
ホタルのニュースレター

日本ホタルの会 2020/9 第 87 号

ゲンジボタルの地域分化に関する最近の研究動向

日本ホタルの会 副会長 鈴木 浩文

はじめに

ゲンジボタルは、北海道、奄美、沖縄を除き、本州から四国、九州と周辺の島々に生息する日本の固有種です。日本人には最もよく知られたホタルで、その書物や研究はたくさんありますが、発光間隔が関東ではゆっくりの「のんびり型」、関西では速い「せっかち型」という話は良く知られています。その発光間隔の違いに加えて、遺伝的な差異の研究も進み、地域ごとの違いの認識は、ホタルの移植の際の懸念点や国内外来種問題を考える基礎となっています。今回は、ゲンジボタルの発光パターンと遺伝的な地域分化に関する最近の研究動向を紹介します。

発光パターンと地域分化

ホタルはその種に固有の光を発して、その発光パターンで同一種の雌雄を認識しています。ゲンジボタルのように、同一種における発光パターンの地域的な差異は、雌雄の認識に影響するわけですから、種分化のプロセスと密接に関連していると考えられます。すなわち、雌雄の認識ができなくなれば、交配は起こらず、地域間の遺伝的な差異が大きくなっていく分けです。そのため、発光間隔が異なっている地域間での遺伝的な違いの程度を、アロザイム、ミトコンドリア DNA、ゲノム DNA を用いて調査していきました。

発光パターン

ゲンジボタルが集団で同時明滅することは渡瀬庄三郎（1902）によって知られていたのですが（1 分間に 26 回の点滅）、その発光間隔が地域によって

違うことは、神田左京（1935）によって記されました。すなわち、甲府市外の西條村（現在の昭和町付近）では4秒型（1分間に16回の点滅）、岐阜市外の高富町（現在の山県市付近）では2秒型（1分間に33と34回の間）と。

横須賀の大場信義先生は、ホタル類の発光パターンと配偶行動の研究から、ゲンジボタルのオスは飛びながら集団で同時明滅を繰り返してメスを探していること、そして、その明滅の発光間隔は東日本では約4秒、西日本では約2秒で、その境界は中部山岳地帯であることを記しました（大場、1988）。その後、気温による発光間隔の長短、両者の中間型（3秒型）などが各地で検討されてきました。さらに、その発光間隔の違いに、オスの活動時間帯や飛翔速度、メスの集団産卵などの生態的な違いも対応しており、生態的な2型として認識されるようになりました。

アロザイム（アイソザイム）解析

アロザイムとは、突然変異した酵素のことです。酵素遺伝子に突然変異が起これば、酵素のある部位のアミノ酸が別のアミノ酸に変化し、酵素の分子構造や荷電の状態も変化します。しかし、その酵素の機能や特性が失われない程度の変化であれば、実験的に同じ酵素の変異体として検出できます。この突然変異した遺伝子（対立遺伝子）を地域集団間でどのくらい共有しているかどうかで、近縁（分化）の程度を推定します。

ゲンジボタルの種々の酵素を解析したところ、スーパーオキシドデスムターゼ（SOD）という酵素に変異が見られ、その変異遺伝子の分布が東西で偏っており（図1）、発光間隔の違いに対応した遺伝的な地域分化が認められました（図2）。さらに、東京においては、西日本から持ち込まれたことがある地域では、東西で見られた変異が共存していることも分かりました（Suzuki *et al.*, 1996; 佐藤, 1998）。

ミトコンドリア DNA 解析

ミトコンドリアは細胞質にあってエネルギー（ATP）を生産する小器官ですが、核とは違った独自のDNAを持っており、独立して増殖しています。このミトコンドリアDNAは、核のDNAに比べて突然変異の起こる頻度が高いので、近縁種や同一種の地域間の違いを分析するのに使われています。

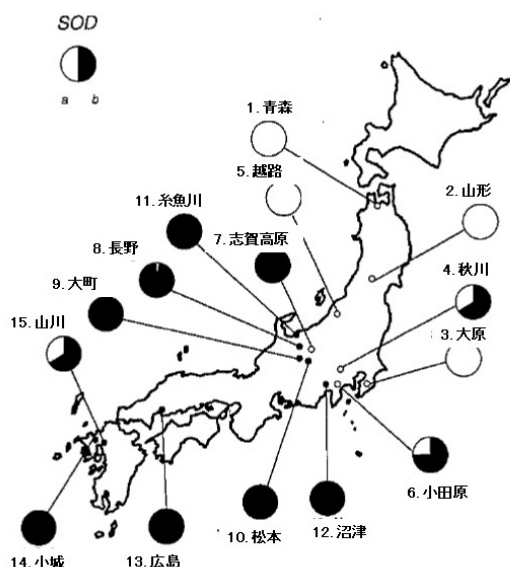


図1. ゲンジボタルの SOD 対立遺伝子の頻度分布 (Suzuki *et al.*, 1996 より改変).

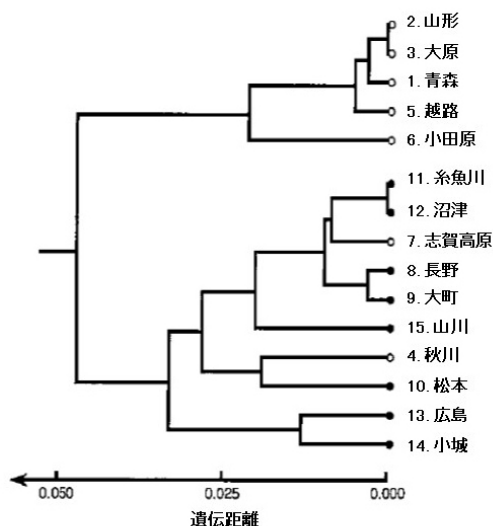


図2. アロザイム対立遺伝子頻度を基に作成した系統樹. 枝の先端の白丸は4秒型, 黒丸は2秒型 (Suzuki *et al.*, 1996 より改変).

ゲンジボタルのミトコンドリアのチトクロームオキシターゼ C のサブユニット II (COII) 遺伝子を解析したところ (Suzuki *et al.*, 2002), 大きく3つのグループ (東本州, 西本州, 九州) が認識され, さらにそれらは6つに分けられました (東本州は東北と関東に, 西本州は中部とそれ以西の西本州に, 九州は北九州と南九州に)。そして, これら6つのグループの境界は東から, 柏崎ー千葉構造線, 関東山地 (フォッサマグナの東縁), 糸魚川ー静岡構造線 (フォッサマグナの西縁), 中央構造線の南端に対応していました (図3)。このことから, ゲンジボタルは日本列島の形成と共に地域分化を遂げてきた分断型のシナリオが考えられました。さらに, 東本州グループは九州グループよりも西本州グループに近縁であるという系統樹から, 九州・西本州の発光パターン (2秒型) が祖先的で, 東本州のパターン (4秒型) は後から出現してきたものと推定されました (図4)。

また, 東京近郊での調査では, 東本州に固有の DNA 型に加えて, 西本州や中部地方に固有の DNA 型も混在しており, ホタルの移植による遺伝的な攪乱が起こっている可能性が指摘され, 移植における三原則が提唱されました (鈴木, 2009)。

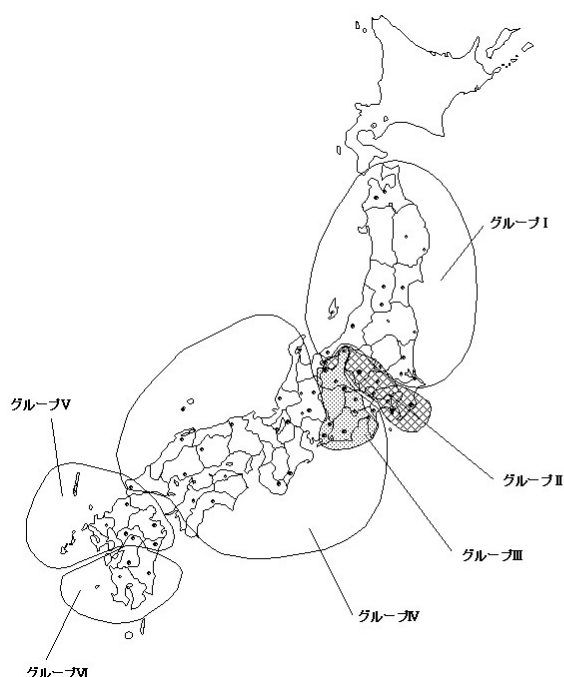


図3. ゲンジボタルのミトコンドリア COII 遺伝子のハプロタイプグループ（鈴木, 2009 より）。

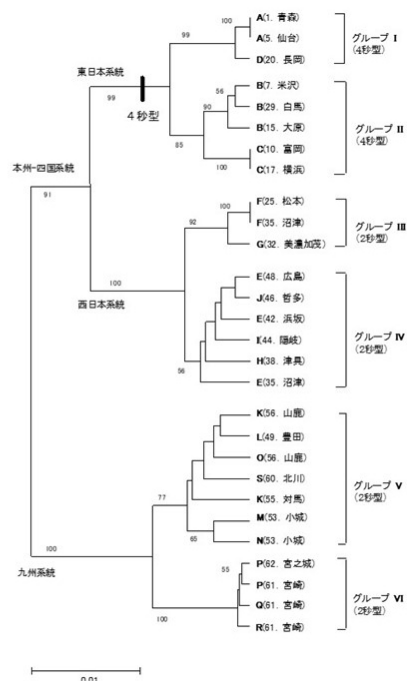


図4. ミトコンドリア COII 遺伝子を基に作成した系統樹（鈴木, 2009 より）。

ゲノム DNA 解析

これまで、ルシフェラーゼ遺伝子など、いくつかの核遺伝子を用いた種間の類縁関係の解析が行われてきましたが、最近では全ゲノム DNA の解析も可能となり、ホタルにおいても、ヘイケボタルを含む2種とヒカリコメツキ1種の全ゲノム DNA が解読されました。しかし、全ゲノム解析には費用も掛かり、地域集団間の調査のために数多くの個体を調べるのには、まだハードルがあります。そこで、ゲノム DNA を制限酵素で切断し、その切断部位の近傍の塩基配列を決定して比較する RAD-Seq (Restriction Site Associated DNA Sequence) 法が開発されました。この方法によって、全ゲノムの数%の塩基配列を比較することができるようになりました。

ゲンジボタルもこの方法で解析されました (Kato *et al.*, 2020)。ミトコンドリア DNA 解析の結果と同様に3つのグループ（東本州、西本州、九州）が認められましたが、それらの類縁関係は異なっており、西本州と九州のグループ

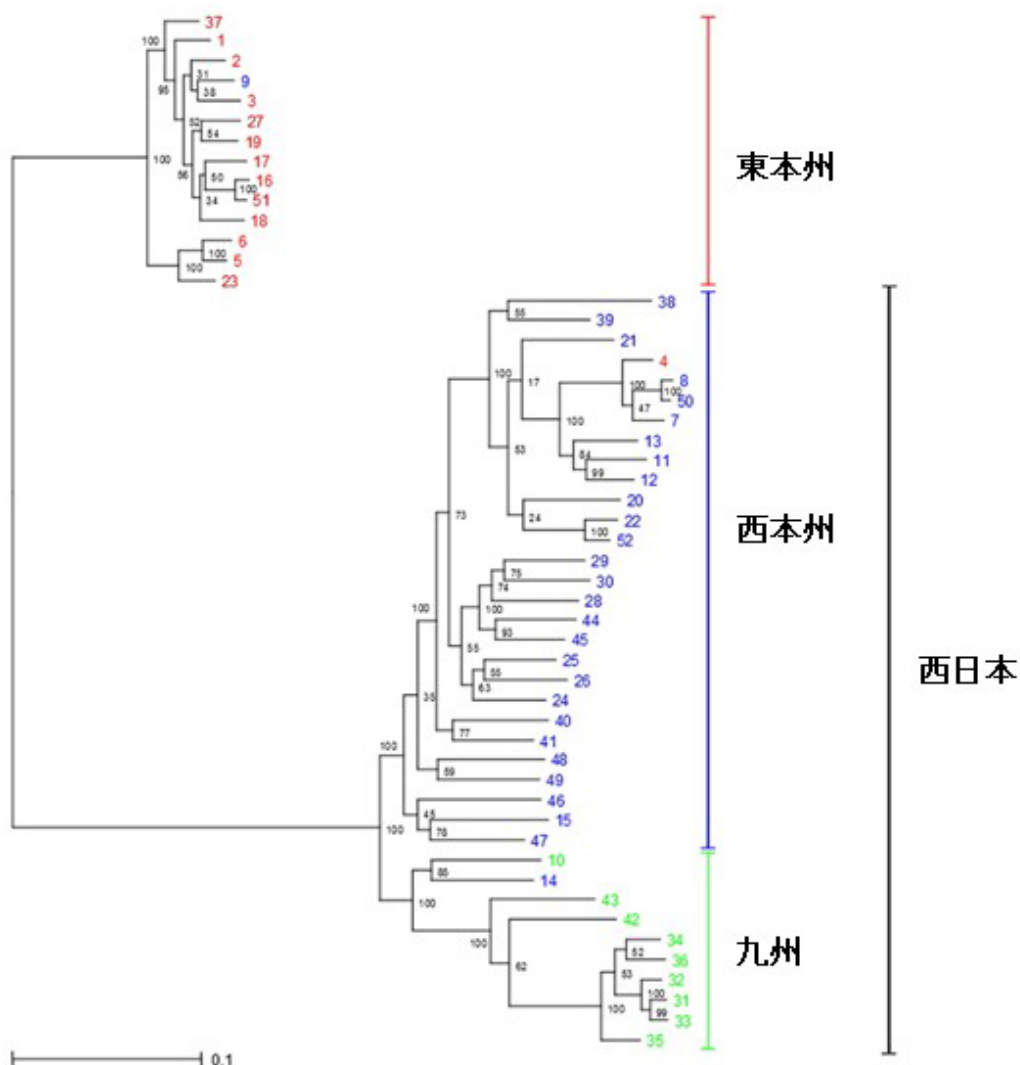


図5. ゲンジボタルのゲノム DNA 解析(RAD-Seq 法)による系統樹 (Kato *et al.*, 2020 より).

が近縁で、その次に東本州のグループが近縁という関係になっています（図5）。さらに、それぞれ3つのグループ間でのゲノム DNA がどのくらい共有されているのかも解析されました。その結果を見てみると（図6），横軸は個体の番号で、縦軸はその共有の割合ですが、東本州と西本州のグループではそれぞれ固有のゲノム構成になっており、両者が半分程度混じっているという個体は見当たりませんでした。すなわち、両者の交配でできた子供は見られなかったということになります。西本州のゲノムに東本州のゲノムが10～20%入

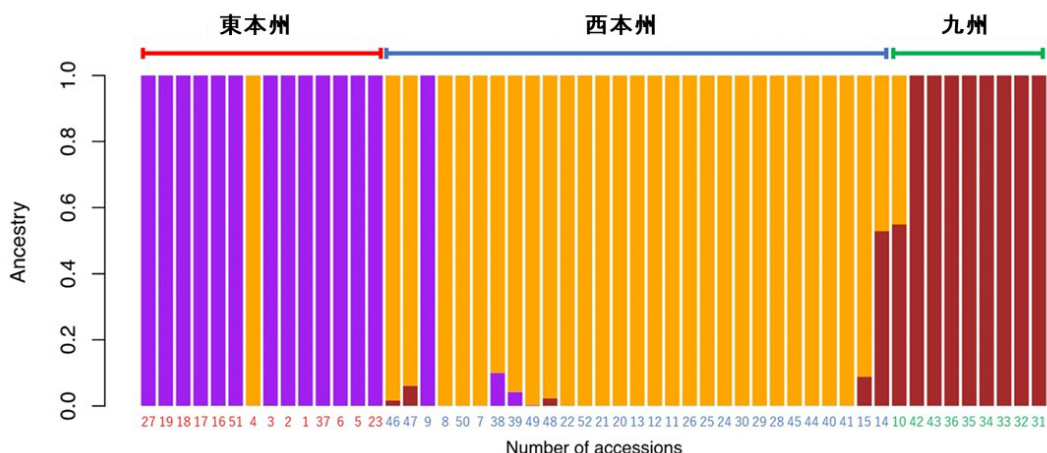


図6. ゲンジボタルのゲノム DNA 解析(RAD-Seq 法)に基づく東本州, 西本州, 九州グループ間でのゲノム DNA の共有度 (Kato *et al.*, 2020 より).

り込んでいるのが 2 個体 (No. 38, 39) 見られますが、これは、かつて交配が行われ、その後西本州グループ内での交配が進んだことのなごりと考えられます。また、東本州の集団でありながら西本州のゲノム構成になっている個体 (No. 4) や、その逆の個体 (No. 9) は、人為的に持ち込まれた個体と考えられます。一方、西日本と九州グループの間では、No. 10, 14 個体のように、それぞれのゲノムが半分程度混ざっており、両者間での交配が起こっていることを示しています。このことは、西本州グループに九州グループの方が東本州のグループより近縁であるという結果を支持しています。

ミトコンドリア DNA とゲノム DNA 解析の比較

発光間隔が異なる 4 秒型と 2 秒型の境界の地域や人為的に持ち込みがあったと思われる場所では、東本州および西本州グループに固有のミトコンドリア DNA 型が共存している場合がありますでしたが、それぞれのグループ間で交配が起こっているのかどうかは分かりませんでした。それは、1 個体には 1 個の母系由来のミトコンドリア DNA が存在するだけだからです。一方、ゲノム(核) DNA の解析では、母系と父系由来のゲノム DNA が 1 対 (2 個) 存在するので、それぞれ異なった DNA 型をもつ両親からの子供は、両者を半分ずつ持つことになります。今回のゲノム DNA 解析の結果では、東本州グループと西本州グループに固有の DNA 型を半分ずつ持つ個体は見つかりませんでした。調査した

地域や個体数は十分ではありませんでしたが、ミトコンドリア DNA で両グループに固有の DNA 型が共存していることを確かめた地域での調査や、飼育下での交配個体についても検討しなければなりません。

また、東本州、西本州、九州の 3 グループの関係が異なっていました。ミトコンドリア DNA の結果では、東本州と西本州グループが近縁で、九州グループがその次に近縁となっています。そのため、2 秒型が祖先的で、4 秒型が派生的と考えられたわけですが、ゲノム DNA の解析では、どちらともいえないという結果です。ゲノム DNA の解析では、クメジマボタルなどの外群種がありませんので、今後、近縁種との比較が必要です。

おわりに

ゲンジボタルの発光間隔の地域分化に対応して遺伝的な分化も遂げていることが確認できました。すなわち、自然状態では、発光間隔が異なる 4 秒型と 2 秒型の間での交配は、ある程度制限されており、種分化の途上にあると考えられます。また、その発光間隔や遺伝的な分化の様相は、日本列島形成と共に遂げてきたものと推測されていますが、その形成の年代推定などは今後の課題です。

参考文献

- 渡瀬庄三郎 (1902) 螢の話. 東京・大阪開成館.
- 神田左京 (1935) ホタル. 日本発光生物研究会, 丸善.
- 大場信義 (1988) ゲンジボタル. 文一総合出版.
- Suzuki, Sato, Fujiyama, Ohba (1996) Allozymic differentiation between two ecological types of flashing behavior in the Japanese firefly, *Luciola cruciate*. Japanese Journal of Entomology, 64: 682-691.
- 佐藤安志 (1996) アロザイムからみたホタルの遺伝的分化と種分化. 昆虫と自然, 33 (7): 19-25.
- Suzuki, Sato, Ohba (2002) Gene diversity and geographic differentiation in mitochondrial DNA of the Genji-firefly, *Luciola cruciata* (Coleoptera: Lampyridae). Molecular Phylogenetics and Evolution, 22: 193-205.
- 鈴木浩文 (2009) 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ーホタル移植の三原則ー. 月刊 海洋/号外, (51): 21-30.
- Kato, Suzuki, Tsuruta, Maeda, Hayashi, Arima, Ito, Nagano (2020) Evaluation of the population structure and phylogeography of the

Japanese Genji firefly, *Luciola cruciata*, at the nuclear DNA level using RAD-Seq analysis. Scientific Reports, 10: 1533.

大場さんを偲んで

日本ホタルの会 前理事 荻野 昭

謹んでご冥福をお祈り申し上げます、と共に大場さんとの思い出を書かせていただき、追悼とさせていただきます。大場信義さんは、日本ホタルの会の創成時から 1998 年まで常任理事を務められました。名誉会長の矢島稔氏が会長を退く際、私に理事を勧められ 2006 年から 2018 年まで会の運営に携わりました。従って当会で大場さんと会うことはありませんでした。私は多摩動物公園に昆虫生態園が誕生する、ずっと以前ホタルの飼育に四苦八苦していた頃、室内水槽での大量飼育の報文（横須賀博物館雑報、1973）から大場さんの存在を知ることとなりました。昆虫生態園の展示、将来について各分野の専門の方々から、ご意見を伺う「昆虫運営委員会」があり大場さんはその委員を 1992 年から 2008 年まで携われ、発光昆虫の生態展示の方法を熱心に指導いただきました。

大場さんの数多い出版物の中に「ホタルの不思議」2009 年発刊では、私と大場さんとの極めて？類似する事象を 2 つ見出しました。1 つは新婚旅行先が同じ東京都八丈島（私は 1968 年 4 月）であったこと。当地が二ホンキノコバエなど特有な発光生物の生息する島で、大場さんもそのことを知ったのは、後日の事だと述べています。1987 年 6 月下旬に大場さんらと上記の生物を求めて、2 泊、同島を訪ねる機会もありました。二つ目は高校 1 年から柔道を習い始めたことです。大場さんは初期に大怪我から中断されたとか。私は今でも小学生相手に汗を流しています。

大場さんはホタル界に燦然たる輝きをもたらしました。有難うございました。ご冥福をお祈り申し上げます。

合掌

2019 年度日本ホテルの会業務報告

日本ホテルの会の 2019 年度活動状況について、次のとおり報告します。

1. 会の体制

(1) 会員数

2019 年度の会員数は次のとおりとなっています。

年度	法人会員	公的会員	個人会員	計
2019 年度期首	1	5	6 0	6 6
2019 年度期末	1	3	5 1	5 5

(2) 役員体制

役員は、2018 年度に改選し、任期が 2 年のため、2019 年度も同様です。

名誉会長：矢島稔

会長：本多和彦

副会長：鈴木浩文

理事：川村善治，井上務，古河義仁，渋谷桂子，後藤洋一

会計：市川万里子

監査：井上務，後藤洋一

事務局：井上務，古河義仁，渋谷桂子，宇田川弘康，後藤洋一，大津順子，
市川万里子

事務局業務は、事務局に会長と副会長を加えた体制で進めています。

2. 財政及び運営

(1) 財政

日本ホテルの会は、会員の皆様の会費によって運営されています。2019 年度の会費収入は、244,500 円となっていて、これにその他の収入を加えた総収入は、250,002 円です。

一方、支出は、280,774 円となり、単年度収支では、30,772 円の不足となりました。全体としては前期からの繰越金が、911,757 円あるため、資金不足とはなりません。差引 880,985 円が、2020 年度への繰り越しとなります。

主な支出としては、ニュースレター印刷等 87,200 円、郵送費 49,392 円、インターネット関連 82,416 円、会場借用料 26,400 円などとなっています。その他は、会議費、消耗品費等基本的な運営、事業実施に係るもので、支出はいずれも削減することのできない必要最小限のものと考えています。例年と同様の見解ですが、会員へのサービスを向上し、財政の安定化を図ることが必要と考えています。

近年、会費の納入率の低下や会員の減少が課題となっていて、今年度も期首に比べ期末の会員数の減が 11 となっています。会員であることのメリットや充実感を感じられるような運営を考えていく必要があります。

また、2019 年度収入には表れていませんが、2018 年度から「リソル生命の森」に対する調査・助言・報告書作成に係る業務を行っております。企業の求めるものと当会のコンセプトが一致し、良好な環境の保全・再生・創出等や地域の経済的メリット、さらにはホテルによる感動を伝えられる場が提供できるのであれば、こうした連携を推進する意義はあるものと思います。当会の考え方をしっかり伝えつつ、収入につなげることができればより有益であると考えています。

今後も、コストを意識しつつ、当会の活動を広げていくことや他の団体との連携も進めていくことが、多くの参加者を得て会の活性化につながっていると思います。これまでの報告にも記載しましたが、生物多様性保全の重要性がますます認識されると考えられ、当会の存在意義も高まるものと考えられますので、健全な運営を意識しつつ、会の活動の活性化に積極的に取り組み、会の存在感を高めていきたいと考えています。

(2) 運営

当会の運営は、理事会及び事務局会議により行っています。また、集まっての打ち合わせが困難な際には、メールなどを適宜使用し、連絡調整、意思決定を行っています。

理事会：2020 年度から 2021 年度の役員の選任のほか、会員の増強方策、役割分担等会の運営方針、2020 年度活動方針等について審議しました。（2020 年 2 月 8 日 計 1 回開催）

事務局会議：理事会で決定した活動計画を実施するとともに、ニュースレターの内容や講師派遣依頼への対応など、会の具体的な運営を行いました。（2019年8月18日 計1回開催）

3. 活動報告

主な活動として、会則に基づいて、ニュースレターの発行、ホームページによる情報発信、各種イベント開催、講師派遣を行っています。2019年度は、東京都青梅市において、ホテル観察会を実施しました。11月には第26回日本ホテルの会シンポジウムを開催しました。このシンポジウムは、見沼田んぼ保全市民連絡会代表の村上明夫氏をお招きし、講演いただきました。談話会は、3月に計画していましたが、新型コロナウイルスの感染が拡大したため、開催を見合わせました。

(1) ニュースレターの発行

ホテルのニュースレター第82号、第83号、第84号、第85号を発行しました。

(2) ホームページによる情報発信

ホームページは、当会の活動方針をはじめ、イベント案内など日本ホテルの会の情報を発信しています。

(3) イベント活動

観察会：2019年6月29日 東京都青梅市にて開催。日本ホテルの会、東京ホテル会議、青梅長淵丘陵・大荷田の自然を守る会、NPO法人青梅まちづくりネットワーク共催。

シンポジウム：2019年11月9日 第26回日本ホテルの会シンポジウム

会場：工学院大学 新宿校舎

テーマ：ホテルを通じて身近な自然環境を考える

講演：①東京近郊のゲンジボタルの遺伝子攪乱現況（日本ホテルの会副会長 鈴木浩文）

②見沼田んぼ保全活動 30年から市民活動への伝言（見沼田んぼ保全市民連絡会代表 村上明夫）

談話会：未開催

講師派遣：2019 年 6 月 16 日 神奈川県横須賀市西逸見 ホタル観察会講師
講演「世界のホタル，日本のホタル」
観察会 西逸見ほたるの里

(4) 調査・助言

リソル生命の森（千葉県長生郡長柄町）2018 年度から継続
主な内容

- ・現地調査及び水路等改修指導
- ・観察会等の手法に係る助言
- ・報告書の作成

4. 2020 度の活動について

日本ホタルの会は、ホタルを里山の象徴と考え、ホタルの棲む豊かな環境を取り戻すという理念を発信するため、活動を続けてきました。ホタルだけを保全するのではなく、ホタルの棲む環境が大切であるとの発信を続け、この考えも多くの人に受け入れられてきたと考えています。基本的には、2020 年度もこの理念のもとニュースレターの発行、観察会、シンポジウム等を実施する予定でしたが、ご承知のとおり、新型コロナウイルスの感染拡大により、多くの活動やイベントを中止せざるを得ない状況となっています。当会もすでに例年 6 月に実施している観察会を中止しました。今後予定しているシンポジウムなども通常の開催は難しいと考えています。こうした状況は、全国のホタル発生地でも同様なのではないのでしょうか。こうした時こそ、ホタルをはじめとする自然の姿が多くの人に癒しや安らぎ、感動を与えてくれると思うところですが、それを享受する場や機会を発信することが難しいという現実があります。

日本ホタルの会では、通常の形での談話会やシンポジウムの実施は難しいと考えていますが、ホームページやニュースレターによる発信とともに、リモートによる談話会なども検討しているところです。リモートであれば、遠隔地の会員の参加が可能となるメリットもありますので、こうした機会をとらえ新しい試みを考え、会員の皆様にお届けできればと考えています。また、リソル生命の森における調査・助言についても継続しますが、こちらも現地スタッ

フとのリモートやメール等によるサポートを中心に展開していく方針です。新型コロナウイルスの収拾が見通せない中、大変厳しい状況ではありますが、できることを積極的に進めてまいりますので、今年度もご支援賜りますよう、よろしくお願いいたします。

談話会のお知らせ

今回、初めての試みとして、リモートでの談話会を開催致します。会員の皆様におかれましては、メールアドレスの登録をお願い致します。

日時：2020年10月17日（土） 13:00～14:30

講師：宇田川弘康氏（日本ホタルの会 前理事）

内容：「アキマドボタル紀行」（仮題）

九州と朝鮮半島の間にある長崎県の対馬（対馬島）には、中国大陸から朝鮮半島と対馬に分布するアキマドボタルや日本に固有のゲンジボタル、また、対馬に固有のツシマヒメボタルが生息しています。対馬には、ホタル以外にも大陸系と対馬固有の動植物が生息しており、この対馬の自然とホタルについての話題を提供していただく予定です。

メールアドレス登録のお願い

日本ホタルでは、今後、リモートでの談話会やシンポジウム、会員相互の情報交換を考えております。これまでは、談話会やシンポジウムを東京で開催しておりましたので、参加できる方々も東京近郊に限られていました。そのため、東京近郊以外の会員の方々には、参加機会の不平等感は免れなかったかと思います。一方、昨今のコロナ感染の状況下で、リモートでのイベント開催が進んでおります。当会のように零細ではあっても、全国に会員を抱えている場合、リモートでの開催は、参加機会の不平等感を解消する一つの方法であると考えています。

リモートでの開催案内には、電子メールでのリンク先を通知する必要がありますが、現在、メールアドレスをいただいている会員の方々は半数程度に留まっています。今後のリモートでのイベント開催と、種々の連絡の電子化を鑑みまして、メールアドレスの登録をお願い致します。

登録方法：事務局のメールアドレスにメールをお送り下さい。

hotarunokaijimukyoku@gmail.com

事務局からのお知らせ

事務局のメールアドレスが変わりましたので、お知らせ致します。これまで、当会へのお問い合わせに対するご返答には、事務局員の個人のメールアドレスからご連絡しておりました。しかし、迷惑メールとして扱われることが多く、連絡がとれていないような状態でした。今回、事務局としての電子メールのアドレスを取得しましたので、次のメールアドレスをご利用下さいますようお願い致します。

事務局の新しいメールアドレス：hotarunokaijimukyoku@gmail.com

当会は、会員皆様方からの会費によって運営され、活動を継続しております。会費納入のご協力を仰ぎますとともに、各種イベントへのご参加やご意見・ご要望をいただければ、会の運営に反映させていきたいと考えております。

また、2年続いて会費未納の状態となりますと、次の年度からの各種イベントの案内やニュースレターの発送などを停止させていただいておりますが、未納分をお支払いいただいた上で、送付を再開させていただきます。ご理解とご協力をお願い申し上げます

ホタルのニュースレター（第87号）

2020年 9月15日発行

編集 日本ホタルの会事務局

発行 本多 和彦

〒239-0824 神奈川県横須賀市西浦賀4-11-2-404

本多方（日本ホタルの会事務局）



日本ホタルの会
JAPAN FIREFLIES SOCIETY

e-mail: hotarunokaijimukyoku@gmail.com

URL：https://www.nihon-hotaru.com

Facebook: https://m.facebook.com/nihonhotaru/

印刷 青森コロニー印刷 東京都中野区江原町 2 - 6 - 2