

令和7年度
修士論文要旨集

高知大学大学院 総合人間自然科学研究科

理工学専攻 情報科学コース

電子化指導案にもとづく研究授業レビュー支援手法

情報科学コース

陣内 基聖

高知県では中山間地域の過疎化に伴い県立高等学校の維持存続が困難となっている。また、平成 26 年度に高知県教育委員会により策定された県立高等学校再編復興計画において、県立高等学校 37 校のうち 13 校が遠隔合同授業の導入や ICT の活用を条件として、特例的に「1 学年 1 学級 20 名以上」として小規模校として存続されてきた。しかし、1 校あたりの教員数が非常に少ない状況が維持されている。加えて、若手教員の授業に対し指導可能なベテラン教員の大量退職・大量採用により、特に若手教員の早期の指導力向上が求められている。

教師教育の維持・向上を目的とした仕組みとして研究授業が知られている。研究授業は、指導主事や学校長、複数の教員が若手教員の授業を参観し、批評や助言を行い、若手教員はそれらを参考に授業改善に繋げるというものである。研究授業の教師教育への有効性については、先行研究による高知県立高等学校の教員 127 名を対象としたアンケート調査の結果から明らかとなっている。しかし、教員数の減少や通常授業や校務により多忙であること、中山間地域特有の他校との距離の遠さや交通の便の悪さなどに起因して、研究授業に参観する教員数の確保が問題となっている。参観者の減少は、研究授業の形骸化を招くことで教師教育の質向上を妨げる要因となる。

そこで本研究室では、対面の研究授業の支援に加え、時間的・地理的要因により参観できない教員に対し、オンライン上で研究授業を再現する研究授業レビュー支援システムの開発を行っている。遠隔非同期による研究授業に対するレビューを可能とする環境を提供し、参観者を確保することで授業改善に必要な指摘を得ることを目的としている。授業風景を複数視点から撮影した授業動画に対して指摘コメントを作成するためには、再生されている授業動画が電子化指導案に記述されている授業進行表示のどの項目に関するものかを知る必要がある。また、その対応状況をインタフェース上で視覚的に表現してレビューに提示することが必要である。

本研究では、電子化指導案と収録された授業動画との関連付け機能を提案する。授業の展開と電子化指導案の関連付けを行う方法として最も簡易なものは、サポート教員や指導主事により、手動で関連付けを行う方法である。しかし、研究授業への参観者が減っている状況で関連付け作業を行う別の教員を確保することは難しい。そこで、本研究では、撮影された授業動画全体の時間に対して、電子化指導案に記述される授業進行の予定時間を利用し、ある程度の精度で電子化指導案に記載された授業進行表示と授業動画のタイミングの同期を図った。しかし、実際に予定通り正確に授業が進行することは稀であり、その点を考慮した補正が必要であることがわかった。そこで、本研究では、指導案に記述される授業進行の各項目から抽出した特徴的なキーワードと、授業者の発話内容を音声認識によりタイムスタンプ付きの文字起こしを行ったテキストデータを生成 AI にプロンプトとして入力し、授業進行の各ノードの開始時間を推定した結果を用いて、電子化指導案上の授業進行表示と授業動画のタイミングの同期の補正に取り組んだ。

本研究では、電子化指導案上の授業進行表示と授業動画の同期的再生方法、音声認識を用いた授業進行検出および、それらを踏まえた研究授業レビュー支援ツールを試作し、試作した結果から得られた知見を修士論文としてまとめた。

味の感じ方は、味覚そのものだけでなく、色や形といった視覚的要素から多大な影響を受けることが多数の先行研究によって明らかにされている。過去の研究では、マカロンの色相、彩度、明度の違いが嗜好性に影響を及ぼしていることが示されている。また、皿に盛り付けられたショートケーキの画像を用いた実験では、彩度が高い食品が甘味を強く感じるという結果が得られた。よって、食器の色を調整することで食品そのものを変えずとも、甘味の印象をコントロールできる可能性を示唆している。さらに、食品と食器の視覚情報が食欲に与える影響については、単に皿の色のみが関与するのではなく、食器と食品の同時対比現象が重要な役割を果たしているのではないかと考えられている。

このように視覚情報が味覚に影響を及ぼす背景には、味覚が人間にとって生命維持に不可欠な役割を担っているという事実がある。味覚は、食事を楽しむための感覚であると同時に、危険な食べ物を避けるための防衛機能でもある。甘味、酸味、塩味、うま味、苦味からなる五つの基本味の中でも、甘味は生命のエネルギー源である糖分を示す重要なシグナルである。そのため、エネルギーが不足すると身体は積極的に糖分を取り入れようとし、空腹時ほど甘いものを美味しく感じるよう調整されている。また、甘味の摂取は脳内の多幸感をもたらすホルモン濃度を上昇させ、精神的なストレスを緩和する効果も実証されている。しかし、この幸福感は精神的疲労には有効であるものの、肉体的な疲労を根本から回復させるものではない。むしろ、強い甘味を求め続けることは、過剰なカロリー摂取による肥満や、高血糖に伴うさらなる疲労感、さらには糖尿病、心筋梗塞、虫歯といった深刻な疾患のリスクを増大させる。

過剰な甘味摂取に伴う健康リスクを低減するためには、糖分摂取量を物理的に減らしつつ、満足度を維持する手法が求められる。そこで本研究では、食器と食品の色の組み合わせが甘味のイメージに与える影響に着目した。本研究の目的は、こうした食器と食品の色の組み合わせが味覚イメージに与える影響を明らかにするために使用する、実験ツールの開発である。

従来、視覚研究における刺激提示には、VSG (Visual Stimulus Generator) に代表される専用ハードウェアが用いられてきた。これらは高精度な制御が可能であるが、高価で特定の研究室内に環境が限定されるという制約があった。また、一般的なアンケートフォームを用いた研究では、画面上のインターフェース要素が被験者の注意を分散させる点や、静止画像では色や質感を自由に調整できないといった課題があった。そこで本研究では、オープンソースの 3DCG ソフトウェアである「Blender」を用いて、食器と食品の 3D オブジェクトを作成し、被験者が 3D オブジェクトの色や質感を自由に操作できるシステムを作成した。また、被験者は 3D オブジェクトを 360 度自由な角度から観察できるため、食器と食品の組み合わせによる影響が明らかになるのではないかと考えている。

開発したフォームは、不要なテキスト情報を排除したシンプルな設計としており、被験者が刺激の操作に集中できる環境を実現した。本システムを通じて、食器と食品の色の組み合わせが味覚イメージに及ぼす影響を検証するための基盤が整った。本研究の成果は、将来的に視覚情報を活用することで、実際の糖分摂取量を増やすことなく甘味のイメージを調整し、現代社会における健康維持に寄与する新たな知見をもたらすものと期待される。

機械学習による農作物の品質評価および自動選別システムの開発

—官能検査結果のフィードバック機能の実装—

情報科学コース

堤 玲音

本研究では、施設園芸における高品質トマト生産を支援することを目的として、環境データに基づく品質評価および自動選別手法の検討を行った。近年、施設園芸分野では ICT や IoT 技術の導入により、温度、湿度、日射量などの環境データを高頻度で取得することが可能となっている。一方で、既存の環境モニタリングシステムでは、収量の予測や病害管理が主な対象であり、糖度や食味といった品質指標を定量的に評価し、営農改善に結び付ける仕組みは十分に確立されていないという課題がある。

そこで本研究では、まず公開データを用いて環境データに基づく収量予測モデルの構築を試みた。ランダムフォレスト回帰を用いた解析の結果、データをランダムに分割した場合には一定の予測精度が得られたものの、収穫期を分けた時系列的な検証では予測精度が大きく低下した。この結果から、環境データのみを用いた収量予測には限界があり、生育量や栽培管理といった追加情報の重要性が示唆された。

次に、高知県農業技術センターより提供を受けた実測データを用い、より詳細な検証を行った。収量データについては、取得期間の限定性や欠測の影響により高精度な予測は困難であった。一方で、糖度データに着目し、環境および水管理データを説明変数とした糖度予測モデルを構築した結果、限定的ではあるものの、糖度変動の一部を説明可能であることが確認された。これは、糖度が収量と比較して短期間の環境条件や水分状態の影響を受けやすく、環境データとの対応関係が比較的直接的であるためと考えられる。

さらに、本研究では、糖度予測に基づく自動選別結果に対して官能評価をフィードバックとして導入する手法を提案した。その結果、境界付近のサンプルに対して限定的な補正が行われ、自動選別の信頼性を損なうことなく品質判定の柔軟性を向上できることが示された。また、官能評価結果を環境データと関連付けて蓄積・分析することで、将来的には生育環境の改善に向けたフィードバック情報として活用できる可能性が示唆された。

今後の課題として、第一に実際の官能検査データを取得し、本研究で提案した擬似官能評価手法との比較検証を行うことが挙げられる。これにより、仮想官能評価の妥当性を定量的に評価できると考えられる。第二に、本研究で構築した自動選別システムを、既存の環境モニタリングシステム（例:SAWACHI）と統合し、現場運用を想定した検証を行うことが期待される。環境データから品質予測、選別までを一貫して行うことで、高品質トマト生産を支援する実用的な意思決定支援システムへ発展させることが可能である。第三に、糖度・酸度に加えて、外観画像や食感センサなどの情報を統合したマルチモーダル品質評価への拡張も有望である。これにより、より人間の感覚に近い総合的な品質評価システムの構築が期待される。

ヘテロジニアス型マルチ GPU クラスタシステムによる 4K 解像度位相型リアルタイム電子ホログラフィ

情報科学コース

土居 明可

ホログラフィは、三次元物体から発せられる光の波面を忠実に記録・再生できる技術である。光の波面を干渉縞として光学フィルムなどの媒体に記録したものをホログラムという。ホログラフィによって得られた立体像は視覚疲労が生じず、長時間の利用が可能である。

コンピュータ上で作成されるホログラムは計算機合成ホログラム (Computer-Generated Hologram, CGH) と呼ばれる。CGH により電子化されたホログラフィ (電子ホログラフィ) は「究極の三次元映像技術」になると期待されている。CGH には振幅型と位相型がある。振幅型 CGH に参照光を照射すると、本来再生されるべき三次元物体の像 (再生像) に加え、再生像と CGH に対して対称の位置に共役像が再生される。鮮明な再生像を得るには、共役像が再生像と重ならないように配置に工夫が必要となる。一方、位相型 CGH では共役像が再生されないため、振幅型 CGH に比べてより大きな三次元物体像を再生することができる。しかし、位相型 CGH は振幅型 CGH よりも計算量が多くなる。振幅型および位相型のいずれの CGH も計算量が膨大である。リアルタイム再生は困難であり、未だ実用化には至っていない。

本研究では、ポイントクラウドモデルに基づく三次元物体から生成される位相型 CGH を用いる。振幅型および位相型 CGH は、画素ごとに独立して計算できるため並列計算に適している。また、計算された CGH の画像を空間光変調器に表示する必要があることから、Graphics Processing Unit (GPU) を用いた処理が有効である。これまで、GPU を用いた高速 CGH 計算に関する研究が多数報告されている。

近年の AI ブームに伴い、最新の GPU は AI 処理で必要となる低精度演算の性能を向上させている。また、GPU に搭載されるメモリ容量も増加している。一方で、CGH 計算には高精度の浮動小数点演算が求められるため、近年の GPU の設計方針との間に乖離が生じつつある。当研究室ではこれまで、Ampere アーキテクチャ以降の GPU に適した三角関数の演算回数を低減する高速 CGH 計算手法の開発や、同種 GPU を用いたホモジニアス型マルチ GPU クラスタシステム、異種 GPU を用いたヘテロジニアス型マルチ GPU クラスタシステムを用いた電子ホログラフィの研究を行ってきた。しかし、近年の GPU は大きさ、重量、消費電力が増加し、価格も高騰している。そのため、複数枚の GPU を用いるマルチ GPU クラスタシステムの構築は容易ではない。

本研究では、消費電力と熱を測定し、耐荷重をシミュレーションで検討したうえでアルミ棒製の筐体を製作し、コンシューマー向け PC パーツを用いてヘテロジニアス型マルチ GPU クラスタを構築した。これにより、4K 解像度の位相型 CGH を高速に計算可能な環境を実現した。本システムでは、計算ノードとして NVIDIA GeForce RTX 4090 を 12 枚、NVIDIA GeForce RTX 3080 を 12 枚の計 24 枚を搭載した。GPU に適した計算手法を適用するとともに、10 Gbps の高速ネットワークを用いてノード間通信を最適化することで、通信ボトルネックを解消した。さらに、開発したヘテロジニアス型マルチ GPU クラスタシステムを用いてリアルタイム手書き投影システムを構築した。その結果、4K 解像度の位相型 CGH において、約 35 万点の点群から構成される三次元物体を 30 fps でリアルタイムに再生することに成功し、手書き入力リアルタイムに描画されることを確認した。

カラーホログラフィック空中ディスプレイの開発

情報科学コース

中谷 優月

ホログラフィは、三次元物体に参照光を照射して得られる物体光を記録・再生する技術であり、視覚疲労が生じにくいことから「究極の 3D 映像技術」として期待されている。しかし、計算機合成ホログラム (Computer-Generated Hologram, CGH) の生成には膨大な計算量を要し、さらに表示デバイスの制約により視域が狭くなるため、未だ実用化されていない。本研究では、ホログラフィの三次元再生能力を活かしつつ、表示形態としては空中に像を提示できる空中ディスプレイの実現を目指す。

空中ディスプレイは、光源からの光を光学系で収束させ、空中に実像を形成する技術である。現在実用化されている方式の多くは平面ディスプレイを光源とするため、得られる空中像は平面的で三次元性に乏しい。コロナ禍には非接触操作の需要から注目を集めたが、アフターコロナでは利便性の低さから利用は減少している。このため、三次元映像を空中に再生できる新たな空中ディスプレイが求められている。

当研究室ではこれまで、この課題を解決するため、ホログラフィックプロジェクタと再帰性反射シートを用いて空中に三次元物体を再生するホログラフィック空中ディスプレイ装置の開発を進めてきた。ホログラフィックプロジェクタは、参照光を CGH に照射し、そこに記録された三次元物体の情報を光として再生して実像を投影する装置である。ホログラフィック空中ディスプレイは、ホログラフィックプロジェクタから再生された三次元像を立体スクリーンに結像させ、その拡散光を再帰性反射シートにより収束させて、観察者方向の空中に三次元像を実像として形成するディスプレイである。しかし、現状の空中三次元映像は単色であり、物体の識別性や視認性を向上させるためにもカラー三次元空中像の再生が求められている。ホログラムに記録された干渉縞は光の干渉・回折により再生されるため、再生像は参照光の波長に依存する。CGH の計算式にも波長が含まれており、単色光を前提に計算された CGH からは単色像しか得られない。したがって、カラー再生を実現するには、赤・緑・青それぞれの波長に対応した CGH を個別に計算し、3 枚の CGH を生成する必要がある。そのため、計算量は単色の場合と比較して 3 倍となる。

本研究では、カラー映像を時分割で表示するカラーフィールドシーケンシャル (CFS) 方式のフル HD 位相型空間光変調器 (SLM) を用いたカラーホログラフィックプロジェクタを開発し、カラー三次元空中像のリアルタイム再生を実現する。赤・緑・青の CGH はマルチ GPU クラスタシステムにより高速計算する。本システムは 3 ノードから構成され、CGH 計算を行う 2 台の計算ノードと、CGH を SLM に表示する 1 台の表示ノードで構成される。計算ノードには 1 ノードあたり 6 枚の GPU (NVIDIA GeForce RTX 4090) を搭載し、表示ノードには 1 枚の GPU (NVIDIA GeForce GTX 1080 Ti) を搭載する。計算ノードではパイプライン処理を行い、GPU 枚数に比例した高速化を実現する。計算ノードで生成された赤・緑・青の CGH は、10 Gbps の高速ネットワークを介して表示ノードへ転送される。表示ノードでは受信した CGH を合成し、1 枚のカラー CGH を生成して CFS 方式 SLM に出力する。SLM は生成されたカラー CGH から赤・緑・青の CGH を展開し、180 Hz で時分割表示する。ただし、CGH の表示タイミングと光源の色を同期させる必要があるため、SLM から出力される同期信号を用いて CGH 表示と光源色を同期させる回路を FPGA により開発した。最終的に、1 色あたりの物体点数が約 36 万点の物体を 30fps で、また、約 17 万点の物体を 60fps で、カラー三次元空中像をリアルタイム再生できることを確認した。

白杖歩行支援デバイス開発における牽引力錯覚の検討と物体検知の強化

情報科学コース

中野 翔太

日本の視覚障害者数は約 27.3 万人であり、社会福祉法人日本盲人会連合による調査では、多くの視覚障害者が日常的に外出しているという。このことから、視覚障害者にとって外出は身近なものであると言える。また、視覚障害者は外出時に様々な補助具を利用しているが、どれも万能であるとは言えない。

これに対し当研究室では白杖利用者に対し、白杖に深度センサなどを組み合わせた「白杖型歩行支援デバイス」の研究・開発を行ってきた。デバイスの開発は現在 3 分野（危険検知分野・通知分野・局所的ナビゲーション分野）に分かれており、特に通知分野においては、音声、風、振動など、様々な手法を用いたユーザへの情報提示デバイスの提案がされてきた。しかし、そのどれもが多少なりとも課題を抱えている。また危険検知分野に関しても、デバイスの物体検出アルゴリズムはその大部分が初期からあまり変更が行われておらず、Depth データのみを用いた物体検出手法を扱い続けてきた。しかし、近年では AI 技術の発展により、YOLO のようなリアルタイム処理が可能な物体検出アルゴリズムが登場している。そこで、新たに「牽引力錯覚」や「YOLO」といった 2 つの手法に着目し、これまでに提案されてきた情報提示デバイスよりも直感的な新たなデバイスの提案と、より高精度な物体検出アルゴリズムの検討を行った。

まず、錯覚を生起させる通知デバイスを作製し、その性能評価を実施した。評価の結果、知覚能力に個人差はあるものの、本デバイスによって牽引力錯覚を誘発できることが確認された。また、実用上の最小構成である左右方向の提示に関しては十分な弁別性能が確認されたことから、本デバイスは歩行誘導に必要な十分な出力を有していると判断した。さらに、弁別性能の安定性を向上させるため、独自の刺激強調処理を考案した。これは、目的方向とは逆方向の刺激(予備刺激)を短時間先行提示する手法であり、主観評価では弁別の容易化に大きく寄与することが示された。パラメータの最適化の結果、予備刺激時間を 0.2 s から 0.4 s の範囲とし、回数を 1 回とする設定が最適であるとの知見を得た。以上の知見に基づき、実歩行下での誘導性能を評価した結果、システムが確実に機能するための 2 つの運用要件を導出した。第一に、デバイスの把持姿勢である。提示される牽引方向と指先方向を平行にし、かつユーザの左右方向と刺激方向を一致させることで知覚効率が最大化される。第二に、本通知の 0.5 s 前に注意喚起を目的とした対称振動(予備振動)を付与することである。また、システムが自動通知を行う際の「通知開始距離」についても検証した。その結果、障害物手前 3.0 m に設定することで、ユーザが知覚を確信し、かつ余裕を持って回避行動を開始できることが明らかとなった。

通知手法の確立と並行し、システムの危険検知能力を強化するため、YOLO を用いた物体検出機能を統合した。まず、障害物を配置した屋内通路において新旧システムの比較評価を行った。しかし、屋内環境では障害物の種類が限定的であったため、詳細な物体識別の恩恵が十分に発揮されず、所要時間や歩行容易性の評価において両システム間に顕著な差は認められなかった。そこで、検知対象が多様な屋外環境にて実地実験を実施した結果、具体的なオブジェクト名を音声報知することで、ユーザの安心感が向上することが確認された。これにより、複雑な実環境においては、物体検出機能を備えた新システムの方が高い歩行容易性を提供できることが実証された。

習慣化支援アプリを活用した学生向けの計画力向上支援システムの開発

情報科学コース

村上 一輝

近年、コロナ禍をきっかけに大学教育のスタイルは、オンデマンド型オンライン授業などの新たな形で広く行われるようになった。それに伴い学生には、自身で受講時間を決める、課題へ取り組む時間を決め進捗によって予定を修正するなどの能力がこれまで以上に求められるようになった。この状況にうまく対応できず、講義への出席や課題の提出がうまくいかない学生が存在する。このような学生の支援に、著者の所属する研究室で開発を行っている習慣化支援アプリを活用できるのではないかと考えた。

本研究では習慣化支援アプリを活用し、スケジューリング支援とアウェアネス支援という二つの支援手法を軸に「学生向けの計画力向上支援システム」の開発を行い、実際の講義を用いてその効果を検証する。まず、習慣化支援アプリはユーザの継続したい取組を定着させるため支援対象をユーザ同士の関係性によって二つの集団に分類し異なる機能で支援する。家族などの強いつながりを持つ集団にはチーム機能、ネットワーク上の他のユーザなどつながりの弱い集団には習慣知機能を用いる。習慣化支援アプリを本システムで活用するために、支援対象として、先述したものと異なる集団である同じ講義を受ける学生達を想定し、二つの手法を用いて支援するクラス機能を設計した。

一つ目の手法のスケジューリング支援では、講義で出された課題を元にしたスケジューリングフォームをユーザに提供する。これによってユーザは課題名や内容の入力といった工程を省略してスケジューリングを行うことができる。ユーザは、認知的負荷が学習に適切になるよう調整された状態で繰り返し練習を行うことで、スケジューリング能力の向上を図ることができる。

二つ目の手法のアウェアネス支援では、毎日決まった時間に通知を各ユーザに送信し、他のユーザの取り組み状況や課題の提出期限を意識させることで、ユーザに自身の計画が適切であるかを見直す気づきを与える。通知の内容はクラス全体の課題の提出状況や課題の締切までの時間によって変化する。これによってユーザは状況を俯瞰し、柔軟に計画を変えて課題の提出を完了する過程で、ユーザの批判的思考を養い、客観視能力を成長させることができる。

クラス機能を実現するために、習慣化支援アプリと学習管理システム(LMS)の Moodle を連携させる機能を開発した。Moodle 上で行われる課題の作成及び提出を検知し、通信を行うプラグインの開発を行った。また、Moodle プラグインには習慣化支援アプリと連携を行うための管理者、教師及び学生それぞれに向けたインタフェースを追加した。そして、プラグインからの通信を保存するデータベースと習慣化支援アプリ間でやり取りを行う API を搭載した習慣化支援サーバを開発した。通信の安全保障のため、公開鍵暗号方式を用いた認証機能とアドレスの照合機能を追加した。

試作したシステムを実際の講義の中で学生に使用させ、被験者の匿名性を確保した上で評価実験を行った。第5回から第9回の講義で課題(小テスト)への取り組みのデータを収集し、終了後にアンケートを行った。結果として、習慣化支援アプリを使った学生の課題提出率の上昇と課題提出の早期化が確認できた。アンケート結果の分析により、スケジューリング支援においては通知によるリマインダー機能が有効であること、アウェアネス支援においては通知による提出期限を意識させる手法が効果を発揮することを結論付けた。

視覚障害者には、文字や図形などの視覚情報を得る代替手段として、聴覚や触覚を用いる方法が存在する。文字など言語化可能な情報に関しては、音声読み上げソフトや点字により情報アクセスの障壁は比較的緩和されている。しかし、時間によって変化する動的情報を提示する有効な手段は未だ確立されていないのが現状である。

盲学校にスピーカアレイの展示に行った際、視覚障害のある生徒にとって習字は身近な学習科目の一つであるが、現状では教員が直接手を添えて文字の形状を伝える指導法に頼らざるを得ず、効果的な練習方法の模索が続いているとのことであった。また、弱視教育の現場において字形のバランスの崩れなど正しい書き順が定着せず、自己流の書き方が定着しているという現状がある。これらの課題の背景には、視覚活用の困難さからくる「見えにくさ」だけでなく、「細部の表現や全体のバランスへの意識が希薄なまま書字の経験が積み重ねられてきたこと」が要因として挙げられている。

本研究では、前述した教育現場からの切実なニーズを鑑みて、スピーカアレイと XY プロットを用いた音声と力覚を活用したマルチモーダルな習字学習システムを提案する。

初期の試みとして、従来の静的な触図と併用したマルチモーダル提示を提案した。その結果、静的な形状の認識においては解像度の向上が確認できた。しかし、触図はあくまでも動かない「静的」なものであるため、時間の経過とともに変化する動的情報や、書き順・筆勢といった連続的な動きを伝えるには限界があった。また習字学習における課題解決のためには形を知るだけでなく、正しい運筆のリズムと筆圧の変化を、実際の動作を通じて身体的に体感させることが必要不可欠である。

そこで動的なマルチモーダル提示の実現、自律学習の支援、学習効果の検証の 3 点を研究目的とし、視覚遮断環境下での被験者実験を行った。永字八法と呼ばれる書道基本技法を網羅した 3 文字を、提案システム、プロットのみ、スピーカアレイのみの 3 手法で学習を行い比較した。評価手法は、被験者および書道経験者による主観的評価指標に加え、筆記文字の形状合致度を用いた客観的評価指標の計 3 点から構成した。

分析の結果として、プロットによる物理ガイドは字形の正確な再現に不可欠であり、スピーカアレイによる音像定位と音による書字運動の伝達は、触覚ガイドが苦手とする時間的な情報伝達を可能とした。そして提案手法は学習者に一時的な負荷をかけるが、初学者の書字品質を向上させる事がわかった。一方で経験者や複雑な文字に対しては、情報過多によって逆の結果を示した。

以上の結果から、提案システムは「位置情報の触覚」と「運動情報の聴覚」を相補的に機能させることで、効果的な学習支援を実現しうると結論付けられる。

今後の展望としては、今回の実験で示唆された「情報過多」や「干渉」の問題を解決するため、学習者の熟達度や文字の難易度に応じて、ガイドの強度や提示情報を段階的に調整する機能の実装や、個人の運筆タイミングにリアルタイムで追従する適応的な提示制御の検討が必要であると考えられる。

胸部 X 線画像の不均衡データに対する
サンプリング手法と AUC 最適化の相乗効果に関する研究

情報科学コース

山市裕也

胸部 X 線画像の病変分類では、対象病変の有病率が低いことが多く、陽性（少数派）と陰性（多数派）の比率が大きく偏るクラス不均衡が生じる。この不均衡は学習時に多数派の損失寄与が支配的となり、少数派の感度（Recall）低下や偽陰性増加を招き得る。加えて、不均衡下では ROC 曲線・ROC-AUC の解釈が楽観的になり得るため、少数派性能をより直接に反映する AUPRC 等も併用した多面的評価が必要となる。一方、医療画像分類では ROC-AUC をモデル選択に用いる場面が多いにもかかわらず、一般的な交差エントロピー学習は ROC-AUC を直接最適化しない。この不一致に対し、LibAUC に代表される AUC 直接最適化は有力であるが、AUC が陽性・陰性のペアワイズ順位付けに基づく性質上、ミニバッチ内のクラス比率やペアの構成に依存して学習挙動が変化し得る。したがって、データ分布を変更するサンプリングと AUC 最適化の併用が常に有利とは限らず、改善・不変・劣化のいずれも起こり得るにもかかわらず、その相互作用は体系的に検証されていない。

本研究は、胸部 X 線画像の不均衡学習において、データレベル対策（サンプリング）とアルゴリズムレベル対策（AUC 直接最適化）の相互作用を定量的に明らかにすることを目的とする。具体的には DenseNet121 をベースラインとし、単一病変（二値分類）で代表的サンプリング手法（オーバーサンプリング、アンダーサンプリング/クリーニング、ハイブリッド）を複数比率で比較した。さらに、手法によっては目標比率と実際の達成比率が乖離し、性能差の解釈に交絡を生む点に着目し、比率の実現可能性チェック、skipped 記録、達成比率の保存を運用として組み込んだ。得られた知見を踏まえ、5 病変のマルチラベル分類へ段階的に拡張し、Binary Relevance に基づく病変別学習と病変別最適サンプリングの転用、Manifold Mixup、重み付き確率サンプリング、MLSMOTE 等のアプローチを比較した。評価は ROC-AUC に加えて AUPRC および混同行列に基づく指標を併用し、外部評価として CXR8 を用いた。

実験の結果、単一病変では病変ごとに最適なサンプリング比率・手法が異なり、併用効果は一様でないことが確認された。特に浮腫では高比率（0.9）のランダムオーバーサンプリングが AUC・AUPRC ともに改善し、 $\Delta AUC=+0.0251$ の向上を示した一方、浸潤影では中比率（0.5）が最良で高比率では改善が鈍化するなど、過度な分布変更が有利とは限らない傾向が観測された。マルチラベルでは複数アプローチで macro AUC の明確な改善が得られず、単一病変で有効だった戦略の単純転用には限界があることを示した。これはラベル共起による交絡、マルチラベル AUC 最適化の学習特性、統計的ばらつきとサンプルサイズ等の影響可能性を示唆する。以上より、本研究はサンプリングと AUC 最適化の相互作用を単一病変からマルチラベルへ整理し、達成比率管理を含む再現性の高い比較枠組みを提示するとともに、臨床的に重要な偽陰性削減の観点から不均衡対策の適用条件と限界を明確化した。今後は交差エントロピー条件との直接比較、シード数増加、共起分析と可視化、特徴空間での SMOTE/ADASYN、他データセットでの外部検証により、相互作用の機序解明と知見の一般化を進める。