

博士学位論文審査要旨

2017年2月14日

論文題目： MRI と脳波計の同時計測による情動に対応する脳部位推定に関する研究

学位申請者： 奥谷 晃久

審査委員：

主査： 生命医科学研究科 教授 渡辺 好章

副査： 生命医科学研究科 教授 秋山 いわき

副査： 生命医科学研究科 教授 廣安 知之

要 旨：

人間の活動の中核をなす脳活動の解明は、学術的な脳機能解明の興味に加えて脳の特性を利用した新たな産業創出への期待も大きい。特に従来は計測が難しかった、感情や共感の評価が可能になると、既存の製品やシステムに対する新たな価値を付加することにより、社会構造の大きな変化を創出できる可能性が高く、経済活動への波及効果も大きい。このような環境下を見据えて、本論文では、ヒトの情動の定量的評価技術の開発を研究課題として取り上げている。

著者は、「感性価値」を情動の変化と定義し、生理指標の中でも情動の基であると考えられる脳活動に着目し、定量的な情動の評価手法の確立に向けてさまざまな検討を行っている。さらに、これら手法の確立に必須となる、通常の一般生活空間内における脳機能データ取得に立脚した計測技術確立の必要性についても述べている。すなわち、脳活動評価装置としては通常MRI(magnetic resonance imaging)が用いられるが、MRIによる計測は、装置の性格上、一般の環境下における計測とはみなし難い設定も多い。従って、さまざまな環境下における脳機能データ取得という観点からは、小型で可搬性がある機器による脳機能データ取得が必要になる。このことを解決するために、本論文で著者は、MRI と脳波計の同時計測を提案している。具体的には128chの多チャンネル脳波計を用いて情動に関連する脳深部の活動を抽出することを目的に、事象関連電位(ERP: event related potential)の時間変化に着目し、逆問題を解くことで脳活動部位の推定を検討している。

著者は、MRI と脳波の同時計測実験から、MRI で抽出された脳部位を脳波の情報のみ用いて抽出することを試み、刺激提示後から約100ms, 300msに出現することで知られる特徴的なピークであるN100, P300を確認している。さらに、P300の振幅はgrotesque画像が最も高いことを示すと同時に、eroticとneutral, grotesqueとneutral, grotesqueとrelax間で明確な有意差を確認している。これらの結果を総合し、視覚刺激及び聴覚刺激の不快感の強度と扁桃体が関係しており、これらの部位に着目することで、不快感を定量的に評価できる可能性があることを示している。さらに、P300付近の脳波に着目することで、情動と関連する脳部位の活動を抽出でき、この結果を住宅環境等の不快感評価に産業応用できる可能性も示している。

本論文で得られた成果は、ヒトの情動の定量評価に新たな重要な知見を与えると同時に、脳機能解明の成果としても学術的に高く評価できる。よって、本論文は博士(工学)(同志社大学)の学位論文として十分に価値あるものと認める。

総合試験結果の要旨

2017年2月14日

論文題目： MRI と脳波計の同時計測による情動に対応する脳部位推定に関する研究

学位申請者： 奥谷 晃久

審査委員：

主査： 生命医科学研究科 教授 渡辺 好章

副査： 生命医科学研究科 教授 秋山 いわき

副査： 生命医科学研究科 教授 廣安 知之

要 旨：

本論文提出者は、2014年4月に本学大学院生命医科学研究科医工学・医情報学専攻医情報学コース博士後期課程に入学し、それぞれの年度において優れた研究成果を挙げている。また、本研究科修了に必要な所定の単位を修得するとともに、英語の語学試験にも合格しその能力についても十分であると認定されている。

本論文の主要部分は、Acoustical Science and Technology 誌に掲載が決定している。さらに、提出者は、後期課程在学中に、1報の国際会議ならびに6件の国内会議で得られた成果を報告している。また、これらの発表論文のうち1件が、日本音響学会学生優秀発表賞に選出されていることから分かるように、その論文内容の質の高さは高く評価されている。2017年1月28日午後3時から約1時間30分にわたり提出論文に関する学術講演会（博士論文公聴会）が開かれ、種々の質疑応答が行われたが、提出者の説明によりいずれも十分な理解が得られた。

さらに公聴会終了後、論文に関係した諸問題について、審査委員による口頭試験を実施した結果、提出者の十分な学力を確認することができた。

よって、総合試験の結果は合格であると判定した。

博士学位論文要旨

論文題目：MRI と脳波計の同時計測による情動に対応する脳部位推定に関する研究

氏名：奥谷 晃久

要旨：

日本の製造業ではコストや機能を向上させることに加え、新しい軸での顧客へ訴求することも必要とされている。その1つとして注目されているのが、「感性価値」である。

経済産業省『2006年度版ものづくり白書』を2007年に発行し、技術的な強みに加えて、感性価値を高めることが他国製品と比べた差異化になり得ると提言したことから、「感性価値」に関する取り組みは産業界の関心を集めた。経済産業省は、感性価値を「生活者の感性に働きかけ、感動や共感を得ることによって顕在化する価値」と定義している。そのような中、本論文では、「感性価値」を情動の変化と定義し、定量的な感性評価技術の開発に取り組んだ。

現在、ヒトの情動を評価するにあたり、心理計測手法、生理計測手法が提案されている。心理計測手法ではアンケート方式の主観評価があり、生理計測は脳波、精神性発汗、眼球運動、瞳孔径などが用いられている。しかし、心理計測手法であるアンケートを用いた主観評価は、定性的な評価である点、評価に時間がかかる点、言語の理解度によって解釈が異なる点等が課題として指摘されている。そこで本論文では、本課題を解決するため、生理指標の中でも情動の基であると考えられる脳活動に着目し、定量的な情動の評価手法に着目し検討を行った。

脳活動を用いた情動の定量化に関する研究は脳波や脳血流を対象として、幅広く行われている。例えば、脳波を用いた取り組みでは、武者らによる感性スペクトル解析手法や、中川らによる感性フラクタル次元解析手法が挙げられる。感性スペクトル解析手法は、脳波信号の θ 、 α 、 β 波帯域における電極間の相互相関係数を用いて4種類の基本的な感性とされる喜怒哀楽を推定する。また、感性フラクタル次元解析手法は、脳波の差分信号に対するフラクタル次元を用いて喜怒哀楽をより精度良く推定する手法として実用化に向けた研究がなされている。しかし、これら手法は脳波の性質上、脳表層の活動を主に反映した計測となる。情動と関連する脳部位である扁桃体や海馬などは脳深部に位置しており、上記のような計測手法ではこれら部位の活動を抽出することは困難であることが示唆される。

そのような中、本論文の第4章、第5章では、MRI(magnetic resonance imaging)を用いて脳深部活動の脳血流変化に着目することで、情動を定量化することを目的に検討を行った。このような情動をターゲットとしたMRIの研究は広く行われている。たとえば、聴覚刺激の及ぼす情動の研究では、楽しい音楽ではneutral音楽よりも上側頭回を賦活させることや、海馬、海馬傍回は怖い音楽で賦活するとの報告がある。しかし、これら多くの文献は情動の種類と関係する脳部位の検討のみを行っており、個人の情動の種類と強度の双方に着目した研究は少ない。情動の強度と種類に着目した研究の例として、Trostらの音楽刺激の検討が挙げられるが、解析では31名以上の主観評価の平均と関連する脳部位を探索しており、個人の情動の違いまで考慮せずに脳部位の探索を行っている。今回は、個人の情動を定量的に評価することを目的とする以上、個人の情動の違いも反映した脳部位を探索することが必要であると考えている。さらに、刺激系が異なることによる関連脳部位の違いについても探索するため、本論文の第3章では視覚刺激、第4章では聴覚刺激を対象とした探索の結果について述べた。

また、上記取り組みにより、脳深部活動を用いた情動の種類、強度に関連する部位の抽出が実現したところで、脳深部活動の活動を抽出するためには、MRIやPET(Positron Emission Tomography)といった大型の機器が必要となるため、一般生活空間内で計測を行うことは困難である。そこで5章では、比較的小型であり、一般生活環境でも計測可能である多チャンネル脳波

計を用いて情動と関連する脳深部の活動を抽出することを目的に検討を行った。具体的には128chの多チャンネル脳波計であるGeodesic EEG System (Electrical Geodesics, Inc.)を用いて、刺激提示から時間的に出現する事象関連電位(ERP: event related potential)に着目し、逆問題を解くことで脳深部活動の抽出を検討した。このようなMRIと脳波を同時に計測する研究は2010年頃から実施されており、逆問題を解くことで脳活動を抽出するアルゴリズムの研究も広く行われている。例えばラプラシアンフィルタを用いたlow resolution brain electromagnetic tomography (LORETA)法や、推定電流源の分散による正規化を加えたsLORETA法、通信やアンテナの分野から研究されてきたBeam former法などが該当する。しかし、その多くが表層に近い脳部位である視覚野や紡錘状回の抽出を目的としており、情動に関連する脳深部をターゲットとした研究は少ない。また、これら研究の多くはMRIと脳波を別々の環境で計測しているため、同じ現象(脳活動)を対象にして分析を行っている保証がない。そこで、第5章では、MRIと脳波の同時計測を行い、脳波のみを用いて情動に関連する脳深部活動を特定することを目的に検討を行った。本取り組みにより、一般居住空間における情動定量化を展開することへの可能性を検討した。

上記の背景の元、本論文では、脳深部活動に着目した情動評価法の確立と脳波を用いた情動と関連する脳深部活動計測手法の確立の2点を目的とした。以下に各章の内容について示す。

第1章では本研究の背景・意義述べた。

第2章では、本研究に関する基礎知識として、心理評価手法、及び生理評価手法について記載した。前者は主にラッセルの円環モデルを用いた情動の評価法について説明し、後者はMRI、脳波計及びMRIと脳波計の同時計測について述べた。

第3章ではMRIを用いて視覚刺激の及ぼす情動の種類とその強度に関連する脳部位の探索を16名の被験者を対象に実施した。情動刺激画像IAPSを使用して、MRI内で想起された情動の種類及び強度に関連する部位の探索を行った。その結果、「快感」は側頭極上側頭回部(左)、「不快感」は扁桃体(右)、「覚醒感」は中部帯状回(左)、中心前回(左)の活動がそれぞれの情動強度と関連する部位である可能性を示すことができた。本脳部位は、情動に関連していることを示す先行知見はあるものの、情動を強く想起した際に活動量が増加することは示されていない。本研究結果により、これら脳部位が情動の種類だけでなく強度にまで関連している可能性があることを明らかにした。これらの脳領域の活動量に着目することで、視覚刺激の及ぼす情動の種類及び、その強度を予測することができる可能性を示すことができた。

第4章ではMRIを用いて聴覚刺激により想起された情動の種類及び強度に関連する脳部位の探索を行った。聴覚実験では、視覚刺激のように標準的な情動喚起刺激が無く、まずは情動刺激楽曲を26名の被験者を対象に主観評価実験を行うことで構築した。その後、抽出された楽曲を用いて第3章と同様に情動の種類及び強度と関連する脳部位を探索した。その結果、「楽しい」の評価値と関連する脳部位としては、角回(左)、鳥距溝(左)、尾状核(左)、小脳第IV/V半球小葉(左)、中部帯状回(左)、後部帯状回(左)、楔前部(左)、上側頭回(左)、上側頭回(左)、視床(左)が抽出された。「悲しい」の評価値と関連する脳部位としては、視床(左)が抽出された。「怖い」の評価値と関連する脳部位としては、扁桃体(右)、島皮質(右)、島皮質(右)、ローランド溝弁蓋(右)、下前頭葉三角部(左)、中前頭回(右)、下前頭葉三角部(右)、上前頭回眼窩内側部(右)、中前頭回(右)、島皮質(左)、舌状回(右)、海馬傍回(右)、楔前部(左)、直回(左)、ローランド溝弁蓋(右)、補足運動野(右)、上側頭回(左)、視床(左)、小脳虫部第IV/V小葉が抽出された。特に不快情動想起時の右側扁桃体は第3章の視覚刺激の実験でも抽出された部位であり、不快の強度と強く関連している可能性を示すことができた。また、他の情動については視覚実験と同一の結果を得ることができなかった。これは、刺激系が異なる場合、別の脳部位が関連している可能性がある点と、情動の想起した要因まで深く分類することが必要である点が要因であると考えられる。

第5章では、MRIと脳波の同時計測実験を行い、MRIで抽出された脳部位を脳波の情報のみを用いて抽出することを目的に検討を行った。まず、ERPの結果では、刺激提示後から約100ms、300msに出現することで知られる特徴的なピークであるN100、P300が確認された。また、後頭部中央に配置したPz電極において、P300の振幅はgrotesque画像が最も高かった。さらに、eroticとneutral、grotesqueとneutral、grotesqueとrelax間で有意差を確認することができた。特にP300の振幅は、覚醒感の高い刺激ほど大きくなることが報告されている。今回の振幅の結果ではgrotesque \approx erotic $>$ sad \approx relax \approx neutralであったことから、従来と同様の傾向が得られており、ERPが計測できていたことが示された。さらに、ERPを用いた電流源推定では、特に不快と関連する右側扁桃体は刺激提示後308-316msで抽出することができた。情動と関連するP300が刺激提示後300msec付近で出現するとの報告があることから、妥当な結果が得られたと考えられる。また、他のMRIで抽出された部位についても、高い時間分解能で活動が抽出できたことから、脳内の信号伝達経路まで可視化できる可能性が示された。しかし、一部の脳部位は抽出できなかった。頭蓋の個人差や電極位置の違いなど、解決すべき課題は多い。例えばT1画像を用いて個人ごとに頭部モデルを構築するなどを検討することで、さらに精度が向上できると考える。

以上の結果から、視覚刺激及び聴覚刺激の不快感の強度と右側扁桃体が関係しており本部位に着目することで、不快感を定量的に評価できる可能性を示唆することができた。さらに、P300付近の脳波に着目することで、不快情動想起に伴う右側扁桃体の活動を脳波から抽出できる可能性を示すことができた。