

アオコ発生過程における Lotka-Volterra 共生モデルの適用に関する研究

佐賀大学大学院工学系研究科 ○学生会員 奥本雅紀

佐賀大学大学院工学系研究科 正会員 古賀憲一

1. はじめに

九州の一部のダムにおいて、近年アオコの突発的な発生が確認されつつも、十分な機構解明に至っていない。アオコ発生に及ぼす水温、日照条件、栄養塩濃度等については、水質モデルによる検証結果から、一部明らかになりつつも発生時期を予測できるレベルにまでは至っていないようである。アオコ形成の優占種となりやすい *Microcystis* は好気性細菌と相利共生の関係にあること¹⁾、*Microcystis* の群体は無菌状態では群体形成能が低下する²⁾などの報告がされている。筆者らも大腸菌群数の増加が *Microcystis* 増殖の誘発原因となっている可能性があることを指摘している³⁾。いずれにしても *Microcystis* の増殖に関して好気性細菌の存在は重要な位置づけにあるようである。*Microcystis* と好気性細菌が相利共生関係である事を踏まえた上で、本研究では、共生現象を再現するにあたり Lotka-Volterra 方程式を用いて、アオコ発生の予測を試みた。

2. Lotka-Volterra 方程式

生物群集のモデルとして一般的に用いられる Lotka-Volterra 方程式⁴⁾を下式に示す。

$$\frac{dh_i}{dt} = (\varepsilon_i - \sum_{j=1}^N u_{ij} h_j) h_i$$

h_i : 種の個体数 ε_i : 種 i の自然増加率 u_{ij} : 種 j から種 i への共生係数 u_{ii} : 種内共生係数

u_{ij} 及び u_{ji} は(+,+),(+,-),(-,-)でそれぞれ競争・搾取・共利と、共生係数の正負の関係によって共生関係の物理的な意味に変化が生じてくる⁵⁾。Lotka-Volterra 方程式は、相互作用による異なった個体同士の状態変化をシミュレーション出来ることから、電子機器の集積回路上の素子同士の正確な情報処理を実現させるシステムの構築⁶⁾に用いられるなど、本来の個体群生態学の枠を超えて電子工学の分野にまで幅広く用いられている。

3. 計算方法

本研究では近年突発的なアオコ発生が見られる大分県の下笠ダムを計算対象とした。下笠ダム貯水池(湛水面積 2km^2 、有効貯水容量 $52,300,000\text{m}^3$)を完全混合の一池モデルとし、日変化の水質計算を行った。本モデルで用いた Lotka-Volterra 方程式の基礎式を下式に示す。計算期間は平成 19 年及び平成 20 年の 7 月～12 月とした。

$$\text{Microcystis} \quad V \frac{dC_1}{dt} = \{f_1 \varepsilon_1 - (u_{11} C_1 + u_{12} C_2)\} C_1 V \quad (1)$$

$$\text{好気性細菌} \quad V \frac{dC_2}{dt} = \{f_2 \varepsilon_2 - (u_{21} C_1 + u_{22} C_2)\} C_2 V \quad (2)$$

V : 貯水池容量 C_1, C_2 : 個体数 f_1, f_2 : 温度補正係数 $\varepsilon_1, \varepsilon_2$: 自然増加率 u_{11}, u_{22} : 種内共生係数(自然増加率/環境収容力) u_{12}, u_{21} : 共生係数

4. 研究結果と考察

図 1 に環境庁国立公害研究所(現国立環境研究所)が行った有菌状態下での藍藻類の回分式による室内培養実験²⁾を示している。同図に Lotka-Volterra 方程式を用いて再現した藍藻類と細菌の計算値も合わせて示している。図 2 と図 3 に、それぞれ自然増加率を 0.5 倍と 2 倍に変化させ感度解析を行った結果を示している。自然増加率を 0.5 倍したものではありません。実測値が再現できず、2 倍したものは自然増加率が高くなったことから計算値が発散した。回分式の再現結果から得られたパラメータを用いて下笠ダムへの適用を試みた。図 1 において設定した自然増加率や共生係数を用いて平成 19 年の下笠ダムに Lotka-Volterra 共生モデルを適用した結果を図 4 に示す。室内実験から設定した自然増加率や環境収容力(ある環境における生物の最大量)が過大に見積もられたため実測値と計算値に乖離が生じた。発散せずに一定の値に収束していく形をとるのは、Lotka-Volterra 共生モデル内に存在するロジスティック式によるものである。図 5 に水温を考慮し、自然増加率を 0.5 倍した計算結果を示す。自然増加率を調整し水温を考慮した事により、藍藻類及

び細菌の増殖の季節変動を表現する事が出来た。図6及び図7は図5の条件に加え、共生係数を0.5倍したものである。平成19年及び平成20年共にアオコの発現に関する再現結果を得る事が出来た。今回得られた結果はアオコ発生に関する限られた実測データとの比較であり、今後再現性を確認するため他ダムへの適用を試みる必要がある。

5. まとめ

Lotka-Volterra 共生モデルを用いた平成19年及び平成20年の下笠ダムにおけるアオコ発生の再現を行った。国立公害研究所の実験結果から得られたパラメータを、本質を見失わない程度に変更して計算した結果、良好な再現結果を得ることが出来た。今後は、本研究で作成したモデルの精度向上及び他のダム等への適用が課題となる。

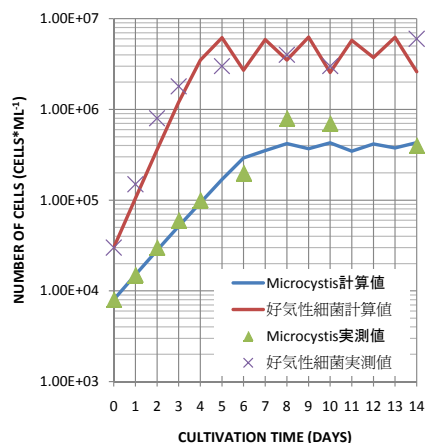


図1 Microcystis 及び共生細菌の増殖曲線

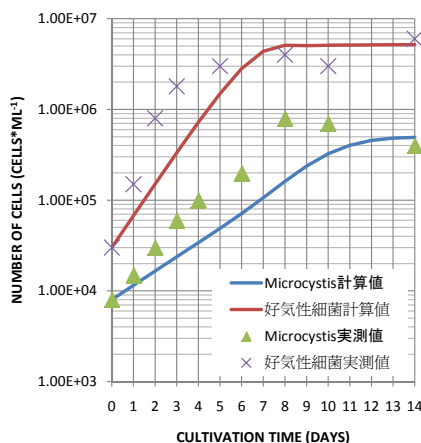


図2 自然増加率 0.5 倍

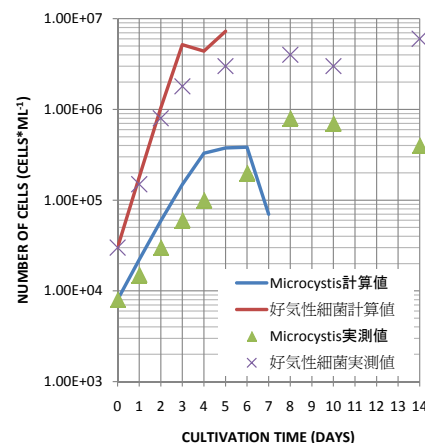


図3 自然増加率 2 倍

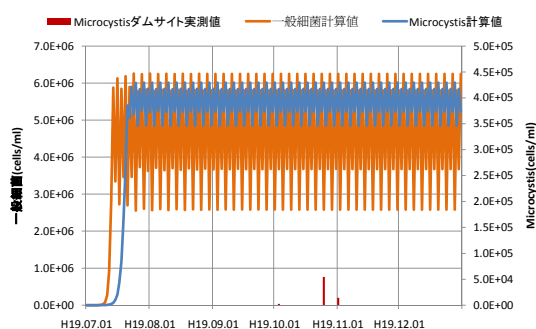


図4 設定パラメータを変えずに適用

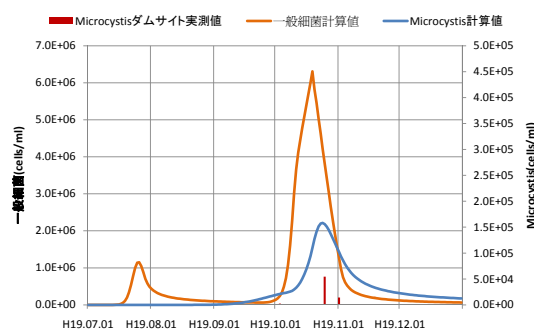


図5 水温を考慮し自然増加率を 0.5 倍

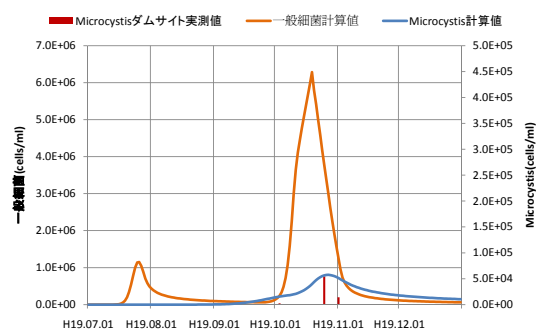


図6 共生係数を 0.5 倍 (平成 19 年)

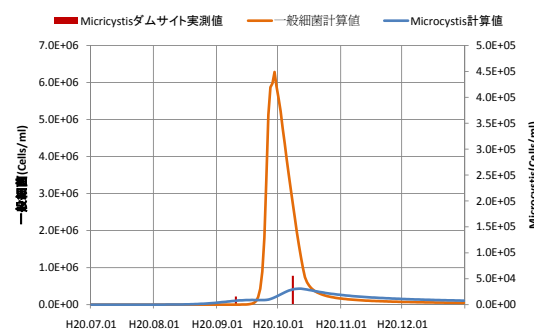


図7 共生係数を 0.5 倍 (平成 20 年)

【参考文献】

- 1) Lange, W. (1974) Enhancement of algal growth in Cyanophyta-bacteria systems by carbonaceous compounds. Can. J. Microbiol., 17, 303-314.
- 2) 環境庁国立公害研究所 (1986): 「国立公害研究所研究報告第 92 号アオコの増殖及び分解に関する研究」
- 3) 篠崎雄介 (2010): 「九州のダム等におけるアオコ発生に関する研究」 佐賀大学卒業論文
- 4) 山下貴志ら (2004): 「共生と進化現象を統合する生態系のモデル化の研究」 九州大学大学院修士論文
- 5) 大串隆之ら (2009): 「生物間ネットワークを紐とく」 京都大学学術出版会
- 6) 浅井哲也ら (1997): 「Lotka-Volterra 型競合神経ネットワークの集積回路化」 電子情報通信学会技術研究報告