

石狩川河口の研究

福島久雄*・柏村正和**・八鍬 功**・高橋 将***

1. 序

石狩川は延長 365 km, 石狩平野を貫通して石狩湾に流入する本邦屈指の河川である。昭和 6 年, 下流の蛇行部分のショートカットが完成し, 以来下流地方ははん濫の災害からまぬがれるに至った。しかし石狩湾の湾奥の砂浜に開口した河口は, 左岸の堆積と欠壊を年々くり返しつつしだいに北上し止るところを知らず, 明治 7 年 (1874), 米人ジェームス アルワッソン氏の測量以来, 昭和 32 年までに 1700 m も移動するに至った。右岸の欠壊を防止するため昭和 11 年河口の上流ほぼ 1.7 km の所に長さ 100 m の第一水制工が完成し, つぎに昭和 14 年, その下流 300 m の箇所に第 2 水制工が完成, 現在までに 4 基の水制工が建設されている。石狩川河口を工業港とする計画は戦前にすすめられたが戦争の後半期において中止となり, 昭和 34 年から河口港として導流堤が前記水制工の下流に築設されつつある。この導流堤はいうまでもなく河口の水深を維持し, その北方移動を阻止するためのもので, これにより従来河口から 800~1200 m 外方においてわずかに 2~3 m であった水深を改善することが期待されているわけである。

河口の問題に重要な役割をもつ河口二重層についてはすでに昭和 13 年筆者の観測¹⁾によって注意されて以来, 戦後この方面の研究の進歩とともに多くの調査, 研究が発表されている。以下にのべるものは昭和 36 年までに行なった石狩川の河口の研究にひきつづき, 上記のような現状において河口現象の物理的な観測と研究を行なったものである。河口二重層の検出とその挙動の観測には近年超音波による方法を開発中であるが, これにより十数キロにわたる広範囲の部分の観測能率を高めることができ, 弱混合型河口の研究に有力なものであることがわかった。また北大方式の漂砂捕集装置をもって河口付近の漂砂分布を調べ, 表面流の流速分布を実測し導流堤の効果を検討することも試みた。さらに底質を採集し X 線分析を行なって底質の分布を調べ, 超音波波浪計を試用して河口研究への万能性を考えてみた。

2. 河口内の二重水層

図-1 石狩川河口付近

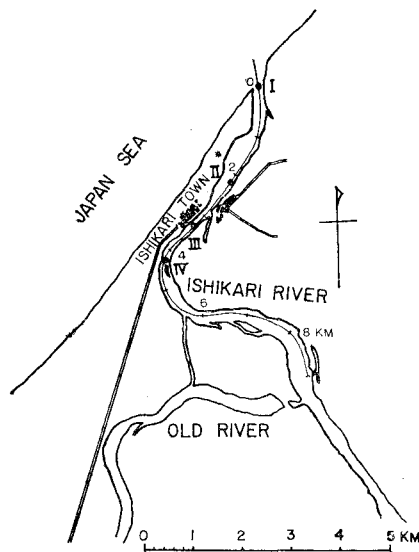


図-1 は石狩川河口付近の平面図であるが, 河口付近で河道は大きく北に彎曲して日本海にそそいでいる。川幅は一様でなく, また河口付近には水制や導流堤が構築されているため, 写真-1 にみられるように河底は凹凸がはげしく, 河口は漂砂の堆積によって水深が急激に浅くなっている。石狩湾における干満の潮位差は最大で 30 cm 程度であるため, 河口内における塩水クサビはいわゆる弱混合型で, 多くの実測例が示すとおり海水と河水とは明瞭な二重水層をなし, 河川流量の増大によって塩水クサビは完全に河口外に去り, あるいは満水期には河口から上流 10 km 以上も進入する。塩水クサビが完全に河口から追い出される限界流量としては, 大坪・福島²⁾により約 500 m³/sec という値が求められている。

河口から進入した塩水クサビの先端が河底に沿って前進する機構については筆者ら³⁾の考察があり, その結果は石狩川河口における実測によって確かめられた。すなわち石狩川のように河底に凹凸のはげしい河川においては, 一般に行なわれているように塩水クサビを定常状態として取り扱うことはできず, 正勾配の部分はクサビ状をなして前進するが, 負勾配の部分ではクサビ先端の前進速度は, 凹部をうづめる塩水面の上昇速度と考えられる。したがって塩水クサビの形状も常にクサビ状をなすものではなく, 凹部に海水がたまり凸部で前進を阻止さ

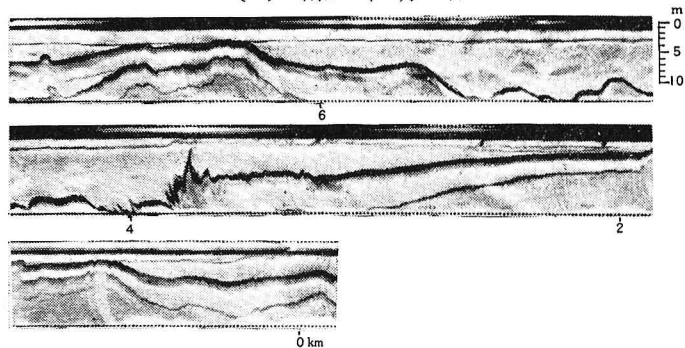
* 正会員 理博 北海道大学工学部教授

** 正会員 理博 北海道大学工学部助教授

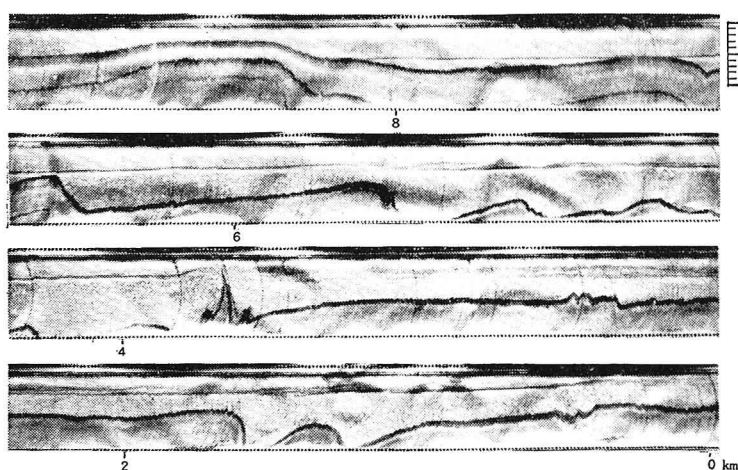
*** 正会員 北海道大学工学部講師

写真—1 超音波による塩水クサビ縦断面形状の記録

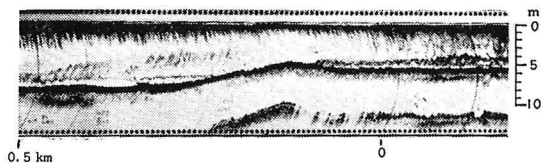
(a) 昭和 39 年 7 月 22 日



(b) 昭和 39 年 7 月 24 日



(c) 昭和 39 年 4 月 25 日



れた形になることが多くみられる。塩水クサビの縦断面形状は、海水と河水の境界から超音波が反射することを利用すれば、河口から塩水クサビ先端まで超音波測深機を働かせながら航行することによって、全形状を明瞭に記録することができる。

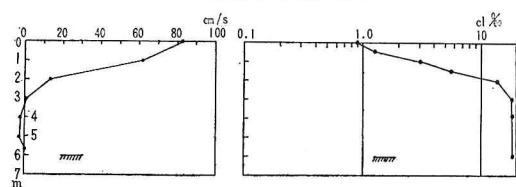
以上のことは塩水クサビの後退の場合も同様であって、クサビの先端が後退したのちの凹部に塩水が残っている場合が超音波によってしばしば観測された。

写真—1 (a), (b), (c) は昭和 39 年 7 月 22 日, 24 日および 4 月 25 日における石狩川河口の塩水クサビ縦断面形状を超音波測深機で記録したものであって、当時の流量は石狩から約 30 km 上流の江別における観測値、および現場での実測値からそれぞれ 190, 380, 500 m³/sec であった。

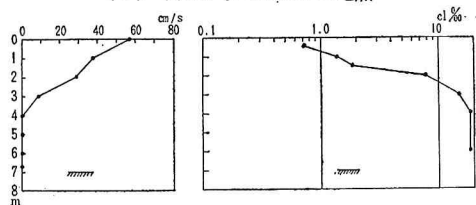
(a) 7 月 22 日の記録は夏季渇水期における塩水クサビの型を示すものであって、水面下 3 m 以下はすべて海水であり、河口から約 8.4 km もクサビが進入している。当時はクサビの状態はほとんど安定状態であって、二層の境界はきわめて安定している。これは図—1 に示した河口から 0, 2.0, 3.6, 4.5 km の地点において超音波測深と同時に行了った流速、塩分の鉛直分布実測値 (図—

図—2 流速、塩分の鉛直分布 (昭 39. 7. 22)

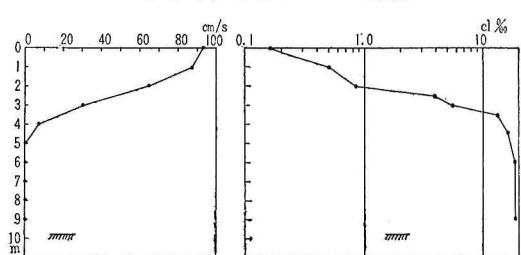
(a) 石狩川河口第 1 突堤



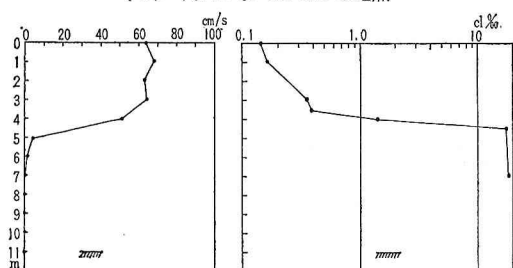
(b) 河口から 2.0 km の地点



(c) 河口から 3.6 km の地点



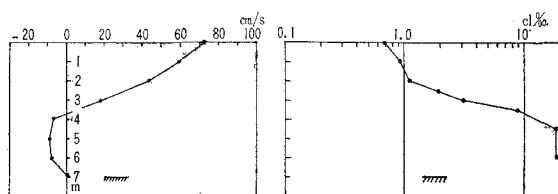
(d) 河口から 4.5 km の地点



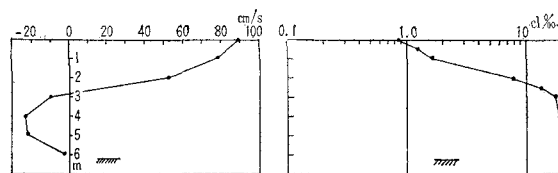
2) によっても明らかである。すなわち記録において境界面が明瞭な 4.5 km 付近では、流速、塩分が境界で不連続的に変化しており、二層の混合が微弱であることがしれる。しかし 3.7 km 付近にみられるように河底に突起する凸部があって、河水の流速が大きい場合には、境界面において海水と河水の混合が激しく、混合層の厚さは急激に厚くなっている。これは図-2 (c) の 3.6 km 地点における流速、塩分の鉛直分布が連続的にゆるやかに変化していることから明らかである。混合水が下流に行くにつれて、河水中に拡散する状況が記録に明瞭にみられる。河口付近では逆勾配を流入する海水と流出する河水の相対速度が大きいため、混合はきわめていちじらしい。

図-3 流速、塩分の鉛直分布 (昭 39.7.24)

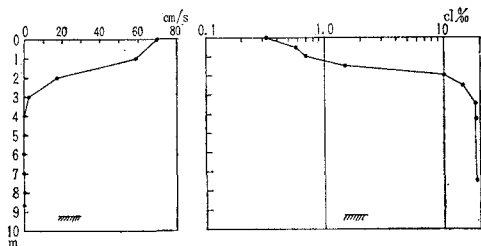
(a) 石狩川河口第1突堤



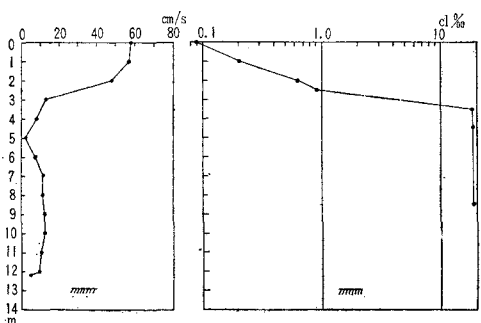
(b) 河口から 2.0 km の地点



(c) 河口から 3.6 km の地点



(d) 河口から 4.5 km の地点



(b) 7月24日の記録は流量が7月22日の約2倍に増加したときのものであるが、河水層の厚さは約4mで、塩水クサビ先端の位置は(a)とほとんど同じで河口から約8.4kmであった。図-3から明らかなように(a)とくらべて河水の流速が早くなったため、クサビ先端付近を除いて境界が全般的に不安定で、海水と河水の混合がいたるところにみられる。さらに流量が増加して流れの相対速度が大きくなれば、塩水クサビは後退をはじめるものと思われる。

(c) 4月25日の記録は春の出水期のものであって、この3日前から流量が減少しはじめたため、塩水クサビが河口から上流へ進入しつつある状況を示している。この記録はクサビ先端が正勾配の河底を進む場合に相当するので、先端の形はクサビ状をなしているのがみられる。これに対し、(a)、(b)の場合はクサビ先端の前進が凸部で阻止されている場合に相当し、先端のクサビ状はみられない。(c)の記録によれば海水と河水の境界は不安定であって、ところどころに内部波がみとめられる。またクサビ先端より上流側の凹部には前回のクサビ後退の際、残されたものと思われる海水がみられ、それが河水の流れによって、河水中に拡散している様子が示されている。

3. 河口外の流れ

石狩川河口から出た流れのうち、とくに川水の成分の高い表面流がどのように沖へ拡がっていくかという問題は筆者らが過去数年来実測結果をもとにして研究しているものであるが、この節では前に発表した結果⁵⁾以後新しく見出した点についてのべようと思う。

石狩湾の広義の沿岸流の構造はかなり複雑であって、これについては昭和35,36年に行なった海流瓶による調査からだいたいの様子がうかがわれる⁶⁾。これによると石狩川河口付近の沖の沿岸流は一年を通じると北東に向かい帯状に弯曲する海岸に沿って日本海に出るものが卓越している。このことはまた海底の地質分布からも推定されるものである⁵⁾。またこの日本海に出た流れは冬季間北上して宗谷岬を経てオホーツク海に抜けていることも海流瓶の結果は教えている。さて一方、漂砂の移動に最も関連が深いとされている海岸近くの狭義の沿岸流はどのようなものであるかという点、26 kmにおよぶ石狩海岸は石狩川から運ばれた土砂によって湾の奥に永年にわたって形成された砂浜海岸であることから容易にわかるように、海岸線の方角は年間の卓越波高に対しまったく直角である。しかも冬期は北西風、夏期は正反対の南東風が卓越するために汀線は一年を通じてほとんど形状が変化せず南西から北東に延びている。したがって狭義の沿岸流はたとえば日高海岸などの場合に比べると、はるかに弱く汀線に沿っての漂砂移動は量的には少ない。しか

らば河口左岸の砂州が 3 km 以上にもおよぶ発達をとげた理由はというと、これは前述の広義の沿岸流に求めねばならない。それを助けるものが石狩川から運び出されるべく大な土砂であって沖合にしだいに沈積するこの土砂は北東方向に卓越する沿岸流により押されて左岸側の海底に河口から一本の砂州として河口沖をおおように発達し、それが岸に直角な波によって陸側に一年中押し戻される作用を受け、ついに陸化し河口左岸の北東方向への発達を促すと考えられる。一度このように左岸砂州の発達が始めればあとは河道を曲げられた石狩川の川水自体の慣性が右岸を洗掘してますますこれを助長することになる。このような働きは石狩川の増水のいちごるしい年に顕著であろう。増水期は 4 月下旬の融雪期および夏秋の集中豪雨の際であるがとくに融雪期には流量が毎秒 3000 t 以上にも達することがあり、河口付近の底の形状は主としてこのような増水期に形成される。河口内部は深く洗掘され水深 18 m 以上にもおよぶ所があるのに対し河口の外は堆積土砂で浅くなり河口から 800~1200 m 沖付近ではミオ筋でも水深 2~3 m 程度になっている。

増水期以外の時期は底の形状は大きな変動をせず増水期に形成された地形をほぼ保っている。川水の流量が約 $500 \text{ m}^3/\text{sec}$ 以下になると前節でのべたように河口から海水が侵入して塩水クサビを作る²⁾。このような時期は河口から出た川水はしだいに海水と混合はするが密度差によって海水の上部をおおい四方に拡がって流れる。この表面流の拡がりの様子は、たとえば同一密度を有する流体に噴出する噴流の理論または実験結果とはいちごるしく異なるものであって^{7), 8)}、むしろ水の上に油が拡がるときの流れと似てはっきりと密度流の様相を呈している⁹⁾。これは筆者らが静止した四塩化炭素 (比重 1.63) に水を流出した場合の流線と酷似していることから確信を持たれている⁹⁾。しかも流線の拡がりの度合は、河口からの距離に対し指数関数的であることが過去の綿密な海上観測から得られている。さて、河口の位置、ミオ筋および水深を維持して河口内部の石狩湾の機能を安定化するために、過去に河口内右岸に 4 基の水制が設けられ、河口の位置はほぼ固定したが、さらに昭和 34 年から北海道開発局によって河口水深およびミオ筋の安定化のために、河口に導流堤として、第 1 突堤、第 2 突堤の建設が始められ、現在進行中である。筆者らは、河口を流出する流れがこれら構造物の築設過程によって、どのような変化をするかということに注目し、昭和 35 年以来毎年測定を行なってきた。図-4 に昭和 36 年以降の結果とそれによって引いた表面流の概略の流線を示す。図の矢印の方向は表面流の流向を指示したもので矢印の長さは流速に比例している。測定は発電式流向流速計によった。昭和 37 年と 38 年は流れの方向が似ているので、1

図-4 (a) 昭和 36 年度石狩川河口流出表面流

(左岸の短い突堤が第 1 突堤、長いほうが第 2 突堤である。) 矢印の方向は流向を示し、その長さは流速に比例している)

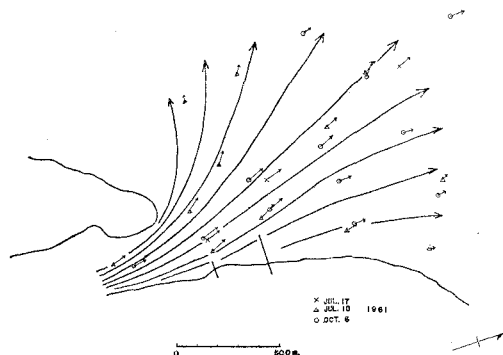


図-4 (b) 昭和 37, 38 年度、石狩川河口流出表面流

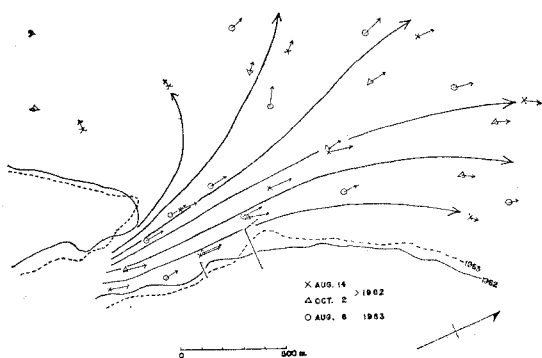
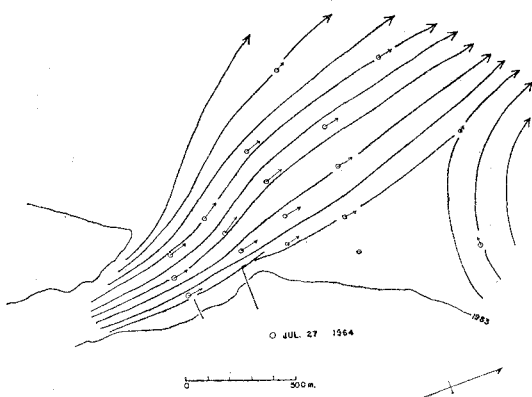


図-4 (c) 昭和 39 年度石狩川河口流出表面流

(汀線形状は昭和 38 年度測定のものである)



枚の図にまとめてある。これらの 3 枚の図を比較しての特徴を列記するとつぎのようになる。① 36 年は河口内のミオ筋が極端に右岸に接近しているが 37 年からしだいに川の中央部に移っている。これは第 1 突堤の完成と第 2 突堤の工事進行によって右岸側に砂が定着を始め、しだいに右岸を浅くしたためと考えられる。② 河口ミオ筋の流向が 36 年度は、約 $N 18^\circ W$ であるのに、37, 38 年には約 $N 6^\circ W$ となっており、さらに 39 年にはふた

たび $N 18 \sim 20^{\circ} W$ に戻っていること。これは第1突堤が完成し、36年ころには、その付近が浅くなって流心が川の中央部へ寄ったが、第2突堤が透過性（テトラポッド）の部分が多かったので、37、38年ころ流向が北に寄り、39年にさらに第2突堤付近がしだいに浅くなり江線が前進して水が完全に不透過になるにおよんで流向がふたたび旧に復したと考えられる。③ 昭和36～38年には川水の拡がりは一見して指数関数的であるが、39年度は拡がり方があまり顕著でなく、むしろ噴流理論による流れのほうに近く見える。36～38年度の拡がり方も測点が不足で正確に指数関数的と指摘するわけには行かないが、39年度とは、その拡がり方はまったく異なっているように見える。この理由は現在のところ解析が不十分でまだはっきりしない。このときの沖の沿岸流は北東に向かってはいるが、わずか数 cm/sec の程度であり、また風は南東の微風であるので、それらは原因ではない。噴流形式と思われるほど淡水塩水の混合が何んらかの原因で発達していたというような事実もなく淡水と塩水は上下にかなりよく区切られている。④ 39年度は第2突堤下流部のかげに流速のない領域が広範囲にでき上がっており、またそのさらに下流には反流が顕著に形成されている。この理由は、はっきりと第2突堤の工事進行によるものと考えてよい。第2突堤は現在パイルによってまったく不透過堤になっており、右岸江線はかなり前進をしている事実から首肯される。この節では河口の表面流の流出について、新しく得られた測定結果を紹介し、それに対する定性的な見解を加えたものであるが、このような表面流分布測定によって工事によってもたらされる流れの変化、あるいは地形の変化がよく理解され、またこれからの工事による諸変化をも予測しうることを強調したい。

4. 浮遊漂砂

河口を持った砂浜海岸の漂砂の実態は複雑である。ことに石狩川のような大河川では、その流出土砂あるいは廃棄物の影響が大きく、きわめて面倒な問題である。しかしながら当研究室で考案し十数年来使用している竹ざおの節を利用した捕砂装置によって定性的にはあるが、河口漂砂の実態が、かなり明瞭に浮かび上がってきている^{10), 11), 12)}。数多い資料の中から、この節では昭和36年以降のおもな結果を紹介してみたい。平水時における河口内外の漂砂または浮遊土砂の実態はすでに報告してあるが、それと似た傾向は36年度の結果にも現われている（図-6）。なお捕砂器の設置地点はすべて図-5に記載されている。位置は船上で六分儀を用い地上目標数点間の角度を求め三桿分度器で図上にプロットして得られている。川のみ奥筋に沿った3地点（No. 1, 3, 4, 2は流失）の鉛直分布では上流ほど浮遊土砂が多い。

図-5 石狩川河口漂砂器設置地点図
（第1、第2突堤以外の上流右岸4基の）
（突堤は過去に築設された水制である。）

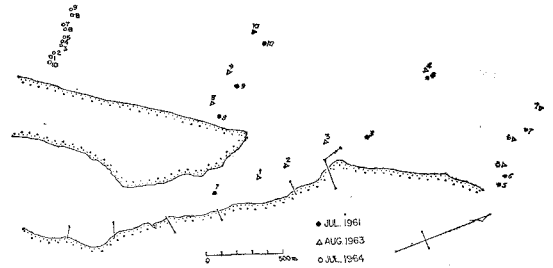


図-6 (a)

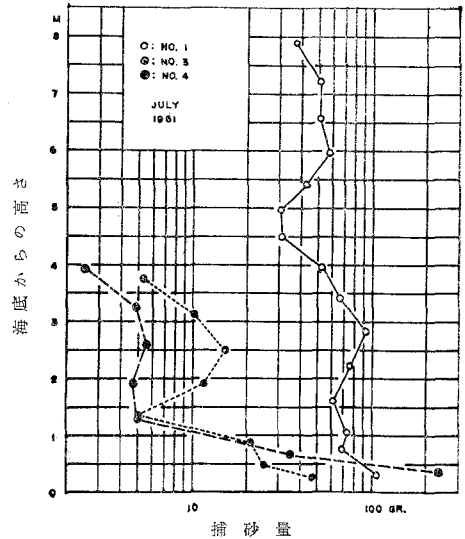
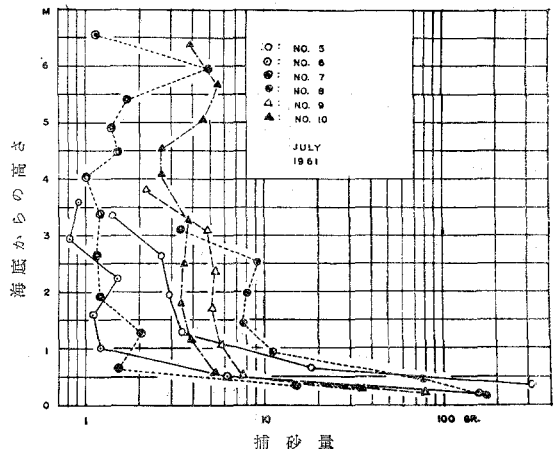


図-6 (b)



上層は淡水、下層は海水であるので浮遊物のうちの多くのものがしだいに沈下してその境の付近に濃度の高い層が現われる傾向は前にも指摘したが⁹⁾、今回もそれが見られる。一般の砂浜海岸における漂砂の鉛直分布はいわゆる「く」の字型分布が標準型になっていて、底がもっとも多いのであるが、これは波によって、海底から数 cm の範囲に shear の大きな層ができて砂を攪乱するため

と解されるが、その傾向は川のミオ筋に沿っても沖に行くにしたがって現われてくる。それと平行して淡水中の浮遊土砂は河口を出て四方に拡がりその厚さを減じ海水との混合が促進されるため、しだいに濃度を減じている。これが河口の両岸の部分では、図-6 (b) の No. 5~No. 10 に見られるように、「く」の字型分布になっており、しかも岸に近いほどの深度でも多くなっている。こ

れは今までにどの海岸でも経験されていることである。しかし両海岸とも沖のほうほど上層部に捕砂量の極大点が見られてきて、川からの浮泥がかなりの濃度で捕集されていることがわかる。もちろん量的には河口内部にはおよばないが、これらは浮遊性が大きく、沖の沿岸流に乗って湾の北東に沿って湾外にまでも多量に運ばれるものである。注意して図-6 (b) を見ると右岸より左岸側の

のほうが漂砂が多い。これについてはやはり定性的な考えであるが、川の流れて流出してから右岸に片寄るので波は流れにさえぎられて、そのエネルギーをかなり奪われるためであろうと推察される。38 年度の結果は、図-7 に示してあるが、36 年度とまったく様子が異なっている。この時期は集中豪雨の後で増水しており、捕集されたものはほとんどが川の流出浮泥と考えてよい。もちろん塩水クサビは、河口内部にはなく、表層から底まで川水で占められた領域が多かったので、鉛直分布は比較的一様に近く、河口両岸の海岸側でも「く」の字型の分布は見られない。ここで特徴的なのは、前例と異なり右側海岸のほうが、左側海岸よりも捕砂が圧倒的に多いことである。

これは浮遊砂がほとんど川からの浮泥であって波によって誘起される通常の沿岸漂砂でないことと 37, 38 年が前節にのべたように川の流出した流れが極端に右側海岸に接近していた事情とあわせて考えれば納得できる。39 年度は川の影響を避けて一般海岸としての漂砂分布を再認識する意味で河口から 1.5 km に汀線に直角に 10 カ所設置した。その結果は図-8 に示されている。これは期待どおりに

図-7 (a)

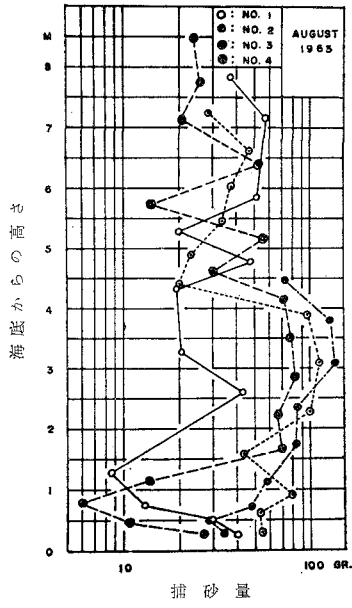


図-7 (b)

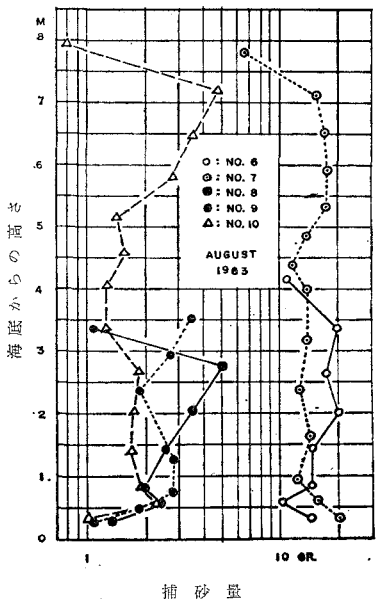


図-8 (a)

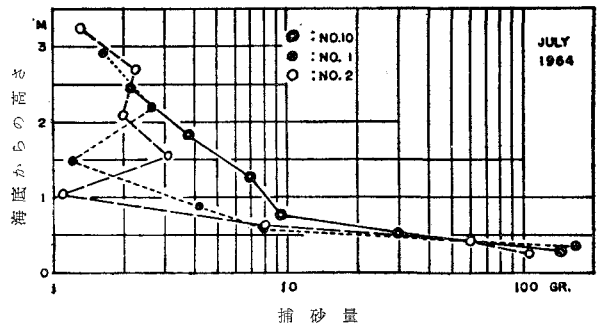


図-8 (b)

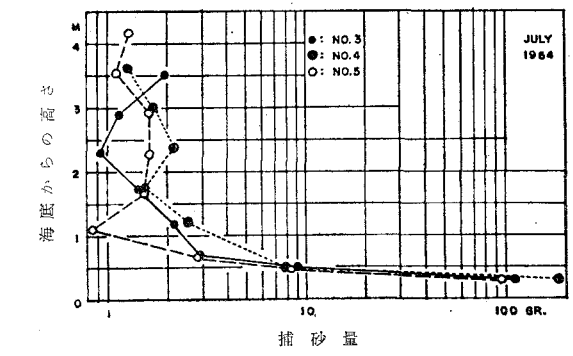
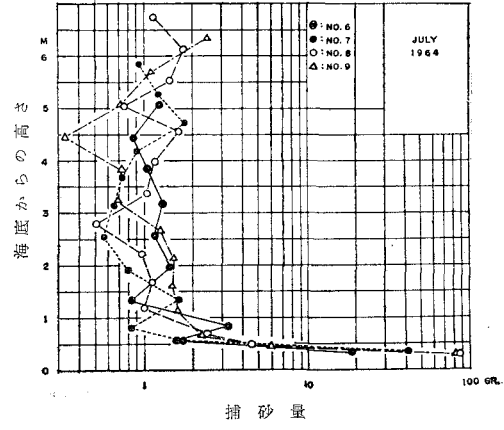


図-8 (c)



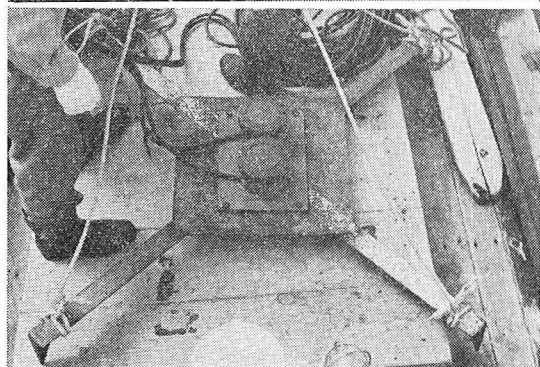
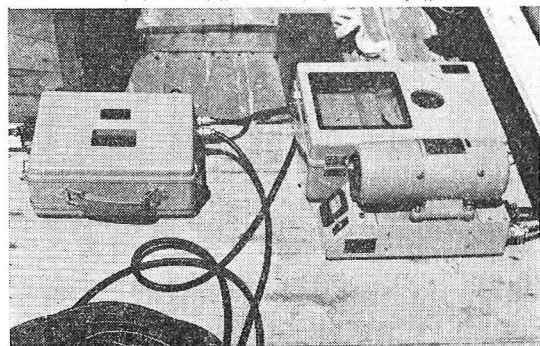
。通常海岸の「く」の字型分布になっていて海岸に近いほど捕砂は多い。また「く」の字の屈曲点の海底からの高さは、岸近くの No. 10 では 80cm 程度で、他は 50～70 cm ではば一様である。No. 10 は汀線から約 100 m で荒天時の砕波帯内にあり、他はすべて砕波帯外である。このように砕波帯内では屈曲点が高くなることは苫小牧海岸でしばしば経験していることである。そのほかに、沖に向かうほど上層部の分布が一様に近くなっていることが特徴的であって、この現象も同様に苫小牧海岸で経験されている。また沖ほど表面近くに、濃度極大点が存在するのはやはり、川の浮泥のためと考えてよい。事実この期間中海面のにごりは、この海域を越えてはるか南西方面にまで達していることが観察されている。この節は要するに、河口の近辺では常に川の浮泥の濃度が高く河口から遠くかるにしたがって、しだいに一般海岸の漂砂特性に移って行く実際の様子や、また出水時には一般漂砂をはるかに凌駕する流出浮泥が河口の内外を占めつくすなどの実態を、実測から紹介したものである。

なおこれに用いられた捕砂装置の捕集特性は、室内実験とは別に現地でも数多くの種類について数年来試験されており、明らかになりつつあるが、その結果は、この稿には間に合わないのでつぎの機会にゆずりたい。

5. 波浪の測定

波浪の観測は、底置き超音波波浪計によって行なった。写真—2 がその装置である。超音波送受波器は、チ

写真—2 超音波波浪記録計
上は発振器、増幅器、記録計 下は送受波器

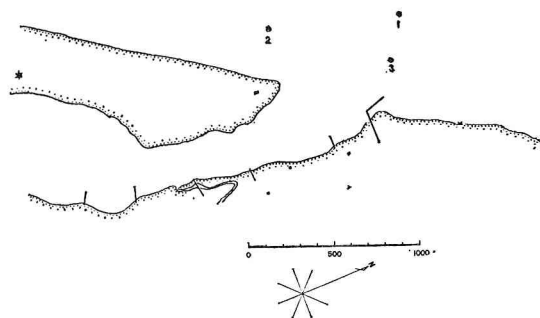


タン酸バリウム素子で、ケーブルによって船上の発振器、増幅器および記録計に接続して船上で記録をする。超音波周波数は 100 kc、出力約 10 W、パルス幅 0.2 m sec、くり返し周波数は 10 c、超音波ビーム幅 10° 以下、記録波高の読取りは、記録時の水温によって変化するが 20°C において 1 cm を読み取ることができる。

つぎに波浪観測の結果をのべる。昭和 38 年 11 月 5 日および昭和 39 年 7 月 25 日、石狩川河口外で観測を行なった。観測地点を 図—9 に・印で示しておいた。1 は昭和 38 年 11 月 5 日午前、2 は同日午後、3 は昭和 39 年 7 月 25 日の観測位置である。写真—3 はこれらの記録の一部である。

これらの記録から 20 分間の波高を読み取り、有義波高、平均波高、平均周期などを計算した。表—1 にそれを示す。それらの値は、これまでに求められている多くの値¹³⁾とはば一致するが、ただ $H_{\max}/H_{1/3}$ の値は通常示す値 1.8～1.9 にくらべて、いずれも小さくなっている。これは観測地点の海底地形が複雑であるためによるものか、河口という特殊性にあるのか、今のところ不明である。昭和 38 年 11 月の観測は河流のほぼ中心と、流れの影響のない地点との相違を調べるために行なったものである。観測時間が異なるので詳しく論ずることはできないが、どちらも風向風速海底地形の条件はあまり変わらないのでこれらによる影響はないものとして考える。

図—9 波浪観測地点

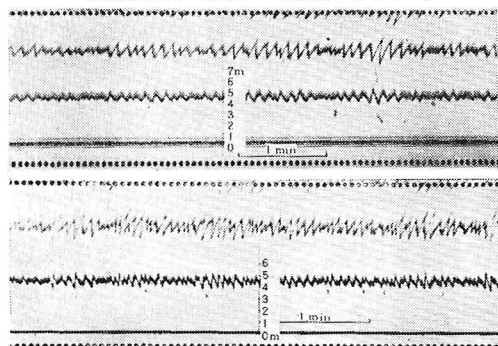


写真—3 観測波浪記録

上 昭和 38 年 11 月 5 日 うねり

下 昭和 39 年 7 月 25 日 風波

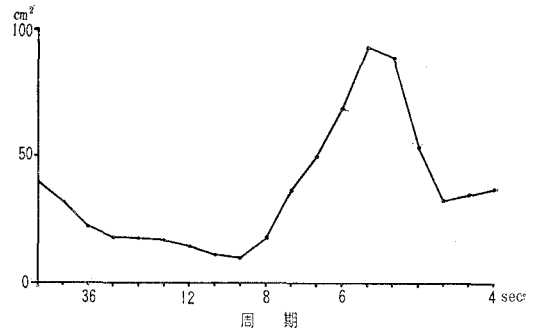
(記録紙上部の波形は二次反射によるもの)



表—1 波高観測の結果

	地点 1	地点 2	地点 3	
	1963. 11. 25 11 h 56m ~12 h 16m	1963. 11. 25 13 h 56m ~14 h 16m	1964. 7. 25 10 h 08m ~10 h 28m	1964. 7. 25 10 h 33m ~10 h 43m
風 向	S80E	S80E	N10E	N10E
風 速 (cm/sec)	0	0	3.9	3.9
波 向	N80W	N80W	N30W	N30W
深 度 (m)	3.2	3.8	5.5	5.5
水 温 (°C)	13.6	13.7	22.3	22.3
平 均 波 高 H_{mean} (cm)	34.4	40.1	39.0	41.4
平 均 周 期 T_{mean} (sec)	5.22	5.94	3.49	3.43
有 義 波 高 $H_{1/3}$ (cm)	50.6	58.5	60.3	66.6
$\frac{H_{1/3}}{H_{mean}}$	1.47	1.46	1.55	1.61
$\frac{H_{1/10}}{H_{1/3}}$	1.27	1.23	1.22	1.25
$\frac{H_{max}}{H_{1/3}}$	1.64	1.54	1.78	1.73

図—12 周波数スペクトラム



る所では、流れのない所にくらべて波高が小さくなり、また波高分布の範囲も狭くなっていることがわかる。周期も同様に流れのある所が小さくなるという結果が得られた。

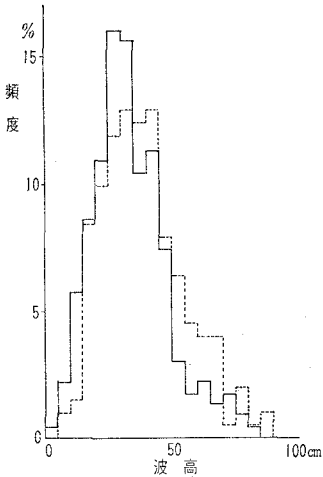
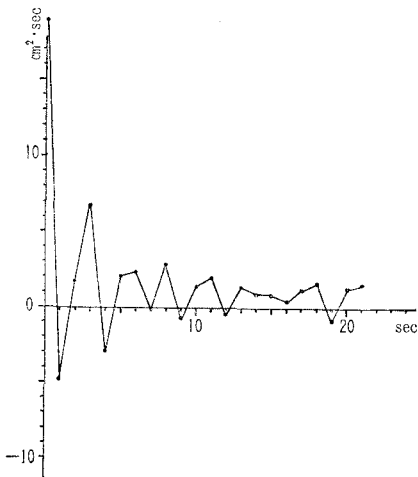
周期の分布を調べるため地点1で得られた記録から、11h 20m より 11h 30m までの 10 分間について周波数スペクトラムを作ってみた。波高の読み取りは 2 sec 間隔で τ は 60 sec までである。自己相関図を 図—11 に、周波数スペクトラムを 図—12 に示す。このスペクトラム図から卓越周期は 5.5 sec と求められた。

河の流れによって波高、周期がどのように変化するかという問題は興味あるテーマであり、この研究テーマについての発表論文も見られるようになってきたが¹⁴⁾、これには長期間の観測資料が必要であり、詳しくは別の機会にゆすることとする。

6. 底質の X 線分析

河口近くの底質の状況を調べるため、昭和 39 年 7 月 27 日に河口内外の 20 地点で底質採取を行なった。これらの採取した底質は乳鉢で粉砕し、タイラー 200 番メッシュ (0.074 mm) を全通させ測定試料とし、蛍光 X 線分析を行なった。河水および海水には、微量の Ca が含まれており、これは CaCl_2 の形で存在しているが、河川が海に流し出す土砂や海底の砂泥中では、これとは異なり Ca は CaO , CaCO_3 , CaSO_4 , $\text{Ca}_3\text{P}_2\text{O}_8$ などの形で存在する¹⁵⁾。これとは別に、プランクトンおよび魚貝類によって海水中的の Ca が濃縮され、その死がいが堆積することにより海底底質中の Ca は、二次的に増加し河川土砂に対して数倍の比を持つこともある。この比率の差を利用して河口外底質の起源を判定できるかどうか、分析を試みた。図—13 として底質採取地点を × 印で示した。図—14 は分析チャートの三例で、 $2\theta = 110^\circ \sim 125^\circ$ の範囲に現われる Ca, K, Fe のピークを示したものである。K, Fe については、どの試料も大差なく、これらはその起源においてすでにほぼ一定した比率を持つと思われる。試料の分析チャートのパターンは 3 種に分類できた。それは Ca のピークの大きいもの 図—14 (a), 中

両者について見ると $H_{1/3}/H_{mean}$ および $H_{1/10}/H_{1/3}$ はほぼ一致しているが、 $H_{1/3}/H_{mean}$, $H_{max}/H_{1/3}$ および T_{mean} がかなり異なった値を示している。この相違は河の流れの有無に原因を求めて良いであろう。両者の波高頻度分布は 図—10 のとおりで、異なった形を現わしている。この図から流れのあ

図—10 波高頻度分布
実線は地点 1
点線は地点 2図—11 1963 年 11 月 5 日, 11 h 20 m ~ 11 h 30 m
における自己相関図

くらいのもの (b), 小さいもの (c) であり, 仮にこれらを, それぞれ Type A, Type B, Type C としておく。Type A は海底堆積物, Type C は河川よりの排出土砂

が示すパターンであり, Type B は両者が混合している過程のものと考えられる。表-2 はこれら 20 個の試料を分析結果から 3 つの Type に分けて示したものである。このうち地点 2, 5 および 8 で採取した底質には少量の炭塵が含まれていた。石狩川上流には石狩炭田があり洗炭排水中に炭塵が混入して流下することは十分考えられるので, 炭塵の存在は Ca の分析結果とは別に, この地点の底質が, 石狩川から排出された物質であることを示す一つの証拠となる。表-2 に示した結果を図-15 としてかかげる。これから大ざっぱながら河からの排出土砂の分布が与えられるが図-15 の点線がその境界である。分布は河流の流心を中心とした一様な幅に分布するであろうという予想とはまったく異なった形をしているが, これは海岸漂砂と卓越沿岸流および河流の関係から説明できる。

石狩川が増水した際, 大量の土砂を排出し, 土砂は河口外に一樣に広がり堆積する。流量が減少して平水位に達すると排出土砂は減少し, また海岸線を北上する卓越沿岸流が河口外河流を右折させ, 荒天時には海岸漂砂が増大して沿岸流によって河口部へ運ばれる。これは排出土砂層上に堆積する。図-15 には河流および沿岸流を矢印で示したが底質の状況とよく一致している。地点 15, 16, 17

表-2 底質の分類

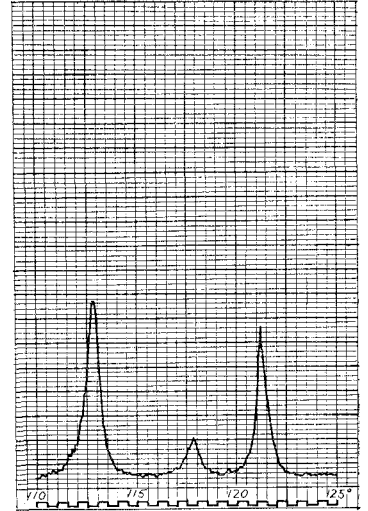
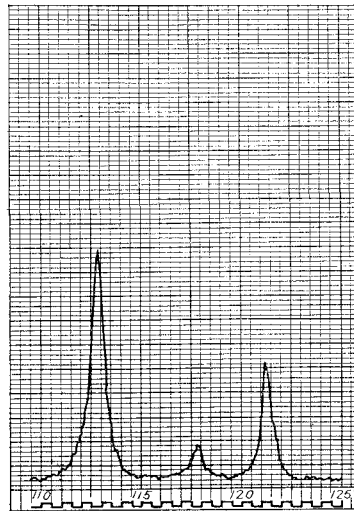
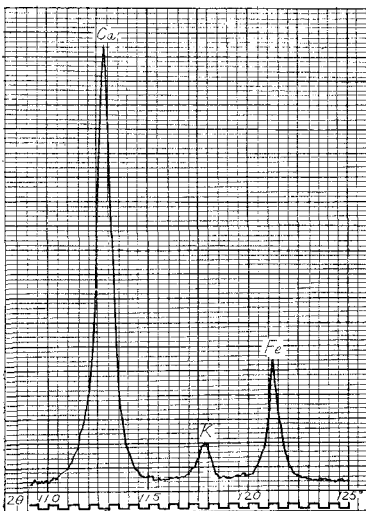
Type	A	B	C
地点番号	3, 6, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 20	5, 12, 19	1, 2, 4, 7, 15, 16, 17, 18

図-14 底質の蛍光線分析チャート

(a) 地点 20

(b) 地点 5

(c) 地点 1



および 18 は水深約 7~10 m でこの付近の海岸漂砂は図-18 (c) の捕砂装置 No. 8 の捕砂量の結果を延長してあてはめることができるので、これらの地点では漂砂はほとんど無視しうることがわかる。したがって河口からの排出土砂は堆積したときの状態がそのまま保たれるのであろう。長期間には、これらの地点の海底に露出した河川土砂層もしだいに漂砂におおわれ、排出土砂は、わずかに河口付近に見られるだけとなる。この過程は石狩川が増水するごとにくり返される。このようにして集積した土砂は河口付近を水深 2 m 程度まで浅くすることもあり、漁船の出入をさまたげるようになるが、毎春融雪期の洪水によって、ある程度押し流される。Ca の分析による底質分布の判定方法は、どの河川においても有効なものとはいえないが、河川流域の地質、海底砂の鉱物組成のいかんによってはきわめて簡単な方法となるであろう。

以上の研究を行なうにあたり種々御援助を賜った北海道開発局小樽開発建設部長 森 勝平氏、同じく見上(前)、東山崎(現)築港課長、また現地の楠本修築事務所長に対し厚く感謝の意を表する。本研究の一部は文部省科学研究費によったことを付記する。

参 考 文 献

- 1) 福島久雄：石狩川河口の観測，日本海洋学会誌，1 卷 1 号，昭 17.
- 2) Otsubo, K. & Fukushima, H. : Density currents in a river mouth with a small tidal range, I.A.H.R. 8th Congr., 1959 および北大工学部紀要 Vol. 11, No. 1, 昭 35.

- 3) 福島・柏村・八畝・高橋：石狩川塩水楔の遡上，北大地球物理学研究報告，第 7 号，昭 35.
- 4) 福島・柏村・八畝・高橋：超音波による河口二重水層の研究，第 8 回水理講演会講演集，昭 38.
- 5) 福島・柏村・八畝・高橋：石狩川の河口構造，第 8 回海岸工学講演会講演集，昭 36.
福島・柏村：昭和 35 年度石狩川河口調査報告 (1)，北大工学部理學第一研究室，北海道開発局小樽開発建設部。
Fukushima, H. & Kashiwamura, M. : On the dynamical problems at the mouth of the Ishikari River, Coast. Eng. Japan, Vol. 6, 1963.
- 6) 福島・柏村：石狩湾で放流した海流瓶の結果について，日本海洋学会秋季大会講演，昭 39. 9 (未印刷).
- 7) Bates, C.C. & Freeman, Jr. : Inter-relations between jet behavior and hydraulic processes observed at deltaic mouths and tidal inlets, Proc. 3rd Conf. on Coast. Eng., 1952.
- 8) Albertson, M.L., Dai, Y.B., Jensen R.A., & Rouse, H. : Diffusion of submerged jets, Proc. A.S.C.E., Pap. No. 2409, 1948.
Schlichting, H. : Boundary layer theory, Pergamon press, London, 1955, p. 483.
- 9) 柏村：密度成層をなす河口流出流について，日本海洋学会秋季大会講演，昭 38. 10 (未印刷).
- 10) 福島・溝口・柏村：漂砂とその測定，第 2, 4, 5, 6, 7 回海岸工学講演会講演集の各号.
- 11) 昭和 29~34 年度苫小牧港調査報告の各号.
- 12) 福島・柏村・八畝・高橋：日高海岸における漂砂の研究，第 1 報・第 2 報，第 9 回，10 回海岸工学講演会講演集，昭 37，昭 38.
- 13) J.W. Johnson 編海岸工学 I, 79 p, 土木学会海岸工学委員会訳.
- 14) 浜田徳一：沿岸波浪の工学的問題，沿岸海洋研究ノート，第 3 巻第 1 号.
- 15) 三宅泰雄：地球化学，朝倉書店.