



名古屋大学
NAGOYA UNIVERSITY



東北大学
TOHOKU UNIVERSITY

2026年6月24日

報道機関 各位

アルファ線飛跡シミュレーションの高精度化に成功 ～次世代がん治療の細胞レベル線量評価へ貢献～

【本研究のポイント】

- ・世界的な放射線シミュレーションツールのアルファ線^{注1)} 飛跡計算精度を検証。
- ・従来のシミュレーション設定では、飛跡終端に実際には観測されないエネルギーの集中(誤信号)が現れ、細胞レベルの線量を過大に見積もる可能性があることを発見。
- ・シミュレーション設定を最適化し、誤信号の発生抑制に成功。
- ・放射線により発光するシンチレータ^{注2)}で可視化したアルファ線飛跡を、人体組織内の線量評価へつなげるための基盤的知見を取得。

【研究概要】

近年、アルファ線放出核種を用いたがん治療(標的アルファ線治療)は、全身に転移を有する症例に対する有効な治療法として世界的に期待されており、日本においても標的アルファ線治療の研究開発および実用化に向けた取り組み強化が国の方針として掲げられています¹⁾。また、標的アルファ線治療の治療効果は、アルファ線ががん細胞に付与する線量に依存するため、アルファ線の線量評価が世界的な研究トピックとなっています。

名古屋大学大学院医学系研究科総合保健学専攻の中西 恒平 助教、西井 龍一 教授、上高 祐人 助教は、早稲田大学理工学術院 山本 誠一 上級研究員(研究院教授)、東北大学金属材料研究所 吉野 将生 准教授、福島県立医科大学保健科学部 三輪 建太 教授、宮司 典明 講師との共同研究により、世界的に利用されている放射線シミュレーションツール Geant4/GATE^{注3)}によるアルファ線飛跡計算の精度を、実験画像との比較により検証しました。その結果、従来の計算設定ではアルファ線が止まる位置(飛跡終端)に実際には観測されないエネルギーの集中(誤信号)が現れ、アルファ線の細胞レベルの線量を過大評価する可能性があることを明らかにしました。また、本研究グループはシミュレーション設定の最適化も行い、誤信号の発生抑制に成功しました。さらに、シンチレータ内のアルファ線飛跡を、人体組織における線量評価へつなげる基盤的知見を取得し、線量評価への応用可能性を示しました。本研究の成果はアルファ線による細胞レベル線量評価の信頼性向上につながるものです。

本成果は2026年6月24日17時30分(日本時間)付で英国物理学会出版局(IOP Publishing)が発行する医学物理分野の国際学術誌『Physics in Medicine & Biology』オンライン版に掲載される予定です。

【研究背景と内容】

標的アルファ線治療は、世界的に期待されているがん治療法ですが、体内でアルファ線が進む距離(飛跡長)は数十 μm (細胞数個分)と非常に短いため、その測定は技術的に難しいことが知られています。本研究グループでは過去の研究において、無機結晶シンチレータを用いた、数 μm の分解能を有する高分解能アルファ線撮像装置を開発しました²⁾。本研究では、この装置を用いてアルファ線飛跡画像を取得し、世界的な放射線シミュレーションツール Geant4/GATE の計算結果と比較しました。その結果、シンチレータ内の飛跡長は実験値 8.05 μm 、シミュレーション値 8.20 μm となり、よく一致することを確認しました。一方で、従来の計算設定ではアルファ線の飛跡終端に実際には観測されないエネルギーの集中(誤信号)が現れ、アルファ線の線量を過大評価する可能性があることを発見しました。本研究グループは高分解能アルファ線撮像装置で取得した飛跡画像をもとに従来の計算設定を見直し、この信号の発生を抑制することに成功しました(図 1)。

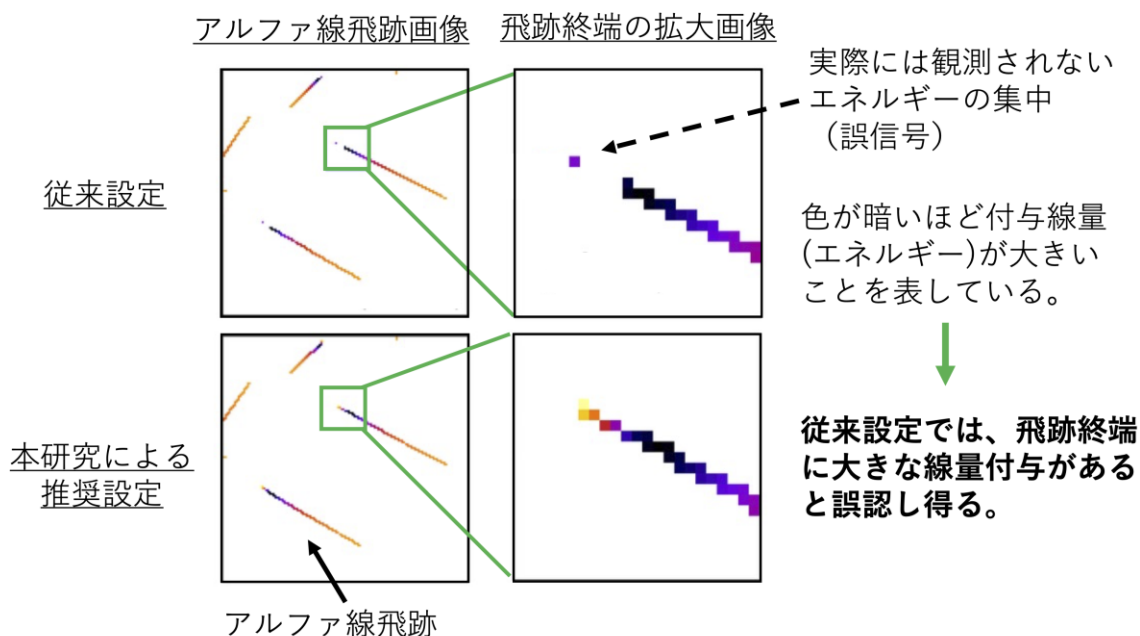
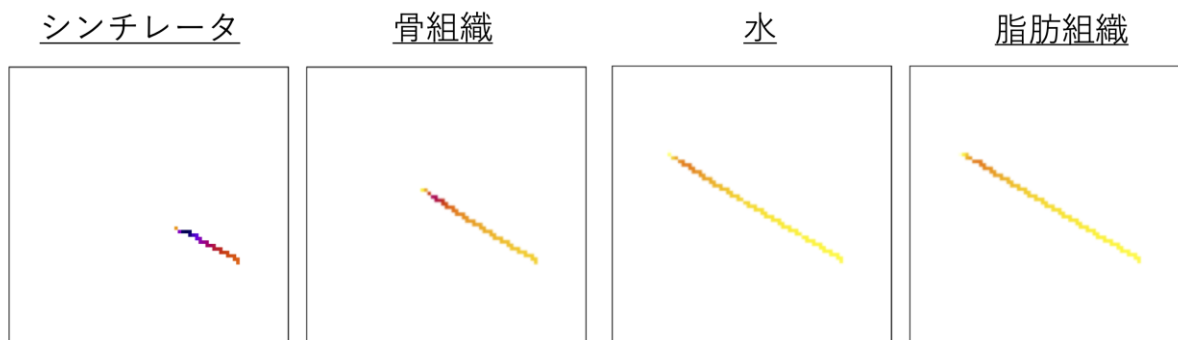


図 1 設定によるアルファ線飛跡終端の違い

さらに、シンチレータ内と人体組織内のアルファ線飛跡の違いをシミュレーションにより可視化することにも成功しました(図 2)。



シンチレータ内と組織内では、飛跡長・付与線量ともに異なる。

図 2 シンチレータ内と人体組織を想定した媒体内のアルファ線飛跡の違い

【成果の意義】

本研究で発見した飛跡終端の誤った信号は、アルファ線による細胞核やDNAのダメージを推定する際の線量評価に影響する可能性があります。また、シンチレータ内と人体組織内ではアルファ線の挙動が異なるため、シンチレータで観察された飛跡を人体組織内の飛跡および線量へ変換する手法が必要です。本研究の成果は、今後の標的アルファ線治療薬開発において細胞レベル線量評価の信頼性向上に貢献し、治療効果と副作用の予測精度向上を通じて、より安全で効果的な標的アルファ線治療の実現に寄与することが期待されます。

【用語説明】

注 1)アルファ線:

放射線の一種。人体を進む距離は非常に短い一方、通過した細胞に高いエネルギーを集中して与えるため、がん細胞などは強いダメージを受ける。

注 2)シンチレータ:

放射線が入射すると発光する材料。放射線の測定に広く用いられている。

注 3)Geant4/GATE(ジアントフォー/ゲート):

放射線と物質の相互作用をシミュレーションするためのツール。Geant4 は医学、宇宙、原子力などさまざまな分野において世界中で使用されている。GATE は Geant4 を放射線医学分野で使いやすいようにしたシミュレーションツールである。

【参考資料】

- 1) 原子力委員会「医療用等ラジオアイソトープ製造・利用推進アクションプラン」
- 2) 早稲田大学プレスリリース「アルファ線飛跡をリアルタイム画像に一世界初 物質中のアルファ線飛跡のリアルタイム画像化に成功ー」(2023年4月)

<https://www.waseda.jp/top/news/89846>

【論文情報】

雑誌名: Physics in Medicine & Biology

論文タイトル: Comparison of alpha-particle track characteristics in GAGG and biological tissues for microdosimetry using experimentally validated GATE simulations with high-resolution track imaging

著者: Kohei Nakanishi, Seiichi Yamamoto, Masao Yoshino, Yuto Kamitaka, Noriaki Miyaji, Kenta Miwa, Ryuichi Nishii(本学関係教員:中西恒平、上高祐人、西井龍一)

DOI: 10.1088/1361-6560/ae79cb

【研究者連絡先】

名古屋大学大学院医学系研究科

助教 中西 恒平(なかにし こうへい)

TEL:052-719-1504

E-mail: nakanishi.kouhei.c2@f.mail.nagoya-u.ac.jp

Press Release

東北大学金属材料研究所

准教授 吉野 将生(よしの まさお)

TEL:022-215-2214 FAX:022-215-2215

E-mail:masao.yoshino.a5@tohoku.ac.jp

【報道連絡先】

名古屋大学総務部広報課

TEL:052-558-9735 FAX:052-788-6272

E-mail:nu_research@t.mail.nagoya-u.ac.jp

東北大学金属材料研究所情報企画室

TEL:022-215-2144 FAX:022-205-2482

E-mail:press.imr@grp.tohoku.ac.jp