

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

福島第一原子力発電所事故によって生じた放射性物質による環境汚染により、社会に放射線被ばくに対する不安が広がるとともに、このような状況における公衆の放射線防護体系が十分に準備されていなかったという問題点も明らかになった。高自然放射線地域での疫学調査は、事故後の公衆の被ばくのような低線量率の長期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

があることを示唆しており、その裏付けとなる機構を示すことは、防護基準の合理化や放射線に対する不安の軽減につながる。

本課題では、社会の理解が得られる、わかりやすく合理的な放射線防護体系の構築を目指し、事故後の状況における防護措置の改善に向けた提案を行うとともに、線量率効果の根拠となる生物学的機構を実験的研究により解明する。

主な成果

1 原子力事故後の被ばく状況における段階的な放射線防護措置の提示

国際放射線防護委員会(ICRP)は、原子力事故等により生じる緊急時*1および現存被ばく状況*2では平常時に適用される「線量限度」ではなく、状況に応じた「参考レベル」という放射線防護措置の目標値を経済的および社会的要因を考慮して選定し、その値に基づいて防護措置を最適化することを勧告している。本研究では、福島第一原子力発電所事故後の被ばく状況において明らかになった廃棄物管理および食品規制の課題に対し、防護措置の最適化における「参考レベル」の適用の

考え方を示した。

廃棄物管理については、除染等により生じる放射性物質を含む廃棄物の現存被ばく状況での管理に起因する被ばく線量の段階的参考レベルを、周辺の線量や環境修復の進行に応じて、廃棄物管理の負荷も考慮して選定する考え方を提示した(図1)。また、食品規制については、事故後の食品規制の具体的な段階的参考レベルを、時期と被ばく状況の違いに応じた値として提示した(図2)。

2 線量率効果の解明に向けた組織幹細胞ターンオーバーの定量的解析

発がんは組織幹細胞*3(以下、幹細胞)に障害が蓄積することによって生ずると考えられている。当所は、幹細胞の細胞死や入れ替わり(ターンオーバー)等によって、生体が障害を持った幹細胞を排除する機構が線量率効果に関係していると考え、線量率効果の機構解明に取り組んでいる。

本研究では、幹細胞の動態がよく知られている腸管をモデル系として、放射線照射による幹細胞のターンオーバーを定量的に解析する手法を構築した(図3)。次に、この手法

を用いて、腸管幹細胞のターンオーバーが高線量率放射線の照射により促進されることを明らかにした(図4)。これは、全ての細胞が同時に傷つくような高線量率被ばくでは、幹細胞が細胞死により減少し、生き残った障害を持つ幹細胞が再増殖して組織を維持するため発がんリスクの増加させることを意味する。今後本手法を用いて、健全な幹細胞中に少数の障害を持つ幹細胞が生じる状況となる低線量率の場合との違いを明らかにしていく。

*1 リスクを回避あるいは低減するために緊急の対策を必要とする状況。

*2 被ばくに関する管理を講じる際に、線源が既に存在している状況。緊急事態後の長期被ばく状況を含む。

*3 組織を構成する細胞の源となる細胞。自己増殖する特徴から発がんの起源であるとされる。

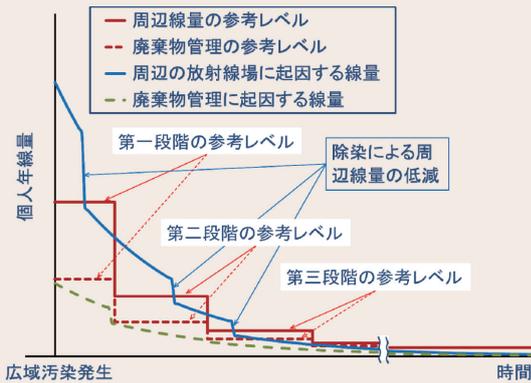


図1 廃棄物管理に関する参考レベルの段階的設定の考え方

広域汚染で周辺の放射線場による線量(周辺線量)が高くなった状況において、周辺線量の低減目標として第一段階の参考レベルを実現性を考慮して設定するとともに、廃棄物管理の参考レベルはそれ以下の値で設定する。これらの目標値に向けて、廃棄物管理を含めた線量低減(除染等)の取り組みを行う。周辺線量の低下を確認した上で、さらに線量低減措置の効果と負荷のバランスを取って、第二段階の参考レベルを設定する。このような最適化の過程を繰り返し、周辺線量を平常時のレベルまで、安全かつ合理的に低減する。



図2 食品規制の段階的参考レベルと指標値の比較

緊急時被ばく状況から現存被ばく状況までを、早期(週単位)・中期(月単位)・後期(年単位)の3つの期間に分け、各期間での参考レベルを設定する。これにより、流通や摂取の制限を現実的にとりうるものとしてリスク間のバランスをとりながら、公衆の被ばく線量を段階的に低減する。事故後の期間に依らず同じ値が割り当てられていた指標値に対して、段階的参考レベルの設定により、事故と被ばくの状況に応じた食品規制の最適化ができる。

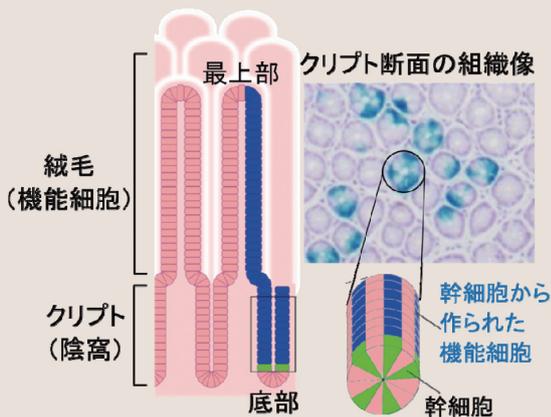


図3 幹細胞ターンオーバーを定量的に評価する実験系

- ◆腸管幹細胞とその子孫である組織細胞を標識できる遺伝子交換マウスを用いると、標識した幹細胞と組織細胞が底部(クリプト)から最上部(絨毛)まで標識された組織像が得られる。
- ◆クリプト断面の組織像から標識された細胞を持つクリプトの比率を測定することで、標識された幹細胞の数を知ることができる。照射によって幹細胞ターンオーバーが亢進すると、標識された幹細胞の数が減少すると考えられる。

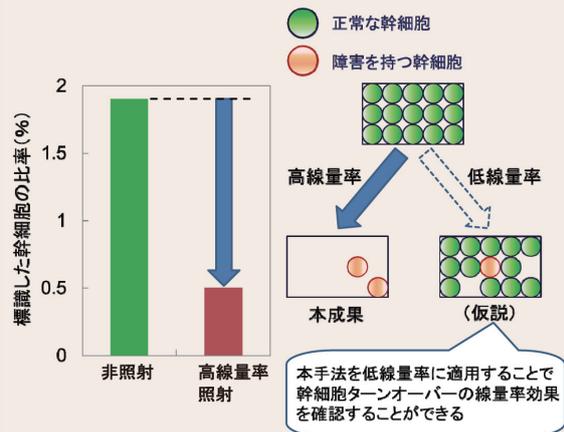


図4 高線量率放射線が誘発する幹細胞ターンオーバー

- ◆マウスに高線量率(1.5 Gy/min)のX線(1 Gy)を照射し、標識された細胞を持つクリプトの比率を測定することで、高線量率放射線による大腸幹細胞のターンオーバーの亢進を検出することができた(図左)。
- ◆本手法を低線量率に適用してターンオーバーの亢進を定量的に示すことで、発がんの起源である幹細胞のターンオーバーに対する線量率効果が明らかになり、発がんの線量率効果の機構解明に資することができる。