

## 学位論文及び審査結果の要旨

横浜国立大学

氏名	かのう よしひさ 狩野 倣久
学位の種類	博士(情報学)
学位記番号	環情博甲第520号
学位授与年月日	令和4年3月24日
学位授与の根拠	学位規則(昭和28年4月1日文部省令第9号)第4条第1項及び 横浜国立大学学位規則第5条第1項
学府・専攻名	環境情報学府 情報環境専攻
学位論文題目	機械学習における表情の連続性考慮と表情特徴獲得に関する研究 A Study on Handling Facial Expression Continuity and Acquiring Facial Expression Features in Machine Learning
論文審査委員	主査 横浜国立大学 教授 長尾 智晴 横浜国立大学 教授 四方 順司 横浜国立大学 教授 森 辰則 横浜国立大学 教授 富井 尚志 横浜国立大学 准教授 白川 真一

## 論文及び審査結果の要旨

近年の計算機が目覚ましい発展によって計算機の処理速度・計算可能量は飛躍的に増加している。それに伴い、今まで計算量がボトルネックとなっていた機械学習、特に深層学習に関連する研究は様々な分野で活発に行われ、多くのタスクに対して良好な結果を示している。特に画像処理の分野では、Convolutional Neural Network (CNN) の登場によって画像の分類や認識、生成を以前より格段に高精度に実行することが可能となった。その中でも、表情を扱う領域は実社会への応用を期待されている分野の一つである。表情認識においては、データセット作成のコストの側面から、静止顔画像に対して“怒り”、“喜び”といった感情と紐づいた one-hot (出力が1または0の離散値) のラベルを利用して正解づけ(アノテーション)を実施し、学習に利用することが多い。しかし、そのような静止画像を入力として学習を行った場合は、表情の時間的な変化に伴う連続性を考慮することができない。また、one-hot なラベルがつけられたデータによってモデルを学習した場合は、モデルは表情を離散的なクラスとみなし、クラスごとの特徴量の分離・離散化を目指す方向に学習が行われる。しかし、表情は連続的に変化する対象であることから、このような離散的な扱いは避けることが望ましい。そこで、本論文では機械学習において表情の連続性を考慮する手法を提案し、その有効性を実験的に確認している。

本論文は、序論(第1章)と結論(第6章)を含めて6章から構成されている。

第2章「本研究に関する研究」では、本研究に関連する研究として、基本6感情の考え方について述べた後、VAD emotional state model, Facial Action Coding System (FACS)、Attention 機構、Variational Autoencoder などの深層学習ベースの既存手法の概要について述べて、それらの問題点と、本研究の意義を明らかにしている。

第3章「静止画像を対象とした表情認識モデルの動画像への効果的な適用手法の提案」では、静止画像を対象とした表情認識モデルに対して時間方向の表情の連続性を考慮する機構を導入し、動画像の認識を効果的に行うための手法を提案している。静止画像を対象としたモデルをそのまま動画像に適用すると、隣接したフレーム間の微妙な表情変化であっても認識結果が大きく変動してしまう問題が生じることについて述べている。これに対して提案手法では、Attention 機構を有した追加ネットワークをモデルに導入し、時間方向の特徴量に対して重みづけを行うことで、表情の時間方向の連続性を捉え、そのような認識結果の変動

を抑制できると述べている。実験では、動画像に対して表情認識を行い、動画像に対する提案手法の有効性を定量的に確認している。

続いて、第4章「表情ラベルを利用しない連続的な表情特徴の獲得」では、1枚の画像から表情の連続性を保った表情特徴を抽出する手法を提案している。前述のように、機械学習を用いて表情認識を行なう場合、表情に対してアノテーションが行われることから表情が離散的に扱われてしまう課題が多い。これに対して提案手法では、表情に対するアノテーションを実施せずに、被験者情報（被験者ID）を利用した2段階の学習によって、被験者特徴と表情特徴を分離した状態で潜在変数を獲得することによって、表情本来の連続性を維持した表情特徴の獲得を可能にしたと述べている。実験では、潜在空間の可視化を行なって分析するとともに、画像生成、表情認識によって獲得された特徴の評価を行なって提案手法の有効性を確認している。

第5章「詳細な特徴を捉えた連続的な表情特徴の獲得」では、第4章で提案した手法を改良し、1枚の画像から、しわなどのより詳細な表情の要素を捉えた表情特徴を抽出する手法の提案を行なっている。第4章の手法では生成画像がややぼやけて不鮮明であったことから、細かな表情の特徴を抽出できていない可能性が示唆されていたため、ここでは、2種類の損失関数の導入と学習方法の改良を行うことで、より細かな表情の特徴の抽出を行う手法を提案したと述べている。実験では、画像生成、表情認識のタスクを実施し、従来手法との比較を行ない、提案手法によって効果的な表情特徴が獲得されていることを示している。

第6章「結論」では本研究の成果を総括している。

以上のように、本論文では、昨今益々重要になってきている機械学習による人の表情認識を行う際に必要となる顔の連続的な特徴量を取得し、表情の認識や生成を従来より高精度化する学習方法を提案し、実験を通してその有効性を示したものであり、学術的新規性が高く、かつ人とロボット・機械が共生する領域へのAI技術の適用など、産業応用の可能性が高い研究であると言える。本論文の成果は、査読付き論文誌の正論文1編、フルペーパー査読付き国際会議1編、並びに2件の口頭発表、文部科学省COI-Sプロジェクト研究（「精神的価値が成長する感性イノベーション拠点」）における生理学研究所との共同研究活動などを通して公表され、いずれも高く評価されている。

以上から、本論文は博士（情報学）の学位論文として十分な価値を有すると審査員全員一致して認め、令和4年1月31日(月)10時30分から12時00分まで、オンライン(Teams)にて博士論文公聴会を開催した。博士論文公聴会では充実した質疑応答がなされた。

その後、同日12時00分から、引き続き審査委員全員出席のもと、狩野悌久氏の学力の確認を行った。始めに、同氏より同氏の博士論文「機械学習における表情の連続性考慮と表情特徴獲得に関する研究（A Study on Handling Facial Expression Continuity and Acquiring Facial Expression Features in Machine Learning）」の概要と、博士論文に関連する学術論文の公表状況、大学院講義の単位取得状況などについて説明があった。これに引き続き質疑応答を行った。審査員からは博士論文に関する質問、一般専門知識に関する質問などがあり、学力及び博士号取得資格の確認を行なった。発表論文については、学術論文（正論文）1編、正論文相当のフルペーパー査読国際会議論文1編が採録・公表されていることから、博士号取得の資格を満たしていることを確認した。外国語については、本人が国際会議において英語で発表していることから学力を確認した。また、課程博士修了のための単位を取得していることを確認した。

以上により、同君は学力の確認に合格であると、審査委員全員一致で判定した。

以上の論文審査委員会の結論に基づき、令和4年2月10日(木)に開催された環境情報学府 情報環境専攻会議にて審議し、全員一致で本論文を博士（情報学）の学位論文としての価値があるものとして環境情報学府教授会に付議することを決定した。その後、環境情報学府学務委員会での確認を経て、令和4年3月7日(月)に開催された環境情報学府教授会において審議を行い、無記名投票により、狩野悌久氏に博士（情報学）の学位を授与することを決定した。

注 論文及び審査結果の要旨欄に不足が生じる場合には、同欄の様式に準じ裏面又は別紙によること。