

# 3-Dモデルによる霞ヶ浦貧酸素水塊の分布に関する解析 An Analysis on the Low DO Distribution in the Lake Kasumigaura with 3-D Model

中曽根英雄, 黒田久雄, 加藤 亮  
Hideo NAKASONE, Hisao KURODA and Tasuku KATO

## 1. はじめに

1984年、霞ヶ浦・北浦(以後北浦と呼称する)において貧酸素塊が発生し、その後風が吹くことにより風上では低層の貧酸素塊が巻上げられ、風下では過飽和の高DO水塊が下に沈み込む現象(Fig.1)が観測された<sup>1)</sup>。また、霞ヶ浦・西浦(以後霞ヶ浦と呼称する)では、1988年に貧酸素塊の発生による漁獲高の大幅な減少が報告されている<sup>2)</sup>。この報告には、貧酸素塊が生じた時のDO分布(Fig.2)が示されている。それを見ると、北浦で観測された現象と全く異なり、湖心部のDO濃度が低く風上・風下両方の岸近傍のDO濃度が高くなっている。著者らはこのことに非常に興味を持ち、霞ヶ浦で観測された現象が本当に起こるのかどうかを確認したいと考えた。風の影響、水深、河川からの流入流量・水質を考慮するには、3次元解析によるシミュレーションを行なわなければならない。このようなことから、本論文は霞ヶ浦の3次元水質シミュレーションを行ない、霞ヶ浦でどのようなDO分布になるかを計算し、1984年に生じた現象を再現できるかを確認するために行なったものである。また、3次元シミュレーションでは湖流につい

ても計算するので、霞ヶ浦の過去のシミュレーションとの比較も行なった。

## 2. 3-D水質シミュレーション

DO分布の3次元シミュレーションを行なうには、幾つかの方法<sup>3)</sup>がある。この中で、汎用性に富む3次元メッシュモデルの湖沼への適用は少なく、長方形のモデル湖の解析をLiggettが行なったのみであるとされている。さらにLiggettが計算したのは、湖流のみであり、水質については行っていない。また、霞ヶ浦の湖流について3次元解析を行なった事例や、鉛直1層2次元モデルと水理模型実験で求めたものもある。しかし、現時点で3次元水質解析を行なった霞ヶ浦の事例は見当たらない。ただし、3次元解析による流れと水質について、東京湾、大阪湾、伊勢湾等の解析は行なわれており、湾の計算事例は比較的多く存在する。

著者らは、湖流・水質ともに3次元メッシュモデルを用い、境界面の処理・計算方法については、白石・中道の手法を参考に、霞ヶ浦の3次元水質解析を行なうことにした。湖流の計算は様々な物理条件を考慮しなければならないが、今回の計算では密度・静振などを考慮していない。したがって、水質項目の中では、温度を一定として取り扱っている。したがって、湖沼では温度躍層が生じることもあるであろうが、そのことは表現できない。水深の深い湖沼では、温度・密度を無視することはできないが、霞ヶ浦は平均水深が4mと浅いので、このような取

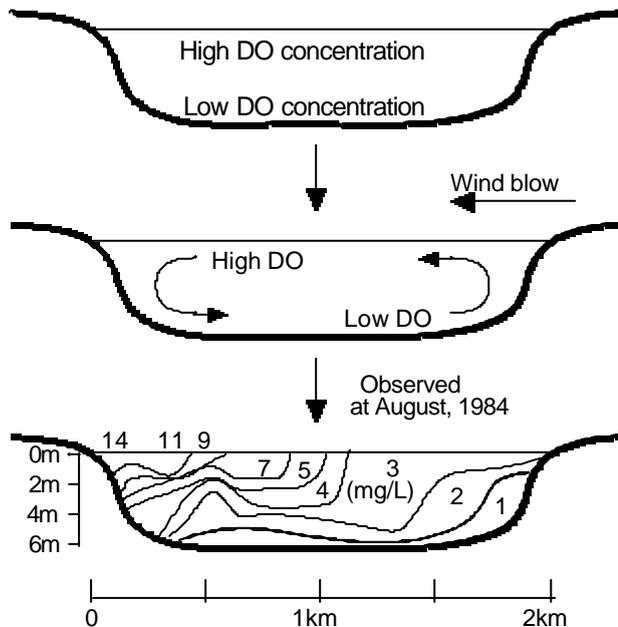


Fig.1 DO distribution at Kitaura of Kasumigaura when wind blows from right hand side

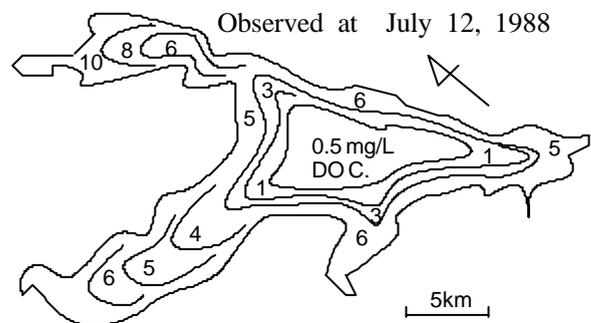


Fig. 2 DO distribution at 20cm from the bottom measured by Sotooka T. and Hamada A.

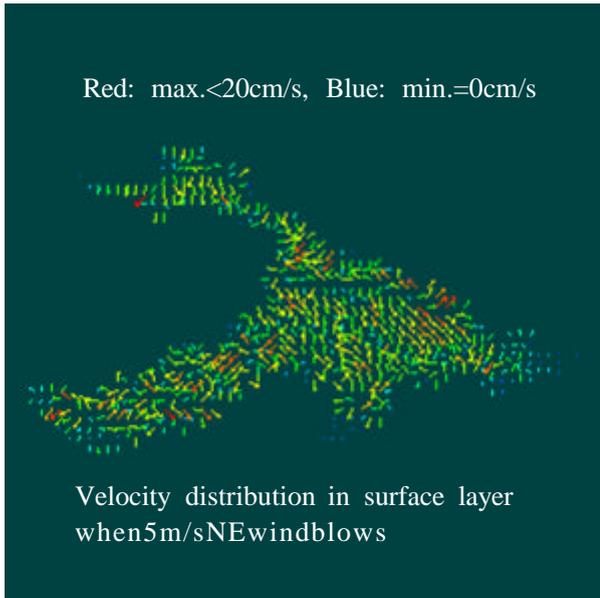
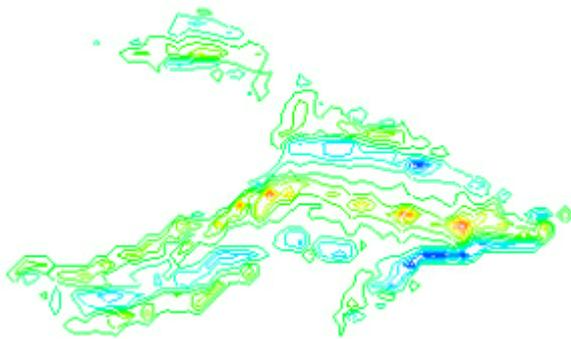


Fig. 3 Flow and velocity distribution

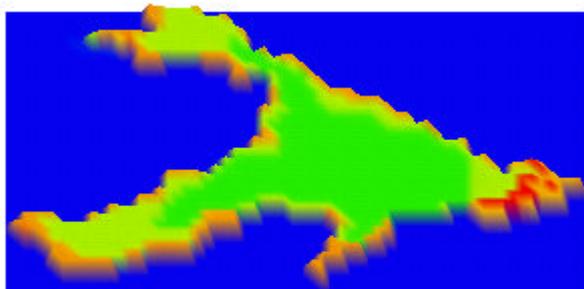
Vertical velocity distribution between surface and second layer when 5m/s NE wind blows



Red: max.=3mm/s, Blue: min= - 3mm/s

Fig. 4 Vertical velocity distribution

DO distribution in surface layer when 5m/s NE wind blows



Yellow: DO>4mg/L, Green: DO<3mg/L

Fig. 5 DO distribution of surface layer

扱いを選択した。霞ヶ浦は、最深部が約 6m で、それを 4 層に分けて計算を行なった。水質の計算は生態系モデルを用い、考慮した水質項目は、懸濁態・溶解性 COD、懸濁態・溶解性窒素、懸濁態・溶解性リン、DO である。

メッシュ数は X 方向が 62 個 Y 方向が 35 である。霞ヶ浦の最深部は約 6.2m 程度で、水深方向は 4 層に区切った。したがって、1 層の水深は 1.5m である。パソコンを用いての計算であるため、計算は差分による陽解法で行なった。また、時間刻みは 30 秒間隔で行なった。

PCOD, DCOD, PN, DN, PP, DP の水質項目の初期値は、霞ヶ浦の湖心の 2002 年観測値を使用した。表層の水深変化量の初期値、それぞれの流速 U, V, W の初期値はゼロである。DO 濃度の初期値は表層を 6.1mg/L, 第 2 層を 5.0mg/L, 第 3 層を 2.5mg/L, 底層を 0.1mg/L に設定した。

また、計算式の係数の値は、岩佐<sup>3)</sup>が示した数値を参考に、計算結果をみながら試行錯誤で決定した。霞ヶ浦には多くの河川が流入しているが、その中で流量が大きい主要 9 河川の流入を見込んだ。桜川、花室川、小野川、新利根川、梶無川、園部川、恋瀬川、菱木川、一ノ瀬川である。流出は出島用水(現在は霞用水)のみを考慮し、それ以外は常陸水門から流出するものとした。それぞれの流量は灌漑期の晴天時の流量を与えた。また、流入河川の DO 濃度は全て 6.0mg/L とした。

### 3. 計算結果および考察

著者らのシミュレーション結果は、3 つの図に示す通りである。まず、Fig.3 は、表層 1.5m の流速と流向を示した。著者らの計算結果は、風による影響が見られるのは、図左上の高浜入り部分にのみ、風向きと同じ方向の流れが生じているが、その他はかなりバラバラの流れになっている。この点が過去の湖流の計算結果と大きく異なっている。鉛直流については、Fig.4 に示すように湖中央部で上向きの流れとなっており、両岸では沈み込みが見られる。これにより、Fig.2 に示したような DO 濃度分布が生じたものと推測している。次に、DO 濃度分布のシミュレーション結果を Fig.5 に示した。これを見ると、表層まで DO 濃度 3mg/L 程度の低い DO 濃度が湖心を中心に広がっているのが分かる。Fig.2 と Fig.5 に示した DO 濃度分布が驚くほど良く一致したことから、貧酸素塊が発生すると、霞ヶ浦ではこのような DO 濃度分布になると推測される。

#### 参考文献

- 1) 茨城県内水面水産試験場パンフレット、霞ヶ浦北浦・魚をめぐるサイエンス、pp.13
- 2) 外岡建夫、浜田篤信 (1990) 1988 年に霞ヶ浦北浦で発生した酸素欠乏について、茨城県内水面水産試験場調査研究報告、第 26 号、48-59
- 3) 岩佐義朗編著 (1990) 湖沼工学、106-14、技報堂、東京