

1. 人工知能を用いた放射線治療計画

角谷 倫之 東北大学病院放射線治療科

現在の放射線治療計画の課題

現在の放射線治療では治療計画の複雑化により、治療計画の作成時間の増加、さらにはその計画の品質のバラツキが問題となっている。厚生労働科学研究費大西物理技術系調査研究における物理技術アンケート結果速報(583施設、2291名から回答)からは、コンツールリングおよび治療計画作成に要する平均時間は、39分と61分(通常照射)、84分と166分(強度変調放射線治療:IMRT)であると報告があり、この2つの業務については施設間で大きなバラツキがあることも明らかとされている¹⁾。また、放射線治療計画の品質についても施設間でバラツキが見られることが、国内外で報告されている。例えば、米国からの報告では、前立腺がんの125プランに対して治療計画の品質をスコア化する手法で評価すると、58.2から142.5までの広い範囲にスコアがバラつくことが明らかとなっている²⁾。また、本邦での研究においては、日本放射線腫瘍学会(JASTRO)研究課題脇田班において、同様の傾向が報告されている³⁾。

人工知能(AI)を用いた放射線治療の臨床活用と開発現状

この治療計画の作成時間の増加および品質のバラツキの問題を克服するため、

人工知能(AI)技術が注目されている。機械学習(machine learning)はAIの一種を指し、深層学習(deep learning)は機械学習の一種を指す。AIは、コンピュータが自動で大量のデータを解析してデータの特徴を抽出する技術であり、自動車の自動運転、製造現場での画像検査など、身近な技術でも多く活用されている。放射線治療分野においても、今回のテーマの自動計画作成、そのほかにもオートコンツールリング、バーチャル患者QA、予後予測など、さまざまなタスクにおいて積極的な開発・社会実装が行われている^{4)~9)}。機械学習を使った自動治療計画作成手法として、バリアン社の「RapidPlan」がある。このシステムでは、学習された治療計画データを基に、機械学習によって患者個々に適した治療計画を作成できる。ToIらは、60症例の強度変調回転放射線治療(VMAT)頭頸部プランに対して臨床プランとRapidPlanのプランを比較し、学習に用いた症例と類似した標的とリスク臓器の位置関係の症例であれば、臨床プランと同等の治療計画を自動的に作成できることを示した¹⁰⁾。Hirashimaらは、頭頸部がん(28症例)、膵臓がん(42症例)、直腸がん(20症例)を用いて臨床プランとRapidPlanのプランを比較し、こちらの報告でもRapidPlanを用いることで、臨床プランと同等な治療計画が作成できることが示された¹¹⁾(図1)。前立腺がんを対象とした、カナダのプリンセスマーガレット病院からの機械学習を用いた治療計画による前向き試験を含む報

告では、機械学習を用いた計画の89%が臨床的に許容でき、60.1%の計画時間の短縮ができたと報告されている¹²⁾。

また、近年では、深層学習を使った自動治療計画の技術開発も積極的に行われている^{13)~15)}。Nguyenらは、U-Netベースのネットワーク構造を用いた深層学習モデルに標的やリスク臓器の輪郭を入力することで、線量分布図を出力する手法を考案した¹⁵⁾。彼らは前立腺がんの予測精度を評価し、臨床プランに対してAI予測線量分布は、標的およびリスク臓器に対して5%以内のズレであることを明らかにした(図2)。

Kajikawaらは、前立腺がんに対して深層学習モデルとRapidPlanで治療計画を作成し、どちらの手法も臨床プランと同等の線量分布を作成できることを示した¹⁶⁾。ただ、ここで注意すべき点は、RapidPlanはdeliverable plan(照射可能な計画)であるが、深層学習で予測された線量分布は実際に照射可能な線量分布かはわからない。そこで近年では、深層学習を使って照射可能な計画を作成する研究も行われ始めている^{17)~19)}。Fanらは、深層学習で予測した線量分布とボクセルベースの平均二乗誤差(mean squared error:MSE)を最適化用目的関数として使用することで、照射可能なプランを生成した¹⁸⁾。また、Sunらは、MSEによる目的関数に加えて、従来の線量体積ヒストグラム(DVH)ベースの目的関数を加えたハイブリッド法によって、商用の治療計画装置(treatment planning system:TPS)