

令和 7年 6月 19日

## 子宮頸部細胞診のリアルタイム診断を加速： 高コスト機器不要で高精度な診断支援を実現

### <研究成果のポイント>

- 高価な機器が不要で、既存の顕微鏡に iPhone を接続するだけで手軽に AI 導入
- リアルタイムで細胞検査士を強力に支援し、診断効率を大幅に向上
- 単一モデルで多様な診断ニーズに対応、階層化データ学習により異常検出精度 95.8% を達成

※ 本研究成果は、米国・カナダ病理学会（USCAP）の機関誌である「Modern Pathology」に日本時間 6月 13日に掲載されました。Modern Pathology は病理学分野におけるトップティアジャーナルのひとつとして広く認められています。

### <概要>

浜松医科大学大学院医学系研究科 光医工学共同専攻（博士後期課程）の栗田佑希大学院生（再生・感染病理学講座、先進機器共用推進部）と本学再生・感染病理学講座の目黒史織学内講師の研究グループは、子宮頸がんの早期発見に欠かせない細胞診を支える現場のために、革新的な AI モデル「CYTOLONE（サイトロン）」を開発しました。この AI は、ガラス標本をデジタル化する高価なスキャナを必要とせず、既存の顕微鏡に iPhone カメラを接続し、Apple Silicon Mac でリアルタイムに画像を評価できる画期的なシステムです。CYTOLONE は、細胞検査士の作業負担を軽減し、診断効率と精度を大幅に向上させるだけでなく、特にリソースが限られた医療現場での AI 導入の障壁を打ち破るものです。

### <研究の背景>

子宮頸がんは早期発見が極めて重要ですが、現在の細胞診検査では細胞検査士が顕微鏡を用い、膨大な数の細胞を一つひとつ目視で観察する必要があります。この作業は時間と手間がかかるうえ、高度な専門知識を要し、多くの医療機関で人手不足や負担増の大きな要因となっています。

近年、AI を活用した診断支援システムの導入が進んでいるものの、多くは「Whole Slide Image (WSI)」と呼ばれるガラス標本全体を高解像度でスキャンしたデジタルデータを前提としています。WSI を生成するには高価なスキャナや大容量ストレージが必要なうえ、スキャンやデータ処理に数分から数十分を要するため、リアルタイムでの判定支援には不向きです。このような機器投資や時間的コストは、小規模病院やリソースが限られた地域の医療機関にとって大きな導入障壁となっており、AI 診断支援の普及を妨げています。

### <研究手法・成果>

本研究では、OpenAI の「CLIP (Contrastive Language-Image Pretraining)」を基盤とし、子宮頸部細胞診に特化した AI モデル「CYTOLONE」を開発しました。このモデルは、低倍率の画像と細胞学的特徴の関連性を効果的に学習するために、階層的なラベリング構造（異常、悪性度、Bethesda 分類、推定診断）を用いて微調整されました。

CYTOLONE の最も画期的な点は、デジタル標本の作成が不要な新しいワークフローを提案していることです。顕微鏡に iPhone カメラをアダプターで接続し、取得した画像を Apple Silicon Mac でリアルタイムに評価する仕組みを採用しています。これにより、各画像を 0.5 秒未満でリアルタイムに処理することが可能になりました。

開発した CYTOLONE の性能を既存のモデルと比較評価したところ、すべてのカテゴリーで

精度が大幅に向上しました。特に、異常を検出する精度は 95.8%と高い水準を維持しつつ、より複雑な悪性度分類では 92.8%、Bethesda 分類では 61.5%、推定診断分類では 57.5%の精度を達成しました。これは、既存モデルと比較して Bethesda 分類や推定診断分類の精度が 2 倍以上に向上したことを意味します。

従来の AI が抱えるコストとリアルタイム性の課題を解決し、細胞検査士が顕微鏡観察中に AI のサポートをリアルタイムで受けられるシームレスなワークフローを実現しました。本ワークフローはリソースが限られた医療環境においても導入しやすく、低コストかつ即時性のある診断支援ツールとしての活用が期待されます。

### <今後の展開>

CYTOLONE は、細胞検査士の診断効率と精度を向上させる実践的なソリューションを提供します。今後は、本研究の成果をさらに実用化するため、様々な医療機関からのデータを用いた外部評価を実施し、実際の診断ワークフローにおける AI の効果を検証していく予定です。また、細胞検査士の負担を軽減するためのワークフロー最適化も継続します。

さらに、AI の診断確信度が低いケースに対しては、大規模言語モデル (LLM) を活用して鑑別診断の候補や追加検査の推奨を提案する機能の導入を検討しています。これらの取り組みを通じて、CYTOLONE は細胞診の未来を大きく変革し、医療現場のデジタル化と高精度化に貢献していきます。

### <発表雑誌>

英文科学雑誌 Modern Pathology (DOI: 10.1016/j.modpat.2025.100817)

### <論文タイトル>

Whole Slide Imaging-Free Supporting Tool for Cytotechnologists in Cervical Cytology

### <著者>

栗田佑希、目黒史織、杉浦勇希、東郷三四郎、神田由紀美、小杉伊三夫、榎本泰典、河崎秀陽、齊藤岳児、鈴木誠、坂根潤一、石堂統、新村和也、岩下寿秀

### <研究支援>

浜松医科大学再生・感染病理学講座／腫瘍病理学講座／光医学総合研究所先端研究支援部門  
先進機器共用推進部／光医学総合研究所先端生体イメージング研究分野ナノスーツ開発研究  
分野／次世代創造医工情報教育センター／遠州病院病理診断科／静岡県立総合病院病理学部  
／中東遠総合医療センター病理診断科

### <本件に関するお問い合わせ先>

国立大学法人 浜松医科大学 光医学総合研究所 先端研究支援部門 先進機器共用推進部  
〒431-3192 浜松市中央区半田山 1-20-1  
TEL: 053-435-2346  
E-mail: kuri358@hama-med.ac.jp

<参考図>

