

# 国内外来種としてのホタルについて

すずき ひろぶみ  
鈴木 浩文

日本ホタルの会 副会長

## 1. 国外外来種と国内外来種

カミツキガメやオオグチバスのように、本来生息していなかった地域（日本）に、他の地域（外国）から人為的に入ってきた生物種（国外外来種）は、人体への危害や農林水産物への被害・在来生物の減少など、生態系への影響が目に見えてわかるので、一般の方々にも外来種問題として認識されていると思います。

一方、国内に生息する生物については、同じ日本の中にいるので、どこから持ち込んでも構わないだろうと思われがちです。例えば、本来、北海道にカブトムシはいなかったのですが、すでに本州以南から持ち込まれています。これは、国外外来種と同様の国内外来種問題なのですが、人的および経済的な影響が目に見えないこともあり、一般の方々には関心がないように思われます。また、もともと生息しているところのホタルが少なくなってきた場合、他のところから持ち込んで増やそうという行為も、国内外来種の持ち込みです。しかし、動物愛護や自然保護という感情で、善意の行為と受け取られがちです。

本稿では、ホタルを例にとり、国内外来

種としての問題を学術面と一般市民の視点から取り上げてみたいと思います。

## 2. 国内外来種としてのホタル

日本には、古くから光る虫（ホタル）や鳴く虫（スズムシやカンタンなど）を愛でる文化・習慣があり、それらの虫が流通・売買されてきた経緯があります。特にホタルは皇族へ献上されたり、縁日で売られたり、料亭やイベントでの客寄せに配られたり、大量に扱うためにホタル問屋が台頭したりしました。

明治から大正・昭和の戦前・戦中当時、このようなホタルは、光を楽しむために連れて来られたもので、ホタルの増殖・増産を目論んだものではありませんでした。そのため、光を楽しんだ後に野外に放されたホタルは、放たれた環境がホタルの生育に適していたわけでもなく、そのまま死に絶えたのではないかと思います。江戸から昭和の戦前・戦後にかけて、ホタルの生息地は人間の活動に伴って減少していったわけですが、高度経済成長期には、それにも増して激減しました。

そこで、ホタルの復活運動が、個人の趣



写真1 ゲンジボタルのオス成虫

味から学校での環境教育・行政の町興しといった形で進められてきました。最近では、業者がビオトープ作りを手掛けるようになり、ホタルは自然環境の保全や復元のシンボルとして扱われています。ホタルの復活運動では、ホタルがいなくなってしまったところに、どこからか持ってきて根付くようにするわけです。移植先の環境がホタルの生育に整っていないければ、うまくいかないのですが、成功している事例はたくさんあります。

では、このような地域では何が起こっているのでしょうか。生態的・遺伝的な側面から、3種類のホタルについて紹介していきます。

### 3. ゲンジボタルの事例

ゲンジボタルは、北海道と南西諸島を除く本州以南に分布する日本の固有種です。オスの成虫(写真1)は集団で飛びながら同時明滅を繰り返し、メスを探します。この明滅の周期が中部山岳地帯を境として、西日本では約2秒、東日本では約4秒と異なっています。この違いは2秒型(西日本型)と4秒型(東日本型)の生態型として認識されており、発光周期以外にも、メスの産卵様式などの違いが見られます。そして、この生態型の間には、すでに遺伝的な分化が生じていることも、アイソザイムやミトコンドリアDNAおよびゲノムDNAレベルで確認されています。

ミトコンドリアDNAの解析では19種類のDNA型(A~S型)が検出されました。それら

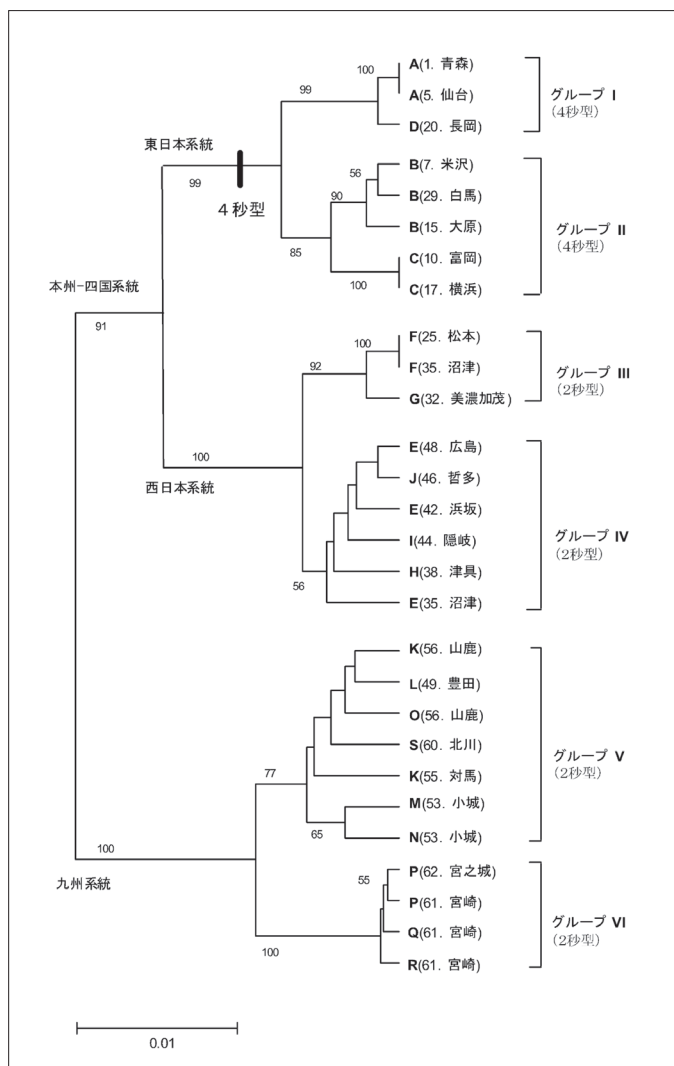


図1 ゲンジボタルにおけるミトコンドリアCO II遺伝子のDNA型(A~S)の系統樹

は大きく3つの遺伝的なグループ（九州、西日本、東日本グループ）に分けられ、さらに6つのグループ（I～VI）が認識されました（図1）。グループIは東北地域、グループIIは関東地域、グループIIIは中部地域、グループIVは西日本、グループVは北九州、グループVIは南九州で、これらの境界は東から柏崎－千葉構造線、関東山地（フォッサマグナの東縁）、糸魚川－静岡構造線（フォッサマグナの西縁）、中央構造線の南端にほぼ対応していました（図2）。

この結果は、ゲンジボタルには遺伝的に多様なDNA型があるけれども、それらは全国に均一に分布しているのではなく、各地域に固有のDNA型として分布しているということです。さ

らに、その分布のパターンが地質構造によく対応しています。このことから、ゲンジボタルは、日本列島の形成に伴って、地域ごとに遺伝的な分化を遂げてきたものと推察されます。中部地域と東海地域ではグループIIIとIVに特有なDNA型が混在しているところがあります。この辺では、発光周期が3秒との報告があります。しかし、その個体が2秒型と4秒型の交雑型なのかどうかは、はっきりしていません。いずれにしても、自然の分布状態では、ゲンジボタルの往来は制限されており、きれいな地理的分化の様子がわかりました。

最近のゲノムDNAレベルでの結果も、九州・西日本・東日本の3グループの遺伝的な分化の様子はミトコンドリアDNAの

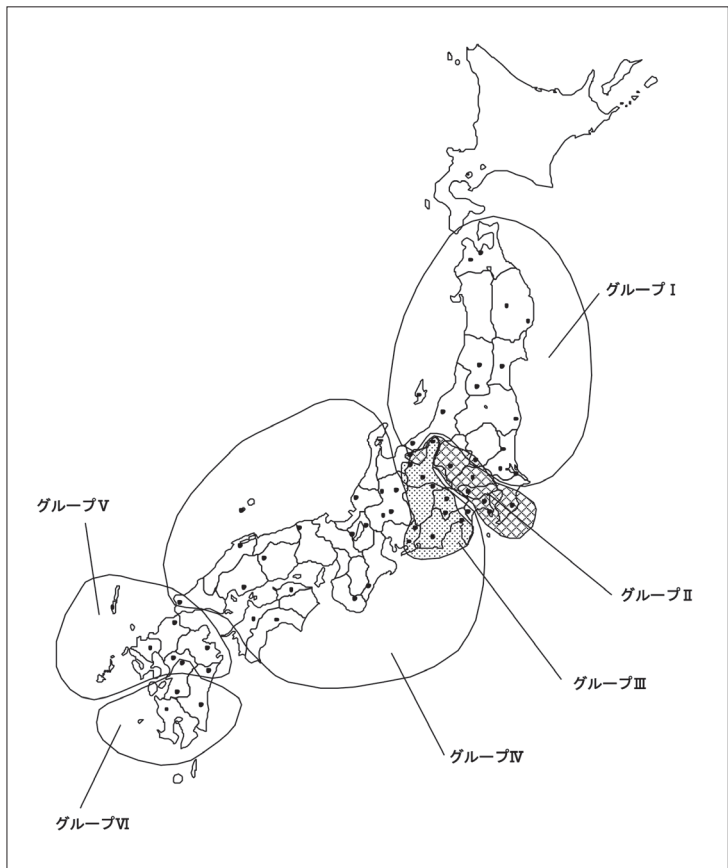


図2 ゲンジボタルにおけるミトコンドリアCO II遺伝子のDNA型のグループ

結果とほぼ同様でしたが、新たに、交雑に関する知見が得られました。発光周期が2秒型の九州と西日本グループ間では、分布の近接するところで、両グループに特有のゲノム構成を半分ずつ持つ個体がみつき、両グループ間での交雑があることがわかりました。しかし、4秒型の東日本と2秒型の西日本グループ間では、両グループのゲノム構成を半分ずつ持つ個体は見つかりませんでした。このことから、自然状態では、2秒型と4秒型はすでに遺伝的な分化を遂げており、両型間での交雑は起こっていないと推察されます。しかし、飼育下や両DNA型が混在するような地域においては、今後確かめていく必要があります。

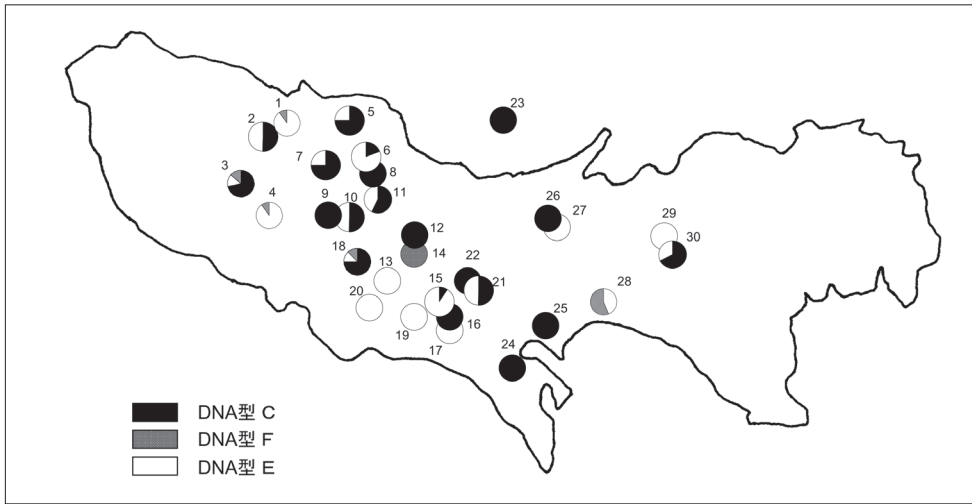


図3 ミトコンドリアCO II遺伝子からみた水生ボタル3種の系統樹

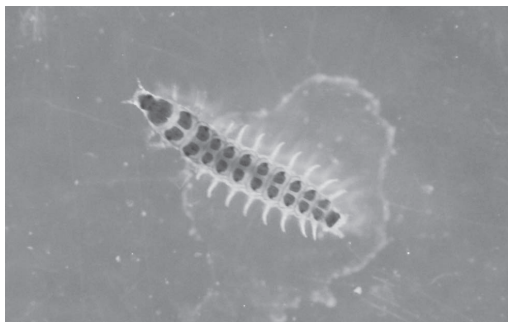


写真2 ヘイケボタルの幼虫

#### 4. 東京都における遺伝子かく乱の状況

DNA解析の結果では、各地域に固有のDNA型が分布しており、かつての流通・売買による遺伝子かく乱の影響はありませんでした。ゲンジボタルは、オスが飛びながら同時明滅してメスを探しますので、見世物のために捕獲されたホタルは、ほとんどがオスであったと思われます。一方、根付かせるために放たれるホタルは、幼虫であることがほとんどです。

東京近郊において、自然分布と思われる場所に加えて、人為的な移入の経緯が分かっている場所やホタル水路を作ってホタル

を飛ばしているところのミトコンドリアDNAを分析しました。結果は図3のとおりで、関東地域のグループII特有のDNA型(C型)に加えて、中部地域のグループIIIに特有のF型や西日本のグループIVに特有のE型が混在して見られました。人為的に導入したところや人工水路では、ホタルの導入元がはっきりしているのです。そのことがDNA型からも確かめられたわけです。このように、ホタルを根付かせるための活動においては、DNA型の自然分布の状態を、明らかにかく乱している状況が確認できました。

発光周期の生態型については、西日本から東京に導入したゲンジボタルは2秒型の発光周期を保持しています。野外における2秒型と4秒型の交雑については、今のところはっきりした知見はありません。

#### 5. ヘイケボタルの事例

ヘイケボタル(写真2)は、南西諸島を除く日本から朝鮮半島・中国東北部・東シベリア・サハリン・千島列島と広く分布しています。ヘイケボタルにおいても、飛んでいるオスの発光シグナルにメスが応答発

光すると、オスはメスにアプローチしていきます。

ゲンジボタルのように同時明滅はしませんが、オスが飛びながらメスを探しているときの発光周期には、2つのタイプがあります。すなわち、北海道では約1秒周期であるのに対して、本州以南と韓国では約0.5秒周期となっています。さらに、北海道では羽化するまで1年以上を要しますが、他では1年で羽化します。このような生態的な違いに遺伝的な違いも伴っているのかどうか、ゲンジボタルと同様にミトコンドリアDNAの解析を行いました。

日本においては9種類の、韓国においては2種類のDNA型が検出されました。日本国内においては、北海道から九州までのDNA型の違い（塩基差異）は1%以内に収まり、ゲンジボタルのように遺伝的なグループを特定できませんでした。これに対して、日本と韓国の間のヘイケボタルでは約9%と大きな違いがありました。ちなみに、ゲンジボタルの東日本のグループと九州のグループ間では約4%の違いがあります。

ヘイケボタルにおいては、検出されたDNA型の分布の地域固有性は不明瞭で、ゲンジボタルのように地理的に遺伝的な分化を遂げておらず、発光周期などの生態的な差異は生理的な順応と考えられます。このことは、ヘイケボタルが日本全国に分布を広げた時期は意外と新しく、ゲンジボタルの6グループが分かれた頃と推察されます（図4）。

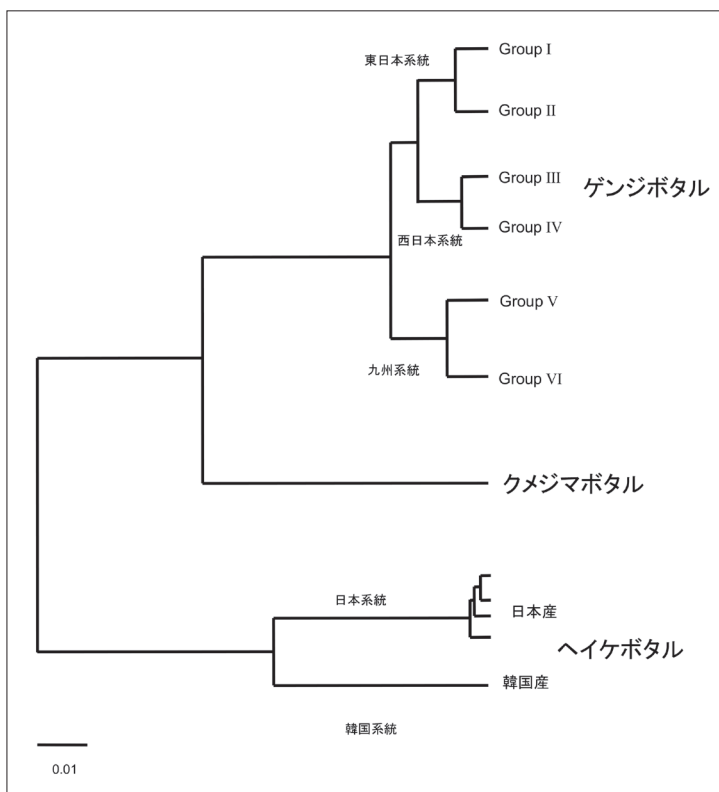


図4 東京近郊におけるゲンジボタルのミトコンドリアCO II遺伝子のDNA型の分布



写真3 ヒメボタルのオス成虫

## 6. ヒメボタルの事例

ヒメボタル（写真3）は北海道と南西諸島を除く本州以南に分布する日本固有種で、長崎県の対馬には近縁種のツシマヒメボタルが生息しています。ヒメボタルもオスが飛びながら閃光を放ち、地上にいるメスが応答発光します。やはり発光周期に1

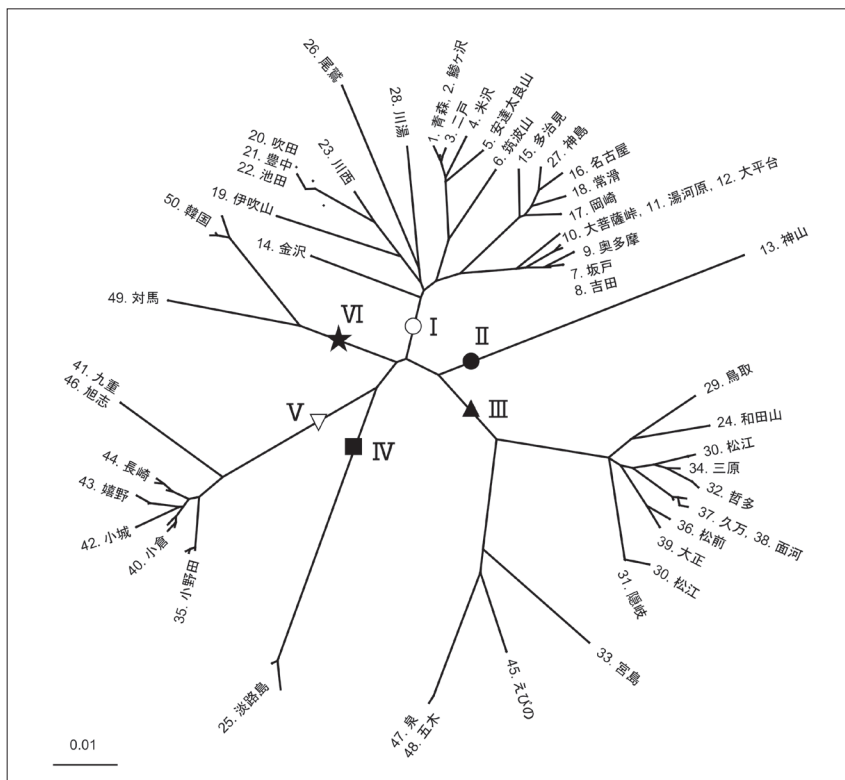


図5 ヒメボタルにおけるミトコンドリアCO II遺伝子のDNA型の系統樹

秒型と0.5秒型の2つのタイプがあり、1秒型は体サイズが約8mmと大きく、低地から高山まで広くに生息している傾向があります。

一方、0.5秒型は体サイズが約6mmと小さく、九州から箱根までの低地に生息している傾向があります。ゲンジボタル・ヘイケボタルと同様にミトコンドリアDNAの分析をしてみると、大きく5つの遺伝的なグループに分けられました(図5)。

グループIには東北から関東・北陸・東海・近畿までのDNA型が含まれています。しかし、神奈川県箱根山頂のDNA型は、グループIには含まれず、単独でグループIIを作っています。グループIIIには近畿から中国・四国・南九州までのDNA型が含まれています。しかし、淡路島のDNA型はグループIIIには含まれず、単独でグループIVを作っています。グループVには山口

県から北九州までのDNA型が含まれています。グループVIはツシマヒメボタルと韓国の近縁種になります(図6)。グループ内の塩基差異は約5%で、グループ間では約11%になります。ヒメボタルのグループ内でのDNA型の差異は、ゲンジボタルのグループ間の差異よりも大きく、グループ間の差異は、ヘイケボタルの日本と韓国間の差異よりも大きいことになります。ヒメボタルのメスは、後翅が退化しており、飛ぶことができません。このような移動の制限が、大きな遺伝的分化を生じさせたのかもしれない。

発光周期や体サイズの違いと遺伝的にみたグループとの対応関係は見出せませんでした。ゲンジボタル・ヘイケボタルとは異なったDNA型の分布と地理的分化の様相は、両種とは異なった日本列島での進展の歴史があるということを示しています。

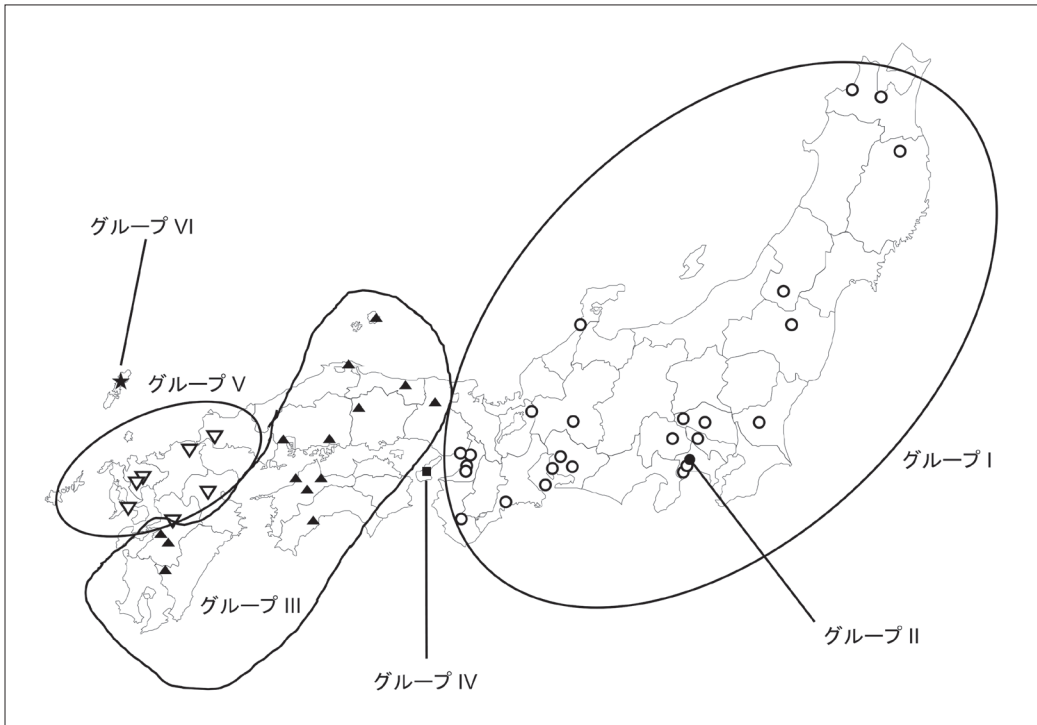


図6 ヒメボタルにおけるミトコンドリアCO II遺伝子のDNA型の分布

## 7. 生物多様性保全の認識

釣りをスポーツ感覚で楽しむためにオオグチバスなどを放していた頃とは違い、生物多様性保全についての認識は、一般の方々にも広がってきていると感じます。それは、外来種による農林水産物への被害や持続可能な開発目標（SDGs）のなかでの環境や食料問題、また、遺伝子検査で明るみに出る食品の産地偽造の問題などが、身近なこととして報じられるようになってきたからだと思います。

2010年、長野県の上高地では、本来生息していないはずのゲンジボタルが発生し、地元のホテルの観光資源となっていると報じられました。上高地は中部山岳国立公園の特別保護区に指定されており、動植物や鉱物の持ち出しと持ち込みは法律（国立公園法）で禁止されているわけで、環境省は上高地のゲンジボタルを駆除する方針を打

ち出しました。このことはテレビでも取り上げられ、「かわいそう」とか「きれいなのにどうして」などの一般市民の声が伝えられました。しかし、ゲンジボタルには発光周期の違うタイプが関東と関西で棲み分けていることや、地域によってDNA型が異なっていることも報じられ、東京都の生物多様性地域戦略のなかでも、人が生物多様性に及ぼす影響の1事例として取り上げられるようになりました。

私が所属する『日本ホタルの会』には、自分たちの地域のホタルの遺伝子を分析してほしいという依頼があります。その結果を持って、ホタル類の遺伝子解析の話をするのですが、ゲンジボタルについては、「生態的にも遺伝的にも違いがあるので、それを自然保護・保全の目的で、自らかく乱してはいけないうらう」ということは、よく理解していただけます。しかし、「ヘイケボタルにはゲンジボタルのような違いはな

いので、どこから持ってきてもよいだろう」と解釈してしまいがちです。

先に紹介したように、ゲンジボタル、ヘイケボタル、ヒメボタルには、3種それぞれに特有な遺伝的多様性と地理的分化の様相があります。それらは、それぞれの種の日本列島における進展の歴史であり、変異の程度にかかわらず同じように尊重すべきものと思います。人間の目には見えず、経済活動や生活の利便性には何の影響もありませんが、生物多様性の意識を持って見れば、畏怖すべき無形の自然遺産なのではないでしょうか。

## 8. ホタルの保護・復元における移植の三原則

ゲンジボタルの遺伝子解析の結果は、ホタルに関わる一般市民の間に対立を生じさせたことも事実です。生物多様性など関係ないという人達と厳密に考えようとする人たち、また、生物多様性の認識がなかった時代に善意で放流活動をしていた人たちなど、思いは様々です。

日本人のホタルの光に対する感情には、大変強いものがあります。「かつてのホタルの乱舞を再現したい、どこからでもいいから買って来て飛ばしたい」という気持ちは、生物多様性保全の認識は進んだとしても、持っています。また、ホタルを通じた活動のレベルも、個人的な趣味から地域の清掃活動、学校教育、ビオトープ作り、行政のホタルの里づくり、里山再生の産官学プロジェクトなど様々です。遺伝子の多様性保全や交雑による多様性消失の問題などは学者さんの話で、一般市民の現実の問題は、「ホタルがいなくなってしまったところに、どこから持ってくるのか」ということとなります。

現状では、インターネットの通信販売で容易に購入できるわけですから、あまりに

も厳格な規則で市民活動そのものを制限しても、意味はありません。現実には、外国産のクワガタムシは普通に買えて、野外では日本産との雑種と思われるものも見つかるわけですから。そこで、次のような「ホタルの保護・復元における移植の三原則」を提言しています。

- (1) 生物地理学上、本来生息していない地域へは移植しない。
- (2) 数を増やすために他地域から移植するのではなく、本来生息しているホタルを保護していく。
- (3) 自生のホタルが絶滅し移植を試みる場合は、最も近い水系のホタルを導入する。

(最も近い水系を厳密に考えると、現実にはない場合が多いので、同じ遺伝的なグループ内を妥協点と考える)

### 参考文献

- 大場信義：ゲンジボタル、文一総合出版、1988年
- 大場信義・鈴木浩文：自然教育園におけるゲンジボタルの発光行動と遺伝子解析、自然教育園報告(50)：1-12、2019年
- 加藤太郎・鈴木浩文・永野幸生：ゲンジボタルの遺伝的多様性を解き明かす、昆虫と自然57(7)：19-23、2022年
- 鈴木浩文：ホタルの系統と進化—ミトコンドリアDNAからのアプローチ—、昆虫と自然39(8)：14-18、2004年
- 鈴木浩文：ゲンジボタルにみる遺伝的多様性・固有性と人為的攪乱の状況—ホタル移植の三原則—、月刊海洋/号外(51)：21-30、2009年
- 鈴木浩文：ミトコンドリアDNAからみたヒメボタル集団の遺伝的多様性と地理的分化、昆虫と自然45(9)：7-10、2010年
- 特集 国内外来種問題—遺伝子交雑と種の問題、生物の科学 遺伝69(2)：84-132、2015年
- 保科英人：明治百五拾年、近代日本ホタル売買・放虫史、伊丹市昆虫館研究報告(6)：5-21、2018年