

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 23 日現在

機関番号：31303

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24700121

研究課題名(和文)脳機能計測を利用した人的操作ミスの原因となる認知的ゆらぎの検出

研究課題名(英文)Fundamental study to discriminate a cognitive fluctuation which caused by a human error using neuroimaging signals

研究代表者

三浦 直樹 (Miura, Naoki)

東北工業大学・工学部・准教授

研究者番号：70400463

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：高度情報システムに対峙した利用者の操作ミスの原因となる認知的ゆらぎに関連する脳活動領域を特定し、その活動信号をエラー予防に活用するための基礎研究を行い、以下の成果を得た。

- ・エラーに対する認知的構え、課題に対する戦術思考、および複雑な思考を要する作業におけるインタフェースの影響を反映した脳活動変化のゆらぎとその関与領域を描出する事が出来た。
- ・脳機能計測信号に基づく、エラーを生じさせやすい認知状態を判別可能性について基礎的な知見を得た。

研究成果の概要(英文)：The experimental study has been performed clarify a neural substrate underpinning cognitive fluctuation which caused a human error, and an application of brain activity for preventing human error.

* Cortical activation reflecting cognitive readiness, tactical thinking to follow a rule, and a difference in the cortical activity associated with a difference of human interface have been elucidated.

* Fundamental result has been obtained about a possibility to discriminate a cognitive state that human error was easy to occur by using a fluctuation of cortical activity on prefrontal cortex.

研究分野：認知工学

キーワード：脳機能計測 ヒューマンエラー 認知プロセス

1. 研究開始当初の背景

原子力プラントや航空管制システムのような高度情報システムでは、非常に高いレベルの安全性が要求され、それを操作する運転員や管制官には高度に熟練した技能が要求されている。安全性を高めるための研究開発および現場での知識の蓄積が日夜行われているものの、情報システムの高信頼性化のみではヒューマンエラーを完全に無くす事は不可能であり、人間が操作ミスをしないうちに、人間の認知状態を適正に保つための支援の重要性が盛んに論じられてきている。しかしながら現在研究されている支援手法の多くは、行動の記録など外部からの観察によって獲得可能な指標を元に支援の指針を検討する事が多く、本来の人間の認知そのものに迫る研究は少ない。人間の認知状態は、言うまでもなく脳内で行われた情報処理そのもの、または情報処理の結果が身体を通して観察されたものであり、その認知状態を正しく知るためには、脳内で行われている認知的な処理を適切な手法で観察する必要がある。

近年の脳機能計測技術の進歩・実験手法の高度化により、単一の認知活動に関する脳内メカニズムを調べるだけではなく、より現実的な社会問題に関係する脳機能の解明や、計測信号の工学応用かが盛んに行われるようになってきている。しかしながら、工学研究分野で行われている研究の多くは「生理信号の一つとして脳活動も計測した」という段階に留まっており、基礎研究の段階を抜け出しているとは必ずしも言えない。

2. 研究の目的

本研究では、原子力プラントや航空管制システムのような高度情報システムに対峙した利用者の操作ミスの原因となる認知的ゆらぎを特定し、その信号を利用して利用者に注意を促す警報システムを開発するための基礎研究を行う。

そのために機能的磁気共鳴画像法(fMRI)や近赤外線分光法(NIRS)等の脳機能計測手法を用いて、種々の心理実験課題遂行時や、具体的な情報システムを模擬したシミュレータに対峙したユーザーの脳活動を計測し、操作ミスに関連する認知的なゆらぎ状態を検出し、その脳活動信号の利用方法について基礎的な検討を行う。

3. 研究の方法

第1フェーズでは、種々の心理課題を用いて、ヒューマンエラーと関連する認知活動のゆらぎを表象する脳活動変化が表象される脳領域を描出する事を試みる。本研究でターゲットとしている、原子力プラントや航空管制システム等の想定している高度情報システムにおいては、インタフェース上に逐次更新・表示される情報を監視し、その情報に対して適切な対応を行う事が作業の主となる。そのため上記の様なシステムにおいてヒュ

マンエラーを誘発すると想定される認知状態の揺らぎを発生させる外的要因として、本研究では(1)課題遂行に対して失敗に対するリスクを感じさせる規則が制定されている事、(2)自分の行動に対する結果(フィードバック)の有無によって生成可能である自らのヒューマンエラーを認識した後の課題に対する認知的構えの変化、を対象として脳機能計測実験を行う。

第2フェーズでは、第1フェーズで得られた研究成果を受けて操作ミスに關与する認知的なゆらぎをNIRS測定装置により計測可能である事の実証実験を行う。実験で用いる課題としては、第1フェーズで用いた種々の実験課題とともに、より現実的な実験課題として、電力の需要と供給を調整するスマートグリッドを模擬したシミュレータを用いる。ここで得られたNIRS計測信号における認知的ゆらぎの知見を元に、認知的ゆらぎ信号を検出に関する基礎的検討を行う。

4. 研究成果

・自分のエラーを認識した際にその繰返しを防止する認知的構えの神経基盤の解明

ヒューマンエラーは人間がどれだけ取り組む課題に対して注意を払っていても、その注意の揺らぎにより発生してしまうものと考えられるが、人間はその生じたエラーに気づいた場合自分の認知状態を修正し以降の課題に対して構える事が出来る。このような認知的構えを適切に生じさせる事により、エラーの反復を防止出来ると考えられ、エラーに関連する認知的ゆらぎとしては重要な要素であると考えられる。そこで、認知的構えの神経基盤を明らかにするために、自分のエラーを認識した場合に課題に対する注意を再調整する脳活動を機能的MRIにより計測した。

本実験課題では、被験者のエラー回数を担保する目的から、行動抑制や認知期競合に対処する認知活動を明らかにする際によく用いられるエリクセンのフランカー課題を改変して用いた。フランカー課題はターゲットとなる記号とそれと競合または非競合する周辺記号との組が被験者に提示され、被験者はターゲット記号の向きについてボタン押しにより回答するよう教示された(図1)。被験者の反応の直後に回答が正解であったか否かのフィードバックを提示し、各試行の成否を被験者が確認出来る様にした。このフィードバックにより被験者がある試行に失敗した後に次の試行に成功出来たならば、認知的構えにより自身の状態を適正な状態に再調整するための認知活動を捉えられると予測した。

機能的MRIを用いた脳機能計測実験には、44名の健康な日本人大学生が被験者として参加した。そのうち課題成績が極端に良いまたは極端に悪い被験者16名を除外し、2

8名の被験者から計測された fMRI データの解析を行った。

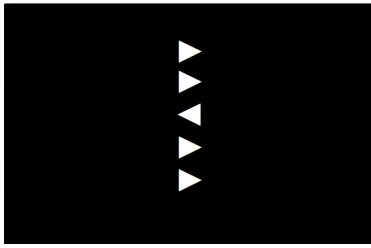


図1 . フランカー課題の課題画面

データ解析の結果より、自身のエラーを認識し次の試行に対して認知状態を再調整する認知活動を反映した脳活動は、内側前頭前野の背側に観察される事が認められた(図2)。またこの領域における脳活動変化の時間推移を解析したところ、失敗試行のフィードバックを受け取った後に次の試行で正しく回答した場合のみ特異的な信号増加が認められる事が分かった(図3)。それと併せて失敗試行のフィードバックを受け取った後に共通して生じる自身のエラーの認識に關与する脳活動は、より後方の内側前頭前野と両側の島皮質に観察された事から、認知的構えの神経基盤は、エラー認知の脳内ネットワークとは独立している事が示された。本結果により、機能的MRI信号に基づき、内側前頭前野背側の脳活動から、認知状態を適正な状態に修正しようとする認知的なゆらぎを検出可能である事の基礎的な知見を得た。

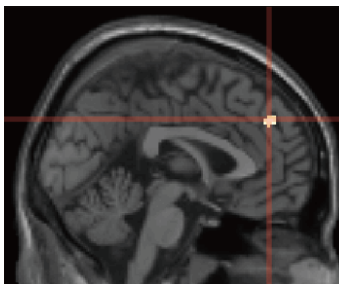


図2 . 認知的構えに特異的な血流変化を示す脳領域

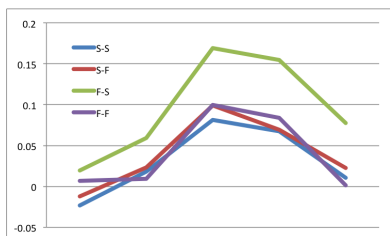


図3 . 活動領域における各課題条件の脳活動変化の時間推移

・規則によって変化する課題に取り組む戦術思考のゆらぎと關与する神経基盤の解明

実作業環境におけるヒューマンエラーを誘発する外的要因として、作業に対して規定される規則の存在が考えられる。メリット・デメリットが規定される規則の存在する場合、原則としては利益を最大化する戦術的思考が取られると予測されるが、時々刻々と変化する環境では、即時の価値判断と行動の取捨選択が必要となる。従って、その認知手続きを反映する脳活動のゆらぎを検出する事が出来たらならば、作業に対する規則の意義と、規則がどのような状況下で作業者に影響を与えエラーの原因になっているかを解明できると考えた。

本実験課題では、規則の有無によって変化する戦術思考のゆらぎを反映した脳活動を機能的NIRSにより計測を実施する。その為の課題として、ビデオゲームを模擬した課題を作成し、ゲームのルールを実験的に操作する事により戦術思考のゆらぎを描出する事を試みた。図4に実験課題の画面を示す。実験課題では被験者にマウスを操作させ、画面上部から落下してくるボールを拾うよう指示を行った。ボールを拾うまたは落とす事で得点が加点または減点されるが、特定のボールに対して非常に大きな減点ルールを制定し、そのルールの有無と課題難易度との組み合わせにより、被験者の戦術的思考の変化を計測する事とした。

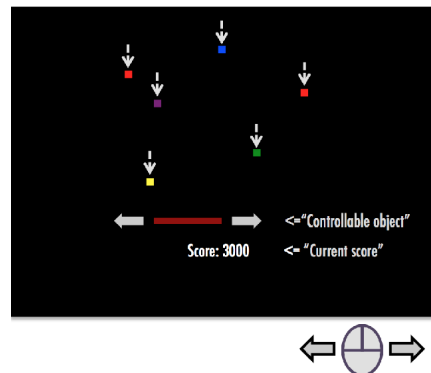


図4 . 実験課題の画面表示

20名の健康な日本人大学生が被験者として参加し、計測されたNIRSデータの解析を行った所、課題遂行と關連して両側の前頭前野外側面の脳血流量が有意に増加する事が示された。この領域を対象として、課題における規則の有無と難易度との關連について分散分析を行った所、左右側で活動の変化特性に差があり、左側前頭全野外側面の活動変化は規則の有無をより強く反映している事が示された。以上の結果より、NIRS信号に基づき、課題遂行における戦術的思考の変化を示す認知的ゆらぎを検出可能である事の基礎的な知見を得た。

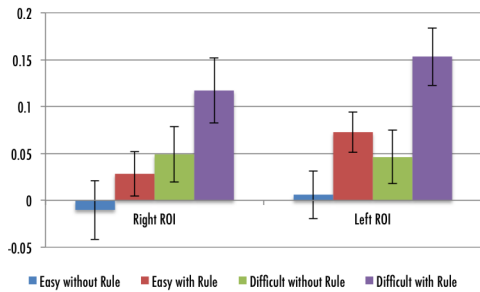


図5 . 左右側の前頭前野外側面における条件毎の脳血流変化の比較

・スマートグリッドシミュレータを用いたヒューマンインタフェースの差異が同一課題遂行時の脳活動に与える影響の測定

実作業環境下でのヒューマンエラーの発生と関与する神経機序を明らかにするために、スマートグリッドシミュレータを用いて、ヒューマンインタフェースの違いが脳活動変化に与える影響の評価を実施した。先行研究として実施した、機能的MRIによる計器監視作業時の脳活動へのヒューマンインタフェース形態の影響評価の研究成果から、前頭前野外側面等に脳活動の差異が表象されると予測し前頭領域の脳活動を機能的NIRSにより計測する事とした。

スマートグリッドシミュレータの操作画面として、図6に示す様な絵柄を多用した画面表示と文字のみを用いた画面表示の2種類を用意し、それぞれの操作環境下で、供給電圧を適正に保つ実験課題をさせたときの被験者の脳活動を計測した(図7)。

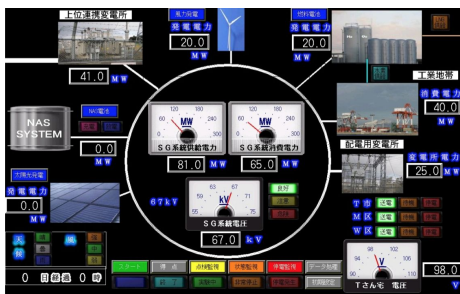


図6 . シミュレータ画面



図7 . NIRS 実験風景

10名の健康な日本人大学生が被験者として実験に参加し、計測されたNIRSについて、インタフェース毎の脳血流変化の差異を解析したところ、前頭部外側に顕著な血流変化が見られた。しかしながらその脳血流変化は、絵柄を用いたインタフェース条件でより血流増加する領域の存在等、共通の変化傾向は観察されるものの(図8)、一方で個人差が大きく影響している事が示された。この事はどちらのインタフェースが操作し易かったかに関する実験後アンケートからも確認された、従って、個人に適した作業インタフェースの設計と言った様な問題に対しての、脳血流データのゆらぎ情報を有効利用出来る可能性が示された。

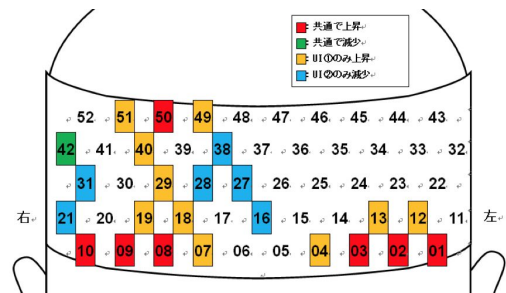


図8 . インタフェースの差異が脳血流変化に与える影響

・自分のエラーに対する認知的構えのゆらぎを反映するNIRS信号の検出に関する基礎的検討

エラーに対する認知的構えを反映した脳活動信号の揺らぎの検出可能性について検討を行うために、前頭部中央の脳血流変化を1つの計測チャンネルで計測する超小型近赤外線分光測定装置を用いて、機能的MRIで用いた課題と同一の課題を遂行している際の脳活動の計測を行った。

12名の健康な日本人大学生が被験者として参加した。計測は2回に分けて行われ、機能的MRIによる脳機能計測実験で用いたフィードバック付きフランカー課題と、同一の条件設定でフィードバックを持たない課題の2種類を遂行している時のNIRS信号の計測を行った。

計測されたNIRS信号のスペクトル解析を行ったところ、フィードバックの有無の両条件間で、特に0.3~0.4Hz周辺の低周波領域のスペクトルの強さに差がある事が認められた(図9)。フィードバックの有無は自分の結果を知る事による認知的構えのしやすさを示していると考えられる事から、この差異は課題に対してより適切に構えている事を反映した脳活動信号をとらえていると考えられる。従って、NIRS信号の低周波成分によりエラーをしやすい状態か否かを検出する事が可能である事が示唆された。

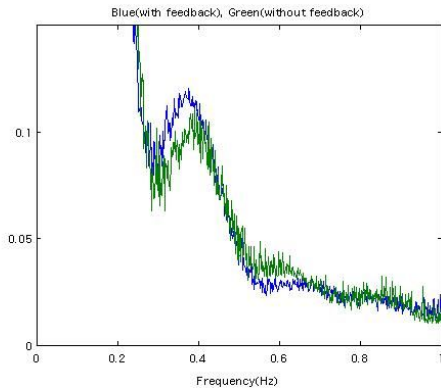


図9 .認知的構えの有無と対応する脳活動変化の周波数スペクトル比較

5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計3件)

1. Miura N, Nozawa T, Takahashi M, Yokoyama R, Sasaki Y, Sakaki K, Kawashima R. "Neural bases of cognitive state which changes with own past behavior: an fMRI study". The 21st Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping, Honolulu, Hawaii, USA, 2015.6.
2. Miura N, Shirasawa N, Kanoh S. "Cortical activity reflecting a tactical thinking to follow a rule: An fNIRS study". Neuroscience 2014. Wasington DC, USA, 2014.11.
3. 吉井慶人, 堀内友翔, 猪股礼寛, 三浦直樹, 高橋信, 川島隆太. "NIRS装置を用いたインタフェース評価に関する研究 (3)超小型 NIRS 装置によるインタフェース評価可能性の検討". ヒューマンインタフェース 2014, 京都, 2014.9

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計0件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

出願年月日 :

国内外の別 :

取得状況 (計0件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

出願年月日 :

取得年月日 :

国内外の別 :

〔その他〕

ホームページ等

6 . 研究組織

(1)研究代表者

三浦 直樹 (Miura Naoki)

東北工業大学・工学部・情報通信工学科

研究者番号 : 70400463

(2)研究分担者

()

研究者番号 :

(3)連携研究者

()

研究者番号 :