

飼育ニホンザルおよびニホンジカにおける パラメトリックスピーカーを用いた音響刺激に対する反応

出口善隆^{1,*}・大谷洋介^{2,a}・鈴木貴久³・岩瀬孝司³・辻本恒徳³

¹ 岩手大学農学部, 岩手県盛岡市 020-8550

² 岩手大学大学院農学研究科, 岩手県盛岡市 020-8550

³ 盛岡市動物公園, 岩手県盛岡市 020-0803

現所属:^a 埼玉県教育委員会, 埼玉県さいたま市 330-9301

2018年3月19日受付, 2020年11月27日受理

要 約

音響刺激を用いた哺乳類に対する研究は、霊長類や産業動物を中心に様々な形で行われてきた。パラメトリックスピーカーは、特定の人やエリアに選択的に音声を提供することが可能である。本研究では野生動物による農作物被害防除および産業動物の省力的飼育管理への利用可能性を検討するために、パラメトリックスピーカーを用いて、音響刺激を飼育ニホンザルおよびニホンジカに対して聞かせ、その反応を調査した。ニホンザルでは3m地点において「幼獣の声」が「威嚇」に比べて、有意に反応の強さが大きかった。音響刺激を3 m地点から調査個体に向けて接近させた時、「闘争」が「威嚇」に比べて、有意に反応の強さが大きかった。ニホンジカでは3 m地点において「警戒」がそれ以外の「威嚇」、「縄張り」、「発情」、「母子」の音響刺激に比べて、有意に反応の強さが大きかった。ニホンザルおよびニホンジカに共通して、音響刺激を聞かせ始めた3 m地点での反応が最も強かった。しかし、音響刺激を聞かせ始めた3 m地点から近づけても、反応は低下した。以上から動物に対して音響刺激を与える場合、パラメトリックスピーカーは農作物被害防除および産業動物の省力的飼育管理に資する可能性が示された。

キーワード: 威嚇、音響刺激、警戒、展示動物、パラメトリックスピーカー

東北畜産学会報 70 (2): 37 ~ 42 2021

緒 言

聴覚は大気がある周波数の範囲内で、かつ、ある振幅の範囲内で振動する事により知覚する。すなわち、聴覚は空気の微弱振動に基づいて、脳中枢が創造する感覚である。哺乳類における周波数の可聴域は、ヒトでは概ね20 Hzから16 kHz、ネコでは100 Hzから40 kHz、コウ

モリでは数kHzから100 kHz以上と言われている (Fay, 1988)。つまり動物種によって聴くことの出来る音の周波数の範囲は異なり、可聴域外では「音」としての感覚はない (力丸, 1993)。

哺乳類の音声コミュニケーションの特徴としては、互いに混同されず、周囲を取り巻く他のすべての音から際立つよう明瞭で目立つこと、その音がどの種に属するとか、オスかメスかというような時間がたっても変わらない内容を伝えること、などが挙げられる (マクドナルド, 1986)。特に群れを保つ目的で鳴くとされるコネクトコールは多くの社会的動物で行われている (Bradbury と Vehrencamp, 1998)。霊長類は通常多様な

* 連絡者: 出口善隆 (でぐち よしたか)
(岩手大学農学部)
〒020-8550 岩手県盛岡市上田 3-18-8
Tel: 019-621-6194
E-mail: deguchi@iwate-u.ac.jp

社会的グループを組織し、そのグループ内の個体の行動は協調する (BradburyとVehrencamp, 1998)。いくつかの調査により、成体のサルが他の仲間に対して分離を妨げる時や、若い個体がその母親から引き離された時にコネクトコールが発せられるということが示されている。また、個体間距離や生息地の可視性、生息環境における雑音の大きさによってコネクトコールの頻度や周波数を変更していることから、その重要性が指摘されている (Kodaら, 2008; Brummら, 2004)。

これらの音声コミュニケーションを応用して、野生動物による農作物被害防除、産業動物飼育の省力化、展示動物に対する環境エンリッチメント等の研究が行われている。野生動物被害防除として、小野寺 (2012) は鹿笛の音響特性を解析し、鋭い指向性を持つパラメトリックスピーカーを用いた調査を行なった。これは防護柵と併用して用いることで防除の省力化と効率化を検討したものである。産業動物飼育の省力化としては、放牧中のウシに対して誘導や集畜を目的に音響誘導が行われている。これは家畜に対して音を聞かせながら嗜好性の高い濃厚飼料を給餌して、連合学習による条件付けを行なった後、自ら音源の方向へと移動させる技術である (圓通, 1993)。環境エンリッチメントとしては、Wellsら (2006) による動物園のウエストローランドゴリラ (*Gorilla gorilla gorilla*) に対する調査がある。これは音楽やウエストローランドゴリラの野生下における環境音などを聴かせることによる影響を調べることを目的に行われ、音楽を聞くことによってストレスを感じた時に見られる行動の出現割合が減少するなどの効果が現れた。

このように、音響刺激を用いた哺乳類に対する研究は霊長類や産業動物を中心に様々な形で行われてきた。特に対象動物の聴覚特性や生態を考慮した音響刺激を用いた研究の多くは一定の効果がみられている。今後更にこれらを発展させることによって、産業動物の音響誘導や非殺傷的な農作物被害防除法開発の助けとなることが期待される。

一般に用いられているダイナミック型スピーカー (加銅ら, 1976) はスピーカー本体から放射状に音を出す形式である。しかし、ダイナミック型スピーカーは、音そのものに動きを持たせることや、特定個体に対してのみ音響刺激を届けることは出来ない。それに対してパラメトリックスピーカーは特定の人やエリアに選択的に音声情報を提供することが可能であり、広範囲な分野への応用が期待されている (鎌倉, 2007)。パラメトリックスピーカーは搬送波である超音波の性質により非常に指向性が鋭く、光に近い性質を持った音を発生することが出来るスピーカーである (菊澤, 2012)。

パラメトリックスピーカーの仕組みとしては、空気のは非線形性により生じる仮想的な音源効果を利用している。2つの周波数の異なる超音波を同時に放射し、重ね合わせると伝搬過程で波形が歪み、差周波数音が可聴音となり得られる。例えば、40 kHzと42 kHzの2つの周波数の超音波を同時に放射すると、差周波数音である2 kHzの音が可聴音となり生成される。同時に、結合音や高調波も発生するが、超音波帯域のため、差周波数のみが可聴音として聞こえる。パラメトリックスピーカーでは超音波をオーディオ等の信号波で振幅変調し空気中に放射することにより、この現象を起こしている。つまり、パラメトリックスピーカーで任意の情報を再生する場合、基準周波数を40 kHz、情報となる信号波をaとすると (40+a) kHzの周波数を生成する必要がある (大木, 2008)。

このようなパラメトリックスピーカーの特徴を利用すれば、哺乳類の音声コミュニケーションを応用した、野生動物による農作物被害防除を行うことが可能と考えられる。さらに、個体ごとの音響誘導学習など産業動物飼育管理の省力化、展示動物に対する環境エンリッチメントへの応用等、様々な分野において通常のスピーカーよりも大きな効果を得られる可能性がある。

そこで本研究では、野生動物による農作物被害防除および産業動物の省力的飼育管理へのパラメトリックスピーカーの利用の可能性を検討することを目的に試験を行った。日本在来種の展示動物に、パラメトリックスピーカーを用いて音響刺激を提示し、その反応を調査し効果を検討した。

材料および方法

1. 対象動物

対象動物としてニホンザル (*Macaca fuscate*) とニホンジカ (*Cervus nippon*) を使用した。両種とも盛岡市動物公園の屋外展示場で飼育されていた。ニホンザルは5個体 (オス2頭、メス2頭、幼獣1頭)、ニホンジカは4個体 (メス4頭) を対象とした。

2. 調査地

調査地は、盛岡市動物公園内の各動物屋外放飼場とした。ニホンザルの放飼場は、中心に人工の岩場が設置されていた。来園者との間に高低差があり、来園者は高い所から観察出来るようになっていた。ニホンジカの放飼場は斜面にあるため、観覧通路から奥に向かって上り傾斜となり、数本の木が植えられていた。また、屋内放飼場も併設しており、ニホンジカが自由に出入りできるよ

うになっていた。

3. 音響装置

音響機器のうち、スピーカーとしてパラメトリックスピーカー（一関工業高等専門学校機械工学科 佐藤清忠研究室制作）を使用し、再生装置としてMP-3プレイヤー（Apple社製 iPod nano）を用いた。

4. 音響刺激

ニホンザルに用いた音響刺激は、ニホンザルが姿の見えない仲間と存在を確認しあう際の鳴き声である「クーコール」（ヤクザル調査隊公式サイト（京都嵐山にて録音）よりダウンロード）、「幼獣の声」（同上）、闘争の時の鳴き声（同上、以下「闘争」とする）、威嚇する声（同上、以下「威嚇」とする）を使用した。ニホンジカに用いた音響刺激は、「警戒する声」（財団法人 奈良の鹿愛護団体HP（奈良公園にて録音）よりダウンロード、以下「警戒」とする）、威嚇する声（同上、以下「威嚇」とする）、「縄張りを主張する声」（同上、以下「縄張り」とする）、「発情期のオスの鳴き声」（同上、以下「発情雄」とする）、子鹿を呼ぶメスの鳴き声（同上、以下「母子」とする）を使用した。音響刺激の音量はパラメトリックスピーカー本体から10 m離れた地点に音を出し、そこから横に3 m離れた場所で人間がはっきりと音を認識できる音量とした。

5. 調査期間および調査方法

調査は2011年11月に週1回、来園者による影響を考慮し、休園日である水曜日の午前中に計5回行った。ニ

ホンザルに対しては「クーコール」、「幼獣の声」、「闘争」、「威嚇」を、ニホンジカに対しては「警戒」、「威嚇」、「縄張り」、「発情雄」、「母子」を、それぞれ調査日によってアトランダムな順番で音響刺激を提示し、動物の反応を記録した。

対象個体から3 m、2 m、1 mおよび0 mの各地点に音響刺激を提示し、各地点での個体ごとの反応を記録した。音響刺激を提示する順は、3 m、2 m、1 m、0 mの順とした。各地点で対象個体に音響刺激を提示する時間は30秒間とした。反応があった場合、非活動状態になるのを待ち、次の地点の調査を行った。音響刺激を聞いて音源から離れる、もしくは近づくような行動を示した場合、離れた地点で非活動状態になるのを待ち、その地点から再び調査を行った。反応がない場合は、約10秒の間隔をおいて、次の地点の調査を行った（定点提示：図1a）。また、対象個体から3 mの地点に提示した音響刺激を対象個体に向けて接近（秒速約50 cm）させ、反応があった場合、行動を記録した。対象個体が移動を伴う行動を行った場合は、それ以上は音を近づけなかった（音響接近：図1b）。調査は各個体に対して1日1回とした。対象動物に音響刺激を提示するのは非活動中（休息中等）とした。

6. 評価方法

行動の評価は、音響刺激を提示しても何の反応も示さなかった場合を「反応0」、音響刺激に反応するものの、顔をあげる、耳を動かす等を行うが音源探索を行わない反応を「反応I」、音響刺激によって辺りを見回す、音源の方向へ顔を向ける等の音源探索を行うが移動をと

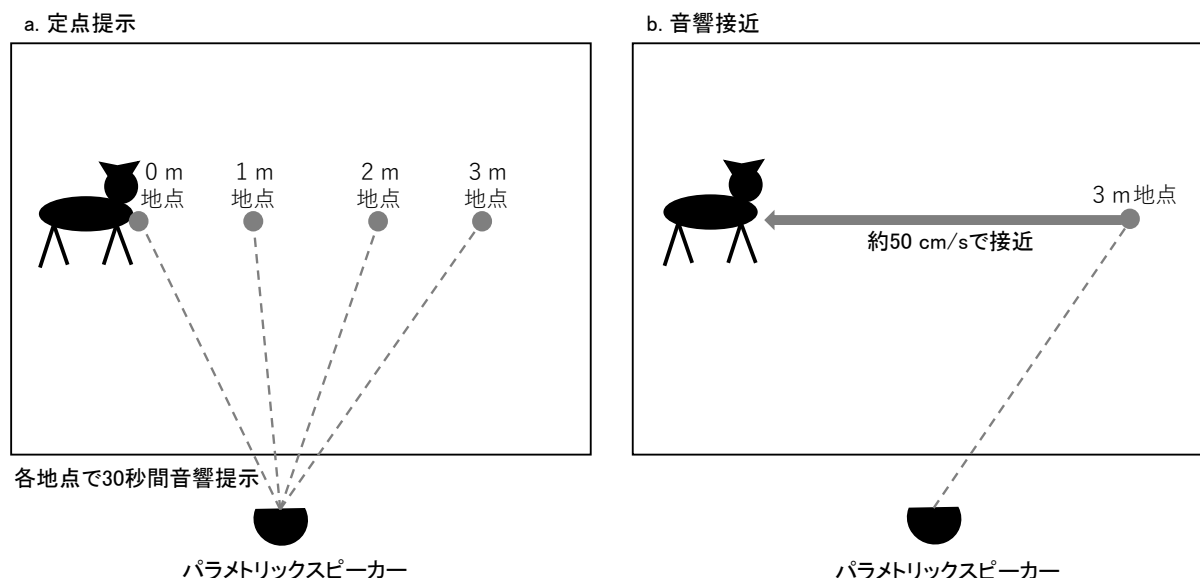


図1. 音響の定点提示および音響接近方法の模式図

なわない反応を「反応Ⅱ」、音響刺激によってその場から動く、逃げる等の移動をともしなう反応や、音響刺激を耳にして鳴き返す等の反応を示した場合を「反応Ⅲ」とした。

動物種別に各音響刺激に対する地点毎の反応の強さを反応Ⅰでは0、反応Ⅱでは1、反応Ⅲでは2、反応Ⅳでは3と数値化した。各地点の音響刺激に対する反応の強さについてKruskal-Wallis検定後、Stell Dwass検定による全群比較を行った。

結 果

いずれの種においても、パラメトリックスピーカーから発する音響刺激により、群全体ではなく、特定の個体における特定の距離から発せられる音響刺激に対する反応を観察することが可能であった。各動物種の音響刺激に対する反応の強さを表1および表2に示した。ニホンザル（表1）では、3 m地点において「幼獣の声」が「威嚇」に比べて有意に反応の強さが大きかった（ $P < 0.05$ ）。2 m地点、1 m地点および0 m地点においては有意な差はなかった。音響接近において「闘争」が「威嚇」に比べて有意に反応の強さが大きかった（ P

< 0.05 ）。

ニホンジカ（表2）では、3 m地点において「警戒」がそれ以外の音響刺激に比べて有意に反応の強さが大きかった（ $P < 0.05$ ）。2 m地点、1 m地点、0 m地点および音響接近においては有意な差はなかった。

考 察

パラメトリックスピーカーでは、結合音や高調波が発生する（大木, 2008）。結合音や高調波が動物の行動に影響を与える可能性も考えられたが、ニホンザルおよびニホンジカを含む5種の展示動物に、飼育員の足音を模した「長靴の足音」を音響刺激として提示したところ、ほとんど何の反応も示さなかった（大谷, 未発表）。日常的に聞き慣れた「長靴の足音」に反応を示さなかったことから、発生した結合音や高調波は動物の行動に影響を与えなかったと考えられた。

ニホンザルでは、3 m地点において「幼獣の声」が、音響接近において「闘争」が「威嚇」に比べて有意に反応の強さが大きかった。「幼獣の声」に強い反応を示したのは主にメスだった。音響接近では「闘争」に強い反応を示した。3 m地点と音響接近で、強く反応した音響

表1. ニホンザルにおける地点毎の音響刺激に対する反応の強さ

	クーコール	幼獣の声	闘争	威嚇
3 m 地点 *	2.0 ± 0.7 ab	2.0 ± 0 a	1.8 ± 0.4 ab	0.8 ± 0.4 b
2 m 地点 *	1.0 ± 0.7	0.6 ± 0.9	0.6 ± 0.5	0
1 m 地点 *	1.6 ± 1.5	0	0.6 ± 0.5	0
0 m 地点 *	1.6 ± 1.1	0	0.6 ± 0.5	0
音響接近 **	1.2 ± 1.3 ab	0.8 ± 1.1 ab	2.0 ± 1.0 a	0 b

平均値 ± 標準偏差

*: 各地点で 30 秒間音響を提示

** : 約 50 cm/s で音響を接近

ab : 同行異文字間に有意差あり ($P < 0.05$)

反応の強さ 0 : 音響刺激を受けても何の反応も示さない

反応の強さ 1 : 音響刺激により顔を上げる、耳を動かす等の反応

反応の強さ 2 : 音響刺激を受けて音源探索等を行うが移動をともしなわない反応

反応の強さ 3 : 音響刺激を受けて音源から逃げる、音源に近づく等の反応

表2. ニホンジカにおける地点毎の音響刺激に対する反応の強さ

	警戒	威嚇	縄張り	発情雄	母子
3 m 地点 *	2.0 ± 0 a	1.0 ± 0 b	1.0 ± 0 b	1.0 ± 0 b	1.0 ± 0.8 b
2 m 地点 *	1.8 ± 1.0	0.8 ± 0.5	0.5 ± 0.6	1.0 ± 0	0.8 ± 0.5
1 m 地点 *	1.0 ± 0	0.5 ± 0.6	0.5 ± 0.6	0.8 ± 0.5	0.8 ± 0.5
0 m 地点 *	1.0 ± 0	0.5 ± 0.6	0.5 ± 0.6	0.5 ± 0.6	0.8 ± 0.5
音響接近 **	1.0 ± 0	0.5 ± 0.6	0.5 ± 0.6	0.5 ± 0.6	0.8 ± 0.5

平均値 ± 標準偏差

*: 各地点で 30 秒間音響を提示

** : 約 50 cm/s で音響を接近

ab : 同行異文字間に有意差あり ($P < 0.05$)

反応の強さ 0 : 音響刺激を受けても何の反応も示さない

反応の強さ 1 : 音響刺激により顔を上げる、耳を動かす等の反応

反応の強さ 2 : 音響刺激を受けて音源探索等を行うが移動をともしなわない反応

反応の強さ 3 : 音響刺激を受けて音源から逃げる、音源に近づく等の反応

刺激が異なる原因は、本研究からは特定できなかった。

ニホンジカでは3 m地点で「警戒」がそれ以外の音響刺激に比べて有意に反応の強さが大きかった。これは、「警戒」は他の音響刺激よりも、生命に関わる緊急性が高い場合に発せられることが多いためと考えられる。また、調査期間がニホンジカの繁殖期だったことから、「母子」に対して反応が弱かったと考えられる。「発情雄」に対する反応の強さはメス個体の発情の有無に左右されると考えられる。調査日の発情の有無は不明であった。

音響接近ではニホンザルおよびニホンジカに共通して、音響刺激を最初に提示した地点（3 m地点）での反応が最も強かったことから、音響刺激を最初に聞いた時には強い反応を示すが、その音響刺激に応じた視覚情報が得られない時（威嚇の声はするが、威嚇している個体の姿はないなど）は、すぐに音響刺激に慣れて反応が弱まる可能性が示唆された。発情や子育て時期などの生態を考慮した音響刺激を用いることにより、反応を発現させる可能性が示唆されたが、それを有効に利用するには、音響刺激に応じた視覚情報の提示などの工夫が必要と考えられる。

パラメトリックスピーカーを用いた調査においては、対象種の生態、対象個体の生育環境や、調査時の辺りの音響情報など、様々な要因を考慮しての調査が求められる。これらの要因を考慮した上で、動物に対して音響刺激を与える場合、パラメトリックスピーカーは、農作物被害防除および産業動物の省力的飼育管理に資する可能性が示された。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、調査機材を提供して下さいった佐藤清忠氏、一関工業高等専門学校機械工学科佐藤研究室の皆様に深く感謝申し上げます。

引用文献

- Bradbury JW, Vehrencamp SL. Principles of animal communication. Sunderland, MA: Sinauer. 1998.
- Brumm H, Voss K, Kollmer I, Todt D. Acoustic communication in noise: regulation of call characteristics in a New World monkey. J. Exp. Biol., 207:443-448. 2004.
- 圓通茂喜. 滞牧による草生変化が音で放牧牛を誘導するときの食餌性条件反応に及ぼす影響. 家畜管理研究会誌, 29:47-53. 1993.
- Fay RR. Hearing in Vertebrates: A Psychophysics Databook

- Hill-Fay, Winnetka. 1988.
- 加銅鉄平, 藤本正熙, 島田公明. 現代オーディオ技術・基礎からリスニングルームまで, 23-25. オーム社. 東京. 1976.
- 鎌倉友男. 超音波領域における聴覚閾値-パラメトリックスピーカーを話題に-. 超音波暴露調査研究会, 1-9. 2007.
- 菊澤 広. 野生動物被害防護装置の性能評価に関する研究. 特別研究論文集平成24年度一関工業高等専門学校, 37-44. 2012.
- Koda H, Shimooka Y, Sugiura H. Effects of Caller Activity and Habitat Visibility on Contact Call Rate of Wild Japanese Macaques (*Macaca fuscata*). Am. J. Primatol., 70:1055-1063. 2008.
- マクドナルド DW. 動物大百科16: 動物の行動. 68-75. 平凡社. 東京. 1986.
- 小野寺彦之. 野生動物被害防護手法に関する研究開発. 特別研究論文集平成24年度一関工業高等専門学校, 23-30. 2012.
- 大木成文. パラメトリックスピーカーによる防災誘導の向上. 法政大学. 修士論文. 2008.
- 力丸 裕. 哺乳類の音感覚. 日本音響学会誌49:43-64. 1993.
- Wells DL, Coleman D, Challis MG. A note on the effect of auditory stimulation on the behaviour and welfare of zoo-housed gorillas. Appl. anim. bahav. Sci., 100:527-332. 2006.
- ヤクザル調査隊. 2004年. ヤクザル調査隊公式サイト. 京都; 2011.7.3. <http://www11.atpages.jp/yakuzaru/voice.htm>
- 財団法人奈良の鹿愛護会. 財団法人奈良の鹿愛護会 HP. 奈良; 2011.10.27. <http://naradeer.com/prof-ecology.htm>

Reaction to sound stimulation using the parametric speaker on captive Japanese macaque and sika deer

Yoshitaka DEGUCHI¹, Yousuke OHTANI^{2a}, Takahisa SUZUKI³
Takashi IWASE³, Tsunenori TSUJIMOTO³

¹Faculty of Agriculture, Iwate University, Morioka, Iwate, 020-8550, Japan

²Graduate School of Agriculture, Iwate University, Morioka, Iwate, 020-8550, Japan

³Morioka zoological park, Morioka, Iwate, 020-0803, Japan

^aPresent address: Board of Education of Saitama Prefecture, 330-9301, Japan

Corresponding : Yoshitaka DEGUCHI

(fax: +81 (0) 19-621-6107, e-mail: deguchi@iwate-u.ac.jp)

Summary

The study of mammals with sound stimulation has been used on the primates and the farmed animals. The parametric speaker can provide sounds selectively for a specific creature and for an area. In this study, we sent sound stimulations to captive Japanese macaque and sika deer by using the parametric speaker and then we investigated the reaction to the sounds. We considered whether the parametric speaker was suitable for the control crop damage by wildlife and labor-saving management of livestock. The reaction level of the sound stimulation of “the voice of the baby macaque” was higher than that of “the voice of the threat” in Japanese macaques at a 3 m spot. When the sound stimulation was approached to animals from a point of 3 m, the reaction level of the sound stimulation of “the voice of the fight” was higher than that of “the voice of the threat” in Japanese macaques. The reaction level of the sound stimulation of “the voice of the alert” was higher than other “the intimidating voice”, “the territorial voice”, “the mating call of the male deer” and “the voice of a female deer calling calf” in sika deer at a 3 m spot. The reaction level of the sound stimulation at the spot where the sound began to be sent was highest in both species. However, the response decreased when the sound stimulation was approached to the animal from a point of 3 m. It was shown that parametric speakers have a potential to contribute to crop damage control by wildlife and labor-saving management of livestock.

key words: alert, parametric speaker, sound stimulation, threat, zoo animal