

貧酸素化した底層部への表層水の供給に伴う DO 濃度の変化

九州大学工学部 学生会員○中島信一 九州大学大学院 学生会員 岡田知也

九州大学工学部 フェロー 小松利光 正会員 中村由行 藤田和夫 柴田敏彦

1. はじめに

ダム湖や貯水池のような閉鎖性の強い水域において、アオコの発生等の水質の悪化が問題となっている。その対策の一つとして、越波構造物を用いて波浪エネルギーから位置エネルギーを獲得し、溶存酸素(DO)を豊富に含む表層水をその位置エネルギーを利用して貧酸素化した底層部に送り込む技術が考案されている¹⁾。この技術は、ダム湖や貯水池に発生する非常に小さい波浪を利用するため膨大な量の供給水は望めないが、供給水には酸素が既に溶け込んでいるため曝気と比べて高い酸素供給率を持つ。供給量に対しては実機レベルによる試験が既に行われており、横幅 10 m の越波構造物 1 台でおよそ 2 l/s の供給水が獲得できることが確認されている¹⁾。また、水質改善効果に対しては、水深が 5 m 程度の池に設置された 10 m 四方の隔離水界(メソコスム)を用いて、表層水を底層部に毎秒数リットル送り込むことによる水質の変化を一年を通じて調べることを計画している。そこで、本報告では、メソコスム実験に先立ち、生態系モデルを組み込んだ鉛直一次元輸送モデルによる数値実験を行い、表層水を底層部に毎秒数リットル送り込むことによる水質の変化に関する検討を行った。

2. 基礎方程式

想定している水域は隔離水界であることから移流はそれほど大きくなく、水平方向に現象が一様であるとみなすことができる。このような場合、温度に関する支配方程式は次式で表すことができる。

$$A \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} (AK_z \frac{\partial T}{\partial z}) + \frac{h}{\rho C_p} \quad \cdots (1)$$

ここで、 z : 水深方向(m), A : 水域の面積(m²), $T(z, t)$: 水温(°C), $K_z(z, U_{10}, t)$: 鉛直渦動拡散係数²⁾(m²/s), $h(I, T_a, t)$: 水の放射吸収による熱源の内部分布³⁾(cal/m/s), $\rho(T, t)$: 水の密度(kg/m³), C_p : 水の比熱(cal/kg/°C), $T_a(t)$: 気温(°C), $U_{10}(t)$: 風速(m/s), I : 全天日射量(ly/day), e : 大気の水蒸気圧(mb)である。 I, T_a, U_{10} および e は、福岡管区気象台福岡観測所の 1997 年のデータを利用した。 K_z および h に含まれ

るモデル定数は、図-1 に示す水温の鉛直分布の時系列変化が、夏期に躍層を生成するように、また、メソコスム設置予定地で昨年 9 月に行われた実測結果と一致するように調整した。生態系モデルの構成因子は表-1 に示される 7 つのコンパートメントを考慮した。メソコスム内のそれぞれのコンパートメントの現存量 B の時間変化を記述する方程式は、(1)式と同様に次のように表される。

$$\frac{\partial B}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} (K_z \frac{\partial B}{\partial z}) + (\frac{\partial B}{\partial z})^* \quad \cdots (2)$$

ここで、 B : コンパートメントの現存量(表-1 参照), 右辺第 2 項: 生物・化学的变化項である³⁾。生物・化学的变化項の速度値は文献³⁾中の値を採用しているが、図-2(a)に示す DO 濃度の計算結果の 9 月における鉛直分布が実測結果と一致するように若干の調整を加えた。

計算条件は、 $A = 100\text{m}^2$, $\Delta z = 0.5\text{m}$, 鉛直層数 10 層, $\Delta t = 60\text{s}$, 計算期間 730 日である。表-2 に計算ケースを示す。Case-2 では、表層の DO 濃度のみを底層に送り込むことによって、供給量 2 l/s の効果を確かめる。また、Case-3 では、表層の DO 濃度に加え植物プランクトン等全てのコンパートメントを底層に送り込むことによって、多量の植物プランクトン等を含んだ表層水を底層に送り込むことによる影響を確かめる。Case-2, 3 における表層水を底層部に供給することによる影響は第 9, 10 層の濃度に表層の濃度を 2 l/s の割合で加えることのみにより評価した。よって、上層と下層の水温差および混合による K_z の変化等の影響は考慮していない。

3. 計算結果および考察

図-2(a)~(c)は Case-1~3 に対するそれぞれの DO 濃度の鉛直分布の時系列変化を示したものである。Case-1 では、夏期における底層部の DO 濃度が 2mg/l 以下を示しており底層部が貧酸素化しているのに対し、Case-2, 3 では DO 濃度は 8mg/l 以上を示し、貧酸素化が改善されていることが分かる。しかしながら、中層部は依然として貧酸素状態であることが分かる。無光層である底層に植物プランク

トンを送り込むと、植物プランクトンは光合成を行わず、呼吸のみを行い、一方的に酸素を消費する。そのため、Case-3 では、底層部の DO 濃度の増加は Case-2 ほどではないと当初考えていたが、計算結果にはそれほど大きな差は見られなかった。図-3(a)~(c)は植物プランクトン濃度の鉛直分布を示したものである。植物プランクトンは Case-1 では夏期の表層部において大量に発生しているが、Case-2, 3 では比較的抑えられていることが分かる。栄養塩の一つであるリン酸塩の計算結果を図-4(a)~(c)に示す。栄養塩の溶出は DO 濃度の底層部への供給により、かなり抑えられていることが分かる。

表-1 生態系モデルのコンパートメント

区分	コンパートメント	単位	
有機物	植物プランクトン	P	mgC/m ³
	動物プランクトン	ZOO	mgC/m ³
	懸濁態有機物(デトリタス)	POC	mgC/m ³
	溶解態有機物	DOC	mgC/m ³
無機物	リン酸塩	DIP	mmol/m ³
	全無機態窒素(NH ₄ +NO ₂ +NO ₃)	DIN	mmol/m ³
水質	溶解酸素	DO	mg/l

表-2 計算ケース

番号	計算条件
Case-1	表層水を底層部に供給しない場合
Case-2	表層水を底層部に供給した場合(DO濃度のみを考慮)
Case-3	表層水を底層部に供給した場合(全てのコンパートメントを考慮)

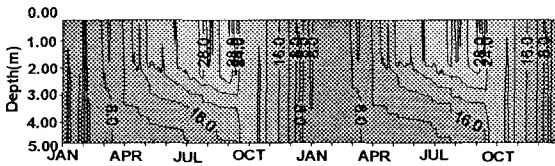


図-1 水温の計算結果

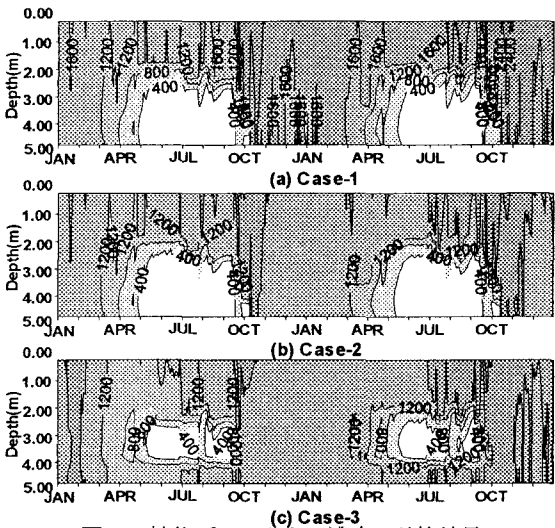


図-3 植物プランクトン濃度の計算結果

4. まとめ

今回の計算は $10 \times 10 (\text{m}^2)$ の比較的狭い範囲であったものの、表層水を底層部へ 2 l/s 供給するだけでも水質改善効果が十分あることが分かった。また、DO 濃度以外の他のコンパートメントを底層部に送り込んでも水質改善に対する負の影響はないことが分かった。しかしながら、モデル定数等の不確実要素が多いので、メソコスム実験を通じてそれらを明らかにしていく予定である。

参考文献 1)小松ら, 波浪エネルギーを利用したダム湖・貯水池における水質改善法に関する現地観測, 水工学論文集, 第42巻, 1998.2. (掲載予定) 2)Henderson-Seller, B. Appl. Math. Modelling, vol. 9, pp 441-446, 1982. 3)松梨順三郎編著, 環境流体汚染, 森北出版, 1993.

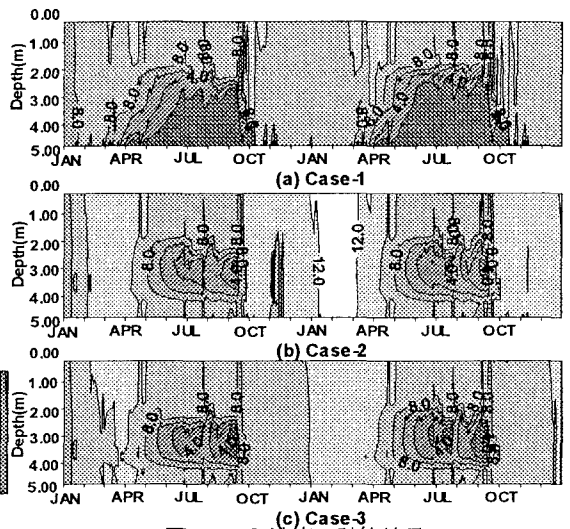


図-2 DO 濃度の計算結果

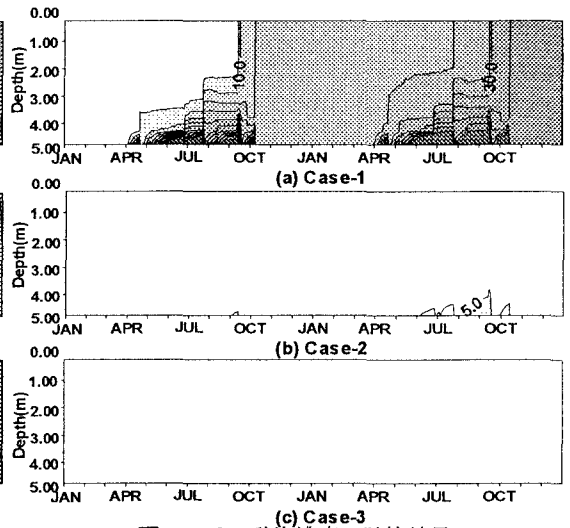


図-4 リン酸塩濃度の計算結果