

令和 6 年 6 月 19 日現在

機関番号：55502

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K07578

研究課題名（和文）ハイブリッド学習によるLaxative-free CTコロノグラフィ検査法の開発

研究課題名（英文）Development of screening system for laxative-free CT colonography using hybrid learning

研究代表者

橘 理恵（Tachibana, Rie）

大島商船高等専門学校・情報工学科・教授

研究者番号：90435462

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では3次元画像を用いた自己学習型GANによるEC手法と、virtual endoscopy像を用いたrecycle-GANによるEC手法を開発した。最終目標として両手法を組み合わせることによる最良のEC手法の実装を目指したが、virtual endoscopy像を用いたEC手法の精度が悪く、最終目標の実現に至らなかった。しかし、自己学習型GANによるEC手法では画像アノテーションのない小規模データセットに対してサブボクセル精度でECを実行できることが確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

開発した自己学習型GANを用いた電子クレンジング手法は従来法に比べ、自然なクレンジング画像の生成を可能とした。臨床現場における使用が可能となれば、従来に比べCTコロノグラフィ検査による電子クレンジングの精度向上が期待でき、大腸がん検診における被験者の負担を減らす効果及び検診率向上が期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed a self-learning GAN-based EC method using 3D images and a recycle-GAN-based EC method using virtual endoscopy images. The final goal was to implement the best EC method by combining the two methods, but the accuracy of the EC method using virtual endoscopy images has not been more effective. Therefore, the final goal could not have been achieved. However, the self-learning GAN-based EC method was able to perform EC with sub-voxel accuracy on a small dataset with no image annotations.

研究分野：医用画像処理

キーワード：CTコロノグラフィ 電子クレンジング 大腸がん検診 深層学習

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

大腸がんは検診において、一般市民を対象に大腸内視鏡検査と CT 画像から仮想的に大腸内視鏡画像を生成する「CT コログラフィ (CTC)」による検査による検診を無作為に割り当てたところ、CTC 検査で有意に受診率が高かったとの報告があることから[1]、CTC 検査は大腸がん検診の受診率向上をもたらすと期待できるが、現時点では大腸内視鏡検査と同様に腸管洗浄が必要であることなどから検診などに広く用いられるに至っていない。そこで、我々はこれまでに深層学習を用いて電子的に腸管洗浄を行う電子クレンジング(electronic cleansing: EC)システムの開発を進めてきた[2]。深層学習による EC システムは従来の EC 手法に比べ、クレンジングの EC アーティファクト(擬似ポリープやヒダの欠損等)を大幅に低減することができるが、計算時間が膨大であるため実用化には至っていない。また、従来の EC 手法開発では緩下剤を服用した CT 画像を用いていたが、被験者の負担を減らし検診を受診しやすくするためには、laxative-free CTC 検査を実現すること望まれる。

2. 研究の目的

本研究では、3 次元 CT 画像および大腸内の観察ルートに沿った動画像を用いたハイブリッド学習による EC 法を開発することにより、被験者の負担を減らし検診を受診しやすくする laxative-free CTC 検査の実現を目的とする。

3. 研究の方法

研究当初は、図 1 のような 2 つの深層ネットワークを互いに競わせるように学習する生成モデルである generative adversarial networks (GAN) に基づいたハイブリッド学習による EC 手法を開発する予定であった。ここで、ハイブリッド学習による EC 手法とは、我々が従来から開発を進めていた 3 次元画像を用いた自己学習型 GAN による EC 手法(図 1a)と、新たに開発を試みた動画像を用いた EC 手法(図 1b)を組み合わせる手法である。

3 次元 CT 画像から切り出した 3 次元関心領域画像を用いた自己学習型 GAN による EC 手法では、最初に、ファントム画像と random forest 法などの従来の機械学習による事前自己 EC 画像を用いて学習を行なうことで EC 画像を生成するモデルを構築する。その後、この生成モデルを用いて、新たな自己学習用 EC 画像を生成し、自己学習用 EC 画像を更新しながら逐次的に自己学習を行う手法を開発する(図 2a)。

ハイブリッド学習における他方の学習では、3 次元の動画像として 3 次元の virtual endoscopy と 2 次元の multi-planar reconstruction (MPR) 像を組み合わせた表示法を用いて recycle-GAN[3] による学習モデルを構築する。Recycle-GAN は動画像に対応した GAN であり、種類の動画 X, Y を用いて、 X から Y 、 Y から X の両方向への変換を可能とし、生成器(G_x, G_y)、識別器(D_x, D_y)、予測器(P_x, P_y)の 3 種類のネットワークから構成される GAN である(図 3a)。

4. 研究成果

本研究では GAN を用いたハイブリッド学習による EC 法を開発を目的として、まず、3 次元 CT 画像から切り出した 3 次元関心領域画像を用いた自己学習型 GAN による EC 手法を開発した。提案手法は、画像アノテーションのない小規模データセットに対してサブボクセル精度で EC を実行できるように学習することができ(図 2b-e)、CTC における EC の残存技術問題を解決するための有効なアプローチとなり得るものであることを比較実験により評価した。これらの成果は学術誌 Cancers に採択された。また、汎用性のあるものとなり得るか評価するため、dual-energy CT や photon-counting CT への応用や laxative-free CTC のデータを用いた評価を試み、これらの結果を国際会議 SPIE Medical Imaging や Computer Assisted Radiology and Surgery (CAES) で報告した。

次に、3 次元情報を含む動画像として 3 次元の virtual endoscopy 像と 2 次元の MPR 像を組み合わせた表示法を用いて recycle-GAN による EC 法を開発を行った。開発にあたり、virtual

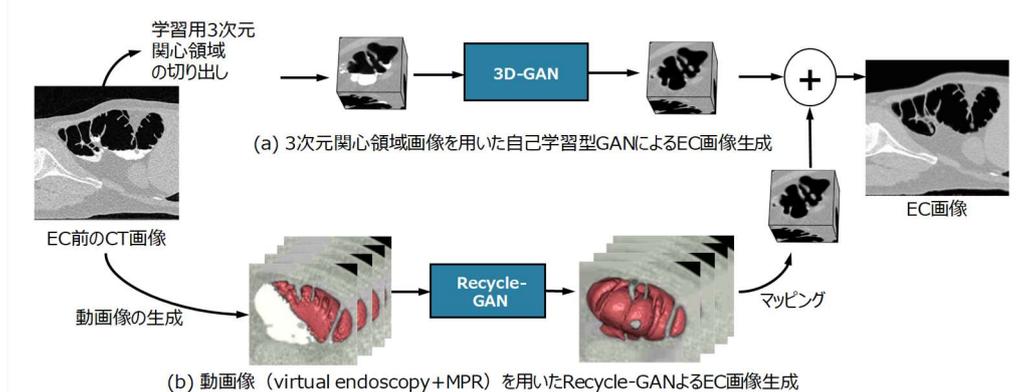


図 1. GAN に基づいたハイブリッド学習による EC 手法

endoscopy 像を用いた学習モデル構築の前に recycle-GAN を用いて 2 次元 CT 画像で精度良く EC が可能かどうかの検証を行った(図 3)。実験では、ファントムの体軸断面画像を用いて pix2pix[4]による手法との比較評価を行ったところ正規化相互相関を類似度を用いた評価では pix2pix による結果は平均 0.997, 標準偏差 0.002, recycle-GAN による結果は平均 0.994, 標準偏差 0.002 となり pix2pix による EC 法の方が類似度は高くなった。また、生成された画像を確認したところ Recycle-GAN による生成画像では、ヒダやポリープまで消えていたことが原因として考えられた。一方で、pix2pix では消えていなかった残渣が、recycle-GAN では消えていることが確認されたとともに、virtual endoscopy 像では、recycle-GAN の方が大腸壁がなめらかに生成されていたことが確認できた。これらの結果から EC を目的とした 2 次元画像による学習はさらなる改良が必要となることが分かった。この成果は電気情報関連学会中国支部連合大会で報告した。その後、体軸断面ではなく腸管に沿った関心領域画像を用いて recycle-GAN/pix2pix による学習を MPR 像, virtual endoscopy 像, MPR 像と virtual endoscopy 像を用いて試みた。その結果, virtual endoscopy 像を用いた手法はいずれもポリープを欠損する箇所があり, EC 法として大きな欠点を確認された。そのため, 大腸壁の細部の凹み等が再現できていないが MPR 像による pix2pix を用いた手法が最も良く, 3 次元関心領域を用いた EC 法に比べ精度は劣るが 2 次元画像においても EC 画像の生成が可能であることが示唆された。

上述の通り, 研究当初は virtual endoscopy 像を用いることにより, 3 次元関心領域に基づいた学習では得られない連続性を考慮した学習が期待できると予想したが, virtual endoscopy 像は同系統色で画像が表現されること, MPR 画像で奥行きを表現できないため virtual endoscopy 像と組み合わせた場合においても十分な学習が行えず EC 画像を生成することができないことが分かった。また, 自己学習型 GAN による EC 手法及び recycle-GAN による EC 手法の開発から一部不完全な学習データであったとしても一対一の学習データを用いることが高精度に EC 画像の生成ができることが分かった。

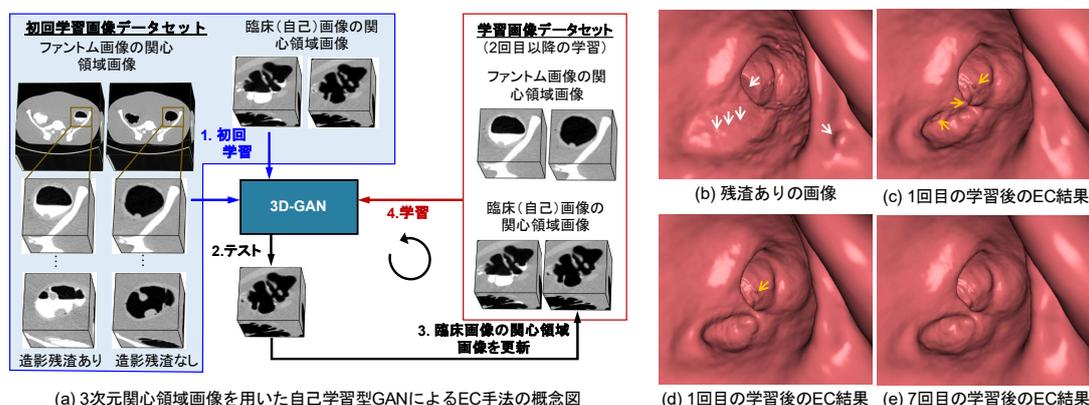


図 2. 自己学習型 GAN による EC 手法の概念図と臨床例への適用例
(b)上の白色矢印は残渣, (c), (d)上の黄色矢印は EC アーティファクトを示す

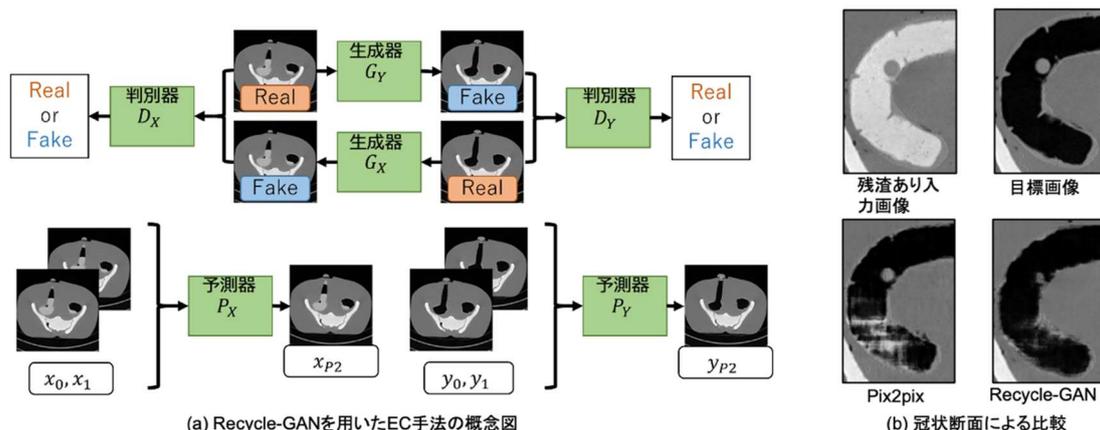


図 3. 動画像を用いた GAN の概念図のファントム断面画像への適用例

[1] Utano K, et al. Diagnostic Performance and Patient Acceptance of Reduced-Laxative CT Colonography for the Detection of Polypoid and Non-Polypoid Neoplasms: A Multicenter Prospective Trial, *Radiology*. 282(2), 399-407, 2017
 [2] Tachibana R, Näppi JJ, et al. Deep Learning Electronic Cleansing for Single- and Dual-Energy CT Colonography. *Radiographics*, 38, 2034-2050, 2018
 [3] Bansal A., et al. Recycle-GAN: Unsupervised Video Retargeting. *ECCV 2018*, 2018
 [4] Isola P, et al. Image-to-Image Translation with Conditional Adversarial Networks, *CVPR*, 2017.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Tachibana Rie, N?ppi Janne J., Hironaka Toru, Yoshida Hiroyuki	4. 巻 14
2. 論文標題 Self-Supervised Adversarial Learning with a Limited Dataset for Electronic Cleansing in Computed Tomographic Colonography: A Preliminary Feasibility Study	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Cancers	6. 最初と最後の頁 4125 ~ 4125
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/cancers14174125	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 該当する

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Rie Tachibana, Janne Nappi, Toru Hironaka, Stephen Yoshida, Dufan Wu, Rajiv Gupta, Katsuyuki Taguchi, Hiroyuki Yoshida
2. 発表標題 Performance evaluation of self-supervised 3D GAN for electronic cleansing in photon-counting CT colonography
3. 学会等名 The 37th International Conference on Computer-Assisted Radiology and Surgery（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Rie Tachibana, Janne Nappi, Toru Hironaka, Stephen Yoshida, Dufan Wu, Rajiv Gupta, Hiroyuki Yoshida
2. 発表標題 Electronic cleansing in photon-counting CT colonography by use of self-supervised 3D-GAN
3. 学会等名 SPIE Medical Imaging 2023（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Rie Tachibana, Janne J. Nappi, Toru Hironaka, Hiroyuki Yoshida
2. 発表標題 Performance evaluation of self-supervised 3D GAN for electronic cleansing in CT colonography
3. 学会等名 The 36th International Conference on Computer-Assisted Radiology and Surgery（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 河野冬紀, 橘理恵
2. 発表標題 Recycle-GAN を用いた大腸 CT 画像における電子洗浄法 に関する基礎検討
3. 学会等名 2022 年度(第 73 回)電気・情報関連学会中国支部連合大会
4. 発表年 2022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

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		
米国	Massachusetts General Hospital		