

忌避音による鹿接触事故防止技術の開発

志村 稔* 潮木 知良* 池畑 政輝*

Development of a Deterring Sound for the Prevention of Deer-Train Collisions

Minoru SHIMURA Tomoyoshi USHIOGI Masateru IKEHATA

Deer-train collisions have become a serious problem in Japan. It was observed that deer went into a track from the gaps of fences or level crossings along the tracks. To keep deer away from tracks, we have invented a deterring sound and investigated its effectiveness. It consists of a deer alarm call and vocalization of a dog. It is observed that playing back the deterring sound against deer being around a track made them run away immediately. According to a survey on the frequency of the observation of deer, playing back of the deterring sound from a train resulted in a 45% reduction of the frequency with which deer were observed every 100 km of train operation. It has been revealed that the deterring sound will be an effective method for the prevention of deer-train collisions.

キーワード：鹿，警戒声，忌避音

1. はじめに

鉄道車両と鹿の接触事故が増えている。これに対して鉄道会社では、様々な鹿対策を試行している。現在試行されている対策は、沿線への鹿侵入防止柵の設置、鹿の線路侵入をセンサーで検知しライトの点滅によって運転士に知らせる方法、鹿が嫌がることされるにおいを発する忌避剤を沿線に設置または散布する方法等の物理的な手法や、運転士の鹿目撃情報に基づいて徐行区間を設置する方法、接触事故実績に基づいて余裕時分を設定する等の列車ダイヤ上の工夫などがある。これまでの研究で、沿線への柵の設置が接触事故防止に対して有効であること、余裕時分の設定が列車遅延を緩和する効果があること¹⁾を確認している。しかしながら、鹿の急激な増加や生息域の拡大²⁾に対応することは容易なことではなく、事故件数を十分に抑えることが出来ていない状況である。

このような現状の中、鹿対策をより効果的にするためには、まず鹿の習性や行動特性を明らかにすることが重要である。そこで、特に線路周辺の鹿の行動調査のために、鹿が出没する場所にセンサーカメラを設置して行動観察を行った。

一方、鉄道以外では、自動車とエゾシカとの事故防止対策として鹿警戒声などの音を利用する研究が行われている³⁾。野生個体に対して走行中の自動車から警戒声を吹鳴する試験より、鹿の警戒心を喚起し、道路進入を抑制する効果があることが示唆されている。

このような鹿警戒声の効果については、著者らも飼養鹿や野生鹿に警戒声を吹鳴する試験を行い、鹿が警戒体勢を取ることを確認した⁴⁾。この結果を踏まえると、鹿警戒声は鹿の注意を喚起するため、鉄道車両接近時に吹鳴することによって、鹿が速やかに車両を認識することが期待される。ただし、事故防止の観点からは、鹿に車両接近を認識・警戒させるだけではなく、さらに、線路から遠ざかるよう行動を起こさせることが望まれる。そこで、鹿に警戒させた上で線路から鹿を遠ざけることを目的とした音声（忌避音）を考案し、その効果を検証するための試験を行い、線路から鹿を遠ざける効果があることを確認した。

本報告では、線路周辺の鹿の行動観察結果と考案した忌避音について報告する。

2. 沿線における鹿の行動観察

鉄道沿線における鹿の行動特性を知るために、A区間（営業線複線区間）において行動観察を行った（図1）。この区間では図に示すように、線路の片側には中間部の擁壁を挟んで柵が設置されているが、反対側には柵が設置されていない。この柵や電柱にセンサーカメラを設置して鹿の行動観察を行った。

その結果、図中の白矢印で示したように、柵の途切れた場所あるいは擁壁と柵の隙間から線路に侵入する鹿が確認された。ニホンジカを用いた試験では、0歳鹿では15cm、成獣でも17.5cmの隙間があると侵入できることが確認されている⁵⁾。今回の観察で鹿の侵入した隙間を

* 人間科学研究部 生物工学研究室

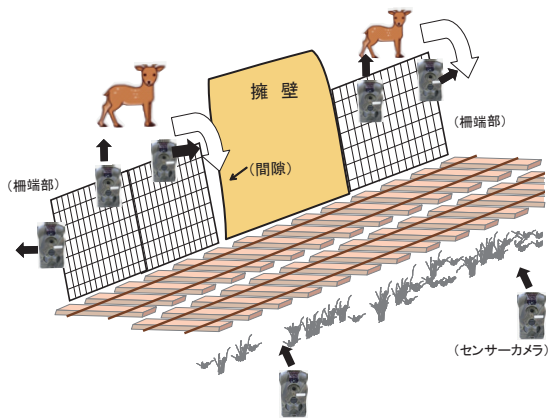


図1 観察区間の模式図

センサーカメラの撮影方向（黒矢印）と撮影結果より推測される鹿の移動経路（白矢印）

極力小さくする対策を講じることによって、柵による鹿侵入防止効果が向上すると考える。

一方、柵の中間部では鹿が線路侵入をあきらめて引き返す様子が撮影され、侵入防止の機能を果たしていることが確認された。同様の効果は、道路沿線に設置された鹿侵入防止柵でも確認され、道路の横断頻度の低下が報告されている⁶⁾。

また、農業被害の防止対策として柵の設置が進められているが、鹿は移動中に柵に遭遇すると、柵に沿って移動して、開口部から田畑に侵入することが報告されてい

る⁷⁾。開口部は極力なくすことが望ましいが、道路による開口部を廃止することは非現実的であり、柵設置の効果を向上させるためには対応策が重要である。鉄道においては、踏切等の柵開口部の対策が重要であるが、現状では有効な対策がない。自動車や歩行者の通行を妨げない対策が要求されているが、忌避音等の音を利用した技術はこの様な箇所への適応の可能性がある。

3. 鉄道車両からの鹿の行動観察

鉄道車両が接近したときに鹿がどのような行動を取るのか、鹿がどのような状況下で列車と接触するののかについて観察した結果は既に報告した⁸⁾。その内容を簡潔にまとめると、列車先頭部から鹿の行動観察を行い、157回鹿を観察した。鹿を発見したときの鹿の位置とその後の行動に基づき、鹿の行動を8種類に分類した(図2)。鹿を発見した時に列車と衝突することが予想される危険性の高い位置にいた事例が全体の2割で、衝突の危険性が低い位置にいた事例が8割を占めた。

列車接近時の鹿の行動については、映像の分析より、鹿は接近する列車を認識し、その後、①線路から離れるように走り去る、②線路内を列車進行方向に逃走する、③列車の前を横断するように逃走する等の行動を取ることを確認した。

接触事故に至った行動は、①立ちすくみ、②線路内逃

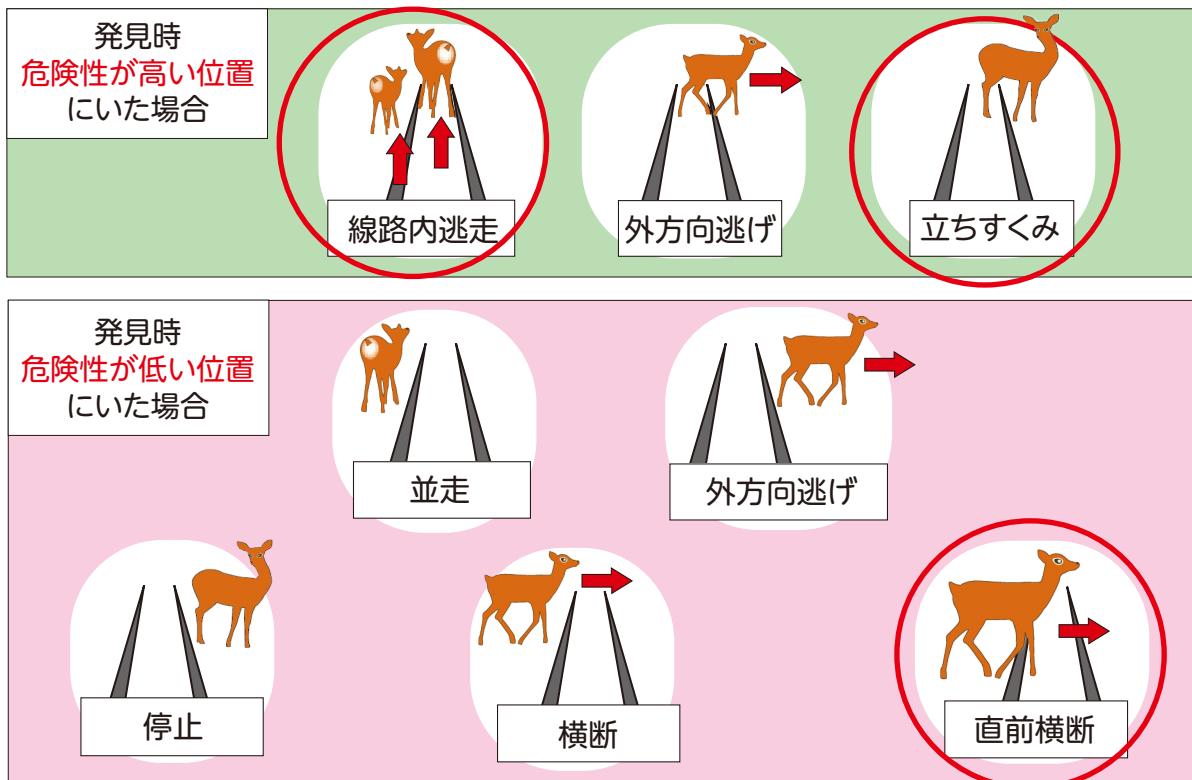


図2 列車に対する鹿の行動分類

走、③直前横断のいずれかであった（図2赤丸で示す）。接触事故防止のためには、これらの行動を抑制する対策が重要である。

4. 鹿警戒声を利用した忌避音の開発

鹿は仲間との情報交換に声を使用し、危険を知らせる警戒声（ピャツという音声）を含めて13種類の音声を使い分けている⁹⁾。警戒声は危険と結びつけて学習されており、鹿接触事故防止対策に利用した場合、繰り返しの使用にも慣れが生じにくいと考えられる。また、多くの声は繁殖期だけに使用されるのに対し、警戒声は1年中使用されているので、年間を通じて効果が期待できる。そこで、警戒声の効果を沿線において確認した。

4.1 鹿警戒声の効果検証

2章の鹿の行動観察より、鹿は柵と構造物との隙間や踏切などの柵開口部から線路に侵入した。そこで、鹿が接近したときに鹿警戒声が発せられるようにセンサー付の音声再生装置を柵終端部に設置し、吹鳴時の様子をセンサーカメラで観察した。

図3に示すような柵開口部を試験場所として観察を行った。試験期間中に2回鹿が撮影され、2回ともに音声再生装置が作動して警戒声が発せられたことをビデオから確認した。その画像を解析した結果、警戒声が発せられたのにも関わらず、鹿は線路に侵入していた。そのうち1回は、鹿が線路に侵入することをいったんは躊躇したが、結果的には侵入した。

この結果より、警戒声には、事故防止対策としては十分とはいえないが、鹿の動きを一時的に抑止する（躊躇させる）効果があることが分かった。しかしながら、警戒声だけでは逃走するまでには至らず、更なる工夫を追加する必要があると考えられた。

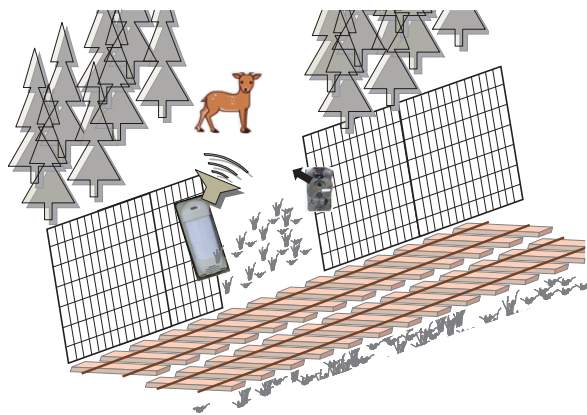


図3 試験場所の模式図

柵端部にセンサーカメラと忌避音装置を設置して観察

4.2 忌避音の考案

前節の結果を受け、警戒声吹鳴後に何らかの刺激を追加することによって、鹿の移動を促すことを考えた。追加する刺激にも音を採用した。候補としては、爆音、サイレンが挙げたが、鹿が直ぐに慣れてしまうという報告¹⁰⁾があることを鑑み、鹿が犬を嫌うという習性を利用し、鹿警戒声と犬の咆哮を組み合わせて忌避音とした。また、鉄道の現場において実際に利用することを想定した場合には、人工的な音よりは自然音である鹿警戒声や犬の咆哮を使用することが好ましいと考えた。

今回使用したエゾシカの警戒声は、基本周波数がおよそ2090Hzでその倍音が確認された（図4）。これは既に報告のあるニホンジカ警戒声と同様の構造であった⁹⁾。犬の咆哮に関しては、警戒声のようなはっきりした倍音の構成はなく、幅広い周波数から成る音である。

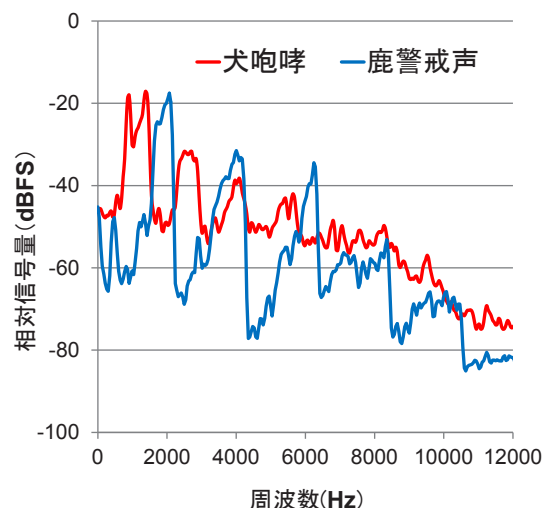


図4 忌避音に用いた警戒声と犬咆哮のスペクトル

5. 忌避音の効果検証

忌避音の効果を確認するための試験を線路沿線で、地上での吹鳴と、鉄道車両からの吹鳴の二通り実施した。忌避音は、鹿警戒声の後に犬の咆哮が続く構成で、地上における吹鳴試験では3秒間の警戒声に5秒間の犬咆哮が続く8秒間の構成とした。一方、車両からの吹鳴試験では3秒間の警戒声におよそ20秒の犬咆哮が続く構成とした。

5.1 柵開口部における忌避音吹鳴

警戒声の試験を行った同じ場所（図3）で、センサー付の音声再生装置を用いて、忌避音（鹿警戒声の後に犬の咆哮を組み合わせた音）の吹鳴試験を実施した。

試験期間中に6回、柵開口部に接近する鹿が観察された。そのうち2回は忌避音により逃げ去る様子（図5）、1回は柵開口部を避けて線路と平行に移動する様子が観

特集：安全の人間科学



図5 忌避音装置に対する鹿の反応
警戒しながら近づいてきた後(①)、急に逃げ去る様子(②～④)が撮影された(高感度撮影のため、鹿の動きが速い②～④では輪郭が不明瞭になっている)。

察された。残りの3回は忌避音装置が作動しなかったために効果の確認が出来なかったが、警戒声と犬の咆哮を組み合わせることで線路への侵入を抑制する効果が得られたと考える。

5.2 列車からの忌避音吹鳴

忌避音の効果を確認するために、列車から忌避音を吹鳴し、沿線の鹿の行動を観察した。具体的には、鹿との接触事故件数が多いB区間(営業線単線区間)を走行する列車にスピーカーを設置し、忌避音を吹鳴しながら走行する試験を行った(以下、走行試験)。この区間は、冬期の積雪により柵が被害を受けやすいことから、忌避音の再生装置を地上に設置するよりも列車に設置する対策が有効だと考えられた。

走行試験の実施に当たっては、基本的には事故の発生が多い区間において忌避音を吹鳴する計画をしたが、周辺住民や鉄道利用者への影響がないように、民家等が近接する場所と駅では吹鳴しないこととした。更に、鉄道沿線にいた鹿が忌避音によって逃走し、道路に侵入することを予防するために、道路が並走する区間や踏切近傍も吹鳴しないこととした。この結果、55kmの吹鳴区間を設定した。

列車から忌避音を吹鳴するために、列車前頭部にスピーカーを仮設した。忌避音装置の操作は、助手席側で試験員が行った。忌避音は予め設定した区間内で連続的に再生した。再生音量は、普通騒音計(リオン:NL-21)で測定し、スピーカーから1mでおおよそ90dBとなるように調節した。

忌避音吹鳴に対する鹿の行動を観察するために、列車前方窓ガラスにCCDカメラを設置して撮影を行った。

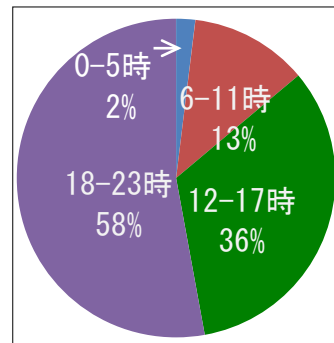
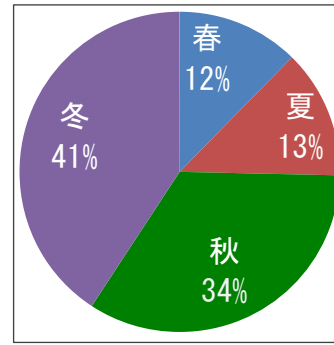


図6 B区間における鹿接触事故発生の季節割合(上)と時間帯割合(下)
(北海道庁発表資料より作成)

同時に、試験員は目視による観察を行い、記録用紙に鹿の行動と目撃回数を記録した。なお、忌避音による試験の効果を検証するための比較対象として、忌避音を吹鳴しない条件(通常走行)での観察もあわせて行った。

走行試験は、図6に示したように、B区間で事故の発生が比較的多い、冬期の夕方から深夜にかけて行った。具体的には、平成28年1月と2月に、通常走行(1月26日～27日)、走行試験(2月2日～4日)、通常走行(2月16日～17日)、走行試験(22日～25日)の順番で交互に行った。試験回数は、通常走行では12試番、走行試験では20試番、それぞれ行った。

走行試験は合計7日間実施し、忌避音を吹鳴しながら走行した区間(吹鳴区間)の走行距離は合計1100kmだった。一方、吹鳴していない通常走行試験は合計4日間実施し、吹鳴区間の走行距離は660kmだった。この間に、走行試験において、吹鳴区間内で鹿を目撃した回数は82回だった(目撃回数は目撃した頭数にかかわらず1回とした)。通常走行では、同区間内で90回を目撃があった。走行距離当たりの鹿目撃回数を、 χ^2 検定で分析したところ、5%水準で有意な差があることが分かり、忌避音吹鳴の効果を確認することが出来た。また、列車走行距離100km当たりの目撃回数をそれぞれ求めたところ、通常走行では13.6回、走行試験では7.5回となり、走行試験では45%減少していることを確認した(図7)。

鹿の出没は、天候等自然環境に左右されることが知られているが、試験期間中の気象状況は比較的安定していた。また、忌避音を吹鳴しない区間における、列車走行距離 100km 当たりの目撃回数は、通常走行では 3.8 回、走行試験では 3.9 回とほぼ同じだったことから、走行試験における鹿目撃回数の減少は忌避音吹鳴が主要因であると考えられる。

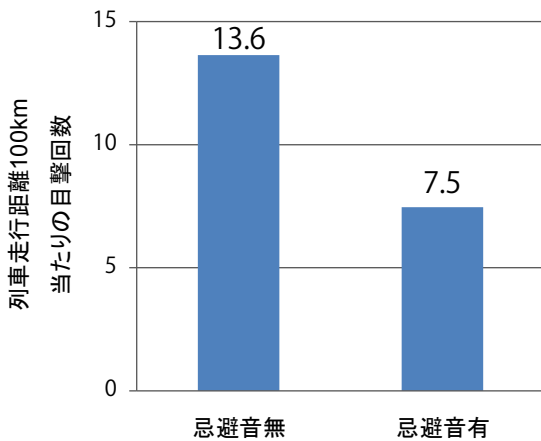


図7 忌避音による目撃回数の減少

5.3 忌避音吹鳴時の鹿の行動

忌避音吹鳴によって、鹿の目撃が減少するのは、忌避音を聴いた鹿が速やかに沿線から遠ざかるためだと考えられた。推測が正しければ、鹿発見時の距離に差が生じると考え、列車先頭部から撮影したビデオより、鹿を発見した際の列車と鹿との距離を算出した。

その結果、通常走行時の列車と鹿との平均距離は 45m (n=38)、走行試験時は 106m (n=22) だった (図8)。忌避音走行時は通常走行時と比較して鹿までの距離が2倍以上あり、忌避音の鹿を列車接近前に線路近傍から遠ざける効果が示唆された。

5.4 考察

エゾシカと自動車との事故防止対策の基礎研究として、走行中の自動車から野生のエゾシカに警戒声を吹鳴する試験が行われ、吹鳴しない通常走行時よりも有意に警戒行動を示す個体が増加することが報告されている¹¹⁾。その際、多くの個体が自動車との距離が 300m を切り、200m に達するまでの間に警戒行動を示した。この時の警戒声の音圧は、300m 離れた場所で 35dB、200m で 39dB と計算され、エゾシカはこの程度の音圧の警戒声を聞き取ることができることが示唆された。

列車からの忌避音吹鳴試験時には、1m で 90dB の音圧に設定したので、計算上、400m 離れた場所での音圧が 38dB と求められ、この範囲内にいる鹿は忌避音を聞

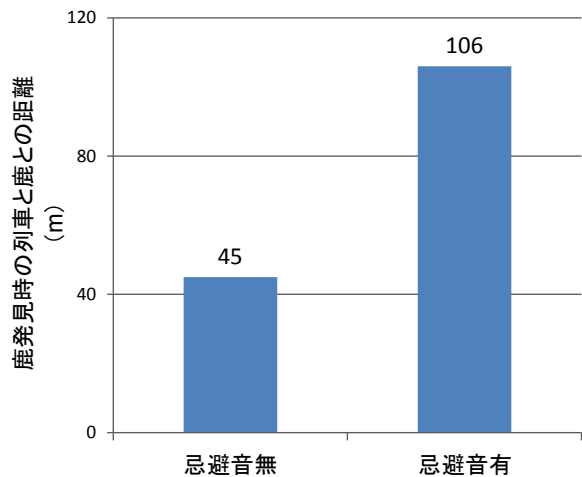


図8 鹿発見時の車両から鹿までの距離

き取ることができたと考える。実際には、線路の曲率や沿線の植生などの影響を受けてこの範囲は狭くなることが予想される。実環境下でどの程度の範囲まで効果があるのかは今後の検討課題である。

鹿の可聴域についての正確な調査はないが、ニホンジカの飼育個体に対する純音刺激試験の結果からは、100Hz ~ 50kHz までの周波数域を知覚している可能性が示された¹²⁾。また、エゾシカを用いた試験では、2kHz、7kHz、10kHz、15kHz の音刺激に対する警戒行動が確認されている¹³⁾。本研究で開発した忌避音は 16kHz までの音で構成され、ニホンジカ、エゾシカともに知覚可能であるため、双方に忌避効果が期待できると考える。生息地域や種による反応の違いについては今後検討してゆきたい。

6. まとめ

本研究では、鹿の習性を利用した事故防止対策の開発を試みた。鹿を線路から遠ざけることを目的として、鹿が仲間に危険を知らせる警戒声と鹿の嫌う犬の咆哮を組み合わせた忌避音を考案した。鉄道での利用を想定した環境下において、忌避音の効果検証試験を行った。具体的には、柵開口部に忌避音再生装置を設置して忌避音を吹鳴する方法および車両から忌避音を吹鳴する試験の2種類の方法を試した。その結果、柵開口部での忌避音鳴動によって逃走する鹿や線路への侵入を躊躇する鹿を確認した。また、列車から忌避音を吹鳴することによって、鹿の目撃回数が減少することを確認した。

これらの結果より、本研究で開発した忌避音の、鹿を線路から遠ざける効果が示された。これにより、鹿接触事故を防止する効果が期待される。

7. おわりに

これまでの研究で、沿線への柵の設置や余裕時分の設定は一定の効果があることを示した。今後はこれらの対策に加えて、忌避音を用いた新たな対策により、接触事故の更なる抑止を目指していきたい。また、野生動物は新たな対策に関して、早期に慣れてしまうことが問題であると指摘されることが多い。今回開発した忌避音に対して鹿がどのような慣れを示すのかは現段階では不明である。実用化に向け、慣れの回避策も含めた検証が必要である。

なお、本研究には一般社団法人北海道開発技術センターとの共同研究の内容を含む。

文 献

- 1) 武内陽子, 菊地史倫, 山内香奈: 動物接触事故時の列車運行乱れの定量的評価, 鉄道技術連合シンポジウム (J-Rail) 講演論文集 Vol.22, 2015
- 2) 環境省: 全国のニホンジカ及びイノシシの個体数推定等の結果について (平成 27 年度), <http://www.env.go.jp/press/102196.html>, (参照日: 2017 年 7 月 11 日)
- 3) 鹿野たか嶺, 野呂美沙子, 柳川久, 神馬強志: 音を用いたエゾシカの交通事故対策の検討 (中間報告), 野生生物と交通研究会, 第 6 回野生生物と交通研究会講演論文集, pp.83-88, 2007
- 4) 志村 稔, 潮木 知良, 京谷 隆, 中井 一馬, 早川 敏雄: 車両接近時の鹿の行動と音による行動制御の可能性, 鉄道総研報告, Vol.29, No.7, pp.45-50, 2015
- 5) 堂山 宗一郎, 江口 祐輔, 上田 弘則: シカにおける侵入可能な障害物の隙間サイズの検討, 日本家畜管理学会誌・応用動物行動学会誌, Vol. 52, No. 1, pp 70-70, 2016
- 6) (一社) エゾシカ協会, (一社) 北海道開発技術センター編: エゾシカの被害と対策, 2003
- 7) 大岩幸太, 藤田和宏, 鉄谷龍之, 小川 博, 安藤元一: 広域獣害防止柵の開口部がニホンジカ侵入防止に及ぼす影響, 東京農大農学集報, Vol. 59, No.1, pp21-28, 2014
- 8) 志村 稔, 潮木 知良, 京谷 隆, 池畑政輝: 鹿の行動特性を利用して事故対策を行う, RRR, Vol.74, No.3, pp.28-31, 2017
- 9) Minami, M. and Kawauchi, T., "Vocal repertoires and classification of the sika deer *Cervus Nippon*," J. Mamm. Soc. Japan, Vol. 17, pp.71-94, 1992.
- 10) 青山真人, 夏目悠多, 杉田昭栄, 二宮茂, 佐藤衆介: ニホンジカが忌避する刺激, 特に捕食動物に関連する刺激の探索, 複合生態フィールド教育研究センター報告, Vol.24, No.12, pp.13-17, 2008
- 11) 石村智恵, 鹿野たか嶺, 野呂美沙子, 原文宏, 柚原和敏, 杉本加奈子, 柳川久: エゾシカの警戒声を用いた交通事故防止策の試み, 野生生物と交通研究発表会講演論文集, 第 12 号, pp.33-38, 2013
- 12) 堂山宗一郎, 江口祐輔, 上田弘則: ニホンジカの超音波周波数域を含む純音刺激に対する行動, 農研機構研究報告西日本農業研究センター, 第 17 号, pp.1-11, 2017
- 13) 鹿野たか嶺, 野呂美沙子, 山川晃, 吉田啓志: エゾシカの忌避する周波数に関する実験, 日本哺乳類学会大会講演要旨集, pp.123 -123, 2009