

令和 5 年 4 月 2 8 日現在

機関番号： 1 0 1 0 1

研究種目： 奨励研究

研究期間： 2022 ~ 2022

課題番号： 2 2 H 0 4 4 3 7

研究課題名 電子線およびラジカルの粒子輸送シミュレーションによるDNA二本鎖切断誘導の解明

研究代表者

吉井 勇治 (Yoshii, Yuji)

北海道大学・アイソトープ総合センター・技術専門職員

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 480,000 円

研究成果の概要：10keV電子線が通過したエネルギー付与をした領域で発生したラジカルによるDNA損傷を模擬した計算モデルでシミュレーションを行った結果、電子線によって発生するDSBは、ヒドロキシラジカル発生から1ナノ秒までに発生する割合が多く、それ以降に発生するDNA損傷はDNA一本鎖切断が中心であった。10keVの電子線の飛跡長は1.5 μm であるのに対して、ヒドロキシラジカルが1ナノ秒で拡散する距離は約4nmと短く、間接作用に由来するDSBの発生位置は電子線の飛跡構造の近傍に誘導されることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果により、間接作用によるDSBが電子線の飛跡構造の近傍に誘導されることが明らかになり、直接作用により誘導されるDSB位置だけではなく、間接作用も電子線の飛跡構造の影響を受けることが示された。今後さらに研究を進めることで、効率的なDNA損傷の評価法の確立できると考えられる。

研究分野：放射線生物学

キーワード： 間接作用 DNA二本鎖切断 モンテカルロシミュレーション

1. 研究の目的

人体への X 線や γ 線などの放射線照射により誘発する DNA 二本鎖切断は、放射線障害の起点となるため、放射線生物学を理解する上で最も基本的な要素の一つである。放射線の電離作用により体内で発生した二次電子（電子線）は、高い運動エネルギーを持ち、電離や励起、弾性散乱により物質内でエネルギー付与を繰り返ししながらジグザグに進行し、1 keV 以下の運動エネルギーになると spur や blob と呼ばれる電離や励起が密集した微小領域（数～十ナノメートル）を形成する。DNA 損傷の発生機序は、放射線自身が DNA を損傷する直接作用と、生体内水分子を電離・励起することにより生成したラジカルを経て DNA 損傷を誘発する間接作用に分けられ、直接作用による DNA 二本鎖切断は電子線の飛跡の電離密度が高い領域で発生しやすいことが示されているが、二次電子の飛跡構造と間接作用による DNA 二本鎖切断の関係に関する研究は不十分である。本研究は Monte Carlo 法による粒子輸送計算（以下、「MC 計算」）により電子線の飛跡構造が間接作用に及ぼす影響を明らかにすることが目的である。

2. 研究成果

10keV 電子線由来のラジカルの拡散を追跡した MC 計算の結果を図 1 に示す。DNA 構造を含まない水中下のヒドロキシラジカルの平均拡散距離は 1psec、1nsec、1 μ sec のとき、それぞれ 0.1nm、4.1nm、129.6nm であった。1psec ではラジカルが電子線の飛跡に沿って線状に分布してするが、時間が経過すると飛跡構造が不明瞭になった。

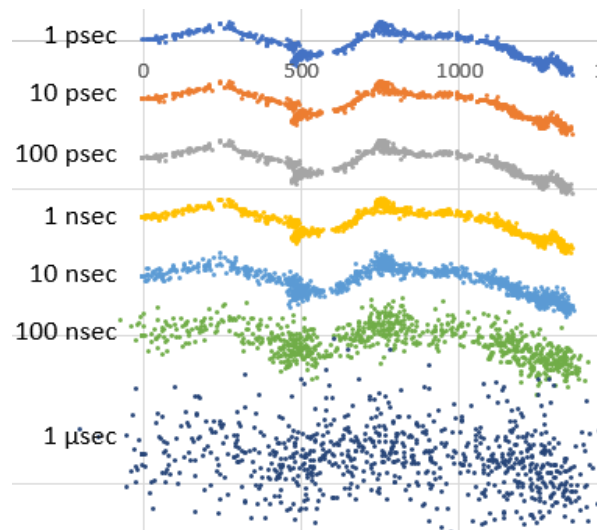


図 1 電子線照射後 1psec から 1 μ sec のラジカルの空間分布

DNA ターゲットへの 10keV 電子線照射を模した MC 計算では、間接作用で生じる DNA 二本鎖切断の半数以上は 1nsec までに発生し、1nsec 以降に誘導される主要な DNA 損傷は DNA 一本鎖切断であった。この MC 計算では DNA 二本鎖の 10bp（約 3.4nm）以内に 2 つ以上損傷が誘導されたとき DNA 二本鎖切断と判定した。平均拡散距離の結果を踏まえると、spur などヒドロキシラジカルが密集して発生した領域が DNA と隣接する場合に DNA 二本鎖切断が起こりやすく、1nsec 以降は拡散により DNA 近傍のヒドロキシラジカルラジカルの密度が低下し、10bp 以内に 2 つの損傷が発生する確率が低下したと考えられる。

主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1．発表者名 吉井勇治，阿保憲史，水野雄貴，久下裕司
2．発表標題 β線被ばくに対する放射線教育を支援する教材の開発
3．学会等名 第4回日本保健物理学会・日本放射線安全管理学会合同大会
4．発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

研究組織（研究協力者）

氏名	ローマ字氏名
----	--------