

Heterogeneity induced by Consumer-driven Nutrient Recycling: Another perspective in prey diversity

[20040519wd:for seminar]

加藤聡史、占部城太郎、河田雅圭
(東北大・院・生命科学)

生態系における多種系維持のメカニズム

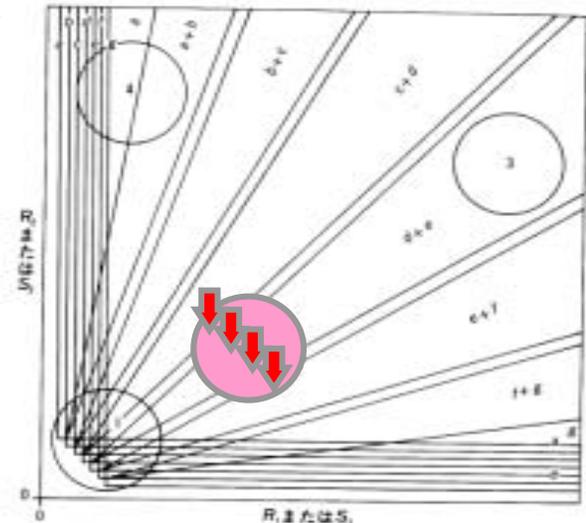
- 共存できる種数は利用資源の数を超えない (Gause,1934; Hutchinson,1961)。
- 数種類の栄養塩が制限とされる野外の湖で、藻類は多種見られる。 = “paradox of the plankton”

なぜか?

- 別の制限要因 (光、気温、 etc...)
- 選択的捕食
- 環境の変動

資源の不均一性と多種共存

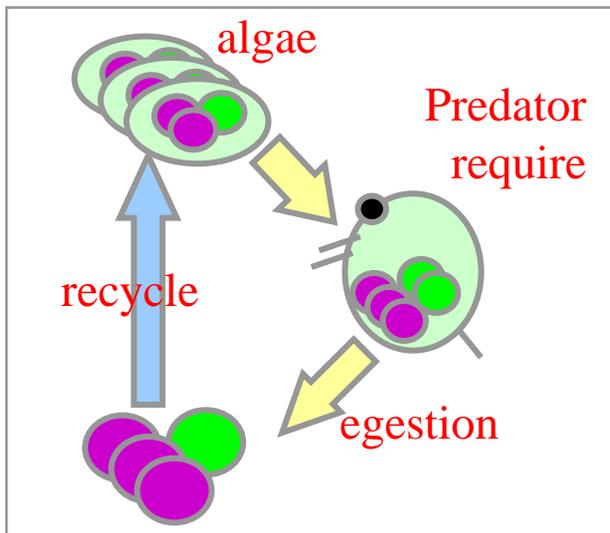
- 消費者は種ごとに好適な資源要求比が異なり、資源供給比が均一でなければ多種の共存を説明できる。 (Tilman, 1982)
 - ただし、陸上植物のような場合は成立するが、均質であるとされる水系では成り立たない。
- 捕食者の排泄が水系での資源の不均一性を作り出すのではないか？



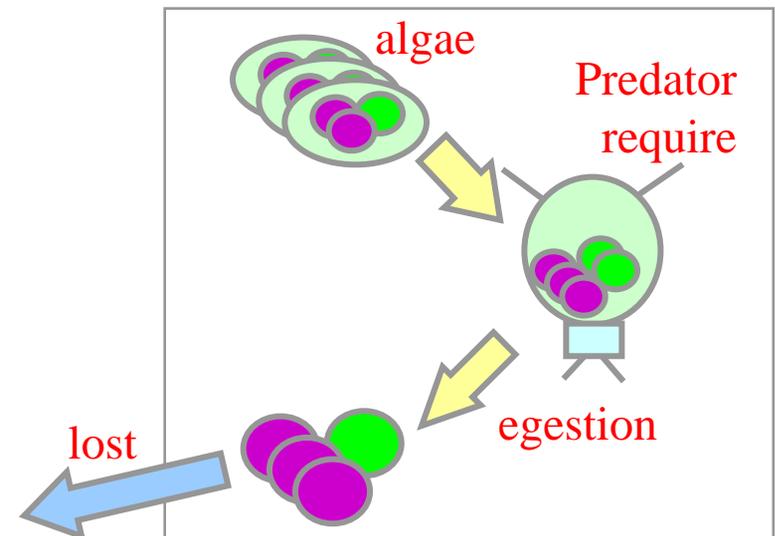
Consumer-driven Nutrient Recycle(CNR)

- ミジンコは成長に余剰な資源を排泄する。
- 捕食者がリサイクルした資源によって、藻類が利用できる系の資源量・比率が変わる。

リサイクルあり



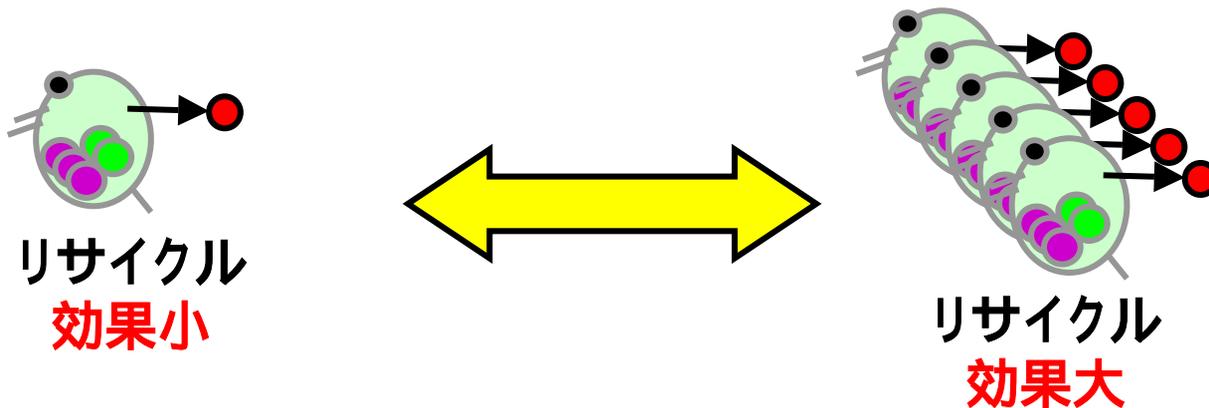
リサイクルなし



Hypothesis

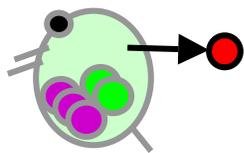
- 栄養塩リサイクルの効果が変動するなら、捕食者存在下でこそ藻類の多種共存は促進されるのではないか？
 - これまでは捕食圧の大きさや選択的な捕食などが多様性の要因として考えられてきた。

捕食者バイオマスとリサイクル効果は
時間的・空間的に変動する

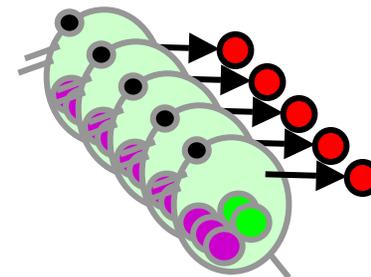


数値実験

- シミュレーションモデルを用いて、
 - (1) CNRの有無
 - (2) 空間の有無
 - (3) 資源供給量がどのように影響するかを調べた。



リサイクル
効果小

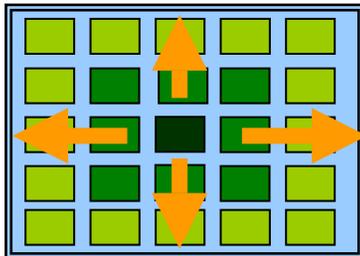


リサイクル
効果大

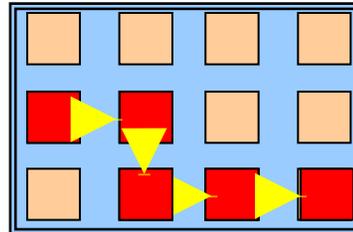
モデルの概要

- 二次元*格子モデル
- 【捕食者1種 - 藻類 n 種 - 栄養塩2種類】
- 栄養塩と藻類は濃度拡散する。()
- ミジンコ個体はランダムに移動する。()
- 一定期間ごとに系全体で攪拌。()

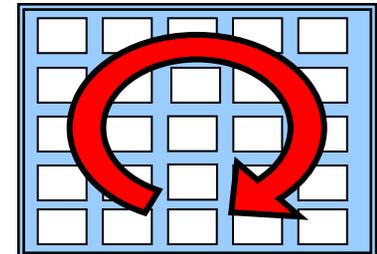
均等に拡散



ランダムに移動



均一に攪拌



捕食者の動態

動物プランクトンの成長率 (g)

$$g = (eI - r) \cdot \text{Min}(1, F_N, F_P)$$

同化量

呼吸量

制限となる資源の律速効果
= 必要な資源がどれだけ得られたか

動物プランクトンの栄養塩排出量 (ρ_R)

$$\rho_R = IQ_R - g\theta_R$$

同化した資源量

成長に消費した資源量

藻類の動態

藻類の成長率 (μ) は最も制限となっている栄養塩の含有率 (Q_R) によって律速されると仮定した

$$\mu = \text{Min} \left(\mu_{R,\text{max}} \left(\frac{1 - Q_{R,\text{min}} / Q_R}{1 - Q_{R,\text{min}} / Q_{R,\text{max}}} \right) \right)$$

Q_R が増加すると μ が増加

藻類の資源Rの吸収速度 (V_R) は栄養塩の含有率 (Q_R) と系の資源濃度 (S_R) によって変化すると仮定した

$$V_R = V_{R,\text{max}} \left(\frac{Q_{R,\text{max}} - Q_R}{Q_{R,\text{max}} - Q_{R,\text{min}}} \right) \cdot S_R$$

Q_R が増加すると V_R が減少

CNRを考慮した栄養塩量

CNRあり

捕食者によるリサイクル

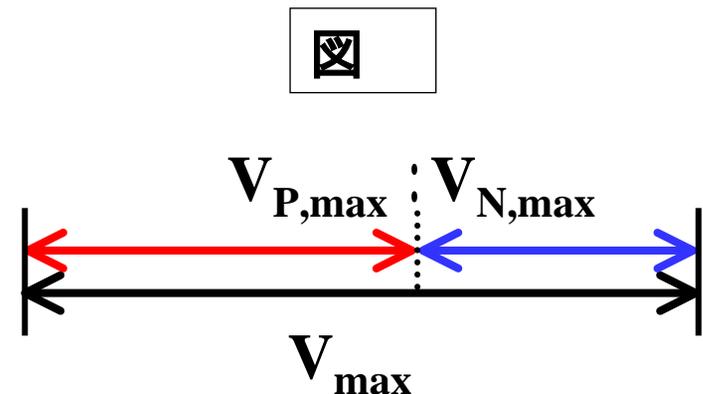
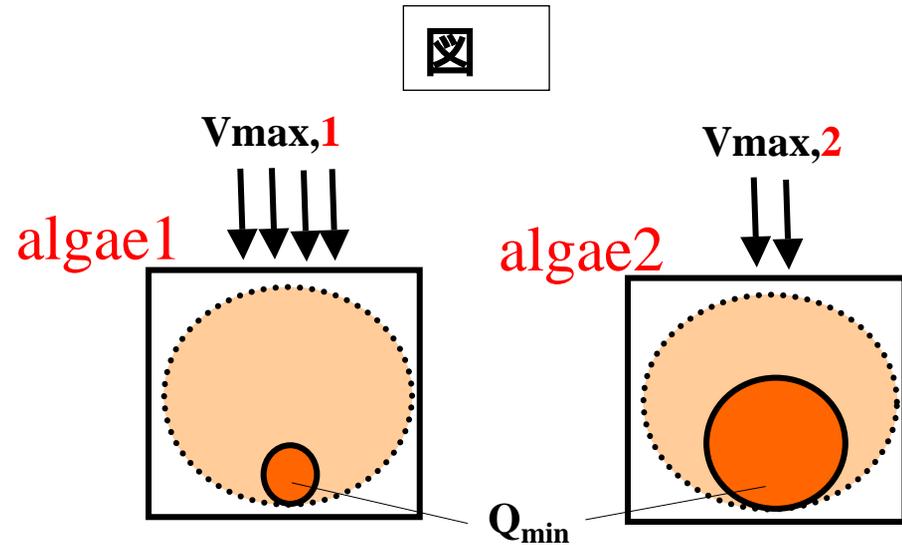
$$S_R = D(S_{R,in} - S_R) - \sum_{i=1}^n V_{R,i} A_i + \rho_R Z$$

CNRなし

$$S_R = D(S_{R,in} - S_R) - \sum_{i=1}^n V_{R,i} A_i$$

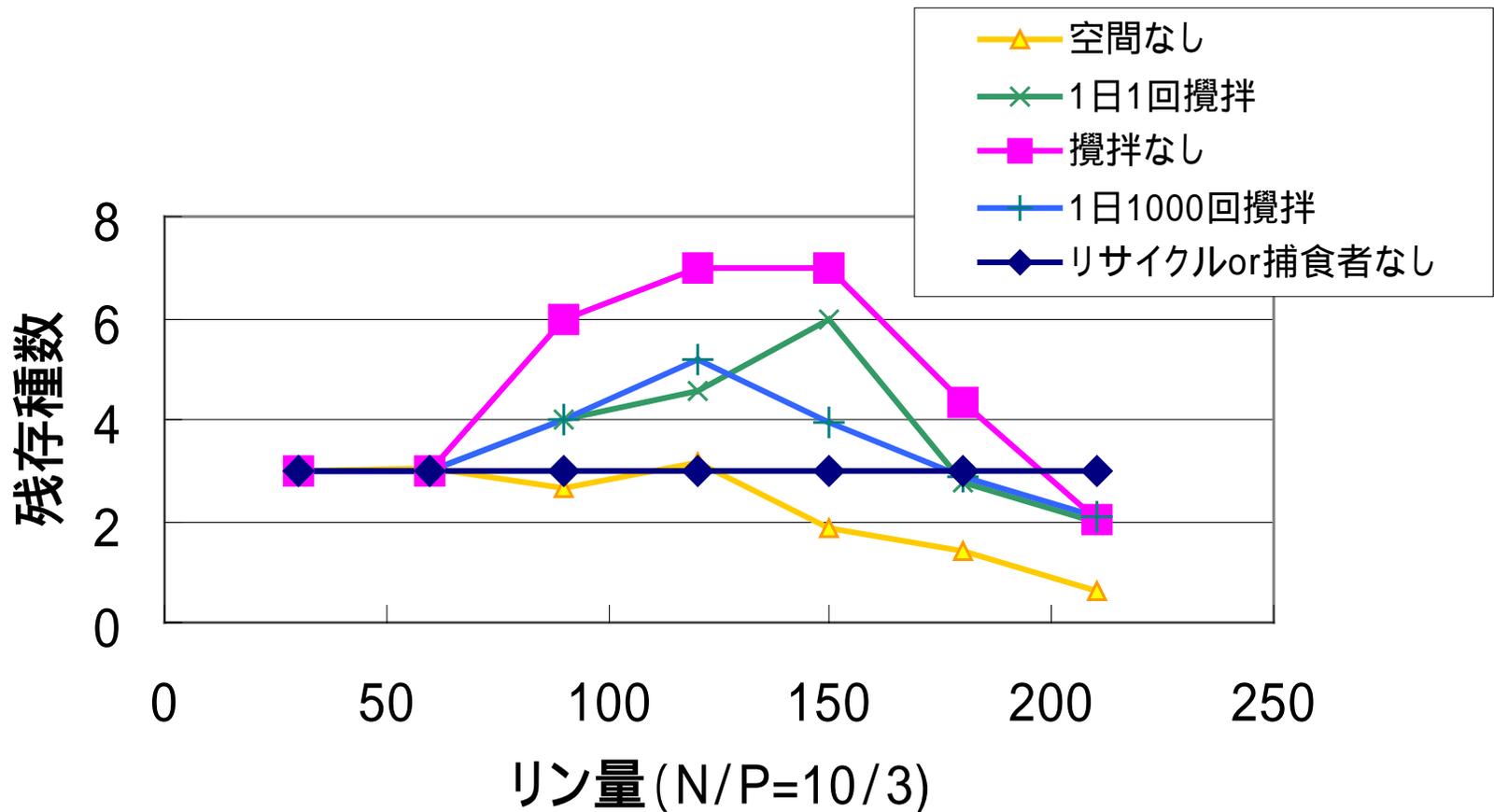
藻類の形質値設定

- 栄養塩の最大吸収速度 (V_{\max}) と最小含有率 (Q_{\min}) に正の相関 (図)
- リンと窒素の最大吸収速度 ($V_{P,\max} : V_{N,\max}$) に負の相関 (図)
- 上記以外は全て共通



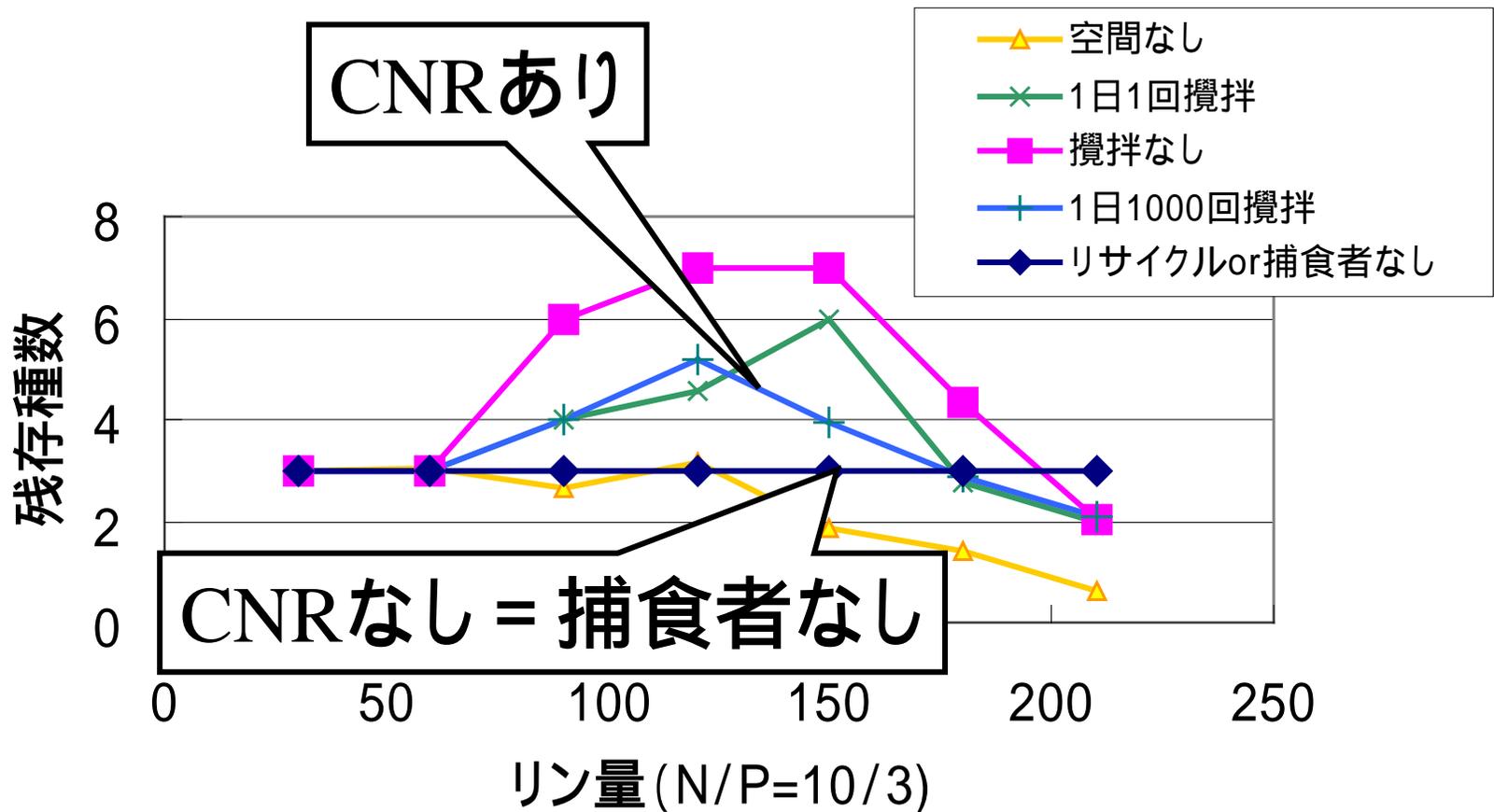
結果：リサイクル・空間ありのとき、種数最大。

残存種数 - 空間構造・攪拌頻度 (300日後)



結果：リサイクルありのとき、残存種数増加

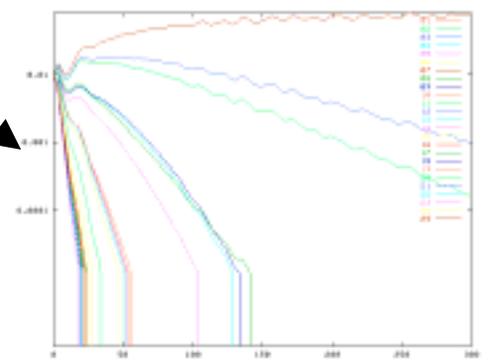
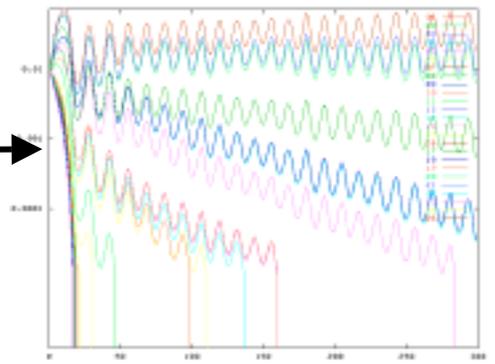
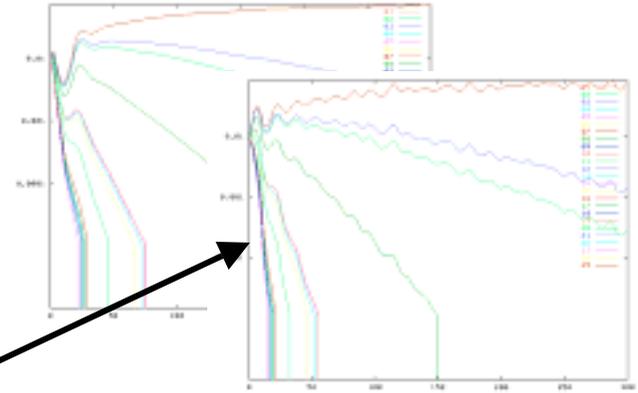
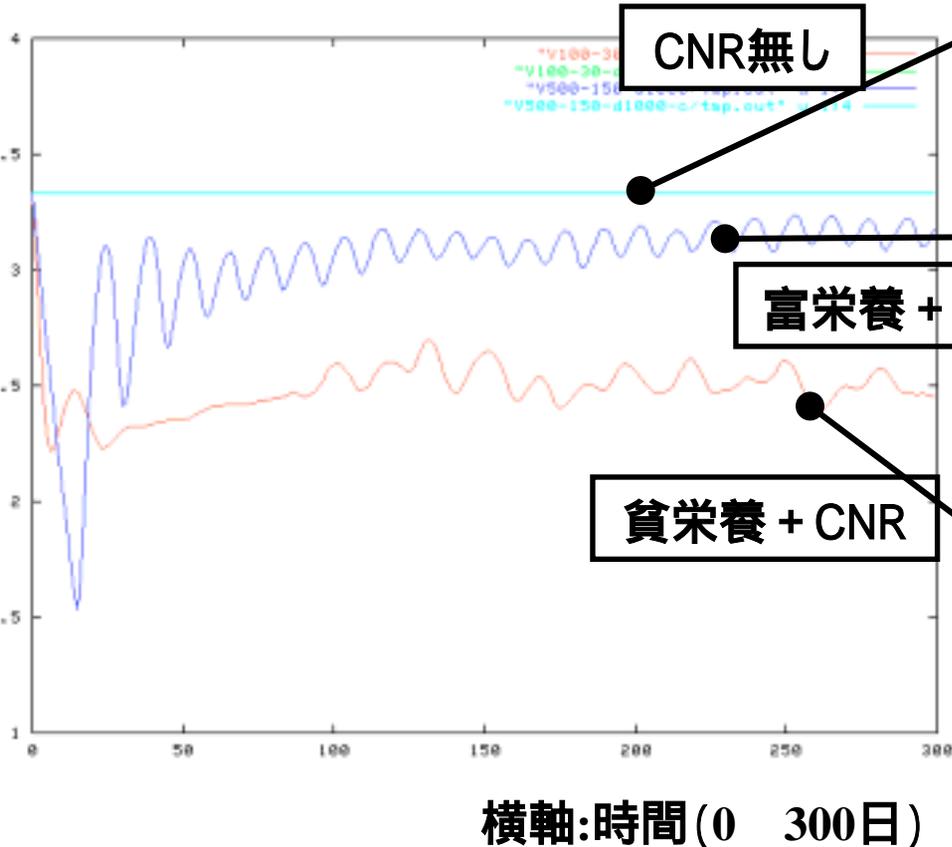
残存種数 - 空間構造・攪拌頻度 (300日後)



要因：CNR・栄養塩供給量

CNR 栄養塩比率の時間変動
富栄養 リサイクルの効果大

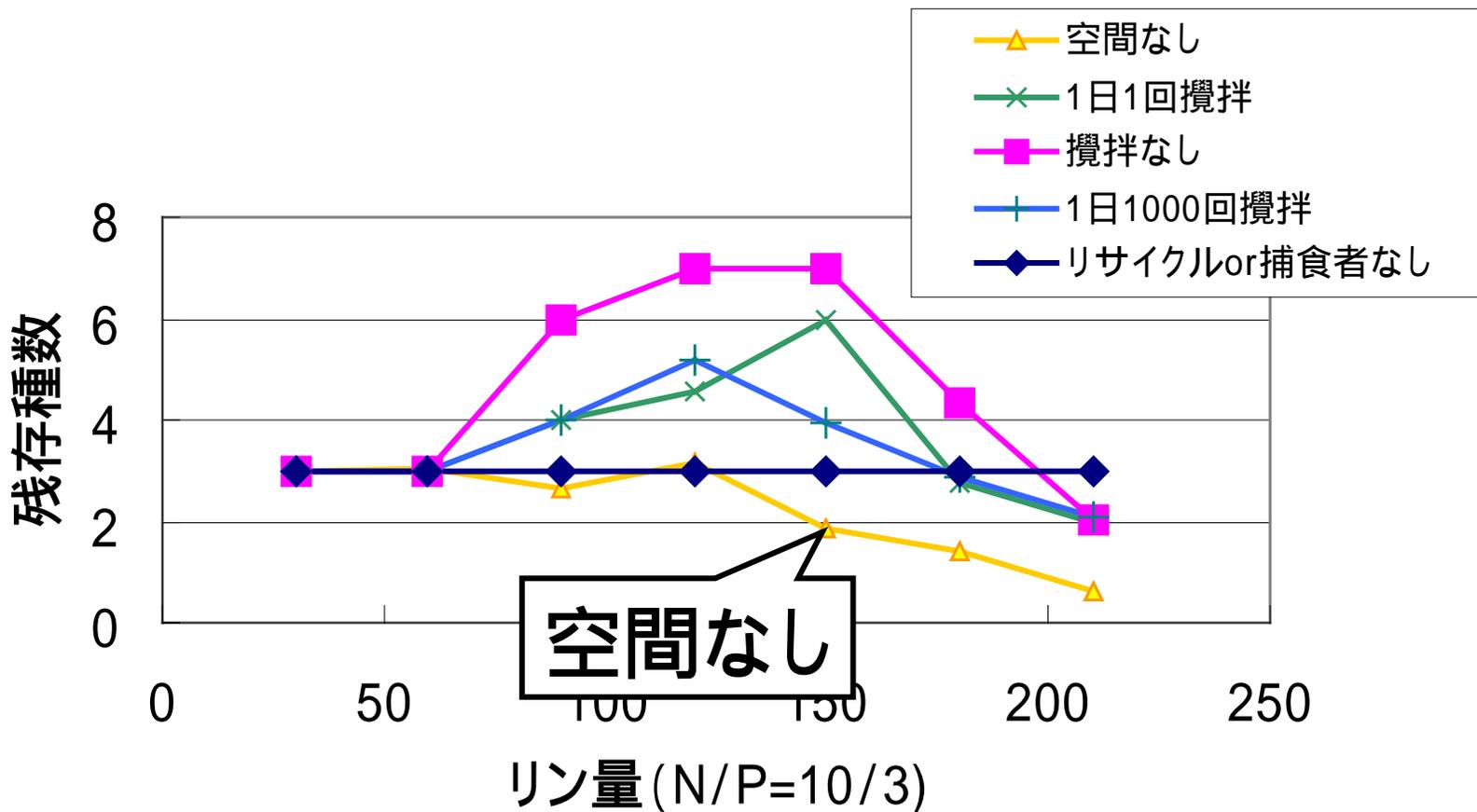
藻類が使えるN/P比率



藻類バイオマス(mg・C/l); 線種は藻類種の違い

結果：空間なし 残存種数減少

残存種数 - 空間構造・攪拌頻度 (300日後)



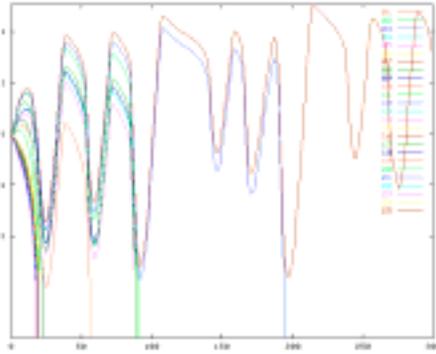
要因：空間構造

捕食圧のばらつき 系の振動を緩和

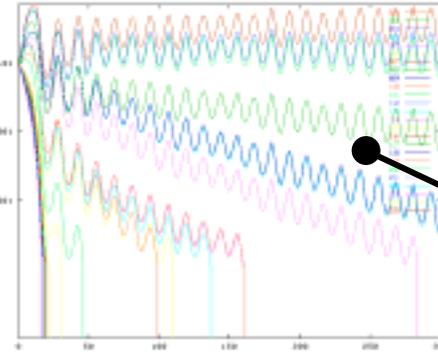
藻類バイオマス(mg·C/l); 線種は藻類種の違い

CNRあり

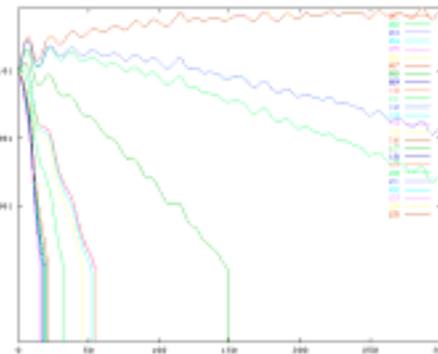
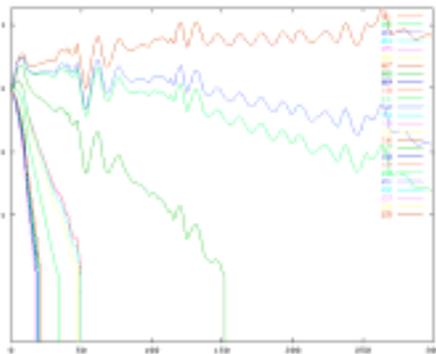
空間無し



空間あり



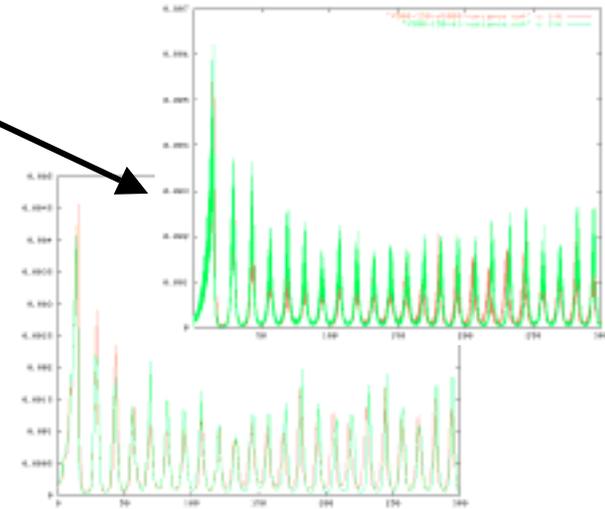
CNR無し



時間(0 300日)

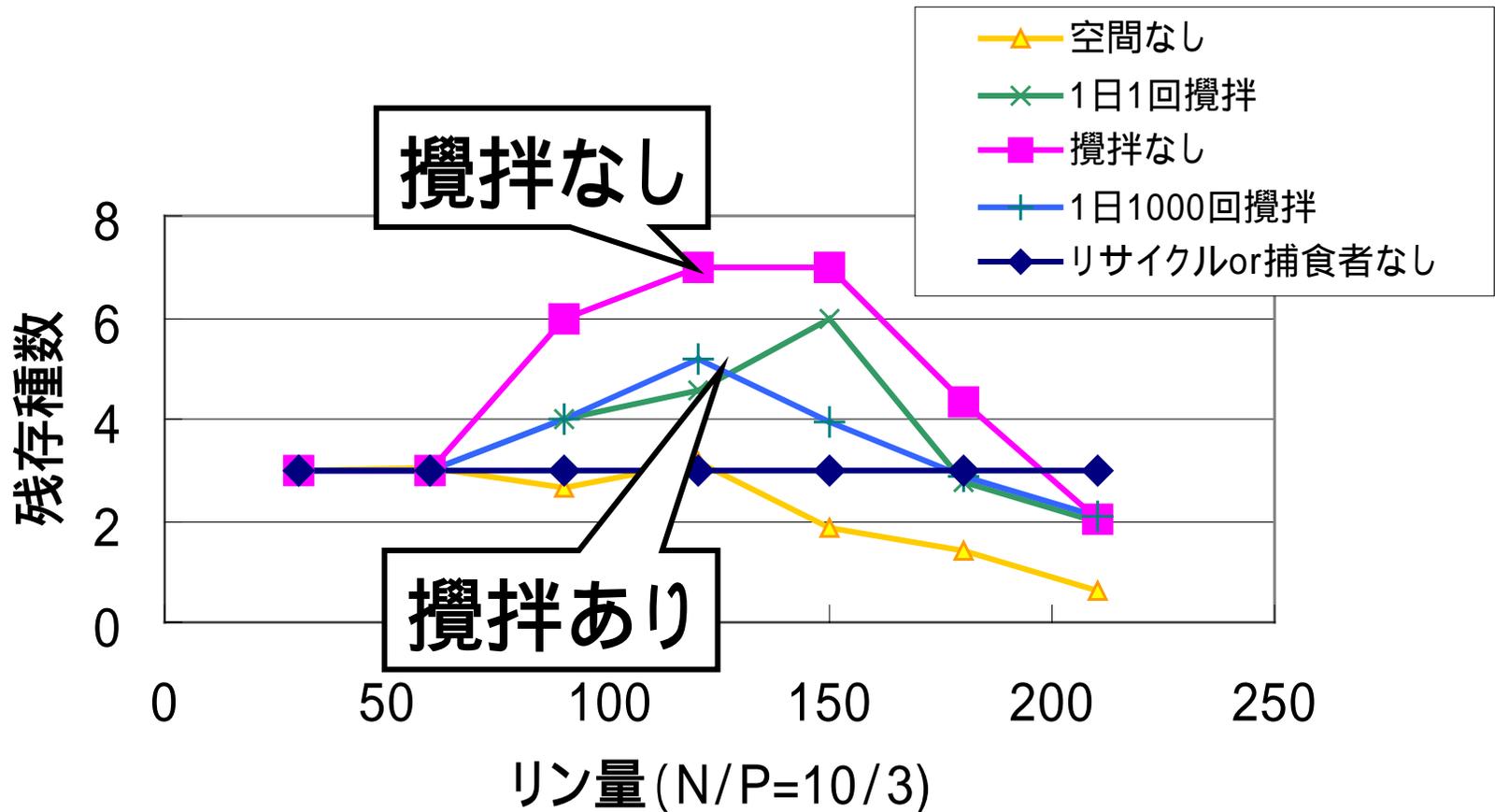
栄養塩量N/P=500/150(μg)

捕食圧の空間分散



結果：攪拌が無いとき、残存種数大。

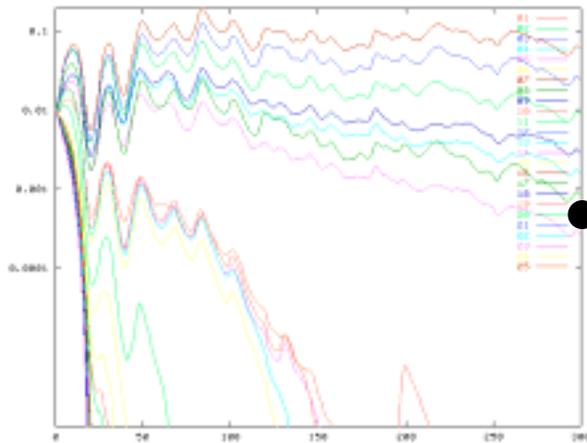
残存種数 - 空間構造・攪拌頻度 (300日後)



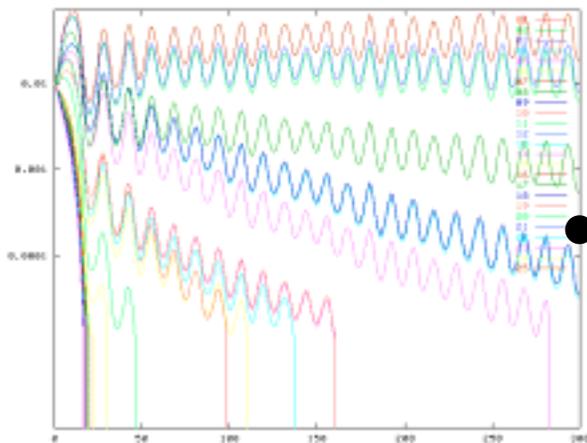
おまけ：攪拌頻度

リサイクル量のばらつき 栄養塩比率の空間変動

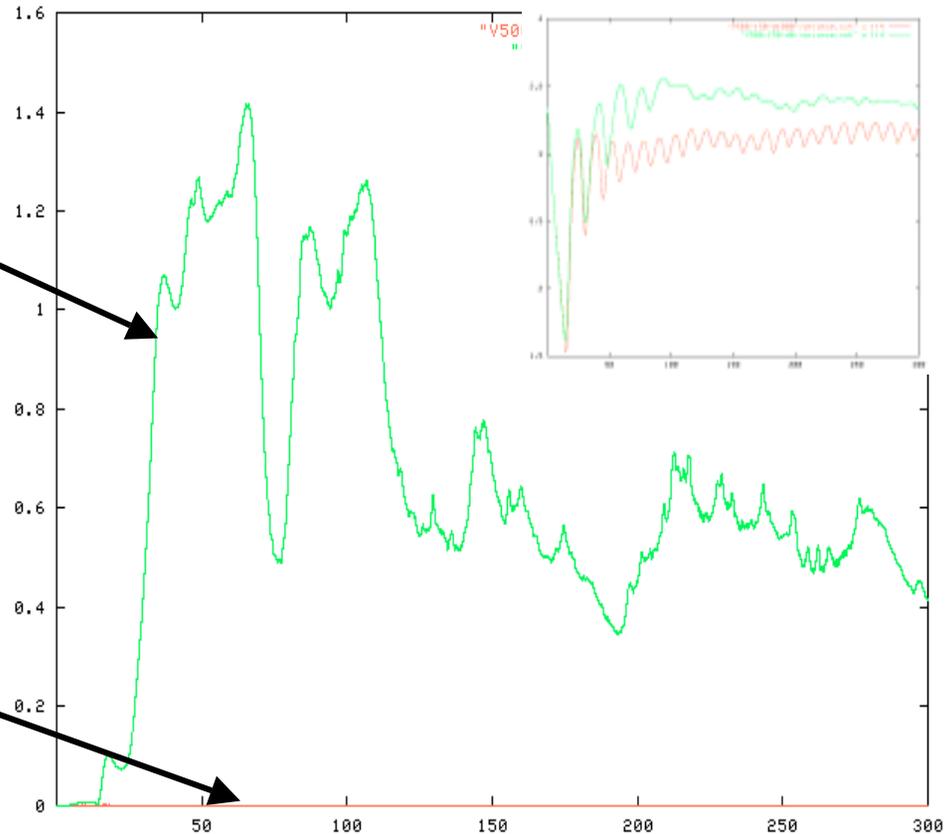
栄養塩比率の空間分散の時間変化
(右枠内は平均栄養塩比率)



攪拌なし



1日1回



栄養塩量N/P=500/150(μg)

まとめ

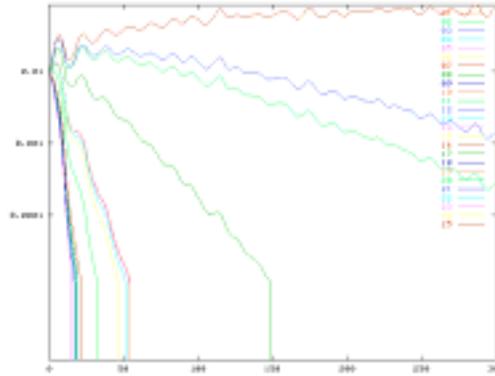
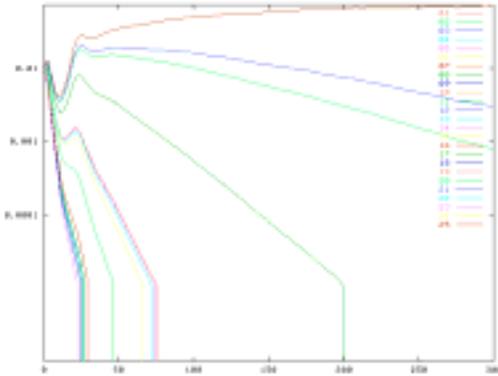
		空間無し	空間あり
CNRあり	富栄養	<ul style="list-style-type: none">•ミジンコ変動大•リサイクル変動大•振動大 排除	<ul style="list-style-type: none">•ミジンコ変動大•リサイクル変動大•振動緩和
	貧栄養	<ul style="list-style-type: none">•ミジンコ変動小•リサイクル変動小•振動小	
CNRなし	<ul style="list-style-type: none">•ミジンコ変動小•リサイクル変動なし•振動小		

結論と議論

- 空間構造と栄養塩リサイクルがあるとき、消費者が藻類の多種共存を促進する。
 - 短期的には、(捕食者存在下) > (捕食者非存在下)
 - ミジンコのバイオマス変動 栄養塩比率の時間変動
 - 空間構造 捕食圧の空間的変動
 - 捕食者の排泄型の違い 多種藻類系の持続性の違い
- 実際にはCNRが空間的不均一性を作っている(かもしれない)
 - 排泄による微小栄養塩パッチ (Lehman and Scavia 1982, Science)
 - 野外水系でのミジンコの集合(swarm)

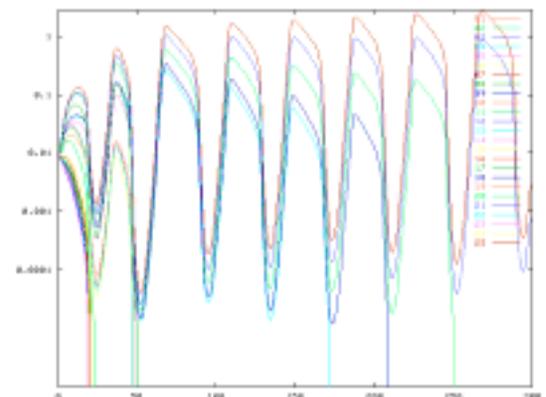
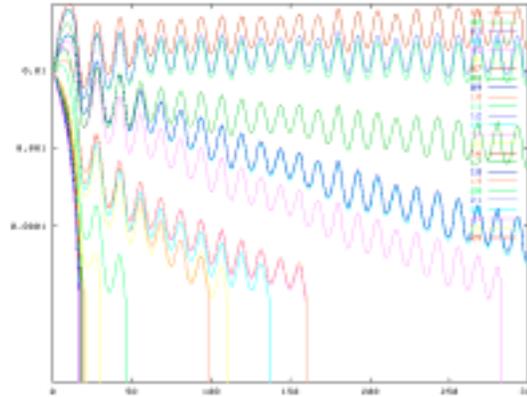
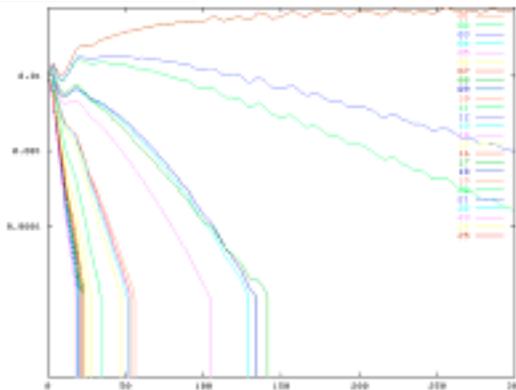
補足：CNR・栄養塩供給量による動態

CNRなし



富栄養

CNRあり



藻類バイオマス(mg・C/l); 線種は藻類種の違い

横軸:時間(0 300日)