

種別増殖モデルを用いた藻類種間競合に関する研究

中央大学理工学部 学生員 ○西田 有佑
(独)水資源機構 正会員 工藤 勝弘

中央大学大学院 学生員 河上 智行
中央大学理工学部 正会員 山田 正

1.はじめに：

近年、ダム湖では主に人為汚濁により富栄養化が進行し、アオコやカビ臭の発生などの水質障害が生じている。これらの水質障害は特定の藻類によって引き起こされるため、それら特定の藻類を対象とした対策を行うことが必要と考えられる。しかし、水質障害の原因となる幾種類かの藻類については培養実験等により増殖特性に関する知見が得られているものの、藻類相互の競合やそれに伴う個々の藻類の消長など自然界における特定の藻類の発生メカニズムについては未だ解明されるまでには至っていない。また、実際のダム湖では数多くの藻類が存在しており、これら藻類相互の競合特性を室内実験で表現することは困難と考えられる。そこで本研究では、水資源機構によって開発された種別増殖モデルを用いて実際のダム湖での藻類発生の実績を再現することにより、藻類相互の種間競合の解明を試みた。本論文ではその第一段階として栄養塩濃度に着目した解析を行い、リン濃度とアオコ (*Microcystis*) 発生 の関係を再現できたので報告する。

2.種別増殖モデルの概要：

従来のモデルでも藻類を藍藻類、珪藻類、緑藻類といった大きな分類でモデル化し、それぞれをクロロフィル a で表現したものはあるが、特定の藻類種の発生を表現できるモデルは少ない。本モデルではダム湖において代表的な富栄養化問題である「アオコ」「カビ臭」「淡水赤潮」の原因となる藻類に着目し、次に示すような植物プランクトンの分類を行った。*Microcystis*：アオコの原因藻類、*Phormidium*：カビ臭の原因藻類、*Peridinium*：淡水赤潮の原因藻類、珪藻類：低温期の一般藻類の代表種、緑藻類：高温期の一般藻類の代表種。またダム湖での藻類発生量の観測は細胞数で行われる。そこで計算による出力値と実測値との検証ができるように水資源機構の過去の研究で得られた各藻類のクロロフィル a (μg/l) と細胞数(個/ml) の関係から藻類の計算結果を細胞数でも表現できるようにした。このように特定の藻類を組み込み、発生量を細胞数で表現できるモデルはこれが初めてである。それぞれの藻類相互の競合は栄養塩の取り込み競争に基づくものと考えられることから、藻類の増殖は細胞内に取り込んだ栄養塩の量に依存するものとして(1)式の Droop の式を用いてモデル化し、栄養塩の取り込み速度については、(2)式の Michaelis-Menten 型の Monod の式に従うものとした。その上でパラメータにより個々の藻類の生態特性を表現することとした。また、各藻類の沈降速度に加えて細胞内のガス泡の膨張収縮による浮上能力を有する *Microcystis* と日中の走光性をもつ *Peridinium* には浮上速度を与え、他の藻類に比べ栄養塩の取り込みに優位性を持たせた。

$$V = V_{\max} \{S / (K_s + S)\} \quad (\text{Monod の式}) \quad (1)$$
$$\mu = \mu_{\max} (1 - q_0 / q) \quad (\text{Droop の式}) \quad (2)$$

V: 栄養塩の吸収速度 $V_{\max}$: 最大吸収速度
S: 環境水中の栄養塩の濃度 K_s : 半飽和定数
 μ : 藻類の増殖速度 $\mu_{\max}$: 最大増殖速度
q: 細胞内栄養塩含量 q_0 : 細胞内最小栄養塩含量

3.解析結果および考察：

本研究ではこのモデルの特徴の1つである栄養塩の取り込み機構に着目し、まず対象ダムを *Microcystis* が夏場に大量発生する

	緑藻類	珪藻類	フォルミディウム	ミクロキスティス	ペリディニウム
最大増殖速度 (1/日)	0.65	1	0.45	0.6	0.2
IPの最大吸収速度 (mg/mgchla/日)	0.9	0.6	2.8	22	0.7
IPの半飽和定数 (mg/mgchla)	0.0001	0.0007	0.0048	0.05	0.0002
IPの最小含量mg/mgchla	0.3	0.3	0.15	0.15	0.3

水資源機構所管の A ダムとして藻類競合の再現を行い、次にそこで同定されたパラメータをそのまま用いて、水資源機構が所管するダム群の過去の流入栄養塩(平均値)と *Microcystis* の優占度(平均値)との関係が再現できることを確認した。

(1)A ダムの再現：

A ダムでの藻類競合の再現を行うための計算対象期間は平成 8 年から平成 10 年までの 3 年間とした。入力条件である流入量・放流量等の水文条件、気象条件は 1 時間ごとの実績の値を用いた。また、流入水質条件は L-Q 式で与えた。計算に用いた藻類増殖に関するパラメータを表-1 で示す。また図-1 は栄養塩濃度(溶解性無機態リン)に対する栄養塩取り込み速度の関係である。パラメータの同定にあたって溶解性無機態リンの最大吸収速度は既存の知見を参考に藍藻類→緑藻類→珪藻類の順で小さくなり、半飽和定数においては栄養塩濃度の高いダム湖でアオコが発生しやすいという実績を踏まえて、*Microcystis* は珪藻類、緑藻類に比べ大きくなるように決定した。図-2 に A ダムのダムサイト表層

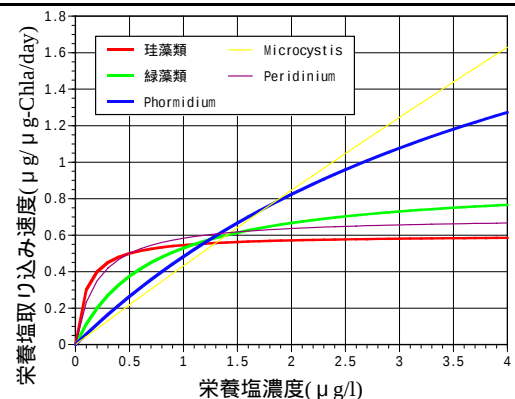


図-1 溶解性無機態リン濃度と栄養塩取り込み速度の関係

栄養塩の取り込み速度を Droop の式を用いて各栄養塩濃度において各藻類に優位性を持たせた。

キーワード 富栄養化、藻類、種間競合、種別増殖モデル

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部 TEL 03-3817-1807 E-mail: niku0814@kc.chuo-u.ac.jp

部における藻類の細胞数の計算結果と実測値の時系列を示した。更に実測に近づけるためには、増殖速度を求めるための項の1つに水温係数として水温の関数を与えているが、その関数に対する検討が必要であると考えている。

(2) *Microcystis* の細胞数と栄養塩濃度との関係：

図-3にAダムにおける各日の全藻類の細胞数に対する *Microcystis* の細胞数の割合を時系列として示す。計算値は *Microcystis* が春季には発生せず、夏季に発生する傾向及び優位性が概ね捉えられている。次に、この関係について他のダムの条件で検証を試みた。図-4は流入溶解性無機態リン濃度と藻類全細胞数に対する *Microcystis* の関係を示したものであり、×は水資源機構が所管する18ダムにおける約10年間の流入溶解性無機態リン濃度の平均値と各ダムのダムサイト地点表層の水深0.5mで観測された藻類全細胞数に占める *Microcystis* の細胞数の比率の平均値の関係を示したものである。また○はそれぞれのダムにおける平均栄養塩を流入条件として3カ年をモデルにより再現した計算値である。なお、18ダムのモデル計算値は貯水池形状、気象条件等をAダムと同じ条件とし、流入栄養塩濃度のみを各々のダムの10年間の実績の平均値に変えて計算したものである。図-4に示すようにモデルによる再現結果は、溶解性無機態リンが多く流入するダム湖ほど *Microcystis* の全藻類における比率が増加するという傾向が良く表現できており、表-1に示したパラメータにより栄養塩濃度の高いダムほど *Microcystis* が発生しやすいという特性をほぼ定量的に再現することができた。

4.まとめ及び今後の研究方針：

本研究で得られた知見を以下に示す。種別増殖モデルを用い、栄養塩取り込み機構を導入することにより、Aダムにおける藻類発生の競合が概ね再現できた。溶解性無機態リン濃度と全藻類の発生量に対する *Microcystis* の発生量の優位性の割合がほぼ定量的に再現することができた。本研究は主として栄養塩と *Microcystis* の関係に着目して解析を行ったが、今後は他のダムの藻類発生の実績についても実際のダム運用データを本モデルに適用し、各ダム共通のパラメータを確立させる様に研究を進める予定である。

参考文献

- 1)水資源開発公団試験研究所：ダム貯水池の水質、試験研究所資料、第2443号、1988。
- 2)Mahesh Jayaweera, Takashi Asaeda (1996) Modeling of biomanipulation in shallow, eutrophic lakes: An application to Lake Bleiswijkse Zoom, the Netherlands, Ecological Modelling, 85, pp.113-127。
- 3)宗宮 功：湖沼の物質循環モデル、国立公害研究所調査報告、第18号、pp.114-151、1981。

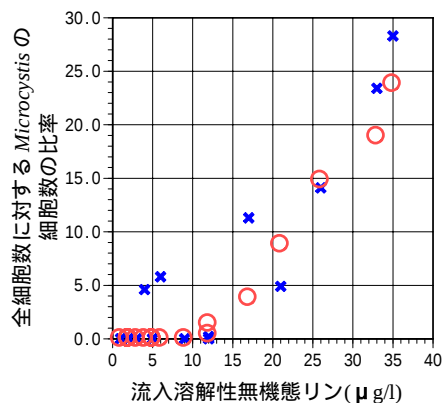


図-4 流入溶解性無機態リン濃度と藻類全細胞数に対する *Microcystis* の関係

×は水資源機構所管の18ダムの約10年間に
おける流入溶解性無機態リンと全藻類の細胞
数に対する *Microcystis* の細胞数の日毎の比率
を単純平均した値。○はAダム再現に用いた
パラメータに18ダムの各栄養塩濃度を与えた
時の計算値。溶解性無機態リン濃度と全藻
類の発生量に対する *Microcystis* の発生量の優
位性の割合がほぼ定量的に再現できている。

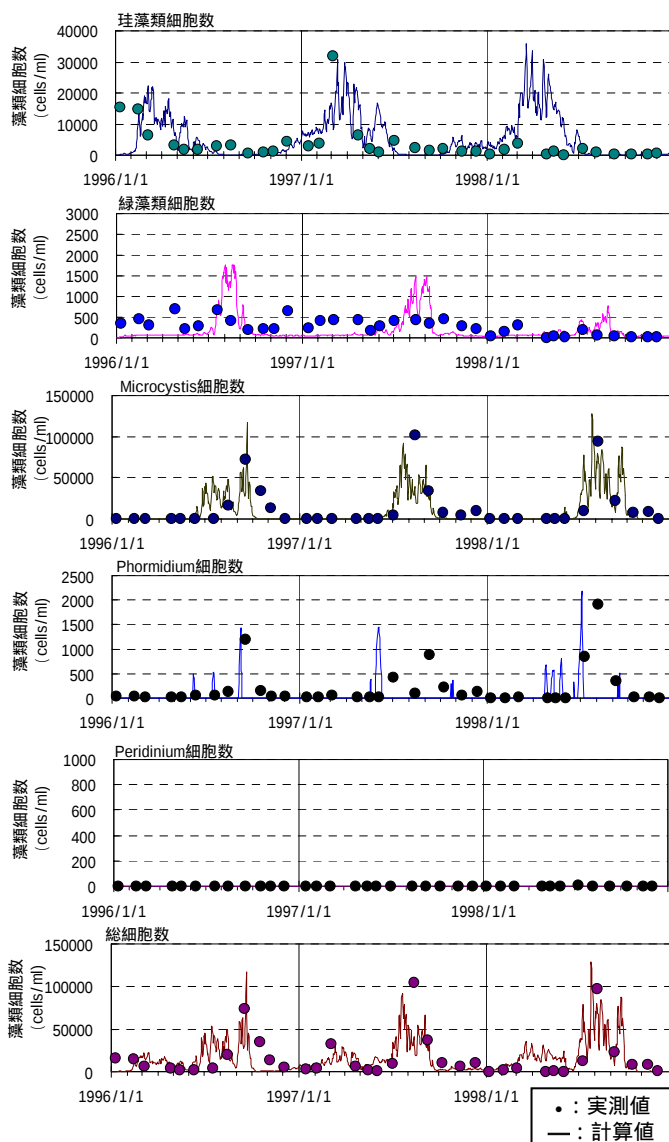


図-2 Aダムにおける各藻類の細胞数の観測値と計算結果の時系列(1996~1998)

〔春先に珪藻類、夏季に *Microcystis* が発生している。計算値と実測値を比較してみると、*Microcystis* と珪藻類の発生時期、ピーク形成時期および細胞数のいずれも概ね再現できている。〕

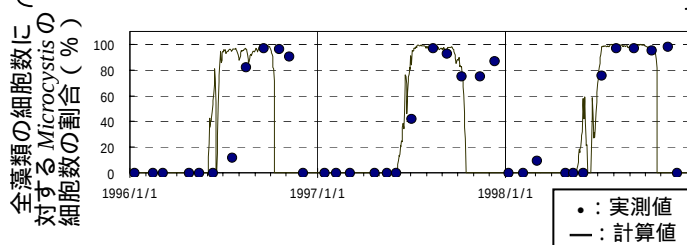


図-3 全藻類の細胞数に対する *Microcystis* の細胞数の割合の時系列

〔*Microcystis* が春季には発生せず、夏季に大量発生する傾向及び優位性が再現できている。〕