

AIによる関節X線画像の複雑な骨層分離に成功

～BLS-GAN技術により、骨の重なりを克服して関節病変の精密な評価が可能に～

ポイント

- ・ AIによる新しい骨層分離技術 Bone Layer Separation GAN (BLS-GAN)の研究開発に成功。
- ・ BLS-GANにより、高品質な骨層画像を生成し、合理的な骨の特徴と質感を保持することが可能。
- ・ 関節リウマチの診断・モニタリング・予後評価の包括的な分析研究が可能となることを示唆。

概要

北海道大学量子集積エレクトロニクス研究センターの池辺将之教授、同大学大学院保健科学研究院の神島 保教授、同大学大学院保健科学院修士課程の王 昊霖氏、東京科学大学総合研究院の鈴木賢治教授、欧 亜非博士研究員らの研究グループは、AIによる関節X線画像の複雑な骨層分離技術の研究開発に初めて成功しました。

従来のX線撮影は、骨軟部(MSK)疾患の診断や経過観察、予後評価に広く活用されてきました。しかし、関節のX線画像では骨陰影が重なって映ることが多く、画像診断医や診断支援アルゴリズムによる正確な骨の評価を妨げる要因となっていました。こうした課題を解決するため、新たに「骨層分離(Bone Layer Separation)」技術を研究開発しました。この技術は、関節X線画像内の重なった骨領域を分離することで、それぞれの骨層を独立して評価できるようにするものです。これにより、MSK疾患の診断精度向上や診断の自動化が期待されます。

本研究では、この骨層分離技術を実現するため、「Bone Layer Separation GAN^{*1}(BLS-GAN)」というAIフレームワークを開発しました。加えて、従来のX線撮影の原理を応用したリコンストラクターを導入し、効率的な画像再構成を実現しています。これにより、骨陰影が重なった領域に存在する軟部組織の影響を抑え、計算の不安定性を軽減しました。また、AIの学習を安定させるため、合成画像を用いた事前学習を行いました。生成された骨層画像は視覚的チューリングテスト(Visual Turing Test)を通過し、AIによるX線画像生成精度向上にも寄与することが確認されました。これにより、関節リウマチなどの関節疾患の診断・モニタリング・予後評価における、より詳細な分析が可能となり、医療現場での診断支援や研究の発展につながることを期待されます。

本研究成果は、2025年2月25日(火)から米国フィラデルフィアで開催されたAI関連国際会議AAAI Conference on Artificial IntelligenceのMain Technical Trackに採択されました。



提案手法による重なり合う骨層の分離

【背景】

従来、X線撮影は骨軟部（MSK）疾患の診断やモニタリングに広く利用されています。しかし、関節 X線画像では骨陰影が重なって映ることが多く、関節や骨の詳細な診断評価を妨げる要因となっていました（図1）。特に、関節リウマチ（RA）の診断では、関節裂隙の狭小化（JSN）や骨びらんを詳細に評価する必要があり、骨陰影の重なりがある場合、正確な分析が困難でした。この問題により、診断の精度が低下し、コンピューター支援診断（CAD）の開発にも課題が生じていました。そこで、本研究では「骨層分離（Bone Layer Separation）」という新たなアプローチを導入し、X線画像から重なった骨陰影を分離する技術を開発しました。この技術により、個々の骨層を独立して評価できるようになり、関節リウマチの診断や自動解析の精度向上が期待されます。

【研究手法・研究成果】

本研究では、X線画像の骨層を分離するために「Bone Layer Separation GAN（BLS-GAN）」を開発しました。このフレームワークは、①画像生成ネットワーク、②セグメンテーションベースの識別ネットワーク、③放射線画像の原理に基づいたリコンストラクターの三つの主要な要素から構成されており、これらを組み合わせることで高精度な骨層画像を生成します（図2）。

画像生成ネットワークは、関節の上部と下部の骨を独立した層として認識し、それぞれの骨層画像を生成します。次に、セグメンテーションベースの識別ネットワークが、生成された画像内の重なり領域と非重なり領域を識別し、より正確な骨の質感を保持するよう調整を行います。最後に、リコンストラクターが X線画像の物理的特性を考慮しながら、骨陰影重複の影響を補正し、よりリアルな骨層画像を再構成します。さらに、学習の安定性を向上させるために合成画像を用いた事前学習を導入しました。人工的に作成した X線画像を用いることで、ネットワークが適切な骨層分離のパターンを学習しやすくなり、実際の X線画像に対しても高い精度で適用できるようになりました。このアプローチにより、従来の技術では困難であった骨層の分離が可能となり、X線画像の診断精度が向上します。

このフレームワークの性能は、視覚的チューリングテスト（Visual Turing Test）によって検証されました。経験豊富な診療放射線技師が、実際の X線画像と BLS-GAN によって生成された骨層画像を識別するテストを行った結果、生成画像は実際の X線画像とほぼ区別がつかないほどの品質であることが確認されました。さらに、関節リウマチの JSN 評価においても、従来の方法よりも精度と安定性が向上することが示されました。

【今後への期待】

本技術の活用により、関節リウマチの診断がより正確かつ迅速に行えるようになることが期待されます。また、従来の X線画像では困難であった、手関節、膝関節、股関節などの構造的に複雑な関節の診断にも応用が可能と考えられます。さらに、本技術は関節リウマチだけではなく、変形性関節症などの罹患者の多い他の骨軟部疾患の診断にも役立つ可能性があります。今後は、より多くの臨床データを用いた検証を行い、実際の医療現場での導入に向けた研究が進められる見通しです。

論文情報

論文名 BLS-GAN: A Deep Layer Separation Framework for Eliminating Bone Overlap in Conventional Radiographs (BLS-GAN: 従来の X 線画像における骨の重なりを解消するための深層層分離フレームワーク)

著者名 王 昊霖¹、欧 亜非²、Prasoon Ambalathankandy³、太田 玄⁴、Pengyu Dai²、池辺将之⁴、鈴木賢治²、神島 保⁵ (¹北海道大学大学院保健科学院、²東京科学大学総合研究院、³理化学研究所計算科学研究センター、⁴北海道大学量子集積エレクトロニクス研究センター、⁵北海道大学大学院保健科学研究院)

学会名 The 39th AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI-25) (AI 関連国際会議)

D O I 10.1609/aaai.v39i7.32826

開催日 2025 年 2 月 25 日 (火) ~ 3 月 4 日 (火)

お問い合わせ先

北海道大学量子集積エレクトロニクス研究センター 教授 池辺将之 (いけべまさゆき)

T E L 011-706-7689 F A X 011-716-6004 メール ikebe@ist.hokudai.ac.jp

U R L <https://www.rciqe.hokudai.ac.jp/labo/iqs/>

配信元

北海道大学社会共創部広報課 (〒060-0808 札幌市北区北 8 条西 5 丁目)

T E L 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール jp-press@general.hokudai.ac.jp

【参考図】

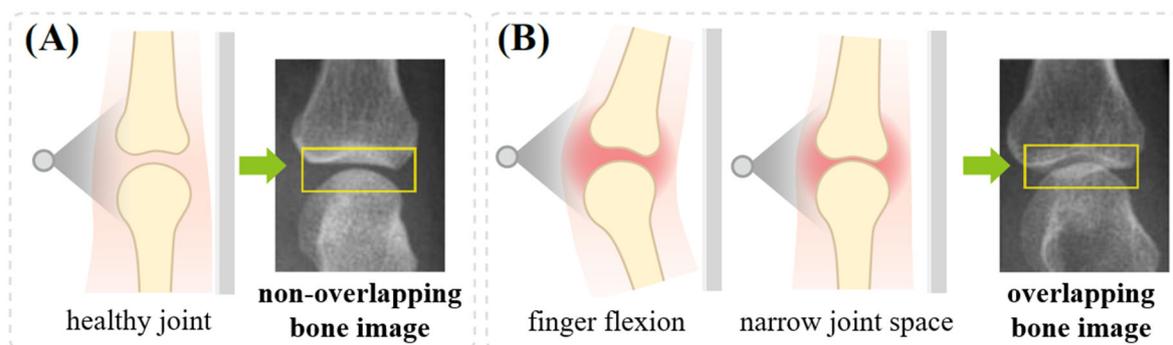


図 1. 正常な関節とその X 線画像 (A) と狭小化した関節とその X 線画像 (B)

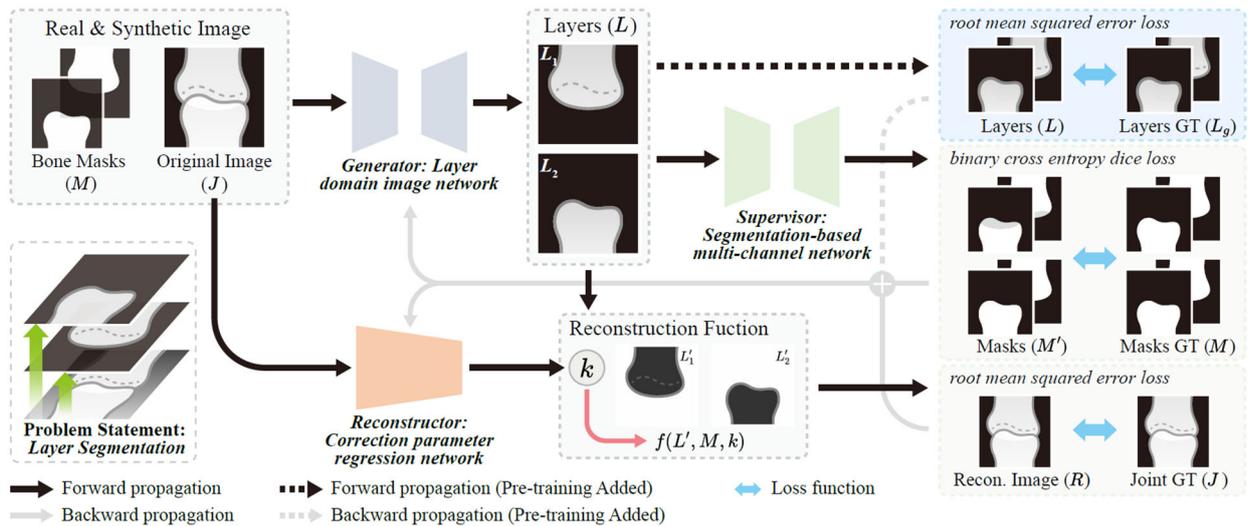


図 2. 研究開発した AI フレームワーク Bone Layer Separation GAN (BLS-GAN)

【用語解説】

*1 GAN … Generative adversarial network (敵対的生成ネットワーク) は、画像生成などに用いられる深層学習モデルで、「生成器 (Generator)」と「識別器 (Discriminator)」の二つのネットワークが互いに競い合いながら学習を進めます。この競争により、現実に近い高品質なデータ生成が可能となります。