

湖 口 処 理 に つ い て

正 員 宇 田 居 吾 一*

1. ま え が き

隆起性の海岸の各地には細長い砂丘で海と隔絶された海成の湖沼(潟湖)が海岸沿に点在する地形をよく見かける。北海道のオホーツク海沿岸、紋別～網走地方はこの代表的な例であって、北から、コムケ沼(流域面積 51.7 km^2 , 水面積 5.4 km^2)、シブノツナイ沼(流域面積 82.5 km^2 , 水面積 3.3 km^2)、サロマ湖(流域面積 848.0 km^2 , 水面積 150.5 km^2)、能取湖(流域面積 207.3 km^2 , 水面積 58.5 km^2)、藻琴沼、濤沸湖(流域面積 175.2 km^2 , 水面積 10.0 km^2)、濤釣沼と大小7つの湖沼が海岸沿に連なり、静かな湖面を背景に牛の散策する緑の湖畔は、殺伐な北海の景色に飽きた車窓の旅人を楽しませてくれる。

しかし、これ等の湖沼はサロマ湖を除きすべて閉塞湖沼であって、春の融雪出水による湖水位の上昇は、周辺の農地、道路に例年の冠水被害をもたらすとともに、地下水位の上昇により耕地の排水を阻害して農地の開発を遅らせ、一方、湖口部の舟航を阻止して湖水面の港としての有効利用や、外海への漁船の出漁を不可能にし、さらにまた、海水の交流を阻んで湖水の汚濁、老朽をもたらし湖面の養殖漁場としての利用をも阻止していて、この地方の地域開発の上に与えている有形無形の損害は、計り知れないものがある。

以下、これ等の湖沼の湖口閉塞の水利機構を、同一海面に面し、潮汐、波浪、漂砂等の外的な条件には差程の違いないにもかかわらず、現在自然開口の状態にあるサロマ湖の現湖口との比較と、過去、昭和4年までは他の湖沼同様の閉塞湖沼であったものが、偶然の機会から与えられた新しい水路条件により自然開口の現状になったサロマ湖の歴史の上に考察し、湖口処理に対する基本的な考え方について私見を述べ、諸賢の御批判を仰ぐ次第である。

2. 湖口の水利機構

潟湖の湖口は、外海から湖口水路に進入する波浪が広い湖内水面に拡散してしまうため、反射、または逆り流れが非常に弱く、したがって、海底の底質は漂砂として波の実質移送に伴い一方的に運ばれて来ること、また内水の貯溜面積が非常に大きいことにより、湖口水路断面の狭窄に伴

う内水面の上昇速度が極めて緩慢で、漂砂の埋没による、砂洲、砂丘の発達速度(砂丘頂の上昇速度)を凌駕し得ないことによって、元来、宿命的に漂砂による埋没を起し易い性格を持っているものである。

また一方、湖口部には外海の潮汐に伴う湖内外の水の交流作用による交番流(潮汐流)が大きく作用していて、その処理には、流域からの排土砂の影響は無視出来るものの、普通の河川の河口処理とは別の難かしい問題を含んでいる。

2-1 湖口閉塞の水利機構

潟湖の湖口は湖沼自体の形成が波浪、沿岸流の作用に因づく、砂洲、砂丘の発達が旧海岸の湾形を閉塞したことによりなされたものであることから考えられるように、本来、閉塞しているのを通常の姿と見るべき性質のものであって、その自然状態における内水の排出は、閉塞に伴ない上昇する貯溜内水面が閉塞している湖口部の最低砂丘頂に達して、溢れ出る湖水が砂丘上を越流し水路を作ることによる自然開口によって、長周期(年単位)の間歇的な放流の繰返しとして行なわれるのを常態と考えるべきものである。

しかして、この自然開口は、長い間に亘って貯溜された莫大な水のエネルギーが一時に放出されて自流によって形成する水路に掃流力として作用し水路底を洗掘するから、その水路断面の拡大、増築の速さも加速度的であって、僅か1,2昼夜の間に数万 m^3 に及ぶ湖口水路部砂丘の砂を海に押し、流し砂丘を横断して幅数10m、深さ数mの湖口水路を形づくる。そしてこの水路底は一般に海の平均水面以下に達するので、約6~9ヵ月間に亘って貯溜された数100万トンに及ぶ内水はすべて放出され、湖面が海面と同高になって流出が止む。従って、この際の景観はまさに壮観であって、この地方の春の風物詩の一つにも数えられている。

なお、人間が湖沼周辺に生活を営む様になってからは、主に農作業の必要から、開口の時期を少しでも早める目的で、湖面の適度の上昇を待って、砂丘上に人工の水路を作る、いわゆる“潮切”が行なわれる様になったが、その工事量は土量数百 m^3 以下であって、其の後に湖水が自流で押し流す土砂量の1%にも満たず、一種の自然開口と見る

* 北海道開発局土木試験所



図一

べきものであって、最終的に形成される湖口水路の状態も天然開口の場合と全く変らない。

- 開口以後、湖口部一帯の地形は
- ① 外海の波浪、及び沿岸流
 - ② 外海の潮汐に因づく湖内外の水の交流作用による交番流：潮汐流
 - ③ 流域から湖沼に流入し湖口を介して外海に流出する河川流

の3者の影響を受けて変化して行く事になるが、河川から排出される土砂は、全て湖内の河口附近に沈澱堆積するので、③の河川流は、流水の掃流力としての影響を与えるだけである。しかして、一般に、①の波浪、沿岸流は漂砂現

象として、外海の海岸海底の砂を、汀線沿いに湖口水路の側面から、或いは汀線に直角な水路の正面から湖口水路部に運び込み、水路を埋没する様に働き、②の潮汐流、③の河川流はその掃流力によって湖口水路を洗掘し、水路底の砂を水路外に払い出し、水路断面を増大する様に働き、湖口水路の地形はこの標砂による埋没と流水の掃流とのバランスの上に変化することになる。

ここで、特に重要なことは、潮汐流の掃流力が、湖水面積および湖口水路のある条件（深さ、幅、長さ、形状等）のもとに、湖口水路水深に関する増加関数であることである。したがって、与えられた湖口水路の条件のもとにおいて、湖口の流れが水路の砂を掃流して断面を増大する速さ

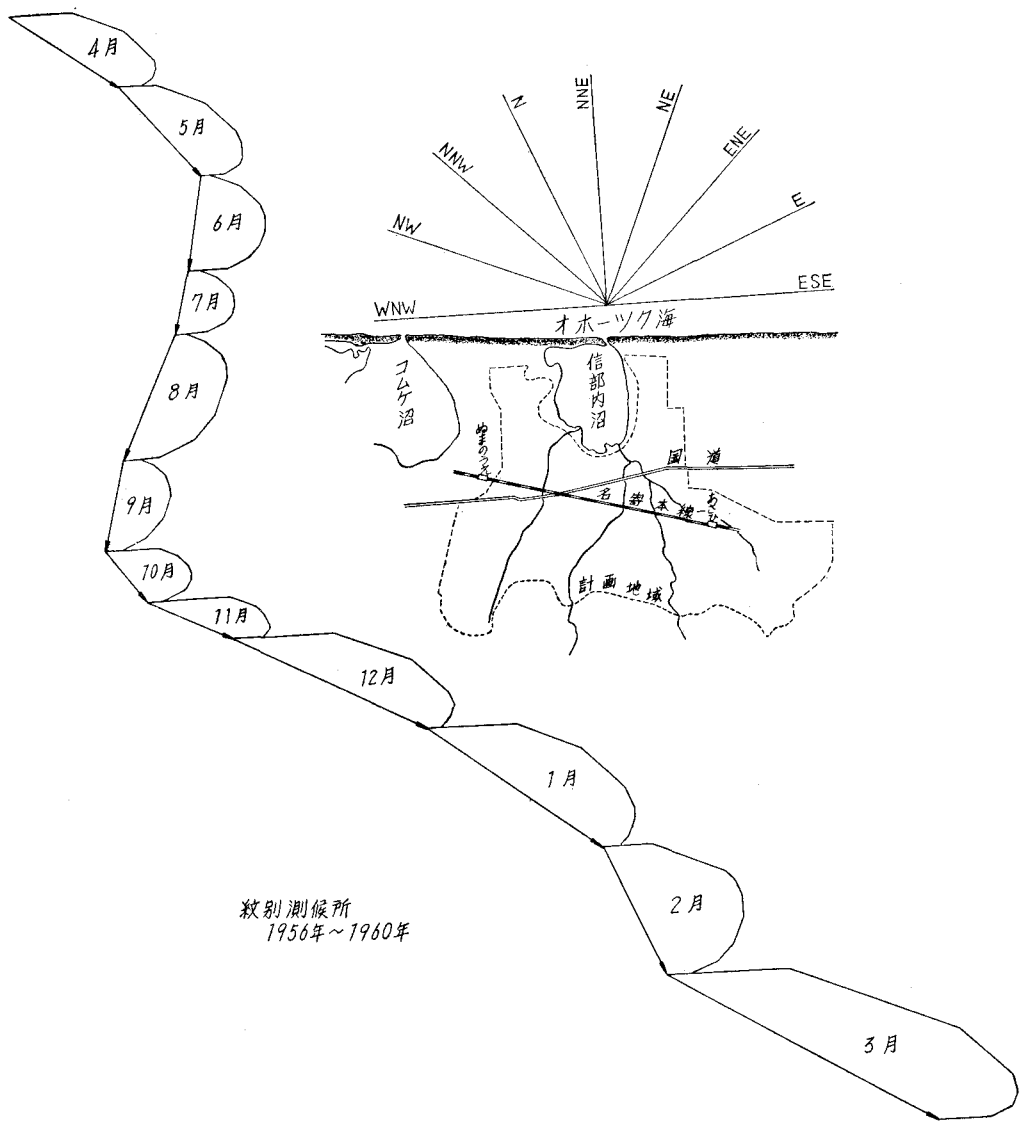


図-2 月別平均風力合成図

が、漂砂によって、水路断面が埋没する速さを凌駕する時には、水路断面の増加に伴って流勢（掃流力）も増加するから、水路は加速度的に、断面増加の方向に向い、またそれと反対の場合には、水路の埋没とともに流勢も減少するので、水路は加速度的に断面縮小に向い結局は塞閉してしまうことになる。前者はサロマ湖の現湖口の状態であり、後者はサロマ湖以外の閉塞湖沼の状態であって、外海の漂砂量に比べ開口によって与えられる水路の初期条件が不足であるため、春の開口以後、直ちに断面縮小に向かって加速度的に埋没し、さほど強大とは言えない夏季の時化により8月中旬～9月上旬においてすでに完全閉塞を見るものである。

2-2 湖口閉塞の一例（シブノツナイ沼）

以下に閉塞湖沼の湖口部地形の推移を昭38～39年に亘って調査したシブノツナイ沼を例に詳述するが、他の湖沼の場合もほとんど同様の経過をたどるものである。

図-2に紋別測候所の1956～1960年の間の風測資料（1日8回観測）による海風（WNW～NNE～ESE）の月別平均

風力合成図（風向別平均風速の2乗×風向別回数）を示す。これから付近の海況は、6～9月の間は西向きの波が卓越し、10月以降5月までは東向きの波が卓越する。また、4月から11月までは比較的に静穏で、特に、7、9、10、11月は穏かであり、12～3月はWNW、NW、NNWの強風が吹き荒れることを知る。

ただし、さいわい、この海域は冬季間オホーツク海特有の流水が接岸し結氷するので、この期間は波としての海岸への影響は全くない。紋別測候所の記録による毎年の流水の接岸期間は表-1のとおりである。

図-3、4、5に湖口部の地形ならびに汀線の測量結果を示す。

図-3に明らかになるように、潮切前の湖口付近の前浜、及び外浜の地形は、沖合70～200mに-3.5～-4.5mの浅所が、波の底質拡散作用のおよばなかった前年の潮切りの名残りとして存在する以外、海岸線は一直線で、平面的にも、横断的にもその左右の海岸との差異は全く認めがたく、湖口塞閉後秋から冬にかけて（ただし、流水接近まで）

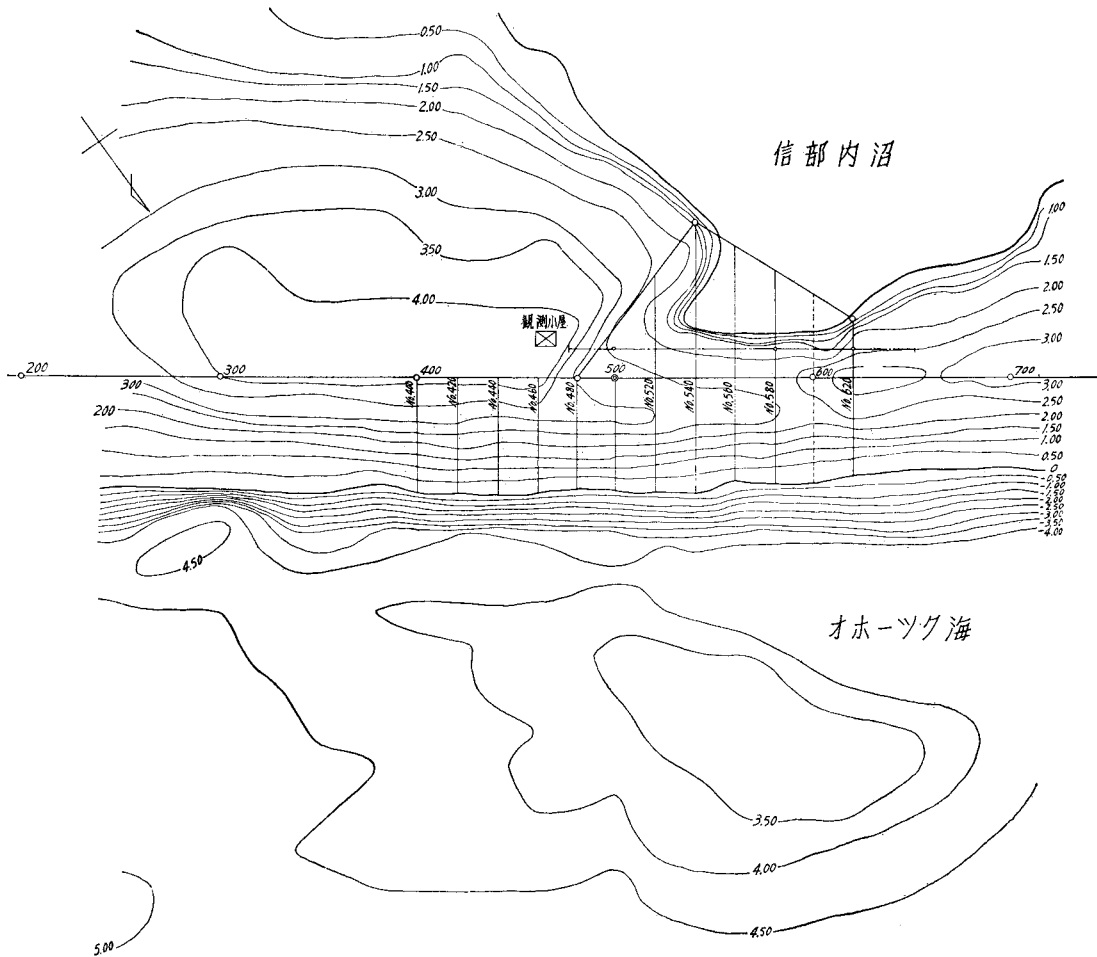


図-3 湖口深浅測量図（昭和39年4月3日測量）

表-1

昭和 年	31	32	33	34	35	36	37	38	39
流氷接岸初日	1/91	1/13	1/15	1/21	1/13	1/ 8	1/23	1/16	1/29
流氷接岸終日	4/11	4/ 6	4/ 5	3/28	4/ 3	3/30	4/ 3	4/11	4/ 5

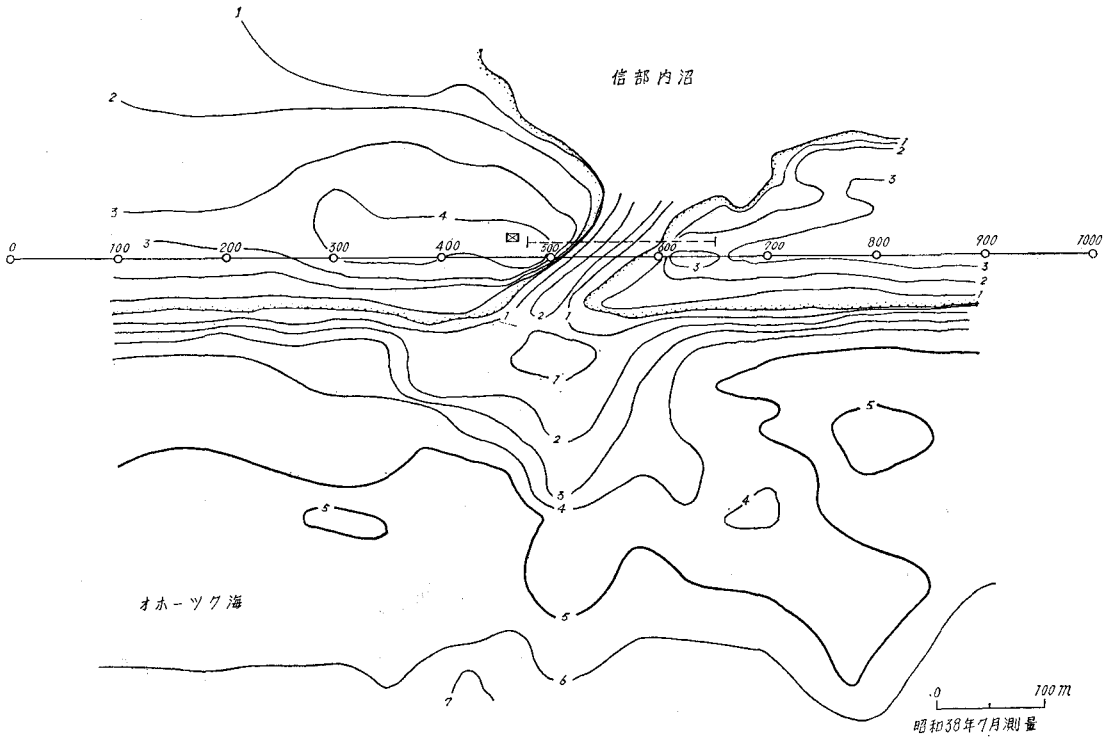


図-4 信部内沼口付近深浅図

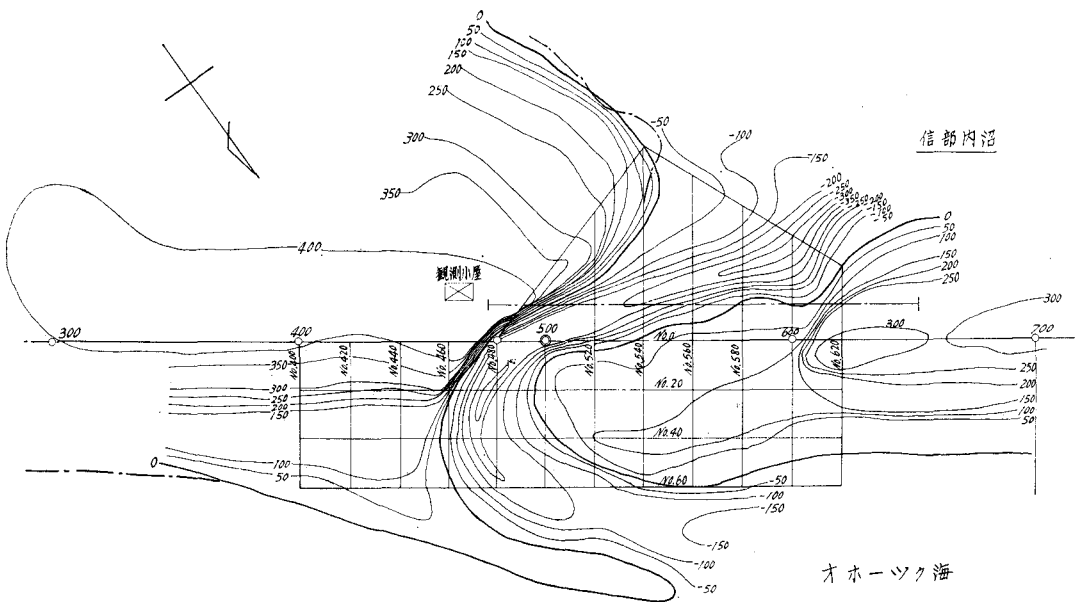


図-5 湖口水路深浅測量図 (昭和39年7月21日測量)

の時化波の作用の強大さを物語る。

湖口閉塞後の湖内水位は流域からの河水の流入及び時化に際し湖口砂丘を越えて打込まれる海水によって上昇するが、河水の濁水流量が $0.2 \text{ m}^3/\text{sec}$ 程度であり、かつ海水の流入は砂丘の発達とともに漸減するからその上昇速度は、さほど小さくなく平均 $5 \text{ mm}/\text{日}$ 程度である。

しかし、4月上旬～中旬になると、冬季に雪の形で流域に貯えられていた水が一時に融雪し流入するため、湖内水位は急激に上昇しはじめる。そして、その水位が湖口部の砂丘の高さ（この高さは冬季間の時化の大小により多少の差はあるが例年 $+2.5 \sim 3.0 \text{ m}$ ）を越え溢流するか、潮切りにより砂丘上に水路（幅 50 cm 程度）が作られると、砂丘前浜斜面に急勾配水路ができ、その後は水勢による砂の掃流が水路断面を拡げ、さらに水勢を増すので、加速度的な水路の拡大増深となり、 $1,000 \sim 1,500$ 万 ton に及ぶ全貯溜量を放出し、湖内水位が海水位と等しくなって開口を終る。そして、この間の所要時間は例年 12 時間程度である。

しかして、この開口により最終的に形成される湖口水路は、ほぼ海岸線に直角な直線状の水路であって、水路幅は例年 $70 \sim 90 \text{ m}$ 、水深約 -2.5 m であり、左右岸は険しい崖状を呈する。また、水路の前面の外浜には水路部分より押し流された砂丘の砂（総土量 $15,000 \sim 20,000 \text{ m}^3$ ）の堆積によって三角州状の浅瀬（水深 -2.5 m 程度）が形成される。

次に、それ以後この湖口付近の地形がだだる変動の道程についてであるが、これはいうまでもなく、外海の高況（波向、波高、周期）、潮汐、潮汐流、河川流、及びそれまでに形成された地形上の前歴など、それぞれ極めて不規則な多種要因の、時間的、空間的に複雑な相互関連の上に起る現象であって、極めて不確定で、全く違った様相を示す年もあるかと考えるが、長年の平均値的な意味における変動の様相、経過を示すと次の様である。

ただし、河川流は平水量（ $0.5 \text{ m}^3/\text{sec} \times 24 \text{ h} \times 3,600 \text{ sec} = 43,000 \text{ m}^3/\text{day}$ ）程度であり、潮汐流の初期流量（1日1回潮として、 $0.5 \text{ m} \times 3,270,000 \text{ m}^2 \times 2 \text{ 回} \div 1 \text{ 日} = 3,270,000 \text{ m}^3/\text{day}$ ）に比べ問題にならないほど弱小で、無視して考えて良い。

4月から5月にかけて、湖口部は東向き成分の卓越する時化波の影響を受ける。その場合、西海岸沿いに東進している汀線漂砂が水路の左岸に落ち込んで堆積するため、水路は東の方向に押し曲げられるとともに幅を狭め、かつ、水深を浅くする。沿岸漂砂はまだ水深の相当ある湖口水路前面の浅瀬の上をバイパスして東海岸に進む。なお、この間湖口前面の浅瀬は波による攪乱作用を受け、沿岸漂砂の一部となって主として東海岸方向に拡散されるとともに、その中心部は次第に押し上げられ、浅さを増し州を形成しはじめる。

6月、7月以降、時化波の卓越方向は西向きに変わるが、

その場合東海沿いに西進して来る汀線漂砂は、まだ相当の勢いをもっている湖口潮汐流に正面から突き当たるような形となるので、容易には水路内に浸入、堆積することができず、東側汀線から沖に向かって突出する砂嘴を形成する。

一方、沿岸漂砂はそれまでに相当発達している湖口前面の門洲に突き当たり、その洲の発達を助長すると同時に門洲の前縁を迂回して波によって攪乱拡散する浅瀬部分の砂と一緒に西海岸沖合に拡散する。従ってこの場合、西海岸汀線を涵養する漂砂がないため西側汀線は後退する。

8月に入り時化波の勢いが強まるに従い洲の発達は促進され、かつ、門洲の位置は波に押されて次第に湖口に近づく。なお、この間、砂の埋没による水路断面の縮小、門洲の発達に伴う流入損出の増加により、湖内外の海水の交流は非常に弱まってくる。

そして最後に、ある一時化によって門洲が完全に水面上に姿を現わし、汀線から延びている砂嘴と連なって湖口水路前面を取りまいてしまうに至り、鼓動（湖内の潮位変動）は止まり沼は死んでしまう。そしてそれ以後は、流れは全くなく、門洲上を越えて打ち込む波によって門洲の砂は絶えず海側から湖内側に掃流されるから門洲は次第に湖口水路内に向かって前進し、ついには門洲と左右岸の汀線とは全く一直線状をなすに至る。

2-3 サロマ湖の湖口

現在、常時開口の状態にあるサロマ湖も、湖口位置が湖の東端常呂町鑑渚にあった昭和4年までは他の湖沼同様の閉塞湖沼であって、毎春の潮切りによって間歇的に内水の排除が行われてきたものである。しかるに、昭和4年春水質の悪化と外海への出漁の不便に悩んできた湖奥湧別町側の漁民が旧湖口部の潮切りに先んじて現湖口位置で潮切り開口して以来、全く閉塞をみず、常時開口の状態を続け現在に至っているものであって、その湖口水路の断面も、当時よりはむしろ拡大しているともいわれている。

この事実からも、ただ単なる湖水面積の大小、あるいは流入河川流量の大小によって湖口の閉塞、開口が左右されるものでないことが推測されるが、現状において湖口を、通過している河川流と潮汐流の流量を比較してみると、1年間の河川流量は、サロマ湖の流域面積を 900 km^2 、年降水量を $1,000 \text{ mm}$ として、約9億トンであるに反し、外海の潮汐に伴う湖内外の海水の交流によって、1年間に湖口を出入する総水量は、湖内水位の現変動量が1回潮の場合、約 80 cm 、2回潮の場合、約 40 cm （床丹における実測結果による平均）で、湖水面積が約 150 km^2 であるので、約860億トンであって、後者は前者の100倍に近く問題なく潮汐流が、湖口水路の支配的な流れであることが推断される。

また、見方を変えて、9億トンの水量を旧湖口水路の平均断面積 $1,070 \text{ m}^2$ で割り、河川流の年間平均流速を計算し

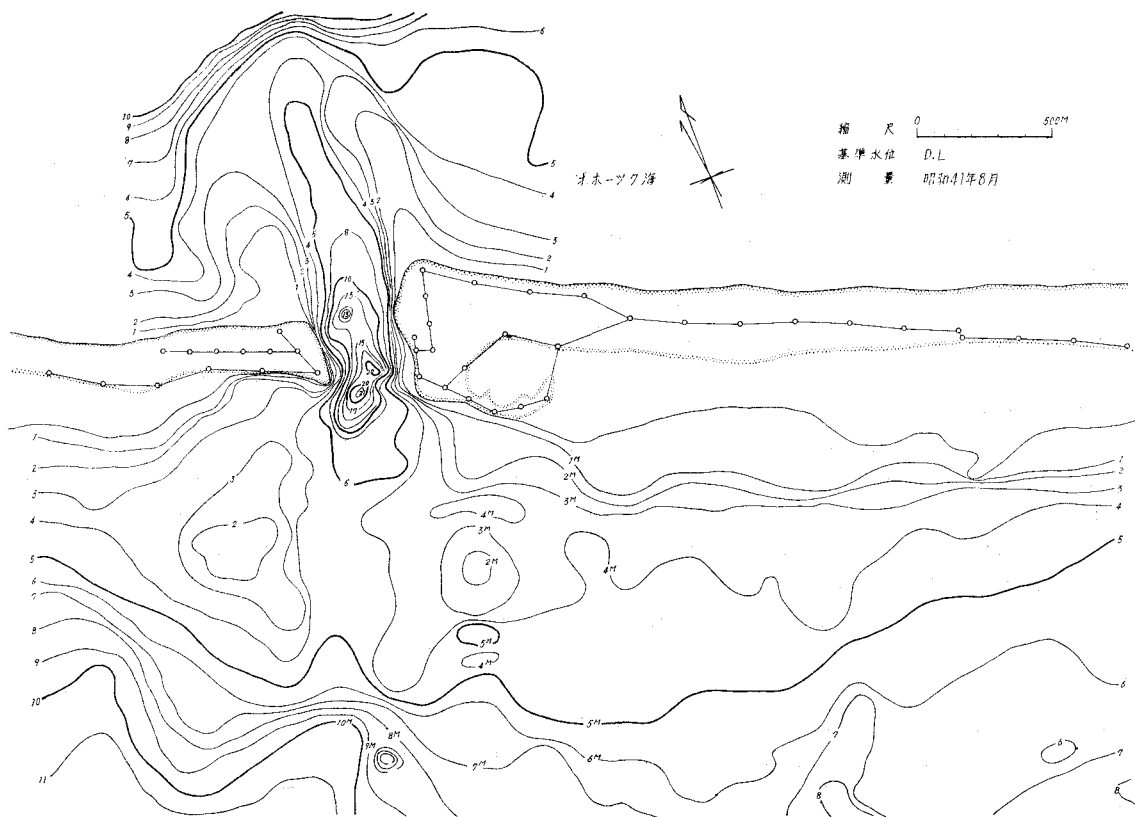


図-6 サロマ湖口付近深浅図

てみても約 2.7 dm/sec にしかならず、河川流が湖口水路の支配的流れであることは到底考えられない。

また、河川流の洪水流量について考えて見ても、広い湖内水面が洪水調節の役割をする結果、湖口水路における時間流量は非常に緩和されることになり、さ程の作用を、湖口水路に与えるとは考えられない。

この様に考えてくると、湖口水路を支配する流れは潮汐流のみと考えて差支えなく、湖口の閉塞、開口を左右するものは湖水面積及び湖口水路の諸条件（幅、長さ、深さ、形状、粗度）に基づく潮汐流の大小であることが推断される。

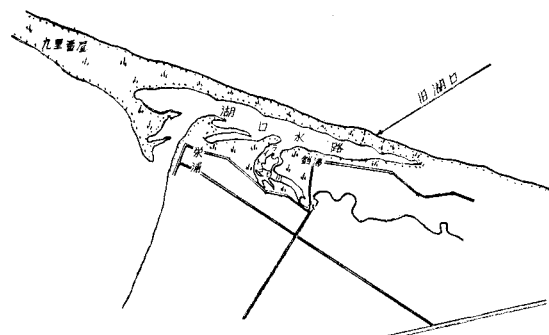


図-7 サロマ旧湖口平面図

今、新旧湖口水路の状態を比べると、新湖口水路は、図-6 に示すように、砂丘をほぼ直角に横断する長さ約 350 m の短い水路であり、旧湖口水路は、図-7 に示すように、柴浦から鑑沸に到る砂丘に平行な、長さ約 3,500 m の S 字状の水路であり、前者の平均径深は 10 m、平均幅は 350 m、後者の平均径深は 4 m、平均幅は 270 m で形状の相違は考慮せずに両者の場合の潮内潮位の変量（潮汐流の流量に比例する）を比較検討すると、後者の場合は前者の場合の 1/4.8 になる。

また、単位幅当りの掃流砂量は $h^2 \cdot I$ に比例し、単位幅当りの流量は $h^{3/2} \cdot I^{1/2}$ に比例すると仮定すると、前者と後者との単位当りの掃流砂量の比は 1 対 4 になる。

ここに、 h : 水深、 I : 水面勾配

なお、水路水深の大小は、上の様に水路を維持する内力（掃流力）の大小として、湖口の、開口、閉塞の問題に関与するほか、外力たる漂砂量、特に水路の正面から波によって運ばれてくる沿岸漂砂の漂砂量に大きな相違を与えることが予想され、湖口問題の最大の影響因子であると考えられる。

すなわち、沿岸漂砂量は波の碎波点の内と外で大きな違いがあり、同一波浪条件のもとにおいて前者は後者の 10~40 倍にも及ぶ（1950 年、Saville の実験）とされるため

ある。

3. 湖口処理の基本構想

湖口の潮汐流は湖内外の水位差に起因し、湖内の潮位変動はまた潮位量の結果でもある。故に、その流速、流量、掃流力、あるいは掃流砂量は、一義的に湖口水路の条件、(幅、水深、長さ、形状等)と湖水面積および潮汐によって決定されるものである。従って、上述の考察から、ある外海条件(主として漂砂量及び潮汐)とある湖水面積の場合、水路断面が拡大に向うか縮小に向うかの境界の水路条件が存在することが予見でき、次に列挙するような湖口処理についての基本構想が導かれる。

イ) 湖口水路の海側入口の両岸には防砂堤を設け、水路の側面から進入しようとする汀線漂砂ならびに沿岸漂砂を阻止する。

その先端位置は少なくとも時化波の碎波点以深とし、左右堤間の間隔は水路幅員と同程度とする。

水路部に進入する波浪を緩和するため、防砂堤の配置は八の字形とし、その基部～水路入口までの間は消波護岸とする。

ロ) 正面から水路に進入した漂砂を水路外に掃流するように、水路には、湖水面積、潮汐に応じた適当な条件(幅員、水深、長さ、形状)を与える。

掃流力を大きくするためには、水路水深が深い程有利であり、水路長さが短かい程水面勾配が急になって有利であり、湖内側の水路出口の形状をベルマウス状に拡げることは落潮流の流入損失を少なくでき有利である。

ハ) ただし、余り潮汐流の流速を大きくすることは、船の出入に支障をきたしたり、水路底の深掘れの虞れがあるので、水路断面の決定には慎重な検討が必要である。

ニ) 水路の形が損われない様水路の両岸は護岸しなければならないが、護岸形式は深掘れに対処できる鋼矢板護岸が適当である。

ホ) この様にして造られた水路が何時までも開口している訳ではなく、水路から湖内側に払い出された砂(水路に進入する嘴砂のほぼ半量)は水路出口付近に堆積する筈で、これを放置して置けば長年月の間には洲となって水路

延長を長くすることとなり、条件が変化して湖口には再び閉塞の傾向に向う筈であり、必ずある程度の維持浚渫が必要になる。

この土量がどの程度のものになるかを予想することは、漂砂に関する研究の現状では不可能であるが、サロマ湖の湖内深浅図(図-6)で湖内側水路入口を半環状に取り巻く浅瀬は昭和4年の開口から現在までの間に上記の状態に堆積した砂と考えられるので、この土量(約197万 m^3)からある程度のオーダーは推定でき、水路の単位幅当りの年間堆積土量は150 m^3 /年程度となるが、これは汀線漂砂も含まれた値であり、防砂堤を設置する場合には心配する程の土量にはならないのではないかと考える。

以上は、比較的大きな湖沼の場合についての考え方であるが、小湖沼にあっては、潮汐流の流量が湖水面積に比例して減少するので、同程度の単位幅当り掃流砂量を潮汐流に期待するには、湖水面積に反比例して極めて深い水深を湖口水路に持たせなければならないこととなり、事実上不可能であって、この様な場合には、舟航はできないが海岸暗渠または海岸明渠によって、渠内の滞砂高を極力低める様に工夫し、閉塞による湖水の長周期大振幅の間歇放流を短周期小振幅の間歇放流に変えることにより湖水水位の大きな上昇を小さく規制する手段が考えられる。

4. む ず び

以上、湖口閉塞の水理機構とそれに対する処理法について極めて抽象的な表現で私見を述べたが、これは昭和38年以来実施してきている、シブノツナイ沼、サロマ湖、能取湖の現地調査の結果に基づき導びかれた見解であるが、紙数の都合で論拠とすべき多くの具体的な調査結果や解析結果を省略したことをお詫びする。

参 考 文 献

- 1) 土木工学ハンドブック下巻、“港口の流速”、
- 2) 山田・中村：“養漁地などにおける潮汐流の二・三の問題”、沿岸海洋研究ノート、第3巻、第1号。
- 3) 宇田居・佐藤：“沼の上地区海岸暗渠に関する模型実験”、農林土木学会北海道支部講演概要、昭和41年。