

令和 6 年 6 月 26 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K12723

研究課題名（和文）認知と行動の関連解明に基づく内視鏡操作支援システムの実現

研究課題名（英文）Development of endoscopic treatment assistance system based on relationship modeling between recognition and action

研究代表者

小田 昌宏（Oda, Masahiro）

名古屋大学・情報基盤センター・准教授

研究者番号：30554810

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）：本研究の目的は、認知と行動の関連解明に基づく内視鏡操作支援システムの実現である。そのため、まず内視鏡操作における医師の認知と行動を計測する方法を実現した。そして認知情報から行動を推定可能な認知・行動連携モデルを開発した。このモデルは深層学習を用いてデータドリブンな方法で開発した。そして医師に対する支援情報提示システム開発と評価を行った。消化器内科医の協力のもと、システムを用いた計測や評価を行ったところ、有用な治療支援情報を提示可能であった。一方、医師による内視鏡操作の個人差へのさらなる対応が必要であるとの課題が明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来の治療支援システムは、画像情報などの「認知」情報のみを使って支援情報生成を行うものが主流であった。本研究はそれだけでなく、治療操作つまり「行動」情報までも扱い、認知と行動の関連性をモデル化し治療支援システムに利用する。本研究を行う中で、治療操作を計測しデータ化する方法、形状データを解析する深層学習モデル構築を行い、その成果が国際会議でのOutstanding Paper Award受賞という形で認められた。本研究を行う中で、医師が行う治療操作には医師の個人差が強く影響し、個人差を考慮した方法の開発が必要との知見が得られた。本研究の成果は、今後の治療支援システムの高性能化に大きく貢献する。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to realize an endoscopic operation support system based on the analysis of the relationship between cognition and behavior. To achieve this, we first developed a method to measure the cognition and behavior of physicians during endoscopic operations. Subsequently, we developed a cognition-behavior linkage model that can estimate behavior from cognitive information. This model was developed using a data-driven approach with deep learning. Additionally, we developed and evaluated a system to provide support information to physicians. With the cooperation of gastroenterologists, we conducted measurements and evaluations using the system, which demonstrated the ability to present useful treatment support information. On the other hand, it became clear that further adaptation to individual differences in endoscopic operation by physicians is necessary.

研究分野：医用画像処理

キーワード：認知と行動の関係解析 内視鏡支援システム

1. 研究開始当初の背景

本邦のがんによる死亡数は約 37 万人（2019 年）であり、その中で大腸がんによる死亡率は男性で 3 位、女性で 1 位と高い割合を占める（厚生労働省、令和元年人口動態統計月報年計の概況）。大腸がんによる死亡率は毎年増加を続けており、今後減少が期待される肺がん等と異なり早急な対策が求められる。大腸がんはその前段階である大腸ポリープを切除することで、罹患・死亡数を大幅に減少させることが可能であるため（Corley DA, N Engl J Med, 370(14), 1298-1306, 2014）、診断において大腸ポリープを発見・切除することが重要である。現在は内視鏡を用いて大腸診断を行う場合が多く、内視鏡先端カメラ映像を基に大腸内の異常有無を判断する。大腸内視鏡は柔軟で長い（約 1.3 m）ケーブル状の形状であり、これを大腸内で適切に動かすには多くの訓練が必要となる。経験の浅い医師は、内視鏡位置を見失うことによる病変見落としや、内視鏡先端で大腸壁面を突き破る穿孔を起こす場合がある。

内視鏡操作を含む医師の治療は、暗黙的かつ個人差のある「経験」に強く依存する。そのため治療時の手技の蓄積、評価、後継者への継承が困難であり、ひいては医師ごとの治療の質の差が発生し、医療の経済的・地理的格差を生じていた。

内視鏡操作において医師が持つ経験とは、内視鏡画像等から状況把握と判断を行う「認知」に関する経験と、内視鏡操作として表面化する「行動」に関する経験から成る。認知と行動の 2 要素は相互に密接な関連を持ち、2 要素間にどれだけ適切な関係を構築できるかが医師の能力となって表れる。

コンピュータによる内視鏡治療支援により治療の質の格差が軽減できる。その際、認知と行動の関連性を考慮した支援情報生成を行い、医師に対して認知と行動の双方から支援を行うことが重要である。具体的に言えば、内視鏡画像中にナビゲーション情報や着目すべき点（病変等）を提示し（認知の支援）、内視鏡操作に対しては病変見落とし軽減や誤操作抑止のためロボットが内視鏡操作に介入するなど（行動の支援）である。このような認知と行動双方を支援する内視鏡操作支援システムが求められる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、認知と行動の関連解明に基づく内視鏡操作支援システムの実現である。高精度な内視鏡操作支援を実現するため、医師の認知と内視鏡操作としての行動の関連性を解明する必要がある。そのため医師の認知と行動の関係を計測し、深層学習等でのデータドリブンな推定モデル化を通して、認知と行動の連携による推定をコンピュータ上に実現する（認知・行動連携モデル）。モデルを組み込んだ内視鏡操作支援システムを開発し、内視鏡画像等への認知支援情報提示、ロボットによる行動介入を通じた支援を実現する。

3. 研究の方法

本研究では大腸内視鏡を用いた治療操作支援を対象とし、内視鏡操作支援システムの実現に必要な手法の開発を行った。まず内視鏡操作における医師の認知と行動を計測する方法を実現した。認知において重要な要素を明確化するため、内視鏡画像からの解剖構造や病変認識手法の開発を行う。そして認知情報から行動を推定可能な認知・行動連携モデルを開発する。そのため、認知と行動データの関係性を表現するモデルを深層学習により構築した。このモデルを用いた医師に対する支援情報提示システム開発と評価を行った。本研究では内視鏡操作トレーニング用の大腸模型を用いて実験を行った。

4. 研究成果

本研究を遂行することで以下に挙げる研究成果が得られた。

(1) 認知・行動計測装置の開発

医師が内視鏡を用いた治療操作を行う際の認知と行動情報を計測する装置を開発した。認知に影響を与える情報として内視鏡画像を扱う。また、行動に関する情報として大腸内視鏡の形状情報を扱う。これらの情報の計測は、医師が大腸内視鏡を大腸模型に挿入し、治療を模した操作を大腸内視鏡に対して行う際に実施する。ここで、大腸内視鏡の形状を記録するために図 1 に示す「内視鏡形状計測装置」を開発した。この装置では、内視鏡の形状をリアルタイム計測するため小型の磁気式位置センサを複数使用する。そして、複数センサから得られる離散的な位置情報を用い、3 次スプライン補間を適用することで図 2 に示すような内視鏡全体の形状を推定可能

とした。本装置により、大腸内視鏡操作時の内視鏡形状をリアルタイムに記録可能となった。

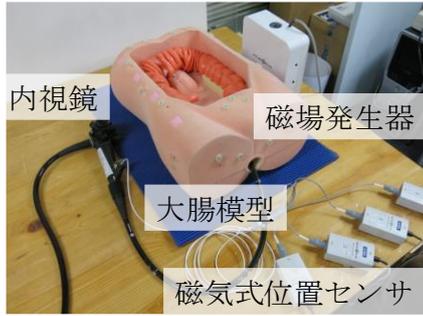


図1 開発した内視鏡形状計測装置

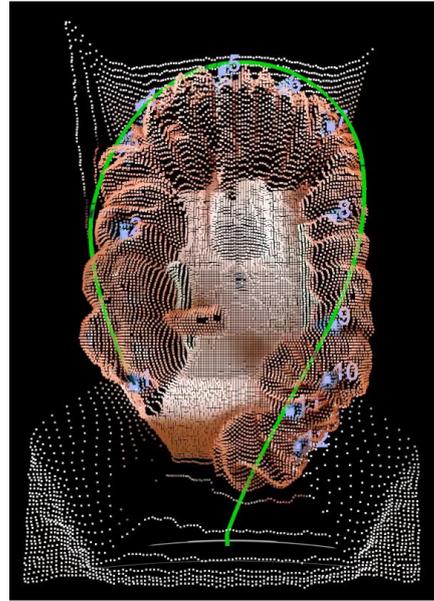
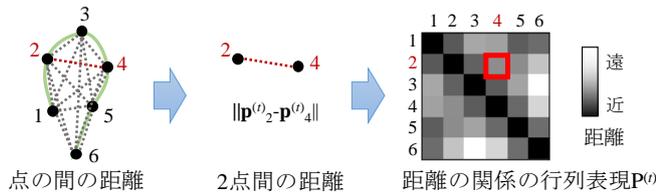


図2 内視鏡形状計測結果の例。緑色の曲線が計測された内視鏡形状。

(2) 行動情報抽出手法の開発

(1)で開発した装置を用いて計測した内視鏡形状データから、行動に関する特徴の抽出を行う手法を開発した。内視鏡形状データは、センサで計測された3次元空間の座標集合が時系列に沿って並んだものであり、このままでは行動に関する特徴抽出を行うのが難しい。そこで、内視鏡形状データから次の時刻の行動に関する情報を抽出する上で有用な特徴を設計した。特徴として、内視鏡形状データに含まれる3次元座標2点間の距離を用いた位置特徴、内視鏡形状データの接線方向ベクトルの内積を用いた方向特徴を作成した。これらを図3に示す。

- $P^{(t)}$: 内視鏡形状データを構成する2点 $p_i^{(t)}$ と $p_j^{(t)}$ ($i, j=1, \dots, N$)間の距離を $N \times N$ 行列で表した行列



- $D^{(t)}$: 内視鏡形状データを構成する2点での接線方向間の内積 $d_i^{(t)} \cdot d_j^{(t)}$ を $N \times N$ 行列で表した行列

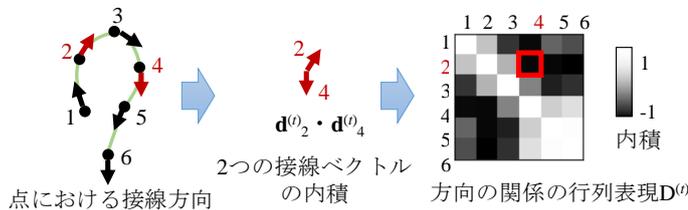


図3 内視鏡形状データの位置特徴と方向特徴

(3) 認知・行動連携モデル開発

(2)で提案した行動情報についての位置特徴、方向特徴を用いて、内視鏡形状データから次の時点における行動関連情報を推定するモデル KST-Mixer (図4)を開発した。本モデルは時系列情報を考慮した推定が可能な時空間情報混合ブロック (Spatio-temporal mixing block) 層を持つ。これまで提案が少なかった、形状データを用いた推定を行うモデルであり、比較的少数のデータを用いた学習を行ったにも関わらず、平均誤差 11.9mm での推定が可能であった。本モデルに関

する発表をコンピュータによる医療支援分野のトップカンファレンスのワークショップ Joint MICCAI 2022 Workshop on Augmented Environments for Computer-Assisted Interventions (AE-CAI), Computer-Assisted Endoscopy (CARE), and Context-Aware Operation Theatres 2.0 (OR 2.0)で行い、Outstanding Paper Award を受賞した。

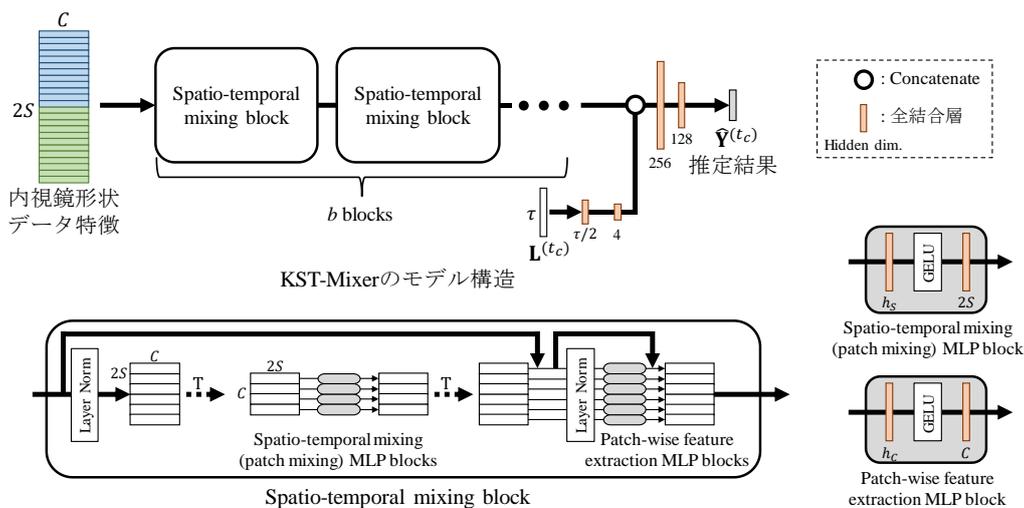


図4 行動関連情報推定モデル KST-Mixer

(4) 医師に対する支援情報提示システム開発と評価

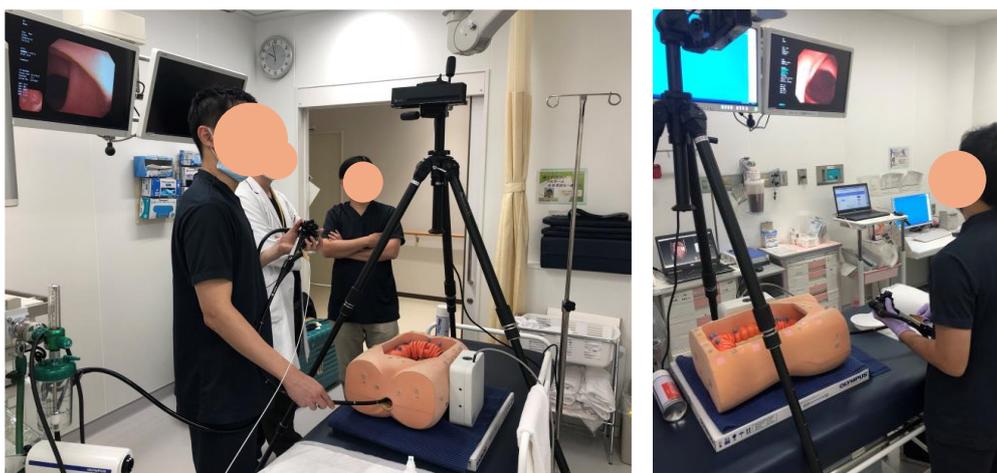


図5 消化器内科医によるシステム評価の様子

開発した認知・行動連携モデルを用いて、大腸内視鏡挿入時の大腸の様子や今後の展開予測などを表示するシステムを試作した。消化器内科医の協力のもと、本システムを用いた計測や情報提示を行い、システムの有用性を評価した(図5)。本評価において、システムは有用な支援情報を提示可能であることが分かった。その一方、医師の内視鏡操作の個人差へのさらなる対応が必要であるとの課題が明らかになった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Masahiro Oda, Kazuhiro Furukawa, Nassir Navab, Kensaku Mori	4. 巻 11
2. 論文標題 KST-Mixer: kinematic spatio-temporal data mixer for colon shape estimation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering: Imaging & Visualization	6. 最初と最後の頁 1050-1056
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/21681163.2022.2151938	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 該当する

1. 著者名 Masahiro Oda, Hayato Itoh, Kiyohito Tanaka, Hirotsugu Takabatake, Masaki Mori, Hiroshi Natori, Kensaku Mori	4. 巻 10
2. 論文標題 Depth Estimation from Single-shot Monocular Endoscope Image Using Image Domain Adaptation And Edge-Aware Depth Estimation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering: Imaging & Visualization	6. 最初と最後の頁 266-273
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/21681163.2021.2012835	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 小田 昌宏	4. 巻 95
2. 論文標題 医療支援AIの現状と情報横断型AIへの期待	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本整形外科学会雑誌	6. 最初と最後の頁 3-8
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 無
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 小田 昌宏	4. 巻 40
2. 論文標題 特集 / 外科手術支援におけるAI研究開発の動向 -序文-	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Medical Imaging Technology	6. 最初と最後の頁 149-150
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 無
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 小田 昌宏	4. 巻 37
2. 論文標題 医療AI開発におけるVision Transformerの可能性	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 インナービジョン	6. 最初と最後の頁 28-31
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 無
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 小田 昌宏	4. 巻 38
2. 論文標題 生成AIの仕組みと医療応用	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 インナービジョン	6. 最初と最後の頁 36-39
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 無
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6件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Masahiro Oda, Kazuhiro Furukawa, Nassir Navab, Kensaku Mori
2. 発表標題 KST-Mixer: Kinematic Spatio-Temporal Data Mixer For Colon Shape Estimation
3. 学会等名 Joint MICCAI workshop 2022, AE-CAI/CARE/OR2.0, 25th International Conference on Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention (MICCAI2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小田 昌宏
2. 発表標題 深層学習を用いた医用画像処理と画像を超えた応用
3. 学会等名 第60回日本生体医工学会大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小田 昌宏
2. 発表標題 医療支援における画像処理研究の動向と展望
3. 学会等名 第29回画像センシングシンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小田 昌宏
2. 発表標題 内視鏡画像AIにおける実世界を考慮したデータ生成の必要性
3. 学会等名 次世代内視鏡・医工連携シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小田 昌宏
2. 発表標題 生成AIがもたらす医用画像処理の変革
3. 学会等名 医用画像情報学会 令和5年度秋季(第197回)大会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Masahiro Oda, Zhou Zheng, Jie Qiu, Yuichiro Hayashi, Kensaku Mori, Hirotsugu Takabatake, Masaki Mori, Hiroshi Natori
2. 発表標題 What is Trustworthy AI and How It Contributes in Diagnosis
3. 学会等名 RSNA 2023（国際学会）
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 小田昌宏, 伊東隼人	4. 発行年 2022年
2. 出版社 オーム社	5. 総ページ数 250
3. 書名 医療AIとディープラーニングシリーズ 内視鏡画像AI	

〔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	古川 和宏 (Furukawa Kazuhiro) (70624310)	名古屋大学・医学部附属病院・病院講師 (13901)	

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		
ドイツ	Technical University of Munich		