

サロマ湖の流況にあたる氷盤の影響

EFFECT OF ICE ON WATER EXCHANGE AT SALOMA LAGOON

蒔田俊輔¹・佐伯浩²・古屋温美³

Shunsuke MAKITA, Hiroshi SAEKI and Atsumi FURUY

¹ 学生会員 工修 北海道大学大学院 工学研究科 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

² フェロー会員 工博 北海道大学大学院教授 工学研究科 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

³ 正会員 工修 マリンプランニング(株)

The Saloma Lagoon connected to the Okhotsk Sea by two mouths, is ideal place for the aquaculture of scallops, oyster and other marine products. However, the water quality of half closed area, likes the Saloma Lagoon, easily grows worse. For the maintenance of the water quality and permanent use of the lagoon for the aquaculture, the understanding of the water exchange is necessary. During winter, the lagoon is ice covered and ice floes drift into the lagoon through its two mouths. And ice floes cause serious damage to the aquaculture facilities. In order to prevent such damage, 13 ice booms were constructed at the mouth No. 1. Ice floes trapped in ice booms make the ice jam which has large fluid resistance. The water flow in the Saloma lagoon is affected those ice cover and the ice jam. In this study, the effect of ice cover and ice floes on water flow was examined by the numerical simulation of the water flow in the Saloma lagoon is carried out, changing the ice cover and the ice jam conditions.

Key Word: water exchange, numerical calculation, ice boom, ice cover, ice jam,

1. 研究背景

オホーツク海沿岸に位置するサロマ湖は、天然の第1湖口と1978年に開削された人工の第2湖口により外海へ通じており、湖内は比較的深い水深、外海と同等の塩分濃度を有するため、帆立貝・牡蠣貝等の養殖漁業の場として広く利用されている。サロマ湖のような半閉鎖性水域は、養殖漁業に適した高い静穏性を持つが、一方では水質環境が急激に悪化する危険性を併せ持っているため、恒久的な漁場の利用のためには、海水交換を十分に考慮した水質維持が必要とある。サロマ湖における帆立貝の養殖には垂下型の養殖施設が利用されており、冬季間も結氷・流水の影響を避けた水面下に設置されている。したがって、寒冷地に位置するサロマ湖の水質維持を考える際には、結氷期間の流況を把握することが必要である。

本研究では、サロマ湖における流況シミュレーションを行い、冬季間の結氷・流水の影響を明らかにし、老朽化している第2湖口の改修による海水交換の活性化の可能性について検討する。

2. 湖内流況シミュレーション

(1) 計算手法

海域の流動を計算するための数値モデルとしては、解析対象とする海域の空間のスケールと運動のスケールが水平方向と鉛直方向では異なることに注目し、水平方向には格子網を用いて分解し、鉛直方向には層を用いて分解する、マルチレベルモデル¹⁾を使用した。このモデルは、鉛直方向に関して、表層にたいしてのみ層厚変化を考慮し、それ以外の層にたいしては鉛直流速成分として求められ、半閉鎖性海域の流動変化の解析には適しているといえる。

サロマ湖全域と第1湖口より500m沖までの水域を100mのメッシュに分割し計算を行った。計算領域を図-1に示す。第1湖口は幅300m、平均水深10m、水面面積90000m²であり、第2湖口は幅50m、平均水深5m、水面面積15000m²である。

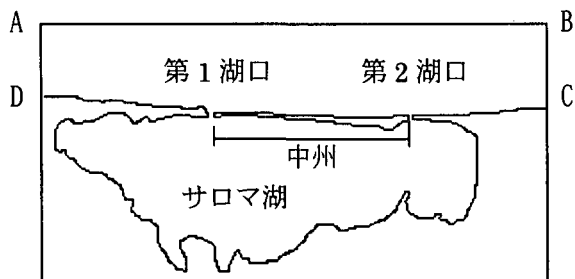


図-1 計算領域

(2) 諸係数

a) 海面摩擦係数

海面摩擦係数は、風・波浪・流れなどによって複雑に変化するが、実際には一定値 $\gamma_a^2 = 1.3 \times 10^{-3}$ を使用することが多い。今回の計算では風を考慮していないため、海面摩擦係数は使用していない。

b) 底面摩擦係数

マルチレベルモデルでは Hasen が潮流観測で求めた一定値 $\gamma_b^2 = 2.6 \times 10^{-3}$ を使用することが多く、今回の計算でもこれを使用している。

c) 内部摩擦係数

適切な評価法はないが、一般的には底面摩擦係数の1/10~3/4程度の値が使用される。今回の計算では一定値 $\gamma_i^2 = 5 \times 10^{-4}$ を使用している。

d) 水平渦動粘性係数

水平渦動粘性係数は運動状態や運動規模により変化するが、一般的には水平拡散係数と同程度の値が使用される。今回の計算でも水平拡散係数と同じ値を使用している。

e) 水平拡散係数

水平拡散係数は一般的に運動規模の4/3乗に比例することが知られており、以下の式により計算されている。

$$K_h = cL^{\frac{4}{3}} \quad (2a)$$

ここで、 c : 定数 (0.01 程度) L : 格子サイズ

今回の計算ではこの式により格子サイズ 100m に対し計算された値 $K_h = 4.64$ を使用している。

(3) 境界条件

境界条件として、外海へ通じている境界 AB・BC・DA にそれぞれ Sommerfeld の開放条件を設定し、境界 AB にのみ周期 24 時間、半潮差 0.5m の外潮位変化を与えた。

(4) 計算条件

第1湖口部には、流水の湖内侵入による養殖施設等の被害防止のため、フロートを取り付けたワイヤーの下部にネットが設置されているアイスブームを連結した全長 1430m の防水施設が建設されており、位置は計算メッシュ上で図-2 の位置にあたる。

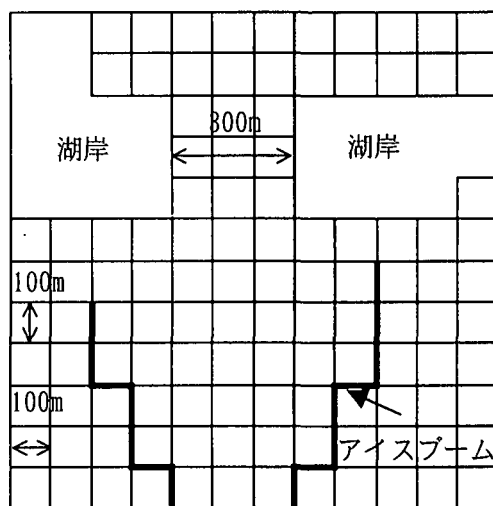


図-2 アイスブーム設置位置

アイスブームにトラップされた氷盤群は、開口部からの大きな流速を受けアイスジャムを形成する。アイスジャムは大きな剪断抵抗を持ち、付近の流動に大きな影響を与えるため、冬季間に流氷の到来する海域の流動計算において無視することは出来ない。

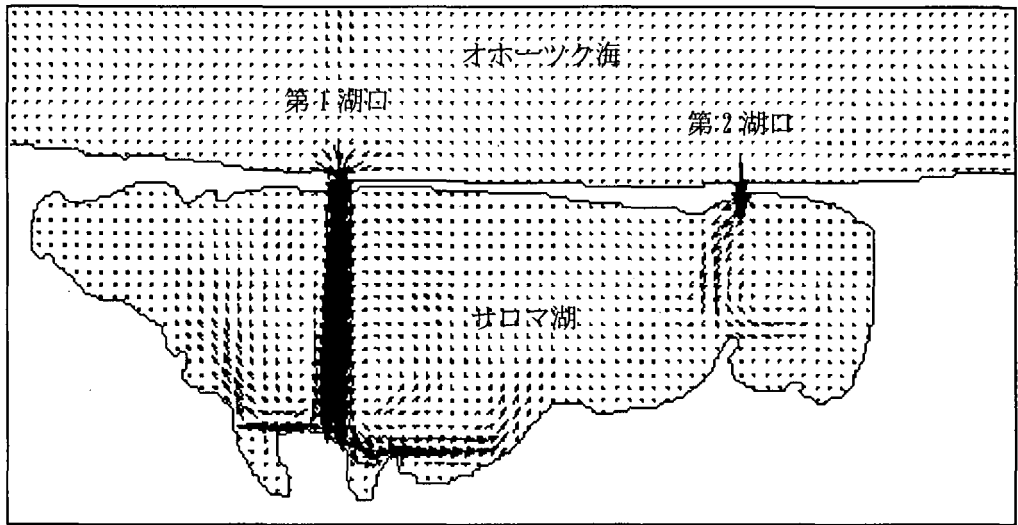
したがって、今回の計算では、状態 1.1 : 全面開水状態、状態 1.2 : 湖内全面結氷状態、状態 1.3 : 湖内全面が結氷しておりアイスブームにアイスジャムが形成されている状態、の3種類の条件にたいし計算を行った。

なお氷盤の効力係数は、著者等の求めた²⁾平坦な氷盤にたいしては剪断力係数 $C_{sw} = 7.7 \times 10^{-3}$ を、アイスブーム内に形成されたアイスジャム状氷盤群には剪断力係数 $C_{sw} = 1.3 \times 10^{-1}$ を使用している。

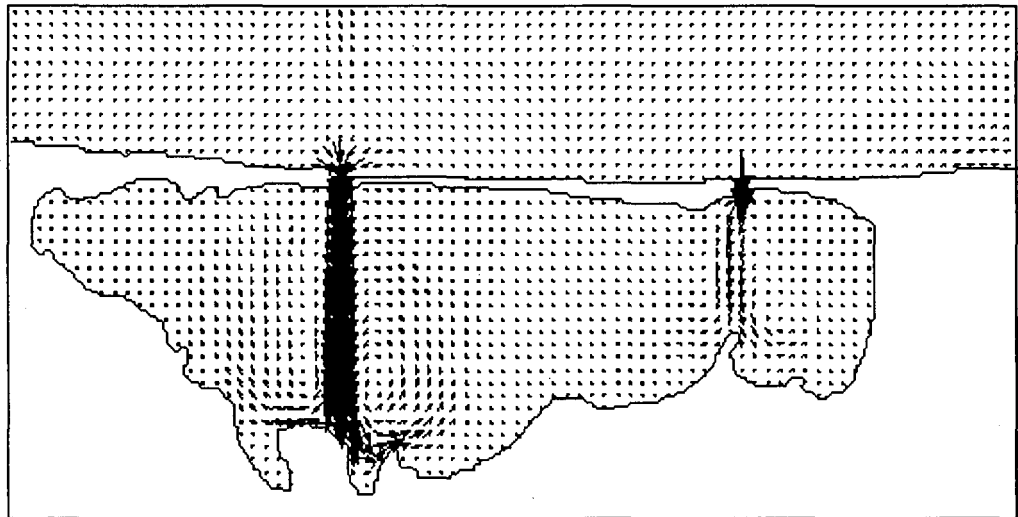
(5) 計算結果と考察

計算された流況を図-3 に示す。

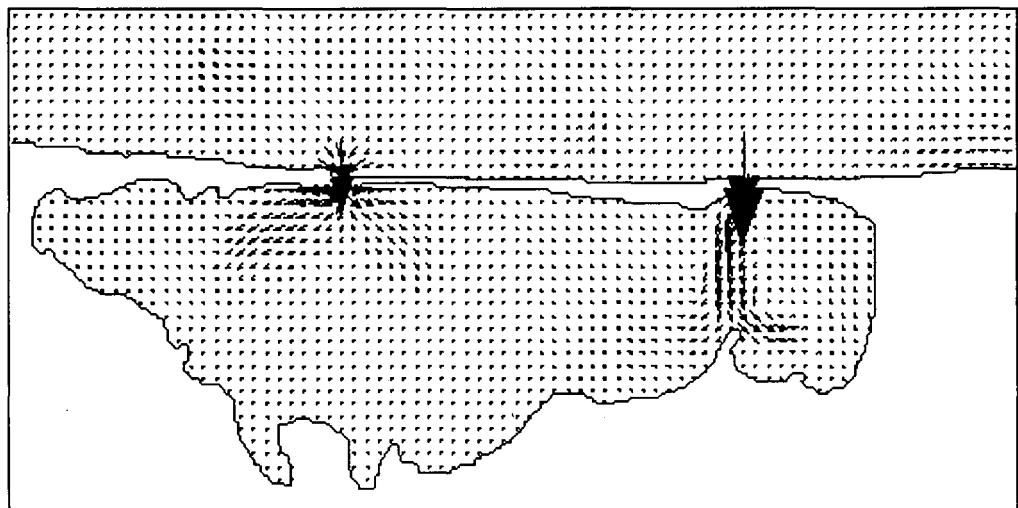
図は、流入流速最大時の流速ベクトルである。



状態 1.1 (全面開水状態)



状態 1.2 (全面結氷状態)



状態 1.3 (全面結氷および、アイスプーム内にアイスジャムの形成されている状態)

図-3 流況シミュレーション計算結果

湖内が全面結氷している状態 1.1 においては、湖口から流入する流れが大きく湖の奥に到達し左右に広がった流れは、ほぼ湖中央部まで達しているが、湖内が全面結氷している状態 1.2 においては、状態 1.1 と比較し、湖口から流入した流れは結氷盤の抵抗の影響により流速が弱く、左右に広がる流れは湖中央部まで達していない。さらに、アイスプーム内にアイスジャムが形成されている状態 1.3 においては、湖口から流入する流れはアイスジャムの大きな抵抗の影響によりアイスプーム設置位置において拡散し、左右に小さな流れは見られるが、湖中央部まで達する流れは見られないため、湖中央部の水質の悪化が懸念される。

次に流入流速最大時における各状態の流速の比較を図-4 に、流量と第 1 湖口に対する第 2 湖口の流量比を図-5 に示す。

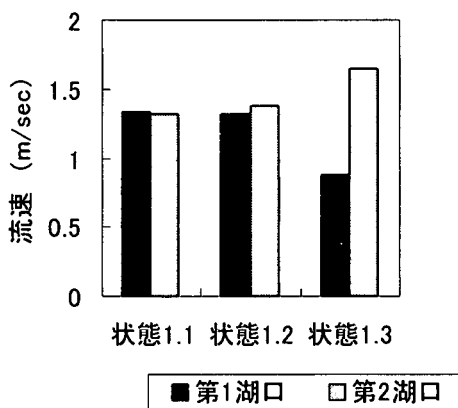


図-4 流速の比較

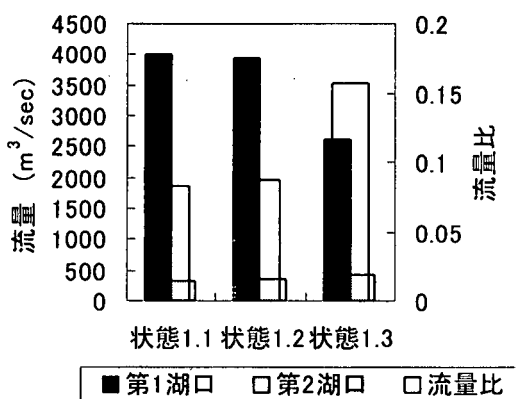


図-5 流量および流量比の比較

状態 1.1 と比較し、状態 1.2 においては、流速および流量に大きな差異は認められないが、第 1 湖口からの流入がわずかに減少し、第 2 湖口からの流入がわずかに増加しており、流入量の比にすると状態 1.1 においては約 8%、状態 1.2 においては約 9%である。これは第 1 湖口が第 2 湖口と比較し幅が広いため開水面が大きく、結氷による抵抗の影響を受けやすいため第 1 湖口からの流入が減少し、外海と湖内の水位差が増加し、結氷の影響を受けにくい第 2 湖口からの流入が増加しているものと思われる。状態 1.3 においては、第 1 湖口からの流入流速が著しく減少し、第 2 湖口からの流入が増加しており、流入量の比にすると約 16%まで増加している。アイスジャムの大きな抵抗の影響で第 1 湖口からの流入が減少し、状態 1.2 と同様、水位差が増加したために、アイスジャムの影響を受けない第 2 湖口からの流入が増加しているものと思われる。

次に各状態における 2 つの湖口からの総流入量の比較を図-6 に示す。

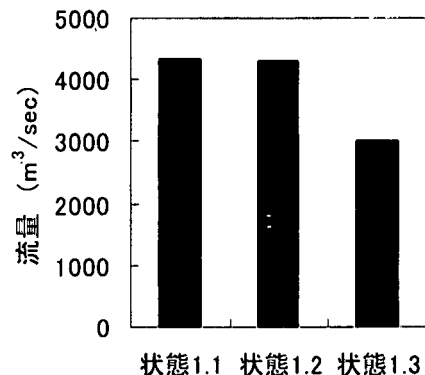


図-6 総流入量の比較

状態 1.1 と比較し、状態 1.2 では第 1 湖口からの流入の減少を、第 2 湖口からの流入で補っているため、総流入量の減少はほとんど見られないが、状態 1.3 では約 7 割にまで減少しており、総流入量に与える影響は、結氷の影響が少なくアイスプーム内に形成されるアイスジャムの影響が支配的であるといえる。また、第 1 湖口からの流入が減少した場合に、その湖内への流入の減少を第 2 湖口からの流入が補い増加するため、アイスプームによる湖内への総流入量の減少の改善を考える際、第 2 湖口からの流入は、流入量自体はわずかではあるが重要である。

3. 海水交換における第2湖口の影響

現在、人工の第2湖口は老朽化のため改修が考えられている。前述したとおりアイスブーム内に形成されるアイスジャムの影響で第1湖口からの流入量は減少した場合、第2湖口からの流入量はそれを補うかたちで増加する。

ここでは第2湖口の改修による海水交換の活性化の可能性について検討する。

(1) 海水交換の評価法

初期状態で湖内に一様濃度に貯められた拡散物質に対して物質輸送シミュレーションをおこない、1周期後の拡散物質の残留率により海水交換能力および物質輸送能力を評価した。

拡散物質の輸送は以下の移流拡散方程式によって計算されている。

$$\begin{aligned} \frac{\partial SS}{\partial t} = & -\frac{\partial}{\partial x}(uSS) - \frac{\partial}{\partial y}(vSS) - \frac{\partial}{\partial w}(wSS) \\ & + \frac{\partial}{\partial x}\left(K_x \frac{\partial SS}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(K_y \frac{\partial SS}{\partial y}\right) \\ & + \frac{\partial}{\partial z}\left(K_z \frac{\partial SS}{\partial z}\right) \end{aligned} \quad (3a)$$

(2) 計算条件

第2湖口の通水断面を、開削により2倍に拡張すると仮定した際、湖口幅を2倍にした場合と比較し、湖口の深さを2倍にした場合は、結氷の影響を受けないため外海からの流入量が多く、海水交換に関しては有利であると考えられる。

したがって今回の計算は、状態2.1：全面開水状態、状態2.2：湖内が全面結氷しておりアイスブーム内にアイスジャムが形成されている状態、状態2.3：湖内が全面結氷してアイスブーム内にアイスジャムが形成されており、かつ第2湖口の深さを現在の2倍と仮定した場合、の3種類の条件にたいし計算を行った。なお、初期状態の拡散物質濃度は湖内でSS=1.0、外海でSS=0.0である。

(3) 計算結果と考察

次に1周期後の拡散物質残留率図-7に、拡散物質濃度の分布を図-8に示す。

状態2.2と状態2.3で拡散物質の湖内残留率を比較すると、状態2.3では拡散物質残留量が減少しており、第2湖口の改修により、サロマ湖の海水交換の活性化がきたいできるといえる。

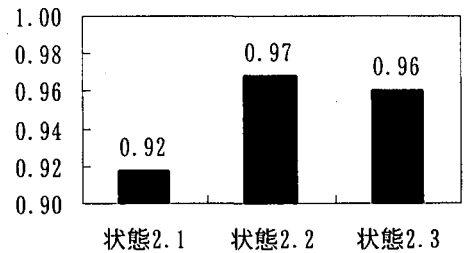
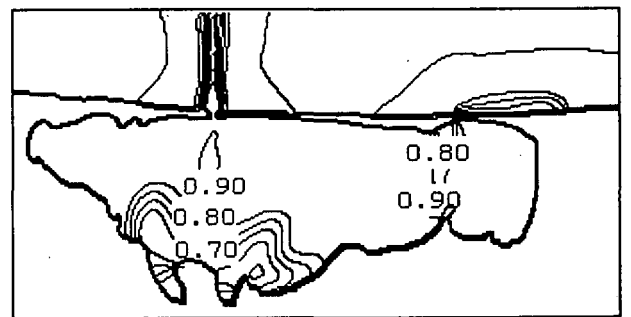
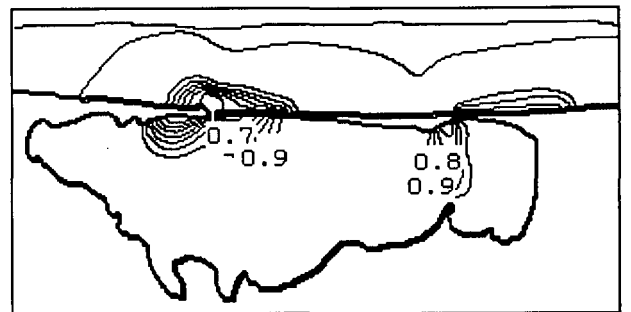


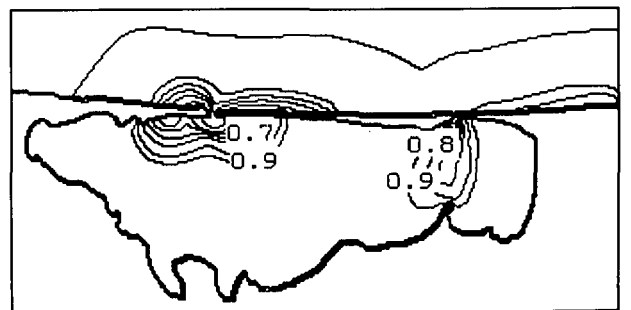
図-7 拡散物質湖内残留量



状態 2.1



状態 2.2



状態 2.3

図-8 拡散物質濃度分布

第1湖口側において、状態2.1では外海からの流入が湖奥まで達するため、湖奥側の物質濃度が低下し、状態2.2および状態2.3では外海からの流入が湖口近辺に留まるため湖口湖口近辺の物質濃度が低下している。

第2湖口側においては、外海からの流入量が最も少ない状態2.1で最も物質濃度は高く、流入量の最も多い状態2.3で最も低い結果となっている。また、状態2.3では物質濃度の低い領域が左側、湖中央の方向へ広がっており、第2湖口の開削により、湖内全域の物質輸送能力が増加することが予想できる。

海域の水質環境の評価は様々な要素が関係し、またサロマ湖における水質悪化の主要因は河川からの無機物、懸濁物質などの流入負荷である。寒冷地に位置するサロマ湖への河川からの流入は冬季には減少し、春季の雪解けによって増加するため、海水交換量の減少する冬季間に水質環境が悪化しているとは一概には言えない。

今回の研究は、水質環境評価の一つの要素として、潮汐による2つの湖口を通じた海水交換を評価したが、河川からの流入負荷、湖内の養殖漁業による水質環境の悪化などを含めた、総合的な水質環境の評価を今後の課題とする。

4. 結論

- (1) 全面開氷状態、全面結氷状態および全面結氷状態でアイスブーム内にアイスジャムが形成されている状態の3種類の条件下で流況シミュレーションを行った。流況にあたる影響は、結氷盤と比較し、抵抗力が非常に大きいためアイスジャムの方が支配的である。
- (2) 1周期間に湖内へ流入する流量は、全面解氷状態と比較し、アイスジャムが形成された状態では約7割にまで減少しており、海水交換を阻害しているといえる。
- (3) アイスジャムの影響を受け、第1湖口からの流入が減少した場合、外海と湖内の水位差が増加するため、第2湖口からの流入が増加する。
- (4) 第2湖口を改修により、水深を現在の2倍に仮定した場合、拡散物質の湖内残留率は減少し、濃度の減少する領域は湖中央の方向へ拡大している。

参考文献

- 1) 藤原・明田・武内；マルチレベル密度流モデルの開発と人工湧昇流への適応、水工技研報水産土木14、pp13-pp35、1992
- 2) 蒔田・河合・佐伯・原；トラップされた氷盤群に作用する流体力に関する実験的研究、海洋開発シンポジウム論文集 Vol.14、pp417-pp422、1998