

II-342 湯ノ湖における富栄養化モデル

国立公害研究所 正会員 細見正明・須藤隆一

1. はじめに

種々の富栄養化対策による水質改善効果を事前に評価検討し、効果的な対策を選定しなければならない。こうした評価手法として、数学モデル(生態系モデル)がよく使用されている。湖沼の富栄養化は、外部からの栄養塩負荷のみならず、底泥からの栄養塩溶出による内部負荷の影響も大きいとされている。しかしながら、従来の生態系モデルでは、底泥の効果は定数か外部関数として与えられる場合が多く、底泥モデルが組み込まれていない。すなわち、底泥モデルが組み込まれていないと、湖沼生態系に対する外乱(特に底泥に影響するような浚渫等)に対し、底泥の変化やそれに伴う水質の変化を厳密に予測することができない。そこで、本研究では、外部負荷削減対策や底泥対策による水質改善効果が評価できるように、窒素、リンの底泥サブモデルを組み込んだ水質生態系モデルを作成し、湯ノ湖に適用した。

2. 湯ノ湖の概略

湯ノ湖は、日光国立公園にあり、温泉地として、またマス釣などでも有名である。しかし、旅館排水の流入により湯ノ湖は富栄養化が進行した。湯ノ湖では、排水のリン除去試験や湖沼底泥の一部の浚渫試験、有リン洗剤の使用禁止など検討されてきた。湯ノ湖は、平均水深が7.4 m、表面積が0.35 km²、滞留時間が約40日の複循環湖である。主な流入源は、湯元終末処理場排水、大ドブ、地下水であり、流出口は、湯滝の1箇所である。

3. モデルの構造と計算

本研究で提案するモデルは、水温モデルと結合した生態系モデルであり、深い貯水池の一次元水温モデルであるWREモデルやMITモデルを拡張したモデルといえる。さらに、このようなモデルに底泥中の栄養塩濃度を予測したり、水-底泥間における栄養塩交換速度を予測するための底泥サブモデルが組み込まれている。湯ノ湖は冬期に結氷するが、WREモデルやMITモデルでは結氷・融氷する現象をシミュレートできない。そこで、本水温モデルでは、Energy Balanceモデルを組み込み、結氷現象もシミュレート可能にした。

水質生態系モデルにおける各コンポーネント間の関係を図1に示す。利用可能な栄養塩は、溶存態窒素、リンからなる。また利用不可能な栄養塩は、懸濁態窒素、リン(湯ノ湖では、溶存態窒素、リンが比較的少ないため)からなる。植物プランクトンは、湯ノ湖における優占種であるケイ藻類と主に鞭毛藻類からなるその他の藻類の2種類に分類した。

底泥サブモデルのスキームを図2に示す。このサブモデルの基本的な概念は、細見らと同様であり、底泥中のリン、窒素化合物の変化過程や沈殿過程が含まれている。

本モデルは、湯ノ湖を深さ方向に1 m毎に切断した12層の水質モデルと2つの底泥サブモデルからなる。底泥サブモデルは沿岸帯底泥を示すサブモデルAと深底帯底泥を示すサブモデルBの2種類である。各モデルは1 cmごとに切断した20層モデルである。

本モデルでは、水温モデルの結果を水質生態系モデルの入力として各変化過程を計算する。生態学的変化

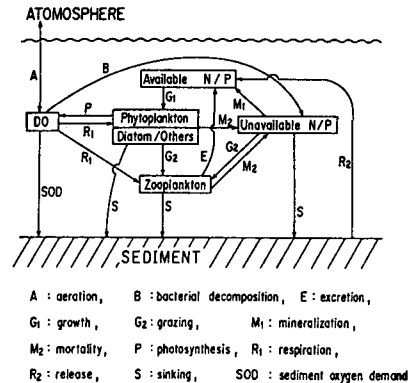


図1 水質生態系モデルのスキーム

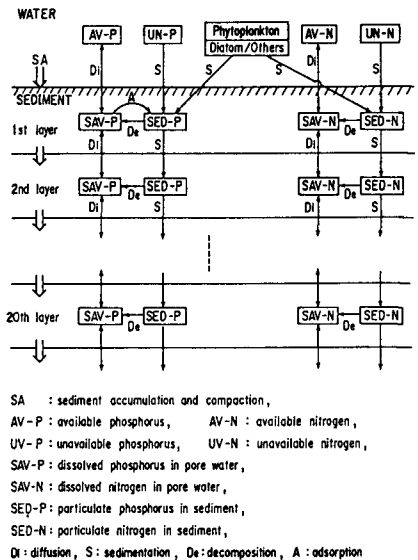


図2 底泥サブモデルのスキーム

過程や水-底泥間の移動過程を示す微分方程式を図1に基づいて作成した。

湯ノ湖の水質調査データや底泥を用いた実験データからモデルのパラメータ評価や初期値に用いた。十分なデータが得られない場合は、文献値を参考にした。連立微分方程式の数値解法は、ルンゲクッタ・ジル法によった。計算期間は1979年5月1日より1982年12月1日までである。また外部関数としては、気象データ（湯ノ湖の近くにある日光測候所）、各流入水の水温ならびに水質データである。

4. モデルの計算値と実測値との比較

水温モデルにおける計算値は実測値をよく一致していた。さらにこの水温モデルは結氷や融氷現象をよく表現していた。

図3は、生態系モデルの出力結果の一例である。いずれの項目についても、計算値はおおむね実測値と一致している。しかしながら、クロロフィルaの実測値は、夏期停滞期には非常に短期間（一週間程度）にかなり変動するが、計算値はこうした激しい変動をシミュレートすることはできなかった。沈殿物捕集容器を用いて得られたクロロフィルaの沈殿速度は、一週間程度で激しく変動した。このモデルでは、これらの平均的な値を採用したため、この平均化の操作による誤差が実測値と計算値との差異を生じさせた考えられる。今後、植物プランクトンやデトリタスなどの沈降速度に関する調査研究が望まれよう。

底泥表層中の懸濁態窒素、リンの計算値は、それぞれ1.2 - 2.2 mgP/g, 5.7 - 9.0 mgN/gの範囲で変動した。一方、実測値は窒素、リンそれぞれ1.7 - 2.2 mgP/g, 6.0 - 7.2 mgN/gの範囲にあり、計算値と実測値とがおおむね一致している。ただ、底泥表層中の懸濁態栄養塩は、1979年から1982年にかけて減少する傾向にあるが、実測値は測定誤差やサンプリング誤差を考慮すればほとんど一定であった。この差異は植物プランクトン等の沈殿フラックスの計算過程で生じた誤差によるかもしれない。

表1は、夏期停滞期における底泥からの窒素、リンの溶出速度の計算値と実測値とを比較したものである。このようにフラックスからみても計算値は、実測値の範囲にあり、両者がほぼ一致している。

以上のように、湯ノ湖に適用した水質生態系モデルは、湯ノ湖における水質ならびに底泥中の窒素・リン濃度だけでなく、底泥からの溶出速度も予測可能なモデルと考えられる。

表1 湯ノ湖夏期停滞期における底泥からの栄養塩溶出速度の比較

	栄養塩溶出実験からの評価値 (最大 - 最小)	計算値
年	リン溶出速度 (mgP/m ² /d)	
1979	4.0 - 6.8	6.6
1980	3.6 - 6.5	4.8
1981	0.4 - 2.4	2.3
1982	0.2 - 1.9	1.4
年	窒素溶出速度 (mgN/m ² /d)	
1979	56 - 60	43
1980	45	32
1981	28 - 71	27
1982	20 - 44	27

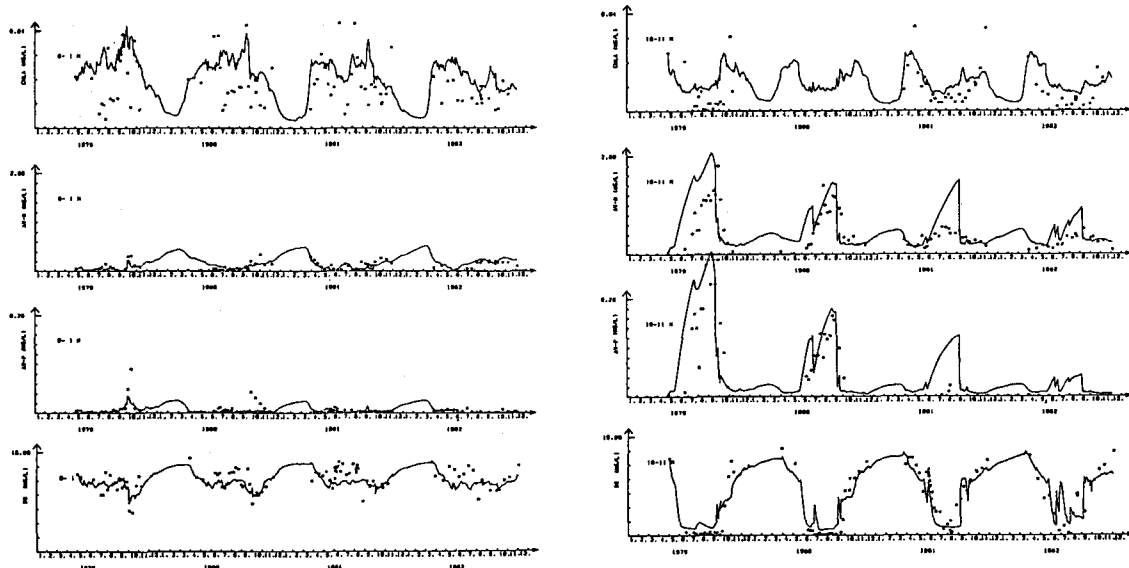


図3 クロロフィルa、利用可能な窒素、リンおよびD O濃度の計算値（—）と実測値（■）との比較