

【助成 41-37】

事象関連電位測定による乱流現象の視覚に対するヒト生理心理反応の解明

研究者 三重大学工学部 助教 高橋 護

三重大学工学部 総合工学科機械工学コース4年 西 遼平

〔研究の概要〕

乱流は、大小さまざまなサイズの渦運動が折り重なって形成されるマルチスケール現象でありフラクタル性を有するため、生理心理学実験試料として大変魅力的な物理現象である。本研究では、乱流現象の視覚に対するヒト生理心理反応を解明する第一歩として、乱流の可視化結果を被験者に提示し、その視覚に誘発される事象関連電位を測定しする実験を実施した。特に本研究では、乱流とあわせて正規乱数を試料とすることで、乱流が有する空間的秩序性がヒトに視覚情報として処理されるかを明らかにすることとした。実験の結果、その描画パターンに応じた事象関連電位波形を発することが示された。

〔研究経過および成果〕

事象関連電位とは、外的および内的な刺激に対する思考や認知の結果として発生される電気生理学的反応である。事象関連電位は被験者に刺激を繰り返し提示し、低次をトリガーとして収集された信号の加算平均により取得される。基本的な刺激提示パラダイムの一つにオドボール課題があり、二つの異なる刺激を、片方は高頻度、それに時折混入させるようにもう片方は低頻度に提示させる。本研究では、計画時点では多種の刺激をランダムに出現させる試験の実施を予定していた。しかし予備調査としてオドボール課題を試験的に実施したところ、その結果得られた事象関連電位でも本研究目的達成に迫るものであると期待されたため、本実験でもオドボール課題のみが実施されることになった。

本研究では検討の結果、下記の5種類のデータをグレースケールで可視化した画像を視覚刺激試料とすることとした(図1に画像の例を示す)：

1. **二次元乱流速度場** 流体物理量の可視化画像

ではあるが、流動性を示す空間パターンを形成していないと考えらる。

2. **二次元乱流濃度場** 1. の速度場に輸送・混合される染料の濃度で、乱流の特徴である旋回特性が視認できる空間パターンが形成される。

3. **三次元乱流速度場** 1. および 2. は平面内を流動する乱流を用いて生成されたが、こちらは実世界の流れと同様三次元空間を流動する乱流から生成されている。

4. **二次元正規乱数場** 二次元乱流と相似なエネルギースペクトルを有する乱数場。

5. **三次元正規乱数場** 三次元乱流と相似なエネルギースペクトルを有する乱数場。

乱流は不規則現象ではあるが、旋回運動をはじめとした秩序現象を形成し、それは非自然現象データである乱数場には存在しない。したがって、以上5種を採用した結果の相互比較により、ある物理量により乱流に内在する秩序性が可視化されたか、秩序のない空間パターンと異なる視覚情報として処理されたかを明

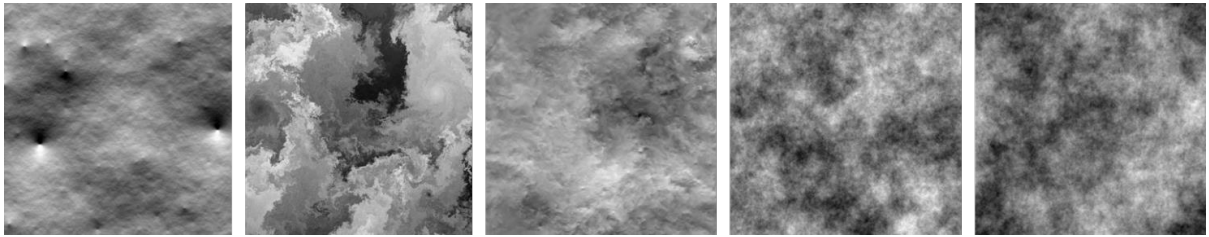


図1 視覚刺激の例. 左から二次元乱流速度場, 二次元乱流濃度場, 三次元乱流速度場, 二次元正規乱数場, および三次元正規乱数場

らかにすることができる.

実験は三重大学大学院工学研究科の実験倫理委員会に審査され, 承認を得て実施された. 被験者は三重大学工学部または大学院工学研究科に所属する22-24歳の男女21名である(具体的には研究実施者が所属する研究室に配属された学生である. うち1名のみ女性だが, 本研究では結果の性差を仮定していない). 被験者に上記の5種の視覚刺激それぞれについて, 高頻度刺激を80回, 低頻度刺激を20回提示し, 東海光学社製 TOKAI-Orb TO601 を用いて脳波を測定し, 事象関連電位を算出した. 実験は被験者一人あたり複数回実施された(計62回).

図2に10-10法に基づく電極配置位置Pzにおいて取得された, 低頻度刺激に対する事象関連電位を示す. 事象関連電位は, おおまかには約100[ms]経過時点での陰性成分(N1), 200[ms]経過時点での陽性成分(P2), 300[ms]より後に生じる陽性成分(P3)により構成される. 5つの結果が大局的には互いに類似した振舞いを示していることから, グレースケール画像を視覚した際の事象関連電位が一貫して取得できたことがわかる. とくに二次元正規乱数場画像と三次元正規乱数場画像はよく似ており, ほぼ同じ神経経路で視覚情報処理されていると考えられる.

本実験で実施したオドボール課題はP3を誘発させるためにデザインされており, 5種の視覚刺激を用いた実験結果すべてにP3は確認されている. 5つの結

果のなかで(緑で示す)二次元乱流濃度場が視覚刺激とされた場合の結果にて, 他よりもP3と考えられる成分が顕著であり, これは高頻度刺激と低頻度刺激の区別が容易であった可能性を意味する. したがって, 濃度を用いた可視化により乱流とノイズがヒトの視覚上は差別化されることを示唆する. 以上は二次元乱流速度場を用いた場合の結果には弱いいため, 濃度を用いた可視化による空間的秩序パターンの顕在化が決定的要因だと考えられる.

〔発表論文〕

1. 西 遼平, 高橋 護, ”可視化された乱流に内在する秩序性の視覚認知プロセスのERPを用いた解明” 日本視覚学会2025年冬季大会, 2p02(ポスター発表)

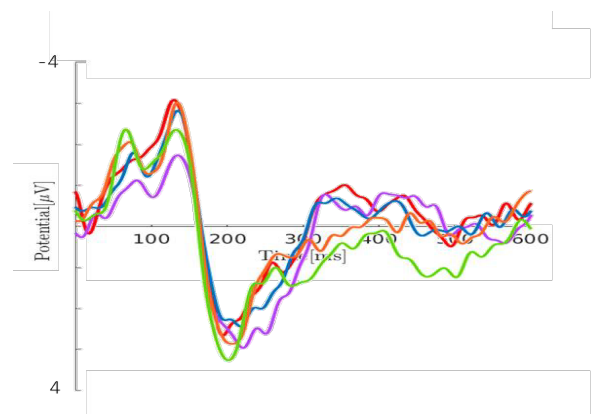


図2 Pzにて測定された事象関連電位. 橙, 二次元乱流速度場; 緑, 二次元乱流濃度場; 紫, 三次元乱流速度場; 赤, 二次元正規乱数場; 青, 三次元正規乱数場