

## 遺伝子から見たゲンジボタルの生物多様性と 人為的放流の問題点

草桶 秀夫・木村 和裕 (福井県福井市) ・日和 佳政 (福井県越前市) \*

### 1. はじめに

生物多様性 (Biodiversity) とは、生態系、生物群系、または地球全体に、多様な生物が存在していることを意味する。これには、すべての種の多様性、生態系の多様性、および、遺伝子の多様性の3つのレベルがある。種及び遺伝子の多様性には、種間ばかりでなく種内の個体群の多様性も含まれる。ゲンジボタル *Luciola cruciata* の発光間隔は、フォッサマグナを境界に東日本では約4秒であるのに対し、西日本では約2秒という特徴をもつことはよく知られている (大場, 1988) が、これも生物多様性の1つである。ゲンジボタルは、昔から夏の風物詩として親しまれてきたが、近年の急激な環境の悪化に伴い、その数は減少しつつあるが、地方自治団体や保護団体によって盛んに保護活動が行われている。一方では、人為的かつ大規模な移植が行われ、自然個体群の遺伝子攪乱を引き起こし、遺伝的多様性の減少が危惧される (日和ら, 2008)。我々のこれまでの研究で、ゲンジボタルは地理的に独立し、8つの遺伝的グループに分かれることを明らかにしてきた (日和ら, 2009)。さらに、約20kmの範囲の局所的な地域内でも、ゲンジボタルは遺伝的多様性の高い生物であることを明らかにしている (日

和ら, 2008)。

本研究では、これまで行ってきたゲンジボタルの遺伝子から見た生物多様性について述べると共に、ゲンジボタルの人為的放流の問題とその対策について述べる。

### 2. ゲンジボタルの遺伝的グループ

#### 2.1 遺伝子合成法による地域固有のゲンジボタルの遺伝的判別

我々のこれまでの研究において、全国約130か所、約310個体のゲンジボタルについて、ND5遺伝子の塩基配列から配列の異なる約130のハプロタイプが得られた。ハプロタイプとは、1塩基以上異なる配列を示した場合、それぞれの遺伝子タイプをハプロタイプと定義する。このハプロタイプの類縁関係を調べるために、分子系統樹を作成したところ、図1に示すようにゲンジボタルは大きく8つのグループに分けられることが明らかとなった (日和ら, 2009)。また、これらの8つの遺伝的グループは、それぞれ独立した地域に分布していることがわかった

(図2, 日和ら, 2009, 2010)。本州では遺伝的グループは、フォッサマグナを境界に東日本グループと西日本グループの2つに大きく分けられたが、ゲンジボタルの発光間隔がフォッサマグナを境に

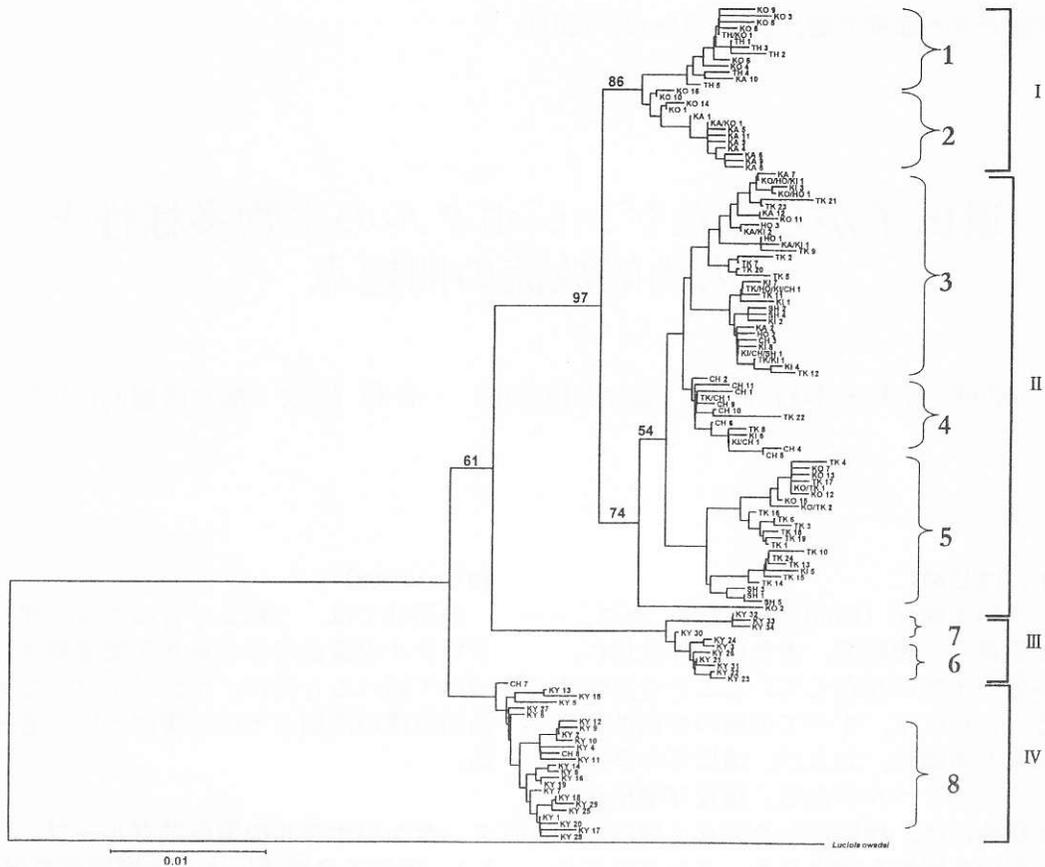


図1. ゲンジボタルのND5遺伝子の塩基配列に基づくハプロタイプの遺伝的グループ

東日本では約4秒であるのに対し、西日本では約2秒である生態的特徴と一致することは、大変興味深い(吉川ら, 2001)。また、九州では、九州山地を境に北九州と南九州に分けられる。これまで、地理的に独立した8つの遺伝的グループのうち、7つの遺伝的グループについて、遺伝子合成法(PCRという)によって、未知の個体がどのグループに属するかを判別する方法を確立した(表1, 日和ら, 2009)。表1にも示すように、これまでの研究でグループ3とグループ4では、遺伝的に判別する方法を確立できず、これを1つのグループとして判別した。今後、この点については、2つのグループを判別する方法を検討していきたい。以

上、述べた遺伝子合成法は、遺伝子の塩基配列を決めることなく、簡便に遺伝的グループを決めることができる。

## 2.2 ND5遺伝子の塩基配列に基づく分子系統解析法による地域固有のゲンジボタルの遺伝的判別

地域固有のゲンジボタルをPCRによって増幅し、その遺伝子断片を7つの遺伝的グループに帰属できることを述べたが、ゲンジボタルが人為的放流によってどこから移植されたかについては、この遺伝子合成法によっては明らかにできない。そこで、移植されたゲンジボタルが他のどの場所から移植されたのかを類推するには、移植されたゲンジボタルのND5

遺伝子配列を全国130か所から調べたND5  
遺伝子の配列と比較することが必要であ  
る。すなわち、全国130か所から得られ

るハプロタイプの分子系統樹を作成し、  
その分子系統樹の中で、放流されたゲン  
ジボタルのハプロタイプが他の地域のハ

表 1. ゲンジボタルの遺伝的グループとその判別

	遺伝的グループ	遺伝的に判別可能なグループ*	地域名
東日本	グループ 1	グループ ①	本州東日本：東北地域
	グループ 2	グループ ②	本州東日本：関東・甲信越地域
西日本	グループ 3	グループ ③	本州西日本：北陸、中国地域
	グループ 4		本州西日本：近畿、中国地域
	グループ 5	グループ ④	本州西日本：東海・甲信越および四国地域
南九州	グループ 6	グループ ⑤	南九州地域：九州山地と霧島山との間
	グループ 7	グループ ⑥	南九州地域：霧島山より南側
北九州	グループ 8	グループ ⑦	北九州地域：九州山地より北側

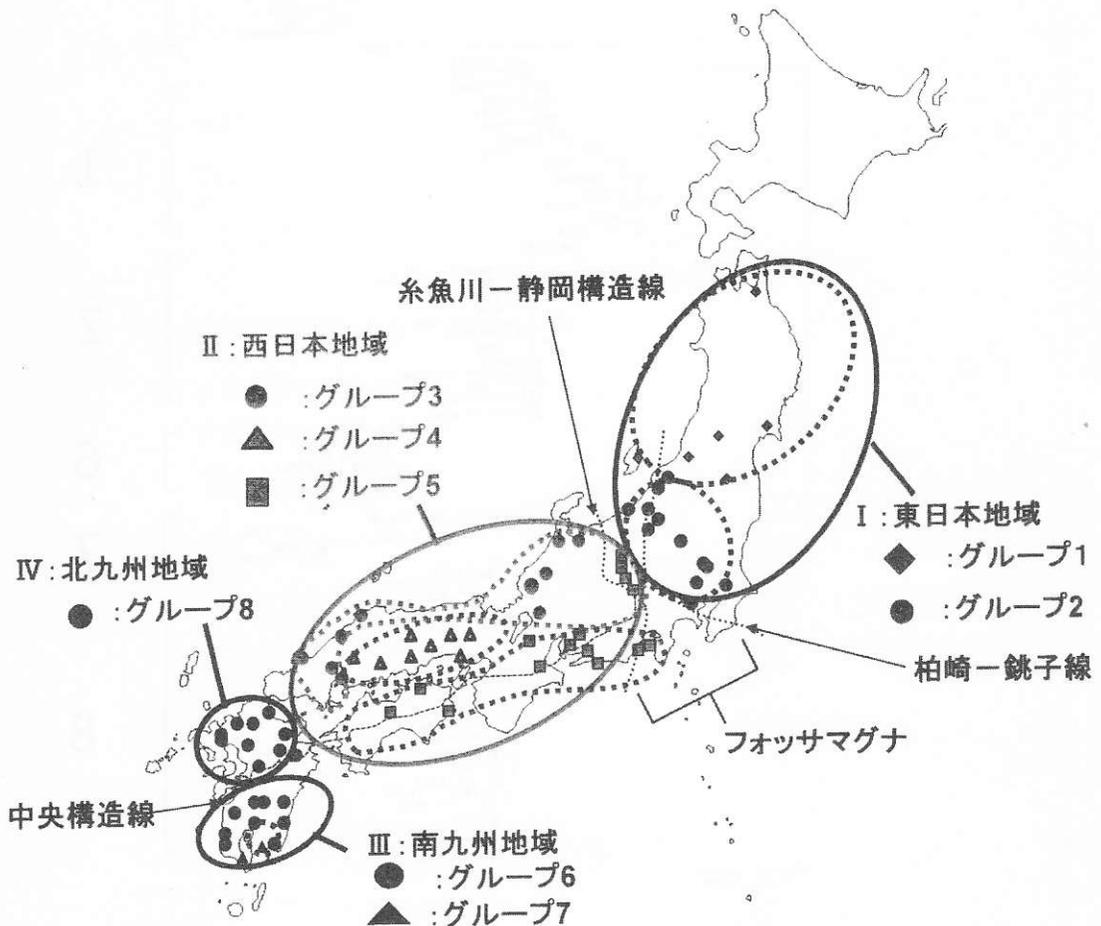


図 2. ゲンジボタルの遺伝子から見た地理的分布

**hokkaidou:**  
 北海道に生息するゲンジボタル  
 のハプロタイプ

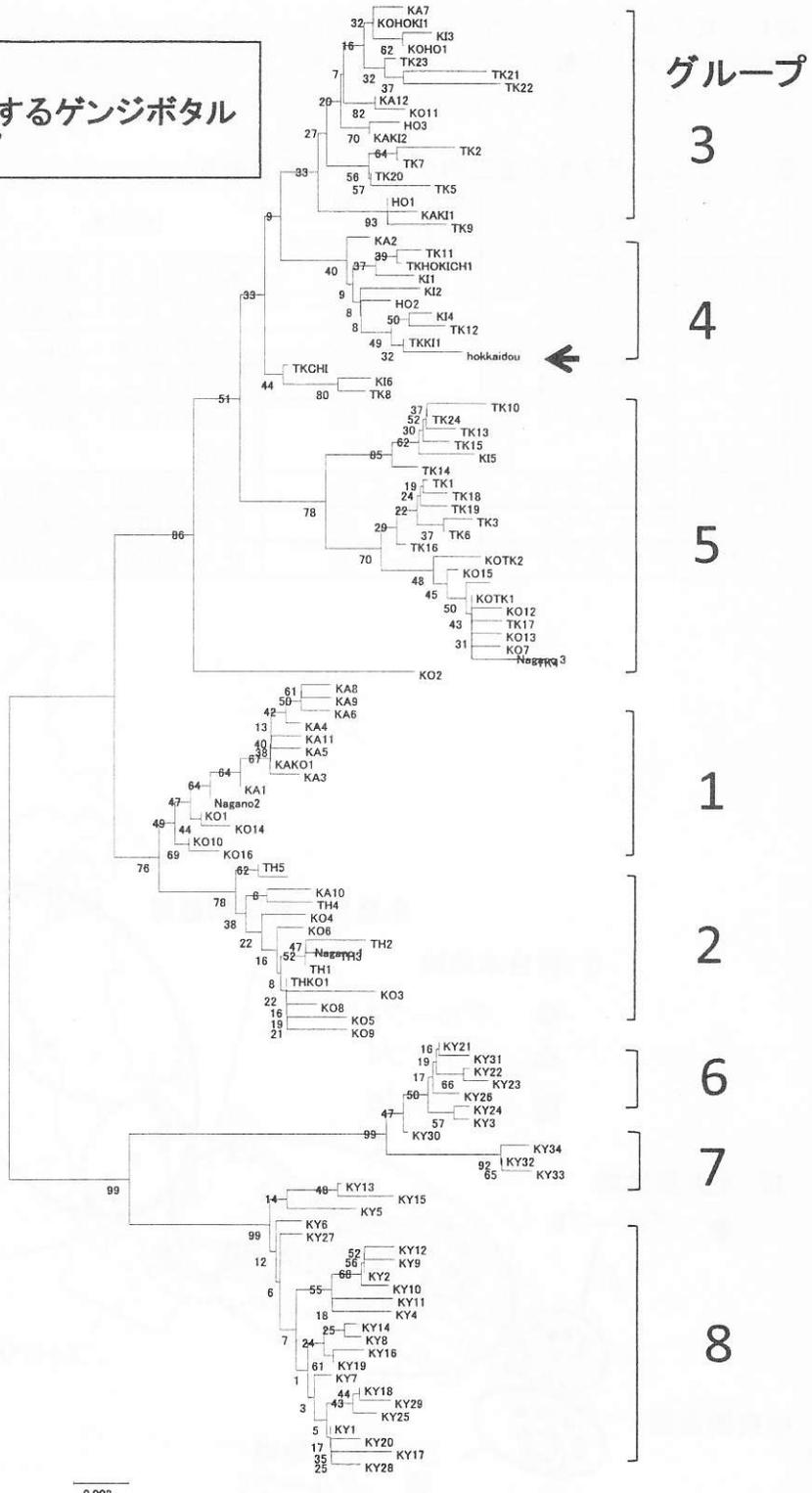


図3. ND5遺伝子の塩基配列に基づく北海道に生息するゲンジボタルの遺伝的グループの同定

プロタイプと一致するかどうか、または、最も近い類縁関係を示すかどうかを調べた(日和ら, 2010)。図3には、移植されたと思われる北海道沼田町に生息するゲンジボタルのND5遺伝子のハプロタイプ(図3にハプロタイプをhokkaidouと記入)と全国130か所からのハプロタイプとの類縁関係を調べた結果を示した。その結果、北海道のハプロタイプは、遺伝的グループ4に同定された。このことは、この地域に移植されたゲンジボタルは、西日本の近畿・中国地域から移植されたものと推定される。さらに、このハプロタイプhokkaidouは、東海地域(愛知県及び静岡県)のハプロタイプTKKI 1

と近い類縁関係にあることから、この地域から移植された可能性が示唆された(図3)。

### 3. ゲンジボタルの遺伝的多様性

ゲンジボタルの遺伝的多様性を調べるために、局所的地域として福井県の北部(嶺北地域と呼ぶ)を流れる3つの1級河川、すなわち、日野川、九頭竜川、足羽川の流域間で、遺伝的多様性を調査した。その結果、これらの3つの流域内では、よく似たハプロタイプ分布を示したが、3つの流域間ではそれぞれ異なるハプロタイプの分布を示した(日和ら, 2008)。このことは、それぞれの流域で高

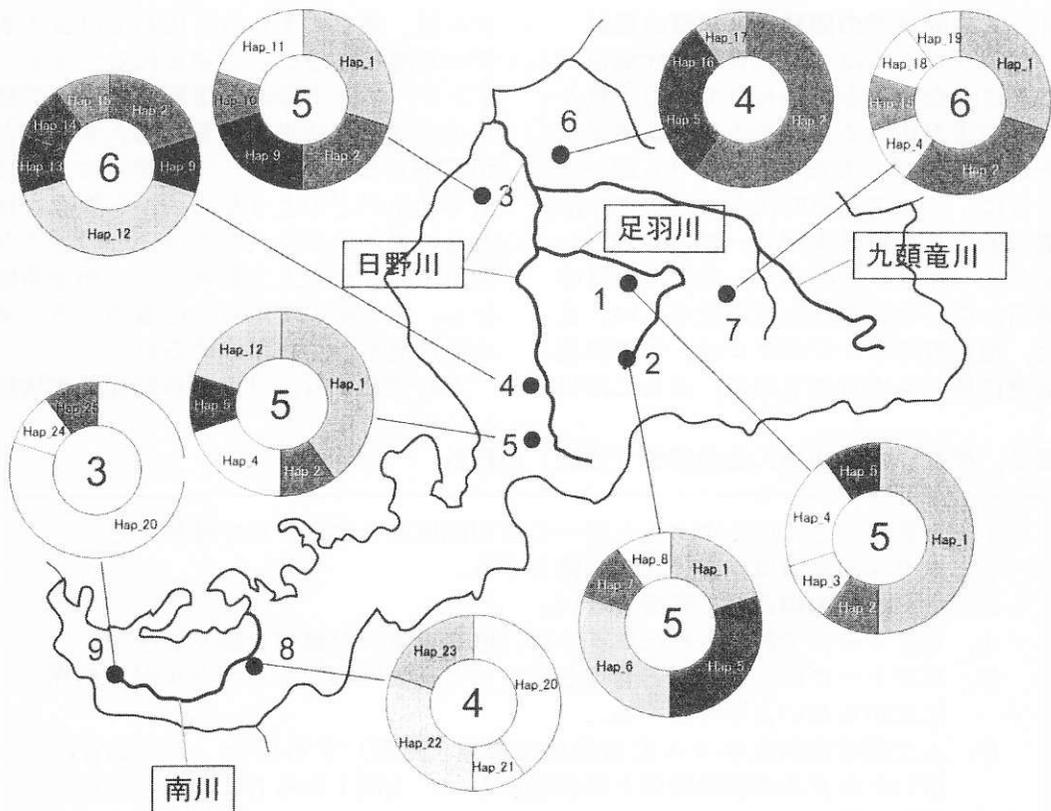


図4. 福井県の4つの一級河川流域におけるゲンジボタルのND5遺伝子のジャブプロタイプ数と頻度の比較(円内の数字はハプロタイプ数を示し, 円内のそれぞれの記号はハプロタイプ名を表記している)。

い遺伝的多様性をもっていることを示唆している（図4）。これらの結果から、これらの流域間で人為的にゲンジボタルの移植を行うと、人工的な遺伝的変異を生じるとともに遺伝的攪乱につながるものと考えられる。さらに、福井県北部と南部（嶺南地域と呼ぶ）には、嶺北地域と嶺南地域の河川水系間では遺伝的に大きく分化していることも明らかにしている（日和ら、2008）。遺伝的分化（Genetic differentiation）とは、生物の集団間（ここでは、嶺北地域と嶺南地域の間）で地理的に分割された集団を形成することをいう。以上述べたように、ゲンジボタルは、十数km内でも遺伝的多様性が高いことから、地域固有性の高い生物であると考えられる。

#### 4. 人為的放流の問題点と放流の指針

ゲンジボタルは、自然界では北海道には生息しないことが知られている。我々は北海道沼田町に生息するゲンジボタルを遺伝子解析した結果、2.2でも述べたように、北海道沼田町にゲンジボタルは、遺伝的に見て西日本グループのものと同じとした（図4）ことから、北海道以外の場所から持ち込まれた可能性が高い。また、沼田町のゲンジボタルは、すでに北海道に持ち込まれたものが、さらに沼田

町に持ち込まれたことも予想される。このように本州などから北海道に持ち込まれたゲンジボタルは、沼田町の他にもあるものと思われる。このことは、本来生息しない地域に人為的に放流されたことにより、遺伝的な生物多様性がかく乱されたことは、きわめて大きな問題である。今後、このような遠く離れた人為的放流は避けるべきである。

これまでにも、本研究会を通じ、ゲンジボタルの移植（放流）に関する指針を提案してきたが、表2には人為的移植（放流）を実施する場合の指針をまとめた。最近、人工飼育された幼虫や成虫を自然界に放流することが急増している。このような場合、表2の6にも述べているが、自然発生しているホタルを放流する場合と同じように、人工飼育されたホタルは、表2の1から3にあてはまるホタルを移植することが望まれる。また、インターネット等の通信販売によってホタルの成虫や幼虫を容易に購入することが可能となっている。この場合にも、成虫や幼虫がどのような場所から採取されたものであるのか、または、どのような場所のホタルを人工飼育したのかを明確にし、表2中の1から3に該当するホタルを放流することが求められる。

本研究会でも、「ホタル類など生物集

表2. ゲンジボタルの人為的移植（放流）の指針

1. 自然発生しているホタルと同一の河川流域からのホタルを移植する。
2. ホタルの移植は、半径10km以内とする。
3. ホタルは山越えして移植しない。
4. ビオトープで飼育されたホタルは、他の場所への移植を繰り返さない。
5. ビオトープは、きちんと管理し、ビオトープ内のゲンジボタルが自然界に広がらないように努める。
6. 人工飼育されたホタルを自然界に移植（放流）する場合、人工飼育に用いたホタルの採取場所と移植場所とは、上記1から3に該当しなければならない。
7. 業者から購入したホタルを移植する場合、そのホタルの採取場所を明確にし、6の場合と同じように、購入したホタルの採取場所と移植場所とは、上記1から3に該当しなければならない。

団の新規・追加移植に関する指針」が提案されているが、その中で「対象地域と異なる水系（流域）より採取したものは、移植しない」ことが盛り込まれている。

今後、ホタルの生態系の保全という観点から、地域固有のホタルを守ることが重要であり、表2に述べたようなルールに従い、人為的放流を行うことが求められる。

#### 引用文献

- 日和佳政・佐久間慎介・柑子木郁也・草桶秀夫 2008, ゲンジボタルの遺伝的分化と多様性から見た移植の問題点. 全国ホタル研究会誌, (41):33-38.
- 日和佳政・大畑優紀子・草桶秀夫 2009, 遺伝子から見たゲンジボタルの遺伝的グループの判別. 全国ホタル研究会誌,

(42):52-55.

- 日和佳政・大畑優紀子・草桶秀夫・井口豊・三石暉弥 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.

大場信義 1988, ゲンジボタル. 文一出版.

- 吉川貴浩・井出幸介・窪田康男・中村好宏・武部寛・草桶秀夫 2001, ミトコンドリアND5遺伝子の塩基配列から推定されたゲンジボタルの種内変異と分子系統. 昆虫ニューシリーズ, (4):117-127.

---

\*福井工業大学大学院・応用理化学専攻  
・生命科学分野