

Microcystis aeruginosaとPlanktothrix agardhiiの

鉄制限時における増殖モデル

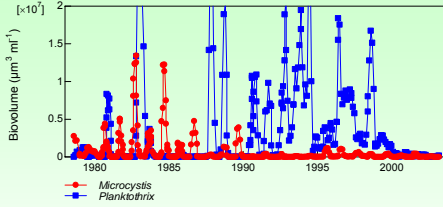
永井孝志,^{1*} 今井章雄,² 松重一夫,² 福島武彦¹

¹ 筑波大学・生命環境科学研究科 ² (独)国立環境研究所 *e-mail: nagai@ies.life.tsukuba.ac.jp



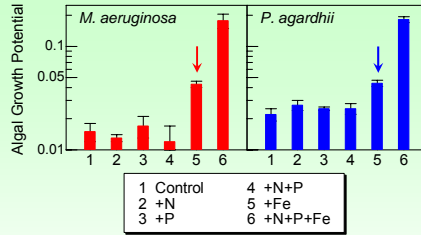
霞ヶ浦における藻類と鉄

● 霞ヶ浦におけるシアノバクテリアの長期的密度変化



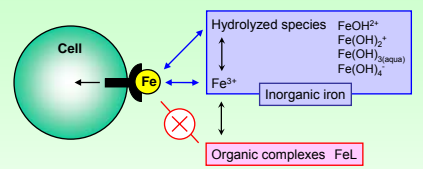
2000年以降シアノバクテリアがあまり増えなくなった

● 霞ヶ浦湖水を用いた培養実験 (2004年8月)



窒素、リンよりもまず鉄が制限物質となっている

● 陸水中における鉄とその存在形態 鉄の存在形態が生物利用性に大きく関わる



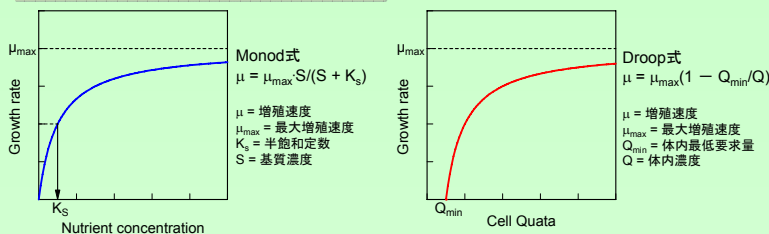
霞ヶ浦湖水中の溶解鉄は、99.9%以上が有機態である Nagai et al. (2004) Limnology

藻類の優占メカニズムの解明

鉄制限時の藻類の詳細な増殖特性の把握
鉄の形態と取り込み過程を含めた増殖のモデル化

連続培養実験

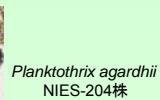
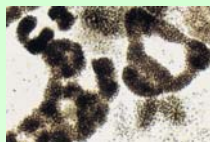
鉄制限時の増殖特性の定量化と増殖のモデル化



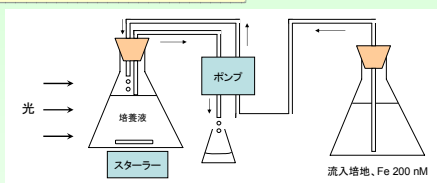
増殖のモデル化

鉄濃度、存在形態 → 取り込み速度 → 体内濃度 → 増殖速度 → 藻類密度

実験藻類株

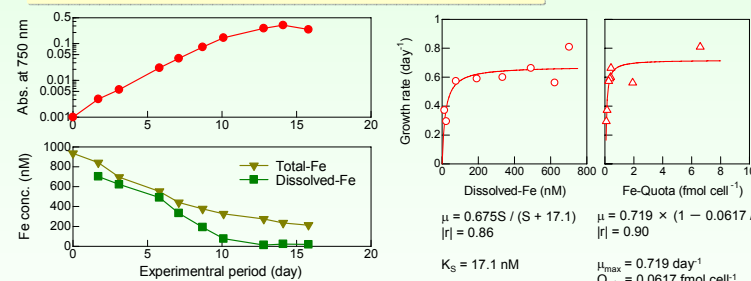


鉄制限下での連続培養実験

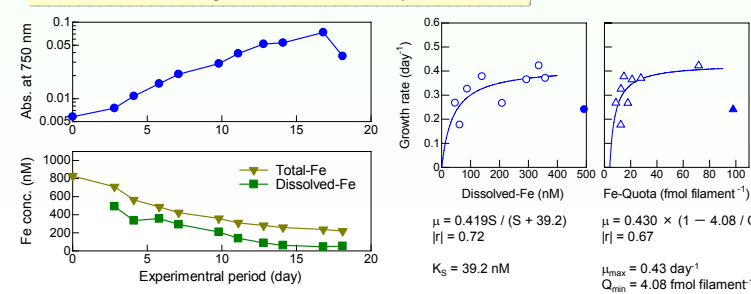


- 培地は鉄の濃度を変えたCB培地
- 培養条件: 25 °C, 20 μE·m⁻²·s⁻¹ の連続照射
- 希釈率は0.15 day⁻¹
- 約二日に一回サンプルを採取、濁度 (750 nm)における吸光度の測定、細胞数のカウント、溶解鉄濃度の分析

連続培養試験結果 (M. aeruginosa) と Monod 式、Droop 式への回帰



連続培養試験結果 (P. agardhii) と Monod 式、Droop 式への回帰



藻類増殖モデル

鉄制限下での増殖モデルの作成

$$\frac{dS}{dt} = D(S_0 - S) - Np$$

$$\frac{dQ}{dt} = p - \mu'_{max} (Q - Q_{min})$$

$$\frac{dN}{dt} = \mu'_{max} (1 - \frac{Q_{min}}{Q}) - D$$

$$p = \frac{p_{max} S'}{K_p + S'} \dots M.aeruginosa$$

$$p = \frac{p_{max} S'}{K_p + S'} (1 - \frac{Q - Q_{min}}{Q_{max} - Q_{min}}) \dots P.agardhii$$

変数

- S - 培養液中の鉄濃度
- S' - 無機態の鉄濃度 (S' = 0.0079 × S)
- Q - 鉄の体内濃度
- N - 藻類密度
- p - 鉄の体内への取り込み速度

実験条件

- S₀ - 流入培地中の鉄濃度 (200 nM)
- D - 希釈率 (0.15 day⁻¹)
- t - 時間

種毎の定数 (増殖特性)

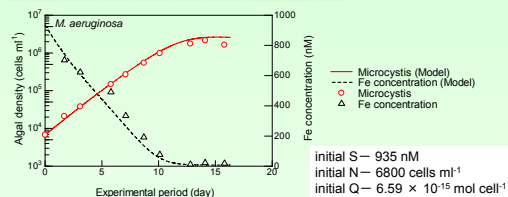
- μ_{max} - 最大増殖速度
- Q_{min} - 体内最低要求量
- p_{max} - 最大取り込み速度
- K_p - 取り込み速度に関する半飽和定数
- Q_{max} - 最大体内濃度

parameter	M. aeruginosa	P. agardhii
μ _{max} day ⁻¹	0.719	0.430
Q _{min} fmol cell ⁻¹	0.0617	4.08
p _{max} fmol cell ⁻¹ hour ⁻¹	0.272	12.1
K _p nmol l ⁻¹	60.0	160
Q _{max} fmol cell ⁻¹	—	159

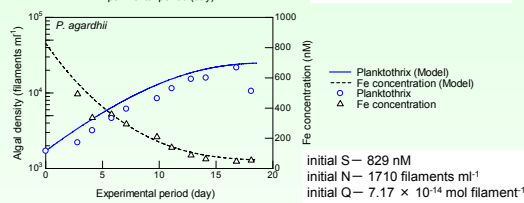
P. agardhii の場合は cell⁻¹ → filament⁻¹

- バッチ培養による鉄取り込み実験を行って μ_{max} を決定した
- 実験結果から、P. agardhii の μ_{max} は体内濃度に依存するというモデルにした
- Q_{max} は Morel (1987) に従って計算で求めた
- 取り込み速度に関わる半飽和定数 (K_p) は、シミュレーションの結果と実際の連続培養試験結果を比べて、最も良く一致するときの値を採用した

連続培養試験結果とモデルシミュレーション

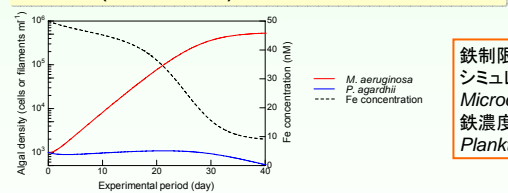


ルンゲクッタ法 (0.1時間単位) でシミュレーションを行い、連続培養試験結果と比較した



M. aeruginosa、P. agardhii ともにシミュレーション結果と実際の試験結果はよく一致していた

Fe 50 nM (霞ヶ浦湖心レベル) での混合連続培養のシミュレーション



鉄制限下での種間競争をシミュレーションしたところ、Microcystis が優占し、鉄濃度が下がったところで Planktothrix は増殖できなくなった

まとめ

- 鉄を制限基質とした増殖モデル、二種間競争モデルを構築した
窒素、リンのモデルと組み合わせて水質改善対策を考えるツールとしての発展性が期待できる
- 鉄制限下で Microcystis が Planktothrix との種間競争に勝ち優占するという予測が得られた
このような種間での増殖特性の違いが藻類の優占メカニズムに大きく関わっている