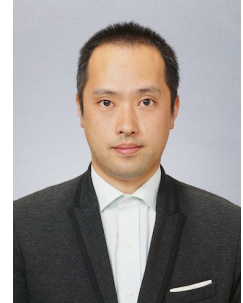


森林生態系におけるコウモリ類の環境指標生物化に関する研究

Research on bats as bioindicators in forest ecosystem



福井 大
Dai Fukui

本研究では、森林環境とコウモリ類の関連性を明らかにすることで、コウモリ類の保全を考慮した森林施業方法や森林環境のあり方を提言すると同時に、コウモリ類を用いた汎用性のある環境評価の枠組みを構築することを目的とした。まずはじめに、調査地である東京大学北海道演習林においてコウモリ類の音声を収集し、音声データベースを構築した。このデータベースを元に、畳み込みニューラルネットワークを使用した深層学習によって音声による種の識別機を構築した。続いて、北海道演習林内の4つの異なる森林タイプにおいてコウモリ類の音声モニタリングを実施した。その結果、森林タイプに対する応答はギルド特異的であり、それは翼の形態やねぐらの特性によって説明ができた。本研究によって、コウモリ群集が森林環境の指標として有効であり、汎用性を有していることが示唆された。

The purpose of this research is to assess the relationship between forest environment and bat assemblage, and to propose appropriate forest management system considering the bat conservation. In addition, I also aimed to establish a general framework for environmental assessment using bats. First, the echolocation calls of bats were collected at the University of Tokyo Hokkaido Forest, and the acoustic database was constructed. Based on this database, we constructed a classifier by deep learning using convolutional neural network. Subsequently, acoustic monitoring was conducted in four different forest types in the Hokkaido Forest. As a result, the response to the forest type was guild specific, which could be explained by wing morphology and roost characteristics of each guild. This study suggests that bat assemblages are effective as indicators of forest environment and have versatility.

東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林北海道演習林 助教

The University of Tokyo Hokkaido Forest, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo, Assistant Professor

研究の背景と目的

近年、地球規模で生態系の構造と機能が急速に変化しており、将来的に社会の存続基盤となっている生態系サービスが低下することが懸念されている（環境省 2018）。その主要な原因として、経済活動に伴う土地利用の変化が挙げられる。とりわけ、森林利用による野生生物の生息場所の改変は、生物多様性や物質循環に大きな影響を及ぼすと考えられる。近年の我が国の森林政策は、野生生物の生息・生育環境としての森林生態系の質的変化を考慮に入れない「木材生産を主体としたもの」から、「森林の多面的機能を持続的に発揮させるもの」へと転換した。特に、野生生物多様性保全の方針を明確化するなど、森林生態系保全に配慮した森林施策が一層重視される方向にある（林野庁 2018）。森林利用の影響を定量的に評価し、経済活動と森林生態系保全の両立を図ることは、持続可能な社会の構築に不可欠である。

生態系は多くの生物種からなる複雑なシステムであり、環境変化に対する応答は地域ごとに固有である。そのため、土地利用の変化自体をモニタリングするだけでは、経済活動が生物多様性や物質循環に及ぼす影響を評価することは難しい。一方、あらゆる地域で経済活動の影響を詳細に調べることは、費用や労力の点から不可能であり、一般性にも欠ける。その中で、経済活動の影響評価を生態系や生物多様性の保全政策に組み込むには、指標生物を用いるアプローチが有効であると考えられている。例えば、環境省の全国水生生物調査では、水生昆虫などを指標生物として水質評価を行っている。

しかし、これまでに指標生物として提案されてきたのは、鳥類や水生昆虫など一部の分類群に限られており、経済活動の影響評価を行う上で、必ずしも汎用性は高くない。また、これらの分類群は親しみやすさを重視して選ばれていることもあり、生物多様性や物質循環との関係が明確でない場合もある。その中で最近、コウモリ類が指標生物として極めて有効である可能性が提唱されている（Jones et al. 2009）。指標生物に適した分類群は、生物多様性や物質循環に影響を及ぼす環境ストレス因子に敏感であり、生息場所の生物相を代表して、測定可能な応答を示すものである。温帯地域に生息するコウモリ類の多くは昆虫食であり、栄養段階の頂点に位置するため、その個体数の変化は餌となる昆虫類の変化を反映している。繁殖速度が遅く、環境変化に対する感受性が高い。また、森林から水域まで様々な生息場所を広く利用するため、指標生物としての汎用性は高いと期待される。つまり、コウモリ類の個体数や活動性の変化は、森林利用の変化と密接に関係していると考えられる。

本研究の目標は、野生生物の生息・生育環境の保全を考慮した森林施策方法や森林環境の維持創出に向けた基盤情報を提供すると同時に、コウモリ類を用いた汎用性のある環境評価の枠組みを構築することである。そのために、各種施策による森林利用によって植生改変が起きている森林生態系を対象に、環境変化に対するコウモリ類の感受性を評価することで、各種森林施策方法をコウモリ類の視点から評価すると同時に、指標生物としての有効性と汎用性を生態学的に検証する。

研究経過

1. コウモリ類の音声ライブラリーの構築

2016年から2018年にかけて、東京大学北海道演習林（北緯 43° 10′ ~ 21′，東経 142° 23′ ~ 41′）内および周辺でコウモリ類をかすみ網およびハープトラップで捕獲し、種同定の後、放逐の際の飛翔時音声をタイムエキスパンション式バットディテクター（D-240X, Pettersson Elektronik AB, Uppsala, Sweden）と接続したリニア PCM レコーダー（R-09, Roland, Shizuoka）によって録音した。録音した音声をハードディスク上に保管し、参照音声ライブラリーとして整備した。

2. コウモリ類の音声による種判別法の構築

1で収集した音声に加え、筆者がこれまでに収集してきた日本産コウモリ類の音声を材料とした。音声ファイルからエコーロケーションパルスを検出し、フーリエ変換をかけ、検出した音のスペクトログラム画像を生成（図1）することで、オリジナルデータベースを構築した。さらに、画像の多様性を増やし精度の向上を図るため、オリジナルデータベースの画像に対しデータオーグメンテーション（図2）を行い、オーグメンテーションデータベースを構築した。使用したデータオーグメンテーションは cutout, random erase, salt and pepper の3種類である。以上2つのデータベースを用いて、畳み込みニューラルネットワークを使用した深層学習によって識別機を構築した。この際、

データの 90% を学習データ, 10% を評価データとすることで 10 分割交差検証を行い識別精度を検証した。

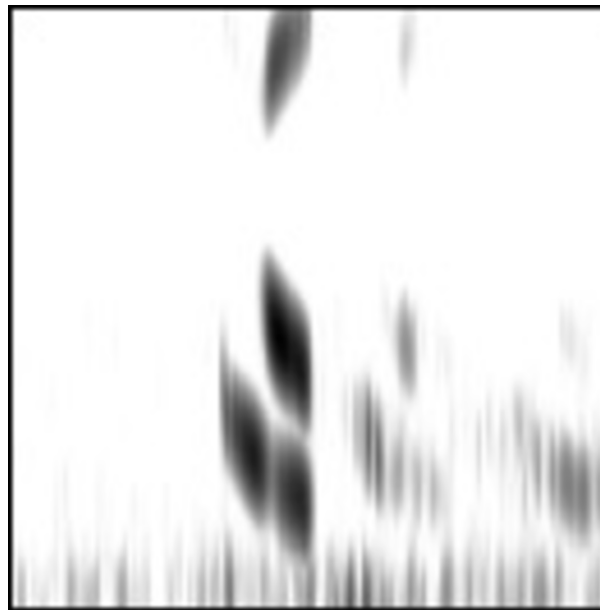


図1. コウモリのエコーロケーションパルスのスペクトログラム画像. 横軸が時間で縦軸が周波数, 色の濃淡が音圧を示す.

Fig.1. A spectrogram of an echolocation pulse of bat. X-axis and Y-axis mean time and frequency, respectively. The shade of color indicates the sound pressure.

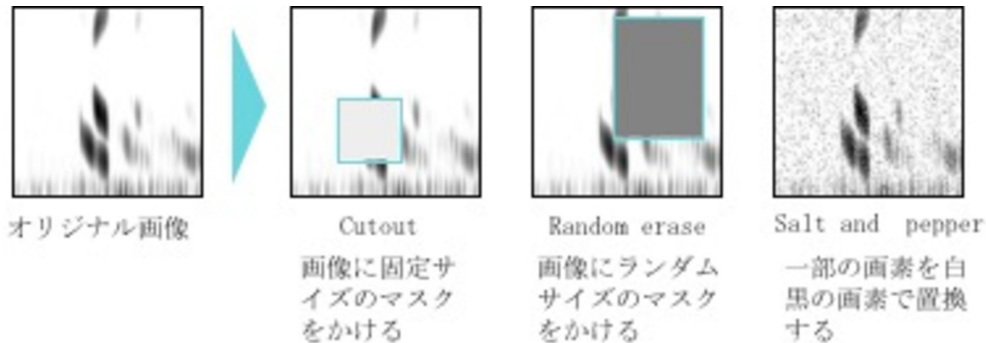


図2. データオーグメンテーションの流れ. 結果的に1つの画像が4つの画像になる.

Fig.2. Data Augmentation Flow. As a result, four images are created from one original image.

3. 森林施業とコウモリ類の活動量の関連性の評価

東京大学北海道演習林において, 施業方法の異なる森林4タイプ(保存林, 天然林択伐施業, 針葉樹人工林施業, 風害後の二次林)を選び, それぞれ3箇所, 計12箇所の調査プロットを設定した. 各プロットにおいて, コウモリ類の活動性が最大となる6~9月にかけて, 音声自動録音装置(SM-4BAT FS, Wildlife Acoustics, US)によって毎月連続10晩前後の音声モニタリングを行なった. 録音された音声は, まず音声解析ソフトウェア(Kaleidoscope Pro, Wildlife Acoustics, US)上でソナグラム化し, ノイズとコウモリの音声に分別した. さらに, 6月に録音されたコウモリ類の音声については, 採餌ギルドごと(テングコウモリ属:障害物の多い林内で採餌, ニホンウサギコウモリ:障害物の多い林内でグリーニングを中心とした採餌, ホオヒゲコウモリ属:林縁部あるいは障害物の少ない林内で採餌, ヒナコウモリおよびヤマコウモリ:障害物のない開けた空間で採餌, キクガシラコウモリ:障害物の多い林

内で採餌, コキクガシラコウモリ:障害物の多い林内で採餌, チチブコウモリ:採餌生態は不明)に分別し(図3), それぞれの録音回数を活動量とした.

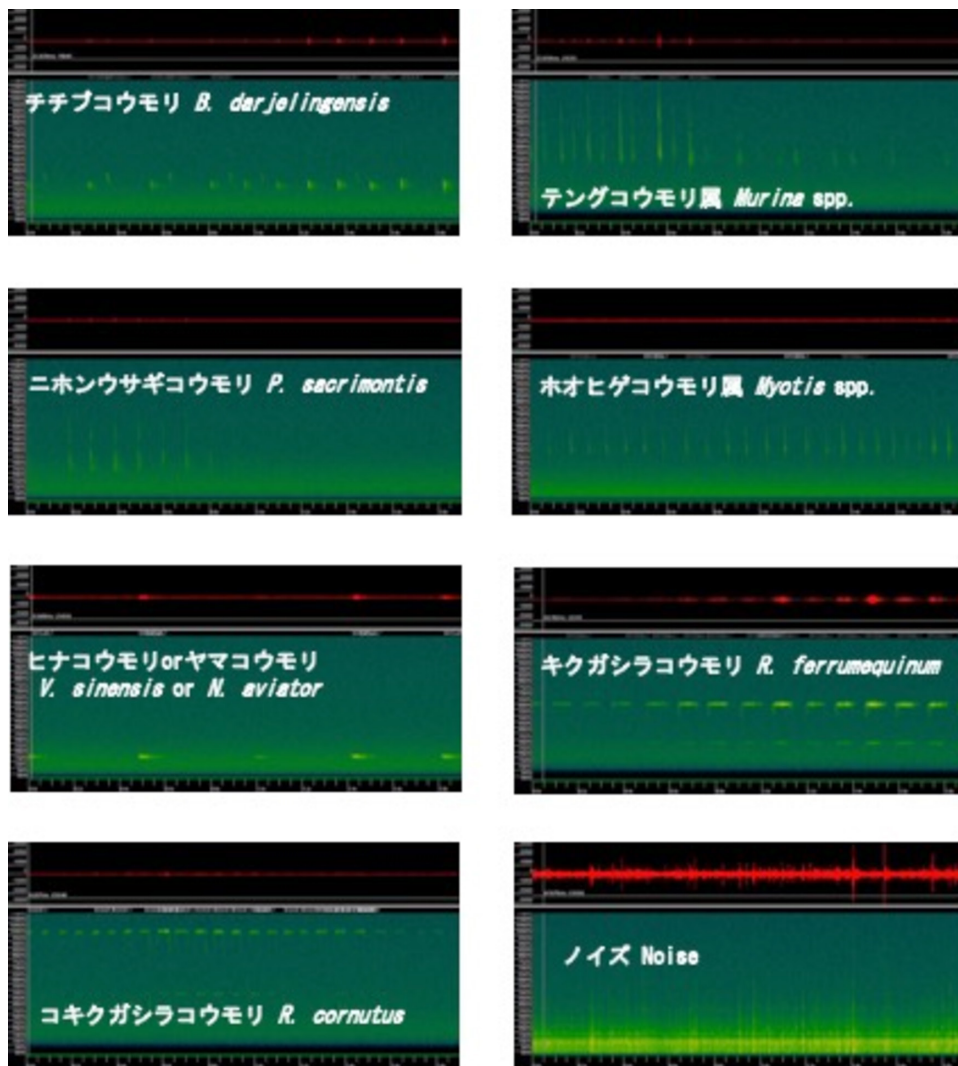


図3. 各ギルドごとのエコーロケーションソナグラム

Fig.3. Sonograms of echolocation call of each guild.

研究成果及び考察

1. コウモリ類の音声ライブラリーの構築

本研究で, 2科11種264個体のコウモリ類(ヤマコウモリ, チチブコウモリ, カグヤコウモリ, テングコウモリ, ヒメホオヒゲコウモリ, モモジロコウモリ, ドーベントンコウモリニホンウサギコウモリ, ヒナコウモリ, コテングコウモリ, コキクガシラコウモリ)を捕獲し, 飛翔時音声を録音した(表1). これらのうち, ヤマコウモリは美瑛町での初記録, カグヤコウモリ, テングコウモリ, ドーベントンコウモリは富良野市での初記録となる. 収集された音声は, 過去に収集されたものと合わせて, データベースソフトウェア(File Maker Pro)によって, 種名, 性別, 捕獲場所, 捕獲日時の情報とともにまとめられた.

表1. 調査期間中に捕獲されたコウモリ
Table1. Number of captured bats.

種名	個体数
ヤマコウモリ	20
チチブコウモリ	4
カグヤコウモリ	5
テングコウモリ	17
ヒメホオヒゲコウモリ	74
モモジロコウモリ	11
ドーベントンコウモリ	2
ニホンウサギコウモリ	10
ヒナコウモリ	20
コテングコウモリ	100
コキクガシラコウモリ	1

2. コウモリ類の音声による種判別法の構築

本研究で用いられたファイル数は、上記1で収集したのもも含め、4科28種1,369個体分であった(表2)。これら音声ファイルからエコーロケーションパルスを検出し、フーリエ変換をかけ、検出した音のスペクトログラム画像を生成した結果、34,269枚の画像が得られた(表3)。後の解析でノイズも学習させる必要があるため、これにノイズの画像を合わせた52,736枚をオリジナルデータベースとした。さらに、オリジナルデータベースの画像に対し、データオーグメンテーションを行った結果、1枚の画像が3枚水増しされ、210,944枚になった。これをオーグメンテーションデータベースとした。

表2. 音声種判別法の構築に用いられた音声ファイル数
Table2. Number of sound files used to create acoustic identification algorithm.

種名	ファイル数
チチブコウモリ	5
クビワコウモリ	40
キタクビワコウモリ	15
カグラコウモリ	20
クロオオアブラコウモリ	15
ユビナガコウモリ	40
リュウキュウユビナガコウモリ	23
テングコウモリ	72
リュウキュウテングコウモリ	41
コテングコウモリ	291
ノレンコウモリ	22
カグヤコウモリ	39
ヒメホオヒゲコウモリ	149
モモジロコウモリ	166
ドーベントンコウモリ	10
クロホオヒゲコウモリ	1
クロアカコウモリ	3
ヤンバルホオヒゲコウモリ	20
ヤマコウモリ	27
アブラコウモリ	100
ニホンウサギコウモリ	39
コキクガシラコウモリ	64
オリイコキクガシラコウモリ	6
キクガシラコウモリ	66
ヤエヤマコキクガシラコウモリ	21
スマイロオヒキコウモリ	8
ヒメヒナコウモリ	16
ヒナコウモリ	50

表3. 各種コウモリの音声ファイルからエコーロケーションパルスを検出し、得られた画像数

Table3. Number of pulse images created from sound files.

種名	ファイル数
チチブコウモリ	193
クビワコウモリ	968
キタクビワコウモリ	489
カグラコウモリ	242
クロオオアブラコウモリ	407
ユビナガコウモリ	1150
リュウキュウユビナガコウモリ	409
テングコウモリ	1348
リュウキュウテングコウモリ	771
コテングコウモリ	4851
ノレンコウモリ	413
カグヤコウモリ	1122
ヒメホオヒゲコウモリ	3718
モモジロコウモリ	9067
ドーベントコウモリ	45
クロホオヒゲコウモリ	13
クアアカコウモリ	98
ヤンバルホオヒゲコウモリ	769
ヤマコウモリ	504
アブラコウモリ	2311
ニホンウサギコウモリ	1441
コキクガシラコウモリ	603
オリイコキクガシラコウモリ	61
キクガシラコウモリ	1587
ヤエヤマコキクガシラコウモリ	472
スミイロオヒキコウモリ	122
ヒメヒナコウモリ	322
ヒナコウモリ	773

以上二つのデータベースを、MobileNetV1 に入力しそれぞれで学習を行い識別精度を検証した結果、オリジナルデータベースの平均 F-value が 92.7%、オーグメンテーションデータベースの平均 F-value が 95.4% と、データオーグメンテーションによって F-value が 2.7% 向上した (表 4)。また、種判別の一般的な精度であるノイズ以外の Overall accuracy では、オリジナルデータベースで 96.5%、オーグメンテーションデータベースで 98.1% と高い値を達成した。本研究では、28 種と多種を対象として種判別法を構築したにも関わらず、極めて高い判別率であった。これは、過去の研究例と比較しても、種数および判別率ともに大きく上回っている。本研究で用いた畳み込みニューラルネットワークがコウモリ類の音声種判別にとって有用であることを示すものである。

表4. MobileNetV1による学習後の各種の識別精度 (F-value)
 Table4. Identification accuracy after deep learning by MobileNetV1.

種名	F-value (%)	F-value (%)
	original	augmentation
チチブコウモリ	91.0	94.6
タビコウモリ	94.5	96.3
キタタビコウモリ	94.9	95.1
カグラコウモリ	97.5	99.0
クロオオアブラコウモリ	95.7	96.7
ユビナガコウモリ	93.9	96.7
リュウキュウユビナガコウモリ	96.3	97.4
テングコウモリ	92.6	96.4
リュウキュウテングコウモリ	94.5	96.1
コテングコウモリ	97.1	98.3
ノレンコウモリ	97.2	98.7
カグヤコウモリ	92.1	95.9
ヒメホオヒゲコウモリ	94.0	96.2
モモジロコウモリ	97.8	98.9
ドーベントンコウモリ	80.0	84.0
クロホオヒゲコウモリ	70.0	87.0
クアコウモリ	91.8	97.9
ヤンバルホオヒゲコウモリ	91.7	95.4
ヤマコウモリ	85.0	88.9
アブラコウモリ	96.6	98.2
ニホンウサギコウモリ	98.1	99.0
コキクガシラコウモリ	97.4	97.8
オレイコキクガシラコウモリ	92.0	94.8
キクガシラコウモリ	99.1	99.2
ヤエヤマコキクガシラコウモリ	96.7	97.7
スマイロオヒキコウモリ	89.3	90.2
ヒメヒナコウモリ	85.1	90.2
ヒナコウモリ	87.9	92.1
ノイズ	98.5	98.7
平均	92.7	95.4

一方で、種ごとの F-value を見ると、クロホオヒゲコウモリ（オリジナルデータベースで 70.0%、オーグメンテーションデータベースで 87.0%）、ドーベントンコウモリ（オリジナルデータベースで 80.0%、オーグメンテーションデータベースで 84.0%）、ヤマコウモリ（オリジナルデータベースで 85.0%、オーグメンテーションデータベースで 88.9%）など、実用化に耐えうる精度を達成していない種も見られた（表 4）。これらの種については、例えばクロホオヒゲコウモリやドーベントンコウモリのように、学習に使用した画像数が少なく、学習が十分でなかった可能性がある。今後、学習用データを増やしていく必要がある。こうした精度の低い種の中には北海道演習林に生息している種も複数含まれる。そのため、現時点では種までの判別を行うと誤判別の可能性が高いために、次項「3」の研究ではギルドまでの判別に止めることとした。

3. 森林施業とコウモリ類の活動量の関連性の評価

調査期間中に 12 箇所延べ 720 晩の音声モニタリングが行われた。この期間中に自動録音装置によって録音された音声ファイルは 162,921 ファイルであり、そのうちコウモリの音声記録されていたものは 70,438 ファイルであった。まず、ギルド分けをせずにコウモリ全体の活動量を森林タイプごとにみていくと、コウモリ全体の活動量は保存林、択伐林、二次林、人工林の順に高かった（図 4）。月ごとにみると、保存林では月による活動量の違いは見られなかった。一方で、択伐林と二次林では 8 月と 9 月に高くなる傾向が、人工林では 8 月に高くなる傾向が見られた。

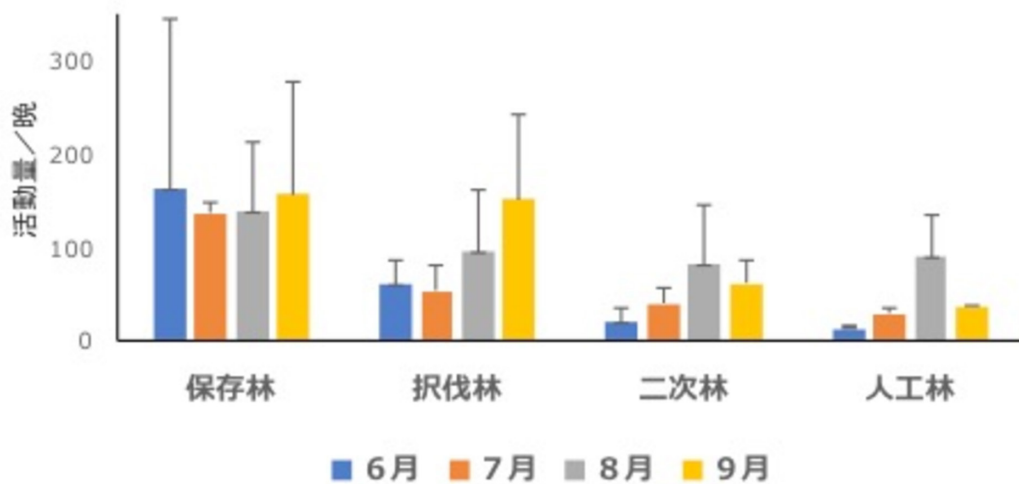


図4. 森林タイプごと、および月ごとのコウモリ全体の活動量
 Fig.4. Overall bat activities in each forest type and month.

次に、6月の結果について、採餌ギルドに分けた。その結果、全 31,541 ファイルのうち、ノイズを除いて最も多かったのがホオヒゲコウモリ属の 8,431 ファイル、次いでチチブコウモリの 3,425 ファイル、テングコウモリ属の 224 ファイル、ヒナコウモリもしくはヤマコウモリの 123 ファイルであった (表5)。そのほかのニホンウサギコウモリ、コキクガシラコウモリ、キクガシラコウモリは非常に少なかった。また、種不明のソーシャルコールが 21 ファイル見られた。ソーシャルコールとは、コウモリ同士のコミュニケーションに用いられる音声で、通常のエコーロケーションコールとは全く異なる構造を持ち、レパートリーも豊富である。ソーシャルコールに関する情報は極めて限られており、種あるいはギルドを判別するのは現時点では不可能である。

表5. 6月の各ギルドの活動量 (=録音された音声ファイル数)
 Table5. Bat activities of each guild in June.

ギルド名	個体数
チチブコウモリ	3,425
ホオヒゲコウモリ属	8,431
テングコウモリ属	224
ニホンウサギコウモリ	6
コキクガシラコウモリ	20
キクガシラコウモリ	3
ヒナコウモリ/ヤマコウモリ	123
種不明ソーシャルコール	21
ノイズ	19,288

次に、100 回以上の活動量があった 4 つのギルドについて、森林タイプごとの活動量を見てみると (図 5)、チチブコウモリでは択伐林で最も高く、次いで保存林と二次林で高く、人工林は最も低い傾向であった。一方、テングコウモリ属では、森林タイプ間の明瞭な違いは見られなかった。ホオヒゲコウモリ属、ヒナコウモリおよびヤマコウモリでは、保存林で最も活動量が高く、次いで択伐林で高く、二次林と人工林で最も低い傾向であった。

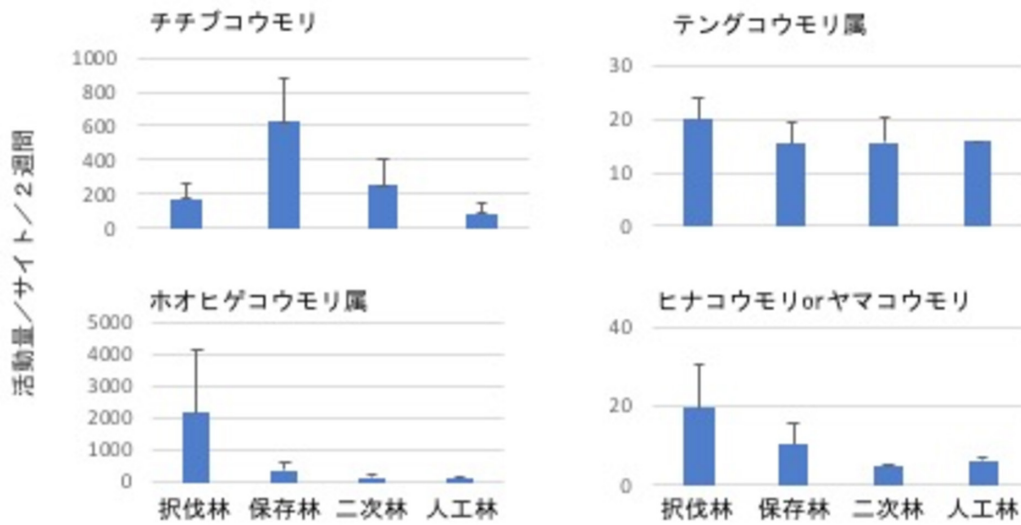


図5. 6月における、各ギルドの森林タイプごとの活動量
 Fig.5. Bat activities in each forest type in June.

本研究では、森林タイプに対する応答がギルドによって異なることが明らかになった。これは、各ギルドの採餌生態およびねぐら生態を反映していると考えられる。

まず、保存林と択伐林の活動量が二次林と人工林に比べて高かったホオヒゲコウモリ属であるが、研究1において北海道演習林での生息が確認されたホオヒゲコウモリ属は、ヒメホオヒゲコウモリ、カグヤコウモリ、モモジロコウモリ、ドーベントンコウモリである。これらのうち、ヒメホオヒゲコウモリとカグヤコウモリは主なねぐらが樹洞で、モモジロコウモリとドーベントンコウモリは主なねぐらが洞穴である (Ohdachi et al. 2015)。研究1における捕獲状況によると、洞穴性であるモモジロコウモリとドーベントンコウモリは、演習林のごく一部（農地との境界）で少数が捕獲されているのみで、大部分は樹洞性のヒメホオヒゲコウモリとカグヤコウモリである。つまり、北海道演習林内で飛翔しているホオヒゲ属コウモリの多くが樹洞性のヒメホオヒゲコウモリとカグヤコウモリであると考えられる。本研究においてホオヒゲコウモリ属の活動量が保存林と択伐林において高かった理由の一つは、ねぐら資源量であると考えられる。すなわち、保存林と択伐林では樹洞が形成されやすい大径木が多く残っており、これがホオヒゲコウモリ属にとって正の効果をもたらしていると考えられる。一方で、森林の物理的空間構造も活動量に影響を及ぼしている可能性がある。ヒメホオヒゲコウモリとカグヤコウモリはいずれも、翼の形態から林縁部を採餌空間として利用し、障害物の多い空間や開放空間はあまり利用しないと考えられる (Norberg and Rayner 1987, Fukui et al. 2011)。北海道演習林の保存林と択伐林は大径木が多く、林内の樹冠下に比較的広い空間が形成されているのが特徴である。対照的に、二次林や人工林では小径木が高密度で生えているためにこれら2種が飛翔可能な空間が少ない。その結果、活動量が低下しているものと考えられる。

次に、ホオヒゲコウモリ属同様に保存林と択伐林の活動量が二次林と人工林に比べて高かったヒナコウモリ/ヤマコウモリである。これら2種のコウモリは樹洞を主なねぐらとしている。ヒナコウモリは家屋をねぐらとすることも頻繁にあるが、調査地周辺で家屋にねぐらが見つかった例はない (Ohdachi et al. 2015)。つまり、保存林と択伐林では樹洞が形成されやすい大径木が多く残っており、これがホオヒゲコウモリ属同様にこれら2種にとって正の効果をもたらしていると考えられる。一方、これら2種は翼の形態から、障害物がない開放空間を飛翔すると予測されるため (Norberg and Rayner 1987, Fukui et al. 2011)、森林内部を利用することは少ないと考えられる。つまり、林冠上部の開放空間を飛翔しているため、森林の物理的空間構造については、これら2種については大きく影響しない可能性がある。

次に、森林タイプ間で違いの見られなかったテングコウモリ属であるが、北海道演習林だとコテングコウモリとテングコウモリが該当する。これら2種はいずれも、樹洞や樹皮下、枯葉や群葉内部といった、極めて多様な環境

をねぐらとして利用することが知られている (Ohdachi et al. 2015). また、翼の形態から、障害物の多い森林内部をたくみに飛翔すると予測される (Norberg and Rayner 1987, Fukui et al. 2011). つまり、これら2種にとってのねぐら資源は森林のタイプにかかわらず豊富に存在すると考えられる。くわえて、障害物の多い少ないにかかわらず、様々なタイプの森林内部を利用可能であると考えられる。したがって、これら2種は森林タイプによらず、様々な場所で活動が可能であるために今回の結果となったと推測される。

最後に、択伐林で最も活動量の高かったチブコウモリについてである。本種は、その生態がほとんどわかっていない種で、ねぐらの情報についても、本州ではトンネルで越冬している個体が少数見つかっている他、北海道では樹皮下で休息しているのが1例見つかっているのみである (Ohdachi et al. 2015)。翼の形態からは林内飛翔を行うと考えられる。このようなことから、なぜ択伐林での活動量が高かったのかについてはわからないが、本種の未解明の生態が影響を及ぼしている可能性は高い。今後、本種のねぐら生態など、生態学的研究を進めていく必要がある。

本研究によって、森林施業の結果もたらされる森林タイプの違いによってコウモリ類の活動量が変化することが明らかになった。さらに、その変化の仕方がコウモリ類のギルドによって異なることも明らかになった。つまり、活動しているコウモリ類の構成が森林施業の影響を受けるということである。今回対象とした択伐施業 (択伐林) と人工林施業 (人工林) および皆伐施業 (二次林) で考えると、保存林と比べた場合には全ての施業でコウモリに対する負の影響が見られたものの、択伐施業がもっとも影響が小さかった。つまり、北海道演習林で行われている天然林択伐施業が、野生動物に対する負荷が比較的小さい施業方法であることを示唆する。また、本研究によって、コウモリ群集が森林環境の指標として有効であり、コウモリが日本全国に分布していることから汎用性を有していることが示唆された。

今後の展望

本研究の中で、現時点で未達成のものとして、1) 北海道演習林のコウモリ種を高精度で音声種判別するアルゴリズムの構築、2) 7~9月のギルドごとの森林タイプ間の活動量の違いを明らかにすること、3) 活動量に対して影響を及ぼすより詳細な環境変数 (施業方法、材積、樹木種数、樹木多様性、胸高断面積、平均樹高、標高、斜度、斜面方向: これらはすでに整備済み) の影響を評価する、ことが挙げられる。今後は、これらを達成するべく研究を続けていく。また、他の気候帯や森林施業を行っている場所で同様のモニタリングを行い、汎用性についてさらに検証していく。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、東京大学北海道演習林の教職員のご支援をいただいた。音声解析にあたっては、大阪大学・松井孝典助教のご支援をいただいた。深く感謝申し上げます。また、助成いただいた公益財団法人・旭硝子財団に深く感謝申し上げます。

引用文献

- [1] 環境省. 2018. 平成30年度版 環境白書 pp.320.
- [2] 林野庁. 2018. 平成30年度版 森林・林業白書 pp.326. 全国林業改良普及協会
- [3] D. Fukui, T. Hirao, M. Murakami and H. Hirakawa. 2011. *For. Ecol. Manage.*, 261(9): 1546–1552.
- [4] G. Jones, D. Jacobs, T. Kunz, M. Willig and P. Racey. 2009. *Endange. Species. Res.*, 8: 93–115.
- [5] U. Norberg and J. Rayner. 1987. *Phil. Tran. Roy. Soc. Lond. B*, 316(1179): 337–419.

- [6]S. D. Ohdachi, Y. Ishibashi, M. A. Iwasa, D. Fukui and T. Saitoh. 2015. The Wild Mammals of Japan, Second Edition. Shoukadoh Book Sellers and the Mammal Society of Japan, Kyoto.

本助成研究にかかわる成果

〔論文発表〕

1. 増田圭祐・松井孝典・福井大・福井健一・町村尚 2017. 機械学習法を用いたエコーロケーションコールによるコウモリの種判別. 哺乳類科学, 57: 19–33.

〔口頭／ポスター発表〕

1. 増田圭祐・松井孝典・福井大・町村尚：畳み込みニューラルネットワークを用いたエコーロケーションコールによるコウモリの種判別. 2017年度人工知能学会全国大会, ウィンクあいち, 2017年5月
2. 増田圭祐, 松井孝典, 福井大, 町村尚: Deep Convolutional Neural Network を用いたコウモリ種判別システムの開発と音声モニタリングへの応用. 日本生態学会第65回全国大会, 札幌コンベンションセンター, 2018年3月