

# 論文の内容の要旨

氏名 丸山 貴司

近年、世界がグローバル化産業社会へ急速な変貌を遂げている中で、製品開発において、従来の3つの価値軸（価格、性能、信頼性）では海外製品との優位差がつけにくくなっている。グローバル化に埋没しない“ものづくり”を実現するためにも、新規付加価値を有する製品開発法が渴望されており、第4の価値軸として、“感性価値”が重要視されている。現在、ヒトの感性の計測する際には、開発者の経験則やSD法というアンケートを用いることが多いが、個人の主観が混入することや、製品使用中の評価ができないといったことが問題点として指摘されている。

“感性”へのアプローチは工学、認知学、脳科学といった様々な方面から取り組まれており、心拍、呼吸、発汗、皮膚温度といった主観が混入しない生体信号を解析することで感性を客観的に評価することが期待されている。中でも、ヒトの感情や感性は脳の活動と密接に関係していると考えられ、脳の状態を解析することで感性の定量化を試みる研究が取り組まれており、代表的な手法として、感性スペクトル解析手法（ESAM）と感性フラクタル解析手法（EFAM）が提案されている。両手法は、計測された脳波より特徴量を抽出した上で、感性の識別を行う。具体的には、あらかじめ取得した学習用データから感性マトリックスと呼ばれる識別器（線形識別器）を設定した後、未知の感性状態にある脳波の特徴量（評価用データ）を先に設定した識別器に入力することで感性識別を行う手法であり、特徴量として、ESAMでは帯域制限付きの電極間相互相関係数、EFAMでは電極間差分信号に対するフラクタル次元を用いることが提案されている。感性の推定精度としては、“喜怒哀楽”の4種の識別に関して、ESAMが50%程度、EFAMが80%程度であることが報告されているが、先行研究により、計測が困難な感性ワードや、学習用データの取得から数十分経過した評価用データの推定精度が低下することが報告されている。

そこで、本研究では、ヒト脳波のダイナミズムに基づく感性推定精度の向上を目的とし、大きく2方向からのアプローチを試みた。

まず、感性の推定に用いる特徴量の性質を調査した。具体的には、数種の感性ワードを複数回想起する実験を実施し、同一感性ワードを想起した際に、脳波のフラクタル次元、マルチフラクタル次元特性に再現性が現れるか調査した。その結果、同一感性ワードを想起した際の特徴量の再現性は、異なる感性ワードを想起した際よりも高く、その再現性は脳波の計測部位全体で得られるわけではなく、ある特定の部位で現れることが明らかとなった。また、再現性が得やすい部位は、感性ワードによって異なるという知見も得ることができた。これらの結果より、識別器作成の際に計測部位の選定を行うことで感性の推定精度を約10%向上させることに成功した。

次に、感性の推定に用いる最適な特徴量の探索を行った。具体的には、脳波の $\delta$ 、 $\theta$ 、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $\omega$ 、 $\rho$ 波帯の各周波数帯のパワースペクトル密度が、“安静”時と“感性想起”時

の脳活動状態が異なる状態で比較し、脳活動状態が変化した際に、有意に変動する周波数帯の調査を行った。その結果、各周波数帯の PSD が有意に変動する割合は、従来より事象関連同期、脱同期の対象とされてきた  $\alpha$  波や  $\beta$  波に比べ、 $\rho$  波帯の方が 15~23%程度高く、脳波の高周波帯成分がヒトの脳活動を反映している可能性が示唆された。実際の感性推定では、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\theta$  波帯の情報を用いて感性の識別を行う ESAM を、 $\gamma$ 、 $\omega$ 、 $\rho$  波帯に拡張した結果、高周波帯の情報を用いた ESAM の方が低周波帯を用いたものより、約 38.5%高い認識率となった。

また、本論文の要旨を以下に示す。本論文は 6 章から構成されており、第 1 章では、序論として本研究の歴史的背景と研究意義を述べる。また、本研究で対象とする脳波とフラクタルという概念について説明し、生体情報に対してフラクタル理論を用いる有用性を述べる。さらに、従来の感性解析における問題点を明確にし、本研究が解決すべき目的を設定した。

第 2 章では、脳波のマルチフラクタル次元を用いた感性解析を試み、従来手法である ESAM、EFAM との比較を行った。また、自己組織化マップを用いて異なる感性ワード間で特徴量に明確な差が存在することを視覚化した上で、学習データと評価データ間において特徴量の類似度を指標として感性推定を行った。第 2 章ではさらに、いくつかの感性ワードを複数回想起した際に、脳波の複雑性であるフラクタル次元に再現性が現れるか検証し、それらの知見を基に、EFAM に適用する計測部位を選定することで感性推定精度の向上を試みた。

第 3 章では、 $\delta \sim \rho$  波帯までを解析対象とし、ヒトの感性やイメージタスクに密接に関連する周波数帯域を調査した。さらに、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\theta$  波帯の情報を用いて感性の識別を行う ESAM を、 $\gamma$ 、 $\omega$ 、 $\rho$  波帯に拡張することで、高周波帯の情報を用いた ESAM の方が高い認識精度となったことを示した。

第 4 章では、ニューラルネットワーク、サポートベクタマシン、関連ベクトルマシンを用いて感性の推定を行い、既存技術との比較を行った。さらに、第 2 章にて感性の推定に用いる計測部位を選定することで高い精度での感性推定が可能であることが示唆され、ヒトの生体信号のトレンドが時間経過に伴い緩やかに推移している可能性が示唆されたため、計測部位を選定した後に感性の推定を行う場合と、学習、評価に用いるデータの直前の安静状態にあるデータを用いて規格化を施した場合についても比較を行った。また、第 3 章にて脳波の高周波帯が低周波帯よりもヒトの感性状態を反映している可能性が示唆されたため、感性の推定に用いる最適な特徴量の探索を行った。

第 5 章では、第 2~4 章までの知見を基に、ヒト脳波のダイナミズムに基づく高精度な感性計測システムの構築を試みた。

最後に、第 6 章で本論文の総括を行った。