

称号及び氏名	博士（工学）池田 和外
学位授与の日付	平成 17 年 3 月 31 日
論 文 名	「表情による基本感情の評価に関する研究」

論 文 要 旨

船舶を初めとする乗り物の設計、製造、運用において、乗客の快適性の評価は非常に重要であるにも拘わらず、極めて難しいということは良く知られている。また、乗り物に限らず、人工システムの設計から運用までの全般に亘って高度かつ複雑な機能を持つマン・マシン・インタフェースが搭載されていることが多いが、高度であり複雑であることが時としてヒューマン・エラーを引き起こし、重大事故に繋がることは最近の多くの事例が示すところである。その理由の一つは、これらの高度な人工システムおよび搭載されているマン・マシン・インタフェースの設計において、操作する人間と機械の関係だけでなく、人間そのものまでもブラックボックスとして扱うことにあると考えるのは自然であろう。乗り物酔い発症やヒューマン・エラー発生のメカニズムが満足できるまでに解明されていない現状では致し方ないところかも知れないが、大量の人や貨物を運ぶ輸送機械の事故の多くは、人命は言うに及ばず、物的損害や周辺環境に与える影響も大きいことに十分な配慮がなされるべきであると考えられる。

日常的あるいは非日常的な外的刺激、内的・外的ストレスに曝された状態における人体の反応を計測することは、技術的な困難さだけでなく、対象が人間であるために避けることのできない個人差や場合差による曖昧さに由来するところが多い。特に、心理的反応を客観的に計測することは極めて困難とされてきた。

従来の研究では、船舶の乗り心地は、動揺や船室環境に対する乗客の主観的な評価としてアンケート調査によって求められたり、あるいは全乗客のうち嘔吐した人の割合（これを嘔吐率という）を評価指標とするのが一般的であった。そして、これらデータの蓄積によって、周波数荷重関数を用いた船体運動の評価手法が国際規格等で提案され、現在、船舶の初期設計段階においても検討・考慮されるようになってきた。ところが、この手法で最小化すべき目的関数としての嘔吐率の0%とは、嘔吐に至った乗客がいなかったということに過ぎず、必ずしも快適であったことを示す指標とはなり得ないことから、より正確な客観的評価指標の確立が望まれるようになっている。

そこで、筆者等は、定量性・客観性・再現性のある実験・計測を実現するために船体動揺模擬装置（乗り心地シミュレータ）を製作し、低周波動揺環境における人体の生理的・心理的反応の計測・解析を行ってきた。生理計測の項目は、脳波、心電図、胃電図、発汗、呼吸、顔面温度分布など多岐に亘っているが、その中でも特に顔の表情に注目して解析、評価を試みている。表情は、市販のビデオカメラ等を用いて簡便に記録でき、しかも非接触の計測のため心理的威圧感も少なく、生理的にはもちろん心理的な意味でも非侵襲的な計測ができる唯一のものと考えられるからである。表情筋は顔面神経の支配を受け、意図的な制御が可能であるため、「偽りの表情」を取り除くことができれば、表情は外的刺激に対する生理的・心理的反応を正しく理解するための有効な指標になり得ると考えられる。動揺暴露実験において実際に乗り物酔いを発症した被験者のビデオ映像と愁訴による心理状態を解析した結果、表情と酔いの程度を関連づけることが可能であることが示されているが、この研究では、眉や眼・口の形状や変化は個々の傾きや開き幅等の特徴的な距離で表現されているにとどまり、必ずしも形状の特徴を正しく捉えているとは言えなかった。客観的な指標を用いて表情から乗り心地や乗り物酔いの発症を推定、評価するための手法を確立することが本研究の最終目標となる。

本論文の目的は、表情を客観的、定量的に記述する手法を確立し、表情と心

理状態を関連づけるための表情評価モデルを提案することである。眼や口の輪郭形状にフーリエ記述子法を適用し、これら表情要素の形状およびその変化を定量的に表現できることを示すとともに、心理学分野における六つの基本感情を意図的に表出したときの表情から基本感情を判別するための表情判別モデルを構築した。さらに、第三者による表情から基本感情の推定、評価をするための表情評価モデルを構築し、その妥当性、有効性について詳細な検討を行った。

本論文は、表情から基本感情を推定・評価するための解析手法、評価手法の確立について論じたものである。以下にその要旨を述べる。

第 1 章では、表情を心理状態の客観的な生理指標として定量的に解析、評価することの意義、表情解析に関する研究の歴史的背景を述べるとともに、本論文の目的および概要について述べた。

第 2 章では、表情の定量化において重要な概念となる図形の特徴表現について述べた。多くの研究者によって提案された種々の方法について詳細な検討を行った結果、2次元閉曲線として表現が可能な眼、口等の表情要素の特徴表現には、Zahn と Roskies によって提案された Z 型フーリエ記述子が最も適切であると判断した。また、フーリエ記述子が持つ性質について調べ、本手法を表情の特徴表現に適用することが可能であることを明らかにした。

第 3 章では、心理学分野における基本感情に関する研究成果について述べるとともに、表情表出実験の方法および表情画像の解析手順について述べた。フーリエ記述子法を表情要素の輪郭形状に適用して、眼および口の特徴表現を試みた。そして、眼、口等の 2次元閉曲線で表現できる表情要素は、フーリエ記述子によって定量的に表現できることを示した。さらに、基本感情表出時の眼・口の特徴は、多くの被験者のフーリエ記述子の平均値として表現でき、フーリエ記述子の平均値から復元された眼や口の特徴は心理学分野での研究成果とよく一致することを明らかにした。また、六つの基本感情ごとにフーリエ記述子の特徴が異なるので、眼や口の形状の差異はフーリエ記述子によって定量的に表現することが可能であることを示した。

第 4 章では、統計解析手法のひとつである判別分析を用いて表情と心理状態

との関連づけを試みた。六つの基本感情を表出したときの表情を解析し、表情からその基本感情を判別するモデルを構築して、線形判別式によって表情と心理状態を関連づけた。また、眼や口単独でも、これらの形状から基本感情を推定することが可能であることを示すとともに、眼と口を組み合わせることによって判別率が向上することを明らかにした。

さらに、重回帰分析を適用することによって、各表情要素の感情表現における寄与の度合いを考慮することのできる表情判別モデルを構築し、基本感情の表出における右眼、左眼、口の寄与度（重要度）を明らかにした。そして、このモデルによる評価結果は高い重相関率を示すことから、提案した表情判別モデルが妥当なものであることを明らかにした。また、モデルの作成に用いた表情データとは異なる表情データを用いて表情判別モデルによる評価を行い、モデルの有効性を確認した。

第 5 章では、本研究の最終目標となる表情による乗り心地、乗り物酔い発症の評価に向けて、表情評価モデルの構築を試みた。まず、乗り物酔い発症時に特徴的に見られるうつろな表情に着目して解析を行い、うつろな表情には表情要素のすべてにうつろである手掛かりが現される必要のあること、および眼と口の組み合わせでうつろの状態を表現しうるということを明らかにした。さらに、ファジィ測度論を導入したモデルを構築して眉・眼・口の評価における重視度を求めた結果、うつろな表情の評価においては、眉・眼・口の重視度の加法性がほぼ成立していることを明らかにした。

また、基本感情を表出した表情を第三者が見て感情を推定・評価するための表情評価モデルの構築を試みた。モデルの作成に用いた表情データとは異なる表情データを用いて表情評価モデルによる評価を行った結果、人間の評価と表情評価モデルによる評価結果は比較的良く一致しており、提案した表情評価モデルの妥当性・有効性を確認することができた。

第 6 章では、結論として各章で得られた成果を総括した。

以上のように本論文では、これまで量的な表現が困難であった表情の解析にフーリエ記述子法を適用することによって形状の特徴表現を行い、基本感情を

表出した表情からその感情を推定・評価するための表情判別モデルを提案した。さらに、第三者がその表情をどのように評価するかを考慮した表情評価モデルの構築を行い、表情評価実験を通してその妥当性・有効性を明確に示した。

本論文で提案した手法は、乗り心地や乗り物酔いの発症の評価という工学的な問題解決にとどまらず、表情の認知などの心理学分野への応用も可能であり、ヒューマン・ファクター研究の進展に貢献できると考える。

本論文の基礎となる発表論文

No	論文題目	著者名	発表誌名	本論文との対応
1	船体形状の記述と特徴抽出	細田龍介, 山田智貴, 池田和外	日本造船学会論文集, 第 169 号, pp.487-495 (1991)	第 2 章
2	フーリエ記述子による表情の特徴表現	池田和外, 有馬正和, 細田龍介	平成 15 年度日本人間工学会関西支部大会講演論文集, pp.38-41 (2003)	第 3 章
3	表情による快適性の評価に関する研究 (第 1 報) —フーリエ記述子を用いた表情の特徴抽出—	池田和外, 有馬正和, 細田龍介	関西造船協会論文集, 第 241 号, pp.253-259 (2004)	第 3 章
4	表情による快適性の評価に関する研究 (第 2 報) —表情と心理状態の関連—	池田和外, 有馬正和, 細田龍介	関西造船協会論文集, 第 242 号, pp.155-160 (2004)	第 3 章 第 4 章
5	Analyses of Facial expressions for the evaluation of seasickness	M. Arima , K. Ikeda , R. Hosoda	Proceeding of OCEANS'04 (MTS/IEEE) /Techno-Ocean'04 Conference, pp.1129-1132 (2004)	第 3 章 第 4 章
6	フーリエ記述子による表情の特徴表現 (第 2 報)	池田和外, 有馬正和, 細田龍介	平成 16 年度日本人間工学会関西支部大会講演論文集, pp. 214-217 (2004)	第 3 章 第 4 章

7	表情による快適性の評価に関する研究（第4報）－表情の特徴抽出による基本感情の評価－	池田和外， 有馬正和， 細田龍介	関西造船協会論文集， 第243号，印刷中 (2005)	第4章
8	表情による快適性の評価に関する研究（第3報）－乗り物酔い発症時の表情の特徴抽出－	有馬正和， 太田直幸， 池田和外， 細田龍介	関西造船協会論文集， 第242号， pp.161-166 (2004)	第5章