

様式 (7)

報告番号	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; width: 80px; height: 20px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin: 0 auto;">甲 保</div> <p style="text-align: center; margin-top: 10px;">第 67 号</p> <p style="text-align: center;">乙 保</p>
論文内容要旨	
氏名	下村 泰生
題目	<p>Virtual cone-beam computed tomography simulator with human phantom library and its application to the elemental material decomposition (人体ファントムライブラリに基づく仮想コーンビームCTの開発と元素分布分析への応用)</p>
<p>現在、放射線治療の良好な治療予後や治療の効率化を目指して患者の日々の変化に最適化された治療を提供する適応型放射線治療 (ART) の研究が活発である。特に、治療直前に位置照合として取得するコーンビーム CT (CBCT) 画像から元素組成を含む定量的な体内情報を取得することができれば、元素量を利用した正確な治療計画とそのリアルタイムな更新・最適化が可能となり、ART の発展に繋がる。そこで本研究では、CBCT 画像から元素分布を定量的に出力できるディープラーニング (DL) を新たに開発し、実臨床データへの応用を検討した。</p> <p>本研究では、DL モデルの学習においてデータを仮想人体ファントムと仮想 CBCT シミュレータにより作成する。まず、国際放射線防護委員会 (ICRP) が公開する主要 6 元素 (H、C、N、O、P、Ca) の組成を持つ成人女性/男性ファントムを (1mm,1mm,2mm) のボクセル・スケールに高解像化し、米国統計値に基づいて年齢、身長、体重をサンプリングすることで、体格の違いを持つ 36 体の頭部人体ファントムライブラリを開発した。次に、この人体ライブラリを仮想 CBCT シミュレータで撮影し、X 線投影画像を生成した。本研究では、エレクタ社の放射線治療装置 Synergy に付随する X-ray Volumetric Imaging (XVI) system の体系をシミュレータで再現し、直接 X 線を Raytracing モデル、散乱 X 線を DL モデルによりフラットパネル検出器 (FPD) 上の投影画像を生成、それにガウスノイズを付加することで X 線投影画像を生成した。投影画像を作成する際に必要となる X 線エネルギースペクトルは、東京大学医学部附属病院放射線科で実測した深部線量百分率から機械学習モデルによって推定した。ガウスノイズの強度もまた、直径 25cm の円筒型水ファントムで実測に基づき得られた再構成画像から評価した。本シミュレータによって生成された CBCT 画像と上記 6 元素の密度画像の紐付けされた学習データを用い、CBCT 画像を入力として元素密度分布を出力とする DL モデルを開発した。学習済み DL モデルの精度評価として、学習に用いていない仮想ファントム (テスト画像: 6 体 300 画像) に適用し、RMSE 値と SSIM 値によって推定精度を検証した。さらに実機によって撮影された人体模擬ファントム (Rando ファントム) に適用した際の元素分析出力を目視により確認した。</p> <p>本研究で開発した仮想 CBCT シミュレータにより生成した X 線投影画像は、10%以内の絶対値誤差でモンテカルロ (MC) シミュレーションで生成したものと一致した。DL モデルの元素分析はテスト画像に対して高精度な推定結果を示し、散乱 X 線及びノイズによる CBCT 画像の画質劣化は予測精度に若干影響する (SSIM 値において $p=0.03$) もの、その影響は小さいことがわかった。実際の装置で得られた Rando ファントムの CBCT 画像を用いた元素分布も良好に生成された。この結果は、本手法により実機で取得した CBCT 画像に対しても応用可能であることを示した。</p> <p>本研究は、コンピュータビジョン技術によるビッグデータ生成と DL モデルにより、データ数に限りのある医療分野において新しいアプローチを提供しうることを示し、実際に CBCT 画像を用いた元素分布の推定が高い精度で実現できることを示した。本技術は、ART の実現に重要な貢献を与え、放射線治療のさらなる発展に繋がると期待される。</p>	