

令和 6 年 6 月 28 日現在

機関番号：12608

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2022～2023

課題番号：22K18842

研究課題名（和文）深層学習による脳情報デコーディングに基づく風の心地よさ感定量化への挑戦

研究課題名（英文）Challenge on estimation of pleasantness for wind based on brain decoding using machine learning

研究代表者

大風 翼（Okaze, Tsubasa）

東京工業大学・環境・社会理工学院・准教授

研究者番号：40709739

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：熱的中立に近い人工気候室及び屋外において、健康な成人を対象に、座位安静の状態  
で風曝露実験を行い、脳波の計測値と風の心地よさ感の主観申告を取得した。続いて、人工気候室実験で1名分  
を検証データ、残りを学習データとした上で、全脳領域の各周波数帯のパワーの平均値を特徴量とした線形サポ  
ートベクターマシンを用いた教師あり学習により、風が心地よいと心地よくないの二値分類検証を行った結果、  
正解率の平均は55.2%であった。分類予測に寄与した領域の特徴量のみを用いて再度学習を行った結果、正解率  
が56.1%と向上がみられた。屋外実験データへの人工気候室実験での学習モデルの適用について更なる検討が必  
要である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来の在室者の主観評価とは異なる、脳波という数値情報に基づき、最善の気流環境を推定できるなど、建築空  
間の気流制御を抜本的に変える可能性がある。コミュニケーションを介さず、対象者の快適感を脳活動から判定  
し気流の制御ができる可能性は、新たなヒューマンインタフェースの創出などにもつながり、誰もが快適に感じ  
る風環境の実現に貢献できる。また、風という物理的刺激を用いるため、従来の動画視聴などによる感情誘発法  
とは異なり記憶や先入観に左右されない感情が誘発される可能性があり、感情推定精度向上のプレイクスルーと  
もなり得る。

研究成果の概要（英文）：This study aims to estimate the pleasantness of wind under thermoneutral  
conditions based on machine learning. The analyzed brain wave was collected through an experiment  
performed in an artificial climate chamber and an outdoor field measurement. After removing noise  
from measured brain wave in the chamber experiment, the power spectral density in each brain region  
were calculated. The power values of the four frequency bands in all regions were used as the  
features for the classification analysis using machine learning. This study we applied support  
vector machine (SVM) as the classifier. The mean classification accuracy was 55.2%. Further  
discussion of applicability of SVM established using the data in the chamber experiment to that in  
outdoor measurement is expected.

研究分野：建築環境工学

キーワード：脳波 風環境 心地よさ感 機械学習 信号源推定 人工気候室実験 屋外実験 独立成分分析

1. 研究開始当初の背景

建築・都市空間における快適性の定量的評価は、人々がより快適な生活を送るうえで重要な役割を担う。熱的快適性の定量化指標としては、PMV(Predicted Mean Vote)や SET\*(Standard New Effective Temperature)がしばしば用いられるが、これらは、定常状態にある環境への適用を想定したものである。したがって、風を浴びた際の瞬間的な心地よさ感については、適切な評価が得られない可能性が指摘される。心の健康維持増進や知的生産性向上など、スマートウェルネスシティの実現に向け、既存の評価指標では捉えきれない人の快適性の定量化のため、人体生理情報活用への期待は大きい。人体生理情報の一つの脳波は、脳内の神経の電気的活動による電位変化を電極により計測したものである。近年、建築分野においても脳波が活用されつつあり、温熱環境が睡眠の質に及ぼす影響の検討のため、脳波が睡眠段階の判定に活用されているほか、室内で冷暖房時の気流が脳波に及ぼす影響に関する研究が行われ始めている。脳細胞の活動を電位信号として出力する脳波は、他の生理量と比較して時間応答性が高く、変動する快適性を捉えるために有力な情報となりうる。

2. 研究の目的

本研究では、熱的中立に近い人工気候室及び屋外において、健康な成人を対象に、座位安静の状態での曝露実験を行い、脳波の計測値と風を浴びた際の心地よさ感の主観申告を取得し、これを基に、各申告時に各脳領域から生じる脳波の傾向差の有無を分析(感情から脳領域を推定)するとともに、脳波を入力データとした機械学習により心地よさ感の推定を行い、推定にあたり寄与の大きい脳領域を抽出(脳波から感情を推定)することを目的とする。

3. 研究の方法

実験参加者は、利き手が右手の脳疾患の既往歴がなく健康な成人とした。脳波の計測には、人工気候室実験、屋外実験ともに eego sports64 (ANT Neuro)を用いた。国際 10-10 法に則って 61 個の電極を頭皮上に配置した。計測時のサンプリング周波数は 512 Hz に設定した。心地よさ感の申告は、タブレット上で行われた。申告のスケールは、0 を中立として、とても心地よくない (-3) から、とても心地よい (+3) までの 0.1 刻みとした。視覚・聴覚により誘発される風以外の刺激への生理反応を抑制するため、風を浴びている間、実験参加者は目を閉じ、また、常時ノイズキャンセリングイヤホンを着用している。計測した脳波から、前処理により、瞼の動きや眼球運動由来の成分は、除外している。各電極データとその頭皮上配置に基づき、大脳皮質における 8196 点の脳活動について推定し、脳領域周波数帯ごとのパワースペクトル密度の平均値を算出した。

1) 人工気候室実験の概要

人工気候室実験は、東京工芸大学厚木キャンパスの人工気候室(図 1)にて、2023 年 9、10 月に実施した。実験参加者は、健康な成人男性 11 名、女性 8 名で、適切にデータを取得できた 18 名のデータを以降の分析で用いている。ある。座位安静の状態、風を 8 秒間浴びた後、その風に対する心地よさ感(Pleasantness)を申告するトライアルを、脳波計測と並行して合計 150 回実施した。実験参加者に曝露させた平均風速は 5 種類(0.50, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 m/s)とし、連続したトライアルで同種類の風速が出力されることのないようにした。流路を工夫し、主流方向の乱れの強さは 30%程度、乱れのパワースペクトルが $-3/5$  則に従う屋外の自然風を模した気流を生成した。熱的中立環境を想定し、人工気候室の温湿度は 27℃、70%とした。着衣は上下長袖のスウェット(約 0.60 clo)に統一した。

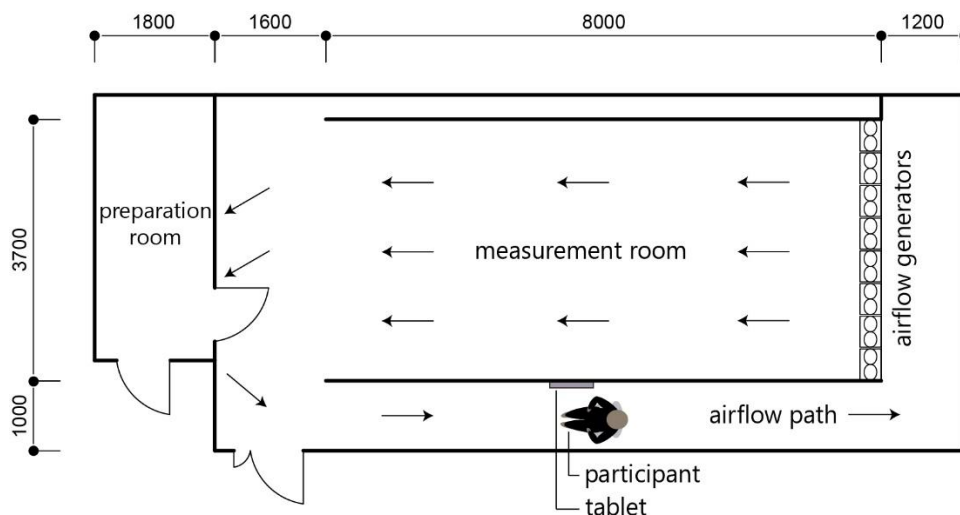


図 1 人工気候室の構成

## 2) 屋外実験の概要

屋外実験は、東京工業大学すずかけ台キャンパスグラウンドにおいて、2021年6月及び10月に、日射のある屋外空間で自然風を浴びながら人工気候室実験と同様の流れで行った。WBGT (Wet-Bulb Globe Temperature) 値は9.6-26.3℃の範囲で、参加者全体の平均値は18.2℃であった。曝露された風速は0.0-6.3 m/sの範囲で、平均値は1.3 m/sであった。参加者は27名(男性14名、女性13名)で、適切にデータを取得できた23名のデータで以降の分析は行っている。なお、予備検討として、2020年10月に実施した屋外実験結果も含めて分析を行っている。

## 4. 研究成果

人工気候室実験の実験参加者17名のデータの内、1名分を検証データ、残りの16名分を学習データとした上で、線形サポートベクターマシンを用いた教師あり学習による、Pleasant と Unpleasant の二値分類検証を行った。学習データの作成時には、実験参加者ごとにアンダーサンプリングを行い、Pleasant と Unpleasant のいずれか少ない方に、データ数を合わせた。アンダーサンプリング時のデータ取捨による結果への影響を考慮し、10回の検証における平均正解率を、各検証データの正解率とした。

すべての脳領域の各周波数帯パワーを特徴量として機械学習を行った結果、17名分の検証データにおける正解率の平均は55.2%、標準偏差は±5.76%であった(図2)。分類予測に寄与した上位20個の特徴量で形成された6個の脳領域(図3参照)に着目したうえで、各領域群で最も寄与の大きかった領域を一つずつ抽出し、合計6個の特徴量のみを用いて再度学習を行った。17名分の検証データにおける正解率の平均は56.1%、標準偏差は±7.32%で、実験参加者1と16を除く15名の正解率が50%を超えており、このうち5名は正解率が60%を上回った。

屋外実験のデータを用いて、すべての脳領域の各周波数帯について、実験参加者1名ごとに、Pleasant と Unpleasant の各トライアル群における周波数帯パワーの平均値を算出し、両者に有意な差があるか、対応のある2値間のt検定を行った結果、右側頭と頭頂における複数の脳領域の $\theta$ 帯で有意傾向( $p < 0.10$ )がみられた。これらの内、1つの領域は、人工気候室実験における機械学習において、予測への寄与の大きかった脳領域群に含まれる領域である。これらの脳領域と風の心地よさ感との関連について考察を深めるとともに、屋外実験データへ、人工気候室実験での学習モデルの適用や、深層学習等のより複雑な手法を用いた予測について、継続して検討を行っていく予定である。

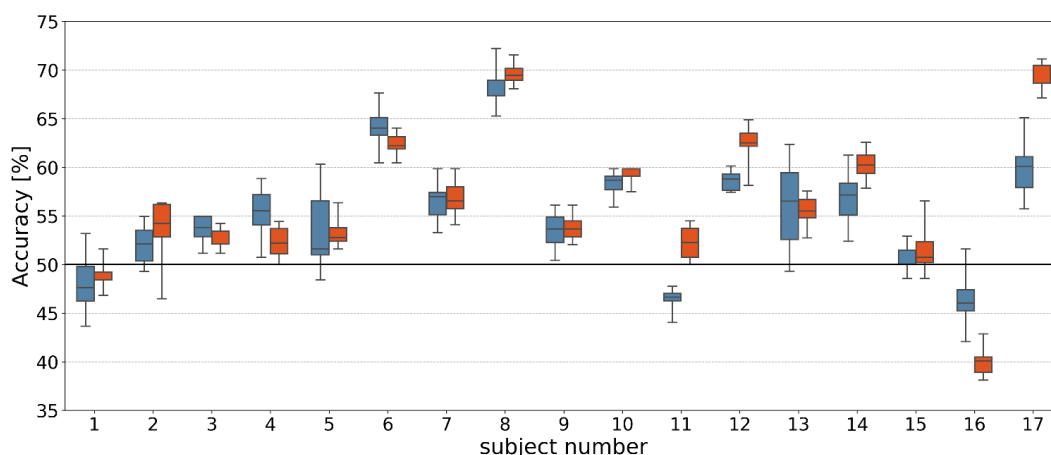


図2 実験参加者ごとの予測結果 (青が全特徴量を学習した結果、赤が予測への寄与の大きい6つの特徴量のみを学習した結果)

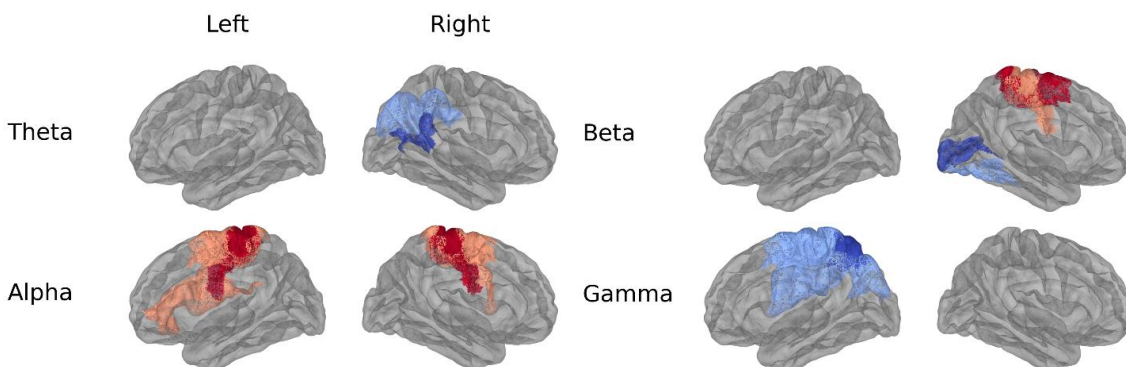


図3 分類予測に寄与した上位20個の特徴量が得られた脳領域 (赤色で示される特徴量はPleasantの予測、青色はUnpleasantの予測に大きく寄与したことを表す。)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 中村隆斗, 丸山裕恒, 玄英麗, 水谷国男, 吉村奈津江, 大風翼	4. 巻 環境工学I
2. 論文標題 脳波を用いた風の心地よさ感評価に関する研究（その1）人工気候室実験で取得した脳波データを用いた風の心地よさ感に関わる脳領域の推定	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 2022年度日本建築学会大会（北海道）学術講演会講演梗概集	6. 最初と最後の頁 99-100
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 本江一紘, 中村隆斗, 丸山裕恒, 吉村奈津江, 大風翼	4. 巻 環境工学I
2. 論文標題 脳波を用いた風の心地よさ感評価に関する研究（その2）非定常な屋外空間で自然風を浴びた際の心地よさ感に関わる脳領域の推定	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 2022年度日本建築学会大会（北海道）学術講演会講演梗概集	6. 最初と最後の頁 101-102
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 Yasuhisa Maruyama, Ryuto Nakamura, Shota Tsuji, Kunio Mizutani, Yingli Xuan, Tsubasa Okaze, Natsue Yoshimura	4. 巻 -
2. 論文標題 Neural correlates of sensing of wind strength: An EEG study	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The abstract of NEURO2022	6. 最初と最後の頁 2P-263
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 山本佳嗣, 森上伸也, 大風翼, 丸山裕恒, 吉村奈津江	4. 巻 96(5)
2. 論文標題 自然換気・通風の快適性に関する最新研究	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 空気調和衛生工学	6. 最初と最後の頁 365-372
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3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 中村隆斗, 丸山裕恒, 玄英麗, 水谷国男, 吉村奈津江, 大風翼
2. 発表標題 脳波を用いた風の心地よさ感評価に関する研究（その1）人工気候室実験で取得した脳波データを用いた風の心地よさ感に関わる脳領域の推定
3. 学会等名 2022年度日本建築学会大会（北海道）学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 本江一紘, 中村隆斗, 丸山裕恒, 吉村奈津江, 大風翼
2. 発表標題 脳波を用いた風の心地よさ感評価に関する研究（その2）非定常な屋外空間で自然風を浴びた際の心地よさ感に関わる脳領域の推定
3. 学会等名 2022年度日本建築学会大会（北海道）学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yasuhisa Maruyama, Ryuto Nakamura, Shota Tsuji, Kunio Mizutani, Yingli Xuan, Tsubasa Okaze, Natsue Yoshimura
2. 発表標題 Neural correlates of sensing of wind strength: An EEG study
3. 学会等名 NEURO2022（国際学会）
4. 発表年 2022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
研究分担者	吉村 奈津江  (Yoshimura Natsue)  (00581315)	東京工業大学・情報理工学院・教授    (12608)	

6. 研究組織（つづき）

	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	丸山 裕恒  (Maruyama Yasuhisa)  (50913258)	東京工業大学・科学技術創成研究院・特任助教    (12608)	
研究分担者	玄 英麗  (Xuan Yingli)  (20770564)	東京工芸大学・工学部・助教    (32708)	

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