

令和 6 年 4 月 23 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K09804

研究課題名（和文）深層学習を用いた甲状腺眼症の顔写真診断支援システムの作成

研究課題名（英文）Development of deep learning based diagnostic support system for thyroid eye disease

研究代表者

北口 善之（Kitaguchi, Yoshiyuki）

大阪大学・大学院医学系研究科・助教

研究者番号：30772842

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）：甲状腺眼症の早期発見と適切な治療開始のため、顔写真から眼周囲を自動検出し、治療が必要な可能性を判定するスマートフォン用AIシステムを開発した。これまでに開発した判定モデルと同等の精度を達成し、エッジAIでスマートフォンに実装することに成功した。本システムにより、甲状腺眼症専門医不在でも内分泌内科医や一般眼科医が治療が必要な患者をスクリーニングできる可能性が高まり、早期発見と適切な治療による患者のQOL維持と合併症防止が期待される。今後は、共同研究先と協力して画像収集を継続し、スマートフォン画像に最適化したモデルの開発を進める。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、甲状腺眼症の早期発見と適切な治療開始に大きく貢献し、患者のQOL向上と重篤な合併症の防止に寄与すると期待される。甲状腺眼症は、適切な治療が行われない場合、視力低下や複視などの後遺症を引き起こす可能性がある。しかし、専門医の不足により、早期発見と治療開始が困難な場合が多い。本研究で開発したスマートフォン用AIシステムは、専門医不在の状況下でも、内分泌内科医や一般眼科医が治療が必要な患者をスクリーニングできる可能性を高め、医療現場における利便性と汎用性を向上させる。また、AIを用いた診断支援システムの開発は、医療のデジタル化と効率化に貢献し、医療資源の最適化にも役立つと考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed a smartphone-based AI system for early detection and timely treatment of thyroid eye disease (TED). The system automatically detects the periorbital region from facial photos and determines the likelihood of TED requiring treatment. We achieved accuracy comparable to our previous TED classification model and implemented it on smartphones using edge AI. This significantly increases the potential for endocrinologists and ophthalmologists to screen patients needing treatment, even without TED specialists. Early detection and treatment are crucial for maintaining patients' quality of life and preventing severe complications. We plan to continue image collection and develop models adapted to smartphone images.

研究分野：眼科

キーワード：甲状腺眼症 深層学習 エッジAI スクリーニング 眼周囲写真

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 甲状腺眼症は自己免疫性甲状腺疾患に関連して発症する眼部の自己免疫性炎症性疾患であり、眼球運動障害や眼球突出などの特異的な顔貌の変化を引き起こすことにより、患者の身体的・精神的健康に悪影響を与える。さらに重症化すると視神経症による失明をきたす。甲状腺眼症は炎症が旺盛な「活動期」と、炎症が消退しつつある「不活動期」に分類されるが、活動期の初期に適切な治療を行うことにより症状を軽減させ重症化を防ぐことができるため、早期発見・適時治療が重要である。

(2) 甲状腺眼症の診断の自覚症状は「まぶたの腫れ」「顔貌変化」「眼の奥の痛み」など非特異的であるため、患者が医療機関を受診するまでにしばらく放置され、医療機関でも診断が遅れ、その間に重症化し適時治療のタイミングを逸して不可逆的な変化を残してしまう症例が少なくない。我が国では年間約 2 万人が甲状腺眼症を新規発症し、500 人～1000 人が甲状腺眼症による失明のリスクを負っている。甲状腺眼症は若年あるいは壮年期に好発するため、重症化すると学校や仕事を長期間休まなければならない、大きな社会的損失となる。

### 2. 研究の目的

(1) 本研究の目的は、従来であれば専門医の経験が必要であった甲状腺眼症の視診の技術を、近年進歩が著しい画像解析技術を応用することにより非専門医や患者にも活用できるようにすることであった。専門医は特徴的な顔貌である眼瞼後退、眼瞼腫脹、眼球突出、斜視の重症度を視診により評価した上で治療適応を決定しているが、本研究ではそれらの特徴に対して畳み込みニューラルネットワークを用いた深層学習を行うことで、専門医が不在の状況下においても顔写真から治療が必要な患者を選別できるようにすることを目的とした。

(2) 専門医不在の状況下における診療補助という性質上、成果物は医療のインフラが整っていない場所でも手軽に使えることが望ましい。そこで今回は深層学習モデルをスマートフォン上で動かす「エッジ AI」の技術について実装することで、甲状腺眼症の早期発見や効率的なスクリーニングを可能にし、斜視や失明などの後遺症防止を図ることを目標とした。

### 3. 研究の方法

(1) 2020 年度は大阪大学眼科およびオリンピア眼科病院の診療録データベース内に保存されている甲状腺眼症および非甲状腺眼症の写真に対して、ステロイド治療の有無、重症度（瞼裂高、眼球突出度、斜視、視神経症）および活動性（眼瞼腫脹、眼瞼発赤、結膜充血、結膜浮腫、淚丘充血）について複数の専門医による教師ラベル作成を行った。また、斜視の有無判定システムを開発し、甲状腺眼症判定システムのプロトタイプを作成した。

(2) 2021 年度は、教師ラベルを作成した各画像について、眼瞼、結膜、虹彩、瞼縁と瞳孔の自動検出システムを作成した。また、iPhone 端末を用いた自撮り画像収集アプリケーションを開発し、研究代表者および研究協力者の施設で患者の承諾を得た上で画像の収集を行った。

(3) 2022～2023 年度は構築した深層学習モデルをスマートフォン上で動作させるエッジ AI 試システムの構築を行った。

### 4. 研究成果

(1) 当院で取得した甲状腺眼症写真 333 枚、非甲状腺眼症写真 333 枚に対して、深層学習による分類を行ったところ、正解率 86%、養成的中率 89%、感度 82%、特異度 90% (ROC\_AUC 0.92) と、専門医と同等の精度で判定を行えることを発表した (図 1、2)。さらに、甲状腺眼症診療に欠かせない眼球突出度測定についても眼周囲写真から深層学習を用いることにより高精度で推定できることを発表した (図 3)。

図 1. 甲状腺眼症の有無判定タスクにおける、学習枚数と正解率の関係

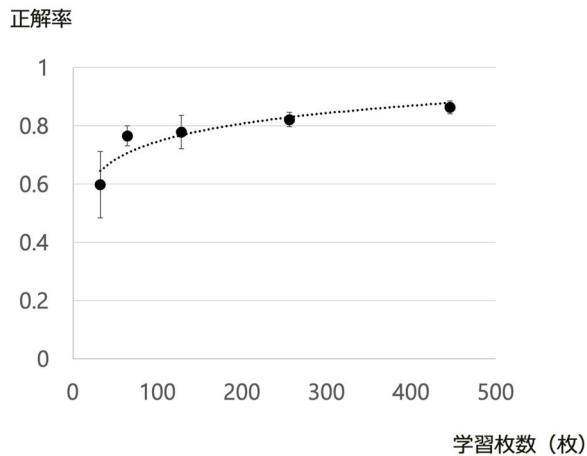
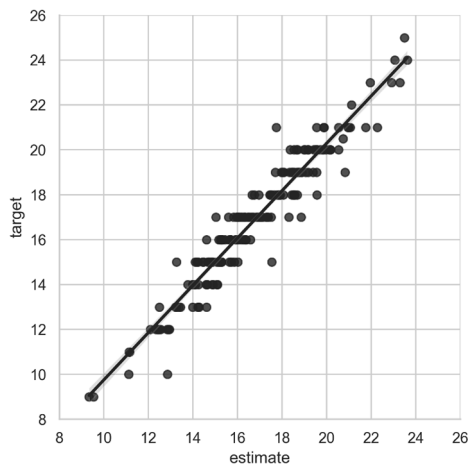


図 2. 深層学習モデルは、甲状腺眼症の有無を専門医と同等の精度で判定することが示された

	専門医 1	専門医 2	専門医 3	専門医平均	EfficientNet
正解率	0.89	0.79	0.89	0.86	0.86
陽性適中率	0.92	0.97	0.89	0.93	0.89
感度	0.85	0.59	0.93	0.79	0.82
特異度	0.92	0.98	0.83	0.91	0.90

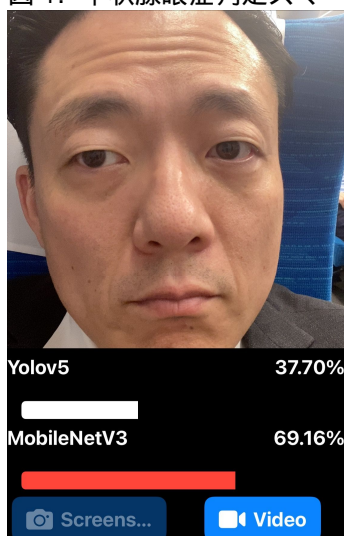
図 3. 深層学習を用いた眼球突出度の推定。ヘルテル眼球突出計による実測値との相関。単位は mm。



(2) (1)の研究で用いている手法を応用し、斜視や先天性緑内障を眼周囲写真から鑑別するモデルを作成し論文発表した。これにより、本手法が眼周囲に異常をきたすあらゆる疾患に応用可能なことが示された。

(3) (1)の成果物を、スマートフォンのカメラを入力とし、スマートフォン上で推論が行えるような実装を行った(図 4)。コンピューターのモニター上に映した眼周囲画像をスマートフォンで撮影して判定を行った場合の精度について、もともとのコンピューターモデルと比較すると、コンピュータ版(正解率 84%、陽性的中率 83%、感度 85%、特異度 83%、F1-score 0.84、ROC-AUC 0.91)とスマートフォン版(正解率 86%、陽性的中率 92%、感度 78%、特異度 93%、F1-score 0.85、ROC-AUC 0.92)では同等の精度が得られ、判定の一致率も 87% (Cohen's Kappa 0.74) と良好であった。

図 4. 甲状腺眼症判定スマートフォンアプリの外観



(3) 本研究の最終目標は、深層学習のモデルをスマートフォンに実装し、専門医不在の状況下でも甲状腺眼症のスクリーニングができるようにすることである。今回の深層学習モデルは、眼科クリニックで1眼レフを用いて撮影した画像を用いてトレーニングされたものであり、スマートフォンで撮影した画像における精度には課題が残る。各研究機関で画像を効率的に収集できるスマートフォンカメラアプリケーションを作成し、共同研究機関とともにスマートフォン画像の収集を開始した(図5)。

適切なモデルが作成され次第、医療機器承認、スマートフォンアプリとしてのリリースを目指す。本研究の成果により、甲状腺眼症の早期発見や効率的なスクリーニングができるようになり、斜視や失明などの後遺症防止に貢献することが期待される。

図 5. 多施設画像収集用スマートフォンアプリケーション。収集画像は匿名化され、対応表とともに端末内に保存される。



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 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kitaguchi Yoshiyuki, Hayakawa Rina, Kawashima Rumi, Matsushita Kenji, Tanaka Hisashi, Kawasaki Ryo, Fujino Takahiro, Usui Shinichi, Shimojyo Hiroshi, Okazaki Tomoyuki, Nishida Kohji	4. 巻 13
2. 論文標題 Deep-learning approach to detect childhood glaucoma based on periocular photograph	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Scientific Reports	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) 10.1038/s41598-023-37389-2	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 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 2件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 北口善之
2. 発表標題 電子カルテの画面上で利用できるスマホ搭載型甲状腺眼症識別AIシステムの実証研究
3. 学会等名 第127回日本眼科学会総会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 北口善之
2. 発表標題 眼科医向けAIの活用法
3. 学会等名 第77回 日本臨床眼科学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yoshiyuki Kitaguchi
2. 発表標題 Collaborative Oculoplastic and ENT Surgeries in Japan
3. 学会等名 1st midterm conference of All India Rhinology Society (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 北口善之
2. 発表標題 AIによるデジタル眼球突出計の開発 制約への挑戦
3. 学会等名 第4回 日本眼科AI学会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 北口善之
2. 発表標題 深層学習を用いた眼位写真による小児緑内障の識別
3. 学会等名 第126回日本眼科学会総会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 北口善之
2. 発表標題 深層学習を用いた眼周囲写真からの甲状腺眼症の識別
3. 学会等名 第65回日本甲状腺学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 北口善之
2. 発表標題 深層学習を用いた眼周囲写真からの眼球突出度推定
3. 学会等名 第3回日本眼科AI学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 北口善之
2. 発表標題 深層学習を用いた外斜視および内斜視の識別
3. 学会等名 第2回日本眼科AI学会総会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 北口善之
2. 発表標題 深層学習を用いた眼位写真による小児緑内障の識別
3. 学会等名 第126回日本眼科学会総会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 山口剛史、北口善之	4. 発行年 2022年
2. 出版社 文光堂	5. 総ページ数 200
3. 書名 新篇眼科プラクティス 2 細隙灯顕微鏡の徹底活用～キミはどこまで見えているか	

〔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	川崎 良  (Kawasaki Ryo)  (70301067)	大阪大学・大学院医学系研究科・教授   (14401)	

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 分 担 者	長原 一  (Nagahara Hajime)  (80362648)	大阪大学・データビリティフロンティア機構・教授    (14401)	

	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	井上 吐州  (Inoue Toshu)	オリンピア眼科病院	
研究 協 力 者	神前 あい  (Kouzaki Ai)	オリンピア眼科病院	

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