

令和 5 年 5 月 24 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03324

研究課題名（和文）空間的顕著性に基づくサウンドデザインに関する研究

研究課題名（英文）Research on sound design based on spatial saliency

研究代表者

添田 喜治（Soeta, Yoshiharu）

国立研究開発法人産業技術総合研究所・生命工学領域・主任研究員

研究者番号：10415698

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、音源と音場の両方の特性を考慮し、音の物理、人間の心理・生理的側面から、快適で気づきやすい音を実現するための評価手法を構築した。音源方向の高精度予測を可能にするため、音源位置の違いが、人間の耳に到来する音の自己相関・相互相関関数に与える影響を明らかにした。実環境の音に関して、どのような空間要素が顕著性や不快適性に影響を及ぼすかを明らかにするため、鳥・虫の鳴き声、航空機騒音、空調音を用いて検討した。その結果、両耳相互相関関数から得られる3つの指標に加えて、自己相関関数から得られる指標、変動強度、スペクトル歪度を用いることで、顕著性や不快適性を高精度で予測できることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我々は様々な音に囲まれて生活している。特に公共空間では、アナウンスや足音を含め、様々な音が存在している。それゆえアナウンスや視覚障害者のためのサイン音は、音圧レベルを大きくしないと聞き取れない。しかし、音圧レベルを大きくしすぎると、不快な音となる。そこで、音圧レベルがそれほど小さくなくても、明瞭で快適に聞こえる音が求められている。本研究では、快適でわかりやすい音のデザインを可能にするために、どのような音の物理的要素が、音の快適性や分かりやすさに影響を及ぼしているのか、さらに音が物理的にどのような状況の時に、快適でわかりやすいのか検証した。

研究成果の概要（英文）：In this study, we constructed an evaluation method to realize comfortable and easily noticeable sound from the physics of sound and human psychology and physiology considering the characteristics of both the sound source and the sound field. In order to enable highly accurate prediction of the sound source direction, we clarified the effects of the sound source position on the autocorrelation and cross-correlation functions of the sound arriving at the human ear. In order to clarify what kind of spatial elements affect the saliency and discomfort of sounds in the real environment, we investigated the relationship between physical indices of sounds and psych-physiological responses. We clarified that the saliency and discomfort can be predicted with high accuracy by using the three indices obtained from the interaural cross-correlation function, the indices obtained from the autocorrelation function, the fluctuation strength, and the spectral skewness.

研究分野：環境心理生理学

キーワード：顕著性 不快適性 両耳間相関関数 自己相関関数 脳波

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

コンサートホールに代表される音響空間は、その空間における音の反射・吸収・拡散等の物理特性により決まる、音量や残響時間で評価される。演奏される音楽によって、音場が与える印象は異なるのにも関わらず、演奏される音楽の種類は、音場評価において考慮されない。我々は、音源の自己相関指標と音場における相互相関指標を用いて、音楽によって変化する空間印象を予測できることを明らかにしてきた。本手法を応用・拡張して、音源と音場の両方の特性を考慮することで、より正確に音源の位置と顕著性を評価できる手法を見出す。

ハイブリッド車や電気自動車の接近音は、音に注意を向けていない状況でも、快適でわかりやすく音源位置を伝えることが求められる。心理評価では、音に注意を向ける必要があるため、実際の状況とは異なる。生理反応(脳活動)では、対象に注意を向けなくても、人間の状態を評価できる。それゆえ、対象となる音の発生前後を含めた、時々刻々の音の変化が、顕著性・快不快度に及ぼす影響を調べることができる。

### 2. 研究の目的

本研究では、音源と音場の両方の特性を考慮し、音の物理、人間の心理・生理的側面から、快適で気づきやすい音を実現するための評価手法を構築する。

音源方向の高精度予測を可能にするため、音源位置の違いが、人間の耳に到来する音の自己相関・相互相関関数に与える影響を明らかにする。実環境の音に関して、どのような空間要素が顕著性や不快度に影響を及ぼすか明らかにする。視覚障害者の階段のサイン音として用いられる鳥の鳴き声や虫の鳴き声、航空機騒音、空調音を用いて検討する。

### 3. 研究の方法

頭部伝達関数(HRTF)データベース(CIPIC HRTF Database)から、方位角、仰角ともに $-45$ 度から $15$ 度刻みで $+45$ 度までのHRTFを抽出した。5種類の無響室録音音源に各HRTFを畳み込み、畳み込んだ音源の自己相関・相互相関関数解析を行い、音源の方向が音響物理指標に及ぼす影響を解析した。

アカショウビン、イカル、ウグイス、カケス、カッコウ、サンコウチョウ、シジュウカラ、カヤクグリ、キジバト、コノハズク、ツツドリ、ヒクイナ、フクロウ、ホオジロ、ホトトギス、マミジロ、メジロ、ヨタカの合計18種類の鳥の鳴き声、クマゼミ、ツクツクボウシ、アブラゼミ、ミンミンゼミ、ヒグラシ、ツツレサセコオロギ、ミツカドコオロギ、カンタン、ケラ、エンマコオロギ、スズムシ、マツムシ、ハヤシノウマオイ、クツワムシ、ヤブキリ、キリギリスの合計16種類の虫の鳴き声を用い、等しい音圧レベルと等しいラウドネスの2条件で被験者に各鳴き声を提示し、主観的顕著性を求めた。各音源を自己相関・相互相関関数等音響物理指標を用いて解析し、主観的顕著性に影響を及ぼす物理指標を調べた。

航空機騒音は、1970~1980年代は大きな社会問題であったが、航空機のエンジンや機体から発生する騒音の制御技術や、住宅の防音性能の向上により、近年はあまり問題視されなくなってきた。しかし、まだまだ音圧レベルは大きく、上空を飛び交うため、人間の心理生理反応に影響を及ぼしている。大阪国際空港周辺で測定された、離陸着陸時の合計16の航空機騒音に対する心理反応(大きさ、高さ、不快感)を解析し、心理反応に有意に影響を及ぼす物理指標を調べた。

空調音は、住居やオフィス環境において主要な騒音源の一つである。近年、空調音は音圧レベルが低いにも関わらず、静かな居間や寝室での不快感が問題となっている。特に、数十ミリ秒で変動する過渡音が問題となっている。10種類の空調過渡音について、心理反応(大きさ、高さ、不快感)と生理反応(脳波)を解析し、心理生理反応に有意に影響を及ぼす物理指標を調べた。

### 4. 研究成果

音源の方向が音響物理指標に及ぼす影響を解析した結果、自己相関指標に関しては、音源の方向に対応した変化は見られなかった。相互相関指標に関しては、水平方向に関しては $I_{ACC}$ と $\tau_{IACC}$ が、垂直方向に関しては $I_{ACC}$ と $W_{IACC}$ が対応することを明らかにした(図1)。

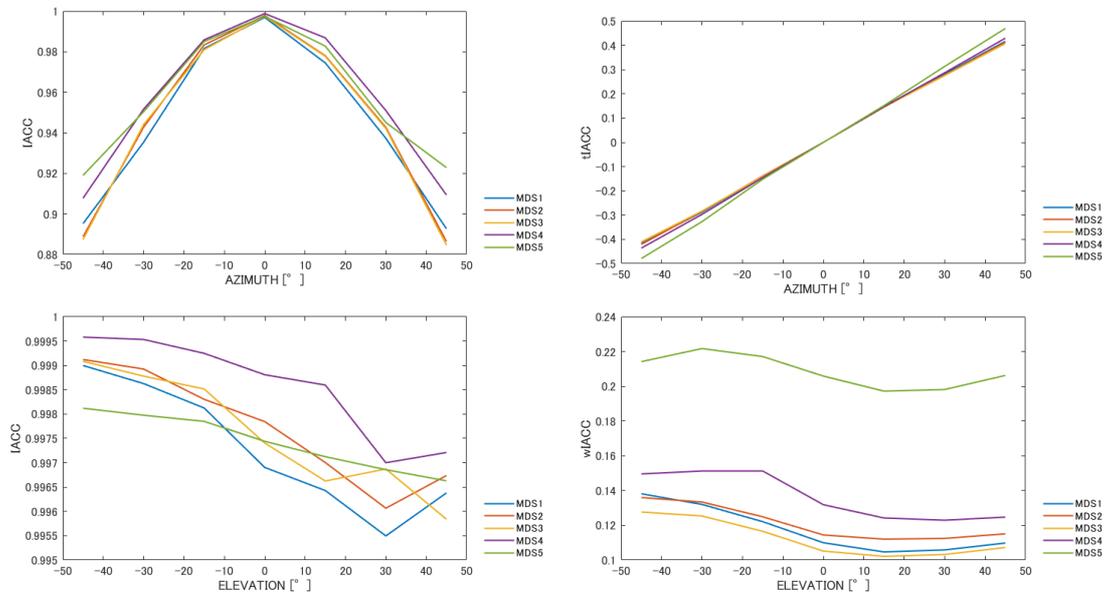


図 1．方位角と仰角の変化に対する相互相関指標の変化

シェッフェの一对比較法を用いて、18 種類の鳥の鳴き声の主観的顕著性を調べた結果、等  $L_{Aeq}$  条件ではカケス、等ラウドネス条件ではカッコウが最も顕著性が高い結果となった。等  $L_{Aeq}$ 、等ラウドネスの両方の条件で、ウグイスが比較的顕著性が高い結果となった。同様に、シェッフェの一对比較法を用いて、16 種類の虫の鳴き声の主観的顕著性を調べた結果、等  $L_{Aeq}$ 、等ラウドネスの両方の条件で、ツクツクボウシが最も顕著性が高く、ミンミンゼミが両方の条件で比較的顕著性が高い結果となった。主観的顕著性を従属変数、各物理指標を独立変数として重回帰分析を行った結果、鳥の鳴き声の顕著性に有意に影響を及ぼす物理指標は、自己相関関数の最大ピークの遅れ時間、IACC、エントロピー、スペクトル歪度等、虫の鳴き声の顕著性に有意に影響を及ぼす物理指標は、自己相関関数の最大ピーク振幅、変動強度、スペクトル歪度等であった。

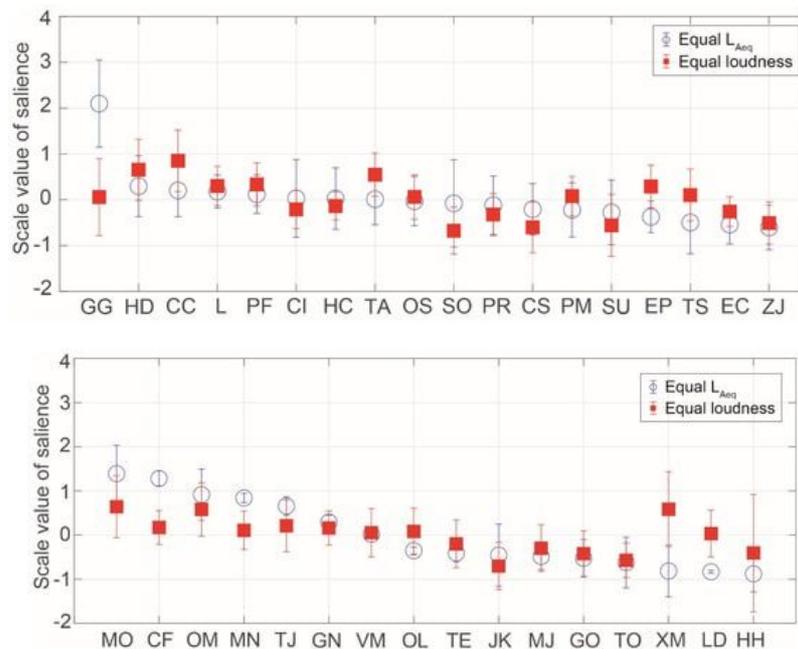


図 2．各鳥の鳴き声の主観的顕著性（上）と各虫の鳴き声の主観的顕著性（下）

航空機騒音は、移動音源であり、空間的な顕著性が人間の心理・生理反応に影響を及ぼす。航

空機騒音に対する心理的反応を、音の3つの主要な知覚的側面（不快度、大きさ、高さ）により評価し、心理反応と物理的要素の関係を求めた。その結果、主観的不快感には、騒音レベル、騒音レベルの時間変動、スペクトル重心、主観的な音の大きさには、騒音レベルとスペクトル重心、主観的な高さは、騒音レベルとスペクトル重心、が有意に影響を及ぼす要素であることが分かった。空間的顕著性と関わる両耳間相互相関度は、主観的な大きさや不快度と負の相関関係が見られ、空間的に顕著でない航空機騒音の方がより大きく、不快であることが示唆された。

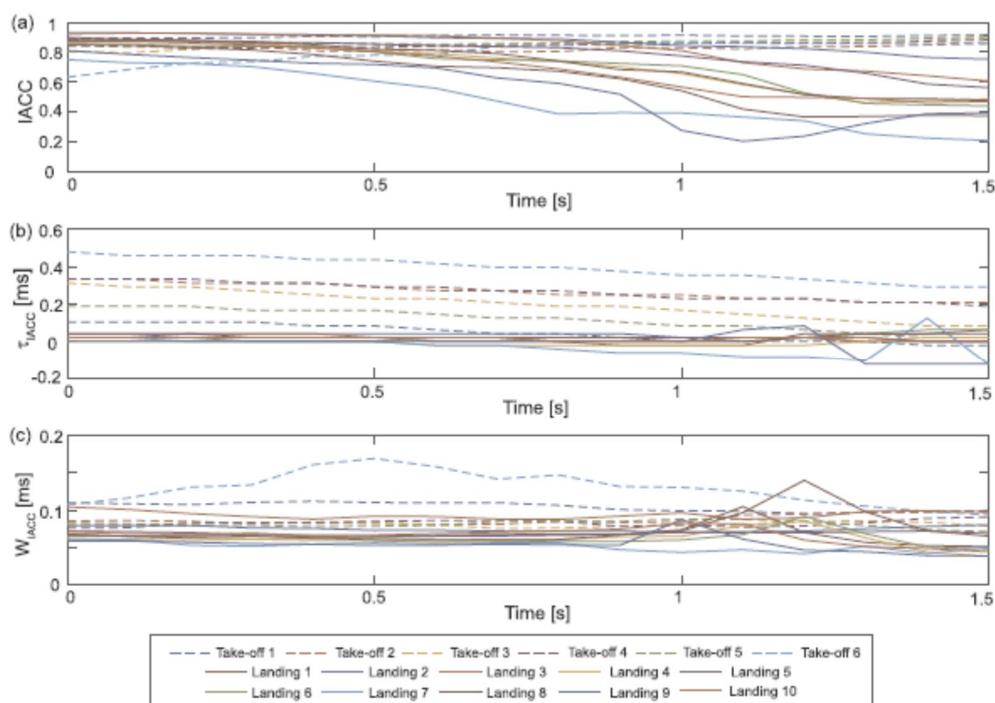


図3. 離陸・着陸時の航空機騒音の相互相関指標の変化。(a) IACC, (b)  $\tau_{IACC}$ , (c)  $W_{IACC}$ .

音圧レベルは低いが不快と判断される空調過渡音について、音の3つの主要な知覚的側面（不快度、大きさ、高さ）による心理評価と脳波による生理評価を行い、心理・生理反応と物理的要素の関係を求めた。実験に用いた10種類の過渡音の時間波形を図4に示す。各心理実験結果を図5に示す。各音刺激に対する頭皮上各電極位置における聴覚誘発電位を図6に示す。音開始後300ミリ秒までの活動のRMS値に注目した。自己相関関数の最大ピークの遅れ時間、初期ピーク幅、 $L_{Aeq}$ の変動量が、心理反応に有意に影響を及ぼすことを明らかにした。また、 $L_{Aeq}$ 、自己相関関数の最大ピーク振幅と遅れ時間が、生理反応に有意に影響を及ぼすことを明らかにした。

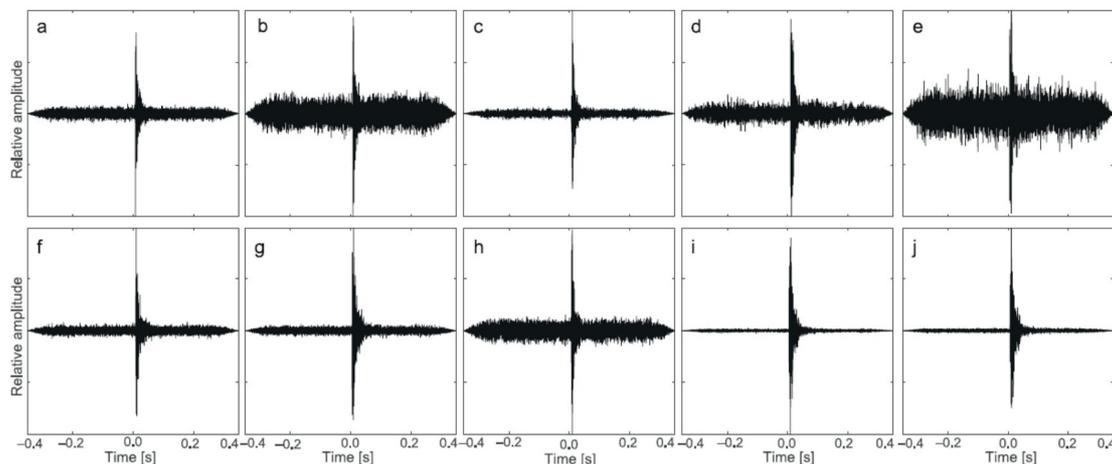


図4. 実験に使用した10種類の空調過渡音の時間波形

図5. 10種類の空調過渡音に対する主観的(a) ラウドネス, (b) ピッチ, (c) 不快度

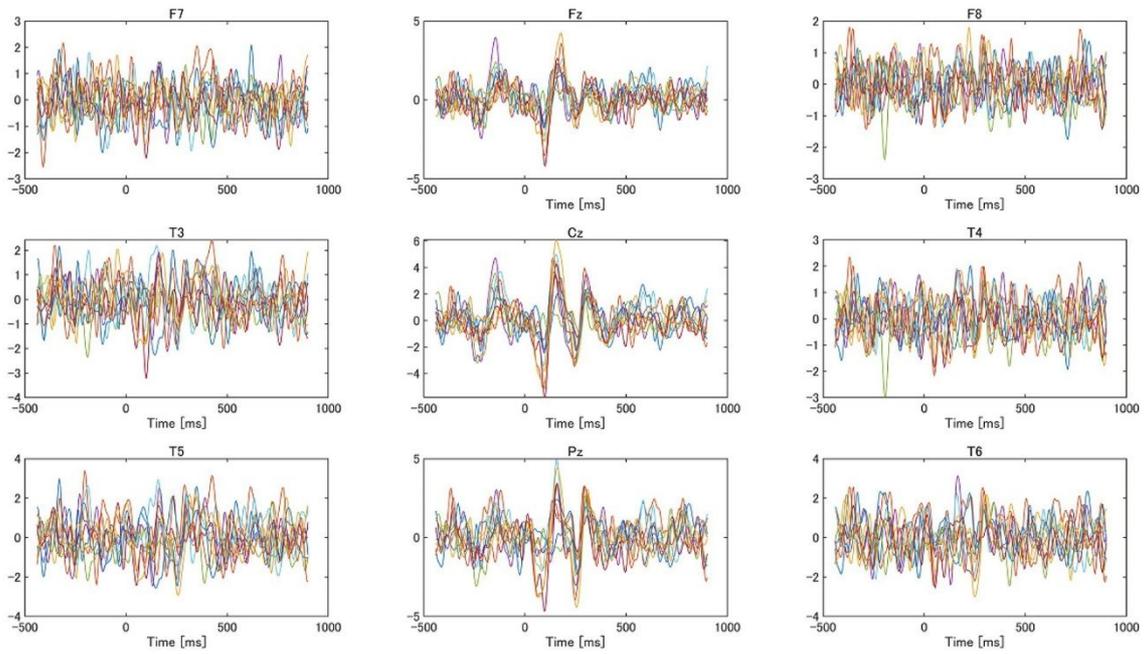
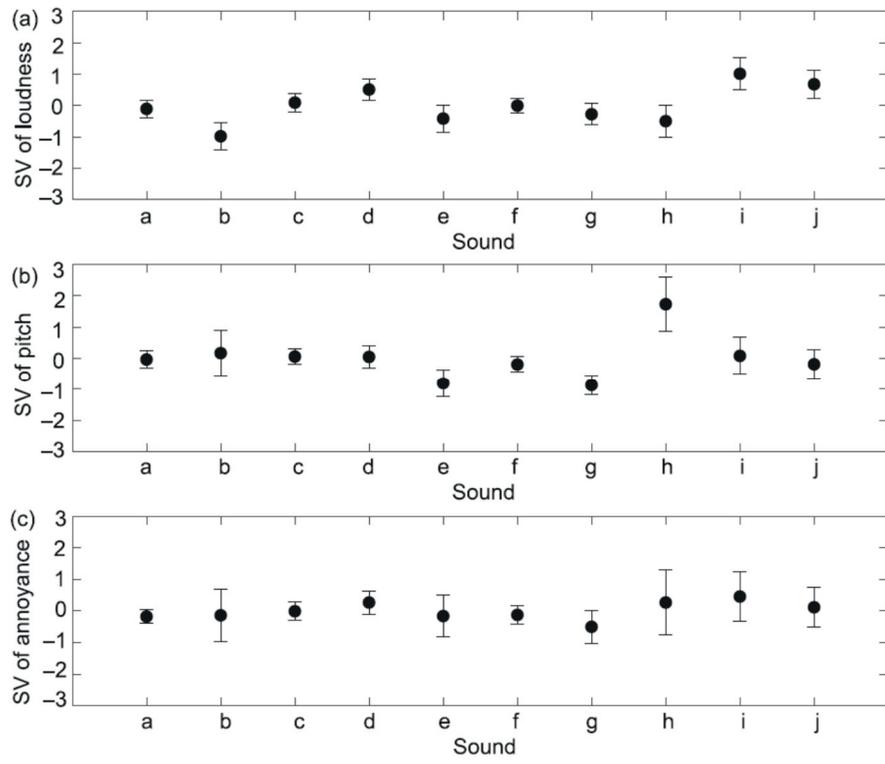


図 6. 各電極位置における聴覚誘発電位

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 8件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Shimokura, R., and Soeta, Y.	4. 巻 194
2. 論文標題 Estimation of reaction time for birdsongs and effects of background noise and listener's age	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Acoustics	6. 最初と最後の頁 108785 ~ 108785
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apacoust.2022.108785	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Alessia, F., Lee P. J., Soeta, Y., and Ariki, A.	4. 巻 222
2. 論文標題 Effects of spatial characteristics of footsteps sounds and non-acoustic factors on annoyance in lightweight timber buildings	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Building and Environment	6. 最初と最後の頁 109405 ~ 109405
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.buildenv.2022.109405	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Soeta, Y., and Onogawa, E.,	4. 巻 7
2. 論文標題 Multidimensional psychological evaluation of air conditioner sounds and prediction via correlation parameters	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Built Environment	6. 最初と最後の頁 659115 ~ 659115
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fbuil.2021.659115	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 -
1. 著者名 Soeta, Y., and Ariki, A.,	4. 巻 17
2. 論文標題 Subjective salience of birdsong and insect song with equal sound pressure level and loudness	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Environmental Research and Public Health	6. 最初と最後の頁 8858 ~ 8858
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ijerph17238858	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 -

1. 著者名 Soeta, Y., and Kagawa, H.	4. 巻 10
2. 論文標題 Subjective preferences for birdsong and insect song in equal sound pressure level	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 849-861
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app10030849	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 -

1. 著者名 Soeta, Y., and Kagawa, H.	4. 巻 167
2. 論文標題 Three dimensional psychological evaluation of aircraft noise and prediction by physical parameters	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Building and Environment	6. 最初と最後の頁 106445-106455
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.buildenv.2019.106445	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Soeta, Y., Kagawa, H., and Sakamoto, Y.	4. 巻 1
2. 論文標題 Relationship between subjective responses and physical parameters of air-conditioner noises in a car	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 23rd International Congress on Acoustics	6. 最初と最後の頁 6774-6780
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -

1. 著者名 Soeta, Y.	4. 巻 1
2. 論文標題 Sound quality analysis based on correlation mechanism	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The proceedings the 9th international symposium on temporal design	6. 最初と最後の頁 119-125
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 -

1. 著者名 Yano, H, and Soeta, Y.	4. 巻 1
2. 論文標題 Cortical magnetic activities induced by salient birdsong in noisy conditions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The proceedings the 9th international symposium on temporal design	6. 最初と最後の頁 72-75
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 -

1. 著者名 Saga, N., Yano, H., Takiguchi, T., Soeta, Y., and Nakagawa, S.	4. 巻 1
2. 論文標題 Spatiotemporal characteristics of cortical activities associated with articulation of speech perception	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc	6. 最初と最後の頁 1066-1069
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/EMBC.2018.8512500	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Soeta, Y., and Sakamoto, Y.	4. 巻 1
2. 論文標題 Relationship between subjective responses and physical parameters of road noise in cars	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the the 25th International Congress on Sound and Vibration	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shimokura, R., and Soeta, Y.	4. 巻 1
2. 論文標題 Reaction time for birdsong	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the the 25th International Congress on Sound and Vibration	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 5件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 Soeta, Y., and Ariki, A.
2. 発表標題 Subjective salience for birdsongs and insect songs in noise environments
3. 学会等名 The 24th International Congress on Acoustics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Soeta, Y., Kagawa, H., and Sakamoto, Y.
2. 発表標題 Relationship between subjective responses and physical parameters of air-conditioner noises in a car
3. 学会等名 The 23rd International Congress on Acoustics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Soeta, Y.
2. 発表標題 Sound quality analysis based on correlation mechanism
3. 学会等名 The 9th international symposium on temporal design (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yano, H, and Soeta, Y.
2. 発表標題 Cortical magnetic activities induced by salient birdsong in noisy conditions
3. 学会等名 The 9th international symposium on temporal design (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Soeta, Y., and Sakamoto, Y.
2. 発表標題 Relationship between subjective responses and physical parameters of road noise in cars
3. 学会等名 The 25th International Congress on Sound and Vibration (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shimokura, R., and Soeta, Y.
2. 発表標題 Reaction time for birdsong
3. 学会等名 The 25th International Congress on Sound and Vibration (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Saga, N., Yano, H., Takiguchi, T., Soeta, Y., and Nakagawa, S.
2. 発表標題 Spatiotemporal characteristics of cortical activities associated with articulation of speech perception
3. 学会等名 The 40th International Engineering in Medicine and Biology Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<a href="http://staff.aist.go.jp/y.soeta">http://staff.aist.go.jp/y.soeta</a>
---

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
研究 分 担 者	下倉 良太  (Shimokura Ryota)  (90455428)	大阪大学・基礎工学研究科・准教授    (14401)	
研究 分 担 者	吉野 公三  (Yoshino Kohzoh)  (10358343)	関西学院大学・理工学部・准教授    (34504)	

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			
英国	University of Liverpool			
韓国	Fire Insurers Laboratories of Korea			