

論文審査の結果の要旨

博士の専攻分野の名称	博士（ 学 術 ）	氏名	廣田 誠子
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 1 項第 ② 項該当		
論文題目 Behavior of the electron spin resonance signals in X-ray irradiated human fingernails for the establishment of a dose reconstruction procedure (X 線被曝した人の爪の電子スピン共鳴信号の挙動について—遡及的線量評価手順確立に向けて—)			
論文審査担当者			
主 査	教授	永田 靖	印
審査委員	教授	吉永 信治	
審査委員	講師	高萩 俊輔	
〔論文審査の結果の要旨〕			
<p>放射線により歯や骨など人体組織中に発生したラジカルを電子スピン共鳴吸収 (ESR) 法により測定して被ばく線量を推定する手法は、原爆被爆者の線量推定等に用いられてきた。なかでも歯のエナメル質を試料として用いる手法はよく知られており、過去の被ばく事故でも応用された実績があるが、その侵襲性から試料採取に困難を伴う場合が多く、頭頸部以外の局所被ばくには適用できない。一方、試料採取が容易な爪を用いた精度のよい線量評価が可能になれば、過去たびたび起こっている四肢の被ばく事故での有用性が高いと考えられる。</p> <p>爪を用いた線量評価における課題として、これまでの先行研究では、エネルギーや線種を変えて応答を比較した先行研究が少ないこと、ラジカルに起因する信号が湿気によって減衰しやすいこと、バックグラウンドの信号 (BKS) や切断により生じるノイズ信号 (MIS) が比較的大きく放射線由来の信号 (RIS) を明瞭に抽出できないこと、そのために歯のエナメル質等に比べて高い線量しか測れないこと等が挙げられる。</p> <p>そこで、本研究では、多くの先行研究で用いられてきた γ 線だけでなく、医療で広く用いられている X 線を対象に、爪の RIS 信号の特性を調べた。また、過去の研究では、RIS の減衰防止策として真空中や冷凍庫内での保管が、MIS の軽減策として切断面の水の塗布や薬剤による処理が提案されているが、どちらも試料採取が行われる現場での手順としては煩雑さが伴う。そこで、MIS を定量的に評価し後に差し引くという解析的なアプローチで MIS を分離する手法を提案し、その有効性を検証した。更に、研究の過程で低湿度下で RIS が増加する現象を発見したので、これに着目して増加率や増加期間などを定量化した。これらの結果を踏まえ、採取にあたり現場の負担がより小さい線量評価のプロトコルの提示を試みた。</p> <p>研究の実施にあたり、まず 30 代から 60 代のアジア人 8 名から手指の爪を試料として採取した。採取した試料は、質量を測定した後、シリカゲルと共にジッパー付きポリ袋に入れて湿度を 20% 以下に保持するようにし、20 度の室内で遮光して保管した。ESR 測定には JEOL 社の JES-FA100 を用いた。</p> <p>爪試料を最大 100 Gy までの X 線で繰り返し照射し、その合間に適宜 ESR 測定を行うことで、X 線に対する信号の検量線を取得した。X 線照射は Faxitron 社の CP-100、γ 線照射は Best Theratronics 社のガンマセル 40、照射した線量の</p>			

確認には千代田テクノル社のガラス線量計システム (DoseAce) を使用した。

X 線の照射は、実際の事故を想定し、ビルドアップ材を用いずに行った。一方で、試料内での放射線の後方散乱によるビルドアップ現象の影響は、モンテカルロ型粒子輸送計算コード (PHITS) を用いて評価した。

爪試料の切断操作に対する感度は、追加切断と切断した面の断面積測定を繰り返すことによって評価した。断面は長方形を仮定し、断面の二片の長さとの湾曲による曲率をノギスにより測定し算出した。BKS 信号の測定では、試料を 12 時間以上水中に浸すことで信号を除去し、4 日以上シリカゲルを用いた処理を行って乾燥させた。質量が浸水以前に戻ったことを確認して乾燥したと判断した。RIS の増加現象の測定では、最初に試料を 14 時間浸水後 4 日間乾燥、一週間程度 ESR 信号を観察した後、X 線照射群と未照射群とに分類し、照射後最大 2 ヶ月間にわたり信号の変化を観察した。

照射した X 線の線量と ESR 信号の大きさの関係には、 γ 線と同様に比例関係が確認され、両者でその感度に差は見られなかった。また同一個人内での感度のばらつきは個人間でのばらつきと大差なかった。PHITS による計算で得られた結果から、本研究で用いた 60keV 程度の X 線では、深さ 8mm 程度の位置に表面線量に対して 1.06 倍程度のビルドアップピークを形成したが、爪の厚みは通常 0.5mm 以下なので試料内における吸収線量の分布形状は同様とみなせること、爪試料の吸収線量は光子のエネルギーの違いに応じて最大 1.5 倍程度光子カーマからずれる可能性のあることが示唆された。

MIS の ESR 信号の大きさと切断面の面積には比例関係のあることが確認された。ただし、その感度は爪試料ごとのばらつきが大きく、実際の被ばく事故後の線量評価においては試料ごとに MIS の感度を定量化する必要性が示唆された。そこで、試料採取時に発生した MIS の大きさを切断時断面積と MIS 感度の積から推定できるかを確認するため、採取後に ESR 測定を行い、次に 10 Gy を照射して RIS を測定した後、浸水により切断時 MIS と RIS を消去し、BKS を測定した試料から MIS を推定したところ、MIS 感度に採取時断面積を乗じた量と矛盾しなかった。

本研究を実施する過程において、X 線を照射した爪試料の RIS が照射後数日間にわたって増加する現象が新たに観察され、その大きさが照射した線量に比例することが分かった。ただし、湿度による減衰も同時に進行するため、増加の大きさは試料の置かれている環境に大きく依存すると考えられた。なお、先行研究においてこの現象が見逃されていた理由として、環境条件に起因する減衰や本研究の未照射群で観察された BKS の増加現象に隠れてしまっていた可能性が指摘できる。

本研究では、上記の独自に得られた実験・解析結果を踏まえ、被ばく事故において爪試料を用いて線量を評価するためのプロトコルを次のように提示した：①採取した爪試料をそのままシリカゲルと共にジッパー付きポリ袋に入れ、②放射線照射と ESR 測定のできる機関／施設に郵送し、③測定機関において一切の処理を行わず ESR 測定を行い、④X 線に対する感度及び⑤RIS の増加を確認した後、⑥浸水により全信号を消去し、⑦BKS とその変化を定量して、最後に⑧MIS の感度を測定する。このプロトコルによって、被ばく線量を遡及的に求めることができると期待される。

以上の結果から、本論文は、放射線により四肢を被ばくする事故が起きた際にその局所的な線量分布を精度よく測定評価する手法の確立に大きく資するものと言える。よって審査委員会委員全員は、本論文が廣田誠子に博士 (学術) の学位を授与するに十分な価値あるものと認めた。