

人工潟湖干潟「野鳥の池」における 生物生息環境の変遷とHEPモデルの導入

FIELD STUDY ON ECOSYSTEM AND EVALUATION ON BENTHOS HABITAT
AT THE ARTIFICIAL TIDAL FLAT IN ARIAKE SEA

倉原義之介¹・森本剣太郎²・増田龍哉³・三迫陽介⁴・古川恵太⁵・滝川 清⁶

Yoshinosuke KURAHARA, Keita FURUKAWA, Kentaro MORIMOTO,
Tatsuya MASUDA, Yosuke MISAKO and Kiyoshi TAKIKAWA

¹学生会員 熊本大学大学院 自然科学研究科 (〒860-8555 熊本市黒髪2丁目39-1)

²正会員 博(工) 熊本大学 沿岸域環境科学教育研究センター (〒860-8555 熊本市黒髪2丁目39-1)

³正会員 熊本大学 沿岸域環境科学教育研究センター (〒860-8555 熊本市黒髪2丁目39-1)

⁴正会員 株式会社日水コン (〒163-1122 東京都新宿区西新宿6丁目22番地1号)

⁵正会員 工博 国土技術政策総合研究所 (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

⁶フェロー 工博 熊本大学 沿岸域環境科学教育研究センター (〒860-8555 熊本市黒髪2丁目39-1)

The Ariake Sea, a typical closed bay on the west coast of Kyushu Island, has been suffered several external impacts. However, the relative contribution of the various factors and processes of such impacts is still unclear. We have conducted field observations inside an artificial tidal flat to model the physical, chemical and ecological attributes of the tidal flat system in effort to preserve and recover the coastal environment of the Ariake Sea. In this study, the ecosystem and habitat of the artificial tidal flat was investigated by field observation over a 4-year period following the construction in October, 2002. Sediment has deposited in sub-tidal zone due to erosion of inter-tidal zone and inflow from outside the pond by rain and wind. Organic substance in the sediment is in proportion to soil content at sea, although it is dependent on eating by Benthos at inter-tidal zone. To use of the "minimum function" which selected the minimum SI could verify the accuracy of the Habitat Suitability Index model.

Key Words: Ariake-sea, Artificial tidal flat, Benthos, Environmental-change, HEP

1. はじめに

有明海は、アサリなどの水産資源の生産場、ムツゴロウ、ワラスボなどの固有種の生息場として重要な役割を果たしている。しかし近年、生物相の変化、種と数の減少など海域環境の悪化に伴う問題が顕在化している。そこで、熊本港北東角に造成された人工潟湖干潟（通称「野鳥の池」）では、海域環境の改善に向けた調査が、地形・底質・水質・生物など多岐にわたり行われてきている。また、既往の研究により、野鳥の池では生物種・個体数共に増加し独自の生態系が構築されていること、池内の潮下帯から潮上帯までの連続した地形が生物の棲み分けに大きく寄与していることが明らかとなっている¹⁾。しかし、どの環境因子によって、どの種がどの程度影響を受けるのかを予測できず、有明海再生を目標とした人工干潟の順応的管理に繋がっていない。そこで本研究では、底生生物の生物生息環境として関わりの深い底質環境の変遷を分析し、生物生息を左

右する環境因子を数値的に捉えた HEP を導入し生物生息の予測を試みた。

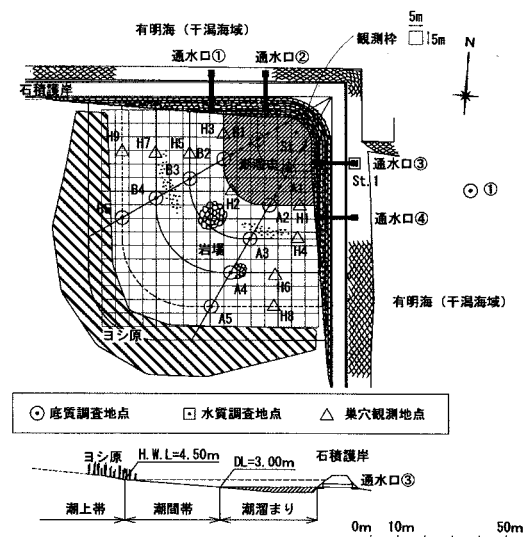


図-1 「野鳥の池」の概要

2. 人工潟湖干潟における調査

(1) 人工潟湖干潟「野鳥の池」の概要

本調査対象地である熊本港親水緑地公園野鳥の池（以下「野鳥の池」と略す）は、野鳥観察及び環境学習の場の創生を目的として、2002年10月に熊本港北東角に造成された人工潟湖干潟である。野鳥の池は、図-1に示すように石積護岸により外海と隔てられており、4ヶ所の通水管を通じて、潮汐の干満に応じ海水が自由に入出入りする仕組みとなっている。また、池内には潮汐によらず常に海水の溜まっている潮溜まりが存在しており、干潮時（水面D.L. +3.0m）の水深は平均0.3m、最深部で1m程度である。潮上帯には周囲を囲むようにヨシ原が繁茂し、その他、池内の環境に合わせて数種類の塩生植物が生育している。設計時の地盤勾配は約1/36で周りの干潟域（平均勾配1/600）よりも急勾配であり、含泥率は70%前後の泥質干潟である。造成当初は総面積23,000 m²に対して、潮溜まり1,028 m²、潮間帯4,222 m²、潮上帯17,750 m²であった。

(2) 調査方法

野鳥の池では2002年10月の造成以後、地形・底質・水質・生物に関する調査が定期的に行われている¹⁾。HEPモデルの導入にあたり、生物個体数と環境要因の調査を新たに行った。生物個体数の調査は、野鳥の池を図-1に示す5mメッシュ観測枠に区切り、枠内の個体数を目視により観測した。観測対象種は

ヤマトオサガニ、チゴガニ、シオマネキ、ハクセンシオマネキ、アシハラガニ、トビハゼ、フトヘナタリの7種の表在性生物であり、2006年6月から、約2ヶ月おきに3回観測を行った。環境要因のうち、含泥率、地盤支持力、地盤高はそれぞれ、表層5cmの採泥を23地点、コーンペネトロメータを用いた貫入試験を18地点、トランシットを用いた測量を5m間隔の側線について行い、このデータを補間することで5間隔のグリッド状にして用いた。また、植生は繁茂状況で6段階、滞筋と木柱は有無の2段階、石積みと岩場はそれぞれから距離に応じて6段階に分けた階級値を各観測枠に与え環境要因のデータとした。

3. 底質環境の変遷と生物変動

(1) 地形変動に与える風雨の影響

図-2は最大瞬間風速、降水量と図-1に記すB1～B5地点における地盤高変動を時系列に示したものである。なお、最大瞬間風速、降水量は気象庁の熊本観測気象台におけるデータを用いた。図より荒天時に、潮溜まり境界付近のB1～B2地点は顕著な堆積を示している。これは、強い波浪により巻き上げられた底泥や出水時に河川から流れ込んだ土砂などが、石積み護岸に囲まれ波浪の穏やかな野鳥の池内部に堆積したものであると思われる。また、地盤の高いB3地点では浸食の傾向が見られ、野鳥の池は周囲

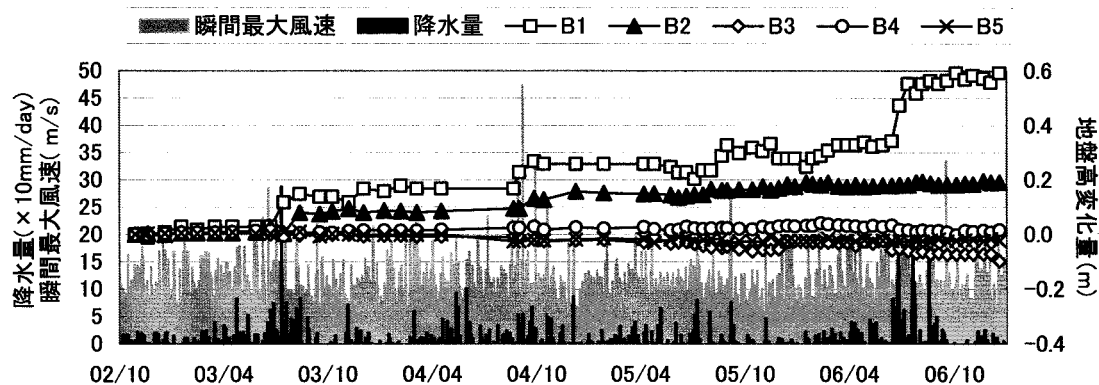


図-2 最大瞬間風速、降水量と地盤高変動の時系列変化

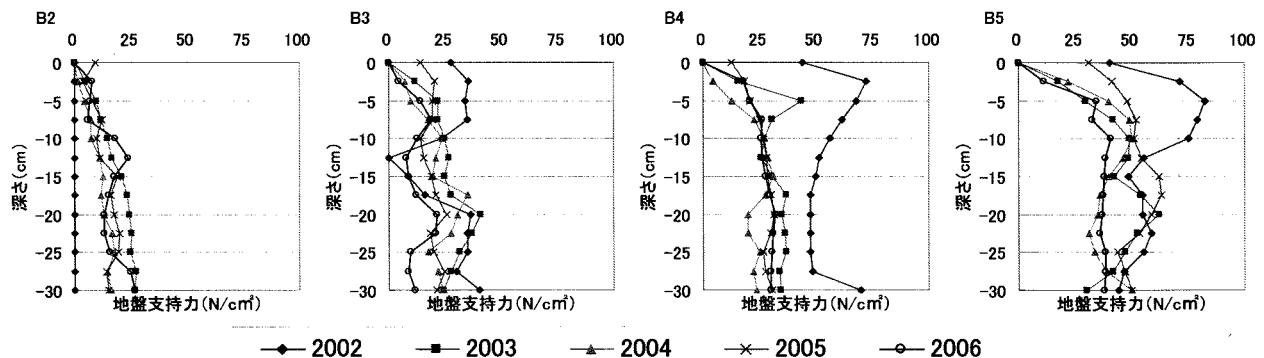


図-3 地盤支持力の鉛直分布 経年変化

の干潟に比べ急な勾配を持つため、潮汐や降雨により、地盤高が緩やかになる方へ変化しているものと思われる。池内の勾配は、設計当初 1/36 であったが、堆積・浸食の見られる B1～B3 地点の現在の勾配は 1/150 と 1/4 ほどになっている。一方で B4, B5 地点では地盤高の変化はほぼ見られない、この原因は、図-3 に示すように地盤が高く干出時間の短い B4, B5 地点では、地盤が固く安定していること、さらに植生が繁茂していることにより地盤が保持されていることが考えられる。また、地盤支持力全体の傾向として、やわらかく深さ方向に均一に変化していた。これは、生物の増加に伴うバイオターベーションや潮汐による攪拌を受けたためと考えられる。

(2) 含泥率と有機物量の関係及び生物量の影響

土中の有機物量は含泥率と正の相関関係にあることが一般に知られており、鈴木ら²⁾は有明海海域において粘土含有量と COD との間に決定係数 $R^2=0.46\sim0.83$ を得ている。図-4 に野鳥の池における潮溜まり B1 地点、潮間帯 B2～B5 地点の全層平均での含泥率と強熱減量の関係を示した。潮溜まりでは $R^2=0.50$ という結果が得られ鈴木らの結果と一致したが、潮間帯では $R^2=0.19$ であり関係があるとはいえない結果となった。そこで図-5 に潮間帯 B3 地点の全層平均での含泥率、強熱減量、巣穴数の変動を示した。なお巣穴数は図-1 中の H5 の値を示した。強熱減量の変動を見ると、造成当初の 2002 年 10 月から 2003 年 12 月までは含泥率の変動と同様に夏は減少し冬は増加するという傾向が見られたが、2004 年 10 月以降その傾向は見られなくなり、含泥率が増加しても強熱減量は減少した。これは 2004 年 10 月以降それまでと比べて 3 倍以上に巣穴数が増えていることから、カニ類を主とした堆積物食者が多量の有機物を摂食したためと考えられる。逆に、2004 年 10 月から 12 月にかけて含泥率が減少したのに対して強熱減量が増加したのは、巣穴数が減少したことから堆積物食者が死亡し有機物が増えたためと考えられる。また巣穴数の少ない 2002 年 10 月から 2003 年 12 月までを前期、巣穴数が多い 2004 年 10 月から 2006 年 7 月を後期とし、前期・後期にわけた含泥率と強熱減量の関係を図-6 に示した。巣穴数の多い後期は $R^2=0.07$ で関係があるとは言えなかったが、巣穴数の少ない前期は $R^2=0.46$ であり潮溜まりでの結果と同程度であった。また巣穴数が後期と同程度で安定した変動をしている比較対照干潟でも、含泥率と強熱減量は $R^2=0.103$ で相関は見られなかった。これより生物が少ないときには、強熱減量は含泥率の変化に伴って増減し、底生生物の多い干潟潮間帯での有機物量は、含泥率の増減よりも堆積物食者の摂餌や死亡に伴って増減していることが明らかとなった。

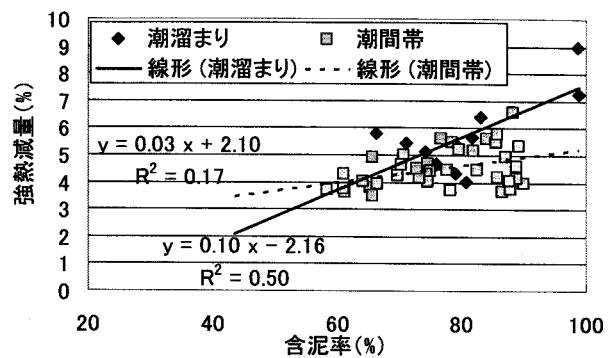


図-4 含泥率と強熱減量の関係 地点別

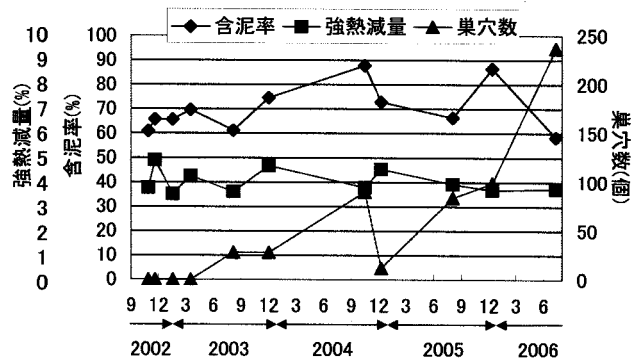


図-5 含泥率、強熱減量、巣穴数の変化

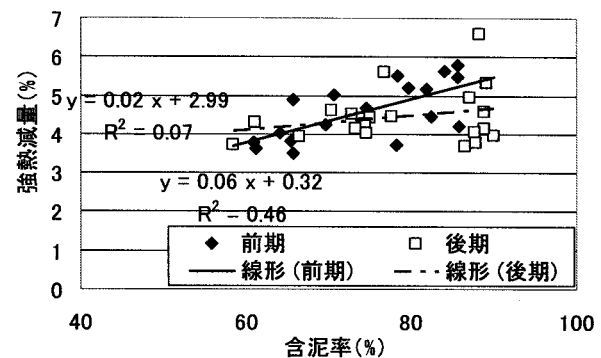


図-6 含泥率と強熱減量の関係 生物量別

4. HEP (Habitat Evaluation Procedure) の導入

(1) HSI と評価種・環境要因の選定

HSI (Habitat Suitability Index) とは、評価種の生物生息環境 (ハビタット) の適性を 0 (まったく不適) から 1 (最適) の間の数値で示した数式あるいは文章のことである。この HSI は、個々の環境要因の適性指数 SI (Suitability Index) を統合することにより算出される³⁾。

本研究では、評価種を野鳥の池の多様性の主因が節足動物にあること、さらに観測が容易であることからトビハゼとフトヘナタリ (巻貝) を加えた表在性の底生生物とした。評価種とその生息場特徴を表-1 に示す。また、環境要因は、図-7 に示すように野鳥の池内の環境を底生生物の生活基盤となる「底質環境」、植生や滞筋、岩場などの地表の局所的な変化を表した「局所環境」及び「外力」の3つの大項目にわけ選定した。

表-1 評価種と生息場特性

評価種	学名	生息場特性
ヤマトオサガニ	<i>Macrophthalmus japonicus</i>	河口近くのやわらかい泥底に生息する。 潮が引いた時に水たまりができるような場所を好み、巣穴を掘って生息する。
チゴガニ	<i>Ilyoplax pusillus</i>	内湾や河口近くの干潟の砂泥底に生息する。
シオマネキ	<i>Uca arcuata</i>	汽水域の上限に近い河口干潟で、土質のやや硬い遠征草原(ヨシ原)に巣穴を掘って生息する。 高潮帯付近で、大潮の被に冠水する程度の場所を好む。
ハクセンシオマネキ	<i>Uca lactea lactea</i>	砂泥質
アシハラガニ	<i>Helice tridens</i>	河口から汽水域の上限まで生息するが、淡水域に侵入することはない。 干潟後背地のヨシ原の発達した塩生湿地に多い。
トビハゼ	<i>Periophthalmus modestus</i>	内湾における河口の干潟に生息する
フトヘナタリ	<i>Cerithidea rhizophorum</i>	河口のヨシ原内部や辺縁にすむ。やや乾燥した地表上、ヨシやコンクリート塀に登る

(2) SI モデルの構築と HSI 算出

底質環境の SI は、横軸に環境要因、縦軸に評価種の個体数を取り、包絡的にモデル (SI 曲線) を作成することにより算出した。この方法では、モデル下側の個体数の少ない観測結果を他の環境要因による減少と捉えることで、環境要因単独の適性を表すことができる。また、局所環境の SI は、各階級それぞれで個体数の平均値を取ることで算出した。例として、ヤマトオサガニの SI モデルを図-8 に示す。また、局所環境の SI 算出では、個々の評価種との関係を考慮し、有意な関係が得られなかった環境要因は SI 算出を行わず HSI 算出にも用いていない。各評価種と局所環境との間に有意な関係が見られたものを表-2 に示し、以下に説明を記す。ヤマトオサガニは泥質で水っぽいところを好むため滞筋の周囲で適性が高く、逆に硬く締まった岩場や石積みの周辺で低い結果となった。チゴガニは、植生の繁茂し水はけが良く硬く締まった場所で適性が低く、シオマネキ、ハクセンシオマネキ、アシハラガニは逆にそのような場を好むため適性が高くなった。トビハゼは滞筋がある地点で潮溜まりから離れたより地盤の高い地点まで生息していた。フトヘナタリは石積み、岩場の近くや植生の繁茂している地点で適性が高かった。今回の評価種において木柱の有無が影響した種はいなかった。また、外力として設定した通水管からの距離も同様の方法で SI 算出を試みたが、有意な関係が得られた種はなかった。

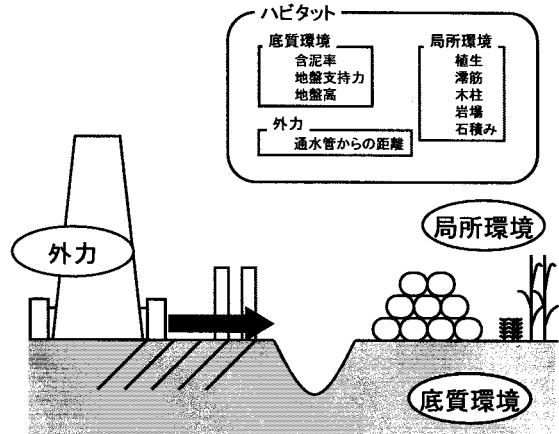


図-7 環境要因の選出

これは、野鳥の池は石積み護岸により周囲の干潟と隔てられているため、全体に波浪が穏やかであり外力の影響をあまり受けていないことによると考えられる。このため、HSI の算出には用いなかった。

環境要因それぞれの SI を統合し HSI とする算出方法は、生物生息には最も適性の低い環境要因が制限的に強く影響を及ぼしていると考え、SI の選定時の大項目ごとに限定要因法を用い、それらを掛け合わせることで

$$HSI = (\text{底質環境のSI最小値}) \times (\text{局所環境のSI最小値})$$

とした。

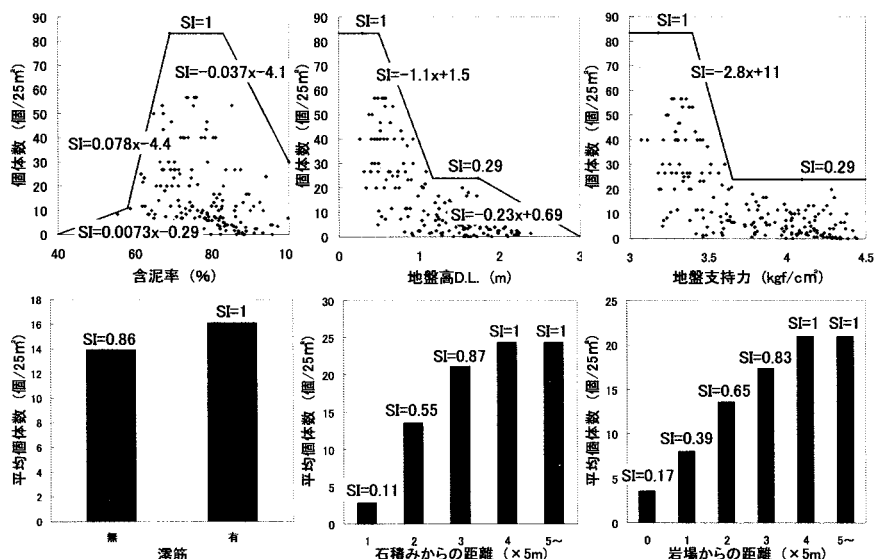


図-8 ヤマトオサガニのSIモデル

表-2 評価種に影響を及ぼした局所環境

	植生	滞筋	木柱	岩場	石積み
ヤマトオサガニ		○		○	○
チゴガニ	○				
シオマネキ	○				
ハクセンシオマネキ	○				
アシハラガニ	○				
トビハゼ		○			
フトヘナタリ	○			○	○

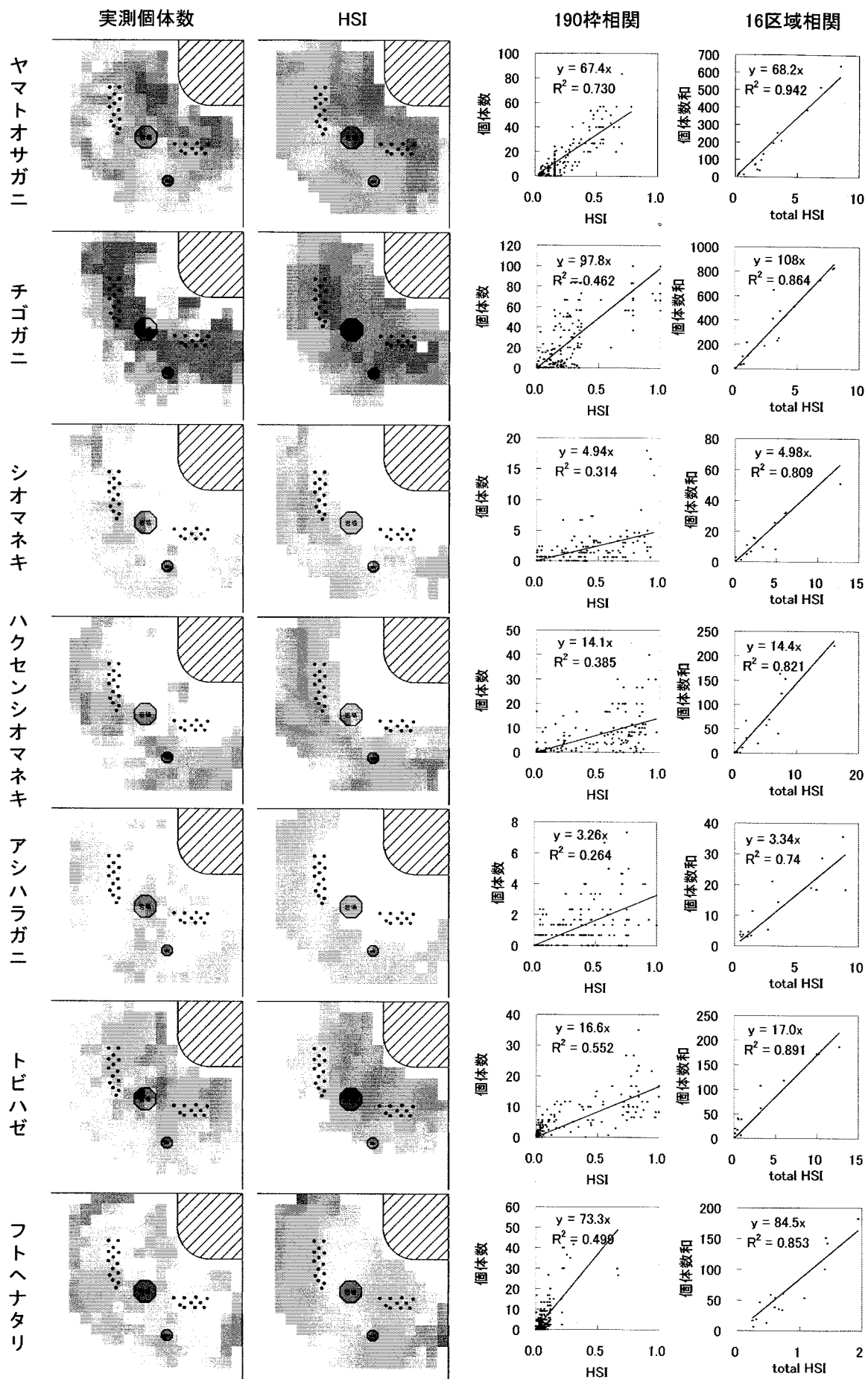


図-9 生物分布の実測値，HSI算出値，190枠相関，16区分相関

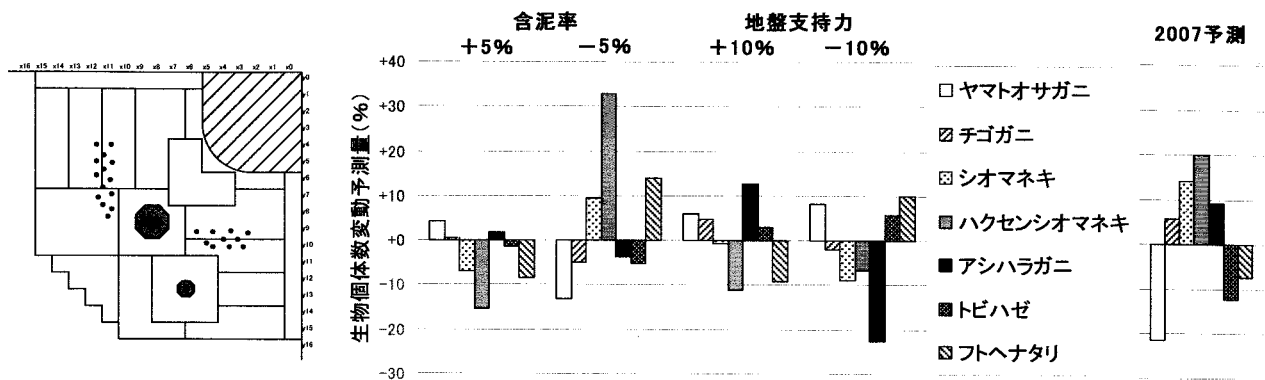


図-10 16区分

図-11 環境変動の及ぼす生物変動への影響予測

(3) 算出結果と精度検証

図-9に実測値と今回作成したHSIモデルによる予測の結果を示す。色の濃淡により実測個体数またはHSI算出値の多寡を示している。また図右(190枠相関)には実測値と予測値の相関を示した。モデルの精度は、決定係数 R^2 で0.3~0.7程度で個体数の少ない種ほど低い結果となった。その理由としては、個体数の少ない種では生態的な変動や観測時の誤差が大きく効くことが考えられる。そこで、190ある観測枠を図-10に示す16区域に統合し個体数及びHSIの合計を採ることによってそれらの誤差を打ち消すことができるのではないかと考えた。図に示す特異な形状は、各区域がそれぞれの環境要因の特性を持つように設定したことによる。その結果、図右(16区域相関)に示すように、全評価種について0.7以上の高い精度が得られた。

モデルの精度をまとめると、今回作成したモデルでは、図-9に示すように野鳥の池の生物分布を大まかに把握することや、図-10に示した16区分ではおおよその個体数予測も可能と考えられる。

(4) 環境変動の及ぼす生物変動への影響予測

図-11に示すのは作成したHSIモデルにより、含泥率と地盤支持力を任意に変化させた時の生物変動予測を行った結果である。生物変動予測量は現状に対するHSI算出値と変動後のHSI算出値の差を現状の算出値に対する割合で示している。これらの結果は、表-1に示す評価種の生息場特性とおおむね一致しており、このような手法により定性的には環境要因の変動が及ぼす影響予測が可能であることを示している。予測結果の定量的な精度に関しては十分なデータが得られず今後検討していきたいと考えている。また、実現現象としての地盤支持力の変化は干出時間(地盤高)や含泥率といった項目と密接に関係しており、単独で変化するとは考えにくい、そこで、こ

れまでのデータを分析し、底質環境(含泥率、地盤支持力、地盤高)の総合的な変動の予測を行い、その結果を用いてHSI算出し、現状から一年後の生物変動予測を行った。結果を図-11に合わせて示す。

5. まとめ

本研究では、底質環境の変遷について分析し、生物の生息を左右する環境要因を数値的に捉えたHEPを導入し生物生息の予測を試みた。以下にその結果を示す。

- (1) 野鳥の池では、荒天時に潮溜まりの境目付近で大きな堆積が見られ、波浪の影響の少ない池内に堆積していると考えられる。
- (2) 生物の少ない地点では、底泥の有機物量は含泥率と高い相関を持つが、底生生物の多い地点では含泥率の増減よりも堆積物食者の摂餌や死亡に伴って変化することが分かった。
- (3) 表在性の底生生物7種に対してHSIモデルの作成を行い、その精度を検証すると共に、環境要因と生物生息の関係を確認した。
- (4) 作成したHSIモデルを用いて環境変動の及ぼす生物への影響予測を行い、生物生息場の特性と一致した結果を得た。さらに、未来シミュレーションを行い、生物分布や個体数の変化を確認した。

参考文献

- 1) 森本剣太郎・滝川 清・古川恵太・増田龍哉・幸田亜季・山下絵里子(2006): 人工潟湖干潟における生態系発達機構と物質収支に関する研究, 海岸工学論文集, 第53巻, pp. 1241-1245
- 2) 鈴木敦巳・林 泰弘・丸山 繁・佐藤慎一・喜津木郁人・間地康貴(1998): 熊本県沿岸干潟の底質特性に関する研究, 熊本大学工学部研究報告, 第47巻1号, pp. 1-6
- 3) 田中章(2006): HEP入門, 朝倉書店, 266p