

(67) HSIモデルを用いた流域生物多様性の評価

浜本 洋^{1*}・風間 聡¹・澤本正樹²

¹東北大学大学院環境科学研究科 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-20)

²東北大学大学院工学研究科土木工学専攻 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-06)

* E-mail: hamamoto@kaigan.civil.tohoku.ac.jp

名取川流域において、水生生物を対象とした、HSIモデルを用いた生息環境及び多様性の評価を行った。HSIモデルは多種の環境の条件を統合でき、定量的な結果を導くことができる。HSIモデルには、地理情報のほかに、水温・流出解析モデルを用いて導出した動的データを用いた。HSIモデルより作成した生息適性評価マップから生物多様性マップを導出し、生物多様性について考察を行った。その結果、以下の知見を得た。①生物多様性は、名取川中流域の丘陵地が高い。②生物多様性と各生物との相関をとった結果、ホタルよりもトンボやカエルと大きな相関が見られた。これらの結果から流域環境保全について言及した。

Key Words : GIS, HSI, aquatic habitat, biodiversity, watershed scale

1. はじめに

河川域の開発による人為的地形改変や、社会活動および生産土砂に伴う水質の悪化は、水生生物の生息に大きな影響を与える。地球温暖化による水循環の変化に伴う河川環境の変化は、水生生物に更なるインパクトを与えると予測される。河川環境に蓄積するこれらの問題に対し、生物域の環境変化に伴う水生生物の影響の把握が必要である。この結果が、環境アセスメントや河川環境の自然復元に有用な情報になる。水生生物の影響の把握のため、既往研究でも様々な水生生物の生息環境評価手法が構築されている。鈴木¹⁾は、自然河川の魚類の採捕と流速測定から魚類の体長と選好流速の関係を明らかにし、魚類の住みやすい川づくりについて論じた。宮下²⁾は、地形測量による地形状態、幼虫の分布、河川水の水位および水質を指標にヒメイトトンボの生息分布について論じた。佐合ら³⁾は「河川の水辺の国勢評価」の諸指標を基に複数河川で魚類の生息域を評価した。これらは、すべて単一の生物を対象とした生息環境評価手法である。また、概ねこれらの手法は、生息に大きな影響を及ぼす要因を厳選して利用している。アセスメントや自然復元に着目すると、対象生物に関わる直接的な特定の要因に偏ることなく、多種の水生生物に対して間接的な地理および流出過程などに代表される物理的な要因もふまえて評価すべきである。多種の生物、間接的な要因の検討が、

健全な河川環境と流域環境の創生に関わる条件を抽出させる。また、環境アセスメントの分野において必要とされているのは、定量的な結果を示す生息環境評価手法の構築、生息適地の分布情報の明示である。これらは、環境リスクの算定や環境対策の優先度の決定に有用である。松本ら⁴⁾は PHABSIM を用いて、河川に関わる物理的および地理的な条件から、名取川流域のホタルの生息域を定量的かつ分布的に評価した。この研究に用いられた PHABSIM は、魚類生息環境評価手法の 1 つとして様々な研究が行われている⁵⁾。一方、HEP(Habitat Evaluation Procedure)⁶⁾は、PHABSIM よりも広義な概念に基づく手法で、様々な生物、生態系を幅広い範囲で対象にできる。HEP は、HSI(Habitat Suitability Index)モデルが根幹をなし、環境の評価指標である SI(Suitability Index)の利用により、生息環境の質を 0 から 1 の間で定量的に示すことが可能である。

白岩ら⁷⁾は、気温上昇による河川の水温の上昇を物理的な流出過程を用いて示している。水温の上昇は、河川水質の変化をもたらし、水生生物の生物環境の変化を与えるものと推測される。

以上を背景に、本研究は、定量的かつ分布的な結果を示すべく HSI による生息環境評価手法の構築と水生生物生息域分布図による流域環境評価を目的とする。特に水量や水温といった動的シミュレーションの結果を積極的に利用した。水温は、将来の気候変化に伴う水

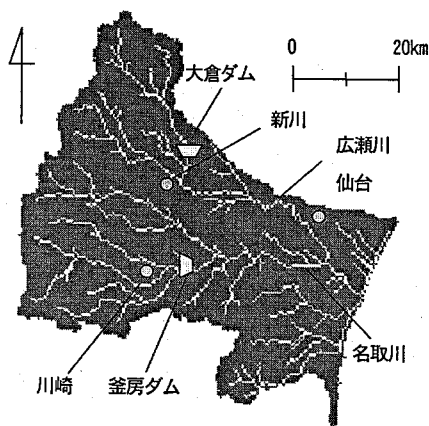


図-1 名取川流域図

生生物の生息環境の変化のシミュレーションに用いることができる評価指標である。さらに、環境の評価指標である SI を複数のモデルを用いることで検討した。複数のモデルを利用することで、厳密かつ精度の高い SI が導かれている。最後に、生息環境評価手法の構築された水生生物生息域分布図を用いて、生物多様性について考察する。

2. 対象地域

研究対象地域は名取川流域(図-1)とした。名取川水系は、宮城県のほぼ中央に位置する一級河川で、流域面積は 939km²、幹川流路総延長は 55.0km である。流域内の地形は西部の山地、東部の海岸平野、その中間の丘陵部に分けられる。上中流域のほとんどは森林に覆われ、流域全体の森林面積の割合は約 70% に達する。下流域には水田と市街地が広がる。

3. データセット

生息環境を評価するための環境指標として、水理データ、土地被覆データ、数値的地理データ、以上3つのデータを用いた。

(1) 水理データ

水理データは、白岩⁷⁾、土田⁸⁾が作成した流出、水温解析モデルを用いて、2004 年 7 月から 2005 年 6 月までの 1 年間の水深、流速、水温の分布データを求めた。これらのモデルにおいて必要となる、気温、降水量などの気象データは、仙台、川崎、新川の 3 地点の AMeDAS データを用いた。蒸発散量は風間⁹⁾が解析し

た人工衛星 NOAA/AVHRR の画像から推定した値を用いた。また、上流に釜房ダム、大倉ダムがあるため、そこからの放流を上流端での境界条件とした。

a) 流出解析

流出解析モデルでは、大きく河道部と斜面部の二つに分けて計算を行う。斜面部はさらに直接流層、基底流層、積雪・融雪層の 3 層に分けて計算し、それぞれ、kinematic-wave 法、貯留関数法、degree-day 法を用いた。河道部の計算は、dynamic-wave 法を用いて解析した。

b) 水温解析

水温解析モデルは、地下水温の推定、熱収支計算、放射量推定から成り立ち、水熱収支の差分計算によって連続的に求めた。

河川の熱収支は、流速が大きいため水面に加えられた熱は水深の全体に均等配分されるものとして、次のように解析した。

$$c\rho D\left(\frac{\partial T}{\partial t} + U\frac{\partial T}{\partial x}\right) = R_N \pm H \pm LE \quad (1)$$

$$R_N = (1 - al)I - R_{EL} \quad (2)$$

$$H = c_p \rho_a C_D u (T_s - T_a) \quad (3)$$

$$LE = L \rho_a C_D u (q_s - q_a) \quad (4)$$

ここで、 c : 水の比熱(J/K kg)、 ρ : 水の密度(kg/m³)、 U : 流速(m/s)、 D : 平均水深(m)、 R_N : 正味放射(放射収支量)(W/m²)、 H : 顕熱(W/m²)、 LE : 潜熱(W/m²)、また、 al : アルベド、 I : 日射量(W/m²)、 R_{EL} : 雲量による補正を加味した有効長波放射(W/m²)、 c_p : 空気の比熱(J/K kg)、 ρ_a : 空気の密度(kg/m³)、 u : 風速(m/s)、 T_a : 気温(°C)、 T_s : 地表面温度(°C)、 q_a : 空気の比湿(kg/kg)、 q_s : 地表面の比湿(kg/kg)、 L : 気化熱(J/K kg)である。これらの式を用いて、源流から下流に向けて区間ごとに計算する。

潜熱、顕熱の計算はバルク法を用いた。バルク係数 C_D は近藤ら¹⁰⁾にならない、水面上の 0.0011 を採用した。地下水、支流の本流への流入は、それぞれの流量で重みをつけ、混合後の水温の計算を行った。

日射量の瞬間値 I を式(5)で推定する。

$$I = S \times \frac{S_d}{S_{df}} \quad (5)$$

ここで、 S : 快晴時の全天日射量の瞬間値(W/m²)、 S_d : 雲があるとときの全天日射量の日平均値(W/m²)、 S_{df} : 快晴時の全天日射の日平均値(W/m²)である。 S_d はアメダスデータの日照時間から推定した。森林内の日射量は、 LAI (葉面積指数)を用いて以下の式で表す。

$$I = I_0 \exp(-LAI) \quad (6)$$

ここで、 I : 減衰後の日射量, I_0 : 減衰前の日射量である。また、 LAI は風間ら⁹⁾が推定した植生指数 $NDVI$ より次式で算出した。

$$LAI = 0.65 \exp(NDVI / 0.34) \quad (7)$$

ステファン・ボルツマンの法則を基礎式として放射の推定を行っている。地表面からの出放射 R_{SG} , 大気から地表面に向かう出放射 R_{AD} は式(8), (9)で推定できる。

$$R_{SG} = \varepsilon \sigma T_s^4 \quad (8)$$

$$R_{AD} = \sigma T_a^4 \left(a + b \sqrt{e_a} \right) \quad (9)$$

ここで、 ε : 放射率(水は約 0.97), s : ステファン・ボルツマン定数($5.670 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$), e_a : 大気の水蒸気圧(hPa), a, b は定数で、 $a = 0.51, b = 0.066$ を用いている。地表から失われる長波放射は雲量 n に影響される。雲量による補正を加味した有効長波放射 R_{EL} は式(10)で表される。

$$R_{EL} = R_L (1 - cn^2) \quad (10)$$

係数 c は緯度により異なるため、仙台市の緯度 38.3 度より 0.67 を用いた。また、 $R_L = R_{SG} - R_{AD}$ である。

地下水温はその地域の年平均気温で近似することができ¹¹⁾、深さ z_1 (1~3m) と z_2 (<0.3m) の地中温度の平均値に仮定することができる¹²⁾。地中温度 $T(z)$ を以下のように推定した。

$$T(z) = A \cos(\omega t - \varepsilon) + T_M \quad (11)$$

$$A = A_1 \exp[-z(\omega/2k)^{1/2}] \quad (12)$$

$$\varepsilon = z(\omega/2k)^{1/2} \quad (13)$$

ここで、 A, A_1 : 地表面温度の振幅(°C), T_M : 年平均気温(°C), ω : 周波数($= 2\pi/365$), t : 日数(日), ε : 位相の遅れ, a : 土壌の温度拡散係数($0.7 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$)である。

従って、湧水時の地下水温 T_0 は以下のように表される。

$$T_0 = \frac{T(z_1) + T(z_2)}{2} \quad (14)$$

(2) 土地被覆データ

土地被覆データとして、植生、土地利用データを用いた。第5回自然環境保全基礎調査(平成5~10年度)の植生調査結果から作成された 1km 四方メッシュの植生分布図と、100m 四方メッシュの国土数値情報の宮城県土地利用メッシュデータ(平成3年)を使用した。

(3) 数値的地理データ

数値的地理データは、勾配、市街化率、市街地・森

林・水辺までの距離のデータによって構成される。勾配は、解像度 50m の標高マップを用いて求めた。勾配算定対象メッシュとそれを取り囲む 8 つのメッシュのうち対象より低いものとの標高差を求め、その差をメッシュ間の距離で除したものを勾配とし、求めた周囲 8 メッシュの勾配のうち、最大のものを対象メッシュの勾配(50m×50m)とした。市街化率は、土地利用マップにおける、建物用地と幹線交通用地を「市街地」と仮定し、対象メッシュ(50m×50m)の周囲 81 メッシュ(450m 四方)の土地利用を調べ、市街化地域に当たるメッシュ数を合計し、それを総メッシュ数 81 で除することにより算定した。市街地、森林までの距離マップは、土地利用マップをもとに作成した。算定対象メッシュから最寄りの市街地および森林までの距離を求め、対象メッシュの値とした。同様にして、河道マップおよび地勢図より水辺までの距離マップを作成した。本研究では、河道および田を水辺と定義した。ここで河道は、50m 標高データから作成した落水線図により得られた河道マップにおいて、国土地理院作成の 2 万 5 千分の 1 地形図上で確認できる規模以上の河道を指す。田も水辺とした。最寄りの水辺までの距離を求め、対象メッシュの値とした。

4. 対象生物

対象とする水生生物は、以下に示すとおりである。

- ・ カエル類 (ニホンアカガエル, トウキョウダルマガエル, ツチガエル)
- ・ メダカ
- ・ 湿地性トンボ類 (オオルリボシヤンマ, オゼイトトンボ, コバネアオイトトンボ, ハッチョウトンボ)
- ・ 流水性トンボ類 (アオサナエ, ホンサナエ, ヤマサナエ)
- ・ ゲンジボタル
- ・ ヘイケボタル

生息環境が類似していると考えられる生物は上のような生物群としてまとめて扱った。名取市が調査が行い、解像度 250m のメッシュで生息の有無を記録した。この調査は、名取市が環境基本計画の一部として、平成 12 年夏から 1 年かけて行った。ヘイケボタル以外は宮城県のレッドデータブックに記載された絶滅の危惧されている種である。このような種の保全は、種の多様性を高めるため、生物多様性を論じるうえで重要である。

5. HSIモデル

HSI モデルは、対象地域をセルに分割し、セル内の対象生物の生息に関するデータ（図-2 参照）を用いて生息データを解析し、生息適性を物理的に評価するという構造である。HSI モデルは、対象生物に関する生息環境の情報を適性評価基準（SI）を用いて統合化する。SI の作成方法には、第 1 種から第 4 種までの方法がある¹⁹⁾（表-1）。今回は、第 1 種と第 2 種の方法を用いた。第 1 種の SI は、ゲンジボタルの場合、平均水深、平均水温、平均流速、土地利用、植生、市街地からの距離の 6 つの評価指標を作成した。これらの SI は、ゲンジボタルの生態に関する文献^{19,20)}を参考にした。作成方法の例として水深の SI について説明する。水深は、15cm から 80cm が生息に適し、特に 30cm から 40cm が最もよいとされている。そこで、35cm を最大とし、10cm と 80cm を偏曲点とした左右非対称の分布から作成した（図-3）。第 2 種の方法は、対象生物が確認された地域の評価指標のデータをすべて抜き出し、横軸を評価指標の間隔尺度変数、縦軸を抽出した生息域メッシュ数とする頻度分布を作成し、縦軸の最大値が 1.00 となるように基準化したものを SI とするものである。ゲンジボタルの第 1 種及び第 2 種の SI を図-4 から図-12 に示す。このようにして求めた SI から生息適正指数 HSI が以下の式のように求める。

$$HSI = \sqrt[p]{\prod_{j=1}^p SI_j} \quad (15)$$

ここで、 SI_j ：評価指標 j の生息適性指数、 p ：評価指標の数、である。図-2 のように、まず、土地被服 HSI・数値的地理 HSI・水理 HSI を式(15)で計算し、これら 3 つの HSI の相乗平均することによって総合 HSI を求めた。

第 1 種の方法は、対象生物について十分な知見がある場合には、容易に作成できるが、第 2 種の方法のように、多くの指標を作成することは困難である。一方、第 2 種の方法は、生物データがあれば、有用であるが、それには多くの時間と手間がかかる。そこで、本研究では、SI の適切な値の決定方法を検討するために、以下の 3 通りの SI で HSI を計算した。

- ① 全指標を第 2 種の SI で評価したもの
- ② ①の水温のみを第 1 種の SI で評価したもの
- ③ 全指標を第 1 種の SI で評価したもの

①の方法はこれまでにはなかった水温について考慮した方法であるが、第二種評価基準のデータ作成のために用いた名取市の位置が下流域に位置しており（図-13）、水温は勾配と相関がありことから、教師データが高い水温に偏り、適正水温が高い水温のみに

偏ってしまうと予想した。そこで、それを補うために②の計算を行った。③の方法は、第 1 種のみで、どこまで再現できるかを検討するために行った。これらから求めたゲンジボタルの HSI 分布を図-14 から図-16 に示す。また、ゲンジボタルが確認されている地域を図-17 に示す。①の方法では、図-17 の実際の生息域と比べて生息可能地域が非常に小さくなる。第 2 種の方法での生息分布の確認は流域内の一部分の名取市のみで行われている。このため、SI に偏りができ、生息適正地域を狭めた。②の方法は、生息適正地域を概ね表している。これは、①の方法ではうまく再現できなかった SI を第 1 種の方法で補うことで、より正確に再現できたといえる。③の方法は、生息適正地域がばらついて表現され、位置も正確に再現できていない。これは、②の評価指標が 18（図-2）であるのに対し、③では 6（平均水深、平均水温、平均流速、土地利用、植生、市街地からの距離）と評価指標の数が少ないため、相乗平均で HSI を求める際に各 SI の影響が大きくなり、ある SI の大小が推定に大きな影響をもつためである。

表-1 SI の決定方法

第1種	既往研究や専門的な知見に基づいたもの
第2種	調査により観察された生物の頻度分布に基づいたもの
第3種	調査対象区域の環境的な偏りに対する補正を加えた頻度分布に基づいたもの。例えば、調査対象地域内に10%しかない環境に50%以上の対象生物が生息していた場合、これはその生物の好みを表しているといえる。
第4種	第3種に季節変化などの付加的条件を付けたもの

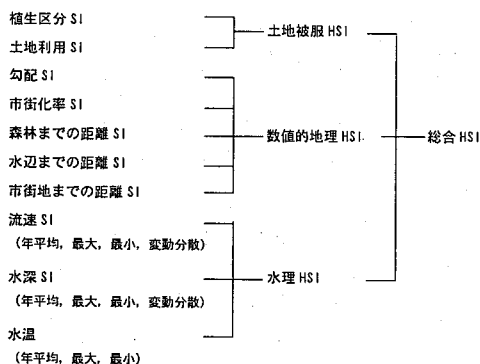


図-2 第2種におけるSIとHSIへの統合方法

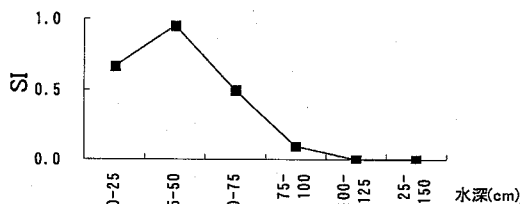


図-3 第1種の方法による平均水深のSI

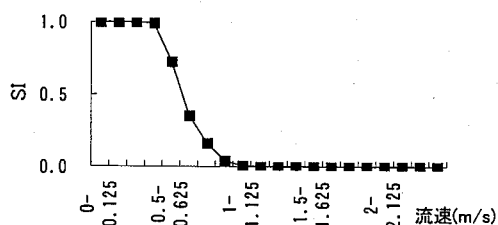


図-4 第1種の方法による平均流速のSI

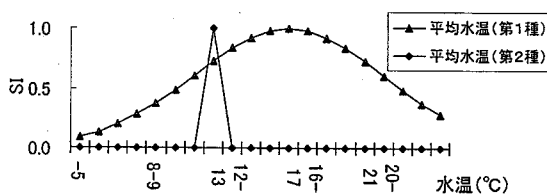


図-5 平均水温のSI

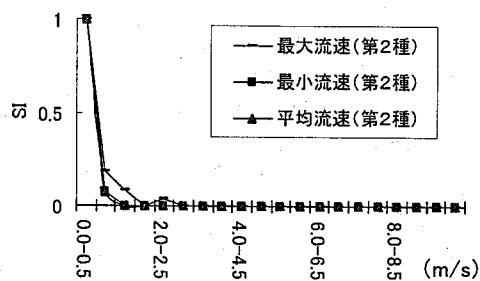


図-6 流速のSI (第1種)

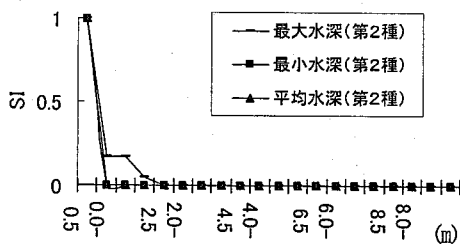


図-7 水深のSI (第1種)

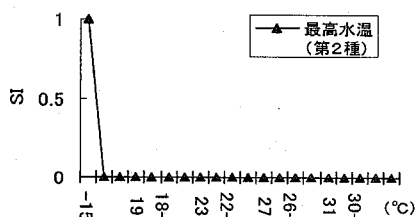


図-8 最高水温のSI

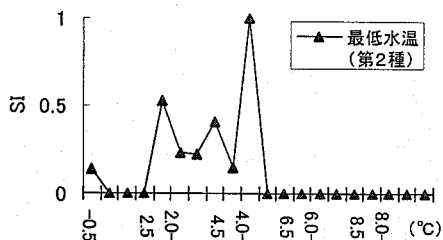


図-9 最低水温

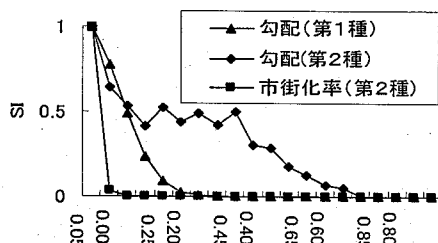


図-10 勾配, 市街化率のSI

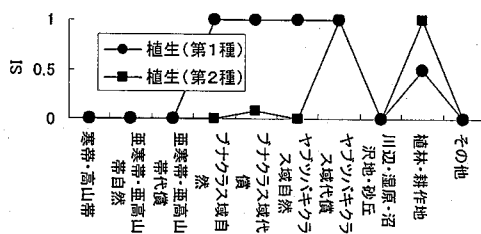


図-11 植生のSI

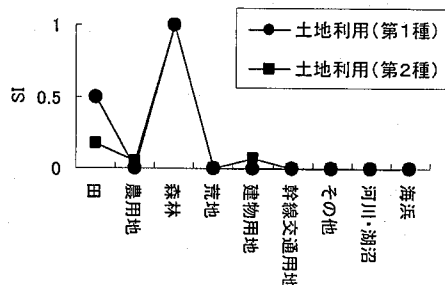


図-12 土地利用のSI

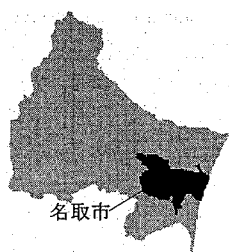


図-13 名取市の位置

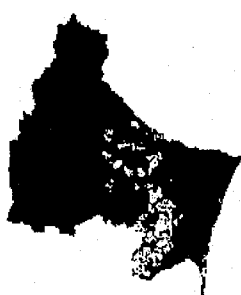


図-14 ①による HSI

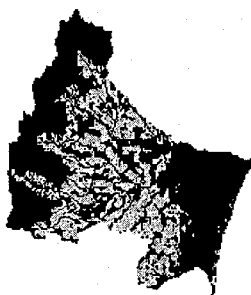


図-15 ②による HSI

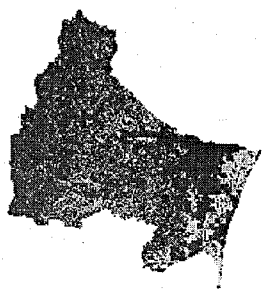
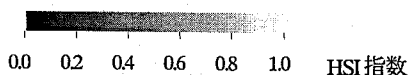


図-16 ③による HSI



図-17 ホタル生息域



6. 生物多様性

生態系の健全性を評価する上で重要な概念が「生物多様性」である。「生物多様性」とは、「遺伝的多様性」、「種の多様性」、「生態系の多様性」というスケールの異なる3つの多様性が互いに相関を持つ複層的な概念である。つまり、個体レベルの差異である遺伝的多様性により、種の分化・進化が起こり種の多様性が生まれる。その結果、様々な種の組み合わせにより多様な生態系が形成される。よって、生態系の健全性を評価するには生態系を形成する種の多様性を評価する必要がある。生物多様性の高い地域は、豊かな生息環境であると判断でき、優先的に環境の保全を行っていくべき地域となる。本研究では、Shannon-Weiner多様度指数を用いて、生物多様性について検討した。以下の式で多様度指数を求めた。

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2(p_i) \quad (16)$$

$$p_i = \frac{HSI_i}{\sum_{i=1}^S HSI_i} \quad (17)$$

ここで、 S :種数(=6)、 p_i :全個体数の中で i 種が占める割合である。多様度指数は、「種の豊富さ」と「種組成の均等さ」の2つの要素により群集の多様性を表す指標である。本研究では、各セルのHSIの値を生物数とみなして計算を行った。この結果を図-18に示す。図-18から、丘陵地である中流地域で多様性が最も高くなっていることがわかり、最大値は2.32ポイントであった。名取川の中流域の土地利用は、森林と農地が混在した里山である。このような地域は、人の手が入りやすいため、慎重な開発が求められる。中流域に続き、下流域においても多様性が高くなった。メダカやヘイケボタルは、田の用水路に生息することが知られており、これが結果に反映されていると考えられる。しかし、これらの生物は、コンクリート護岸がされていない用水路に多く生息し、今回の解析ではそのような地形までは考慮できないため、正確な地域を知るためにはより細かな情報が必要となる。

多様度指数が高い地域の生息環境を把握することも、生息環境保全を行っていく際に重要である。そこで、 H' が2.0ポイント以上となった地域の生息環境の情報を抽出した。各環境データで最も多く抽出されたクラスを1と正規化した頻度分布を図-19から図-24に示す。図-19から、市街地からの距離が比較的近い、200mから300mの地点が最も高くなっている。このことから、生物多様性が高い地域が、人間社会と隣接した地域に存在していることがわかる。図-19および図-20からは、森林からの距離が近いことと、土地利用において森林が最も高くなっていることから、森林の重要性が示唆された。図-21、22から、平均流速、平均水深が小さい生息環境の多様性が高いことがわかる。流出解析の計算において、河道以外のセルでも、小さい沢などの水路が存在するとしてセル内で水理条件を平均化して計算しているため、多様性の高い生息場の河川が、河道以外の小規模な支流であるといえる。図-23では、ヤブツバキ域代償および植林地帯の頻度が高いことから、人の手が入った森林において多様性が高いことがわかった。

また、各水生生物のHSIの分布と多様度指数の分布との空間相関を求めた。対象全地域を対象に空間相関を以下の式のように求めた。

$$r = \frac{\sum (f(x,y) - \bar{f}(x,y))(g(x,y) - \bar{g}(x,y))}{\sqrt{\sum (f(x,y) - \bar{f}(x,y))^2} \sqrt{\sum (g(x,y) - \bar{g}(x,y))^2}} \quad (18)$$

ここで、 $f(x,y)$: 地点 (x,y) の多様度指数、 $g(x,y)$: 地点 (x,y) の各生物のHSIである。結果を図-25に示す。図より、カエル、流水性トンボ類、止水性トンボ類に関して高い相関が見られた。ゲンジボタル、ヘイケボタルについてはやや相関が見られた。メダカについてはほとんど相関が見られなかった。今回対象生物とした水生生物の中で、トンボやボタルは、人々の関心が高く、生息環境の復元が行われてきたが、ボタルは、トンボに比べて生態系の中で特殊で、食物連鎖にも組み込まれていないと言われている¹⁰⁾。生物多様性を維持、向上させていくためには、今回対象とした生物の中では、生態的な特徴から注目度の高いボタルよりもむしろトンボ、カエルといった生物の保全が優先されるべきだと考えられる。

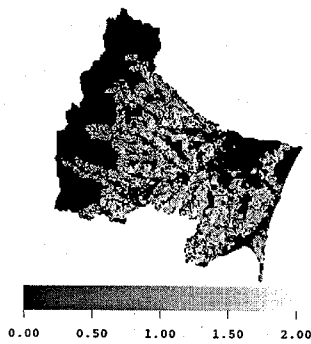


図-18 多様度指数分布

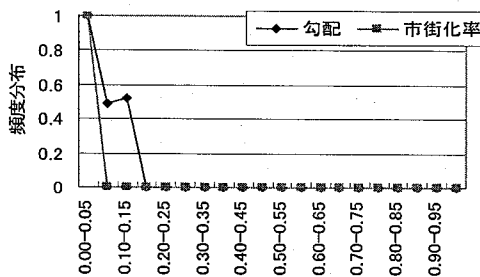


図-19 勾配、市街化率の分布 ($H \geq 2$)

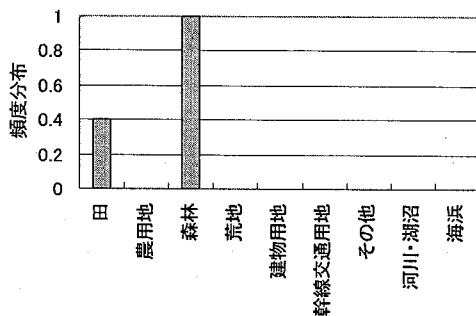


図-20 土地利用の分布 ($H \geq 2$)

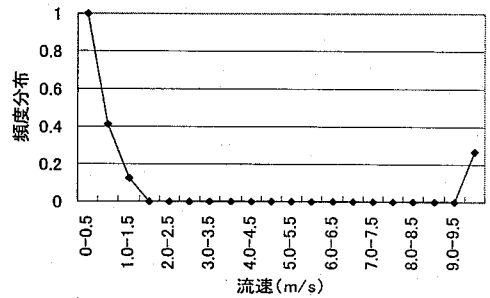


図-21 平均流速の分布 ($H \geq 2$)

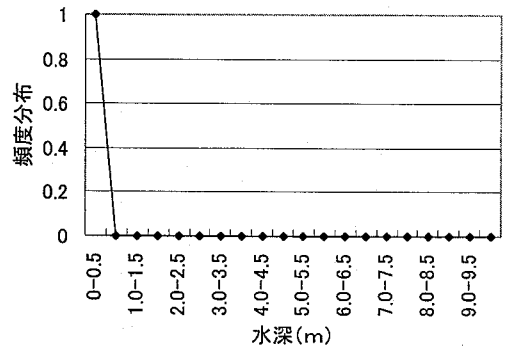


図-22 平均水深の分布 ($H \geq 2$)

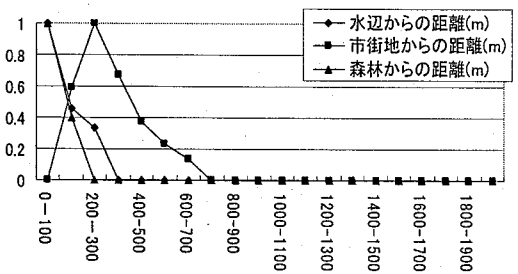


図-23 水辺・市街地・森林からの距離の分布($H \geq 2$)

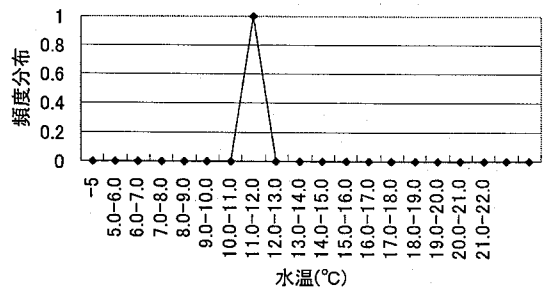


図-24 平均水温の分布 ($H \geq 2$)

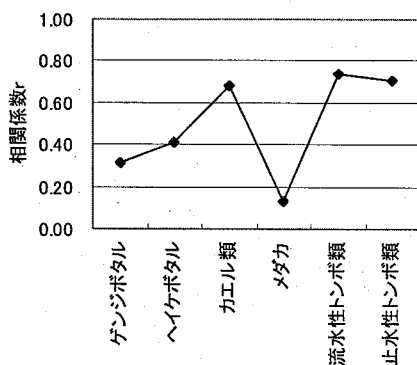


図-25 多様度指数と各生物との相関

7. まとめ

名取川流域の水生生物生息環境と生物多様性を評価するために、HSIモデルのSIの作成方法について検討した。また、そのモデルから求めたHSIの分布を元に生物多様性とその相関を求めた。本研究より以下の知見が得られた。

- (1) 評価指標SIを第2種の方法で作成する際に、流域内で差が大きくなる水温の指標が、ゲンジボタルの生息適性環境を著しく制限した。また、第1種の方法でSIを作成したとき、評価指標の不足から適切な生息分布を求めることができなかった。
- (2) 第1種（水温）と第2種（他）の方法を組み合わせて分布を求めた結果、良好な結果を得られた。
- (3) 水生生物6種について、名取川流域での生物多様性を求めた結果、中流域で生物多様性が高くなることがわかった。
- (4) 各生物と多様度指数が高い地域との相関をとった結果、カエル、トンボについて高い相関が見られた。

今後は、生息域の広がり考慮した多様性について考察を深めるとともに、種や遺伝的多様性と本研究成果との関連について調査する予定である。

謝辞：名取市からは貴重な生物生息調査のデータを提供していただいた。また本研究は科学研究費（代表：風間聡）の援助を受けた。ここに記して深く感謝します。

参考文献

- 1) 鈴木興道：魚の住みやすい川づくりに資する魚類の生息分布とその場の流速，土木学会論文集Ⅱ，593巻，pp21-29，1998.
- 2) 宮下衛：ヒメイトトンボ生息地の環境影響評価手法に関する研究，土木学会論文集Ⅶ，657巻，pp65-73，2000.
- 3) 佐合純造，永井明博：河川水辺の国勢調査結果を用いた全国河川の魚類数の特性とその評価法，土木学会論文集Ⅶ，727巻，pp49-62，2003.
- 4) 松本哲，風間聡，沢本正樹：GISを用いたホタル生息環境の評価，水工学論文集，第48巻，pp1543-1548，2004.
- 5) 辻本哲郎・永禮大：魚類生息環境変質の評価のシナリオ，水工学論文集，第43巻，pp947-952，1999.
- 6) 田中章：何をもって生態系を復元したといえるのか？—生態系復元の目標設定とハビタット評価手続きHEPについて—，ランドスケープ研究，vol.65，No.4，pp1-5，2002.
- 7) 白岩淳一，風間聡，沢本正樹：気候変動による河川水温の影響，水工学論文集，第50巻，pp1063-1068，2006.
- 8) 土田恭平，風間聡，沢本正樹：河川環境確保のための土地利用と許容人口の関係，水工学論文集，第48巻，pp475-480，2004.
- 9) 風間聡，沢本正樹，渡辺浩明：NDVI—蒸発散量線形関係式に関する考察と適用性，土木学会論文集，No.796/Ⅱ-72，pp1-10，2005.
- 10) 近藤純正：水環境の気象学—地表面の水収支・熱収支—，朝倉書店，pp55-92，1994.
- 11) 新井正：地域分析のための熱・水収支水文学，古今書院，pp10-15，pp112-137，2004.
- 12) 近藤純正：河川水温の日変化 (1) 計算モデル—異常昇温と魚の大量死事件—，水文・水資源学会誌第8巻2号，pp184-196，1995.
- 13) 楠田哲也・巖佐庸：生態系とシミュレーション，朝倉書店，2002.
- 14) 古河義仁：東京にそだつホタル：
<http://members.jcom.home.ne.jp/hotaru-net/>
- 15) 南喜一郎：ホタルの研究，大田書店：1963.
- 16) 大串龍一著：水生昆虫の世界，淡水と陸上をつなぐ生命，2004.

(2006.5.26 受付)

Evaluation of basin aquatic biodiversity using HSI model

Hiroshi HAMAMOTO¹, So Kazama¹, Masaki SAWAMOTO²

¹ Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University

² Graduate School of Engineering, Tohoku University

In the Natori River basin, we evaluated aquatic habitat with HSI model. Dynamic data in the modeling are prepared for distributed runoff model and water and heat balance model. To estimate suitable HSI, statistic data and field data are combined after testing some combinations. The best way is that temperature and the other SIs should be calculated by statistic and field survey data, respectively. Biodiversity is obtained from the combination of HSIs for each species. As the results, biodiversity is higher around the foot of mountains and is correlated with distribution of dragonflies. This results say that dragonfly habitat is useful for understanding of basin environment.