

## 放射線計測とその可視化技術

大阪大学大学院工学研究科 環境エネルギー工学専攻

環境資源・材料学講座 量子線生体材料工学領域 教授

佐藤 文信

### 1. はじめに

私は、平成2年に大阪大学の工学部原子力工学科に入学して以来、本学でお世話になっています。博士(工学)号を取得した後は、レーザー核融合研究センターのポストドクを経て、電子情報エネルギー工学専攻の助手に採用して頂き、電気電子情報工学専攻を経て、平成26年より環境エネルギー工学専攻のメンバーに加えて頂き、現在に至っています。専門は放射線工学で、簡単に言えば、放射線発生装置や放射線検出器を開発する研究を中心におこなってきました。本稿では、私の研究のなかで、「放射線を目に見えるようにするにはどうすればよいか。」という課題に対して取り組んできたものを中心にご紹介したいと思います。放射線の可視化ですが、放射線そのものを見ることは難しいのですが、放射線照射されたものから情報を得ることは工夫しだい可能です。ただし、対象とするものによって、その手法は異なっており、これまでの研究で取り組んできた3つの測定方法について紹介させていただきます。はじめは、単一細胞に放射線が照射された場合、次に、人体臓器程度の大きさの場合、最後に放射線施設や汚染された環境における場合の可視化技術です。

### 2. 単一細胞の放射線損傷観察

国内外においてMeVオーダーのイオンビーム加速器実験施設に単一細胞照射実験システムが整備され、単一細胞の放射線効果を解明しようという研究が勢力的に進められている時期がありました。そこで、私も研究室内でそのような研究が出来ないかと考え、卓上サイズのエクソ線マイクロビーム照射装置を開発し、単一細胞のDNA損傷の観察に取り組みました。放射線によるDNA損傷のなかでも、二重鎖切断は細胞死などを誘発する重篤なDNA損傷として知られています。卓上エクソ線マイクロビーム照射装置はマイクロフォーカスエクソ線管とガラスキャピラーを用いて最小直径10 $\mu$ mのエクソ線ビームが生成され、光学顕微鏡で観察される単一細胞に正確に照射することが可能です。図1は実験結果の一例で、線維芽細胞AG01522Bを蛍光ガラス基板上で培養し、特定の細胞にだけエクソ線が照射されています。蛍光ガラス基板は、放射線の線量計測で利用されている

材料で、蓄積されたエクソ線の吸収線量を紫外線励起による蛍光量から推定することができます。そのため、図1中の矢印で示されたエクソ線ビーム照射位置が蛍光スポットとして観察されています。さらに、細胞のDNAの二重鎖切断は、細胞核内のヒストンH2AXのリン酸化抗体( $\gamma$ -H2AX)を用いて蛍光抗体染色法で調べています。細胞核染色では、全ての細胞核から蛍光が認められるが、 $\gamma$ -H2AXによる蛍光はエクソ線標的細胞核のみに、斑点状に明るく観測されています。この結果より、エクソ線マイクロビームが標的細胞に正確に照射され、DNA二重鎖切断損傷が細胞核に生じていることがわかります。このように、顕微鏡の視野内の特定の単一細胞にエクソ線を照射し、その吸収線量とその効果について正確に観察することができています。近年では、他の研究グループの成果ですが、観察技術などが高度化されて、DNA二重鎖切断についてより詳細にそのメカニズムの解明が進められています。

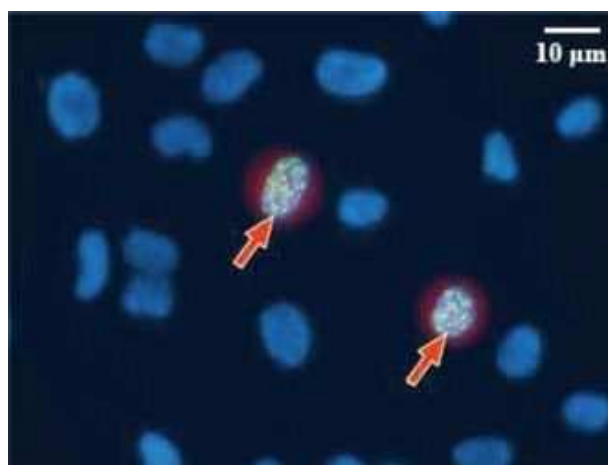


図1 マイクロX線ビーム照射された単一細胞のDNAの二重鎖切断と線量測定

### 3. 線量計材料製ファントム

近年、高度な放射線治療や放射線診断が広く普及し、医学的に大きく発展していますが、その一方で放射線業務従事者の局所の被ばくについて問題になりつつあります。例えば、放射性医薬品を取り扱う従事者の手の被ばくで、この場合、全身よりも手部の方が高い線量となり

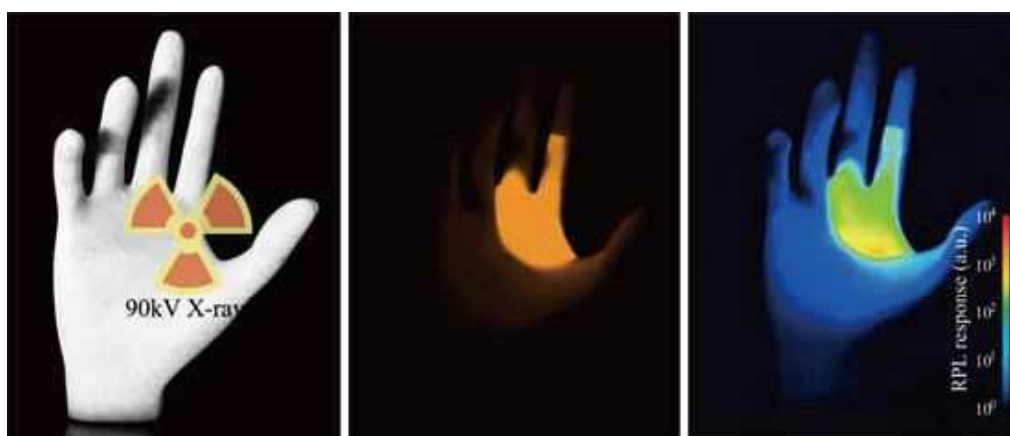


図2 線量分布が可視化可能なラジオフォトルミネセンス線量計樹脂製のファントム

ます。これまでに局部被ばくについての手ファントムを用いた実験的研究や計算機シミュレーション解析が幾つか報告されており、その議論が進められています。そこで、放射線業務従事者の手の局部被ばく評価に役立つラジオフォトルミネセンス線量計樹脂製のファントムを開発しました。このファントムは、紫外線励起による蛍光観察によって線量分布を直接的に調べることが出来ます。また、元になる形状データは3次元スキャナーやCT、MRIのデータから作成します。図2はエックス線照射された手の形状のファントムで、X線照射された所が肉眼で確認出来て、さらに画像解析する事で、その線量分布を得ることも可能です。現在は、筋肉や骨などを模擬した複数の人体組織等価物質で構成されるラジオフォトルミネセンス線量計樹脂製のファントムの開発に取り組んでいます。

#### 4. 高線量場の可視化

強い放射線が発生している場所の可視化については、ガンマカメラなど特殊な測定装置によって撮影が可能です。しかし、それらのカメラは非常に精密な装置であり、それとは異なる簡便な方法で可視化を行おうと考案したのが、蛍光ガラス線量計ビーズによる放射線場の可視化技術です。蛍光ガラス線量計材料を球状にしたものを、高い放射線場に散布し、蛍光ガラス線量計ビーズからの蛍光強度により放射線線量分布を調べようとする技術です。蛍光ガラス材料は比較的融点の低いリン酸塩ガラスを母材としているため、ガラス粉体を短時間で加熱、冷却をおこなうことで、表面張力によりミリメートルオーダーの球形のものを大量生産する事が可能です。また、製造された蛍光ガラス線量計ビーズをシート状に並べて加工し、利用することも可能です。図3は、シート状に並べた蛍光ガラス線量計ビーズに金属のマスクを施してX線を照射し、その蛍光強度分布を観察したものです。こ

の技術は初期の福島第1原発事故処理で問題となっていた放射能汚染がれき撤去作業の安全性の向上に利用できないかと考えていましたが、必要とする線量強度に対して蛍光強度が1～2桁弱く、蛍光効率を上げようとすると原料単価が高くなるなどの課題が解決されず、残念ながら実用までに至りませんでした。

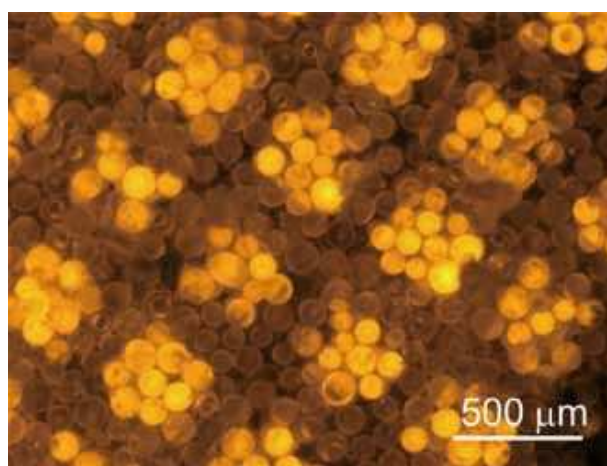


図3 蛍光ガラス線量計ビーズ

#### 5. 最後に

放射線についての国民の知識は、残念ながら、福島第1原発事故により、不安と共に、広く知られることになりました。そして、福島問題をはじめ沢山の課題が残っています。その一方で、高精度放射線治療は期待も大きく、拡大しています。そして、私は放射線についての研究を通して人材育成し、社会に貢献したいと考えています。

(原子力工学 平成6年卒 平成8年前期修了)

電子情報エネルギー工学専攻 平成11年後期修了)