

鹿忌避音装置の開発

志村 稔* 潮木 知良* 池畑 政輝*

Development of a Deer Deterrent Equipment for the Mitigation of the Deer-Train Collisions

Minoru SHIMURA Tomoyoshi USHIOGI Masateru IKEHATA

Deer-train collisions have become a serious problem in Japan. To mitigate the collisions, we compose a deterrent sound which consists of a deer alarm call and vocalization of a dog. It is observed that playing the deterrent sound against deer being around track from a train resulted in a 30% increase of the frequency which deer were running away from track. We also developed an equipment for automatic playing of the deterrent sound from trains when they are in the designated sections where the collisions happen at high frequency.

キーワード：鹿衝撃事故，鹿忌避音，鹿忌避音装置

1. はじめに

増加する鹿との衝撃事故対策として、鉄道事業者は沿線への柵の設置や余裕時分の設定などを実施している。これまでの研究で、沿線への柵の設置が衝撃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を確認している¹⁾。個々の対策は有効ではあるものの、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、衝撃事故の増加を抑えきれておらず、新たな手法の開発が望まれている。

野生動物と自動車との交通事故に関する報告は多数あるが³⁾、列車との事故に関する研究事例は少ない⁴⁾。そこで、先行研究において、沿線における鹿の列車に対する反応を分析し、鹿警戒声を利用することによって事故につながる鹿の行動を抑止することができる可能性を示した⁵⁾。この結果を踏まえ、事故防止対策として鹿警戒声と犬の咆吼を組み合わせた忌避音を考案し、忌避音を列車から吹鳴することによって、鹿を目撃する頻度が減少することを確認した^{6) 7)}。

更に、忌避音の実用的な活用方法を検討する一環として、車両からの忌避音吹鳴に必要なシステムを設計し、衛星測位システムを利用した自動忌避音吹鳴装置（以下、忌避音装置）を開発した。この装置を用いて、営業車両による忌避音吹鳴試験を実施し、その際に車両先頭部から鹿の行動を撮影した。この動画を基に忌避音吹鳴と鹿の行動との関係を解析した結果、走行車両からの忌避音吹鳴は沿線にいる鹿の逃走を促進する効果があることを明らかにした。

本報告においては、衝撃事故が多発する線区を走行する営業車両から忌避音吹鳴を行い、その効果検証を行った結果を紹介する。

2. 試験線区における鹿衝撃事故の特徴

営業列車からの忌避音吹鳴試験を実施したA線区における鹿との衝撃事故は、2016年度には156件、2017年度は177件、2018年度には186件が発生し、増加傾向が続いていた。2018年度の事故件数を発生月別に集計したところ、3月、6月と9～12月にかけて多いことが分かった。それぞれの時期において事故が多くなる理由としては、6月は春先に生まれた子鹿の行動範囲が広がる時期であり、10月頃からは鹿の繁殖期で行動範囲が広がる時期であることなどが考えられる。また、3月はメス鹿が出産に備えて移動することが理由として考えられる。

2016年度に発生した156件の事故について発生したキロ程を整理したところ、事故が集中して発生する場所が複数存在していることがわかった（図1）。これらの場所は鹿忌避音を吹鳴する区間として適切であると考えられた。

3. 忌避音装置の開発

3.1 忌避音装置

鹿との衝撃事故が多い線区ではワンマンカーの運転が多く、運転士は旅客対応も行っている。特に、鹿との衝撃事故が発生すると、車両の安全確認等も一人で行うため負担が大きい。その上、鹿と列車との衝撃事故防止対策

* 人間科学研究部 生物工学研究室

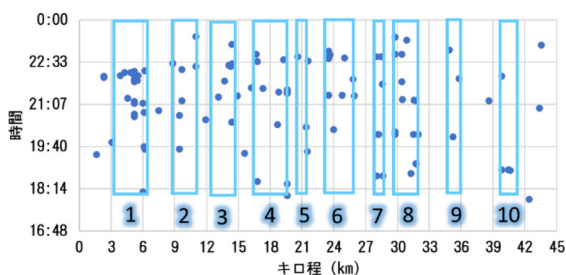


図1 A線区における鹿との衝撃事故が多発する場所の特定（2016年度の衝撃事故記録を基に作成）

策をも運転士に任せることは更なる負担を強いることになるため、運転士の操作が不要な対策案の開発が望まれる。そこで、車両からの鹿忌避音を自動的に吹鳴する装置の開発を行った。

この装置は、車内に設置した忌避音の吹鳴制御部と車外に設置するスピーカーから構成される。忌避音装置は、据置型と可搬型の2種を試作した。制御部は、小型PCと衛星測位システムを利用した位置情報獲得のためのGNSSレシーバーからなり、PCからの音声を小型ステレオアンプにて増幅させる。12VのDC電源で駆動する。小型PCは列車で想定される突然の電源遮断に対応し、耐衝撃・耐振動性能の高いPCを採用した。装置は、図2に示すように車両の前後の運転台助手側にそれぞれ設置した。スピーカーは、駅ホーム等で使用されている防水性の高い小型平面タイプ全天候スピーカーを使用し、車両前面の尾灯掛けに専用治具を用いて設置できるようにした。

可搬型の装置は、基本的な機能は据え置き型と同等であるが、タブレット型PCを採用したため内蔵バッテリーでの動作が可能であり、車両からの電源供給を必要とし



図2 据置型忌避音装置の設置状況（箱内部の上段に小型PC、下段にアンプとDC-DCコンバータを配置）

ない。また、スピーカーとの接続にはBluetoothを使用し、防水型のモバイルスピーカーを使用することで、ケーブル接続を不要とし、設置作業が軽減している。ただし、PCとスピーカーは定期的な充電、および車両への設置作業が必要である。

3.2 忌避音吹鳴制御ソフトウェア

衛星測位システムを利用して忌避音を自動で吹鳴するソフトウェアを試作した（図3）。衛星測位システムから得られる情報と任意に設定した吹鳴区間、時間、走行速度などの情報を照合して、吹鳴を自動的に制御するように設計した。

衛星測位システムのアンテナは、装置を簡便に設置・使用することができるように、小型PCのUSBポートに接続可能な小型のものを採用し、車外よりも信号強度は低くなるものの、車両先頭部の窓ガラス内側に設置できるようにした。そのため、沿線に樹木が多く生息する区間や山間部の急峻な地形が続く区間では受信状態の悪い箇所が散見されたが、忌避音の吹鳴を開始/停止する地点近傍では良好な受信状態を保っており、吹鳴を正確に制御するために十分な機能を有していることを確認している。

本ソフトウェアは、衛星測位システムからの情報のみで列車の走行位置を測位しているため、トンネル通過時には電波受信が不能となり、測位できず吹鳴が停止する。そこで、受信が停止し測位できなくなった場合、トンネルを通過するために必要な時間を見込んで、一定時間は吹鳴を継続し、測位が回復してからは、その位置情報に従って制御を行うようにした。事故情報の分析よりトンネル出口での衝撃事故が多い傾向が示されているが、この制御により出口付近に出没する鹿に対してトンネル内部から吹鳴をおこない、退避を促すことが期待できる。

民家が接近している場所は周辺住民に配慮して吹鳴区間から除外するが、将来的に沿線環境の変化が発生した



図3 忌避音装置制御用ソフトウェアの画面

場合には、区間設定を柔軟に変更できる仕様とした。

さらに、保守工事などによって設定される徐行区間では、普段はいない作業員や見慣れない機械等があるため、環境変化に敏感な野生の鹿は警戒して近づかないことから、このような区間での吹鳴は不要と考えられる。そのため、任意の速度以下では吹鳴を停止する機能を付加した。

その他の特徴としては、鹿との衝撃事故の多くは夕方18時から早朝7時までの間に発生し、昼間に発生することは少ないことから、吹鳴する時間帯を設定し、事故の多い区間においても昼間の吹鳴を停止する設定を可能とした。

このような吹鳴方法により、吹鳴区間内での確実な吹鳴と、沿線に民家等が存在する場所における周辺環境に配慮した吹鳴が両立する鹿衝撃事故防止策の実施ができると考える(図4)。更に、不要な吹鳴を減らすことによって、鹿の慣れが生じ難くなることにもつながると考えられる。

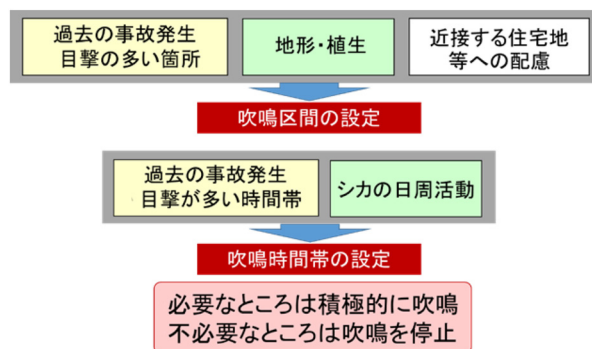


図4 忌避音自動吹鳴制御の概念

4. 列車からの忌避音吹鳴試験と効果検証

4.1 忌避音吹鳴試験法

A線区の営業車両に据置型忌避音装置を設置して、2018年11月から2019年2月にかけて断続的に吹鳴試験を行った。忌避音装置は車両の前後の運転台助手側にそれぞれ設置した。

試験は、鹿との衝撃が多い夕方から夜間に走行する列車で実施した。忌避音の音圧レベルは、スピーカーから1mの位置で90dBになるように調整し、発車前には再生装置を操作して吹鳴の確認を行った。沿線に出没する鹿を撮影するために、列車先頭部にカメラを設置し、動画撮影を行った。撮影条件は、夜間の沿線の様子が確認できるように感度を重視した設定とした(絞り優先F2.8, ISO102,400~409,600(AUTO))。

4.2 吹鳴区間の設定

鹿との衝撃事故情報の分析から抽出した事故の多い区間において、駅や線路に民家等が隣接し忌避音吹鳴によって住民等への影響が懸念される箇所を吹鳴区間から除外し、19の区間を吹鳴区間として設定した。それらの総延長は18.5kmで、営業キロ数43.7kmのおよそ4割にあたる。2016年度に同線区で発生した衝撃事故145件のおよそ36%に当たる52件が今回設定した吹鳴区間内で発生していた。総件数の63%にあたる92件は駅構内や民家が隣接する区間で発生しており、民家周辺への鹿の出没が多いことが本線区の特徴としてあげられ、沿線の山間地における鹿生息頭数密度が高い場所だと推測される。

4.3 鹿の体勢に基づく効果検証法

試験中に撮影した映像を用いて、沿線に出没した鹿の行動解析を行った。車両から撮影した映像を用いて鹿の行動を解析した例は過去にないため、(一社)北海道開発技術センターと共同で解析手法を考案した。

先行研究より、鹿に向かって警戒声を吹鳴すると、鹿は警戒声が聞こえる方向を注視すること、更に、列車から鹿忌避音を吹鳴した場合には、線路近傍から逃走する鹿が確認されている⁷⁾。これらの情報より、目撃される鹿の状態としては、逃走、注視、反応なしという3つの状態が予想され、実際に、録画された映像を解析したところ、目撃時に逃走している(逃走)、静止して列車の方向を注視・警戒している(注視)、注視・警戒姿勢を示さない(無反応)、という状態を確認できたので、これらの3つに分類することとした(図5)。

4.4 試験結果と効果検証

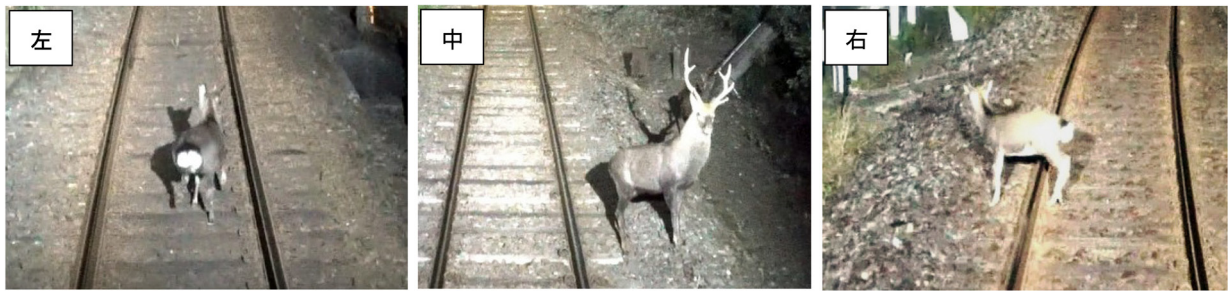
(1) 鹿の目撃回数

忌避音吹鳴試験期間中に鹿を目撃した回数は合計183回で、そのうち、忌避音吹鳴区間内が60回、吹鳴区間外が123回であり(表1)、吹鳴区間内の割合が33%、区間外が67%であった。2016年度の衝撃事故情報によると、吹鳴区間内で発生した事故の割合は36%、区間外は63%となり、ほぼ同じ割合だったことから、2016年度以降、沿線への鹿の出没状況に大きな変化はないと考えられる。

(2) 目撃時の鹿の行動

試験中に撮影した183回の映像を用いて、沿線に出没した鹿の目撃時の体勢に基づき、解析を行った。

目撃時の鹿の体勢(逃走、注視、無反応)を、列車からの忌避音吹鳴の有無でそれぞれ集計した。忌避音を吹鳴しながら走行したときに鹿を目撃した回数は60回で、そのうち29回は逃走(48.3%)、29回は注視(48.3%)、



左：目撃時に逃走している（逃走）
 中：静止して列車の方向を注視・警戒している（注視）
 右：注視・警戒姿勢を示さない（無反応）

図5 目撃時の鹿の体勢による行動分類

表1 鹿の目撃回数

	目撃回数
忌避音吹鳴あり	60
忌避音吹鳴なし	123
計	183

2回が無反応（3.3%）だった。

一方、忌避音を吹鳴していない時に鹿を目撃したのは123回で、そのうち21回が逃走（17.1%）、57回が注視（46.3%）、45回が無反応（36.6%）であった。集計結果に基づき、逃走～無反応の占める割合を図6に示した。

以上の結果から、吹鳴なしの場合に対し、忌避音を吹鳴しているときには、顕著に逃走の割合が大きく、無反応の割合が小さくなる。この結果から、忌避音吹鳴には、列車接近に先んじて沿線から鹿を逃走させる効果があると考えられる。

(3) 目撃時の鹿の体勢とその後の行動との関係

同じ映像を用いて目撃時の鹿の体勢（逃走、注視、無反応）とその直後の行動、特に衝撃や危険行動との関係について分析した。ここでは、危険行動とは、接近する列車の直前を横断する、列車進行方向に走る、線路内に侵入して静止するなど、列車の急制動による回避を必要とする行動とした。

表2に、目撃時の鹿の体勢毎の、衝撃および危険行動の割合（%）を示す。逃走している鹿は、衝撃や危険行動の割合がともに最も少ないことが分かった。注視の鹿、および無反応の鹿は、逃走の鹿と比較すると、ともに衝撃や危険行動の割合が高くなったが、両者の間には顕著な差は見られなかった。

これらの結果から、忌避音吹鳴によって生じる鹿の逃走は、衝撃事故や衝突事故につながる危険な鹿の行動を抑制する効果があると考えられる。

図6に示す結果では、忌避音吹鳴の有無にかかわらず、

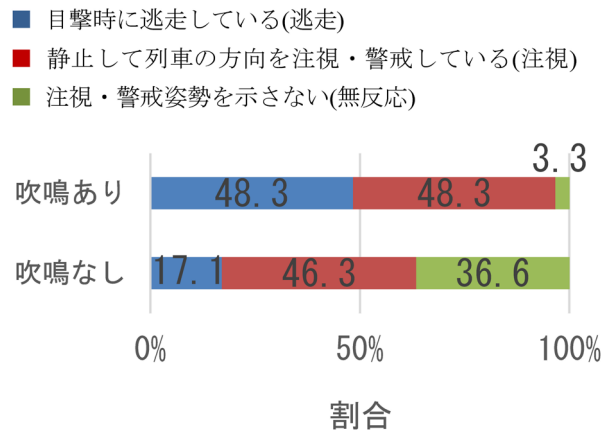


図6 目撃時の鹿の行動解析

列車の方向を注視している鹿が、それぞれ5割近くを占めた。これらの鹿について、列車が更に接近した際の行動を解析した。具体的には、鹿目撃時の列車と鹿との距離と、列車接近により鹿が移動を開始した時の列車と鹿との距離を、キロ程表示や軌間等を参考に計測した。これらより、目撃時以降の鹿が、列車の接近に対してどこまで留まっているかを比較した。

吹鳴をしていた時（29回）は、鹿を目撃した時の距離が平均74m、鹿が移動を開始した時の列車との距離が平均27.5mで、鹿が移動を開始するまでに列車が46m接近した。一方、吹鳴していない時（57回）は、鹿を

表2 目撃時の鹿の体勢と衝撃・危険行動の割合（%）

	逃走	注視	無反応
衝撃	0.0	7.0	6.4
危険行動	10.0	20.9	19.1

目撃した時の距離が平均 78m、鹿が移動を開始した時の列車との距離が平均 15.7m で、鹿が移動を開始するまでに列車が 62m 接近した。

目撃時に注視している鹿の割合は、忌避音吹鳴している時としていない時ではほぼ同じであるが、その後の鹿の行動解析より、忌避音吹鳴が鹿の逃走開始を促進していると考えられる。

5. 考察

5.1 忌避音による鹿の列車回避行動促進効果

列車のような移動体から撮影した映像を鹿の行動解析に用いた例はなく、鹿目撃時の体勢に着目した分類方法の提案により、忌避音の効果を定量的に示すことができたと考える。今回の試験では、高解像度・高感度なカメラを用いた撮影を行うことにより、暗所で撮影されたのにもかかわらず、詳細な分析が可能となり、定量的な解析結果を示すことができたと考える。

忌避音は、鹿警戒声によって鹿の注意を引き、その後続く犬の咆哮によって沿線からの移動を促すように考案されている⁷⁾。図 6 に示した結果から、忌避音を吹鳴することによって、逃走する鹿が 2.8 倍に増加し、列車に無関心な鹿は 1/10 に減少したことから、期待通りの効果が発揮されていると考えられる。

更に、発見後の鹿の行動を追跡することによって、逃走している鹿は、衝撃及び危険行動の割合が減少していることがわかり、移動促進による付加的な効果が明らかになった。

ニホンジカが沿線に生息する A 線区以外の線区で実施した試験においても同様の結果が得られていることから、忌避音の効果は鹿の生息地域に大きな影響を受けないと考えられる。また、既報において、北海道に生息するエゾシカに対する忌避音の効果を明らかにしていることから⁷⁾、忌避音は日本国内に生息する鹿に対して広く効果があると考えられる。

5.2 効果の持続性

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⁸⁾。警戒声は危険と結びつけて学習されているが、飼育下のエゾシカに対して警戒声を吹鳴した試験結果では、同一個体に対して警戒声を吹鳴した場合、5 回程度の繰り返しによって反応が低下することが報告されている⁹⁾。

一方、本試験においては、2 年間にわたる断続的な吹鳴試験により大幅に効果が低下する、いわゆる「慣れ」は確認されなかった。この理由としては、危険を伝える警戒声の後に犬の咆哮が続くこと、列車通過という実際

の危険な事象が続くことが、鹿の警戒心を保つ作用をしているためだと考えられる。

更には、鹿との衝撃事故情報の分析結果に基づいて、鹿の出没が多い区間において、鹿の出没が多い時間帯にのみ吹鳴する手法が慣れを発生させないことに寄与していると考えられる。

このような吹鳴法は、効果検証の一環として開発した、衛星測位システムを利用した忌避音装置の導入により可能となったものである。

忌避音吹鳴試験は、鹿との衝撃事故が多くなる春季と秋季に実施したが、時季による効果に顕著な違いはなく、忌避音の効果は年間を通じて発揮された。鹿の音声に関する研究報告によると、鹿が情報交換に使用している音声の多くは繁殖期だけに使用されるのに対して、警戒声は年間を通じて使用されることから、年間を通じて効果を発揮すると考えられていたが、今回の試験においても、安定した効果があることが示された。

6. おわりに

列車からの鹿忌避音吹鳴は、沿線から鹿の移動を促進し、事故防止に活用できることを示した。また、鹿の習性や周辺環境を考慮した忌避音自動吹鳴ソフトウェアを開発し、忌避音を最大限活用できるような装置を試作した。また、高感度カメラによる動画撮影を用いた鹿の行動解析によって、忌避音が鹿の行動に与える効果検証のための貴重なデータを得ることができた。

今後は、廉価で実用的な鹿忌避音装置を開発する計画である。その一方で、引き続き忌避音の効果検証と鹿の慣れについての検証を行い、装置の機能向上に取り組んでいきたい。

本研究の第 5 章には、(一社) 北海道開発技術センターとの共同研究によって得られた成果が含まれている。

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 (令和元年度), <https://www.env.go.jp/press/107256.html> (参照日: 2020 年 12 月 3 日)
- 3) John A. Bissonette: Road Ecology, Island Pr, 2002.
- 4) Rodney van der Ree, Daniel J. Smith, and Clara Grilo: Handbook of Road Ecology, Wiley Blackerll, 2015.
- 5) 志村裕, 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
- 6) 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
- 7) 志村稔, 潮木知良, 池畑政輝: 忌避音による鹿接触事故防止技術の開発, 鉄道総研報告, Vol.31, No.11, pp.35-40, 2017
- 8) 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.
- 9) 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