

学位論文及び審査結果の要旨

横浜国立大学

氏名	小林 達明
学位の種類	博士（情報学）
学位記番号	環情博甲第537号
学位授与年月日	令和5年3月23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	機械学習に基づく医用画像からの生物学的特徴の抽出における説明可能性に関する研究 A Study on Explainability in Extracting Biological Features from Medical Images Based on 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 森 辰則 横浜国立大学 教授 富井 尚志 横浜国立大学 准教授 白崎 実 横浜国立大学 准教授 白川 真一

論文及び審査結果の要旨

機械学習の応用分野として医学・生物学が注目されており、特に医用画像認識の分野で既に優れた成果が出始めている。医用画像から多数の特徴を抽出して、画像中の肉眼では見えづらい腫瘍領域を抽出する処理は **Radiomics** と呼ばれており、最近、特に注目されている。**Radiomics** では画像中の特徴が重要になるが、医用画像は画像の中でも特殊な画像であり、深層学習によって高い認識精度を達成することができている犬や猫や自動車などの一般的な物体を撮影した画像とはかなり異なる特徴が必要となる。本論文は、**Radiomics** における重要な特徴について考察して特徴計算ライブラリを作るとともに、脳腫瘍画像およびマンモグラフィ画像を対象とした医用画像認識について検討することによって、従来からの画像特徴量の分かり易さと深層学習に対する根拠説明を併用する説明可能性を検討したものであり、序論（第1章）と結論（第7章）を含めて7章から構成されている。

第2章「本研究に関する研究」では、本研究に関連する従来研究について述べている。まず本研究での対象とする領域である医用画像を用いたコンピュータ支援診断（CAD）、**Radiomics**、PACSの機能として稼働する医用AI、保健医療分野AIの作業について触れた後で、画像分類を対象とした機械学習アプローチについて、データの前処理、特徴抽出、深層学習などの具体的な機械学習モデルの原理と特徴について述べている。

第3章「**Radiomics** 特徴計算ライブラリ：**RadiomicsJ**」では、自ら構築した医用画像のための **Radiomics** 特徴計算ライブラリである **RadiomicsJ** の特徴とその開発について述べた後、グレード2,3脳腫瘍MRI画像を用いた腫瘍染色体変異推定実験への応用結果を示し、開発したライブラリの有効性を示している。

第4章「脳腫瘍染色体異常を対象とした分類精度および説明可能性の向上のための進化計算による特徴選択」では、進化計算法を用いて特徴選択を行なう方法を提案している。進化計算法の一つの遺伝的アルゴリズムにおいて、選択される個体の個数から重要度を求める実験を、グレード2,3脳腫瘍1p/19q共欠失分類を対象として行なって、その有効性を実験的に明らかにしている。脳腫瘍画像を対象として、分類精度を高め、説明可能性を向上させる

ための特徴選択について述べ、実験結果からその有効性を検証している。

第5章「EfficientNetを用いたマンモグラフィ上乳腺石灰化有無分類における Grad-CAM による説明可能性の検討」では、既に提案されている画像分類のための深層回路である EfficientNet を用いた医用画像解析に、こちらも既に提案されている画像の判断根拠領域の呈示手法である Grad-CAM を組み合わせることで、マンモグラフィにおける異常部分の検出の信頼性を高めることができることを示すことによって、医用画像認識における判断根拠領域の呈示が自動診断支援においてきわめて重要であることを示している。

第6章「GCMを用いたマンモグラフィ上乳腺石灰化有無分類における説明可能性の検討」では、筆者が所属する研究室で開発された GCM (Generative Contribution Mappings) と呼ばれる根拠領域抽出処理を、第5章でも用いたマンモグラフィ画像に適用している。実験から、GCM の可視化マップが視覚的な解釈を支援することができる可能性を示すことができたと述べている。

第7章「結論」では、本研究の成果を総括している。

以上のように、本論文は、昨今ますます重要度を増している医用画像処理における患部領域の抽出処理を、従来のように単に深層学習を用いることで高精度に行うだけでなく、機械学習において異常と判断した際の判断根拠領域を示す技術を用いることで、その説明性・信頼性を高めることが出来る可能性があることを示したものである。本研究の成果は、査読付き論文誌の正論文2編、国際会議での口頭発表、国際的な展示会での発表などを通して公表されている。本論文は、複数の種類の医用画像に対して提案した手法を適用するとともに、実際の医師とともに進められ、医師・医学関係者から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5年1月18日(水)、環境情報1号棟515室において、13時00分から14時30分まで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14時30分から、同室において、審査委員全員出席のもと、小林達明氏の学力の確認を行なった。

始めに、同氏より同氏の博士論文「機械学習に基づく医用画像からの生物学的特徴の抽出における説明可能性に関する研究 (A Study on Explainability in Extracting Biological Features from Medical Images Based on 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)2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、査読付き学会正論文2編が英語で書かれていること、本人が複数の国際会議において英語で口頭発表を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、同氏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5年2月9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5年3月13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、小林達明氏に博士(情報学)の学位を授与することを決定した。