

## ICTを活用したホタルのモニタリングシステムの開発

大坂真希\*1 島多義彦\*1  
森時悠

### 概 要

ホタルは生息地の減少や環境の変化に伴い、各地で個体数の減少や絶滅が危惧されており、良好な生態系を保全するシンボル種にもなっている。ホタルの生息地に影響をおよぼす可能性のある開発事業や建設工事にあたっては、生息環境に配慮した計画設計や施工が求められている。ホタルやその生息環境の保全にあたっては、ホタルの発生状況をモニタリングし、それらの結果に応じた保全対策を講じる必要がある。一方、従来の目視によるモニタリングは労力がかかり、個体数を正確に計測することは困難であった。そこで、一眼レフカメラやネットワークカメラで撮影した動画内に出現した点滅光点(ホタル)を自動で検出するソフトウェアを活用し、動画からホタルの個体数をカウントするホタルモニタリングシステムを開発した。土地区画整理事業の事業地内に生息するヒメボタルのモニタリングに適用し、発生状況の把握と本システムの有効性の検証を試みた。

### Development of ICT-based firefly monitoring system

#### Abstract

Fireflies are threatened with population decline and extinction in many areas due to habitat loss and degradation, making them one of the symbolic species for conserving healthy ecosystems. Development and construction projects that may affect their habitats must be designed and constructed to conserve the habitat. To conserve fireflies and their habitats, it is necessary to monitor their occurrence and implement conservation measures according to the results. Conventional visual monitoring, however, takes considerable effort and it is difficult to accurately count the number of individuals. To solve these problems, we developed our Firefly Monitoring System that automatically counts firefly populations from videos captured by single-lens reflex cameras and network cameras by utilizing software that detects blinking light spots (fireflies) that appear in videos. We applied the system to the monitoring of firefly *Luciola parvula* inhabiting the site of a land readjustment project and attempted to understand the occurrence status and to verify effectiveness of the system.

キーワード: ICT、生物多様性、モニタリング  
ホタル、環境保全

\*1 土木本部 土木エンジニアリングセンター

## §1. はじめに

夜間に発光するホタルは、里地里山の生態系または自然環境の状態を示す指標の代表例であり、地域住民から親しまれるシンボル種の一つでもある。近年生息地の減少や環境変化に伴い、各地で個体数の減少や絶滅が危惧されている<sup>1)</sup>。そのため、生息地に影響をおよぼす可能性のある開発事業や建設工事にあたっては、ホタルの生息環境に配慮した計画設計や施工が求められている。

ホタルやその生息環境を保全するためには、事前にホタルの発生場所や発生個体数を調査し、生息に適した環境条件を分析し、設計や施工に反映させる必要がある。また、工事後の発生状況から、工事による影響や保全対策の妥当性を評価し、その結果に応じた順応的管理が重要である。

従来、ホタルのモニタリングは目視で行われており、発生期間中に調査区画をラインセンサス、もしくは定点観察によってホタルの個体数を計測する<sup>2)</sup>。また、少なくとも調査は7日おきに最低3回(3日)以上の調査が推奨されている。従来の調査方法では次のような課題が挙げられる。

- ① ホタルの発生時期や時間帯は地域や種で異なるため、発生のパターンを把握するためには、より詳細な調査が必要であり、夜間に長期間かつ長時間の調査は非常に労力がかかる。
- ② 個体数の多いサイトでは、目視で正確にカウントすることは困難である。
- ③ 微弱に発光するホタルや不規則に点滅発光するホタルを見落とす可能性がある。

これらの課題に対応するため、ネットワークカメラなどの撮影動画から点滅発光するホタルの個体数を専用のソフトウェアを使用して、正確に調査するホタルモニタリングシステムを開発した。

本報では、本システムの概要と土地区画整理事業の事業地内に生息するヒメボタルのモニタリングに適用した結果を報告する。なお、専用のソフトウェアは、株式会社システム計画研究所(ISP)の協力により開発した。

## §2. ホタルモニタリングシステムについて

本システムの概要を図1に示す。一眼レフカメラやネットワークカメラを用いて、夜間にホタルの生息区域の調査範囲を動画撮影し、撮影した動画データをソフトウェアに入力、各種パラメータを設定し、解析を実行することで、入力した動画から全フレーム画像が取得される。フレーム画像を重ね合わせ、重ね合わせ画像に現れた光点(ホタル)を計上することで、任意の時間に出現したホタルのカウントが可能となる。解析結果はレポートと画像ファイルの形式で出力される。

ホタルの映る動画から任意の30秒間を解析し、出力された解析結果の例を表1と図2に示した。検出された光点は個体識別され、各個体の情報(個体ID、識別色、出現開始時間、出現したフレームの番号、位置座標、出現回数)がレポートに集約される。また、解析時間に検出した光点の重ね合わせ画像が出力される。重ね合わせ画像の光点は個体ごとに異なる色で表示され、移動した個体の軌跡は光点間の線によって判別することができる。

ホタルは種や地域によって点滅間隔や発光色が異なるため、対象のホタルの発光特性(点滅間隔、光点の明度・彩度・色相)のパラメータを設定することで、異なる種類のホタルの調査に適用することができる。また、検出結果画像とレポートに記載された位置座標、発光開始時間を参照し、動画と照らし合わせることでホタル以外のノイズ(一時的に現れる車や自転車のヘッドライトの光など)による誤検出を目視で確認することができる。

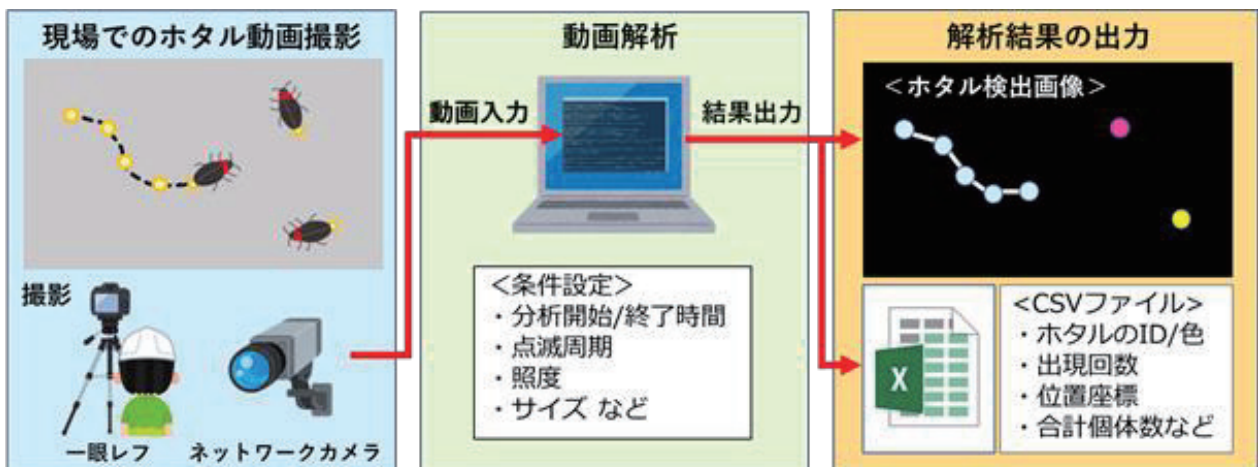


図1 ホタルモニタリングシステムの概要

表1 30秒間の解析結果を示すレポート例

ホテルID	ホテル識別色	開始時間	フレーム番号	光点のx座標	光点のy座標	出現回数
0	(135, 133, 204)	0:14:28	26039	1156	640	35
1	(109, 231, 16)	0:14:22	25852	1838	1068	41
2	(218, 157, 177)	0:14:02	25240	1559	190	1
3	(3, 137, 77)	0:14:23	25886	313	1042	9
4	(253, 124, 63)	0:14:17	25699	303	910	8
5	(255, 216, 32)	0:14:08	25444	1171	91	1
6	(180, 28, 31)	0:14:14	25597	1668	180	1
7	(133, 119, 245)	0:14:27	25988	229	444	2

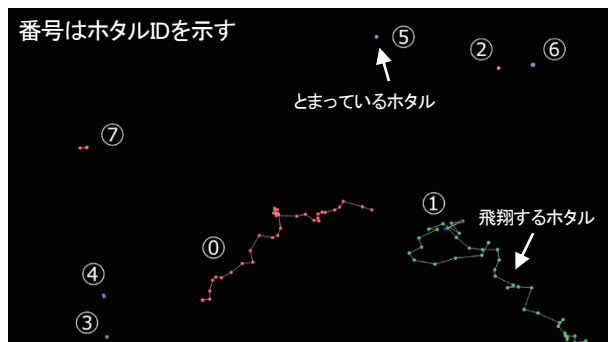


図2 検出された光点の重ね合わせ画像例(表1の画像)

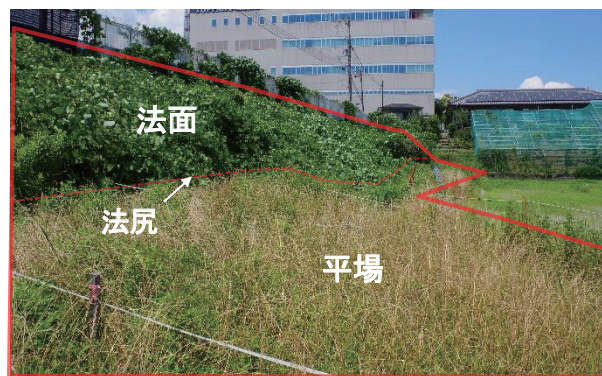


写真1 現地の状況(2022年6月撮影)

緑地に隣接する土地の造成仕上がり高の関係で、生息地の一部の地盤を嵩上げする必要があり、幼虫の生息に適した環境条件を維持するように地盤高を計画し、2022年の2月に施工した。嵩上げ前に幼虫が分布している可能性の高い場所の表土を人力で鋤取って仮置きし、工事後に元の場所付近に復元した。(写真2)

### §3. ホテルモニタリングシステムの適用事例

#### 3.1 実施概要

大阪府内の土地区画整理事業の事業地内にヒメボタルの生息が確認されていた。ヒメボタルは大阪府レッドリストにおいて、準絶滅危惧種(NT)に指定されており、大阪府内では絶滅のリスクが高まっている<sup>3)</sup>。また、ヒメボタルは幼虫が陸上で生活する陸生ホテルで、メスは後翅が退化しており、飛翔できず移動能力が低いことから、既存の生息地やその周辺の生息環境を維持することが重要である。さらに、保全活動団体により毎年観察会や調査が行われており、当地域に生息するヒメボタルとその生息地の保全が重要な課題とされた。

保全対策を計画するにあたって、現地のヒメボタルの発生場所や生息環境、発生個体数などの生息状況を把握する必要があった。また、工事の影響を継続的にモニタリングし、その結果に応じた対策を講じる必要があった。そこで、本事業地にホテルモニタリングシステムを適用し、現地のヒメボタルの発生状況を把握すると共に、本システムの有効性を検証した。

#### 3.2 現地の状況

現地の全景を写真1に示した。本システムの適用地は法面と平場で構成された緑地である。法尻に近い平場では地下水位が高く、土壤水分の高い状態が部分的に保たれており、ヒメボタルの生息に適した環境を有していた。



写真2 表土の仮置き(左)・表土復元(右)

#### 3.3 適用方法

##### (1) 適用期間

2021年(工事前)と2022年(工事後)のホテルの成虫発生時期にモニタリングを実施した。ネットワークカメラによる長期間の定点と一眼レフカメラと目視による調査を併用した発生ピーク時の個体数調査を実施した。事前の聞き取りにより、対象地域に生息するヒメボタルは、5月上旬から6月上旬頃まで発生し、5月中旬から下旬にかけて発生ピークを迎えることが推測された。したがって、発生時期を考慮し、表2のスケジュールで調査を実施した。

表2 2021年と2022年の適用実施期間

調査項目	2021年	2022年
ネットワークカメラ	4月27日～6月24日	4月20日～6月25日
一眼レフカメラ	5月17日～19日	5月14日～16日, 21日～23日
目視調査	5月18日～19日	5月14日～16日, 21日～23日

## (2) 動画撮影

ネットワークカメラは18時30分から翌5時30分まで連続撮影を行った。一眼レフカメラは19時30分から翌2時頃まで撮影を行った。一眼レフカメラは、長時間の連続撮影に対応していなかったため、25分間の連続撮影後、5分間の休止時間を設け、毎時00分と30分に撮影を開始した。撮影に使用したカメラの機種や詳細設定については、表3に示した。また、ネットワークカメラと一眼レフカメラを設置した現地の様子を写真3、4に示した。

表3 ネットワークカメラと一眼レフ撮影機種・設定

	機種	SS※	FPS※	F値※	解像度(pixel)
ネットワークカメラ	AXIS製P1375-E	1/60	60		1920×1080
一眼レフカメラ①	Nikon製D5300	1/30	30	4.5	1280×720
一眼レフカメラ②	Nikon製D7500	1/30	30	4.5	1280×720
一眼レフカメラ③	Pentax製K-70	1/30	30	4.5	1280×720

※SS:シャッタースピード, FPS:フレームレート

F値:絞り値(一眼レフカメラのみ設定)



写真3 ネットワークカメラによる撮影



写真4 一眼レフカメラによる撮影

## (3) 目視調査

緑地内に生息するホタルの全数をカウントするため、発生個体数の比較的多い範囲を一眼レフカメラで撮影し、撮影範囲外に分布するヒメボタルの位置、個体数を目視で調査した。目視調査は、一眼レフカメラの撮影開始後に撮影範囲外をラインセンサスにて実施した。発生状況に応じて

一眼レフカメラの撮影と目視調査の範囲は適宜変更した。図3に調査範囲の例(2022年5月22日の調査実施範囲)を示した通り、緑地を包括的にモニタリングできるように調査範囲を設定した。

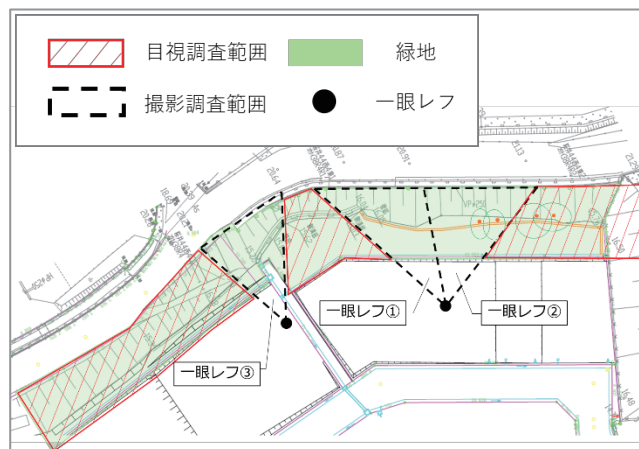


図3 動画撮影調査と目視調査の範囲例

## (4) 専用のソフトウェアによる動画解析

ソフトウェアを使用して、撮影した動画からホタルの特徴(点滅間隔、光点の明度・彩度・色相)を抽出し、表4の値でパラメータを設定し、解析を行った。また、目視調査と同様の調査結果を得られるように、毎時00分と30分から25分間の動画を30秒間ずつ連続して解析した。

表4 現地ヒメボタルの特徴に合わせたパラメータ値

	点滅間隔	明度範囲	彩度範囲	色相範囲
設定値	588ミリ秒※	50-255	0-255	0-179

※ヒメボタルの点滅間隔は約0.5秒と0.8秒の2型があり、約0.5型のホタルは神奈川県以西に分布することが報告されており、動画内のヒメボタルの点滅間隔と一致していた。

毎時00分から25分と30分から55分でそれぞれ、30秒間ずつの検出結果を平均し、各時間帯の発光個体数とした(以下、発光個体数とする)。また、車や自転車のライトが動画に映り込むと誤検出が一時的に増加する傾向が見られたことから、それらの影響を取り除くため、四分位範囲(IQR)の1.5倍を外れた値を異常値とみなし、解析から除外して平均値を算出した。

ネットワークカメラの動画については、夜間の道路工事の照明の影響により、動画の解析が困難であった5月18日と22日、23日、24日の4日間のデータと太陽光の影響により、ホタルの光の検出が困難であった19時30分から20時、翌4時から5時30分の時間帯のデータを解析から除外した。また、本報では2022年の解析結果のみを報告する。

### 3.4 適用結果

#### (1) ネットワークカメラによる長期モニタリング

##### (a) ヒメボタル発光個体の見える化

2022年(工事後)にネットワークカメラで撮影した動画から、ヒメボタルを検出することができた。図4に撮影範囲の画像と検出結果の重ね合わせ画像を示した。発光した場所を確認することも可能になった。また、図4の平場で発光するホテルは、長時間同じ位置座標で確認され、かつ同座標付近で数日間検出されたことから、同一個体であることが推測され、飛翔できないメスの可能性も考えられた。

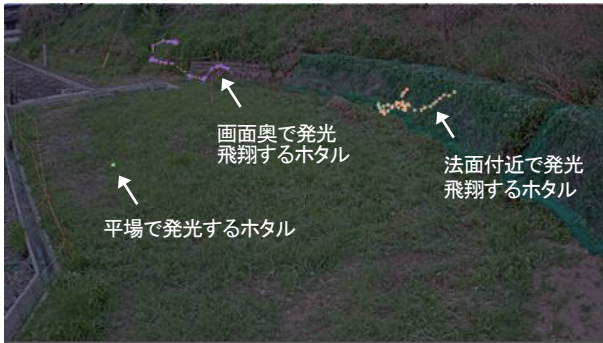


図4 検出結果と撮影範囲の重ね合わせ画像

##### (b) 発光個体の時間帯別出現頻度

調査期間中の発光個体数を各時間帯で合計し、発光頻度の日周変化を図5に示した。20時には発光を開始しており、22時30分頃から発光が活発化し、翌2時以降、急激に活動が低下することがわかった。

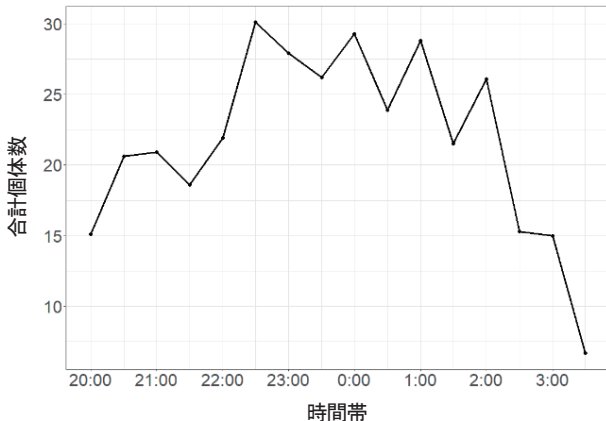


図5 発光頻度の日周変化

##### (c) 発光個体の日別出現頻度

調査期間中の発光個体数を一日ごとに合計し、発光頻度の季節変化を図6に示した。2022年はネットワークカメラを設置した4月20日の時点でヒメボタルの発光が確認された。5月以降徐々に発光個体が増加し、5月20日に発生ピークが確認された。ピーク後はピーク前と比較して、発光頻度が低い傾向がみられたが、ネットワークカメラを撤去した6月21日前夜にも発光していることがわかった。

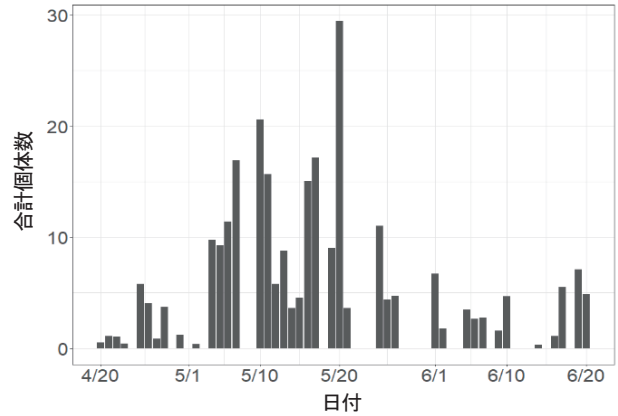


図6 発光頻度の季節変化

#### (2) 一眼レフカメラと目視調査による発生個体数調査

##### (a) 一眼レフカメラによる調査結果

一眼レフカメラから検出されたホテルの発光個体数の時間推移を図7に示した。2021年の5月17日23:30に最大で約30頭が検出された。また、1台の一眼レフカメラで最大約25頭のホテルを検出した。

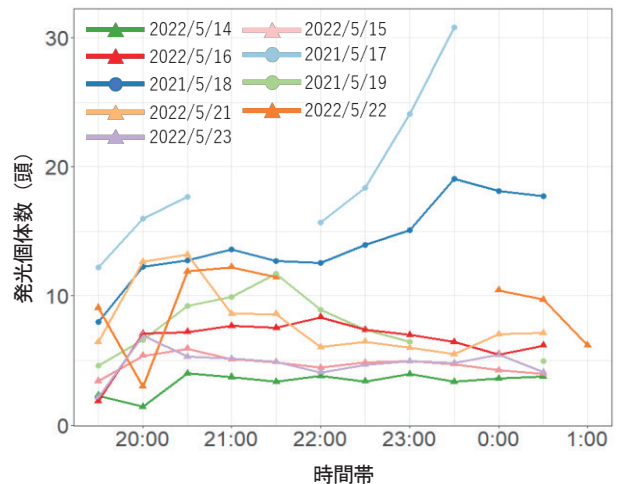


図7 一眼レフカメラで検出した発光個体数の時間推移

##### (b) 緑地全体の全発光個体数

一眼レフカメラと目視調査の結果を合計し、緑地全体の個体数とした。緑地全体の発光個体数の時間推移を図8に示した。2021年5月17日は目視調査が実施できなかったため、一眼レフカメラで検出した個体数をグラフに示した。2022年の5月22日0:30に最大で約34頭のホテルが確認された。2021年は5月17日23:30に約30頭(一眼レフカメラの撮影のみ)が確認された。この結果、発生ピーク時と比較すると、工事後の2022年は工事前と大きな個体数の差がみられず、発光個体数が維持された。ただし、2021年5月17日は目視調査ができなかったため、30頭より多かった可能性がある。

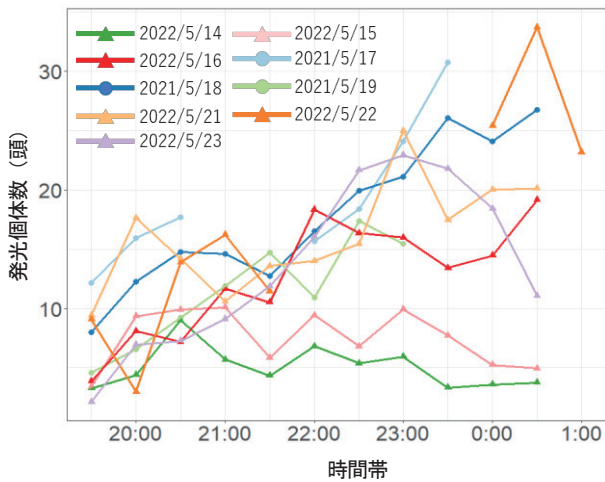


図8 緑地全体の発光個体数の時間推移

### 3.5 考察

本システムをヒメボタルの生息地に適用し、当事業地内の生息状況について、次のような知見が得られた。

- ① 事前の聞き取り調査と同様に、5月中旬に発生ピークが確認された。発生時期については、4月20日にヒメボタルの発光を検出しており、年によっては想定より早い4月下旬から発生している可能性が示唆された。
- ② 本種は19時30分から20時30分にかけて発光活動することが一般的であるとされていたが<sup>4)</sup>、対象地のヒメボタルは22時以降から翌2時の時間帯に発光が活発になる傾向が見られた。周囲の光環境により、発光開始時刻に攪乱が生じる可能性があることが報告されており<sup>4)</sup>、街灯や周囲の建物の光に影響を受けている可能性が示唆された。発生時期において、活動時間帯の不必要な光源の消灯や繁殖場所周囲の暗幕設置、植栽による暗空間の創出などの対策が必要であることがわかった。
- ③ 一眼レフカメラと目視調査により、工事前(2021年)と工事後(2022年)で緑地に生息するヒメボタルの個体数に大きな変動はなかったことがわかった。しかし、工事前の最大発生個体数は、一眼レフカメラの撮影範囲のみの結果であったことから、緑地全体で見ると工事前の方が多かった可能性も考えられる。また、工事後1年間のモニタリング結果だけで工事の影響を評価することは困難であり、生息環境と発生状況の変化を継続的にモニタリングし、その結果に応じて保全対策を講じる必要がある。

## §4. まとめ

ホタルモニタリングシステムを開発し、土地区画整理事業の事業地内に生息するヒメボタルのモニタリングに適用して、発生状況の把握とモニタリングの有効性を実証した。本システムの開発成果を以下に示す。

- ① 長期のモニタリングをネットワークカメラの動画撮影により、少ない労力で行うことができ、発生時期や活動時間の把握が可能になった。
- ② 微弱に光り、不規則に点滅発光するヒメボタルの正確な調査が可能になり、広範囲な区域では発生状況に応じて目視調査と併用することで全数調査が可能になった。
- ③ 発光特性をソフトウェアで解析し、パラメータを設定することで多様な種や発光パターンのホタルの調査に活用できる。本報告のヒメボタルのほか、別の調査サイトのゲンジボタルの動画を撮影・解析し、適用可能であることを確認した。
- ④ 適用案件でのヒメボタルの保全に必要な生息データを取得した。

### 謝辞

本報告の執筆にあたり、現地調査において藤原昌史作業所長をはじめ、作業所職員の皆様にご多大なご協力をいただいた。ここに感謝の意を表す。

### 参考文献

- 1) 環境省自然環境局 生物多様性センター, モニタリングサイト 1000 里地調査 2005-2017 年度とりまとめ報告書, 2019.11
- 2) 環境省自然環境局 生物多様性センター, モニタリングサイト 1000 里地調査マニュアル ホタル類 (ver.3.1), 2015.2
- 3) 大阪府環境農林水産部・都市環境室 緑推進課, 大阪府レッドリスト2014, 2014.3
- 4) 大場信義, ホタル類の光コミュニケーションと夜間照明, 環動昆, 13(2) pp.67-76, 2015.2

### ひとこと

希少種を保全するためには、生息状況や生息環境を把握することが必要不可欠です。今後、生物モニタリング技術の開発とその適用を進め、現地の状況に合わせた適切な保全対策を提案していきたいと思っております。



大坂 真希