音声認識技術を用いたオオタカの 生息有無と繁殖段階の簡易判定法の試作

上野 裕介^{1,2}・栗原 正夫³

¹正会員 元 国土交通省 国土技術政策総合研究所 緑化生態研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)

²正会員 東邦大学 理学部 (〒274-8510 千葉県船橋市三山2-2-1)

E-mail: yusuke.ueno22@gmail.com

³正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 緑化生態研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)

E-mail: ryokaseitai@nilim.go.jp

各種の建設事業や自然環境調査において、猛禽類の生息状況が調査されている。猛禽類の調査は、目視観察や現地踏査といった膨大な調査努力量が必要な調査が行われる一方、発見漏れ等の課題もある。そこで本研究では、簡易に猛禽類の現地調査を行うための技術開発を目的として、オオタカ *Accipiter gentilis* を対象に、音声認識を用いた生息判定技術の開発を試みた。まず、巣内ビデオの記録データからオオタカの鳴き声を抽出した。次に、鳴き声を計5パターン（警戒、餌乞、交尾、雛、幼鳥）に分類し、決定木分析によるオオタカの音声の自動判別モデルを構築した。その結果、構築したオオタカの音声判別モデルの正答率は、同一地区内では約87%であり、モデルを他地区に適用した場合も約65%と高い値を示した。

Key Words : rare raptors, sound analysis, environmental conservation, road project, Goshawk

1. はじめに

道路や河川、ダム、発電所などの建設事業に伴う環境アセスメントや各種の自然環境調査において、猛禽類の生息状況が調査されている¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。この理由として、国内に生息する猛禽類の多くが、国や都道府県のレッドデータブックに記載の希少種であり、かつ地域の自然環境の豊かさを示す象徴種⁵⁾⁶⁾であることが挙げられる。

猛禽類の生息状況調査では、大きく2つの確認が重要になる。第1に、個体の生息有無の確認である。前述の環境アセスメントでは、希少猛禽類が生息する場所は環境保全措置（猛禽類の生息に配慮した工事）の対象となり²⁾³⁾⁴⁾、自然環境調査では、豊かな生態系の指標⁶⁾となるからである。第2に、繁殖有無と雛の巣立ち有無の確認である。猛禽類の生息が確認され、特定の林を頻繁に利用している場合、その林で繁殖している可能性がある。巣や繁殖行動（交尾など）が確認された場合には、より手厚い環境保全措置が求められる²⁾³⁾⁴⁾。さらに猛禽類個体群の存続可能性の把握⁶⁾⁹⁾¹⁰⁾や環境保全措置の効果検証²⁾³⁾⁴⁾¹¹⁾のためには、無事に雛が巣立ったかどうかの情報も重要になる。

現在、これら猛禽類の生息有無や繁殖状況の調査では、

調査員による目視観察や現地踏査に大きく依存しているが²⁾³⁾⁴⁾、課題も多い。なぜなら目視観察や現地踏査は、明るく開けた場所では有効である一方、薄暗い時間帯や霧発生時の調査や、視界を遮るものが多い林内の調査などでは、著しく視認性が低下する。また希少猛禽類は、そもそも生息個体数が少ないため、限られた時間内での調査では遭遇確率が低く、発見漏れのリスクも高い。このため、新たな調査技術が求められている。

古くから鳥類学の分野では、鳴き声の声紋解析などの音声研究が蓄積されてきたが、それらを活用した野外調査の効率化はほとんど行われてこなかった。他方、近年の情報処理技術の急速な進歩に伴い、自動音声認識の技術も発展してきた¹²⁾¹³⁾。このため、新たな鳥類調査手法として、声紋解析と音声認識技術を組み合わせた「鳴き声による種判別技術」に注目が集まっている¹⁴⁾¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁷⁾¹⁸⁾。しかし、これまでに提案された種判別手法は研究によって様々であり、かつ判別精度を高めるためにニューラルネットワークやディープラーニング（深層学習）などの高度な解析手法や高額な録音機材を必要とするため¹⁴⁾¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁷⁾¹⁸⁾、音声解析の専門家以外には扱いづらいという課題がある。さらに、ワシタカ類などの希少猛禽類を対象とした種判別技術に関する既往研究がないため、既往知

見を基に改良することもできない。このため、自然環境調査の現場で必要とされる、音声解析の専門家以外も利用可能な「より簡易な調査技術の開発」につながっていない。

そこで本研究では、効率的かつ効果的に猛禽類の現地調査を行うための技術開発を目的として、希少猛禽類の1種であるオオタカ *Accipiter gentilis* を対象に、音声認識を用いたオオタカの生息・繁殖判定技術の開発を試みることにした。なお本研究で目指したオオタカの生息判定技術は、前述のような従来型の種判別技術に比べ、いくつかの点で簡略化をはかっている。まず、対象はオオタカの音声に特化しており、オオタカと他の鳥種や環境音との判別ができれば良い。このため、前述のような高度な種判別技術の開発に必要な各鳥種の音声サンプルが不要となる。次に、開発の目的は、長時間の録音データの中からオオタカの鳴き声と思われる部分を自動抽出し、生息の有無と繁殖状況の簡易判別を行うことにある。この際、すべての鳴き声を漏らさず抽出する必要はなく、人が聞いて判断可能な明瞭な音声を抽出できれば良い。なぜなら環境アセスメントや各種の自然環境調査で必要とされる情報は、オオタカの生息有無と繁殖状況の確認^{2,3,4)}であり、これらの確認には、長時間の録音データの中から録音状態の良い鳴き声が含まれる箇所を機械的に絞り込むことができれば、技術開発の目的は達成できるからである。この録音状態の良い鳴き声を経験豊かな調査員が聴取することで、従来は長時間のテープ起こしが必要であった作業が、大幅に省力化される。

2. 材料と方法

(1) 対象種

本研究では、音声解析のモデルケースとしてオオタカを対象とした。これは、オオタカが環境アセスメントにおいて全国で最も多く環境保全措置の対象となっている猛禽類であり¹⁾、身近な里山を象徴する種でもあるからである⁵⁾。

オオタカは、カラスほどの大きさのタカ類で、北半球の広範囲（およそ北緯70度から24度付近）に分布する⁶⁾。平地から丘陵地を主な生息場とし、農耕地や河原等の開けた環境や、森林、集落がモザイク状に存在する環境を好む⁶⁾。主に鳥類や小型哺乳類を餌とし、森林と開放地の境界部分を餌動物の捕獲場所として選択的に利用する⁶⁾。また樹上に営巣し、営巣林のサイズは数haの孤立林から大面積林まで様々である⁶⁾。

(2) 音声判別

音声判別は、大きく5つのステップで実施した。まず、

解析およびモデルの構築に使用する音声データを入手し、入手した音声データからホワイトノイズ等を除いた有意な録音部位を抽出した。次に、抽出された音声からパターンマッチングによってオオタカの鳴き声と思われる部位を抽出し、聞き取りによって鳴き声のパターン別（警戒、餌乞、交尾、雛、幼鳥）に分類した。さらに、分類した各パターンについて鳴き声の特徴（音声学的な特徴量）を分析し、これらの特徴量を指標として決定木分析によってオオタカの音声判別モデルを作成した。最後に、音声判別モデルの精度検証を行った。

a) 音声データの入手と解析用の音声フレームの抽出

オオタカの音声判別モデルの構築に使用する音源は、2010年と2011年、2014年に、関東地方の平野部2地区（以下、地区1、地区2）にある営巣地において、巢上にCCDカメラとマイクロフォンを設置し、繁殖期を通じて録画・録音したものを使用した。この音声データは、それぞれ3年分のべ1,988時間（地区1）と1,694時間（地区2）のデータである。なお録音には、地区によって異なる機器を用いたため、音声データの諸元が異なっている（地区1：圧縮形式 MP2、サンプリング周波数 48,000 Hz、ビットレート 224,000 bps、チャンネル数 2；地区2：圧縮形式 ADPCM、サンプリング周波数 8,000 Hz、ビットレート 32,000 bps、チャンネル数 1）。

入手した膨大な音声データから効率的に鳴き声と思われる部位を抽出するために、スペクトルエントロピー（式(1)）を算出し¹³⁾、これを基に解析の最小単位となる音声データ（以下、“音声フレーム”という）の抽出を行った。スペクトルエントロピーとは、ホワイトノイズ等の均一な信号では高い値となり、有意な音声等の不均一な信号では低い値となる指標のことである。

$$H = - \sum_{k=M}^N p_k \log_2 p_k, p_k = \frac{S_k}{\sum_{i=M}^N S_i} \quad \cdots (1)$$

ここで、 H ：スペクトルエントロピー

p_k ： k 番目の周波数のパワーの存在確率

S_k ： k 番目の周波数のパワー、

M, N ：周波数の下限値、上限値

抽出では、前後1秒間の平均値を閾値とし、閾値以上の音声フレーム、計4,831,126個（地区1：2,932,916個、地区2：1,898,210個）を抽出した。なお、音声フレームの開始条件は、音声の継続時間が3秒以上、音声フレームの終了条件は、雑音の継続時間が1秒以上とした。サンプリング周期は、地区によって録音時のサンプリング周波数が異なるため、地区1ではサンプリング周期が1/48000 Sec.、地区2では1/8000 Sec.である。

表-1 オオタカの鳴き声のパターン

種別	声パターン	備考
警戒	ケッケッケッ	主に成鳥のオス
餌乞	クアイクアイー	主に成鳥のメス
交尾	クェーククェーク (オス)	オス、メスの鳴き声
	キャッキャッキャッ (メス)	が重なり合う
幼鳥	キッキッキッ/フィアー	警戒や餌乞に近いが、より高音
ヒナ	クィークィー/ビービー	鳴く機会は少ない

一方、本項で抽出した音声フレームには、オオタカ以外の音声も多数含まれる。そこで、次項ではオオタカの鳴き声の抽出を行う。

b) オオタカの鳴き声の抽出とパターン分類

まず切り出した各地区の音声フレームの一部を、ランダムにビデオデータの映像を確認しつつ聴取し、オオタカの行動と繁殖ステージ別に、成鳥による「警戒」「餌乞」「交尾」時の鳴き声と、「雛」および「幼鳥」による鳴き声の計5パターンに分類し(表-1)、パターンごとに1つずつのパターンテンプレートを用意した。これらの分類は、オオタカの調査・観察経験が豊富な熟練者(調査員)が実施した。なお、本研究で言う“雛(ヒナ)”と“幼鳥”の違いは、雛が巣内育雛期の前半⁸⁾(孵化後3~4週頃までの白い綿羽が残る時期)であるのに対し、幼鳥は巣内育雛期の後半⁹⁾(同4週頃~巣立ちまでの茶色い幼羽に覆われた時期)である。これらの区分は、巣内観察ビデオの映像から、孵化後の日数と成長段階をもとに判断した。なおパターンテンプレートとして、あらかじめ5分類した音声フレームを用いたのは、オオタカの鳴き声が分類間で大きく異なるため、ひと塊のパターンテンプレートとすることが不適切と考えたためである。

次に、5分類した鳴き声データをパターンテンプレートとして、未聴取の音声フレーム計4,831,126個について、DP (Dynamic Programming) マッチング法を用いたパターンマッチングを行い、オオタカの鳴き声に似た音声を抽出し、5つのパターンに分類した。これらのDPマッチングでは、判定基準(距離の閾値)を一律に定めず、最小距離付近のものを抽出した。この抽出した音声フレームについて、オオタカの調査員が鳴き声のパターン分類ご

とに、およそ750フレームをランダムに聴取し、その中から鳴き声が明瞭な数個~10数個のフレームについて鳴き声のパターンを判定した。この際、音声から明瞭に判断できるものを除き、すべてビデオデータから映像と音声を確認する方法を採用した。このようにしてパターン分類が確定した音声フレームについて、分類ごとに各周波数の強度を平均した「平均周波数分布」を計算し、これをパターンテンプレートとした。これを用いて、再び全音声フレームを対象に、DPマッチングと聴取による鳴き声のパターン分類、パターンテンプレートを更新を繰り返した。結果的に、DPマッチングによって18,503個(抽出率0.4%，地区1：6,531個，地区2：11,971個)の音声フレームを抽出し、鳴き声のパターン分類ごとの音声フレーム数が、それぞれ10個以上(計1,338個，地区1：487個，地区2：851個)になった段階で、繰り返し作業を終了した。

c) オオタカの鳴き声の特徴分析

鳴き声の特徴として、鳴き方と音域の2つに着目した。

まず、鳴き方とは、オオタカの鳴き声のうち、有音区間と無音区間の長さで配列で表される(図-1)。そこで各音声フレームから、単位時間当たりの有音区間の回数(本研究では、“音声ユニット数”という)と単位時間当たりの有音区間の長さ(本研究では、“音声ユニット率”という)を計算した。音声ユニット数と音声ユニット率の計算式は、それぞれ下記の式(2)、式(3)で表される。

$$N = \frac{m}{T} \quad \dots (2)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^m \Delta t_i}{T} \quad , \quad \dots (3)$$

ここで、 N ：音声ユニット数、 R ：音声ユニット率、 T ：音声フレーム時間(秒)

Δt_i ： i 番目の音声ユニット時間(秒)、

m ：音声フレーム内の音声ユニット数

次に、音域とは、音声に含まれる周波数帯のことである。本調査地におけるオオタカは、周囲の環境音よりも高周波の音域で鳴く特徴があったため、オオタカ音声の特徴としてピーク周波数を抽出することとした。抽出は、解析の最小単位である音声フレームごとに行い、ピークの高い順に3つの周波数の値を計算した。ここでいうピーク周波数とは、FFT(高速フーリエ変換)を用いて周波数別データに分解することで得られるものであり、本研究では地区1(録音時のサンプリング周波数 48 kHz)については基本周波数が93.75 Hz、地区2(録音時のサン

図-1 音声ユニット数と音声ユニット率の考え方。
縦軸は音圧、横軸は鳴き声の継続時間

プリング周波数 8 kHz) については基本周波数が15.625 Hzであるため、これらの間隔でピークが現れる。また本研究では、フラットな音声データ（フィルターを通していないデータ）を使用しており、実際の分析対象である1～4 kHzの範囲は、概ね平坦な周波数レスポンス（Z特性）を示した。なお分析の結果、ピーク周波数が1 kHz以下の音声については雑音（ノイズ）であったため、ピーク周波数が1 kHz以下の音声フレームについては、以後の解析から除外した。

d) 決定木分析と音声判別モデルの構築

オオタカの音声の自動判別するモデルを開発するために、判別基準となる閾値を、機械学習を用いた判別分析の一つである決定木分析¹⁹⁾によって求めた。決定木分析は、地区1と地区2のそれぞれについて実施することとし、目的変数には、鳴き声の5つのパターン（警戒、餌乞、交尾、雛、幼鳥）を用いた。また説明変数には、音声ユニット率と音声ユニット数、周波数ピークの上位3つまでの値を用い、分割基準にはジニ係数を用いた。

これら決定木分析による音声判別モデルの構築に用いる学習データ（Training data）には、前述のb) で用意した鳴き声のパターンごとの音声フレーム計1338個の中から、そのおよそ半数を用いた。残りの半数については、構築した音声判別モデルの検証データ（Test data）として、次項 e) で音声判別モデルの判別精度の検証に使用することとした（地区1：学習データ 244個、検証データ 243個、地区2：同 427個、同 424個）。

これら決定木分析には、統計解析用のフリーソフト“R ver. 3.1.3”²⁰⁾と、解析パッケージ“rpart”中の関数“prune”を用い、複雑度（cp）が0.01～0.02となるように樹木の剪定を行った。

e) 音声判別モデルの判別精度の検証

決定木分析によって構築した音声判別モデルの判別精度は、交差検定によって評価した。具体的には、まず、学習データを用いて地区毎に構築した音声判別モデルを用いて、同一地区の検証データに適用し、分類結果の一致・不一致を調べ、正答率（accuracy）を計算した（式（4））。同様に、一方の地区で構築したモデルを、他地区のデータに適用し、地区間での正答率も調べた。これら正答率を基に、構築した音声判別モデルの判別精度を調べた。

$$r = \frac{m^*}{m} \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 r ：正答率

m^* ：モデルの分類と種別の一致数

m ：検証データ数

3. 結果

(1) オオタカのパターン別の鳴き声

ビデオデータを用いた音声の聞き取りと映像の確認によって、オオタカの鳴き声を、警戒、餌乞、交尾、雛、幼鳥の5種類に分類し、特徴的な鳴き声のサンプルについて、音声解析上の特徴を整理した（図-2）。その結果、波形、ソノグラム（声紋）ともに、明瞭にパターンが異なっていた。警戒時の鳴き声は、短く高周波の音声が断続的に表れていた。餌乞と幼鳥、雛（ヒナ）の声は、いずれも長音が特徴で、ソノグラムも比較的似ていたが、音声間の間隔などに違いがあった。交尾時の鳴き声は、ここに挙げたいずれも特徴が異なり、中程度の長さの音声連続的に見られた。

(2) 決定木分析

学習データを用いて決定木分析を行い、オオタカの音声判別モデルの判別条件と閾値を求めた（図-3）。その結果、解析に用いた学習データを最も良く分割する説明変数（判別条件）は、地区1、地区2ともに音声ユニット数であった。閾値は、地区1が1.9、地区2が2.1であり、よく似た値であった。第2段階での判別条件は、地区1が、ピーク周波数の最大値（1位）と音声ユニット数であり、地区2は同じくピーク周波数の最大値と音声ユニット率であった。第3段階以降の判別条件は、地区によって多少異なっていたものの、最も重要な上位の判別条件は共通していることがわかった。

(3) 音声判別の結果の検証

学習データ用いて構築したモデルを、同一地区の検証データに適用した結果、地区1の正答率は87.7%，地区2は86.8%であり、いずれも高い正答率を示した。次に、判別モデルを他地区のデータに適用した結果、地区1のモデルは地区2のデータの65.2%を正確に判別できたのに対し、地区2のモデルは地区1のデータの68.3%を正確に判別できた。

さらに鳴き声のパターンごとに、正答数の違いを整理した結果、いずれの組み合わせについても、判別精度は良かった（表-2）

4. 考察

本研究では、環境影響評価等において調査事例の多いオオタカを対象に、音声解析を用いて簡易に生息判定と繁殖段階の推定を行う判別モデルの開発を試みた。その結果、長時間の音声データから、機械的にオオタカの音声抽出することができ、かつモデルによる判別精度も

同一地区で87%，他地区であっても65%程度の正答率であることが分かった。これらの判別精度は、技術面では、巣内観察ビデオから抽出した圧縮処理済みの音声を用いざるを得なかったこと（本来、音声解析に供する場合は無圧縮が望ましい¹⁵⁾）、マイクの周波数特性も地区により異なっていたことを考慮すると、比較的高い正答率であると言える。また実用面では、現地調査において簡易な方法で機械的にオオタカの音声を抽出・判別できることを考えれば、これらの正答率は実用的な水準を満たしているといえるだろう。

以下、今後の活用可能性と課題について考察する。

a) 活用可能性

本研究の結果、機械的な抽出と人による聞き取りを組み合わせることで、オオタカの生息判定（在・不在）と繁殖段階の推定を省力化できる可能性があることが分かった。これまでの音声認識を用いた鳥類の生息調査法は、多くの鳥の種の判別を行うことを目的に開発が進められており^{14) 15) 16) 17)}、本研究のように単一種を対象に、かつ繁殖段階の推定まで行った例は、知られていない。本研究では、巣内ビデオの映像を活用することができたため、行動内容や、孵化後の日数を正確に知ることがで

図-2 オオタカの音声種別ごとの波形とソノグラムの例

(1) 地区 1

(2) 地区 2

図-3 オオタカ音声判別モデル (決定木分析の結果)

表-2 モデルの検証結果（正答率）

表中の数字は検証したデータ数。太字かつアスタリスクのついた数字が、正しく判別できていたもの。

(1) 地区1での検証

種別		判別モデル					計
		警戒	餌乞	交尾	幼鳥	ヒナ	
聴取	警戒	73*	0	1	0	0	74
	餌乞	3	133*	0	6	0	142
	交尾	3	3	10*	2	0	18
	幼鳥	1	22	0	205*	2	230
	ヒナ	0	0	0	19	4*	23

(2) 地区2での検証

種別		判別モデル					計
		警戒	餌乞	交尾	幼鳥	ヒナ	
聴取	警戒	37*	1	1	0	3	42
	餌乞	2	62*	4	31	0	99
	交尾	2	0	18*	2	1	23
	幼鳥	1	13	4	610*	4	632
	ヒナ	4	2	3	34	12*	55

きた。行動内容や雛の成長段階によってオオタカの鳴き方が異なることは、経験豊富な多くの調査者が知るところであるが、それが音声認識技術を通じて裏付けられ（図-2）、判別モデルによって機械的に判定できることがわかったことの意義は大きい。

開発事業における環境影響評価などの実用面の利点としては、この技術を活用することにより、人手をかけずにオオタカの繁殖段階の調査が可能となることが挙げられる。例えば、オオタカの生息が予想される林に、ICレコーダー等の録音機器を数日から1週間程度設置し、その後、回収した録音データからオオタカの鳴き声を自動で抽出したり、巢内での行動や雛の成長段階を確認することができる。この技術により、生息有無が判明していない地域での、初期簡易調査や、前年の繁殖地において今年も繁殖が行われるかどうかを繁殖期のごく初期（巣作りの初期）に把握するといった調査が可能となる。他方、その判別精度や録音条件等の技術的課題については、検証が不十分である。次項 b) で詳述したように、技術的課題や適用条件を明らかにし、調査に役立つ技術にしていく必要がある。

今後は、本研究で得られた技術を基に、オオタカと同じ猛禽類であるクマタカや、サシバ、ミサゴ、ハチクマ⁶⁾⁷⁾等についても判別モデルを作成し、それらを組み合わせることで、他種も含めた識別が可能となるだろう。また、夜行性の鳥類のように目視調査により得られる情報が少ない種（フクロウ類等）の調査へ発展させる²⁰⁾ことも可能だろう。

b) 今後の課題

他方、本技術には検証すべき課題もある。

第1に、本研究における判別モデルは、関東地方の平野部の2か所の巢内ビデオの音源を用いたものであり、他地域での適用にあたっては検証がなされていない。各地のオオタカの音声データを蓄積し、新たなデータを追加することでオオタカの音声判別モデルの精度向上を図ることが重要である。

第2に、最適な録音方法（機材や音声の記録様式）や録音時期について明らかにする必要がある。機材や記録様式、騒音/静穏環境の違いによって判別精度や発見漏れのリスクがどの程度変化するのか、また本研究のような巢直近のマイクではなく、林内に設置したマイクであっても同様の精度で判別可能なのか、さらにオオタカが鳴いた地点からどのくらいの距離までが解析上の許容範囲であるのか、などについて検証が必要である。また、調査に適した時期を明らかにすることで、営巣林への無用な立ち入りを減らし、繁殖への影響を最小限にとどめながらの調査が可能になるだろう。

第3に、モデルの判別精度の問題がある。本研究ではより簡易な手法を志向し、解析手法も判別基準が数値で示される決定木分析を採用した。一方、さらなる判別精度や汎化性能の向上を求めるには、近年、急速に発展している機械学習などの解析手法を用いる必要があるだろう。深層学習（ディープラーニング）やサポートベクターマシン（SVM）などの、より高度な解析手法を用いることで、地域や録音条件によらない汎化性能の高い判別モデルの構築につながるかもしれない。

5. 結論

猛禽類調査では、これまで多くの労力を投下して、定点踏査や林内踏査が実施されてきた¹¹⁾。他方、限られた予算や時間内の現地調査では、個体や巣の発見漏れのリスクが増大する恐れもある。このような課題認識の下、効率的、効果的な現地調査の実施に寄与すべく、調査対象地周辺で録音した音声データからオオタカの音を機械的・統計的に抽出し、自動的かつ簡易に猛禽類（オオタカ）の生息判定を行う技術について検討した。

本研究では、巢内ビデオの映像を活用することができたため、行動内容や雛の成長段階によってオオタカの鳴き方が異なることを、音声認識技術を通じて裏付けることができた（図-2）。このような鳴き方の違いは、経験的には、オオタカに限らず多くの鳥類で知られており、本研究で用いたアプローチを他種に援用することも可能だろう。鳥類は、様々な生態系において環境の健全度を測る指標種として用いられており、多くの地点で専門家や野鳥愛好家による観察と記録が続けられている。したがって、本研究のような簡便な判定手法が普及することで、国内外の自然環境の把握をより効率的に行うことができるようになる。本研究で示した技術的アプローチをさらに改良することで、将来的に自然環境調査に従事する方々を支援する強力な調査ツールとなることを願っている。

謝辞：オオタカの音声の収集にご協力頂いた国土交通省関東地方整備局ならびに国土技術政策総合研究所の皆様にご挨拶申し上げます。また、音声解析に関して技術的見地からご助言・協力いただいた(株)福山コンサルタントの長谷川啓一氏、(株)オリエンタルコンサルタンツの岩見聡氏、皆川克志氏、原稿の修正にあたり具体的なお指摘、有益なお示唆をいただいた3名の匿名査読者に感謝いたします。

参考文献

- 1) 環境アセスメント学会 編：環境アセスメント学の基礎，恒星社厚生閣，東京，pp.234，2013。
- 2) 環境省自然環境局野生生物課：猛禽類保護の進め方（改訂版）- 特にイヌワシ，クマタカ，オオタカについて -，環境省自然環境局，88pp，2012。
- 3) 環境省自然環境局野生生物課：サシバ保護の進め方，環境省自然環境局，30pp，2013。
- 4) 栗原正夫，上野裕介，松江正彦，園田陽一・井上隆司・山本裕一郎・角湯克典・曾根真理：道路環境影響評価の技術手法「13. 動物，植物，生態系」，国土技術政策総合研究所資料 第714号，pp.605-725，

国土技術政策総合研究所，2013。

- 5) 亀山章：オオタカ保護問題と動物観：ランドスケープ研究，Vol.77, No.4, pp.294-297, 2014。
- 6) Bird, D. M. and Bildstein K. L. (山崎亨監訳)：猛禽類学，pp.417-427，文永堂出版，2010。
- 7) 森岡照明・叶内拓哉・川田隆・山形則夫：日本のワシタカ類，文一総合出版，東京，pp.632，1995。
- 8) 尾崎研一，遠藤孝一（編著）：オオタカの生態と保全—その個体群保全に向けて—，社団法人日本森林技術協会，148pp，2008。
- 9) 金井裕：オオタカ *Accipiter gentilis fujiyamae* の生態と生息状況，ランドスケープ研究，Vol.77, No.4, pp.291-293，2014。
- 10) 内田博，高柳茂，鈴木伸，渡辺孝雄，石松康幸，田中功，青山信，中村博文，納見正明，中嶋英明，桜井正純：埼玉県中央部の丘陵地帯でのオオタカ *Accipiter gentilis* の生息状況と営巣特性，日本鳥学会誌，Vol.56, No.2, pp.131-140，2007。
- 11) 上野裕介・長谷川啓一・大城温・神田真由美・井上隆司・栗原正夫：メタ解析を用いた環境保全措置の効果検証：全国の道路事業での希少猛禽類3種の繁殖成否，土木学会論文集 G(環境)，Vol.71, No.6号，pp. II_65-II_72，2015。
- 12) 城戸健一：音声認識の現状，電気学会誌，Vol. 92, No. 9, pp.25-28, 1972。
- 13) 石塚健太郎，藤本雅清，中谷智広：音声区間検出技術の最近の研究動向，日本音響学会誌，Vol.65, No.10号，pp.537-543，2009。
- 14) 東谷幸治・三田長久・牧野洋平：音声情報を用いたニューラルネットワークによる野鳥の種識別，電子情報通信学会総合大会講演論文集 2007年 情報・システム，vol. 146, No. 2, 2007。
- 15) 高橋幸司・三田長久・牧野洋平・岩崎祐介・シーパチャンカムケオ：野鳥の音声データの圧縮による種識別への影響の検討，情報科学技術フォーラム一般講演論文集，Vol. 6, No. 2, pp.333-334, 2007。
- 16) 牧野洋平・三田長久・岩崎祐介・高橋幸司・シーパチャンカムケオ：雑音の平均値を用いた長時間音声からの野鳥の鳴き声の抽出，情報科学技術フォーラム一般講演論文集，Vol. 6, No. 2, pp.331-332, 2007。
- 17) 澁谷尚志・横田康成：ハシボソガラスの鳴き声のスペクトログラム解析および検知，電気学会論文誌 C, 電子・情報・システム部門誌，Vol. 129, No. 12, pp.2144-2151, 2009。
- 18) Mielke, A. and Zuberbühler, K.: A method for automated individual, species and call type recognition in free-ranging animals, *Animal Behaviour*, Vol. 86, No. 2, pp. 475-482, 2013。
- 19) 下川敏雄・杉本知之・後藤昌司：樹木構造接近法，共立出版，東京，pp.214，2013。

- 20) R Development Core Team: R: A Language and Environment for Statistical Computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2015.
- 21) 植田睦之：森林の夜行性鳥類の効率的な調査時刻と録音による調査の可能性, Bird Research, Vol. 4, pp.T1-T8, 2008.

(2016. 3. 22 受付)

EXPERIMENTAL SIMPLE JUDGMENT BETWEEN EXISTENCE AND NON-EXISTENCE AND EVALUATION OF BREEDING STAGE OF GOSHAWK USING SOUND ANALYSIS

Yusuke UENO, Masao KURIHARA

Raptor was surveyed frequently in various construction projects and natural environment research. The investigation of raptors needs many experienced investigators and time. Thus, in this study, we try to develop the efficient survey method of raptors (Goshawk *Accipiter gentilis*) using sound analysis. First, we derived Goshawk's calls from the prerecorded video by camera on nests. Second, we built discriminant model to classify Goshawk's calls to five calls (i.e., alarm, begging, copulation, chick, unfledged bird).