

論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)	氏名	Triyono Basuki
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 ①・② 項該当		
論文題目			
^{137}Cs Migration from Sloped Forest Catchment to Water Body and Its Contribution to Air Dose Rate (傾斜森林集水域から水域への ^{137}Cs の移行とその空間線量率への寄与)			
論文審査担当者			
主 査	教 授	中島 覚 (自然科学研究支援開発センター)	
審査委員	教 授	井上 克也	
審査委員	教 授	水田 勉	
審査委員	教 授	石坂 昌司	
〔論文審査の要旨〕			
<p>2011 年 3 月に発生した東京電力福島第一原子力発電所の事故では、環境中に大量の放射性物質が放出された。その中でも ^{137}Cs は大量に放出され、30.2 年と長い半減期を持つために、その環境中での移行の研究は重要となる。汚染された地域の 60%は森林域であり、その他の土地に比べて ^{137}Cs 濃度が高い。住宅地や農地では除染が行われているが、森林では除染が進んでいない。森林中の ^{137}Cs はその場に留まる傾向があるとされているが、森林では山菜等が取れ、それが食されることがある。また傾斜森林水域の放射性セシウムが水域へ移行して水を汚染し住環境へ移行する可能性がある。したがって、傾斜森林集水域から水域への ^{137}Cs の移行を明らかにすることは、将来の被ばく線量を予測するうえで重要である。また、放射線災害復興を推進するフェニックスリーダー育成プログラムにとって重要な研究課題であり、放射化学が貢献できるところである。</p> <p>2016 年 8 月に福島県耶麻郡の桧原湖周辺の傾斜地及び水域で、2018 年 3 月に福島県川内村の荻ダム周辺の傾斜森林地及び水域で、空間線量率の測定と土壌及び湖底堆積物のコアサンプリングを行った。コアサンプルは深さ方向で切り分け、物理化学的測定に供した。放射線の測定は試料を乾燥後 Ge 半導体検出器を用いて通常の方法で行った。放射能の算出に当たっては、標準線源を用いた測定により検出効率を算出し、その検出効率を用いて行った。</p> <p>土壌の性質と放射性セシウムの移行との関係を調べるため、土壌の物理学的、化学的、生物学的な性質を調査した。すなわちサンプリングした土壌の密度、pH、有機物の割合、粒度分布、交換性カチオン(Na^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+})濃度、陽イオン交換容量、塩基飽和度を求めた。特に、有機物の割合と粒径の小さい粘土・シルト成分の割合が放射性セシウムの垂直方向への移行を支配していることが分かった。また、本学東広島キャンパスから土壌を採取し、セシウム耐性バクテリアを単離した。このバクテリアは、16S rDNA 部分塩基配列に基づいてバチルス属であることが分かった。この単離したセシウム耐性バクテリアを用いて CsCl の吸収実験を行った。その結果、セシウム濃度が 400mM まで耐性があった。この吸収実験を KCl 共存下でも行い、低 CsCl 濃度では KCl が共存すると Cs の吸収が促進さ</p>			

れるが、高 CsCl 濃度では KCl の共存により CsCl の吸収が阻害されることが分かった。このセシウム耐性バクテリアの SEM 観察を行い桿状であることが分かり、CsCl をたくさん吸収することによりバクテリア表面が歪んでくることが観察された。さらにこのバクテリアを使った除染実験を行った。その結果、硫酸と同程度の除染効果があることが分かった。吸脱着によりセシウムの化学形が変化して土壌中での移行のしやすさが変化することが推測される。この結果は東広島キャンパスから得られたセシウム耐性バクテリアについてのものであるが、傾斜森林集水域についてもバクテリアの影響について調べることが期待される。以上のような物理学的、化学的、生物学的な要因により放射性セシウムの移行が影響されることが示唆された。

土壌中の ^{137}Cs の深度分布は場所によって異なっていた。すなわち、針葉樹及び広葉樹の土壌では相対的に深く浸透していた。これは森林土壌が有機物を多く含むことと関係しており、 ^{137}Cs が森林中に留まる傾向があることとの一つの要因であると考えられた。それに対して森林と湖の間の植物があまり存在しない中間領域では ^{137}Cs は表面付近にのみ存在し、その絶対量も低かった。この領域の土壌は粘土成分が多く、そのために深くまで浸透せず、風化に伴い湖へ移行したためであると考えられた。農地では ^{137}Cs 濃度の絶対値が小さく均一に分布していた。これは除染が行われており、さらに耕作による均一化のためである。湖底堆積物では、深度分布において ^{137}Cs 濃度が高い部分がところどころ見られた。これは湖周りからの流入によるものと考えられ、森林と湖の間の植物があまり存在しない中間領域で ^{137}Cs 濃度が低いことと一致する。

森林集水域から水域への ^{137}Cs の移行を調べることは容易ではない。本研究では湖底堆積物に対する森林土壌中の ^{137}Cs 濃度の比を指標とすることとした。本研究のデータ及び文献から様々な地点及び事故後の様々な経過時間の値を用いて湖底堆積物に対する森林土壌中の ^{137}Cs 濃度の比を計算し、本研究の比と比較した。それぞれの地点では様々な要因により大きくばらつくが、 ^{137}Cs 濃度は、福島第一原子力発電所から離れると減少し、距離との相関がみられた。しかし湖底堆積物に対する森林土壌中の ^{137}Cs 濃度の比には相関はなかった。一方、湖底堆積物に対する森林土壌中の ^{137}Cs 濃度の比は、福島第一原子力発電所事故時からの経過時間に依存して小さくなることが分かった。このことは将来の放射性セシウムの移行を予測するうえで役に立つ。

空間線量率と土壌中の ^{137}Cs 濃度との比を検討した。そのためには、天然に存在する土壌中の ^{40}K やウラン系列、トリウム系列の核種の濃度を測定し、これらが空間線量率に及ぼす効果を評価した。その結果、これらの天然の放射性同位元素からの空間線量率への寄与は小さく、主として ^{137}Cs 濃度が空間線量率に寄与することが分かった。そして事故後この比が減少し、その後一定になることを文献のデータと比較しながら示した。このことは将来の空間線量率を予測するうえで役に立つ。

環境中での ^{137}Cs の移行は大変複雑であり説明することは容易ではないが、本研究では上記の通り、物理学的、化学的、生物学的な観点から土壌の性質を調べ、そして湖底堆積物に対する森林土壌中の ^{137}Cs 濃度の比や空間線量率と土壌中の ^{137}Cs 濃度との比を導入して、傾斜森林集水域から水域への ^{137}Cs の移行に迫った。

以上、審査の結果、本論文の著者は博士（理学）の学位を授与される十分な資格があるものと認める。

公表論文

1. T. Basuki, W. C. Bekelesi, M. Tsujimoto, S. Nakashima, **Air dose rate to ^{137}Cs activity per unit area ratio for different land use 7 years after the nuclear accident -Case of the slope catchment, Ogi reservoir, Fukushima-**, *Radiation Measurements*, in press (2020).
2. T. Basuki, K. Inada, S. Nakashima, **Examination of Cs tolerant bacteria interaction with Cs^+ in aqueous solution and soil by using ^{137}Cs tracer**, *AIP-CP*, accepted (2020).
3. T. Basuki, W. C. Bekelesi, M. Tsujimoto, S. Nakashima, **Investigation of radiocesium migration from land to waterbody using radiocesium distribution and soil to sediment ratio: A case of the steep slope catchment area of Ogi reservoir, Kawauchi Village, Fukushima**, *Radiation Safety Management*, **19**, 23-34 (2020). DOI [10.12950/rsm.190924](https://doi.org/10.12950/rsm.190924)
4. T. Basuki, S. Miyashita, M. Tsujimoto, S. Nakashima, **Deposition Density of Cs-134 and Cs-137 and Particle Size Distribution of Soil and Sediment Profile in Hibara Lake Area, Fukushima: an Investigation of Cs-134 and Cs-137 Indirect Deposition into Lake from Surrounding Area**, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **316**, 1039-1046 (2018). DOI [10.1007/s10967-018-5809-1](https://doi.org/10.1007/s10967-018-5809-1)

参考論文

1. M. A. Habib, T. Basuki, S. Miyashita, W. Bekelesi, S. Nakashima, K. Techato, R. Khan, A. B. K. Majlis, K. Phoungthong, **Assessment of natural radioactivity in coals and coal combustion residues from a coal-based thermoelectric plant in Bangladesh: Implications for radiological health hazards**, *Environmental Monitoring and Assessment*, **191**: 27 (2019) . DOI [10.1007/s10661-018-7160-y](https://doi.org/10.1007/s10661-018-7160-y)
2. M. A. Habib, T. Basuki, S. Miyashita, W. Bekelesi, S. Nakashima, K. Phoungthong, R. Khan, M. B. Rashid, A. R. M. T. Islam, K. Techato, **Distribution of naturally occurring radionuclides in soil around a coal-based power plant and their potential radiological risk assessment**, *Radiochimica Acta* (2018). DOI [10.1515/ract-2018-3044](https://doi.org/10.1515/ract-2018-3044)