

鉛直循環流の場における水質変化のシミュレーション

京都大学工学部 正 員 岩佐 義朗
千葉県 正 員 渡辺浩太郎

中部大学工学部 正 員 松尾 直規
京都大学大学院 学生員○若林 伸幸

1. はじめに;貯水池における富栄養化対策の一つである曝気循環法について、本研究では曝気による流れの場に生ずる各種水質変化の過程を植物プランクトンの種構成を考慮した富栄養化モデルと軸対称気液混相流モデルとの組合せを用いて解析し、その結果を考察する。

2. 富栄養化モデル;本研究で用いた富栄養化モデルは、従来の岩佐、松尾¹⁾らのものに、藻類の種構成を考慮して改良を加えたものである。特に、考察の対象とした各藻類に対応するクロロフィルa濃度収支則を以下に記す。

$$\frac{dC_{pi}}{dt} = F(C_{pi}) - \frac{1}{A \cdot \Delta Z} \left[C_{pi} \cdot W_{api} \cdot A \right]_{z=Z_k}^{z=Z_{k+1}} + G_{api} - R_{api} \cdot \theta_{api}^{(T-20)} \cdot C_{pi} - G_{zi}, \quad G_{api} =$$

$$S_{pi} \cdot R_{ai} \left\{ \frac{T}{T_{fi}} \exp \left(1 - \frac{T}{T_{fi}} \right) \right\}^{n_i} \frac{I_{zi}}{I_{ri}} \exp \left(1 - \frac{I_{zi}}{I_{ri}} \right) \frac{N_{zi}}{K_{Ni} + N_{zi}} \cdot \frac{P_i}{K_{Pi} + P_i}, \quad S_{pi} = \exp(-\alpha_{pi} C_{pi})$$

$$I_{zi} = I_0 \exp \left\{ -\eta (Z_i - Z) \right\}, \quad \eta = \eta_0 + \eta_1 \sum C_{pi} \quad G_{zi} = d_i \frac{K_{CPC}}{K_{CPC} + C_{pi}} \cdot C_{pi} \cdot Z$$

ここに、 C_{pi} ;各藻類 ($i=1$;珪藻、 $i=2$;藍藻、 $i=3$;緑藻) に対応するクロロフィルa濃度、 R_{ai} ;各藻類に関する最大増殖速度、 T_{fi} ;各藻類に関する最適増殖水温、 n_i ;各藻類に関する最適増殖水温効果指数、 I_{ri} ;各藻類に関する最適日射量、 K_{Ni} ;各藻類の窒素に関するミカエリス定数、 K_{Pi} ;各藻類のリンに関するミカエリス定数、 K_{CPC} ;動物プランクトンによる各藻類の捕食に関するミカエリス定数であり、 $F(C_{pi})$ は移流、分散項を表す。なお、他式及び諸定数については紙面の都合上文献²⁾に譲る。

3. 富栄養化モデルの検証;上述の富栄養化モデルの検証とモデルに含まれる諸定数の同定を目的として、昭和58年の室生貯水池を対象に、各種水質変化の再現計算を実施した。図1に示す経時変化に関する再現例より、水温はほぼ実測値と一致し、クロロフィルa濃度についても現実の変化を概ね良好に再現していると言ってよい。この解析では藻類を

3種に分類し増殖率に対する水温の影響を表す T_{fi} , n_i に異なる値を用いて、種交代の再現を試みたが、その結果は優占種が7月頃までは珪藻、その後緑藻類を経て、9月には藍藻になるという実測値の傾向をほぼ説明している。鉛直分布に関する再現例図2より、クロロフィルa濃度、水温ならびに藻類の種構成のいずれについても概ね良好に再現していることがわかる。以上より、本件において提案した富栄養化モデルの現象再現性が一応確かめられた。

4. 曝気により生ずる流れの場における水質変化の数値解析;岩佐、松尾³⁾が開発した円筒2次元気液混相流モデルと上述の富栄養化モデルとを結合し、曝気に伴う各種水質変化に関する数値解析を次のように実施した。対象としたのは、室生貯水池における曝気実験区であり、計算ではそれを半径20m、水深2.3mの円筒領域として取り扱った。解析手順はまず、この実験区での間欠式

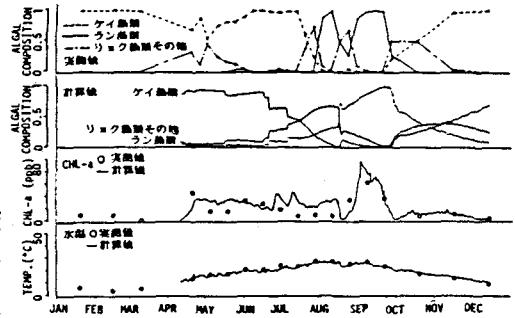


図1 網場地点の最上層における再現結果

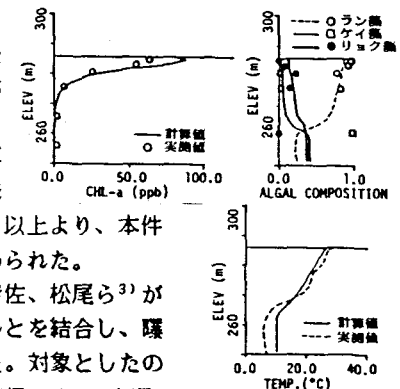


図2 網場地点における水温・水質分布の再現結果

Yoshiaki IWASA, Naoki MATSUO, Kohtaroh WATANABE, Nobuyuki WAKABAYASHI

揚水筒による浅層曝気に伴う流れを気液混相流モデルより求め、次にその流速場が計算対象とする期間を通じて変わらないものと仮定し、富栄養化モデルを用いた各種水質変化の計算を行う。対象期間は、曝気実験が実施された昭和58年4月20日～5月6日、同じく8月26日～9月9日であり、水温水質分布の初期値には、前述した室生貯水池での計算結果を用いている。なお、水質計算の際の領域分割は、半径方向に $\Delta r = 2\text{m}$ 、水深方向に $\Delta z = 1\text{m}$ として行い、計算時間間隔は $\Delta t = 20\text{秒}$ とした。

5. 結果とその考察; 得られた結果のうち、8月26日～9月9日の期間を対象とした場合について、水温及び各種水質指標の表水層における時間的変化、ならびに水深方向分布の例を示したものが図3～5である。図では、比較のため3.で述べた解析より得られた実験区以外の計算結果(網場地点)も示している。図3より、実験区では、曝気開始1日後には鉛直混合により水温及びクロロフィルa濃度が低下し、一方、栄養塩濃度は上昇している。網場と比較すると表層水温は3～5℃低くなっている。また、網場ではクロロフィルa濃度が急激に増加しそれに伴い栄養塩濃度は減少するのに対し、実験区ではクロロフィルaの増加はみられず栄養塩は高濃度を保っている。図4は曝気前後の水温、水質分布の変化を比較したものであるが、これより、実験区では、曝気によって形成される循環流が顕著である水深10m以浅の層において、水温及び各種水質濃度が一様化していることがわかる。これは、図5の種構成の分布にもみられる。また、図5の結果では曝気による種構成の変化は、表水層での水温低下に伴うものが若干みられるのみで、優先種の交代は生じていない。以上に述べた水温及び各種水質濃度の時間的、空間的変化に関する結果は、実測値より得られる変化の特徴とほぼ一致するものである。なお、曝気実験区における水深10m以浅でのクロロフィルa濃度の増加抑制要因は、水温低下に伴う増殖率の低減もその一つではあるが、それ以上に、極めて早い移流循環が表水層での増殖による濃度の蓄積を阻害しているためと考えられる。

6. 終わりに; 以上曝気による水温、水質変化を取り扱うための解析手法とそれによる計算例を述べた。計算結果は実際の変化の傾向を概ね再現しているが、定量的には不十分な点も残されている。今後はこうした点の検討と共に、より多くの現実の条件の下で解析を実施し、曝気による水質改善効果とそのメカニズムをより明らかにしていきたい。(参考文献) 1) 岩佐義朗、松尾直規; 貯水池における富栄養化のシミュレーションによる比較研究 第2回比較河川学シンポジウム講演概要集 1985.12 2) 渡辺浩太郎; 曝気循環に伴う貯水池水質改善効果に関する研究 京都大学修士論文 1988 3) 松尾直規、岩佐義朗、木村玄、雑賀正嗣; 間欠式揚水筒を用いた曝気循環による流れの数値解析 昭和62年度土木学会年次学術講演会概要集

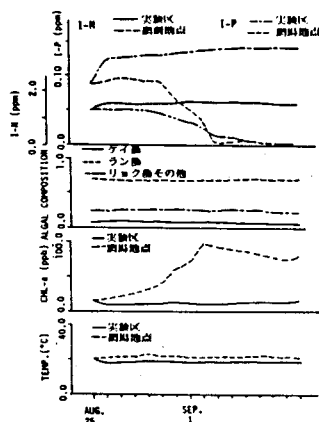


図3 実験区及び網場における経時変化

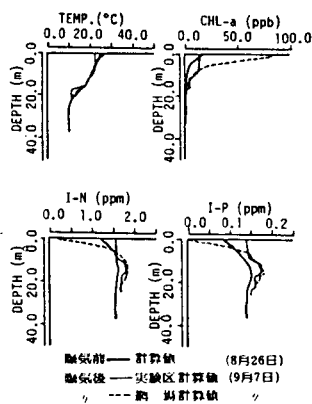


図4 実験区及び網場における水深方向分布

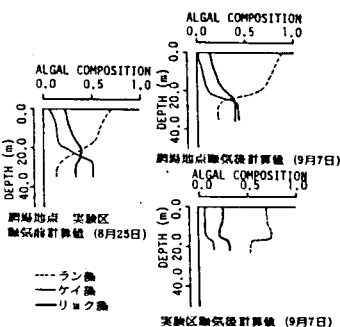


図5 実験区及び網場における水深方向分布