

B-32 鳥取県湖山池における微生物食物連鎖の役割に関する食物網モデルを用いた考察

○加藤 伸悟^{1*}・増田 貴則¹

¹鳥取大学大学院工学研究科 (〒680-8550鳥取市湖山町4丁目101番地)

* E-mail: shingok@apptec.co.jp

1. はじめに

水界の食物連鎖には、植物プランクトンによる一次生産を出発点とする「生食連鎖」と、溶存態有機物を細菌群集が利用増殖することを出発点とする「微生物食物連鎖」があり¹⁾、それら生物固定された炭素は、各連鎖内および両連鎖間での被捕食関係によって相互に結びつくなかで、上位栄養段階に循環していく。微生物食物連鎖は「溶存有機物→細菌→原生動物」という物質循環によって形成されているが、細菌は、基礎生産者として機能する一方で、栄養塩再生者としても機能し、再生された栄養塩は生産者の基質となる。原生動物は、細菌食者であると同時にピコサイズの植物プランクトンも捕食する。また上位栄養段階生物へエネルギーを伝達する役割の面でも重要である²⁾。それら機能は生食連鎖そして食物網全体にも関与するものであることから、その役割を把握することは、水界食物網動態を理解するうえで重要と考えられる。また、増殖や死滅等の生物活動は水温によって変化するものである。例えば、植物プランクトンは、種により増殖適水温が違い、季節により基本的な生産能が異なる。このことは、食物網を形成する各生物が相互に関係しあうものであるとすると、他生物にも波及するものと考えられる。

本研究では、食物網における微生物食物連鎖の役割を考察することを目的に、ケーススタディーとして鳥取県湖山池に対して生食連鎖と微生物食物連鎖から成る食物網モデルを適用し、解析を行った。

2. 研究方法

(1) 食物網モデルの構造

本研究では、水界食物網の代表的な役割を担う基礎生産者（マイクロ植物プランクトン、ナノ・ピコ植物プランクトン）、捕食者（メゾ動物プランクトン、マイクロ動物プランクトン、原生動物）、分解者（細菌）、および生産者基質（炭素、リン）に注目して、生食連鎖および

微生物連鎖によって構成される図-1に示す概念的な食物網モデルを用いた。本モデルは、両連鎖構成生物のサイズに基づく被捕食関係を考慮した概念的な食物網モデルであり、水界バイオマスと各生物構成割合、エネルギーフロー、栄養塩再生について、様々な栄養塩段階における観測事象との比較により検証を行い、被捕食関係に基づく生物種間相互関係を表現しうることが示されたモデルである²⁾。また、食物網動態の年間変動を表現するため、摂取、死滅、呼吸排出の各生物活動に対して水温項「 θ ($\theta = 1.05^{(T-20)}$)」を乗じた。なお、植物プランクトンについては、増殖最適水温（珪藻類を主体としたマイクロ植物プランクトン：10℃、藍藻類を主体としたナノ・ピコ植物プランクトン：25℃）を考慮し、水温変化に応じた増殖特性を考慮した。

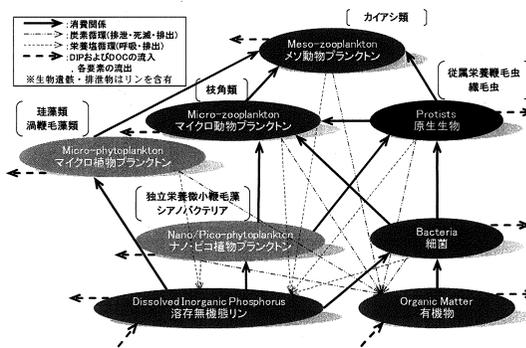


図-1 食物網モデル

(2) 計算条件

解析対象とした湖山池は平均水深3m程度の浅い富栄養汽水湖 (T-P 0.045 mg L⁻¹ : 池中央部表層H15年平均値) であり、数本の河川が流入し、流出河川を通じて日本海と結ばれている。湖内水質は、流域からの汚濁負荷流入により、近年の塩分導入試験以前はアオコ発生等の環境悪化が顕在化していた。本研究では、過去、顕著なアオコ発生が見られた年 (平成15年) を解析対象期間とした。

湖内を1ボックスとしてモデル化し、タンクモデルにより算出された総流入量および流量-負荷関係式(L-Q式)により算出されたDIP・DOC負荷量を設定した(図-2)。また、流入量と等しい流量が系外流出することとし、気象条件は池近傍の観測値を設定した。各モデル要素の計算パラメータは、様々な数値モデル研究や室内試験研究を参考に設定した。

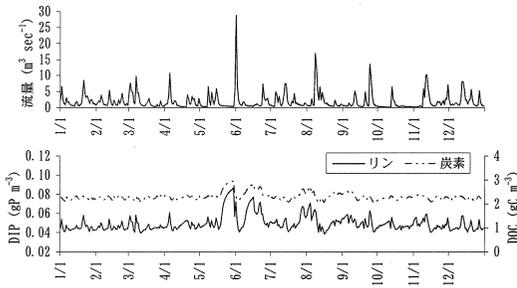


図-2 流入水量と負荷

(3) 微生物食物連鎖の役割に関する考察方法

微生物食物連鎖の役割に関する考察では、各モデル化要素のバイオマスとその構成割合、上位栄養段階生物(本研究では動物プランクトン)へのエネルギーフロー、栄養塩再生から、生食連鎖との対比も含めて、微生物食物連鎖が果たす役割について考察した。

3. 結果

(1) バイオマスの年間変化

食物網モデル計算結果の水温とバイオマスおよびその構成割合を図-3に示す。

水温が1℃～29℃程度で年間変化するなかで、トータルバイオマスに大きな変化は見られないが、植物プランクトン優占種や各生物の現存状態は明瞭に変化する。1月～5月および12月はマイクロ植物プランクトンが優占し、トータルバイオマスの5割～7割程度を占める。マイクロ植物プランクトン増加は、それを直接的に捕食するメソ動物プランクトンへと連鎖している。細菌と原生生物はともに1割以下となっている。一方で6月～11月はナノ・ピコ植物プランクトンが優占し、トータルバイオマスの2割～6割程度を占める。ナノ・ピコ植物プランクトン優占期間は、それに呼応するかたちで原生生物および細菌バイオマスがともに2割程度に増加している。メソ動物プランクトンは、生産者を直接的に捕食できず、1割以下に減少している。

微生物食物連鎖を形成する細菌および原生生物は、年間の水温変化と生物相互関係の中でその現存状態が変化し、トータルバイオマスに占める割合は、マイクロ植物プランクトン優占期間で2割程度、ナノ・ピコ植物プランクトン優占期間で4割程度である。

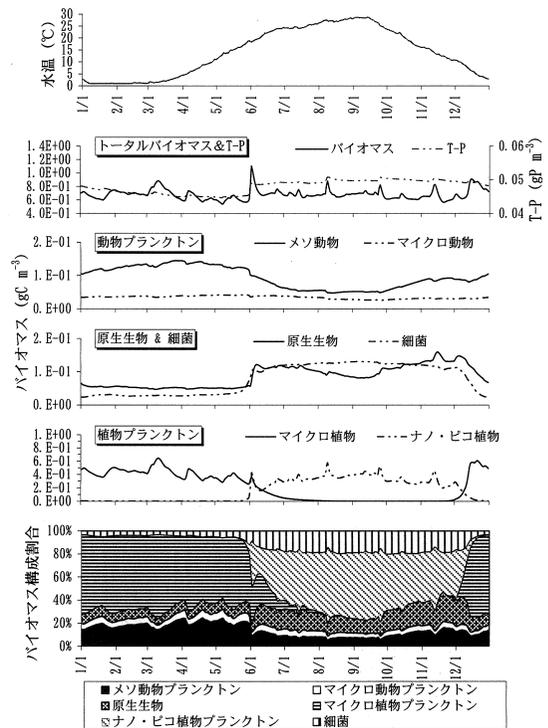


図-3 バイオマスと構成割合

(2) エネルギーフロー

生食連鎖と微生物食物連鎖の炭素・リンフローを図-4に示す。なお、生食連鎖は「マイクロ植物→メソ動物」と「ナノ・ピコ植物→マイクロ動物」へのエネルギー経路、微生物食物連鎖は「原生生物→メソ動物」と「原生生物または細菌→マイクロ動物」への経路としている。

高次生物である動物プランクトンは、マイクロ植物プランクトンが優占する期間は摂取する炭素量(期間合計)の8割程度、リン量の7割程度を生食連鎖に依存する一方で、ナノ・ピコ植物プランクトンが優占する期間は微生物食物連鎖に依存している。微生物食物連鎖への依存は炭素量で6割程度、リン量で7割程度であり、炭素と比べてリンに関する依存度が高いことがわかる。鞭毛虫や繊毛虫(本モデルではあわせて原生生物としている)そして細菌は植物プランクトンと比べてリンの豊富な生物であること³⁾から、リンフローにおけるそれら生物が果たす役割はより大きいものである。また、ナノ・ピコ植物プランクトン優占期間の炭素フロー(図-5)のうち、ナノ・ピコ植物プランクトンによって固定された炭素は原生生物を経由して高次生物へ伝達されている。従属栄養性鞭毛虫の生態的地位の一つは細菌等小さな生物群と大形の動物群とを食物連鎖でつなぐ役割⁴⁾とされており、湖山池を対象としたモデル解析においてもその役割が明確に現れている。

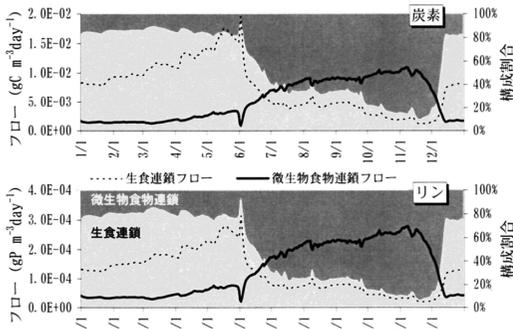


図-4 生食連鎖と微生物食物連鎖の炭素・リンフロー

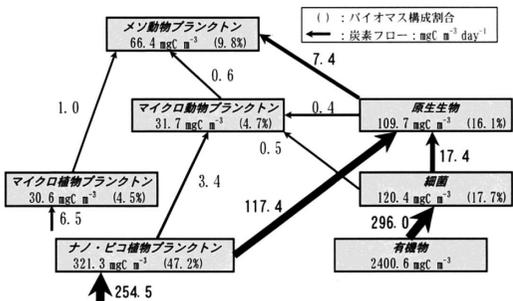


図-5 生産消費に係る炭素フロー (6月～11月平均)

(3) 栄養塩再生

各生物リン再生量(呼吸, 植物プランクトン細胞外排出)と植物プランクトンのリン摂取量を図-6に示す。主に細菌と原生生物そして植物プランクトンがリン再生を担っている。再生されたリンは, 出水により多くのリンが流入した場合(例えば6/1)を除き, 植物プランクトン生産に必要なリンのほぼ全量に相当しており, 特にナノ・ピコ植物プランクトン優占時期については, 細菌が大きく貢献している。ここで, 細菌がリン再生において重要な役割を果たす一方で, 原生生物による再生が比較的小さい。富栄養湖では細菌リン含有量が高いために捕食者である鞭毛虫からのリン排出が大きく⁵⁾, 貧栄養湖では細菌C:P比が高いために鞭毛虫リン排出が低く抑えられる³⁾とされている。解析結果から, 湖山池は富栄養状態にあるが, L-Q式により設定された流入負荷C:P比が高く(年平均120程度), また, 有機物はC:P比が比較的高い植物プランクトン由来のものが多くを占める。原生生物が捕食対象とする生物C:P比が高いために(細菌, ナノ・ピコ植物ともに160程度), リン排出を抑える機能が働いているものと考えられる。

4. まとめ

本研究では, 食物網における微生物食物連鎖の役割を考察することを目的として, 鳥取県 湖山池に対して食物網モデルを適用し, 解析を行った。

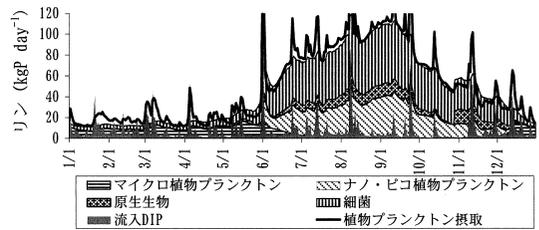


図-6 リン再生・摂取量と流入負荷量

年間での水温変化に応じて, 特に植物プランクトンの優占状態が変化, それにより上位栄養段階生物の現存が変化した。微生物食物連鎖を形成する原生生物と細菌バイオマスは, マイクロ植物プランクトン優占期間でトータルバイオマスの2割程度, ナノ・ピコ植物プランクトン優占期間で割程度を占めた。

上位栄養段階生物へのエネルギーフローは, 植物プランクトンの優占状態によって生食連鎖と微生物食物連鎖の優位性が変化した。ナノ・ピコ植物プランクトン優占期間は微生物食物連鎖からのフローが大きくなり, 特にリンについてはその重要性が増している。またそのフローにおいては下位栄養段階からのエネルギーを上位に効率的に伝達する原生生物の存在が重要である。

各生物によるリン再生量は, 一次生産に必要なリンのほぼ全量に相当し, その中でも, 細菌による再生量が多い。解析結果にみる湖山池の特徴として, 細菌等のC:P比が高いために, 原生生物からのリン排出が比較的小さい。

以上のように, バイオマス構成, エネルギーフロー, リン再生に関する微生物食物連鎖の役割を示すことができた。

謝辞: 研究の一部はJST CREST, 河川財団河川整備基金, 住友財団環境研究助成, 鳥取県環境学術研究助成の補助を受け実施したものである。ここに記し感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 木暮一啓 : 微生物ループと生食食物連鎖—その歴史的背景と近年の研究の展開について—, 日本プランクトン学会報, 46 (1), pp. 22-33, 1999.
- 2) 加藤伸悟, 増田貴則 : 微生物食物連鎖を含む概念的食網モデルの構築と細菌が食網動態におよぼす影響, 土木学会論文集 G(環境), 2014 (掲載予定).
- 3) 中野伸一 : 湖沼有機物動態における微生物ループでの原生動物の役割, 日本生態学会誌, No. 50, pp. 41-54, 2000.
- 4) 原成光 : 従属栄養鞭毛虫類, 月刊 海洋, Vol. 22, No. 1, 1990.
- 5) Vadstein O., Olsen Y., Reinertsen H. & Jensen A. : The role of planktonic bacteria in phosphorus cycling in lakes - Sink and link, Limnol. Oceanogr., 38, pp. 1539-1544, 1993.