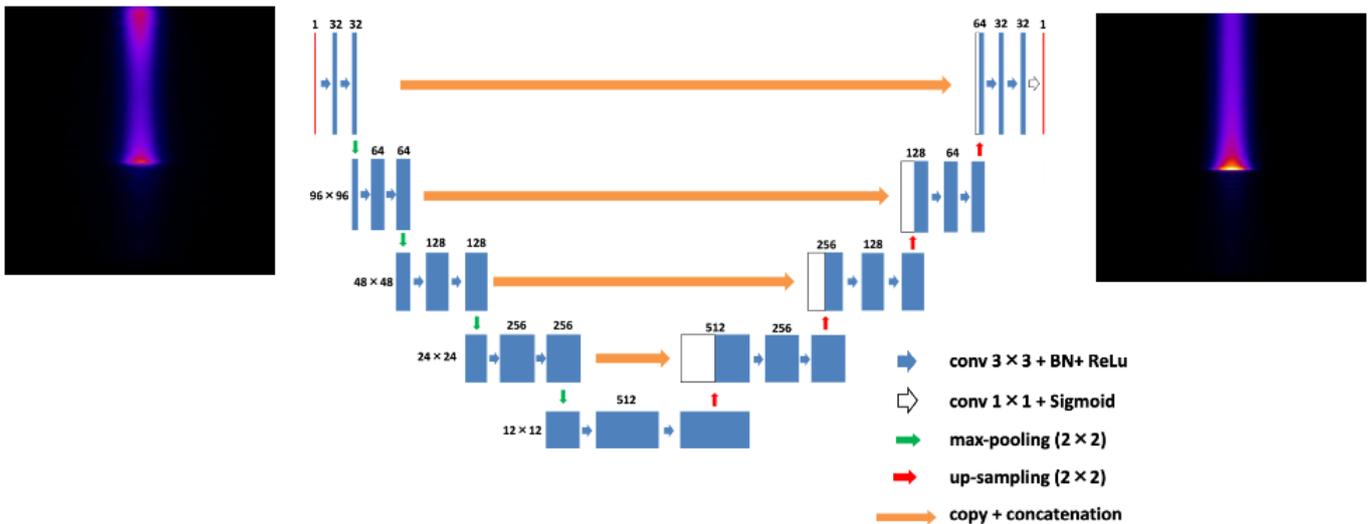


入力画像：実験で得られた画像

U-net 深層学習アーキテクチャー

出力画像：線量分布と一致



深層学習を用い、粒子線照射による水の発光画像から正確な線量画像の生成に成功 ～粒子線がん治療への応用に期待～

名古屋大学大学院医学系研究科総合保健学専攻の 山本 誠一 教授、矢部 卓也 大学院生、名古屋大学大学院情報学研究科の 森 健策 教授、小田 昌宏 助教、名古屋陽子線治療センターの 歳藤 利行 博士、兵庫県立粒子線医療センターの 赤城 卓 博士は、粒子線がん治療に用いる陽子線および炭素線^{注1)}を水の照射したときに生じる発光画像^{注2)}に対して、深層学習^{注3)}を用いることにより、正確な線量画像^{注4)}を生成することに成功しました。

陽子線や炭素線などの粒子線がん治療ビームの線量分布を短時間に正確に測定することは、粒子線治療の現場で切望されています。山本教授らは、これまでに粒子線が水中で微弱光を発することを発見し、この光を高感度カメラで撮像することで粒子線が水に与える線量と類似の分布を画像化できることを報告しました。しかし、得られた画像にはチェレンコフ光^{注5)}に起因する発光が含まれ、線量と分布が異なるという問題点がありました。今回、深層学習を用い、粒子線照射によって水中に生じる微弱光画像に含まれるチェレンコフ光の影響を取り除くことを試みました。まず計算で、多量の粒子線の発光画像と線量画像を生成し、深層学習アーキテクチャーに学習させました。その後、実際に測定した粒子線照射による水の発光画像を入力したところ、短時間に高い精度で鮮明な線量画像を生成することができることを確認しました。

今回の成果は、粒子線治療における線量評価や装置の精度管理に貢献することが期待されます。今後、さらに最適化を図り線量画像測定装置に組み込み、治療現場への普及を目指していきます。

本研究成果は、2020年7月4日付米国医学物理学専門誌である Medical Physics 誌に掲載されました。

【ポイント】

名古屋大学大学院医学系研究科、名古屋大学大学院情報学研究科、名古屋陽子線治療センター、兵庫県立粒子線医療センターの研究者が協力し、深層学習を用いることにより、実測した粒子線照射で生じる水の発光画像から、短時間で、高い精度の線量画像を得ることができることを実証した。

【背景】

粒子線がん治療は、粒子線が選択的に高線量を腫瘍に与えることが可能なため、注目を集めています。粒子線治療においては、粒子線がビームの終端に多くの線量を与えるため、粒子線ビームの到達位置や広がりなど、ビームの品質管理が重要です。品質管理のための測定を効率的に行う方法として、山本教授らは、これまでに発見した放射線照射による水の発光現象を応用することを進めています。放射線照射による水の発光現象は、水を満たした透明容器に粒子線を照射すると、これまで発生するとは考えられなかった条件で光が発生するというもので、物理学の分野でも注目を集めています（図1）。

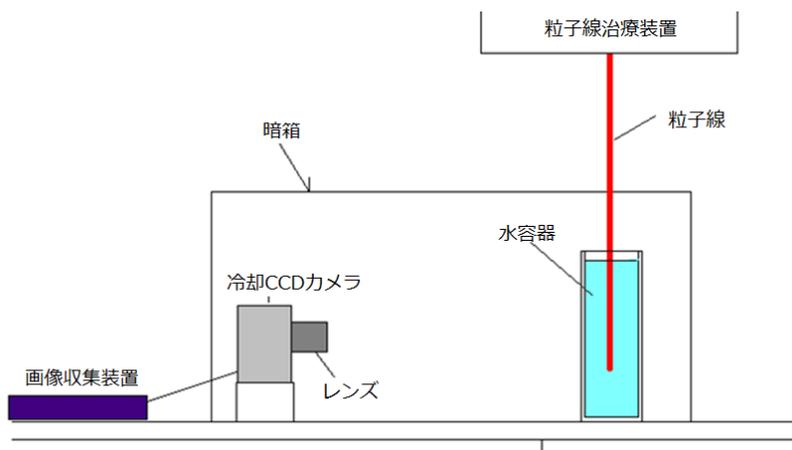


図1 粒子線を照射したときに生じる水の発光を撮像する装置の模式図。水容器に放射線を照射したときに発生する光を CCD カメラで撮像する。

しかし、粒子線を照射したときに生じる水の発光は、その分布が照射した放射線の線量とは少し異なるという問題点がありました。例えばエネルギーの高い粒子線を照射したときには、水の浅い部分にチェレンコフ光が発生し、線量分布と大きく異なる部分が生じることが分かりました（図2）。これまで、この違いを補正する方法を試みていましたが、補正に時間や労力を要し、種々のビームに対して補正を行うのは困難であるという問題がありました。そんな中、研究グループは深層学習を用いれば問題を解決できるとの着想に至りました。

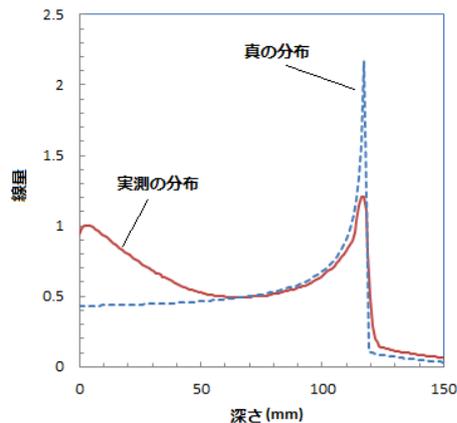
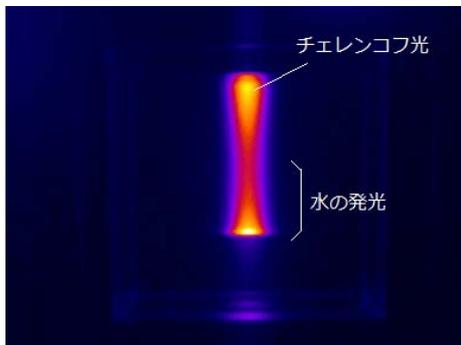


図2 炭素線を上方から水に照射したときに生じる水の発光画像（左）：上のほうにチェレンコフ光による高い輝度の分布が観察される。深さ方向の輝度分布と線量分布（右）：浅い部分で違いが大きい。

深層学習を用いた線量画像推定を実現するためには、多量の学習データが必要ですが、これらは計算により作成しました。深層学習のために2600対の発光画像と線量画像データを作成し、この画像データをU-Netと呼ばれる深層学習アーキテクチャに学習させました(図3)。学習後、実測した発光画像データを深層学習アーキテクチャに入力すると、正確な線量画像を生成することができました(図4)。

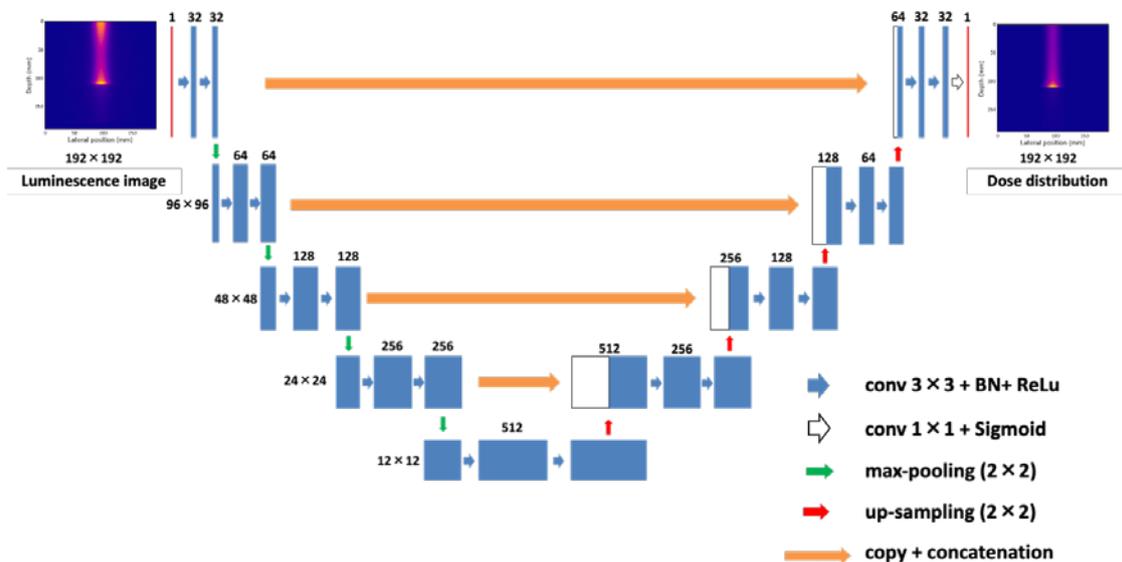


図3 粒子線を照射にした時の水の発光画像から高精度な線量画像を生成するU-Net 深層学習アーキテクチャ

学習させたU-Netに、実測した炭素線発光画像(図4左)を入力して得られた出力画像は、入力画像とは全く異なり、線量分布と一致した画像を得ることができました(図4中)。その輝度分布は真の線量分布と一致しました(図4右)。従来の手法では、一枚の画像の補

正に数日を要していたのに対して、今回の手法では、補正を、わずか 1 秒以内に行えるようになりました。

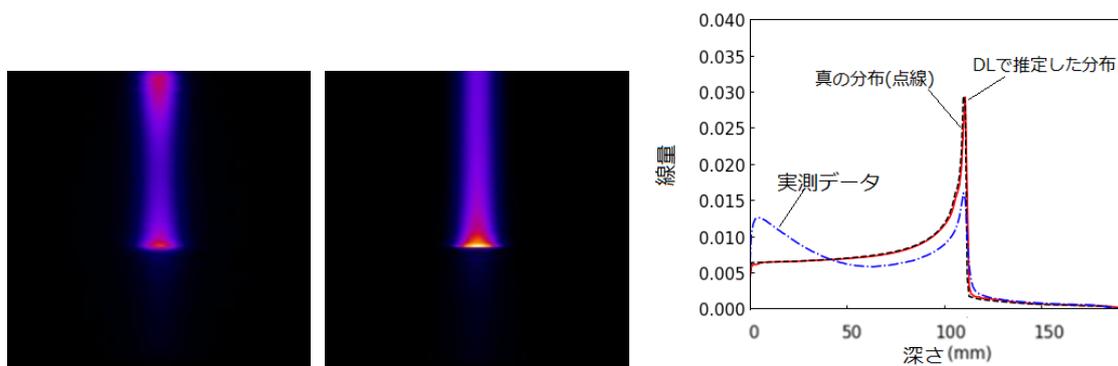


図4 深層学習アーキテクチャーに入力した実測画像（図4左）、出力画像（図4中）、輝度分布：出力画像の輝度分布は真の線量分布と一致した（図4右）。

【成果の意義】

今回の研究で、深層学習を用いることにより、粒子線照射による水の発光画像に含まれる画像の歪成分を取り除き、短時間で精度の高い線量分布を得ることができるようになりました。この手法は、放射線発光画像化装置と組み合わせ、粒子線治療のための品質管理のために利用できます。今後、臨床現場での利用を目標に、製品化を進め広範な普及を目指します。

【用語説明】

- 注1) 陽子線、炭素線：粒子線を加速し、患者の腫瘍に照射することで治療を行う放射線治療に使われるビームの一種。線量を腫瘍に集中して与えることができるため、治療効果が大きい利点があります。
- 注2) 水の照射したときに生じる発光画像：従来、低いエネルギーの放射線照射では、水は発光しないと考えられていました。しかし、この常識に反し、山本教授らは、数年前に低いエネルギーの放射線照射で水が発光することを明らかにしました。
- 注3) 深層学習：脳を構成する神経細胞のネットワークを単純化して計算機上に構築したものをニューラルネットワークと呼びます。層数の多いニューラルネットワークは、適切にトレーニングすることで、複雑な問題を解くことが出来るようになります。この層数の多いニューラルネットワークを学習させ問題に対応できるようにすることを「深層学習」と呼びます。
- 注4) 線量画像：粒子線治療では、患者に粒子線を照射したときにどの部分に、どの程度の放射線の影響があるかを知った上で粒子線を照射し治療を行います。この放射線を照射された対象が受ける作用の大きさを示す量を線量といい、作用の大きさを表す画像を線量画像と言います。線量画像は、実測が困難なため通常は計算により求めています。

注 5) チェレンコフ光 : 従来から知られていた水の発光現象。一定以上のエネルギーの放射線を水などに照射すると発光する現象で、チェレンコフが発見しノーベル賞を受賞しています。

【論文名】

雑誌名 : Medical Physics (米国医学物理学専門誌)

論文名 : Prediction of dose distribution from luminescence image of water using a deep convolutional neural network for particle therapy

著者 : Takuya Yabe, Seiichi Yamamoto, Masahiro Oda, Kensaku Mori, Toshiyuki Toshito, Takashi Akagi (矢部 卓也、山本 誠一、小田 昌宏、森 健策、歳藤 利行、赤城 卓)

DOI : [10.1002/mp.14372](https://doi.org/10.1002/mp.14372)