

石狩川河口の旧川における感潮現象

福島久雄*・八 鍬 功**・高 橋 将***・大谷守正****

1. 序

石狩川の下流部は昭和初期にショートカットが行なわれて以来、そのために本流から切り離された大彎曲部は、広大な水面を札幌市の西北方に横たえたまま40年を閑し、農業用水として利用される他は全く往時のまま、そのどかな牧歌的風景を水面にうつして今日におよんでいる。しかしながら、隣接する海浜には石狩新港の計画を目前に控え、100万都市から車でわずか数十分の距離にあるこの巨大な水域は、近い将来なんらかの方向決定を迫られる運命にあるといえよう。

筆者らは年来実施して来た石狩川河口の研究の途上において、この水域の長年にわたる理学的変化の過程を追跡しようとしたが果たさず過去において数例^{1),2)}の調査実測をもつのみであった。昨年と本年の2回にわたって

行なった新しい実測の結果を述べて今後の研究の指針としたい。

図-1は調査区域の地図であるが、旧川（ふるかわ）とよばれる旧石狩川の彎曲部は、そこに示されるようにわずかに生振運河によって河口近い本流につながっている。今回の調査はこの運河による旧川の感潮現象として、水位変化、塩水の挙動について調べたものである。

2. 石狩川本流の水位と運河流速の関係

石狩生振（おやふる）運河の流れは石狩川本流と旧石狩川（茨戸川）の水位差によって生ずる。旧川の中間部には、伏籠（ふしこ）川、発寒（はっさむ）川、創成川の3河川が流入し、これら河川水は旧川を流下し生振運河を経て石狩川本流へと流出するのであるが、平時時には毎秒数トン程度の流量を運ぶにすぎないので、旧川の水位変化に与える影響は無視し得る。

これに対し石狩川本流は感潮現象によって数10cmの水位変化を生じ、これと本流流量の変化による水位変化が運河の流れを支配している。

生振運河は旧川からN13°Wの流路を持って本流へ向かい途中しだいに右へ流れを転じてN4°Eの方向をとって本流に達する。流路は水面幅50m、最大水深2.8mの台形断面を持ち、総延長約1375mでこのうち旧川寄りの約1200mは両岸をコンクリートブロック板で覆工してある。本流寄りの残り約175mは素掘りのままで、この部分には本流の運んで来る土砂が堆積するため場所によって水深1m以下のところもある。

運河開口部の本流最大水深は10.3m、旧川最大水深は6mである。

以上のごとき運河の水流に対し、石狩川本流を介して伝えられる潮汐と、本流流量の変化がもたらす影響を調べるため、昭和46年9月と47年6月の2回本流側開口部より約860mの運河中央部に自記流向流速計を設置し運の流れの観測を行ない、その河結果と図-1にISHIKARIと示されている運河開口部より約1200m下流に設置されている自記水位計記録との対照を行なった。

この本流石狩水位は河口から遡上して来る河口潮汐と上流からもたらされる本流流量変化が合成されたものなので、両者を区別するため河口潮位として小樽港推算潮

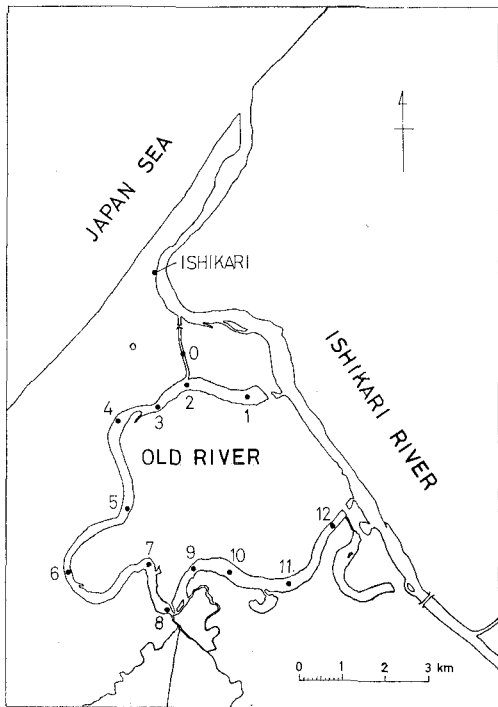
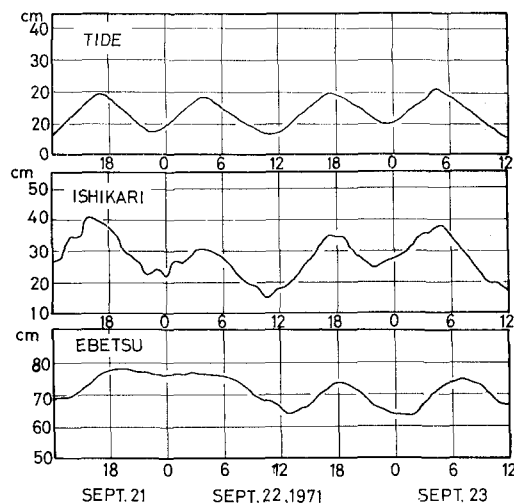


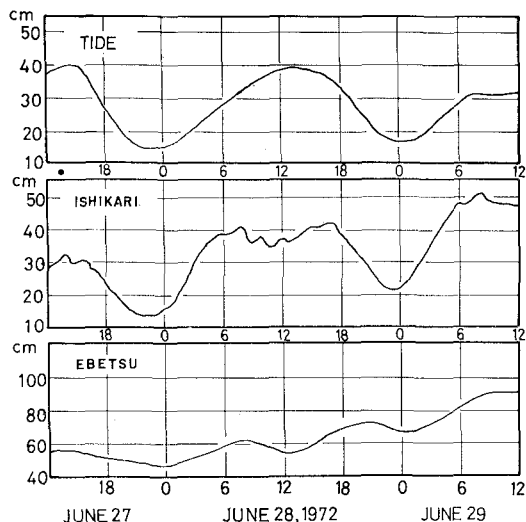
図-1 石狩川河口付近平面図

* 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
 **** 北海道大学助手 工学部

位を準用し、これと石狩川江別大橋に設けられている水位計の記録とを合せて 図-2(a) および 図-2(b) として示す。



(a) 昭和46年9月21日～23日



(b) 昭和47年6月27日～29日

図-2 石狩湾の潮汐と石狩川本流水位変動

しかしながら潮汐の影響は江別水位にもほとんど減衰せずにおよんでいることが石狩水位との比較からわかり、流量変動についてはなんらの情報も得られない結果となった。

図-3 として運河の流速計(図-1 中の0地点)による記録から N13°W 方向の流速成分と、合せて直接相関が見られるように石狩水位を鎖線で示す。

昭和46年9月の観測では、潮汐は半日週潮が卓越しており運河内の流速も良くこれに応答している。

47年6月の観測では、21日から28日まで毎日1回潮であり、かつまた27日は望に当たり観測期間はいわゆる

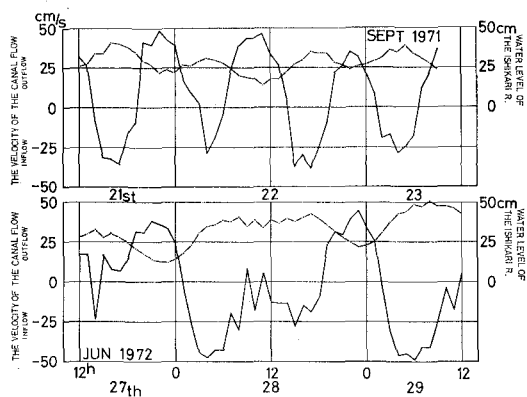


図-3 本流水位と運河流速の関係

大潮の機会をとらえたのであったが、運河内の流れには半日週潮とみられる流速変化が比較的大きく現われている。

このため河口潮位として用いた推算潮位に対しては、46年9月の場合に比べてかなり悪い応答となっているが、図-2(b)の石狩水位と江別水位に認められる漲潮時の不規則性は最大でも10数分程度の時間差で対応しており、このことからこれらの不規則水位変動は、石狩川の流量変化によるものではなく河口潮位の不規則変動が長波として上流に伝播したものと解釈できる。

この潮位変動によって運河内の流速が同様の変動をしたものであるとすれば、実際の河口潮位に対して良い応答をしているといえる。

ところでこの潮位の不規則変動の原因は、観測期間を含む数日間にわたって石狩湾を通過した低気圧による気象潮であると思われる。観測期間中特に27,28の両日は最大15.6 m/sec, 平均10.4 m/secのS20°Eを主方向とする強風が吹き続けていた。

本流の水位と運河内流速について調和解析を行なった結果を次に示す。ただし潮位や潮流と異なり河川内部の水位や流速には流向が定まっていることや、流量の変化あるいは旧川の副振動など多くの要素がからむので1/3日, 1/4日, 1/6日週潮などの分潮について分解を行なってもあまり意味がないと考え、1日週潮と半日週潮のみについて行なった。その結果は次のとおりである。

46年9月 石狩水位 (cm)

$$H = 27.30 + 5.65 \cos(\sigma t - 94^\circ 37') + 7.63 \cos(2\sigma t - 120^\circ 20')$$

ただし $t=0$ は9月21日12時である。

同じく46年9月生振運河流速 (cm/sec)

$$U = 15.31 + 9.07 \cos(\sigma t - 261^\circ 29') + 37.33 \cos(2\sigma t + 65^\circ 06')$$

$t=0$ は上に同じ。

47年6月 石狩水位

$$H=28.47+11.17 \cos(\omega t+46^{\circ}28')$$

$$+4.53 \cos(2\omega t-129^{\circ}15')$$

同じく生振運河流速

$$U=-0.70+28.87 \cos(\omega t-90^{\circ}33')$$

$$+20.04 \cos(2\omega t+74^{\circ}26')$$

ただし $t=0$ は 6 月 27 日 12 時である。

これらから次のことがわかる。すなわち 46 年 9 月本流水位と運河流速の値から 1 日週潮に対する半日週潮の振幅比は石狩水位が 1.35 であるのに運河流速では 4.12 となり、半日週潮に対する流速応答が大きいことを物語っている。47 年 6 月の場合も水位の比 0.406 に対し流速の比が 0.654 と大きくなり、運河を含めた旧川の水位変動特性に興味を持たれる。

運河流速の定常成分は 46 年の場合流出方向であり、流量に換算すると約 $20.5 \text{ m}^3/\text{sec}$ であったが 47 年の場合には流入方向で流量にして約 $0.53 \text{ m}^3/\text{sec}$ であった。このわずかな流入流量とともに本流の塩水くさびから塩分が旧川に流入したのが認められた。

運河の流速は本流の水位に対して位相の進みがあることもわかる。46 年 9 月の場合には 1 日週潮について

$$60[-261^{\circ}29'+180^{\circ}-(-94^{\circ}37')]/14^{\circ}30'=54 \text{ min}$$

半日週潮については

$$60[74^{\circ}26'-180^{\circ}-(-129^{\circ}15')]/29^{\circ}=49 \text{ min}$$

それぞれ運河流速が石狩水位より早く応答している。

47 年 6 月の場合には同様にして 2h57m および 11min それぞれ運河流速の最大、最小が石狩水位の最低、最高より早く現われる。ただこの半日週潮に相当する位相差については、それが真のそれではなく気象潮によると思われるので 1 日週潮の場合の進みに比べてきわめて短い時間となった意味がよくつかみ得ない。

石狩水位と運河流速の相互相関は昭和 46 年 9 月には -81.34% 、47 年 6 月には -72.83% となり、47 年 6 月の相関はいくらか悪いが運河の流速におよぼす潮汐の影響が、他の原因をはるかにしのぐものであることがわかる。

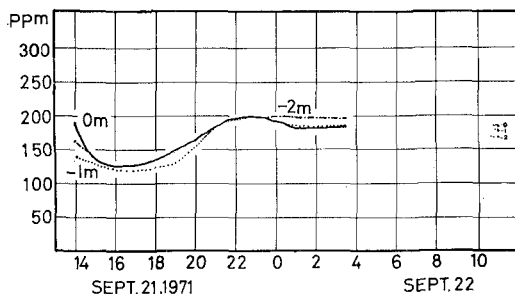
3. 運河内塩素量の時間的変化

旧石狩川と石狩川本流を結ぶ唯一の交流水路としての運河は河口より 5.6 km の地点にその入口があり、この地点の本流の河道には塩水くさびが存在し塩水を含んだ河水が潮汐の影響を受けて漲潮、落潮時に運河内を往復運動し旧石狩川の淡水との間に水の交換が行なわれている。この運河を唯一の交流水路としているため運河内における塩素量の時間的、季節的变化を知ることは、旧石狩川の水利の実態を明らかにして行くうえで重要なことであり、潮汐および本流河川固有流量の旧石狩川にあたる影響を考えるうえでも必要なことである。

今回は昭和 46 年 9 月 21 日～22 日、昭和 47 年 6 月 27 日

～28 日の 2 回にわたり観測した運河内の塩素量の時間的変化について報告する。

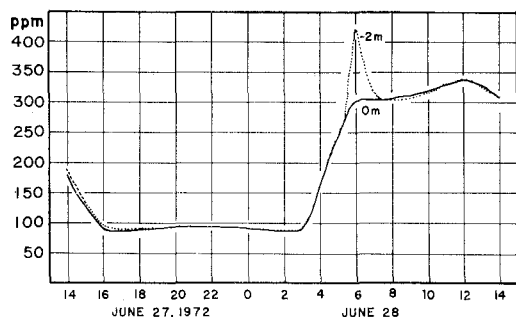
運河内における塩素量の測定は、運河、本流合流点より約 200 m 離れた運河上に架設された橋の上より、電気電導度計により電導度を測定するとともに採水を行ない実験室に持ち帰り工業用水試験方法、JIS K 0101 にしたがって塩素量の分析を行なった。



図—4(a) 塩素量濃度の時間的変化
昭和46年9月21日～9月22日

図—4(a) は半日潮の場合の観測例で昭和 46 年 9 月 21 日 14 時～22 時まで運河内における塩素量の時間的変化を示すものである。観測開始の 21 日 14 時から 16 時まで塩素量が減少し 16 時を過ぎると 22 時まで増加し、その後は平坦になっている。これを本流河口潮位、図—2(図の中で石狩は河口より 4.5 km 地、江別は河口より 28 km の地点)と比較してみると 14 時から 16 時まででは上げ潮であるが、半日潮のため振幅が小さいことと、本流流量の増加により水面下 7 m まで淡塩 2 層境界面がおし下げられ、塩素量濃度の低い本流河川表層水が旧石狩川に流れこんで塩素量濃度の低下をきたしたものと思われる。16 時から 22 時までの塩素量増加は以前に流入した比較的濃い部分が転流と同時に混合されながら排出され塩素量の増加をきたしたと考えられる。その後の平坦な部分は、本流の塩素量の低い表層水の往復運動のみに終始して塩素量濃度はほぼ一定値を示している。この観測例は河川流量のほうが潮汐より重みを増し、塩素量の変動範囲もわずか 120 ppm～200 ppm にとどまっている。

図—4(b) は 1 日潮の場合の観測例で昭和 47 年 6 月 27 日 14 時より 28 日 14 時までの 24 時間における半日潮と同様の観測例である。46 年度と同じように河口潮位、図—2(b)と比較検討すると、6 月 27 日 14 時の河口潮位の減少と同時に旧石狩川の淡水が河口に向かって流下し、運河内の塩素量もそれにつれて低下している。塩素量の低下は 14 時から 16 時までの 2 時間でその後は河口潮位が上昇しはじめる時刻よりも 2 時間後まで一定値を示し、その後は潮位の増加とともに塩素量の増加が見られる。このような塩素量の変動は漲潮、落潮では位相のずれはあるが潮汐の振幅の度合いと良く一致している。



図—4(b) 塩素量濃度の時間的変化
昭和47年6月27日～28日

塩素量変動範囲も 90 ppm から 450 ppm と変動の幅も大きく淡水二層の境界面付近の塩素量濃度の高い部分の流入もあったものと思われる。なお塩水くさびは 27 日、28 日、両日とも本流水面下 4.5 m のところに存在していた。この観測例は比較的良好く潮汐の影響が表われている例といえよう。

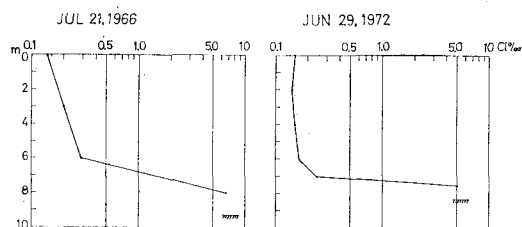
運河内の深さ方向における塩素量の違いはそれほど顕著なものではなく、2 回の観測結果では成層を成して運河内に侵入してくることは認められなかった。6 月 28 日 6 時における水深 2 m に見られた高濃度の値は電気電導度測定時には検知されず、採水時に一時的に高濃度の塩素量を含む水塊が流入したものと思われる。

以上 2 回の観測結果より、運河内の塩素量の時間的変化について簡単に記したが、総合的な分析を進めるにあたっては今後の観測結果を待たなければならない。

4. 旧川内の塩素量分布

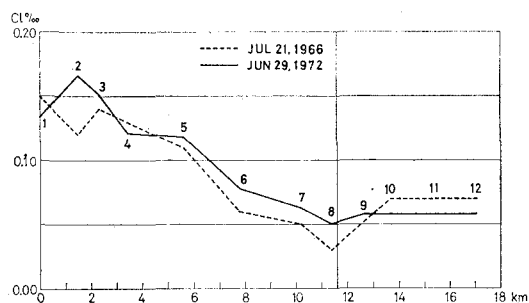
石狩川旧川は長さ 1.3 km の運河によってのみ本流と連結されており、2. で述べたように潮汐によって本流から旧川へ、または旧川から本流へ水の交換が行なわれている。したがって本流の流量が減少して塩水くさびが運河の入口より上流の地点まで遡上すれば、くさび表面から拡散した塩水が交換水とともに流入するため、旧川の深部に塩水が蓄積する時期があり、農業用水などには大きな影響を与える。

筆者らは旧川内の塩分分布を求めるために昭和 41 年 7 月 21 日と昭和 47 年 6 月 29 日の 2 回、図—1 に示した



図—5 塩素量鉛直分布 (測点 3)

12 点で水温、電気抵抗の鉛直分布を観測し、また各点水深 2 m ごとに採水してその塩素量濃度を測定した。図—5 はその一例で測点 3 における塩素量の鉛直分布を示したものである。各水深における塩素量濃度は両日ともほとんど同じで、水深 8 m の深部に 5 Cl% のかなり濃い塩分が観測された。これは前述のように本流の流量の少ない時期に運河から流入した塩水がたまったものであるが、この塩水部分が時期によってどのように変化するかは今後の観測にまたなければならない。



図—6 縦方向の表面塩素量分布

図—6 は横軸に測点 1 から各測点までの距離をとり、縦軸に測点の表面塩素量をとって、旧川内における塩分の縦方向の分布を示したものである。図中点線は昭和 41 年 7 月 21 日、実線は昭和 47 年 6 月 29 日の観測であるが、ともに測点 2 を除いて同じ傾向を示している。すなわち測点 8 までは表面塩素量が徐々に減少しているが、測点 9 から 12 までは全く同じ値となっている。これは 図—1 によっても明らかのように、測点 8 の少し上 (測点 1 から 11.6 km) の地点に観音橋があり、その部分の河道がくびれて狭くなっており、その付近に創成川、発寒川、篠路川などが流入してあたかも旧川の片側から塩水、片側から淡水が流入する形になっているためである。さらにこの狭部は小河川から流入する土砂の堆積によって水深 1 m 以下ときわめて浅く、測点 9 から 12 までの部分と測点 8 までの部分との水の交換はほとんどないものとおもわれる。測点 9 から 12 までの表面塩素量が同じ値を示しているのはそのためである。この両部では観音橋を境界にして水位変動が著しく異なり、測点 9-12 の部分では 1~1.5 時間おくれ、また振幅は 20~40% 減衰することが昭和 41 年の観測でたしかめられている。測点 2 で塩素量が大きく変化しているのはこの部分がちょうど運河の出口にあっており、本流からの流入水の影響を受けるからである。本流における淡水層の厚さは運河入口付近で昭和 41 年 7 月 21 日の場合 5.5 m で本流の表面塩素量は 0.13 Cl% であり、昭和 47 年 6 月 29 日には 4.5 m で表面塩素量 0.32 Cl% であった。したがって 図—6 の点線の場合は測点 2 の塩素量が測点 1.3 より小さく、また実線の場合は逆に大きな値になっている。

5. あとがき

終りに筆者らはこの研究調査に際し種々の便宜を与えられた北海道開発局石狩川開発建設部（部長 音羽敬三氏）ならびに同札幌河川事務所（所長 高木譲治氏）に対し深く謝意を表する。またこの研究の費用は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) 福島久雄・八鍬 功・高橋 将・柏村正和：石狩川河口の研究（4），第14回海岸工学講演会講演集，1967.
- 2) 北海道開発局：札幌西北部地区総合調査資料（旧石狩川の水理状況について），昭和42年3月.