

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23760544

研究課題名(和文)環境騒音に含まれる純音性騒音の評価方法に関する研究

研究課題名(英文)Study on the method of assessing tonal components in environmental noise

研究代表者

横山 栄 (Yokoyama, Sakae)

東京大学・生産技術研究所・助教

研究者番号：80512011

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：身近な感覚公害の一つである環境騒音問題も依然として深刻な状況にあり、決して疎かにできず、この問題を解決するためには、環境騒音に含まれる衝撃性騒音、間欠性騒音、純音性騒音の影響の評価方法を確立し、評価・対策・予測することが必要である。これまで、衝撃性騒音については若干の検討を進めてきており、本研究は純音性成分を含む環境騒音の影響評価に着目して計画した。本研究では、環境騒音に含まれる純音性騒音の評価方法を確立するための学術的基礎資料を得ることを目的として、実測調査および実験室実験による心理的影響評価によって、国際的に採用されているエネルギーベースの評価量の適用範囲および限界について検討した。

研究成果の概要(英文)：In Japan, the environmental noise problem, that is one of the familiar sensory pollutions, is still serious. In order to improve the problem, it is important that the method of assessing intermittent noise, impulsive noise and tonal components in environmental noise is established. Further, a measure and a prediction of the noise are also needed as well as the assessment. The some investigation for the impulsive noise has been started in our laboratory. In this study, field measurement of tonal component in environmental noise and subjective experiment using simulated sound field in acoustic laboratory were performed. From the results, the applicability of the evaluation values based on energy used the world over was investigated.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築環境・設備

キーワード：建築環境・設備 解析・評価 心理評価 実験室実験 環境政策

1. 研究開始当初の背景

環境問題としては、最近では地球温暖化などのグローバルな問題が大きく取り上げられているが、身近な感覚公害の一つである環境騒音問題も依然として深刻な状況にあり、決して疎かにできない。この問題を解決するためには、環境騒音に含まれる衝撃性騒音、間欠性騒音、純音性騒音の影響の評価方法を確立し、評価・対策・予測することが必要である。これまで、衝撃性騒音については若干の検討を進めてきており、本研究は純音性成分を含む環境騒音の影響評価に着目して計画した。現在、わが国でも騒音規正法、騒音関連の環境基準の改正が国際整合化を考慮しながら議論されており、そのためにもわが国における環境騒音を対象とした本研究の必要性は高い。

2. 研究の目的

本研究では、実測調査および実験室実験による心理的影響評価によって、国際的に採用されているエネルギーベースの評価量の適用範囲および限界を把握することで、環境騒音に含まれる純音性騒音の評価方法を確立するための学術的基礎資料を得ることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 概要

まず、基礎的な検討として、音響実験室において、ヒトの純音聴覚閾値に関する実験および、純音成分を含む一般環境騒音を対象としたラウドネス実験を実施した。

つぎに、わが国の一般的な環境における純音性騒音の実態を把握するために、卓越した狭帯域スペクトル成分を含む純音性騒音を対象としてフィールド調査を行い、得られた騒音データを分析して、モデル化を試みた。なお、本研究では、ISO/TC43/SC1/WG45 (環境騒音評価) のメンバーに配布された供試音源 (主として、回転機械の騒音) も参考として用いることができた。さらに、上記の解析で得られた純音性騒音のモデル音を試験音として用い、ラウドネスおよびアノイアンスの増加の程度に関する評価実験を行った。

(2) 純音閾値

まず、基礎的な検討として行った低周波数領域を含む純音閾値に関する実験を行った。東京大学生産技術研究所の音響実験施設内に 10Hz までの低周波音を再生できる実験システムを用い (図 3-1)、10 Hz から 200 Hz の純音 (1/3 オクターブバンド中心周波数) に対する聴覚閾値を 20 代から 60 代にわたる幅広い年代の被験者を対象に調べた。その結果 (図 3-2)、40 Hz より低い周波数では世代別の聴覚閾値に顕著な差異はなく、50 Hz 以上の周波数帯域で、20 代から 50 代よりも 60 代の聴覚閾値が高くなることがわかった。

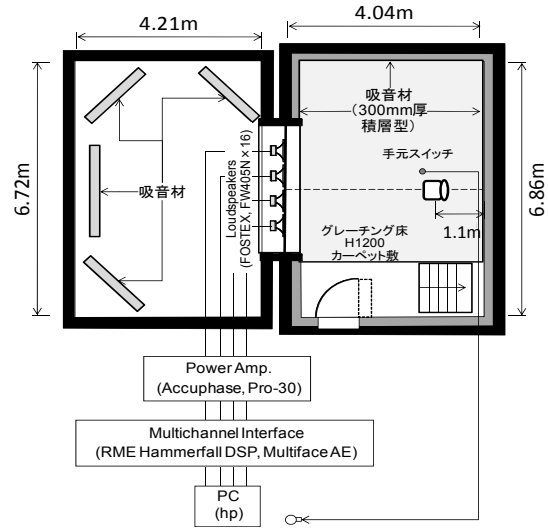


図 3-1 純音閾値の実験設備

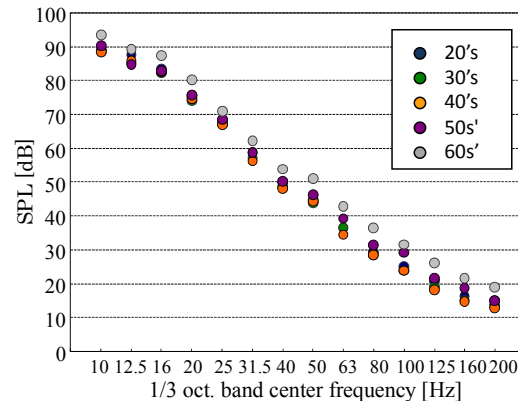


図 3-2 純音閾値の実験結果

(3) 環境騒音を用いたラウドネス実験

つぎに、純音成分を含む一般環境音のラウドネスに対する影響を実験的に検討するため、卓越した狭帯域スペクトル成分を含む環境音 (発電・変電設備騒音、ジェット機騒音、建設工事騒音等) に、純音成分を含まない環境音も加えた合計 38 種類の環境音 (すべてほぼ定常音) を試験音として、ラウドネス実験を行った。音響実験室内に低周波音領域を含む音環境をシミュレートし (図 3-1)、カテゴリ判断法によって評価実験を行った。被験者は、継続時間 10 秒の各試験音に対する「ラウドネス (音の大きさ)」の感覚を 7 段階の評定尺度を用いて 1~7 の整数値で回答した。被験者として、20 代の男女 20 名の協力を得た。20 名の回答の平均値について、A 特性音圧レベル (L_A)、C 特性音圧レベル (L_C)、Zwicker のラウドネスレベル (LL_Z) との対応関係を整理した結果、 L_A および LL_Z による結果はいずれも 0.99 以上の相関となっており、ラウドネスについては、純音成分を含む一般環境音を含め、一般的に広く用いられているエネルギーベースの評価指標の一つである A 特性音圧レベルで評価できる可能性が示された (図 3-3)。

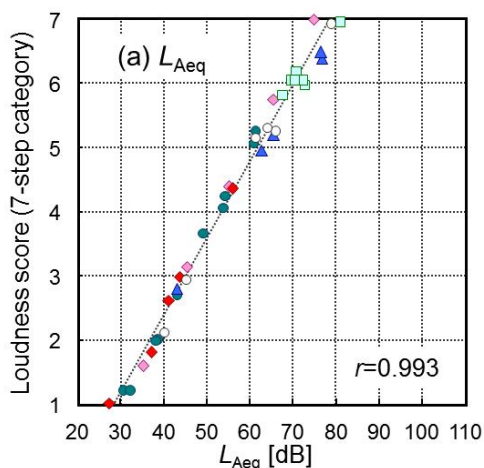


図 3-3 ラウドネス実験の結果

(4) モデル音を用いた検討

さらに、一般的な環境における純音性騒音の実態を詳細に把握するために、卓越した狭帯域スペクトル成分を含む純音性騒音として、発電・変電設備、工場の回転機械類、ジェット機騒音、自動車騒音に含まれる気柱共鳴音、インバータ音等を対象として、フィールド実験を実施した。得られたデータを用いて、背景騒音（一般に広帯域騒音）のスペクトル特性、純音成分のスペクトル分布および帯域幅、背景騒音（noise floor）に対する純音成分の卓越度（レベル差）に着目して解析を行って特徴を把握し、その結果を元にモデル化を試み、純音成分が及ぼす心理的影響を実験的に調べた。なお、背景騒音のスペクトル特性としては、-5 dB/オクターブバンドのスペクトル特性をもつノイズを用いることとした。実験では、純音成分の周波数および背景騒音に対するレベル差をパラメータとして、純音性の知覚の程度（tonal audibility）、背景騒音のみの条件に対するラウドネスおよびアノイアンスの増加の程度についても調べた。心理学的測定法として、ME（Magnitude Estimation）法および被験者調整法を用いて実験室実験による印象評価実験を実施した。なお、このモデル音を用いた基礎的な主観評価実験では、ヘッドホン受聴によるダイオティック受聴（両耳に同一信号が到達する条件）で行った。被験者としては、20代の男女10名の協力を得た。この結果から、純音性騒音に対する聴覚的な反応と各種聴感物理量との対応関係を検討した。主な結果として、純音成分の知覚については、卓越した狭帯域スペクトル成分の背景騒音に対するレベル差が5 dB程度で知覚されることがわかった。また、背景騒音のみの条件に対する純音成分によるラウドネスの増加の程度については、純音成分の周波数によらず、純音成分の卓越度が5 dB以上の場合に、卓越度に応じて増加する傾向が見られた。アノイアンスについては、被験者ごとのばらつきが大きく、実験手法にも課題が残る。

(5) 純音性騒音を用いた印象評価実験

さらに、卓越した狭帯域スペクトル成分を含む実際の純音性騒音を用いて、純音成分の有無による印象の違いについて実験的検討を行った。なお、現実の騒音暴露の状況に近い条件で主観評価実験を実施するため、これまで種々の環境音の評価実験を行う際、3次元音場をシミュレートする手法の一つとして用いてきている6チャンネル收音・再生システムを採用した。

① タイヤ騒音に含まれる気柱共鳴音

卓越した狭帯域スペクトル成分を含む純音性騒音として、タイヤ/路面騒音の発生メカニズムの一つとして挙げられるトレッド溝内の気柱共鳴音（1 kHz）が及ぼす心理的影響に着目し、サイドブランチあり/なしのタイヤ条件による共鳴音低減の効果について実験的に調べた。本検討では、実際の乗用車走行時における車室内を対象とし、聴感的な効果を調べた。テストコースで乗用車助手席にマイクロホンを設置して収録したデータを元に（図 3-4）、3次元音場をシミュレートし（図 3-5）、被験者としてテストドライバや専門家11名の協力を得てSD法（Semantic Differential）による主観評価実験を行った。その結果（図 3-6）、被験者は何らかの聴感的印象によって騒音レベルがほぼ等しい条件間の音響的差異を知覚できており、共鳴音を低減させた場合、主に“快い”印象が変化することがわかった。



図 3-4 乗用車内における走行音収録

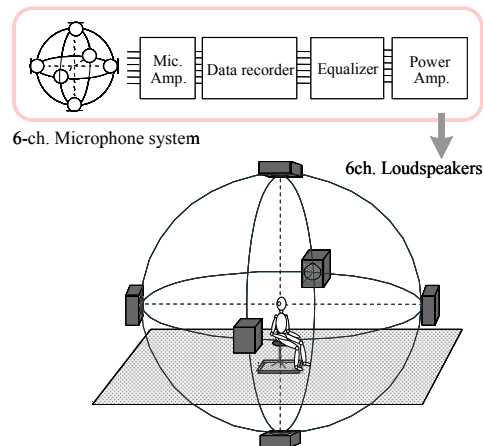


図 3-5 3次元音場再現システム概要

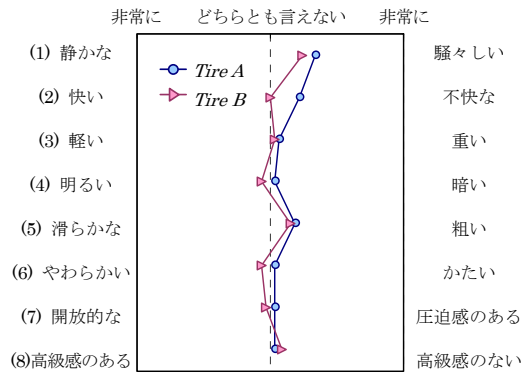


図 3-6 気柱共鳴音の低減効果に関する SD 法による評価実験の結果

② 電気自動車内におけるインバータ音

近年、ハイブリッド車や電気自動車（以下、EV 車）など次世代自動車の普及が急速に進んでおり、EV 車内外における音環境は大きく変化している。本検討では、EV 車内で観測されるインバータ音（400 Hz）の純音成分が及ぼす心理的影響に着目し、乗用車を対象として、まず EV 車およびガソリン車・車室内における走行音（定常・加減速）について実測調査を行い、EV 車・車室内における音環境の物理的特徴を把握した（図 3-7）。また、実測データを用いて音響実験室内に構築した 3 次元シミュレーション音場（図 3-5）において SD 法による印象評価実験を行った。

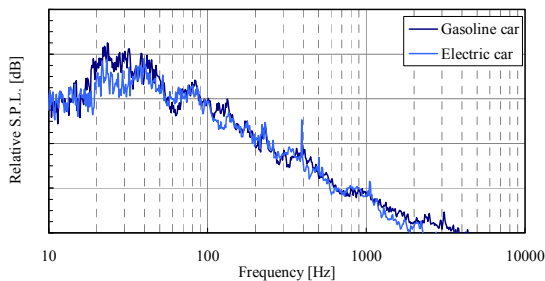


図 3-7 定常走行時（20 km/h）の周波数特性

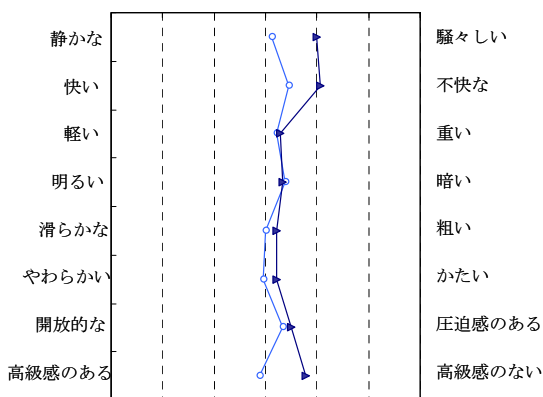


図 3-8 インバータ音の心理的影響に関する SD 法による評価実験の結果

その結果（図 3-8）、純音成分の有無によって、“静かさ”、“高級感”、“快適性” 3 項目で顕著な差が見られた。実験に協力した被験者の内観報告によれば、特に走行速度が遅い場合に、純音成分（インバータ音）の有無による印象の差異が顕著であった。さらに、EV 車・車室内におけるインバータ音の純音成分を信号処理によって低減させた条件についても聴感実験を行った結果、耳ざわりな音がなくなり（内観報告），“快適性” が向上する結果が得られた。

4. 研究成果

今後、特に、アノイアンスについては検討課題が残るが、本研究で得られた成果を用いて、純音性騒音の評価方法として提案されている ISO/FDIS 1996-2 Annex C (Objective method for assessing the audibility of tones in noise – Reference method) および同 Annex D (Simplified method) に示されている方法などの検証を行い、必要な場合には新たな評価方法（簡易化）を検討する意向である。また、特に、アノイアンスについては、騒音の物理的特性の他、騒音源の種類の違いによって心理的影響に差が生じる可能性も考えられるが、この問題については受聴者の騒音源に対する価値観、親近感などについて社会的な立場からの検討も必要であり、ひとまず音響学的立場からの基礎的な知見を整理しておく必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 2 件）

- ① 横山 栄、橋 秀樹、タイヤトレッドパターンのデザインによる車内音の快音化、騒音制御、査読なし、37 巻 3 号、2013、142-145
- ② 坂本慎一、横山 栄、辻村壮平、橋 秀樹、低周波性騒音に関する聴感実験設備、騒音制御、査読なし、37 巻 2 号、2013、73-78

〔学会発表〕（計 5 件）

- ① 横山 栄、坂本慎一、橋 秀樹、低周波数成分を含む環境音のラウドネス評価、日本音響学会、平成 25 年 9 月 26 日、豊橋技術科学大学（愛知）
- ② 横山 栄、小林知尋、坂本慎一、橋 秀樹、電気自動車車室内における音環境評価の試み、ITS シンポジウム、平成 24 年 12 月 13 日、名古屋大学（愛知）
- ③ 坂本慎一、横山 栄、辻村壮平、橋 秀樹、低周波数領域における純音閾値実験、日本音響学会、平成 24 年 3 月 13 日、神奈川大学（神奈川）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

横山 栄 (YOKOYAMA SAKAE)
 東京大学・生産技術研究所・助教
 研究者番号：80512011