

# 人造淡水湖（児島湖）における塩分の収支 推定について（その1）

—樋門、閘門を通しての塩分の出入—

奥 田 節 夫

## SALT BALANCE IN KOJIMA LAKE (PART 1)

—ESTIMATION ON QUANTITY OF SALT DISCHARGING AND  
INFLOWING THROUGH THE SLUICE AND LOCK GATE—

by *Dr. Sci. Setsuo OKUDA*

### Synopsis

After closing of the mouth of Kojima bay by an artificial bank, the salinity of water in the closed lake decreased promptly and the salinity distribution approaches a final state. In order to study the salt balance in the Kojima lake, the investigation on inflow and outflow of salt was carried out.

Especially, the quantity of salt discharging through the sluice and inflowing from the lock gate was estimated by the observations of salinity and current velocity and by simple calculations and model experiments.

### ま え が き

最近水資源確保の一手段として河口に連なる内湾の湾口を人為的に締切つて湾内の海水を河川淡水で置き換え、淡水貯水池として農業用水或いは工業用水の水源池に利用する計画が諸所で立てられている。

この用水計画に際して最も重要な課題は、湾口締切後の時間経過につれて湖水の塩分濃度が低下してゆく速さを推定すること、及び充分な時間が経過したのちに一定範囲におさまる平衡塩分濃度の値を推定することである。

又揚水地点の撰択に当つては貯水湖内の水平並びに鉛直方向の塩分濃度分布に対する知識が必要である。

これらの課題を解決するためには湖内の塩分濃度の時間的变化、場所的分布を支配する多くの要素の影響を定量的に解析する必要があり、それに応じて現場観測、模型実験、数値解析等を遂行して総合的な判断を下さねばならない。

本邦最初の人造河口淡水湖として1956年に締切られた児島湖は既に7年間に亘つて沿岸農地に灌漑水を供給しており、その間に実施された各種の調査の資料は今後行われる河口締切計画の貴重な先例として、多くの興味深い研究対象を提示している。

本研究は児島湖における実測資料に基いて締切後における塩分濃度分布の変化の実状を調査し、淡水と海水の交換する過程の解析を目的としているが、今回は特に樋門、閘門を通しての塩分の出入と、それに伴う塩分濃度分布の変化に重点をおいて調査、解析を進めた。

1. 児島湖における塩分濃度分布の概要

特定の地点の特殊な現象を説明するに先立つて、児島湖全体に亘って従来行われていた塩分濃度調査の資料に基づいて湖内塩分濃度変化の概観的な説明を行なう。

児島湾締切によって造られた児島湖の形状並びに諸元概要は Fig. 1 に示す通りである。

岡山農地事務局、児島湾沿岸水利事業所、児島湾土地改良区によって行われた塩分濃度調査資料に基づいて、湖中央部(点A)の塩分濃度の経年変化を示すと Fig. 2 が得られる。なお同図上部には湖水位記録(八浜水位観測所の自記水位計による)より求めた淡水流入量が示されている。

この図によれば湖内の塩分濃度は1956年7月1日に締切られてから急速に低下しているが、漸近的にゼロに近づかないで淡水流入の多い時期(概ね夏季)には0.2~0.3‰程度迄低下し、淡水流入の少ない時期(概ね冬季)には数‰程度迄上昇して季節的変動をくり返している。

水稻の許容塩分濃度は一応3‰とされているから、灌漑用水供給の目的は現状で充分果されているが、特に渇水期の塩分濃度上昇の原因とその限界の推定は、児島湖における異常渇水時の塩害防止の立場から必要であるばかりでなく、他の同種の締切計画の安全性検討のためにも欠くことの出来ない研究対象であろう。

次に締切直後並びに最近における湖内各点(河川部(点B)),湖中央部(点A),樋門近傍(点C))の鉛直分布を Fig. 3 に示す。

これによれば塩分濃度の高い時期には層化が顕著であり、表層の低塩分水の撰択的利用の可能性が認められる。

特に樋門近傍の深くばみには濃い海水が定常的に存在しているが、その原因、影響については後に詳述する。

更に地形的な影響として、河川の「みおすぢ」から外れた入江では河川流入の影響が少なくて湖中央部に比して高塩分水が残り易いかも知れないという懸念があるので、八浜港奥の観測点Dで測った塩分濃度を湖中央部の観測点Aにおける値と比較してみると、両者の間に一定の大小関係はなく非常に接近した値を示していた。

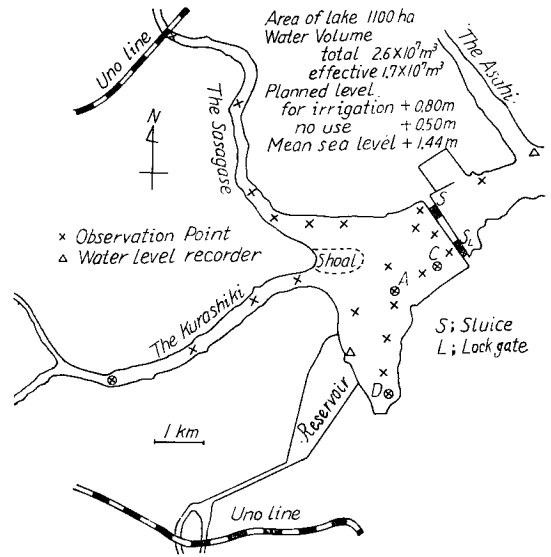


Fig. 1 General view of Kojima lake

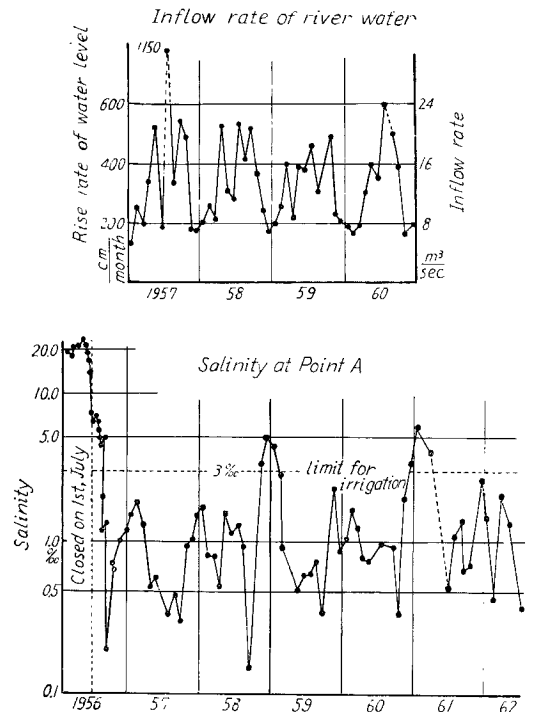


Fig. 2 Salinity change after the closing of bay mouth

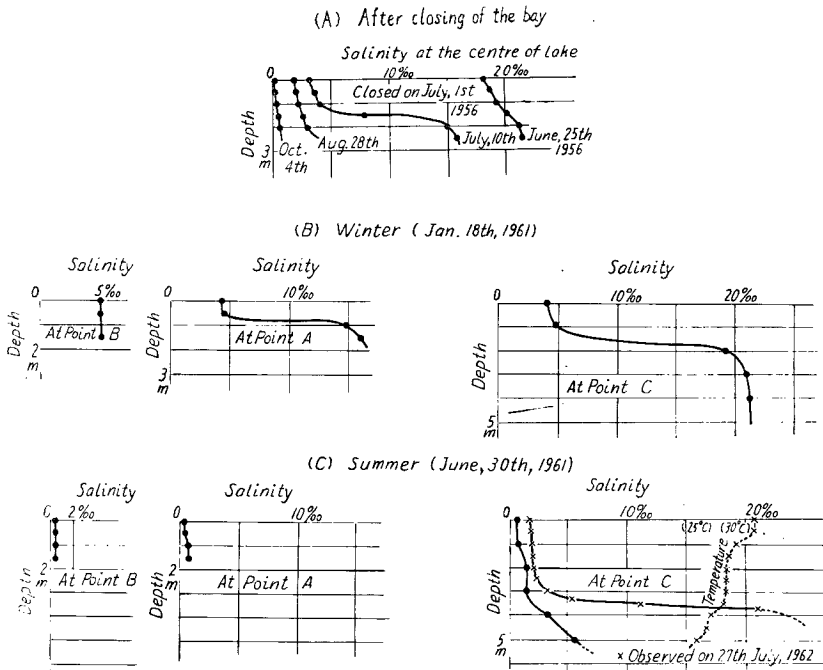


Fig. 3 Distribution of salinity in the lake

締切後の湖内の平均塩分濃度の低下については既に著者<sup>1)</sup>によつて近似的な解析が試みられているが、要するに河川からの淡水流入量  $Q$  と湖の貯水容量  $V$  の比  $Q/V$  が大きいほど、淡塩水の交換が速かに行われ、締切直後の塩分濃度からその1/10の濃度に低下するまでの所要時間は湖内の混合作用の強さにも左右されるが、大体  $V/Q$  (時間の次元を有する) の3倍から6倍程度であることが推定される。

ただし先にも述べたように塩分濃度は低下をつづけて漸近的にゼロに近づくのではなく、河川流入量に対応した一定の範囲内で季節の変動をくり返すようになる。

湖内水位は樋門操作によつて大体一定に保たれており、今迄の観測例では湖面蒸発が淡水流入量をはるかに越えて湖水位が大幅に低下するような時期は一度も出現していない。

従つて蒸発による塩分濃度の上昇は微弱であり、数ヶ月の間に数‰にも亘る塩分濃度の上昇は明らかに湖水に外部から塩分が流入したことによるものである。

塩分流入量の見積りは平衡状態における塩分濃度の範囲の決定に非常に重要な意義を有するが、具体的には極めて困難な問題である。先づ湖水に供給される塩分の源を区別すると、(イ) 樋門、閘門からの海水の流入、(ロ) 堤塘を通しての海水の浸透、(ハ) 湖底及び湖岸からの塩分の拡散放出があげられる。

(イ)、(ロ) は人為的な構築法或いは操作法によつて抑制することが出来るが、(ハ) については人為的調節は不可能である。

特に(ハ)の湖底からの塩分放出については、著者が拡散方程式の近似解に基いて定量的な検討を加えているが<sup>2)</sup>、その結果によれば湖底(湖岸も含む)からの放出塩分量は1962年頃で  $1.4 \times 10^4$  ton/月 程度であると推定される。ただし拡散現象の性質からこの放出量は締切後の経過時間の平方根に逆比例して減少することが予想され、ここ数年の間に急速に減少することは期待出来ない。

なおその解析の結果によれば河川上流部から淡水が流入して流れていく間に湖底から放出された塩分を受けとつて次第に塩分濃度が増大し、近似的には流下距離と塩分濃度の間に直線的な比例関係が導かれるが、

実際に観測された塩分濃度分布はこの直線的な関係を示している。

(ロ)の堤塘を通しての海水の浸透については設計時の見積りによれば、塩分に換算して、 $2 \times 10^2$ ton/月程度であるが、純粹の浸透のみでなく、小孔を通しての漏水等によつて更に多量の塩分が流入する可能性も考えられる。しかしながら堤塘沿いに電気伝導度計を用いてゆつくりと移動観測を行なつた程度では特別に高塩分濃度地点は発見されず、又湖内の塩分濃度分布からみて堤塘を通しての塩分流入の影響が顯著であるとは考えられない。

最後に(イ)の樋門、閘門を通しての塩分の出入は直接の測定が容易であり、又人為的な操作法を変えて現場実験を行なうことも可能であり、更にその結果が同種類の構造物の設計資料としても直接役立つので特に今回の研究の主対象として観測、実験、解析を試みた。

2. 樋門を通しての塩分の排出

湖水位の方が外海潮位より高いとき樋門を開いて排水すると、湖水に含まれている塩分も同時に流出するが、このとき湖水内に密度的な成層が存在すると流速も一様でなく、塩分排出量の推定に特別な考慮を要する。

Fig. 4 に示すように樋門の内側(湖側)には深い「くぼみ」が存在していてこの「くぼみ」には濃塩水が貯溜しており、上層の低塩分水との間にかなり顯著な密度躍層が生じていることは Fig. 3 の塩分濃度の鉛直分布から容易に理解される。

この躍層の高さは Fig. 4 にも示すようにほぼ樋頂の高さと一致しているが、樋門開放の前後や、風による表層水の吹き寄せ効果の有無で多少の変動はある。

このような状態にあるときに樋門を開放した場合の塩分排出量を計算するには、樋門近くにおいて塩分濃度と流速の同時測定を行わねばならない。

そのために樋門扉の海側5mの地点(P)及び湖側50m

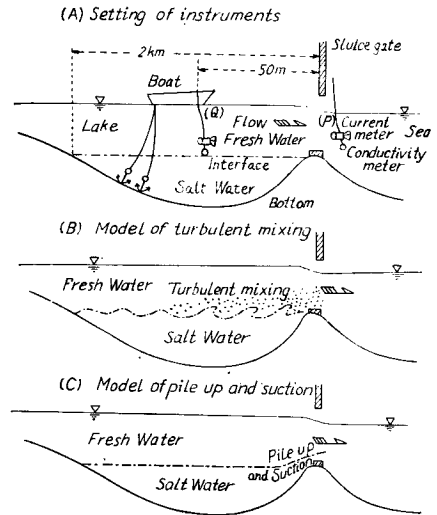


Fig. 4 Discharge of salt water from a hollow

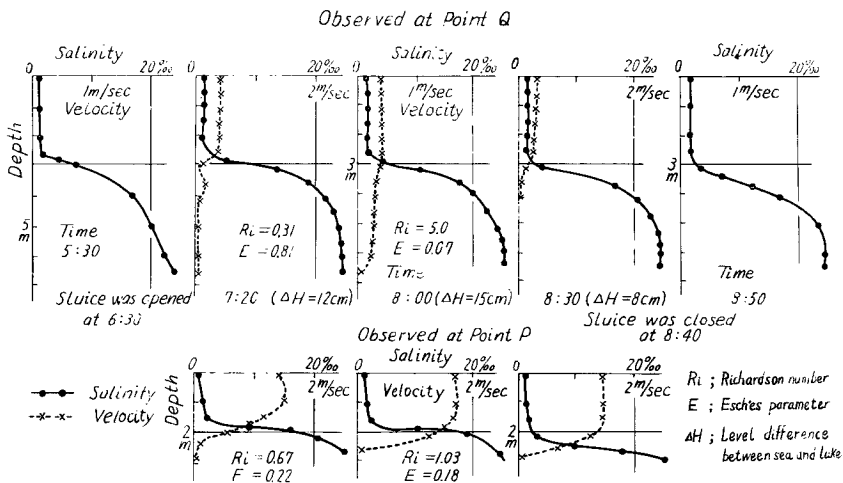


Fig. 5 Distribution of current velocity and salinity near the open sluice

の地点（Q）（Fig. 4（A）参照）に流速計及び電気伝導度計（水温計付）を吊るして流速及び塩分濃度の鉛直分布を測定した。

観測した流速並びに塩分濃度の分布は Fig. 5 に示される。

「くぼみ」に貯溜された塩水の排出機構については、Fig. 4（B）に示すように躍層が不安定になって下層の塩水が上層に巻き上げられる混合拡散作用と、Fig. 4（C）に示すように躍層は安定な状態のままでも剪断応力によつて傾斜し、又樋門付近の高流速によつて圧力が低下し下層の塩水が吸上げられるたい積、吸出し作用とが考えられる。

勿論両作用は完全に独立して生ずるのではなく、たとえば躍層が不安定になって波状を呈すると剪断応力は増して界面の傾斜も増大するものと考えられる。

現行の観測では躍層付近における流速及び塩分濃度の変動そのものを直接に測定していないから、躍層が不安定になって乱流混合が始まっているかどうかの確認は出来ない。しかしながら Fig. 5 に示された平均塩分濃度の鉛直分布の模様をみると樋門を開いて流出が始まっても躍層付近の塩分濃度の勾配は少しも緩和されず、むしろ樋門を開く前よりは濃度勾配が顕著に現われていること及びP点の方がQ点に比して躍層の位置が100 cm 以上高いことから、下層塩水の排除は主として Fig. 4（C）に示すようなたい積吸出の作用によるものと考えられる。

なお躍層付近の流れの安定性を検討するために Richardson number  $R_i = -\frac{g}{\rho} \frac{d\rho}{dZ} \left/ \left( \frac{dU}{dZ} \right)^2 \right.$  及び Esch のパラメーター  $E = U / \sqrt{gh}$  の値を計算して図中に記入した。

ただしここに  $g$  は重力加速度、 $\rho$  は密度で  $d\rho/dZ$  は鉛直上向きに密度勾配をあらわし、 $U$  は流速で  $dU/dZ$  は同じく速度勾配をあらわし、 $h$  は上層の厚みを示す。 $R_i$ 、 $E$  の臨界値は余りはつきり知られていないが通常は  $R_i > 0.25$  又は  $E < 0.2$  であれば流れは安定であるとされている。この値によれば7時20分のP点における躍層以外は安定であるが、いづれも安定の限界に近い状態にある。実際にQ点において躍層付近の電気伝導度を測定していても余り指示値は振動しないがP点の底部近くでは非常に指針がふれてよみとりに困難を感じる。ただしP点における流れの乱れは単に界面不安定によるものではなく、樋門支柱による大きな渦の発生等が直接の原因である。

更に樋門を開いて排水を行うときの塩分流出状態を定量的に調べるために水平流速  $U$  及び塩分濃度  $S$  の鉛直分布から、P点に於ける全水深  $H$  に亘つて  $\int_0^H U dZ$  及び  $\int_0^H U S dZ$  を求め、樋門の単位幅当りの放水量及び塩分流出量とした。種々の条件に対する流出状況は Table 1 に示す通りである。

この表によれば塩分をできるだけ排出するためには水位差の大きいときに樋門を全開して放水量を増やせ

Table 1 Discharge through open sluice (per unit length)

(I) Change with time (Observed on 2nd, Aug.) (Gate was open completely.)

Time	15 : 46	16 : 15	16 : 45	17 : 00
Sea level	88 cm	78	77	71
Lake level	94 cm	93	91	89
Level difference	6 cm	15	14	18
Discharge of water	3.95 ton/m	7.2	6.9	7.2
Discharge of salt	21.2 kg/m	55	53.2	55.5
Mean salinity	5.4 ‰	7.1	7.7	7.7

(II) Change with height of open section at gate (Observed on 16th, Aug.)

Height of open section	50 cm	100	300
Sea level	49 cm	47	40
Lake level	88 cm	88	89
Level difference	39 cm	41	49
Discharge of water	1.6 ton/m	3.1	8.4
Discharge of salt	6.7 kg/m	11.4	88.9
Mean salinity	4.3 ‰	3.7	10.5

ばよいことが判る。現場実験の結果では流出水の平均塩分濃度は最高 10‰ に達し、湖内表層水の塩分濃度が 1~2‰ 程度であることを考えると、下層の濃塩水が相対的にかなりの割合で流出していることが認められる。

なお一回の樋門開放期間中の湖水位の低下は 10 cm 前後の場合が多く、貯水面積は 1100 ha であるから、もし平均塩分濃度 10‰ の水を排出することが出来れば、このときの塩分排出量は

$$0.1(\text{m}) \times 1.1 \times 10^8 \times 10^4 (\text{m}^2) \times \frac{10}{1000} (\text{ton/m}^3) = 1.1 \times 10^4 (\text{ton}) \text{ と推定される。}$$

ただし上下両層の間の混合は微弱であるから、各層別の塩分排出量を算定することも可能であるが、下層の高塩分濃度水の貯溜量を決定する「くぼみ」の幾何学的形状の測量が来年度に行われるので、各層別の算定はその後に試みる予定である。

3 模型水槽実験

「くぼみ」に溜った塩水の流出に関しては G.I. Taylor 氏<sup>9)</sup>の簡単な水槽実験があるが、その実験は上層淡水に定常的な流れを与えた場合の定性的な実験で、児島湖の場合のように静止の状態から動き出した非定常な現象の考察には不適當であるから、新らしく小水槽による実験を試みた。

Fig. 6 に示すような水槽を透明塩化ビニール板で作り、台形くぼみ(図A)又は矩形くぼみ(図B)をとりつけてその中に比重 1.02 又は 1.01 の食塩水をため、その上に水道水を静かに注いで明瞭な躍層を作っておく。

なお「くぼみ」内の塩水にはあらかじめ色素を溶かして着色し観察に便利なおき、又適当な間隔で Water Blue 粉末を投入して、水槽内に青色の鉛直線をひいておく。

水が静止していることを確かめてから右端に設けられた排水孔を開いて上層の水を左から右に向かって流し始め、運動に伴う流速の分布と躍層(この場合淡水と塩水の境界面)の傾きを、35ミリカメラ及び8ミリシネカメラを利用して記録し、その結果を解析する。

このようにして得られた写真の一例を Photo. 1 に示す。

この写真から判るように上層の水が流れ始めると直ちに躍層は大きく傾き、塩水は右方に排出される。このとき境界面付近は Water Blue の細い線がはつきりみられるように流れは乱れておらず、又躍層は滑らかなまま傾いていて波打っていない。しかも界面付近の Water Blue の細線のおれ曲りから界面に沿って大きな剪断応力が作用する

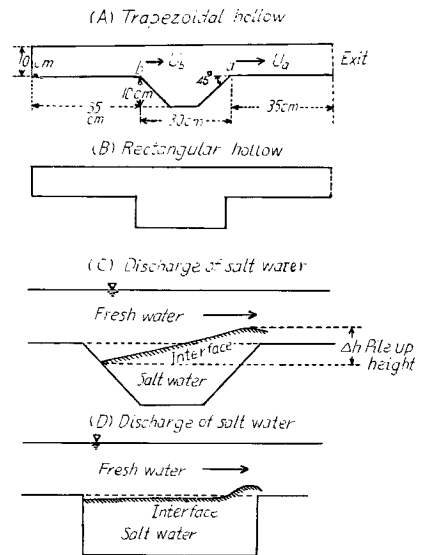


Fig. 6 Model experiments on discharge of salt water from a hollow

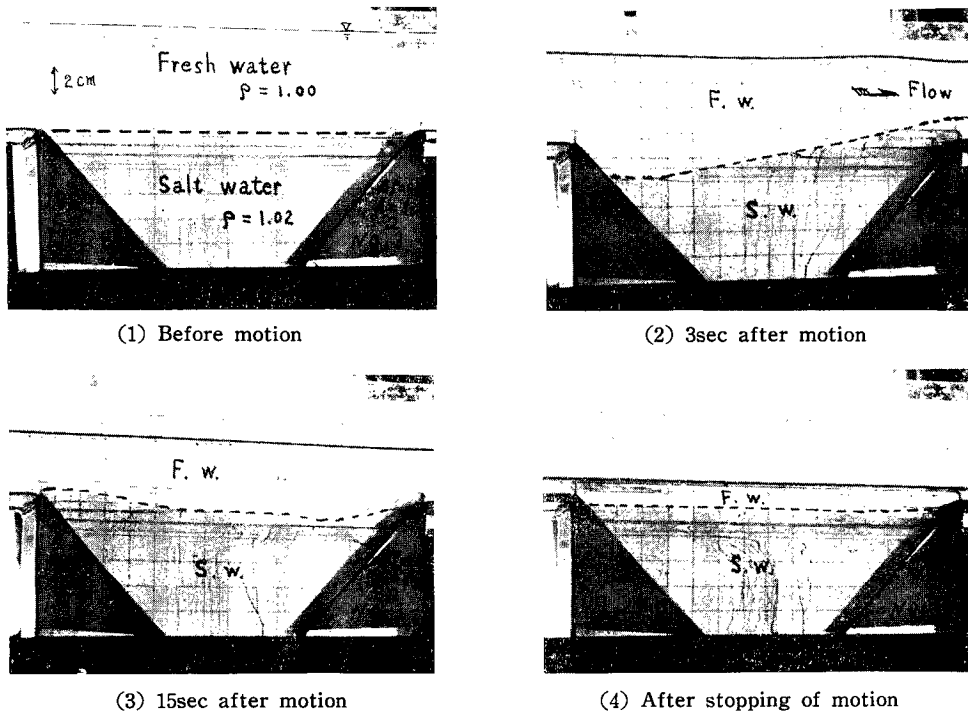


Photo. 1 Model experiment on discharge of salt water from a hollow

ことが認められる。

上層水の厚み、排水孔径の組合せを変えて a 点 (Fig. 6 に示す) の流速に種々の値を与えてこれに対応する塩水の上昇量  $\Delta h$  (図中に示す) を測定し、その結果をグラフに示すと、Fig. 7 が得られる。

次に「くぼみ」の両端に於ける  $U_a, U_b$  から

Bernulli の定理を利用して

$$\frac{1}{2}\rho(U_a^2 - U_b^2) = \Delta\rho \cdot g \cdot \Delta h$$

但し  $\rho$  は水の密度

$\Delta\rho$  は上下両層の密度差

$g$  は重力加速度

の関係式より  $\Delta h$  を求めると、Fig 7 下方の点線が得られる。

これより明らかに塩水の下流側上昇は、速度差に伴う圧力降下による吸出作用のみでなく、界面に働く剪断応力に基づく積の作用が大きな役割を演じていると思われる。

ただしこのような非定常な流れに於ける剪断応力の分布と境界面の傾きを理論的に導き出すことは難しいので定性的な実験結果の記述にとどめておく。

なお水の運動が始まって 2~3 秒後に塩水の排出は最高に達し、後は界面がゆるやかに振動して逆勾配を示すこともあり、(写真参照) そのうちに下層くぼみ内に循環流が発生して塩水の流出は非常に少くなる。

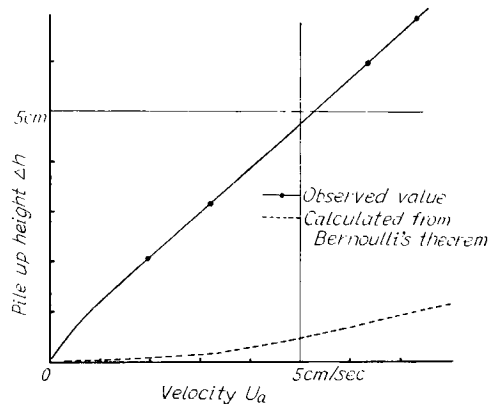


Fig. 7 Relation between discharge velocity  $U_a$  and pile up height  $\Delta h$

児島湖の実例では境界面の高さの振動は余り認められず境界面は傾いたままで一定しているようこの点、模型実験の傾向と異なっているが、排水量(上層の水位低下)の比較からして児島湖の樋門排水の期間は模型実験の排水開始直後に相当しているとも考えられる。更に相似則の十分な検討と実験の精度向上によってこの点を定量的に調べる必要がある。

なお「くぼみ」の形が台形の場合と矩形の場合とで Fig. 6 の (C), (D) に示されるような塩水上昇領域の形状の差が認められるが、その説明は未だ試みていない。

#### 4. 閘門を通しての海水の流入

舟の出入に際しては閘門の外扉(海側)内扉(湖側)を適当に開閉して水位差による高流速の出現を防いでいるが、これに伴って海水の湖内への流入があるからその影響を調べておかねばならない。

Fig. 8 に模式的に示したような閘門(通称舟通し)を舟が海から湖に向かって通り抜ける場合を考えてみる。

舟が外扉に近づいて来ると、内扉は閉じたままで外扉を開いて舟を閘門内に入れるが、このとき閘門内に淡水があれば、海水との間の密度差のために淡水は海水の上に薄く拡がって流れ出し、海水は閘門の下層に流れこみ、ある時間が経過すると閘門内は完全に海水によって占められる。次に外扉を閉じて内扉を開くと海水は湖側に湖底沿いに流れ出し、淡水は閘門の上層に流れこみ、ある時間が経過すると閘門内は完全に淡水によって占められる。結局舟を海から湖に向かって通り抜けさせるときには閘門貯水量一ぱい舟の海水を湖の中に運びこむことになる。

逆に舟を湖から海に向かって通り抜けさせるときには内扉を開いて舟を閘門に入れ、次に内扉を閉じ外扉を開いて舟を海に出すが、最初に内扉を開く前の状態で閘門内に海水が貯留されているか

(前の舟が湖から海に向かっていった)或いは淡水が貯留されているか(前の舟が海から湖に向かっていった)によって湖に海水が流入する場合と流入しない場合とに別れてくる。(舟が海から湖に向かうときは前の舟の通過方向に拘らず常に海水が湖に流入する。)

扉の開閉によって閘門内の水の交換が行われることは明らかであるが、一回の開放時間はほぼ10分以内に完全に淡塩水の入れ替りが終了するかどうかを確かめるために、閘門内の塩分濃度変化を電気伝導度計を利用して測定した。ただし淡塩水の層化の影響を考慮して淡水から塩水に替るときは水面近くに電気伝導度計を置き、逆に塩水から淡水に替るときは水底近くに電気伝導度計をおいて完全な入れ替えが終る状態をみとどけるようにした。

測定結果の一例は Fig. 8 に示されている。これによればほぼ4分間で閘門内の水の入れ替えが完全に終ることが認められ、従って舟が通る度に閘門内の貯水容量に等しい水が出入するものと考えられる。

そこで閘門管理事務所の記録に基いて一日の舟の通行回数を20回とみなし、幅8m、長さ30m、平均水深2m(容量480m<sup>3</sup>)の閘門内の海水(塩分濃度20%とみなす)が一日に20回(前述のように前の舟が海から湖に向かって通り抜けていた場合には海水の搬入はないが、その確率の計算を省略して全部海水の搬入をとまなるものとして塩分の流入を大きめに概算する)湖内に搬入されるとすれば、1ヶ月当りの塩分流入量は

$$480 \text{ ton} \times \frac{20}{1000} \times 20(\text{回}) \times 30(\text{日}) = 5.8 \times 10^3 \text{ ton}$$

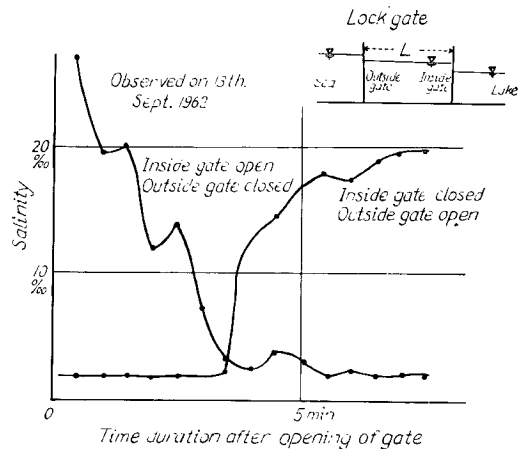


Fig. 8 The exchange of fresh and salt waters in the lock gate



となり、堤塘からの浸透塩分量の推定値（前述）毎月 200 ton に比して格段に大きく、これが貯水容量  $2.7 \times 10^7$  ton の水に一ように拡がるとすれば略々毎月 0.2‰ の塩分濃度上昇をもたらす筈である。しかしながら特に内扉直前で塩水が湖内に流入するときの塩分濃度、及び流速の鉛直分布を測定してみると、重い塩水は湖底沿いに流れて近くの「くぼみ」にただれ込み、表層の塩分分布に直接の影響を及ぼしていないことが認められた。

従つて樋門、閘門を通しての塩分収支については閘門から塩水が流入して一度堤塘近くの「くぼみ」に貯溜され、樋門を開くときに上層水にひきづられて排出されるという経過をくり返して、上層の低塩分水と下層の高塩分水（殆んど海水）との境界面を通しての塩分輸送は殆んどないから、上層と下層はそれぞれ別に塩分の収支を考慮すればよい。

なお一般に長さ  $L$  の閘門内の水が完全に入れ替るに要する時間を求めるために、水槽実験の結果に基づいて次のような計算を試みた。

水槽実験によれば、淡塩水を同水位で貯溜しておき、急に境界面の樋門を開くと、淡水、塩水はそれぞれ楔状をなして進行し、その進行速度  $V$  は

$$V = \frac{1}{2} \sqrt{\epsilon g H}$$

で与えられる。

ただしここに  $g$  は重力加速度、 $H$  は平均水深、 $\epsilon = \Delta\rho/\rho$ （淡塩水の密度差/平均密度）。そして例えば塩水楔が進行して水槽の端に到着すると反射が始まり、塩水の厚みがましていく。この経過を模式的に記すと、Fig. 9 のようになり、塩水楔の尖端が壁に到着する時間の約 2 倍の時間で一応水の交替が終る。<sup>4)</sup>

閘門においては一方の端が開いていて、水槽の場合と条件は異なるけれども、一応の目安として入れ替えの時間を楔が他端に到達するのに要する時間の 2 倍とみなすと、長さ  $L$ 、水深  $H$  の閘門内の水の交替所要時間  $T$  は

$$T = 2L/V = 4L/\sqrt{\epsilon g H}$$

で与えられる。

そこで実測値に基づいて  $L=30\text{m}$ 、 $H=2\text{m}$ 、 $\epsilon=0.015$ 、 $g=9.8\text{m/sec}^2$  を用いると、 $T=222\text{sec}=3.7\text{min}$ 。

が得られ、Fig. 8 より求められる交替時間 4 分に近い値をとる。

従つて閘門の水の交替所要時間は上述の式で推定して差支えないものと思われる。

ただし上述の水槽実験は淡塩水の水位が同一の場合に対応するもので扉を開く前の水位差が平均水深に比して大きい場合の適用は妥当でない。

しかしながら実際の閘門の操作としては舟を高流速にさらさないために、水位差が大きいときは扉を少し開いて両側の水位差を小さくしておいてから全開するので、水の交替所要時間の見積りとしては上述の式を適用しても近似的には差支えない。

### 5. 風浪の影響

今迄の説明において樋門、閘門を通しての塩分の出入は、主として下層の高塩分濃度の水（殆んど海水そのまま）の貯溜している「くぼみ」と外海との間の塩水の交流であつて、直接に上層の低塩分濃度水には影響を与えないことを述べて来たが、特別な条件の下では下層から上層に塩分の輸送があつて、塩分濃度分布が変り、用水計画に直接の影響を及ぼすことの可能性も検討してみなければならない。

特別な条件としては強風による攪拌と、洪水流入による二層境界面の攪乱とがあげられる。強風の作用としては湖面応力による鉛直面内の循環流の出現と、風浪による直接的な混合作用の影響とがあげられ、塩分濃度分布には特に後者が影響を及ぼす。

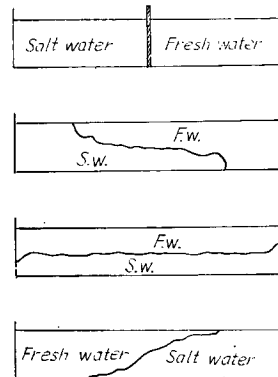


Fig. 9 The exchange of fresh and salt waters in a flume

これらの影響を正確に観測するためには、強風時の流速並びに塩分濃度の連続的な記録が必要であるが、現況では強風時の小舟による観測は危険であり、又自動記録装置も利用出来ないので、強風の前後の観測結果の比較によつてその間に生じた変化を考察するより他はない。

児島湖の締切堤近くに大きな風浪が発生するのは冬季西よりの季節風が吹く場合である。締切堤防管理事務所の屋上にとりつけられた風速計の自記記録によつて、今冬に 8m/sec 以上の風速の出現した日を調べてみると1月に12回、2月に1回であり、特に最も強い風が長時間続いたのは昭和38年1月5～6日にかけてであつて最高風速 16.5 m/sec で 8m/sec 以上の風の継続時間は16時間に近く、堤防付近において風浪波高は 50cm 程度に達し、強風と飛沫のために堤防上の通行が困難な状態であつた。

この期間の前後に行われた塩分濃度及び水温の鉛直分布の観測の結果は Fig. 10 に示される。

1月7日の観測は特に強風が止んだ直後の状態を調べるために行なつたものである。

この結果によれば強風の前後で塩分濃度分布はほとんど変化なく、躍層の位置は僅かに10～20cm 程度深くなつただけで依然として安定な状態を保持している。

ただし水温の方はかなりの低下を示しているが、これは当時毎日最低気温は氷点下になり、日中気温も 4～5°C であつたことから強風による一時的な攪拌

によるものとは考えられない。無風時でも水温の分布はこの図に現われているような型を示し、上層中ではよく対流が行われ、躍層で対流が停止して下層は伝導によつて冷却する過程を示している。

なお2月下旬、3月上旬に行なつた観測結果も殆んど同じように安定な躍層の存在を示しており、冬季の強風の混合作用で下層の濃塩水が上層にまい上つて来る惧れはないことが認められた。

次に洪水流入時の塩分濃度分布の変化については、本年度観測期間中には対象とするような洪水がなかつたが、過去の記録より洪水流入時には下層の濃塩水がかなり排出されて「くぼみ」内の塩水量が減少している例もみられるので、来年度実施予定の湖内深淺測量による「くぼみ」地形の確認と、洪水流入前後の精密観測と相俟つて定量的な検討を加える予定である。

## 結 論

以上各節で説明した内容の要点のみまとめて記すと、

1. 締切堤防近くの深い場所では上層の低塩分水と下層の高塩分水との間に顕著な躍層が安定に存在しており、その躍層の高さは樋門底頂の高さに近い。
2. 樋門を開いて排水するとき、上層水の流れにひきづられて下層水も排出されるが両層間の境界面は安定であり、塩分排出は界面付近の混合拡散によるものではなく、主としてたい積吸出作用によるものである。
3. 樋門からの塩分の排出量は流出条件によつて異なるが、水位差が大きく高流速が生ずるときは平均塩分濃度10%を越え、1回の樋門開放時に 10<sup>4</sup>ton 程度の塩分を排出することが可能である。
4. 閘門における淡塩水の交替は略4～5分で終了し、閘門を通しての塩分の流入量は毎月 6×10<sup>6</sup>ton 以下であると推定される。

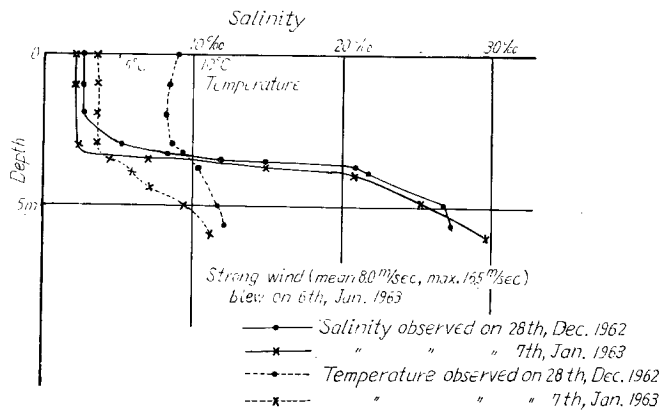


Fig. 10 Effect of strong wind on salinity distribution

5. 上層水と下層水間に直接の塩分の輸送はなく、それぞれ独立して塩分の収支を見積ればよい。
6. 強風時でも上下両層間の躍層は安定に存在するが、洪水時の状況は不明である。

## 謝 辞

本研究を行なうに当って現場観測に特別な便宜を計っていただいた岡山農地事務局技術課並びに児島湾土地改良区堤防管理事務所の諸氏に深謝する。

なお酷暑或いは寒風の中で観測に従事された岡山大学理学部学生、横山康二、難波靖弘、清水勝博、二階堂半三の諸君に感謝する。

本研究の一部は文部省科学研究費の援助によつて行われた。

## 参 考 文 献

- 1) 奥田節夫：内湾締切後における淡塩水の交換，日本海洋学会誌，第16巻，第1号，（1960年4月）pp. 7—14.
- 2) Okuda, S.: The Effect of Released Salt from the Lake Bottom on the Salinity Distribution in an Estuary after the Closing of Outlet, Jour. Oceanogr. Soc. Japan. Vol. 18, No. 3 (Oct. 1962) pp. 107—110.
- 3) Taylor, G. I.: An Experiment on the Stability of Superposed Streams of Fluid, Proc. Cambridge. Phil. Soc. Vol. 23 (1927) pp. 730—731.
- 4) 奥田節夫：密度流に関する調査報告 中海干拓事務所報告，昭36. 3.