

論文の内容の要旨

論文題目： 東京湾の海水交換と貧酸素化に及ぼす淡水流入と風の影響について

氏 名： 鈴木 高二 朗

背景と目的：

東京湾口では河川などから東京湾に流入した栄養塩などの物質が外海との海水交換によって湾外へ流出している。また海水交換によって外洋との大きな熱交換もあり、湾内の水温に影響を与えている。そのため東京湾内の水質の現状を把握し将来を予測するためにはこのような東京湾口での海水交換と物質収支の特徴を明らかにする必要がある。しかしながら、東京湾口での海水交換や物質収支に関しては未だに不明な点が多く、特に淡水流入や風がどのように東京湾の海水交換や栄養塩の収支に影響を与えているのかはこれまで明確ではなかった。この原因は、湾内の面的な流れを計測するのが困難だったからであり、たとえ計測できたにしても観測される流れは風による吹送流と淡水流入による密度流の重合したものであり、短期的な観測だけではそれらを分離できなかったためである。

一方、東京湾は過度な富栄養化状態にあり、海底では春から秋にかけて底層に大規模な貧酸素水塊が発生し、生物の生息を困難にしている。貧酸素水塊の発達には底泥の酸素消費や赤潮後の酸素消費が寄与していることが明らかになってきているが、貧酸素水塊の発達に及ぼす風や淡水流入といった物理的な因子の影響については未だに不明な点が多い。たとえば、淡水流入は重力循環による海水交換を促進するが、一方で湾表層に低塩分水塊を

広げて密度成層を強化し、貧酸素化を強めているとも考えられる。また、夏季の東京湾に特徴的な南風は表層の酸素濃度の高い水塊を湾奥に押し込んで貧酸素化を軽減させるが、一方で表層流入・下層流出という重力循環と逆の流れを起こして海水交換を低下させている可能性もある。

そこで本研究では、このような湾口での海水交換と湾内の貧酸素水塊の発達に及ぼす淡水流入と風の影響を明らかにすることを目的として、東京湾口でフェリーによる長期連続的な流れの観測(図 1)を行うとともに、HF レーダーによる流れの観測データなどとあわせた解析、および流動と生態系の数値計算を実施した。

主要な結論：

主要な結論は以下のとおりである。

1) 東京湾口の年平均残差流は、表層流出、中層流入、下層流出という3層構造(図 2)であり、この流速分布は毎年ほとんど変化がないことが分かった。この観測データから求めた月平均海水交換量(図 3)は春と秋に大きく、最大は10月の $12,000(\text{m}^3/\text{s})$ だった。逆に冬の1~3月と夏の6~8月の海水交換は小さく、最小値は1月の $6,200(\text{m}^3/\text{s})$ だった。こ

れを海水交換日数にすると、最も早い10月は約18日、最も遅い1月が38日だった。夏季に海水交換が悪いという結果は、これまでの既往の研究(宇野木, 1998; 岡田ら, 2007)と異なっていた。日々の流速と気象条件を比較したところ、夏季の海水交換の減少は、夏季に特徴的な南風によって重力循環と逆向きの吹送流循環が発達し、それぞれが相殺しあうことで起こることが分かった。

HF レーダーの湾軸表層流速と海水交換量には強い相関があり、ともに風の影響が顕著だった(図 4, 図 5, 図 6)。特に夏季の南西風の影響は強く、月平均で 2.5m/s 以上になると湾軸表層流速は重力循環(表層流出・下層流入)と逆向きになることが分かった。

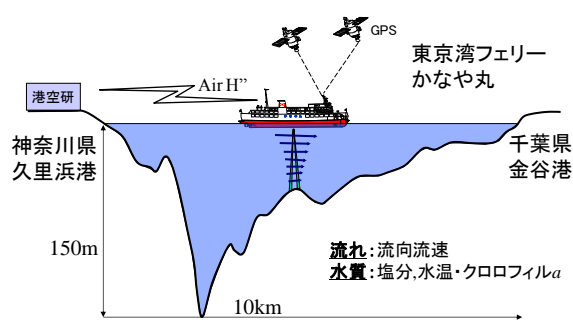


図 1 フェリー観測の模式図

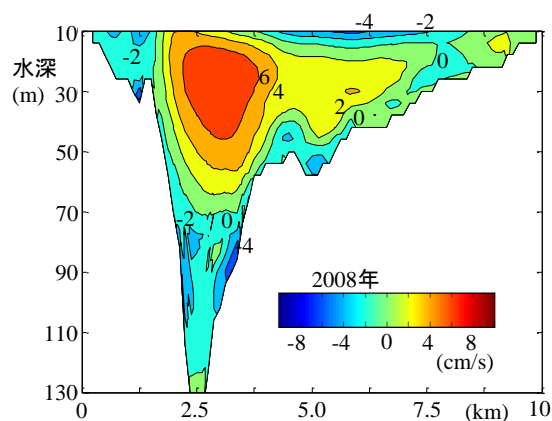


図 2 年平均残差流(青:流出, 赤:流入)

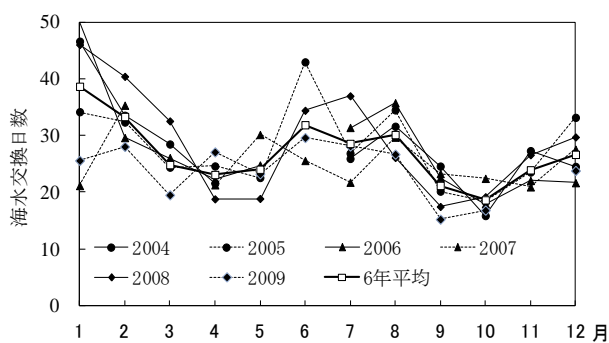


図 3 海水交換日数の季節変化

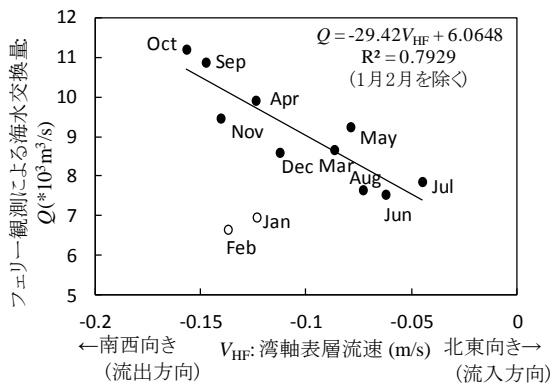


図4 海水交換日数の季節変化

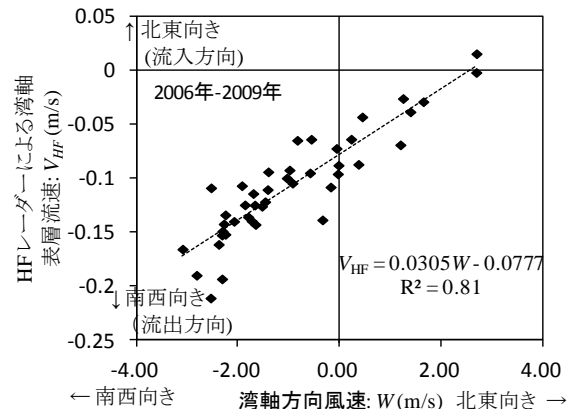


図5 海水交換日数の季節変化

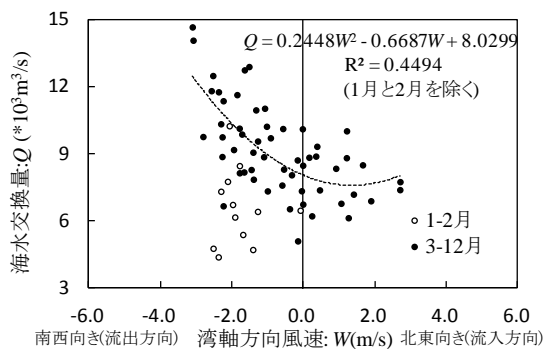


図6 海水交換日数の季節変化

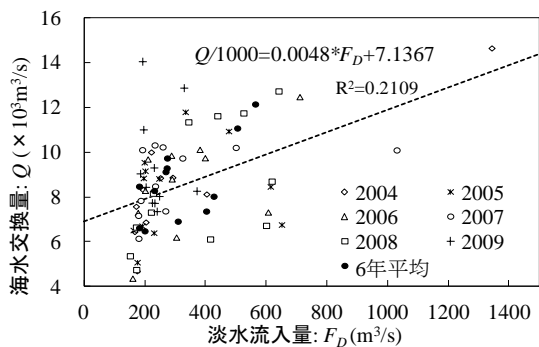


図7 海水交換日数の季節変化

HF レーダーによる湾表層流速の月平均残差流を調べたところ、春から秋にかけて湾奥に時計回り循環が発生していること(図8)、さらにこの循環流の中心は緯度 35.56° の線上に発生し、南西風が強いほど大きく、千葉側へ移動することが明らかとなった。

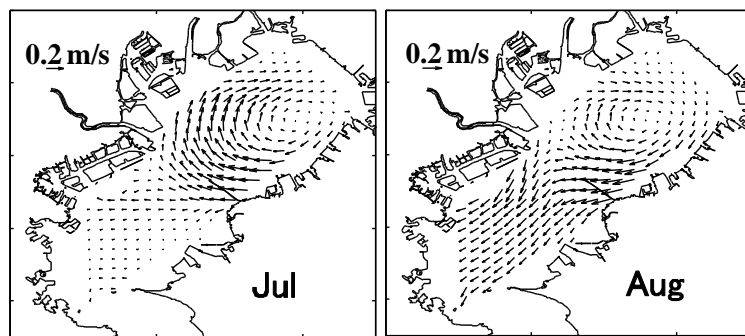


図8 夏季に発生する湾表層の時計回り循環

2) AICを用いた重回帰分析を行ったところ、海水交換量 Q は湾軸方向風速 W の2次式、淡水流入量 F_D の1次式、気温 T_a の3次式で最小AICをとった。その関数は以下の式で表され、淡水流入と風の効果がほぼ同程度であることが分かった。

$$Q/1000 = -3.457 - 0.488W + 0.160W^2 + 0.0024F_D + 1.719T_a - 0.078T_a^2 + 0.001T_a^3$$

3) 流動モデルを用いて2007年～2008年の数値計算を実施し、塩分・水温および海水交換量の観測データを再現した。この再現計算を基本ケースとして、淡水流入量や風の強さを変えて応答

を見たところ、海水交換の応答には季節変化があり、春と秋が大きく、夏と冬は小さかった。また、淡水流入量、風速、気温の年変動（標準偏差 1σ ）に対する海水交換の変化量を調べたところ(図 9)、北東風、淡水流入、南西風、気温の順に影響が大きく、年平均ではそれぞれ $886\text{m}^3/\text{s}$ 、 $771\text{m}^3/\text{s}$ 、 $-667\text{m}^3/\text{s}$ 、 $64\text{m}^3/\text{s}$ であり、海水交換に及ぼす風と淡水流入の影響は重回帰分析の結果と同様にほぼ同程度だった。

4) 生態系モデルを組み合わせた数値計算を実施し、溶存酸素やクロロフィル *a* などの水質を再現した。この再現ケースを基本ケースとして荒川の淡水流入量を増加させて計算を実施した。その結果、淡水は表層を時計回りに移動して湾奥の千葉側へ移動し、東京湾奥の密度成層を発達させて底層 DO を低下させることが明らかになった(図 10)。近年の都市化による淡水流入の増加は海水交換を促進させている(岡田ら, 2007)ものの、密度成層を強化させ、むしろ湾内底層の環境を悪化させている可能性が高いことが分かった。

次に、夏季の南西風を強めて計算を実施したところ、一時的に鉛直混合で密度成層が弱まり、湾奥底層 DO が上昇した。し

かし、その後、南西風が弱まると湾口から湾内底層に高密度水塊が進入しやすくなり、いったん湾内底層に高密度水塊が進入すると密度成層の強化と底層 DO の低下にいたることが分かった。

また湾口の海水交換も低下して淡水や有機物が湾内に滞留し、最終的に見ると南西風は底層の環境を悪くしている可能性が高いことが明らかとなった。1980 年からの新木場の風を調べたところ、近年、南風が増加傾向にあり、夏季の海水交換と底層 DO の低下に影響している可能性があることが明らかとなった。

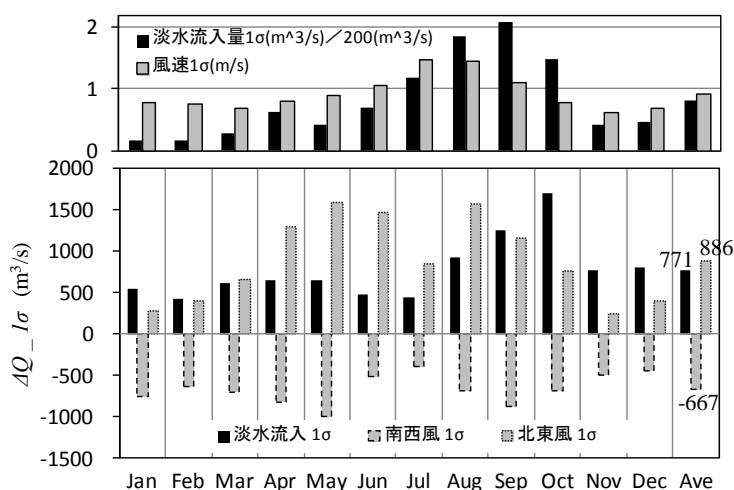


図 9 淡水流入と風速の年変動に対する海水交換の応答

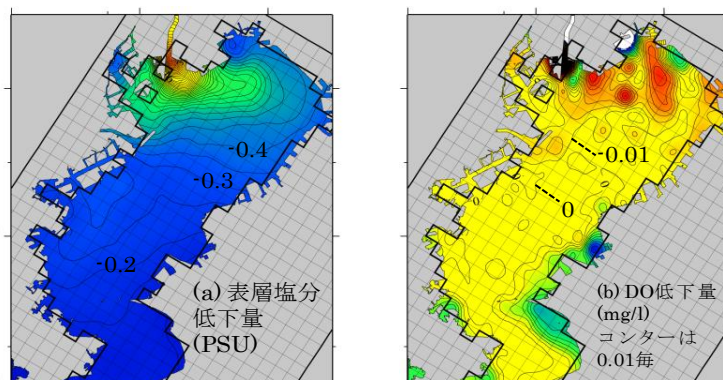


図 10 荒川からの淡水流入を増やした場合の表層塩分と底層 DO の低下量 (生態系モデル)