



## 生態系の機能評価技術（評価手法の類型化）

中村 義治（本研究会会員・水産工学研究所）  
田口 浩一（本研究会会員・株式会社アイ）

### 1. はじめに

生物機能の評価については、個体レベル、個体群レベル、群集レベル、生態系レベルなど目的に応じて階層的に検討しなければならない。既往の生態学的指標はもっぱら生態系を構成する個体レベル（成長、生残、代謝機能など）、個体群レベルの特性（生物量変動、生産力、再生産力、浄化機能、年令組成など）もしくは生物群集に関する分布様式評価（nicheの計量化、多様度、類似度、種類一面積指数など）にとどまっている。生物間並びに環境と生物の相互作用を含めた生態系全体の構造や機能的な側面についての評価手法はあまり提案されていない。しかし、近年顕在化してきた環境問題への意識とその回復への対処方針として、現状診断にもとづく短絡的な環境修復や資源管理だけに頼るのではなく、生態系の機能解明と将来へのリスク評価から、地域の個性ある価値基準を維持又は、向上するために生態系の管理が必要となる。具体的には水質基準達成などを目的とした保全型（conservation）から、円滑な物質循環を基調にした調和型（compatible）、共生型（coexistent）へと進化していく生態系管理技術の開発が要請される。環境重視の傾向は幾つかの法制度の改定や新法の制定として現れ、環境基本法の基礎的理念には、「生物多様性の確保及び自然環境の体系的保全」が提唱されている。開発に伴う「生態系」への影響評価には、生態系を食物連鎖網、エネルギーにおけるフロー系として取り扱うだけではなく、物質循環系として捉え、その構造を定量化する方法や、浄化、CO<sub>2</sub>固定能、生産、再生産やエネルギー転送効率、系の安定性と云った機能性の計量化などが求められる。

そのためにも、評価指標を単なる飾りの指数としてではなく、生態系機能の価値判断及びその管理目標を示唆する数値として位置づける必要がある。ここでは、宍道湖を事例にして、生態系の機能評価技術に関する最近の研究情報について2回に亘りお伝えする。第1回は、機能評価手法を2つに類型化し、各手法の特徴を抽出する他、生態系の構造解析のツールである生態モデルの仕組みと役割について言及する。

### 2. 評価手法の類型化

#### 2.1 環境機能評価法

環境インパクトに対する生物応答の評価モデルは、

用途や方法によって2つに分類される（図1）。環境機能評価法（Evaluation method for the environmental function）は主に、沿岸開発による影響評価やミチゲーションなどの効果と影響の数量評価法として開発されたものでHEP、WET、HGMなど数多くの手法が知られている。このような評価法はこれまでに数十以上開発されており、目的方法によって幾つかに類型化されており、レビューも国内外（中村, 2000<sup>1)</sup>、Bartoldus, 1999<sup>2)</sup>）で出版されている。この評価法では、現場調査を主体として生物特性値（生物量、出現種類、機能特性）と環境要素との関係性を評価関数にして、対象生物の生息環境適合性を尺度にして環境価値を評価する。例えば、HEPにおけるSI（Suitability Index）、HU（Habitat Unit）は生物の環境応答、生息環境適合性を示す指標であり、国内でもアサリの生息適地評価等に使われている（新保ほか, 2000<sup>3)</sup>）。環境機能評価法は生物項目と環境項目の同時観測を前提としているため、1調査単位の費用は多くかかるが、評価にかかる時間は短くクイックアセスメントに向いていると云える。ただし、生活史を踏まえ時間的に連続した調査体制を実施しなければ、生物学的に意味のある評価はできない。

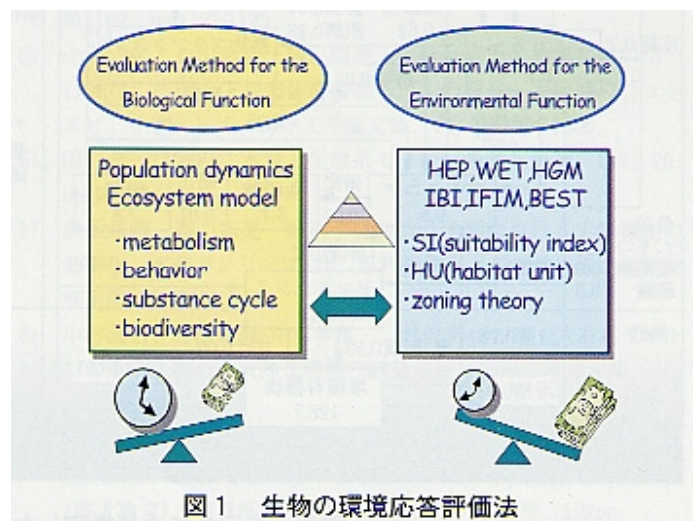


図1 生物の環境応答評価法

#### 2.2 生物機能評価法

生物機能評価法（Evaluation method for the biological function）は実験、分析、調査などから抽出される生物の内在的機能（代謝、免疫、内分泌）、種内関係、種間関係における生態学的機能、生物と非生物環境との相互関係（物質の輸送と循環等）についてモデル化する

る方法である。ウバガイ（中村ほか，1995<sup>4)</sup>）、ヨシエビ（小田ほか，1998<sup>5)</sup>）の個体群動態モデルや内湾域（田口，1998<sup>6)</sup>）、干潟域（鈴木ほか，1996<sup>7)</sup>）の生態系モデルなどが例として挙げられる。生物機能評価法は生物実験を伴うことが多く、調査・実験、データ解析及びモデル化を経て評価に至るまでの時間が長くかかることが欠点がある。しかし、環境機能評価法で示された帰納的關係、例えばSIで示された水深、底質、波浪などアサリの好適成育環境条件が成立する理由については、濁度に対するアサリの生理耐性や餌料性などの検討（生物機能評価法）から生物学的意味づけを行う必要がある。反対に、生物機能評価法の個体群動態モデルから推定されたアサリの好適生育場についても、現場調査とHU等から検証することが求められる。従って、両評価法の利点と欠点を理解して双補的に評価手続きを行うことが望ましい。

### 3. 生態系モデルの役割

ここでは生物機能評価法の中で、今後、中心的役割を果たす物質循環に焦点をあて、宍道湖生態系の特徴を記述する。調査結果によると、宍道湖の底生生物はヤマトシジミが圧倒的に優占しており、軟体部の湿重量は全底生生物の97.5%に達し、その窒素量は湖岸域全体の20%を占める。またヤマトシジミの摂餌を經由して湖底に蓄積された窒素量は水中の全窒素量に匹敵しており、生物ポンプによって水中から多量の窒素が海底に輸送され貯蔵されていることになる。このようにヤマトシジミの生物活動が宍道湖生態系の物質循環に果たす役割は大きい。

#### 3.1 モデル化

生態学の研究方法として、自然界を構成する様々な要素を積み上げ、系（システム）として、その仕組み（構造）と役割・相互作用（機能）を総合的に理解する重要性が提唱され、そのための道具として生態系モ

デルが開発されてきた。生態系モデルにおける個々の要素は演繹的に定式化されているが、人間の直感的理解度は精々3次元が限界であるので、モデルがもたらす多次元的・時系列結果はときには還元的思考からは想像外のパラドクスを引き出すこともある。水域生態系モデルの基本構成は次の三つのモデルから成り立っている。第一は水の流れや水温・塩分分布など環境の外力を決定する3次元非定常流体力学モデルである。次に、この物理的環境場を背景に栄養塩類（河川負荷および再生生産）、植物プランクトン、動物プランクトン、デトリタス、DOM、堆積物、DOなどの動態を表現する低次生産力モデルである。第三は水域に優占して出現する生物の個体群動態モデルである。計算は重量、カロリー、物質などを媒体としているが、通常は物質（N、C、P）の収支として実行するが多い。具体的なモデルの構成は、内湾汽水域を対象とした低次生産モデル（物質循環モデル）に宍道湖に優占的に生息するヤマトシジミ（*Corbicula japonica*）の個体群動態を組み込んだものである<sup>8)</sup>。モデルの再現性の検証として、島根県内水面水産試験場が実施している生物、環境モニタリングデータを利用している<sup>9)</sup>。

#### 3.2 物質循環のスキーム

図2はヤマトシジミの現存量が大きくなると共に、底層での貧酸素化が進む夏季（7月～8月）に着目し生態系要素の平均的現存量並びに窒素循環過程の解析結果である。

湖岸域では陸域からの負荷により、湖中央域よりも無機態窒素が多い。無機態窒素は湖岸域で消費された後に湖中央域に輸送される。一方、湖岸域では植物プランクトンとデトリタスがヤマトシジミに摂餌されるため、有機物が少ない傾向にある。ヤマトシジミの摂餌量は植物の栄養塩摂取より多く、結果として湖中央域の有機物も取り込んでおり、宍道湖全体の水質浄化に寄与しているといえる。湖岸域ではヤマトシジミをめぐる循環量が浮遊系に比べて大きく、沖合よりも活発な

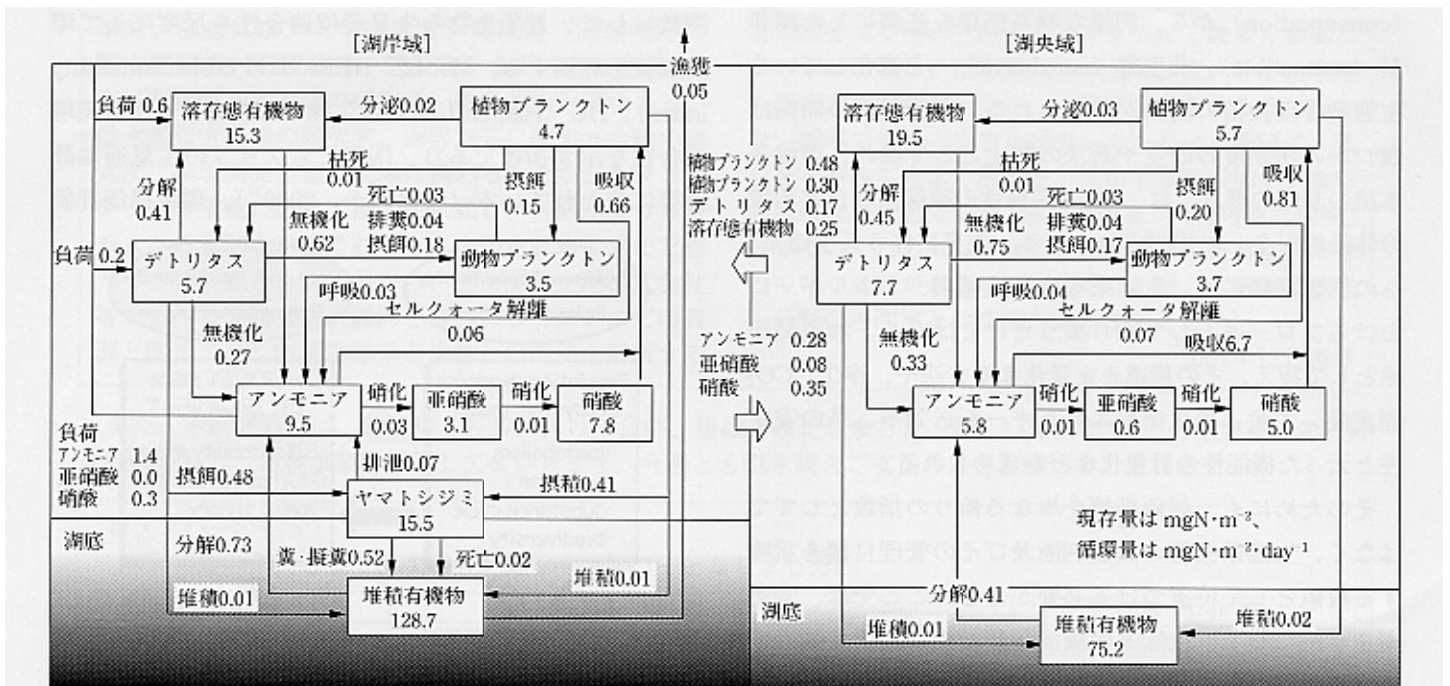


図2 モデルにより推定した宍道湖における夏季の窒素循環



窒素循環を担っている。

ヤマトシジミは宍道湖の窒素保持としても大きな役割を果たしている。ヤマトシジミは動植物プランクトンの2倍程度の現存量があり、溶存態有機物に匹敵する。また、ヤマトシジミを介して水中から除去される有機物は擬糞・糞として排泄され、春季からの経過により多量の堆積有機物が湖岸域に蓄積されている。漁獲による系外への窒素除去の効果は小さいが、年間に渡り継続されていることから、累積値としては十分な効果があるといえる。

このように、物質循環の解析結果は、通常図2に示す形式で表示される。このスキームから、生態系の構成要素の物質質量ならびに要素間の循環量について、定量的な情報を得ることができるのでよく使用される。しかし、この計算スキームからは構成要素の物質質量の順位関係、物質の更新速度、系の複雑度と云った生態系の仕組みや特徴について直感的な解釈を得ることは困難である。そこで物質循環の特徴を分かりやすく表示する新たな評価指標を開発することが求められている。次回のニュースレターではこの点について包括的な論議を行う。

### 3.3 モデルの利用

生態系モデルの用途は研究目的の現況解析だけでなく、物質循環を旨く利用した水産増養殖と漁業管理のツール、集水域の健康診断と環境修復のための政策提言など利用範囲は広い(図3)。

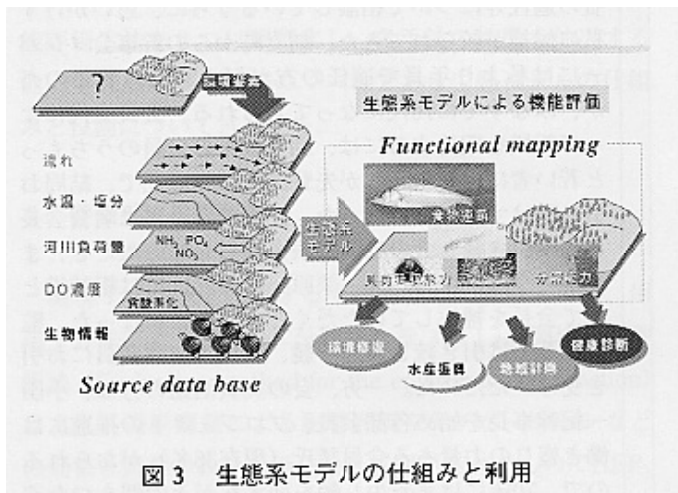


図3 生態系モデルの仕組みと利用

### 参考文献

- 1) 中村義治編(2000):生態系における構造と機能の評価方法に関するレビュー、水産工学研究集録、8、水産庁水産工学研究所、205pp.
- 2) Bartoldus, C, C (1999): A Comprehensive Review of Wetland Assessment Procedures. Endronmental Concern Inc., Maryland, 196pp.
- 3) 新保裕美・田中昌宏・池谷毅・越川義功(2000):アサリを対象とした生物生息地適性評価モデル、海岸工学論文集、47、pp. 1111 - 1115.
- 4) 中村義治・田口哲・飯泉仁・三村信男・(1995):二枚貝の餌料環境と資源変動モデルに関する一考察、海岸工学論文集、42、pp. 1121 - 1125.
- 5) 小田一紀・石川公敏・城戸勝利・中村義治・矢持進・田口浩一(1997):内湾の生物個体群動態モデルの開発、大阪湾の「ヨシエビ」を例として、海岸工学論文集、44、pp. 1196 - 1200.
- 6) 田口浩一(1998):水質と生態系モデル、海洋と生物118、20、pp. 366 - 374.
- 7) 鈴木輝明・青山裕晃・畑恭子(1996):干潟における生物機能の効率化、水産学シリーズ110、生物機能による環境修復、恒星社厚生閣、pp. 109 - 134.
- 8) 中村義治・寺澤知彦・中村幹雄・三村信男(2001):宍道湖ヤマトシジミ個体群の水質浄化機能の評価解析、海岸工学論文集、48、pp. 1236 - 1240.
- 9) 中村幹雄(1997):宍道湖におけるヤマトシジミ *Corbicula japonica* PRIMEと環境等の相互作用に関する生理生態学的研究(博士論文)、島根県水産試験場研究報告、第9号、192pp.

## 事務局通信

2001年6月17日付けで、本研究会会長の辻田時美氏が名誉会長に、会長に菊池泰二氏が新しく就任いたしました。

## 会長就任にあたって

菊池 泰二（本研究会会長・九州ルーテル学院大学教授）

すでに就任後大分時が経ってしまったが、今年6月の総会の際に、本会設立の発起人であり、発足後14年に及び会長を勤めてこられた辻田時美先生から高齢を理由に会長を辞退したいとの発言があった。後任候補者の適性等について相談しているうちに、思いがけず私に候補が絞られてきた。創立時からの幹事会メンバーには私より年長で適任の方が何人もおられるのだが、みなすでに70代になっておられる。会長交代によって新風を期待するには、創立以来の会員のうちもっと若い者に、というのが先輩諸氏のご意見で、結局お引き受けすることになった。辻田前会長には名誉会長として引き継ぎ会の動向に眼を光らせていただき、また畑 幸彦、中村 充、栗原康の三氏には相談役として会長を補佐していただくということになった。監事としては引き続き渡辺競、廣崎芳次両会員にお引き受けいただいた。一方、会の実質活動の方は、小田一紀幹事長を始め各部長、プロジェクトの推進には働き盛りの力量ある会員諸氏（現在36名）がおられるので、70歳にはまだ少し齢を残す私がおの間をつなぐ形で役に立つならと考えている。また、これを機会に会の活動を円滑にするため、会の組織を整理し再出発することとなった。

本会は発足以来、対外活動として海岸、河口域、沿岸海洋の生態系の理解、開発に伴う生態系の変化とそれに対する環境保全の問題を対象として、原則として年2回、これまで20回のシンポジウムを開催してきた。講師、演者には、大学研究者、環境省（旧環境庁）、国土交通省（旧運輸省、建設省）などの行政担当者、海に関係する各省庁の研究所、各自治体の環境あるいは水産研究機関の研究者、海洋開発に関する会社の研究部、環境関係企業の現場に携わる人々などをシンポジウムの主題に応じて協力を依頼し、各回かなり多数の人々の参加を得てそれなりに成功を収めてきたと思う。それに加え、数年前から、関西国際空港株式会社等からの委託研究、大阪湾を舞台にしてヨシエビの資源と関連させた内湾生態系と生物との関係を解析するプロジェクトめ自主

研究も進行し、成果を世に問う域に達している。いずれも会員の自主的な活動によるものであるが、今後もこの方面での活動を発展させていくことは重要なことと考えている。

現在まで本会のシンポジウムは大阪と東京の2箇所の開催地に限られていた。これには会員、聴衆となる団体の分布も首都圏、関西に集中しているのは事実であるが、シンポジウムの主題によっては、西日本では瀬戸内海沿岸の諸都市や九州の博多湾なり有明海を舞台に現地の調査に関与した人々との意見交換、三重、愛知の伊勢湾、三河湾、静岡県浜名湖などについて、現地の近くで沿岸環境の変遷、現在の主要課題などを地元の研究者から聞くといった企画も有って良いと考えている。さらに元水産庁で今は独立行政法人水産総合研究センター所属になった瀬戸内海区水産研究所（広島県大野町）、同水産工学研究所（茨城県波崎町）などを会場にその面する海の抱える問題や研究の課題について意見交換する会、あるいは元通産省工業技術院だった独立行政法人産業技術総合研究所の海洋資源環境研究部門（呉市）で瀬戸内海の大型モデルを見学しながら、同研究所の研究を聞き質疑を交わす会など、会員が所属する研究機関を訪問させていただき、小規模ながらよりくだけた雰囲気の良いローカルな会合を企画することも考えてみたい。

もう一つ、社会の諸制度の改変もあって「環境の配慮」が唱えられてきた現在、本会の場合工学系の研究者が敢えて生物の生態研究に手を広げて数多く参加しているのに対し、生物学側の研究者、殊に若手、中堅の研究者の参加が少ない。人為に攪乱されることの少ない環境で生物の生態を研究したいという希望は、私自身を省みてもよく解るが、生態学者の参加が少ないのは残念なことである。沿岸環境を「持続可能な環境」としていくためには、横断的な学問分野がお互いに補っていく必要があるが、今後更に一層、本研究会は広い分野の専門家との交流を進めて行きたい。

2001年12月吉日

また、本研究会では、2001年6月17日付けで会則、組織を改正しました。新しい体制のもと、「生態系工学」の進展に寄与し、各種事業を推進してまいります。今後とも引き続きご支援のほどお願い申し上げます。

## 〔新メンバーの紹介〕

本研究会の会員として、次の方が新しくメンバーとなりました。

役員等	氏名	現在役職	専門分野
相談役	中村 充	福井県立大学名誉教授・国際海洋科学技術協会理事 農学博士	生態系環境工学、水産土木
会 員	井川 浩史	神戸大学内海域機能教育センター 教授 理学博士	藻類学
会 員	辻本 剛三	神戸市立工業高等専門学校 都市工学科 教授 工学博士	海岸工学、水工学