

核鑑識のための電子顕微鏡画像解析による核物質分類と未知物質の検出 — 深層距離学習モデルを使用した新しい核物質異同識別手法 —

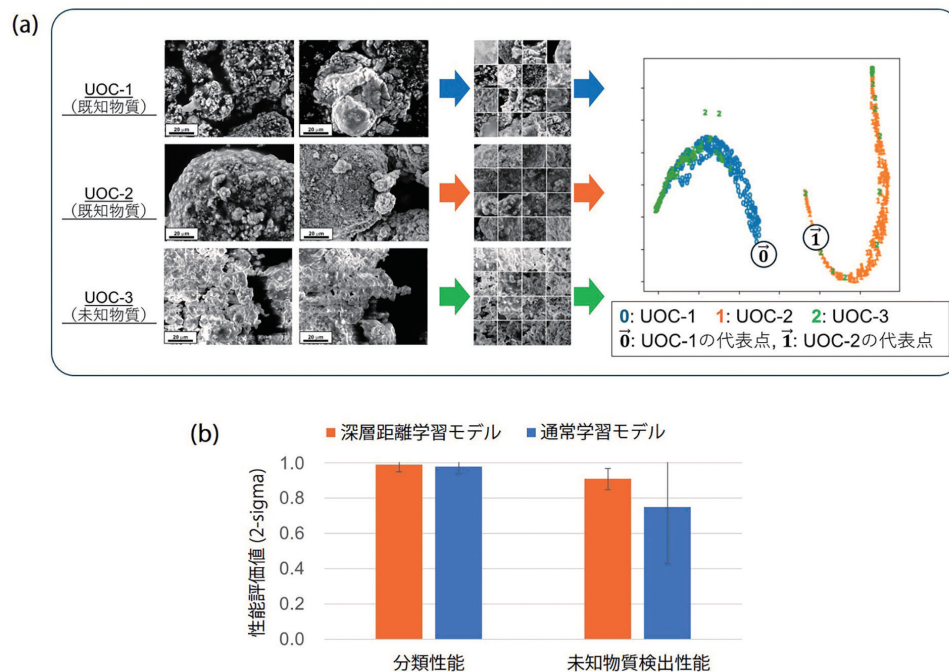


図1 深層距離学習により訓練されたCNNモデルによる核物質電子顕微鏡画像の識別

小正方形に分割された核物質の電子顕微鏡画像はCNNモデルにより多次元空間に投影され、既知物質画像の代表点からの距離に基づいて未知物質が検出されます。UOC-3を仮想的な未知物質とした図1 (a) の例では、多次元空間における既知物質画像の代表点の位置がUOC-1:0̄, UOC-2:1̄で表され、個々のテスト画像の位置がUOC-1:0, UOC-2:1, UOC-3:2で表されています。この中で、UOC-3のテスト画像(2)の大半が既知物質画像のテスト画像(0, 1)の代表点から離れた位置に分布しています。このことから、UOC-3は未知物質である可能性が高いと推定されます。

テロや犯罪などの現場から押収された核物質や放射性物質の起源等を物質自身の特徴から決定する核鑑識分析技術開発の一環として、電子顕微鏡などで観察できる形態学的特性を畳み込みニューラルネットワーク (Convolutional Neural Network: CNN) と呼ばれるモデルで解析することで高精度に核物質を識別する手法の開発を進めています。

CNNモデルは画像を高い精度で分類することができる一方で、訓練データにない未知の物質を精度良く検出することが難しいことが知られています。これは、未知物質試料を取扱う可能性がある核鑑識分析において深刻な問題となります。そこで、顔認証の分野で研究が進められている「深層距離学習」と呼ばれるアプローチをCNNモデルの訓練に適用することで、電子顕微鏡画像解析から核物質の分類と未知の物質の識別を同時に実現する技術を実現しました (図1(a))。

天然ウラン精鉱 (Uranium Ore Concentrate: UOC) の標準物質を用いた本技術の検証により、深層距離学習で訓練したCNNモデル (深層距離学習モデル) が非常に高い精度でUOCを分類するとともに、通常の学習方法で訓練したモデルよりも高い精度で未知物質を検出できることを実証しました (図1(b))。

本技術により、核鑑識分析において核物質を識別するための効果的な根拠の一つとして、電子顕微鏡画像を利用できるようになることが期待されます。

Kimura, Y. et al., Application of Deep Metric Learning Model to Microscope Image Analysis for the Determination of UOC Samples in Nuclear Forensics Analysis, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 3rd International Conference on Radioanalytical and Nuclear Chemistry (RANC 2023), Budapest, Hungary, vol.333, issue 7, 2024, p.3541–3551.



原子力人材育成・核不拡散・
核セキュリティ総合支援センター 木村 祥紀



◀Webはこちらへ