

京都大学大学院 学生員 森北 佳昭
京都大学工学部 正 員 岩佐 義朗
京都大学工学部 正 員 松尾 直規

1. はじめに 本研究は、前報¹⁾で報告した富栄養化予測モデルを用いて、水生貯水池を対象に種々のシミュレーションを実施し、それらの結果から流体力による質量輸送と環境境界条件の変動が貯水池の富栄養化過程に及ぼす影響を考察するとともに、生物学的生産・消費過程のモデリング及びそれらのモデル式内の係数値等の取扱いについて検討したものである。

2. 数値解析 解析に用いた富栄養化数値シミュレーションモデルは、水質指標として、植物プランクトン(クロロフィルa濃度)、動物プランクトン(炭素濃度)、総リン、無機態窒素、有機態窒素濃度の5種類を採用し、これらの水質の挙動をコントロール・ボリューム法による貯水池水理解析手法を適用してモデル化したものである。基礎式ならびに境界条件、初期条件等の計算条件については、前報¹⁾を参照されたい。

このモデルを用いて、水生貯水池を対象に以下の点について数値解析を実施し、その結果を考察した。

i) 流体力による質量輸送である移流・拡散・沈降の各項と生物学的生産・消費項のオーダーを比較し、それぞれが水質変化へ寄与する程度を把握する。

ii) 表-1のように環境境界条件を変化させた時の応答特性。

iii) 表-2のように生産・消費過程に関するモデル式のパラメータのうち重要と思われるいくつかの係数値を変化させた時の応答特性。

iv) 表-3に示すような生産・消費過程に関するモデル式の違いによる計算結果の比較。

v) コントロール・ボリュームの大きさ(4Xの値)の違いによる解析結果の比較。

3. 解析結果と考察

上記i)~v)のそれぞれについて、解析結果とその考察を主なものについてまとめてみると以下のようになる。

i) 拡散項は、全水質指標について、その他の項よりオーダー的にかなり小さく、これを無視することができる。

貯水池への流入・流出に起因する水質変動は、生物学的生産・消費に起因するものに比べ小さいが、表層及び貯水池

中間部の中層(取水口のあろブロック)においては、比較的流速があり、生産・消費項に起因する各水質指標

表-1 環境境界条件による比較ケース

ケース	環境境界条件の変化
1	流入水温を2℃上昇
2	流入水温を2℃減少
3	無機態窒素流入負荷量を2倍
4	無機態窒素流入負荷量を1/2
5	有機態窒素流入負荷量を2倍
6	有機態窒素流入負荷量を1/2
7	総リン流入負荷量を2倍
8	総リン流入負荷量を1/2
9	日射減衰係数を0.2から0.1にする
10	日射減衰係数を0.2から0.3にする
11	総リン流出速度に季節変化をつける
12	無機態窒素流出なし

表-2 モデル式の各係数値による比較ケース

ケース	係数	変化前	変化後
1	植物プランクトン最大増殖速度との水温比例定数 β	0.048	0.0626
2	植物プランクトン増殖速度 μ_{max}	0.048	0.01
3	動物プランクトン捕食速度 C_g	0.25	0.13
4		0.25	1.0
5	沈降速度	0.3	0.15
6	$\lambda_{0,CP}$ $\lambda_{0,PP}$ $\lambda_{0,NO}$	0.3	0.03
7	植物プランクトン呼吸速度 K_A	0.005	0.0035

表-3 生産・消費項のモデル式による比較ケース

ケース	原数式	変化後
1	植物プランクトン増殖率内水温項 $\mu_{max} T^{1/5}$	$\mu_{max} T^{1/5}$ 指数型
2	McKusT 比例型	$\mu_{max} T^{1/5}$ 指数型
3	植物プランクトン増殖率内日射項 $I_0 e^{-(1-I_0/I_0)}$	$\frac{I_0}{I_0}$ 比例型
4	$I_0 e^{-(1-I_0/I_0)}$ 指数型	$\frac{I_0}{K_L + I_0}$ Monod型
5	植物プランクトン呼吸率 $K_A T$ 水温比例型	$K_A e^{-(1-I_0/I_0)}$ 水温指数型
6	植物プランクトン捕食率 $C_g \frac{Z}{K_{CP} + C_P}$	$C_g \cdot Z$ 動物プランクトン濃度比例
7	飼養効果を考慮した動物プランクトン濃度比例型	$C_g \cdot \frac{Z}{K_{CP} + C_P}$ 水温比例型
8	植物プランクトン増殖に伴うフィードバック項 $\beta \cdot G_{CP}$	$\beta(G_{CP} K_T C_P)$
9	0-Hill型への分解速度 K_L (定数)	$e^{0.0693(T-20)}$ 水温指数型
10	総リン	無機態リン 有機態リン

濃度の変動を流下方向・水深方向に伝播する移流項・沈降項が生産・消費項と同程度のオーダーとなる。

又、出水時には、移流に起因する栄養塩・動物プランクトンの増減が、その後の生産・消費項の挙動と密接に関連する結果となる。

ii) 流入条件の変化は、主に上述の移流効果の大きい所に現われるが、各水質指標の時間的変化パターンには、大きな変化は見られない。栄養塩の流出の変化による影響は、成層期には非常に小さい。一方、日射減衰係数の値は水温分布及び水質濃度の生物学的生産・消費項の値に大きく影響し、重要なパラメータである。

iii) 表-2 にあげた係数値の変化は、いずれも計算結果に大きな影響を与えることが示され、これらの値を正しく把握することが、解析結果の評価に重要な意味を持っている。

iv) 生産・消費項のモデル式が異なっても、影響因子の範囲内では結果的に似たようなものとなり大きな影響はない。対象とする貯水池の水理・水質・生物特性及び気候等の環境条件に応じた現象のモデル化と、その裏付けとなる資料の収集が必要であろう。

表-4 変更モデルの生産・消費項

の ΔS の変化による影響は、 ΔS を 2000 m とした場合に顕著であり、この場合には実際現象を十分に再現できなかった。従って、実測値から十分にその空間スケールを把握する必要がある。

4. 変更モデルによるシミュレーション 上記の考察結果をもとに、生物学的生産・消費に関するモデルの変更を試み、その効果を考察した。このモデルについては、講演時に詳述することにするが、前報のモデルと異なる点は、各水質指標の生物学的生産・消費項を表-4 のように表現したことである。

図-1~図-2 は、聖生貯水池にこのモデルを適用した結果の一部を実測値とともに示したものである。

これらの結果によると、実測値との比較では、前報のものに比べ若干の精度の向上は見られるが、大きな時間的変化パターンに違いは見られず、7月の出水以降の実測値との差は、まだ改善されていない。

この点に関する詳細な議論は、実測資料が少ないためできないが、現段階ではモデルによる解析の一つの限界を示しているように思われる。

5. おわりに 本研究では、前報の富栄養化数値解析モデルに、様々なインパクトを与えた時のモデルの挙動を観察することから、その特性と限界がある程度理解できた。しかし、実測資料の不備から実際現象とそれに対するモデルの適用性を詳しく論ずることは難しく、そのための資料収集・整備が必要である。また、実際現象をより忠実に再現し、それを正しく理解するには、まず各水質指標の挙動と、水温・流連などの水理学的な場の条件との関係をより詳細に明らかにすることが、重要であると考えられる。

参考文献) 1) 岩佐・松尾・俣野; "貯水池水理モデルによる富栄養化のシミュレーション" 第34回土木学会全国大会年講, 1979

水質指標	生物学的生産・消費項のモデル式
	$S_{cp} = G_{cp} \cdot e^{\frac{(-0.00385 \cdot C_p)}{(T-20)}} - K_{A20} \theta_{\mu}^{(T-20)} - G_Z$
植物プランクトン	$G_{cp} = \mu_{\max} \theta_{\mu}^{\frac{(T-20)}{15}} \cdot \frac{1}{15} \cdot e^{\frac{(1-12/15)}{(T-20)}} \cdot \frac{N_i}{K_N + N_i} \cdot \frac{P_h}{K_P + P_h} \cdot C_p$
	$G_Z = C_g \cdot \frac{K_{cp}}{K_{cp} + C_p} \cdot Z \cdot C_p$
動物プランクトン	$S_Z = \alpha \cdot a_Z \cdot G_Z - K_{Z20} \theta_{K_Z}^{(T-20)} - K_o \cdot Z$
総リン	$S_{ph} = \frac{L \cdot P_h}{1000 \cdot \Delta t} \quad L_{ph}: \text{冬期に小さく、夏期に大きく、なるよう、季節変動を考慮。}$
無機態窒素	$S_{N_i} = -B \cdot e^{\frac{(-0.00385 \cdot C_p)}{(T-20)}} \cdot G_{cp} + K_{N20} \theta_{K_N}^{(T-20)} (N_o - B \cdot C_p + Z) + \beta (1 - a_Z) G_Z + \frac{L_{N_i}}{1000 \cdot \Delta t}$
有機態窒素	$S_{N_o} = B \cdot e^{\frac{(-0.00385 \cdot C_p)}{(T-20)}} \cdot G_{cp} - K_{N20} \theta_{K_N}^{(T-20)} (N_o - B \cdot C_p + Z) - \beta (1 - a_Z) G_Z$

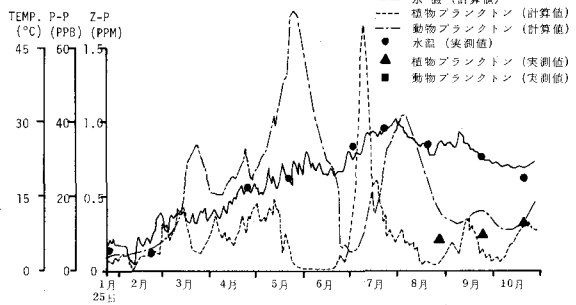


図-1 水温・各水質指標の経時分布図

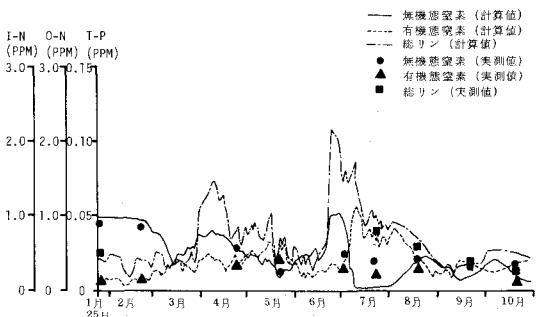


図-2 各水質指標の経時分布図