

ゲンジボタル幼虫の HSI モデル (2015 年 3 月版) *

1. ハビタット利用に関する既存文献情報

1-1. 分布・保護的位置づけ

ホタル科は世界に約 2000 種生息するといわれ、日本には約 50 種が生息する (東京ゲンジボタル研究所 2004)。そのうちゲンジボタル *Luciola cruciate*、ヘイケボタル *Luciola lateralis*、クメジマボタル *Luciola owadai* の 3 種のみが、幼虫時代を水中で過ごす (東京ゲンジボタル研究所 2004)。ゲンジボタルは日本の固有種で、本州、四国、九州に分布している。十数の都府県のレッドリストに掲載されているが、特に関東地方で、絶滅の危険性のランクが高い傾向にある (茨城県 2015, 群馬県 2012, 埼玉県 2008, 千葉県 2011, 東京都 2010)。

本種は、遺伝的なグループとして、東北グループ、関東グループ、中部グループ、西日本グループ、北九州グループ、南九州グループの 6 つに大きく区分されるほか (鈴木ほか 2000)、希少なハプロタイプが存在する地域なども知られる (増本ほか 2006)。一方で、他地域からのホタルの人為的な持ち込みによる遺伝的な攪乱が、各地で問題となっている (鈴木 2001) ことから、全国ホタル研究会により、ホタル類の移植に関するガイドラインが策定されている (全国ホタル研究会 2007)。

1-2. ハビタットや生活史の概要

生活史段階に応じて陸上と水中の両方を生息場所として利用するため、両環境の健全性と水陸間の移動可能性が要求される (冨田ほか 2006)。

成虫の個体数に影響を及ぼす要因として、神奈川県横須賀市における研究では、夏期と冬期の水路照度・川幅・流速・谷戸の長さ・畔の高さが選択された (渋江ほか 1995)。そのほか、栃木県で行われた研究によると、水質 (PH, DO)・カワニナの個体数が正の要因として、水深・用水路の改修率が負の要因として選択され (Takeda et al. 2006)、さらに底質に占める砂利の割合も重要である (冨田ほか 2006) ことが示唆されている。また、土地被覆として、谷底部における水田の面積比、谷壁斜面における樹林地の面積比、谷底部における休耕地の面積比、および谷底部における人工地が重要な条件として選択された (澤田ほか 2004)。

成虫の生息密度におよぼす樹冠被度の影響としては、樹冠被度の境界は 0.5~0.6 であり、成虫の高い密度を維持するためには水面上の半分ほどが開けていることが条件とされる (遊磨 2001)。

生息地によって著しく差はあるが、西日本では 5 月上旬から、関東地方では 6 月中

【本モデルの引用例】(公財)日本生態系協会ハビタット評価グループ (2015) ゲンジボタル幼虫の HSI モデル (2015 年 3 月版)。(公財)日本生態系協会,東京

旬、青森県では 7 月中旬、高地では 7 月下旬頃に成虫の出現が見られる。それぞれ、出現期間は約 1 ヶ月で短期間に集中する（東京ゲンジボタル研究所 2004）。

成虫は夜行性であり、昼間は川岸にある雑木林の日陰で過ごし、日没 1 時間後になると発光を始める。出現時間帯には 2 つのピークがあり、1 つ目は午後 7 時半から 9 時頃、2 つ目は午後 0 時から 4 時頃で 2 時頃が一番活発となる（東京ゲンジボタル研究所 2004）。

交尾をすませたメスは水辺のコケなどに産卵し、孵化した幼虫は水中に潜り生活を始める。幼虫はカワニナなどを捕食し、終齢幼虫は 4 月下旬頃から蛹になるため岸にあがり、土の中で土繭を作り蛹となる。その後、約 1 ヶ月で羽化し、地上に現れ上空を飛翔する（矢島ほか 1996）。

成虫の体長はオス約 14mm、メス約 20mm で雌雄とも体は黒色で前胸は淡赤色、背面中央の細い黒の十字模様が特徴である。発光器は腹部にあるが、オスは第 6, 7 節、メスは第 6 節だけが発光する。表皮はキチン質で弾力がある（矢島ほか 1996）。

野外における成虫の平均寿命は、オス約 3.3 日、メス約 5.7 日であり、平均移動距離はオス約 165m 以上、メス約 400m であった（堀ほか 1978）。

卵は楕円形で長径約 0.5mm、乳白色であるが、日が経つにつれ卵殻を通して中の幼虫が黒く見えるようになる。約 1 ヶ月で孵化する（矢島ほか 1996）。

幼虫は生まれたてで約 2mm、終齢幼虫で 20~30mm に達する。各腹節に 1 対のエラ器官を備え、水中の生活に適応する（矢島ほか 1996）。

幼虫は、土繭の中で蛹を経て脱皮し、乳白色の蛹になる。蛹化して、約 10 日頃から成虫と同じ発光器を備える（矢島ほか 1996）。

1-3. カバーと食物

幼虫は、淵と瀬の中間から瀬の近くにかけて多く生息している。胸部にある 3 対の脚を使って、シャクトリムシのように歩行する。また、尾脚にはカギ状の組織があり、石や礫に固定することができる。

幼虫は昼間、岩や石の下などの隙間に隠れ、基本的に夜間に採食する。成虫と同様に、幼虫も臭いのある分泌物質を放出する。ヘイケボタルの幼虫においては、ヤゴやヨシノボリなどに一旦捕食されても、吐き出されたという事例がある（大場 2010）。一方、サワガニ（大場 2010）やアメリカザリガニによる捕食が指摘されている（南 1983）。

食物は主に淡水性の巻貝であるカワニナで、10~12 月に最も多くの数を捕食する。幼虫はカワニナを探し当てると大アゴで噛み付き、消化液を分泌し、スープ状にして摂食する。飼育下において、幼虫一個体が一生のうちに平均 24 個体のカワニナを捕食したという報告がある（矢島ほか 1999）。

カワニナは、冬季を除いて毎日のように子貝を産下する。雑食性でセリ、クレソン、

ワサビ、珪藻類などを摂食し、水温が約 14～20℃、水深が 15～30cm の川が好適環境とされる（東京ゲンジボタル研究所 2004）。

ゲンジボタルの幼虫の生息には水質と川の空間構造が重要で、環境条件としては、水質的環境として溶存酸素量(DO)、電気伝導度(COND)、水素イオン濃度(pH)、濁度(TURB)などが、物理的環境として水深、流速、底質などが挙げられている（Takeda et al. 2006, 関根ほか 2007）。

溶存酸素量(DO)に関しては、幼虫は水中に溶けこむ酸素をエラ器官から取り入れることで呼吸するため、6.8～11.8mg/l の十分な酸素が溶けているところで育つ（Takeda et al. 2006, 東京ゲンジボタル研究所 2004）。

電気伝導度(COND)に関しては、水の電流の通しやすさを示す指標であり、不純物の度合いを知ることができることとされ、幼虫の生息地では 8.0～20.0ms/s であったとされている（東京ゲンジボタル研究所 2004）。

水素イオン濃度(pH)は、水の酸性化に反応し、水の性質を知るためにも重要である。水が酸性化してくると体内の塩分濃度が下がり生存を維持することが困難となるため、pH6.0～8.4 の弱アルカリ性が最適とされる（東京ゲンジボタル研究所 2004, Takeda et al. 2006, 大場 2010）。

濁度(TURB)に関しては、泥系のにごりは支障がないとされている（関根ほか 2007）が、当協会が関東地方で取得したカワニナの生息条件データによると、濁度が 200 を超える地点ではカワニナの生息が見られなかったことから、本種の幼虫にとって、餌生物の観点からも濁りが多すぎる環境は生息が難しい可能性がある。

水深に関しては、酸素が十分に届く深さであることが重要で 10～50cm 程度であるとされている（東京ゲンジボタル研究所 2004, 関根ほか 2007, 大場 2010）。また、実河川の調査では 0～40cm の範囲において幼虫が確認されている（山下ほか 2009）。

流速に関しては、水系の更新、一定の溶存酸素量を保つために必要とされている。真夏でも水温が高くならず、十分な酸素を供給でき、幼虫が流されることのない 2.9～40cm/s とされている（熊谷組 未発表, 南 1983, 東京ゲンジボタル研究所 2004）。また、実河川の調査では 0～60cm/s の範囲において幼虫が確認されている（山下ほか 2009）。

底質に関しては、幼虫の隠れ場所としてや、エサ生物のカワニナが定着するため、砂や泥が少なく、玉石や礫が多い地質（南 1983, 関根ほか 2007, 東京ゲンジボタル研究所 2004）、砂利や石のような環境（徳永ほか 2008）や砂分（粒径 0.075～2mm）が 30～40%存在するような環境であるとされている（山下ほか 2009）。

成虫が飛翔する条件としては、気温が高く月明かりのない曇った日で風のない夜とされている。強い雨や風の日、気温が 15℃を下回るような日は飛翔せず、藪の中で発光しているだけのこともある（東京ゲンジボタル研究所 2004）。

活動のピークとピークの間は、近くの草木や葉の裏、川沿いの茂みの中に止まって

いる。川沿いの茂みの中にいる大半はメスである。

成虫の最大の外敵はクモ類である。クモの巣にかかったホタルはすぐに糸で巻かれるが、それでも明滅発光を繰り返すため、他の個体もそれに引き寄せられて巣にかかることがある（大場 2010）。

ホタルの個体数減少には、河川改修や水質汚濁に加え、街灯や自動車等の人工照明による「光害」の影響などが挙げられている。ゲンジボタルに対する LED 照明の影響を調べたところ、白・青・緑の LED 照明は 0.11x、黄色の LED 照明は 30~401x 以上、赤色の LED 照明は 601x 以上で忌避行動を示すことが明らかとなった（宮下 2009）。

成虫はほとんど何も食わず、葉に溜まった夜露などを舐めるだけで、幼虫時代に蓄えた養分だけで生きている（東京ゲンジボタル研究所 2004）。

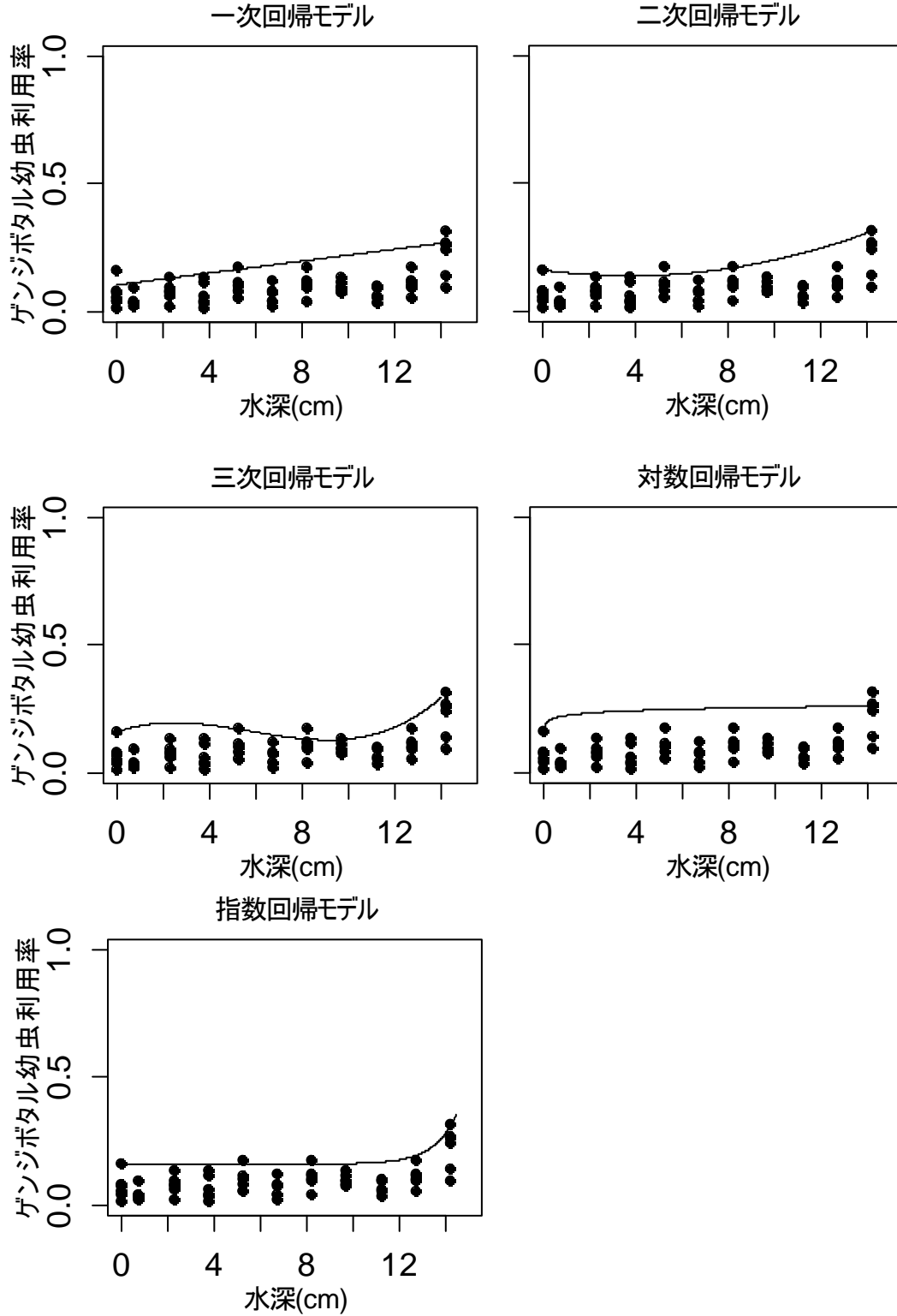
2. ハビタット適性指数モデルの構築方法

前節の文献調査結果より、ゲンジボタル幼虫のハビタット適性は、水深、底質、流速、溶存酸素量(DO)、BOD や COD、電気伝導度(COND)、水素イオン濃度(pH)、濁度(TURB)、水温によって決定されると考えられたが、実際の生息地における幼虫の定量的調査が困難であることから、底質条件については、室内実験に基づく土路生ほか(2013)のデータを、水深条件については、室内実験に基づく熊谷組技術研究所(未発表)のデータを用いて適性指数曲線の検討を行った。残りの、流速、溶存酸素量(DO)、BOD や COD、電気伝導度(COND)、水素イオン濃度(pH)、濁度(TURB)、水温条件については、文献に基づいて適性な範囲を検討するものとした。

水深(cm)については、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、底質（礫の粒径 mm）については、定数モデルと、山型となる二次回帰モデルと三次回帰モデルを候補モデルとして、上記で得られたデータによる分位点回帰（ $\tau = 0.95$ ）を行い、AICc を用いて最も適切なモデルの選択を行った。

3. ハビタット適性指数モデルの構築結果

各変数について分位点回帰 ($\tau=0.95$) を行い、AICc を比較したところ、水深適性 (SIwd) については指数回帰モデルが最良のモデルとなった。



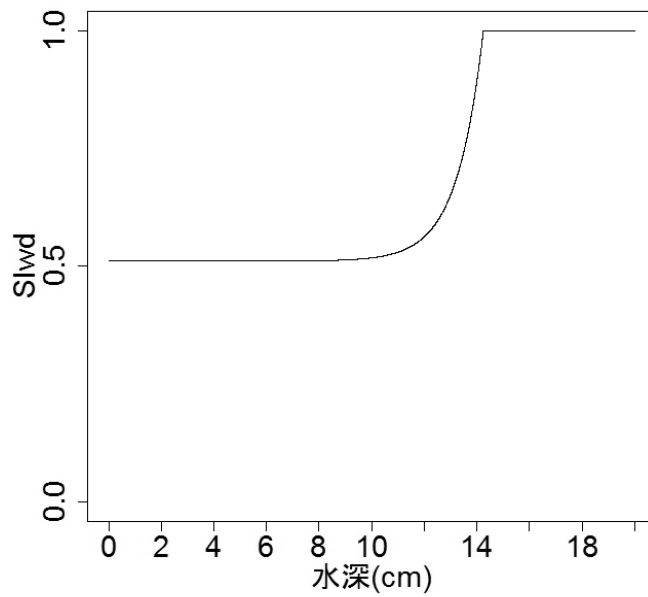
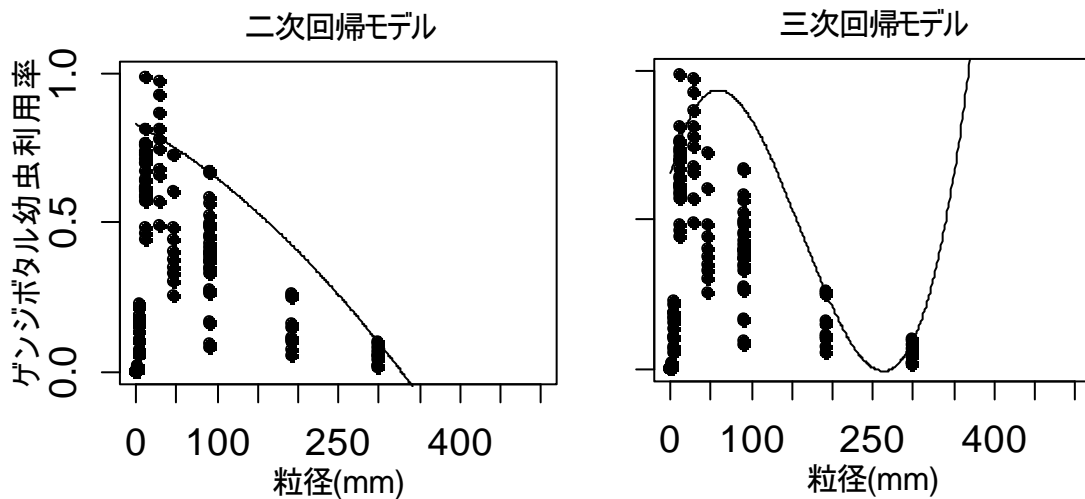


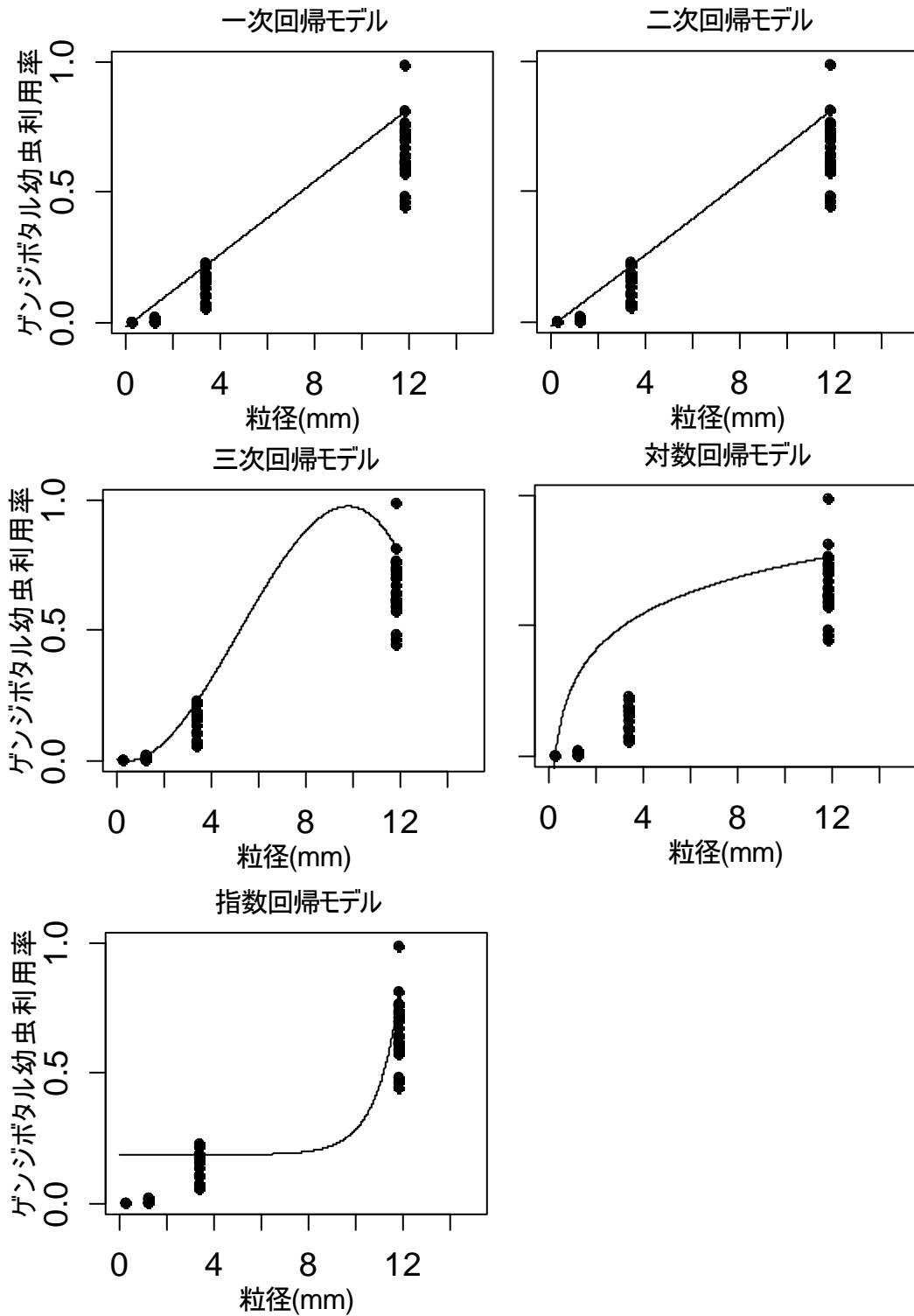
図. 水深(WD)に関する適性指数グラフ

底質適性 (SIsub) について分位点回帰 ($\tau=0.95$) を行ったところ、二次回帰については粒径 0 において最大値を取るモデルとなってしまう、三次回帰については、粒径 0 においても高い適性値をもち、250mm を超えると適性が上がるモデルとなってしまう。

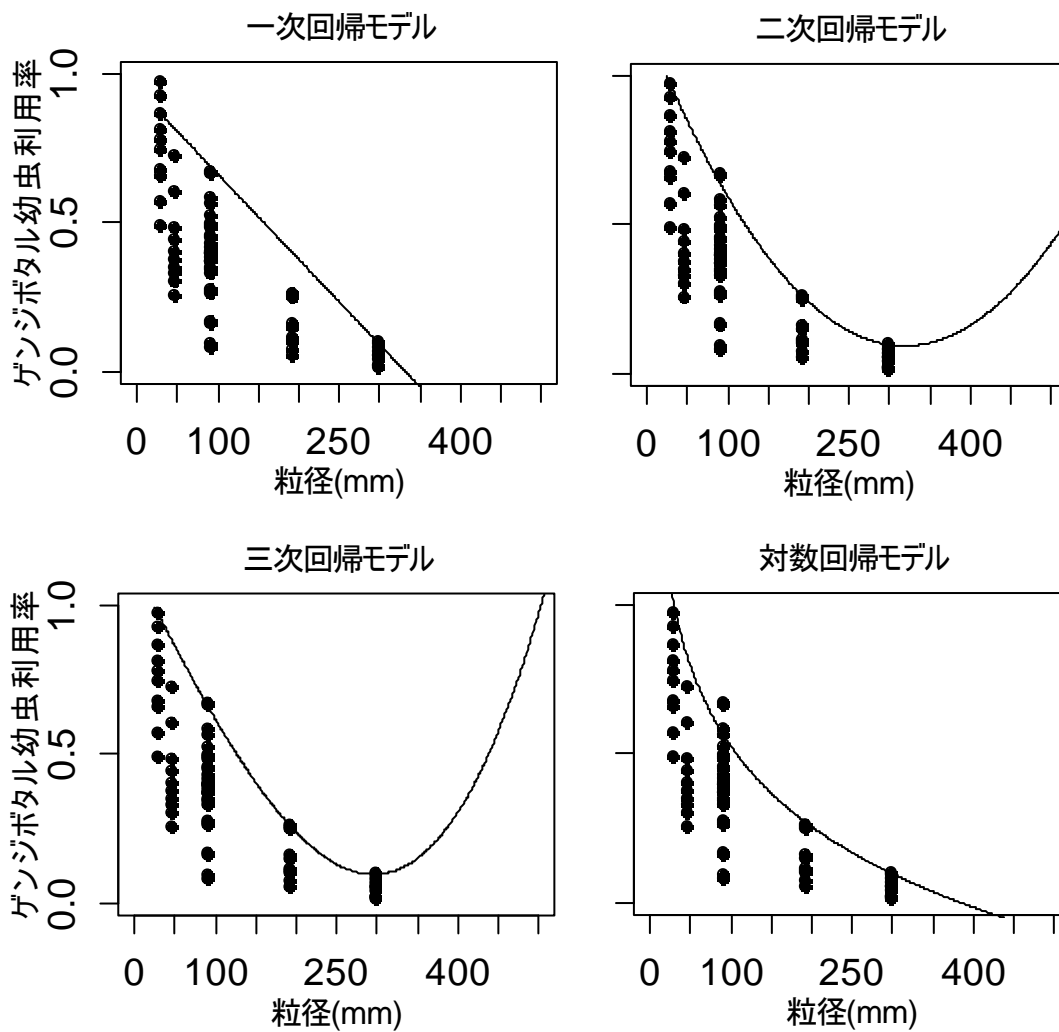


そこで、粒径カテゴリーの中礫から SG に該当する、中央値 12~24mm (カテゴリー範囲としては 4.75~37.5mm) に関しては適性値を 1.0 とし、これ以上の粒径のデータセット (中央値 24~300mm) と、これ以下の粒径のデータセット (中央値 0.25~12mm) ごとに、定数モデル、一次回帰モデル、二次回帰モデル、三次回帰モデル、対数回帰モデル、指数回帰モデルを候補モデルとして分位点回帰 ($\tau=0.95$) を行い、AICc を用いて最も適切なモデルの選択を行った。

その結果、中央値 0.25~12mm のデータセットに関しては、AICc が最も小さいモデルは三次回帰モデルであったが、10mm 前後でピークとなった後に適性値が下がるグラフ形状となってしまうことから、二番目に AICc の小さかった一次回帰モデルを採用することとした。



中央値 24~300mm のデータセットに関しては、AICc が最も小さいモデルは三次回帰モデルであったが、300mm 前後で最低値となった後に適性値が上がるグラフ形状となってしまうことから、二番目に AICc の小さかった対数回帰モデルを採用することとした。



以上の区間のモデルを組み合わせて、下記の適性指数グラフを設定した。

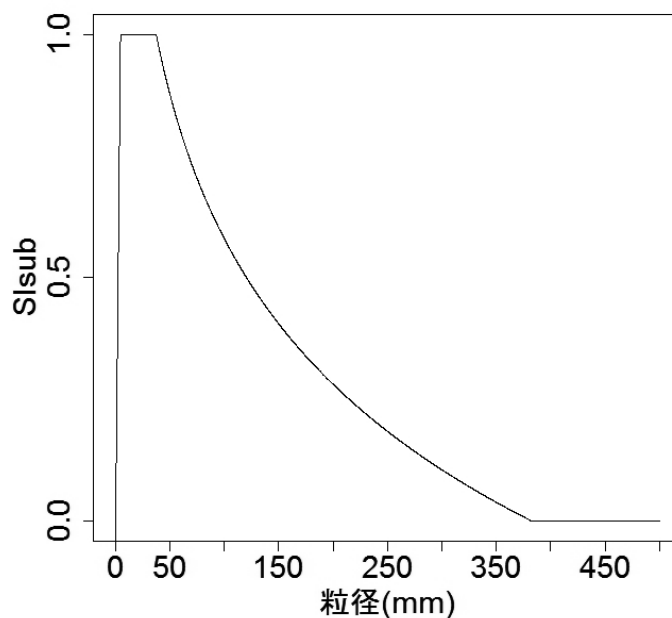


図. 底質 (SUB) に関する適性指数グラフ

前節の文献調査に基づき、流速、溶存酸素量(DO)、電気伝導度(COND)、水素イオン濃度(pH)、濁度(TURB)の適性範囲を、下記のとおり設定した。

溶存酸素量(DO) 6.2~mg/l

電気伝導度(COND) 8.0~20.0ms/s

水素イオン濃度(pH) 6.0~8.4

濁度(TURB) 0~200

流速(VELO) 2.9~40cm/s

各適性指数を HSI へ統合する式については、データからの検討ができなかったため、最も単純な最小関数を採用するものとした。

以上の結果より、HSI を求める式を以下に整理した。

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

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

$$SI_{do} = \begin{cases} 0.0 & DO < 6.2 \text{ のとき} \\ 1.0 & DO \geq 6.2 \text{ のとき} \end{cases}$$

$$SI_{cond} = \begin{cases} 0.0 & COND < 8.0 \text{ のとき} \\ 1.0 & 8.0 \leq COND \leq 20.0 \text{ のとき} \\ 0.0 & COND \geq 20.0 \text{ のとき} \end{cases}$$

$$SI_{ph} = \begin{cases} 0.0 & pH < 6.0 \text{ のとき} \\ 1.0 & 6.0 \leq pH \leq 8.0 \text{ のとき} \\ 0.0 & pH \geq 8.0 \text{ のとき} \end{cases}$$

$$SI_{turb} = \begin{cases} 0.0 & TURB > 200 \text{ のとき} \\ 1.0 & TURB \leq 200 \text{ のとき} \end{cases}$$

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

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

4. 引用文献

- 千葉県 (2011) 千葉県の保護上重要な野生生物—千葉県レッドデータブック—動物編 (2011年改訂版)
- 群馬県 (2012) 群馬県の絶滅のおそれのある野生生物 動物編 (2012年改訂版).
- 堀道雄・遊磨正秀・上田哲行・遠藤彰・伴浩治・村上興正 (1978) ゲンジボタル成虫の野外個体群. *インセクタリアム* 15(6): 4-11
- 茨城県 (2015) 茨城における絶滅のおそれのある野生生物 (動物編).
- 増本育子・若尾拓志・尾田敏範・北村徹・新田朗・川野敬介 (2006) 遺伝子解析による豊田地域に生息するゲンジボタルの集団構造について. *全国ホタル研究会誌* 39: 25-31.
- 南喜一郎 (1983) 復刻ホタルの研究. サイエンティスト社, 東京
- 宮下衛 (2009) ゲンジボタル・ヘイケボタル幼虫に対する LED 照明の影響. *土木学会論文集 G* 65(1):1-7
- 大場信義 (2010) 田んぼの生きものたち ホタル. 農村文化協会, 東京
- 埼玉県 (2008) 埼玉県レッドデータブック 2008 動物編.
- 澤田大介・加藤和弘・樋口広芳・百瀬浩・藤原宣夫 (2004) 農村地域におけるゲンジボタル成虫の個体数と土地被覆との関係. *ランドスケープ研究* 67(5):523-526
- 関根雅彦・後藤益滋・伊藤信行・田中浩二・金尾充浩・井上倫道 (2007) 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.
- 渋谷桂子・大場信義・藤井英二郎 (1995) 三浦半島野比地区におけるゲンジボタルの成虫個体数に影響を及ぼす生息環境要因の解析. *ランドスケープ研究* 58(5):121-124.
- 鈴木浩文 (2001) ホタルの保護・復元における移植の三原則. *全国ホタル研究会誌*, (34): 5-9.
- 鈴木浩文・佐藤安志・大場信義 (2000) ミトコンドリア DNA からみたゲンジボタル集団の遺伝的な変異と分化. *全国ホタル研究会誌*, (33): 30-34.
- Takeda, Mari, Tatsuya Amano, Kazuhiro Katoh and Hiroyoshi Higuchi (2006) The habitat requirement of the Genji-firefly *Luciola cruciate* (Coleoptera :Lampyridae), a representative endemic species of Japanese rural landscapes. *Biodiversity and Conservation* (2006) 15:191-203
- 徳永幸喜・渡辺亮一・山崎惟義 (2008) ゲンジボタル幼虫の選好性に関する実験的検討 (第2報). *土木学会西部支部研究発表会* 861-862
- 東京ゲンジボタル研究所 (2004) ホタル百科. 丸善株式会社, 東京.
- 東京都 (2010) 東京都の保護上重要な野生生物種(本土部)～東京都レッドリスト～2010年 版.
- 富田満・伊藤浩二・加藤和弘 (2006) ゲンジボタルの分布に影響する環境要因の地域比較. *ランドスケープ研究* 69(5):557-560

- 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(2013)水槽実験によるゲンジボタル (*Luciola cruciata*) 幼虫の底質選好性. 土木学会年次学術講演会講演概要集(CD-ROM) 巻: 68th: VI-287.
- 矢島稔・大場信義 (1996) 蛍・人里・九州ホタルハンドブック. 日本ホタルの会, 東京
- 山下安啓・渡辺亮一・山崎惟義・楠原吉晴 (2009) ゲンジボタル幼虫の実河川における生息適地に関する研究. 土木学会西部支部研究発表会 965-966
- 遊磨正秀 (2001) ゲンジボタル成虫の生息密度におよぼす照度と樹冠被度の影響. 応用生態工学 4(1):59-63
- 全国ホタル研究会 (2007) ホタル類等, 生物集団の新規・追加移植および環境改変に関する指針.

ハビタット評価モデル等利用規約

1. 本モデルの著作権は(公財)日本生態系協会に帰属し、著作権法によって保護されています。当協会の許可なく本モデルをウェブサイトや印刷媒体に転載することはできません。
2. 非営利の学術研究または教育を目的として利用する場合は、出典を明記した上でご利用ください。
営利目的などその他の目的で利用する場合は、事前に当協会の許可が必要となりますので、利用申請書に必要事項を記載の上、当協会まで郵送してください。
3. 利用者が本モデルの利用や利用不能により被った直接的または間接的損害に対し、(公財)日本生態系協会は一切の責任を負いません。

お問合せ・送付先

(公財)日本生態系協会 生態系研究センター
ハビタット評価グループ
〒330-0802 埼玉県さいたま市大宮区宮町 1-103-1 YK ビル 6F
TEL 048-649-3860 FAX 048-649-3859

ハビタット評価モデル等利用申請書

平成 年 月 日

(公財)日本生態系協会会長 殿

申請者 団体名
代表者 (印)
担当者
住 所
T E L
E-mail

利用規約および利用条件に同意の上、下記のとおり利用を申請します。

記

利用を希望するモデル	
利用目的 および 事業名・発注者名	
利用期間	

利用条件

1. 上記の目的以外に利用しないこと。
2. 利用結果を公表した場合は、速やかに当協会へそのコピーを提出するか、公表資料の入手方法を報告すること。