

脳情報デコーディングによる屋外の風の心地よさ評価に関する研究

Estimation of wind pleasantness under outdoor environment based on brain decoding

東京工業大学 環境・社会理工学院 准教授・博士(工学) 大風翼

(研究計画ないし研究手法の概略)

風速の増加は、一般的に、人体表面からの顕熱/潜熱フラックスを増加させ、温熱快適性の増加に寄与する。しかし、温熱的な快適感とは別に、屋外で風に曝露すると、乱流変動の時間スケールと同程度の時間応答で風による心地よさが感じられる。感情や感性の変化に応じて脳活動信号に変化が観測されることが明らかにされつつあるが、動画などの視聴により誘発した感情を利用する典型的な実験手法では、個人の記憶による影響により脳活動パターンの個人差が大きく、感情の種類の特定は未だ精度は低い。それに対し、風という物理的刺激を用いることで、記憶や先入観に左右されない感情を誘発できる可能性があり、他の要因が混在していない脳活動信号を記録できる可能性がある。そこで、本研究では、脳情報デコーディング（脳波信号等から意思を読み取ること）を用いて、屋外空間で感じる風を浴びた際の瞬間的な心地よさを予測する手法の構築を目指す。

屋外で自然風を浴びた状態での脳波を取得する実験は、東京工業大学すずかけ台キャンパスのグラウンドで2020年10月、2021年6月、2021年10月の中間期の3期間に実施した。参加者は20代の健康な男性12名、女性10名とした。

測定項目を表1に示す。参加者に脳波計（ANT Neuro社製、eego sports64）を装着し64個の電極を国際10-20法に則って配置した。3次元風速計、温湿度センサ、グローブ温度の測定高さは1.1mとした。温湿度センサは、通風管を用いて設置した。

実験の様子を図2に示す。目を閉じて自然風を6秒間感じた後、風を含む環境の心地よさ感（Pleasantness）、温冷感（Warmth）を回答する過程を1トライアルとし、計120トライアルを実験参加者に課した（図1）。Pleasantness、Warmthの申告はノートPCを使用してVisual Analog Scaleで行った。Visual Analog Scaleは-3.0から+3.0までの0.1刻みで、Pleasantnessは-3.0をunpleasant、0をneutral、+3.0をpleasantとした。Warmthは-3.0をcold、0をneutral、+3.0をhotとした。実験中、参加者にはノイズキャンセリングイヤホンを着用させ、環境音の影響を受けないように配慮した。実験参加者が曝露した平均WBGT（Wet-Bulb Globe Temperature）値は9.6から26.3℃の範囲で、参加者全体の平均値は18.2℃であった。着衣については統一せず、実験参加時の温度環境にあったものと指示し、参加者に委ねた。

表1 屋外実験での測定項目

測定項目	測定機器	測定間隔
脳波	eego sports64 (ANT Neuro)	512 Hz
風速	3成分超音波風速計CYG-81000 (Young)	0.1 sec
乾球温度	温湿度センサSHT-35 (Sensirion)	1 min
相対湿度	温湿度センサSHT-35 (Sensirion)	1 min
グローブ温度	グローブ球(柴田科学) + T型熱電対	10 sec

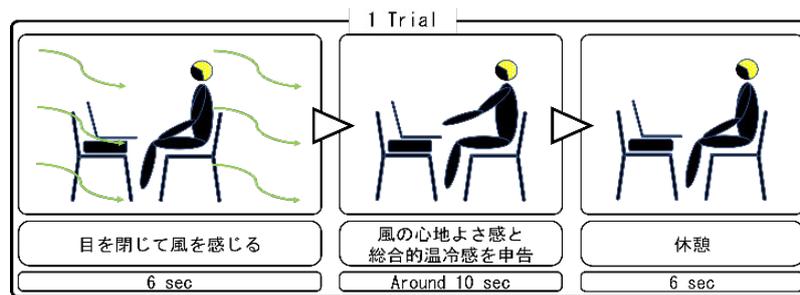


図 1 トライアルの構成



図 2 実験の様子

取得した脳波は、二つの手法を用いて分析を行った。どちらの手法でも、参加者が目を閉じて風を感じている 6 秒間の脳波データを解析の対象とし、心地よさ感の申告の偏りで 2 標本検定が成り立たないデータは、解析対象から除外した。

独立成分クラスターを用いた分析では、取得した脳波データに対して、独立成分分析を用いたダイポール推定を行った。分析には、脳波解析ソフト EEGLAB¹⁾を用いた。独立成分クラスタリングによって複数の参加者に共通の性質を持つ独立成分をクラスターに分け、 $Pleasantness > 0$ (Pleasant) のときと $Pleasantness < 0$ (Unpleasant) のときの脳波の独立成分のパワースペクトル密度を求め、 θ 、 α 、 β 、 γ 帯の各々の周波数帯域で平均値（以下、この値を周波数帯のパワーと呼ぶ）に統計的に有意な差があるか、対応のある 2 標本 t 検定を行った。

sLORETA²⁾による信号源推定を用いた分析では、取得した脳波データに対して独立成分分析を行い、眼球運動などを由来とするノイズ成分のみ除外した。その後、sLORETA により大脳皮質上に仮定した約 15000 点における信号源電流を推定し、Desikan-Killiany cortical atlas³⁾に則って区分した 68 の脳領域ごとに周波数帯のパワーを求めた。分析には、脳波解析ソフト Brainstorm⁴⁾を用いた。68 の脳領域、4 つの周波数帯 (θ 、 α 、 β 、 γ 帯) それぞれについて、参加者ごとに $Pleasantness > 0$ (Pleasant) のトライアルと $Pleasantness < 0$ (Unpleasant) のトライアルとに分けて脳波のパワーを計算し、それら 2 群間で、対応のある 2 標本 t 検定を行った。中立 ($Pleasantness = 0$) と回答したトライアルは、分析から除外した。

(実験調査によって得られた新しい知見)

独立成分クラスターを用いた分析の結果、左体性感覚連合野(somatosensory association L)、脳幹(brain stem)、背側前帯状皮質(dorsal anterior cingulate L)及び左紡錘状回(fusiform L)の近傍を信号源とする4つのクラスターで Pleasant と Unpleasant の2群間に有意差が認められた。また、視覚連合野(visual association R)でも有意傾向がみられた。

図3にそれぞれのクラスターを構成する独立成分の信号源の空間位置を示す。左体性感覚連合野の近傍を発生源とするクラスター(図3(1))は、8名の参加者から抽出された9の独立成分で構成され、 θ 帯と γ 帯のパワーに有意差が認められた。脳幹の近傍のクラスター(図3(2))は、10名からの18の成分で構成され、 γ 帯に有意差が認められた。背側前帯状皮質の近傍のクラスター(図3(3))は、14名からの24の成分で構成され、 θ 帯に有意差が認められた。左紡錘状回の近傍のクラスター(図3(4))は、13名からの23の成分で構成され、 α 帯に有意差が認められた。右視覚連合野の近傍のクラスター(図3(5))は、8名からの13の成分で構成され、 θ 帯に有意傾向が認められた。これらの有意差があった周波数帯では、 θ 帯と γ 帯では心地よいときに周波数帯のパワーが大きく、 α 帯では心地よくないときに周波数帯のパワーが大きくなった。

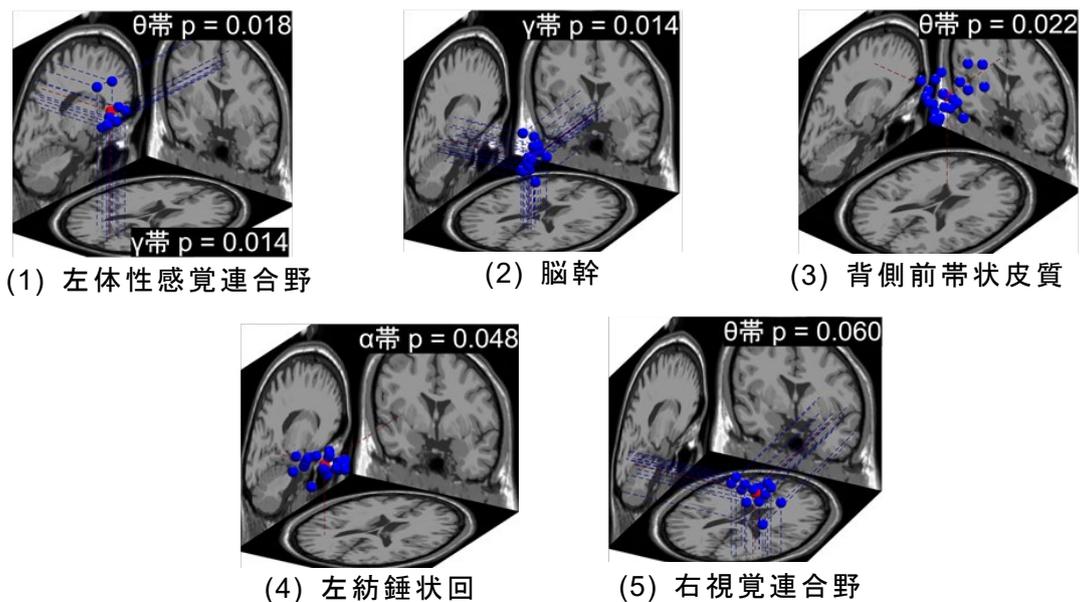


図3 クラスターを構成する独立成分の信号源の空間位置

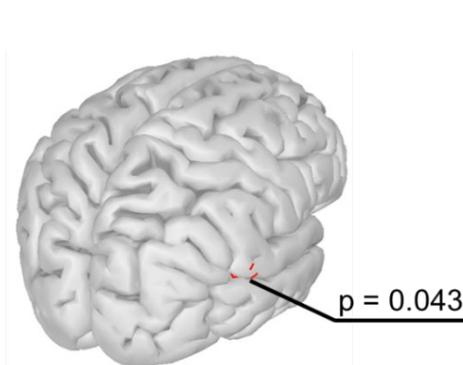


図4 θ 帯で有意差があった1領域

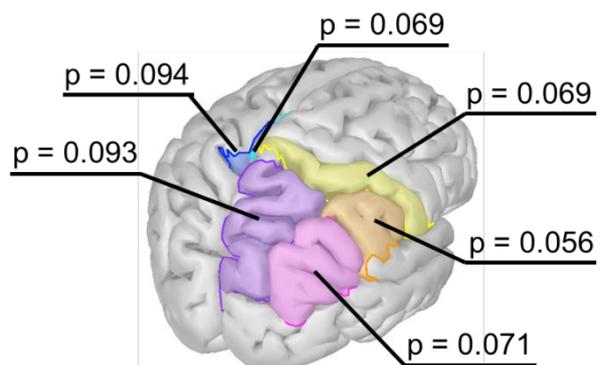


図5 θ 帯で有意傾向があった6領域

sLORETAによる信号源推定を用いた分析の結果、右上側頭溝の θ 帯で有意な差($p = 0.043$)が認められた(図4)。また、右縁上回、右中心後回、右中心傍小葉、右下頭頂小葉、右上頭頂小葉、左中心傍小葉の6つの領域の θ 帯で有意傾向($p < 0.10$)がみられた(図5)。有意差があった右上側頭溝は、有意傾向があった領域の端に位置し、右上側頭溝から離れるにつれて p 値は大きくなった。有意傾向があった右後頭の周辺は、前述の独立成分クラスター分析においても同じ周波数帯で有意傾向がみられた。

独立成分分析を用いたダイポール推定及びsLORETAによって推定された脳活動の分析で有意差あるいは有意傾向がみられた脳領域は、いずれも右後頭の領域に集中していた。右後頭の領域は主に視覚処理に関わるとされており、それらの領域と風の心地よさ感との関係について更に分析を行っていく予定である。

(参 考 文 献)

- 1) Arnaud Delorme: Journal of Neuroscience Methods, Volume 134, Issue 1, 15 Mar 2004, p 9-21
- 2) R.D. Pascual-Marqui: Methods & Findings in Experimental & Clinical Pharmacology, 2002, 24D, 5-12
- 3) Rahul S. Desikan: NeuroImage, Volume 31, Issue 3, 1 Jul 2006, p 968-980
- 4) Francois Tadel: Computational Intelligence and Neuroscience, Volume 2011, Article ID 879716

(発 表 論 文)

本江、中村、丸山、吉村、大風：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、2022年度日本建築学会大会(北海道)学術講演会梗概集, 2022(投稿中)