

論文の要旨

題目 A study on Measurement of Human Brain Activity in Steering Operation Using Functional Magnetic Resonance Imaging

(機能的核磁気共鳴画像法を用いたステアリング操作中の人間の脳活動計測に関する研究)

氏名 岡本 宜久

自動車は、現代社会を構成するために必要不可欠な存在であり、安全性、運動性、利便性、経済性等、多くの性能が要求される。特に、人間が自ら操りダイナミックに移動するという特徴を持つため、運転しやすさを高める技術は安全性、運動性の向上に直接かわり、さらに商品価値を大きく高める走る喜びにもつながる重要な開発対象の一つである。

この技術開発には、運転中の人間の身体と心の理解を深めることが必須である。これまで、身体の側面では力・姿勢・運動の研究が進展してきた一方、心の側面では核心である脳の研究は少なかった。ただし、近年 neuroscience が飛躍的に進展し工学研究への応用も可能となり、ergonomics と組み合わせた neuro-ergonomics も始まっている。また広島大学では、文部科学省の革新的イノベーション創出プログラム (COI STREAM) の精神的価値が成長する感性イノベーション拠点として企業の製品やサービスの革新に脳科学によりアプローチしている。

そこで本研究では、運転しやすさに重要な役割を果たすステアリング操作を対象に、運転フィーリングに大きく影響する操舵反力の影響に注目して、脳活動を計測する研究を行った。ステアリング操作中の脳活動は、functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI) により脳の深部まで含めた全脳計測を行った。これにより、ステアリング操作に直接関与する運動の計画と制御のみならず、感情を司る神経基盤に関わる脳活動を捉えることが可能となる。なお、fMRI は車載計測できないため、本研究は運転模擬環境にて実施した。fMRI による脳活動計測に関する従来研究では、右左折や注意散漫場面など運転環境の認知が主な研究対象であり、本研究のような操舵反力が伴うステアリング操作によって生じる視覚と力感覚にかかわる脳活動を対象とした研究はこれまで行われていない。

本研究では、まず運転模擬場面における操舵反力付与下でのステアリング操作中の脳活動を fMRI 計測できる実験装置を開発して、操舵反力提示性能と fMRI データ計測性能を検証した。次に、この実験装置を用いて、操舵を待機している状態に注目して脳活動を検討した。最後に、操舵反力の粘剛性を変えて脳活動への影響を検討した。

以下、本論文の概要を示す。

第1章では、本研究の背景と目的について述べた後、関連する従来研究と本研究の位置付けを明確にする。

第2章では、MRI スキャンルームに設置して、操舵反力を伴う運転模擬中の実験参加者の脳活動を計測するために開発した実験装置について述べる。本研究遂行に必要な性能を有する市販装置は存在しなかったため独自に開発した。その開発上の課題は、磁束密度 3.0T (tesla)

の MRI 装置によって生じる強磁場環境において、磁気吸着や発熱を生じさせないで所定の操舵反力を実験参加者に提示し、fMRI 計測に装置由来のノイズを生じさせないことである。この課題を解決した本実験装置の構成と実装方法を説明するとともに、実験参加者の手元位置における機械特性の計測により妥当な反力提示性能を有することを明らかにする。

第3章では、第2章で開発した実験装置を用いて、実験参加者が操舵動作している状態で、妥当な fMRI 脳画像データ（以下 fMRI データと記す）が取得できるか検証した実験について述べる。第1に操舵反力生成用モータ、および反力伝達部に由来するノイズが fMRI データに混入しなかったことを示す。第2にあらかじめ指示した一定の角度と周期で左右にステアリング回転させる単純な操作タスクを課し、異なる操舵反力の大きさとステアリングを操作する腕を組み合わせた条件で計測した結果、従来の脳機能に関する研究知見と照らし合わせ、妥当な fMRI データが取得できたことを示す。

第4章では、第3章の第2の実験で得た fMRI データを用いて、操舵反力特性が操舵待機中の脳活動に与える影響を解析する。上述の単純なステアリング操作（操舵区間）は静止区間を挟んで交互に繰り返し計測したため、静止区間は視覚による操舵開始の指示を待つ操舵待機タイミングである。この舵待待機中の脳活動を分析したところ、サリエンスネットワーク (Salience Network) の活動がみられた。このネットワークは、外部からのキュー入力を監視・待機し、中央実行ネットワーク (Central Executive Network) に切り替える機能を持つことが知られている。また、操舵反力が大きい場合は、不安感と関連する前帯状皮質に有意な賦活がみられ、大きな操舵反力に備える必要のある場合には不安を伴って操舵待機がなされていたことを明らかにする。

第5章では、スラローム走行の運転模擬タスクを用い、操舵反力の基本的な物理特性である剛性係数および粘性係数を各3水準用いた被験者実験について述べる。操舵動作に伴う頭の動きが引き起こす fMRI データのノイズを軽減して高精度でデータ解析するため、Human Connectome Project (HCP) の MultiRunFIX 法を改良して適用した。その結果、剛性の変化と手を表象する一次運動野の賦活が共変し、粘性の変化と背側の運動前野と一次運動野の賦活が共変していることが明らかになった。これらの脳部位の賦活に関する従来研究に照らした考察に基づいて、操舵反力の剛性は主に遠位筋、粘性は主に近位筋を用いたステアリング操作に影響しており、操舵反力の粘弾性特性は異なる筋システムを関与させる形で車両制御に影響していると考えられた。

第6章では総括および今後の研究への発展を述べる。

なお本研究は、Japan Science and Technology Agency (JST), Center of Innovation Program (COI), JPMJCE1311 の支援を受けたものである。