

## 生息場ネットワークの定量評価手法の開発 —生態系サービスの豊かなシースケープのデザイン—

### 1. 背景と研究目的

環境の改変によって生物の生息場が減少した沿岸域では、在来生物群集の衰退が課題となっている。その要因として、生物の生息面積の減少だけでなく、生息場間のネットワークが乏しくなったことが指摘されている。したがって、効果的・効率的な沿岸域の生息場の再生には、単に生息場面積の増加だけでなく、生息場間のネットワークを考慮した生息場の空間配置が求められる。

生息場間のネットワークを考える際には、シースケープの考え方が重要となる。ここで、シースケープ(seascape)とはランドスケープ(landscape)の対語であり、海の景観を意味し、生息場の種類の組成と空間配置によって定義される。

本研究の目的は、モデル生物の生息場ネットワークの状況と共に変化するメタ個体群持続可能性の観点から、幼生の着底量、残存率、寿命を考慮した新たな個体群動態モデル(ハビタット評価モデル)を構築して、東京港京浜運河周辺における持続可能性を高めるシースケープのデザインを定量的に検討することである。

### 2. ハビタット評価モデルとシースケープデザインの定量的な検討方法

#### ハビタット評価モデルの概要

・個体群動態モデルでは以下の4種類のモデル生物を扱った。

モデル生物の生態学的特徴 (実際の生物を参考に設定)

生息場	底生二枚貝類(泥)	底生二枚貝類(砂)	附着性二枚貝類	カニ類
	底質(ヘドロ、泥)	底質(砂、礫)	護岸(コンクリート、鋼化板パネル、石)	護岸(石)
幼生生産数(個/回/畦)	0-0.2億	0-0.2億	1千万-2億1千万	0-10万
着底までの生残率(%)	0.1	0.1	0.1	1
着底後の1年級群生残率(%)	0.5-10	0.5-10	0.5-10	2.5-50
環境収容力(個体/m <sup>2</sup> )	1000	1000	1000	50

すべてのモデル生物に共通する生態学的特徴: 成熟 第2年級群以降; 性 雌雄異体; 繁殖周期 年1回; 浮遊幼生期 あり; 浮遊期間 2および20日間; 第2年級群以降生残率 90%; 寿命 5年

・浮遊幼生は拡散のみで移動するものとし、座標 $x'$ の母体から出発した幼生が、時刻 $t$ に座標 $x$ に分布する確率を示す確率密度関数は、次式で表す。

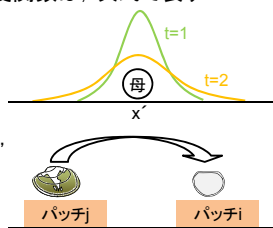
$$p(x, t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi Dt}} \exp\left(-\frac{(x-x')^2}{4Dt}\right) \quad (1)$$

ここで、 $D$ は拡散係数( $10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$ )とした。

・パッチ $j$ の母体によって放出され、水中を漂い、パッチ $i$ に着底する幼生の個体数は、次式で表す。

$$n_{i,j}(t+1) = \sum_{j=1}^N C_{ij} \sum_{l=1}^L \gamma_l n_{j,l}(t) \quad (2)$$

ここで、 $n_{i,j}(t)$ は、時刻 $t$ の時のパッチ $j$ の第 $i$ 年級群の個体数、 $N$ はパッチの数、 $C_{ij}$ は、パッチ $j$ から発生した幼生がパッチ $i$ に着底した割合(着底率)、 $L$ は生物の寿命(5年)、 $\gamma_l$ は第 $i$ 年級群の母体1個体あたりの幼生生産数。



・個体群サイズの変動はレスリー行列を用いて表した(パッチ数2, 寿命3年の場合は次式で表される)。

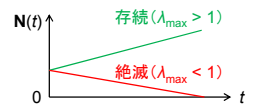
$$\begin{pmatrix} n_{1,1}(t+1) \\ n_{1,2}(t+1) \\ n_{2,1}(t+1) \\ n_{2,2}(t+1) \\ n_{3,1}(t+1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & C_{11}\gamma_2 & C_{11}\gamma_3 & 0 & C_{12}\gamma_2 & C_{12}\gamma_3 \\ q_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & q_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C_{21}\gamma_2 & C_{21}\gamma_3 & 0 & C_{22}\gamma_2 & C_{22}\gamma_3 \\ 0 & 0 & 0 & q_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & q_2 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} n_{1,1}(t) \\ n_{1,2}(t) \\ n_{2,1}(t) \\ n_{2,2}(t) \\ n_{3,1}(t) \end{pmatrix} \quad (3)$$

ここで、 $n_{i,j}(t)$ は時刻 $t$ の時の、パッチ $j$ の第 $i$ 年級群の個体数、 $q_i$ は第 $i$ 年級群が越年し、第 $i+1$ 年級群に加入する確率(生残率)である。

・式(3)の個体数ベクトルを $\mathbf{N}(t)$ で表し、 $t$ を十分に経過させると次式となる。

$$\mathbf{N}(t) = C_{\max} \lambda_{\max}^t \mathbf{u}_{\max} \quad (4)$$

ここで、 $C_{\max}$ は初期値によって決定される定数、 $\lambda_{\max}$ は式(3)の行列の最大固有値、 $\mathbf{u}_{\max}$ は $\lambda_{\max}$ に対応する固有ベクトル。 $\lambda_{\max}$ はメタ個体群成長率を表す。



#### シースケープデザインの定量的な検討方法

・メタ個体群持続可能性とシースケープとの関係を調べた。

- ✓対象生物: カニ類(幼生生産数2万/回/成体, 1年級群越年後生残率20%)
- ✓メタ個体群持続可能性を表す指標:  $\lambda_{\max}$ , 個体数が定常状態に達する年数, 1リンクあたりの平均幼生ネットワーク数
- ✓シースケープを表す指標: パッチ総面積, 近接指数, 有効パッチ面積

・近接指数  $\mu_i(S)$ : パッチ $i$ の中心座標から距離 $S$ の範囲内に存在するパッチ $j$ の総延長

$$\mu_i(S) = \sum_{j \in R_i(S)} L_j \quad (5)$$

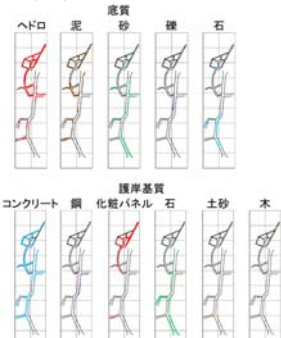
・有効パッチ面積  $A_{ei}$ : パッチ $i$ に幼生を供給するパッチの広さと幼生の供給力の積によって求められる。

$$A_{ei} = \sum_{j=1}^N P_{ij} A_j \quad (6)$$

### 3. 現状のシースケープの評価と持続可能性を高めるシースケープデザイン

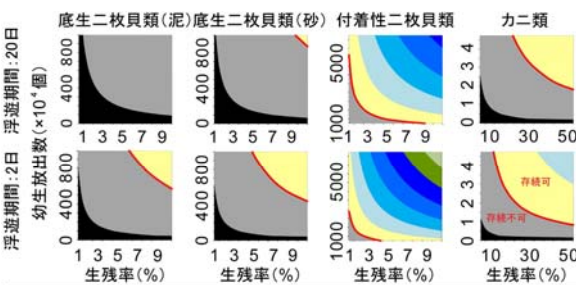
#### 現状のシースケープおよびその評価

・生息基盤の空間分布は種類ごとに異なっていた



東京港京浜運河周辺における底質および護岸基質の分布

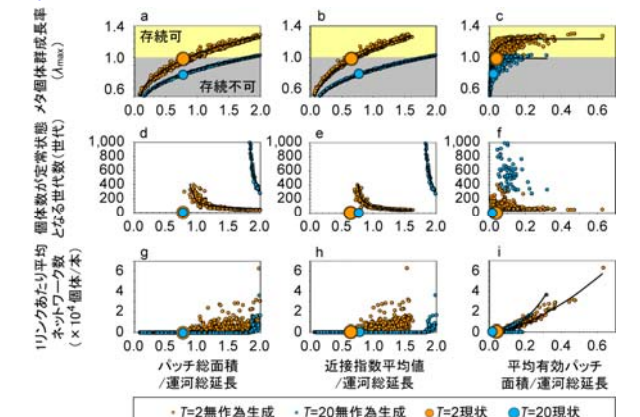
・現状の生息場の配置は、附着性二枚貝類の持続に適しており、底生二枚貝類の持続にはあまり適していなかった。



モデル生物の1成体あたり幼生放出数および1年級群越年後生残率に対するメタ個体群成長率 ( $\lambda_{\max}$ ) の変化

#### メタ個体群の持続可能性を高めるシースケープデザイン

・現状のシースケープは $\lambda_{\max} < 1$ であり、カニ類は持続できない。  
・浮遊期間20日間の時、パッチ総面積/運河総延長の値を、 $\lambda_{\max} \geq 1$ となる1.85以上に高めると、カニ類は持続できるようになる。



シースケープデザインとカニ類のメタ個体群持続可能性に関する因子との関係

新しく提案した $\lambda_{\max}$ およびハビタット評価モデルを用いることによって、現状の生物の持続可能性の程度を定量的に示せるだけでなく、持続困難な状態から持続可能な状態とするシースケープの定量的な情報を得ることが可能となった。