

令和 5 年 6 月 28 日現在

機関番号：32508

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(A））

研究期間：2019～2022

課題番号：18KK0321

研究課題名（和文）脳機能解析に基づくセマンティック騒音評価システム

研究課題名（英文）Evaluation system for semantic noise based on brain function analysis

研究代表者

川原 靖弘（Yasuhiro, Kawahara）

放送大学・教養学部・准教授

研究者番号：10422403

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 8,200,000円

渡航期間： 8ヶ月

研究成果の概要（和文）：健常成人を対象に、2-40Hzにおける数種の周波数で音量を変調したピンクノイズを聴取したときの、反応課題の反応速度と脳波事象関連電位の測定を行った。脳波事象関連電位は、ピンクノイズの変調周期毎にP50が計測され、聴覚野で受容されることを確認した。このような音響要素を含む環境音を検出する方法として、環境音データセットESC-50で示されたカテゴリに対応する環境音を、自己相関分析により周期的な音量変化を抽出し、音響スペクトル指数の値により周期的な音量変動のあるピンクノイズを含む環境音を検出できることを確認し、生体影響の視点から意味付けした環境ノイズ評価アルゴリズムを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本課題では、認知機能に影響のある音響要素を生体計測により評価し、そのような音響要素が日常生活環境に存在することを確認した。また、このような音響要素を環境音の中から抽出するための手法として、数秒のサウンドサンプルからでも抽出できるアルゴリズムを提案し、日常生活において生体に影響がある環境音の検知を行い、周辺の音環境が適しているか状況に応じて評価する手法の一例を示した。日常生活下の行動コンテキストに合わせて、このようなアルゴリズムを適用することにより、オンラインでの環境音評価が可能なシステムを構築でき、安全で快適な音環境へのナビゲーションや空間制御への応用に繋がる。

研究成果の概要（英文）：Reaction speed and EEG event-related potentials were measured in response tasks performed by healthy adult participants hearing pink noise modulated in volume at several frequencies in the 2-40 Hz range. In EEG event-related potentials, P50 was measured at each modulation cycle of the pink noise and was confirmed to be accepted in the primary auditory cortex. As a method for detecting environmental sounds containing such acoustic elements, we extracted periodic volume changes from environmental sounds corresponding to the categories indicated in the environmental sound data set ESC-50 by autocorrelation analysis, and confirmed that environmental sounds containing pink noise with periodic volume changes can be detected by the values of sound spectral parameters. Using this method, an environmental noise evaluation algorithm was developed to give a semantic meaning from the viewpoint of biological effects.

研究分野：ヒューマンインターフェース

キーワード：環境音 脳機能 生活騒音

1. 研究開始当初の背景

人は周囲の環境刺激から情報を読み取ることにより、安全性の確保をはじめとした、生活上の様々な目的を達成する。人は、それら環境刺激を適切に受容し処理することで快適で効率的な社会生活を送ることが出来るが、不必要な刺激や過剰な強度の刺激が入力されることにより快適な生活が妨げられる場合もある。

従来の環境音の評価方法として、“うるささ”や“不快感”などの心理面への影響を捉える方法、もしくは健康被害や有病率などの観点から疫学的に影響を調査したものが主要な方法として用いられている[1]-[6]。特に、騒音という視点からは、健康被害があるとされない大きさの音や、うるささや不快感が生じない音の影響についてはあまり考慮されてこなかった。近年、心血管疾患との関連など、環境音が生体に与える影響のメカニズムについて言及した研究も見られるようになり、夜間に死亡した場合、死亡する 2 時間前の騒音暴露レベルが心臓関連の死亡率と有意に関連することを示し急性の心疾患障害の原因になる可能性を問う研究も報告されている[7]。しかし、このような心身への影響が、音源のどのような特性によって引き起こされているかについては未だ不明瞭な点が多い。また、呼吸の周波数成分のピーク値変動係数を用いて音質評価を行なった研究や[8]、騒音曝露時の唾液アミラーゼ濃度の変化を測定し、ストレスの定量化による音質評価への応用などが行われており[9]、音が生体に与える影響を調査した研究が散見されているが、いずれも調査対象となる音には従来から騒音と定義されている音が用いられており、うるささや不快感を伴わない音の影響については考慮されていない。筆者らが以前に行った実験では、連続的な音刺激に対する生体反応の経時的な変化をみた。同一間隔で発音され続ける 1000Hz の純音が提示回数を重ねるごとに徐々に脳波事象関連電位(ERP)の P50 の振幅を減少させていくことが確認され、同一音の連続的な入力が、一次聴覚野への入力を徐々に抑制していく作用を持つことが示唆された[10]。しかし、用いた刺激の音色が Sine wave であったため、連続的な聴取による抑制作用がこの音色に特有の作用である可能性が考えられた。また、特定の音色が人に与える作用を調査した研究は、楽音を対象にしたものが多く、楽音以外の音刺激を対象とした研究で、脳波を指標にして生体への影響を調査した研究はない[11][12]。

日常生活において生体に影響がある環境音が検知できれば、周辺の音環境が適しているか状況に応じて評価することが可能である。近年、環境音の認識手法の評価は多数報告がある[13][14][15]。ほとんどの報告は、単発的に生じる音の認識であり、背景に存在する環境音の認識手法について評価されることはあまりない。生体に影響を与える可能性が指摘されている音は、単発の音ではなくある程度の長さを持った音なので、生体への影響をテーマに環境音の認識手法を提案する場合は、ある程度の長さを持った音の解析手法について考える必要がある。

2. 研究の目的

定期的な音量変化を有し、生体に影響を与える環境音について考えるために、音の聴取時の脳波の変化をみることで、その音要素と作用機序について考察した。次に、この生体に影響を及ぼす音要素を含む環境音の存在について考えるために、典型的な環境音カテゴリ群を用いて、認知機能への影響という意味を持つ音と環境音との類似性を評価するための、短時間サンプルを用いて評価が可能な音響解析手法を提案する。

3. 研究の方法

(1) 音量を変調したノイズに対する生体反応の計測

健康な成人 20 名の研究協力者に数種の音響ノイズを提示し、聴取時の脳波を計測した。音刺激は、2 分 40 秒間(±5 秒)、合計 80 回提示した。この刺激提示を 1 セットとし、3 種類の音を用いて 3 セットを実施した(各セット内で用いる刺激の音の種類は同一である)。ランダムな順番でセットを実施した。音の種類は、1000Hz の純音(S_s)、ホワイトノイズ(S_w)、ピンクノイズ(S_p)の 3 種類であり、一つの音の長さは 500 ミリ秒、刺激間隔(ISI)は 1.5 秒~2.5 秒の間で発音毎にランダムであった。サンプリングレートは 44.1kHz、ビットレートは 16bit、ファイルフォーマットは wave であった。脳波は、脳波計(Nexus10, Mindmedia)で計測し、脳波用の銀-塩化銀電極を国際 10/20 法に基づき頭頂部(Cz)および後頭部(O_1, O_2)に、リファレンス電極を耳朶に設置した。サンプリング周波数 256Hz であった。ERP は、音が発音されたタイミングを 0 ミリ秒として 1000 ミリ秒後までの Cz 部位の脳波データを刺激の提示回数分加算平均して算出した。本研究では、一次聴覚野への入力の強度の指標として P50 を用いた。P₅₀ は ERP 波形の 30~90 ミリ秒間にある陽性のピーク値とした。刺激条件毎の音聴取時の P₅₀ の値を比較した。また、 α_2 帯域のパワーを脳深部の活動水準の指標として用いた。さらに、音を提示しないとき、及び 2Hz, 10Hz, 40Hz で音量を変調したピンクノイズを提示しているときの, Stroop Color-Word Test における各 Word の提示に対する反応時間を測定し、その分散を算出した。

(2) 音量を変調したノイズを含む環境音の検出

使用する環境音として、環境音の分類に広く用いられているデータセット ESC-50[19]のカテゴリを参考に、10 秒以上続く環境音のカテゴリにあてはまる音サンプルをそれぞれ 10 秒ずつ準備した。サンプルは BBC Sound Effect のライブラリ及び生活環境において自身で録音した音を用いた。サンプル音のファイル形式は、44.1Hz, 16bit, モノラルの wav 形式であり、全てのサンプルにおいて、EBU R128 = -24.0LUFS となるように音量調整を行った。25 の環境音のうち、連続して音量が周期的に変化するものについて抽出を行った。抽出する音量変化の周期は、可聴範囲外となる 50 ミリ秒以上 (20Hz 以下) とした。

音量変化の抽出には、自己の波形と、その波形を様々な周期だけずらした波形との相関をとり、前後 50 サンプル周期 (1.113 ミリ秒) における相関の最大値としてピーク値を求め、相関が大きい上位 5 つの周期を基本周期とした。次に、検出した各基本周期について、その基本周期が信号全体にわたる定期的な変化であるかを調べるために、その周期 (例: 100 ミリ秒) の整数倍 (最大 10 周期) だけ音をシフトさせた (例えば 10Hz であれば 100 ミリ秒, 200 ミリ秒, 300 ミリ秒) 信号との相関を計算した。もし、基本周期から基本周期の 10 倍までシフト幅を順次増加させた際に、それに伴う相関係数の変化が、一つ前のシフト幅での相関係数の 50% を常に上回る場合、その基本周期で信号全体にわたり定期的な変化がみられるとした。その結果、25 の環境音のうち 5 の信号について、12 の周波数において 2.1Hz ~ 15.9Hz の基本周期で長期的音量変化があることを確認できた。相関の計算例を Figure 1 に示す。

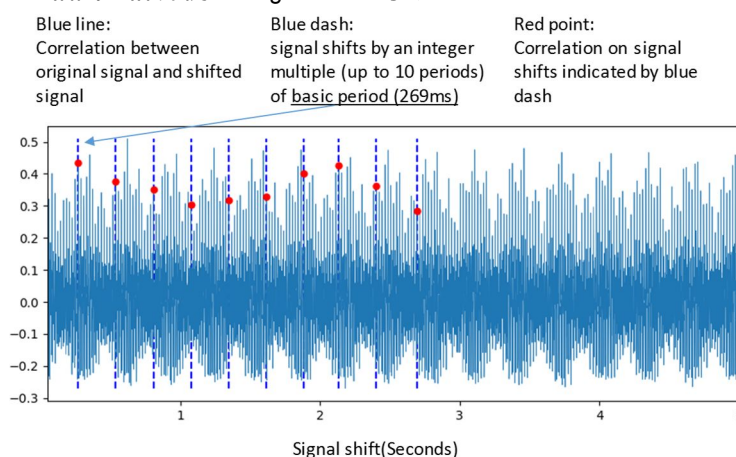


Figure 1 An example of detecting periodic volume changes in environmental sounds

次に、同じ環境音に対して、ピンクノイズの性質を持つかどうかの検証を行った。各音の特徴量として、flatness と peak [20] を求めた。一定間隔 (0.2, 0.5, 1.0 Hz) で繰り返し発音するピンクノイズにおいて、Table 2 のサウンドサンプル音量を変調したピンクノイズ (0.2, 0.5, 1.0 Hz) の値に示したように、flatness は高い値を示し、peak は低い値を示すので、flatness と peak は、一定間隔で繰り返しのある音におけるピンクノイズの性質の有無の判定に有効であると考えられる。楽曲解析においても同様の報告がある [21]。

4. 研究成果

(1) ERP における P_{50} の変化と a_2 帯域のパワー

各音刺激の提示中における ERP 成分 P_{50} ポテンシャルの平均と標準誤差を、Figure 2 に示す。各実験参加者の P_{50} ポテンシャルの値は、どの刺激条件においても、Shapiro-Wilk 検定で有意とならず、正規分布に従うと判断した。ANOVA により 3 群の平均に有意な差は認められなかったが ($\alpha = 0.05$), Tukey 検定による体重比較により S_P を聴取しているときの値が比較的高い値であると考えられる ($S_S - S_W: p=0.85$, $S_S - S_P: p=0.24$, $S_W - S_P: p=0.08$)。なお、Mauchly の検定によりデータの球面性が仮定できることを確認した。 P_{50} のピーク値は聴覚刺激の一次感覚野への入力強度を反映しており、Sensory gating の指標として用いられている。 S_P を聴取しているときの値が比較的高い値を示しており、定期的な音量変化があるピンクノイズが Sensory gating がかりにくく、一次聴覚野に対しての入力強度が抑制されにくい音であると考えられる。各音刺激における刺激提示区間と刺激前後の区間の a_2 帯域パワーの統計値と t-test による差の検定結果を Table 1 に示す。 S_S 及び S_P の提示区間の a_2 帯域パワーの値は、その前後の区間の値と比較し有意に減少したことが示された ($\alpha = 0.05$)。音刺激 S_S 及び S_P の提示中における脳波 a_2 帯域パワーの値は、その前後の値に比べて有意に減少した。脳波 a_2 帯域パワーは、基幹脳全体の活動を反映する指標とされている [18]。ピンクノイズ及び純音の連続的な提示が基幹脳全体の活動の抑制を引き起こしている可能性があることが示された。

音を提示しないとき及び 2Hz, 10Hz, 40Hz で音量を変調したピンクノイズを提示しているとき

の, Stroop Color-Word Test における各 Word の提示に対する反応時間の分散は, Table 2 に示すように, 個人差があるが, ピンクノイズ提示時に小さくならない実験参加者においては, いずれかの種類の定期的に音量変調されるピンクノイズにおいて, 大きくなる傾向がある参加者が多いことがわかり, このようなピンクノイズが認知機能に影響する可能性があることが示唆された.

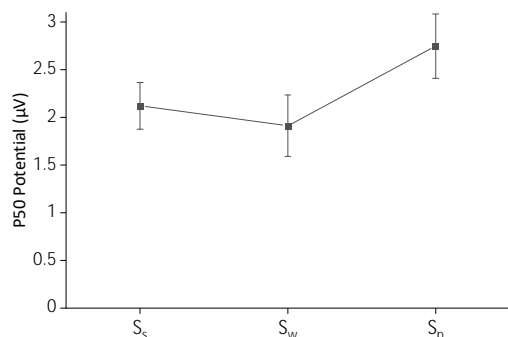


Figure 2 P50 potential during sound stimuli hearing

Table 1 Comparison of alpha2 band power during hearing and before/after hearing

| | Hearing | | Before/after hearing | | p |
|----------------|---------|------|----------------------|------|-------|
| | Mean | SD | Mean | SD | |
| S _s | 7.84 | 4.67 | 8.35 | 4.50 | 0.041 |
| S _w | 8.23 | 4.85 | 8.27 | 4.73 | 0.876 |
| S _p | 7.47 | 4.41 | 8.21 | 5.17 | 0.015 |

Table 2 Comparison of alpha2 band power during hearing and before/after hearing

| Participant# | PinkNoise | Pk_02Hz | Pk_10Hz | Pk_40Hz |
|--------------|--------------|--------------|---------|------------------|
| 1 | 0.186 | 0.002 | <0.001 | 0.441 |
| 2 | 0.571 | 0.488 | 0.461 | 0.461 |
| 3 | 0.913 | 0.903 | 0.908 | 0.230 |
| 4 | 0.609 | 0.700 | 0.293 | 0.036 |
| 5 | <u>0.075</u> | <u>0.082</u> | 0.474 | <u>0.036</u> |
| 6 | <u>0.063</u> | 0.502 | 0.300 | <u><0.001</u> |
| 7 | 0.772 | 0.771 | 0.605 | <0.001 |
| 8 | 0.352 | 0.007 | 0.203 | <0.001 |
| 9 | 0.466 | 0.739 | 0.041 | <0.001 |
| 10 | 0.166 | 0.390 | 0.021 | 0.328 |
| 11 | <u>0.107</u> | <u>0.003</u> | 0.905 | <u>0.008</u> |
| 12 | 0.913 | 0.557 | 0.267 | 0.289 |

Bold: High variation in reaction time compared to "No sound",

Underline: Low variation in reaction time compared to "No sound"

Table 3 Analysis results of environmental sound samples

| Category | Regular volume alteration freq. (Hz) | Flatness | Peak | Like pink noise with regular volume alteration |
|--------------------|--------------------------------------|-------------|-------------|--|
| air conditioning | 2.08 | 0.79 | 4.02 | |
| airplane | | 0.54 | 4.88 | |
| chainsaw | | 0.38 | 6.21 | |
| chirping birds | | 0.14 | 45.27 | |
| clock alarm | | 0.09 | 190.27 | |
| clock tick | | 0.46 | 27.98 | |
| crackling fire | | 0.85 | 11.11 | |
| crickets | | 0.14 | 28.97 | |
| crying baby | | 0.26 | 25.29 | |
| engine | | 0.57 | 2.93 | |
| farm machine | | 0.80 | 8.86 | |
| frog | | 0.12 | 35.76 | |
| hand saw | | 0.32 | 12.50 | |
| helicopter | | 0.34 | 7.32 | |
| insects | | 0.11 | 17.40 | |
| keyboard typing | | 0.30 | 17.08 | |
| rain | | 0.88 | 3.99 | |
| refrigerator | 5.36 | 0.59 | 4.09 | |
| | 12.07 | 0.59 | 4.09 | |
| | 2.30 | 0.59 | 4.09 | |
| | 3.71 | 0.59 | 4.09 | |
| | 2.84 | 0.59 | 4.09 | |
| road repairs | 15.90 | 0.91 | 3.78 | + |
| sea waves | | 0.70 | 5.52 | |
| siren | | 0.37 | 7.19 | |
| snoring | | 0.55 | 12.77 | |
| train | | 0.56 | 5.09 | |
| vacuum cleaner | | 0.54 | 8.34 | |
| washing machine | 2.64 | 0.78 | 4.61 | + |
| | 2.20 | 0.78 | 4.61 | + |
| | 3.30 | 0.78 | 4.61 | + |
| | 4.40 | 0.78 | 4.61 | + |
| PinkNoise (0.2 Hz) | - | 0.99 | 2.46 | + |
| PinkNoise (0.5 Hz) | - | 0.97 | 1.81 | + |
| PinkNoise (1.0 Hz) | - | 0.96 | 1.70 | + |

(2) 音量を変調したノイズを含む環境音の検出

Table 3 で, 25 の環境音サンプルそれぞれにおいて, 周期的な音量変化のあった音サンプルに音量変化の基本周波数を示した. また, それぞれのサンプル音の flatness と peak の値を示し, flatness が 0.75 以上, peak が 5 以下の値を太字で示した. 双方の値が太字である音サンプルは, air conditioning, rain, road repairs, washing machine の 4 つであり, ピンクノイズ性を有すると考えられる. したがって, 定期的な音量変化を繰り返す音の検出結果と合わせると, 定期的な音量変化がありピンクノイズ性を有するサンプルは, 25 の環境音サンプルのうち, air conditioning, road repairs, washing machine の 3 つと判断された.

音刺激中の脳波事象関連電位 P₅₀ と α_2 帯域パワーの計測を行うことにより, 定期的に音量変化をするピンクノイズが, 一次聴覚野に到達しやすく深部脳機能に変化をもたらすことを確認した. さらに, 生活環境音評価の一手段として, このような音響要素を含む環境音の検出方法について検討した. 定期的な音量変化を伴うこととピンクノイズ性を判定するアルゴリズムを適用したところ, 典型的な環境音のカテゴリの中から air conditioning, road repairs, washing machine の音のサンプルが当てはまり, どのサンプルも機械が発する長時間連続する音

であった。環境音の短時間サンプルを用いることにより、認知機能に影響のある要素を含む環境音を特定するための手法を示した。

<引用文献>

- [1] K.Furihata, T.Yanagisawa: Investigation on composition of a rating scale possible common evaluate psychological effects on various kinds of noise sources, *Acoustical Science and Technology*, vol. 45, no. 8, pp. 577-582, 1989.
- [2] E. Öhrström, R.Rylander, M.Björkman: Effects of night time road traffic noise-an overview of laboratory and field studies on noise dose and subjective noise sensitivity, *Journal of Sound and Vibration* Volume 127, Issue 3, 22 December 1988, pp. 441-448, 1988.
- [3] Finegold, L S, Harris, C S, von Gierke, H E: Community annoyance and sleep disturbance: Updated criteria for assessing the impacts of general transportation noise on people, *Noise Control Engineering Journal*, vol.42, Issue 1, pp. 25-30, 1994.
- [4] H M Miedema and C G Oudshoorn: Annoyance from transportation noise: relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals, *Environ Health Perspect*, vol.109(4), pp. 409-416, 2001.
- [5] Basner, Mathias et al.: Auditory and Non-Auditory Effects of Noise on Health, *Lancet* vol.383.9925, pp.1325-1332, 2014.
- [6] Munzel, Thomas et al.: Cardiovascular Effects of Environmental Noise Exposure, *European Heart Journal* Volume.35.13, pp. 829-836, 2014.
- [7] Apolline Saucy, Beat Schäffer, Louise Tangermann, Danielle Vienneau, Jean-Marc Wunderli, Martin Röösli, Does night-time aircraft noise trigger mortality? A case-crossover study on 24 886 cardiovascular deaths, *European Heart Journal*, Volume 42, Issue 8, 21 February 2021, Pages 835-843
- [8] Takuto Yoshida, Masao Yamada: Sound quality evaluation using the change of the peak value of the breathing, *Reports of the meeting in Acoustical Society of Japan*, pp. 765-766, 2007.
- [9] Akihiko Arimitsu, Cho Wan-Ho, Takeshi Toi: The understanding the state during the intellectual production activities based on physiological information, *Proceedings of the Meeting. The Institute of Noise Control Engineering of Japan* vol. 2011 (9) pp. 85-88. 2011.
- [10] Juzo Ishii, Yasuhiro Kawajara, Yoshitada Katagiri, Characteristics of Periodic Environmental Sounds that Affect Human Sensory Inhibition and Recovery, *The Second International Workshop on Smart Sensing Systems*, August 2017 pp.12-13. 2017.
- [11] Josef Schlittenlacher, Wolfgang Ellermeier & Gül Avci: Simple Reaction Time for Broadband Sounds Compared to Pure Tones, *Attention, Perception & Psychophysics*, vol.79.2, pp.628-636, 2017.
- [12] Agus TR, Suied C, Thorpe SJ, Pressnitzer D: Fast recognition of musical sounds based on timbre, *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol.131(5), pp.4124-4133, 2012.
- [13] S. Chu, S. Narayanan and C. -. J. Kuo, "Environmental Sound Recognition With Time-Frequency Audio Features," in *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, vol. 17, no. 6, pp. 1142-1158, Aug. 2009.
- [14] S. Chu, S. Narayanan and C. -. J. Kuo, "Environmental sound recognition using MP-based features," 2008 *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 2008, pp. 1-4
- [15] Zohaib Mushtaq, Shun-Feng Su, Environmental sound classification using a regularized deep convolutional neural network with data augmentation, *Applied Acoustics*, Volume 167, 2020.
- [16] Nash Boutros, Aysenil Belger, Duane Campbell, John Krystal: Comparison of four components of sensory gating in schizophrenia and normal subjects: a preliminary report. *Psychiatry Research*, 88(2), pp. 119-130, 1999.
- [17] Kristin Jerger, Christie Biggins, George Fein: P50 suppression is not affected by attentional manipulations, *Biological Psychiatry*, 31(4), pp. 365-77, 1981.
- [18] Omata K, Hanakawa T, Morimoto M, Honda M: Spontaneous Slow Fluctuation of EEG Alpha Rhythm Reflects Activity in Deep-Brain Structures: A Simultaneous EEG-fMRI Study, *PLoS One*. 2013 Jun18;8(6), 2013.
- [19] Piczak, K.J. ESC: Dataset for environmental sound classification. In *Proceedings of the 23rd ACM international conference on Multimedia*, Brisbane, Australia, 26-30 October 2015; pp. 1015-1018
- [20] Peeters, G., et al. "The Timbre Toolbox: Extracting audio descriptors from musical signals.", *The Journal of the Acoustical Society of America*. 130(5): 2902-2916, 2011.
- [21] Laurent Pottier, Na Wang. Analyses quantitatives de la musique par des mesures réalisées sur des signatures spectro-temporelles du son. *Journées d'Informatique Musicale, LaBRI, France, May 2019. 総務省公害等調査委員会, 平成 25 年度公害苦情調査, 2014 年 12 月*

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yasuhiro Kawahara, Hiroshi Yoshida, Laurent Pottier and Pierre Maret |
| 2. 発表標題 Detection of Factors Affecting Cognitive Function in Environmental Sounds |
| 3. 学会等名 Sound and Music Computing 2022 (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名 川原 靖弘, 吉田 寛, Pierre MARET |
| 2. 発表標題 環境音における認知機能影響要素の抽出手法 |
| 3. 学会等名 電子情報通信学会 HCGシンポジウム |
| 4. 発表年 2021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 |
|-------------------|------------------------------------|---|----|
| 主たる渡航先の主たる海外共同研究者 | Maret Pierre (Maret Pierre) | University Jean Monnet - Laboratoire Hubert Curien - Professor | |

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 | | | |
|---------|------------------------|--|--|--|
| フランス | University Jean Monnet | | | |