

2. 放射線 分科会企画シンポジウム
「真の放射線生体影響解明に向けて進む
放射光マイクロビーム評価技術」開催報告

低線量放射線による健康への影響は、東京電力福島第一原子力発電所の事故発生直後から非常に関心が高く、その科学的解明は重要かつ急務である。放射線の生体影響について調べるために、細胞に放射線を照射する技術を用いた研究が多く進められているが、従来の照射技術では複数の細胞に対して放射線がヒットしてしまうため、細胞個体の生体内事象の挙動を見ることが難しいと考えられていた。しかし、マイクロビーム照射技術の開発により、放射線を 1 つの細胞だけに照射できるようになり、生体影響の研究に近年進捗がみられる。本シンポジウムではマイクロビーム照射技術の開発及び利用それぞれの専門家からのご講演で、最新の研究成果を紹介して頂いた。

本シンポジウムの一人目の講演者として、KEK の宇佐美德子先生に放射光マイクロビームの照射装置や測定技術の概要、放射線の生物影響研究においてマイクロビームを使用する意義をご紹介頂いた。今までの放射線の生物作用は放射線がヒットした細胞だけが細胞死や突然変異誘発を引き起こすとされていたが、1992 年に放射線がヒットしない細胞に影響が現れる「バイスタンダー効果」の存在が指摘された。この効果は低線量下では特に重要であり、1 つの細胞に照射できるマイクロビーム照射技術はバイスタンダー効果の評価には最適であることが述べられた。講演後、細胞に到達するまでのシャーレや培養液の吸収の程度等、線量評価について活発な議論が交わされた。

次に、量研東海研究センターの渡辺立子先生から放射線照射による線量分布と生物影響の初期過程で生じる DNA 損傷応答のシミュレーション研究についてご講演いただいた。放射線の生物影響は細胞内に電離・励起が起こり、ラジカルが生成され、損傷が誘発されるという過程が出発点である。この損傷の中でも致死効果の高い影響として遺伝子情報が組み込まれている DNA 損傷に焦点を当て、細胞を水環境下で模擬し、細胞領域に放射線のエネルギー付与された後、拡散係数から導き出した水分解ラジカルや DNA ラジカルの生成確率を元にラジカルを生成し、最終的に DNA 損傷を再現したことが説明された。また、シミュレーションの中でマイクロビーム研究から得られたバイスタンダー効果をモデル化することで低線量域の生物影響モデルの真の解明につながることを期待されることが説明された。

続いて、広島大の泉 雄大先生から放射線照射によって DNA に付随しているヒストンタンパク質の構造変化の観測結果についてご紹介頂いた。DNA は 8 つのヒストンタンパク質に 1.5 巻され、それが連なったクロマチン構造を形成して細胞核内に収納されている。DNA 損傷誘発後、細胞では損傷を修復するためにヒストンタンパク質が DNA から離れ、クロマチン構造を一時的に解除することがわかっているが、実験的に観測さ

れた事例は今までになかった。講演者は、円二色性スペクトル測定によりタンパク質内の二次構造の成分比を観測できることを利用し、放射線照射前後の細胞から抽出したヒストンタンパク質をフランスの放射光施設の SOLEIL や広島大の HiSOR で円二色性スペクトル測定を行い、二次構造の成分比が放射線の照射前と後で有意に変化することを明らかにした。さらに、現在進めているタンパク質の構造変化のトリガーとなるヒストンの化学修飾を見つけるために化学修飾した非照射タンパク質の構造変化を解析する研究や、HiSOR のマイクロビーム化へ向けた取り組みについてご紹介頂いた。

続いて、量研東海研究センターの神長輝一先生から放射光マイクロビームを1つの細胞に照射した後にヒットした細胞及びその周辺細胞の細胞周期遅延を観測できるリアルタイムイメージングという新手法についてご紹介頂いた。細胞周期に対して特異的に発現する蛍光タンパク質を導入した HeLa がん細胞をタイムラプスイメージング技術により 72 時間連続観察することで各細胞周期にかかる時間を計測することができるようになった。講演中、非照射細胞に細胞周期遅延が誘発されることが動画で紹介された時、会場から驚きの声が聞こえた。この観測技術により細胞の生死を決定づける細胞生存率や突然変異誘発頻度では有意な差がみられなかった低線量域の影響やバイスタンダー効果による影響を容易に観測できることが期待され、今後の進捗が気になる内容であった。

さらに、量研放医研の鈴木雅雄先生から放射光マイクロビームや重イオンマイクロビームを細胞に照射したときの影響を包括的にご紹介頂いた。宇宙線の中には重粒子線もいくつか存在し、低線量影響の要因の一つとされている。講演者は細胞に放射光マイクロビームや重イオン(炭素イオン、ネオンイオン、アルゴンイオン)マイクロビームを照射したときの影響を評価し、細胞死を誘発するバイスタンダー効果は比較的 LET の低い X 線や逆に LET の高いネオンイオンやアルゴンイオンビームでは誘導されないことを説明された。また、 $10\ \mu\text{m} \times 10\ \mu\text{m}$ までビームを絞り細胞の核だけ照射した場合には細胞死を誘発するバイスタンダー効果が観察されたことから、細胞質に放射線のエネルギー付与が起こった場合、細胞核に生じた放射線損傷を軽減する何らかのメカニズムが作用するのではないかという仮説が導き出された。これにより、マイクロビーム照射により細胞の放射線応答機構の解明につながることを示唆され、大変興味深い講演であった。

最後に、鈴木先生の実験で用いられていた重イオンマイクロビーム装置による生物影響研究の紹介を量研高崎研の舟山知夫先生にいただいた。量研高崎研のイオン照射研究施設(TIARA)の AVF サイクロトロンで加速した重イオンビームをコリメーションで収束させるマイクロビーム装置はピンホール径を調整することで $5\ \mu\text{m}$ から $250\ \mu\text{m}$ までビームサイズの変更が可能で、培養細胞やモデル生物の線虫、メダカの脳など、細胞レベルから個体レベルでの照射ができる。しかし、コリメーション式ではピンホール出口のエッジにおけるビーム散乱が不可避なため、細胞内の特定の小器官を狙って照射するまでには至らない。そこで、この問題を解決するために開発した精密なビーム形成を可能にする新たな集束式イオンマイクロビーム装置について続けて紹介があった。こ

れにより真空中における最小径が 1 μm 以下のスポット照射が可能になった。これらの装置を用いた研究事例が最後に紹介され、自由に動き回る線虫を固定して照射する方法等生物研究ならではのユニークな技術が垣間見えた。

本シンポジウムでは、放射光や重イオンのマイクロビーム照射技術から、生物影響研究における最新のトピックスまで幅広く紹介された。当学会の参加者が生物影響になじみがないことをご講演の先生方に考慮していただいたおかげで、参加者からも非常にわかりやすかった、生物の奥深さを知った等、様々な好評をいただいた。このように分野を超えた研究の交流が真の放射線生体影響の解明つながることを予感させた本シンポジウムは大変有意義であったと実感している。