第II部門　　生化学的水質収支にともなう貯水池熱塩循環の数値解析

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

貯水池や湖沼などの停滞水域では水温成層の季節的消長によって流れが複雑に変遷し，特徴的な水質輸送機構を有する．水量・水質・生態系などの環境要素を水系スケールで議論する場合，流域や河道部の輸送過程とともに停滞水域を水質・物質変換系と捉えて物質収支を考える必要がある．ここでは，水質の生物・化学的反応によって生起する貯水池の熱塩循環に着目した水質・生態系モデルを定式化し，貯水池の生物化学的水質収支におよぼす熱塩循環の役割を明らかにする．

2. 嫌気的溶出によるプルーム

対象とする S 貯水池では受熱期に底層の貧酸素層が拡大して水温の高い浅水部にまで至り，広い範囲の底泥から溶解性物質を溶出させる．溶出した塩分は周囲水よりも重いため，図-1 のように密度流（傾斜プルーム）を発生させ，熱と溶解物質(塩分)を輸送しながら浅水部から深水部へと移動する．ここでは，「熱塩密度流」と略称する．熱塩密度流の輸送によって底層に集積した高温高塩分水はその比重に打ち勝つほど強い自然対流が作用しない限りフラッシュされずに滞留する．以上のメカニズムによって富栄養化貯水池が部分循環状態となり，逆転水温勾配が形成されると考えられる．本研究では熱塩密度流を再現するために，DYRESM 貯水池モデルを基本とする鉛直一次元モデルを構築し，S 貯水池で観測された熱塩成層の再現を試みる．

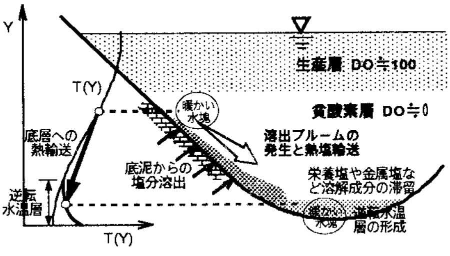

図-1. 熱塩プルームによる逆転水温層の形成

3. 熱塩プルームの物質収支

本モデルでは湖底から水面までを N 層に分割し，各層は一様な水質を有するという鉛直一次元仮定に基づく．差分モデルのように固定された計算格子はなく，質量・水質収支に応じて各層が上下動，拡大・縮小，合体・分割，融合・消散を繰り返す「ラグランジュ層モデル」である．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，底泥堆積層からは嫌気的溶出が生ずる．溶出塩分の重力と湖底勾配によって熱塩プルームが流程方向に発生・発達する．著者らの理論解析 [1]に基づけば図-2 の熱塩プルームにおける諸量の収支式は以下のようになる．

(1) 諸量の定義

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)界面でのプルームの流量，ΔQ_{Pj}：貯水池の第 j 層からプ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 方向に一様).

(2) 第 j 層の体積収支

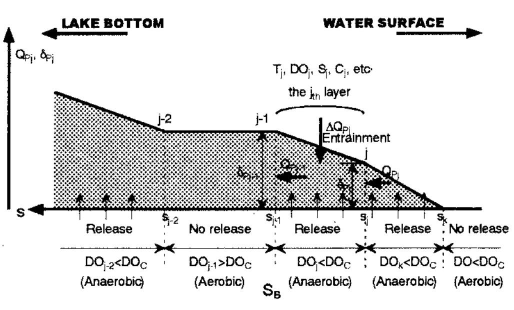

図-2　熱塩プルームにおける物質収支

Kenichi KAGAWA, Kohji MICHIOKU, Masakazu MATSUO, Atsushi SAITO

$Q_{Pj-1}=Q_{Pj}+K_Q(s_{j-1}-s_j)$，ここで，$K_Q(s_{j-1}-s_j)$: 第 j 層の周囲水からプルームへ連行される流量

(3) 第 j 層の熱収支

$Q_{Pj-1}\,T_{Pj-1}=Q_{Pj}\,T_{Pj}+K_Q(s_{j-1}-s_j)T_j$，ここで，$K_Q(s_{j-1}-s_j)T_j$: 第 j 層からの連行熱量

(4) 塩分収支

一定塩分 S_B を有する底泥堆積層上に発達するプルームを対象とする．理論よりプルームの塩分は一定となる．現実には周囲水から ΔQ_{Pj} の割合で塩分 S_j を連行するので，塩分収支は以下のようになる．

$Q_{Pj-1}S_{Pj-1}=Q_{Pj}S_{Pj}+K_Q(s_{j-1}-s_j)(K_S S_B-S_j)$，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

4. 水質・生態系モデル

図-3のように貯水池内の水質･生態系を簡略化し，国内外各種のモデルを参考にしつつ新たな記述を加えながら，水質諸量の生産・消滅を算定するための生態系モデルを構築した．ただし，底質生態系は含まれておらず，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る．栄養塩としては窒素，リンのみ考慮し，マクロファイト，魚類は生態系に含めない．

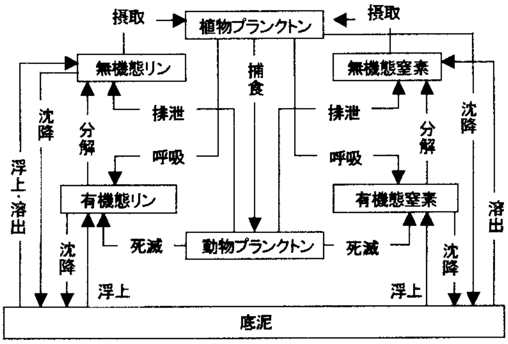

図-3　水質・生態系のモデル化

5. 解析結果

本モデルをＳ貯水池に適用し，観測値と比較をすることでモデルの妥当性を評価した．図-4 に塩分，水温，水質濃度（Chl-a , DO）の計算結果を示す．嫌気的溶出による熱塩プルームをモデル化したことにより,底層の高塩分層と逆転水温層を再現することができた．また，水理モデルとしては標高 195m の取水口付近の二次躍層の挙動や放熱循環期の躍層低下過程など鉛直混合も再現されており，合理的な乱流モデル化がなされている．水質に関しては各層の傾向を捉えてはいるものの再現精度はまだ不十分であり，モデルパラメータの調整が今後の課題である．

現地観測に際しては，兵庫県県土整備部のご協力を得た．記して謝意を表する．

参考文献

道奥他：浮力一定の傾斜面から発生するプルーム，水工学論文集，第 45 巻，pp.967－972，2001 年

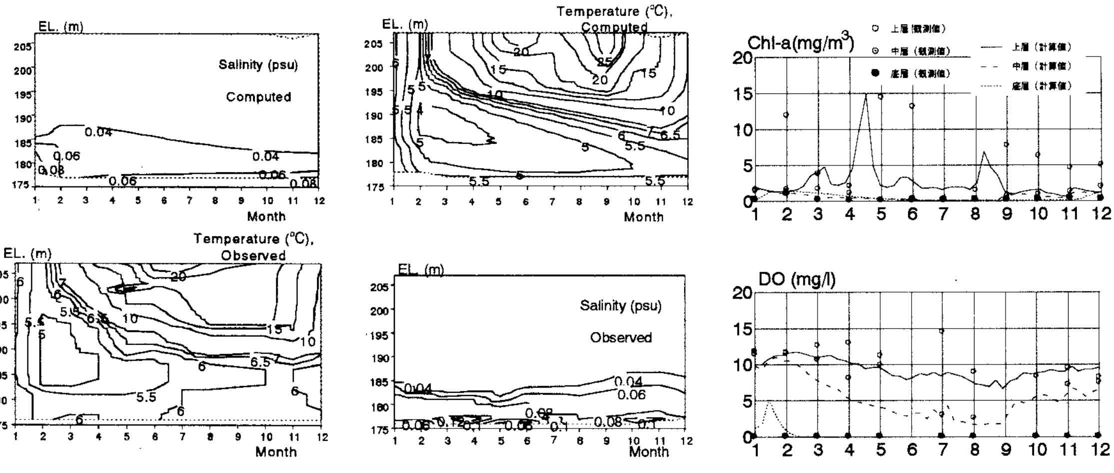

図-4　　1997 年の塩分，水温，Chl-a 濃度，DO 濃度の時系列に関する計算値と観測値の比較

（塩分，水温は上段が数値解析，下段が観測値）