

令和 6 年 6 月 4 日現在

機関番号：51303

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K08012

研究課題名（和文）Toward New-Generation AI-Based CAD System: Development of Interpretable Deep Learning-Based CAD System for Breast Cancer Diagnosis Using Mammogram

研究課題名（英文）Toward New-Generation AI-Based CAD System: Development of Interpretable Deep Learning-Based CAD System for Breast Cancer Diagnosis Using Mammogram

研究代表者

張 曉勇 (Zhang, Xiaoyong)

仙台高等専門学校・総合工学科・准教授

研究者番号：90722752

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、乳房X線画像における説明可能なAIを基づいて乳がんの診断支援システムの開発を目的とする。特に、臨床医がAIモデルの診断根拠を理解するため、医用画像を読む際のAIモデルの数理メカニズムを調査した。AIシステムを訓練するために、30,000症例のデジタルマンモグラムデータセットが収集した。マンモグラム分類およびマンモグラム内の腫瘍検出のために、ディープラーニング（DL）ベースの方法が開発した。また、可視化技術が利用し、診断結果の視覚的説明を生成した。さらに、訓練データに関連するドメインシフトの問題も本研究で調査した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、AIのブラックボックス性を解消するため、AI内部の可視化などの技術を用いて、説明可能なAI診断システムの開発を目的とする。説明可能なAI診断システムの開発は臨床面でも非常に重要な意義をもつ。本研究では、画像解剖学的知見に基づく解析により、診断根拠の解釈を可能とすることで、正確な診断だけでなく信頼性の高い医療AIシステムの実用が可能であることを実証した。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to develop an explainable AI-based mammographic computer-aided diagnosis (CAD) system for breast cancer detection. We mainly focus on investigating the insight mechanism of AI models in reading a medical image and use it to help clinicians to understand the decision-making of AI models. A digital mammogram dataset consisting of 30,000 cases with train labels were collected for training AI system. Several deep learning (DL)-based methods were developed for mammogram classification and mass detection in mammograms. Visualization techniques were utilized to generate visual explanations of diagnosis results. In addition, a domain shift issue related to train data was also investigated in this study.

研究分野：医用画像処理

キーワード：マンモグラフィー 計算機支援診断 深層学習 説明可能なAI 乳がん

1. 研究開始当初の背景

近年深層学習技術の発展と実用化に伴い、人工知能 (artificial intelligence: AI) の医療応用に関する研究も国内外で急速にその数を増やしている。深層学習は、医師経験則等に基づく特徴量の手動設計を要する従来の機械学習手法を超えるものとして、訓練データに隠れる様々な特徴量を自動的に抽出する手法であり、医療 AI の臨床応用に向けて期待が高まっている。しかし、深層学習を臨床現場で使用するには、大きく 2 つの課題が残されており、実際、臨床では研究段階での高性能が発揮されない報告も多い。1 つ目の課題は、質が担保された大量の訓練データの確保である。また 2 つ目は、現在主流の AI の判断過程はいわゆるブラックボックスであり、たとえば画像診断においては、その根拠を医師や患者に提供困難であることが挙げられる。

2. 研究の目的

本研究では、小規模な訓練データでも高性能な医療画像診断を達成するために、転移学習、訓練データの拡張などの効果的学習法や、高い汎化能力のモデルを用いたシステムの開発を行う。また、AI のブラックボックス性を解消するため、AI 内部の可視化などの技術を用いて、説明可能な AI 診断システムの開発を目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、現在の医療画像診断 AI システムが抱える少量学習データでの効果的学習の困難性と診断根拠の説明困難性という二つの課題解決に挑戦した。

少量学習データの課題に関しては、最先端の深層学習モデルを採用し、転移学習や学習データ拡張などの複数手法を組み合わせた新しい効果的学習法を開発した。また、胃 X 線画像のピロリ感染鑑別や、死後 CT 画像の法医鑑別などに適用し、提案手法の性能を臨床的な立場からも評価・検証した。

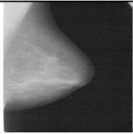
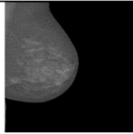
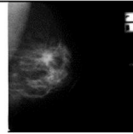
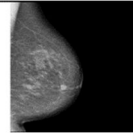
次に、説明可能な AI に関しては、深層学習モデルの可視化技術である gradient weighted Class Activation Mapping (Grad-CAM) と deep SHapley Additive exPlanations (SHAP) を応用した、医療画像の診断根拠の調査と分析を試みた。

4. 研究成果

これまでの研究成果を以下にまとめる。

- (1) 転移学習と学習データ拡張などの技術を用いて、少量学習データでの効果的学習法を提案した。提案した深層学習モデルを 4 つのデータセット (表 1) に適用し、乳がんの識別と検出の性能を検証した。図 1 に示すように、悪性腫瘍検出においては、提案手法は先行研究より高い検出性能が得られた。

表 1 乳がんの識別と検出の性能評価用データセット。(宮城県対がん協会 MCS, 東北大学病院: TUH)

				
	DDS	INbreast	MCS	TUH
国籍	アメリカ	ポルトガル	日本	日本
画像サイズ	3000~7000	3328×4084 2560×3328	1914×2294 3540×4740	6880×9480
解像度	50μm	70μm	50μm, 94μm	25μm
年齢	27~91 歳	不明	39~92 歳	39~83 歳
悪性画像	1274 枚	71 枚	66 枚	217 枚
良性画像	1118 枚	36 枚	264 枚	0 枚
合計	2392 枚	107 枚	330 枚	217 枚

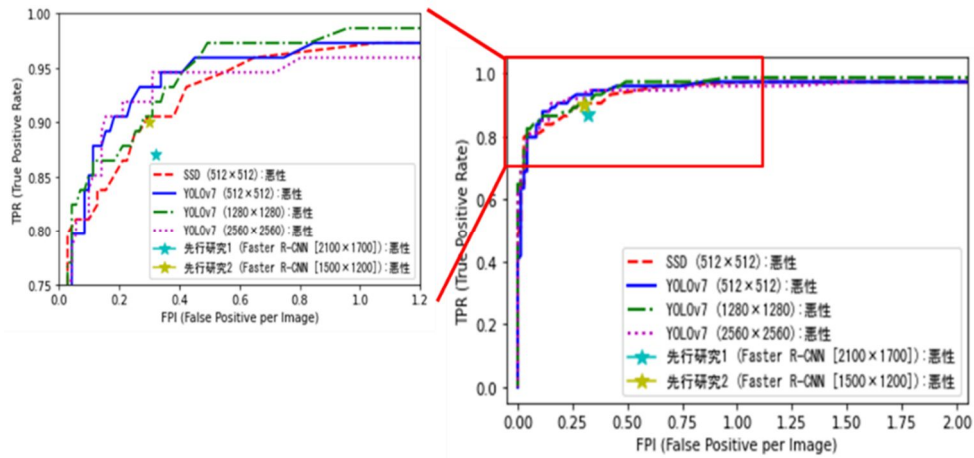


図1 本研究と先行研究の悪性腫瘍検出性能 (FROC 曲線)。

- (2) 提案法を死後胸部 CT における溺死鑑別に適用し、法医学で困難とされる溺死診断を正確に鑑別可能であることを実証した。深層学習の可視化技術を用いて、深層学習モデルの注目領域と医師診断の注目領域の整合性を検証した。図2(a)は溺死診断における死後 CT 画像である。提案した深層学習モデルの溺死診断精度を図2(b)に示す。

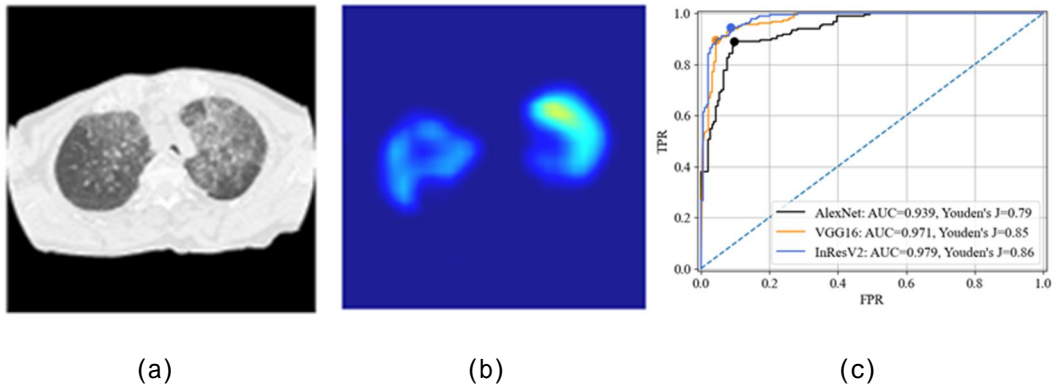


図2 提案法を死後胸部 CT における溺死鑑別に適用した。(a)溺死の死後 CT 画像例。(b)溺死における深層学習モデルの注目領域の可視化結果。(c)溺死診断の精度評価 (AUC=0.98 を達成した)

- (3) 胃 X 線画像を用いたピロリ菌感染の検出性能検証により、提案法は、少量学習データで専門医に匹敵する正確な診断を達成した。

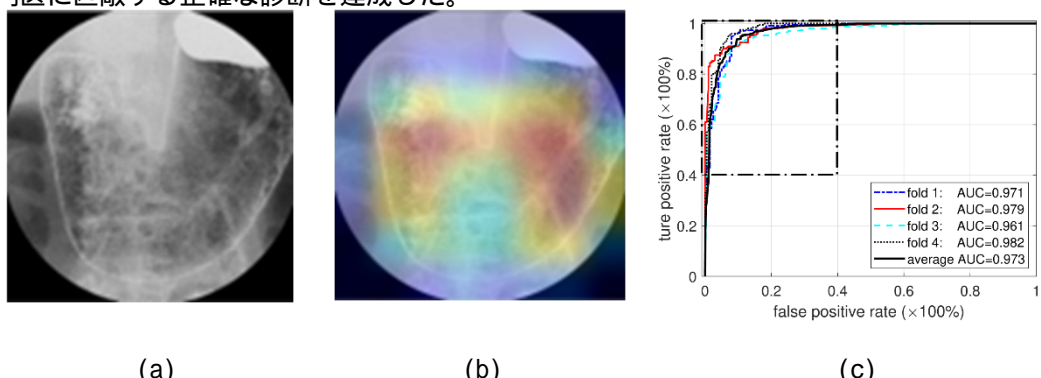


図2 提案法を胃 X 線画像におけるピロリ菌感染の診断に適用した。(a)胃 X 線画像例。(b)ピロリ菌感染における深層学習モデルの注目領域の可視化結果。(c)ピロリ菌感染の精度評価 (AUC=0.97 を達成した)

- (4) 開発した Grad-CAM と SHAP を用いて、深層学習モデルが診断結果を出力 (計算) するために重視した、入力画像の部分可視化し、死後胸部 CT における溺死鑑別根拠、ならびに胃 X 線画像のピロリ菌感染診断根拠の提示と、その臨床的有効性を検証した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Zeng Yuwen, Zhang Xiaoyong, Kawasumi Yusuke, Usui Akihito, Ichiji Kei, Funayama Masato, Homma Noriyasu	4. 巻 27
2. 論文標題 A 2.5D Deep Learning-Based Method for Drowning Diagnosis Using Post-Mortem Computed Tomography	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics	6. 最初と最後の頁 1026 ~ 1035
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/jbhi.2022.3225416	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Shinohara Takumi, Ichiji Kei, Wang Jiaoyang, Homma Noriyasu, Zhang Xiaoyong, Sugita Norihiro, Yoshizawa Makoto	4. 巻 26
2. 論文標題 Improved Tumor Image Estimation in X-Ray Fluoroscopic Images by Augmenting 4DCT Data for Radiotherapy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics	6. 最初と最後の頁 471 ~ 482
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jaciii.2022.p0471	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takumi Shinohara, Kei, Ichiji, Xiaoyong Zhang, Norihiro Sugita, Noriyasu Homma,	4. 巻 -
2. 論文標題 Improved Tumor Image Estimation in X-ray Fluoroscopic Images by Augmenting 4DCT Data for Radiotherapy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shindo Masahiro, Ichiji Kei, Homma Noriyasu, Zhang Xiaoyong, Okuda Shungo, Sugita Norihiro, Yamaki Shunsuke, Takai Yoshihiro, Yoshizawa Makoto	4. 巻 140
2. 論文標題 Hidden Markov Model-based Extraction of Target Objects in X-ray Image Sequence for Lung Radiation Therapy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems	6. 最初と最後の頁 49 ~ 60
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.140.49	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Zhang Zhang, Zhang Xiaoyong, Ichiji Kei, Takane Yumi, Yanagaki Satoru, Kawasumi Yusuke, Ishibashi Tadashi, Homma Noriyasu	4. 巻 13
2. 論文標題 Adaptive Gaussian Mixture Model-Based Statistical Feature Extraction for Computer-Aided Diagnosis of Micro-Calcification Clusters in Mammograms	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration	6. 最初と最後の頁 183 ~ 190
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.9746/jcmsi.13.183	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Reima Ishii, Xiaoyong Zhang, Noriyasu Homma
2. 発表標題 An Interpretable DL-Based Method for Diagnosis of H. Pylori Infection Using Gastric X-ray Images
3. 学会等名 IEEE 3rd Global Conference on Life Sciences and Technologies (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuwen Zeng, Xiaoyong Zhang, et al.
2. 発表標題 Deep Learning-Based Interpretable Computer Aided Diagnosis of Drowning for Forensic Radiology
3. 学会等名 60th Annual Conference of SICE (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Amber H. Qureshi, Xiaoyong Zhang, et al.
2. 発表標題 Deep CNN-Based Computer-Aided Diagnosis for Drowning Detection using Post-mortem Lungs CT Images
3. 学会等名 2021 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 篠原匠, 市地慶, 本間経康, 張曉勇, 杉田典大, 吉澤誠
2. 発表標題 4次元CTデータの内挿・外挿によるX線透視像中の腫瘍像推定モデルの性能向上の試み
3. 学会等名 インテリジェント・システム・シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Jiaoyang Wang, Kei Ichiji1, Noriyasu Homma, Xiaoyong Zhang and Yoshihiro Takai
2. 発表標題 Deep neural network-based prediction of synthetic dual-energy X-ray fluoroscopic images: a feasibility study
3. 学会等名 AAPM 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Homma, Noriyasu; Zhang, Xiaoyong; Qureshi, Amber Habib; Konno, Takuya; Kawasumi, Yusuke; Usui, Akihito; Funayama, Masato; Bukovsky, Ivo; Ichiji, Kei; Sugita, Norihiro; Yoshizawa, Makoto
2. 発表標題 A Deep Learning Aided Drowning Diagnosis for Forensic Investigations Using Post-Mortem Lung CT Images
3. 学会等名 42nd Engineering in Medicine and Biology Conference (EMBC 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Homma, Noriyasu, Kyohei Noro, Xiaoyong Zhang, Yutaro Kon, Kei Ichiji, Ivo Bukovsky, Akiko Sato, and Naoko Mori
2. 発表標題 Human ability enhancement for reading mammographic masses by a deep learning technique
3. 学会等名 2020 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine (BIBM) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Reima Ishii, Xiaoyong Zhang, Noriyasu Homma
2. 発表標題 An Interpretable DL-Based Method for Diagnosis of H. Pylori Infection Using Gastric X-ray Images
3. 学会等名 2021 IEEE 3rd Global Conference on Life Sciences and Technologies (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 今佑太郎, 張曉勇, 本間経康, 吉澤誠,
2. 発表標題 Feature Fusionに基づく深層学習を用いた乳房X線画像上の小病変検出
3. 学会等名 計測自動制御学会, 東北支部第329回研究集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石井玲真, 張曉勇, 本間経康,
2. 発表標題 深層学習に基づく転移学習を用いた胃 X 線画像におけるピロリ感染の鑑別に関する研究
3. 学会等名 計測自動制御学会, 東北支部第330回研究集会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	費 仙鳳 (Fei Xianfeng) (20620470)	東北文化学園大学・工学部・准教授 (31310)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	本間 経康 (Homma Noriyasu) (30282023)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関