

## 研究論文

# 東京湾横浜沿岸域におけるメバル稚魚・幼魚ハビタット適性指数（HSI）モデルによるアマモ場復元の評価

矢代 幸太郎\*, 田中 章\*\*

An evaluation of *Zostera* bed restoration by using Rockfish fry and young fish habitat suitability index (HSI) model in Yokohama, Tokyo-Bay

Kotaro YASHIRO\* and Akira TANAKA\*\*

**Abstract :** For the quantitative evaluation of *Zostera* and *Sargassum* bed ecosystems, we selected Rockfish as a representative species and made its HSI model. The habitat variables of the basic model were adjusted to reflect the sea area characteristics based on the field survey. Field verification proved that the adjusted model could be used as an index for rockfish's habitat suitability. In addition, we could express an effect of the *Zostera* bed restoration by the adjusted model. The advantage of this HSI modeling method is that it can be easily applied to any species of fish and that the field investigation can be done efficiently. This research shows that the approach by developing HSI model is effective in the quantitative evaluation of *Zostera* and *Sargassum* bed ecosystems.

キーワード：HEP, HSI モデル, 藻場生態系, メバル

## 1. はじめに

藻場は、生物多様性の高い貴重な生態系で、生物生産や水質浄化等の面からみても重要な機能を提供している。藻場を対象とする埋立てなどの開発においては、影響の定量的な把握とそれを踏まえた適切な保全措置の実施、管理が強く望まれる。また、藻場を創出あるいは復元する際にも、多様性維持等の機能面に着目した「質」の評価が重要である。

生態系機能の定量化技術が先行している米国では、HEP (Habitat Evaluation Procedures) あるいはその改良型による評価が主流である<sup>1)</sup>。近年、国内の環境アセスメントにおいても利用され、従来の日本の環境アセスメントの諸問題を解決しうる手法として注目されている<sup>2)</sup>。HEPとは、生態系の価値を野生動物の生息場に置き換え、質・空間・時間の軸から定量的に比較検討する手法であり、3つの軸のうち「質」を定量化するものとして一般的に使われているのが HSI (Habitat Suitability Index) モデ

ルである<sup>3)</sup>。

これまで、藻場生態系における HSI モデルの開発に関する研究は、アマモ群落の HSI モデル<sup>4)</sup> や海藻類の HSI モデル<sup>5)</sup>、大型海藻群落の HSI モデル<sup>6)</sup> が報告されている。これらは、藻場の基盤となる植物種の生育環境を直接評価するものである。一方、藻場には動物種の隠れ場、育成場といった機能があるが、これらの機能を利用する動物種を生態系の代表種に選定し、藻場生態系を評価した例はない。

本研究では、アマモ場、ガラモ場（ホンダワラ類藻場）の代表種として魚類のメバルを選定し、HSI モデルを構築した。次に、構築した HSI モデルを実際のアマモ場復元事業に適用し、生態系復元の効果を評価し、その有効性を検証した。本稿は、特に HSI モデルの基本モデルの東京湾横浜沿岸域への適用を前提とした現地調査データによる調整および HSI モデルの検証、アマモ場生態系復元の評価に絞ってその内容を報告するものである。

\* 株式会社東京久栄 (Tokyokyuei Co., Ltd.)

\*\* 東京都市大学 (Tokyo City Univ.)

## 2. モデル対象種の選定

藻場（アマモ場、ガラモ場）生態系の代表種としてメバルを選定した。選定理由は、①アマモ場、ガラモ場を利用する底魚類の典型種であり、上位種であること、②一般的な認知度が高い種であること、③釣り等のレジャーの対象魚であること、④古くから水産資源として研究対象とされており、生態的知見が比較的整備されていることである。

なお、メバルはアカメバル (*Sebastes inermis*)、クロメバル (*Sebastes ventricosus*)、シロメバル (*Sebastes cheni*) の3種に分類されているが<sup>7)</sup>、生態的特徴についての知見がないため、本研究では区別しなかった。

メバルは生活史の段階によって生息場所を変える。本研究では、藻場の評価を目的としているため、藻場を利用する稚魚および幼魚のみを対象とし、仔魚や成魚は対象としなかった。なお、本研究で対象とする「稚魚」は遊泳能力を備えた稚魚期の個体を指し、「幼魚」は沖合の岩礁域における定住生活に移行する前の、アマモ場やガラモ場を利用する未成魚期初期段階の個体(概ね体長10 cm以下)とした<sup>8)</sup>。

## 3. HSI モデルの構築方法

### 3.1 基本モデルの作成

本研究では、米国地質調査所 (USGS) が公開している既往の HSI モデルのうち、メバルと同様なハビタットを利用する種の HSI モデルを参考にしてモデル骨格を作成した。

その後、BPJ (Best Professional Judgement : 最善の専門的判断による基準) により、メバルに特有な生態的特徴を考慮して新たな変数を加えた。また、変数の重みづけ等、メバルに適合するように調整を行い、基本モデルとした。

### 3.2 現地調査による調整

作成した基本モデルは、適用海域の特性を反映しておらず、実際の使用時に精度的な問題が生じることが予想された。そこで、現地調査による変数の調整を行い、精度向上を図った。

横浜市金沢区の野島公園地先において、2006年7~12月の間、月1回のスクエーバによる潜水調査を行った。この海域は大型海草としてアマモ (*Zostera marina*) が繁茂しており、この期間は、メバルが主にアマモ場を利用すると考えられる春、秋を含んでいる。アマモ場に10.5 m × 37.5 m の区画を設定し、1.5 m × 2.5 m の格子状に区切ってメバル個体数とア

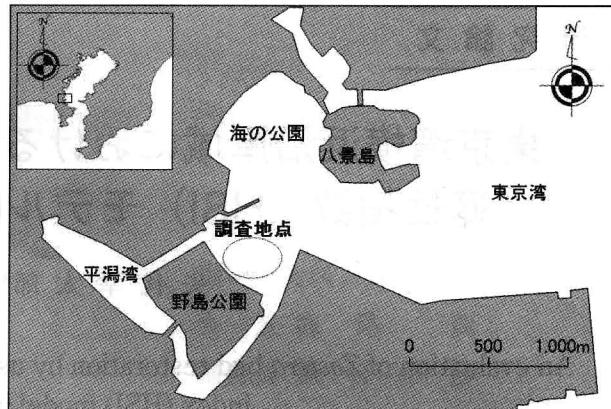


図1 現地調査地点

マモの植被率（単位面積における植物が繁茂している面積の割合：80%以上、50~80%、20~50%、5~20%、5%未満の等級で記録）を目視により計数・観察した。また、調査区に連続記録式水温計 (Tidbit TBI32-05+37, Onset 社) を設置し、1時間毎にデータを取得した。

### 4. メバル稚魚・幼魚 HSI モデル

作成した基本モデルと、現地調査データによる調整結果を紹介する。

#### 4.1 ハビタット利用情報

##### a) 分布

メバルは日本周辺の沿岸に広く分布し、特に瀬戸内海、九州沿岸を中心とする西日本に多く<sup>9)</sup>、藻場や沖合の岩場に生息する<sup>10)</sup>。

##### b) 生活史の概要

メバルは卵胎生である。交尾期は11~1月で<sup>9, 10)</sup>、胎仔は12~2月頃に全長0.4~0.5 cmで体外に産出され、プランクトン生活を通じて分散し<sup>8)</sup>、開けた海域の表層で浮遊期を過ごす<sup>9, 11)</sup>。

稚魚は2~4月に内湾へと移動し<sup>10)</sup>、3~5月に3~6 cmでアマモ場あるいはガラモ場において定着生活に入る<sup>9, 12)</sup>。鰓（ひれ）などが完成に近づくとともに運動能力を備え、遊泳移動によって次第に底層生活へと移行し、特定の場所に定位することが可能になる<sup>8, 9, 11)</sup>。アマモ場、ガラモ場に定着したメバルは、初期には群れをなして海藻のまわりを遊泳し、浮遊性の橈脚類（かいあしるい）<sup>(1)</sup>などの餌を探す<sup>12)</sup>。葉上生物を食べると単独生活をするようになり、海藻を隠れ場として利用する<sup>12)</sup>。しかし、アマモが密生しすぎると蝦集（いしゅう）<sup>(2)</sup>が妨げられることもある<sup>13)</sup>。

アマモ場の幼魚の大部分は夏以降にアマモ場を去

って湾内のガラモ場、さらには湾口、湾外の大型褐藻藻場となっている岩礁域に移動する<sup>11, 12)</sup>。ガラモ場の幼魚は、6月に5~6 cmになる頃には海藻類が流失するために深みの岩場やアラメ等の海藻群落に移り<sup>14)</sup>、秋に大型海藻が育つと再び浅い海藻群落に移動し、12月頃に水温が10°Cを下回ると深みへ移動して越冬する<sup>10)</sup>。

メバルは、次第に隠れ場所として岩穴を必要とするようになって深所の岩礁域へと移動する<sup>8)</sup>。1才魚も藻場内に生息するが、体長11 cm以上のものはほとんど岩礁域に生息し<sup>9)</sup>、2才魚以上の成魚になると湾外の岩礁域で定着する<sup>11, 12)</sup>。

#### 4.2 ハビタット変数の検討

メバルは、主に春および秋にアマモ場やガラモ場を利用する。夏は、高水温によって海草藻類が流失すると、利用の程度は低くなる。そこで、本研究では、春（水温が上昇してメバルが利用可能となってから、海草藻類の流失が顕著となるまでの時期、目安として4~7月）および秋（再び海草藻類が生長し始めてから、水温が下降してメバルが沖へと移動するまでの時期、目安として10~12月）に着目し、ハビタット変数を検討した。

メバルのハビタット利用情報から、水温等の環境要因の状態（以降「水質」と表記）と、餌生物の供給源や捕食を回避する隠れ場となるアマモ場およびガラモ場のような植生（以降「食物／カバー」と表記）を、メバルの生息に重要な生存必須条件と考えた。これらに係る環境要因をリストアップし、測定対象とするハビタット変数を選定した（図2）。

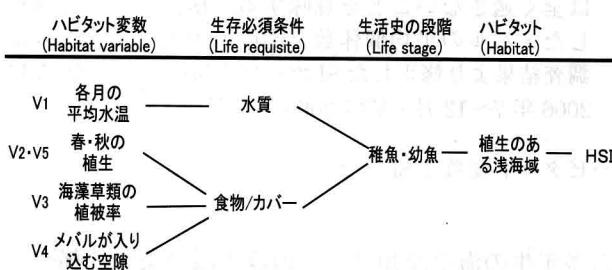


図2 メバル稚魚・幼魚のハビタット変数、生存必須条件およびHSIの関係

##### a) 水質のハビタット変数

###### (1) 各月の平均水温 (V1)

水質に係る環境要因として、塩分、濁度、溶存酸素、水温を考えた。

塩分、濁度は、メバル等の底魚類のレビューにお

いて、塩分は10~20%以下、濁度は100~200 ppm以上で底魚類の行動に影響することが示されている<sup>15)</sup>。このことから、河口域を除く海域の通常の塩分、濁度はメバルの行動に影響を与えないないと判断し、ハビタット変数としなかった。本研究のモデルを河口域で利用する際には、塩分を変数に加えるなどの注意が必要である。

溶存酸素は、貧酸素の状態がメバルの行動に影響を与えると考えた。しかし、貧酸素の状態の変化は急激で、青潮のように数日で状況が一変するような現象もあることから、ハビタット変数として不適と考え、選定しなかった。

水温は、深みへの移動などのメバルの行動に影響すると考え、ハビタット変数に設定した。

稚魚の適水温域は9~14°Cで<sup>16)</sup>、幼魚においては10°C未満に低下すると深みに移動し、越冬するという報告がある<sup>10)</sup>。また、成魚の飼育実験において10°Cで馴致（じゅんち）<sup>(3)</sup>した場合に24 ± 1°C、15°Cで馴致した場合に27~28°C、20°Cで馴致した場合に25~30°Cで死亡するという報告がある<sup>16)</sup>。そこで、基本モデルにおいては10~14°Cを最適とし、30°C以上を不適とするSIを設定した（図3、V1：実線）。

水温は、評価の利便性から各月の平均水温を用いることとした。SIモデルに代入する値は、最低でも月に1度、河川の流入や潮の流れを考慮しつつ、メバルの生息する下層の水温を測定したものとした。

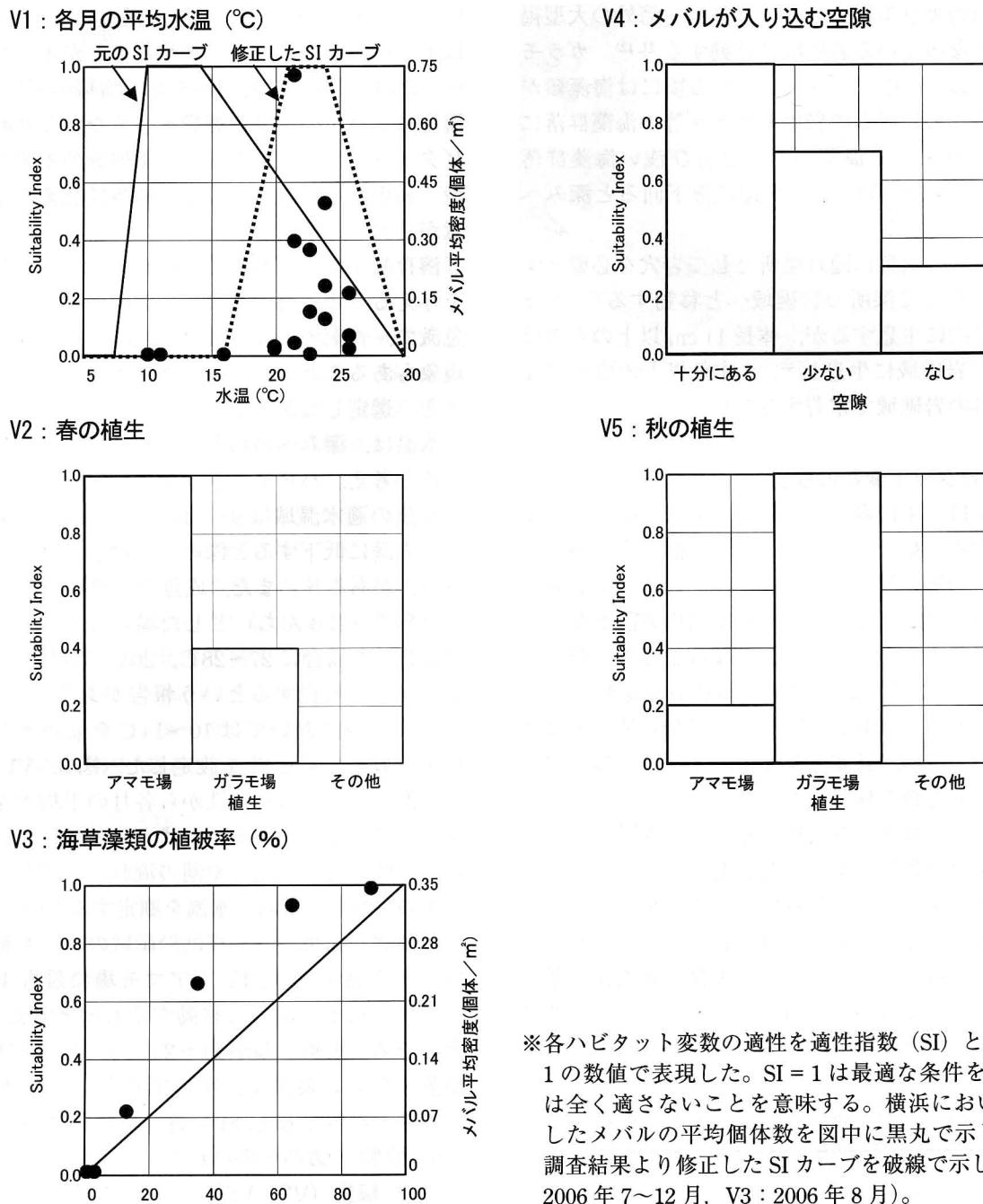
現地調査結果から、横浜沿岸域のメバル稚魚・幼魚は、水温が21~24°Cでアマモ場に最もよく集まり、16°C以下で深みに移動するものと考えられた。そのため、平均水温が21~24°Cならばメバル稚魚・幼魚の生息に最適で、16°C未満もしくは30°C以上で不適となると考え、SIを調整した（図3、V1：破線）。

##### b) 食物 / カバーのハビタット変数

###### (1) 植生 (V2, V5)

メバル稚魚・幼魚は、葉上・葉間に生息する小型動物を捕食する<sup>8, 10, 11, 17)</sup>。また、遊泳能力の小さいメバル稚魚・幼魚には、藻場内の静穏な空間が適している<sup>16)</sup>。加えて、メバル稚魚・幼魚は食物連鎖における上位種である魚類等の捕食から逃れるため、アマモ場、ガラモ場の植生を隠れ場として利用する<sup>9, 12)</sup>。これらの知見から、アマモ場およびガラモ場といった植生がメバルの生息に適した条件であると考え、ハビタット変数に設定した。

なお、植生 (V2, V5) は、植生の違いによる餌生物の供給源としての適性を指標化したものである。隠れ場としての適性は、後述する海草藻類の植被率 (V3) で指標化した。



※各ハビタット変数の適性を適性指数(SI)として0~1の数値で表現した。SI = 1は最適な条件を、SI = 0は全く適さないことを意味する。横浜において観察したメバルの平均個体数を図中に黒丸で示し、現地調査結果より修正したSIカーブを破線で示した(V1: 2006年7~12月, V3: 2006年8月)。

図3 メバル稚魚・幼魚におけるハビタット変数とSIグラフ

餌生物は、海草藻類の葉上や葉間に生息するため、葉面積等の季節的変動によって生息場の量が変動し、繁殖等の活動とも連動して現存量が変動すると考えられる。海草藻類は種によって季節的消長のパターンが異なるが、多くの一年生の海草藻類は、冬から春にかけて現存量が多くなり、夏以降に流失し、秋に次世代が発芽して、生長に伴って再び現存量が増加する。このような海草藻類が優占する藻場では、葉上・葉間動物は冬から春に多くなり、夏および秋にはほとんど存在しないと考えられる。一方、多く

の多年生の海草藻類は、夏の高水温で葉の一部や藻体の一部が流失するものの、部分的に残存し、秋以降に再び生長する。このような海草藻類が優占する藻場では、夏から秋にも、ある程度の葉上・葉間動物が存在すると考えられる。

瀬戸内海で行われた、アマモを主な構成種とするアマモ場、ウスバノコギリモクを主な構成種とするガラモ場の葉上・葉間動物の現存量調査によると、春は、アマモ場の葉上・葉間動物はガラモ場の2.4倍程度存在したが、秋にはほとんど存在せず、逆に

表1 葉上・葉間動物の現存量

調査場所	アマモ場		ガラモ場		単位
	春	秋	春	秋	
瀬戸内海 <sup>12)</sup>	60.0	0.3	25.4	90.0	g/m <sup>2</sup>
天草地方	11.1	8.5	47.2	12.6	g/m <sup>2</sup>
大阪湾 <sup>18)</sup> タマハハキモク			167.2	11.4	g/kg
大阪湾 <sup>18)</sup> シダモク			61.9	8.9	g/kg

ガラモ場の葉上・葉間動物が多かった（表1、瀬戸内海）<sup>12)</sup>。また、筆者らが天草地方のアマモからなるアマモ場と、ヤツマタモク、ホンダワラが主な構成種であるガラモ場において行った調査では、春は、ガラモ場にはアマモ場の4.2倍程度の葉上・葉間動物が存在したが、秋にはガラモ場の動物量が1/3程度にまで減少し、アマモ場の1.5倍程度となった（表1、天草地方）。さらに、大阪湾で行われた調査では、ガラモ場の主な構成種であるタマハハキモク、シダモクの葉上動物（ワレカラやヨコエビ等の節足動物）の海藻類1kgあたりの重量は、それぞれ秋には春の1/15、1/7程度まで減少した（表1、大阪湾）<sup>18)</sup>。

これらのことから、葉上・葉間動物の季節的変動傾向は、植生あるいは主な構成種、海域によって大きく異なると考えられた。また、植生のない海域においては葉上・葉間動物はほとんど存在しないと考えられる。以上の観点から、瀬戸内海の事例を基に便宜的な基本モデルのSIを設定し、モデルを適用する海域において、植生あるいは主な構成種毎に、春・秋の葉上・葉間動物の量を基に調整するものとした。設定に際しては、対象海域における春、秋のそれぞれにおいて、植生あるいは主な構成種毎に、植被率の異なる数地点で試料採集を行い、植被率100%に相当する葉上・葉間動物の現存量を推定し、最も多い区分をSI=1.0とし、他の区分のSIを現存量の割合で求めることとした。なお、メバルの利用が少ない夏については、春もしくは秋の調査実施日の近い方の値で代用するものとし、SIグラフには示さなかった（図3、V2、V5）。

植生は、調査範囲を格子状に区切り、船上からの目視調査もしくはスクーバなどによる潜水調査を行って調べるものとした。

V2、V5は、同一海域にアマモ場とガラモ場といった複数の植生が存在するか、主な構成種が大きく異なる藻場が存在した場合に、相対的な適性を判断するための変数である。評価する藻場の主な構成種が単一であれば、相対比較は必要ないため、この変

数を評価から除外し、全ての調査格子にSI=1.0を代入する。本研究の現地調査では、調査範囲にアマモからなるアマモ場しか存在しなかつたため、V2、V5は評価から除外し、モデル調整も行わなかった。

### (2) 海草藻類の植被率（V3）

同じ植生でも繁茂状況によって適性が異なると考え、植被率をハビタット変数に設定した。

餌生物の供給源としての適性は植生（V2、V5）で指標化しているが、ガラモ場内の葉上・葉間動物の現存量はガラモの現存量に伴って変動し<sup>12)</sup>、アマモ場の多毛類（たもうるい）<sup>4)</sup>と端脚類（たんきやくるい）<sup>5)</sup>の個体数はアマモの消長に伴って変動することから<sup>15)</sup>、植被率（V3）は、隠れ場としての適性に加え、餌生物の供給源としての適性も指標すると考えた。

アマモ場、ガラモ場のメバル稚魚・幼魚にとって最適な植被率は不明であるが、餌場および隠れ場としての潜在的な能力は植被率に伴って増加すると考え、基本モデルのSIを設定した（図3、V3）。

植被率は、スクーバなどによる潜水調査を行って調べる。その際、調査格子毎に、大型海藻の植被率を0~100%で表記するものとした。

現地調査の結果、アマモの植被率が高い場所ほどメバルの稚魚・幼魚が集まりやすい傾向が見出された（図3、V3：黒丸）。そのため、植被率のハビタット変数は、メバルの行動を反映していると判断し、調整は行わなかった。

### (3) メバルが入り込む空隙（V4）

メバル稚魚はアマモ場やガラモ場のまわりを遊泳して餌を探し、幼魚は中層に半静止状態で浮遊しながら、葉上・葉間に生息する小型動物を海藻が揺らぐことにより水中に振り払われた状態で捕食する<sup>8, 10, 11, 17)</sup>。また、アマモ等が密生しそうになると魚類の聚集が妨げられる<sup>13)</sup>。以上のことから、植被率が高いほど餌場および隠れ場としての潜在的な能力は高くなるものの、アマモ等が密生しそうで、メバル稚魚・幼魚の入り込む空隙がない環境については、メバルの生息場としての適性が低いと考えた。そのため、植被率とは別に、メバル稚魚・幼魚が入り込む空隙の有無についてハビタット変数に設定した。

空隙の有無がどの程度メバルの行動に影響を与えるのか調査した文献は存在せず、BPJによって基本モデルのSIを設定した。BPJは、日常的にアマモ場で潜水観察を行っている3名が議論し、全員が感覚的に納得できるSIを設定した後、専門家に確認する方法で行った（図3、V4）。

空隙の有無は、スクーバなどによる潜水調査を

行って調べる。アマモ等が密生していない場合は「十分にある」、密生しているものの調査格子内に群落が繁茂していない部分が散在する場合は「少ない」、密生しており、ほぼ全面に繁茂している場合は「なし」とした。なお、植被率が低い場所・時期については必ず空隙が存在するため、調査を省略して最適と判断してもよいものとした。

現地調査においては、横浜沿岸域にはメバルが入り込めないほどのアマモの密生が観察されなかつたことから、調整は行わなかった。

#### 4.3 HSI 数式

ハビタット変数を以下のように組み合わせ、メバル稚魚・幼魚の HSI を算出した。

食物 / カバーの SI については、いずれかのハビタット変数の SI が 0 (ゼロ) となればメバルの生息場としての適性は失われると考え、幾何平均法<sup>3)</sup>に従って組み合わせた。

$$\text{水質の SI} = V1$$

$$\text{食物／カバーの SI} = (V2 \times V3 \times V4)^{1/3} \quad (\text{春})$$

$$\text{食物／カバーの SI} = (V5 \times V3 \times V4)^{1/3} \quad (\text{秋})$$

水質と食物 / カバーは、一方が最適でも他方が低ければメバルに適していない環境と判断できる。そのため、限定要因法<sup>3)</sup>の観点から、HSI は水質の SI と食物 / カバーの SI の低い方の値とした。

$$\text{HSI} = \text{水質の SI}, \text{食物／カバーの SI の低い方}$$

メバルは主に春および秋にアマモ場、ガラモ場を利用するが、春のみ、もしくは秋のみの利用も考えられる。したがって、アマモ場、ガラモ場の生息場としての価値は、利用時期で別個のものと判断できる。そこで、通年の HSI は春および秋を含む 6 ヶ月以上の月毎の HSI を足しあわせ、平均することで求めるものとした。

$$\text{通年の HSI} = \text{月毎の HSI の平均}$$

#### 4.4 運用上の制限

本研究のモデルは、メバル稚魚・幼魚が生息するアマモ場やガラモ場を含む、概ね水深 10 m 以浅の海域への適用を想定している。上述したように、河口域への適用には注意が必要である。

モデル適用の前提として、メバルがアマモ場、ガラモ場と沖合の岩礁域とを自由に行き来でき、成魚が餌とする岩礁域の魚類や甲殻類などの生物が十分

に存在することを仮定している。何らかの構造物によって移動が遮られる場合や、成魚が生息可能な岩礁等の環境が少ないと考えられる海域、成魚の生息環境へ負荷を与える事業影響評価などについては、適用に注意が必要である。なお、3 種のメバルに関する生態情報が蓄積された場合、モデルを再考することが望まれる。

#### 5. HSI モデルの検証

現地調査結果から、ハビタット変数の SI グラフに取得データを代入し、調査区の月毎の HSI 値を算出した。検証の際の現地調査結果の反映状況を表 2 に整理した。

表 2 現地調査結果の反映状況

ハビタット 変数	現地 データ	モデル 調整	検証に用いた 数値
V1	有	調整	現地データ
V2・V5	無	未検討	SI=1.0
V3	有	調整せず	現地データ
V4	有	調整せず	現地データ

メバルが調査区を利用していた 7~11 月の月毎の HSI 値とメバル稚魚・幼魚の個体数密度との間には、決定係数 0.83 で正の相関がみられた（図 4）。このことから、モデルは調査区のメバル稚魚・幼魚の生息場としての適性をある程度指標していると考えられる。

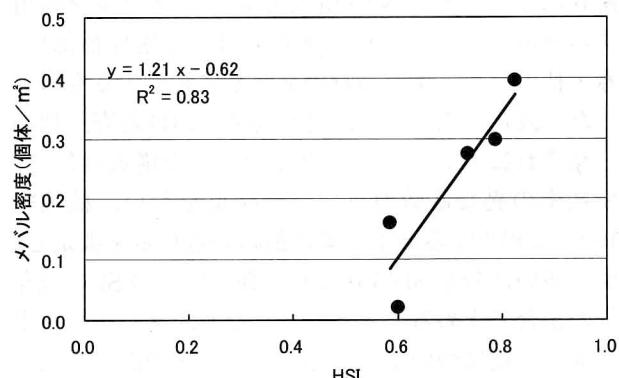
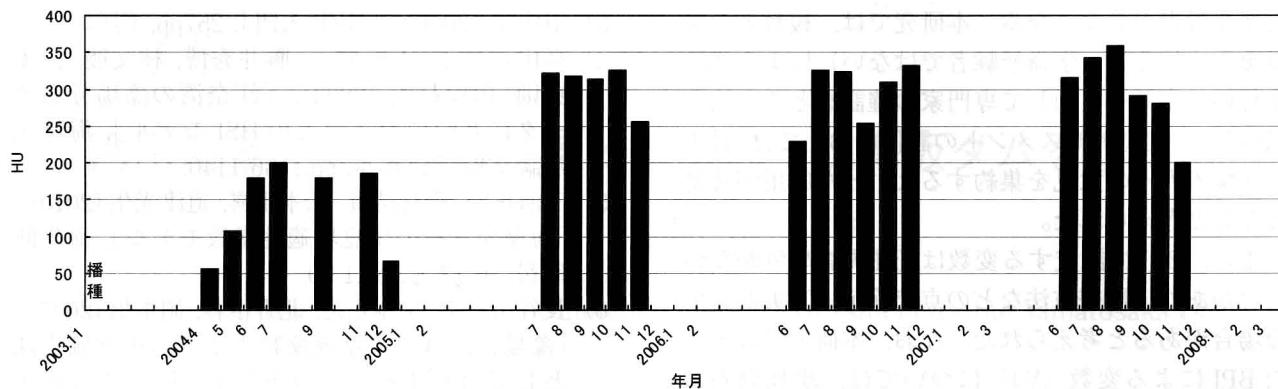


図 4 月毎の HSI とメバル個体数密度との関係

#### 6. 生態系復元効果の評価

作成したモデルを用いて、横浜沿岸域で実施されたアマモ場復元事業の効果について評価を試みた。この事業は、2003 年に赤潮等の影響で全滅の危機に瀕したアマモ場において、NPO や大学、研究者、企業、漁業者、行政、地域の人々（金沢八景－東京湾アマモ場再生会議）による播種および移植が行わ



\*数字の記載がない月はデータが存在しない

図5 アマモ場復元事業のHU変化

表3 アマモ場復元事業評価結果（2007年）

月	V1：各月の平均水温(℃)		V3：海藻草類の植被率(%)		V4：メバルが入り込む空隙		SI		HSI	HU
	値	(SI)	値	(SI)	値	(SI)	水質	食物/カバー		
1	12.7	(0.00)	66.0	0.66	十分	(1.00)	0.00	0.87	0.00	0
2	12.1	(0.00)	52.3	0.52	十分	(1.00)	0.00	0.81	0.00	0
3	13.1	(0.00)	59.0	0.59	十分	(1.00)	0.00	0.84	0.00	0
6	20.0	(0.80)	63.0	0.63	十分	(1.00)	0.80	0.86	0.80	315
7	21.5	(1.00)	65.8	0.66	十分	(1.00)	1.00	0.87	0.87	342
8	23.2	(0.97)	75.1	0.75	十分	(1.00)	0.97	0.91	0.91	358
9	23.6	(0.92)	40.6	0.41	十分	(1.00)	0.92	0.74	0.74	291
10	21.2	(1.00)	36.4	0.36	十分	(1.00)	1.00	0.71	0.71	281
11	18.6	(0.51)	47.1	0.47	十分	(1.00)	0.51	0.78	0.51	201
12	14.8	(0.00)	46.7	0.47	十分	(1.00)	0.00	0.78	0.00	0

れ、2007年には広範にわたってアマモ場が回復した事例である<sup>19)</sup>。当海域では、アマモの種が播種された2003年11月以降、2008年3月までスキューバによる潜水調査が行われた。評価には、最も長期間のデータが存在している、本研究の現地調査と同じ区画(10.5 m × 37.5 m)の植被率(V3)および空隙(V4)のデータを用いた。水温の変数(V1)は、近隣の公共用水域調査地点(平潟湾内、平潟湾沖)の下層水温の平均値を用いた。植生の変数(V2, V5)は、上述したように検討から除外した。

アマモ場復元事業のデータからSI, HSIを算出し、調査区画の面積(394 m<sup>2</sup>)を掛け合わせてHU(Habitat Unit)を算出した。参考に、2007年の各変数の値、SI、HSI、HUの算出結果を表3に示した。復元されたアマモ場は、播種の翌年である2004年にHUが55~199となり、メバル稚魚・幼魚の生息場としての機能は最大値である394の14~51%となった(図5)。2005年以降は、6~12月に最大値の51~91%となり、生息場としての機能を安定的

に提供していると判断できた。

## 7. 今後の展望

本研究では、生態系復元の効果について、HSIモデルによる質に着目した定量評価を行うことができた。今後、環境アセスメントの生態系項目に係る事業影響評価への応用が期待できる。そのために、事例の積み重ねにより、モデル精度を高める技術や、調査技術の向上を図ることが望まれる。

また、魚類のHSIモデル構築において、既往知見とBPJにより基本モデルを作成し、現地調査データで調整する方法の実例を示すことができた。この方法は、変数の設定後に現地調査を実施するため、調査にかかる労力が少なく、効率的と考えられた。

BPJにより設定する変数は主観的な数値であるため、なるべく多くの専門家の意見を集め、共通解を得ることが望まれる。しかし、協力いただける専門家を探し出し、モデルの主旨、変数の位置づけを説明し、理解してもらった上で判断される必要があり、

大変な労力が必要となる。本研究では、複数名の現場をよく知る人（学識経験者ではない）による議論を行い、意見を集約して専門家の確認をとる方法を試行した。環境アセスメントの評価においては、様々な立場の人々の意見を集約するといった応用が必要となると考えられた。

また、BPJで設定する変数は既往調査事例がない場合があり、調査方法などの点で検証に工夫が必要な場合があると考えられた。なお、本研究で設定したBPJによる変数（V4）については、現地調査による検証を実施していないので、モデル利用時には注意が必要である。

メバルをはじめとする水産対象種は、資源としての観点から生態的知見の蓄積が多く、基本モデル作成の環境が整備されている。一方で、環境アセスメントにおいては、評価結果が開発行為の是非に直接的に関連するため、利権者が多い水産対象種については、BPJが得られにくいことも考えられる。いかに専門家の協力を得るかが、モデル作成の効率を高める上で重要である。

今後、同様な方法によるモデル開発や、モデルの実用化が期待される。

## 謝 辞

モデル作成にあたり、横須賀市自然・人文博物館の林公義館長、京都大学名誉教授の原田英司氏に多大なる情報と貴重なアドバイスを頂いた。また、（株）東京久栄の岩下勉氏、増本貴士氏には、現地調査において多大な協力を頂いた。ここに記して厚く感謝の意を表する。本研究の一部には、（社）日本環境アセスメント協会・研究部会の成果が含まれている。

## 補 注

- (1) 橋脚類：甲殻綱橋脚亜綱の節足動物の総称で、ケンミジンコ類のこと。
- (2) 蝦集：魚が漁礁などに集まること。
- (3) 駐致：予備飼育等により慣れさせておくこと。
- (4) 多毛類：環形動物門多毛綱の動物の総称で、ゴカイ類などのこと。
- (5) 端脚類：甲殻亜門軟甲綱端脚目の動物で、ヨコエビ類やワレカラ類などのこと。

## 参考文献

- 1) 田中章（2007）、「22 HEPによるハビタット評価、野生生物保全技術第二版」, pp.275-290, 海游舎。
- 2) 田中章、大澤啓志、吉沢麻衣子（2008）、「環境アセスメントにおける日本初のHEP適用事例」, ランドスケープ研究, Vol.71 (5), pp.543-548.
- 3) 田中章（2006）, 「HEP 入門」, 257pp, 朝倉書店.
- 4) 高山百合子、上野成三、勝井秀博、林文慶、山木克則、田中昌宏（2003）, 「江奈湾の藻場分布データに基づいたアマモの HSI モデル」, 海岸工学論文集, 第 50 卷, pp.1136-1140.
- 5) 三浦正治、野村浩貴、松本正喜、道津光生（2010）, 「海藻類 4 種の生息場適性指数モデル」, 海生研報, 第 13 号, pp.1-50.
- 6) 長谷川一幸、山本正之、北野慎容、岡本信（2007）, 「藻場における大型海藻類の生育適地評価手法としての HSI モデルの適合性の検討」, 水産工学, Vol.43 (3), pp.207-210.
- 7) Kai Y, Nakabo T (2008), 「Taxonomic review of the *Sebastes inermis* species complex (Scorpaeniformes: Scorpaenidae)」, Ichthyological Research, No.55 (3), pp.238-259.
- 8) 布施慎一郎（1981）, 「藻場・海中林 水産学シリーズ 38」, pp.24-33, 恒星社厚生閣.
- 9) (財) 海洋生物環境研究所（1991）, 「沿岸至近域における海洋生物の生態知見 魚類・イカタコ類編」, pp.463-475, (財) 海洋生物環境研究所.
- 10) 落合明、田中克（1986）, 「新版 魚類学（下）」, pp.1031-1034, 恒星社厚生閣.
- 11) 菊池泰二（1984）, 「魚類の生活と藻場とのかかわり」, 藻場特別部会とりまとめ, S58, pp.100-110.
- 12) E. Harada (1962), 「A contribution to the biology of the black rockfish, *Sebastes inermis* CUVIER et VALENCIENNES」, Publ. Seto. Mar. Biol. Lab. Kyoto Univ, No.10 (2), pp.307-362.
- 13) 布施慎一郎（1962）, 「アマモ場における動物群集」, 生理生態, No.11, pp.1-22.
- 14) 平山明（1978）, 「ガラモ場に生活するメバル当才魚の摂餌活動と移動及び種間関係について」, 南紀生物, No.20 (2), pp.55-62.
- 15) (社) 日本水産資源保護協会（1994）, 「環境が水産動物および漁業に及ぼす影響を判断するための判断基準と事例」, pp.57-73.
- 16) 下茂繁、秋本泰、高浜洋（2000）, 「海生生物の温度影響に関する文献調査」, pp.204-205, (財) 海洋生物環境研究所.
- 17) 北森良之助、永田樹三、小林真一（1959）, 「藻場の生態学的研究（II）季節的变化」, 内水研究報告, No.12, pp.187-199.
- 18) 矢持進、米田佳弘、吉澤昭人、大塚正純、二宮早由子（2000）, 「関西国際空港島地先海域の生物生産構造」, 海岸工学論文集, 第 47 卷, pp.1191-1195.
- 19) 林しん治、鈴木覚（2008）, 「アマモ場再生による海辺のまちづくり」, 第 10 回日本水大賞受賞活動紹介 (<http://www.japanriver.or.jp/taisyo/>).

（受付日 2010 年 4 月 14 日）