

サロマ湖の水理について

福島 久雄* ・尾崎 晃**・柏村 正和***
八鍬 功****・高橋 将*****

1. 概 説

サロマ湖は北海道のオホーツク海沿岸の中央よりやや東に位置する鹹水湖であって、湖の面積は 149.2 km^2 、最大水深は -19 m で琵琶湖、霞が浦に次いでわが国第3位の大きさであり、鹹水湖としては最大のものである。オホーツク海沿岸には大小多数の湖沼があるが、外海と交流する鹹水湖はサロマ湖を除いては毎年秋になると湖口が閉塞し、春の融雪出水期に人工的に湖口を開くのが恒例となっている。往時のサロマ湖は湖の東端の海沸^{うづも}に開口していて、その当時においてはサロマ湖も上記の例にもれなかったのであるが、昭和4年4月17日に現湖口の位置すなわち湧別町三里番屋に人為的に新湖口が掘削された。これ以後新湖口は冬期にも閉塞することがないばかりかむしろ次第に拡大されて、現在では幅が約 270 m 、平均水深 -10 m 、最大水深 -24 m にも達する大水路が形成されるに至っている。旧湖口の時代には開口時においても湖口水路が浅くせまかったために、湖内水の循環、外海水との交流は不良で、夏には停滞水層が発達し、とくに湖西部の浅い所では水は黄褐色を呈する悪水であったといわれている。このように外海水との交流が悪かったため、サロマ湖は水温成層のある湖沼型水温分布を示し、夏には中層以上の水温は牡蛎の産卵適温にまで上昇したために、天然牡蛎の主要な生産地となっていた。しかし新湖口開削以来湖内の流況は一変し、外海との交流が活発となったために夏期の停滞水層は見られなくなり、広く全域にわたって外海水が行きわたったため、水温は外海とほとんど差がなくなるまで低下し、その結果天然牡蛎は衰微の一途

をたどったが、これに代って低水温に適するホタテ貝の産卵成長に好適な湖水となった。

しかし最近に至って浅海漁場開発の立場から、とくに平坦な海岸線ばかりで内湾の少ない北海道においてはサロマ湖の持つ地理的条件が注目されるようになり、湖内における栽培漁業の拡大が大きな目標となってきた。このような事情に対応して現在のサロマ湖に関する水理、すなわち現在の湖口水路を通して一潮汐の間に出入する水量、湖内におけるその流動状況、水温分布、塩分濃度分布など、種々の物理量を定量的に明らかにする必要がある。

サロマ湖は図-1にその概略を示すように、海岸線に平行方向の長さ約 28 km 、これに直角方向で幅のもっとも広い部分が約 8 km 、 -19 m の最深部は湖の中央よりやや東で幌岩山の前面に位置している。またキムアネツ岬と福島番屋を結ぶ浅瀬によって湖は大小二つの湖盆に別けられており、東の小湖盆ではとくに外海水との交流が不活発である。われわれは昭和41年から43年まで

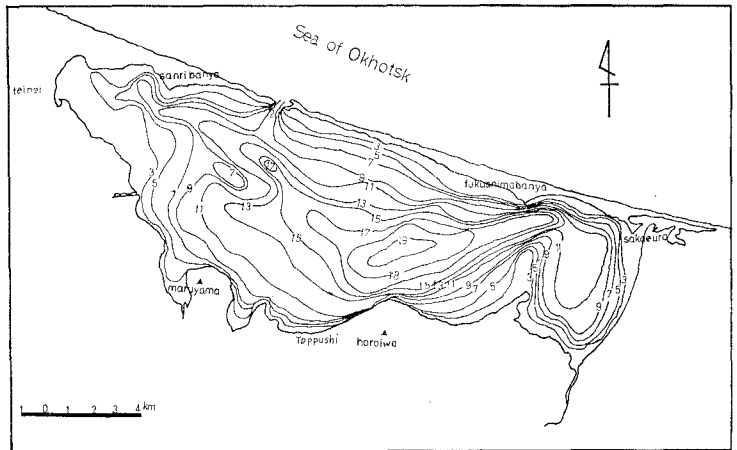


図-1 サロマ湖の地形

の3年にわたり2.に述べるような各種の調査を行ない、それまでほとんど未知のまま残されていた湖内の水理についていくつかの興味ある観測結果を得ることができた。

2. 調査の方法

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

鹹水湖としてわが国最大の面積を持つこの広大な湖の水理を、限られた期間と費用をもって全貌をつくすことはとうてい不可能である。したがって与えられた条件内でもっとも有効適切な調査方針を打ち出し、最大の能率を発揮することがまず第一に考えられた。

最初に外海の潮汐により、湖口を通じて海水が出入する実態、およびそれによる湖内水位の応答を明らかにすることが重要である。次に交流する海水が湖内いかに分布するかという点が水産の問題と関連して大事であり、またこれに影響を与える流入河川流量を知ることにも必要である。さらに湖口の自然維持を阻害するように働く漂砂、波浪、沿岸流も知らなくてはならない。以上の観点から調査方針を打ち出し、調査方法が決められ実施された。

まず湖口水理の問題として、外海潮位と登榮床、^{とよぶこ} 雷武士、^し 栄浦の湖内 3 地点の水位との間にある振幅、位相関係を調べるために、上記 3 地点に村木式自記水位計を設置し、外海潮位は網走港、湧別港の自記記録を借用して比較することにした。直接サロマ湖の外海側にも自記水位計を設置することを試みたが結局波浪にさまたげられ実施できなかった。

湖口水路の流れには小野式自記流速計を用いた。二、三の失敗はあったが貴重な資料が得られた。これと平行し碇置観測も行なった。流向流速、水温、塩分のくわしい鉛直分布が得られた。流向流速測定には CM-II 型電気流速計とエクマンメルト流速計を併用し、水温にはサーミスター温度計、塩分は採水のうへ、塩素量の化学分析によって求める方法によった。またフロートによる湖口潮流測定も一度行なわれ実情を知るのに有効であった。

湖内の水質や流況の分布については、調査員を 2 班に分け、全域を半日で集中的に移動観測する方法をとった。調査項目や測器は湖口碇置の場合と同じである。この結果を補足する意味で、湖内の 1 箇所水温自記計を設置し水温の時間的変化も記録した。湖内に流入する佐呂間別川等数本の小河川に対し、湖内水質との関連で、流量測定をプライス流速計を用いて行なった。

外海については漂砂、沿岸流、波浪を対象にして調査を行なった。漂砂は、北大方式捕砂器を三里番屋沖に設置して明らかにすることとし、一度実施された結果、漂砂が掃流によるものか、浮遊によるものか、あるいはそれらの粒径分布、および漂砂の鉛直分布等がわかった。

沿岸流については、この付近の沿岸がほぼ直線的であることから、サロマ湖から多少東西に偏するが、常呂と湧別に流向板を設置し、毎日の沿岸流流向の観測を数カ月わたって現地へ依頼した。流向板とは長さ約 2m の板の一端にロープを付して碇置したもので、別の一端を着色して陸上から観測するとき沿岸流の向きが識別でき

ようになっている。この観測と同時に波の入射方向の視察も記録するようにした。この方法は簡単ではあるが長期の資料は沿岸流、波浪の特性を知る上に有効である。

波浪については直接観測は行っていない。紋別港、網走港の波浪観測結果を参考資料とし、風速風向の記録から波浪状況を推定する手法を用いた。

以上のごとく、広大なサロマ湖の実態を、かぎられた条件下で効率的に把握するために、今までの野外調査の経験を生かした多彩な方法を採用している。

3. 湖口の水利

サロマ湖における湖内水の流動およびこれに伴う外海水との交流交換は主として外海の潮汐による海面の昇降、したがって生ずる湖内水面との水位差によって湖口水路に発生する潮流に起因するものであるが、この他にも塩水と淡水との密度差および水温分布の不均一に基づく密度流、さらに湖面上を吹く風による吹送流も影響をおよぼしている。しかし今回の調査では前者についてのみ観測を行ない、この調査の主目標に対して比較的影響が小さいと考えられる後二者に関しては触れていない。

サロマ湖においては湖内水面の潮汐に基づく変動を知るための過去の記録がまったくなかったので、2. に述べた方法（村木式水位計）が採用され、これによって外海と湖内の水位応答関係を求めることができた。その一例を、図—2 および 図—3 に示す。図—2 は昭和 42 年 9 月 18 日から同年 9 月 21 日までの期間の潮候曲線であるが、湖内にあって湖口のすぐ内側に位置する登榮床の潮位が外海（網走）に対してその干満の生起時刻において 1.5 ～ 2.0 時間遅れ、また潮差も約 20cm 程度小さいことを示している。この記録は湖口潮流の計算の際に利用される。同様に 図—3 は昭和 43 年 8 月に行なった観測の結果で、湖口水路中央付近（図—4）に設置した小野式自記流速計の記録を上段に併記し、潮汐と湖口水路の流速との関係を明らかにした。図の小野式流速計の記録において流速零の線はちょうど憩流の時で上側は流入流速、下側は流出流速を表わす。なお湖口水路断面内における流速分布は様ではなくて、流速計設置位置によってかなりの差がある。湖口幅が 270m もあり、また流出入流速も 2.0 m/sec 以上もあり、最大流速時には渦や三角波が発生し、断面の流速分布を測定する作業は非常に困難であり、今回の調査では実施できなかった。したがって、図—3 に示す流速も、全断面の平均値とか代表的流速などというようなものではないが、潮汐と対応してどのような変化を示すかを知るインデックスとしては十分利用できる。図の下段は網走港の潮汐推算値、中段はこれに対応する登榮床および栄浦の潮候曲線（実測値）である。これによれば湖口からもっとも遠距離にある栄浦の方が

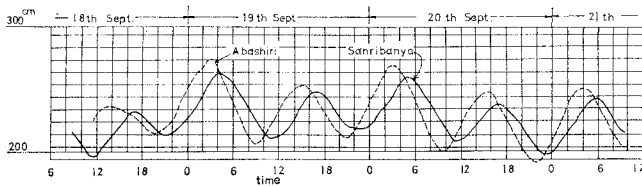


図-2 サロマ湖内および外海の潮候曲線（昭和42年9月）

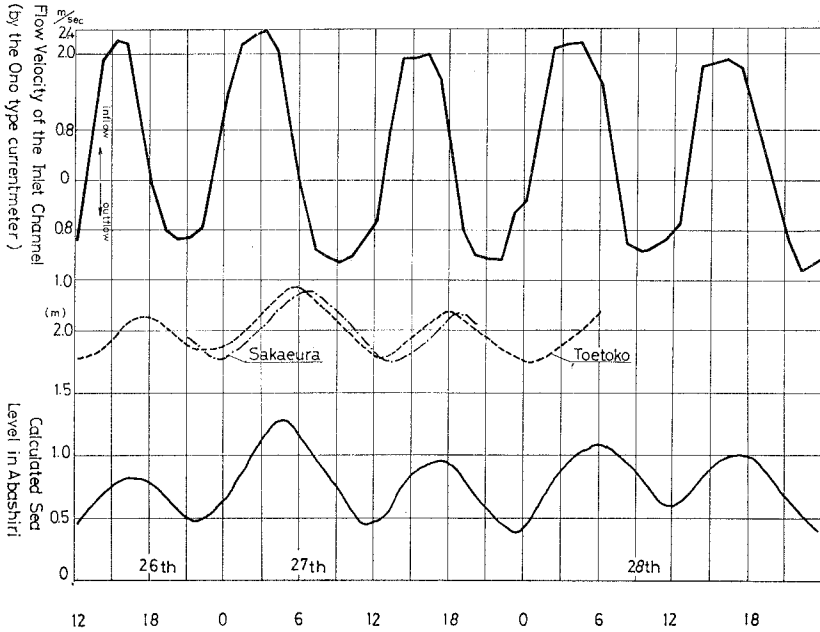


図-3 潮汐とサロマ湖口水路流向流速との関係

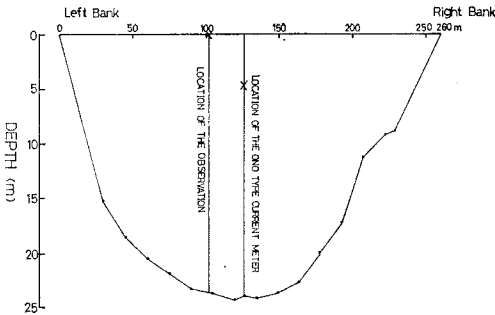


図-4 碇置観測点断面図（昭42.9.18）

湖口に近い登岸床と比較して、満潮、干潮の生起時刻が1~2時間遅れることを示している。しかし両地点の潮差はほとんど等しいといっても差し支えない。図-4は小野式自記流速計を碇置した位置における湖口水路の断面測量の結果を示すものであって、湖口水路全延長のうち最深部(-24.2 m)の位置である。最初は水深が-12.0 m前後の、水路として平均的な水深の地点に流速計を設

置する計画であったが、実際の作業においては速い潮流にアンカーが流されて、どうしても最深部に落ちてしまうため、この地点に碇置した。さらに図-5は網走港における潮位と湖口流速との関係を示すものであるが、比較的よい相関関係があるものと思われる。

したがって縦方向流速分布および水温分布等に関する定点観測の地点もこの近くに定められた。さらにまた湖口水路を通過する潮流の流向を見るために行なった。8回にわたるフロート（羽根の位置は-4.0 m、および-2.0 mの2種類）観測ならびに小野式流速計による自記記録解析の結果によれば、サロマ湖口水路を通過する流出、流入の潮流の流向が、流出時と流入時とで正反対の向きになっていないことで

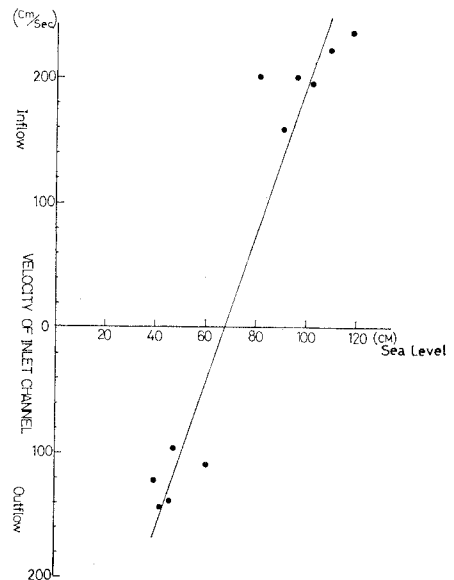


図-5 網走港潮位と湖口流速との関係（昭和43年8月）

ある。昭和 42 年度の観測結果について調べて見ると、流入、流出のそれぞれにつき平均して

流入時平均流向 S30.5°W…………標準偏差 13.7°

流出時平均流向 N15.1°E…………標準偏差 11.2°

上記の標準偏差はそれぞれの流向のパラツキの程度を示す値であって、これによれば流入時の流向のパラツキが流出時のそれよりも大きいことがわかる。

サロマ湖北岸のオホーツク海岸線は図-1に見られるようにほぼ一直線とみなされるが、湖口においてこの海岸線に法線を立てるとその方向は外海に向って N21°E である。この方向といま述べた流入、流出平均流向とはいずれも一致せず、流入時は法線方向に対して右に偏し、流出時には左に偏している。流れの偏りに対してはまずコリオリの力の作用が考えられる。コリオリの力によれば北半球においては、流れは流入、流出いずれの場合においても法線方向に対して右に偏するはずであって、流出時にはこの関係が満足されていないから、原因も単にコリオリの力だけには求められない。流出時の流向は湖口から遠く離れた場所では沿岸流の影響を受けるので、これにより流向が変化する。この観測期間中の卓越沿岸流向は宗谷岬方向から網走方向へ向っており、もし湖口中央部に沿岸流の影響があったとしても結果は逆になるはずであって、いまのところ流向の偏りは湖内水の流動に対して大きな影響をおよぼすものと考えられる。

以上はフロートによる流れの軌跡および一点における流速、流向の時間的変化についてであったが、次には同じ湖口水路の一つの断面内における流速分布の状態に

して観測の結果を述べる。図-4の小野式流速計設置位置の近傍に船を碇置し、1時間ごとに流速、および水温の沿直分布を測定した。流速は CM-II 型流速計、水温はサーミスタ温度計による。この測定点は流心から、約 25m 左岸寄りであった。水深の最大は -24.2m でこれは湖口付近の最深部であることも超音波測深によって確かめられた。日時は昭和 42 年 9 月 18 日の 11 時より 15 時までで、4 時間にわたるものである。この時点は網走港におけるその直前の干潮時 9 時 20 分、測定直後の満潮時 15 時 36 分の間にある。湖口においては 11 時 40 頃にはそれまで湖内から外海へ流出していた流れが逆転して湖内への流入に変わり、流速も次第に増加してきた。図-6 は同日 11 時 14 分から 11 時 32 分の間における流速、流向、水温沿直分布であるが、ちょうど転流時の流れの状況を示している。表面から水深 -8.0m 付近までの流向は湖内から外海に向っているが、-9~-11m の層では流れの方向が変わりつつあり、また水深-12m 以深では流れはすでに外海から湖内へ向っている。水温は水深全部にわたって 17.7°C 前後でほとんど一定であり、これは湖口付近の湖内水の温度と見られる。図-6 (b) は同じく 12 時 02 分から 12 時 20 分の間の観測値であるが、全水深にわたって流速 1.0~1.2 m/sec の外海から湖内へ向う強い流れがあり、はげしい乱れのため流速は各水深とも平均値のまわりで大きく変動している。また水温は表面付近では前の時刻の時と同じく 17.7°C 前後であるが、水深が増加するにつれて徐々に低下し、-7~-10m 付近では 16.5°C 前後で、外海から流入した海水がそれまで湖口付近にあった湖内水と混合しつ

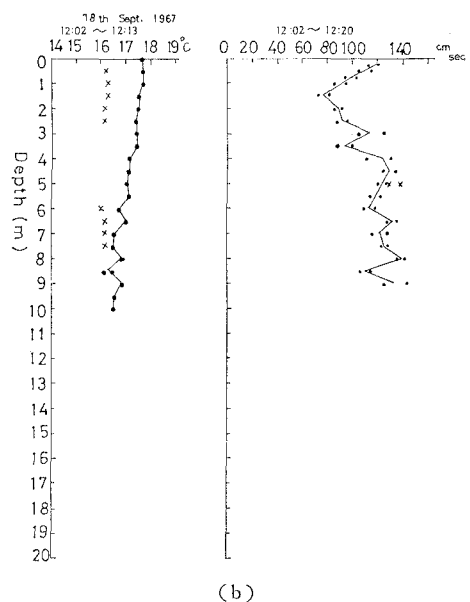
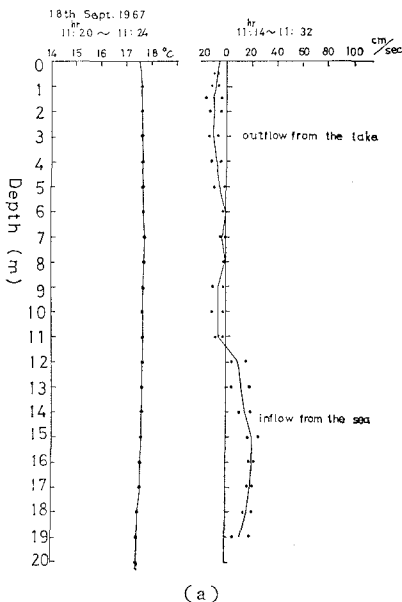


図-6 湖口水路における水温および流速

あることがわかる。その後13時, 14時, 18時の各時刻における観測においては表面にはいくつもの渦が見られ, 水温は上下一様となって, 海水の流入が増加するにつれて湖口水路における水温は低下し, 15時には外海水温と等しい 15°C 前後となった。以上に湖口水路において行なわれた観測の一例をあげ, 流速, 流向, 水温の変化につき実測値に基づいて述べた。これらを基にして, 潮汐による湖口水路の流速, 流量の計算を行なうのであるが, 今回は全般的に調査結果の概要を述べるに止め, 次の機会に譲ることとする。

4. 湖内の水温, 塩分分布

昭和43年8月26日, 27日, 28日の3日間サロマ湖

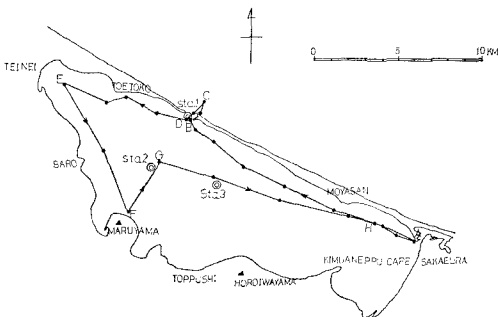


図-7 表層水温連続測定経路 (昭和43年8月28日)

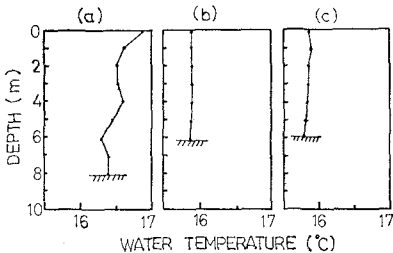


図-8 湖口定点 (Sta. 1) における水温鉛直分布 (昭和43年8月26日)

- (a) 13:30~13:43 (流入開始直後)
- (b) 14:30~14:40 (流入)
- (c) 15:31~15:40 (流速最大)

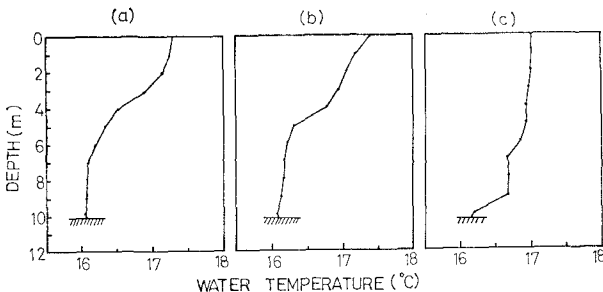


図-9 Sta. 2 における水温鉛直分布 (昭和43年8月26日)

- (a) 13:05~13:27
- (b) 13:39~13:42
- (c) 15:30

口および湖内の定点で船を碇置し, 流速, 流向と同時に水温, 塩分濃度の鉛直分布を数時間定時に観測し, また航行中に表面水の水温を連続的に測定した。これらの観測結果から海水の流入時, および湖水流出時における湖内の水の動きの特性を概観することができる。

(1) 海水流入時

8月26日13時から16時の間に3回湖口 (Sta. 1) および Sta. 2 (図-7) において水温, 塩分濃度鉛直分布を測定した。図-8, 図-9はその観測結果である。この時間帯は, 湖口における流れが流入に転じた直後から流速の最大に達するまでの約2時間であって, 湖口から湖心へかけての一帯で湖内水の流動状況に激しい変化が生ずるものと予想された。図-8 (a) は流入開始直後であって水温は平均約 16.5°C , とくに表層では 17°C に達している。これは流入開始後には前回の流出によって外海へ出た湖内水の一部が再び流入することによって考えられる。これに対し (b), (c) では水温分布は表層から底層までまったく一様に 15.9°C になっており, 全層が新しい外海水になったことを示す。

湖心部に近い Sta. 2 では, 流入開始後の13時05分から13時42分までの間 (図-9 (a), (b)) は一般の湖沼にみられる水温鉛直分布の型を示し, 水深10mの湖底では水温約 16°C , 5m付近に弱い躍層がみとめられる。これに対して15時30分 (c) にはこのパターンが崩れて, 水面から水深6mくらいまではほぼ一定の水温分布となり, 7mおよび9mで二段階に水温が急変し, 10mの湖底では時間的な変化はない。この結果から流入開始後約2時間は流れとしては Sta. 2 に影響が現れてはいるが, その水塊の实质は湖内水が移動しているのであって, 2時間以上経過してはじめて外海水が Sta. 2 付近に到達するものと推定される。

(2) 転流時

図-10は8月27日11時から15時まで1時間ごとに,

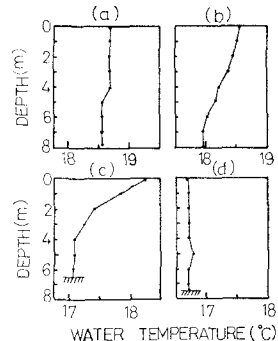


図-10 湖口定点 (Sta. 1) における水温鉛直分布 (昭和43年8月27日)

- (a) 11:00~11:20
- (b) 12:00~12:15
- (c) 13:00~13:15
- (d) 14:00~14:15

湖口において水温、塩素量濃度鉛直分布を観測した結果であり、また 図-11 は同じ時間帯に Sta. 3 で同様の観測を行なった結果を示している。

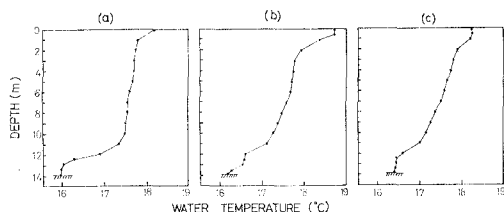


図-11 Sta. 3 における水温鉛直分布
(昭和43年8月27日)

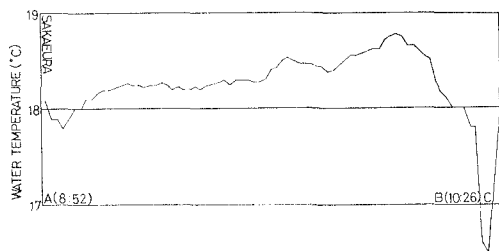
- (a) 10:00
(b) 13:00
(c) 14:00

図-10 (a) では湖内水が流出中で、水温は表面から湖底までほぼ一様で 18.5°C 程度である。12 時の場合 (b) には湖底近くの水温が 18°C に下がっているが、これは流出の流れが次第に弱くなり、外海水が徐々に接近しつつある状態を示すものとおもわれる。転流開始直後の 13 時 (c) には深度が深くなるにつれて水温が急激に低下し、水深 4m 以下では 17°C まで下降している。外海水温は 16°C であるからこの時点ではまだ完全に新しい外海水の流入ははじまっていない。また表面水温は 18°C 以上で前の時刻における状態とほとんど変わっていない。流入が本格的になった 14 時 (d) には水温は全水深を通じて 16.7°C 程度で一様となり、外海水が流入していることを示している。

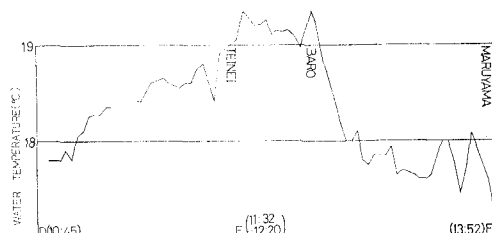
Sta. 3 においては、10 時、11 時、12 時には水温鉛直分布はまったく同じ一般湖沼型 (図-11 (a)) で変化はみられない。13 時の観測 (b) では水深 12m 以下に若干変化が見られるが、これは湖口における海水の流入開始の影響で、深い層の水が動きはじめたことを示している。14 時、15 時にはそれ以前とは異なる別の安定した形 (c) を示すが、表層付近の水温が 0.5°C 以上も低下し、流入水の影響が強くなってきたことがわかる。

(3) 表層水温分布

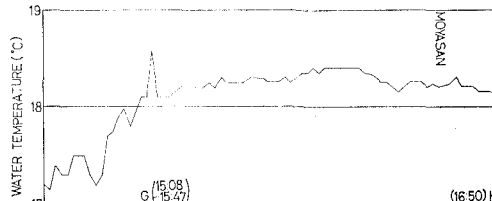
図-12 は 8 月 28 日に行なった表層水温連続測定の結果であって、図-7 に示す経路にそって船を走らせながら、表層水温をサーミスタ温度計によって測定したものである。図からも湖内には水温を異にする水塊がある水域に集中しているのが明らかにみられる。たとえば柴浦から砂洲にそって湖口に向う途中は $18.2\sim 18.4^{\circ}\text{C}$ で比較的一様な水温分布を示すが、湖口から 3km 付近にとくに高い水温の水塊がみとめられる。湖口の開口部に入ると急激に温度が低下しはじめ、外海では水温 16.4°C であった。湖の西部の浅い水域すなわちティネイから芭露にかけての一帯は 19°C 以上の高い温度で、この区域



(その 1)



(その 2)



(その 3)

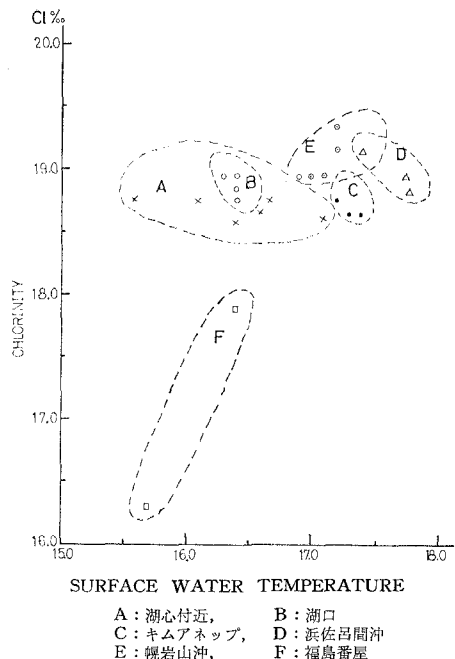
図-12 湖内における表層水温分布 (昭和43年8月28日)

では湖水がほとんど停滞していることを示している。これは同日に行なった水温、塩素量濃度鉛直分布の測定でもたしかめられた。さらに湖の奥にあたる円山から富士方面にかけては再び水温が低下している。この付近は湖口の正面にあたり、流入した外海水の影響をまともにうける区域である。それから幌岩、キムアネツ岬から柴浦まではほぼ一様に 18.3°C 程度の水温である。なお表層水温は気温、日射等によって多少影響をうけるとおもわれるが、富士港防波堤外側の定点 (水深 2.5m) で自記記録した水温日変化と 図-12 とを比較すると、同じ時間帯内で両者の相関がみられず、また連続測定の経路は岸から数百m~1km の深い水域が多いので、図-12 は水塊自身の温度とみて大差はないものと思われる。

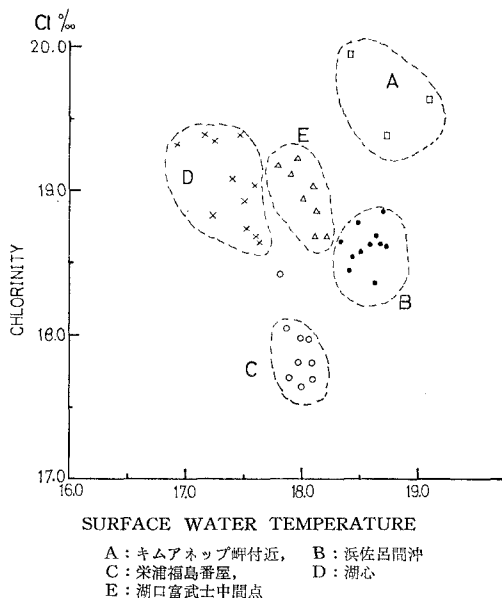
(4) 湖内表層水の水温と塩素量

8 月 29 日には水温、塩素量の観測を行ないつつ湖内を縦断航走した。これと同様な観測は前年度 (昭和 42 年) にも行なったのであわせて考察する。おのおの結果を整理するのに、横軸に水温、たて軸に塩素量 (‰) をとりプロットしたものが 図-13 (昭和 42 年 9 月) および 図-14 (昭和 43 年 8 月) である。

これによれば湖内の水温と塩素量は一樣なものでな



図—13 表層の水温と塩素量濃度の相関 (1967年9月)



図—14 表層の水温と塩素量濃度の相関 (1968年8月)

く、水温、塩素量ともに高い水塊、反対にその両方とも低い水塊、その中間の状態のものなど、いくつかの群に測定点を分けることができる。42年9月のものと43年8月のものではその水塊の分布状況が等しくないが、その傾向は似ている点が少なくない。すなわち福島番屋付近の水塊はほぼ全観測点の下側にあり、湖心付近のものは図の左側を占めている。またキムアネツ岬付近と浜サロマ沖では両図では位置関係が逆の傾向にあるがいずれも図全体の右側にある。

以上は表層水の観測のみによった考察であるが、すでに述べたようにサロマ湖の水は成層の傾向をもっている。このような観測を少なくとも上下2層について1年間数回行なえば湖口を出入する海水の影響がどのように湖全体に行きわたるかが明らかになるであろう。

5. 結 語

以上に昭和41年を初年度として、以後3カ年にわたって実施したサロマ湖の水理に関する総合観測の結果についてその概要を述べた。調査に参加した人員は北海道大学工学部の教官、職員、学生等18人であった。観測用機器ならびに現地における観測施設の不備などいろいろ困難な条件を克服し、広大なサロマ湖上を走りまわった結果、ようやく得られたデータが以上の本文中にその概要を述べたところのものである。しかしこれではまだ多くの未知な面を残しているサロマ湖の水理全貌を解明するためのほんの手懸りに過ぎないであろう。今後これらのデータに基づいていくらかの理論的考察を進めると同時に、さらに現地における観測を充実して行かなければならない。最後に学問的にも興味あるこの調査を遂行する機会を与えられた北海道水産部水産課ならびに現地観測に当り、数々の便宜を計って下さった常呂町、佐呂間町、湧別町および同上各町の漁業協同組合に対し深甚な謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 西網走地域浅海漁場基礎調査中間報告 (昭和41年度)
北海道大学工学部 港湾工学研究室
理学第一研究室
工業力学第二研究室
- 2) 西網走地域浅海漁場開発調査報告書、北海道 (昭44.6)