

大山ダムホタルビオトープの JHEP 認証取得

ホタル生息環境の再生・創出とその定量的評価方法の構築

佐々木 静 郎・門 倉 伸 行・佐 藤 伸 彦

自然環境保全や生物多様性向上を一層進めるためには、対象とする生態系の定量的な評価が重要となるが、筆者らが取り組んでいる、ホタルの棲める環境づくり「ホタルビオトープ」では、ホタルの生育に適した環境要因に関する知見は十分とは言えず、ホタルの生息環境条件に関する評価手法はまだ確立されていない。

そこで、ホタルが好む生息環境条件を実験的に把握し、その結果をもとにホタルの HSI（ハビタット適正指数）モデルを作成するとともに、大山ダムにおいて施工したホタルビオトープを評価した。その結果、定量的な生物多様性の保全、価値の向上が十分に期待できるという評価が得られ、湿性環境としては日本で初の JHEP 認証を取得したので、その概要について報告する。

キーワード：ゲンジボタル、HSI、JHEP、ビオトープ、生息環境、ダム

1. はじめに

自然環境と密接に関わる建設業では、従来から自然環境や生態系の保全に配慮した取り組みが求められてきた。さらに、平成 22 年 10 月に開催された「生物多様性条約第 10 回締約国会議（COP10）」以降は、生態系や自然との共存に関する社会的関心がますます増大している。筆者らも、以前から種々の建設工事において自然環境の保全に努め、ビオトープの創造、屋上緑化の整備、ホタルの棲める環境づくり（通称：ホタルビオトープ）などの生態系の保全・再生・創出などを積極的に進めてきた¹⁾。

一方、最近では生物多様性を高めるためのビオトープを計画・設置するに際して、水路や植栽など人工的要素において、どの要素がどの程度生物多様性の向上に寄与するかを定量的に評価する試みがなされるようになってきた。生態系の定量的評価手法として最も広く適用されている手法に HEP（Habitat Evaluation Procedures: ハビタット評価手続き）がある²⁾。元来、環境アセスメントの評価対象である環境要素を定量的に評価するために米国で開発されたシステムである。公益財団法人日本生態系協会（以下、協会と略す）は、この HEP を応用して生物多様性を保全する取り組みを共通の尺度で評価するための仕組みとしてハビタット評価認証制度（JHEP: Japan Habitat Evaluation and Certification Program）を確立し、運用している³⁾。

HEP および JHEP は、ある特定の生物にとってその場所が生息環境として適しているかどうかを判定する指標（HSI モデル: Habitat Suitability Index, ハビタット適性指数）を基盤としている評価システムである。すなわち、対象とする生物のライフサイクルに適する環境要因が十分に把握されていることが本システムの適用の前提となる。

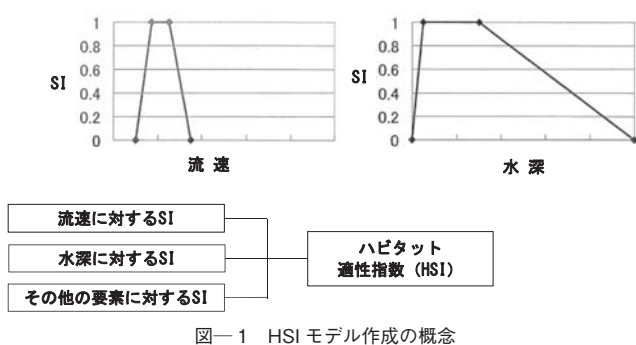
しかし、ゲンジボタルの生育に適した環境要因に関する知見は十分とは言えず、HSI モデルはまだ確立されていないのが現状である。そこで、筆者らは協会との共同研究により、熊谷組がゲンジボタル幼虫が好む生息環境を明らかにするための選好性把握実験等を行い、協会が得られたデータをもとにゲンジボタル幼虫の HSI モデルを新たに作成・構築した。さらに、協会がこのモデルを用いて、大山ダムに施工したホタルビオトープを評価した。その結果、樹林環境、湿性環境とも事業で得られる年平均ハビタット点数が評価基準値を上回ることが見込まれた。すなわち生物多様性の保全、価値の向上が十分に期待できるという評価となり、ホタルが生息する湿性環境を含むビオトープとしては、国内で初めての JHEP 認証を取得するに至ったので、本稿ではその概要について報告する。

2. HEP および JHEP 認証制度

(1) HEP について

HEP とは、環境アセスメントを実施するために米国で開発された生態系評価システムの一つであり、複雑な生態系の概念を野生生物の生息環境(ハビタット)という現実の空間的広がり置き換え、ハビタットの質(生存条件や繁殖条件など)と、量(生息空間または面積)と、時間(ハビタットの存在時間)を掛け合わせた値を算定することで生態系を定性的かつ定量的に評価する手法である。

ハビタットの「質」の評価は、まず対象とする生物の生息環境の適否を決定づける環境要因(繁殖条件や生存条件)を抽出し、個々の環境要因ごとに0(まったく適していない)から1(最も適している)までの数値で相対的に評定する。これをSIモデル(Suitable Index)と呼び、最後にこれらの環境要因ごとのSIを一つに結合し、図—1に示すようにHSIモデルという指標を作成する。



図—1 HSIモデル作成の概念

次に、決定されたHSIに調査対象とするハビタットの面積を掛け合わせた、HU(Habitat Unit)を算出する。カバータイプごとに算出されたHUを合計し、「時間」を掛け合わせるにより、最終的なアウトプットである累積HUが算出される。この累積HUにより対象区域の生態系に対する定量的な価値が評価できる。

(2) JHEP 認証制度

JHEPは、上述したHEPをもとに協会が開発した環境評価手法である。JHEP認証制度は、この評価手法を用いて当該地域の指標となるような植生や野生の生物にとって、緑の地域らしさや動物のすみやすさの価値を「事業前の過去の状況」と「事業実施後の状況」について、客観的、定量的に評価し、ランク付けすることにより、日本において企業等の取組みを客観的に評価できるように改良を加えて新たに構築した制度。

生物多様性保全への取り組みを啓蒙・普及させることを目的としている。

3. ゲンジボタル幼虫のHSIモデル構築

(1) 選好性把握実験項目の選定

表—1に、ゲンジボタル幼虫の生息場に関する既往文献⁴⁾などの知見の一部を示す。これらの環境要因において、水量については水深と流速から決定される。水路形状については、施工場所・規模から自ずと制限され、特に瀬・淵構造は流速・水深・底質にその特徴が反映されると想定できる。また、水温については既往文献などをもとにSIを作成できると判断された。したがって、HSIモデルを構築するためには、底質・流速・水深についてのSIを確立することが必要と考えられたので、これら3要因に関しての幼虫の選好性把握実験を実施した。このうち、底質および水深に関する選好性把握実験結果^{5),6)}について記述する。

表—1 ゲンジボタル幼虫の環境要因

環境要因	選好環境
底質	・泥～礫まで(砂礫質の場合、付着藻類の繁茂が重要、泥・シルトの場合、落葉堆積が重要)
水路形状	・瀬・淵・河原・中州などが重要 ・湿地が一体となっているとなお良い
流速	・10～40 cm/s
水深	・平均5～30 cmが多い、1 cm～2 mまで
水量	・1年を通して安定していること ・流速を保つためにある程度必要
水温	・10～25℃前後が適温

(2) 底質選好性

(a) 実験方法

表—2に、実験に使用した底質粒径区分を示す。区分条件は、底質と河床平面分布を調査した際の粒径階級区分⁷⁾をもとに設定した。底質の配置は、隣同士が同じにならないように図—2に示すパターンとした。

実験装置は、写真—1に示したように、プラスチック製容器を用い、その底面を4分割し各底質を配置後、水を満たした(水深約10 cm)。次に、底質を設置した装置の中心に幼虫約100匹(3～6齢:約18～30 mm)を放流し自由に移動させ、12時間(一晚)以上放置し、各底質区分における幼虫数を計測した。

(b) 実験結果

写真—2に、幼虫の放流の前および移動の状況を示す。放流後の幼虫は、粗中砂や中細砂では粒径が小

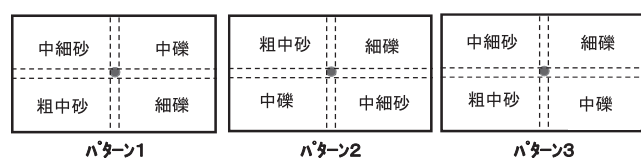
表—2 底質粒径区分

粒径階級（既往文献 ⁷⁾ ）		土質篩い区分		実験時 粒径区分名	CASE1	CASE2	CASE3	
> 256	巨礫			B	●			
256 ～ 128	大礫			LC	●			
128 ～ 64		> 53	粗礫	SC	●	▲		
64 ～ 32	中礫	53 ～ 37.5		LG	●	▲		
32 ～ 16		37.5 ～ 19		SG		▲		
16 ～ 8	小礫	19 ～ 9.5	中礫	S（<19） 中礫		▲	■	
8 ～ 4		9.5 ～ 4.75						
4 ～ 2	細礫	4.75 ～ 2	細礫	細礫			■	
2 ～ 1	極粗粒砂	2 ～ 0.85	粗砂	粗中砂			■	
1 ～ 0.5	粗粒砂	0.85 ～ 0.425	中砂					
0.5 ～ 0.25	中粒砂	0.425 ～ 0.25		中細砂				■
0.25 ～ 0.125	細粒砂	0.25 ～ 0.106	細砂					
0.125 ～ 0.062	微細砂	0.106 ～ 0.075						

● : CASE1 実験選定粒径

▲ : CASE2 実験選定粒径

■ : CASE3 実験選定粒径



図—2 底質配置パターン



写真—1 実験装置と底質配置状況



写真—2 幼虫の放流前と移動の状況

さいためかうまく潜行することができず、表面上を移動していたが、中礫・細礫より大きい粒径の場合には徐々に礫と礫の間あるいは礫の下に潜っていく様子が観察された。

各実験 CASE の底質区分における幼虫数の計測結果とその存在割合を表—3 に示す。CASE1 および CASE2 では、幼虫は粒径の小さい区分に多く集まる傾向を示し、CASE3 では中礫に多く存在する傾向が認められた。これらの実験データから、CASE2 の SG 区を基準とした場合の各底質の分布割合を図—3 に

表—3 各 CASE の幼虫数とその割合

実験時 粒径区分名	CASE1	CASE2	CASE3
B	51	—	—
	5.3		
LC	147	—	—
	15.2		
SC	363	161	—
	37.5	17.4	
LG	406	186	—
	42.0	20.1	
SG	—	327	—
		35.3	
S (< 19) 中礫	—	253	1219
		27.3	82.1
細礫	—	—	259
			17.4
粗中砂	—	—	7.0
			0.5
中細砂	—	—	0
			0.0

各区分 上段：合計幼虫数 下段：割合 (%)

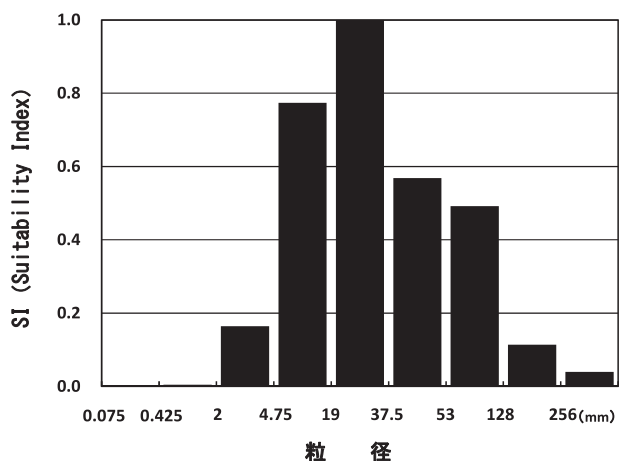
示す。37.5 ~ 4.75 mm の中礫の底質区分において多くの幼虫が集中することが把握でき、底質の選好性があることが裏付けられた。

次に、協会ではこれらの実験データを用いて、定数モデル、一次回帰モデル、二次回帰モデル、三次回帰モデル、対数回帰モデル、指数回帰モデルを候補モデルとして分位点回帰 ($\tau = 0.95$) を行い、AICc を用いて最も適切なモデルの選択を行った。解析の結果、構築した適性指数モデル⁸⁾を図—4 に示す。

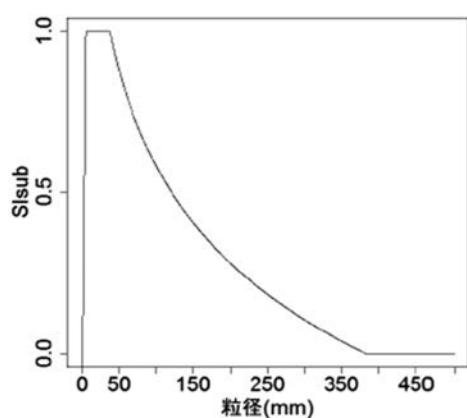
(3) 水深選好性

(a) 実験方法

実験は、主として既往文献でデータの少ない水深



図—3 CASE (SG 区) を基にした分布割合



図—4 作成した底質の SI モデル

10 cm 以浅の幼虫の選好性を把握することを目的として、図—5に示すように、プラスチック製容器を傾斜させることで水深 0～15 cm の状態を再現して行った。

底質は、上述した実験結果から底質選好性の高かった中レキとした。

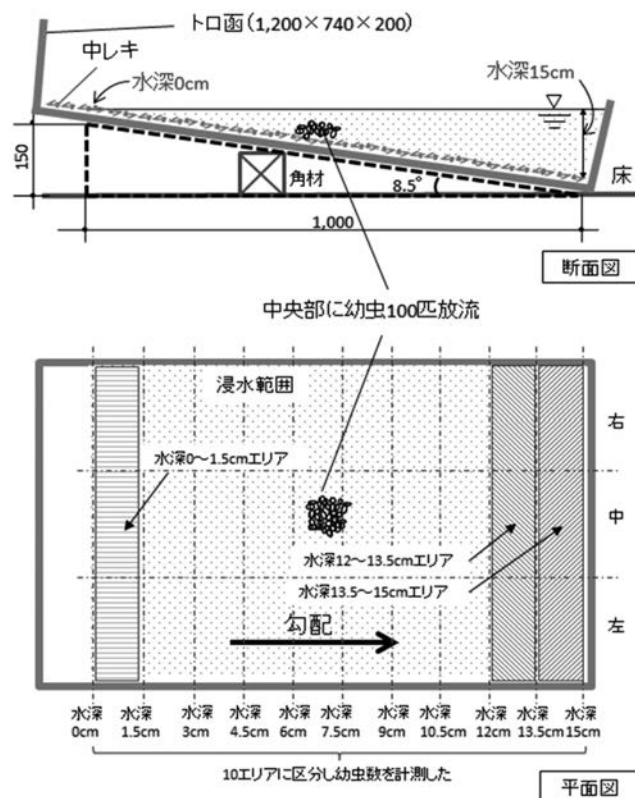
実験の方法は、装置中央にゲンジボタル幼虫 100 匹 (3～6 齢：約 18～30 mm) を放流し、暗条件で放置し 2 晩後に水深エリアごとの幼虫存在数を計測した。

写真—3に実験風景を示す。

(b) 実験結果

図—6に水深と幼虫数との関係を示す。幼虫は 0～15.0 cm の全ての水深エリアに分布していた。水深が深くなるにつれて幼虫数は緩やかに増加し、13.5～15.0 cm で最も多い傾向を示した。

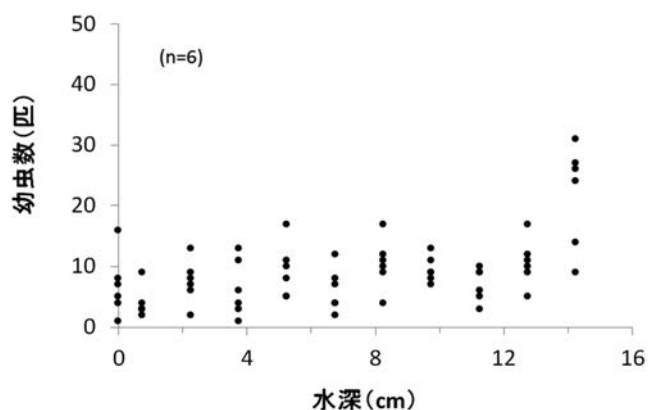
次に、協会が底質実験と同様に分位点回帰 ($\tau = 0.95$) を行い、AICc を比較したところ、水深適性については指数回帰モデルが最良のモデルであると判定された。水深の適性指数モデル⁸⁾を図—7に示す。



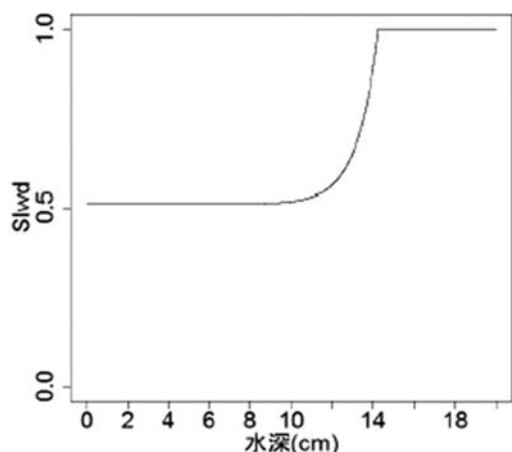
図—5 水深選好性実験装置



写真—3 水深選好性実験風景



図—6 水深と幼虫数との関係



図—7 作成した水深の SI モデル

(4) HSI モデルの構築

実験および解析結果から得られた、底質、水深および流速に関する適性指数を図—8に示す。表—1に示した他の環境要因の適性指数は、文献値から設定した。しかし、両者を HSI へ結合する式については、文献データと実験データとの整合性を取ることが難しい場合があったので、式 (1) に示したように、最も単純な最少関数を採用することとした⁸⁾。

$$SI_{wd} = \begin{cases} (1.60 \cdot 10^{-1} + 9.92 \cdot 10^{-8} e^{WD}) / (3.13 \cdot 10^{-1}) & WD < 14.25 \text{ のとき} \\ 1.0 & WD \geq 14.25 \text{ のとき} \end{cases}$$

$$SI_{sub} = \begin{cases} (-1.75 \cdot 10^{-2} + 6.99 \cdot 10^{-2} SUB) / (3.14 \cdot 10^{-1}) & SUB < 4.75 \text{ のとき} \\ 1.0 & 4.75 \leq SUB \leq 37.5 \text{ のとき} \\ (2.34 - 3.93 \cdot 10^{-1} \log(SUB + 1)) / (9.04 \cdot 10^{-1}) & SUB \geq 37.5 \text{ のとき} \\ 0.0 & SUB \geq 383 \text{ のとき} \end{cases}$$

$$SI_{velo} = \begin{cases} 0.0 & VELO < 2.9 \text{ のとき} \\ 1.0 & 2.9 \leq VELO \leq 40.0 \text{ のとき} \\ 0.0 & VELO \geq 40.0 \text{ のとき} \end{cases}$$

図—8 底質・水深・流速に関する適性指数

$$HSI = \min(SI_{wd}, SI_{sub}, SI_{do}, SI_{cond}, SI_{ph}, SI_{turb}, SI_{velo}) \quad \dots (1)$$

ここで、wd: 水深, sub: 底質粒径, do: 溶存酸素, cond: 電気伝導度, ph: 水素イオン濃度, turb: 濁度, velo: 流速

4. 大山ダムホタルビオトープに対する JHEP 認証

(1) 認証対象事業の概要

大山ダムは、大分県日田市筑後川水系赤石川に建設した湛水面積 60 ha の多目的ダムである(図—9参照)。

大山ダムホタルビオトープは、ダム建設地の日田市が昔からホタルの里として有名な地域であることから、環境保全に配慮したダム建設を進めるという理念に基づき、環境を通じた地域への貢献や地元の子供たちへの環境教育の場づくりを目的に設置されたものである。図—10にホタルビオトープ平面図を示す。



図—9 大山ダム位置図

ら、環境保全に配慮したダム建設を進めるという理念に基づき、環境を通じた地域への貢献や地元の子供たちへの環境教育の場づくりを目的に設置されたものである。図—10にホタルビオトープ平面図を示す。

ホタルビオトープの設置場所は、複数の候補地から水の供給や水質、立地条件などの比較を経て、大山ダム上流の赤石川右岸側に決定した。ビオトープには、ゲンジボタルが生息する場として、蛇行した「せせらぎ」と、瀬や淵のある池を配置し、周囲には近辺で自生している在来種の樹木や植物などを選定し、移植した。

また、ビオトープの施工完了後には、ダム下流の大山川で採取したゲンジボタルの成虫から産卵・孵化させた幼虫を水路や池に放流した。

写真—4, 5に、ホタルビオトープの施工直後および施工2年後の状況を示す。

①事業名称：大山ダムホタルビオトープ

②所在地：大分県日田市大山町西大山

③区域面積：約 270 m²

④施工期間：2008 年 9 月～10 月

⑤事業実施者：(株)熊谷組

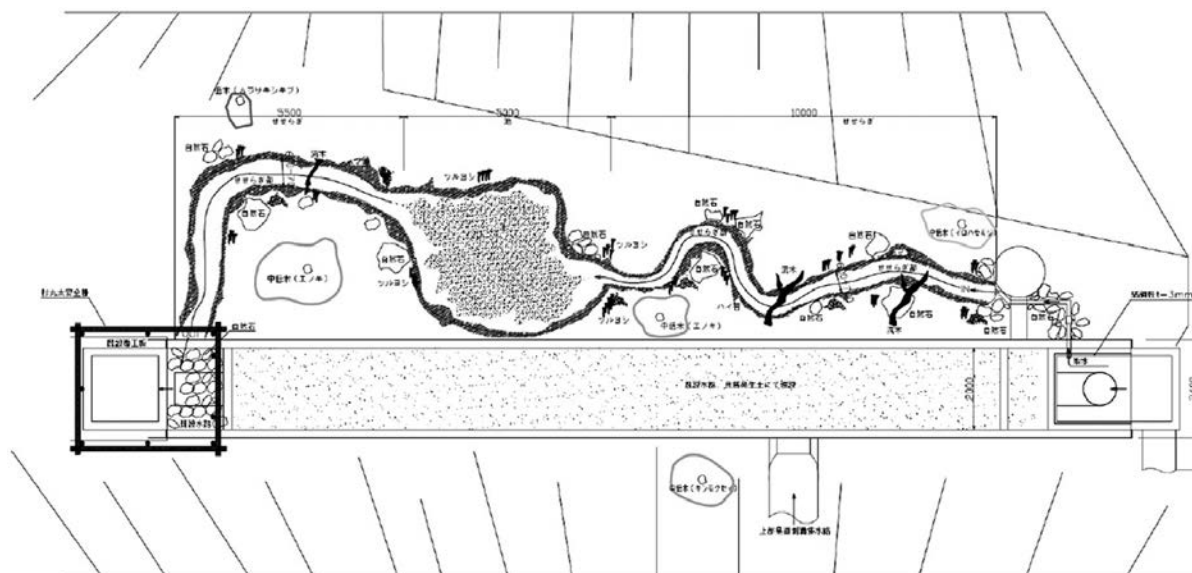
⑥生物多様性保全に対する取り組みの主な内容

- ・地域性種苗による緑化や既存樹木の移植
- ・ゲンジボタルの生育に適した環境(底質、水深、流速等)の創出
- ・ダム下流の河川で捕獲した成虫から産卵、孵化させたゲンジボタルの幼虫を放流
- ・現地発生土の使用

(2) 生物多様性からの評価概要

(a) 評価方法

大山ダムホタルビオトープが完成した 2008 年を基



図—10 ホタルビオトープ平面図



写真—4 ホタルビオトープ施工直後



写真—5 ホタルビオトープ施工2年後

準として、生物多様性の価値（ハビタット評価値）について、過去30年間の平均値と事業実施による50年後の予測値を比較することにより評価した。

(b) 評価種の選定

評価対象地の面積、環境タイプ、動植物の生育情報

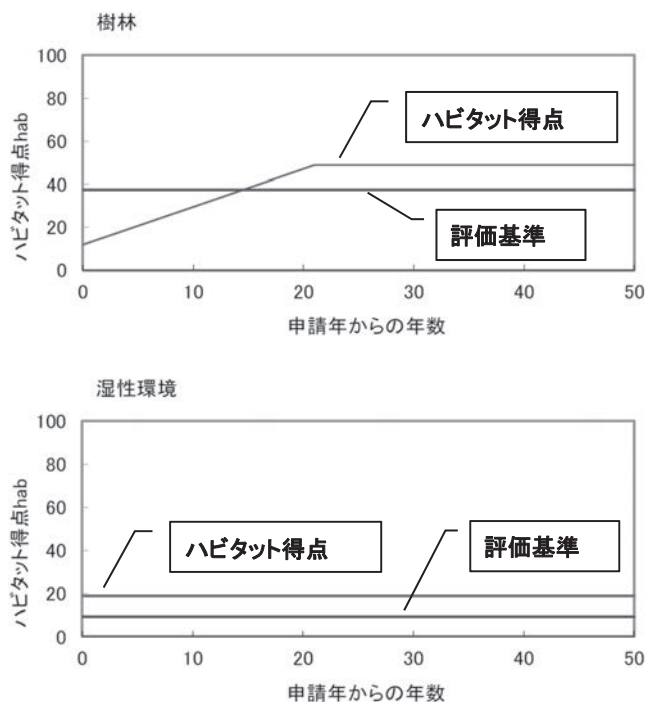
などから、樹林環境タイプとしてケクロモジ—コナラ群集を選定した。九州内陸部の海風の影響を受けない山地帯下部における代表的な自然植生である。

樹林の評価種としては、鳥類のシジュウカラ、及び昆虫類のコミスジ、湿性環境の評価種としては昆虫類のゲンジボタルを選定した。シジュウカラは、北海道から南西諸島まで広く分布し、低山帯から低地、樹林の多い公園や人家など、幅広い環境に生息している。コミスジは、平地や低山地の林縁などで見られる。緑被量との相関が強く、スギやヒノキなどの人工林よりも広葉樹林を好むので、良質な樹林の指標とされている。ゲンジボタルは、九州、四国、本州に分布する日本固有種である。幼虫は小川などの水中でカワニナという巻き貝を採食して成長し、翌年春に柔らかい土手に上陸して土中でさなぎになり羽化する。成虫は交尾のための合図として腹部末端を発光させる。地域によって遺伝的な違いが大きく、東日本と西日本で発光のパターンが異なることなどが知られている。

(c) 評価結果

評価結果の一例として、樹林環境タイプおよび湿性環境タイプの評価基準値とハビタット得点の推移を図—11に示す。評価基準値とハビタット得点の算出に当たっては、樹林環境がVEI（植生評価指数）値、湿性環境がHSI値を用いた。HSIについては、シジュウカラとコミスジは既存のモデルをもとに、ゲンジボタルは上述したように新たに作成したモデルをもとにそれぞれ評価を行った。

図—11から、申請年の50年後においては樹林環境、湿性環境のいずれとも事業で得られるハビタット得点が、評価基準値を上回ることが分かった。その結果、



図ー11 環境タイプごとの評価基準値とハビタット得点 hab の推移

本事業はJHEP 認証事業に該当することが認められ、最終的な評価ランクはA+が得られ、ホタルが生息する湿性環境を含むビオトープとしては、2015年3月に国内で初めての認証取得となった。

5. おわりに

ゲンジボタル幼虫の生息に適した環境要因について実験的検討により明らかにし、定量的な生息環境評価手法として新たにHSIモデルを構築した。さらに、構築したモデルなどをもとに、大山ダムにおいて施工したホタルビオトープに対してJHEP認証を申請した。

その結果、定量的な生物多様性の保全、価値の向上が十分に期待できるという評価が得られ、ホタルが生息する湿性環境を含むビオトープとしては国内で初のJHEP認証を取得するに至った。すなわち、当社の取り組みが生物多様性の保全に貢献している「社会的証明」になるとともに、当社のホタルビオトープ技術に対する客観的な評価の向上に寄与することが期待できる。

今後も、ダムやトンネルなどの土木工事案件や、都市再開発・ビル屋上などの建築工事案件への技術提案・

普及展開を図り、生物多様性の保全に向けて積極的に貢献してゆきたいと考えている。

謝 辞

ホタルビオトープのJHEP認証取得にあたり、多大なご指導、ご協力を頂いた独立行政法人水資源機構大山ダム管理室の方々、ならびに多くの関係者の皆様に深く感謝いたします。

JCM A

《参考文献》

- 1) 門倉伸行, 佐々木静郎, 岡本弾, 鈴木重人: 大山ダムホタルビオトープのモニタリング結果(その5), 土木学会第70回年次学術講演会(平成27年9月), VI-280, pp559-560, 2015.9
- 2) 田中章: HEP入門(新装版)―ハビタット評価手続きマニュアル―, 朝倉書店, 2011.12
- 3) 公益財団法人 日本生態系協会 URL: www.ecosys.or.jp/activity/JHEP/index.html
- 4) 関根雅彦, 後藤益滋, 伊藤信行, 田中浩二, 金尾光浩, 井上倫道: 生息場評価法を用いたホタル水路の建設, 応用生態工学, 10(2), pp103-116, 2007
- 5) 佐々木静郎, 村上順也, 門倉伸行: ゲンジボタル幼虫の生息環境評価手法の開発, 熊谷組技術研究報告, 第73号, pp39-44, 2014.12
- 6) 村上順也, 佐々木静郎, 河村大樹, 門倉伸行, 佐藤伸彦, 柿本恵里那: 水路実験によるゲンジボタル(*Luciola cruciata*)幼虫の流速と水深選好性, 土木学会第70回年次学術講演会(平成27年9月), VI-279, pp557-558, 2015.9
- 7) 河川生態学研究会 多摩川研究グループ: 多摩川の総合研究 - 永田地区を中心として -, H12.12
- 8) 公益財団法人 日本生態系協会 URL: www.ecosys.or.jp/activity/JHEP/dl/genjibotaru1.0.pdf
- 9) 公益財団法人 日本生態系協会: 大山ダムホタルビオトープに対するJHEP認証 審査レポート, 2015.3(再認証2015.11)

【筆者紹介】

佐々木 静郎(ささき しずお)
熊谷組
技術研究所 地球環境研究グループ
グループ部長



門倉 伸行(かどくら のぶゆき)
熊谷組
技術研究所
技術部長



佐藤 伸彦(さとう のぶひこ)
(公財)日本生態系協会
生態系研究センター
統括主任研究員

