

藍藻類発生環境としての成層強度に関する複数指標の比較

東京電機大学 理工学部 正会員 古里 栄一
 埼玉大学大学院理工学研究科 正会員 浅枝 隆
 東京電機大学 理工学部 正会員 有田 正光

1. はじめに

曝気循環対策は富栄養化貯水池における藍藻類の増殖抑制対策として有効な手法であり、適用例も多い。ただし合理的な管理運用のためには、藍藻類が増殖できる環境条件の指標が必要である。近年は運用管理指標として、成層強度が使用されることが多い(例えば大阪府 2008, 小川・渡辺 2009)。現地データから、成層強度がある一定値を下回れば藍藻類が発生しないことが確認されている(例えば古里ら 2003, 国土交通省 2005)。こうした成層強度の指標としては水温勾配や浮力周波数が用いられている。これらは基本的には同じ水理条件に相当すると考えられるが、定量的な対応関係については明らかではない。とりわけ密度と水温の関係は非線型であるために、水温勾配と成層強度の関係は、水温によって変化する。したがって、水温レベルの違いを考慮した両指標の関係が明らかになると、水質保全の実務において有効であろう。本報告は、曝気循環施設の運用指標あるいは藍藻類の発生環境として成層強度を用いる上での、水温勾配と浮力周波数との関係を考察したものである。

2. 成層強度の概要

アオコを形成する藍藻類が競合戦略において安定成層を必要とすることは、古くから多くの指摘がある(例えば Reynolds 1988)。特に、混合水深に関する理論は古くから存在する。しかしながら、混合水深はいわば概念上の「理想状態」であり、現実には、どういった

水理状態であるかが植物プランクトンの動態では重要である。とりわけ浮遊性の強い藍藻類の増殖においては、生態学的な発生環境指標としての成層強度が重要である。こうした観点から密度流の基本パラメーターの一つである成層強度を生態学的な指標としてはじめて用いたのはReynolds(1988)である(表1)。その後、表1に示すように、曝気循環対策による効果指標として我が国で多く適用されている。なお曝気循環対策が日本より古くから数多く実施されている海外においては、こうした指標を用いている例は見あたらない。

2.1 浮力周波数

式1に浮力周波数を示す(有田 1998)。表1の数値の算定にあたっては、対象とする層厚の平均的な値として、表層と任意の水深の密度が用いられている。

$$N^2 = \frac{g}{r_0} \frac{dr}{dz} \tag{1}$$

ここに、 g :重力加速度[m/s²]、 r_0 :基準密度[g/cm³]、 r :密度[g/cm³]、 z :水深[m]である。

2.2 水温勾配

式2に水温勾配(国土交通省 2005)を示す。

$$K = \frac{(T_1 - T_2)}{(D_1 - D_2)} \tag{2}$$

ここに、 K :水温勾配[°C/m]、 T :水温[°C]、 D :水深[m]。添え字の1は表層を、2は深部を示す。表1に示すとおり表層と3mの水温が用いられることが多い。

表1 藍藻類発生限界の成層強度値の事例

指標	数値	水深 ^a	対象水域	対象藻類	出典
浮力	5 × 10 ⁻⁴	-	特に定義せず	Sタイプ植物プランクトン ^b	Reynolds (1988)
周波数 [s ⁻²]	10 ⁻³	5	土師ダム	Microcystis sp.	古里ら (2003)
	10 ⁻⁴	15 ~ 20	釜房ダム	Phormidium sp.(PC type)	
	5.0 × 10 ⁻⁴	5	Aダム	Microcystis sp.	梅田ら (2006)
	3.5 × 10 ⁻⁴	5	Bダム	Microcystis sp.	
	8.0 × 10 ⁻⁴	5	Cダム	Microcystis sp.	
	4.0 × 10 ⁻⁴	5	Dダム	Microcystis sp.	
	5.0 × 10 ⁻⁴	5	Eダム	Phormidium sp.	
	10 ⁻⁴	10	3ダム(TK, KS, TRダム)	Microcystis sp., Phormidium sp.	後藤ら (2008)
水温 勾配 [°C/m]	0.5	3	複数 国内ダム	Microcystis sp., Anabaena sp., Phormidium sp.	国土交通省(2005)
	0.5	3	複数(約10) 国内ダム	Microcystis sp., Anabaena sp., Phormidium sp.	Nagayoshi et al. (2006)
	0.5	3	阿木川ダム	Microcystis sp., Anabaena sp.	小川・渡辺 (2009)

^a 浮力周波数および水温勾配の算定水深の内、深部側の水深[m]を示す。表層は、全データにおいて0.1mである。

^b Microcystis, Volvox, Peridinium 等の、生活形が大型であるとともに増殖速度の遅いタイプの植物プランクトンである。

キーワード 成層強度, 浮力周波数, 水温勾配, 藍藻類, 曝気循環対策 連絡先 〒350-0394 埼玉県比企郡 鳩山町石坂 東京電機大学理工学部 TEL048-858-3123 E-mail :furusato@ah8.mopera.ne.jp

3. 指標値に関する事例

これらの成層強度を用いた事例を表 1 に総括して示した。浮力周波数は、概ね 10^{-3} から 10^{-4} [s^{-2}] が藍藻類の発生環境限界として報告されている。一方水温勾配については、3 例共に 0.5 [$^{\circ}C/m$] である。これは、対象水深が全て $3m$ であることに加えて、国土交通省のマニュアル(国土交通省 2005)でこの数値が掲載されていることから、追従する作用が働いていることも要因であると考えられる。

これらの 2 指標は基本的には同じ水理条件を異なった数値で表現しているはずであるが、これまでに両指標の等価性について検討された事例は見あたらない。とりわけ、水温と密度の非線型性を考慮すれば、水温レベルに応じた浮力周波数と水温勾配との関係の変化が想定される。こうした観点から、これらの関係に関する簡易な考察を行った。

4. 浮力周波数と水温勾配との関係検討

4.1 水温勾配

水温勾配は現地で生じる可能性があり、かつ表 1 に示す藍藻類発生限界の 0.5 [$^{\circ}C/m$] をカバーする範囲とした。

4.2 浮力周波数

水温勾配に対応する浮力周波数は以下の方法で算定した。まず、水温レベルとして、現地での藻類の発生範囲として、5 から 30 まで 5 ピッチで設定した。次に、これらが水温鉛直分布における深部の水温である(WT0)と仮定した上で水温勾配に応じた表層水温を設定し、それぞれの密度から浮力周波数を算定した。密度はクヌーセン式を用いて水温から算定した。なお、本検討では水深 10m の場合を試算したが、3m であってもほとんど変わらないことを付記する。

4.3 浮力周波数と水温勾配との関係

図 1 に、複数の水温レベルにおける浮力周波数と水温勾配の関係を示す。水温が 20 以上の場合には、水温によらずに浮力周波数と水温勾配の関係はほぼ一定である。これは、水温と密度の関係が、水温 20 以上においてはほぼ線型であることによると考えられる。例えば、水温勾配 0.5 [$^{\circ}C/m$] は浮力周波数では約 10^{-3} [s^{-2}] に対応する。表 1 より、成層強度の算出深度を浅くとした場合には藍藻類の出現境界となる成層強度が大きくなる傾向があることを考慮すれば、表 1 に示した浮力周波数と水温勾配の値は 20 以上では同様な水理条件を示していると考えられる。

一方、水温が 15 以下では、両指標の関係性は水温に応じて異なる傾向がある。したがって、15 以下の条件では、同じ水温勾配値であっても密度差としては 20 以上の場合とは異なることになる。

5. まとめ

藍藻類の発生環境としての成層強度に関する事例を整理した。密度成層の強さを表現するならば、水理学的な観点からは浮力周波数の方が正確である。ただし、20 以上ならば水温勾配と浮力周波数の関係は一定であることから、夏季を中心に高温条件で発生する傾向のある *Microcystis* や *Anabaena* の発生条

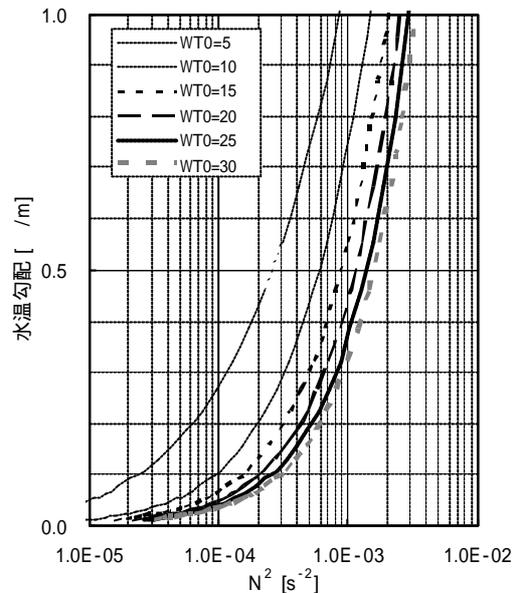


図 1 異なる水温条件における浮力周波数と水温勾配との関係 (z=10m)

件としては、いずれの指標を用いても実用上の問題はないと考えられる。一方、水質障害を引き起こす藍藻類としては、必ずしも夏季が発生の中心ではない *Phormidium* による異臭味現象もある。こうした藍藻類について評価する場合には、水温勾配の使用にあたっては注意が必要であろう。なお、いずれの指標を使用するとしても、表 1 に整理した成層強度がどういった水理的状态に相当するのかについて、藍藻類の生理生態学的な特性も考慮した今後の研究が必要である。

【参考文献】

有田正光(編著) (1998) 水圏の環境, 東京電機大学出版局
 古里栄一・浅枝隆・須藤隆一 (2003) アンテナ色素の吸光特性に基づく藍藻類の光学および水理学的発生条件に関する現地データを用いた考察 アンテナ色素・浮力周波数仮説, 水環境学会誌, 26, 285-293.
 後藤浩一・古里栄一・浅枝隆 (2008) 藍藻類の増殖抑制効果に対する曝気循環対策の施設規模の影響土木学会水理委員会, 水工学論文集, 52, 1285-1290.
 国土交通河川局 (2005) 曝気循環施設及び選択取水設備の運用マニュアル(案), 平成17年10月版, 146pp
 Nagayoshi, G., Umeda, M., Izumi, Y and Okano, M.: (2006) A study on the operation of an aeration destratification system as a measure for controlling algal bloom and musty odors, *International Conference on Large Dams (ICOLD) Congress*, Barcelona.
 小川浩・渡辺稔 (2009) 曝気循環装置による貯水池水質保全対策 ~ 阿木川ダムでの事例 ~, ダム技術, No. 271, 35-50.
 大阪府 (2008) 安威川ダム自然環境保全対策検討委員会第3回水質部会, 37p.
 Reynolds, C.S. (1988) Functional morphology and the adaptive strategies of freshwater phytoplankton, in "Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton" (Ed. G.D. Sandgren), pp.388-433, Cambridge University Press, Cambridge.
 梅田信・古里栄一・浅枝隆 (2006) 富栄養化したダム湖におけるアオコ発生指標としての水温成層安定性, ダム工学, 16, 269-281.