

石狩川河口における二、三の問題

福島久雄*・八 鍬 功**・高 橋 将***

1. 序

筆者らが長年石狩川河口において行なった海岸特性の研究のうち、河口付近の表面塩素量分布、超音波による観測記録の検討、単位時間当りの漂砂捕集量など、注意すべき2、3の問題を論じた。図-1 に河口付近の地図を示す。

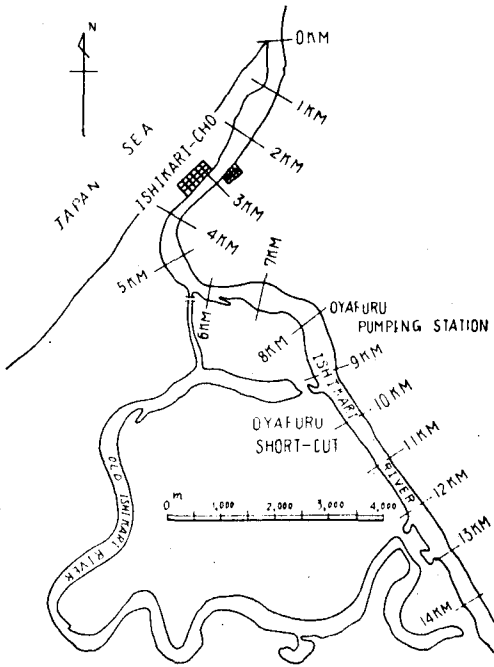


図-1

2. 表面塩素量分布

河口内に侵入した塩水くさびからは、その境界面を通して淡水層に塩分が拡散している。筆者らは石狩川河口で塩水くさびの観測中数度にわたり、流心にそって航行中の船上で表面水を連続的に採取し、その塩素量濃度を求めた。図-2 は1967年7月27日の観測例で、当時、淡水流量は $260 \text{ m}^3/\text{sec}$ で、塩水くさびの状態はきわめて安定であった。図の白丸は河水のバックグラウンドを

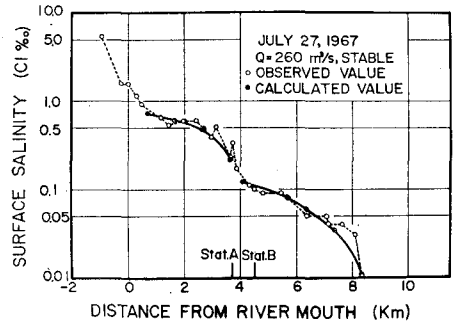


図-2

差し引いた表面水の塩素量濃度を示し、横軸は採水点の河口からの距離である。図によれば表面塩素量濃度は塩水くさび先端付近から下流に向かって急激に増加し、途中小さな変動はみられるが平均的な勾配は緩かになり、河口付近では約1%となる。河口の外側では深度が急激に浅くなるため塩淡水の混合が激しく行なわれ、そのため表面塩素量も急激に増加している。

塩水くさび先端から河口までの表面塩素量分布の勾配はもちろん塩水くさびの河口内への侵入の状況によって異なるが、また地域的な淡水層の流れの状況によっても異なる。図では大きくみて4 km 付近を境とした階段状をなしているが、これは河口から3.7 kmの地点の川底にある大きな突起によるものであろうとおもわれる。塩水くさび先端および突起のすぐ下流部の淡水層の塩素量鉛直分布をそれぞれ境界条件として淡水層塩分拡散方程式の解をもとめれば¹⁾ 図の黒丸実線で示した表面塩素量分布がえられるが、これは白丸点線で示した実測の結果とよく一致している。ただし、上の計算では、くさび先端から3.7 km 地点までの区間は流下方向の拡散係数が一様に $\eta_x = 5 \times 10^8 \text{ (C.G.S.)}$ 、鉛直方向の拡散係数が一様に $\eta_y = 3 \times 10 \text{ (C.G.S.)}$ とし、3.7 km 地点から河口までの区間ではそれぞれ $\eta_x = 5 \times 10^8 \text{ (C.G.S.)}$ 、 $\eta_y = 1 \times 10 \text{ (C.G.S.)}$ とした。

3. 超音波の記録からみた海水の拡散

すでに本講演会においても報告したように^{2)~8)}、筆者らは昭和34年以来、超音波による塩水くさびの検出を石狩川河口において行ない、くさびの縦断構造を観測し、安定、不安定な場合の特長、流量との関係を調べ

* 正会員 理博 北海道大学教授 工学部
 ** 正会員 理博 北海道大学助教授 工学部
 *** 北海道大学助教授 工学部

た。超音波による塩水くさびの検出は、短時間のうちにかなりの距離のくさびを検出してその形状をたしかめることが最も大きな特長であった。しかしその反面においてくさびの各点における塩素量濃度分布、流速などの量を測定するためには従来のように地点ごとに測器を用いる必要がある。しからば超音波法によるくさびの記録は単にそのくさびの形状を知るのに役立つのみであろうか。ここに超音波記録のもつ情報の種類について考えてみたい。

観測記録によれば、河水層と海水層の区別は、少数の例を除いてきわめて明瞭で、使用した超音波の周波数はほとんどの場合 100 kc であるが、この程度の周波数の場合には反射物体は記録紙上の海水層に比較的高い密度をもっている。これは以下に引用する多数の記録にほとんど共通のことがらである。石狩川は平水時も懸濁質が多いが、底層のくさびの採水をしてみると、肉眼的にはむしろ透明で、光電池による透過光量も、海水層でははるかに多い。試みに観測船を停止すると、海水層の中の反射物体は写真-1のように水平に長さをもって記録される。記録時間は 150 sec であるがこの反射物体の長さは海水層の中を流れに従って移動する反射物体の速さと、発振器のもつ固有の立体角とその flux のどの部分を物体が通過するか等によって定まると考えられる。この記録によると、この場合の 1 m^3 中における物体の数はほぼ 1 個程度と考えられる。走行する船上での記録紙にこのような反射物が密集して記録されるのは見かけの

上のものである。

一般に、淡水層と海水層とが層重状態にあって、しかも混合が弱いときは測器による躍層の検出は容易で、水温塩素量濃度、電気伝導度、流速、光線透過率等を測定しその垂直分布を描くとよい。しかしこのような測定では、ある程度の時間的平均値の測定となり、得られた曲線から二層の境界面の詳細な構造を知ることはむずかしい。超音波によってくさびが検出されるのは、河水と海水両層における密度の勾配が大きいためである。おそらく石狩川のような弱混合の境界面では乱れによって生じた無数の小水塊が完全に他の水塊に混合しない過程において反射物体となって記録されるものと思われる。記録された塩水くさびの境界面の挙動を調べてみると種々のものが認められる。写真-2 はその一例で、河口から上流 2 km の地点の縦断観測である。450 m というのは図の横幅に相当する実際の距離である。右方の下流側においては境界面は一つであるが、左方の上流側では境界面は上下 2 面からなっている。この 2 面の間では中間層が形成されている。その下方の境界面はほぼ同一の厚さと状態のままであるが、上方の境界面は上流側で薄く、下流にゆくとき次第に厚さを増すとともに上方に拡散し不明瞭になってゆく。このような境界面の挙動は塩水くさびが長い場合に所々で現われるもので、上流側にできていた中間層が下流にゆくに従い上層の河水層との間に混合が進み境界面にあった小水塊が次第に消失してゆくことによると考えられる。

しかし、河水と海水との間にできた中間層はもちろん常にこの状態をたどるとは限らず、その状態を保持したままええんと上流から下流につづくのも観測されている。写真-3 はその状態の一部で河口から 2 km の地点である。このように塩水くさびから河水層に向っての塩水の供給が一樣なものでなく、地点によって激しい上方への拡散がある所とない所が観測によって直接に知られるということは、超音波観測のもたらす効果の一つである。石狩河口から 4 km 上流にある突起状の河底形状（実際は 3 分の 1 程度の勾配）によってその下流側に顕著な境界面の乱れがあり、塩水の拡散を起していること

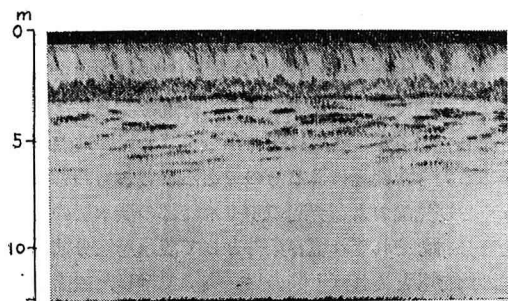


写真-1 縦軸は深度（以下同じ）1967.8.22

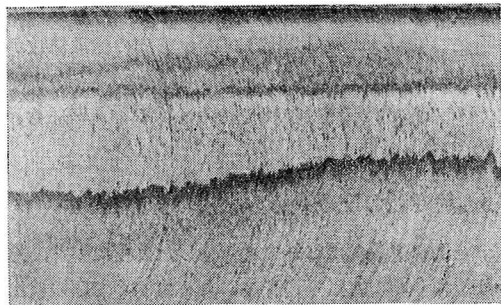


写真-2 <450 m> 矢印は流下方向を示す（以下同じ）1964.7.24

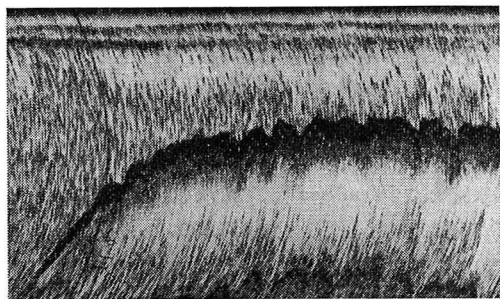


写真-3 <290 m> 1967.8.3

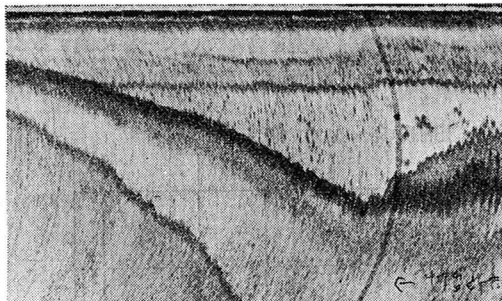


写真-4 <270 m> 1964.7.29

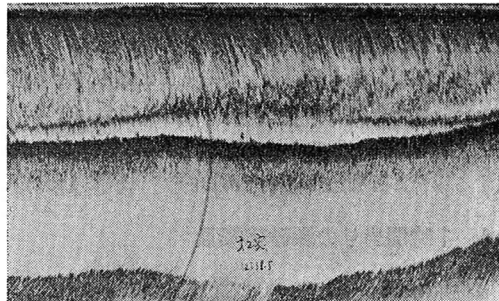


写真-6 <380 m> 1964.4.25

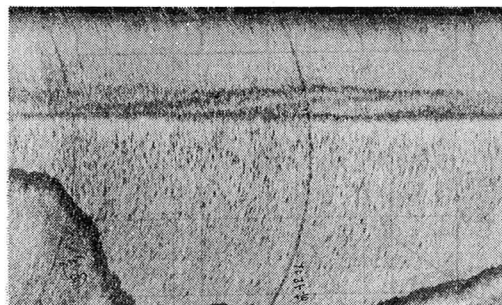


写真-5 <460 m> 1964.7.24

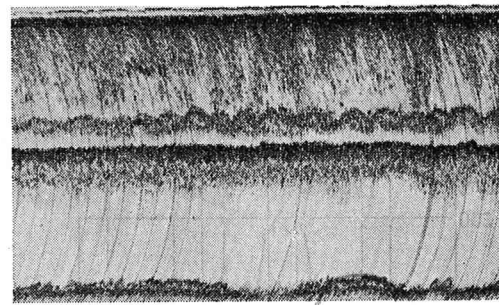


写真-7 1964.4.25

はすでに報告したが、これよりも弱い拡散は、たとえば 5.5 km 付近でもしばしば起こり、後述のように河口付近ではさらに多く観測されている。

このような中間層の発達と、それが拡散してゆく記録は、横断観測にもみられる。写真-4 は石狩川河口から 2 km 上流の断面であるが、左方（左岸）に向かう方向に海水層から拡散があり、中間の層の厚さは最も少ない所で 1.3 m である。この記録は必ずしも流れの速度成分が左岸に向かっていることを意味せず、横断面における拡散の状況を示しているとみてよい。すなわち、流心においては境界面は明瞭で左岸側では拡散がみられる。表層水の塩素量も岸の付近では流心よりも多いことは観測にも現われている。

以上の他に、3重構造をもった境界面の観測も必ずしも珍しくない（写真-5）。海水層、河水層の消長の激しい場合には、密度成層は安定でなく、いろいろな履歴をもった水層ができるので、このような状態は可能であるが、計測器によって得た digital な記録ではほとんど明瞭な例に乏しく、超音波の観測が可能にした一例とみることができる。この写真は河口から 5.5 km 上流の地点のものである。

時としては顕著な拡散状の記録が現われることがある。写真-6 のような河水が増水し、海水が河口近くで急勾配で流入している場合は境界面の乱れが厚く、上方に向かっている。河口近くまたは河口のすぐ外側でも境界面の記録が厚さを増し、上方に向かうことが多い。すでに発表したように、表層塩素量の縦断分布をみると

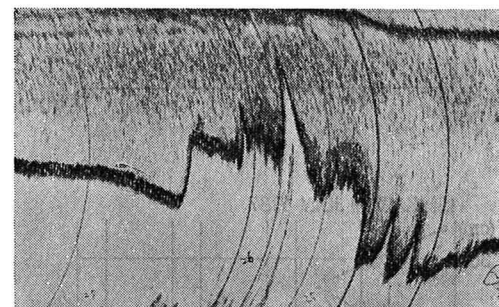


写真-8 <490 m> 1966.7.14

河口付近で急激に上昇しているが、それはやはりこの記録と対応するものである。この付近における塩分の供給は、上流におけるそれとは比較にならぬ大規模のものである。

内部波の現象は、それほど顕著ではないが観測船を停止した時には観測されることがある。写真-6 と同じ日に河口から 0.5 km 入った地点で定置した船上で得た内部波の例を示したのが写真-7 である。この場合の波の周期は 9 秒である。写真-6 にも境界面のたち上りの所で細かな波動が観察される。地点は写真-7 よりも 0.5 km ほど下流である。

最後に塩水・淡水の混合によらない反射についてふれておきたい。河水層のみの中でも、たとえば投錨による乱れがあった場合は反射が記録され、また反射を記録されぬような密度差でも場合によっては反射が起こる。また河川でも強風が吹いて水面が粗い時にも現われる。写真-8 はその一例で、河口から上流 4 km にある前述の

突起状の河底であるが、全部海水層に浸っていないながらその周期には記録が現われている。海水層は流れがおそいと思われるが、淡水と塩水との混合によるものとも思われぬ。また上述の各種の拡散の中にも乱れによる記録が混在していることであろう。超音波を流れの観測に使用する場合に興味ある現象である。

4. 1時間当りの漂砂捕集量

石狩川河口付近の漂砂の調査はここ10余年にわたって続けられているが、竹竿を使って捕集した結果を最近5年間について調べてみた。図-3~6は数日間竹竿を設置して捕集した量を1時間当りに平均して比べたもので、参考のため北海道各地のデータについても調べたものも加えた(図-7~12)。後者は最大の値、最小の値、

代表的な値について選んである。図-11~12の鉛直分布図は、各種の分布の型を含んでいて一様に論ずることはできないが、一般の砂浜海岸の静穏な場合の中層の漂

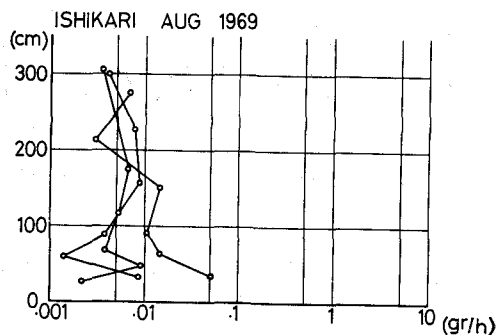


図-6

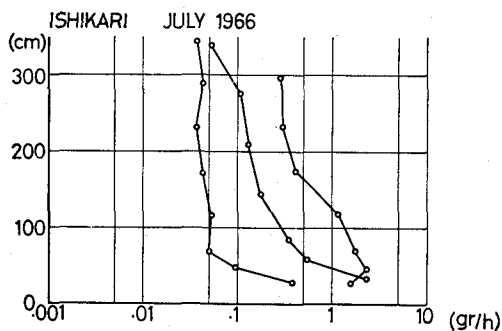


図-3

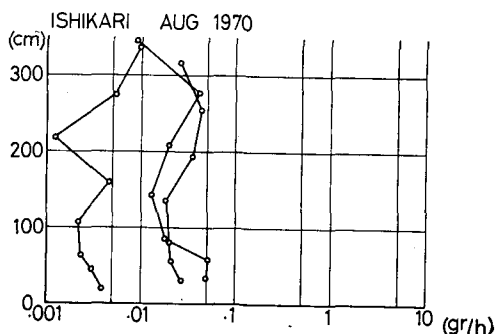


図-7

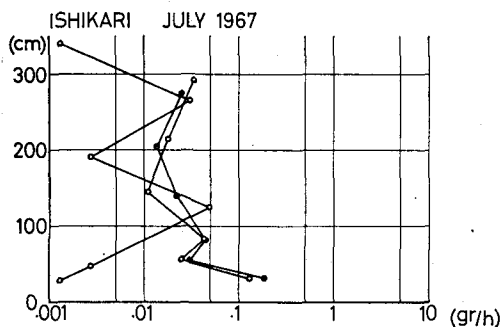


図-4

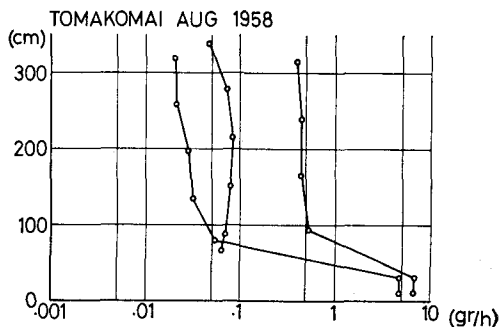


図-8

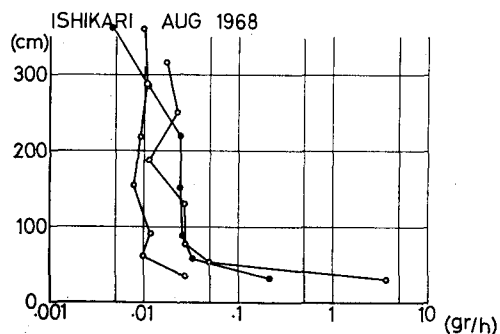


図-5

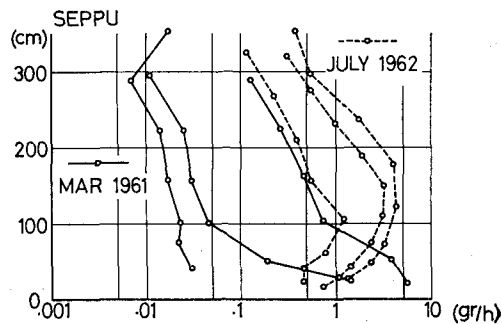
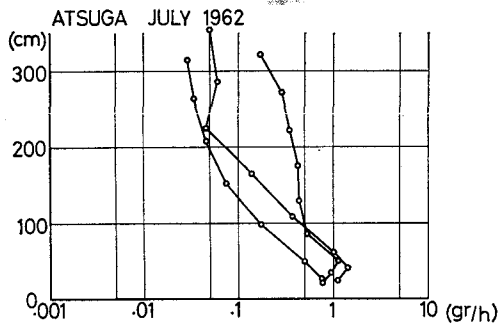
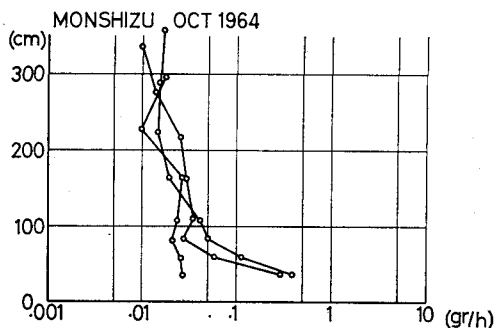


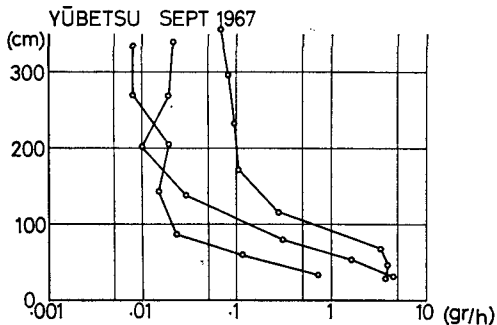
図-9



図—10



図—11



図—12

砂捕集量としては、ある範囲におさまるであろう。中層とは、表面層よりも下方で底における1 m程度の極めて濃密な層を除いたものである。これらについて平均値をとれば、表—1のごとくなる。節婦港における値がきわめて高く1.5~2.2 gr/hrであるが、この場合は、すでに指摘したように新冠川の増水の特別な場合である⁹⁾。そうするとこのような場合を除くと中間層にあっては静穏時には1時間当たりほぼ100分の数グラム程度のものであることはこの種の捕集器を設置する場合の計画の目安に

表—1 1時間当たり捕砂量の中間層における平均値

地名	年月	平均値 (gr/h)	地名	年月	平均値 (gr/h)
石狩	1966年7月	1.10 0.53 0.04	節婦	1961年3月	0.40 0.03 0.02
石狩	1967年7月	0.03 0.02 0.01	節婦	1962年7月	2.22 1.55 0.53
石狩	1968年8月	0.06 0.03 0.01	厚賀	1962年7月	0.56 0.52 0.21
石狩	1969年8月	0.01 0.01 0.01	門静	1964年10月	0.02 0.03 0.00
石狩	1970年8月	0.03 0.03 0.01	湧別	1967年9月	0.12 0.02 0.01
苫小牧	1958年8月	0.47 0.07 0.03			

なる。また、荒天で海中に漂砂が浮遊する量が多くても中間層では1時間当たり3 grをこえることはない。底層における10 gr/hrなる値は、竹の節間の体積の限界による飽和状態など考えられるので、別に考えなければならない。

終りに、本研究を行なうに当たって現地において多大の便宜を与えられた北海道開発局土木試験所、石狩町当局に対し深い謝意を表する。なお、この研究は主として文部省科学研究費によったことを付記する。

参考文献

- 1) Yakuwa, I. and Ohtani, M.: Longitudinal Distribution of Surface Salinity in an Estuary, Bulletin of the Faculty of Engineering, Hokkaido University, No. 54, 1969.
- 2) 福島・柏村・八鍬・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
- 3) 福島・柏村・八鍬・高橋・大谷：石狩川河口の研究（2），第12回海岸工学講演会講演集，昭和40年
- 4) 福島・八鍬・高橋・大谷：石狩川河口の研究（3），第13回海岸工学講演会講演集，昭和41年
- 5) 福島・八鍬・高橋・柏村：石狩川河口の研究（4），第14回海岸工学講演会講演集，昭和42年
- 6) 福島・八鍬・高橋・大谷：河口における塩水と淡水の混合，第15回海岸工学講演会講演集，昭和43年
- 7) Fukushima, H., Kashiwamura, M. and Yakuwa, I.: Studies on Salt Water Wedge by Ultrasonic Method, Proc. 10th Conference on Coastal Eng., Vol. II, 1966.
- 8) Fukushima, H., Yakuwa, I. and Takahashi, S.: Salinity Diffusion at the Interface of Stratified Flow in an Estuary, Proc. 13th Congress of the International Association for Hydraulic Research, Vol. 3, 1969.
- 9) 福島・柏村・八鍬・高橋：日高海岸における漂砂の研究，第10回海岸工学講演会講演集，昭和38年