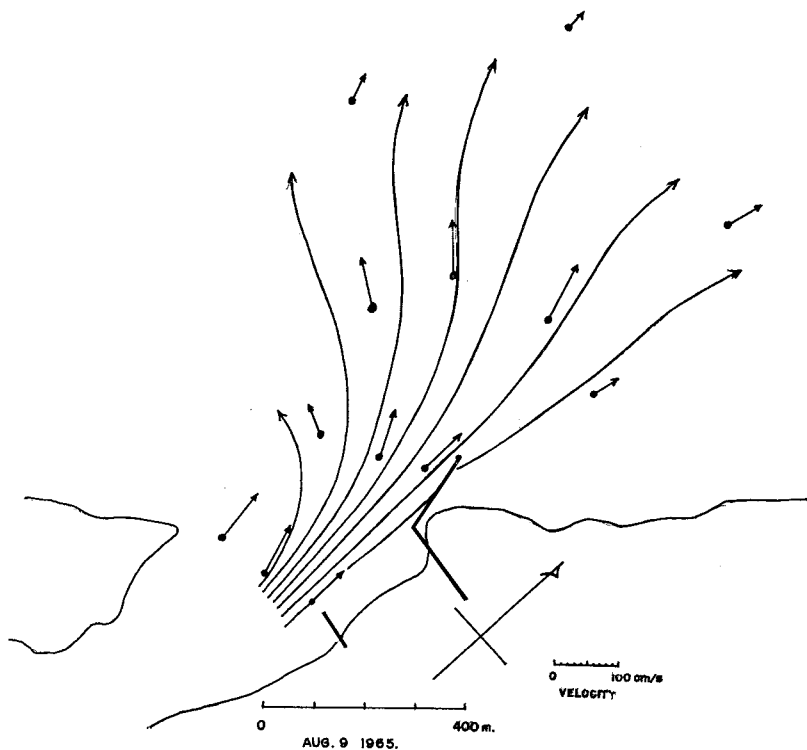
上の結果を写真-1の場合に適用すれば、石狩川河口から 0.5 km の凹部において、 $h_0 = 8.5$ m、 $A = 1700$ m²、 $\varepsilon = 0.02$ であるから、この値を上式に入れると、この場合の限界流量として $Q_0 = 2200$ m³/sec をうる。この値ははじめに述べた塩水くさびが進入しはじめるときの河川流量の約 4 倍に相当する。写真-1 がえられた昭和 39 年 4 月 25 日の前にあった出水における流量のピーク値(実測値)は 1430 m³/sec であった。この値は上の計算によってえられた限界値より小さく、出水の前に進入した海水は、出水の最大流量によっても完全には駆逐されず、凹部になお残留していたことがよく説明される。

このように河底に凹凸のある実際の河口においては、塩水くさびが河口内に進入しはじめる流量と、一度入った海水が完全に駆逐される流量とは全く異なるものと考えられ、塩水くさびが後退したあとにもなお凹部に海水が残留していることは、河水を工業用水、あるいは農業用水として使用する場合、きわめて重要なこととおもわれる。

3. 河口外の表面流のひろがり

河口を出た川水のひろがり方がどのような流線を示すかという問題は過去 5 年間石狩川河口で実測を行ってきた。そして流線のひろがり方は河口の付近では河口からの距離に対し指数関数的であることを見出した^{1), 2)}。すなわち、 $L = L_0 \exp kx$ (L は任意の流線の間隔、 L_0 は河口での L の値、 x は河口から流れに沿って測った距

図-1



離)で流れのひろがり方が示される。ひろがり方の度合を示す係数 k (m⁻¹) は川水の流量が大きくなると小さく、逆に流量が少なくなると大きな値を示す。本年度 8 月 9 日に実測した表面流の流向、流速を図上にとり概略の流線をひくと図-1 のごとくなる。これによると指数関数的ひろがり方がやはり見られるがそのひろがり度合は例年に比較して距離に対し速やかである。このことは k の値が大きいことに相当する ($k = 2.77 \times 10^{-3}$ m⁻¹)。このときの川の流量は約 150 m³/sec であって石狩川としては渇水時に属しその流量の小さかったことが k の値の大きい原因と考えられる。指数関数的ひろがりといっても広域の海面全体にわたってそれが見られるわけではなく河口をふくむある面積の領域内に限られるが川水の流量が少ないと k が大になるとともにその領域もせまくなり、流量が増大すると k が小さくなる反面領域は大きくなるようである。本年度の場合は流量が少ないために指数関数的ひろがりを示す領域がせまく、昭和 35 年 9 月の場合には河口から沖 2000 m まできれいに指数関数的であったのに反し、約 800 m 沖までの範囲内であった。流量が増大すると上述の領域はひろがるがその上さらに流量が増せば渦動粘性の発達をひきおこして淡水と海水の混合がさかんになりまた流れの左右の海水が川水にひきずられて運動をおこし、その結果河口沿岸には河口に向かう沿岸流を生じ海水の水平循環をおこすようになる。このような条件では流れは平面噴流の理論で考えら

れるものに近づくと思われる。その辺の事情は水槽実験の結果から推察できる。幅 3 m, 奥行 2 m, 高さ 15 cm の長方形水槽に幅 8 cm, 高さ 10 cm, 長さ 2 m の水路を付した装置で淡水二層の密度流の実験を行なっているが、これによればきわめて微小な流量であれば淡水のひろがり是指数関数的であり、それ以上になると海水の連行をともなつて流線は全く異なったものになり平面噴流の理論から推定されるものに近づいてくる。また二層の密度差を大にすると指数関数的のひろがり平面噴流的流れとの間の限界淡水流量は次第に増加することが観察される。極端な場合として塩水の代りに四塩化炭素(比重 1.63)を用いた小規模の実験では淡水がかなりの流量に達してもなお指数関数的なひろがり示していた。これら一連の実験は現在なお進行中であつてその詳細な結果はまたつぎの機会にゆずりたい。

4. 沿岸流

沿岸流は、海流、潮流、風によって発達する波浪などの関連性の上で取り扱われ、さらに海岸、海底地形にも密接に関係するものであるから、その解析にはこれら各種の資料を必要とし、かつ長期間の観測が行なわれなければならない。

したがって沿岸流の厳密な解析は、きわめて困難であり、そのため現実には沿岸流と他現象との関連性について研究されることがきわめて少ないといえる。

石狩海岸における沿岸流の観測についても同様なことがいえ、現在までに筆者らは6回の沿岸流観測を行なったが、時期的には7,8月に集中した期間も長くて1週間である。

関連する現象の資料としては、風向、風速の記録を持つのみで、波浪、潮位の記録を欠いている。潮位については沿岸流観測地点が小樽港に近いので(約 29 kni)、潮位表から小樽港の予定潮位を調べて観測資料に換えているが、実際には潮位、満干潮時刻にわずかの差異が生じているのはやむを得ない。

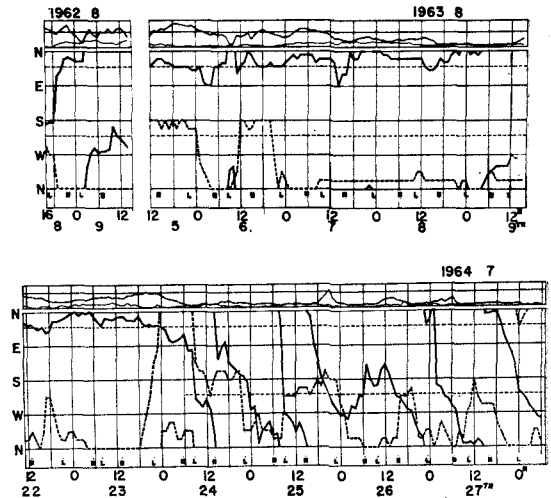
なお沿岸流観測は小野式自記流速計を用いて流向、流速の連続記録を得た。観測地点は、石狩川河口より西方で1962年8月、1963年7月は河口より約 2.5 km, 海岸から約 1 km 沖合、1964年8月は河口より約 5 km, 海岸から約 1 km で水深はいずれも 11 m, 流速計の設置深度は水面下 1.5 m である。

このような資料から石狩川河口付近海岸の沿岸流の特性を完全につかむことはもちろん不可能であるが、観測時期の7,8月に限ってみれば若干の性質は知ることができる。

図-2に、得られた観測記録のうちの3例を示してある。あわせて風向、風速、満干潮時刻も記入してある。なお風向は流向との相互関係を明確にするために実際の

図-2 石狩海岸における沿岸流流向、流速図
および風向、風速図

それぞれ上は流速(太線)、風速(細線)下は流向(実線)風向(点線)を示す。Hは High Water, Lは Low Water, なお流速、風速図の一目盛は 20 cm/sec (流速), 20 m/sec (風速)である。



風向とは逆に示すことにした。たとえば SSW の風は、図上では NNEとして示してある。流向は海水の流れ去る方向をもって表わし、風向は風の吹いて来る方向をいうからである。

流向図中の細点線は沿岸流観測地点の海岸線の方角を示したもので、流向がこれと合致すれば沿岸流は海岸線に並行していることを意味する。

図を見るとわかるとおり沿岸流はきわめて不規則で、数日海岸線にはほぼ並行して流れることもあれば、短時間の間に流向を大きく変ずることもある。

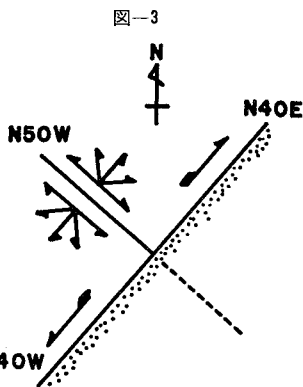
風は波浪を発達させて沿岸流に関与すると考えられるが、流向と風向の関係についてはいくらかの相関が見出される場合もある。

1963年8月7日0時から観測終了の9日15時まで、および1964年7月22日21時から23日18時までの間では風向、流向が約 30° 内外の方位差で一致しており、またこの一致は北を中心とした方向への風、流れがある場合に限られているのも一つの特徴のようである。

北からの風が吹き、その吹送時間が長くても、沿岸流はそれに影響されないことは1963年8月5日観測開始時刻から6日22時までの関係を見ても明らかであり、これは北風が石狩海岸に対して吹続距離が最も長いという点を考えれば意外な結果である。また風速が大であっても沿岸流が、それにとまなわれない場合があることも1962年8月8,9両日の記録から明らかである。この期間には最大 10 m/sec, 平均約 7 m/sec の南風が吹いたにもかかわらず沿岸流向は一定せず大きく変化していた。

沿岸流向と風向の関係を図-3のごとくより大ざっぱ

にして考えてみる
とどのようになる
であろうか。石狩
川河口付近の海岸
は $N 40^{\circ} E$ 方向の
海岸線を持って
おりこれに立てた
法線 $N 50^{\circ} W$ を境
として風を二群に
分けると、 $N 50^{\circ} W$
から時計回りで S
 $50^{\circ} E$ までの風は



北上する沿岸流を生じ、 $N 50^{\circ} W$ から反時計回りで $S 50^{\circ} E$ までの風は南下流を生ずるであろうとして図の各沿岸流図を再整理するとつぎのようになる。風の方向と沿岸流の方向が同じ範囲に入るものが 1962 年 8 月 47%, 1963 年 8 月 66%, 1964 年 7 月 59% で、全体の平均は 60% となる。もしこれが 50% であれば石狩海岸の沿岸流は相関関係が無いということであるから平均はわずか 60% ながら + の影響を受けていることになる。

しかしこの考え方で風向自体により沿岸流を推定するのは、かなり危険であることがわかる。

日本海沿岸は太平洋岸にくらべて、潮差はかなり小さく、したがって潮汐と沿岸流の関係は大きなものではないと予想されるが、石狩海岸の沿岸流においても、これが確かめられた。

潮流の影響が大きな場合には沿岸流流向、流速は潮位に応じて変化し、きれいな潮流だ円が描かれるが、観測期間中で流向が大きな変化をくり返した 1962 年 8 月 8 日、9 月および 1964 年 7 月 24~28 日の期間について考えてみると、このような潮位の変化に応じた流速の変化は認められず沿岸流流向を変化させるものは潮流とは考えにくい。潮差の大きな太平洋岸での筆者らの沿岸流観測の一例として釧路西方 26 km の白糠海岸で行なった

ものを図-4 として示すが、これを見ればこの間の差異はより明確であろう。

石狩川の河口流出流も短期的に見れば沿岸流を変化させ得ると考えられるが、石狩川河口を出た淡水は海水面に乗って広がり、ほぼ北に向って

流れ、流向は大体一定である。8, 9 月は夏の渇水期にあたり流量は極小値を示すので沿岸流に影響を与えるよりは、むしろ沿岸流によって流向を変えんと考えられ、石狩川流出も沿岸流には無関係である。

以上の点から石狩海岸の沿岸流を左右するものは、日本海の流れそのもの、または海流にともなう生ずる石狩湾流であろうと推定される。

沿岸流それ自体について見れば 7, 8 月をはさんで 4~9 月の間は海岸に沿って北上する沿岸流が断然他を圧して強いが、図の流向、流速はこれを裏付けるものである。またこの期間の沿岸流流速は秒速 30 cm を越えることはなく、平均 15 cm 程度である。図の白糠における沿岸流流速が毎秒 50 cm に達することがあるのと比較すれば、かなり小さなものであるといっても良い。

終りにこの観測の実施について非常なご尽力をいただいた小樽開発建設部長鎌田 哲氏、同築港課長東山崎正義氏、同石狩港修築事業所長上山元弘氏に厚く感謝の意を表す。またこの研究費の一部を文部省科学研究費によったことを付記する。

参考文献

- 1) 福島・柏村・八鉦・高橋：石狩川の河口構造，第 8 回海岸工学講演会講演集，昭和 36 年 9 月。
- 2) 福島・柏村・八鉦・高橋：石狩川河口の研究，第 11 回海岸工学講演会講演集，昭和 39 年 11 月。

図-4 白糠海岸における
沿岸流流向流速図
流速は一目盛 20 cm/sec である。

