

氏 名 小野寺 英子

学位(専攻分野) 博士(学術)

学位記番号 総研大甲第 1621 号

学位授与の日付 平成25年9月27日

学位授与の要件 文化科学研究科 メディア社会文化専攻
学位規則第6条第1項該当

学位論文題目 ハイパーソニック・エフェクトによる脳賦活に基づく音環境快適化
の研究—鉄道の騒音環境改善への応用—

論文審査委員 主 査 教授 山田 恒夫
教授 仁科 エミ
教授 廣瀬 洋子
教授 近藤 智嗣
教授 小出 治 東京大学
部 長 本田 学

国立精神・神経医療研究センター

(別紙様式 2)
(Separate Form 2)

論文内容の要旨 Summary of thesis contents

いま私たちを取り巻く環境においては、自然の環境音が減少する一方、人工的な騒音とそれが導くさまざまな負の影響が増え続けている。各種の騒音低減策がそれぞれの効果を発揮し成果をあげてはいるものの、騒音による障害・被害は依然として解決されるに至っていない。なかでも鉄道空間では、騒音発生源である列車が利用者と近接して所在する上に、アナウンスや発車ベルなど情報伝達のために欠かせない音や利用者自身が発する多様な音加わり、騒音低減策の限界は著しい。

そこで本研究では、〈ハイパーソニック・エフェクト〉——人間の可聴域上限 (20 kHz) をこえ複雑に変化する高周波を含む音が、間脳・中脳を含む〈基幹脳〉を活性化し、生理・心理にもたらす多様でポジティブな効果——が人間の感覚感性を司る脳機能を賦活して、可聴音をより美しく快く感じさせる効果をもつことに着目した。これを応用し、音を「減らす」のではなく、知覚限界を超える高周波 (超高周波) を環境に「加え」て、ハイパーソニック・エフェクトを発現させ、同一の可聴音をより快適に知覚させることによって、鉄道の騒音環境改善に寄与できるのではないかという作業仮説を立てた。それにそって実験を計画・実施し、生理・心理指標によって仮説を検証した。なお、熱帯雨林をはじめとする自然性の高い森林の環境音に豊富に含まれている人間の可聴域上限を大きく超える高周波に対応する成分は、都市環境では著しく欠乏していて、事実上無視できる。

論文は、8章から構成される。

第1章では、この研究の背景、目的、論文の構成を述べた。

第2章では、鉄道騒音対策およびハイパーソニック・エフェクトに関連する先行研究を概観した。従来の騒音低減による問題解決の有効性と限界を検討するとともに、本研究において明らかにすべき基礎・応用面にわたる課題を明らかにした。

第3章では、実験の方法について述べた。実用に供されている駅ホームや列車内では実験条件を統御できず再現性のある評価実験ができないため、実験室、駅臨時ホーム、試験車両などに鉄道空間の音環境を仮想的に造成して実験を行うこととした。そこに付加する超高周波成分 (ハイパーソニック・シャワー) を、ハイパーソニック・エフェクト発現実績のある熱帯雨林で収録された環境音から抽出することにより開発した。効果を評価する指標は、基幹脳活性と正の相関を有する生理指標 (脳波 $\alpha 2$ ポテンシャル) および質問紙調査による心理指標という原理を異にする2指標とした。

第4章では、鉄道空間の音環境の物理構造を把握し実験環境を構築するための環境音収録・分析について述べた。多数の利用者が往来する駅ホームや車両内の環境音を高忠実度で収録しうるポータブル超広帯域収録システムを構築した。収録した環境音を分析し、列車内や駅ホームの環境音は一般に 20 kHz 以下、特に 10 kHz 以下の帯域にエネルギーが集中する一方、周波数上限は時として 40 kHz 程度にまで及ぶことを見出した。また、電車の発着に伴って鋭いスペクトルピークが可聴域・超可聴域に渡って出現するという、通常の都市騒音や自然性の高い森林環境音などとは異なる特徴も明らかにした。

第5章では、前記の作業仮説の妥当性に関する予備的検討について述べた。実験室内に

(別紙様式 2)
(Separate Form 2)

仮想駅ホーム音環境を再現して超高周波を付加呈示する実験を行った。その結果、超高周波の付加呈示によって、「アナウンスの言葉が聴き取りやすい」と評価され、そうではないときに比べて、より「不快でない」「うるさくない」など音環境に対する印象が改善されるとともに、基幹脳活性の賦活を示す脳波 $\alpha 2$ ポテンシャルが増強されることが、ともに統計的有意に見出され、仮説が支持された。

第6章では、実際の鉄道空間により近い臨時ホーム上および試験車両内で行った一連の実験について述べた。第一の実験空間として、駅の臨時ホーム上に電車発着時の騒音環境を仮想的に再現して、〈ハイパーソニック・シャワー〉、および既存のアナウンス・発車ベルにその音圧の時間的変化に相関させて超高周波を付加した〈ハイパーソニック・アナウンス／発車ベル〉を造成・呈示し、心理指標による評価実験を行った。その結果、アナウンスの聴き取りやすさ、発車ベルの音質、環境音全体の音質についての評価がよりポジティブに転じ、音環境の印象が有意に改善された。第二の実験空間として、試験用車両内および補助的に実験室内に走行時の車両内音環境を仮想的に再現し、生理・心理指標による複数の実験を行った。その結果、超高周波を付加呈示することによって、基幹脳活性の賦活を示す脳波 $\alpha 2$ ポテンシャルが増大するとともに、音環境の印象が改善されることを、統計的有意に見出した。さらに、ハイパーソニック・アナウンスを使わずハイパーソニック・シャワーだけを付加呈示しても $\alpha 2$ ポテンシャルの増大と音環境の印象改善効果が認められること、超高周波による脳活性の賦活は時間とともに増強される一方、超高周波を含まない音呈示ではそうした脳活性の上昇は見られないこと、イヤホン装着によって超高周波の鼓膜への到達が阻まれている条件下でも生理的・心理的効果が発現することを、いずれも統計的有意に見出した。

第7章では、これらの実験で得られた結果の意義について考察した。まず、脳波 $\alpha 2$ ポテンシャルの増大は、超高周波成分の付加呈示によって脳の報酬系神経回路を含む基幹脳領域の活性が賦活されたことを示唆し、これを反映して音環境の不快感が低下し快適感が向上したと考えられる。今回の実験でも、「アナウンスがうるさくない」「聴き取りやすい」「落ち着きがある」という3項目で、 $\alpha 2$ ポテンシャルと評価項目の評点とが有意な正の相関を示した。これらの効果の発現機序について、脳イメージング等による先行研究を踏まえて考察し、超高周波を付加呈示することによって同一の可聴音をより快適に受容させるという本研究の作業仮説が支持された。次に、基礎研究上の意義として、可聴音とは別起源の超高周波の付加によって、騒音環境下においてもハイパーソニック・エフェクトが発現するという本研究が見出した結果はこれまで報告されていない新規な知見であり、この効果が可聴域成分の構造に左右されない普遍性をもつ可能性を示唆する点で重要といえる。さらに、応用上の意義として、公共性空間で現在行われている騒音対策・音演出とは異なり、本研究で用いた熱帯雨林環境音から抽出した超高周波は、音として聴こえる成分を取り除いているため、これを環境に付加しても騒音レベルが上昇したり、他の音の伝達を妨げることはない上、可聴音に対するような個人の好悪の反応を導くことがない。人間の心理反応の個別性と生理反応の普遍性とを矛盾なく両立させた本研究の方法は、不特定多数の人々が利用する公共性空間を対象とした新しい原理に基づく音環境改善手法として適合性・応用性が高い。また、今後の課題として、本研究では検討が及ばなかった問題や

(別紙様式 2)
(Separate Form 2)

本研究によって新たに見出された基礎論上の研究課題、そして、鉄道空間をはじめとする騒音環境に超高周波振動発生装置を実装する上での技術的課題について述べた。

最後に第 8 章において、本研究で得られた成果をまとめるとともに、ハイパーソニック・エフェクトという基礎的研究成果を実用に結び付ける橋渡し研究（トランスレーショナル・リサーチ）としての本研究の成果と、本研究成果の実用化が待望されている社会状況について述べ、結びとした。

博士論文の審査結果の要旨

Summary of the results of the doctoral thesis screening

本論文は、鉄道環境における騒音問題の緩和・解決に、知覚限界をこえる高周波の生理的・心理的効果<ハイパーソニック・エフェクト>を応用することを着想し、その有効性を生理・心理指標を用いて実証した独創性・有用性の高い学際研究である。

鉄道では多種多様の騒音源が人間の至近距離に存在するため、騒音がもたらす不快感の低減はきわめて難しい。この問題の緩和解決をはかるために本論文では、ハイパーソニック・エフェクト、すなわち、人間の可聴域上限とされる 20 kHz をこえ複雑に変化する高周波（超高周波）を含む音が、間脳・中脳を含む基幹脳ネットワークを活性化し、ポジティブで多様な生理的・心理的効果をもたらす現象に注目した。そして、騒音環境にさらに可聴音を加えて騒音レベルが上昇することを避けるために、ハイパーソニック・エフェクト発現実績のある音源の知覚限界をこえる成分だけを抽出して用いることを着想した。このような効果は定常的な合成高周波では発現しないことが知られているからである。ただしハイパーソニック・エフェクトは、もともと超高周波成分を豊富に含んでいる快適な音楽や自然環境音の録音物を静謐な室内で呈示する実験によって見出されたものであり、超高周波成分のみを騒音環境に付加して同様の効果が現れるかどうかは未知の課題であった。さらに、実在の鉄道環境で効果測定を行おうとすると統制不可能な要因が多く、再現性の高い実験が困難であった。

これに対して本論文では、まず、ポータブルで高性能な録音システムを構成し鉄道騒音を高い忠実度で録音し、実験室や駅臨時ホーム、列車シミュレータ内でサラウンド再生して、臨場感と再現性が両立する実験環境を実現した。録音した鉄道騒音の周波数スペクトルを分析し、10 kHz 以下の帯域にエネルギーが集中し、40 kHz 程度に及ぶ高周波成分が含まれることはあるものの、そのスペクトルは森林等の自然性の高い環境音とは大きく異なる構造をもつことを明らかにした。次に、熱帯雨林で収録された超高周波成分を豊富に含む自然環境音から、可聴域をこえ 100 kHz に及ぶ音として知覚できない成分だけを抽出した。この成分は<ハイパーソニック・シャワー>と呼ばれている。そして、騒音環境にハイパーソニック・シャワーを付加再生した場合とそうでない場合についてさまざまな実験条件を設定し、基幹脳活性と正の相関を有する生理指標<脳波 $\alpha 2$ ポテンシャル>、および質問紙調査による心理指標という 2 種類の指標によってその効果を検討した。

その結果、実験室、駅臨時ホーム、列車シミュレータのいずれにおいても、ハイパーソニック・シャワーを鉄道騒音に付加再生することにより、そうではないときに比べて、より「不快でない」「うるさくない」など音環境に対する印象が改善されることが見出された。ハイパーソニック・シャワーをあらかじめ付加したアナウンスや発車ベルでは、アナウンスの聞き取りやすさ、発車ベルの音質などについての評価が、ネガティブ性を減じよりポジティブに転じることも見出された。また、脳波計測を実施した実験室および列車シミュレータでは、超高周波の付加再生によって基幹脳活性の賦活を示す脳波 $\alpha 2$ ポテンシャルが増強された。脳波 $\alpha 2$ ポテンシャルの増強と、いくつかの心理指標における快適性の増大との間に正の相関があることも確認された。この脳波 $\alpha 2$ ポテンシャルの増大は時間と

(Separate Form 3)

ともに増強されるのに対して、超高周波を含まない音呈示ではそうした脳活性の上昇は見られなかった。さらに、イヤホン装着によって超高周波が鼓膜に到達しにくい条件下でも、この生理的・心理的効果が発現することも見出され、超高周波の受容器が聴覚系にではなく体表面にあるという先行研究の結論を支持する結果がえられた。これらの実験結果について本論文では、先行研究の知見を踏まえ、脳波 α 2 ポテンシャルの増大は、知覚限界を超える高周波成分の付加呈示によって脳の報酬系神経回路を含む基幹脳領域の活性が賦活されたことを示唆し、これを反映して音環境の不快感が低下し快適性が向上したと結論づけた。

以上のように本論文では、音響学、心理学、神経科学に基づく学際的な手法を用いて、質量ともに十分な効果測定を行い、都市とりわけ鉄道環境における騒音問題への応用可能性の高い実証的な成果を得た。とくに、知覚限界をこえる高周波成分だけを騒音環境に付加した際にもハイパーソニック・エフェクトが発現するという発見の新規性は高く、そうした汎用性の高い効果を発揮するハイパーソニック・シャワーという音源がこの研究によって実現した意義も大きい。

今後の更なる研鑽が望まれるが、すでに公表された論文をはじめとして、博士論文として質・量ともに十分な水準にあると、高く評価できる。

以上により、本審査委員会は全員一致で、本論文は学位を授与するに値すると判定した。