

植物プランクトンの耐暗性に関する動的モデルの開発

有限会社 環境水理研究所 正会員 ○古里 栄一

埼玉大学 理工学研究科 正会員 浅枝 隆

1. はじめに

貯水池や湖沼等の停滞性水域における水環境管理上の重要な問題として、*Microcystis*等の藍藻類が原因となり生じる水の華現象がある。曝気循環対策はこの問題に対する有効な対策の一つとして国内外を問わず実施例が多い。しかしながら経験的な適用が多く、必ずしも生態学的過程を十分配慮した上での設計・管理指針の構築までには至っていないと思われる。これは、水理学的事象に加えて、これに対する植物プランクトン群集の応答性という生態学的な事象が曝気循環装置によって生じるため、作用機作が複雑で定量化が困難であることも要因の一つであろう。従って、より効率的な本対策の設計・適用にあたっては曝気循環が惹起する物理学的並びに生態学的過程に関する定量的な理解が必要である。既に多くの水理学的(例えばAsaeda & Imberger 1993)あるいは生態学的(例えばShapiro 1990)な研究がなされているが、曝気循環流により無光層に連行された植物プランクトン群集が経験するであろう連続暗条件に対する耐性、すなわち耐暗性(小島 1988)については定量的な知見は無い。本研究は、曝気循環装置が植物プランクトン群集に与える影響を定量化するために耐暗性について検討するものであり、特に本報告では耐暗性を表現する動的モデルの構造や特性について述べる。

2. 耐暗性に関する既往知見

植物プランクトンは曝気循環という人為的な条件でなく、様々な自然環境でも連続長期暗条件を経験することがある。*in situ*における植物プランクトン個体群の競合においては、こういった不利な条件に対する耐性が重要な戦略の一つとなることから、いくつかの耐暗性の研究例(例えばDehning & Tilzer 1989)が存在する。様々な耐暗性挙動をグルーピングしてFig.1に模式図として示す。明あるいは暗の同一光条件においても増加あるいは減少といった異なった動態が生じる。これは、細胞の外部環境ではなく、細胞の内的状態が振舞いに影響を与えるためである。微生物も我々人間と同じく、時間スケールが異なるものの過去の経験の総体としての存在であることを考えれば、これは当然のことであろう。

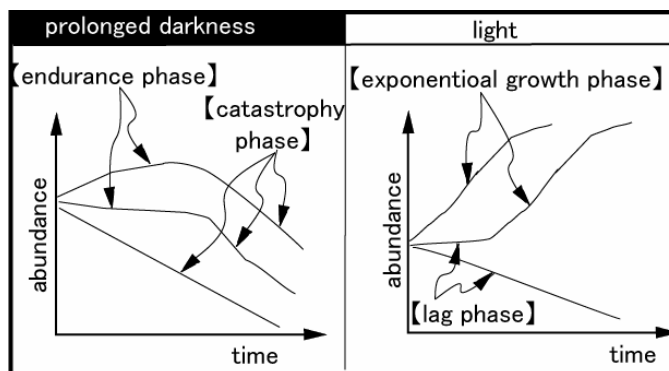


Fig. 1 Various responses of darkness tolerance of phytoplankton

3. 耐暗性モデルの開発

先に述べたような耐暗性に対する多様な応答性を動的に表現するためには、過去の光環境に対する履歴、すなわちエネルギー貯蔵量を表現する必要がある。これまでにきわめて莫大な植物プランクトンの動的モデルが開発・提案されているが、多くのモデルが採用している外部環境に対する応答性では

こういった耐暗性の表現は不可能である。また、Droopモデル等の細胞内部の表現をしているモデルにおいても、過去のエネルギー代謝を直接表現しているモデルは見当たらない。本研究で対象とする数日以上の時間スケールを対象とはしていないが、数時間スケールの光環境の履歴によりPIカーブの特性の変化を表現するphotoadaptationモデル(Geider & MacIntyre 1996)をベースとして、過去の光環境に対する履歴として細胞内のエネルギー蓄積度を表現するために、我々はFig.2に示す様に細胞内炭素の蓄積状況が細胞分裂、枯死および光合成能力を制御する耐暗性モデルを開発した。本モデルはTable.1に示すように生理的機能の異なる3分画の細胞内有機態炭素密度を状態変数とし、このうち、生合成器官に相当するIC_Eの蓄積量によってFig.2に示す様々な動態が制御されるものとした。各細胞内オルガネラの機能をこの様に単純化することは生理学的には問題もあろうが、本研究では耐暗性を表現するために最小

Table.1. 耐暗性モデルにおける細胞内コンパートメントの概要

コンパートメント	記号	主に想定する細胞内器官	特性
生合成器官	IC_E	核酸、各炭素固定酵素、機械的細胞器官	光強度に対して独立(≈ 0.6)
集光器官	IC_L	葉緑体(藍藻類においては、色素蛋白複合体)	光強度に対して負の応答(Photoadaptation)(< 0.4)
貯蔵器官	IC_R	炭水化物、脂質等	光強度に対して正の応答(過剰貯蔵)($= 0.4 - IC_L$)

キーワード：曝気循環, 水の華, 耐暗性, 動的モデル, Cell quota

住所：〒336-0023 さいたま市根岸 5-9-7

限の細胞内炭素のグルーピングとしているものである。なお、基礎式については別報(Furusato & Asaeda 2001)を参照されたい。

4. 解析結果

本モデルの解析結果の例として*Microcystis aeruginosa*のバッチ培養実験結果と解析結果の比較をFig.3に示す。連続暗条件においては、暗条件に移行後1度倍加し、その後の緩やかな減少および10日以降の急激な減少が良く表現されている。また、明条件に復帰後も、全ての暗条件ケースで直に対数増殖を開始し、同様な定常期の現存量レベルに至る変動が良く表現できることがわかる。これらはFig.2に示す細胞内炭素濃度の変動に応じて細胞分裂および枯死が制御されることにより表現可能となったものである。なお、この実験例では明条件復帰後のlag phaseは生じていないが、解析においても20日間以下の連続暗条件では生合成器官の細胞内炭素密度が $IC_{E_{thrG}}$ を下回らなかったことにより低光合成速度の状態に細胞活性が至らなかったことで表現が可能である。

5. まとめ

曝気循環対策の作用機作の理解と、効率的な現地への適用指針の構築を最終目的として、植物プランクトンの耐暗性を表現するモデルを開発した。モデルは過去の光環境に関する細胞内部のエネルギー蓄積度を評価するために、細胞内炭素のCell quotaモデルとした。このモデルに適切な生理学的パラメーターを与えることにより、曝気循環時の物理環境変化に対する植物プランクトンの応答性すなわち耐暗性を解析できることが明らかになった。なお、モデル解析におけるパラメーターの増加は一般に自由度を増すとともに恣意性が高くなるのは不可避である。しかしながら、そのデメリットが大きくなりがちな予測ではなく、自然現象の作用機作の解明を意図している本研究は、実現象に対する忠実度を高めた結果として、現在は複雑なモデルを採用しているものである。

6. 課題

本モデルは、多くの生理学的パラメーターに依存していることから、解析精度を向上させるためには呼吸速度や各種限界細胞内炭素密度、PI曲線の規定値など、代謝に関する多くの生理学的なパラメーターを明らかにする必要がある。また、曝気循環による水の華の抑制の効果としては、表層pHの低下(例えばShapiro 1990)や沈降速度の種間差異の無効化(例えばReynolds 1984)、更には主要な負荷源である流入河川水を水温躍層水深へ流入させることによる外部負荷の有光層への供給量制御(例えば丹羽ら 1996)など様々なものが指摘されている。現地において曝気循環対策を有効に計画し管理運用していく上では、これら様々な要素を含めた検討が今後必要である。

【参考文献】

- Asaeda, T. & Imberger, J. (1993) Structure of bubble plumes in linearly stratified environments, *J. Fluid Mech.*, **249**: 35-57
 Dehning, I. & Tilzer, M.M. (1989) Survival of *Scenedesmus acuminatus* (Chlorophyceae) in darkness, *J. Phycol.* **25**: 509-515
 Furusato, E. & Asaeda, T. (2001) Darkness tolerance of phytoplankton, 第9回世界湖沼会議発表文集, Session3-1: 321-324
 古里栄一・浅枝隆・福渡隆(2001)淡水植物プランクトンの耐暗性について, *水環境学会誌*, **24**: 27-34
 Geider, R. J. & MacIntyre, H. L. (1996) A dynamic model of photoadaptation in phytoplankton, *Limnol. Oceanogr.* **41**: 1-15
 小島貞男(1988) 富栄養化対策としての湖水人工循環法—その原理と実績—, *日本水処理生物学会誌*, **24**: 9-23
 丹羽薫・久保徳彦・福渡隆・古里栄一(1996) 流動制御によるダム水質保全対策効果のシミュレーションによる検討, *水工学論文集*, **40**: 19-24
 Reynolds, C. S. (1984) The ecology of freshwater phytoplankton, Cambridge University Press, Cambridge
 Shapiro, J. (1990) Current beliefs regarding dominance by blue-greens: The case for the importance of CO_2 and pH, *Verh. Int. Verein. (theor. angew.) Limnol.* **24**: 38-54

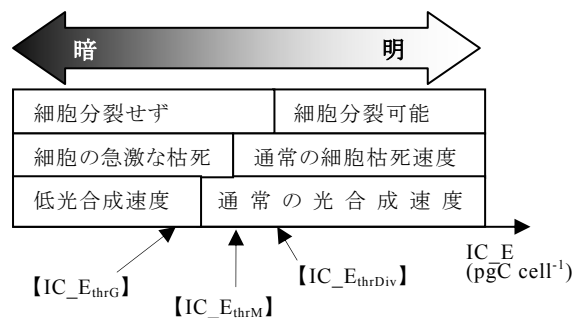


Fig. 2. 細胞内炭素密度による細胞動態の制御

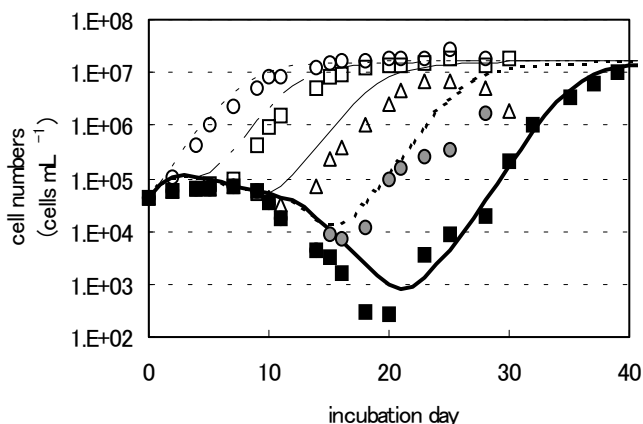


Fig. 3. 0~20 日の連続暗条件および明条件復帰後の*Microcystis aeruginosa*のバッチ培養実験結果(古里ら 2001)とその解析例(プロット: 実測値, ライン: 解析値)