

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 26 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24501033

研究課題名(和文) 原発事故を教訓とした地域密着型環境放射線教育の展開

研究課題名(英文) Development of Education Program of Environmental Radiation after the Accident of the Fukushima Nuclear Power Plant

研究代表者

関根 勉 (SEKINE, Tsutomu)

東北大学・高度教養教育・学生支援機構・教授

研究者番号：20154651

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：福島第一原子力発電所事故による社会的影響に鑑み、本研究では教育施設(石巻好文館高校、仙台育英学園)の協力を得て土壌調査等を行い、その結果を取り入れた教育プログラムとしてフィードバックした。東北大学川内北キャンパスでは詳細な土壌調査を行った。土壌中では天然放射性核種の深度分布は一様だが、原発事故由来の放射性セシウムは表面部分に強く吸着していた。土壌粒子をふるい分けして調べた結果、小さな粒子の汚染濃度が高いことがわかった。さらに川内北キャンパスにおける3年間の土壌中の深度分布を解析したところ、年間0.33 mmの速度で徐々に地中に浸透していることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：I intended to record environmental radioactivity in the Miyagi prefecture area, and decided to use the data for environmental radioactivity education after the accident of the Fukushima Nuclear Power Plants. Natural and artificial radionuclides in soils were determined in the Ishinomaki Kobunkan High School, Sendai Ikuei Gakuen School, and Kawauchi-kita campus of Tohoku University. Depth profiles of natural radionuclides in soils showed constant concentration while artificial radionuclides, Cs-134 and Cs-137, were mainly observed in surface soils. This trend was commonly observed for all soil samples collected in this study. Soil particles were sieved out and separated into 4 fractions. It was found that the concentration of radioactive Cs was higher in fine soil particles rather than in large particles. Analysis of depth profiles for 3 years in Kawauchi-kita campus revealed that radioactive Cs has been slowly migrating with a speed of 0.33 cm / y.

研究分野：放射化学

キーワード：放射性セシウム 福島第一原子力発電所事故 放射能 放射線 放射線教育

1. 研究開始当初の背景

平成23年3月の東日本大震災の影響により、福島第一原子力発電所の事故が起こり、多量の人工放射性核種が環境を汚染した。多くの研究者の協力のもとに緊急の環境放射能調査が行われたが、教育の現場においては放射能・放射線の基礎知識を含めてどのように伝えてよいかははっきりせず、混乱した。そこで、宮城県内の教育施設の放射能調査を行い、その身近な結果を加えて放射線教育を行うタイプのプログラム実践に取り組むこととした。

2. 研究の目的

本研究は、福島第一原子力発電所事故に伴い環境中に放出された放射性核種（特に放射性セシウム）を対象として、宮城県内の教育施設を中心に継続的な放射能調査を行いながら、その結果を教育プログラムに反映していくことがねらいである。また土壌試料などの継続的なサンプリングや放射線測定器を用いたその場の測定をとおして、汚染の状況と時間経過に伴う変化を明らかにする。

3. 研究の方法

宮城県内および近郊の教育施設の協力を得て環境放射能調査を行い、その結果を教育プログラムに取り入れてフィードバックすることにより、身近な環境放射線に関する知識を養う。また福島第一原発事故による環境影響の時間変化を明らかにするために、継続的な環境放射能調査（土壌採取、その場測定によるガンマ線スペクトル測定）を行う。

4. 研究成果

4-1. 土壌調査

仙台近郊の教育施設として、仙台育英学園秀光中学校（多賀城）、仙台育英学園（宮城野）、石巻好文館高校（石巻）の協力が得られ、土壌試料の継続的な採取やガンマ線スペクトルのその場測定を行うことができた。土壌はそのコア試料（5cm 径 30 cm 深さ）を採取し、持ち帰った後に深さごとに切り分けて半導体検出器により核種分析を行い、放射性核種の深度分布を測定した。また東北大学川内北キャンパスにおいては、スクレーパープレートを用いたサンプリング（深さ1cm ずつ）を行い、継続的に3年間実施した。

図1には東北大学川内北キャンパスグラウンドにおいて採取した土壌の中に含まれる放射性核種の深度分布を示した。K-40、Ra-226（ウラン系列）、Ra-228（トリウム系列）などの天然に存在する放射性核種濃度は深さに対して一様であるのに対し、人工放射性核種 Cs-137、Cs-134 の濃度は深さとともに急激に減少していくことがわかる。

他の教育施設においても、深さ 30 cm までのコア試料を採取し測定したが、やはり放射

性セシウムは表面部分にそのほとんどが止まっていることがわかった。この傾向は、福島県内における調査結果報告と一致している。また一般的には日本の土壌におけるセシウムの分配係数（固相への吸着能力を示す）が大きく、飛散し降り注いだ放射性セシウムが表層に止まっていることは理解しやすい。

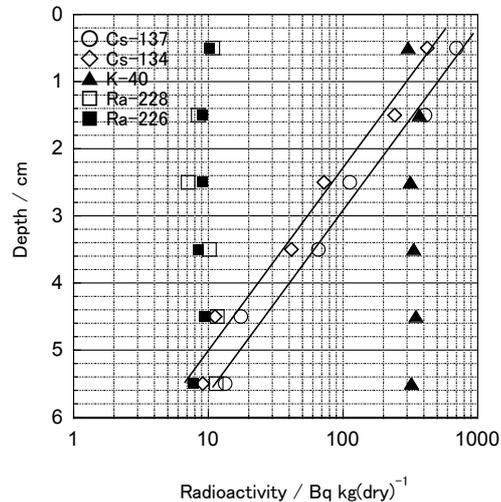


図1. 東北大学川内北キャンパスグラウンド土壌の放射性核種の深度分布。

Cs-137 の濃度は仙台近郊ではほぼ同じであり、表面 5 cm 土壌で平均すると 100 ~ 200 Bq/kg(dry) 程度であった。また降水量としては、6~13 kBq/m² と算出される。文科省により公表された宮城県における降水量値は「10 kBq/m² 以下」であり、多くの試料についてはほぼ同程度の値を与えていたが、局所的な偏りも見られた。

川内北キャンパスのグラウンド内においても、若干ではあるが場所によって線量率が異なる地点があったのでさらに調査した。具体的には、採取・乾燥した土壌試料をふるい分けし 4.75 mm 以上、1.0 mm - 4.75 mm（細れき分）、0.3 mm - 1.0 mm（中砂・細砂分）、0.3 mm 以下（シルト・粘土分）、土壌粒子の細かさ別に放射能測定を行った。その結果を表1にまとめた。2カ所の採取場所は、同グラウンド内において数メートル程度しか場所が離れてはいないが、地点Bの土壌粒子は0.3-1 mm の分画分が多い。

それぞれ分画された土壌粒子中の Cs-137 濃度は 200~550 Bq/kg の範囲であったが、細かい粒子における濃度は比較的高い。また、分画成分の割合をかけ合わせて土壌 1 kg 中に含まれる Cs-137 量を計算すると、細かな粒子に含まれる Cs-137 量が圧倒的に多いことがわかる。また粉末X線解析を行ってそれぞれの土壌粒子を調べたが、大部分が石英とカリ長石で占められていることがわかり、ここでは粘土粒子に由来する鉍物の混入は見られなかった。

表 1. 川内北キャンパスグラウンド土壤に含まれる Cs-137 濃度 (平成 24 年 11 月)。

採取場所	粒径 / mm	割合 / %	Cs-137 Bq kg (dry) ⁻¹	Cs-137 Bq (1 kg 土壤あたり)
A	1-5	27.0	408 ± 3	110 ± 0.7
	0.3-1	36.4	343 ± 4	125 ± 1.3
	<0.3	36.6	546 ± 6	200 ± 2.2
B	1-5	15.3	246 ± 3	38 ± 0.4
	0.3-1	49.3	188 ± 4	93 ± 2.0
	<0.3	35.4	302 ± 4	107 ± 1.3

4-2. in situ ガンマ線測定

前項において示した川内北キャンパスグラウンド内で、線量率が異なっている場所があった。A 地点における地表 1 メートルの線量率は 0.11 マイクロシーベルト毎時であったのに対し、B 地点では 0.06 マイクロシーベルト毎時であった。表 1 におけるそれぞれの分画成分における Cs-137 量が両地点ではかなり異なっており、放射性セシウムからの放射線が空間線量率を左右する大きな要因となっていることがわかる。

これを確かめるために、ヨウ化ナトリウム検出器 (NaI(Tl)) を野外に持ち出し、両地点を含めたグラウンド内におけるガンマ線スペクトルをその場において測定した。その結果を図 2 に示す。図の横軸はガンマ線のエネルギーに比例した量であり、縦軸は 1 秒あたりの計数値である。図中で、中央から左側にかけて 3 本のピークが見えるが、これらは Cs-134、Cs-137 から放出されるガンマ線である。A 地点、B 地点で得られたスペクトルを示したが、明らかに A 地点におけるセシウムの放射線強度が B 地点に比べて高くなっている。また、右端に見えるピークは天然に存在する K-40 から放出されるガンマ線を表しているが、このピークの強度は両者を比較してもあまり大きな違いはない。すなわち、A 地点においては放射性セシウムがより強く吸着している様子が明らかとなり、表 1 の放射性セシウム濃度の結果を裏付ける結果となった。

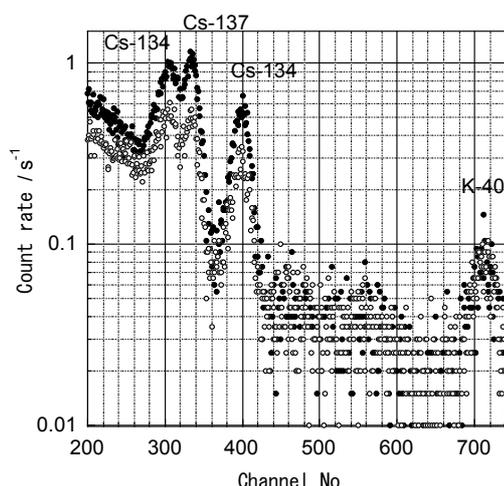


図 2. ヨウ化ナトリウム(NaI(Tl))検出器によって得られたガンマ線スペクトル (川内北キャンパスグラウンド、地表 1 m)。● A 地点、○ B 地点。

4-3. 土壤中の放射性セシウムの移動

本研究で調査した近郊の土壤における深度分布の様子はほとんど同様であり、放射性セシウムの 90% 以上が深さ 5 cm 以内に止まっている様子がわかった。川内北キャンパスでは詳細に調べるために 1 cm ずつの土壤の深さ分布を定期的に調べた。その結果、わずかながら放射性セシウムが浸透して行く様子が明らかになってきた。図 1 に代表される深度分布を定期的に調査し、深さに対して指数関数近似を行い、放射能が半分になる深さ (中央値) をそれぞれ求めた。

$$C(x) = C_0 \exp\left(-\frac{\ln 2}{m} x\right)$$

この式中で、 $C(x)$ は深さ x cm における放射性セシウム濃度、 C_0 は表面の放射性セシウム濃度、 m が中央値である。図 3 には、この m の値 (Median と表示) と事故後の経過時間の関係を示した。

縦軸の値は 2 cm 以内の値を示しており、この 4 年間を経てもその 50% がこの中に含まれていることがわかる。ただし、中央値は少しずつ増加していることがわかり、この傾きを解析した結果、年間 0.33 cm 増加であることが明らかになった。すなわち 1 年間に 3 mm 強ほどのスピードで地中に徐々に移動していることになる。チェルノブイリ事故後のヨーロッパに於ける調査では、年間 0.5~1 cm の速度で徐々に移動していることが報告されており、今回得た値はほぼ同等か若干遅い浸透速度であることがわかる。

このようなゆっくりとした移動であることが今回わかったが、継続的に調査を続け、より詳細に解析する必要がある。

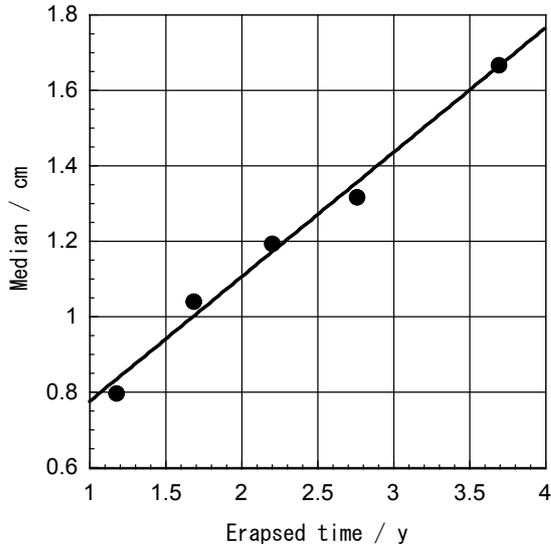


図 3. 東北大学川内北キャンパスにおける放射性セシウムの土壤中への浸透の様子。Median は放射能値が 50% になるまでの深さを表し、横軸は事故後の経過年数である。

4-4. 教育プログラムへの反映

前述の結果は、その途中経過が得られた時点で教育プログラムに内容を取り込み、教育施設（石巻好文館高校、仙台育英秀光中学校、仙台育英学園高校および東北大学）において実験つき講義を行い、主に活用した。生徒、学生達は、自分たちが生活している場におけるデータを直接見ることができるので、身近な環境放射線の様子を認識する。また、運動場の表層土を取り除くなどして除染を行った学校もあり、その前後の変化はその場測定したガンマ線スペクトルに顕著に現れた。さらに建物の構造材（花崗岩など）から放出される天然の放射線もガンマ線スペクトルにはっきりと現れるので、原発事故の影響という観点だけでなく、天然の放射性核種や放射線をわかりやすく理解することができる。これらを基にして今後も教育プログラムの内容を充実させていきたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 1 件）

① 関根 勉、藤本敏彦、杉本和志、木野康志、東北大学川内北キャンパスにおける環境放射能調査、東北大学高等教育開発推進センター紀要、8（2013）129-136。（査読有）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

関根 勉 (SEKINE, Tsutomu)

東北大学高度教養教育・学生支援機構・教授
研究者番号：20154651