HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	2.5次元超解像畳み込みニューラルネットワークを用いた18F-FDG PET画像画質改善手法の開発
Author(s)	遠藤, 大輝
Description	配架番号：2978
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(医学)
Dissertation Number	甲第16885号
Issue Date	2026-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k16885
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/99730
Type	doctoral thesis
File Information	ENDO_Hiroki_review.pdf, 審査の要旨 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　　博士（医　学）　　氏 名　遠藤　大輝

主査　教授　　園下　将大
審査担当者　副査　准教授　加藤　徳雄
副査　教授　　近藤　亨

学 位 論 文 題 名

2.5 次元超解像畳み込みニューラルネットワークを用いた ^{18}F-FDG PET 画像画質改善手法の開発
(Development and validation of a 2.5D super-resolution convolutional neural network for ^{18}F-FDG-PET images)

陽電子放出断層撮影（Positron emission tomography：PET）は、がんや神経疾患、心疾患などにおける代謝機能の評価に広く用いられている。特に[^{18}F]-fluorodexoyglucose（FDG）PET は、糖代謝を画像化し、腫瘍検出や治療効果判定において臨床的に重要な役割を果たしているが、CT や MRI に対し空間分解能が低い。本研究はこの課題の解決に向け、AI 技術による全身 PET 画像に適用可能な画質改善手法を開発し、2.5 次元（D）学習および画素値を対数変換する前処理が画質改善に有用であることを示したものである。

審査にあたり、まず副査の加藤徳雄准教授から臨床での実用性について質問があり、申請者は、現在は Philips の Vereos という単一装置での検証に留まっており、今後、他装置への汎化性検証や医師による大規模な診断能評価が必要であるため、実用化に向けて多くの検証が必要であると回答した。また、SRGAN や Vision Transformer といった大規模な最新モデルの採用可能性についても質問があり、申請者は、GAN は視覚的な再現性に優れる反面、PET 画像による診断で極めて重要な画素値の定量性に懸念があること、Transformer は医療画像の処理において優れた性能を期待できる一方で計算コストや必要データ量の観点から現状のハードウェア環境では困難であり今回は採用を見送ったが、来年以降はより高性能な PC 等の装置を用意して取り組んでいく予定であると述べ、本研究では定量性と計算効率に優れた SRCNN を採用したと回答した。さらに加藤准教授からは、評価指標である PSNR 等の微小な数値差が持つ実質的な意味について質問があり、申請者は、本研究で提案した 2.5 次元学習や対数変換といった個別の手法による改善が数値上はわずかな差であっても、これらにモデルの選択や教師データの増加を含む多くの改善を積み重ねることで、最終的に大きな精度向上が期待できると回答した。

続いて副査の近藤亨教授から、CT や MRI と比較した PET の空間分解能の低さと高解像

度化の意義について質問があり、申請者は、PET の主たる役割は解剖学的な構造把握ではなく特に FDG-PET においては糖代謝機能の可視化にあるとした上で、高解像度化の目的は単なる視覚的な改善ではなく、部分容積効果による SUV 値の過小評価を改善し正確な定量評価や治療効果判定を可能にすることであると回答した。さらに、病変境界を明瞭化による腫瘍進展範囲の把握が、放射線治療の照射野設定の最適化など、より正確な治療や適切な治療方針の決定に寄与すると回答した。また、2.5 次元学習における SN 比への影響についても質問があり、申請者は、本手法が複数スライスを入力して単一スライスを出力する構造上、隣接スライスの影響により注目スライスの情報が希釈され、画像が平滑化するリスクを内包していることを認めた。その上で、超解像モデルにおいては、入出力画像間の相関が高いため AI による注目スライスと出力スライスの関連付けが容易であり、実質的な画質のボケは見られなかったが、10%収集画像を用いた低カウント画像の画質改善においては、強固なノイズ除去効果に伴い過度なスムージングが生じる懸念があると述べた。そのため、重要な病変の集積が過小評価されていないかを確認すべく、今後は医師による主観的評価を通じて臨床的な妥当性を重点的に検証する方針であると回答した。

最後に主査の園下将大教授から、臓器ごとの性能のばらつきについて質問があり、申請者は、本モデルは全身のスクリーニング検査を想定した汎用的な開発を行っており、特定の臓器に特化した評価は今後の課題であるが、先行研究が少ない全身走査におけるベースラインを確立したことを回答した。また、90 例という症例数の根拠について質問があり、申請者は、病院内の装置が撤去され物理的にデータ追加が困難になった背景を説明しつつ、50 例の予備検証で統計的有意差を確認した後に、利用可能な 90 例までデータを拡張して性能向上を確認した過程を回答した。続いて、Bland-Altman プロットにおける外れ値の発生要因について質問があり、申請者は、ノイズが多い画像端部や情報量が少ないスライス、あるいは特異な高値を持つ膀胱近傍のスライスにおいて、画像全体の最適化を優先する深層学習モデルの特性上、局所的な誤差が生じたものであると回答した。

全ての質問に対して申請者は適切に回答したほか、成果の意義や今後解明すべき点を明確に理解し、次段階の研究指針や応用の方向性も把握していた。

審査員一同はこれらの成果を高く評価し、大学院課程における研鑽や取得単位なども併せて、申請者が博士（医学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。