

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2006～2008

課題番号：18300039

研究課題名（和文） インタフェース技術の脳科学からの知見に基づく高度化

研究課題名（英文） Advancement of Interface Technology based on Neuro-Science

研究代表者

高橋 信 (TAKAHASHI MAKOTO)

東北大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：00243098

研究成果の概要：本研究では、機能的 MRI を用いた脳機能解析の手法を応用し、インタフェースと対峙した人間の認知的挙動と脳活動の関係を解明し、インタフェース評価へ脳機能解析を適用する手法を構築することを目的として「脳に優しい」インタフェース実現のための方法論の構築を行った。本研究においては、異なる視点からの三つの被験者実験を行い、インタフェースの高度化に対して、脳科学的な知見が有効であることを示すことができた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	5,200,000	1,560,000	6,760,000
2007年度	5,000,000	1,500,000	6,500,000
2008年度	2,000,000	600,000	2,600,000
年度			
年度			
総計	12,200,000	3,660,000	15,860,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：メディア情報学・データベース

キーワード：ヒューマンインタフェース

## 1. 研究開始当初の背景

脳科学の発展に伴い、人間の高次の認知的活動を高い時間分解能で脳内の局所的活動と結びつける手法が提唱され、基礎的な実験研究が盛んに行われている。機能的 MRI（以下 fMRI）を利用した Activation Study と呼ばれる研究分野では、様々な知的活動を行う際に、脳のどの部分が活性化するかという点に着目して解析を行い、脳の機能局在に関して多くの知見が既に得られている。しかしながら、現状では基礎的な認知実験による知見の集積が研究の主目的となっており、具体的な工学的応用を目指した研究例は少ない。

## 2. 研究の目的

本研究では、機能的 MRI を用いた脳機能解析の手法を応用し、インタフェースと対峙した人間の認知的挙動と脳活動の関係を解明し、インタフェース評価へ脳機能解析を適用する手法を構築することを第一に目的とする。更に、ここで得られた知見に基づき、「脳に優しい」インタフェース実現のための方法論の構築を目指す。以上二つの研究を通じて、人に優しく、人と調和するインタフェースの実現を目指した。

### 3. 研究の方法

H18年度は最初に研究の予備的な検討として、簡単インタフェース環境を対象にした実験結果の再検討を通じて、脳機能解析のインタフェース評価への応用の可能性に関して検討を行った。現在、グラフィカルユーザインタフェースの普及に伴い、様々な形態のHMIが利用されている。本報告では、先行研究の結果を受けて、デジタル計器とアナログ計器を評価対象とし、監視課題の難易度を変化させた際にHMIの差異が脳活動の変化に影響を及ぼすかについて評価する事とした。

この2種類の表示装置は、どちらもシステムの数値的な状態を示すHMIであるにもかかわらず、デジタル計器は表示された数字の変化によって状態の変化を表現し、アナログ計器においては空間的に配置された指示表示の位置によって状態の変化を表現するという特徴の差異がある。従って、監視者はデジタル計器においては数字、アナログ計器においては空間的情報と異なる視覚的特徴を持つ情報を読み取る事となり、脳内で行われる視覚情報の認知処理は異なってくる。先行研究においては、デジタル計器監視においては文字の読み取りに関与する腹側視覚経路、アナログ計器監視においては空間的な情報の認知に関与する視覚情報処理の背側経路の活動が各々の条件で増加する事が観測され、脳機能計測に基づくHMI評価の可能性について基礎的な知見を得ている。更に先行研究においては、注意の維持や作業記憶等の認知機能とも関連する右側中前頭回の活性状態が、被験者の主観的な難易度と関連して変化する事が示唆された。しかしながら、先行研究においては主観的難易度の解析においても異なるHMI環境下で監視課題を行った際の脳活動を比較しており、難易度と関連する認知活動を評価するにあたり、HMIの差異に起因する視覚刺激の差異の影響と難易度の影響とが相互に影響している可能性を除外する事が出来なかった。

本研究では、監視作業の難易度とHMIの視覚的特徴の関係を明らかにするために、デジタル計器とアナログ計器を用いた2種類の計器監視課題に対し、高難易度・低難易度の2種類の条件を設定し、監視作業によって引き起こされる脳活動の変化を機能的MRIによって測定した。そして、同一HMI環境下で異なる難易度条件での脳活動を比較する事によって、計器監視課題の難易度が脳活動の変化に与える影響とHMIの視覚的特徴との関連性について解析を行った。

次に、より現実的なインタフェースを対象にした脳機能解析手法の応用の可能性を検討するために、自動車運転行動時の脳活動に関

する実験を行った。本研究では、脳機能解析が実験的なレベルでの評価に利用可能出るか否かを明らかにすることが目的である。自動車運転行動を対象にしたのは、熟練した被験者を集めやすいためであり、特に本年度はリスク認知という観点に注目して実験を行った。図1に本実験において使用した反応獲得装置の概略を示す。

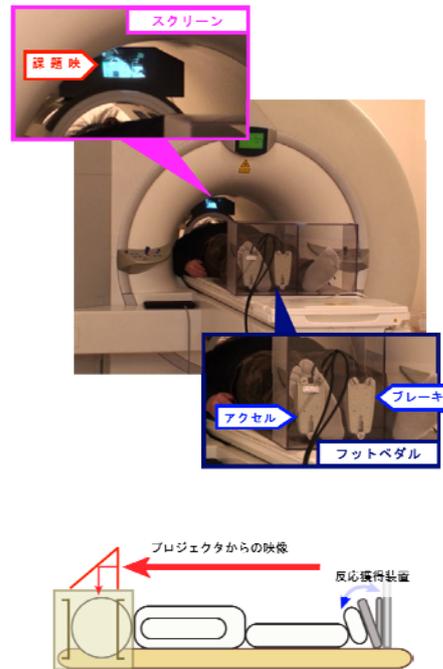


図1 作成した反応獲得装置

H19年度は、現実的なインタフェースを対象にした脳機能解析手法の適用の観点で、以下の二つの側面からの研究を行った。最初に、インタフェース操作における適合性の問題に関して、Compatibilityという観点から検討を行った。人間が操作を行う際に、自然だと感じる場合の脳活動を解析することにより、パフォーマンス指標だけでは捉えることが困難な認知的Compatibilityが推定可能であるかどうかに関して検討を行った。本研究では、MRI内で使用することができるロータリー式の操作器を作成し、表示される情報に応じて、値の増加・減少をこの操作器を用いて行わせた。この実験のタスク画面を図2に示す。もう一つの観点は、スキル獲得に関する脳活動の特徴に関する研究である。明示的でない知識の獲得過程は、人間の認知的挙動として重要なポイントであり、工学的に「技能伝承」という観点から注目されている。本研究では、第一段階としてメタ解析によりImplicit Learningに関連する脳活動部位を明らかにし、次にそれに関連して、単純化したImplicit

Learning過程を使ったfMRIによるイメージングの実験を行った。

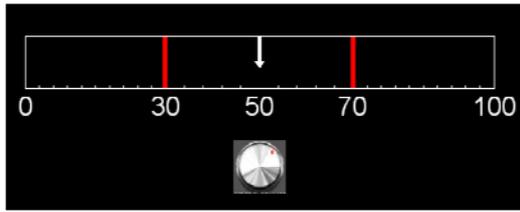


図2 Compatibility 実験画面

H20年度は、「脳に優しいインタフェース」という観点から、人と機械のインタラクションの一形態として注目されているBrain-Machine Interface(BMI)と感情の関係についての脳科学的研究を行った。具体的には、感情の想起に伴う脳活動を fMRI と NIRS 装置により測定し、その対応付けを行った。本研究では詳細な感情を推定することが目的ではなく、感情を人と機械の間のインタラクションの一つのモダリティとして利用することが目的であるため、感情を Negative, Positive の二つに大別し、意図的に想起したその状態が脳活動として弁別可能であるかどうかを検討した。特に本研究では、fMRI による詳細な計測と、実際の状況で測定を行うことが出来る NIRS 装置での計測を同じ被験者に対して行い、その相関を検討することを主眼として実験を行った。

#### 4. 研究成果

H18年度の成果としては、解析結果から、アナログ計器監視課題では難易度の増加に伴い、運動の認知や課題の遂行に伴う運動の調整に関与する領域の活性化が増加した。一方、デジタル計器監視課題では有意な反応時間の遅れがあるにも関わらず脳活動に増加が認められず、異常への気づきが遅れている可能性が示唆された。従って本報告により、HMI に対峙した人間の脳活動と行動データの比較から、課題に対する認知的な負荷が人間の活動にどのような影響を与えているかについて、より詳細に評価出来る可能性が示されたと結論づけられる。

H18年度、次に行った自動車運転行動時の脳活動に関する研究成果は以下の通りである。MRI で使用可能なペダル（アクセルとブレーキに対応）を試作し、被験者は提示される運転者視点の画像を見て、危険と判断した場合にアクセルを離し、ブレーキを踏むように指示を行った。脳機能解析の結果から、運転時には運転映像における視覚的あるいは視空間的な情報に注目していることが観察

された。これらの視空間的な情報処理ネットワークは運転時のリスク認知において重要であると考えられる。図3に運転行動時のリスク認知活動に共通して活性化する領域を示す。

これらのコントラストから右側上頭頂小葉、両側外側後頭領域、および右側側頭葉内側での活性化が認められた。頭頂葉は、視空間的な注意に強く関連していることが、過去の注意、視空間的な処理に関する脳機能解析研究の結果からよく知られている。また後頭葉では、視覚的な注意、視覚情報処理に関連する領域として知られており、側頭葉内側には風景の情報処理に関連して活性化する領域としての脳機能解析研究が行われている。本研究の結果は、先行研究の結果と一致しており、運転行動時のリスク認知活動において、視覚情報、視空間認知といった監視に伴うネットワークが利用されている事が示唆される。また、上記以外の領域で、運動前野や舌状回でも活性が認められ、これらの領域も注意に関連して活性化することが知られている。

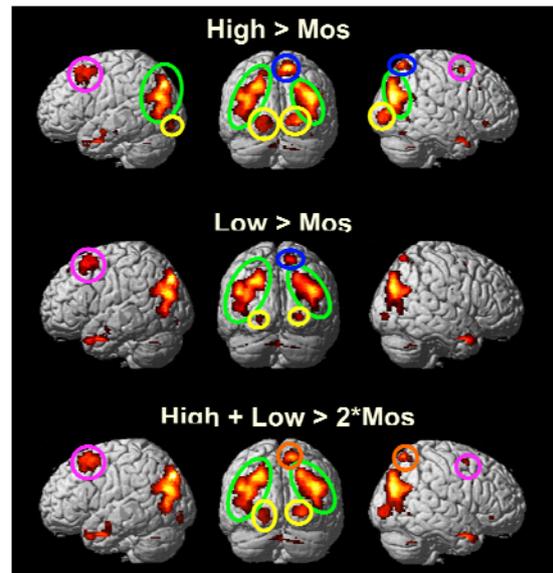


図3 運転行動時のリスク認知活動に共通して活性化する領域

更に、事象関連解析による動的なリスク認知活動での脳活動と運転行動特性との相関解析により、上記に述べた情報処理ネットワークの中でも、特にエラー予測のような高次な認知活動や視空間注意が重要であると考えられる。図4により深く予測を行っている場合に活性化（「相手の動きの予測能力」と正の相関）する領域を示す。

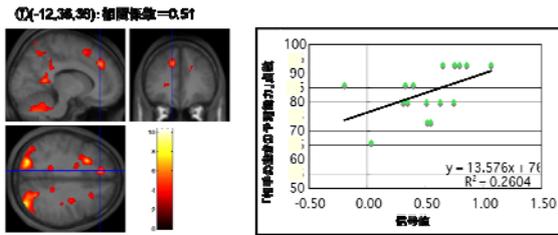


図4 より深く予測を行っている場合に活性化する領域

相手の動きの予測能力が高い場合と正の相関を持つ領域として上記が得られた。この領域に関しては、エラー発生を予測する時や、課題に対して応答する前段階で応答に迷っている時、などの行動に伴って活性化すると報告がある。これに基づき今回得られた領域について考察すると、被験者が他の交通参加者に対し、次に起こる行動やその範囲を予想し、その予測から自分が速度調整をすべきか否かを考えていたことで活性化したのではないかと考えられる。

結果として脳機能計測を用いてハザード認知における人間の脳活動を特定できることを明らかにすることができ、リスク認知を対象とした脳機能解析の有効性を確認できた。本研究結果は、脳機能解析技術が心理学的意味で厳密に統制されていない実験環境においても、人間の認知的な特性を明らかにする上で十分の適用可能であることを示すことができた結果である。

H19年度のインタフェース操作における適合性の問題に関して、Compatibilityという観点から検討を行った結果は以下の通りである。

本研究では、MRI内で使用することができるロータリー式の操作器を作成し、表示される情報に応じて、値の増加・減少をこの操作器を用いて行わせた。結果として、反応時間等のパフォーマンス指標では明確に

Compatibilityを区別することができない場合でも、脳活動から得られる指標を用いることでその区別を行うことができることを示した。この結果は、客観的なパフォーマンス指標（反応時間）等では、区別することが困難な人間の認知的な特性を、脳機能解析により明らかにできることを示した画期的な研究成果である。

H19年度のもう一つの研究項目であるスキル獲得に関する脳活動の特徴に関する研究に関する研究成果は以下の通りである。本研究では、第一段階としてメタ解析により

Implicit Learningに関連する脳活動部位を明らかにし、次にそれに関連して、単純化したImplicit Learning過程を使ったfMRIによるイメージングの実験を行った。その結果、これまであまり指摘されていなかったImplicit Learningに特徴的な脳活動部位を明らかにすることができた。

H20年度の研究成果は以下の通りである。

fMRIによるグループ解析においては、感情想起に伴う脳活動を特定することができた。本研究では、感情をPositive感情とNegative感情の二つに分け、発話を伴う感情想起と（感情表出実験）、発話を伴わない感情想起（感情想起実験）を行わせ、その際の脳活動の変化を解析した。MRIの集団解析においては、特にネガティブ感情に関して“感情”に関わる賦活部位が観察できた。また、個人解析においても4名中3名で感情表出実験と感情想起実験において共通の賦活部位が認められた。感情を表出する方法としては“感情に関わる語句の発話”より“感情に関わる想起”の方が有用であることが示された。

実際的な状況で利用することが可能なNIRS装置では、一貫した脳活動のパターンを同定することはできなかった。しかしながら、六名の被験者中一名はfMRIでの賦活パターンとNIRS装置で計測した賦活パターンに類似性を見出すことができ、感情想起によるBMI実現の可能性を示唆する結果であると考えられる。

## 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1件）

- ① 三浦直樹、高橋 信、川島隆太、北村正晴、若林 利男：計器監視におけるインタフェースの差異と難易度の関連性解析：機能的MRIを用いた脳機能計測研究、ヒューマンインタフェース学会論文誌，Vol.11, pp. 31-39, 2009.(査読有り)

〔学会発表〕（計3件）

- ① Makoto Takahashi, Tomomi Aboshi, Naoki Miura, Hiroshi Ota, Ryuta Kawashima, Toshio Wakabayashi, "fMRI study on risk perception for driving task presented as video images", 14th Annual Meeting of the Organization for

Human Brain Mapping, Melbourne, Australia, June, 19, 2008 (poster).

② 三浦直樹, 高橋信, 渡邊丈夫, 内田信也, 佐藤滋, 堀江薫, 北村正晴, 若林利男, 中村克樹, 川島隆太

“計器監視課題における難易度の影響：fMRIによる研究”

第29回日本神経科学大会. 京都, 2006. 7. 19

③ Miura N, Takahashi M, Watanabe J, Uchida S, Sato S, Horie K, Kitamura M, Wakabayashi T, Nakamura K, Kawashima R, “A relevant analysis of task difficulty and brain activity during meter inspection: an fMRI study”, 12th Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping. Florence, Italy, June, 12, 2006.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

高橋 信 (TAKAHASHI MAKOTO)

東北大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：00243098

### (2) 研究分担者

### (3) 連携研究者

川島 隆太 (KAWASHIMA RYUTA)

東北大学・加齢医学研究所・教授

研究者番号：90250828

杉浦 元亮 (SUGIURA MOTOAKI)

東北大学・加齢医学研究所・准教授

研究者番号：60396546