

松本市庄内ホタル水路におけるヘイケボタルの保全 —水路中・下流域でホタル幼虫密度が低い原因の解析—

奥村知祥¹, 藤山静雄²

¹信州大学工学系研究科, ²信州大学理学部

Conservation of *Luciola lateralis* in the Shonai stream in Matsumoto City, Japan
—Analysis of the cause of the low density in the down stream and its improvement—

T. Okumura¹, S. Fujiyama²

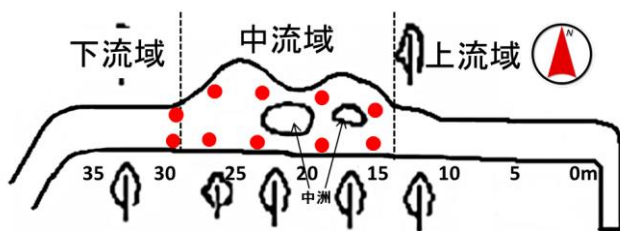
¹ School of Engineering, Shinshu Graduate School & ² Faculty of Science, Shinshu University.

キーワード: ヘイケボタル幼虫, 水生動物群集, ホタル保全, ヒル, コモチカワツボ
Keywords: *Luciola lateralis*, Biological Conservation, *Erpobdella lineata*, *Potamopyrgus antipodarum*,

はじめに

ヘイケボタル *Luciola lateralis* (以後ヘイケと略称する) は, コウチュウ目ホタル科に属し, 成虫は体長約 10mm で, 前胸背は淡赤色で中央に黒く太い縦条がある. 日本列島には広く分布し, 国外ではシベリア, 千島, 朝鮮半島に分布する. 幼虫は水田や用水路などに生息する(中根ら, 1963). 日本ではゲンジボタル *Luciola cruciata* (以後ゲンジと略称する) とともに身近なホタルの一つである.

ヘイケとゲンジを比較すると, ゲンジは湧水源・河川などの流水中に生息し, 主にカワニナを餌にしているが(黒澤ら, 1985), ヘイケは水田・湿地など



ホタルの保全活動が行われている例は多いが(澤田ら, 2004; 渋江ら, 1995), ヘイケではなくゲンジであることが多く, 研究もゲンジを対象にしたものが多い.

長野県松本市庄内地区の再開発においてヘイケの生息地が商用地に改変されることになりホタルが消えてしまう可能性が高かった. しかし, 「ほと

るを残したい」という市民有志の声により, ヘイケ保全計画が立てられ実行された(上條ら, 2005).

2003年の秋, 庄内ホタル水路は現在の庄内北公園予定地に, ホタル幼虫とともに, そこに生息する小動物も含め, 草を含む泥ごと移転された(上條ら, 2005). その後, 新しい生息地でホタルは一時減少したが, その後定着していることが確認された.

2009年, 筆者ら(奥村ら, 2010)が本水路でヘイケの調査を行ったところ, ヘイケ幼虫の生息密度は上流域では 4.9 匹/0.25m² と比較的高密度で生息していたが, 中・下流域では順に 0.76 匹/0.25m², 0 匹/0.25m² と低かった. その時, 本水路のどの地点でも溶存酸素量は平均 7mg/l で, 荒木ら(1985)の調査から中・下流域で酸素不足によりヘイケの生息密度が低いわけではないと考えられる. また, 本水路のどの地点でも電気伝導度は 140 から 150μS/cm で, 水質が中・下流域のヘイケ幼虫の生息密度を低くしたとは考え難い.

そこで, この原因を解明し, ヘイケを増やす方策を考えるために, 本水路に生息する動物相とその生息密度を調べた. この結果より, ヘイケ幼虫の競争者として, シマイシビル(以後シマと略称)の重要性が浮上したため, 野外でシマ等の捕食者の影響の有無により巻貝の生存率がどのように変化するかを知るため, マルタニシを用い, 直接放流した場合と網に入れて放流した場合で生存率を比較する実験をした. また, この実験で本水路では捕食がほとんどない場合には巻貝の生存率が高いことが分かったため, さらに室内でヘイケ幼虫とシマを用いて



図 2. 松本市庄内ホタル水路, 上流 a.
中央, 石かけの間が水路. 矢印は水の
流れを示す. 以後の図も同様に示す.



図 3. 松本市庄内ホタル水路, 上流 b.



図 4. 松本市庄内ホタル水路, 中流 a.



図 5. 松本市庄内ホタル水路, 中流 b.
手前と中央の 2 か所に中州がある.



図 6. 松本市庄内ホタル水路内, 下流.

巻貝の捕食実験を行った. 以上の結果より本水路においてヘイケの生息密度が低かった原因について考察した.

流域は流れが平均 10cm/s と遅く, 水路底の泥の深さは平均 8.4cm と深く, 法面は土でできている. 下流域は流速が平均 16cm/s, 水底の泥の深さは平均 2.2cm, 法面は土と石垣でできている.

方 法

(1) 調査地の概要

庄内ホタル水路は図 1 のように全長 40m 余, 水路幅の大半が幅 1m 弱の, 流入口及び流出口周辺が直角に曲がった水路であり, 底質は粘土質の基質からなる. 本水路は, 松本市庄内地区にあり, 2003 年に原型が作られ, その後 2 度の工事による改変を経て現在に至る. 周辺には多くの商業施設や民家が存在する.

本水路を水の流速, 水路底の泥の深さ, 水路幅が異なるように 3 地点(上流域・中流域・下流域と呼ばれる)に分けた(図 1). 上流域は入水口から 14m 程の範囲(図 2,3). 中流域は 14m から 29m の範囲(図 4,5). 下流域は 29m から下流の範囲(図 6)とした.

水路の環境は 2009 年に調査した結果(奥村ら, 2010), 上流域の流れは平均 35cm/s と比較的速く, 水路底の泥の深さは平均 2cm と浅く, 水路底には砂礫が多い. 法面は石垣または土でできている. 中

(2) 動物相調査

各地点で縦 20cm, 横 10cm, 深さ 2.5cm の水路底の泥をすくい取り, 泥中の動物を計数した. 1 回の調査で上流域・下流域は 2 地点, 中流域は 3 地点の泥をランダムに採取した. この調査を 2009 年は 5 月から 8 月は月 2 回, 9 月から 11 月は月 1 回行った. 2010 年は 7 月から 12 月まで計 10 回, 2011 年は 1 月から 11 月まで計 19 回, 2012 年は 1 月から 12 月まで計 12 回行った.

定量採取した泥は持ち帰ってバットに移し, 体長約 3mm 以上の動物を探し, その個体数を計数した. ヘイケ幼虫・カワニナ・マルタニシが見つかった場合, それらの個体数を確認し, 水路に戻した. 他の動物は 70%アルコールで固定した.

(3) 成虫発生数

成虫発生数は, 「庄内ほたると水辺の会」(未発表)がヘイケ成虫の発生時期にあたる 6 月から 8 月まで, ほぼ毎日行っている成虫個体数調査の結果を年ご

とに合計した延べ個体数を成虫発生数の指標とした。

(4) マルタニシ放流実験

庄内ホタル水路にて、ヘイケの餌であるマルタニシの被食圧の強さを調べるため、水路にマルタニシを直接放流した区と、水路に生息する動物や鳥類からの捕食を防ぐために網に入れて放した区を作りその生存率の違いを調査した。

黄色く染色した紙片を付着させた糸を殻外表に接着剤で接着させることにより標識したマルタニシ 200 匹を中流域から下流域に放流した。他方、被食防止区では、マルタニシを直径 18cm, 1mm メッシュの半球籠 2 個を重ね合わせて容器とし、これに 20 匹のタニシを入れた。これを 10 個作り、シマが高密度で生息する中流域から下流域にかけての 15m から 30m の、図 1 に示した範囲に右岸寄りと左岸寄りに 3m 間隔で各 1 個ずつ沈めた。その際、タニシの餌として水路に生育するエビモ *Potamogeton crispus* をカゴに入れるとともに、彼らが泥中に生息することに配慮してかごに泥を十分入れるようにした。使用したマルタニシは 2010 年 8 月に松本市岡田の水田から採集されたもので、その殻が $15.3 \pm 5.9\text{mm}$ の大きさのものが使用された。

実験は 2010 年 8 月 27 日に開始され、調査は 9 月 3 日から 10 月 2 日までは 1 週間ごと、10 月以降は 2 週間ごとに行なわれ、2011 年 6 月に終了した。調査では、マルタニシを捕獲し、生存数を確認後、元の場所に再放流した。

調査データから次式で示されるジョリー・セイバー法でマルタニシの生存率 (Φ_i) を推定した。

$$\Phi_i = M_{i+1} / (M_i - m_i + s_i)$$

Φ_i は時点 i での生存個体が時点 $i+1$ まで生き残る確率、 M_i は i 回目の総標識個体数、 m_i は n_i のうち標識されたものの総数を、 s_i は時点 i に放逐された個体数を示す。

(5) 室内捕食実験

実験に用いたシマ、ヘイケ幼虫、カワニナ、コモチもいずれも松本市内の水路で採集されたものである。シマ、ヘイケ幼虫は順に体長 $23.6 \pm 13.2\text{mg}$ 、

$22.1 \pm 8.4\text{mg}$ であった。実験に際し、順に 8 日間、5 日間絶食させて使用した。同様に用いたカワニナ、コモチの殻高は順に $5.7 \pm 1.7\text{mm}$ 、 $3.2 \pm 1.2\text{mm}$ のものが使用された。

直径 7.5cm の円柱形のプラスチック容器に汲み置き水を約 1cm 入れ、シマ、ヘイケ幼虫、カワニナまたはコモチカワツボを 1 匹ずつ離して入れた。両者用いた実験は 38 回繰り返された。対照実験として同条件下で、捕食者がヘイケのみ、シマのみで各 5 回繰り返された。実験は 20°C の室温下で各 8 時間観察が行われた。

攻撃行動の評価は、ヘイケ及びシマが巻貝に接近し、体を貝に巻きつけ、貝内に侵入を試みている場合を、攻撃行動とした。両者の巻貝に対する攻撃行動を 30 分ごとに記録した。

(6) 動物相分析の統計処理

動物相調査で、調査年及び調査地点間での個体数の差の有無についてはマンホイットニーの U 検定で行われた。また、それらで得られたデータから、ヘイケ幼虫の生息密度に及ぼす他の動物相の影響を分析するために、ヘイケ幼虫の密度を目的変数、他の動物の生息密度を説明変数として重回帰分析を行った。

結果と考察

(1) 主な動物相

水路内調査で採集された動物は表 1 の通りである。主なものはナミウズムシ、イトミミズ科の一種、シマ、ナミイシビル、ヒラタビル、ミズムシ、ヨコエビ目の一種、カゲロウ目 (幼虫)、ヤンマ科の一種 (幼虫)、オニヤンマ (幼虫)、シオカラトンボ (幼虫)、コオイムシ、ヘイケ (幼虫)、ユスリカ科 (幼虫)、カ科 (幼虫)、トビケラ目 (幼虫)、マルタニシ、カワニナ、サカマキガイ、コモチであった。

ヘイケ幼虫の生息密度を目的変数として重回帰分析を行った結果は表 2 のようにナミウズムシ、イトミミズ、ヨコエビ、コモチはヘイケ幼虫と正の有意な相関 ($p < 0.01$) を、シマのみが負の有意な相関 ($p < 0.05$) を示した。これらの傾向についての記述を含めて、主な動物の生息の状況について述べる。

表 1. 水路内動物調査により確認された動物とその生息密度 (匹/0.25 m²±標準誤差).

		2009年(n=165)**	2010年(n=70)	2011年(n=133)	2012年(n=84)
扁形動物門 Platyhelminthes					
渦虫綱 Turbellaria	ナミウズムシ <i>Dugesia japonica</i>	1.1±0.4	0.8±0.4	0.5±0.2	1.1±0.7
環形動物門 Annelida					
貧毛綱 Oligochaeta	イトミミズ科 sp.	706.5±52.1	447.0±42.8	468.3±24.4	1033.6±72.2
環帯綱 Clitellata	シマイシビル <i>Erpobdella lineata</i>	41.2±3.3	25.9±2.7	24.0±1.9	2.4±0.7
	ナミイシビル <i>Erpobdella octoculata</i>	0.0	0.0	0.0	1.8±0.6
	ヒラタビル <i>Glossiphonia complanta</i>	0.0	2.9±0.7	1.2±0.4	0.0
節足動物門 Arthropoda					
軟甲綱 Malacostraca	ミズムシ <i>Asellus hilgendorffii</i>	41.5±3.3	2.7±0.7	2.4±0.4	1.9±0.8
	ヨコエビ類 sp.**	20.8±2.9	124.8±0.7	157.8±5.5	257.7±39.4
昆虫綱 Insecta	カゲロウ目 sp.	5.6±3.9	1.3±0.5	0.8±0.4	0.7±0.5
	ヤンマ科 sp.	0.5±0.3	0.0	0.0	0.0
	オニヤンマ <i>Anotogaster sieboldii</i>	0.0	12.3±2.4	11.2±1.4	0.6±0.3
	シオカラトンボ <i>Orthetrum albistylum</i>	0.0	2.5±0.8	1.5±0.4	1.5±0.5
	コオイムシ <i>Appasus japonicus</i>	1.2±0.5	0.0	0.0	0.0
	ヘイケボタル <i>Luciola lateralis</i>	2.3±0.6	6.1±1.3	7.1±0.9	27.2±3.5
	ユスリカ科 sp.	45.0±5.1	12.9±2.0	43.7±5.0	109.8±15.7
	カ科 sp.	20.6±2.3	28.1±4.2	40.4±5.4	9.8±1.7
	トビケラ目 sp.	14.1±4.5	27.7±5.1	68.3±5.7	66.4±6.2
軟体動物門 Mollusca					
腹足綱 Gastropoda	マルタニシ <i>Bellamyia chinensis laeta</i>	13.7±1.9	0.0	0.0	0.0
	カワニナ <i>Semisulcospira libertina</i>	0.0	0.9±0.9	3.5±0.5	4.2±1.0
	コモチカワツボ <i>Potamopyrgus antipodarum</i>	203.6±34.7	1404.5±144.8	1319.0±87.6	1302.8±122.2
	サカマキガイ <i>Physa acuta</i>	0.0	0.0	0.0	0.3±0.3

※ (n) は、各年度の調査総区画数を示す。 ※※その後の調査でヨコエビ類は主にオオエゾヨコエビ *Jesogammarus jesoensis* であることが判明した。

表 2. 庄内ホテル水路の動物相調査の個体数をヘイケボタル幼虫数を目的変数、動物種を説明変数とした場合の重回帰分析の結果*

	係数	標準誤差	t	p
切片	-0.24	0.11	-2.13	0.03
コモチカワツボ	0.01	0.00	10.83	0.00
シマイシビル	-0.12	0.03	-3.60	0.00
ナミウズムシ	0.56	0.20	2.74	0.01
イトミミズ*	0.01	0.00	6.44	0.00
ヨコエビ*	0.01	0.00	3.31	0.00

*動物相調査は 2009 年から 2012 年まで行われた。
 ※種の同定が出来なかった分類群については、単一種からなると判断して解析した。

ナミウズムシの生息密度は、図 7 に示したように上流で高く中・下流で低かった。上流では最も低い 2011 年が 1.0 匹/0.25m²、最も高い 2012 年が 4.7 匹/0.25m² であるのに対し、中・下流域では最高でも 1.4 匹/0.25m² 程度で上流に比べ常に生息密度がかなり低い。ナミウズムシは礫の多い生息地を好む(高井, 1989)ので、上流域に多く見られたと思われる。そのため、上流域に高密度で生息していたヘイケ幼虫の生息密度(図 11 参照)と相関が見られたと思われる。ナミウズムシは最高でも 20 匹/m² 程度と出現密度が低いので、ヘイケ幼虫の生息密度への影響は考え難い。

次にイトミミズの生息密度は図 8 に示したようにかなり高い。水路内では特に中流が高く最大 1400 匹/0.25m² を示した。上流ではやや低い、それでも最低で 161.5 匹/0.25m² であったので全体に高密度に生息していたと言える。その年次変動は 2 倍程度と高密度ではあるが安定していた。

ヘイケ幼虫はゲンジ幼虫と異なり、カワニナ以外にも多くの動物を捕食することが知られており(岡・志村, 2005)、ヘイケ幼虫がイトミミズも餌とし、泥のある類似の環境を好むので、ヘイケの生息密度とイトミミズの生息密度の間に正の相関が見られたのだろう。

シマの生息密度を図 9 に示した。本種の生息密度は、2011 年以前は全体に著しく高い。それはこの水路がもともと水田で、水路作成時に入水口から上流域の底には礫が多数入れられたが、中流以下ではそれが無く、粘土質の土壌で富栄養な環境であったことからシマの生息に好ましい状態であったためと考えられる。

シマだけが重回帰分析の結果、ヘイケ幼虫の生息密度との間に負の相関を示した(表 2)。シマは巻貝の捕食者でもあり、後述するようにヘイケ幼虫と巻貝をめぐり競争者である。そのため負の相関が見られたと考えられる。シマは特に中・下流域に高密度で観察されたが、その原因は前述のように考えられる。

図 9 からシマの生息密度の最も低い上流でも 2009 年から 2011 年の 3 年間は 10 匹/0.25m² 以上生息していた。しかし、2012 年には 0 匹/0.25m² となり 2011 年以降激減した(p<0.01)。中・下流域では上流域より常に生息密度が高かく 2009 年の中流が 54.2 匹/0.25m² で上流の 2.5 倍で、異常と思える高密度であった。下流では両者の中間の値を示し

た。2010年以降徐々に減少し2012年には数匹/0.25m²へと激減した。この2010年以降の激減の原因については後で論じる。

ヨコエビの生息密度を図10に示した。これより2009年の生息密度は5匹/0.25m²から30匹/0.25m²であり、これは一般的に見てやや多い程度の密度であった。その後、徐々に増加した。上流では150匹/0.25m²程度で安定したが、中・下流域では2012年には300-350匹/0.25m²まで増加し、かなり高い密度になった。ヘイケは、同じ甲殻類のミズムシを捕食しても成長できる(藤山, 2009)ので、正の相関が見られた理由としヨコエビも捕食できるからか

もしれない。

ヘイケ幼虫の生息密度を図11に示した。生息密度は全体的に上流が中・下流域よりも高い。また、最も高い上流部でも初めは4.9匹/0.25m²と低かったが、年々増加し2012年には最も密度の低い下流域でも14.1匹/0.25m²最も高い上流では41.1匹/0.25m²と大きく増加した。この変化の原因については後述する。

コモチの生息密度を図12に示した。コモチは表2のようにヘイケ幼虫の生息密度と正の有意な相関($p < 0.01$)を示したが、これはコモチがヘイケ幼虫の餌で、餌の多いところにヘイケ幼虫が多く生息

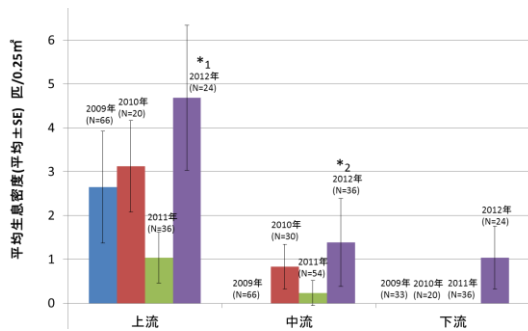


図7. 庄内ホタル水路上・中・下流域におけるナミウズミの平均生息密度の年次変化。*1は前年の、*2は2009年の平均生息密度の間に有意差($p < 0.05$)があることを示す。縦線は標準誤差を示す。

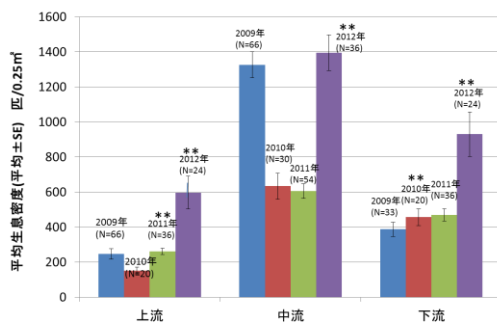


図8. 庄内ホタル水路上・中・下流域におけるイトミズミの平均生息密度の年次変化。**は前年の平均生息密度の間に有意差($p < 0.01$)があることを示す。

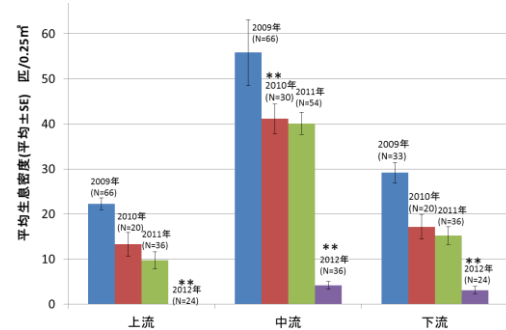


図9. 庄内ホタル水路上・中・下流域におけるシマイシビルの平均生息密度の年次変化。**は前年の平均生息密度との間に差($p < 0.01$)があることを示す。

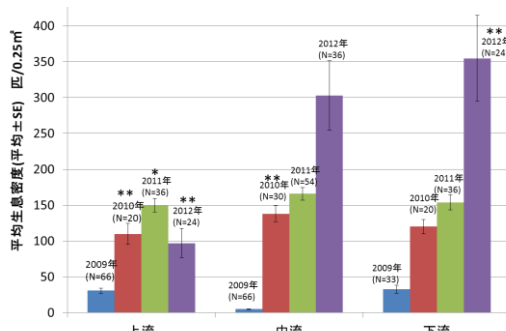


図10. 庄内ホタル水路におけるヨコエビの平均生息密度の年次変化。*, **は前年の平均生息密度との間に差(* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$)があることを示す。

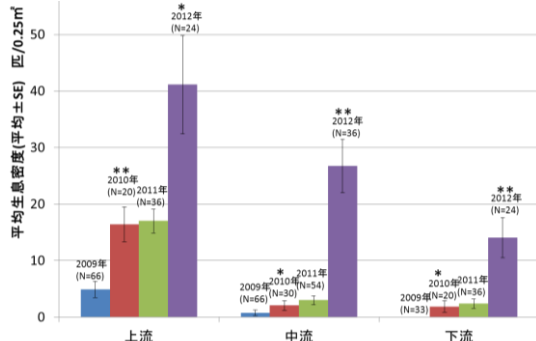


図11. 庄内ホタル水路におけるヘイケボタル幼虫の平均生息密度の年次変化。*, **は前年の平均生息密度との間に差(* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$)があることを示す。

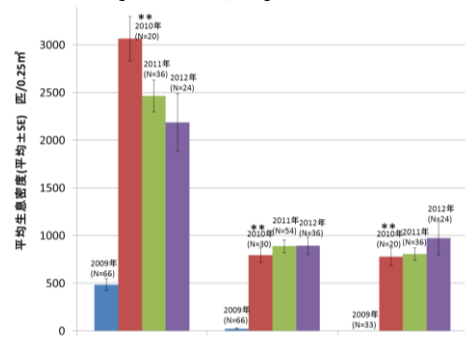


図12. 庄内ホタル水路におけるコモチカワツボの平均生息密度の年次変化。**は前年の平均生息密度の間に有意差($p < 0.01$)があることを示す。

しているためと考えられる。2009年には上流で485.2匹/0.25m²と比較的高くヘイケ幼虫も多かったが、中・下流では24.0匹/0.25m²と低くヘイケ幼虫もほとんど見られなかった。しかし、その後コモチが増加し、上流では2010年に最大3000匹余/0.25m²まで増加し、それに応じてヘイケ幼虫も16匹/0.25m²まで増加したが、その後コモチは2000余匹/0.25m²まで減少したが、ヘイケ幼虫は更に増加し40匹/0.25m²まで達した。中・下流ではコモチは2010年に1000匹弱/0.25m²程度まで増加しその後ほぼ安定した。2012年現在かなり高い生息密度となっているが、ヘイケ幼虫の生息密度は2012年まで年々増加して、両者の対応関係は強い。このことはヘイケ幼虫にとってコモチが重要な餌となっていることによると考えられる。

(2) ヘイケ幼虫生息密度と成虫発生数の関係

庄内ホテル水路でのヘイケ成虫の延べ観察数は、2009年が726匹、2010年が713匹、2011年が4148匹、2012年が8623匹で2011年以降急激に上昇した(図13)。

ヘイケ成虫の観察数は2009年から2011年には上流で多く、中・下流域ではあまり見られなかった。2012年は上流域で多く観察されたが、中流域も同程度に多くなった。しかし、中流域でよく観察されるようになると2011年までほとんど見られなかった下流でも成虫が観察されるようになった(藤山・奥村 未発表)。

本水路全体の幼虫の生息密度は2009年2.8匹/0.25m²、2010年3.8匹/0.25m²、2011年が7.8匹/0.25m²、2012年が21.9匹/0.25m²だった(図13)。ヘイケ幼虫の生息密度は、毎年上流が最も高いが、2009年から2012年まで上流域で成虫の観察数が多かったことと一致する。また、2012年には中・下流域でも幼虫生息密度が高くなったが、成虫も中・下流域でも観察されるようになった。したがって、幼虫の生息密度の増加に非常によく対応して成虫の発生が見られたといえる。これは成虫、特に雌個体の移動性が低いことに基づく可能性が高い。

(3) マルタニシ放流実験

マルタニシの放流後の生存曲線を図14に示した。直接放流したマルタニシは約9ヶ月で初期個体数の99%が死亡したと推定される。捕食防止の

ために網に入れて放流したマルタニシは網なしで放流したものよりも著しく生存率が高く、放流後30日以降の調査で両者に有意差($p < 0.01$)がみられた。最終的に網に入れた個体は63%が生存したのに対し直接放流した個体では1%と低かった。このことから、水路の中流でもマルタニシは捕食圧が低ければ十分生存できるが、実際には強い捕食圧により、個体群の維持が困難となっていたことを示す。

この水路に生息する動物のうち、捕食性のものはナミウズムシ、シマ、ナミイシビル、ヒラタビル、オニヤンマ、シオカラトンボ、ヘイケ幼虫である(表1)。

トンボの幼虫は殻高3-6mmの巻貝を捕食する(Andrew & Michael 2007)が、今回使用したような殻高10mmを超える個体を捕食するかについては不明である。いずれにしても、トンボ類はこの水路では低密度であるため、その捕食によりマルタニシ

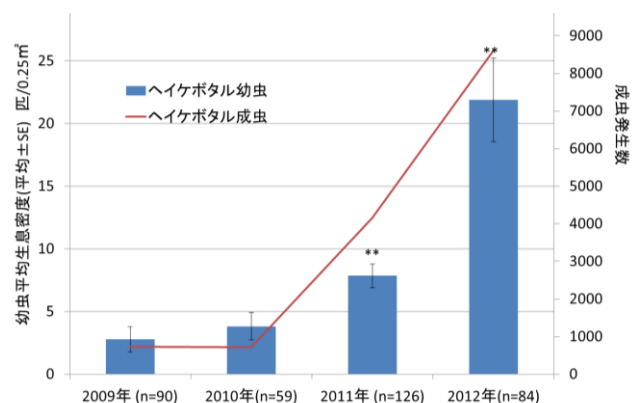


図13. 庄内ホテル水路のヘイケボタル成虫発生数と水路全体でのヘイケボタル幼虫平均生息密度との関係(成虫発生数は観察された合計個体数) ** は前年との間で平均生息密度に差($p < 0.01$)があることを示す。

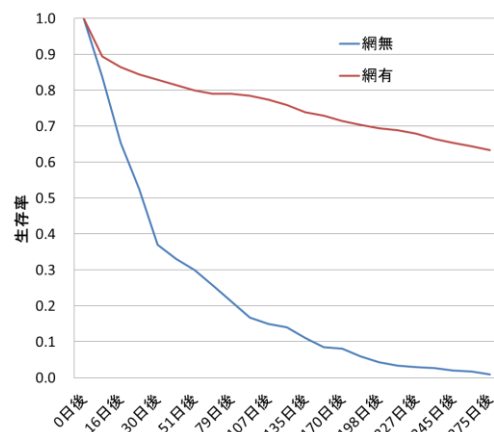


図14. 庄内ホテル水路に放流されマルタニシの処理区と対照区(網に入れ放流)の生存曲線。網の有無により30日後以降の生存率に有意差($p < 0.01$)が見られ

の生存が脅かされているとは考え難い。

また、マルタニシを放流した中流域のヘイケ幼虫の生息密度は非常に低く(図 11)、ヘイケ幼虫の捕食でマルタニシが減少したとも考え難い。

ナミウズムシは捕食者だが、マルタニシより小さく、これを捕食するのは無理なようで、本種による捕食が生存率激減の主な原因とは考え難い。

ヒルの一種 *Glossiphonia complanata* は 10 mm 以上の巻貝の一種 *Planorbidae planorbis* を捕食する (Christer & Bjiirn 1986)。2010 年から 2011 年にかけて、中・下流域のシマの生息密度は中流で約 40 匹/0.25m² と非常に高く(図 9)、捕食実験で巻貝を非常によく捕食しており、放流したマルタニシの生存率の大きな低下は、シマによる捕食によると考えるのが妥当である。

(4) 捕食実験

カワニナとコモチを餌とした。ヘイケ幼虫とシマによる競争実験の結果を表 3 に示した。この実験では、餌を一定数しか与えていないため、自然界での両者の捕食圧を正確に反映しているかは不明だが、両者とも巻貝をよく捕食した。

寺居・梅津(2007)は、シマイシビルを用いてカワニナの稚貝の捕食実験を行っているが、ヒルは全くカワニナを捕食しなかったと述べており、本結果とは大きく異なっていた。

本結果では、ほとんどの巻貝が、実験開始後 1 時間以内に捕食者から攻撃を受け始め 8 時間の観察で、2 種とも全て捕食された。つまり両捕食者は 2 種の巻貝を積極的に捕食した。競争力はほぼ均衡していた。

ヘイケ 4 齢幼虫は殻高 2mm のスクミリンゴガイ *Pomacea naliculata* を 1 日最多で 3.2 頭捕食し(近藤・田中, 1989)、10-11.9mm のヒル *Glossiphonia weberi* は 3mm 以下の巻貝 *Pomacea bridgesii* を 1 日に 2.33±0.52 匹捕食する(Gautam & Srimanta, 2005)という。ヘイケ幼虫とシマは、同程度の殻高の巻貝を 1 日に 2~3 匹捕食した。実験結果から両者はカワニナ、コモチのどちらの巻貝に対しても活発に捕食し、餌を食い尽くした。したがって、両種は餌の巻貝をめぐる競争者となっており、シマの存在は水路内のヘイケ幼虫の生息密度に大きく影響しているだろう。競争の視点から次の項で論じる。

表 3. 餌の巻貝に対するヘイケボタル幼虫とシマイシビルの競争

	ヘイケボタル	シマイシビル
コモチカワツボ	23	15
カワニナ	21	17

※実験方法については方法(5)室内捕食実験参照

(5) ヘイケ幼虫とシマの競争関係について

2009 年のヘイケ幼虫の生息密度は、図 11 に示したように上流域は中・下流域に比べ高密度だった。逆に、同年のシマの生息密度は、図 9 で見たように上流域でやや低密度だったが、全体的には高密度で生息していた。ヘイケ幼虫とシマの巻貝の捕食競争力に大きな差はみられない。上流域では餌のコモチが多いのに反し、シマの生息密度は最も低いので、上流域ではヘイケ幼虫の生息密度は餌のコモチが多く、高い密度で維持されることが可能だった。

中・下流域ではコモチも常に低密度で、シマの生息密度は高密度であったので、コモチを主な餌とするヘイケ幼虫は生息できない状態だった。しかし、図 12 に示したように 2010 年には上流域でコモチの生息密度はかなり上昇した。それはこの水路がかなり富栄養であることに加え、上流は川底に礫が多く、コモチは石にはり付く習性があるのでコモチの生息に好都合であった。それらが上流でコモチが生息密度を増す原因であったのだろう。ここには、シマは比較的少なかったため、この餌の増加に対応してヘイケ幼虫の密度も増加した(図 11)。上流域でコモチが非常に高密度になり、それに対応してヘイケ幼虫も密度が増加した。上流域の流速は平均 35cm/s と他地点と比べ速いことから、コモチやヘイケ幼虫の一部が中・下流域に流下し、そこでの密度の増加をある程度導いたと思われる。2009 年にはごく低密度だったコモチは 2010 年には中・下流域で大きく増加し(図 12)、ヘイケ幼虫の密度もそれに応じてやや増加した(図 11)。

2010 年から 2011 年にかけては、ヘイケ幼虫の生息密度、シマの生息密度ともに安定していて、バランスが保たれていたと思われる。2011 年後半からは周辺に餌が十分にあることから、ヘイケ幼虫は全地点で急激に増加した(図 15)。そのため、シマとヘイケ幼虫の生息密度に基づく捕食圧のバランスがついに逆転し、シマが激減することになったと思われる(図 16)。一般的にヘイケの主な生息地は水田

やその水路のような止水である(中根・大場 1981)。したがって、この水路環境がヘイケ幼虫の増加を抑制していたとは考え難い。大谷・小池(2004)によると、クロマドボタル *Pyrocoelia fumosa* 幼虫及び成虫は捕食者から攻撃を受けると忌避物質を分泌し防御するが、この物質はカマキリ類やジョロウグモ *Nephila clavata* のように学習能力の低い肉食性昆虫やクモ類にも有効だという。本水路でヘイケを捕食する可能性のある動物としてトンボ類幼虫がいるが、ホタルの忌避物質が昆虫類に有効であるので、トンボ類によるヘイケの捕食は考えにくく、天敵によりヘイケ幼虫の生息密度が抑制されていた可能性は低いと考えられる。

以上からヘイケが本水路で低密度だったのは、シマが非常に高密度に生息し、少数のヘイケ幼虫が移入しても、シマに圧倒され餌獲得が困難で定着できなかったと考えるのが妥当だろう。

本水路はコモチの生息に適した環境であるが、この種は外来種として問題となっている種で、ゲンジボタルではこの種を捕食することで発光に悪影響が生じるといわれている(阿部, 2012)が、ヘイケではそうした悪影響は見られない(長谷ら, 2012)。したがって、水路内のコモチの密度抑制もかねて、ヘイケを保全し彼らを捕食させて行くことが重要でなってくるかもしれない。

摘要

松本市庄内ホタル水路での 2009 年の調査では、水質環境はヘイケ幼虫の生存に十分に良いものであった。上流域にはヘイケ幼虫がかなり見られたが、中・下流域では見られなかった。この原因を解明し、中・下流域でヘイケ幼虫の生息密度を上昇させる目的で研究を行った。

各地点で動物相調査を行ったところ、表 1 に示した動物がみられた。中・下流域ではヘイケ幼虫は低密度で、シマは高密度、コモチは低密度で生息していた。中・下流域の幼虫の餌となる巻貝の生息密度が低かった原因を解明するため、マルタニシを中・下流域に放流した。その際、一部を捕食防止網内に入れて放流し、直接放流したものと生存率の比較をした。その結果、網内のマルタニシの生存率は高かったが、直接放流したものは、ほとんどが捕食され死亡した。

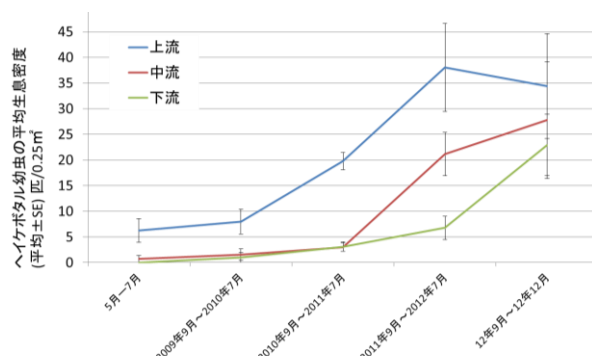


図 15. 庄内ホタル水路におけるヘイケボタルの世代別平均生息密度の年次変化** は同地点の前年の平均生息密度との間に差 (** $p < 0.01$)があることを示す。

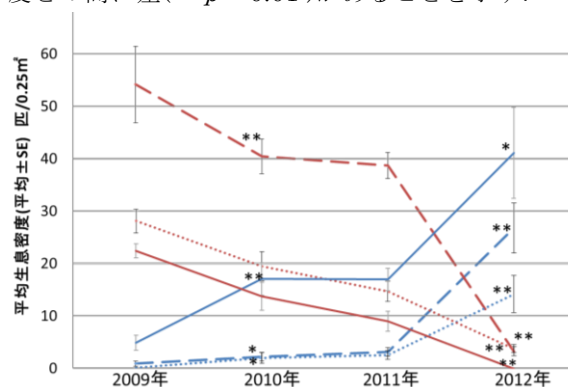


図 16. 庄内ホタル水路におけるヘイケボタル幼虫とシマイシビルの生息密度の年次変化の比較. 各年の調査総区画数は 2009 年～2012 年の上流, 中流, 下流で順に 66, 20, 36, 24.; 66, 30, 54, 36; 33, 20, 36, 24. *, ** は前年の平均生息密度との間に有意差 (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$) があることを示す。

また、2009 年から 2012 年の動物相調査の結果を詳しく分析したところシマとヘイケ幼虫の生息密度には強い負の相関が見られたため、巻貝のカワナ、コモチを餌としヘイケ幼虫とシマを同一容器に入れて競争状態を見る捕食実験を行った。両者はともに貝を積極的に捕食した。しかし、その際、互いに他種を捕食することはなかった。これより両種とも巻貝の重要な捕食者であり、競争関係にあることが示された。

2009 年には、上流域では餌のコモチが多く、捕食者のシマは比較的少なかったのでヘイケ幼虫の発生が見られたが、中・下流域ではコモチが少なく、シマが多かったのでヘイケ幼虫は生息できなかった。その後、上流域でコモチとヘイケ幼虫の生息密度が上昇した。これに伴い、中・下流域へのコモチの流下とその後の増殖により徐々にヘイケ幼虫の餌が増加した。これと同時に上流域からヘイケも流下し、2010 年、2011 年と徐々に増加した。2011 年後半から上・中流域でコモチ、ヘイケ幼虫が多発した。これにより、ヘイケ幼虫とシマの生息密度の

バランスが変わり、ヘイケ幼虫がシマの生息密度を上回り、結果としてシマが激減したと推定された。

謝 辞

本研究を行うに際し、調査にご協力頂いた「庄内ほたと水辺の会」会長青木繁之、事務局上條慶子の両氏を始めとする会員の皆様、結果のとりまとめにご協力頂いた藤山研究室の院生各位に心からお礼申し上げます。

引用文献

- 阿部宣男(2012)コモチカワツボの危険性と駆除 方法. ホタルのホンネ(本音) ホタル再生支援, 在来種マルハナバチの繁殖.
<http://hotaruabe.blog72.fc2.com/blog-entry-36.html>
- Andrew, M.T & Michael, F.C. (2007). Dragonfly predators influence biomass and density of pond snails. *Oecologia*, 407-415.
- 荒木 峻, 沼田 慎, 和田 攻, 植木 厚 (1985). 環境科学辞典. 東京化学同人. 東京. 802p
- Christer, B. & Bjiirn, M. (1986). Interactions between the leech *Glossiphonia complanata* and its gastropod prey. *Oecologia*, 69: 268-276.
- 藤山静雄 (2009). シマミミズを餌にしたヘイケボタルの飼育の試み. 環境科学年報(信州大学). 31: 129-132.
- Gautam, A. & Srimanta, K.R. (2005). Feeding of the leech *Glossiphonia weberi* on the introduced snail *Pomacea bridgesii* in India. *Aquatic Ecology*, 39: 465- 471.
- 長谷亮, 藤山静雄, 上條慶子(2012) 外来種コモチカワツボがヘイケボタルの成長と発光に及ぼす影響. 環境科学年報(信州大学). 34: 106-109.
- 上條慶子, 関口伸一, 藤山静雄, 山本雅道 (2005). 松本市庄内の都市計画に伴うヘイケボタル幼虫水路移転の試み. 環境科学年報(信州大学). 27: 75-81.
- 近藤 章, 田中福三郎 (1989). ヘイケボタル幼虫による スクリンゴガイの捕食について. 日本応用動物昆虫学会誌. 33, 4: 211-216.
- 黒澤良彦, 久松定成, 佐々治寛之 (1985). 原色日本昆虫図鑑(Ⅲ). 保育社. 大阪. 122-123p
- 三石暉弥 (1996). ヘイケボタル—人里の可憐な昆虫—. ほおずき書籍 長野. 98p.
- 中根猛彦.(1955). 原色日本昆虫図鑑—甲虫編(上)—. 保育社. 大阪. 119p
- 中根猛彦, 大林一夫, 野村鎮, 黒澤良彦(1963). 原色日本昆虫大図鑑—第2巻(甲虫篇)—. 北隆館. 東京. 443p
- 中根猛彦. 大場信義(1981). ホタルの観察と飼育. ニューサイエンス社.東京. 211p
- 大谷雅昭, 小池啓一(2004) クロマドボタル幼虫と捕食者の相互関係. 群馬大学教育学部紀要 自然科学編. 52, 61-71.
- 岡 俊彦, 志村隆 (2005). 日本産幼虫図鑑. 学習研究社. 東京. 240p
- 奥村知祥, 藤山静雄, 上條慶子(2010).松本市庄内ホタル水路の動物相, 微環境とヘイケボタル幼虫の生息密度との関係. 環境科学年報(信州大学). 32: 103-111.
- Paul, M.K. & Jenny, S.C. (1987). Operculum closing as a defence against predatory leeches in four British freshwater prosobranch snails. *Hydrobiologia*, 144: 121 -124.
- 澤田大介, 加藤和弘, 樋口広芳, 百瀬浩, 藤原宣夫 (2004). 農村地域の谷津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. 523-526.
- 渋江桂子, 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. 121-124.
- 高井成幸(1989) 淡水産プラナリアの大量採集法と多数飼育管理法. 佐賀医科大学一般教育紀要, 8: 15-26.
- 寺居雅広・梅津剛 (2007) シマイシビルの生態及び駆除手法に関する実験的研究. 第34回土木学会関東支部技術研究発表会発表要旨集, 7-022.

(原稿受付 2012.4.22)