

## 消費者の栄養塩リサイクルとパッチ形成プロセスは 湖沼の藻類多様性にどのような影響を与えるか？

### (背景問題 1 : 動物プランクトンのパッチ集合)

動物プランクトンが空間的に集合する現象について、さまざまなパターンとプロセスが考えられている (Holt & Burns 1999, review)。

- (1) 湖の沿岸では全く見られず、沖に密集しているパターンが良く知られている(沿岸忌避)。  
...沿岸帯にいる捕食者を避けるような行動、もしくは捕食そのものがこうしたパターンを作っていると考えられている。
- (2) 同種個体同士の密度を高める行動があることが知られている(自己集合)。  
...捕食者の存在(e.g.魚のカイロモンのような化学物質)への応答や、交配チャンスを高めるためであると考えられている。
- (3) 餌密度に応じて行動を変えることで空間パターンができる(餌探索)。  
...餌が高密度な方へ向かっていくとか、餌の密度が高い場所では移動速度が遅くなるためとされている。
- (4) 動物プランクトンの日周運動が良く知られている(主に鉛直パターン)。  
...光に対する応答の結果、捕食者に視認される明るさを避けている、とか、藻類の鉛直運動を追いかけている。夜になると指向性そのものがなくなるといわれている。

しかし、動物プランクトンの空間的パッチを作り出すこれらのプロセスが、特に下位の栄養段階である藻類に対していったいどのような生態学的な役割を持っているかという疑問についての研究は驚くほど少ない。

- ✓ 食物網のプロセスを理解するうえで、近年、空間的な要因を考慮することの重要性が説かれている。これは湖沼の食物網であっても同様である(と思う)。にもかかわらず、従来の湖沼における食物網の研究の多くが湖沼を均質であると捉えており、空間的な要因について考慮されている研究は多くない。

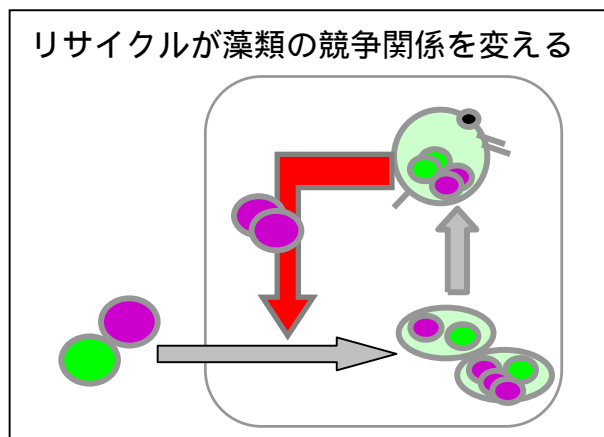
この理由には、草原や森林などの陸上生態系と比べて、空間的な要因の定量化が困難であることが背景にあるように思う。

### (背景問題 2 : 消費者の藻類への影響)

動物プランクトンが藻類に対して与える影響には大きく分けて、『捕食』と『栄養塩の再供給』の二つがある。近年、後者の栄養塩リサイクルが藻類群集の成長と競争に与える効果について大きく着目されつつある。

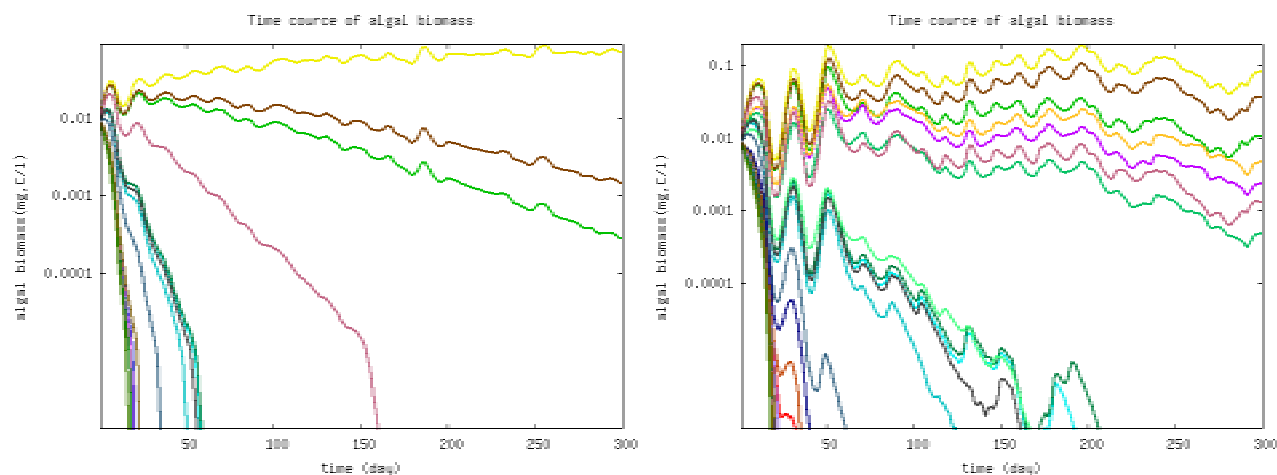
二種類以上の栄養塩をめぐる藻類の競争系では、動物プランクトンは摂食した藻類から栄養塩を摂取して成長し、成長に余剰な栄養塩を藻類にリサイクルする（右図）。

このとき、消費者からの栄養塩リサイクルによって藻類が利用できる栄養塩の比率が偏っていくため、捕食者（のリサイクル）の有無によって藻類の競争関係が変わる。



これまでの消費者による栄養塩リサイクル（CNR）を考慮したモデリング研究例では、CNRが介在する競争系（主に2種の藻類の競争系）では競争者の共存はおおむね困難になるという結果から、つまり、CNRは多様性を下げる要因であると考えられている（Andersen 1997; Grover 2002）。

しかし、前回の研究の結果は、消費者による栄養塩リサイクル（の時間変動）が藻類の「一時的な」多様性を高くする可能性を示した。（下図）。



消費者の栄養塩リサイクルと空間構造が藻類の一時的な多様性を挙げるかもしれない例。

上図はいずれも空間構造を考慮したモデルによる結果で、左はリサイクルがないとき（3種残存）、右はリサイクルがあるとき（7種残存）の結果。

消費者である動物プランクトンの空間的な不均一性が、リサイクルされる栄養塩の空間的な違いを作る可能性があり、結果として藻類の多様性があがる可能性がある。このとき、上述した動物プランクトンの集合プロセスを考えると、ランダムな移動プロセスを仮定したときよりも藻類の多様性が増加するかもしれない。

（仮説）消費者の空間的集合によって藻類が利用できる栄養塩に空間的な違いをつくる。消費者のリサイクルが局所的な藻類の競争関係を変えることで、湖における藻類の多様性を維持する要因になっている（はず）。

(ヤルコト) 生態学的なプロセスの中で消費者のパッチが持つ役割の一例として、空間構造と栄養塩リサイクルの効果を考慮したモデルを考える。消費者のパッチ集合プロセスの違いが藻類の多様性、特に空間パターンにどのように影響するかを比較する。

(パラメータとシナリオ) 消費者(動物プランクトン)を個体ベースモデルで記述し、パッチ集合プロセスについてのパラメータとシナリオをかえてみて、それぞれのプロセス(と集合性の強さ)が藻類群集に与える影響が、特定のプロセスを仮定しない(ランダム)ときと比較して、どう違うかを議論したい。

(1) 着目するパラメータ変数として次の3つを考え、それぞれが藻類の共存にどのような影響を与えるかを議論する。

1. 消費者の集合性の強さ(下記のシナリオを参照)

✓ 集合性が強くなるほど空間的なコントラストが強まるため、藻類の多様性があがる?

2. 消費者のリサイクル性

✓ リサイクルの効果が弱まるほど、空間的な効果はなくなる(はず)。

3. (消費者のパッチを壊す攪乱: mixing の強さと頻度)

(2) 消費者のパッチ形成についての代表的なシナリオを幾つかあげ、それらのプロセスが藻類の多様性に対してどのように影響するか(negative or positive?) についての議論を行う。

0. Random

✓ 消費者個体の移動は完全にランダムであると仮定する(= 前回の研究に用いたモデルの仮定と同じ)。この場合には『移動性の高さ』を集合性についてのパラメータとする。

移動性が高くなるにつれて空間的な効果が小さくなり、空間を考慮しないときの結果と同じになると思う。

1. Shore avoidance

✓ 動物プランクトンに対する捕食圧は湖の沿岸で高く沖合で低く、個体密度に地形的なコントラストができることが知られている。この場合には『消費者の死亡率の空間的な違い』を集合性についてのパラメータとする。

死亡率の強さの空間的なコントラストが大きくなるにつれて、藻類の多様性が増加する(と議論しやすい)。

2. Self-assembly

✓ 捕食者回避や mating chance の向上といった要因が、同種個体同士を集合させる可能性が指摘されている。この場合には『同種の個体によっていく強さ』を集合性に

ついでのパラメータとする。

集合性が高くなるにつれて、空間的なコントラストが大きくなるので藻類の多様性が増加するはず。

### 3. Food Locating

- ✓ 消費者が餌を追いかけて餌の密度の高い方に寄っていく可能性が指摘されている。この場合には『餌への指向性の強さ』を集合性についてのパラメータとする。

餌への指向性が強くなると、藻類のアバンダンスの高いところから壊していくので多様性が下がる。ような気がする。