

研究成果報告書

| | | |
|----------------|----|--------|
| 所属機関 | 職名 | 氏名 |
| 仙台高等専門学校 総合工学科 | 助教 | 加賀谷 美佳 |

研究テーマ

伐採前の木を現場で検査可能な可搬型放射能モニタリング装置の開発

研究報告

1. 研究の背景と目的

福島第一原発事故により、東日本の広い地域に放射性物質が拡散した。特に半減期が30年と長い放射性セシウム ^{137}Cs が放射する放射線による被ばくは深厚な問題であるため、宅地の除染は早急に進められてきた。一方で、人が立ち入らない山林の除染はほとんど行われておらず、放置されている。山林における放射能汚染は、土壌汚染だけでなく、樹木にも及んでいる。そのため、福島県や近隣の地域では、原木生産林の出荷が制限され、自県産の原木の調達率は原発事故前の10%以下にまで落ち込んでいる。原木を利用してシイタケを栽培する原木シイタケ産業において、林野庁は食品に含まれる放射性セシウム濃度の基準値(100ベクレル/kg)よりも低い50ベクレル/kg以下をシイタケ栽培に使用可能な原木の指標として定めている。林野庁の通達では、10ヘクタールの原木生産林に対して3本の抜き取り検査によって原木生産林が使用可能かを判定するが、10ヘクタールの原木生産林の平均立木数は約10,000本であり、これを5%の危険率で立木を判定しようと思うと、370本の立木を検査しなければならない。また、放射能汚染地域の山林では、放射能汚染および人手不足によって、過去に植林を行った森林が荒廃してしまい、土砂崩れなどの災害を引き起こしていることが問題となっている。特に放射能汚染地域では放射能廃棄物の埋め立てなどが行われるため、このような災害の可能性は慎重に検討しなくてはならない。そのため、使用可能な木は伐採適齢期で伐採し、新しい木を植えて森林を循環させていく必要がある。しかし、現時点では、伐採前の立木の放射能濃度が基準値を超えるかどうかを判別する方法はないため、木を伐採して測定場所まで運搬しなければいけないのが現状である。そのため、伐採前の立木の放射能濃度を測定する可搬型の検査装置が早急に必要とされている。

そこで本研究では、低レベル放射能汚染地域において、伐採前の立木を現場で非破壊測定するための可搬型放射能検査装置の開発を目的とする。本研究により、伐採前に現場で測定可能な装置が開発できれば、シイタケ栽培用の木の選定だけでなく、住宅用やチップに使用可能な木を選定できるため、伐採後、新しい木を植林することも可能で、森林の循環を活性化させることが可能になる。放射能が高く使用できない木については、土壌にカリウムを施用すると木に吸収される放射能濃度が低減することが最近の研究から明らかになっているため、このような対策により、放射能濃度をモニタリングしながら使用可能レベルまで下げた後伐採することもできると期待される。

2. 研究成果および考察

【原理】

放射性セシウム ^{137}Cs が放出する 662 keV のエネルギーをもつガンマ線は、物質を透過する能力が高い。そのため、遮蔽体で測定領域をすべて覆い、土壌からの影響を完全に遮蔽することができれば、立木に含まれる放射性セシウムのみを測定することは可能であるが、662 keV のガンマ線を遮蔽するには 30 mm~50 mm の厚みの鉛で覆う必要があるため、装置が非常に重くなってしまい可搬型としては実用的でない。そこで我々は、放射性セシウム ^{137}Cs が崩壊してできるバリウム ^{137}Ba が放出する 32 keV の特性X線に着目した。32 keV の特性X線を検出することができれば、放射性セシウム ^{137}Cs が含まれていることを示す証拠となる。32 keVのエネルギーを遮蔽するには、鉛であれば 0.1 mm の厚さで十分であるため、少ない遮蔽体でバックグラウンドの影響を少なくすることができる。しかし、この遮蔽体の厚みでは立木や土壌からの 662 keV のガンマ線による散乱などの影響(バックグラウンドガンマ線)は防げない。そのため、バックグラウンドを差し引く必要があるが、土壌の汚染は一樣ではなく、位置が少しでも変わるとバックグラウンドの量が変化してしまう。立木の場合は動かすことができないため、その場で測定可能な手法が必要となる。本研究では、立木のような動かさない測定対象物においてもその場でバックグラウンドを測定し、バックグラウンドをモデル化することで差分法により精度よくバックグラウンドを差し引く方法を考案した。

【可搬型検査装置の構成】

本研究では、検出部としてヨウ化セシウムの無機シンチレータ結晶（5 cm×5 cm×1 cm）と3インチの光電子増倍管（浜松ホトニクス社製 R6233MOD）を組み合わせた検出カウンターを用いる。シンチレータは、放射線と反応して発光する物質であるため、発光した光を光電子増倍管で検出することで、シンチレータに入射したガンマ線のエネルギーを測定することができる。検出された信号は前置増幅器によって増幅、整形され、読み出しボード（BBT社製 ADC-SiTCP V2ボード）からPCへ転送される。プロトタイプ検出器では、検出カウンターを4個使用して、木を四方から挟み込むように検出器を設置した。これにより、放射能濃度のムラも平均化することができる。遮蔽体には加工のしやすさ、筐体の耐久性、遮蔽体から放出される特性X線のエネルギーの観点から、銅板を採用した。図1に可搬型検査装置の外観を示す。



図1: プロトタイプ可搬型検査装置の外観

【測定手法】

まず初めに検出面以外の検出器を1.5 mm 厚の銅板で覆い測定を行う（測定①，図2左）。この測定では、木から放出される32 keVのガンマ線、土壌からの662 keVのガンマ線、土壌からの662 keVのガンマ線と遮蔽体の反応による散乱成分である。次に、測定①と同じ場所で、検出面も遮蔽体で覆いバックグラウンドの測定を行う（測定②，図2右）。検出器をすべて遮蔽体で覆うため、木由来の32 keVの特性X線は検出されず、土壌からの662 keVのガンマ線、土壌からの662 keVのガンマ線と遮蔽体の反応による散乱成分のみが測定される。

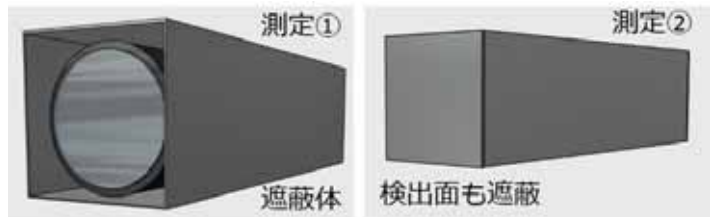


図2: 立木測定の際の検出面

次に得られたデータを用いて放射能濃度の推定を行う。測定②で得られたデータを用いて、バックグラウンドのスペクトル形状をモデル化し（図3左）、測定①のデータから、差し引くことによって、木から放射された32keVの特性X線を検出することが可能である（図3右）。得られた32keVのピークから、特性X線のイベント数を計測する。

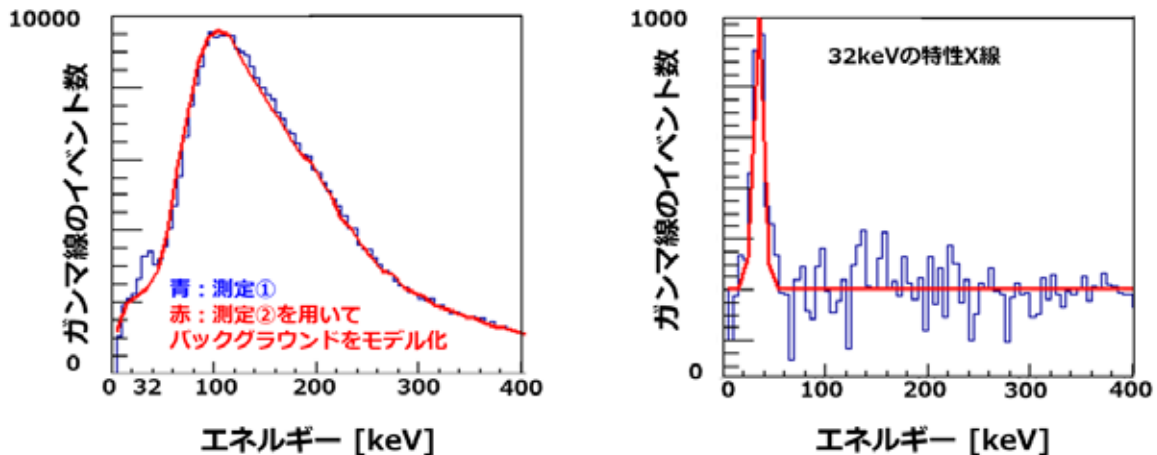


図3: 測定で得られたエネルギースペクトル（右はバックグラウンド差し引き後）

【実測による装置の性能評価】

本研究では、まず1つの検出カウンターを用いて屋内、屋外での測定試験を行った。放射能濃度の高い原木（福島県産で280ベクレル/kg）を遮蔽体で放射能濃度を調整し、50～280ベクレル/kgの放射能濃度を模擬した。それぞれの空間線量は屋内が約0.05 $\mu\text{Sv/h}$ 、屋外が0.05～0.06 $\mu\text{Sv/h}$ であった。測定時間は木の放射能濃度測定、バックグラウンドガンマ線の測定をそれぞれ1時間とした。図4のグラフの黒点が屋内での測定データ、赤点が屋外データを示している。各データをそれぞれ1次関数でフィッティングすると、傾き1.3の直線となった。この結果から、放射能濃度と32 keVの特性X線のイベント数に線形の関係があり、モデル化したバックグラウンドで、測定データから精度よくバックグラウンドを差し引けていることが確認できた。また、屋外においても50ベクレル相当の測定が可能であることが実証された。

次に検出部を4つに増やし、屋内での測定試験を行った。図4の青点が測定結果を示している。4つに増やした場合、感度が4倍になるため、図4には1カウンターあたりに換算し直した値をプロットしている。3つの測定を重ねてみると、ばらつきは多少あるものの、すべての測定において、木由来の放射能濃度の推定に成功しており、結果も一致していることがわかった。4つのカウンターを使用することにより、統計誤差を小さくすることが可能であるため、測定精度が保証されれば、測定時間をリーズナブルな時間（～20分程度）まで短くすることも可能である。

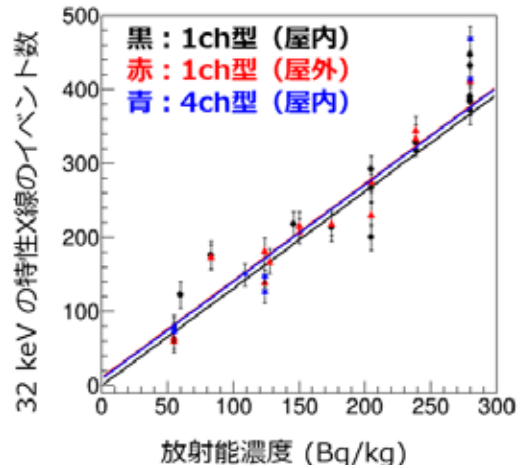


図4：放射能濃度と32 keVの特性X線のイベント数

3. 将来展望

本助成によって、複数の検出カウンターを用いたプロトタイプの開発を実現することができた。屋内での測定試験においては、1つ検出カウンターを用いた時の4倍の感度を達成し、放射能濃度とガンマ線の計数との関係も1カウンターの場合を一致していることを確認することができた。そのため、2019年7月から実際の原木生産林において立木の測定試験を行う。可搬型検査装置での測定後、立木を伐採して既存の非破壊検査装置での測定を行う。その後、粉碎してゲルマニウム半導体検出器での測定も行い、それぞれの装置で得た放射能濃度と可搬型検査装置との結果と比較を行う。また、実測試験の結果を測定精度向上のために検出器の配置や測定手法、作業性の向上についての改良を重ねる。特に測定毎に起こるセットアップのずれなどによる系統誤差は測定値の精度の向上に非常に重要で、微量な放射能濃度を測定するためには欠かせない検討項目であるため、実地試験の結果を踏まえて検討する必要がある。最終的には製品化を目指し、実際の農家の方々に使っていただけるように実用的な検出器を完成させる。また、立木以外の食品などへの応用も検討している。

4. 研究発表

特許出願

特願 2018-167492：放射能測定装置、放射能測定方法、放射能情報処理サーバおよび放射能情報処理システム

学会発表

1. 加賀谷美佳、他6名、「立木のスクリーニング検査に用いる放射能検査装置の開発」、日本きのこ学会第22回大会、北海道函館市（2018年8月）
2. M. Kagaya et al., “Development of a portable and sensitive radioactive detection system for outdoor nondestructive measurement of radioactive cesium in standing trees”, 19th International conference on solid state dosimetry, Hiroshima (Sep. 2019) ※発表は確定