



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Deep Learning Classification and Grad-CAM-based Visualization for Osteoporotic Lumbar Vertebral Fractures on Radiographs [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	小野, 陽平
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(保健科学)
Dissertation Number	甲第15820号
Issue Date	2024-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/91867
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Yohei_Ono_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称：博士（保健科学）

氏名：小野 陽平

審査委員	主査	教授	石津	明洋
	副査	教授	横澤	宏一
	副査	教授	遠山	晴一

学位論文題名

Deep Learning Classification and Grad-CAM-based Visualization for
Osteoporotic Lumbar Vertebral Fractures on Radiographs

(単純 X 線写真における骨粗鬆性腰椎椎体骨折の深層学習分類と Grad-CAM に基づく分類根拠に関する検討)

当審査は 2024 年 1 月 24 日実施の公開発表にて行われた。（出席者 17 名）

近年本邦では高齢化が急速に進み、それに伴い骨粗鬆症患者の増加が大きな問題となっている。骨粗鬆性腰椎椎体骨折（Osteoporotic lumbar vertebral fracture: OLVF）は骨粗鬆症の最も一般的な合併症の 1 つであり、これが進行すると患者の Activities of daily living (ADL) や Quality of life (QOL) を著しく低下させることから、OLVF 患者、特に高齢者の健康管理において深刻な問題となっている。OLVF の進行を未然に防ぎ患者の ADL や QOL を維持するためには新鮮な OLVF の早期診断と治療開始が重要である。現状、新鮮 OLVF の確定診断は Magnetic resonance imaging (MRI) で行うことが主流である。高精度に新鮮 OLVF を検出可能という大きな利点がある一方で、長時間体勢の維持を強いるため患者にとって負担が大きいことや、臨床現場におけるリソースや時間の制約が課題となっている。OLVF 診断では単純 X 線写真が画像検査の第一選択であるため、単純 X 線写真によるスクリーニング精度の向上は、MRI 実施の判断を最適化することに繋がると考えられる。本研究では、OLVF スクリーニング精度向上を目的に、単純 X 線写真と深層学習を組み合わせた評価手法の開発を試みた。具体的には、Convolutional neural network (CNN) や Gradient-weighted Class Activation Mapping (Grad-CAM) を活用し、CNN による OLVF の有無及び新旧の自動判定と、CNN が分類の根拠とした重要箇所の評価を行った。

本研究の対象は、腰椎単純 X 線写真と腰椎 MRI を撮影した OLVF 患者 523 例（施設 1）と 140 例（施設 2）である。CNN の Training, Validation, Test 用に施設 1 から計 3481 枚、External validation 用に施設 2 から計 662 枚の椎体画像を作成した。各骨折状態の Ground Truth（正常、陳旧性もしくは新鮮 OLVF）は放射線科医 2 名による MRI 画像の視覚評価により確定した。You only look once (YOLO) を用いた椎体自動検出では、各椎体を個別に認識するように学習を行った。Resnet-50, DenseNet-161, ResNeXt-50 の 3 つの CNN から出力される各骨折状態の予測確率を合計し、最大のクラスを最終的な分類結果とした。また、Grad-CAM 画像を定量的に評価し、今回作成した CNN による画像分類における関心領域につき解析した。

放射線科医 2 名による視覚的評価の観察者間一致値は 0.801 であった。評価者 1 と 2 の観察者内一致値はそれぞれ 0.821 と 0.861 であった。YOLO の検出性能は mAP (0.5) 0.982 と高精度であ

った。正診率、感度、特異度、ROC 曲線下面積はそれぞれ、Test では 0.894, 0.836, 0.920, 0.912, External validation では 0.867, 0.674, 0.866, 0.855 であった。Grad-CAM 画像は、画像中央付近の画素値が高値であった。CNN による分類は、背景領域ではなく椎体の特徴に基づいて行われたと考えられる。また、正常椎体、陳旧性及び新鮮 OLVF の各群において、CNN が注目する領域に有意な違いが見られた。

今回開発した評価手法は、OLVF の有無及び新旧の判定において高い分類性能、汎化性能を示した。CNN による客観的な分類結果を活用することで、単純 X 線写真による新鮮 OLVF スクリーニングの精度向上が期待される。これにより、新鮮 OLVF の見逃しを防止するとともに MRI による精査の適応をより適切に判断できる可能性がある。また、Grad-CAM 画像の定量的評価により、本研究で作成した CNN の関心領域を特定することができ、それは主に椎体前壁と終板であると考えられた。今後、さらに詳細な Grad-CAM 解析を行うことで、臨床において人の目により行う OLVF 評価への新たな知見が得られる可能性がある。更なる高齢化、長寿命化に伴い骨粗鬆症患者数も増加し続けると考えられる中、本研究の成果は将来的にさらなる意義を持つと考える。

これを要するに、著者は、OLVF の画像診断において単純 X 線写真と深層学習を組み合わせることにより単純 X 線写真による OLVF スクリーニング精度を向上させるとの新知見を得たものであり、高齢社会において増加する骨粗鬆症患者の ADL ならびに QOL 改善へ貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士（保健科学）の学位を授与される資格あるものと認める。