

ゲンジボタル幼虫の生息環境評価手法の開発 —底質選好性の把握・評価—

佐々木静郎 * 村上順也 * 門倉伸行 **

近年、自然環境保全や生物多様性向上を進めるために、生態系を定量的に評価する試みがなされている。しかし、筆者らが取り組んでいる、ホテルの棲める環境づくり「ホテルビオトープ」においては、ゲンジボタルの生息環境に関する定量的な評価手法はまだ確立されていない。本研究では、ゲンジボタル幼虫の HSI モデルを確立するための一環として、幼虫の底質選好性実験を行った。その結果、粒径 4.75~39mm の中礫を好むことが判明した。

キーワード：ゲンジボタル、HEP、HSI、底質選好性、ビオトープ

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。このような背景のもと、土木分野においてはほとんどの大規模案件で総合評価項目の中に「生態系配慮」が記載されるようになり、建築分野においても CASBEE での評価項目の一つ (生物環境の保全と創出) に取り入れられるとともに、都市部の再開発事業などでは施工者選定で生物多様性に配点する事例も増えている。

筆者らは、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、ホテルの棲める環境づくり (通称：ホテルビオトープ) 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⁾。特に、ホテルビオトープは地元の小・中学校、NPO、自治体などと連携して、「工事現場でのホテル観賞会」などのような地域の住民や子供たちへの環境学習の場としても活用することにより、熊谷組の環境への取り組みを広くアピールする一助を果たしている。

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) を確立し、運用している。この HEP あるいは 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³⁾。そこで、筆者らは (公財) 日本生態系協会との共同研究により、ゲンジボタル幼虫の HSI モデルを確立し、JHEP に対応したホテルビオトープの整備手法の開発に着手した。本報文は、その第一段階として、ホテル幼虫の生息環境把握の一環として実施した、底質の選好性実験の結果についてとりまとめたものである。

2. HEP について

2. 1 理念

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、事業や開発による野生動物・生態系への影響 (インパクト) を定量的に把握し、影響に対する代償措置や代替案の検討など、事業や開発の意思決定に用いられる手法 (手続き) のことである。すなわち、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、その変化や影響をハビタットの「質」 (生存条件や繁殖条件など) × 「空間」 (生息空間または面積) × 「時間」 (ハビタットの存在時間) として総合的に捉えることにより、異なる時間あるいは異なる場所の

* 技術研究所 地球環境研究グループ

** 技術研究所

生態系を定性的かつ定量的に比較・評価するものである。

2. 2 評価方法

上述したように、HEP ではハビタットの「質」, 「空間」, 「時間」という異なる視点で評価する。

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(式(1)参照)。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、HSIモデル(Habitat Suitability Index)という指標を作成する(式(2)およびFig.1参照)。結合の基本パターンは、算術平均法・幾何平均法などの4通りがあり、ケースバイケースで作成する。

すなわち、HSIは、あるカバータイプ(植生などによって分類される均一な環境)が、評価対象種ごとのハビタットとしてどの程度の質(適性)を持っているのかを、0(まったく適していない)から1(最も適している)で数値化された数値のことである。

$$SI = \frac{\text{小評価区域のハビタットにおける、環境要因の状態}}{\text{理想的なハビタットを規定する、ある環境要因の状態}} \dots (1)$$

$$HSI = \frac{\text{小評価区域のハビタットの状態}}{\text{理想的なハビタットの状態}} \dots (2)$$

$$HU = (HSI) \times (\text{小評価区域の面積}) \dots (3)$$

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(式(3)参照)。カバータイプごとに算出されたHUを合計し、「時間」を掛け合わせることにより、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。

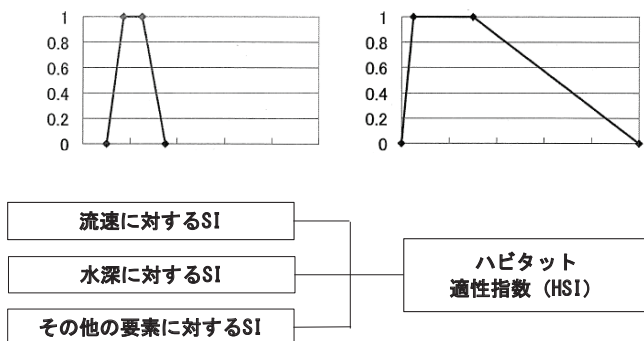


Fig.1 HSIモデル作成の概念

3. ゲンジボタルの生息環境

3.1 ゲンジボタルの生態

ゲンジボタル(*Luciola cruciata*)は、日本の初夏の風物詩として、古くから人々に親しまれており、かつては川沿いのいたるところに生息していたと考えられる。しかし、現在では個体数が減少したり、あるいはまったく見られなくなっている場所が多くなっている。

ホタルは、卵・幼虫・蛹・成虫それぞれ異なる姿をもつ、いわゆる完全変態を行う昆虫で、カブト虫と同じ甲虫類に属する。そのうち、ゲンジボタルは、日本で確認されている46種類のホタルの中で最大の種であり、唯一日本の固有種である。Fig.2に示したように、その生態は、一生の大半(約9ヶ月間)を幼虫として水中で暮らし、カワニナを捕食する。数回の脱皮を経て終令に達した幼虫は、春頃に雨天時の夜間に上陸し、川岸の土の中で蛹になる。約1ヶ月後、羽化し、成虫となり飛翔し、一週間ほどの短い寿命を終える。この期間に交尾を行い、水際の湿った苔の中や葉の裏に産卵をする。産みつけられた卵は、約1ヶ月程で孵化した後、水中に入る。

3.2 ゲンジボタル幼虫の生息条件

ゲンジボタル幼虫の生息場に関する既往文献などの知見の一部をTable1に示す。また上述したように、ゲンジボタル幼虫はカワニナのみを摂食するため、カワニナの生息条件が整っている環境がゲンジボタル幼虫の生息に適した環境とも言える。

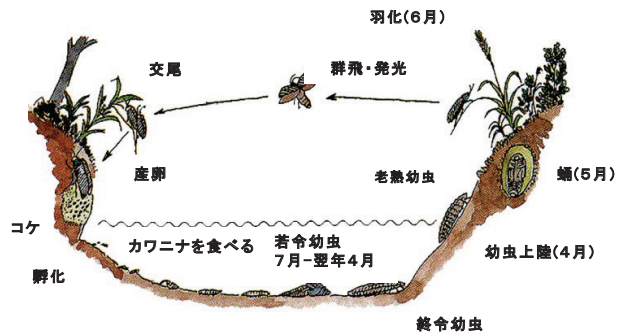


Fig.2 ゲンジボタルの一生

Table1 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	・10~40cm/s
水深	・平均 5~30cmが多い、1cm~2m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

4. 底質選好性実験

4. 1 環境要因の選定

ゲンジボタル幼虫の生息に適する環境要因は、Table1に示したようにいくつか挙げられる。このうち、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を作成できると推察された。

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判断された。その中でも、底質に関しては、定量的な調査や検討が他の環境要因と比較して十分とは言えない環境要因であると考えられた。そこで、まず底質に関する選好性を把握することを目的として実験を行うこととした。

4. 2 実験概要

4. 2. 1 底質条件

ゲンジボタル幼虫の底質選好性については、玉石・礫・砂礫などの大きく区分された分布での報告例はあるが⁴⁾、詳細な粒径区分における選好性に関しては十分に調査されているとは言えない。そこで、今回の実験では底質と底生生物の河床分布を調査した際に用いた粒径階級区分⁵⁾を基に底質条件を区分した。実験に使用した底質粒径区分をTable2に示す。

Table2 底質粒径区分

粒径階級		土質篩い区分		昨年実験時記号	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		19~9.5	中礫	S (<19)			
8~4	小礫	9.5~4.75				●	●
4~2	細礫	4.75~2	細礫				●
2~1	極粗粒砂	2~0.85	粗砂				
1~0.5	粗粒砂	0.85~0.425	中砂				●
0.5~0.25	中粒砂	0.425~0.25					
0.25~0.125	細粒砂	0.25~0.106					
0.125~0.062	微細砂	0.106~0.075	細砂				●

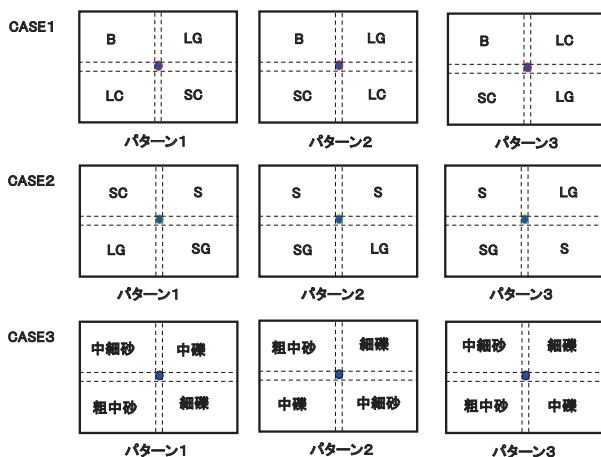


Fig. 3 底質配置パターン

また、底質の配置は、隣同士が同じにならないようにFig.3に示す3パターンで実施した。ただし、実験の都合上、CASE1からCASE3まで同時に実施することができなかつたため、CASE3のみ単独で実施した。そのため、CASE1・CASE2とCASE3についてのデータの整合性を保つため、粒径区分「S」を重複させて実験を行った。なお、底質の厚さはどれもほぼ同等となるように、中礫で2層程度、細礫以下の区分は2cm程度敷き詰めた。

4. 2. 2 実験装置

実験水槽は、プラスチック製トロ函(1202×740×192 : mm内寸)を用い、容器底面を4分割し各底質を配置後、水を満たした(水深約10cm)。容器の中心には、酸素供給のために散気管を設置した。装置および底質設置状況をPhoto.1に示す。

4. 2. 3 実験方法

実験の手順をFig.4に示す。実験は、底質を設置した装置の中心に幼虫約100匹(3~6齢:約18~30mm)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。計測は身を潜めている日中を基本に実施したが、日没後は室内灯下で行った。計測後は、幼虫を全匹回収し、毎回リセットすることとした(毎回放流)。なお、計測の際に、死亡が認められた個体についてはその位置でのカウントとし、それ以降は排除した。

実験中は、強制的な水流は付加せず散気管からのエアリフトによる水の動きのみとするとともに、給餌による誘因現象を防止するために、エサは与えなかつた。また、実験期間中は、水温・pH・DO(溶存酸素)濃度について適宜モニタリングを行った。



Photo.1 実験装置(左上), CASE1(右上), CASE2(左下), CASE3(右下)

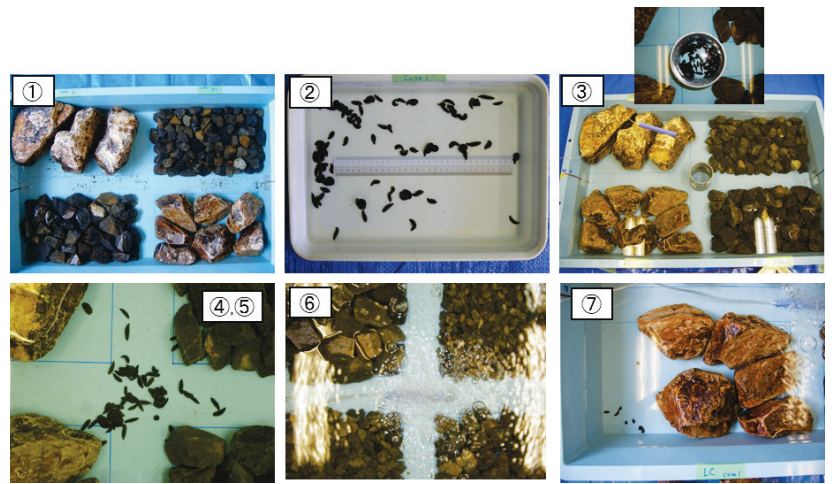
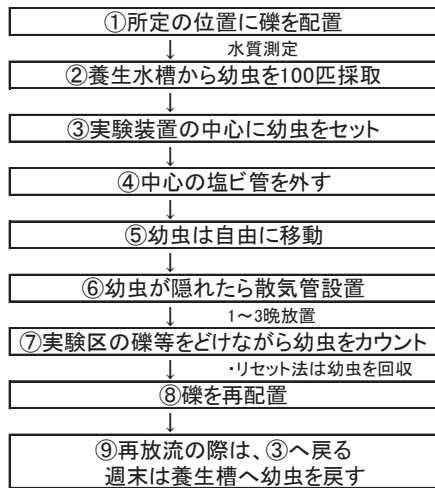


Fig. 4 実験手順

4. 3 実験結果

4. 3. 1 幼虫の移動状況

幼虫の移動状況の一例として、CASE1・パターン2に

おける観察結果を Photo. 2 に示す。

装置の中心に放流した幼虫は、周辺が明るいため暗い場所へ逃避する行動が確認された。幼虫は、夜行性であ

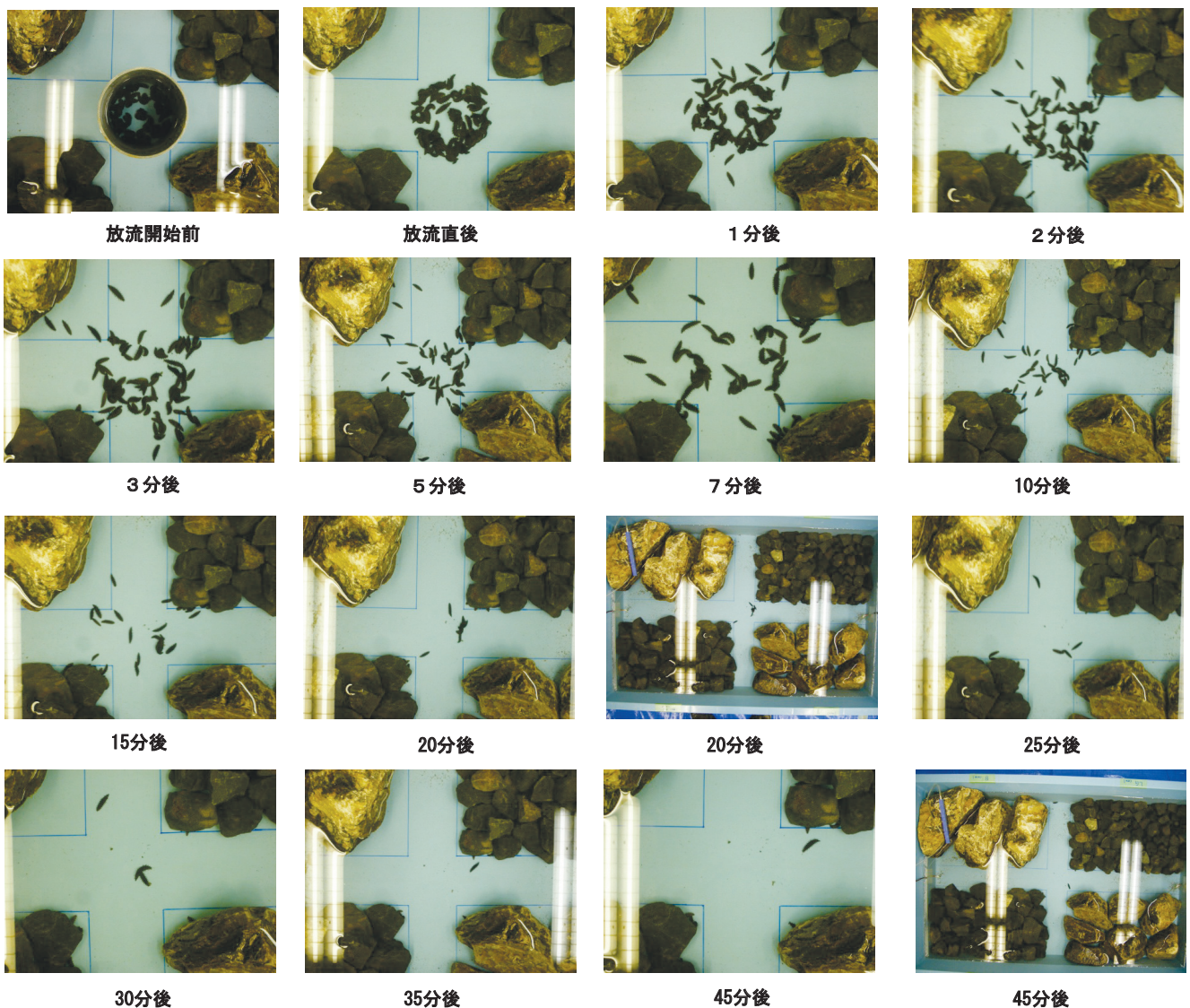


Photo. 2 幼虫の移動状況の一例

るので、この行動は選好性に起因するものではなく、近辺の礫等に身を隠す緊急の避難行動によるものではないかと推察された。

放流後の幼虫は、粗中砂や中細砂では粒径が小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ゆく様子が観察された。

4. 3. 2 底質区分における幼虫分布状況

幼虫の計測は、CASE1 および CASE2 では各パターンごとにそれぞれ3~4回、CASE3 では各パターンでそれぞれ5回実施した。CASE1~CASE3 における幼虫数と分布割合を Fig. 5 に示す。幼虫数は巨礫(S)は3分割して、それ以外の底質は6分割して色分けをした上で示した。

CASE1 では、粒径の小さい SC と LG に多く集まることが認められ、巨礫の B は少ない結果となった。当初は、幼虫が身を隠すには大粒径の底質の方が有利ではないかと考えていたが、隙間の多い粒径に多く存在する傾向が確認された。幼虫は、身を潜めるには自分の体型と同程度の隙間を好むものと推測された。

CASE2 では、Fig. 5 に示したように、幼虫は CASE1 と同様に小粒径の SG と S に比較的多く存在し、SC と LG には少ないことが認められた。S 区分の粒径は、16mm 以下のサイズであり実験で用いた幼虫のサイズよりも小さい径であるが、狭い隙間に体を突っ込んでいる状況が観察された。幼虫は明るい時間帯は身を潜めているが、自身が

礫などに接触していて、なおかつ光を遮る暗く狭い場所（隙間）をより好むのではないかと推測された。

CASE3 では、底質配置を変更しても70%から90%の幼虫が中礫に潜むことが確認され、砂に区分される粗中砂や中細砂にはわずかな数しか存在していなかった。この理由としては、前述したように、幼虫は自身の体長と同等以下程度の空隙を好むとされているが、砂は水中で崩壊しやすいこと・空隙（空間）が狭すぎることなどと考えられた。また、照明を消灯するまではすべての幼虫が潜むことはなく、特に中細砂以下の区分では、表面を移動している状況が観察された。

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一覧表にまとめ直した結果について、Table3 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、底質の粒径区分をハビタット変数としたときの SI モデルの作成を試みた結果を Fig. 6 に示す。37.5~4.75mm の中礫の底質区分に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。また、砂以下の小粒径の区分では幼虫は好まないことが示唆された。なお、幼虫が身を潜めるのは、夜明けから夕方の日中であることが分かり、照明などの光がない夜間は、採餌のためか底質表面を移動していたことが観察された。実験期間中の水質は、DO は 10~12 mg/L とほぼ飽和状態を維持し、pH は 7.8~8.3、水温は 7~14℃で安定して推

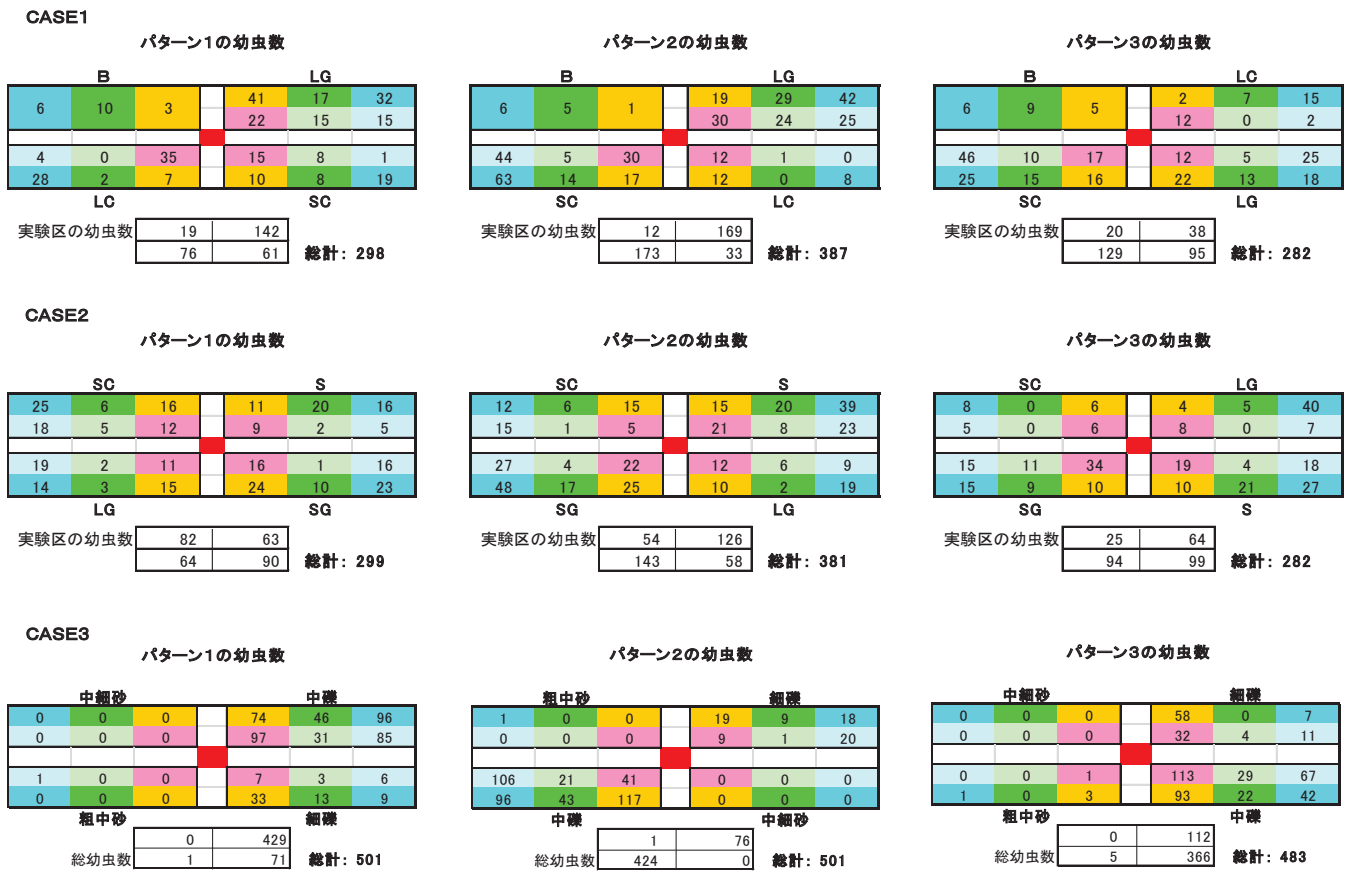


Fig. 5 各 CASE の幼虫の分布状況

移した。

5. まとめ

ゲンジボタル幼虫の生息に適した環境要因を把握し、HSI モデル確立に向けて、まず底質選好性の把握実験について行った。その結果、幼虫は礫質の底質を好むことが既往文献などで報告されていたが、礫の中でも比較的粒径の小さい区分を好むことが判明した。また、体長よりも小さい粒径は良好な空間ではないことが分かった。

今後は、底質以外の環境要因について検討を行い、JHEP に対応したホタルピオトープの整備手法の開発につなげてゆきたいと考えている。

謝辞

本研究は、(公益財団法人)日本生態系協会との共同研究として実施した成果の一部である。関係諸氏に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 門倉伸行, 土路生修三, 岡本弾, 二俣尊貞, 鈴木重人: 大山ダムホタルピオトープのモニタリング結果(その3), 土木学会第68回年次学術講演会(平成25年9月), VI-284, pp567-pp568, 2013.9
- 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) 土路生修三, 佐々木静郎, 村上順也, 門倉伸行, 藤井千晴, 佐藤伸彦: 水槽実験によるゲンジボタル (*Luciola cruciata*) 幼虫の底質選好性, 土木学会第68回年次学術講演会(平成25年9月), VI-287, pp573-pp574, 2013.9
- 4) 関根雅彦, 後藤益滋, 伊藤信行, 田中浩二, 金尾充浩, 井上倫道:

生息場評価手法を用いたホタル水路の建設, 応用生態工学, 10(2), 103-116, 2007

5) 河川生態学術研究会 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

Table3 各 CASE の幼虫数と割合

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(%)

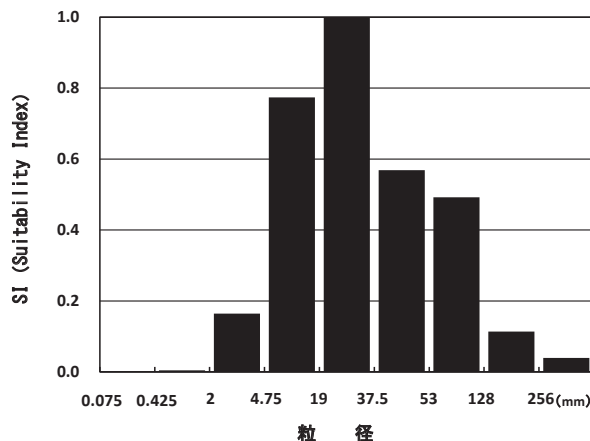


Fig. 6 本実験結果を基にした底質の SI モデル案

Development of biotope evaluation method for firefly (*Luciola cruciate*) larva — Result of quality of bottom choice enthusiast characteristics experiment —

Shizuo SASAKI, Junya MURAKAMI and Nobuyuki KADOKURA

Abstract

In recent years, for the purpose of conservation of natural environments and improvement of the biological diversity, a study to evaluate ecosystem quantitatively have been conducted. However, in the firefly biotope where the writers work on, the quantitative evaluation technique about the biotope of the firefly has not been established yet. In this study, we experimented for quality of larval bottom enthusiast characteristics as a part to establish the HSI model of the firefly larva. As a result, it was recognized that middle size stones such as 4.75mm – 39mm in particle diameter have been preferred and suggested SI model of the quality of bottom.

Key words: *Luciola cruciate*, HEP, HSI, Bottom choice enthusiast characteristics, Biotope