

湾形状が海水交換に及ぼす影響に関する実験的検討

東京電機大学 学生員 樽木 太志

東京大学 正会員 鯉渕 幸生

東京電機大学 正会員 有田 正光

1. はじめに

東京湾をはじめとする内湾では、流入負荷削減のための様々な施策が行われているにも拘わらず、依然として赤潮や貧酸素水塊が慢性的に発生するなど、富栄養化が問題となって久しい。このような内湾の水環境は、流入負荷がどの程度の期間その湾内に留まるか、すなわち海水交換が水質を決定する重要な要因となる。

そのためこれまでにも、保存量である塩分濃度による推定や ADCP を用いたフラックスの測定等が行われ、様々な湾の海水交換量が推定されているものの、湾の形状や潮汐周期が海水交換に及ぼす影響等については不明な点が多い。

そこで本研究では、①湾口幅と周期の海水交換率に及ぼす影響、②非対称な湾と対称な湾の海水交換率の相違、を知るための実験を実施した。

2. 実験概要

先ず、湾口幅と周期が海水交換に及ぼす影響を明らかにするために、矩形的湾（図-1、TypeA）を用い海水交換率に関する実験的検討を行った。実験では湾内水にウォータブルー（以下、WB）を入れて着色しデジタルカメラでとらえた画像の輝度から、WB の濃度の経時変化を計測した。実験条件は湾口幅を 10,20,30(cm)、測定周期を $T=5,7,14,120(s)$ と変化させ、また、水深は 22(cm) の一定として実験を行った。

次に湾の形状が海水交換にどのような影響を与えるか明らかにするために入れ江を設けた図-1 の TypeB に示すような非対称な湾と左右線対称な湾の TypeC を用いて実験を行った。実験条件は TypeB の入れ江の湾長を 100, 70, 50, 30, 0（入れ江の湾長が 0 の場合は Type A と同じ）と変え、各湾長ごとに周期 5(s)、水深 22(cm) で実験

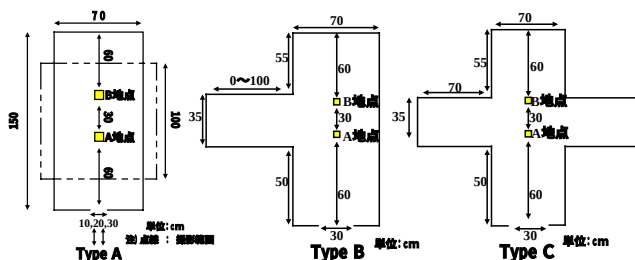


図-1 実験で使った湾

を実施し、WB 濃度の経時変化を測定した。測定点は湾口側の A 地点と湾奥側の B 地点とした。

3. 湾口幅と周期が海水交換率に及ぼす影響

図-2 は与えられた湾口幅と WB の濃度の経時変化より求められた 1 周期あたりの海水交換率を TypeA の A、B 地点で求めたものである。同図より A、B 地点ともに湾口幅が狭まるほど、周期が大きいほど海水交換率が大きくなる事が分かる。また、湾口に近い A 地点の方が海水交換率は大きくなる事が分かる。

図-3 は一周期あたりの海水交換率を湾口幅と潮汐の波長の比 B/λ によって無次元化し、TypeA の A、B 地点で求めたものである。また、同図の結果を定式化すると式 (1) を得る。

$$Y = 0.1241(B/\lambda)^{-0.5496} \dots (1)$$

ここに Y は一周期あたりの海水交換率、 B は湾口幅、 λ は潮汐の波長である。

つまり、 B/λ の値が大きいほど海水交換率が大きくなるという結果を得た。この結果の原因となる流動のメカ

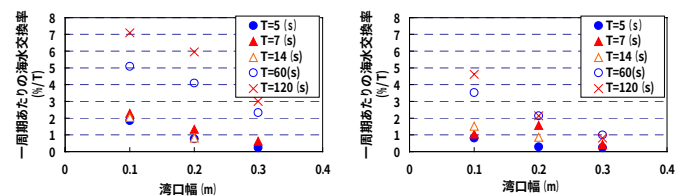


図-2 1 周期あたりの海水交換率

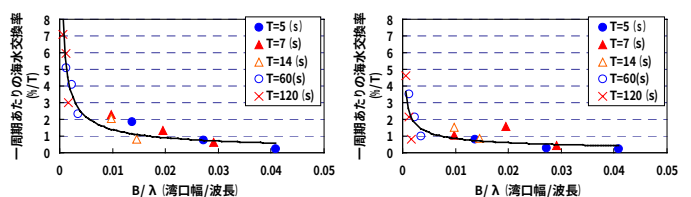
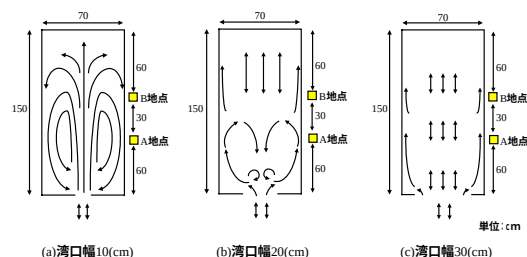
図-3 湾開口度 B/λ と一周期あたりの海水交換率

図-4 各湾口幅のケースに観測される循環流

キーワード：海水交換、循環流、湾形状

連絡先：350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂 TEL 049-296-2911 FAX 049-296-6501

ニズムを調べるために、潮汐によって駆動される流れを各湾口幅ごとに観察し、湾内に生ずる循環流の挙動を模式的に描いたものが図-4である。同図に示すように、湾口幅が狭い場合は湾内に強い循環流が形成され、このとき流れは湾奥まで到達するので海水交換率が大きくなると考えられる。一方、湾口幅が広くなると湾内の流れは潮汐によって前後するだけの流動となり湾奥まで達しないので、海水交換率は小さなものとなることが分かった。

4. 入り江が海水交換に及ぼす影響

ここではまず、入り江の湾長を変化させ、湾形状の非対称性が湾内の循環流と海水交換率に与える影響について検討する。図-5はTypeBの入り江の湾長を変化させた場合の海水交換率の変化を示したものである。同図より海水交換率は湾長50cmまでは湾長が長くなるほど増加していることがわかる。しかし、入り江の湾長が50cm以上では湾長が長くなると海水交換率は減少に転じていることが分かる。つまり、海水交換率を最大とするような入り江の湾長長さが存在することが判明した。

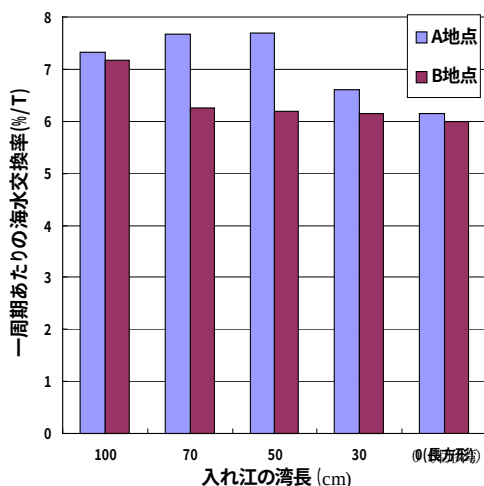


図-5 湾長による海水交換率の変化:周期5秒,水深22cm

図-6は以上に検討した非対称な湾:TypeBと入り江を左右にもうけた対称な湾:TypeCの場合の海水交換率を比較したものである。同図に示すように入り江を非対称に設置した場合の方が海水交換率が大きいことが分かる。これは非対称性が湾内に海水循環を促進するような循環流を生じせしめることを示している。この点については以下でさらに詳しく考察する。

図-7はTypeBの場合に生じている循環流の挙動の観

測結果を模式的に描いたものである。同図に示すように湾内の流動は、湾口付近では前後に動くのみであるが、湾奥では半時計回り、入れ江では時計回りの循環流が認められた。このような流れは、上げ潮時に湾口から流入してきた外海水が入れ江と湾奥に大きく2つに分流する為であると考えられた。つまり、右から湾奥に向かう流れはそのまま湾奥付近まで行くのに対し、左側から湾奥方向に向かう流れは、入り江に流れ込むので湾奥には進みづらい。その結果、全体としては湾内に反時計回りの循環流が形成されることになると考えられる。そして、この循環流が対象な湾に比べて海水交換率を大きくする原因となりうると考えられる。

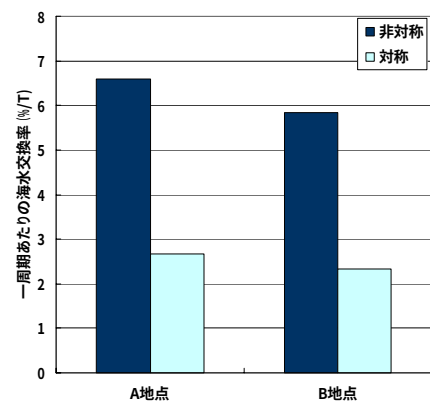


図-6 対称・非対称湾の一周期あたりの海水交換率

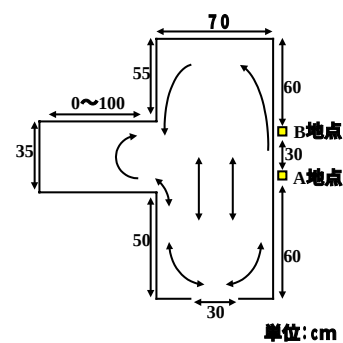


図-7 Type B の循環流

5. まとめ

本研究では、湾内の水環境に支配的な海水交換について、実験による検討を行い、無次元開口度と海水交換率の関係性を定式化した。この関係式は、海水交換の基本的な指標となりうる。さらに、湾形状が非対称な場合は、湾内に循環流が生じ、これによって海水交換率が高まるということが明らかになった。