

台湾鳳山ダム湖における密度流拡散装置の浄水効果に関する研究

2008年3月 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 環境システム学専攻

66769 林 君儒 指導教員 佐藤 徹 教授

キーワード：富栄養化、アオコ、水質浄化、密度流拡散装置、数値計算、MECモデル

1 背景と目的

近年、水質汚染により、ダム湖における富栄養化及びアオコ（藍藻）の増殖は利水の深刻な問題になりつつある。湖沼の水質浄化手法は様々あるが、効果が局所的もしくは処理水量が小さく、利水目的のダム湖にはなかなか対応できない。そこで、注目したのは、密度流という物理現象を利用し、表層・底層の水を混合することによって、僅かなエネルギーで広い範囲に影響できる密度流拡散装置である(図1)。密度流拡散装置は三重県五ヶ所湾で、赤潮の抑制及び貧酸素水の解消などの実績があげられた。ただし、機器の効果は定量化しがたく、外的な影響により効果が異なることも考えられる。よって、本研究は、数値シミュレーションを用い、密度流拡散装置のダム湖における水質浄化効果を定量化することを目的とした。対象は、台湾南部に位置し、最も富栄養化が進み、カビ臭を持つアオコの増殖および貧酸素水塊が発生する鳳山ダム湖(図2)である。

2 数値モデル

2.1 流動モデル

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p_s}{\partial x} + fv + A_M \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial u}{\partial z} \right)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p_s}{\partial y} - fu + A_M \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial v}{\partial z} \right)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

$$0 = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p_s}{\partial z} - g$$

u, v, w : 流速, p_s : 静水圧, A_M : 水平動粘性係数
 K_M : 鉛直動粘性係数, f : コリオリパラメーター

本研究で用いる数値モデルは、日本船舶海洋工学会海洋環境研究委員会が開発した MEC モデル (Marine Environment Committee Model[1]) のネスティングバージョンの静水圧近似の部分のみを基本としている。計算格子は直交格子の Staggered 配置を用い、地形は Full-step の階段状で近似する。時間の離散化に関しては 1 次 Euler 陽解法を用いる。移流項については 3 次上流差分を、拡散項に関しては 2 次中心差分を採用した。

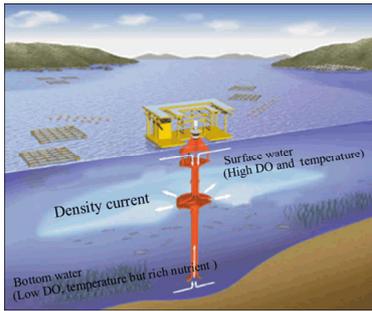


Fig.1 : Image of density current generator(from Marino forum)



Fig.2 : The place of Feng-Shan dam

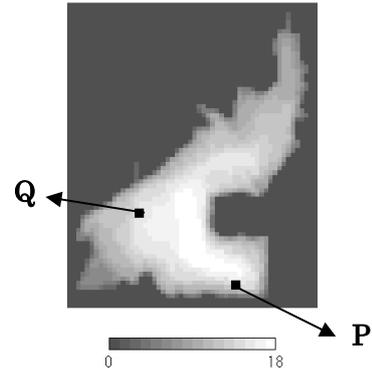


Fig.3 : Vertical grid numbers for Feng-Shan dam simulation

2.2 生態系モデル

本研究では、植物プランクトン・動物プランクトン・栄養塩・有機物をコンパートメントとし、中田[2]が構築した浮遊系モデルを採用した。植物プランクトンに関しては、密度流拡散装置による優占種への影響を評価したいため、藍藻、緑藻、珪藻三種類を採用した。動物プランクトンについては、一つのコンパートメントにすべての種類を代表させた。

2.3 密度流拡散装置による移流効果の組み込み

本研究では、密度流拡散装置の吸い込み・吐き出しによる流速差を対流項の水平移流速度に足すことによって、吸込みと吐き出しの効果を得るとした。水温等のコンパートメント類成分の対流項を計算する場合、密度流拡散装置の吸込みまたは吐き出しはセルを囲む周りのセルだけに影響されるため、一次上流差分を用いた。移流拡散の計算前・計算後のコンパートメント類の成分をそれぞれ C, C' とすると、装置による移送効果を考慮したコンパートメント成分 C^* は下式に従う。

$$C_s^* = C_s' - \frac{C_s \cdot q_s \cdot dt}{V_s}, \quad C_m^* = C_m' + \frac{C_s \cdot q_s \cdot dt + C_b \cdot q_b \cdot dt}{V_m}, \quad C_b^* = C_b' - \frac{C_b \cdot q_b \cdot dt}{V_b}$$

s : surface, m : medium, b : bottom, V : セル体積, dt : 時間刻み

3 鳳山ダム湖における藍藻増殖の再現計算

3.1 計算条件

計算には格子数 $56 \times 69 \times 20$ の Nesting 格子(図 3)を用い、格子幅は水平方向 20m、鉛直方向 1m (深さ 0~10m) 及び 2m (深さ 10m~25m) である。気象条件は 2002 年 8 月高雄気象観測台での気温・気圧・全天日射量・雲量・相対湿度・降水量及び風向・風速の月平均値を採用した。藻類の生態に昼夜の影響が大きいため、日射量と気温は月平均値に基づき、昼夜に伴う変動値を sin カーブで与えた。河川の部分、流量は流入及び流出ともに鳳山浄水場の平均出水量の 40 万トン/日の一定値で与えた。

3.2 計算結果

図3と図4はクロロフィル a 及び溶存酸素の計算値と観測値の比較である。図に示すように、藻類の増殖と溶存酸素の分布は概ね再現できた。図中 modified max/min とは1日の最大と最小の計算結果である。

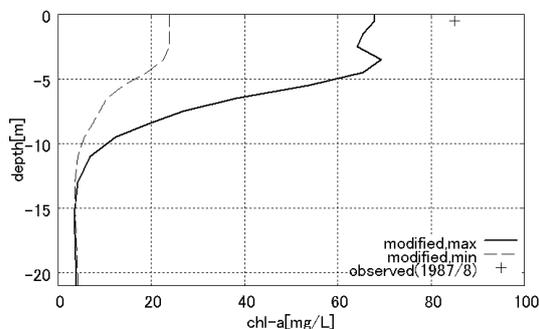


Fig.3 : Calculated and observed chlorophyll-a at point P

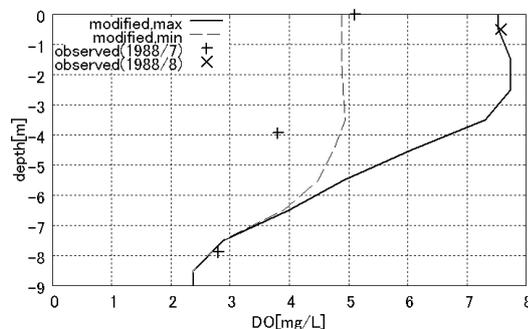


Fig.4 : Calculated and observed DO at point Q

4 密度流拡散装置による浄水効果の予測

4.1 計算条件

密度流拡散装置の流量及び吐き出し口の深さを変えて、表1の5ケースで計算を行った。密度流を作るため、吐き出し水温は周りの水温と一致しなければならないため、表層と底層の吸込み水量の割合は吐き出し口の深さで決まる。

Table.1 : DCG setting case for Feng-Shan dam simulation

Case	Outlet flow rate [10 ⁴ ton/day]	Ratio of inlet water (surface : bottom)	Depth of outlet[m]
A	20	1:9	6.5
B	50	1:9	6.5
C	100	1:9	6.5
D	500	1:9	6.5
E	100	6:4	3.5

4.2 計算結果

密度流拡散装置は稼動してから30日以内に効果が現れる。装置の近くでの藍藻、化学酸素要求量(COD)、溶存酸素(DO)の総量変化率、及び水質が最も悪い時間帯のヒストグラムで水質を評価した。吐き出し水量が50万トン/日以下の場合、あまり効果がない。吐き出し深さ6.5mの場合、吐き出し水量100万トン/日のケースは、最も藍藻の抑制効果が見られるが、全体量と比べると僅か0.36%であり(図5)、局所的に濃度が増える可能性もある(図8)。CODはおよそ1.4%減ったが(図6)、溶存酸素は2.9%減った(図7)。吐き出し水量500万トン/日のケースは、DO濃度1mg/L以下(図13)と、COD濃度34mg/L以上(図12)の水体积を完全に無くし、優れた効果を表す反面、藍藻の増殖を促進する(図11)。

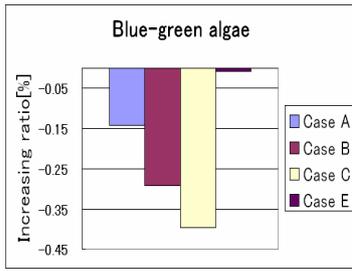


Fig.5 : Increasing ratio of blue-green algae

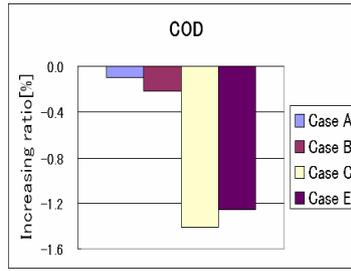


Fig.6 : Increasing ratio of COD

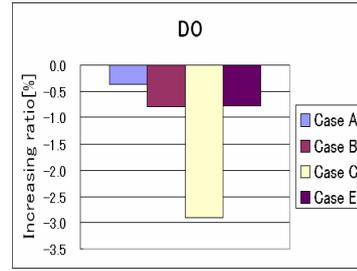


Fig.7 : Increasing ratio of DO

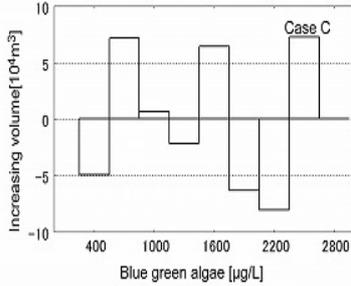


Fig.8 : Histogram of blue-green algae of Case C

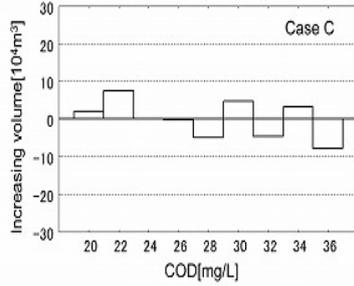


Fig.9 : Histogram of COD of Case C

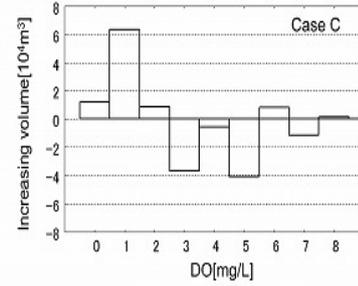


Fig.10 : Histogram of DO of Case C

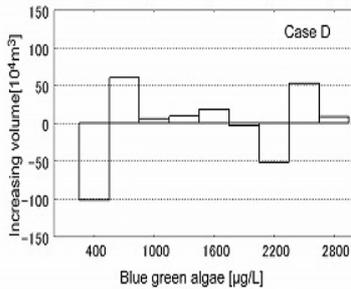


Fig.11 : Histogram of blue-green algae of Case D

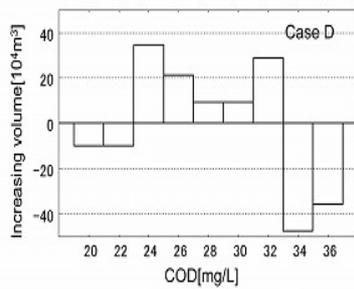


Fig.12 : Histogram of COD of Case D

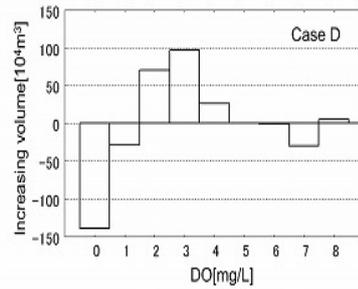


Fig.13 : Histogram of DO of Case D

5 まとめ・結論

本研究では密度流拡散装置のダム湖における有効性を数値シミュレーションで定量化した。吐き出し水量及び深さの違いによって効果も異なることが分かった。100万トン/日以下では藍藻を減らす効果があるものの、全体量と比べると効果が小さかった。500万トン/日の場合、ダム湖全体の循環を引き起こし、貧酸素水塊の解消及び有機物の削減に顕著な効果を表す一方、藍藻の増殖を促進する恐れがある。鳳山ダム湖における密度流拡散装置の使用は、大きな効果を期待できない結果となった。これは鳳山ダム湖の底層温度が高いため、装置の攪拌による温度の上下層での均質化が藻類の成長抑制にならないためであると考えられる。やはり、鳳山ダム湖の利水を考えるなら、コストはかかっても湖に流入する栄養塩量を減少する手法をとらざるを得ないと考えられる。

- [1] 「MEC Ocean Model オペレーションマニュアル Version 1.1」, 日本船舶海洋工学会海洋環境研究委員会, 2003.
- [2] 中田喜三郎, 「生態系モデル-定式化と未知のパラメータの推定法-」, Journal of Advanced Marine Technology Society, Vol.8, pp.99-138, 1993.