

## 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

原子力施設の作業員の被ばくや、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の被ばくは、低線量率であるものの長期間にわたる被ばくとなる。このような被ばくは高線量率被ばくと異なり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、高自然放射線地域での疫学調査から示唆されており、その生物学的な機構を示すことは、放射線に対する不安の軽減や

防護基準の合理化につながる。また放射線リスク評価の基盤となる線量評価の精度向上も重要な課題となっている。

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旨とするとともに、放射線リスクの不確実性低減に向けた線量評価手法を開発する。

## 主な成果

## 1 線量率効果の解明に向けた組織幹細胞の放射線影響評価手法の開発

がんは組織幹細胞\*1(以下、幹細胞)に障害が蓄積することで生じる。通常、生体組織内においては、複数の幹細胞が集団を形成して機能を維持していることが知られている。低線量率放射線被ばくでは、放射線によって傷ついた幹細胞と傷ついていない健常な幹細胞が集団内に混在するような状況が生じる。このとき、傷ついた幹細胞と健常な幹細胞との間で競合が起こり、傷ついた幹細胞が排除されれば、放射線による幹細胞の障害は集団全体として蓄積しにくくなると考えられる。当所は、これが線量率効果のメカニズムの一つで

あると考えて、その検証に取り組んでいる。

この競合を詳細に解析するために、腸管幹細胞のオルガノイド\*2培養技術(図1)を用いた実験系を開発し、0~4 Gyの照射を受けた幹細胞の生存率を明らかにした(図2左)。さらに、この実験系を応用して、2 Gy以上の高線量照射後に生き残った幹細胞の組織を再生する能力が高まっていることを定量的に明らかにした(図2右)。このように、本実験系は放射線照射後の幹細胞の挙動を試験管内で定量的に解析可能で、幹細胞間の競合による線量率効果の検証に適用できることを確認した<sup>[1]</sup>。

## 2 クリアランス検認\*3における放射線計数効率の経年影響の評価

原子力施設から搬出される廃棄物等のクリアランス検認では、低い放射線量を正確に計測する必要があることから、線量計測の精度向上が課題となっている。精度の高い計測を困難にしている要因の一つが、金属廃棄物に発生するさびの影響である。さびによって放射線が遮へいされる場合に、放射性物質による汚染を過小評価しないために、さびが放射線計測に及ぼす影響を評価する必要がある。

本研究では、放射性同位元素( $\alpha$ 核種として $^{241}\text{Am}$ 、 $\beta$ 核種として $^{60}\text{Co}$ )を付着させた金属

試験片を用いて、さび発生試験を実施し、さび量と放射線計数効率の低減度の関係を明らかにした(図3)。また、原子力関連施設倉庫内の実環境におけるさびの発生状況を1年以上にわたって観測し(図4)、実環境での金属廃棄物の放射線計数効率の低下を推定することを可能にした。さらに、放射線のエネルギーの違いを考慮することで、ウランで汚染した廃棄物についても、経年変化による不確実性の影響を適切に評価したクリアランス検認を可能とする評価方法を提示した<sup>[2,3]</sup>。

\*1 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。

\*2 幹細胞から分化して生じた各種機能細胞が生体内組織と同様な細胞配置を示す立体的な組織構造体。

\*3 放射性物質として取り扱う必要がないレベルの放射性物質濃度以下であることの確認。

[1] Yamauchi, M. et al., J Radiat Res, 55(2), 381-390, 2014

[2] 伊知地・河村, Jpn. J. Health Phys., 48(4), 171-179, 2013

[3] 伊知地・河村, Jpn. J. Health Phys., 48(4), 200-205, 2013

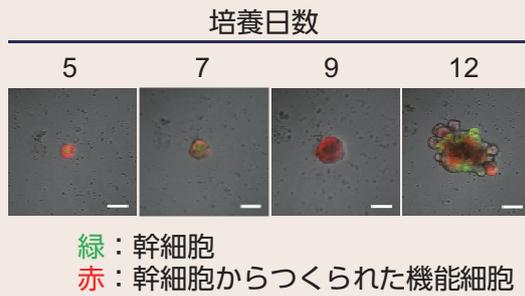


図1 腸管幹細胞オルガノイド培養実験系

マウス小腸から分離した幹細胞を含む小腸組織細胞を試験管内で培養して得られたオルガノイド。緑は幹細胞、赤は幹細胞が分裂してつくられた細胞。培養日数が進むにつれて、金平糖状になり、小腸の絨毛の根元に存在するクリプトに類似した突起が生じた。さらに、生体内における分布と同様に、その底部に緑色の幹細胞が存在することが確認できた。

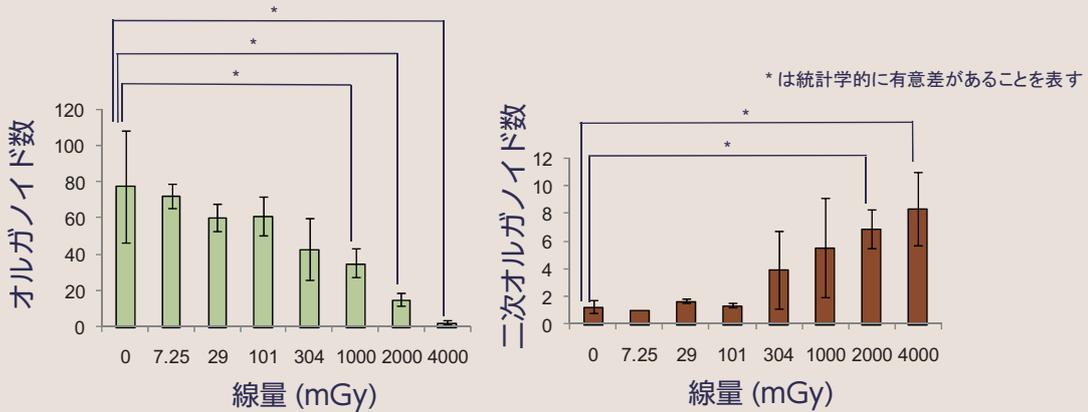


図2 オルガノイド実験系による放射線影響評価

放射線照射後に形成されたオルガノイドの数(左)。オルガノイドは幹細胞からできるため、オルガノイド形成効率は幹細胞の放射線照射後の生存率を表す。非照射群と比べて1000 mGy以上で有意に減少することが分かった。

また、放射線照射後に傷ついた組織を修復するため、生き残った幹細胞は活発に組織再生すると考えられるが、これを定量的に評価したデータはこれまでなかった。そこで、照射後に形成された一次オルガノイドを細胞に分解し、再度培養して二次オルガノイドを形成させて、幹細胞の組織再生能を評価した(右)。1個の一次オルガノイドから形成された二次オルガノイドの数を計測し、照射線量が大きいほど増加することを定量的に明らかにした。

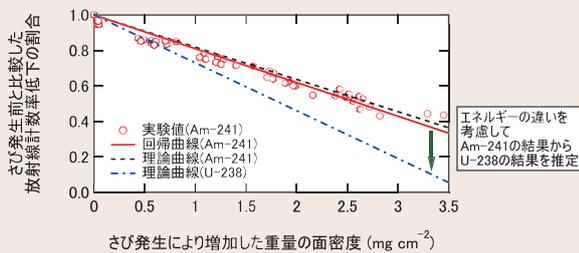


図3 さびによる放射線計数効率の低下(試験結果及び理論値)

炭素鋼に $\alpha$ 核種である $^{241}\text{Am}$ を滴下した試験結果を、例として示す。試験結果はほぼ理論値と一致した。

このことから、エネルギーの違いによる理論式の傾きの違いを考慮することで、さびによる $^{238}\text{U}$ の放射線計数効率低下度を推定することが可能となる。

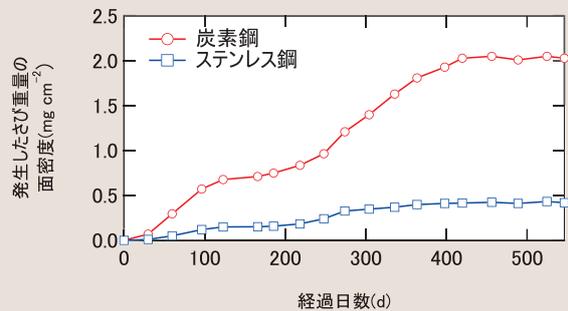


図4 原子力関連施設倉庫内の実環境におけるさび発生試験結果

炭素鋼とステンレス鋼を原子力関連施設倉庫内の実環境に設置し、経年変化によるさびの発生量を観測した。図3の評価から、 $^{238}\text{U}$ で汚染した炭素鋼では500日経過後には放射線計数効率が0.4~0.5程度に低下すると推定できる。