

## ホタル移植指針課題への取り組み —市民活動団体への呼びかけのために—

村上 伸茲(東京都町田市)

### 1. はじめに

2007年6月, 全国ホタル研究会は, 「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」(以下, ホタル移植指針と称す)を制定した。この指針は, 「生物多様性条約(1992年締結)」, 「特定外来生物による生態系等に係る被害の防止に関する法律(2004年施行)」, 「生物多様性基本法(2008年施行)」の基本理念を引き継いだものである。筆者は, 2009年6月20日付朝日新聞に「ホタル放流, 遺伝子汚染の危険, 周知を」と題して, 遺伝的多様性を保全するために「ホタル放流指針」の理解を深めて欲しいことを訴えた。また, 2010年, COP10の開催にあわせて, 「生物多様性国家戦略2010」が発表されたが(環境省編, 2010), この中で, 生物多様性保全を守るために, 遺伝的多様性保全の重要性が, ホタルの移植問題を例として述べられている。

筆者は, 東京多摩地区において, 市民活動をしているが, ホタルの再生・保全に取り組む市民団体が, 「ホタル移植指針」を理解して「ホタルの遺伝的多様性保全活動」を実践するためには, いくつかの課題があると感じている。この課題の解決のためには, 全国ホタル研究会会員の「ホタルの遺伝的多様性保全」のための調査・研究が不可欠である。今回の

発表では, 主にゲンジボタルについて, 「保全遺伝学」の考えのもとに, 関係者が「ホタル移植指針」を周知・実践するための課題とその解決案について提案したい。課題は, ホタル生息地域毎に異なり, まさしく「THINK GLOBALLY, ACT LOCALLY」であるが, 粘り強く解決していきたい。

保全遺伝学(小池・松井, 2003; R. Frankhamら, 2007)は, 「野生生物を保全するための遺伝学」として, 野生生物の遺伝的多様性の解析をとおして, 生の営みを調べる新しい研究分野である。希少種や絶滅危惧種ならびに, 一般の動植物についても遺伝的研究が行われ, 進化過程の解明および野生生物保管理策定のための基礎的研究として, 保全生物学において重要な位置を占めている。そして, 近親交配を回避し, 遺伝的多様性を保つことは, 保全遺伝学として重要な課題となっている。

「生物多様性」の概念は市民権を得て認められるようになった。一方, 「遺伝的多様性」が野生生物の保全の指標になるには, 解決すべき課題が沢山ある。何故「遺伝子レベルの多様性」を保全しなければならないのか, より多くのホタル関係者にその保全の必要性を理解してもらうためには, 理論的な検証(裏づけ)が必要になってくると思う。そして, 予

防措置原則である「ホタル移植指針」、すなわち指針は「ホタルの遺伝的多様性を保全し、かつ遺伝子汚染を防止するための施策」であることも実証しなければならない。

## 2. 保全遺伝学における課題

保全遺伝学における課題としては、以下のことが挙げられている (Frankhamら, 2007)。これらは、ホタル遺伝的多様性保全のために、各地域のホタル生息状況に合ったテーマとなるようブレークスルーして取り組む必要がある。そして、遺伝的多様性の意味する事を充分理解できるようにしなければならない。

- ・繁殖と生残に関する近親交配の有害な効果 (近交弱勢)
- ・遺伝的多様性の消失と環境の変化に応じて進化する能力
- ・集団の分断化と遺伝子流動の減少
- ・主要な進化プロセスとして自然淘汰を上回る機械的プロセス (遺伝的浮動)
- ・有害突然変異の蓄積と損失 (除去淘汰)
- ・飼育環境への遺伝的適応, その再導入への悪影響
- ・種内の管理単位の決定
- ・保全上重要な種の生物学的特性を理解するための分子遺伝学的解析の利用
- ・異系交配によってしばしば起こる適応度への有害な効果 (異系交配弱勢)

## 3. 遺伝的多様性とは

遺伝子レベルの多様性は種内に存在する遺伝的な違いを意味し、地理的に隔たった集団間の変異 (遺伝子の方言) と、単一の集団内にみられる変異 (遺伝子の個性) の二つの面がある (生物多様性センター, 2001)。遺伝的多様性の維持は保全生物学における中心的な課題である。遺伝的多様性は、変化し続ける環境に集団が適応していくために必要である。遺伝的多様性の消失は、しばしば近親交配と繁殖適応度の低下をとともなう。また、遺伝的多様性は適応進化に必要である。

遺伝的多様性は、短期的な観点 (繁殖適応度の維持) と同様に、長期的な観点 (適応進化可能性の維持) においても、保全遺伝学の主要な課題である。

遺伝的多様性は、アロザイム, ミトコンドリアDNA, 核DNAの特定の部位に着目して実測できる。多くの場合、淘汰に対して中立 (有利でも不利でもない) と考えられるDNAマーカーが用いられる。そこで測られる遺伝的多様性は、かならずしも多数の遺伝子が関与する形質や、適応に関わる形質における遺伝的多様性とは完全に一致しないことにも注意しなければならない (引用サイト1)。

アロザイムからみたゲンジボタルの種内の遺伝的変異を調べた鈴木 (2001) のゲンジボタルの遺伝的多様性を実証した研究結果は、多くの保全遺伝学の文献に引用されている。

## 4. 遺伝子汚染とは

遺伝子汚染 (遺伝子攪乱, 遺伝子移入) とは、野生生物の個体群の遺伝子プール (遺伝子構成) が、人間活動の影響によって近縁個体群と交雑 (浸透性交雑) し、変化する現象をいう (引用サイト2)。在来個体群との交雑が危惧される近縁個体群は、他の地域に存在する個体群が移入される場合と、遺伝子組み換え作物の場合がある。同じ生物種であっても、生息地域が異なるため遺伝子の交流を欠く、あるいは完全に隔離されていないとも一定の障壁が存在するなどの理由で、通常は地理的に異なる個体群 (生態型, 亜種など) 相互の間では遺伝子の構成 (遺伝子プール) が微妙に異なっている。ある在来個体群の生息域に、別の個体群が人為的に持ち込まれることにより、両者が交雑して純粋な在来個体群の持つ遺伝子プールに変化が生じる。この在来個体群の遺伝子プールの状態の不可逆的消失および、その途中の過程を遺伝子汚染という。

ホタルはとくに人為的移入の可能性の高い昆虫であるが、近年、移入個体群が

在来個体群のあいだで、交雑が起きたという報告はみられない。ゲンジボタルは比較的移動性が乏しく、地理的な分化の傾向が強く現れている種だからかもしれない。しかし、在来個体群の個体数の減少がみられる(井口, 2010)。移入が在来個体群に及ぼす影響については、各学会・研究機関、環境省などと詳細な打ち合わせのうえ、調査・研究したい。どのような環境条件で交雑が起きるのか、どのような形質変異が起きるのかなどである。

## 5. 遺伝的多様性の回復

遺伝的多様性回復の具体的方策としては、生息域内保全 (in situ), 生息域外保全 (ex situ) の二つに分けて行うことが日本国内でも現実的で重要になっている。生息域内保全は、生息地の生態系・生物群集を保全する中で、対象種個体群とその遺伝的多様性を保全するものである。方法として、大面積生息地の保全と生息地回廊の設置がある(小池・松井, 2003)。

生息域外保全は、原産地の改変が進んだり、個体数が急激に減少している場合に、競合種や捕食者の影響を避けて個体群保護の確実性を高めるため、動物園や植物園などの生息域外の環境にもち出し、保全する方法である。広義には、標本や情報の保存も含まれる。飼育下個体群・遺伝子保全、生殖細胞の保全遺伝子情報の保全がある。

遺伝的多様性保全におけるもうひとつの政策課題は移入種対策である。移入とは、人為活動により意図的・非意図的に持ち込まれ、野外で繁殖し、個体群として定着した種をさす。土着種の遺伝子保全における課題は、

- 1) 移入種との競合,
- 2) 捕食による個体群の減少,
- 3) 近縁移入種との交雑による遺伝子汚染

である。

生物多様性センター(2001)は、遺伝

的多様性を守るために、次の四項目の調査・研究をあげている。

- 1) ヒトゲノム計画と同じように、野生生物で、ホタルの全ての遺伝子配列を明らかにする。
- 2) 絶滅の恐れのある種における保全のための調査,
- 3) 日本にしかない固有種における遺伝的な特徴の調査,
- 4) 移入種が具体的にその地域の種に与える遺伝的影響の調査。

一般に、形質は多くの遺伝子が関係するいわれているので、ホタルのとゲノムの全体図が明らかになることがのぞまれる。また、遺伝的多様性を支えている地域集団毎の保全のために、守るべき次の三項目をあげている。

- 1) 違う地域の生物を絶対に持ち込まない,
- 2) 同じ地域の種でも、同じ親からの子孫ばかりを持ち込まない,
- 3) 本来いる場所での保全を行う。

特に、2)は近親交配・近交弱勢を避けるために大切である。

## 6. 「ホタル移植指針」, 「ホタルの遺伝的多様性保全活動」に対する反応・要望について

以下に、ホタル愛護者(生物研究者、環境管理者、地方行政に関わっている人、ホタルの再生・保全にとりくむ市民など)の考え・要望をまとめてみた。これらを参考にして、「ホタル移植指針の制定」, 「ホタルの遺伝的多様性の保全」の必要性を再認識し、「ホタル移植指針」啓蒙活動プログラムを作り実行したい。

A. 瀬戸口明久(2002): 何故移入種は排除されねばならないか。それは在来固定種には、歴史的価値があるからである。自然に対する価値観(自然度)は、時代によって見方が変化する。

B. 林義雄(引用サイト3): ホタル移植指針については、一般市民の認識を深めるための広報活動以外に、法制度などの効果的な対策は講じられていな

い。一部の市民団体では、遺伝子配列の解析サービス等を利用しながら、この問題についてどう対処すべきか模索している。環境アセスメント等に、保全遺伝学をもっと活用すべきである。

C. 内藤親彦 (2003) : 「昆虫類の保全遺伝学の今後について」少数個体にもとづく種間や属間の分子系統の構築の研究から、種内の地域個体群間や個体群内の個体変異の解明へと、より詳細で多量の遺伝情報が蓄積されてきている。DNA解析の対象昆虫が、種多様性、遺伝的多様性の保護の立場から選ばれるようになってきて、保全遺伝学の立場から昆虫類の遺伝的多様性を研究する状況が整ってきた。一方、分子情報の意義についても、検証が進むと思われる。ミトコンドリアDNAと核DNAの系統情報の不一致等、遺伝情報の一元的取り扱いのむつかしさが示唆されているが、今後系統構築の基盤である分子進化の中立性の検証にまで立ち返ることになるかもしれない。個体数減少にともなう遺伝的変異性の消失や隔離個体群の遺伝的多様性の偏りなどが明らかにされ、健全な遺伝的多様性の回復の方策が模索される日が近いかもしれない。

D. 日高敏隆 (2005) : 日本のホタルが遺伝子によってタイプが分かれるのは正しいと思うが、ホタルの光り方を調節する遺伝子がわかっていない段階で、発光パターンのちがいを遺伝子型のちがいに結びつけるのは難しい。温度説についても、野外でホタルが群れて舞っている辺りの温度と発光周期のデータを全国規模で集める必要がある。現在、大学や研究所で、ホタルの発光パターンを調節する遺伝子を見つけようとしている。この遺伝子が見つければ、ゲンジボタルの発光パターンの謎は解明されるだろう。

E. 瀬能宏 (2000) : 遺伝子汚染の問題で特に重要なことは、放流が人の善意によって行われているという事実であ

る。善意による放流は正当化され、美談としてマスコミ等で取り上げられることが多く、それがさらに放流を助長させるという悪循環を生んでいる。遺伝的背景を考慮しない放流は生命倫理に反する犯罪行為であるという認識を持つ必要がある。善意が結果的に悪行になってしまっただけは何もならない。

F. 湯本貴和 (引用サイト4) : 地域における進化の長い歴史を経て形づくられた地域固有の生物相を保全することが重要になってきている。地域の長い歴史を経ずに、最近の人間活動によって地域に突如として参入してきた生物群が在来生物群に与える悪影響への懸念が出てきた。琵琶湖のブルーギルやブラックバスの例にしても、湖に魚がいて生態系での役割を果たすかぎりは外来種でも在来種でもいいし、バイオマスあるいは漁獲量という利用価値で勝るならむしろ外来種でも歓迎すべきであるという考え方も可能である。実際、多くの経済的動物・植物ではこちらの観点が強調されがちであり、十和田湖へのニジマス放流などはむしろ美談であった。しかし、生物多様性保全の観点からは、外来種は徹底的に排除すべきであるという論がうまれてくる。遺伝子攪乱が問題になっているのはメダカである。ミトコンドリアのチトクロームという遺伝子マーカーでは、東日本型、東瀬戸内型、西瀬戸内型、山陰型、北部九州型、有明型、大隅型、薩摩型、琉球型の9つの違う小集団に分かれる。「メダカの学区制」の考えが東京ではあり、小学校の校区内であれば増殖したメダカを放流してもいいことになっている。

G. NHKニュースおはよう日本「ホタル放流の落とし穴」(2010年7月22日放映) : ニュージーランド産のコモチカワツボがカワニナを駆逐している。約30年前に、東京奥多摩地区に放流された西日本のホタルが約50か所での調査により、生息ゲンジボタルの7~8割

を占めていることがわかった。地域固有のミトコンドリアDNA遺伝子型が西日本のゲンジボタルの放流により、消えたり攪乱されたりしている恐れがある。

H. 日本バラタナゴ高安研究会（引用サイト5）：八尾市のニッポンバラタナゴについては、さらにローカルな地域による遺伝的多様性も確認されているので、安易に移植することは遺伝的多様性を攪乱させることになりかねない。一方、閉鎖系で交配が代々繰り返されると、一時的な極度の個体数減少により単一の遺伝子群だけが残ってしまうような現象も生じる。したがって、移植することは、単純に遺伝子の多様性を減少させる行為だと言い切ることはできないと思う。均一化した個体群に異なる遺伝形質が加わることによって雑種強勢することも考えなければならぬ。

## 7. おわりに—今後の展開—

ホタル関係者が、「ホタル移植指針」、「保全遺伝学」、「ホタルの遺伝的多様性」の意味することを理解するために、本会は以下のプログラムを展開し、さらに発展させるために「プロジェクトチーム」の結成が望まれる。

・第一段階：「ホタルの遺伝的多様性は何故守らなければならないのか」、「遺伝子汚染（遺伝子攪乱）の危険性は」などをまとめた解説書（ホタル読本）の作成。ホタル発光周期の測定法、遺伝子配列分析法・データ解析法の標準化、ホタル用語の標準化と解説書、移植時のモニタリング法の標準化を行う

・第二段階：会員間および会員・市民団体・行政・大学や研究機関などの間で、ネットワークを構築し、所有している情報の共有化、遺伝的多様性保全の成功例の紹介、Q&Aなどを行う

・第三段階：学校教育への参加は、「持続可能な開発のための教育（ESD）やスーパーサイエンスハイスクールプログ

ラム（SSH）などと協働して行う。

・第四段階：地域のホタルの生息環境について以下の保全遺伝学的アセスメントを行う。まず、

①他地区からの移植（移入）種が生育しているか、その程度は、移植元はどこかの分析を行う（草桶ら、2010）。今後の対策プログラムの作成。

②遺伝的多様性指標の評価（個体群存続可能性分析値、存続可能個体群サイズ、50/500則適用）、

③生態系の多様性、

④在来個体群の歴史的価値などをまとめる。

・第五段階：移入個体群が移植により、在来個体群に与える影響についての調査・研究（生息域外研究）

## 8. 引用文献

- 日高敏隆 2005, ホタルの光 謎の東西差. 日本経済新聞6月12日版.
- 井口 豊 2010, 長野県辰野町における移入ゲンジボタルについて. 全国ホタル研究会誌, (43):23-26.
- 環境省編 2010, 生物多様性国家戦略2010. ビオシティ.
- 小池裕子・松井正文 2003, 保全遺伝学. 東京大学出版会.
- 草桶秀夫ら 2010, 遺伝子解析による移植されたゲンジボタルの移植元判別法. 全国ホタル研究会誌, (43):27-32.
- 内藤親彦 2003, 昆虫類の保全遺伝学の今後について. 保全遺伝学. 東京大学出版会.
- Furankham, R. ら 2007, 保全遺伝学入門 (西田睦監訳). 文一総合出版.
- 瀬能 宏 2000, 神奈川の自然シリーズ14 今, 小田原のメダカが危ない—善意?の放流と遺伝子汚染. 自然科学のとびら, (6). 神奈川県立生命の星博物館.
- 瀬戸口明久 2002, なぜ移入種は排除されなければならないのか. 生物学史研究, (69):41-51.
- 生物多様性センター 2001, 遺伝的多様

性とは. 生物多様性センター.

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, (34):5-9.

#### 引用サイト

- 1) <http://ecol.zool.kyoto-u.ac.jp/~watanak/conservation/7question.html> 渡辺勝敏「淡水魚の保全と遺伝ー七つの質問」
- 2) [http://ja.wikipedia.org/wiki/Wikipedia「遺伝子汚染」](http://ja.wikipedia.org/wiki/Wikipedia%20%E6%96%BD%E6%8D%A2)

- 3) <http://www.senkankyo.jp/katsudo/newsletter/No74/pdf/0122.pdf-html> 林 義雄「保全遺伝学的調査の事例紹介」

- 4) <http://www.crrn.net/sympo050723/yumoto.htm> 湯本貴和「地域遺伝子資源研究の現状と地域性種苗のあり方シンポジウム」2005年7月23日

- 5) <http://www.kawachi.zaq.ne.jp/dpbva000/tayou/tayou.html> 日本バラタナゴ高安研究会「生物多様性の維持について(種の絶滅)」