

重点課題 - リスクの最適マネジメントの確立

低線量放射線リスクの定量評価と放射線防護への反映

背景・目的

原子力事故等によって生じた放射性物質による環境汚染から受ける公衆被ばくや、原子力施設の作業員の被ばくの特徴は、低線量率の放射線を長期にわたって被ばくすることにある。このような被ばくでは健康リスクが増大しないこと、すなわち線量率効果があることが高自然放射線地域の疫学調査から示唆されている。その裏付けとなる生物学的な機構を示すことは、放射線に対する社会の不安軽減や科学的かつ合理的な放射線防護体系の構築

に必要である。また、放射線利用全般を対象とした防護体系の見直しにも有用である。

本課題では、低線量率での放射線影響の根拠となる生物学的機構を実験的研究により解明し、線量率効果を放射線防護体系に反映することを目指す。また、福島第一原子力発電所事故により明らかになったリスク評価と放射線防護における課題を明確にし、その解決を支援する。

主な成果

1 線量率効果の機構仮説の構築とその検証

がんは組織幹細胞*1(以下、幹細胞)の集団(以下、幹細胞プール)に障害が蓄積することで生じると考えられている。高線量率被ばくの場合は、多くの幹細胞が同時に放射線を受けて細胞死を生じる。幹細胞プールは一定の大きさで維持されるため、失われた幹細胞プールに対して予備の幹細胞による補充(以下、幹細胞補充)が行われる。これは放射線の障害を幹細胞プールに蓄積する方向に作用すると考えられる(図1右)。一方低線量率被ばくでは、一部の幹細胞だけが損傷を受け、損傷を受けた幹細胞が細胞の入れ替わり(ターンオーバー)や健全な幹細胞との競合で排除さ

れ、障害が蓄積しないとする機構仮説を考案した(図1左)。

この機構仮説の検証に向けて、幹細胞プールが失われると組織の色が変化する遺伝子組換え動物に同じ集積線量の放射線を異なる線量率で照射し、幹細胞補充によって幹細胞プールが維持された割合を評価した。1Gyの放射線を高線量率で照射した場合、幹細胞補充が観察されたが、低線量率で照射した場合には幹細胞補充は観察されなかった(図2)。この結果は、低線量率被ばくでは高線量率被ばくとは異なる機構が作用することを明確に示すものである。

2 福島第一原子力発電所事故評価の分析による今後の重要な解決策の提示

福島第一原子力発電所事故による放射性物質の放出に伴う公衆の放射線被ばくや収束作業に携わる作業員の放射線被ばくに関し、国内外の専門機関による被ばく線量やリスクの推定が行われ、放射線防護上の課題が指摘されている。この事故の経験を防護対策や放射線防護体系の改善につなげるため、それぞれの視点から指摘された多くの課題を俯瞰的に整理し、重要な解決策を抽出することが必要である。

そのため、国際機関等の報告書*2で指摘さ

れた線量評価およびリスク評価の不確かさの要因を、代替手段の有無や不確かさを低減する方策の観点から分類・評価するとともに、放射線防護の課題との関係性を明確にした。その結果、線量評価・リスク評価に係る課題と放射線防護に係る課題に共通する重要な解決策は、線量評価の不確かさを低減するための緊急時被ばく状況*3における個人モニタリングの実施と、リスク評価の妥当性判断や放射線防護基準の基盤となる低線量放射線リスクの定量評価であることを見出した(図3)。

*1 組織内にごくわずかに存在し、生涯にわたって体を維持する役割の機能細胞を作る組織の源の細胞。

*2 世界保健機関(WHO)、原子放射線の影響に関する国連科学委員会(UNSCEAR)、国際放射線防護委員会(ICRP)、ならびに日本保健物理学会等の報告書を調査対象とした。

*3 放射線被ばくのリスクを回避或いは低減するために緊急の対策を必要とする状況。

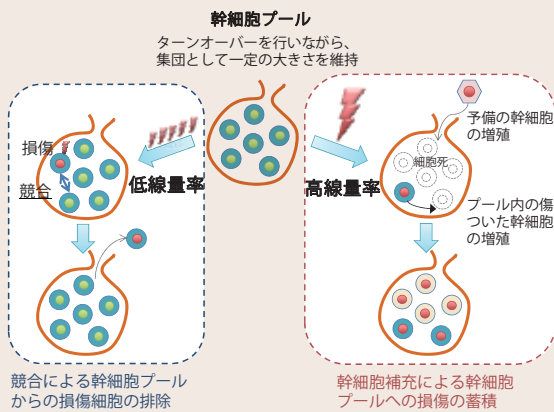


図1 線量率効果の機構仮説と幹細胞補充の概念図

高線量率では幹細胞補充で幹細胞プールが維持されるためリスクの蓄積が起こる(右)が、低線量率ではターンオーバーと競争による損傷細胞の排除が生じる(左)と考えられる。しかし、その境界となる線量率は実験的に明らかになっていない。特定の時期の幹細胞と、その幹細胞が分裂・増殖してできた細胞を青く着色した遺伝子組換えマウスを用いると、高線量・高線量率放射線の致死効果により失われた幹細胞に対する、色の付いていない予備の細胞による幹細胞補充が評価可能であると示した。

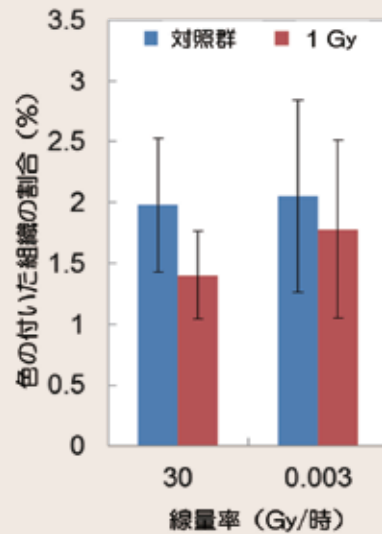


図2 幹細胞補充の線量率効果

30Gy/時の高線量率、もしくは3mGy/時の低線量率で、集積線量1Gy(赤)を照射した場合に、残存する色の付いた組織の割合を示す。照射をしない対照群(青)と比べて、高線量率では有意な幹細胞補充が観察されるが(有意確率 $p=0.04$)、低線量率では有意な差が観察されず、線量率による幹細胞維持機能の差異を確認した。

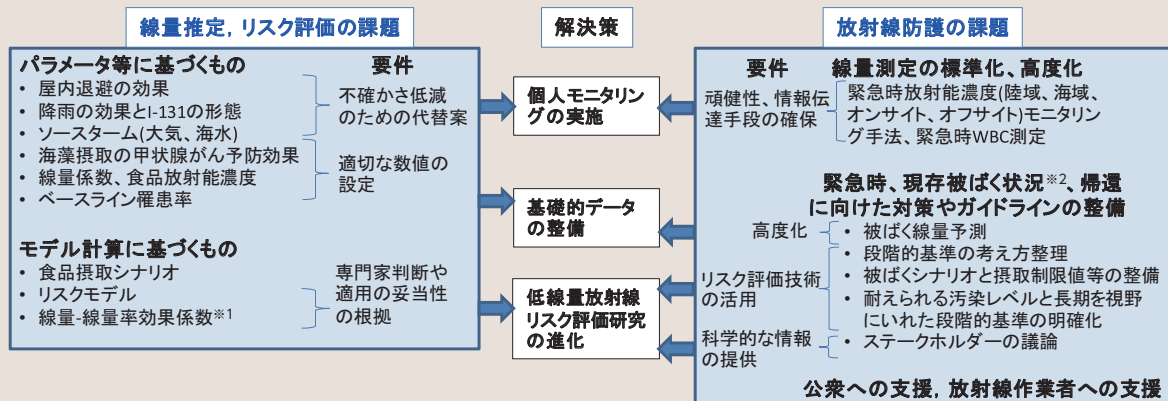


図3 線量推定、リスク評価ならびに放射線防護に係る問題点の整理と、今後の解決策

被ばく線量推定およびリスク評価に係る不確かさの要因は、その評価のパラメータ数値と計算モデルに内在しており、前者については事故直後の外部被ばく線量など事後の不確かさの低減が困難なものが、後者については線量-線量率効果係数などの専門家判断の妥当性が、重要な課題として抽出された(図左側)。また、各専門家機関がそれぞれの視点から指摘した放射線防護に関連した様々な課題の整理を行った(図右側)。これらの被ばく線量推定およびリスク評価に係る不確かさの課題と放射線防護の課題の両者の解決のためには、個人モニタリングの実施と低線量放射線リスク評価研究が、解決策として特に重要であることを示した(図中央)。

*1 低線量・低線量率放射線被ばくにおけるリスクを推定する場合に考慮されるリスクの低減係数。

*2 原子力事故後の長期被ばく状況のように、線源が既に広く存在してしまっている状況。