

音質を考慮したマフラー騒音の評価に関する基礎的調査

環境研究領域 ※坂本 一朗 田中 丈晴

1. まえがき

現在、使用過程において消音器（マフラー）の交換を行った車両（以下、交換用マフラー装着車両という）による道路交通騒音の悪化が問題となっている。このため、国土交通省では「使用過程車における改造自動車の騒音対策手法等に関する検討会」を設置し、効果的な騒音対策手法の検討が行われている。最近の交換用マフラーは、低音を強調した製品が多く、音量だけでなく周波数特性など音質についても検討を行う必要性が指摘されている。しかし、自動車騒音の音質に関する研究は数多くあるが、マフラー騒音のうるささについて、音質を考慮した検討はそれほど多くは行われていない。そこで、国土交通省からの委託調査として、音質を考慮したマフラー騒音の評価について基礎的な調査を行った。

現在、騒音の大きさは一般に騒音レベルで評価されているが、騒音レベルは低周波音が小さく評価されるため、低周波音が強調されたマフラーではうるささとの対応が悪いとされている。これに対して、人間が感じる音の大きさを表す指標としてラウドネスという評価量がある。そこで、本調査では、音質を考慮したマフラー騒音の評価を行う第一段階として、マフラー騒音のうるささが、騒音レベルやラウドネスとどの程度相関があるかを、被験者による評価実験により調べたのでその結果について報告する。

2. マフラー騒音のサンプル音の取得方法

2. 1. マフラー騒音の測定方法

まず、実際に走行している交換用マフラー装着車両の騒音を、音質評価が可能な方法により収録した。交通安全環境研究所前の都道 14 号線を通る車両を対象として、事務庁舎の屋上において、実際に走行している交換用マフラー装着車両の騒音を測定した。測



図 1 騒音測定状況

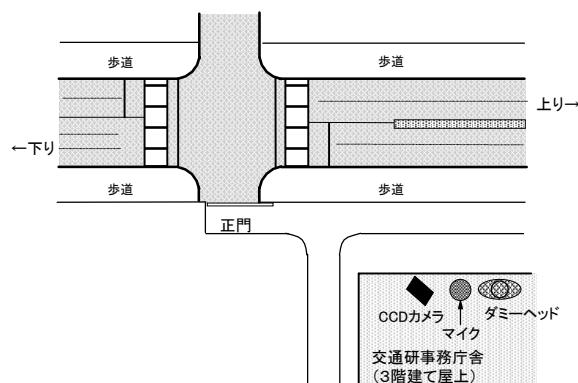


図 2 測定位置の概要

定は、交換用マフラー装着車両が多く走行していると考えられる週末の金曜日午後 10 時から日曜日午前 6 時まで 32 時間連続で行った。指向特性と寸法が IEC959 に適合したバイノーラル録音システム（小野測器製）のダミーヘッドを事務庁舎の屋上に設置し、バイノーラル録音により交通騒音を測定した。また、騒音の物理量を解析するために騒音計のマイクロホンダミーヘッドの横に設置した。さらに、CCD カメラを設置し、走行する車両を撮影した。ダミーヘッドからの騒音とカメラ画像是ハードディスクレコーダに記録した。騒音はリニア PCM の形式で記録した。ダミーヘッドの特性は音質評価が可能なようにヘッ

ドの特性の補正をしないで行った。騒音計からの信号は DAT のデータレコーダへ記録した。図 1 に測定状況を、図 2 に測定位置の概要図を示す。

2. 2. マフラー騒音のサンプル音の抽出方法

まず、騒音計で測定したデータを 100ms 間隔で騒音レベルを解析し、騒音レベルが 70dB 以上でピークとなっている騒音を全て調べ、ハードディスクレコーダを再生して騒音と画像から交換用マフラーの騒音と判断できるものを抽出した。これらの結果から、暗騒音が十分に小さく、他の騒音が全く入っていないものを選び、その中から、四輪車、二輪車、トラックの 3 つの車種について、騒音レベルが約 70dB(A)、約 75dB(A)、80dB(A)以上のものをそれぞれ 1 つずつ、合計 9 種類の騒音を抽出し、騒音レベルが最大となる時を含む約 10 秒間を評価用のサンプルとした。この 9 種類のサンプル音を A グループと呼ぶこととする。また、標準マフラーの騒音とのうるさを比較するために、標準マフラーと考えられる 67dB(A)から 70dB(A)までのマフラー騒音と交換用マフラー装着車両の騒音を 3 つの車種について合計 6 種類抽出した。このサンプル音 6 種類を B グループと呼ぶこととする。

表 1 に A グループ、表 2 に B グループのサンプル音の車種ならびに最大の騒音レベルと最大のラウドネスを示す。また、図 3 に各グループ別にサンプル音の騒音レベルとラウドネスの関係を示す。一部のサンプル音で騒音レベルとラウドネスの大きさが逆転している。図 4 に A グループ、図 5 に B グループのサンプル音の騒音レベル及びラウドネスが最大となったときの周波数分析結果を示す。騒音レベルは低周波音が小さく評価されるため、125Hz 以下の周波数帯域では周波数が低くなるにつれてレベルが小さくなっている。

3. 被験者による評価実験

3. 1. 実験方法

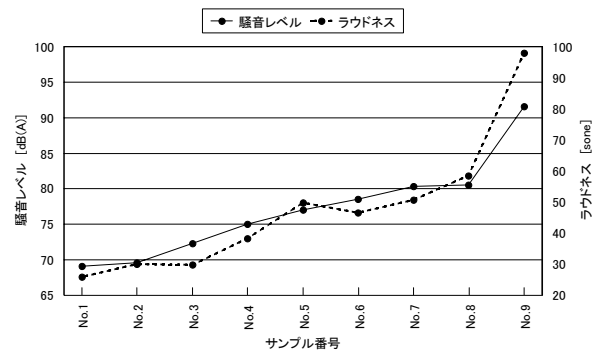
上記で抽出した騒音のうるささについて被験者による評価実験を行った。評価実験は参考文献 (1) を参考にし、株式会社小野測器の協力のもとに行った。A グループと B グループについて、シェッフエの対比較法 (変形) による実験を個別に行った。被験者として、20 歳から 25 歳までの聴力の正常な男女 26 名 (男性 15 名、女性 11 名) を用いた。評価実験は、大

表 1 A グループのサンプル音

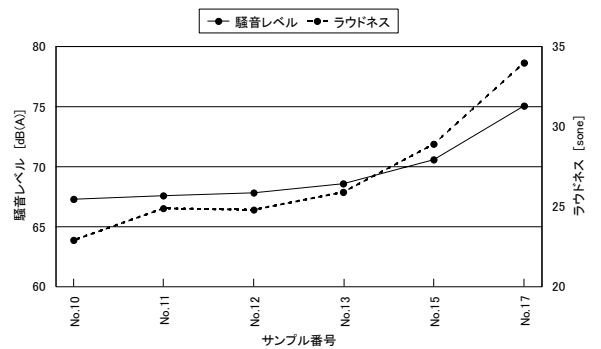
| サンプル番号 | 車種 | 騒音レベル | ラウドネス | 評価結果 |
|--------|------|-------|-------|--------|
| No.1 | 二輪 | 69.1 | 25.9 | -0.422 |
| No.2 | トラック | 69.6 | 30.1 | -0.203 |
| No.3 | 四輪 | 72.3 | 29.8 | -0.250 |
| No.4 | 二輪 | 75.0 | 38.2 | 0.145 |
| No.5 | トラック | 77.0 | 49.7 | 0.458 |
| No.6 | 四輪 | 78.5 | 46.5 | 0.177 |
| No.7 | 二輪 | 80.3 | 50.6 | 0.057 |
| No.8 | トラック | 80.5 | 58.4 | 0.380 |
| No.9 | 四輪 | 91.6 | 98.0 | 1.135 |

表 2 B グループのサンプル音

| サンプル番号 | 車種 | 騒音レベル | ラウドネス | 評価結果 |
|--------|------|-------|-------|--------|
| No.10 | 二輪 | 67.3 | 22.9 | -0.150 |
| No.11 | トラック | 67.6 | 24.9 | -0.083 |
| No.12 | 四輪 | 67.8 | 24.8 | 0.017 |
| No.13 | 二輪 | 68.6 | 25.9 | 0.325 |
| No.14 | トラック | 70.6 | 28.9 | 0.192 |
| No.15 | 四輪 | 75.1 | 34.0 | 0.642 |



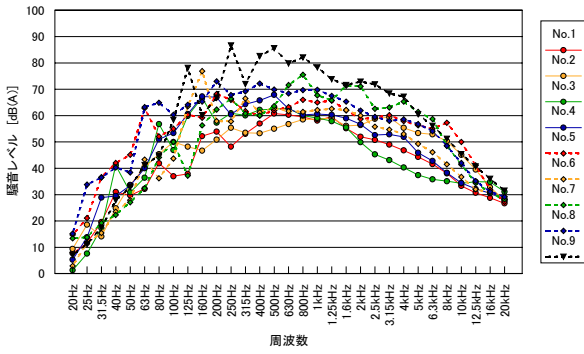
(a) A グループ



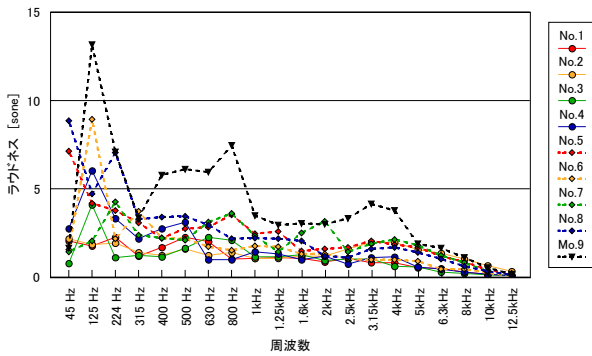
(b) B グループ

図 3 サンプル音の騒音レベルとラウドネスの関係

きな騒音源のない静かな実験室で行い、聴覚実験ソフトウェア (小野測器製 WS-5190) を使用して、ヘッドホンからの音を聴かせた。評価は、サンプル音を 2 つ続けて提示し、最初の音と後の音を比較して、最初の音に対して後の音がどの程度うるさいかを 7 段階



(a) 騒音レベル



(b) ラウドネス

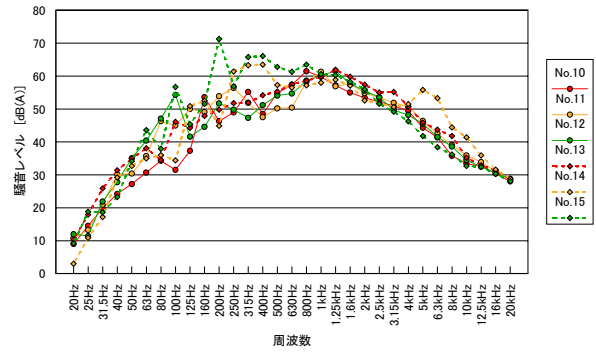
図4 Aグループのサンプル音の周波数分析結果

で評価させた。すなわち、最初の音に対して後の音が少しうるさいと感じたら+1、非常にうるさいと感じたら+3と評価するように指示した。また、逆に静かと感じた場合、少し静かであれば-1、非常に静かであれば-3と評価するようにさせた。ほぼ同じうるささと感じた場合は0と評価させた。評価の回数は正逆それぞれ1回ずつ行い、Aグループは72回、Bグループは30回の評価を行わせた。

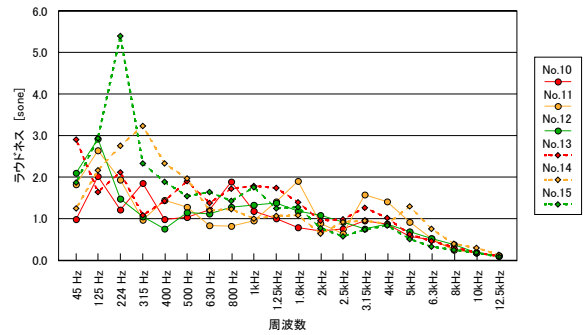
今回測定した騒音は3階建ての建物の屋上で測定したので、前提になる受聴環境の設定として、実験を開始する前に「あなたは今、片側2車線の道路から10m程度離れた建物の4階の部屋にいます。窓が開いているので道路走行する自動車の騒音がよく聞こえます。この騒音についてうるさを評価して下さい。」という説明を行った。うるささの評価は提示された音を聴き比べて最初に感じた値を示してもらい、考えて判断しないように指示した。

3. 2. 評価実験結果

まず、被験者の評価結果の妥当性を調べるため、正逆の評価結果が極端に異なる被験者、および提示音があるかについて調べた。また、他の被験者と評価傾向



(a) 騒音レベル



(b) ラウドネス

図5 Bグループのサンプル音の周波数分析結果

が極端に異なる被験者がいるかを調べた。この結果では評価傾向が極端に異なる被験者が2名(女性)いたため、この被験者を除いた評価値の平均を評価結果とした。評価結果を表1および表2に示す。

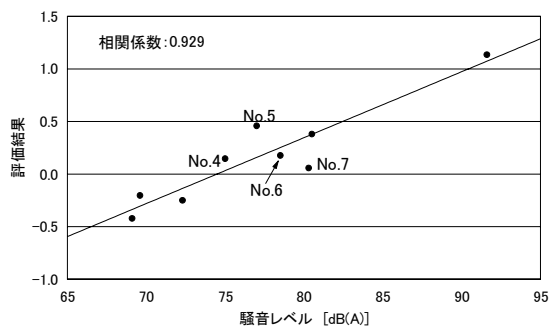
図6に、Aグループのサンプル音の評価結果と騒音レベルとの関係、および評価結果とラウドネスとの関係を示す。相関係数は、0.929と0.956でどちらも相関が高く、特にラウドネスとの相関が高かった。

図7にBグループの評価結果との関係を示す。騒音レベルとの相関が0.899、ラウドネスとの相関が0.906で、どちらもよい相関を示している。

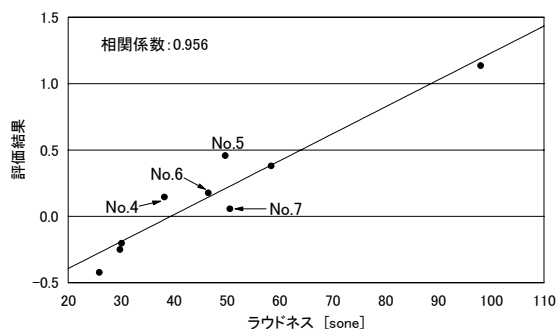
従って、マフラー騒音に限定すると、騒音レベルもラウドネスもうるささの評価結果とよい相関が認められた。

4. うるささと周波数特性の関係

うるささとの評価結果と騒音レベルおよびラウドネスにより相関が見られたが、細かく見ていくと、評価結果が逆転しているサンプル音がある。サンプル番号No.7の二輪車の結果は、騒音レベルおよびラウドネスがNo.5のトラックの結果に比べてそれほど違い



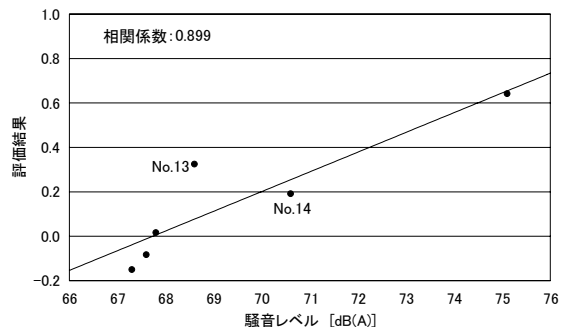
(a) 評価結果と騒音レベルとの関係



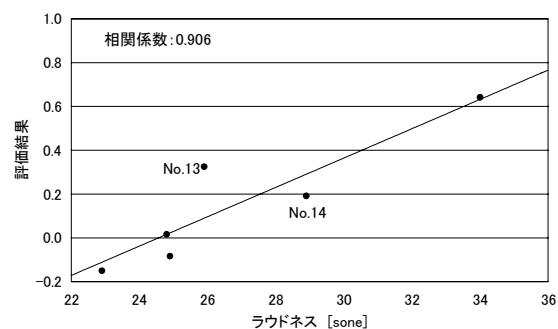
(b) 評価結果とラウドネスとの関係

図6 Aグループの評価結果との相関図

がないにもかかわらず、評価結果はかなり小さくなっている。そこで、これらの結果について周波数特性を比較した。図4から、No.7の結果は、騒音レベル、ラウドネスともにおよそ630Hz以上の高周波帯域では比較的大きいが、125Hz以下の低周域では小さく、No.5の結果だけでなくNo.4やNo.6よりも小さい。この傾向は特にラウドネスの周波数分析結果ではっきりと現れている。No.7は二輪車のマフラーで高周波数帯域の騒音が大きいマフラーであり、No.5は低周波数帯域の騒音が大きいトラックのマフラーである。表1に示す最大の騒音レベルやラウドネスでは両者の値に大きな違いがないが、No.7の評価結果はNo.4やNo.6よりも小さく、図6に示す相関図の結果においても、No.7の結果は相関線より下に位置している。従って、125Hz以下の低周波域の騒音が小さいとあまりうるさいと感じられず、逆にその周波数帯域の騒音が大きいとうるさいと感じられる傾向があると考えられる。この傾向は、Bグループにも見られる。No.13はNo.14に比べると騒音レベル、ラウドネスともに小さいが、評価結果は大きくなっている。両者のラウドネスの周波数分析結果を比較すると、No.13の結果は45Hzのラウドネスが大きな値を示している。従って、低周波領域の騒音が大きいと、うるさく感じ



(a) 評価結果と騒音レベルとの関係



(b) 評価結果とラウドネスとの関係

図7 Bグループの評価結果との相関図

られる傾向が示唆された。

5. まとめ

本調査では、音質を考慮した交換用マフラーの騒音の評価の基礎的調査として、実際に走行している車両のマフラー騒音を測定し、被験者実験を行うことにより、従来から使われている騒音レベルと、人間の感覚に近いと言われているラウドネスとの相関を調べた。その結果、今回のサンプルについては、騒音レベル、ラウドネスともうるささと高い相関が認められた。また、125Hz以下の低周波域の騒音が小さいとあまりうるさいと感じられず、逆にその周波数帯域の騒音が大きいとうるさいと感じられる傾向が認められた。

今回は基礎的な調査として、被験者の年齢を20代前半のみとしたが、今後、幅広い年齢層の被験者に対して調査を進めていきたい。

参考文献

- (1) 難波, 桑野, 音の評価のための心理学的測定法, コロナ社(1998)
- (2) 日科技連官能検査委員会編, 新版官能検査ハンドブック, 日科技連出版社(1973)