

野生の鹿に対して 自動車のタイヤ音を警告信号音として利用するための研究

Study on utilization of sound emitted from car tires as warning tone for wild deers

北海道大学大学院工学研究院環境創生部門
北海道大学工学部環境社会工学科
北海道大学大学院・公共政策学連携研究部
社)北海道回開発技術センター調査研究部

正 員 長谷部正基 (Masaki Hasebe)
○学生員 林 竜嗣 (Ryuji Hayashi)
正 員 萩原 亨 (Toru Hagiwara)
正 員 野呂美紗子 (Misako Noro)

1. まえがき

エゾシカによる道路交通事故の発生件数は道内全体で見ると年々増加傾向にある。富良野警察所管内だけで平成20年には84件、平成21年には72件もの鹿による交通事故が起きている。主な事故発生要因は、エゾシカの道路への侵入・飛出しによる車両との衝突、又はドライバーの回避行動に伴う路外への逸脱、車両相互の衝突等によるものである。動物の交通事故は被害にあった動物だけでなく我々人間のリスクともなる。こういった事態を音響学的手法を用いて減少させたく、本研究に取り組んだ。

本研究はグルーピングを道路上に施工することにより自動車のタイヤ音を増大させ、また反射板を用いて進行方向前方へ直達音よりも大きな音を届けることで、道路付近にいる鹿に危険を認識させ、交通事故を減少させることを目的としたものである。そのために、グルーピング上を走行した際の自動車騒音の発生原因や車速などとの関係を明らかにした。また、反射板を用いることでどの程度音圧レベルが変化するかの実測及び境界要素法を用いての数値計算を行ったので、その結果について報告する。

2. 実験概要

2.1 グルーピングによるタイヤ音増幅

浜頓別 国道238号線の直線道路にグルーピング（横溝）を施工し、実験車を走行させ、自動車騒音、タイヤ表面の振動速度の測定を行った。道路上のグルーピングの位置、グルーピングの形状は図2.1に示す。車外騒音は道路脇に4つのマイクを設置し、レコーダーに記録した。マイクは道路から1.5m離れた路面上に設置した。実験車が走行する方へ順にマイク1、マイク2、マイク3、マイク4とする。マイクの設置状況は図2.2に示す。

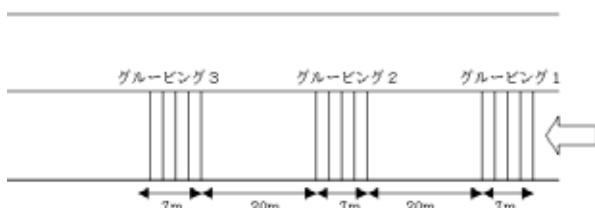


図 2.1(a) グルーピング平面図

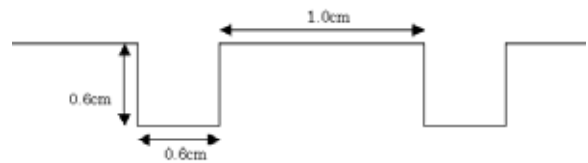


図 2.1(b) グルーピング断面図

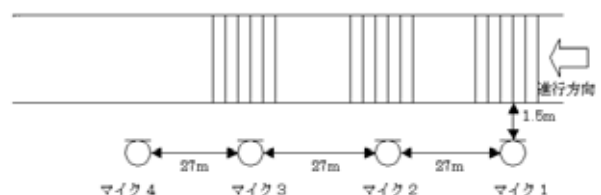


図 2.2 道路脇マイク設置図

タイヤ付近音は自動車の左後輪のタイヤ横と後部2カ所にアルミアングルを利用して固定した。

測定は夏タイヤ（走行速度 40,60,80km/h）の場合と、スタッドレスタイヤ（走行速度 60,80km/h）の場合について行った。

2.2 反射板によるタイヤ音伝達

自動車の進行方向に居る鹿に、より大きな警告音を伝えるため、0.65m×1.0mの亚克力板を用いて作成した平板をグルーピング1の横に設置し、車の進行方向前方であるマイク4の位置に伝わるタイヤ音を測定した。位置関係は図2.3に示す。

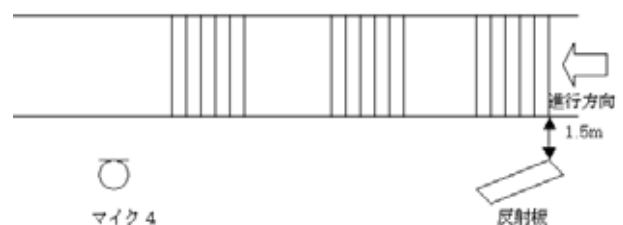


図 2.3 反射板の設置状況

また、図2.3中の反射板を回転楕円体とした反射板（0.65m×1.0mの亚克力板）に変更して同様に測定を行った。

3. 実験結果

3.1 スペクトルの車速依存性に関する考察

グルーピング上を実験車が走行した際にタイヤ付近で測定された音を FFT 分析した結果は図 3.1 のようになった。

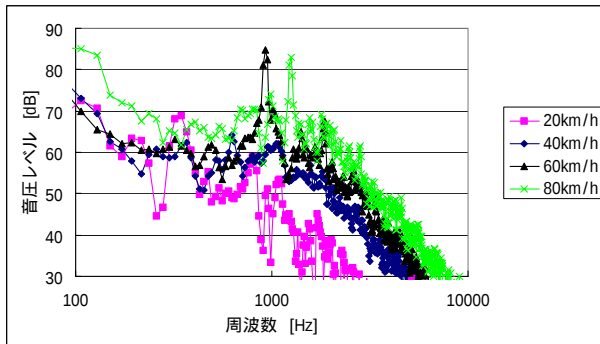


図 3.1 スペクトルの車速依存性

図 3.1 より、500Hz 以上では明らかに速度の大きい方が音圧レベルが高いことがわかる。これは速度が大きい方がより大きなエネルギーで溝に衝突するためである。また、20, 40, 60, 80km/h の音圧レベルのピーク値はそれぞれ 344, 624, 925, 1248Hz の周波数で観測されている。このピーク値を示す音はタイヤが突起に接触した際にタイヤに上下方向に加重変動が発生し、それによりタイヤが振動され発せられると考えられる。溝間を突起と考え、突起に触れている時間から周期を計算すると、20, 40, 60, 80km/h の場合それぞれ、347, 694, 1041, 1388Hz となり測定値と大体一致する。

3.2 路肩測定点でのスペクトルレベル

実験車がグルーピング上及び平面路上を車速 80km/h で走行した際の路肩（マイク 4）で測定した音を図 3.2 に示す。

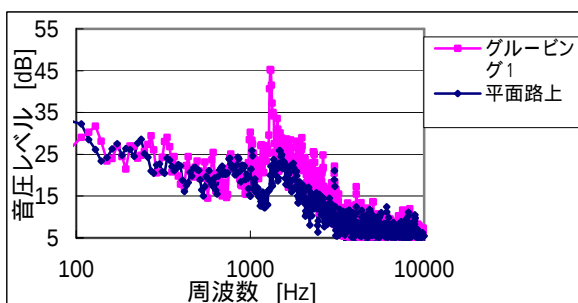


図 3.2 マイク 4 での路肩測定音のスペクトル

グルーピング 1 はマイク 4 から 81m 離れた位置にある。同様にグルーピング 2 は 54m、グルーピング 3 は 27m 離れた位置にある。各グルーピング上を走行した際のタイヤ音のスペクトルのピーク値の音圧レベルを記す。音圧レベルは 5 回測定したもののパワー平均値である。また、比較のためにグルーピングの無い通常の平面路上を走行した際のタイヤ音の同周波数、同距離における音圧レベルも記載した。車速は 60, 80km/h であった。

表 3.1 車速ごとのピーク音圧レベル

車速	60km/h	ピーク値の周波数 [Hz]	音圧レベル [dB]	音圧レベル [dB] 平面路上
グルーピング 1		968	32.2	18.5
グルーピング 2		968	46.4	23.4
グルーピング 3		958	57.4	34.4
車速	80km/h	ピーク値の周波数 [Hz]	音圧レベル [dB]	音圧レベル [dB] 平面路上
グルーピング 1		1324	44.8	21.3
グルーピング 2		1302	56.1	37.2
グルーピング 3		1281	64.9	50.7

ピーク値の周波数はドップラー現象の影響でずれが発生している。平面の路上を走行した際の音と比較すると 15 ~ 20dB 音圧レベルが高くなる結果になった。

3.3 反射板による音の伝達

反射板を設置しない状態でグルーピング 1 上を走行した際のタイヤ音をマイク 4 で録音したものを基準として、反射板を設置した場合の音圧変化を検討した。音の伝搬は風の影響を受けるため、基準になる音は風速が 2.0m/s 以下のものを採用した。車速 60, 80km/h での走行を各 3 回ずつ行い、1/3 オクターブバンド音圧レベルによって比較した。結果を図 3.3 に示す。

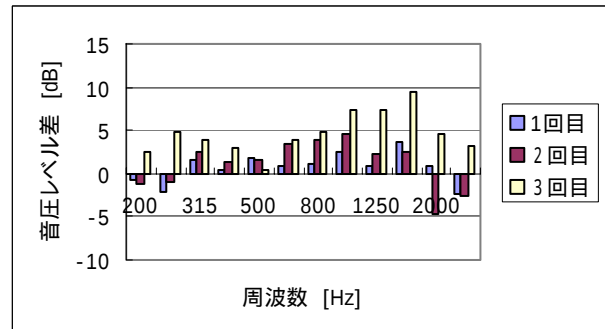


図 3.3(a) 平板によるタイヤ音の伝達 60km/h の場合

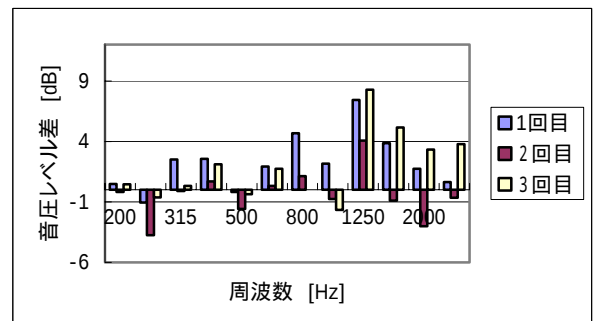


図 3.3(b) 平板によるタイヤ音の伝達 80km/h の場合

音圧レベル差がプラスであれば、反射板は音を前方に伝搬出来たものと考えられる。60km/h の場合、300 ~ 1500Hz の周波数では 3 回とも安定してタイヤ音を強め

ることが出来ている。80km/h の 1250Hz では安定してタイヤ音を強めることが出来ているが、他の周波数だと結果にばらつきが見える。60km/h では音圧レベル差が平均して 3.11dB、80km/h では 2.12dB である。

回転楕円体の一部を反射板とした場合の実験結果を以下に示す。

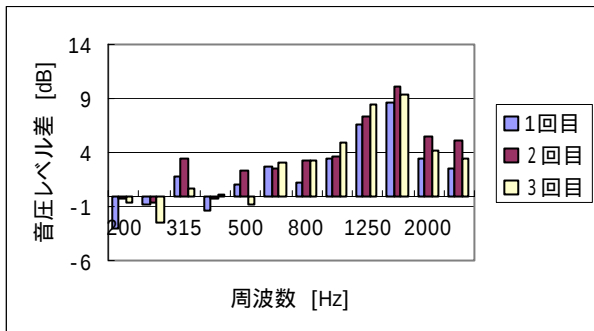


図 3.4(a) 楕円板によるタイヤ音の伝達 60km/h の場合

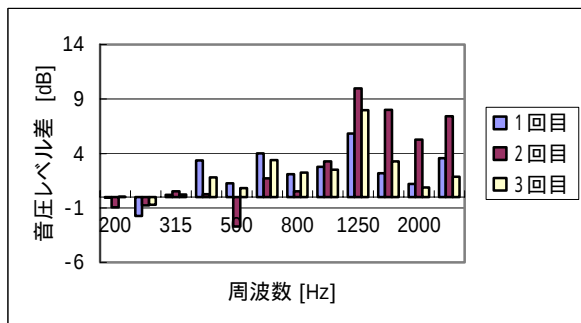


図 3.4(b) 楕円板によるタイヤ音の伝達 80km/h の場合

600Hz 以上の周波数では 60、80km/h とともに音圧レベル差がプラスであり、タイヤ音を強めることに成功している。音圧レベル差は平均して 60km/h で 4.14dB、80km/h で 3.35dB、と平板と比べて約 1dB 大きくなっている。また 1250～1650Hz の範囲では平均して 8dB ほど音圧レベルが高くなっている。

4. シミュレーション結果

反射板周辺の音圧レベル分布図を作成した。これは水平面内の音圧レベル分布図であり、色が黒いほど音圧レベルが高い。また赤い点が音源であり、この水平方向である青い矢印の方向に受音点が設定してある。

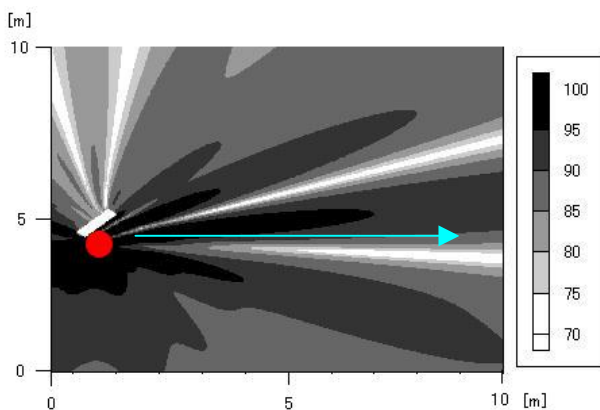


図 4.1 反射板の音圧レベル分布図

この図より、受音点方向に白い筋となる部分が伸びていることがわかる。このようになる理由は直達音と反射波の経路差が半波長の奇数倍となり、逆位相の波になってしまい打ち消しあっているからだと考えられる。

次に図 4.1 の音源を 0.2m 進行方向前方へずらした音圧レベル分布図 (図 4.2) を作成した。

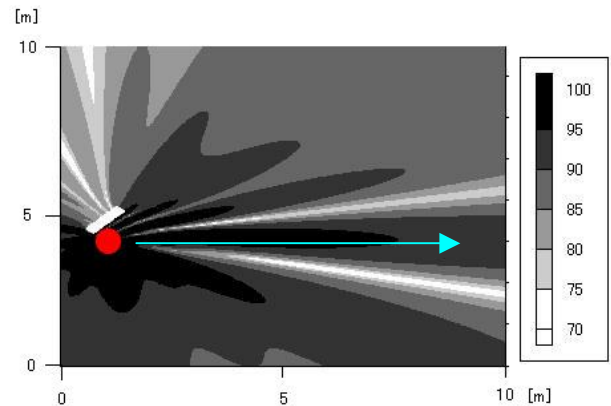


図 4.2 音源を進行方向前方に 0.2m ずらした音圧レベル分布図

図 4.2 より音源をずらしたことによって受音点方向に黒い腹となる部分が伸びていることがわかる。このように音源を移動させることによって音圧レベルが増減することがわかった。

次にパラボラ状のアンテナを用いたシミュレーション結果を平板と比較して示す。パラボラアンテナは平行な電波を焦点に集め受信するものであるが、本研究では自動車の側面方向のタイヤ音をパラボラの反射板に反射させ、第 3 章の平板の反射板の場合と同様に自動車の進行方向前方 50m 先により大きな音を届けるべくシミュレーションを行った。パラボラの焦点は音源に設定した。結果を図 4.3 に示す。

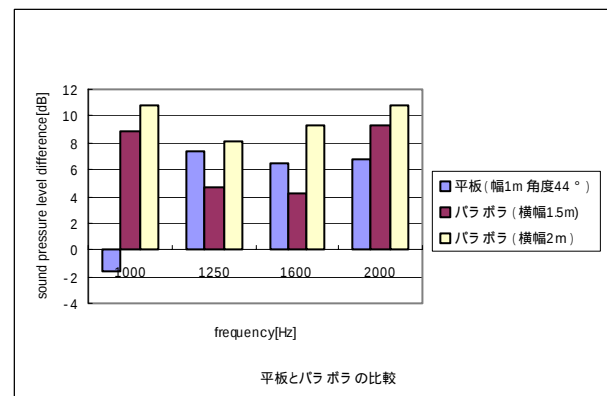
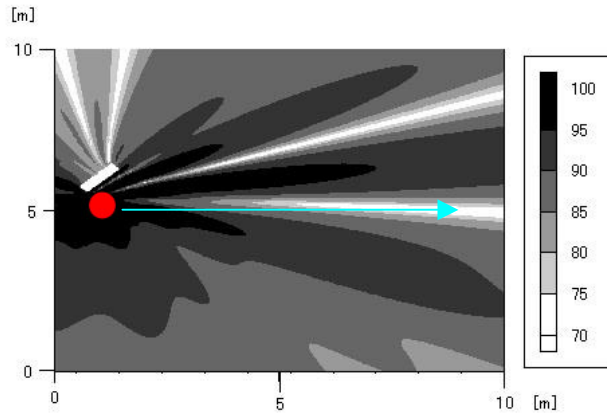


図 4.3 反射板性状の音圧レベルへの影響

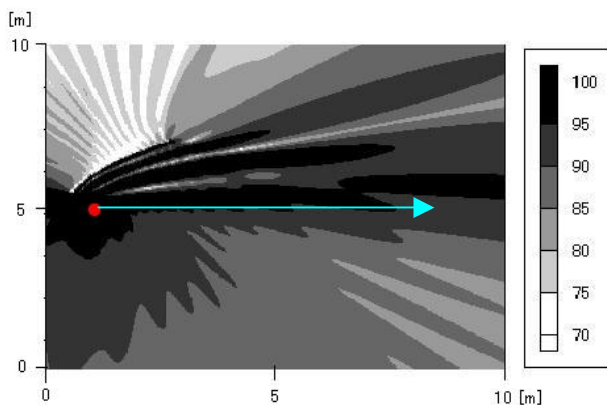
平板状の反射板に比べるとパラボラ状の反射板はより大きな増大効果が得られた。これはパラボラの特徴である平行の放射によって、平板では散乱してしまう反射波が受音点付近に集中するからであると考えられる。

次に反射板付近での音圧レベル分布図によって平板とパラボラの比較を行った。分布図は音源を含む道路に平行に 10m、垂直に 10m の平面図である。

・平板 (1000Hz)



・パラボラ (1000Hz)



着目した周波数において平板状の反射板では扇形に反射している一方、パラボラ状の反射板では受音点方向へ強いレベルで反射していることがわかった。

5. 結論

本研究によって得られた成果としては、以下の事項が挙げられる。

- ・ グルーピングを使用することにより 1250Hz で音圧レベルがタイヤ付近で 80dB、音源から 81m 離れた場所で 44dB のタイヤ音を発生することが出来、グルーピングの使用がタイヤ音の増幅に効果があることが分かった。
- ・ グルーピングの溝幅で音圧レベル、溝間の距離でピーク値の周波数をコントロール出来ることが分かった。
- ・ 車速は音圧レベル、ピーク値の周波数の変化に関係がある。また、タイヤの変化は音圧レベルの変化に影響があるが、ピーク値の周波数には影響がない。
- ・ 平板は平均して 2.5dB、楕円板は 3.7dB 音圧を増幅して、81m 先まで伝達できている。反射板は平板よりも楕円板の方が安定して音を伝搬出来、楕円板は 1250 ~ 1600Hz においては平均して 8dB 音を増幅することが出来た。
- ・ 平板状の反射板を用いた場合、1000Hz を除いて着目した 1000 ~ 2000Hz の周波数領域では、自動車の進行方向前方 50m 先の受音点において 5 dB 以上の増音効果を得ることができた。

- ・ パラボラ状の反射板 (横幅 2m) を用いた場合、着目した 1000 ~ 2000Hz の周波数領域では、自動車の進行方向前方 50m 先の受音点において最低 8dB、最高 12dB 以上の増音効果を得ることができた。

6. 今後の課題

対象であるシカの音に関する未解明要素があるのでシカの生態に適応させる検討が必要である。例えば、

- ・ 今回、実験で測定した音が鹿に対して警告信号音として利用可能かの検討
 - ・ 鹿の可聴周波数帯域、警告信号音として何 dB の音圧レベルが必要かの検討
- などが挙げられる。

7. 参考文献

- 1) 大泰司紀之、井部真理子、増田泰：野生動物の交通事故対策 - エコロード事始め、北海道大学図書刊行会、1998.
- 2) 松元隆二：自動車タイヤの基礎と実際、P185 ~ 195、2006.
- 3) 山内勝也、高田正幸、永幡幸二、岩宮眞一郎：自動車の接近報知音に求められる音量に関する調査、日本音響学会、2009.
- 4) 吉永弘志、並河良治：車両の電動化による騒音低減の予測、日本騒音制御工学解研究発表会講演論文集、p89-92、2008.
- 5) 桑野 園子：警告信号音の心理的評価、騒音制御 vol.25 No.1 2001.2、p3-7、2001.