

# エコーロケーションコールを用いたコウモリの種識別器の開発

## Development of a bat species classifier with echo location call

増田圭祐<sup>\*1</sup> 松井孝典<sup>\*1</sup> 福井健一<sup>\*2</sup> 福井大<sup>\*3</sup> 町村尚<sup>\*1</sup>  
 MASUDA Keisuke MATSUI Takanori FUKUI Kenichi Fukui Dai MACHIMURA Takashi

<sup>\*1</sup> 大阪大学大学院工学研究科 <sup>\*2</sup> 大阪大学 産業科学研究所  
 Graduate school of engineering, Osaka university Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka university

<sup>\*3</sup> 東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林  
 The university of Tokyo forest, Graduate school of agricultural and life sciences, the university of Tokyo

Ultrasound call of bats, "echolocation call", has a large variety depending on the species' characteristics, activities and surrounding environment, therefore it is difficult to identify the species by using conventional linear classification model of echolocation call records. In this study, I combined Random Forest and Support Vector Machine which are non-linear machine learning classification algorithms, and classified 11 species of bats by the feature set of echolocation calls. The classifier developed in this study could identify the bats species by the accuracy of 96.4 %.

### 1. はじめに

コウモリ類は豊富な種の多様性と広大な分布域を持つと同時に、種子分散や送粉、農業害虫の捕食など、生態系の中においても重要な役割を担っている。その一方で、環境の変化には非常に敏感であるため、環境モニタリングの指標生物として非常に有効であるとして近年注目を集めている。モニタリングの際には、飛翔時や餌の探索時に発するエコーロケーションコールと呼ばれる超音波を解析することで種の推定をする試みが進められている。図 1 および図 2 にアブラコウモリ、ユビナガコウモリそれぞれの飛翔時のエコーロケーションコールのソナグラムを示す。この 2 種のように非常に良く似た特徴を持ったコールを発する種は識別が困難である。特に近縁種はこの傾向が強い。また、コウモリのエコーロケーションコールは種だけでなく、行動や周囲の環境などの違いによって周波数特性や振幅特性が異なるため、従来の線型的な分類方法ではエコーロケーションコールに基づいた属の識別は可能でも高精度な種の識別は困難であった。そこで本研究では、機械学習を用いることで高精度な種の識別が可能な識別器を構築することを目的とする。

### 2. 分析方法

#### 2.1 エコーロケーションコールのデータベースの構築

識別器構築用の音声データについては、コウモリの会が「三國山地/赤谷川・生物多様性復元計画」の一環として、2008~2012 年の間に実施したコウモリ類の音声モニタリング調査で得たデータベースから音源の提供を受けた。この調査では、トラップによるコウモリの捕獲の後、種や性、成長段階などの個体の情報と、蚊帳の中で自由に飛翔させた際のエコーロケーションコール、リリースする際のエコーロケーションコール、懸垂した状態のエコーロケーションコール (*Rhinolophus* 属のみ) それぞれが記録されている。この結果、504 の音源から 6,347 のエコーロケーションコールを抽出し、表 1 に示す 7 属 11 種類のコウモリにおける種に対応したエコーロケーションコールのデータベ

ースを構築した。

#### 2.2 特徴量の抽出

エコーロケーションコールからの特徴量の抽出には、[J. Szewczak 1991]により開発された、コウモリ類の音声解析ソフトウェアである SonoBat 3.1.6 p を用いた。本ソフトウェアでは、音源データからのエコーロケーションコールの検出および、検出されたコールからの特徴量の抽出・計測が可能である。この結果、各エコーロケーションコールの開始・終了時の周波数や音圧のピークを示した時の周波数、コールの長さなどをはじめとする 75 種類の特徴量を抽出した。

#### 2.3 識別器の構築

本研究では、これまで困難とされてきた同属内における種の識別精度を向上させるため、属と種を分割し段階的に識別を行った。属の識別にはランダムフォレスト (RF : random forest) を、種の識別にはサポートベクターマシン (SVM : support vector machine) を用いた。RF にて作成する決定木の数は 500、決定木一本に用いる特徴量の数は 9 とした。SVM のタイプはラジアル基底関数カーネルのソフトマージン型を選択し、k-交差検定の分割数は 12 とした。各手法においてコウモリの種毎にコール数の 90% をトレーニングデータ、10% をテストデータとし、入力したテストデータに対して正しく識別できた割合を識別率として算出した。

#### 2.4 フィールドでの識別器の適用による妥当性の評価

構築した識別器の実際のフィールドにおける適用可能性の評価を行うため、大阪府北部に位置する大阪大学吹田キャンパス (北緯 34 度, 東経 135 度, 敷地面積 996,659 m<sup>2</sup>) を対象にコウモリの音声モニタリングを実施し、2.3 で最適化した識別器により種の識別を行った。モニタリングは 2014 年の 9 月から 10 月にかけて、日没 30~45 分後から 90 分間を目安に実施した。バット・ディテクターの録音形式はタイムエキスパンション方式のものを用いた。サンプリングレートは 320 ms, タイムエキスパンションの引き延ばし率は×10 とした。本モニタリングにより、種が未知である 102 の音声が観測された。この結果よりコウモリの活動状況を示すマップを作成するとともに、コウモリを研究対象とする専門家による識別結果の妥当性の評価を得た。

連絡先: 増田圭祐, 大阪大学大学院工学研究科環境・エネルギー工学専攻, 565-0871, 大阪府吹田市山田丘 2-1,  
 keisuke.masuda@see.eng.osaka-u.ac.jp

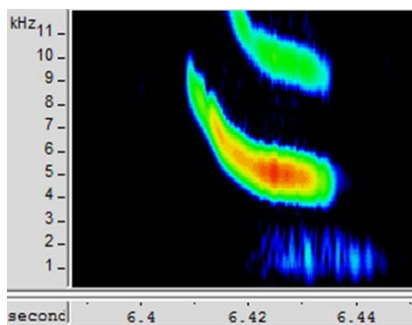


図1 S1:Pipistellus abramus の探索時のエコーロケーションコールのソナグラム

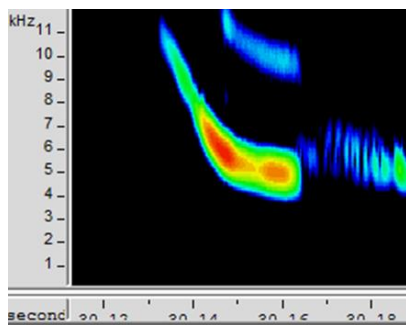


図2 S2:Miniopterus fuliginosus の探索時のエコーロケーションコールのソナグラム



図3 音声モニタリングによる種別観測点 (Google Earth 上に表示)

表1 RFおよびSVMによる各種コウモリの識別率

| Scientific name                       | Samples (test data) | S1 | S2 | S3 | S4 | S5  | S6 | S7 | S8 | S9 | S10 | S11 | Accuracy (%) |       |       |
|---------------------------------------|---------------------|----|----|----|----|-----|----|----|----|----|-----|-----|--------------|-------|-------|
|                                       |                     |    |    |    |    |     |    |    |    |    |     |     | Species      | Genus |       |
| S1 : <i>Pipistellus abramus</i>       | 600 ( 60)           | 55 | 1  | 0  | 1  | 3   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0            | 91.7  | 91.7  |
| S2 : <i>Miniopterus fuliginosus</i>   | 242 ( 25)           | 1  | 23 | 1  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0            | 92.0  | 92.0  |
| S3 : <i>Myotis ikonnikovi</i>         | 342 ( 35)           | 1  | 0  | 30 | 0  | 4   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0            | 85.7  | 99.4  |
| S4 : <i>Myotis frater</i>             | 224 ( 23)           | 1  | 0  | 1  | 18 | 3   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0            | 82.6  |       |
| S5 : <i>Myotis macrodactylus</i>      | 4036 (404)          | 1  | 0  | 0  | 0  | 403 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0            | 99.8  |       |
| S6 : <i>Murina hilgendorfi</i>        | 69 ( 7)             | 0  | 0  | 1  | 0  | 1   | 2  | 3  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0            | 57.1  |       |
| S7 : <i>Murina ussuriensis</i>        | 331 ( 34)           | 0  | 0  | 0  | 0  | 1   | 1  | 32 | 0  | 0  | 0   | 0   | 0            | 94.1  | 92.7  |
| S8 : <i>Rhinolophus ferrumequinum</i> | 128 ( 13)           | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 13 | 0  | 0   | 0   | 0            | 100.0 |       |
| S9 : <i>Rhinolophus cornutus</i>      | 29 ( 3)             | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 3  | 0   | 0   | 0            | 100.0 | 100.0 |
| S10 : <i>Vespertilio murinus</i>      | 39 ( 4)             | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 4   | 0   | 0            | 100.0 |       |
| S11 : <i>Plecotus sacrimontis</i>     | 308 ( 31)           | 1  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 30  | 0            | 96.8  | 96.8  |
| All species / genus                   | 6347(639)           | 60 | 24 | 33 | 19 | 415 | 3  | 35 | 13 | 3  | 4   | 30  | 0            | 95.9  | 97.8  |

### 3. 結果および考察

#### 3.1 識別器の性能評価

RF および SVM よりトレーニングデータの特徴量を学習させた結果, RF におけるアウトオブバグによるエラー率は 2.6 % であった。また, SVM における k-交差検定では識別率が属の平均で 95.0 % 以上の精度を得た。この識別器でテストデータを評価した結果を表 1 に示す。全属および全種類の識別率は、それぞれ 97.8 % , 95.9 % であった。S6:Murina hilgendorfi (和名: テングコウモリ)を除く 10 種においては 80 % 以上の精度で識別できた。本研究では様々な条件下におけるエコーロケーションコールを用いたこと, 対象とする種が 11 種と多かったことなどを考慮すると, この結果は先行研究と比較しても高精度な識別が行えたと言える。なお, 識別率が低い種は, コールのサンプル数が少ない傾向にあることから, トレーニングデータの数が少ないため機械学習が十分にできておらず, 同時に今後データを充実させていくことで改善できる可能性が考えられる。

#### 3.2 フィールドでの適用結果の妥当性評価

キャンパスで行った音声モニタリングの結果をマップに出力した例を図 3 に示す。モニタリングルートおよびエコーロケーションコールの観測地点, さらに推定された種を色別にプロットした。67.6 % が S1:Pipistellus abramus (赤:アブラコウモリ)と識別された。次いで S2:Miniopterus fuliginosus (青:ユビナガコウモリ)が 24.5 % , S8:Rhinolophus ferrumequinum (緑:キクガシラコウモリ)が 7.8 % 検出された。アブラコウモリは人里を拠点に生息するため, 多く検出されたことは妥当と評価できる。ユビナガコウモリもキャンパス付近でコロニーが確認された報告があり, 採餌活動で飛来している可能性があり, 妥当と評価できる。しかしキクガシラコウモリは, 分布や生息環境などの生態学的な特徴を考えるとこの付近で観測されることが考えにくく, 誤識別の可能性が高い。

### 4. 今後の課題

フィールドでのモニタリングに適用する場合は, コウモリのエコーロケーションコールは地域や性, 行動の違いなどそれぞれの条件で多様に変化するため, 条件が変化した場合でも頑健に識別可能かの汎用性を評価する必要がある。

#### 参考文献

- [Aarón Henríquez 2014] Aarón Henríquez, Jesús B. Alonso, Carlos M. Travieso, Bernal Rodríguez-Herrera, Federico Bolaños, Priscilla Alpizar, Karmele López-de-Ipina, Patricia Henríquez : An automatic acoustic bat identification system based on the audible spectrum, Expert Systems with Applications, pp.5451-5465, 2014.
- [赤谷プロジェクト地域協議会 2006] 赤谷プロジェクト地域協議会, 林野庁関東森林管理局, 日本自然保護協会 : AKAYA Project 生物多様性復元をめざす協働プロジェクト, <http://www.nacsj.or.jp/akaya/> (2014.12.11 参照).
- [Fukui 2004] Fukui, D., Agetsuma, N. and Hill, D. A. : Acoustic identification of eight species of bats (Mammalia: Chiroptera) inhabiting forests of southern Hokkaido, Japan : Potential for conservation monitoring, Zoological Science 21, pp.947-955, 2004.
- [Jones, G. 2009] Jones, G., Jacobs, D. S., Kunz, T. H., Willig, M. R., Racey, P. A. : Carpe noctem : The importance of bats as bioindicators, Endangered Species Research 8, pp.93-115, 2009 .
- [J. Szwczak 1991] J. Szwczak : SonoBat. <http://www.sonobat.com/> (参照 2014.12.23).
- [OBSG「大阪のコウモリを調べる会」 2003] OBSG「大阪のコウモリを調べる会」 : 大阪のコウモリ, Word Animals & Nature report : なぎごえ, vol.38-10, 2003.