

銚子市内におけるゲンジボタル生息域と水質に関する研究

The research of relationship between habitat and right water quality of *Luciola cruciata* in Choshi city

小濱 剛・林 美幸

Takeshi KOHAMA・Miyuki HAYASHI

近年、銚子市内に生息するゲンジボタルは生息環境等の悪化に伴って減少しつつある。本研究では、現在も生息が確認されている銚子市八木町と、過去に生息が確認されていた銚子市小畑川およびその水源の水質環境を比較し、ゲンジボタルの生息に必要とされる環境条件について調査することを目的とした。

東京ゲンジボタル研究所によるゲンジボタル生息地の水質¹⁾は、溶存酸素量が6.8~11.8mg/L、アンモニア態窒素濃度が0.03~0.12 ppm、硝酸態窒素濃度が0.43~0.45 ppmと報告されている。この値を参考値とすると、小畑川においては溶存酸素濃度が2.28~6.71 mg/L、アンモニア態窒素濃度が2.29ppm(9月)を示したことから、小畑町周辺水域ではボタルの生存に必要な溶存酸素量が少なく、生物にとって毒性の強いアンモニア態窒素の濃度が高いことがわかり、現在の小畑川の水質はゲンジボタルの生息に適さないことが示唆された。また、小畑川は護岸整備も行われていることから、これらの要因が複合してゲンジボタルが消滅したと考えられた。一方、銚子市八木町周辺においては、硝酸態窒素濃度がこれまでに報告されている生息範囲を大幅に超える値が観測されたにも関わらず、ゲンジボタルの生息が確認された。この結果から、硝酸態窒素については従来の報告よりゲンジボタルの適正範囲が広いことが示唆された。

1. はじめに

日本のホタル科 *Lampyridae* (オオメボタル科を除く) 54種類は、ほとんどが陸生ホタルで、一生を通じて陸地で生活する。幼虫期を水中で過ごすホタルは、ゲンジボタル、ヘイケボタル、クメジマボタルの3種類のみで、半水生はスジグロボタルの1種類である。本研究で対象としたゲンジボタルは、その発光の強さや飛翔の優雅さなどから、最もポピュラーな種であるが、水質の悪化に敏感に反応するため、日本全国で個体群の減少が報告されている。近年、河川への生活排水の流入、農薬の過剰使用、土木工事による土砂の流入など人為的な要因によって自然の浄

化システムが機能しなくなっている。また、産業利益のみを意識した生息生物の乱獲、外来種の放流などにより生態系が破壊され、生物が自ら生態系を保とうとしているにも関わらず、そのバランスが崩れつつあるのが現状である。

ホタル成虫の発生数は、生息地によって、また年によってかなりの変動が見られる。短い期間にまとまって発生したり、長い期間に少しずつ発生したりと様々である。これらは、毎年の生息地域の気象条件や水質条件等により変動しており、特に幼虫の上陸期における生息環境の影響が非常に大きいと考えられている。かつては銚子市でもホタルが多く見られていたが、様々な生息環境の悪化等に伴いその数は減少している。本研究では、現在でも生息が確認されている銚子市八木町周辺域の水質環境と、過去に生息が確認されていた銚子市小畑川周辺域の水質環境を比較調査し、銚子市においてゲンジボタルが生息できる水質環境の検討を行った。

連絡先：小濱 剛 tkohama@cis.ac.jp

千葉科学大学危機管理学部動物・環境システム学科
Department of Animal and Environmental System,
Faculty of Risk and Crisis Management, Chiba
Institute of Science

(2011年10月3日受付, 2011年12月21日受理)

2．方法

調査は2010年4月26日から10月16日にかけて実施した。調査地点として、現在もゲンジボタルの生息が確認されている銚子市八木町周辺の水路(地点1)、過去に生息が確認されている銚子市小畑川(地点2)および小畑池の水源(地点3)の合計3ヶ所を設けた(図1)。

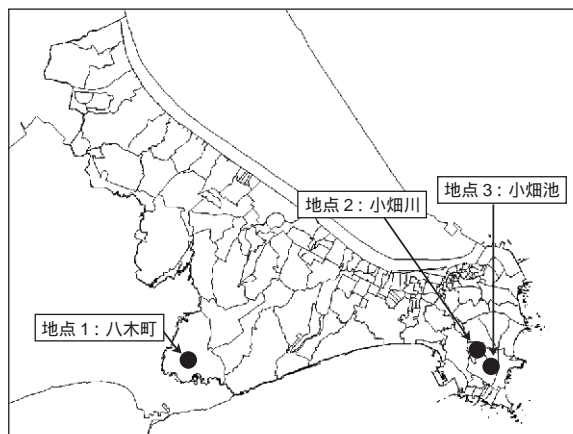


図1．調査地点図(銚子市内)

サンプリングは、週に1回の頻度で行った。各調査地点において1L採水を行った後、Hydro lab社製多項目水質計Quantaを用いて水温、溶存酸素量(以下DO)を測定した。採水サンプルは実験室に持ち帰り水素イオン濃度(以下pH)を測定した後、200mを吸引ろ過し、ろ液を-30℃にて冷凍保存後、栄養塩類(アンモニア態窒素・硝酸態窒素・珪酸態珪素・リン酸態リン)の分析に供した。また、ろ紙は試験管内でジメチルホルムアミド10mに浸し、冷凍保存後クロロフィルaの分析に供した。

栄養塩類の分析には、株式会社アクアラボ社製フローインジェクションアナライザー(FIA)を用いて、アンモニア態窒素(インドフェノールブルー吸光光度法)、硝酸態窒素(ナフチルエチレンジアミン吸光光度法)、珪酸態珪素(モリブデンブルー吸光光度法)、リン酸態リン(モリブデンブルー吸光光度法)の濃度の測定を行った。FIAの分析フローチャートを図2に示す。

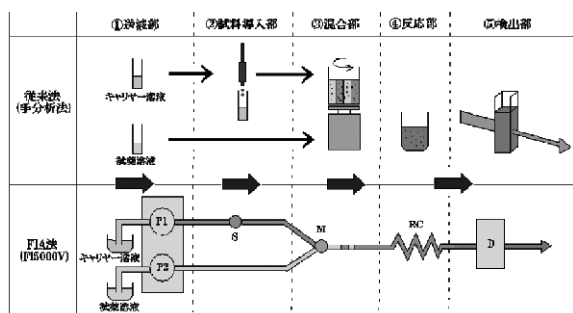


図2．FIA分析フローチャート

3．結果

調査地点概況

地点1は元来丘陵地であった場所を水田用に開拓した場所である(写真1)。写真1のあぜ道の左側が水田、右側が開拓後の斜面となっており、斜面から水が湧き出ている(写真2)。その湧き水が斜面下の水路(写真3)に溜まっており、そこにはゲンジボタル幼虫の餌となるカワニナが多数確認された。



写真1．(地点1)八木町の様子



写真2．(地点1)開墾後の斜面の様子



写真3．(地点1)湧き水が溜まる溝の様子

地点2は小畑池から名洗海岸に流れる小畑川の中流部で、広大な畑に囲まれている(写真4)。小畑川の両岸はコンクリート護岸で構築され、カワニナの生息は確認されなかった。地点3は小畑池の水源となる湧水地(写真5)で、毎秒0.5~1L程度の水が小川(写真6)を通じて小畑池へ流れ込んでいる。この水路の両岸は自然護岸で多数のカワニナ(写真6下)の生息が確認された。



写真4. (地点2) 小畑川の様子



写真5. (地点3) 小畑水源の様子



写真6. (地点3) 水源の小川 (上) とカワニナ (下)

水質調査結果

鈹子におけるゲンジボタルの適正水質環境を調べるに当たり、ゲンジボタル研究所著のホタル百科¹⁾を参照した。各水質項目の生息範囲を表1に示し、以降参考値として用いる。なお、本研究で対象とした水質項目は、今回測定を行った水温・DO・pH・アンモニア態窒素・硝酸態窒素・珪酸態珪素である。また、海に隣接した鈹子の立地条件と農畜産業が盛んな周辺環境を考慮し、表1に示された水質条件以外にも、塩分及びリン酸態リンについても検討を行った。

表1. 東京都におけるゲンジボタル生息地の水質¹⁾

水質項目	単位	生息範囲
水温		2.0~28.0
水素イオン濃度	pH	6.5~8.3
溶存酸素量	DO [mg/L]	6.8~11.8
アンモニア態窒素	NH ₄ ⁺ N [ppm]	0.03~0.12
硝酸態窒素	NO ₃ ⁻ N [ppm]	0.43~0.45
珪酸態珪素	SiO ₂ Si [ppm]	0.50~0.58
電気伝導度	EC [μS/cm]	80~200
生物化学的酸素要求量	BOD [mg/L]	0.5~1.8
化学的酸素要求量	COD [mg/L]	0.5~3.4
カルシウムイオン	Ca ⁺ [ppm]	11.46~13.2
塩化物イオン	Cl ⁻ [ppm]	6.19~11.2
マグネシウムイオン	Mg ⁺ [ppm]	2.5~3.2

各調査地点における水温・塩分・DO・水素イオン濃度の時系列変化を図4に示す。水温の時系列変化についてみると、八木町および小畑川における変動パターンはほぼ同期しており、八木町における水温が比較的高く、また変動も大きくなる傾向を示した。一方、小畑水源の水温は年間を通じて約16℃とほぼ一定の値を示した。7~9月における八木の平均水温は28.9℃であり、8月6日には最高水温36.2℃を記録した。塩分は小畑水源および小畑川で比較的高い傾向が見られた。また、小畑水源は年間を通じて約0.4psuであったのに対し、小畑川と八木では突発的に塩分が低下する傾向が見られた。DOは八木町では観測期間を通じて概ね6mg/L以上であったが、小畑

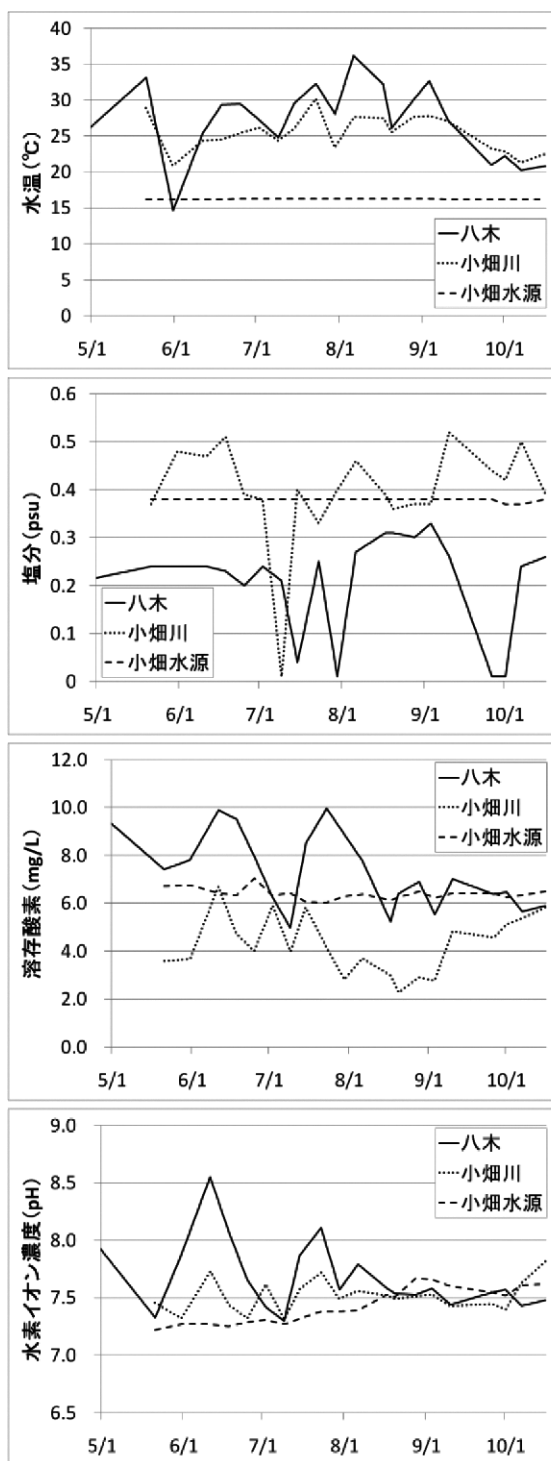


図4. 各調査地点における水温・塩分・溶存酸素量・水素イオン濃度の時系列変化

川では概ね6mg/L以下であり、8月20日の小畑川では最低値2.29mg/Lが観測された。小畑水源では調査開始時から一定して約6mg/Lであった。pHは八木町と小畑川で6~7月に変動が見られ、6月11日の八木町では観測期間中の最大値pH8.55が観測された。

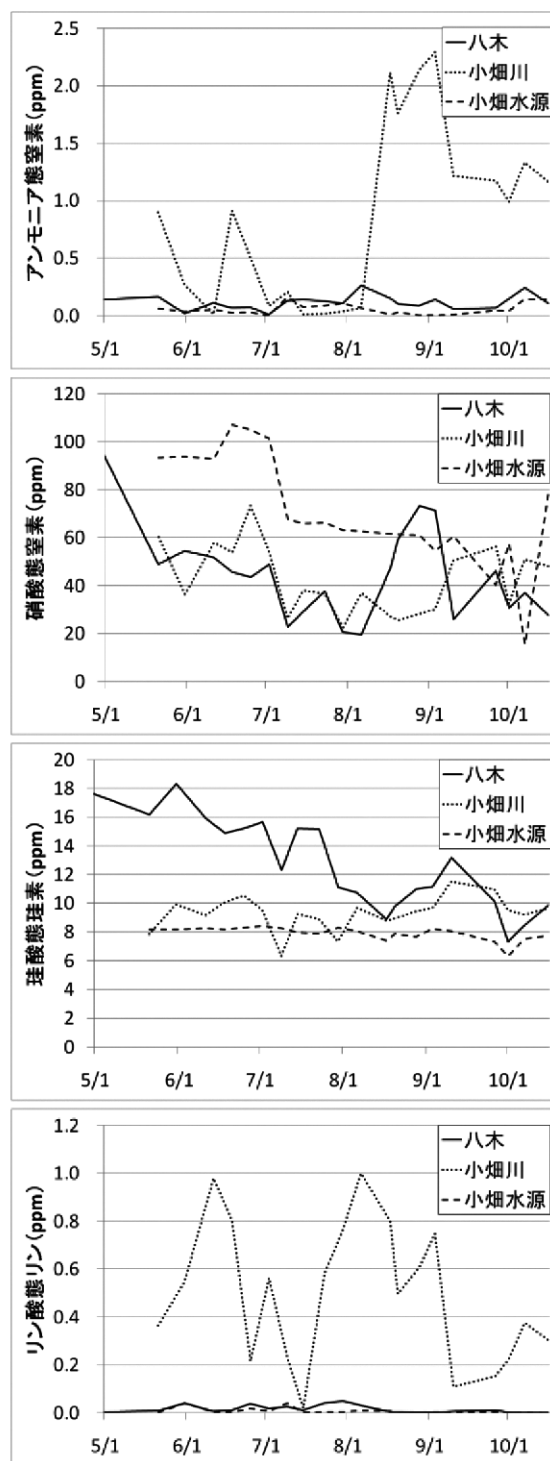


図5. 各調査地点における栄養塩類(アンモニア態窒素・硝酸態窒素・珪酸態珪素・リン酸態リン)の時系列変化

栄養塩類測定結果

各調査地点における栄養塩類(アンモニア態窒素・硝酸態窒素・珪酸態珪素・リン酸態リン)の時系列変化を図5に示す。アンモニア態窒素では、8月11日以降の小畑川で1ppmを超える高い値が継続的に観測

表2.各調査地点における水質の平均および最大値と最小値(観測期間2010年4月～10月)

項目		ゲンジボタル生息地 の水質(東京都)	八木町	小見川 平均±標準偏差(最大 最小)	小畑水源
水温		2.0~ 28.0	27.0±5.2(36.2/14.7)	25.4±2.2(30.2/20.9)	16.3±0.0(16.3/16.2)
水素イオン濃度	pH	6.5~ 8.3	7.7±5.2(8.6/7.3)	7.5±0.1(7.8/7.3)	7.4±0.2(7.7/7.2)
溶存酸素量	DO [mg/L]	6.8~ 11.8	7.3±1.0(10.0/5.0)	4.3±1.2(6.7/2.3)	6.4±0.2(7.1/6.0)
アンモニア態窒素	NH ₄ ⁺ N [ppm]	0.03~ 0.12	0.12±0.00(0.26/0.01)	0.86±0.72(2.29/0.01)	0.06±0.00(0.15/0.00)
硝酸態窒素	NO ₃ ⁻ N [ppm]	0.43~ 0.45	45.0±20.4(103.8/19.4)	42.3±14.3(73.4/22.5)	70.4±22.9(107.1/15.5)
珪酸態珪素	SiO ₂ Si [ppm]	0.50~ 0.58	12.8±3.2(18.3/7.3)	9.3±1.2(11.5/6.3)	7.9±0.5(8.4/6.3)
塩分	Salinity [psu]	—	0.21±0.1(0.33/0.01)	0.40±0.1(0.52/0.01)	0.38±0.0(0.38/0.37)
リン酸態リン	PO ₄ P [ppd]	—	15.2±15.4(50.3/0.4)	49.4±29.2(100.0/19.1)	8.4±11.0(40.6/0.9)

された。一方、八木町と小畑水源では、概ね0.2 ppmで推移した。硝酸態窒素は小畑水源が比較的高く、6月18日には最大値107 ppmを観測した。また、5~8月にかけて全地点ともに低下する傾向を示した。珪酸態珪素は八木で比較的高く、5月31日に最大値18.3 ppmを観測した。その後、徐々に低下する傾向を示し10月1日には最小値7.33 ppmを記録した。小畑川および小畑水源では概ね6~10ppmの間をほぼ横ばいで推移した。リン酸態リンは小畑川で顕著に高く、0~1ppmの間で大きく変動し、7月15日に最小0.2 ppm、8月6日には最大1ppmが観測された。一方、八木および小畑水源では観測期間を通じて0~0.1 ppmの間で推移した。

4. 考察

小畑川におけるゲンジボタルの減少要因について
ゲンジボタルは、卵・幼虫・蛹・成虫それぞれ異なった姿をもつ、いわゆる完全変態を行う昆虫で、日本に生息するホタルの中でも、幼虫期を水中で過ごす数少ないホタルの一種である¹⁾。その生活史は、まず6月頃に交尾を終えた雌が水辺のコケ等に産卵し、孵化した幼虫は水中に潜り生活を始める。幼虫は巻き貝の1種であるカワニナを補食し、翌年の3月頃まで水中で過ごす。終齢期を迎えた幼虫は、翌年の4月頃から水温の上昇に伴って上陸し、柔らかい地中で過ごした後、5月頃には繭を作り蛹になる。その後約1年半で羽化し、地上に這い出した成虫は再び繁殖を行う¹⁾。このように、ゲンジボタルは各成長段階を異なる場所で過ごし、特に幼虫期には長期間水中で過ごすことから、水質は生息分布を決定する重要な要素となる。

各調査地点における水質の平均値・最大値・最小値と、比較対象とした東京都におけるゲンジボタル生息地の水質範囲を表2に示す。東京都における水温の範囲は2.0~28.0とされているが、八木町と小畑川では28を上回る水温が観測された(表2)。特に八木町の水路は水深が浅く水量が少ないため、平均水温も比較的高く、日射量の影響を強く受けることが顕著に現れていた。しかし、現在でも八木町ではゲンジボタルが確認されていることから、水温につ

いては今回観測を行ったすべての地点において影響は少ないことが示唆された。塩分については八木町で平均0.21 psuであったのに対し、小畑川と小畑水源ではそれぞれ0.4psu 0.38psuと比較的高い傾向を示した(表2)。これは八木町におけるホタル生息場所が窪地となっており、潮風の影響を受けにくいと考えられる。東京都ではゲンジボタル生息水質項目として塩分を測定おらず、一概に比較することは出来ないが、海辺に近い鈔子市では塩分がゲンジボタルの生息を制限している可能性も考えられるため、今後検討が必要である。水素イオン濃度については八木町以外では範囲内に収まっており、影響は小さいと考えられた。硝酸態窒素とは、酸化窒素の形で水中に存在する窒素のことである。東京都におけるゲンジボタル生息域の硝酸態窒素濃度範囲は0.43~0.45 ppmであるが、今回調査を行ったすべての地点において極めて高く、ゲンジボタルが生息する八木町でも平均45ppmと約100倍の値が継続的に計測された。自然界では主に生物由来のアンモニア態窒素が酸化されて硝酸態窒素になるが、農業用肥料などには化学合成された硝酸態窒素が高濃度で含まれている。鈔子市周辺域では農業が盛んに行われているため、肥料等による影響で高濃度になったことが予想される。硝酸態窒素は過剰に存在すると植物プランクトンの過剰な増殖を招き水質を悪化させるが、八木町や小畑水源ではリン酸態リンの濃度が比較的低いために増殖が抑制されたと考えられる(表2)。このように、今回の調査結果から硝酸態窒素濃度については、東京都における生息範囲を大幅に超えてもゲンジボタルが生息可能であることがわかった。珪酸態珪素はカワニナの餌となる珪藻類が繁殖するのに必要な栄養塩であり、自然界では主に鉱物からゆっくりと溶出する。東京都における生息範囲は0.50~0.58 ppmであるが、今回の調査結果では3地点とも観測期間を通じて10倍以上高い値を示した。この結果から今回調査を行った地点ではカワニナの餌となる底性珪藻類は十分であることが予想されるが、八木町と小畑水源ではカワニナが確認されたものの、小畑川では確認されなかった。以上の結果から、今回調査を行った地点の水質として、水温・

pH・硝酸態窒素・珪酸態珪素についてはゲンジボタルの生息が可能であることが示唆された。

一方、小畑川では、他の水質要因等の影響でカワナやゲンジボタルが生息できない環境であることが示唆された。特にDOとアンモニア態窒素濃度については東京都の範囲を大幅に超える値が観測された。DOとは、水中に溶存する酸素量のことであり、水生生物の生息に最も重要な項目の一つである。酸素が十分に溶け込んでいるということは、より多くの生物が生息できる環境にあり、また、好氣的分解を促進することから水質浄化にも寄与する¹⁾。東京都における溶存酸素量の適正範囲は6.8～11.8 mg/L(表2)とされているが、今回の調査においては八木町のみが範囲内であった。一方、小畑川の溶存酸素量の最高値は6.7mg/L、最低値は2.3 mg/L、平均4.3 mg/Lであり、最高値であっても東京都におけるホタルの生息範囲に達していない。また、東京都におけるアンモニア態窒素の適正範囲は0.03～0.12 ppmとされているが、小畑川では8月以降急激に増加する傾向を示し(図5)、平均0.86 ppm、最高で2.29 ppmと極めて高い値を示した(表2)。アンモニア態窒素とは、物質中の窒素成分のうちアンモニア塩であるものを言う。アンモニウムイオン中の窒素濃度を表す量なので、NH₄⁺ - Nと表記される。アンモニア態窒素は水生生物に毒性を示すため、水中のアンモニア態窒素濃度が低いことがゲンジボタルの生息に重要である。アンモニア態窒素は酸化されると亜硝酸態窒素に、さらに酸化されると比較的無毒な硝酸態窒素へと変化するが、小畑川では溶存酸素量が低いため酸化されず、アンモニア態窒素の形で多く存在しているのではないかと考えられた。今回の調査結果から、小畑川では溶存酸素量・アンモニア態窒素濃度がゲンジボタルの生息に不適である可能性が示唆される。

さらに、小畑川では護岸整備が行われていることもゲンジボタルが消滅した要因の一つと考えられる。ゲンジボタルは幼虫から蛹、蛹から成虫へと成長する過程で、水中から土手へと上陸をする。護岸整備によってコンクリート壁が高くなると成長段階に必要な上陸ができないことになる。また、コンクリート護岸によって川の浄化作用が弱められ、DO濃度の低下やアンモニア態窒素濃度の上昇を招くことが予想されるため、現状としてはこれらの要因が複合的に作用してゲンジボタルが生息できなくなったと考えられた。

銚子市におけるゲンジボタルの再生について

小畑川や小畑水源では過去にゲンジボタルの生息が確認されたにもかかわらず、現在は見られない。前述のように、小畑川では水質並びに川岸の物理構造に問題がある可能性が高く、ゲンジボタルの再生には大幅な環境改善が必要とされる。一方、小畑水源の水質は長期間一定であり、今回測定した水質項目もほぼ東京

都の範囲内であった。また、水辺は人工的な操作はされておらず、カワナも豊富に確認されたが、本調査期間中にホタルを確認することはできなかった。このような小畑水源の現状を考察するに当たり、二つの可能性が考えられる。一つめは小畑水源では今回の調査項目以外に不適要因が存在する可能性である。この場合、今後の課題として水質条件に加えて川幅や深さ、流速、地形、地質などの物理条件、周辺の植物の種類や捕食者などの生物的要因も含めて総合的に検討する必要がある。一方もう一つの可能性として、小畑水源では一度環境が悪化して自生のゲンジボタル個体群が消滅し、その後再びゲンジボタルの生息に適した環境に改善されたものの、ゲンジボタル個体群が付近に存在しないことが考えられる。この場合、どのような対策を施すべきかについては多くの議論がなされている。このような環境は日本の他の地域でも存在し、いくつかの地域では観光や自然回復をアピールする目的で、他地域から人為的に移入されている²⁾。しかしゲンジボタルは同種であっても1系統ではなく、遺伝子レベルで地理的変異があることが報告されており³⁾⁴⁾⁵⁾、無作為な移入によって遺伝的多様性が失われることが危惧されている。このような背景から、全国ホタル研究会では安易なホタル移入を制限するために、ホタル移入に関する指針を定めている⁶⁾。また、わが国における生物多様性基本法(平成20年6月6日施行)第2条には生物多様性の定義として、種内多様性も明記されており、種より下位の分類群の多様性も保護されるべきであることは共通認識となりつつある。以上のことから、銚子市内におけるゲンジボタルの再生を考える場合、現在生息が確認されている八木町の環境を保護することが最も重要であり、小畑水源ではゲンジボタル個体群の自然回復を待つことが最も望ましいと考える。その上で、仮に小畑水源などに移入する際には、遺伝的攪乱の無いよう綿密な調査を行い、八木町等なるべく付近に生息する個体群から移入を行う必要がある。

5. 参考文献

- 1) 東京ゲンジボタル研究所著(2004)・ホタル百科・丸善株式会社
- 2) 大場信義(1988)ゲンジボタル・文一総合出版・
- 3) Suzuki, H. (1997) Tokyo Metropolitan University Bulletin of Natural History, 3: 1-53.
- 4) 吉川貴浩・井出幸介・窪田康男・中村好宏・武部寛・草桶秀夫(2001)昆虫ニューシリーズ, 4: 117-127.
- 5) Suzuki, H., Sato, Y., & Ohba, N. (2002) Molecular Phylogenetics and Evolution, 22: 193-205.
- 6) 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」について・