

令和 6 年 4 月 9 日現在

機関番号：33903

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K12089

研究課題名（和文）音楽や音楽的サウンドの最適付加による自動運転中の車室内音環境の快適化に関する研究

研究課題名（英文）A study on comfort improvement of in-vehicle sound environment during automatic driving by optimal addition of music or music-like sound

研究代表者

星野 博之（Hoshino, Hiroyuki）

愛知工業大学・工学部・教授

研究者番号：90394642

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、自動運転中の車室内環境において、人の状態を適切かつ快適に保つための、音楽や自然環境音から生成した音楽的サウンドの最適提示技術を作成することである。音楽提示が人の作業に与える影響についての実験により、同一楽曲であっても音響的な特性を変えることで作業課題成績が向上することを示し、その要因の一つとして楽曲のシャープネス値が影響している可能性を明らかにした。また、多数の自然環境音のスペクトログラムと快適さ主観値との関係を深層学習によりモデル化し、音源分離手法により分解された自然環境音の部分音の快適さを推定することにより快適音を抽出する手法を作成し、より快適な音刺激を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年の自動車の自動運転技術の進展に伴い、ドライバのタスクは運転作業ではなく、安全に運転が行われているかを確認する監視作業へと移り変わっていく。本研究は、車室内において音楽や自然環境音を最適に提示することで、ドライバの監視作業を円滑に行うための覚醒維持の実現と快適性向上の両立を目指したものである。自動運転中の車室内を模擬した環境における被験者実験により、シャープネス値を高くした音楽や自然環境音を提示することで作業課題成績が向上し、覚醒維持効果が高まることを示した。また、覚醒感や快適さの大きい自然環境音の種類を明らかにし、さらに自然環境音からより快適な成分を自動抽出する手法を開発した。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to create an optimal presentation technique of music or music-like sounds generated from nature sounds to keep the human condition appropriate and comfortable in the in-vehicle environment during automated driving. Experiments on the effects of music presentation on human work showed that work task performance can be improved by changing the acoustic characteristics of the musical piece, and revealed the possibility that the sharpness value of the musical piece is one of the factors influencing this improvement. Moreover, we modeled the relationship between spectrograms of many nature sounds and subjective comfort values by deep learning, and created a method to extract comfortable sounds by estimating the comfort of partial sounds of nature sounds decomposed by the sound source separation method, and proposed a more comfortable sound stimulus.

研究分野：ヒューマンインタフェースおよびインタラクション関連

キーワード：音環境 自然環境音 BGM 快適 覚醒 車室内 自動運転 深層学習

1. 研究開始当初の背景

自動運転車の開発が進められており、ドライバのタスクは運転から監視作業主体に今後変わっていく。しかし、完全自動運転車が実現するまではドライバは居眠り等の状態に陥ることがないよう自分の状態を適切に保つことが必要である。本研究では、眠気防止や活性化といった心身の快適性向上を目指し、音環境の快適性と覚醒（活性化）効果との両立が可能な聴覚への刺激に関する研究を行う。具体的なアプローチとしては、快適感を向上できると考えられる「音楽」や「自然環境音から生成した音楽的サウンド」の有効性を、それらの音のシャープネス値とその変動パターン、車室内騒音のマスクング効果、音の呈示条件といった点に注目して調査する。

2. 研究の目的

本研究の目的は、自動運転中の車室内環境において、人の状態を適切かつ快適に保つための、「音楽」や「自然環境音から生成した音楽的サウンド」の設定基準とそれらの音の最適呈示手法を明らかにすることである。

本研究のねらいは、聴覚的な快適性だけでなく、眠気防止や活性化といった心身の快適性向上を目指すことであり、そのためのアプローチとして、音楽や自然環境音から生成した音楽的サウンドの有効性を、それらの音のシャープネス値とその変動パターン、騒音マスクング効果、呈示条件といった点に注目して調査するということである。この研究は、将来的に運転が不要となるような車室内環境をどのようにしていくべきかという課題に対する一つの解を得ようとするものでもあり、具体的には音環境にフォーカスして快適性向上と人の活性化のための手段を提供できるようにすることが目標である。

3. 研究の方法

本研究は、

- ①車室内を模擬した音環境における音楽と自然環境音の主観評価による快適音探索
- ②快適感と覚醒効果を両立する音のシャープネス値設定手法の検討
- ③快適感と覚醒効果向上のためのマスクングを考慮した音の選択・呈示手法の検討
- ④自然環境音や生成した音楽的サウンドによる覚醒効果とその最適呈示手法の検討
- ⑤検証実験・総合評価

の5つの研究ステップで進める。すべてのステップで、被験者実験が中心となり、音の快適感の主観評価とタスク（視覚反応課題、3桁+3桁の暗算課題、タイピング課題等）による覚醒度評価を行う。

ステップ①は、音聴取による主観評価実験を主体として行う。

ステップ②では、本研究の重要なポイントである音のシャープネス値の検討を行う。音楽や自然環境音のシャープネス値やその時間変動パターンは様々である。そこで本研究では、楽曲のシャープネス値を変更したり、鳥の鳴き声のような自然環境音をベースとして音のシャープネス値やその時間変動パターンを変えた音を音楽的サウンドとして生成したりすることにより、シャープネス値と快適感や覚醒効果との関係を明らかにする。

次にステップ③について述べる。車室内において既存の音楽を自動的に呈示する場合には、楽曲の選択基準が重要となる。その一つは覚醒を維持できるという点であり、もう一つはドライバや乗員が知らない楽曲であっても快適感を向上できるという点である。我々は、自動運転が最初に実現されると予想される高速走行時の低周波の多い車室内の騒音環境に注目し、音楽と騒音が相互にマスクされるという現象を考慮して、覚醒度や快適感が向上できる音楽や自然環境音の呈示について検討する。

次にステップ④について述べる。これまでの我々の検討において、快適重視の覚醒音の一つとして鳥の鳴き声を選択された。これは自動車車室内における音刺激として呈示することができると考えられるが、その効果的な呈示手法はこれまでほとんど調べられていない。そこで、音刺激の間隔等の呈示条件を変えて被験者実験を行い、快適感と覚醒効果を定量的に調査し、有効な音刺激とその最適呈示手法を明らかにする。

ステップ⑤では、最終的な検証実験を行い、総合的な研究の評価・意義を明らかにする。

4. 研究成果

①防音室内にて車室内音環境を模擬する手法として、耳元近接設置 2 スピーカを用いた手法とニアフィールドスピーカを用いた手法を検討し、通常のスタンド型 2 スピーカを用いる場合よりも模擬性能が良いことを音響計測・スペクトル分析等と主観評価実験により確認した。また、自然環境音データ 250 個について、快適さ・甲高さ・力強さの3つの主要評価因子の主観評価実

験を行って、シャープネス値等の物理量との関係解析を行い、自然環境音データベースを作成した。そして、このデータベース中の快適さ上位 25 音を今後の実験で主に用いることとした。

②自然環境音を呈示しながら作業課題を行う実験による覚醒効果（作業効率向上）の評価を、シャープネス値と快適さ主観値が異なる 10 個の音を用いて、静音環境である防音室内で行った。30 秒間隔で音を提示しながら作業課題を 1 音 5 分ごとに行い、その後「リラックス」「集中できる」「眠くなる」の 3 つの評価項目による主観評価を行った。その結果、暗算課題においては快適度とシャープネス値が共に高い自然環境音が最も良い結果となり、その自然環境音は「集中できる」評価項目においてもっとも高い値となった。また、車室内音環境を模擬した防音室内にて、自然環境音を呈示しながら視覚刺激に反応する 10 分間の作業課題実験を行った結果、シャープネス値が高い自然環境音は反応時間が短い傾向があり、シャープネス値が高くかつ快適度が高い自然環境音では、課題遂行中の前半と後半との反応時間の差が小さくなった。

さらに同じ実験環境での音楽呈示の場合には、音楽のシャープネス値を 20 秒または 30 秒ごとに高くすることで、覚醒効果を高める可能性があることがわかった。また、音楽呈示時にシャープネス値を高くする手段として、周波数特性を変えるだけでなく、楽曲の演奏楽器を変えることも有効であることがわかった。

③車室内音環境を模擬した防音室内にて、音楽を呈示しながら視覚刺激に反応する作業課題実験を行って覚醒効果を調査した。楽曲やテンポの違いによる反応時間の違いと、主観的印象の違いによる反応時間の違いを調査した結果、楽曲の甲高さをなわちシャープネス値が高くなると反応時間が短くなり、「目覚めている」の主観値が高いと反応時間が短くなり、「快適」の主観値が高いと反応時間が長くなった。また、走行映像と音楽の同時視聴時の主観的印象の評価実験として、走行映像、音量、楽曲の違いの影響を調べた結果、音楽の音量が小さくなると眠気や時間経過、速度変化の感覚が変化することや走行映像が変わると印象評価が変わることがわかり、走行騒音によるマスキングの影響だけでなく視覚的な走行環境も影響があることがわかった。さらに同様の実験環境において、快適と感じられる複数の自然環境音を組み合わせるとその快適さ等の音色評価を行った結果、鳥の鳴き声を含んだ自然環境音は車室内音の影響で静音環境に比べて快適さが低下する場合があることが示された。一方で、音のレベルが同じでもラウドネスが大きい自然環境音は静音環境に比べて快適さが向上する場合があることが示された。

④自然環境音を呈示しながら作業課題を行う実験による覚醒効果（作業効率向上）の評価を行った。快適さ上位 25 音中の一つ「野鳥コーラス」を 10 秒、20 秒、30 秒、40 秒間隔で呈示しながら、5 分間の暗算課題とタイピング課題を行った結果、暗算課題では無音と音呈示条件との間に有意な差がなかったが、タイピング課題では無音よりも 20 秒間隔または 30 秒間隔で音を呈示することでタイプ数が有意に上昇し、音呈示により作業効率が向上する可能性が示された。

また、快適と覚醒を両立する音楽的サウンドを自然環境音から生成する手法として、深層学習と音源分離技術の一つである非負値行列因子分解を用いる手法を開発した。この手法では、自然環境音のスペクトログラムとその主観評価値を用いて深層学習を行い未学習音の快適さを推定する。手法の有効性評価のため、快適さ上位 25 音に適用した結果生成された 25 音について「快適さ」の主観評価実験を行った結果、「コオロギ」「野鳥コーラス」からの生成音の主観値 2.0 は 25 音の最高主観値 1.9 よりも高くなり、今回検討対象の自然環境音とそれらから生成した音の中での最も快適な 2 音となった。さらにこの手法を用いて、新たに作成した学習モデルによる「コオロギ」「ウグイス」からの生成音が新たな快適音に提案できた。特にウグイスからの生成音は鳴き声の快適さの高い部分が適切に抽出されており、本手法の有効性が確認できた。

⑤車室内音環境を模擬した防音室内にて、音楽を呈示しながら視覚刺激に反応する 30 分間の作業課題実験を行った結果、これまでの 10 分間での実験と同様に音楽のシャープネス値を高くすると覚醒維持効果を高められる可能性が確認できた。また、同じ実験環境で 5 秒間の自然環境音を間欠的に呈示する実験を行った結果、自然環境音の呈示間隔が短くなるほど反応時間も短くなり、覚醒維持効果を高められる可能性が示唆された。さらに「不快—快適」「眠い—目覚めている」等の形容詞対を用いた主観的印象評価を行った結果、快適に感じ集中でき煩わしく感じることが少なくかつ眠くは感じない自然環境音の候補を示すことができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Tomohiro Yoshikawa and Hiroyuki Hoshino	4. 巻 44
2. 論文標題 Work efficiency differences and background music with identical melodies played on diverse instruments	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Acoustical Science and Technology	6. 最初と最後の頁 399-402
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1250/ast.44.399	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計15件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 尾崎真弘、星野博之
2. 発表標題 自動運転中の車内環境におけるBGMのシャープネスの変化が反応時間と主観的印象に及ぼす影響
3. 学会等名 日本音響学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 星野博之、堂國雅揮、的場雄太
2. 発表標題 クラシックおよびジャズ楽曲の自動抽出されたサビ部分を利用したBGMによる作業効率向上
3. 学会等名 日本音響学会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 尾崎真弘、星野博之
2. 発表標題 自動運転中の車内環境におけるBGMのテンポがドライバの反応時間と主観的印象に及ぼす影響
3. 学会等名 日本音響学会
4. 発表年 2022年

1．発表者名 星野博之
2．発表標題 深層学習を用いた自然環境音からの快適音創生手法における学習モデル比較
3．学会等名 日本音響学会
4．発表年 2023年

1．発表者名 尾崎真弘，星野博之
2．発表標題 自動運転中の車内環境におけるBGMの音色がドライバの反応時間と主観的印象に及ぼす影響
3．学会等名 日本音響学会
4．発表年 2023年

1．発表者名 星野博之、岡村祐貴
2．発表標題 自然環境音の間欠呈示による作業効率向上とその寄与要因の検討
3．学会等名 日本音響学会
4．発表年 2021年

1．発表者名 前田梨江、星野博之
2．発表標題 深層学習と非負値行列因子分解を利用した楽曲からの高精度楽器音分離
3．学会等名 日本音響学会
4．発表年 2021年

1．発表者名 星野博之
2．発表標題 深層学習と非負値行列因子分解を用いた自然環境音からの快適音創生とその有効性検討
3．学会等名 自動車技術会
4．発表年 2022年

1．発表者名 星野博之
2．発表標題 深層学習を用いた自然環境音からの快適音創生手法の有効性評価と性能向上
3．学会等名 日本音響学会
4．発表年 2022年

1．発表者名 前田梨江、星野博之
2．発表標題 非負値行列因子分解を利用した複数楽器音で構成される楽曲の分離再合成の高精度化
3．学会等名 日本音響学会
4．発表年 2020年

1．発表者名 星野博之、白戸宏季、永田知大
2．発表標題 快適かつシャープネス値の大きい自然環境音の間欠呈示による作業効率向上
3．学会等名 日本音響学会
4．発表年 2020年

1．発表者名 前田梨江、星野博之
2．発表標題 非負値行列因子分解を利用した楽曲からの高精度楽器音分離に向けた基礎的検討
3．学会等名 日本音響学会
4．発表年 2021年

1．発表者名 星野博之、江崎諒平
2．発表標題 深層学習と非負値行列因子分解を用いた自然環境音からの快適音創生
3．学会等名 日本音響学会
4．発表年 2021年

1．発表者名 星野博之、上野由美子、加藤大貴
2．発表標題 作業可能な環境におけるBGMのシャープネス制御による作業効率向上
3．学会等名 日本音響学会
4．発表年 2019年

1．発表者名 星野博之、白戸宏季
2．発表標題 オクターブバンドスペクトログラムの深層学習を用いた自然環境音からの快適音創生
3．学会等名 日本音響学会
4．発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------