

エアコン音の聴感印象関連領域の探索 — 脳磁界の時間周波数解析に基づく推定 — *

☆矢野 肇 (神戸大/産総研), 滝口哲也, 有木康雄 (神戸大), 保手浜拓也 (産総研),
神谷 勝 ((株)デンソー), 中川誠司 (産総研)

1 はじめに

音の印象評価には質問紙法などの心理的手法が用いられてきた。しかしながら、繰り返し判断を求めるために被験者の負担が大きい、心理的バイアスが重畳しやすい、意識下で生じる聴感印象をとらえにくいといった問題点があった。一方で、近年、生理的計測、特に脳活動計測による印象評価の試みがなされている^[1-3]。生理指標を用いた手法には、心理的バイアスの影響を比較的受けにくい、被験者の負担を軽減可能といった利点が期待されている。また、意識下で生じる印象をも評価できる可能性もある。

我々は、エアコン音聴取時に惹起される“涼しさ”や“好ましさ”の印象の評価に取り組んで来た。エアコン音のスペクトル重心を変化させた際の“涼しさ”や“暖かさ”を一対比較で評価し、スペクトル重心が高い/低いほど、涼しい/暖かい印象を受けることを明らかにした^[4]。また、エアコン音に時間変動を与えた場合の“涼しさ”および“好ましさ”の印象と自発律動の時間安定性との関連を調査した^[5]。その結果、“涼しさ”印象と、 $\text{low-}\gamma$, β 帯域の自発律動の時間安定性、および“好ましさ”印象と、 β , θ 帯域自発律動の時間安定性、それぞれの間の有意な相関を見出した。また、前稿では、線形回帰を用いて自発律動の時間-周波数特徴をベースにした特徴量と印象とを対応させ、エアコン音の印象評価指標構築および印象と関連のある脳活動抽出を試みた^[6]。回帰モデルを基に一対比較判断を推定した結果、正解率は7割程度であった。一方、回帰係数から聴感印象と相関の高い脳活動の抽出を試みたが、有効な知見は得られなかった。これまでの結果は、脳機能指標による印象評価の実現の可能性を示唆するものであるが、未だ実用的な指標の構築には至っていない。より頑健性の高い指標の構築が必要である。

本稿では、まず前稿と同様に皮質部位、自発律

動の帯域、刺激音オンセットからの時間ごとに時間-周波数特徴を抽出し、エアコン音聴取に伴う事象関連同期 (Event-Related Synchronization: ERS) および脱同期 (Event-Related Desynchronization: ERD) を推定した。また、部位、時間、周波数毎に、主観印象評価で得た“涼しさ”および“好ましさ”の尺度値との関係を調査し、印象と関連の高い脳活動を探索した。

2 刺激音

乗用車内の運転者の着座位置 (ヘッドレスト付近) で計測されたエアコン音を基に、線形予測符号化 (Linear Predictive Coding: LPC) によってスペクトル包絡を抽出することでモデル音を作成した^[4]。LPC次元は150とした。時間変動を加えるため、このモデル音に対して正弦波による振幅変調を施した。変調周波数を0 (変調なし)、0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.6, 3.2 Hzとして7種類の刺激音を作成した。刺激音の持続時間は5s, 変調度は0.15に固定した。なお、刺激音圧は、変調周波数0 Hz (変調なし) の刺激音が“はっきりと聞こえ、なおかつちょうど良いと感じる大きさ”に被験者毎に設定した。

3 主観印象評価実験

聴覚健常者8名 (男性7名, 女性1名, 21-39歳) を被験者とした。

主観印象は一対比較法にて評価した。上記の刺激音のうち、2つずつを連続的に呈示し、“涼しさ”、“好ましさ”の各基準における優劣およびその程度を評価させた。実験は防音室内で行われ、刺激音は挿入型イヤホンによって被験者の両耳に呈示された。

“涼しさ”基準の実験は、防音室内の温度を20, 25, 30°Cと変化させて計3セッション行われた。“好ましさ”基準での実験は、防音室内の温度は25°Cに設定された。

*Search of cortical region related to auditory impression of HVAC sound. by YANO, Hajime (Kobe Univ./AIST), TAKIGUCHI, Tetsuya, ARIKI, Yasuo (Kobe Univ.), HOTEHAMA, Takuya (AIST), KAMIYA, Masaru (Denso Corp.), NAKAGAWA, Seiji (AIST).

各セッションにおいて、刺激対はランダムな順番で呈示され、それぞれの刺激の組み合わせに対して計4回の判断を行わせた。“涼しさ”，“好ましき”の評価尺度値の算出には Scheffé の方法（中屋の変法）を用いた。

4 脳磁界計測

主観印象評価実験に参加した被験者のうち、6名（男性6名、21-24歳）を被験者とした。

主観印象評価実験で得られた評価値をもとに、評価値が最大および最小となる刺激音2つを含む、計4つの刺激音を選択した。そのうち2つずつを連続的に呈示し“涼しさ”，“好ましき”の各基準における優劣を評価させた。また、刺激音聴取時の脳磁界を計測した。

脳磁界計測は磁気シールドルーム内で 122ch 全頭型脳磁界計測システム（Neuromag-122TM）を用いて行った。刺激音は、主観印象評価実験と同様のイヤホンを用いて、被験者の両耳に呈示した。

この実験の対比較における評価尺度値を Thurstone の対比較法（ケース V）によって計算した。

5 解析方法

5.1 時間-周波数解析

各チャンネルにおける刺激呈示後 200-5000 msec の raw data に対し、時間-周波数解析を行った。時間-周波数解析の手法として、連続ウェーブレット変換（Continuous Wavelet Transform: CWT）を用いた。解析する時間信号を $x(t)$ とすると、連続ウェーブレット変換は以下のように表される。

$$C(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \Psi^* \left(-\frac{b-t}{a} \right) dt \quad (1)$$

$$\Psi(t) = \pi^{-\frac{1}{4}} e^{j\omega_0 t} e^{-\frac{t^2}{2}} \quad (2)$$

a は解析する周波数、 b は解析する時刻に対応するパラメータである。 $\Psi(t)$ はウェーブレット関数で本稿では複素モルレーウェーブレットを用いた。

本研究では、200-5000 msec の区間を 100 msec 毎、4-100 Hz の区間を 2 Hz 毎に連続ウェーブレット変換を計算した。なお、実験ごとに不良なチャンネルが異なるため、計測データごとに不良なチャンネルを除いて解析を行った。

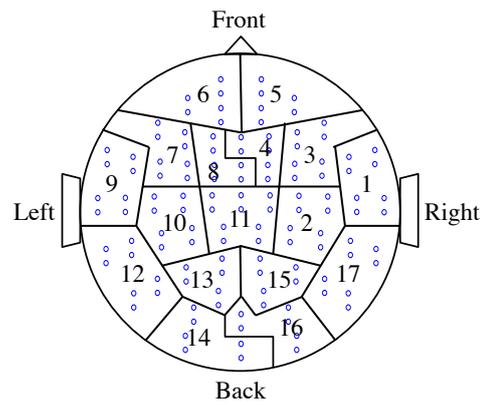


Fig. 1 Region segmentation

5.2 ERS/ERD の抽出

連続ウェーブレット変換によって得られた時間-周波数特徴から、ERD/ERS を抽出した。

n 回目に刺激 s を呈示した時のチャンネル ch の信号に対する、周波数 f 、時刻 t の連続ウェーブレット変換の値を $C_s(f, t, ch, n)$ とする。まず、被験者ごとに $|C_s(f, t, ch, n)|$ を刺激 s を呈示した回数 (N_s) で平均した。

$$P_s(f, t, ch) = \frac{1}{N_s} \sum_{n=1}^{N_s} |C_s(f, t, ch, n)| \quad (3)$$

次に、 $P_s(f, t, ch)$ を周波数帯域、および頭部の領域毎に平均をとった。周波数帯域は、4-6 Hz, 8-12 Hz, 14-20 Hz, 22-30 Hz, 32-40 Hz, 42-50 Hz, 52-60Hz, 72-80 Hz, 92-100 Hz の 9 つの帯域に分割した。チャンネルは Fig.1 のように 17 個の領域に分割した。帯域 B_{fb} および領域 R_r 毎の平均は次のように計算される。

$$P'_s(fb, t, r) = \frac{1}{|B_{fb}| |R_r|} \sum_{f \in B_{fb}} \sum_{ch \in R_r} P_s(f, t, ch) \quad (4)$$

被験者ごとのばらつきを抑えるため、以下のように全刺激の平均で割ることによって $P'_s(fb, t, r)$ を正規化した。

$$\hat{P}_s(fb, t, r) = \frac{P'_s(fb, t, r)}{\frac{1}{4} \sum_{s=1}^4 P'_s(fb, t, r)} \quad (5)$$

最後に、脳磁界計測実験における対比較から算出した評価尺度値を基に、被験者ごとに評価尺度値が最小 (Low)・最大 (High) となる刺激および、最小値と最大値の平均に最も近い値 (Middle) となる刺激を選択した。印象の程度 (Low, Middle, High) ごとに全被験者で $\hat{P}_s(fb, t, r)$ を平均した。

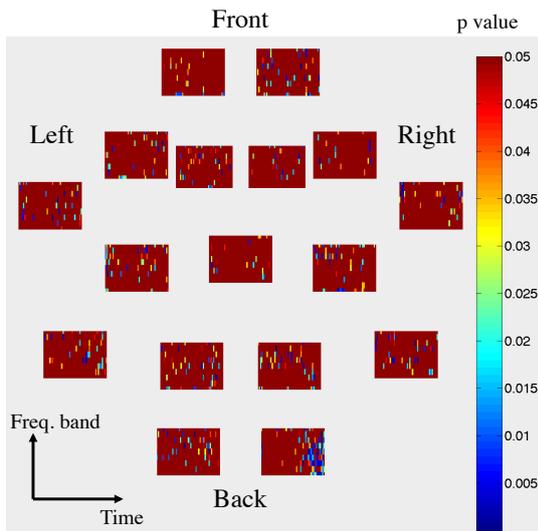


Fig. 2 P-value map of main effect of coolness level.

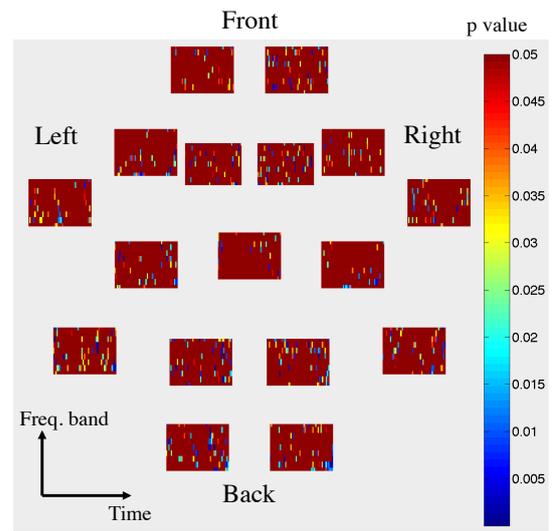


Fig. 4 P-value map of main effect of preference level.

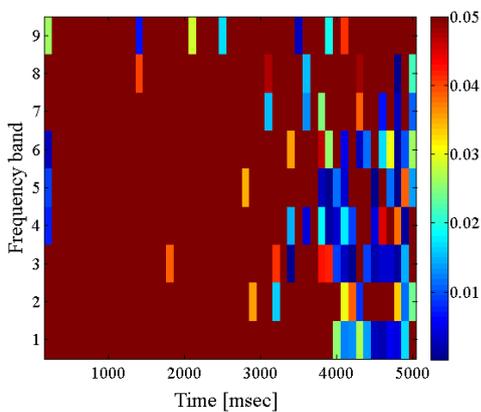


Fig. 3 P-values of main effect of coolness level on R_{16} .

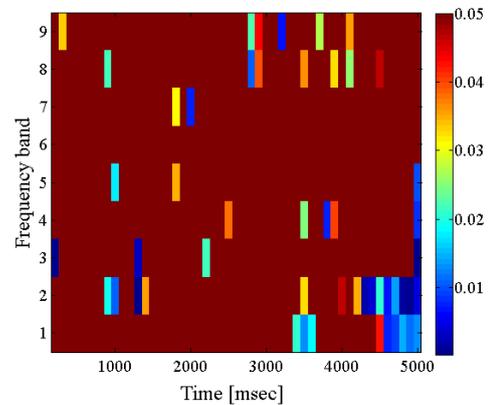


Fig. 5 P-values of main effect of preference level on R_{16} .

6 結果

帯域、時間、領域のすべての組み合わせに対し一元配置分散分析を行い、“涼しさ”および“好ましき”印象の程度の主効果を調べた。“涼しさ”の印象について、主効果のp値を領域ごとにプロットしたものをFig. 2に示す。また、領域 R_{16} (右後頭部) におけるp値をFig. 3に示す。また、“好ましき”の印象について、主効果のp値を領域ごとにプロットしたものをFig. 4に示す。また、領域 R_{16} におけるp値をFig. 5に示す。

“涼しさ”の印象に関して、領域 R_{16} , 潜時 3800 msec 以降の帯域 B_1 - B_6 (4-50 Hz) において、有意な ERS/ERD が得られていることがわかる。領域 R_{16} について、帯域 B_3 - B_6 および 3800-4900 msec での平均値をFig. 6に示す。“涼しさ”印象が大きな場合に有意な ERS が生じていることがわかる。

また、“好ましき”の印象に関しては、後頭部に位置する領域 (R_{13} , R_{14} , R_{15} , R_{16}) において、潜時 4200-4800 msec での帯域 B_2 (8-12 Hz) に有意な ERS/ERD が得られている。領域 R_{16} の帯域 B_2 について、4200-4800 msec での平均値をFig. 7に示す。“好ましき”印象が大きな場合には、有意な ERS が生じていることがわかる。

また、領域 R_2 , R_4 , R_7 では潜時 1700-2500 msec, 帯域 B_1 (4-6 Hz) において有意な変化が多く認められている領域 R_7 における帯域 B_1 について、1700-2500 msec における結果をFig. 8に示す。この部位、潜時に限ると、むしろ“好ましき”印象が大きな場合に、有意な ERD が生じていることがわかる。

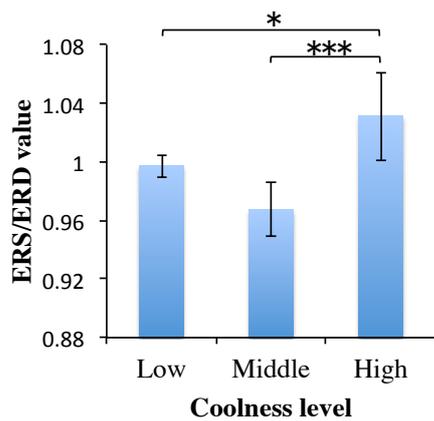


Fig. 6 ERS/ERD value of 4-50 Hz oscillation on R_{16} in 3800-4900 msec for each coolness level. Error bars indicate standard deviation.

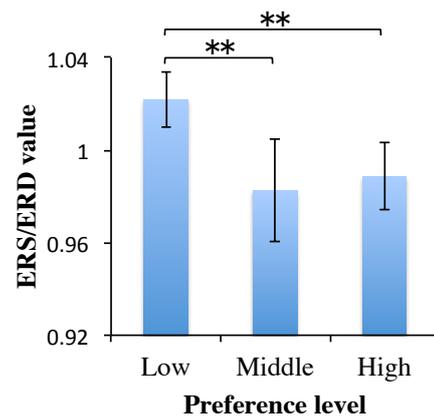


Fig. 8 ERS/ERD value of 4-6 Hz oscillation on R_7 in 1700-2500 msec for each preference level. Error bars indicate standard deviation.

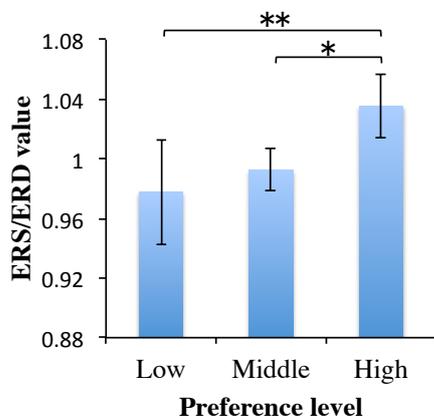


Fig. 7 ERS/ERD value of 8-12 Hz oscillation on R_{16} in 4200-4800 msec for each preference level. Error bars indicate standard deviation.

7 考察

後頭部の領域 R_{16} おいて、潜時 3800 msec 以降で“涼しさ”の印象の変化に伴う有意な脳活動の変化が見られた。一方、Fig. 6 の結果は“涼しさ”印象が大きな場合に有意な ERS が生じていることを示すものの、ERS 値は Middle で最小値を取っており、“涼しさ”の印象と脳活動との間の単純な線形関係を結論づけることはできない。ERS/ERD に影響を及ぼす他のファクターの効果を検討する必要があるかもしれない。また、Fig. 2 より、領域 R_{16} に近接する領域は R_{16} と類似した傾向を示していないことにも留意する必要がある。 R_{16} の領域内のチャンネルに含まれる何らかのアーティファクトが、結果に影響を与えた可能性も否定はできない。

帯域 B_2 (8-12 Hz) の ERS/ERD は、後頭部、

潜時 4200-4800 msec で、“好ましき”の印象に応じて有意に変化した。さらに、Fig. 7 より、“好ましき”の向上に伴って、脳活動の強度が上昇する傾向が見られた。帯域 B_2 の活動はいわゆる α 律動であり、後頭部に優位に発生することが一般的に知られている。また、先行研究において、音の“好ましき”の印象と α 帯域の活動の時間安定性との間に正の相関があることが報告されている^[1]。今回のエアコン音の“好ましき”に関する結果はこれらの知見と合致している。

8 まとめ

後頭部の α 帯域に、エアコン音の“好ましき”の印象が反映される可能性が改めて示唆された。その一方で、エアコン音の“涼しさ”の印象については、結果の解釈に慎重さを要する部分が残されている。実際の温熱感に対する脳内活動の解明も含め、さらなる検討が必要と思われる。

参考文献

- [1] Y. Soeta *et al.*, J.Sound Vib., 258, 419-428, 2002.
- [2] Y. Soeta *et al.*, J.Sound Vib., 277, 479-489, 2004.
- [3] S. Nakagawa *et al.*, ICIC Exp. Lett., 7, 1545-1550, 2013.
- [4] T. Hotehama and S. Nakagawa, Proc. of INTER-NOISE 2015, in 15_915.
- [5] 矢野ら, 音講論 (春), 123-124, 2015.
- [6] 矢野ら, 音講論 (秋), 485-488, 2015.