

# AI（人工知能）技術を用いた術中腹腔鏡映像の自動解析に関する研究

愛知県がんセンター

消化器外科 医長 三澤一成

名古屋大学大学院

情報学研究科 教授 森 健策

特任准教授 林雄一郎

## 1. 研究の背景・目的

近年、画像診断装置や映像装置、手術機器やコンピュータの進歩により、テクノロジーを用いて手術や術者を術中支援する技術（手術支援技術）が開発されてきた。さらに人工知能（AI）技術を用いることで、コンピュータによる処理や解析の質が飛躍的に向上している。日常生活でもAI技術が至る所で活用されているが、医療の世界ではまだ導入されたばかりである。最近では、大腸内視鏡システムにAI技術を用いた画像診断支援プログラムが搭載され、病変の検出や、検出した病変が腫瘍性ポリープ・非腫瘍性ポリープかを瞬時に的確に自動判別することで、医師の診断を支援することができるようになった。今後医療の世界でもAI技術を用いたシステムや機器の開発が加速することが予想されており、医師やコメディカルの判断や手技を支援することで、医療の質の向上につながることを期待されている。

本研究では、AI技術を用いて、高度化・複雑化した手術を支援するシステムの研究を行うことが目的である。現在外科手術の半数以上は腹腔鏡下手術・ロボット支援下手術であるが、いずれもスコープ（腹腔鏡）を体内に入れ、描出される映像を外科医とコメディカルが見ながら操作が進んでいく手術である。この映像をAI技術を用いて自動的に解析・診断することで、医師およびコメディカルの術中の判断を支援できるのではないかと考える。術中にリアルタイムで、腹腔内の手術操作シーンや操作部位の自動解析や判別、さらにはその後の操作の予想などがAIでできれば、ナースなどのコメディカルにとっては、高難度の手術の進行を理解しやすくなったり、次の操作がわかることで器具の手渡しなどが適確

に行えるようになり、手術がスムーズに進行できる。また若手外科医にとっても手術内容の理解がしやすくなることで教育的効果があると考えている。手術中にこういった手術支援システムが使えるようになれば、各医療者の技術の向上につながり、ひいては手術の安全性や質の向上、そして手術によるがん治療成果の向上につながるのではないかと考える。本研究では、その基礎技術となる腹腔鏡手術の場面・器具の自動診断、その技術を用いた簡易的な術中ナビゲーションシステムの構築に取り組んだ。

## 2. 研究の対象ならびに方法

### 1) 腹腔鏡手術操作部位の自動診断

胃がんに対する腹腔鏡下手術（腹腔鏡下胃切除術）では、胃の周囲の血管（右・左大網動静脈、右・左胃動静脈）の周囲を順にリンパ節郭清および血管処理をし、手術を行っていく。そのため、手術操作（血管操作）部位の診断がそのまま手術手順と一致する。

腹腔鏡下胃切除術の手術映像から10秒ごとに静止画を切り出し、以下の7つの術中シーン（4つの血管操作シーン、およびそれ以外の3シーン）に（研究者が目で見て判断し）分類を行った。

①左胃大網動静脈周囲、②右胃大網動静脈周囲、③右胃動静脈周囲、④左胃動静脈周囲、⑤腹腔内全体、⑥トロッカー内、⑦腹腔外

それぞれの画像、及び分類されたシーン名情報を学習データとしてAIプログラムに入力し、機械学習を行い、その後AIによる自動分類を行った。具体的手法としては、Density connected convolutional networks (DenseNet)<sup>1)</sup>を用いて各画像を前述の7つのシーンに分類する。層数が201層のDenseNetを用い、損失関数としては交差エントロピーを用いる。学習においては、ImageNetデータセットによりあらかじめ学習されたモデルを初期値として用い、腹腔鏡手術映像から切り出した画像を用いてファインチューニングを行う。識別では、腹腔鏡手術映像から切り出した画像を学習済みモデルに入力し、各シーンに分類される確率を計算して最も大きい確率を持つシーンに分類した。

### 2) 術中使用器具の自動認識

手術映像の自動理解のため、使用している器具を認識するAIプログラムの開発を

行った。今回は認識する器具として血管結紮用クリップアプライヤを対象とした。腹腔鏡下胃切除術の手術映像から1秒ごとに静止画を切り出し、クリップアプライヤが含まれる画像と、含まれない画像に(研究者が目で見えて判断し)分類を行った。それぞれの画像、及びクリップアプライヤの有無の情報を学習データとしてAIプログラムに入力、機械学習を行い、その後AIによる自動分類を行った。具体的手法は、「1) 腹腔鏡手術操作部位の自動診断」で用いた手法と同様である。

3) 術中操作部位自動解析プログラムを用いた簡易的な術中ナビゲーション

腹腔鏡手術操作部位の自動診断で作成したAIプログラムを用いて、術中の操作部位を自動診断・表示する簡易的な術中ナビゲーションシステムの構築を行った。術中に、腹腔鏡映像をモバイルPCに取り込みAIで解析、術中操作部位を自動診断、その結果を術中ナビゲーションモニタに表示した。また、術前CT画像から作成しておいた各血管部位の解剖情報3D画像を、AIの診断結果に合わせて画面右半分に表示するシステムを構築し、臨床応用を行った。

3. 研究結果

1) 腹腔鏡手術操作部位の自動診断

腹腔鏡下胃切除術の手術映像10症例から切り出した画像を対象とした。腹腔鏡画像は、ビデオ映像の録画開始時から左胃動脈の切離が終了するまでの映像から10秒ごとに切り出した。画像枚数は1例あたり約1000枚であった。入力する画像サイズは431×270とした。分類精度はleave-one-out法で評価を行った。表1に10症例の診断精度の平均を示す。

表1：手術操作部位別の自動診断精度

操作部位	平均±SD (%)
①左胃大網動静脈	85.1±10.0
②右胃大網動静脈	79.3±14.4
③右胃動静脈	65.6±17.9
④左胃動静脈	82.9±8.8
⑤腹腔内全体	80.0±11.4
⑥トロッカー内	90.4±10.8
⑦腹腔外	98.3±1.2

⑥トロッカー内、⑦腹腔外は90%以上の精度で診断できていた。③右胃動静脈の診断は60%台と最も低かった。それ以外の血管操作部位(①②④)においては、概ね80~85%程度の診断精度であった。

2) 術中使用器具の自動認識

腹腔鏡下胃切除術の手術映像 10 症例から切り出した画像を対象とした。1 秒ごとに静止画を切り出し、“クリップアプ  
ライヤが含まれる”画像と“クリップア  
プライヤが含まれない”画像に分類した。  
“クリップアプライヤが含まれない画  
像”が圧倒的に数が多いため、約 1/5  
の枚数に減らして学習および評価を行  
った。いずれの画像も 90%台と良好な  
診断精度であった。

さらに Grad-CAM を用いてディープラー  
ニングの判断根拠を可視化した。AI が  
注目している部位が暖色系で表示されて  
おり、クリップの先端部を正確に認識し  
ていることがわかった。(図 1)

表 2: クリップアプライヤの自動診断精度

クリップアプライヤ	平均±SD (%)
あり	94.0±3.8%
なし	96.7±1.7%



図 1: Grad-CAM を用いて可視化した AI の  
注目部位

### 3) 術中操作部位自動解析プログラムを用いた簡易的な術中ナビゲーション

腹腔鏡下胃切除術 1 例に本システムを適用した。図 2 に術中のモニタの様子を示す。右が術野モニタ、左がナビゲーションモニタである。ナビゲーションモニタにはモバイル PC からの画像・情報が表示されている。その左側下方に、取り込まれた画像 (1 枚/秒で更新) および AI による診断結果が表示され (図中①「左胃大網動脈付近」)、その隣に AI の診断確率 (図中②「100%」) が表示される。その更新頻度は 1 秒程度であった。ナビゲーションモニタの右半分には、AI の診断部位に一致した解剖情報画像を提示している。この画像は術前 CT 画像からボリュームレンダリング法で作成した血管及び臓器の解剖情報を含む画像で、各血管操作部位の解剖情報を示す画像をあらかじめ選んでおいたものである。操作部位が変わると、AI による自動診断結果がその都度かわり、それに応じて表示される解剖情報画像が変更されるシステムである。

術中における自動診断は、完全に正確ではないが、概ね正確であった。ほぼ 1 秒ごとに結果が更新されるため、正確に診断できていないときは提示される結果及び解剖画像が頻繁に切り替わる点が問題であった。

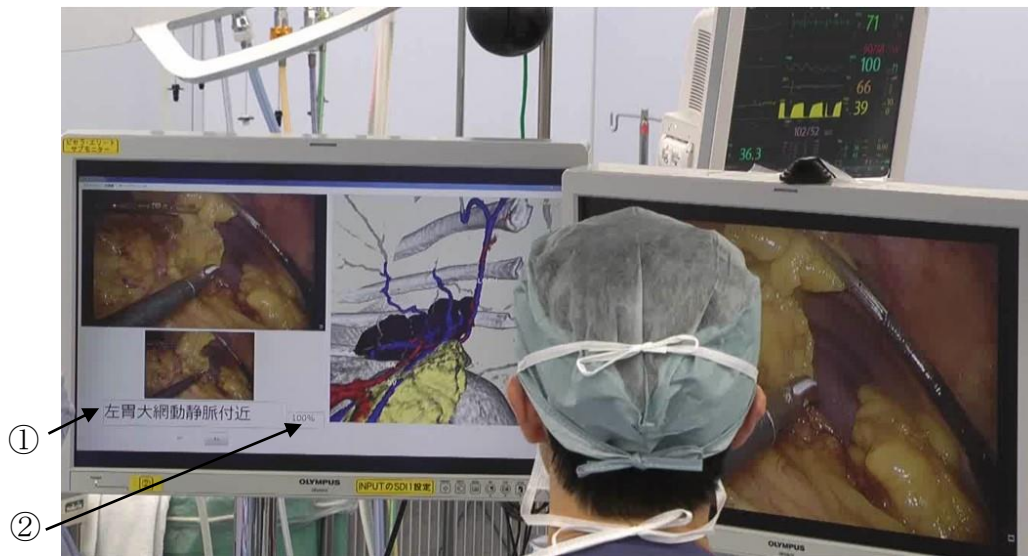


図2：術中シーン自動解析プログラムを用いた術中ナビゲーション

左側のモニタにAIによる自動診断結果 ①・診断確率 ②、部位に一致した解剖情報画像が表示されている。

#### 4. 考察

腹腔鏡手術操作部位の自動診断においては、右胃動静脈付近の診断精度が65%程度と低かったが、それ以外は80~85%と概ね良好な診断精度であった。今後、症例数を増やす、より正確に学習データを分類する、などで、より精度を上げることは可能と考える。また Grad-CAM によるディープラーニングの判断根拠の分析で、学習データの与え方などを改良できるかもしれない。また今後は、違う術者の手術での精度評価も必要であると考えている。

手術器具の自動認識については、想定していた以上の診断精度であった。今回はクリップアプライヤを対象としたが、他の手術器具でも十分認識できると考えられる。今後、エネルギーデバイスや鉗子などの自動認識、複数の器具の同時認識、さらに手術手順や場面と術具の関係の解析などを行いたいと考えている。

手術操作部位自動解析プログラムを用いた術中ナビゲーションシステムについては、正確に診断できない場面があるものの、安定した視野ではかなり正確に診断できていた印象であった。術野展開が切り替わるときや、カメラの視野が切り替わる場合は、診断精度が確保できないが、臨床的にはそのような場面で自動診断の必要度は低いた

め、あまり影響はないと考えられる。一方で、1秒ごとなど短時間で診断結果が更新される必要性も低いため、今後診断頻度を最適化する必要性があると感じた。例えば毎秒の診断結果を5~10秒ごとに集計し、最も多い診断結果を提示するなどで、より正しい診断結果を適切な頻度で提示できる可能性はあると考えている。

これらの技術を組み合わせ、術中の場面や操作の解釈をAIにより支援できるようになることで、若手外科医やナースなどのコメディカル、見学の学生などにとって、難易度が高い手術を理解しやすくなることを期待している。今後さらなる研究を進めたいと考えている。

## 5. 文献

- 1) Huang G, Liu Z, Maaten Lv et al. Densely Connected Convolutional Networks. 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) 2017: 2261-2269.
- 2) Selvaraju RR, Cogswell M, Das A et al. Grad-CAM: Visual Explanations From Deep Networks via Gradient-Based Localization Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 2017, 618-626

## 6. 発表

学会発表

- 1) Misawa K, Hayashi Y, Mori K; Analysis of intraoperative laparoscopic images using AI to support laparoscopic gastrectomy. 第33回日本内視鏡外科学会総会 (2021/3/10-13 横浜&オンライン開催)
- 2) 林雄一郎, 三澤一成, 森健策; 深層学習を用いた腹腔鏡映像解析に基づく位置計測装置を用いない手術ナビゲーションシステムの開発 日本コンピュータ外科学会誌, vol. 22, no. 4, p. 251, 2020 (第29回 日本コンピュータ外科学会大会 2020/11/22-23 オンライン開催)