

風蓮湖に陸域からの汚濁負荷が及ぼす影響に関する現地観測

Field Observations on Influences of Pollution Load from Upstream Farms in Lake Furen

山本 潤¹・牧田佳巳²・山下彰司²・田中 仁³

Jun YAMAMOTO, Yoshimi MAKITA, Syoji YAMASHITA, Hitoshi TANAKA

Lake Furen is an enclosed estuary facing the Nemuro bay in the North-Western Pacific. The measure which prevents water pollution of Lake Furen by pollution load from upstream farm is considered. It is required to evaluate the effects of the measures against water pollution in advance. Field observation of water quality, sediment and currents was performed in 2006. It is found that nutrients in the inner part of the lake were high especially after rain and that in the mouth is low. They are strongly dependent on salinity. Although the exchange of seawater is helpful for maintaining the good water quality of the mouth area, the seawater does not reach the inner part of Lake Furen. It was proved by the numerical simulation.

1. はじめに

根室湾に面した風蓮湖は、上流に酪農地帯を有する閉鎖性の汽水湖である。陸域由来の汚濁負荷による水質・底質の悪化が懸念されており(北海道環境政策課, 2007; 北海道環境科学センター, 2005), 畜産系排水及び牧草地で使用される肥料の風蓮湖への流入を低減させるため、河畔林造成や排水調整池等の対策(鶴木ら, 2006; 中村, 2005)が検討されている。著者らは2006年度より、陸域由来の汚濁負荷の低減対策が風蓮湖の水質環境に及ぼす効果を予測・評価することを目的として、農業・河川・海岸等の研究チームの連携による水系一環の合同調査に着手した。本稿では、風蓮川及び風蓮湖で行った現地観測結果の考察を行い、風蓮湖の水質変動に対する陸水の影響について報告する。

2. 現地観測の方法

(1) 風蓮川における観測

風蓮川は酪農地帯を貫流して風蓮湖に流入しており、図-1に示す風蓮湖への流入前の風蓮橋(St.0)において水位・流量観測及び採水等を行った。観測は2006年6～11月の各月3回の定期と高水時に行った。主な水質分析項目は、DO, BOD, COD, クロロフィル a, SS, 栄養塩類, 大腸菌群数等である。得られたデータを基に水位-流量曲線や水質項目毎の流量-汚濁負荷曲線を作成し、風蓮川を通じた陸域からの汚濁負荷の流入特性を把握した。

(2) 風蓮湖における観測

図-1中の風蓮川からの陸水が風蓮湖を経由して根室湾に出る経路上に観測点を設置し、同年8～11月に水

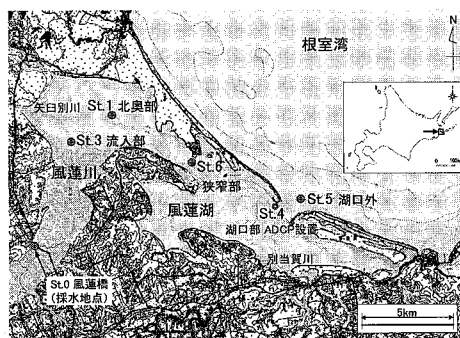


図-1 調査位置図(風蓮湖及び風蓮川下流)

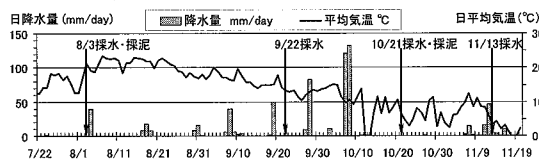


図-2 アメダス日別値(別海町2006年)

質、底質等の観測及び湖口部での流況観測を行った。採水時の状況として、別海町における降水量を図-2に示した。採水前3日間の合計降水量は、8, 9, 10, 11月それぞれ0, 50, 0, 62 mmであり、11月の採水は降雨直後に行った。採泥は、8月と10月の採水時に併せて実施した。採水層は、各地点とも表層及び底面直上の2層とした。採水には、バンドーン型採水器を使用し、底面直上は底質の巻き上げを避けるべくダイバーによる採水とした。採泥は、スミス・マッキンタイヤー型採泥器を使用した。主な水質分析項目は、DO, COD, pH, 塩分, クロロフィル a, 栄養塩類, 大腸菌群数等である。流況の連続観測は ADCP 超音波ドップラー多層流向流速計を用いて行い、8月3日に底上に設置し、11月30日に撤去を行った。

1 正会員 博(工) (独法)土木研究所, 寒地土木研究所
2 正会員 (独法)土木研究所, 寒地土木研究所
3 フェロー 工博 東北大学教授 工学研究科土木工学専攻

3. 観測結果と考察

(1) 風蓮川を通じた陸域からの汚濁負荷の流入特性

一般に、河川流域から流出する水質成分負荷量は流量によって大きく変化するため、低水時と高水時の両者を網羅できる方法が必要である。風蓮川における流量・水質観測から得られたデータを基に COD, 全窒素, 全リン等の汚濁負荷量と流量の関係式 ($L-Q$ 式) として、図-3 のとおり経験式を作成し、その特性について考察した。 $L-Q$ 式は橋ら (水文・水資源学会編集出版委員会, 1998) により以下の式で示される。

$$L/A = C \cdot (Q/A)^n \quad (1)$$

ただし、 A : 流域面積、 L : 負荷量、 Q : 流量、 C , n : 係数、風蓮橋地点における風蓮川の流域面積 A は 557.01 km^2 である。

解析結果の相関係数 R から経験式の適用性がわかり、 $L-Q$ 式のべき乗係数 n によって各栄養塩成分の流出特性がわかる。 n 値によって分類される負荷流出特性は、例えば山田ら (1998)、矢挽ら (2005) により、以下のようになっている。

$n > 1$: 洗い出し型、 $n = 1$: 濃度一定型、 $n < 1$: 希釈型。

n 値が 1 以上の場合、土壌中に大量に存在している物質が増水により洗い出しを受け、流量の増加に対し流出負荷量が著しく増加することを意味している。 n 値が 1 以下の場合には、流量増加に対して若干の負荷量増加が認められるものの、点源負荷等で発生負荷量に限界があり、増水により希釈を受けることを意味している。

図-3 において、 $L-Q$ 式の相関係数は各水質項目のいずれも 0.9 以上の高い正の相関を示し、 n 値は 1 以上であった。これは、この流域では各負荷量が、総じて濃度を増加させていく「洗い出し型」であり、この流域の負荷量の発生源は降雨含有負荷や面源負荷であることを示している。 $L-Q$ 式にはこうした風蓮湖への陸域由来の汚濁負荷の流入特性が表現されており、この $L-Q$ 式を風蓮湖の水質変動を評価する際の境界条件として用いることによって、その影響を計算結果に反映させることが可能となる。

(2) 風蓮湖の成層状況

採水時に計測した水温・塩分濃度の鉛直分布を図-4 に示す。夏季には外海水と比較して風蓮湖内の表層の水温が上昇し、水温差 5°C 程度の成層化の傾向が見られるが、9 月以降には表層と底層とで水温差はほとんど見られない。一方、塩分濃度については、風蓮川近傍から外海に至る地点間での濃度差が各地点における上下層の濃度差より大きく、陸水の影響を受けた強混合型の傾向を示している。風蓮湖の水深が浅いため、平常時には上下

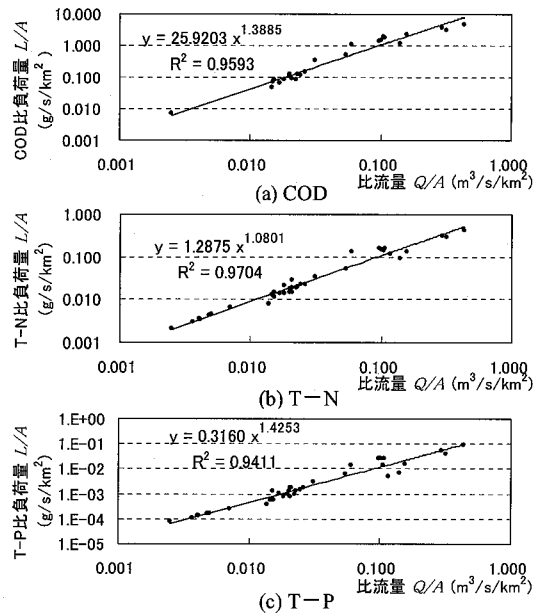


図-3 風蓮川の流量-汚濁負荷の関係

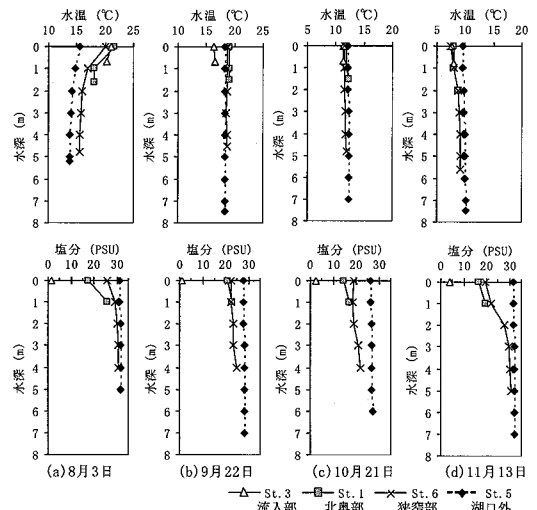


図-4 水温・塩分鉛直分布図

層の混合が生じやすく、また、降雨直後には陸水の影響を受けやすいことが想定される。図-4(d) は降雨直後の観測であることが図-2 から確認できるが、この時は特に狭窄部 (St.6) の表層まで陸水の影響が広がり、その上流側に位置する北奥部 (St.1) に近い値を示していることがわかる。

(3) 風蓮湖の湖口部の流況

本調査で観測された風蓮湖湖口部 (St.4) における流況の一部を図-5 に示す。湖口部の流況は、表層、底層ともに潮汐に起因した同位相の流れであることがわかる。図-6 には -8.0 m 層に対する -1.0 m 層および -4.0

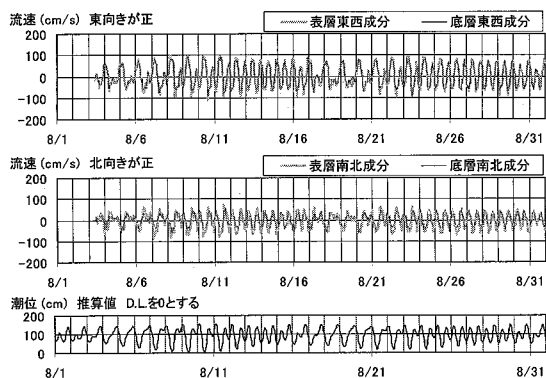


図-5 湖口部の流速と外海の潮位 (2006年8月)

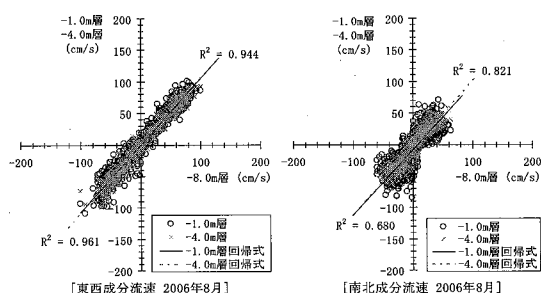


図-6 底層流速に対する表層・中層流速の相関図

m 層の各成分流速の関係図を示す。東西・南北方向流速のいずれも、 -8.0 m 層に対して -1.0 m 層、 -4.0 m 層の各層で強い相関を示し、その傾きはほぼ 1 であることから、各層で流向および流速に差がなく、同位相のほぼ滞筋に沿った流れが生じており、エスチャリー循環や内部潮汐を示す成分は無いといえる。このため、平常時の風蓮湖における湖口部を通じた外海との海水交換は、表面潮汐を外海の境界条件として与えることによって再現できることがわかった。

(4) 風蓮湖内の水質変動

風蓮湖での水質調査結果を図-7 に示す。全体的に、風蓮川流入部 (St.3) の水質が最も悪く、外海側の湖口外 (St.5) に向かい徐々に水質が良好となる傾向を示している。また、風蓮川流入部では、夏から秋にかけての季節変動よりも、図-2 に示した観測日と降雨との関係が支配的であり、降雨後の 9 月と 11 月、特に降雨直後の 11 月に悪化した。このため、風蓮湖の水質は、河川からの汚濁負荷の流入と清浄な外海水との海水交換によって概ね説明することが可能であると考えられる。そこで、陸水と外海水の相対的な割合として塩分濃度で代表させ、風蓮湖内の水質との関連性について検討した。

図-8 では横軸に塩分濃度を取り、各水質項目との相関を示した。図-8 から、COD、全窒素については塩分

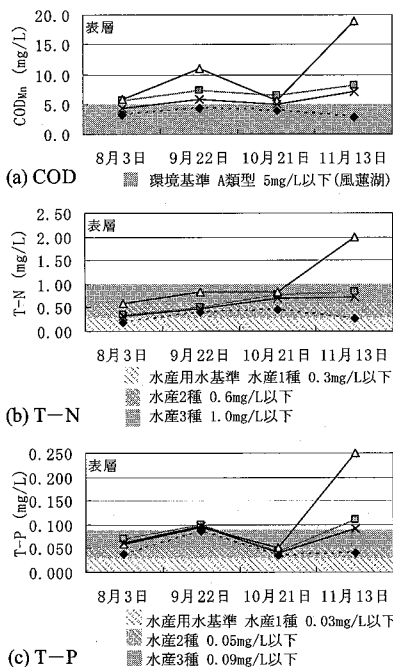


図-7 風蓮湖の水質変動

濃度と負の相関を示す傾向が見られた。また、ほぼ淡水である風蓮川流入部 (St.3) と他の地点 (St.1, St.6, St.5) に分けて考えると、風蓮川流入部の水質は降雨後の 9 月、11 月に顕著に増加したように河川水自体の水質変動の影響を直接受ける傾向にあるが、他の地点では一時的な降雨の影響よりはむしろ長期的な陸水と外海水の割合を示す塩分濃度との関連性が高いことが示唆された。このため、全窒素、COD に関しては塩分濃度からそれらの分布を概ね予測することが可能であるといえる。

一方、図-8 から、全リンは塩分濃度と間に明確な関連性は見られない。図-7 おいても、降雨直後の 11 月の観測では風蓮川流入部で高い値を示しているが、それ以外では水質の違いは明確でなく、降雨後の 9 月には一律に減少したことから、場所によらず濁質の流出と沈降等の河川の短期的な負荷の増減が支配的である傾向が見られる。このことは、リンが土壌や底質中に吸着されやすく、全窒素等とは異なり、降雨による湖内流入から比較的短期間のうちに湖内全域にわたって減少するとの報告 (北海道釧路水産試験場, 2003) と矛盾しない。

硝酸態窒素も降雨とは関係なく、季節毎に風蓮川流入部付近から外海に至る経路上において、指数関数的に減少していることが図-8 からわかる。このことは、外海水との混合以外に、各地点においてその硝酸態窒素濃度

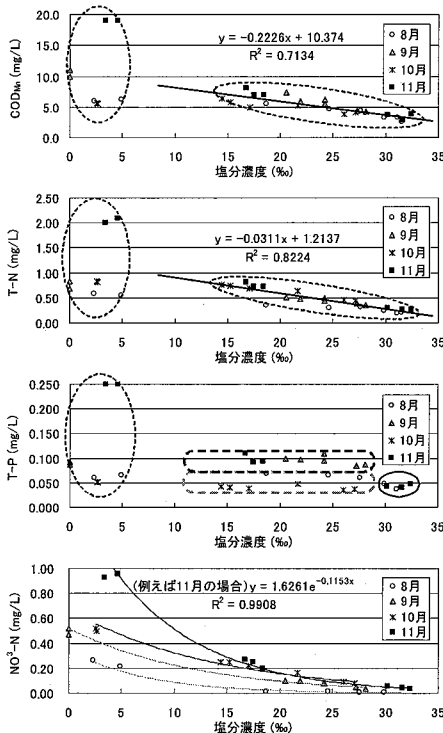


図-8 風蓮湖の水質と塩分濃度との関係

に比例した消費が行われた可能性が示唆される。湖内に生息するアマモ群落による吸収や底泥の吸着、さらには、風蓮湖に流入する他の小河川による希釈の影響も考えられる。

底質分析結果を図-9に示す。各項目とも良好な外海に対し、湖奥に向かって悪くなる傾向が見られ、各地点の水質変動の履歴を反映したものであることが確認できる。ただし、北奥部より流入部の底質が良好な理由は、流入部では浮泥の堆積が河川流に妨げられたためと思われる。

4. 数値計算による風蓮湖の流況の再現

(1) 風蓮湖の流況の再現方法

風蓮湖の水質に影響を及ぼす外海との海水交換や風蓮川からの汚濁負荷等を明らかにすることを目的に、数値計算による検討を行った。風蓮湖を50 m×50 m、鉛直1 mの格子に切り、マルチレベル密度流モデルで現象を再現した。計算方法は野見湾の海水交換の再現(山本ら, 2007)とほぼ同様の方法とした。潮位は根室港における主要四分潮の推算値を沖側の開境界に入力した。あらかじめ再現計算開始日時の観測値を用いた予備計算を実施し、安定した時点における水温と塩分を初期値として用いた。計算は下げ潮時から開始し、流速の初期値は予備計算の出力結果を用いた。湖内への流入河川については、

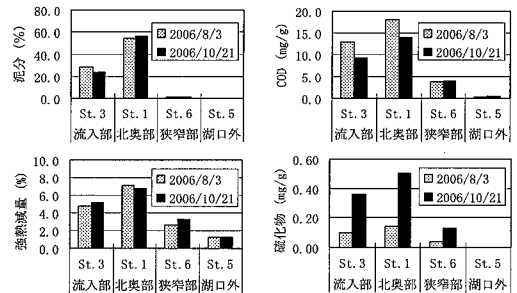


図-9 底質分析結果

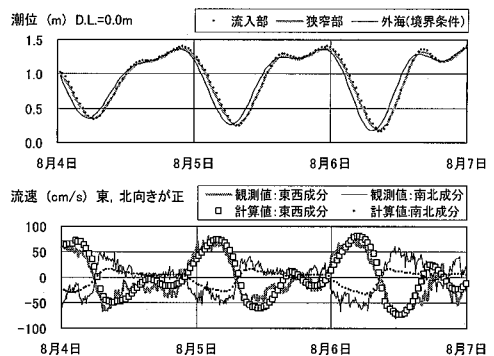


図-10 湖口部における流速の観測値と計算結果

風蓮川での本調査結果の他に釧路水産試験場(2003)の観測結果から得られた通常時及び出水時の流量を用い、断面流速として該当セルに直接上書きし、その影響の再現を試みた。

図-10に境界条件として用いた潮位と風蓮湖内各点における潮位の計算結果、湖口における流速の観測値を用いた流速の検証結果を示す。潮位は湖口や狭窄部において変化し、境界条件として外海に与えた潮位に対し、最奥に位置する流入部では約1～2時間程度の遅れが見られる。湖口や狭窄部では流速が最大値を示すと考えられ、計算結果の検証に適している。湖口部の流速の再現計算結果は概ね観測値と同等の値を示し、本計算が湖口を通じた海水交換を再現していることが示された。

(2) 風蓮湖の海水交換と陸水の影響

風蓮川からのCOD負荷量を図-3のL-Q式により与え、湖内のCOD濃度の変化を算出した。図-11に平面分布を、図-12には湖口側と奥側の二つの水域に分けて平水時及び高水時(2006年10月8～10日を想定)それぞれの平均値の推移を示す。両図から湖口側のCOD濃度は外海とほとんど変わらないが、湖奥部、風蓮川流入部付近のCOD濃度が高水時に高くなっていることがわかる。同様に、湖内に仮想物質を配置し、外海水との海水交換について検討を行った。図-13には湖内残留物質濃度の初期値に対する割合として、湖口側と奥側の二つの水域毎にそれぞれ

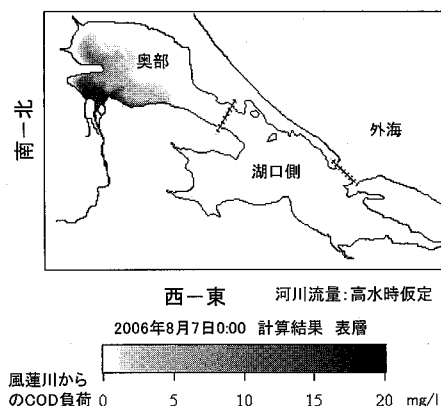


図-11 風蓮川からの汚濁負荷の影響予測

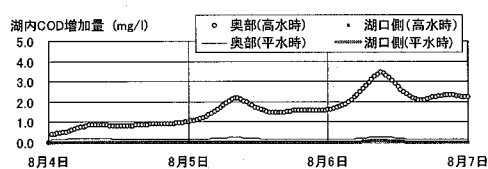


図-12 風蓮川の負荷による風蓮湖内 COD 増加量

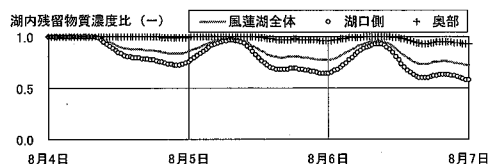


図-13 海水交換による湖内物質の残留状況

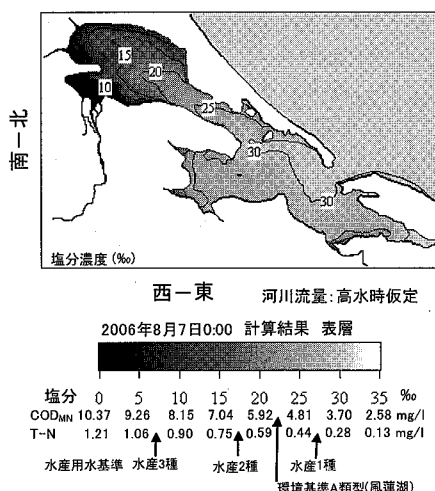


図-14 風蓮湖の塩分濃度分布と水質予測

塩分濃度の平面分布の計算結果を図-14に示す。湖口付近の塩分濃度は外海とほぼ同等であるが、最奥部では外海の影響がほとんど届かず、河川水とほぼ同等であることがわかる。3.(4)での考察結果から、この計算結果が風蓮湖内におけるCODや全窒素とほぼ同様の分布を示したものであると考えられ、図-8中の回帰式を用いて換算することが可能である。CODならば環境基準を満たす5mg/l以下の領域は湖口付近のみであり、奥部全体が基準値を上回っていることがわかる。以上により、風蓮湖の水質に及ぼす陸水の影響が確認できた。

5. おわりに

風蓮湖に流入する陸域由来の汚濁負荷量は、降雨の影響を強く受けており、風蓮川のL-Q式によって表現できた。風蓮湖の湖口付近は清浄な外海水との海水交換によって水質が良好に保たれるが、奥部まで外海水の影響が届かず、汚濁物質が滞留して水質悪化を引き起こしていることが明らかとなった。湖内のCODと全窒素の分布については、風蓮川のL-Q式と海水交換量を用いて概ね定量化することができたが、リン・硝酸態窒素等の他の項目については、風蓮湖内部で生じる水質変動を詳細に捉えなければ説明できない。そのためには、湖内での沈降分やプランクトンの動態、底質からの栄養塩溶出、アマモ群落による吸収、風蓮湖に流入する他の小河川の影響等を把握する必要がある、広くデータを取得して、さらに検討をすすめることが望ましい。

参考文献

- 鵜木啓二(2006): 面源流域からの窒素流出とその対策, 土壌の物理性, 第102巻, pp. 39-45.
- 水文・水資源学会編集出版委員会(1998): 積雪寒冷地の水文・水資源, 橋治国編集, 信山社サイテック, pp. 139-158.
- 中村和正(2005): 酪農流域の水質環境とその改善方法, 北海道開発土木研究所月報, 2005年度特集号, pp. 17-29.
- 北海道環境科学センター(2005): 北海道の湖沼, 改訂版, pp. 46-51.
- 北海道環境生活部環境局環境政策課(2007): 北海道環境白書'06, pp. 1-197.
- 北海道立釧路水産試験場(2003): 藻場・干潟環境保全調査報告書, 別海町地区周辺地域, pp. 1-39.
- 矢挽哲也・中津川誠(2005): 常呂川・網走川流域の汚濁負荷量について-流域の土地利用と負荷量の特徴-, 北海道開発土木研究所月報, No. 625, pp. 2-19.
- 山田俊郎, 大江史恵, 清水達雄, 橋治国(1998): 森林集水域からの栄養塩負荷流出とその特性に関する比較研究, 環境工学研究論文集, 第35巻, pp. 85-93.
- 山本 潤・田中 仁・佐伯信哉(2007): 野見湾の内部潮汐による海水交換と水止まりによる貧酸素水塊発生に関する研究, 土木学会論文集, 第63巻, 1号, pp. 39-50.

れ経時的に示した。湖口側では残留率は50%代に減少したが、奥部では残留率が90%を越し、外海水との交換が10%未満と少ないことが確認できる。