

水上太陽光パネルの有無がため池内のクロロフィル a 濃度に与える影響の分析

中央大学大学院 学生会員 ○宮内 和樹
中央大学 正会員 小山 直紀

中央大学大学院 学生会員 星野 成美
中央大学研究開発機構 フェロー会員 山田 正

1. はじめに

ため池とは、主に農業（灌漑）用水を確保するために人工的に造成された取水設備を備えた池であり、我が国には約 15 万 4,000 か所のため池が存在する¹⁾。ため池は農業用水の水源施設としての役割を果たすだけでなく、近年ではカーボンニュートラルを目標とする動きに付随して、池の上に浮体式太陽光発電パネル（以下、FPV：Floating Photovoltaic）を置く発電の導入が期待されている²⁾。環境省からも「農業用ため池における水上設置型太陽光発電設備の設置に関する手引き」³⁾が発行され、発電設備設置者がため池に FPV の設置を検討する際の留意点がまとめられ、今後 FPV が全国のため池に広がっていくと想定される。

一方でため池周辺の混住化の進展に伴い、生活雑排水がため池に直接流入することにより、富栄養化の原因となり植物プランクトンの大増殖による魚類へのい死、景観の悪化や悪臭を引き起こす事例が報告されている²⁾。そのようなため池では FPV を設置することによりため池に到達する日射量を減少させ、植物プランクトンの増殖を抑制できると考えられる。そこで本研究は FPV を設置した場合と設置していない場合の日射量の違いによる水質諸量について生態系モデルを用いて数値計算を行い、植物プランクトンの増殖へ与える影響について定性的に評価することを目的とする。

2. 数値計算の概要と検証方法

計算では水深3m、約130m四方（容量：50,000m³）の仮想のため池を用いて計算を行った。対象期間は2021年5月1日～10月31日の6か月間とし、最初の1か月は助走計算とした。植物プランクトンが最も増殖しやすい場合を考え、降雨を含め池への流入・流出は考慮していない。また、植物プランクトンの成長に必要な栄養素である窒素・リンを除く鉄、ケイ素などは十分にあるとした。計算に使用した基礎式を(1)～(11)に示す。これらを用いて1日ごとに水質諸量を求めた。FPVがある場合は、被覆率に応じて日射が当たる池と当たらない池に1つの池を仮想的に分け、それぞれで計算を行った。なお、2つに分けた池間の物質移動は行われずとし、FPV被覆率に応じて重み付き平均した値を各時刻における水質濃度とした。それらを次のステップの計算に用いることで、FPV設置の有無を表現した。図-1に入力データの日平均水温と日射量を示す。これらは、関東近郊で1日

ごとのデータが入手可能である気象庁東京観測所の日射量と、霞ヶ浦麻生沖の水温である。

●植物プランクトン（Chl-a）

$$\frac{dC_i}{dt} = P_{ri}(1-\varepsilon) - K_{ri}C_i - K_{di}C_i - K_{ei}C_i - K_gZ - \frac{v_{pi}C_i}{h} \quad (1)$$

$$P_{ri} = r_{maxi} \frac{N_i}{N_i + K_N} \frac{P_i}{P_i + K_P} \frac{I}{I_{opt}} \exp\left(1 - \frac{I}{I_{opt}}\right) \frac{T}{T_{opt}} \exp\left(1 - \frac{T}{T_{opt}}\right) C_i \quad (2)$$

●COD

$$COD = C_0 + \alpha_{coc} C_i \quad (3)$$

$$\frac{dC_o}{dt} = -\gamma_{Co}C_o - \frac{v_{Co}C_o}{h} + \frac{R_{Co}}{h} + \alpha_{coc}(K_dC_i + P_{ri}\varepsilon) \quad (4)$$

●全窒素（T-N）

$$TN = N_o + N_i + \frac{\alpha_{coc}}{\alpha_{con}} C_i \quad (5)$$

$$\frac{dN_o}{dt} = \frac{\alpha_{coc}}{\alpha_{con}} (K_dC_i + P_{ri}\varepsilon) - \gamma_{No}N_o - \frac{v_{No}N_o}{h} \quad (6)$$

$$\frac{dN_i}{dt} = \frac{\alpha_{coc}}{\alpha_{con}} (K_rC_i - P_r) - \gamma_{Ni}N_i + \gamma_{No}N_o + \frac{R_{Ni}}{h} \quad (7)$$

●全リン（T-P）

$$TP = P_o + P_i + \frac{\alpha_{coc}}{\alpha_{con}\alpha_{np}} C_i \quad (8)$$

$$\frac{dP_o}{dt} = \frac{\alpha_{coc}/\alpha_{np}}{\alpha_{con}} (K_dC_i + P_{ri}\varepsilon) - \gamma_{Po}P_o + \frac{v_{Po}P_o}{h} \quad (9)$$

$$\frac{dP_i}{dt} = \frac{\alpha_{coc}/\alpha_{np}}{\alpha_{con}} (K_rC_i - P_r) + \gamma_{Po}P_o + \frac{R_{Pi}}{h} \quad (10)$$

●水温依存性

$$K_i = K_{20} \exp(a(T-20)) \quad (11)$$

ここに、 C_i : 植物プランクトン（藍藻類、緑藻類、珪藻類）のChl-a濃度、 t : 時間、 P_{ri} : 植物プランクトンの光合成量、 ε : 植物プランクトンの分泌量/光合成量、 K_r : 植物プランクトンの呼吸速度、 K_d : 植物プランクトンの枯死速度、 v_{pi} : 植物プランクトンの沈降速度、 h : 水深、 P_{ri} : 植物プランクトンの光合成量、 r_{maxi} : 植物プランクトンの最大比増殖速度、 N_i : 無機態窒素濃度、 K_N : 窒素の半飽和定数、 P_i : 無機態リン濃度、 K_P : リンの半飽和定数、 I : 日射量、 I_{opt} : 最適日射量、 T : 水温、 T_{opt} : 最

キーワード ため池、浮体式太陽光発電パネル（FPV）、水質モデル、クロロフィル a 濃度

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学 TEL: 03-3817-1621 E-mail: a17.7w4m@g.chuo-u.ac.jp

適水温, COD : COD濃度, CO : 非生物態COD濃度, α_{COC} : 植物プランクトンのCOD/Chl-a, γ_{Co} : 非生物態CODの分解速度, v_{Co} : 非生物態CODの沈降速度, R_{Co} : 非生物態CODの溶出速度, TN : T-N濃度, N_0 : 非生物態有機態窒素濃度, α_{CON} : 植物プランクトンのCOD/窒素, γ_{No} : 非生物態有機態窒素濃度の分解速度, v_{No} : 非生物態有機態窒素濃度の沈降速度, γ_{Ni} : 脱窒速度定数, R_{Ni} : 無機態窒素の溶出速度, TP : T-P濃度, P_0 : 非生物態有機態リン濃度, α_{NP} : 植物プランクトンの窒素/リン, γ_{Po} : 非生物態有機態リン濃度の分解速度, v_{Po} : 非生物態有機態リン濃度の沈降速度, R_{Pi} : 無機態リンの溶出速度である. 水温の上昇にともなって生物の活性が高まり, 温度が 10°C 上がると(極端な低温または高温の場合は別として), 生物の活性が2倍になることが知られているため, 以下の9種類の速度(K_r , K_d , R_{Co} , γ_{Co} , γ_{No} , γ_{Ni} , R_{Ni} , γ_{Po} , R_{Pi})は水温依存性を考慮し, 温度変化を考慮した式(11)を用いた. 初期値は実際のため池の観測値から適当な数字を用い, 計算に用いたパラメータは既往研究⁴⁾を参考にした.

3. 計算結果および考察

図-2にクロロフィルa濃度の計算結果を示す. 赤線で示すのがFPVがない場合であり, 青色に近づくにつれFPVによる池の被覆率を3割, 5割, 7割と増加させている. これよりFPVの被覆率によらずクロロフィルa濃度は6月から9月の中旬頃までの日平均水温が上昇し, 藍藻類の最適水温(30°C)付近を推移しなくなるまで増加し, その後減少に転じることが分かった. 図-3より日平均水温を藍藻類の最適水温に固定させた場合は, クロロフィルa濃度が減少に転じないのに対して, 日射量を固定させた場合は9月中旬に減少することから, 植物プランクトンは日射量と比較して日平均水温の影響を強く受けることが考えられる. また, FPVの被覆率を3割, 5割, 7割と増加させると, 計算期間全体を通じてクロロフィルa濃度を低下させる効果が強まることを確認でき, ピーク値でそれぞれ約15%, 30%, 50%抑えられる可能性を明らかにした.

4. まとめと今後の展望

本研究では, 仮想のため池におけるFPV設置の有無がクロロフィルa濃度に与える影響について生態モデルを用いて計算した. その結果, FPVの池の被覆率にかかわらず, クロロフィルa濃度は水温の影響を受けて9月中旬頃まで増殖を続け, その後減少に転じることが分かった. また, FPVの池の被覆率が3割, 5割, 7割と増加するにつれてクロロフィルa濃度の増加する速さは鈍化し, ピーク値でそれぞれ約15%, 30%, 50%抑えられる可能性が高いことを明らかにした.

今後は降雨や周辺河川の流入・流出, 水深の変化, 池構造, FPVによる水温の変化などを考慮することで, よ

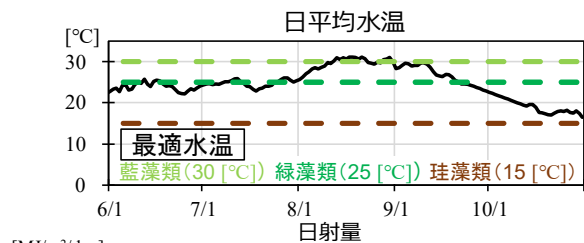


図-1 入力データ (日平均水温, 日射量)

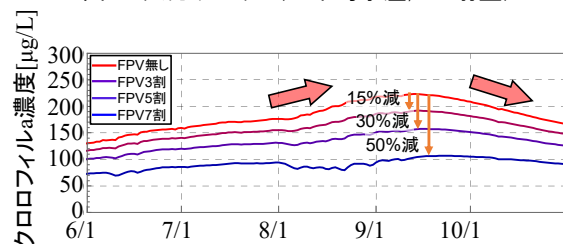


図-2 クロロフィルa 計算結果

FPVによる池の被覆率が増加するにつれて
クロロフィルa濃度が増加する速さが鈍化する

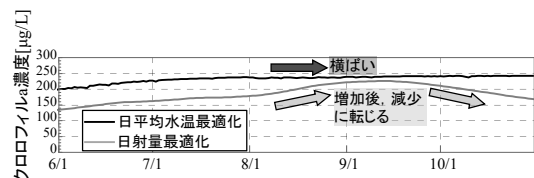


図-3 日平均水温と日射量を藍藻類の最適水温と最適日射量にした計算結果 (FPV無し)

り現実に近い条件での計算を行い, 根本的な水質悪化の原因を分析することでFPVの有無による周辺水域への影響を明らかにしていくほか, 効果的な水質改善手法の検討に役立てていく所存である.

参考文献

- 1) 農林水産省, 「ため池」令和3年11月1日更新
- 2) 内閣官房 国・地方脱炭素実現会議, 「地域脱炭素ロードマップ」
- 3) 高橋順二, 白谷栄作, 吉永育生: 我が国の農業用ため池特性と水質の関係について, 農業土木学会論文集 No. 199, pp107-118, 1999.
- 4) 農業用ため池における水上設置型太陽光発電設備の設置に関する手引き, 農林水産省農村振興局, 令和3年9月.
- 5) 柿沼太貴: 閉鎖性水域における藻類増殖能力に内在する不確実性を考慮した押出し効果によるアオコの浄化手法に関する研究, 2018年中央大学博士論文.