

嫌氣的溶出にともなう熱塩循環のモデル化と水質解析

神戸大学大学院 学生員 ○ 香川健一
 神戸大学工学部 正会員 道奥康治
 尼崎市役所 正会員 松尾昌和
 滋賀県立大学大学院 非会員 斉藤敦

1. はじめに

湖沼や貯水池における富栄養化は、外部負荷と内部負荷によってもたらされる。このうち、内部負荷要因としては、底質からの栄養塩・有機物の溶出や藻類増殖にともなう有機物の内部生産が重要であるとされてきた。

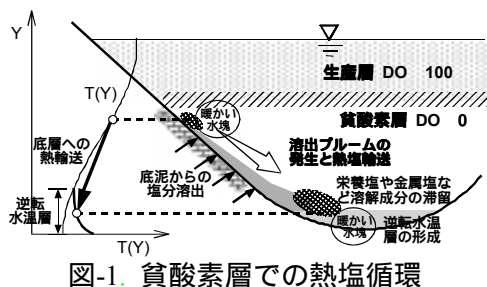


図-1 貧酸素層での熱塩循環

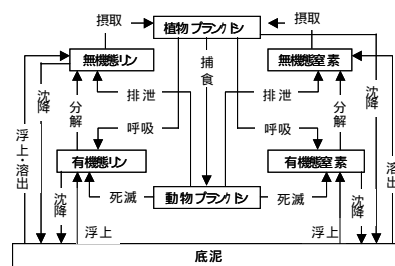


図-2 水質・生態系のモデル化

しかし、V字渓谷のように底層水が滞留しやすい湖盆地形で栄養塩負荷が高い貯水池においては、底泥からの嫌氣的溶出にともなう塩分フラックスが熱塩循環を誘発して、底層水の汚濁をより顕著にすることが明らかとなった¹⁾。本報告では、これまで着目されることのなかった嫌氣的溶出にともなう熱塩循環を再現するために、熱塩ブルームの理論解析で判明した水理特性²⁾を考慮に入れた水質予測モデルを構築し、貧酸素化にともなう高塩分層や逆転水温層の形成など、異常水質現象の再現を試みる。

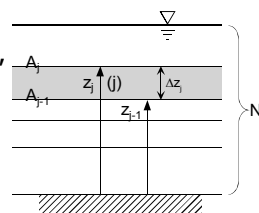


図-3 層構造

2. 嫌氣的溶出によるブルーム

対象とするS貯水池では図-1のように、受熱期において貧酸素層が水温の高い浅水部にまで拡大し、広い範囲の底泥から物質の嫌氣的溶出が生じた。溶出水塊はその塩分過剰のために周囲水よりも重く、図-1のように湖盆斜面に沿った熱塩ブルームが発生する。このブルームによって溶出した栄養塩・金属などの溶解成分は熱とともに底層へ輸送され、高温・高塩分が底層に滞留する。「熱塩循環」は底層の部分循環状態の維持や逆転水温勾配の形成要因になっている。

3. 層構造と水質・生態系モデル

熱塩循環を再現するためには、水理過程のみならず水質・生化学過程を考慮しなければならない。ここでは、西オーストラリア大学で開発されたDYRESMの鉛直一次元モデルを基本にして図-1の熱塩循環過程と図-2に示す水質・生化学過程を組み入れた独自のモデルを構築した。貯水池は図-3のように、層の厚さ・位置・数などが増減するN層に分割され、各層内での質量・熱・水質収支が定式化される。層構造と鉛直混合や流出入などの定式化は基本的にDYRESMと同様であるが、交換率の高い日本の貯水池では河川流入にともなう成層破壊も再現する必要があることから、層間の内部せん断による運動エネルギーも乱流エネルギー収支に組み入れている。

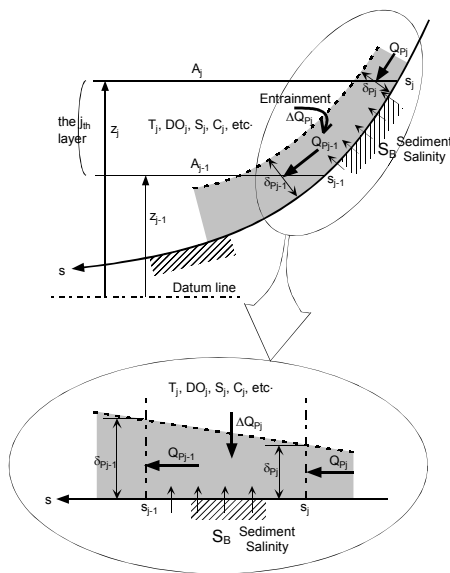


図-4 熱塩ブルームのモデル化

キーワード：富栄養化，熱塩循環，水質解析，生態系モデル

連絡先：〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1 Phone: (078)803-6056, FAX: (078)803-6069

4. 熱塩ブルームのモデル化

本報告では、熱塩ブルームのモデル化について重点的に報告する。図-4のように熱塩ブルームは第 j 層の貯水池水を連行して、流量・層厚を増加させるとともに水質を変化させながら流下する。ここで、 s_j, s_{j-1} ：湖盆沿いの流程距離座標（原点を水面とし、水面から湖底へ向かう座標） s における第 j 層の上側・下側境界面の値、 T_j, DO_j, S_j ：第 j 層の水温、溶存酸素濃度、塩分、 Q_{Pj}, Q_{Pj-1} ：第 $j, (j-1)$ 界面でのブルームの流量、 ΔQ_{Pj} ：貯水池の第 j 層からブルームに連行される流量 ($Q_{Pj-1} = Q_{Pj} + \Delta Q_{Pj}$)、 T_{Pj}, S_{Pj} ：第 j 界面での水温、塩分、 S_B ：底泥の塩分 (s 方向に一樣) とする。図-5のように、溶存酸素濃度 DO_j がある限界値 DO_C 以下となる第 j 層において、底泥堆積層から嫌氣的溶出が生ずる。溶出塩分の重力と湖底勾配によって熱塩ブルームが流程方向に発生・発達する。底泥との水質交換量は各層の「堆積層 - 水体」境界面での面フラックスとして与えている。逆に、 $DO_j > DO_C$ となる場合は、第 j 層を好気層とみなし、ブルームの流量・層厚は一定に保たれる。底面からの浮力溶出により発生するブルームの発達については、流れの自己相似性を仮定して理論解²⁾を得た。これより、諸量の収支は次のように与えられる。(1) 体積収支： $Q_{Pj-1} = Q_{Pj} + K_Q(s_{j-1} - s_j)$ 、ここで、 $K_Q(s_{j-1} - s_j)$ ：第 j 層の周囲水からブルームへ連行される流量、(2) 熱収支： $Q_{Pj-1} T_{Pj-1} = Q_{Pj} T_{Pj} + K_Q(s_{j-1} - s_j) T_j$ 、ここで、 $K_Q(s_{j-1} - s_j) T_j$ ：第 j 層からの連行熱量、(3) 塩分収支： $Q_{Pj-1} S_{Pj-1} = Q_{Pj} S_{Pj} + K_Q(s_{j-1} - s_j) (K_S S_B - S_j)$ 、ここで、 $K_Q(s_{j-1} - s_j) (K_S S_B - S_j)$ ：第 j 層からの連行塩分 (S_B ：底層塩分)。その他の水質項目は熱収支と同様とする。 K_Q はモデル定数であり理論解をデフォルト値として与え、観測値との比較からチューニングする。

5. 解析結果

S 貯水池を対象に行った数値解析結果を、水温、塩分、水質諸量について観測値と比較する。図-6, 7のように、底部付近の高塩分層の維持や逆転水温層の消長などの季節変化が定性的には再現されている。しかし、現段階では、水質収支におけるモデルの定数の調整が十分でないため、定量的に十分な精度で熱塩構造が再現されているとは言えない。その他の水質項目の解析結果、モデルの問題点については講演時に報告する。

参考文献

- 1) 道奥・神田・中村：第4回環境流体シンポジウム, pp.439-440, 1999.
- 2) 道奥・藤田・高橋・藪本：水工学論文集, 第45巻, pp.967 - 972, 2001年

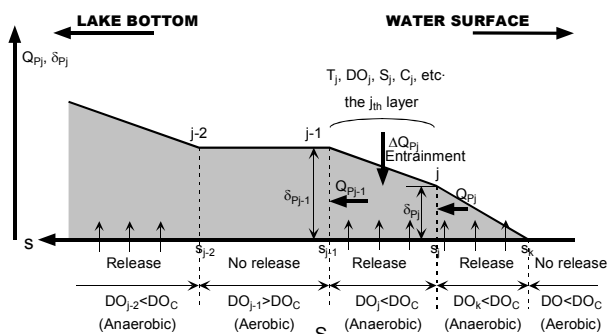
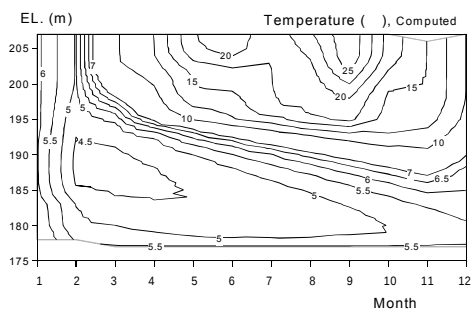
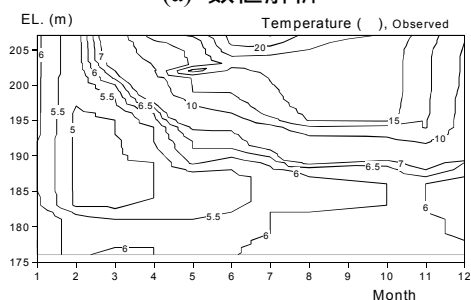


図-5 熱塩ブルームによる各層の水質収支

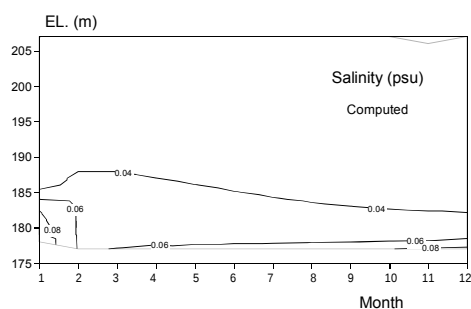


(a) 数値解析

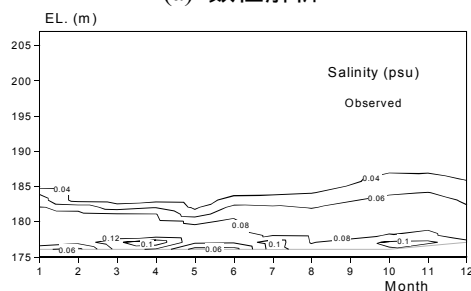


(b) 観測値

図-6 水温 Isopleth の比較例(1997年)



(a) 数値解析



(b) 観測値

図-7 塩分 Isopleth の比較例(1997年)