

卒業論文

エゾシカと車両の衝突回避に対する 音の有効性に関する調査研究

北海道科学大学 工学部

情報工学科

2-14-3-012

2-14-3-032

2-14-3-071

2-14-3-098

指導教員 松崎 博季

2018 年 (平成 30 年)2 月

目 次

第 1 章	はじめに	1
第 2 章	動物避け警笛の音響測定	3
2.1	まえがき	3
2.2	使用した動物避け警笛について	3
2.3	超音波	4
2.4	回転装置に動物避け警笛を設置した音響測定	4
2.4.1	使用器具	4
2.4.2	実験手順	5
2.4.3	実験結果	7
2.5	ブロワの風圧による警笛の音響測定	8
2.5.1	使用器具	9
2.5.2	実験手順	9
2.5.3	実験結果	10
第 3 章	自動車に警笛およびスピーカーを取り付けた際の音響測定	11
3.1	まえがき	11
3.2	実験器具	11
3.3	実験方法	13
3.4	実験結果	15
第 4 章	スピーカーの小型化および風防装着による音響測定	17
4.1	まえがき	17
4.2	小型化したスピーカーについて	17
4.3	実験器具	18
4.4	スピーカーの周波数特性について	19
4.4.1	概要	19
4.4.2	実験方法	19
4.4.3	結果	20

4.5	風防実験について	20
4.5.1	概要	20
4.5.2	実験方法	21
4.5.3	風防を用いた実験 1	22
4.5.4	風防を用いた実験 2	24
第 5 章	騒音計を用いたスピーカの音圧レベルの測定	26
5.1	まえがき	26
5.2	実験器具	27
5.2.1	実験方法	28
5.3	実験結果と考察	28
第 6 章	スピーカーから出力された音に対する鹿の反応	30
6.1	まえがき	30
6.2	実験に使用した音声データ	30
6.3	実験器具	31
6.4	実験方法	31
6.5	実験結果	33
第 7 章	まとめ	36
7.1	動物避け警笛を用いた音響測定について	36
7.2	スピーカーを用いた音響測定について	36
7.3	今後の課題	36
	参考文献	37
	謝 辞	38

第1章 はじめに

近年、エゾシカと車による交通事故が問題となっている。図 1.1 は北海道内で発生したエゾシカによる交通事故の件数の推移である。

●エゾシカによる交通事故発生件数の推移（北海道）

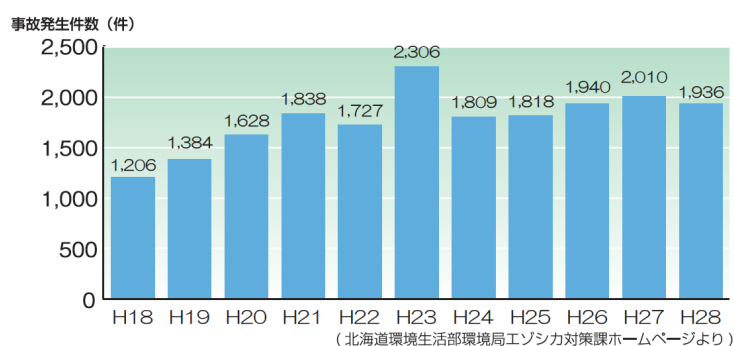


図 1.1: エゾシカによる交通事故発生件数の推移（北海道） [1]

平成 23 年を境に件数が減っているものの、平成 24 年～平成 28 年も約 2,000 件弱の交通事故が発生している。

このような交通事故を減少させる製品の 1 つに動物避け警笛 (以後、警笛) がある。図 1.2 は警笛の仕組みについて書かれた図である。警笛は車両のフロントスポイラーなど風通しの良い場所に装着され、車両走行時に生じる風圧により音を発生する。鹿がこの音に対して警戒することにより、走行中の車両と鹿との衝突を未然に防ぐことができるとされる [2]。

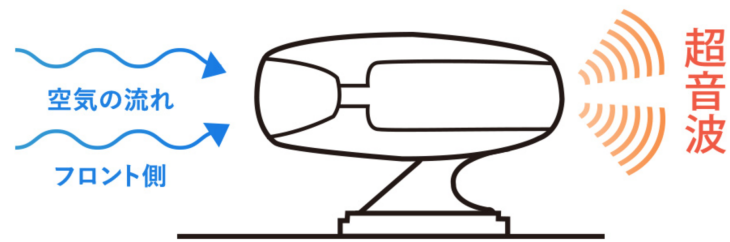


図 1.2: 動物避け警笛の仕組み [2]

しかし、警笛から出ている音がエゾシカに対して効果があるかは、不明な点が多い。そこで本研究では、まず、数種類の警笛の音を測定することで、どのような音が出ているかを明らかにする。その測定結果を基に効果があると考えられる警笛を車両に装着し、実際の使用下に近い状況で音響測定を行う。さらに、警笛から音が出ない場合を考慮し、警笛音と同じ周波数成分を持つ合成音をスピーカーから再生できるようにする。また、使用したスピーカーの特性を調べた上で、スピーカーから再生される警笛音に対して鹿がどのような反応をするかを明らかにする。

第2章 動物避け警笛の音響測定

2.1 まえがき

本章では、動物避け警笛が発する音を測定し、その周波数特性を調べた。

2.2 使用した動物避け警笛について

図 2.1 に使用した警笛を示す。本実験では、非貫通型と貫通型を 1 組として装着するタイプの製品を 4 種類（ES-101, Deer Warning, WA-88, DR-001）と、1 つの警笛に 2 つ穴の空いたタイプの 1 種類（SAVE-A-DEER）の計 5 種類用意した。各製品の説明書には、走行中の風圧により超音波が発生すると記載されている。



図 2.1: 使用した警笛

2.3 超音波

超音波は一般に 20kHz 以上の周波数の音 [3] を指すが、警笛の製品によっては 14kHz や 16kHz 以上など様々な周波数を超音波として定義している。そこで、本研究では 14kHz 以上の周波数を超音波と定義して、以後の説明を行う。

2.4 回転装置に動物避け警笛を設置した音響測定

先行研究 [4] のように回転装置を作成し、低騒音下で警笛の音響測定を行なった。

2.4.1 使用器具

実験に使用した器具を図 2.2、詳細を表 2.1 に示す。

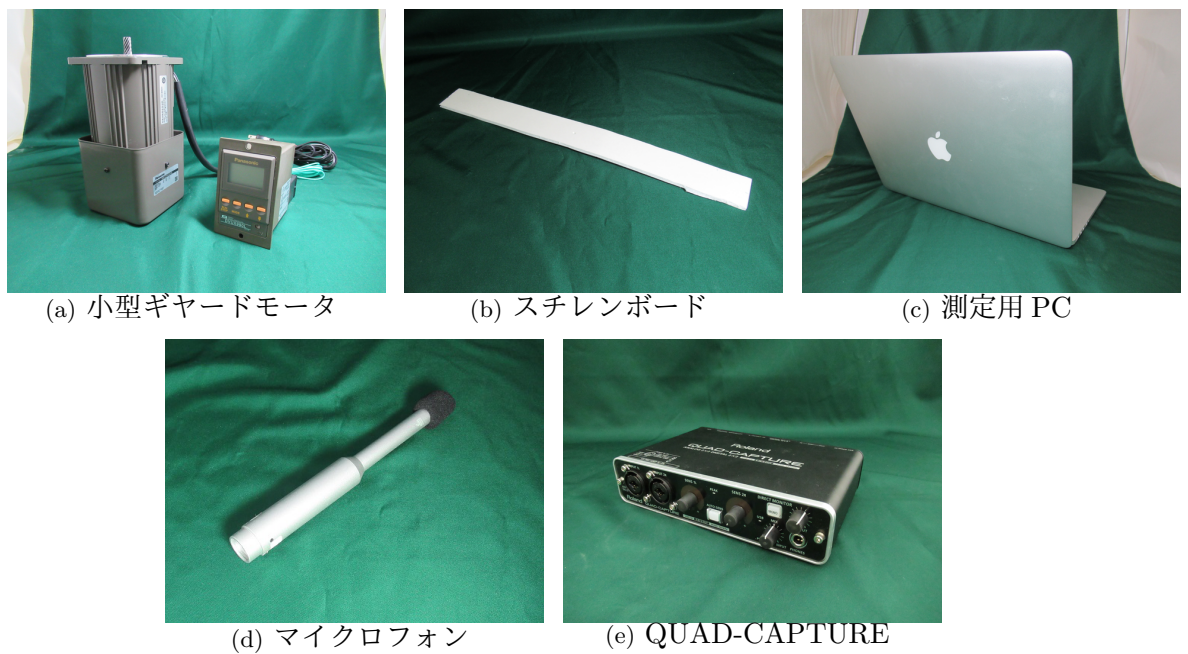


図 2.2: 実験器具一覧

表 2.1: 使用器具詳細

使用器具	説明	図番号
小型ギヤードモータ MUXN990GL Panasonic	回転装置に使用	(a)
スチレンボード	4cm × 40cm の長方形型スチレンボード	(b)
PC MacBook Pro	測定用	(c)
マイクロフォン BEHRINGER ECM8000	20 ～ 20000Hz まで録音可能	(d)
USB オーディオインターフェイス QUAD-CAPTURE	マイクロフォンの接続	(e)

また、小型ギヤードモータの仕様書を表 2.2 に示す。

表 2.2: 小型ギヤードモータ仕様書

size(mm)	品番	極数 (P)	出力 (W)	電圧 (V)	周 波 数 (Hz)	定 格 (分)
90	MUXN990GL	4	90	100	50	連続
可変速範囲	許容トルク (N・m)		始動電流 (A)	始動トルク (N・m)	コンデンサ 容量 (μ F)	
回 転 速 度 (r/min)	1200r/min 時	90r/min 時				
90 ～ 1400	0.59	0.25				
			2.3	0.53	25(200V)	

2.4.2 実験手順

実験手順を以下に示す。

1. 車両走行速度 50km/h に相当する回転数になるようモータの回転速度を設定する。
2. スチレンボードの両端に貫通型、非貫通型の警笛を両面テープで固定し、補強としてグルーガンでさらに固定する。SAVE-A-DEER については、取り付ける警笛が1つでスチレンボードが傾いてしまうため今回は使用しない。
3. 警笛から 10cm 離れた地点にマイクを設置し、モーターを回転させた状態で録音する。録音時のサンプリング周波数を標本化周波数 48kHz、量子化ビット数 16 とする。

上記の実験を車両走行速度 60km/h, 70km/h に相当するモータの回転速度に設定した場合も録音する。

回転数を求めるための計算式を式 (2.1) に示す。式 (2.1) を用いて求めた、50 km/h、60km/h および 70 km/h に相当する速度を得るのに必要な回転数を表 2.3 に示す。

$$1 \text{ 分間の回転数} = \frac{\text{回転速度 [km/h]} \times 1000}{\text{直径 [m]} \times \text{円周率} \times 60} \quad (2.1)$$

表 2.3: 各速度における回転数

速度 (km/h)	回転数 (分)	回転数 (秒)
50	663	11
60	796	13
70	928	15

2.4.3 実験結果

各速度に対する録音音声のスペクトルを図 2.3 に示す。

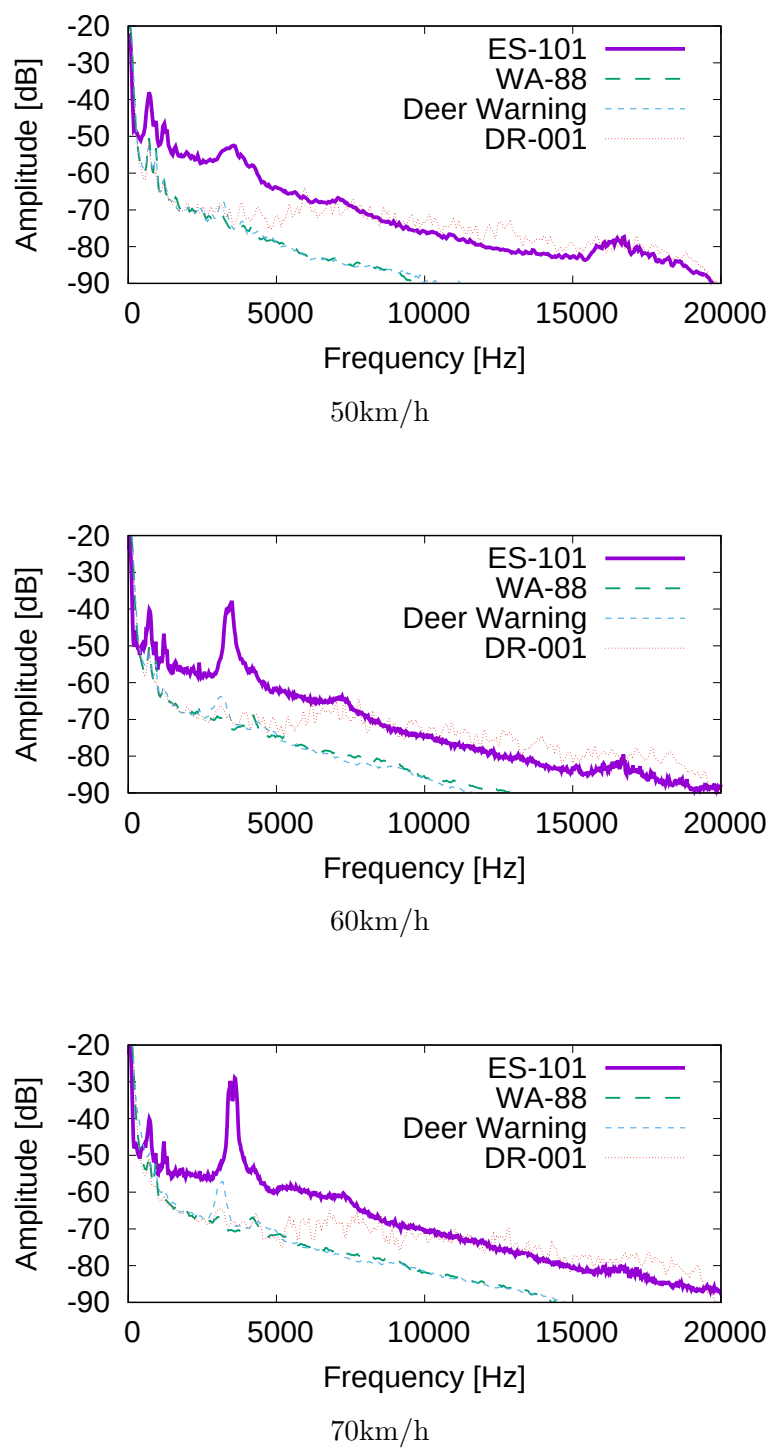


図 2.3: 各速度に対する録音音声のスペクトル

いずれの警笛も、20kHz までの超音波は確認することができない。速度が速くなるにつれて、3500Hz 付近の成分の振幅が大きくなることがわかる。ただし、その音はロードノイズや環境音などの騒音にかき消されるくらい小さかった。最も大きな音が発生した警笛は ES-101 であり、他の警笛と比べて約 35dB の違いが見られた。

2.5 ブロワの風圧による警笛の音響測定

上記の実験では可聴音は確認できたが、超音波を確認することができなかった。そこで、先行研究 [5] と同様にブロワを用いて警笛に空気を送風した時の警笛から発生する音を測定する実験を行なう。警笛を三脚に固定し、ブロワとの間隔を 10cm、高さを 80cm とする。騒音を抑えるためにブロワを自作防音箱 [5] に入れる。録音にはマイクロフォンを使用する。マイクロフォンをブロワ横の警笛から 15cm 離れた場所に設置する。

2.5.1 使用器具

実験で用いる器具一覧を図 2.4 に示す。



(a) 電動ブロワ マキタ
UB1103



(b) 風速計 BENETECH
GM8902



(c) 防音箱



(d) 測定用 PC(MacBook
Pro)



(e) マイクロフォン
BEHRINGER
ECM8000



(f) OCTA-CAPTURE
UA-1010 Roland



(g) 三脚

図 2.4: 実験器具一覧

2.5.2 実験手順

実験手順を以下に示す。

1. ブロワから 10cm 離れた地点で風速計で風速を約 50km/h に設定する。
2. ブロワから発生した風を警笛に当て、発生した音を約 5 秒間録音する。録音時のサンプリング周波数を標準化周波数 48kHz、量子化ビット数 16 とする。

以上の実験を風速 70km/h についても同じ条件で行なう。

2.5.3 実験結果

図 2.5 に貫通型と非貫通型の警笛、SAVE-A-DEER の各風速におけるスペクトルを示す。

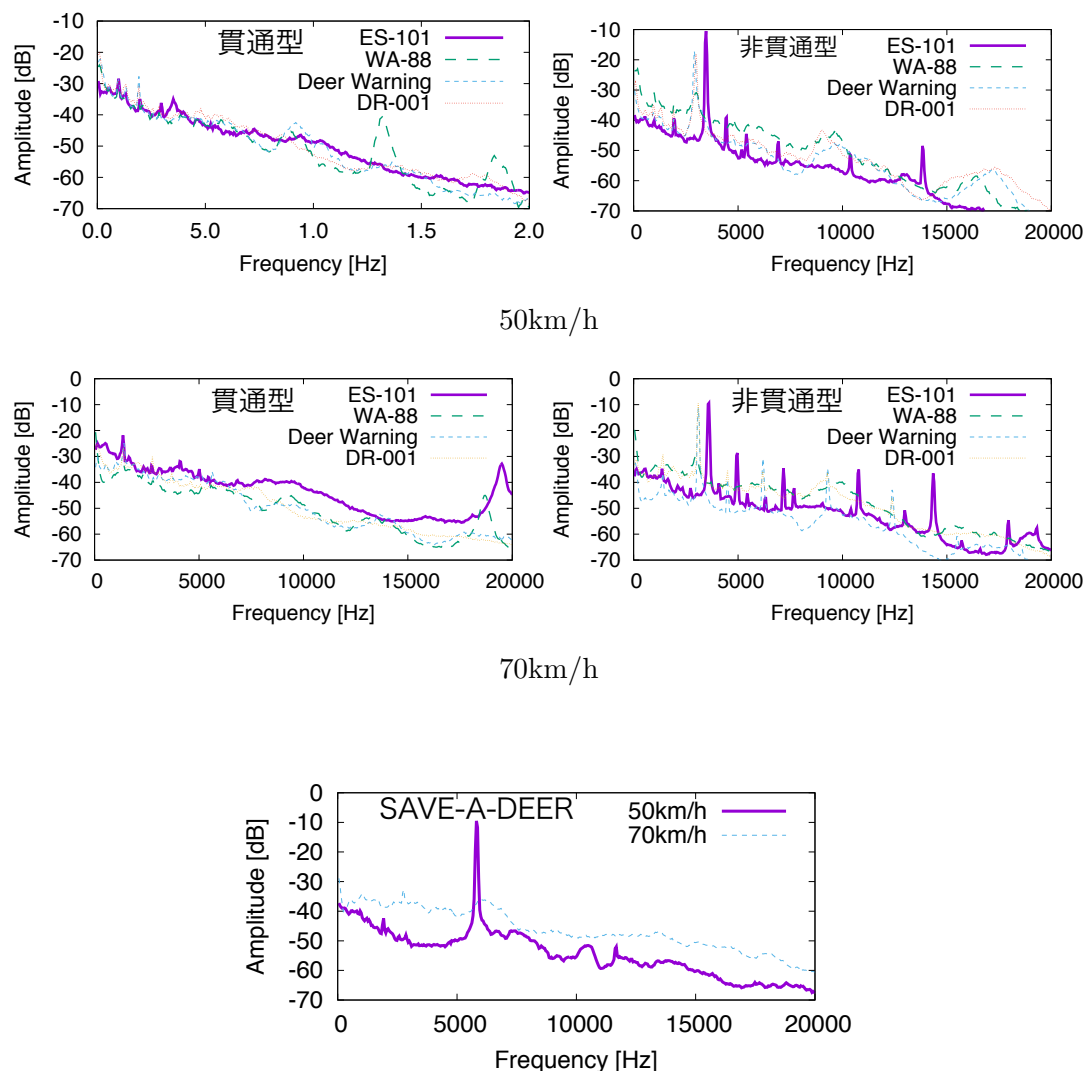


図 2.5: 警笛の各風速におけるスペクトル

図 2.5 より、非貫通型では ES-101 と Deer Warning において約 3500Hz とその倍音 (7000Hz、10500Hz、14000Hz、17500Hz) 付近の周波数成分が確認できる。一方、WA-88 と DR-001 ではそのような成分が生じていない。貫通型では ES-101 で 19000Hz 付近の周波数成分が確認できるが、他の警笛では確認できない。SAVE-A-DEER の場合、50km/h では 5000Hz 付近の周波数成分が生じているが、70km/h では生じていない。50km/h でも 70km/h と同様の特性が得られたのは ES-101 だけであった。そのため、以降の実験では ES-101 のみを使用することにした。

第3章 自動車に警笛およびスピーカーを取り付けた際の音響測定

3.1 まえがき

本章では警笛を車両に装着した際の警笛音の音響測定結果、さらに警笛から音が出ないことも想定し、スピーカーから警笛音を出力できるようにし、合成音を再生した際の音響測定結果について報告する。

3.2 実験器具

実験に使用した器具を図 3.1 に、詳細を表 3.1 に示す。



図 3.1: 実験器具一覧

表 3.1: 使用道具

使用器具	説明	図番号
動物避け警笛 ES-101	株式会社アバ様提供	(a)
車両 TOYOTA プリウス α	雑音の少ないハイブリット車	(b)
マイクロフォン BEHRINGER ECM8000	録音用	(c)
USB オーディオインターフェイス QUAD-CAPTURE	マイクロフォンの接続	(d)
PC MacBook Pro	測定、再生用	(e)
スピーカー Fostex Range Speaker FE83E	スピーカーユニット	(f)
ブザー MIC WORKS MIC TONE BUZZER	振動板部分のみを使用	(g)

3.3 実験方法

北海道三国峠上士幌町国道 273 号線内で 2017 年 9 月 4 日～6 日に測定実験を行った。実験の概要図を図 3.2 に示す。文献 [4] と同様の環境下で実験を行うため、警笛には ES-101 を使用した。また警笛から音が発生しない場合を想定し、スピーカーから警笛音を出力できるようにした。再生する音は ES-101 の非貫通型の周波数特性を基に成分と振幅を調整し、作成した。合成音は 3500Hz とその倍音 (7000Hz、10500Hz、14000Hz、17500Hz) の純音を合成し、さらに超音波合成音は超音波部分 (14000Hz、17500Hz) のみを合成し、作成した。車両の速度は 50km/h、60km/h の 2 通りで実験を行った。



図 3.2: 実験の概要図

警笛の音波は 400m 前方まで届くと取扱説明書に書かれているため、直線で 400m 以上ある道路で実験を行った。マイクログホンを地上から 80cm の高さに固定し、道路傍に設置した。車両はマイクログホンから 400m 離れた地点をそれぞれの速度で通過し、速度を保ったままマイクログホンの前を通過した。録音を車両がマイクログホンから 400m 離れた地点を通過する時点から開始し、マイクログホンの前を通過するまで行った。以下の実験手順に従った。

1. 図 3.3 に示すように、警笛をサイドミラー付近の窓ガラスに設置した。ブザーはサイドミラーの上部に設置し、スピーカーは後部座席に座った者がウィンドウを開け、手に持ち固定した。

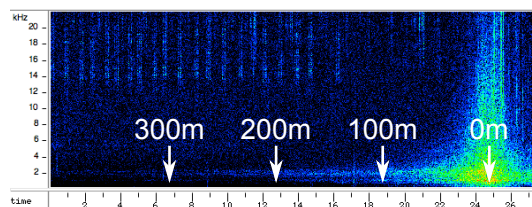


図 3.3: 笛位置

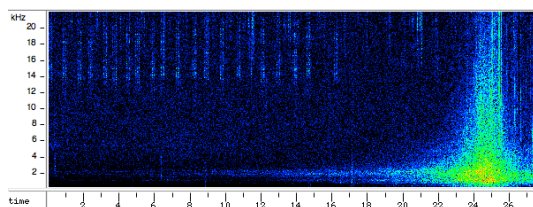
2. スピーカー、ブザーを用いる際は 400m 離れた地点に到達した時点で音を再生する。
無音、合成音、超音波の順に繰り返す。

3.4 実験結果

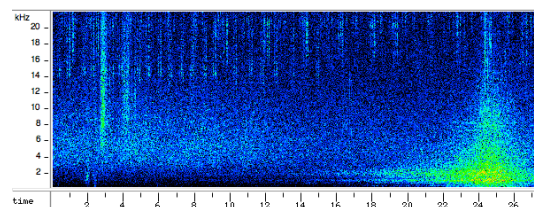
録音した音のサウンドスペクトログラムを図3.4に示す。



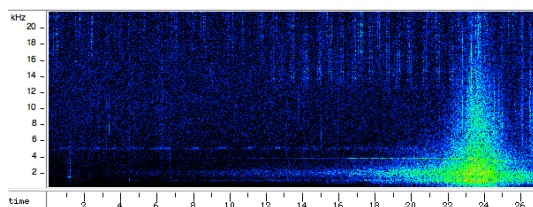
(a) 無音



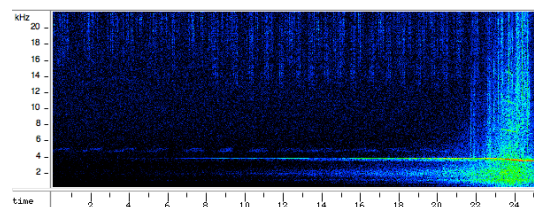
(b) 警笛 50km/h



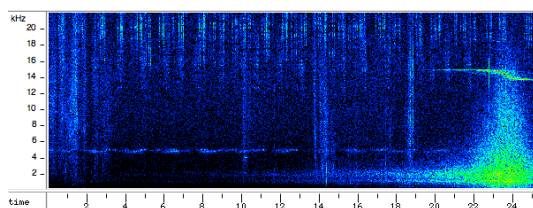
(c) 警笛 60km/h



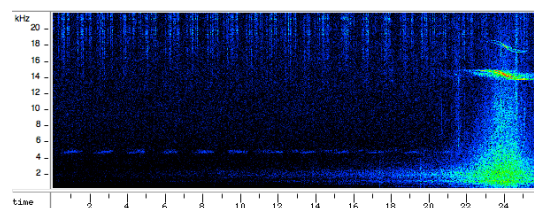
(d) 合成音ブザー



(e) 合成音スピーカー



(f) 超音波ブザー



(g) 超音波スピーカー

図 3.4: 録音音声のスペクトル

図3.4(a)は警笛非装着時のスペクトルであり、すなわちロードノイズである。図に記載されている0m～300mが示された矢印はマイクから車両までの距離を表している。図3.4(a)と警笛装着時の図3.4(b),(c)を比較すると、スペクトルが変わらないことから速度に関係なく警笛から音が発生していないことがわかる。図3.4(d)と(e)から合成音を再生した際には、ブザーでは約100m前、スピーカーでは約300m前から音が確認できる。図3.4(f)と(g)から超音波を再生した際にはスピーカー、ブザー共に約50m前からしか音が確認できず、遠くまで音が届かない事がわかる。また、ブザーでは14000Hzの音しか出ていないことがわかる。エゾシカを遠ざけるのに14000Hzの音が有効であれば、ブザーはスピーカーより軽量であるため、利用価値がある。ただし、実験には不向きなので、以降の実験ではスピーカーのみを利用する。

第4章 スピーカーの小型化および風防装着による音響測定

4.1 まえがき

本章では車両に取り付けるために作成した小型のスピーカーとその周波数特性について述べる。また、このスピーカーの振動板に走行中の車両に加わるのに相当する風圧が与えられた時の再生音に対する影響について、自作した風防がある場合とない場合とで検討する。

4.2 小型化したスピーカーについて

3章の実験ではスピーカーのサイズが18cm × 11cm と大きかったために車両に取り付けることはできなかった。そのため、スピーカーを車両に取り付けるために、3D プリンターで10cm × 10cm のエンクロージャー (スピーカーの箱の部分) を作成し、小型化することにした。小型化した際に音声が一様に出力されない場合があったため、エンクロージャー内にウレタン系吸音材を敷き詰めた。

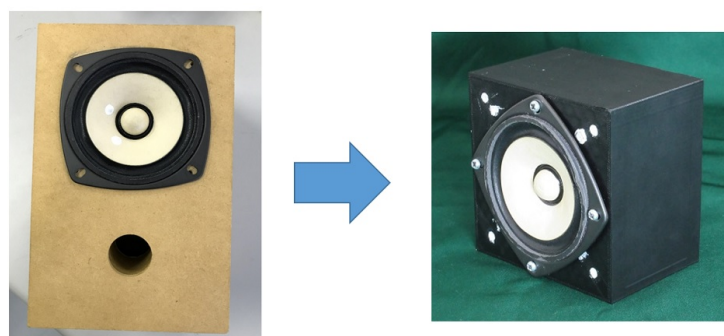


図 4.1: 小型化前のスピーカー (左), 小型化したスピーカー (右)

4.3 実験器具

実験で用いる器具一覧を図 4.2 に示す。



(a) 電動ブロワ マキタ UB1103



(b) 防音箱



(c) 風速計 BENETECH
GM8902



(d) 測定用 PC MacBook Air



(e) マイクロフォン
Behringer ECM8000



(f) オーディオキャプチャ
Roland OCTA-CAPTURE
UA-1010



(g) 再生用 PC NEC LaVie L
PC-LL750SSG-YC



(h) デジタルヘッドホンアンプ
TOPPING TP-32EX



(i) スピーカー FOSTEX
FE83En

図 4.2: 実験器具一覧

4.4 スピーカーの周波数特性について

4.4.1 概要

作成したスピーカーの周波数特性を調べる実験を行った。実験場所は北海道科学大学7号館7303室である。

4.4.2 実験方法

1. 実験器具を図4.3の通りに設置する。

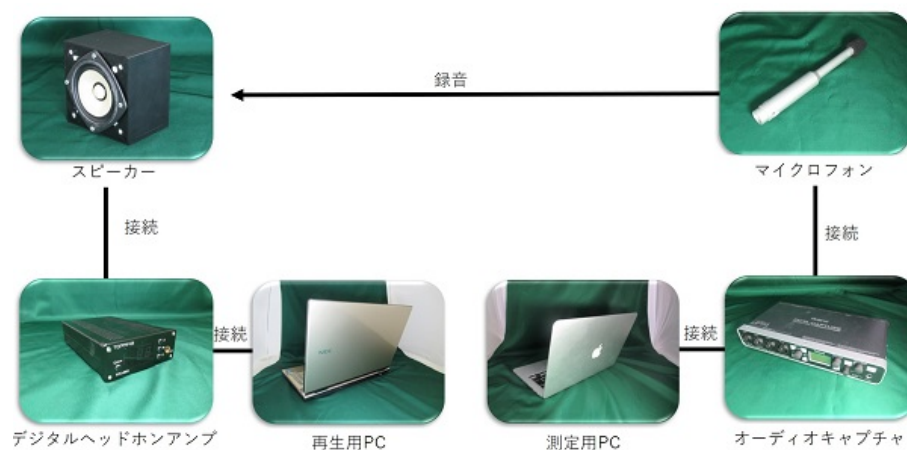


図 4.3: 実験器具配置図

2. マイクを3本用意し、図4.4の通りにする。スピーカーを中心として半径120cmの円周上の、スピーカー正面(0度)、45度、90度に設置した。

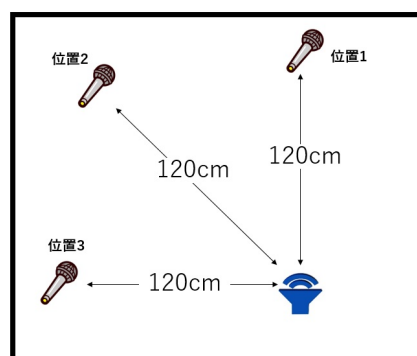


図 4.4: マイクの配置図

3. 録音用 PC でオーディオキャプチャの設定を行う。全てのマイクロフォンに対する SENS を 40.0dB に設定する。
4. デジタルヘッドホンアンプの音量を 72 に設定する。
5. 再生用 PC で WaveGene というソフトを使用し、入力信号として 20Hz ～ 20kHz の間を線形に変化するスイープ信号を用いた。その際、サンプリング周波数は 48000Hz、スイープ時間は 145 秒に設定した。
6. 実験を 10 回実施し、得られた結果の平均を取るようにした。

4.4.3 結果

スピーカーの周波数特性を図 4.5 に示す。スピーカー正面 (0 度) の場合は、周波数による振幅の変化が少ないが、0 度方向からずれると高周波数になるほど振幅が小さくなる傾向が見られる。

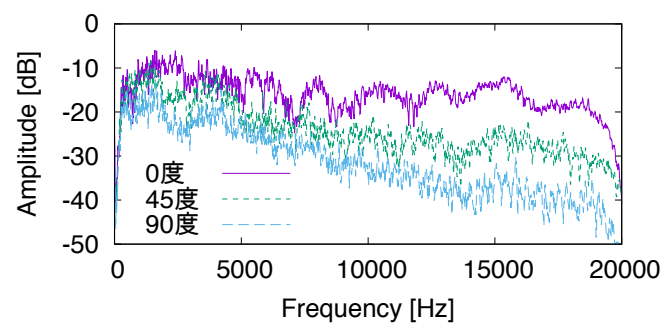


図 4.5: 使用したスピーカーの周波数特性

4.5 風防実験について

4.5.1 概要

本実験では 2 種類の風防を作成し風防がない時との差を調べた。実験場所は北海道科学大学 7 号館 7303 室である。

4.5.2 実験方法

1. 実験器具を図 4.6 の通りにする。

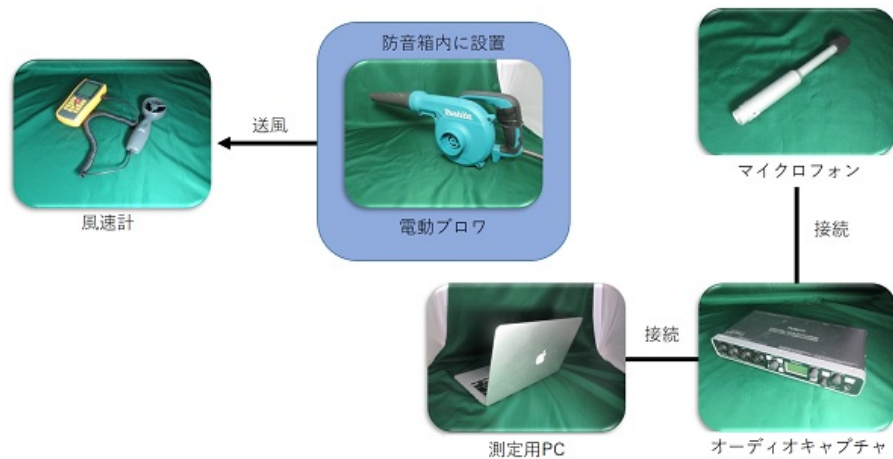


図 4.6: 実験器具配置図

2. ブロワの風速を 60km/h になるように設定する。
3. 実験器具を図 4.7 の通りに設置する。

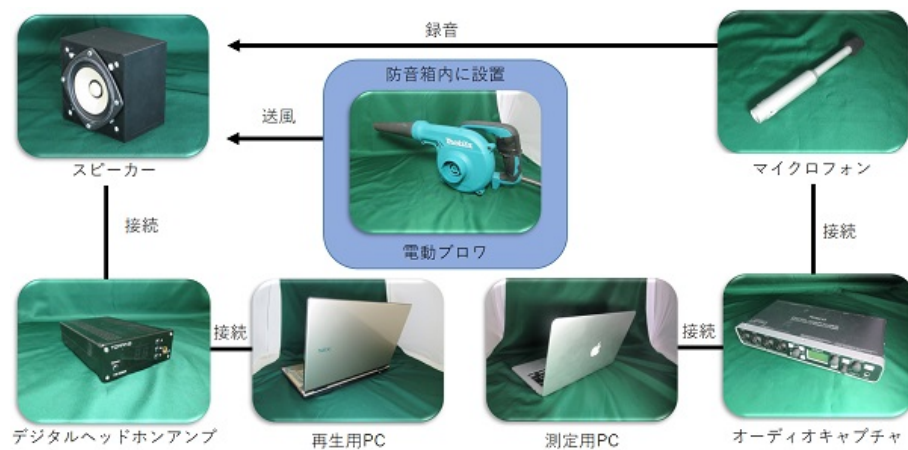


図 4.7: 実験器具配置図

4. マイクロフォンを3本用意し、図4.8の通りに設置する。スピーカーを中心として半径120cmの円周上の、スピーカー正面(0度、ブロワの後方)、45度、90度に設置した。スピーカーの正面10cmの位置に防音箱に入れたブロワを設置した。

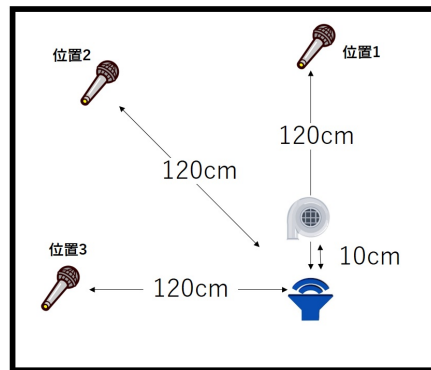


図 4.8: マイクロフォンの配置図

5. 録音用PCでオーディオキャプチャの設定を行う。全てのマイクroフォンのSENSを45.0dBに設定する。
6. デジタルヘッドホンアンプの音量を80に設定する。
7. 送風時はブロワを風速60km/hに設定する。
8. 再生用PCでAudacityというソフトを使用し、スピーカからは2章で示したES-101が発すると考えられる3500Hzと17500Hzの純音それぞれを入力信号として10秒間流した。
9. 録音用PCでもAudacityというソフトを使用し、再生した音を録音した。その際、サンプリング周波数は48000Hzに設定した。

4.5.3 風防を用いた実験1

本実験では2種類の風防A, B(図4.9)を作成し風防がない時との差を調べた。風防Aは表面外周上に穴を空け、風防Bは風防Aと同じく表面外周上に穴を空け、さらに前方方向への音通りをよくするために中央にも穴を空けた。



図 4.9: 風防 A(左), 風防 B(右)

風防装着時と未装着時、風を受けた時と無風時の測定結果から求めた長時間平均スペクトルの 3500Hz および 17500Hz における振幅を表 4.1、表 4.2 に示す。

表 4.1: 3500Hz の長時間平均スペクトル [dB]

風防	送風	0 度	45 度	90 度
なし	なし	81.1	81.6	83.0
なし	あり	79.7	79.5	74.1
A	なし	72.7	74.3	61.1
A	あり	68.5	76.7	69.2
B	なし	75.2	69.1	64.2
B	あり	70.9	77.6	69.0

表 4.2: 17500Hz の長時間平均スペクトル [dB]

風防	送風	0 度	45 度	90 度
なし	なし	64.6	70.9	64.2
なし	あり	64.9	68.3	63.0
A	なし	65.0	60.3	56.6
A	あり	64.7	56.1	61.7
B	なし	57.4	69.4	62.4
B	あり	55.6	71.6	65.0

図 4.5 よりスピーカー正面 (0 度) に大きな音が届くと思われた。しかし、全体的に 45 度方向に大きな音が届いている傾向がある。今回の実験では 0 度方向には、スピーカーの前に防音箱があったために 0 度方向のマイクロフォンにスピーカーの音が届かなかったと思われる。また風防に関しては風防 B の方が風防 A より大きな音が録音できた。高周波数の場合、風防を付けた時と風防を付けなかった時の差が低周波数の時より小さくなった。

4.5.4 風防を用いた実験 2

表 4.1, 表 4.2 より風防なしの時と比べ、風防 A, B 装着時は大きく音量が小さくなってしまった。そこで風防 A, B を改良した風防 C (図 4.10) を作成した。風防の形状を半球状にした。空気が入りにくくかつ、音を伝搬させるために全体に小穴を多数空けた。



図 4.10: 風防 C 側面 (左), 上面 (右)

実験を 4.5.3 項の実験と同じく行った。今回はより実験の精度を増すために実験を 10 回行い、各音声に対する 3500Hz、17500Hz 成分の平均値をとった。風防 C 装着時と未装着時、風

を受けた時と無風時の測定結果から求めた長時間平均スペクトルの 3500Hz および 17500Hz における振幅を表 4.3、表 4.4 に示す。

表 4.3: 3500Hz の長時間平均スペクトル [dB]

風防	送風	0 度	45 度	90 度
なし	なし	86.7	85.5	82.2
なし	あり	82.9	83.7	79.7
C	なし	70.8	71.1	69.5
C	あり	67.8	67.4	63.3

表 4.4: 17500Hz の長時間平均スペクトル [dB]

風防	送風	0 度	45 度	90 度
なし	なし	65.0	66.7	64.4
なし	あり	64.9	73.7	64.2
C	なし	54.7	69.5	58.9
C	あり	57.4	66.8	55.5

4.5.3 項の実験と同じく、全体的に 45 度の位置に大きな音が届いている傾向がある。本実験では 0 度方向のスピーカーの前に防音箱があったために 0 度方向に音が届かなかったと思われる。また風防未装着時の方が装着時より大きな音が得られた。したがって、風防装着による効果は見込めない。このような結果になった原因として、風防の小穴が少なかったことが挙げられる。

第5章 騒音計を用いたスピーカの音圧レベルの測定

5.1 まえがき

作成したスピーカからどの程度の音圧レベル（dB）が発生しているのかを測定するため、屋外のなるべく環境音が少ないであろう、本学グラウンド（サッカー場～ソフトボール場）で測定を試みた。



図 5.1: 測定場所

5.2 実験器具

実験に使用した器具を図 5.2、詳細を表 5.1 に示す。

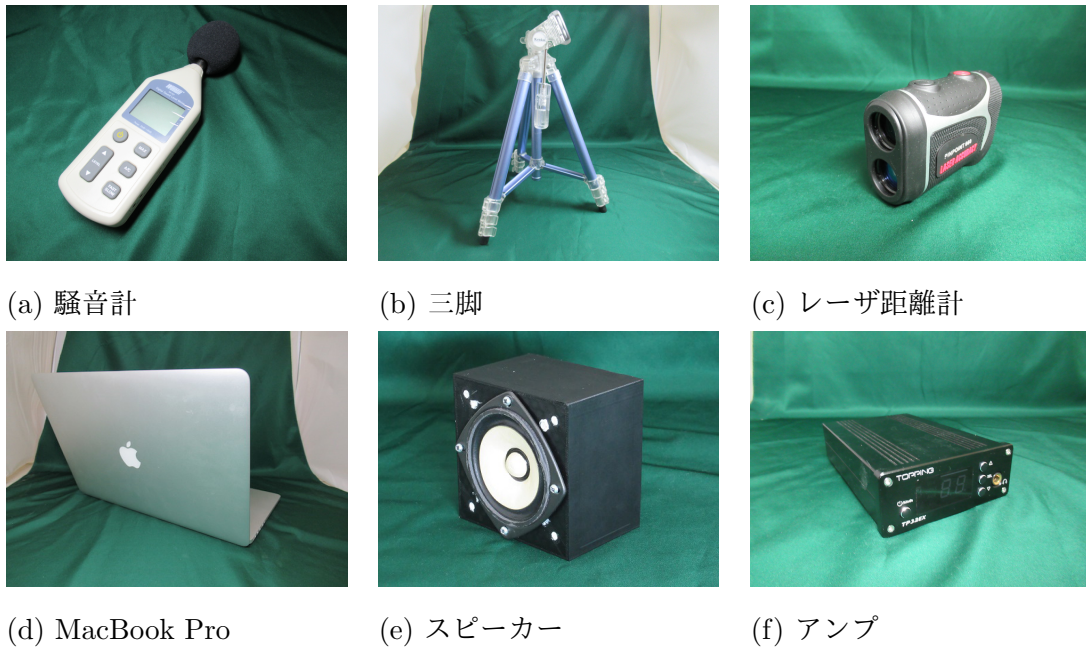


図 5.2: 実験器具一覧

表 5.1: 使用道具

使用器具	説明	図番号
騒音計 (Digi-tal Sound Level Mater)	騒音レベルの測定	(a)
三脚	騒音計の固定	(b)
レーザ距離計 (LASER ACCURACY)	スピーカーから騒音計の距離を測定	(c)
再生用 PC MacBook Pro	合成音の出力	(d)
スピーカー	合成音の再生	(e)
アンプ (TP32EX)	音の増幅	(f)

音圧レベルの測定をするにあたり設置したスピーカの高さが 40cm だったため測定する騒音計 (Wensn 製 Digi-tal Sound Level Mater) を三脚に固定し、スピーカーと同様に地上から 40cm の位置に固定した。再生する音は 3 章で作成した合成音を使用し、PC (MacBook Pro) からアンプ (TOPPING 製 TP32EX) に接続し自作したスピーカーへ接続する。アンプの設定は最大の出力とする。測定距離については、スピーカーから 0m、25m、50m、100m、200m、300m、400m の距離で行う。また、距離を測定する際にはレーザ距離計 (レー

ザーアキュラシー製 PINPOINT660) を使用する。

5.2.1 実験方法

1. レーザー距離計で騒音計を置く距離を測定する。
2. 騒音計の設定を C 特性、SLOW、測定可能範囲を 50dB～100dB に設定し、最大値を表示する。
3. 環境音が小さくなるまで待機し、準備ができたならスピーカーから合成音を 10 秒～15 秒程度流し、その間の最大音圧レベルを記録する。
4. 上記の実験を 0m、25m、50m、100、200m、300m、400m の距離で同様に測定を行う。

5.3 実験結果と考察

音圧レベルごとの環境音の大きさの目安を表 5.2 に、今回測定した各距離の最大音圧レベルを表 5.3 に示す。0m では音圧レベルが 75.8dB となっており掃除機や地下鉄の車内などの騒音レベルと同じであり大きな音が出ていることが確認できる。100m までは、音に対して騒音計が正しく最大値を取れていると考えられるが、200m 以降になると 100m の音圧レベルよりも高い数値、又はそれに近い数値が発生してしまった。これは、測定場所の風が強く、風切り音などを騒音計が拾ってしまったことなどが考えられる。測定担当者の耳でも 100m までははっきりとした合成音を確認することができたが、200m 以降は環境音によって微かな音しか確認することができなかった。よって、スピーカーから出る音の鹿に対する有効性は 100m 前後であると思われる。

表 5.2: 音圧レベルごとの大きさの目安 [6]

音圧レベル [dB]	音の大きさの目安
140	ジェットエンジンの近く
130	肉体的な苦痛を感じる限界
120	近くの雷鳴
110	ヘリコプターの近く
100	自動車のクラクション
90	大声
80	地下鉄の車内
70	掃除機
60	普通の会話
50	静かな事務所
40	図書館
30	ささやき声
20	木の葉の触れ合う音

表 5.3: 各距離の最大音圧レベル

距離 [m]	音圧レベル [dB]
0	75.8
25	64.6
50	61.3
100	59.3
200	62.8
300	60.6
400	58.4

第6章 スピーカーから出力された音に対する 鹿の反応

6.1 まえがき

本章では車両に取り付けられたスピーカーから警笛に相当する音などを走行中に再生した時のエゾシカの反応の様子を調査した結果について報告する。

6.2 実験に使用した音声データ

警笛は鹿の警戒声を基に開発されていると考えられているため、エゾシカの警戒声 [7] から一区画を抜き出して、実験に使用した。使用した警戒声の波形を図 6.1 に示す。さらに、この警戒声の波形に基づき、超音波合成音と合成音を改良した。0.3 秒の合成音データに対し、前後 0.05 秒のフェードイン、フェードアウト処理を行なった。その後 22 秒間の無音区画を加え、合成音全体が 2.5 秒の断続音になるように作成した (図 6.2 参照)。

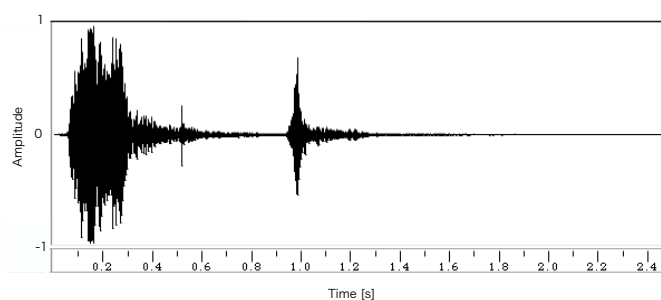


図 6.1: 警戒声の波形

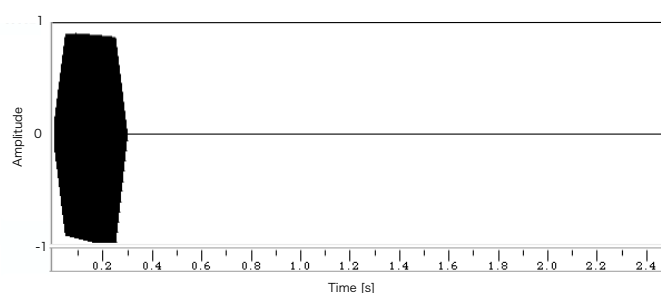
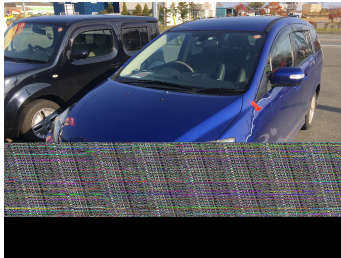


図 6.2: 合成音の波形

6.3 実験器具

実験に使用した器具を図 6.3 に、詳細を表 6.1 に示す。



(a) 走行車



(b) 撮影車



(c) インターフェイス



(d) 再生用 PC



(e) スピーカー



(f) 録画用カメラ

図 6.3: 実験器具一覧

表 6.1: 実験器具一覧

使用器具	説明	図番号
マツダプレマシー	走行車	(a)
日産キューブ	撮影車	(b)
オーディオインターフェイス QUAD-CAPTURE	マイクの接続	(c)
PC MacBook Pro	再生用	(d)
スピーカー Fostex Range Speaker FE83E	スピーカーユニット	(e)
デジタルカメラ CANON PowerShot SX620 HS	録画用	(f)

6.4 実験方法

エゾシカが多く発生している情報があったため、苫東工業団地臨海部周辺において 2017 年 10 月 25 日の日の出頃より実験を行なった。図 6.4 に示すように、スピーカーを走行車のフロントスポイラーに括り付けた。調査ルートを 2 台の車両 (撮影車・走行車) で走行し

た。エゾシカに遭遇した際、撮影車は対象個体が目視できる場所まで移動し停車、走行車は走行を続け、対象個体から離れた場所で停止し、待機した。以下の実験手順に従って行った。



図 6.4: スピーカー設置位置

1. 撮影車側は対象個体が通常行動になったのを確認し次第、走行車に連絡する。対象個体をビデオで撮影する。
2. 走行車側は連絡を受けてから、音を再生しながらエゾシカに向かって走行を開始する。60km/h で対象 個体の横を通過する。
3. 撮影車側は走行車が対象個体通過後、エゾシカが通常行動に戻るか、目視できなくなるまで逃げた時点で撮影を終了する。
4. 上記の実験を無音 (素通り)、超音波合成音、合成音、警戒声の順に再生する音を繰り返す。
5. すべての音を流し実験が終了したら、再びエゾシカに遭遇するまで走行を行い、上記の実験を繰り返す。
6. 後日、対象個体の行動を表 6.2 に従い、分類する。

表 6.2: エゾシカの行動分類

	行動	定義
警戒行動	静止	頭の方は走行車に向かず周りを注視する
	注目	走行車の方に頭を向けて注視する
	警戒声	警戒声を発する
	歩行移動 A	警戒声に反応して歩行によって様子を伺う、遠ざかる
	逃走	走って移動する
通常行動	歩行移動 B	移動をするために歩行する
	採食	歩きながらまたは立ち止まって植物を採食する
	毛繕い	自分や他個体を口ですく、足で体や頭を掻く
	休息	地面に座って落ち着いている
	その他	他個体に対する反応など

6.5 実験結果

エゾシカとの遭遇地点を図 6.5 に示す。さらに、各地点で遭遇したエゾシカの個体数、音に対するエゾシカの反応を以下に示す。



図 6.5: エゾシカとの遭遇地点

(1)

- 個体数→実験開始時は雌2頭であったが、途中から雌2頭が出現
- 各音への反応
 - － 無音→注目(車両移動中に1頭が移動)
 - － 超音波合成音→注目
 - － 合成音→逃走(雌が2頭出現し、群れをなして逃走)
 - － 警戒声→逃走したため、実験不可

(2)

- 個体数→雄1頭、雌8頭
- 各音への反応
 - － 無音→採食
 - － 超音波合成音→雌1頭が注目、他は採食
 - － 合成音→雌1頭が注目、他は採食
 - － 警戒声→雌7頭が注目

(3)

- 個体数→雌2頭
- 各音への反応
 - － 無音→(2)の超音波合成音再生時に現れたため、実験不可
 - － 超音波合成音→2頭とも注目
 - － 合成音→1頭が移動したため、対象は1頭のみ。注目後、警戒行動A
 - － 警戒声→移動したため、実験不可

(4)

- 個体数→雄1頭、雌1頭
- 各音への反応
 - － 無音→2頭とも注目、その後目視できない場所まで移動
 - － 超音波合成音→移動したため、実験不可
 - － 合成音→移動したため、実験不可
 - － 警戒声→移動したため、実験不可

(5) 車両の走行が困難な場所だったため車両を停車させて音声を出し、実験を行なった。

- 個体数→実験開始時は雄1頭と雌2頭、途中から雌2頭が出現
- 各音への反応
 - － 無音→実験不可
 - － 超音波合成音→実験不可
 - － 合成音→途中から出現した2頭とも逃走
 - － 警戒声→雄1頭と雌2頭は注目後、歩行行動Aをし、目視できない場所まで移動

無音時にエゾシカが反応したのは、車両音やロードノイズに反応したことを示している。超音波合成音を再生した際でもエゾシカは反応したが、反応した個体数が無音時と大きく変わらなかったため、超音波か走行音のどちらに反応したのか判別ができない。超音波の有効性は示されている [8] ので、本実験では超音波の指向性により超音波合成音のエゾシカに十分に届いていなかったと考えられる。合成音を再生した際にはエゾシカは警戒行動を示し、逃走した個体が多かった。これはエゾシカを遠ざけるのに有効であるといえる。警戒声の再生については、前に再生した合成音にエゾシカが反応し逃走した個体が多かったため実験を行えず、反応を確かめることができなかった。ただし、(5)の実験では、歩行行動Aや逃走をしたため、エゾシカを遠ざけるのに有効である可能性もある。

第7章 まとめ

7.1 動物避け警笛を用いた音響測定について

動物避け警笛の音響測定においては、回転装置による音響測定、ブロワの風圧による音響測定を行った。2種類の音響測定において、いずれの警笛でも超音波を確認することができなかった。原因としては風の当たるわずかな角度の違いによって警笛の音の周波数特性に違いが生じてしまうことが考えられる。スピーカーを用いた音響測定では警笛を使用するよりも音を効率よく出力できるため、以後の実験ではスピーカーを利用することにした。

7.2 スピーカーを用いた音響測定について

スピーカーのサイズが大きかったために車両に取り付けることができなかった。そこで、スピーカーを車両に取り付けるために、3D プリンターでエンクロージャー (スピーカーの箱の部分) を作成し、小型化することにした。また、小型化したスピーカーに 3D プリンターで作成した風防を装着し、空気が入りにくくかつ、音を伝搬させるようにした。しかし、風防未装着時の方が装着時より大きな音を得られた。したがって、風防装着による効果は見込めないと判断し、風防未装着の状態であまね工業団地臨海部周辺において実験を行った。

エゾシカがいる付近でスピーカーを無音で走行した場合、超音波合成音を再生して走行した場合、合成音を再生して走行した場合、警戒声を再生して走行した場合の実験を行ったが多くの実験で警戒行動を示した。特に合成音ではスピーカーと逆の方向に逃走する姿を確認することができた。ただし、エゾシカの聞くと耳が慣れてしまい、いずれは反応を示さなくなる可能性があるため、多くの実験回数を行う必要がある。

7.3 今後の課題

エゾシカにはどの距離までスピーカーの音が聴こえるのかをさらに実験する、風防を付けた際にもできるだけ風防なしの時の音量に近づける工夫を行う、更にスピーカーを軽量化、小型化を行い、風防を車両に取り付けに適した形にすること等が挙げられる。

参考文献

- [1] エゾシカ衝突事故マップ, 国土交通省北海道開発局 釧路開発建設部
<https://www.hkd.mlit.go.jp>
- [2] 株式会社アバ
<http://www.aba-japan.com/>
- [3] 岩宮眞一郎, ”図解入門よくわかる最新音響の基本と仕組み”, 秀和システム
- [4] 清水博喜, 谷地元康平, 工藤葵, 菅原直人, ”音響測定による動物避け警笛の音響特性に関する研究,” 北海道科学大学論文 (2017)
- [5] 能登ほのか, 小關花那, ”動物避け警笛の音響特性の測定と動物への影響に関する研究,” 北海道科学大学論文 (2016)
- [6] 東邦精機 株式会社
http://www.toho-seiki.com/info04_e.htm
- [7] 夜更かしはシカの特権? , WoofWorks (2008)
<http://www7.big.or.jp/~woofwrks/wp/archives/575>
- [8] ー近鉄がプロデュースー 鹿の線路内への侵入防止システム「シカ踏切」がグッドデザイン賞を受賞! , 近畿日本鉄道 (2017)
http://www.kintetsu.co.jp/all_news/news_info/goddezainsshika.pdf

謝 辞

本研究は、筆者らが北海道科学大学工学部在学中に、北海道科学大学工学部情報工学科松崎研究所において 2017 年 6 月から 2018 年 1 月まで行なったものである。



本研究を進めるにあたり、終始、御指導、ご鞭撻をいただいた北海道科学大学工学部情報工学科松崎博季教授に心より感謝致します。

本研究を行うにあたり、多大なるご協力、実験場所、宿泊場所、実験器具等の御提供、数々の御助言をくださいました株式会社アバ社長 後藤嘉木様に心より深く御礼を申し上げます。

本研究を行うにあたり、実験場所の御提供をいただいた株式会社苫東の関係者の皆様に心より深く御礼を申し上げます。

最後に本研究の遂行にあたり著者を常に支援し応援してくれた両親、並びに親族のみなさまに心より感謝申し上げます。