

水温と栄養塩濃度が藻類種間競争に及ぼす影響

東北大学工学部 学生会員 ○進藤美希

東北大学工学研究科 正 会 員 野村宗弘

東北大学工学研究科 正 会 員 坂巻隆史

東北大学工学研究科 正 会 員 西村 修

1. はじめに

珪藻とはケイ酸質の被殻に覆われている藻類のグループである。珪藻は、必須脂肪酸である EPA を多く含むため、自身では合成できない動物にとって栄養的価値が高く、生態系の中で重要な役割を担っている¹⁾。

しかし、近年は気候変動による水温上昇や、人間活動による富栄養化、およびケイ素の流下の減少²⁾などにより、水環境における珪藻の生育環境の悪化が懸念されている。

そこで本研究では、珪藻と藍藻の競争に及ぼす水温および Si 濃度の影響をモデル化し、様々な条件下での藻類の競争をシミュレーションすることで、気候変動およびシリカ欠損が藻類に及ぼす複合影響を解析した。

2. 藻類の増殖のモデル化

2.1 モデル式

ある時間 Δt での藻類バイオマスの増殖の式は次式で表される。

$$\frac{(B+\Delta B)-B}{(t+\Delta t)-t}=\mu B$$

(1)

また、栄養塩の収支式は次式で表される。

$$\Delta B \times G + \Delta C \times V = (C_{in} - C)DV$$

(2)

ここで、 B ：藻類の細胞数、 μ ：比増殖速度、 C ：水中の栄養塩濃度、 V ：培養液の体積、 G ：単位細胞あたり栄養塩摂取量、 C_{in} ：流入栄養塩濃度である。数学的な扱いを簡単にするために、細胞数は連続な値をとるものと仮定し、式(1)と式(2)を微分方程式で表すと式(3)、式(4)が得られる。

$$\frac{dB}{dt}=\mu B$$

(3)

$$\frac{dC}{dt}=-\frac{G}{V}\mu B+(C_{in}-C)DV$$

(4)

藻類の増殖項は水温、水中光度、ならびに栄養塩濃度に依存するものとして次式で表される。

$$\mu=\mu_{max}\cdot f_T\cdot f_I\cdot f_N$$

(5)

ここで、 μ_{max} ：藻類の最大比増殖速度である。水温の制限因子 f_T 、栄養塩濃度による制限因子 f_N は、 T ：水温、 T_{opt} ：最適水温、 K_N ：栄養塩摂取に係る半飽和定数とすると、

$$f_T=\left\{\frac{T}{T_{opt}}\exp\left(1-\frac{T}{T_{opt}}\right)\right\}^2$$

(6)

$$f_N=\frac{C}{K_N+C}$$

(7)

と表される³⁾。今回は光強度による制限因子 f_I は考慮せず 1 とした。

2.2 パラメータ

計算に用いたパラメータは以下の通りである。

表 1. 藻類増殖のパラメータ

	珪藻	藍藻	備考
G_{Si} ($\mu\text{g/cell}$)	2.05×10^{-6}	0	実験結果 ⁴⁾
G_N ($\mu\text{g/cell}$)	3.0×10^{-6}	3.0×10^{-6}	同値と仮定
T_{opt} ($^{\circ}\text{C}$)	20.0	30.6	既往研究 ⁵⁾
μ_{max} (/day)	0.8	0.8	既往研究 ⁶⁾
K_{Nsi} (mg/L)	0.63	0	実験結果 ⁴⁾
K_{NN} (mg/L)	0.05	0.05	同値と仮定

2.3 珪藻の単独培養のシミュレーション

珪藻の単独培養の実験データ⁴⁾をシミュレーションし、計算結果を比較した。ここで、珪藻の単独培養実験は、初期細胞数 $B_0=4.2\times 10^7(\text{cells})$ 、培養は回分式で $V=100(\text{mL})$ の培地の Si 濃度を変化させて行ったので、培養液の初期 Si 濃度は $C_{Si,0}=4.93, 9.86, 19.7, 29.55(\text{mg/L})$ として計算を行った。

2.4 珪藻と藍藻の 2 者培養のシミュレーション

連続培養条件での珪藻と藍藻の競争をシミュレーションし、各水温と Si 濃度の流入条件による優占種の変

遷を調べた。連続培養においては、流入条件を V_{out} : 培養液の1日の流出量として、 $V_{out}/V=0.01$ (/day)の条件で計算した。また、初期条件は $C_{Si,0}=5,10,15,20,25,30$ (mg/L), $C_{N,0}=1.0$ (mg/L)とし、流入する Si 濃度、N 濃度はそれぞれ初期値と同じ値に設定した。優占率は、ほぼ定常である 1000 日目の全体の藻類の細胞数における珪藻の細胞数の割合として算出した。

3. 計算結果および考察

3.1 珪藻の単独培養

藻類の単独培養における増殖の計算結果と実験データを図1に示した。いずれの系も計算結果は実験結果よりも大きい値を示した。誤差の原因として、実験において設定した Si の初期濃度が実験期間中に析出して一定を保たなかったことが考えられる。そこで、本研究では藻類細胞が含有するケイ素濃度を分析した値 $K=2.05 \times 10^{-6}$ ($\mu\text{g}/\text{cell}$)を用いて以後の計算を行った。

3.2 珪藻と藍藻の2者培養

各水温と Si 濃度で藻類間の競争のシミュレーションを行った結果を図2に示した。Si 濃度が 15mg/L 以下の場合、水温に関わらず藍藻が優占した。水温 20℃、Si 濃度 25mg/L のとき珪藻の優占率は 0.5 を超えた。Si 濃度が 20mg/L のときは水温 17℃以下で珪藻が優占した。

水温 21℃のとき、Si 濃度が 5mg/L 小さくなると優占率は 0.1 低下する。Si 濃度が 20mg/L のとき、水温が 2.5℃上がると優占率は 0.1 低下する。今回は滞留時間を 100 日として計算を行ったが、滞留時間が長くなるほど Si 濃度の影響が大きくなり、珪藻の優占率が低下する結果も得られている。湖沼の生態系に及ぼす水温と栄養塩濃度の影響についてはさらなる検討が必要である。

4. おわりに

Si 濃度の低下と水温の上昇が優占率の低下を引き起こすことがわかった。シリカ欠損と地球温暖化が珪藻におよぼす影響は、今後さらに大きくなることも予想されるため、シミュレーションの精度を向上させたい。

5. 謝辞

本研究の一部は、厚生労働科学研究費(H30-健康一般-004)の助成によって行われた。

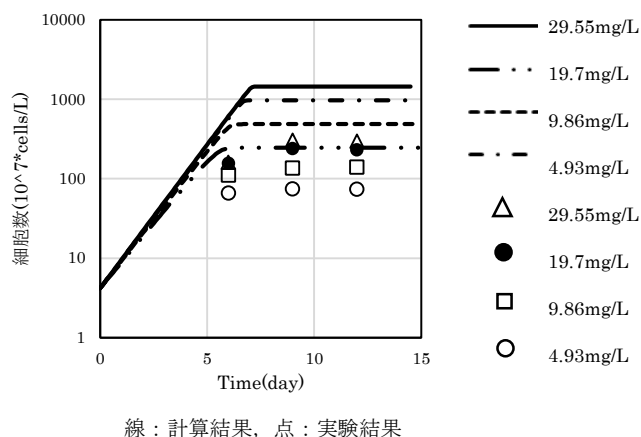


図1.珪藻の回分培養における増殖の実験結果と計算結果の比較

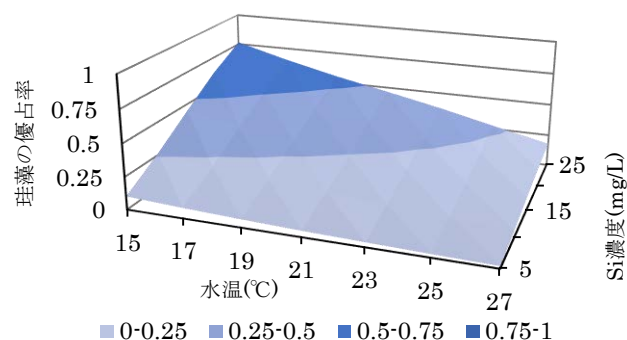


図2.シミュレーション結果($V_{out}/V = 0.01$)

参考文献

- 1) M.T. Barrett et al (2009) : Lipid in Aquatic Ecosystems, Springer
- 2) Humborg et al (1997) : Effect of Danube River Dam on Black Sea biogeochemistry and Ecosystem Structure, Nature, 386:385-388
- 3) 堂馬ら (2010) : 複数種構成を考慮に入れた水質予測モデルによる富栄養化貯水池のクロロフィル a と栄養塩の動態特性, 九州大学大学院農学研究学院学芸雑誌, 65 : 73-89
- 4) 大和田 (2019) : 環境中の Si 濃度が珪藻の脂肪酸組成に与える影響, 東北大学卒業論文
- 5) Nally, JO (2018) : Temperature effects on growth rates and fatty acid content in fresh water algae and cyanobacteria, ALGAL RESEARCH-BIOMASS BIOFUELS AND BIOPRODUCTS, 35:500-507
- 6) 高橋ら (2012) : 窒素制限下における藍藻類 *Microcystis aeruginosa* および珪藻類 *Cyclotella* sp. の増殖および競合特性, The Japanese Journal of Phycology (Sôru), 60:1-8