

放射光 X 線を放射線生物研究に用いる利点と課題

富田 雅典

電力中央研究所 原子力技術研究所 放射線安全研究センター

放射光 X 線を放射線生物研究に用いる主な利点としては、エネルギー選択性と指向性に優れている点が上げられる。前者は、プラスミド DNA やヒト培養細胞などを用い、DNA の主な構成元素であるリンの K 殻電離とそれに伴うオージェ効果による DNA 損傷生成と生物影響の解明に活用した。後者は、制動 X 線を用いる通常の X 線発生装置では不可能である細胞や組織への局所照射を可能とし、その特徴を最も活用したものが BL27B に設置されている放射光 X 線マイクロビーム照射装置である。

放射線誘発バースタンダー応答は、組織・細胞集団内で放射線の荷電粒子・2 次電子が DNA にヒットした細胞（標的細胞）が放出する因子を受け取った、放射線がまったくヒットしなかった細胞（バースタンダー細胞）にも、ヒットした細胞と類似の生物応答が生じる現象である。バースタンダー応答が注目されるようになってから約 25 年が経過するが、当初は α 線などの粒子線マイクロビームを用いた研究成果から、放射線防護で用いられている直線しきい値なしモデル（LNT モデル）により、中・高線量域での結果から外挿される低線量域のリスクは、バースタンダー応答が含まれていないため過小評価であるという主張もあった。我々は、放射光 X 線マイクロビームを用いた研究から、約 0.1 Gy よりも低い線量域では、バースタンダー応答が誘導されないことを明らかにした。その後の研究・調査から、 α 線や重イオン線とは異なり、X 線や γ 線などの光子放射線の場合には、放射線を照射した組織内で、ヒットした細胞とヒットしなかった細胞が混在するような素線量（1 荷電粒子の標的へのヒットによって与えられる最小平均線量）よりも低い線量域ではバースタンダー応答は生じないことを報告した。また、培養細胞レベルでの研究成果を組織レベルで実証するために、3 次元培養ヒト表皮モデルを用いて局所照射を行い、組織モデルにおいても線量が高い場合にはバースタンダー応答が生じることを明らかにしつつある。

放射光 X 線マイクロビーム照射装置は、下流の 4 象限スリットの開閉によってビームの大きさ、形状を変えることができる。前田ら（現、若狭湾エネルギー研究センター）は、細胞核のみと細胞全体を照射した場合では、細胞核に照射される線量が同じであるにもかかわらず、細胞致死効率が異なることを明らかにした。KEK の次期放射光で期待されるナノスケールのビームは、細胞内小器官や細胞核内のテリトリーの機能解明などには極めて有用であり、ビームの散乱が問題となる粒子線マイクロビームでは不可能な実験を実現できるが、現在のビームサイズ可変という最大の武器を捨てることになるジレンマを抱える。

放射光 X 線マイクロビーム照射装置が持つ、放射線生物研究におけるアドバンテージは、ビームサイズが可変であることに加え、線量率が生物試料を照射するのに最適である点も忘れてはならない。次期放射光では、ビーム強度が強すぎるため、そのままでは living cell を用いた研究には利用できない。

これまでの我々の研究成果に合わせて、上記の利点と課題について議論したい。