

## 伊勢湾における年齢による海水交換特性と貧酸素水塊の形成に関する考察

東京都市大学大学院 学生会員 ○池田香澄  
東京都市大学 正会員 田中陽二

## 1. 序論

伊勢湾を代表とする閉鎖性内湾では、海水交換が悪く水質問題が発生しやすい。水質問題の一つに貧酸素水塊の形成が挙げられ、環境再生の一環として海水交換とその関係性の定量的な評価が求められてきた。既往の研究では、海水交換の指標として滞留時間を用いた評価<sup>1)</sup>が行われてきたが、計算量が膨大になる欠点があった。一方で年齢はより精密な計算が可能であるが、年齢を扱った研究は少ない。そこで本研究では、数値モデルを用いた伊勢湾内の水質再現を試み、貧酸素水塊の形成と年齢を用いた海水交換の関係性を把握することを目的とした。

## 2. 研究方法

## (1) 計算条件

本研究では数値モデル STOC-LT<sup>2)</sup>を用い、伊勢湾全域を対象領域として計算した。計算期間は 2009 年 1 月 1 日～2010 年 12 月 31 日である。格子間隔は、水平方向 800m 格子、鉛直方向 28 層に分割した。境界の水質や気象場は観測値を元に計算へ与えている。

年齢は河川水由来と外洋水由来といった種類の異なる 2 つの水塊に分けている。本研究では、湾外へ流出した水塊の再流入を考慮したため、再流入後の経過時間も年齢として再度加算される。

## (2) 年齢の定義

年齢とは、「ある時刻に流入した水塊が対象領域内で経過した時間」<sup>3)</sup>を指し、初期値は 0 である。領域内での水塊  $i$  における年齢濃度  $\alpha_i$  の時間変化は、移流拡散方程式より以下の式(1)で表される。

$$\frac{\partial}{\partial t} \alpha_i + \nabla \cdot (\mathbf{u} \alpha_i) = \nabla \cdot (\kappa \nabla \alpha_i) + C_i \quad (1)$$

ここで、 $\mathbf{u}$  : 流速、 $\kappa$  : 拡散係数、 $C_i$  : 全海水に対する水塊  $i$  の濃度である。また、水塊  $i$  における年齢  $A_i$  は以下の式(2)で計算される。

$$A_i = \frac{\alpha_i}{C_i} \quad (2)$$

## 3. 結果

## (1) 再現性の検証

国土交通省による伊勢湾環境モニタリングシステムのデータを用いて、水質再現精度の検証を行った。伊勢湾内では計算値と観測値には大きな差が見られなかったが、三河湾では DO がやや高めの計算結果となった。原因として、計算で与えた河川流入負荷が低かったことが考えられた。以下の考察では狭義の伊勢湾を対象とした。

## (2) 年齢の特徴

2010 年での年間平均年齢は河川水で 36.5 日、外洋水で 40.7 日であった(図-1(b))。夏期の河川水の急激な増加と共に、河川水年齢は大きく低下していた(図-1)。これは大規模な出水により年齢の若い水塊が急増するためである。一方で、外洋水は出水による年齢の低下はやや緩やかである。この理由は、外洋水ではエスチュアリー循環による流れが卓越しているためだと考えられた。また夏期では、鉛直方向の密度勾配が大きくなっていることから、密度の小さい河川水では外洋水を湾外へ押し出しにくいと想定と考えられた。しかし、秋冬期(11月～3月)においては、外洋水においても河川水の出水による年齢の低下は夏期よりも大きくなっていた。

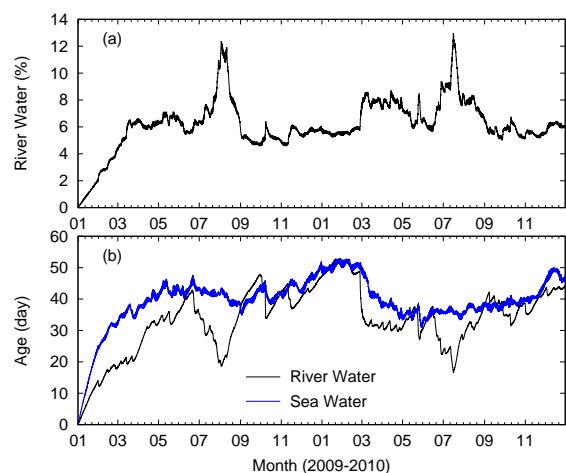


図-1 伊勢湾での河川水割合と平均年齢の時系列変化

キーワード：年齢、貧酸素水塊、海水交換、伊勢湾

連絡先：〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 E-mail : g1581702@tcu.ac.jp

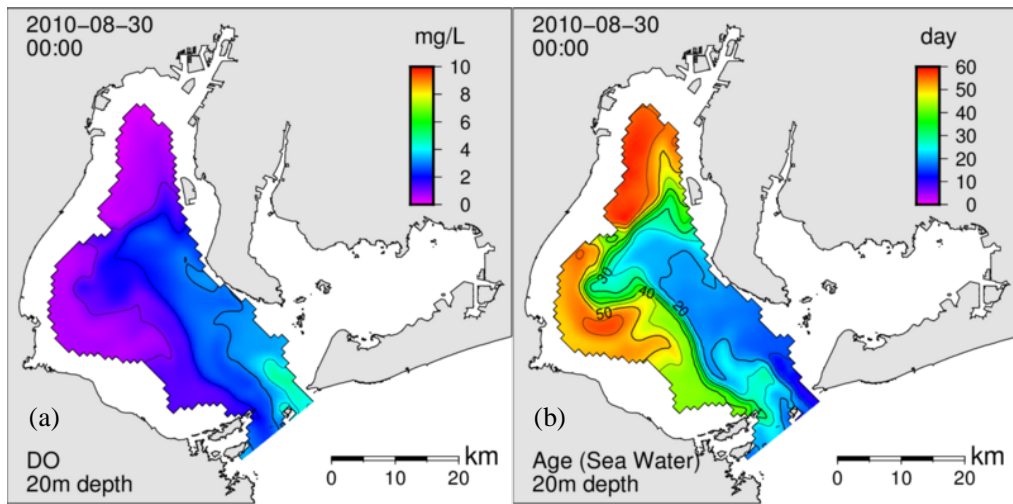


図-2 水深 20m での DO と外洋水年齢の分布 (2010/8/30)

4. 考察

以下、本研究では貧酸素水塊を溶存酸素 (DO) が 3mg/L 以下と定義し、2010 年 8 月 30 日に着目し考察を行った。伊勢湾内の 20m 以深では、湾口部以外の広範囲で貧酸素水塊が形成されており、無酸素水塊も見られた (図-2(a))。湾口部から湾中央部東岸にかけての範囲では低年齢が、湾奥部や湾中央部西岸では 50 日以上の高年齢水塊が分布していた (図-2(b))。

高年齢ほど DO が低下する関係が見られ (図-2)、貧酸素水塊は海水交換が悪い場所に発生しやすいという従来の知見<sup>4)</sup>が示された。また、外洋水の見かけの酸素消費速度は 10m 層では 0.085 mg/(L・day)、20m 層では 0.067 mg/(L・day)であった (図-4)。貧酸素化までに要する日数は、10m 層では 36.1 日、20m 層では 17.3 日であった。酸素消費速度は 10m 層が大きく、貧酸素化までの日数は 20m 層が早い結果となった。理由としては、低 DO 水が既に底層に滞留しているためと考えられる。また、同日における湾内平均年齢 38.3 日より、貧酸素化に要する日数が小さいため、湾内中底層の広範囲で貧酸素水塊が形成されたと考えられた。

5. 結論

本研究では年齢という指標を用いることで、閉鎖性内湾の海水交換特性と貧酸素水塊の形成の関係性を定量的に把握した。(1)河川水の年齢は出水によって大きく低下する。一方で、外洋水はエスチュアリー循環による交換が主体的であるため、密度勾配の大きい夏期では出水による年齢の低下は小さかった。

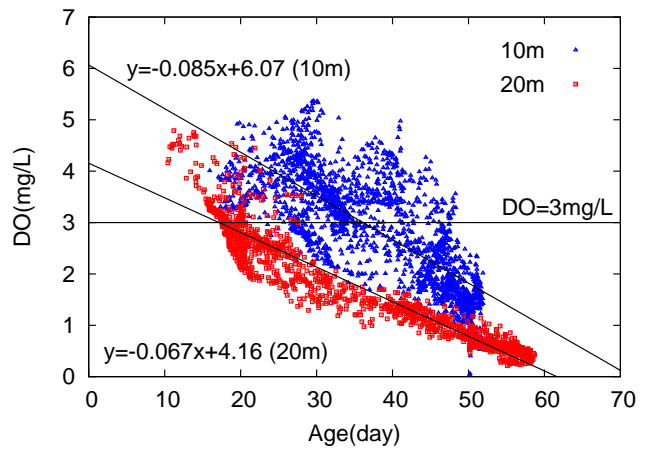


図-3 水深 10m 及び 20m の外洋水年齢と DO の関係 (2010/8/30)

(2)外洋水年齢が増加するほど DO が低下する関係にあり、見かけの酸素消費速度から貧酸素水塊形成までにかかる日数を計算した。2010 年 8 月 30 日では、20m 層で 17.3 日であった。中底層では湾内の平均年齢よりも貧酸素化までの日数が小さくなっていることから、湾内の広範囲で貧酸素水塊が形成される環境となっていた。

参考文献

- 1) 武岡英隆 (1984) : 沿岸海域の海水交換, 沿岸海洋研究ノート, Vol.20, pp.169-182.
- 2) 田中陽二・鈴木高二朗 (2011) : 微生物ループを考慮した浮遊生態系モデルの構築, 港湾空港技術研究所報告, vol.50, No.2, pp.42-63.
- 3) 柳哲雄 (2001) : 沿岸海洋学 [第 2 版] -海の中でのものはどう動くか-, pp.112-120.
- 4) T.Fujiwara et al. (2002) : The Role of Circulation in the Development of Hypoxia in Ise Bay, Japan, Estuarine, Coastal and Shelf Science, Vol.54, pp.19-31.