

藻類のライフサイクルを考慮した水質モデルの開発

(株) 建設技術研究所 鶴田 泰士、森井 裕、守谷将史

1. はじめに

我が国の閉鎖性水域ではアオコやカビ臭が、主要な水質障害の1つとなっている。その原因となる藻類は、同一個体が休眠状態となって湖底に堆積し、一度系外に出た後、再び発芽して系内に戻り、湖内で増殖するといったライフサイクルを有していることが知られている¹⁾。近年の現地調査に基づく研究成果において、このライフサイクルがカビ臭原因藻類の増殖に重要な役割を果たしていることを示唆する結果が報告されている²⁾。

アオコやカビ臭の発生予測及び水質保全対策検討に用いられる数値解析モデルは、流動解析の主流であるオイラー型モデルに移流拡散方式を組み込む方法が一般的である。しかし、オイラー型モデルでは、個体レベルで系内外を往来するような藻類のライフサイクルを表現することはできない。

そこで、本研究では、海外の既往研究事例を参考として、藻類のライフサイクルを考慮してアオコやカビ臭現象を解析し得るラグランジュ型粒子追跡モデルを構築したので報告する。

2. 藻類ライフサイクルモデルの構築

藻類のライフサイクルのモデル化にあたっては、Hellweger らが紹介している Agent Based Model (ABM)¹⁾を参考とした。モデル化した藻類のライフサイクルの概念図は図-1 に示す通りであり、生殖細胞 (vegetative cell) と休眠細胞 (akinetes) の2種類の状態で構成される。さらに、生殖細胞・休眠細胞を含むライフサイクルを図-2 に示す5つのステージに分けて考えた。

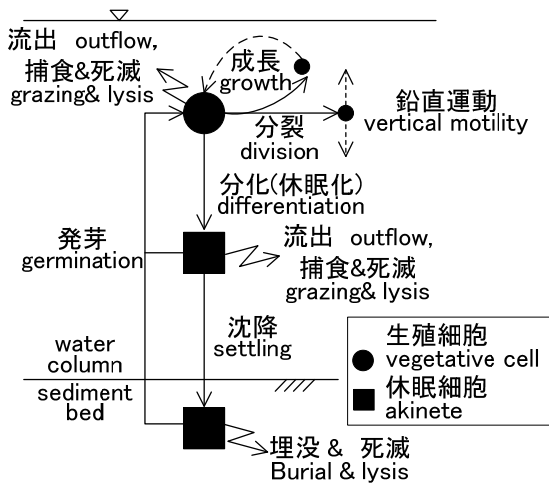


図-1 藻類ライフサイクルの概念図

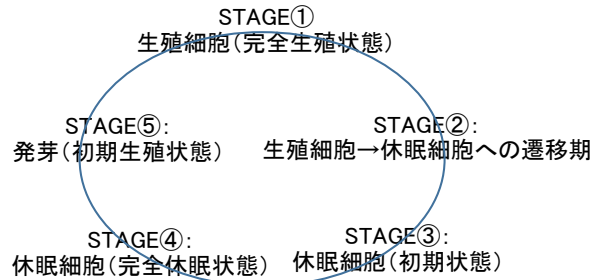


図-2 ライフサイクルの各ステージ

各ライフステージにおける光合成、呼吸、細胞分裂、栄養塩吸収、沈降、ガス胞量変化による浮上を伴う鉛直運動の有無は図-3 に示す通りとした。



図-3 ライフサイクルの各ステージと各挙動の関係

3. 現地への適用

構築した藻類ライフサイクルモデルを、オイラー型の鉛直二次元貯水池水質モデルに導入し、現地での藻類増殖現象への適用性を確認した。

(1) 水質モデルの概要

水質モデルの構造を図-4 に示す。水域の流動や主な水質項目の輸送はオイラー型モデルで解き、藻類の挙動のみラグランジュ型粒子追跡モデル (以下、ラグランジュ型モデル) およびライフサイクルモデルで取り扱った。なお、本モデルでは藻類細胞内のリン・窒素を考慮しているため、これらの挙動はラグランジュ型モデルで扱っている。藻類による無機態の取り込みや捕食や枯死に伴う栄養塩の形態変化については、図-5 に示すようにラグランジュ型モデルとオイラーモデル間でのやりとりによる質量保存が成立するようにした。

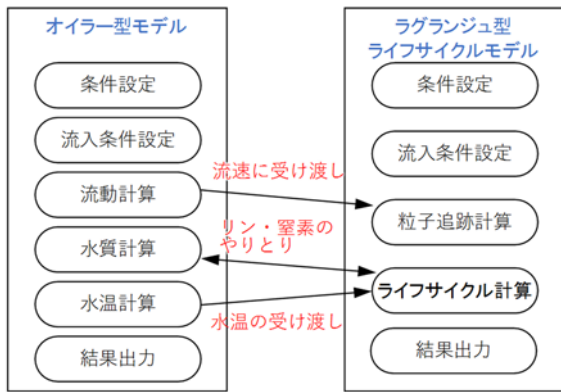


図-4 水質モデルの構造

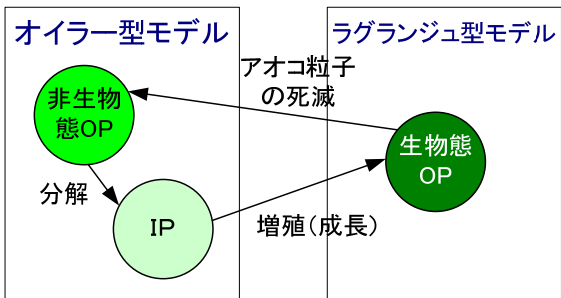


図-5 リンの形態変化の模式図

(2) 適用対象フィールドの概要と計算条件

構築した水質モデルを適用したフィールドは、貯水容量 1800 万 m³ の多目的ダム（以下、Aダム）である。当該ダムは、流域からの自然由来のリン負荷が大きいため富栄養化しており、アオコの発生頻度も高い。

モデルの水域分割は水平方向 100m、鉛直方向 1m とし、流入・放流量等の貯水池運用や気象条件は実績に基づいて設定した。また、流入水温はダム地点の日平均気温・流量との関係式に基づき日単位で設定した。流入水質は、出水時を含む水質観測結果に基づき作成した L-Q 式で設定した。藻類(クロロフィル a)は定期調査結果に基づき、一定値 (0.5 μg/L) で設定した。

(3) 計算結果

図-6 に Aダムのダムサイトにおけるクロロフィル a 濃度変化の 2ヶ年の計算結果を示す。図中には藻類増殖を従来のオイラー型モデルで扱い、藻類のライフサイクルを考慮していない計算結果も併せて示している。

オイラー型・ラグランジュ型の両モデルでは、藻類の最大増殖速度や水温・日射・栄養塩による律速条件などは共通としているが、オイラー型モデルでは、年間の変化が緩やかで、1年目の秋や2年目の夏季に見られる顕著な藻類増殖を再現するには至らない。一方、ラグランジュ型モデルでは、こうした顕著な藻類増殖の傾向を再現できている。

図-6 中には、休眠を経て発芽した藻類によるクロロフィル a 濃度を破線で示している。特に2年目の夏季に見られる藻類の顕著な増殖は、休眠を経た

藻類の割合が高い。この藻類増殖はAダムの貯水水位が EL. 260m を下回る時期に生じている。Aダムでは藻類の増殖に好条件となる季節に貯水水位 EL. 260m 未満になると休眠細胞が発芽しやすいという調査研究成果も報告されており、本研究の計算結果はこれと一致する。このように、藻類のライフサイクルを考慮したことで、Aダムでの藻類増殖をより良好に再現することができたものと考えられる。

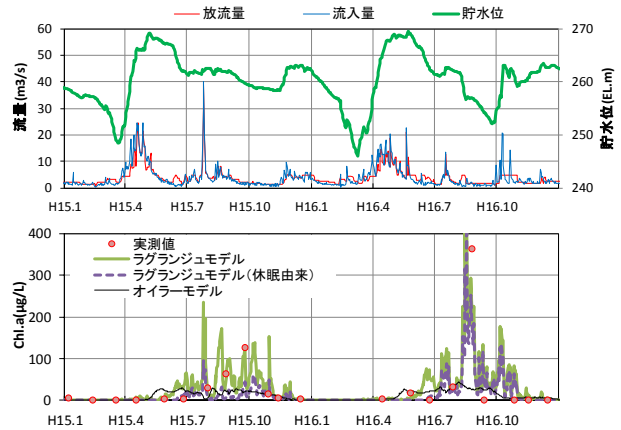


図-6 クロロフィル a 計算結果(貯水池表層)

5. おわりに

本研究では粒子追跡モデルを用いて藻類のライフサイクルを考慮した貯水池水質モデルを構築した。国内のダム貯水池での藻類現象の再現に適用した結果、藻類増殖の再現性が向上する可能性があることを確認した。本モデルは、藻類のライフサイクルを考慮することで、近年、カビ臭の発生要因とされている浅場上の底質からの藻類供給を再現することが可能であり、カビ臭現象の分析や対策手法の検討に活用することが期待できる。

ただし、現時点では、生殖細胞や休眠細胞の分布や時間的な変動についての現地データによる条件設定やモデル検証が不十分な点が課題である。今後、詳細な現地データを用いた検証を進め、モデルの精度向上を図っていきたい。

参考文献

- 1) 秋山, 有賀, 坂本, 横浜: 藻類の生態, 内田老鶴圃, 1986.
- 2) 小澤, 木村: 貯水池浅場上の底泥がカビ臭現象に与える影響に関する調査研究, . 平成 24 年度水源環境技術研究所 所報, p3-9, 2012.
- 3) Hellweger, Kravchuk, Nobotny, Gladyshev, Agent-based modeling of the complex life cycle of a cyanobacterium in a shallow reservoir : Limnol.Oceanogr., 53(4), pp.1227-1241, 2008.
- 4) 岡田: アオコの浮上・沈降とその増殖について, 環境技術, Vol.9, No.8, pp.29-31, 1980.
- 5) 水理公式集例題プログラム集: 土木学会, 2002.
- 6) 岩佐義朗: 数値水理学, 丸善, 1995.
- 7) 野村: アオコ抑制のための底泥中のアナベナ休眠細胞の発芽特性解析, 科研費研究成果報告書, 2015.