

# 栃木県北部の宅地敷地および森林における土壌の放射性セシウムの調査事例

## A case study of radiocesium in soil in residential and forest areas in the northern part of Tochigi prefecture, Japan

飯塚 和也<sup>1</sup>, 松田 大和<sup>1</sup>, 大島 潤一<sup>1</sup>, 清水 奈名子<sup>2</sup>

Kazuya IIZUKA<sup>1</sup>, Yamato MATSUDA<sup>1</sup>, Jyunichi OHSHIMA<sup>1</sup>, Nanako SHIMIZU<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 宇都宮大学農学部 〒 321-8505 宇都宮市峰町 350

<sup>1</sup> School of Agriculture, Utsunomiya University, Utsunomiya 321-8505, Japan

<sup>2</sup> 宇都宮大学国際学部 〒 321-8505 宇都宮市峰町 350

<sup>2</sup> School of International Studies, Utsunomiya University, Utsunomiya 321-8505, Japan,

### 1. はじめに

2011年3月11日に東日本大震災に伴い発生した東京電力福島第一原子力発電所の原子力災害（以下、「原発事故」とよぶ。）から12年を迎える。原発事故があった福島県に隣接する栃木県においても、環境へ放出・飛散した放射性物質により広範囲にわたり多大な影響を被った。その結果として「放射能に県境はない！深刻な県北部の汚染」、ならびに「キノコ、山菜、ジビエなどの食品汚染も深刻」と報告（みんなのデータサイト編 2018）されている。

筆者らは、原発事故以後、森林や木材に関する放射性セシウムによる汚染の影響の調査している（飯塚・大島 2017, Iizuka et al. 2018, 飯塚ら 2022）。栃木県北部の宅地敷地の土壌について、放射性物質汚染対処特措法に基づき環境省により2011年12月に「汚染状況重点地域」に指定された、那須塩原市で3軒と那須町で2軒の計5軒について住民の協力下、空間線量率および放射性セシウム蓄積量に関する調査が実施された。その結果は詳細に報告（清水ら 2019, 2022）されている。本報告では、<sup>137</sup>Cs放射能に着目し、上記の報告における2018年から2021年の間の3年にわたる宅地敷地の空間線量率と土壌汚染について、その概要の整理を試みた。また、塩谷郡塩谷町（「汚染状況重点地域」に2011年12月に指定）に設置されている宇都宮大学農学部附属演習林において、2021年に調査した森林土壌の<sup>137</sup>Cs放射能について、垂直方向と水平方向の分布の傾向を簡潔に整理した。さらに、宅地敷地と森林の汚染に関する比較を試みた。

### 2. 調査地と測定方法

調査した宅地敷地は、那須塩原町で3軒と那須町で2軒の計5軒であり、1軒当たり任意の6測点の計30測点について空間線量率と土壌表層の<sup>137</sup>Cs放射能を測定した。調査は2018年12月、2020年9月そして2021年11月の計3回である。

空間線量率（ $\mu$  Sv/h）の測定は、環境放射線モニタ PA-1000 Radi（HORIBA）を用いた。測定は1ヵ所につき地上高0.5 mと1.0 mで行った。土壌については、土壌深度5 cm用の土壌採土器（DIK-115B Daiki）を用い、ステンレス製の試料円筒（内径寸法 $\phi$  50 × 51 mm, DIK-1801 Daiki）を採土器内に挿着し、土壌表層に打込み採取した。

一方、森林土壌は、塩谷町に設置されてある宇都宮大学農学部附属演習林において、2021年4月に同一林班における異なる林齢のヒノキ人工林3林分および林齢11年のスギ人工林1林分を対象に、土壌深度別に調査をした。ライナー採土器（DIK-110C Daiki）を用いて、Ao層を除いて深度30 cmまでの土壌を採取した。採取した土壌は、表層から深さ5 cmごとに6区分し、それぞれの<sup>137</sup>Cs放射能を測定した。

採取した土壌試料は全乾後、ピンセットで小石や礫、植物の根など土壌以外の異物を除去し、U8容器に充填した。試料は、宇都宮大学バイオサイエンス教育研究センター RI 施設に設置してある Ge 半導体検出器（ORTEC, SEIKO EG & G）を使用し、<sup>137</sup>Cs放射能（Bq/kg dw）と一部のサンプルでは<sup>40</sup>K放射能（Bq/kg dw）を測定した。測定した試料の放射能は、採取日で半減期補正を行っている。

### 3. 結果

#### 3.1 宅地敷地における空間線量率と土壌表層の<sup>137</sup>Cs放射能

那須塩原市の3軒と那須町の2軒の宅地敷地を対象に、1軒当たり任意の6測点の計30測定について、2018年12月、2020年9月および2021年11月の3年にわたり空間線量率（以下、「線量率」とする。）および深度5 cmまでの土壌表層の<sup>137</sup>Cs放射能を調査した。

### 3.1.1 宅地敷地の空間線量率

年次別の線量率の測定結果を表-1に示した。平均値をみると、2018年は地上高0.5mで0.20  $\mu$  Sv/h、1.0mで0.17  $\mu$  Sv/hであったが、2021年では両地上高ともに0.14  $\mu$  Sv/hと低下し、最大値も低下を示した。線量率は2018年から2021年の間に、地上高0.5mと1.0mの値の差はみられなかった。また、0.23  $\mu$  Sv/hを基準として「汚染状況重点地域」が環境省により指定されているが、地上高1.0mにおいて基準値以上の測点は、2018年で2軒の6測点、2020年は該当なしであったが、2021年で1軒の2測点であった。原発事故11年後においても、線量率0.23  $\mu$  Sv/hの値の宅地敷地で存在していた。

### 3.1.2 宅地敷地の土壌表層の<sup>137</sup>Cs放射能

年次別の土壌表層の<sup>137</sup>Cs放射能の測定結果を、図-1に示した。各調査年において、0.5 kBq/kg dw以下から10 kBq/kg以上と広範囲にわたっていた。<sup>137</sup>Cs放射能の中央値、尖度および歪度をみると、2018年、2020年および2021年の順では、それぞれ1.53、9.73、3.15、1.76、19.78、4.21および1.45、23.32、4.61を示した。中央値には明確な傾向はみられなかったが、尖度と歪度の値は時間とともに高くなる傾向があった。3 kBq/kg dw以上の高い値を示した測点は、2018年が全体の30%、2020年が23%そして2021年が13%を示し、5軒のうち4軒、3軒そして4軒と多くの宅地敷地で観測された。また、5 kBq/kg dw以上の非常に高い値は全ての調査年で測定され、このことが歪度に影響を及ぼしていることが推察される。

宅地敷地の土壌表層では、雨樋の下などの集水経路に当たる箇所などでは<sup>137</sup>Csが集積し非常に高い放射能を示すことが知られている。本調査においても同様な

表-1 宅地敷地における空間線量率の推移

測定日	地上高 (m)	空間線量率 ( $\mu$ Sv/h)			
		平均	標準偏差	最大値	最小値
2018年12月	0.5	0.20	0.14	0.85	0.10
	1.0	0.17	0.06	0.28	0.08
2020年9月	0.5	0.15	0.05	0.27	0.08
	1.0	0.14	0.04	0.22	0.07
2021年11月	0.5	0.14	0.06	0.23	0.08
	1.0	0.14	0.06	0.23	0.08

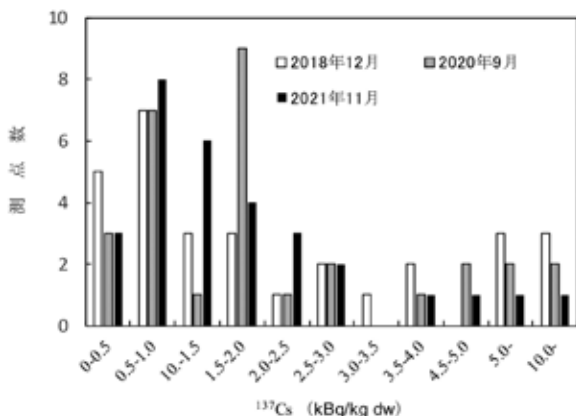


図-1 宅地敷地における土壌表層の年次別の<sup>137</sup>Cs放射能

結果が得られたことが推察される。宅地敷地の土壌表層では、<sup>137</sup>Cs放射能の空間分布は一様でなく、スポット的に極端に高い値を示す箇所の存在が明らかになった。

### 3.1.3 宅地敷地の土壌表層の<sup>137</sup>Cs放射能と線量率の関係

年次別の土壌表層の<sup>137</sup>Cs放射能と線量率の相関係数を表-2に示した。2018年は、土壌表層の放射能と線量地上高0.5mとの間に相関係数は0.78と有意に高い正の相関 ( $p < 0.01$ ) が認められた。しかしながら、土壌表層の放射能と線量地上高1.0mとの間に関係性はみられなかった。土壌表層から放出される放射線(ガンマ線)は、より地面に近い線量率に影響していることが示唆された。2021年では、地上高0.5mと1.0mの両者とも土壌表層の放射能との間に相関係数0.6台の有意な正の相関 ( $p < 0.01$ ) が認められた。地上高別の線量率の関係では、2018年からの3年間における相関係数は、いずれも有意な正の相関 ( $p < 0.01$ ) が得られ、時間とともにその相関係数は高い値を示した。このことは、地上高別の両者の線量率が同様な値を示す傾向があるためと考えられる。

地上高1.0mの線量率と土壌表層の<sup>137</sup>Cs放射能の関係について、地上高1.0mの線量率は、正規分布からどれだけ歪んでいるかを表す統計量である歪度でみると、2018年、2020年そして2021年の順で、0.56、0.16、そして0.22の値を示した。3.1.2で示した土壌表層の<sup>137</sup>Cs放射能の歪度である3.15、4.21そして4.61と比べて、かなり低い値であった。このことは、地上高1.0mの線量率は、土壌表層の<sup>137</sup>Cs放射能よりも正規分布に近いことを示している。同じ測点で計測した空間の線量率と土壌表層の<sup>137</sup>Cs放射能において、歪度に大きな差異があることは、両者の分布パターンが大きく異なることを意味している。シーベルト(Sv)単位の測定値は、人間が放射線を受けた場合の影響度を示すものである。空間線量率は一定の高さ空間における値であり、簡易に測定できるため利便性が高い。一方、1秒間に1個の原子核が崩壊して放射線を出す放射能の量であるベクレル(Bq)は、特定の測点における<sup>137</sup>Cs放射能の値である。物理量としてのベクレルの値は、細かな汚染の実態を示すために有効であるといえる。

以上のことから、2018年から3年の間に地上高0.5mと1.0mの空間線量率は同様な値になった。また、土壌表層から放出される<sup>137</sup>Cs由来のガンマ線は、2018

表-2 宅地敷地における年次別の土壌表層の<sup>137</sup>Cs放射能と空間線量率との相関係数

測定年月	項目	土壌表層の <sup>137</sup> Cs放射能	空間線量率	
			地上高 (m)	地上高 (m)
2018年12月	<sup>137</sup> Cs放射能	1.00		
	空間線量率	0.5 m	0.78	1.00
		1.0 m	0.27	0.60
2020年9月	<sup>137</sup> Cs放射能	1.00		
	空間線量率	0.5 m	0.52	1.00
		1.0 m	0.31	0.95
2021年11月	<sup>137</sup> Cs放射能	1.00		
	空間線量率	0.5 m	0.65	1.00
		1.0 m	0.62	0.99

年では地上高0.5mの線量率と有意に高い相関（相関係数=0.78）を示した。

同一測点から得られる線量率と土壤表層の<sup>137</sup>Cs放射能では、その測定値の分布パターンが互いに異なっていた。特に、土壤表層の<sup>137</sup>Cs放射能は、各調査年ともに、0.5 kBq/kg dw以下から10 kBq/kg以上と広範囲にわたっていた。

### 3.2 森林における土壤の<sup>137</sup>Cs放射能

原発事故時に主伐後裸地状態の平坦な林地に2011年5月に植栽された、若齢なスギ林の土壤を深度30cmまで調査した。調査日は、原発事故3年6ヵ月後の2014年9月（既測定済）および11年1ヵ月後の2021年4月である。図-2に<sup>137</sup>Csと<sup>40</sup>Kの放射能分布の比率を示した。両調査日ともに、<sup>137</sup>Cs放射能は深度5cmまでに80%前後が存在して、類似した分布を示した。<sup>137</sup>Csの深度方向に分布は、原発事故後10年過ぎても、土壤表層に大半が存在していた。一方、地球生成起源由来の<sup>40</sup>Kは、深度30cmまでの5cm区間において深度に関係なく、一様に20%前後の分布を示した。

つぎに、2021年4月に調査した同一林班内の林齢別のヒノキと林齢11年のスギにおける土壤深度別の<sup>137</sup>Cs放射能を表-3に示した。ヒノキは、林齢20年、40年および110年の森林における斜面の上部、中部、下部である。

深度方向でみると土壤表層5cm以内の比率は72～95%であり、<sup>137</sup>Cs放射能の平均は、林齢20年、40年および110年の順で2.5、1.5および0.7 kBq/kg dwと低い値になった。林齢が高く樹体が大きくなり、原発事故による放射性降下物が樹冠や樹幹樹皮に捕捉されたことで、<sup>137</sup>Csが直接土壤へ降下することが影響していると推察される。このことは、森林の閉鎖度（うっ閉度）に関係していることが推察される。

斜面方向の上部、中部、下部でみると、最も高い<sup>137</sup>Cs放射能の値を示した部位は、林齢20年で上部、40年で中部そして110年で下部であった。深度方向では、

<sup>137</sup>Csの移動性が低いことが示されたが、斜面方向では深度方向と比べ、土壤表層の移動性が比較的高いことが推察された。このことは土壤表層では、林床に到達した雨水が移動するに伴い礫や有機物等に付着した<sup>137</sup>Csも移動する可能性があることが推察された。

林齢11年のスギにおける3測点について、深度方向では土壤表層の分布比率が88%であった。水平方向では、原発事故以降台風などの大きな攪乱は発生していないが、ほぼ平坦地であるにもかかわらず微地形等の影響を受けたと推察され、1.0～2.0 kBq/kg dwの広い範囲の値を示した。このため、土壤表層の<sup>137</sup>Csは、水平方向では平常時の降雨等に伴い移動し易いことが推察された。

### 3.3 宅地敷地と森林土壤の<sup>137</sup>Cs放射能の関係

宅地敷地は2021年11月（原発事故10年8ヵ月後）の5軒30測定と森林は2021年4月（原発事故10年1ヵ月後）の4林分12測点の土壤表層の比較を試みた。汚染度が高い2.0 kBq/kg dw以上の測点は、宅地敷地で30%（=9/30）、森林で25%（=3/12）を示した。一方、汚染度が低い1.0 kBq/kg dw未満の測点は、宅地敷地で37%（=11/30）、森林で35%（=4/12）を示した。両者は、比較的類似した分布パターンと放射能の値を示している可能性が推察された。

森林において、原発事故に伴い降下した放射性物質は、樹冠の葉や樹幹の樹皮に捕捉され、付着・沈着することが知られている。そして樹冠や幹に捕捉された放射性物質の一部は、林内雨や樹幹流に含まれ林床に降下していく。樹木に捕捉されなかった放射性物質は、直接林床や土壤表層に降下し、地表の雨水などの流れにより、土壤表層の<sup>137</sup>Csは移動し易い可能性が推察された。一方、住宅地は宅地敷地と家屋から構成され、森林の地上部における樹冠が家屋の屋根、また樹幹が家屋の壁や塀に相当すると考えられる。特に、家屋の屋根の雨水が集積して流れる雨樋の下など、非常に高い放射能が検出されることから、家屋において放射性

表-3 樹種別林齢別の土壤深度別の<sup>137</sup>Cs放射能 (Bq/kg dw)

樹齢 (林齢)	部位	土壤深度 (cm)					
		-5	-10	-15	-20	-25	-30
ヒノキ (20)	上部	3600	93	25	6	1	7
	中部	2900	69	30	3	1	1
	下部	950	79	17	24	3	28
	平均	2483	80	24	11	2	14
	比率 (%)	95.0	3.1	0.9	0.4	0.1	0.5
ヒノキ (40)	上部	685	163	168	108	96	83
	中部	1890	141	50	3	2	1
	下部	1780	508	213	62	39	37
	平均	1452	271	144	58	46	40
	比率 (%)	72.2	13.4	7.2	2.9	2.3	2.0
ヒノキ (110)	上部	531	64	39	11	4	4
	中部	486	37	17	3	2	3
	下部	1100	102	56	9	3	2
	平均	706	68	44	8	3	3
	比率 (%)	84.8	8.2	5.3	1.0	0.4	0.4
スギ (11) 平坦地	P1	2230	172	27	7	7	2
	P2	1180	186	77	10	3	3
	P3	1030	64	40	3	3	2
	平均	1480	141	48	7	4	2
	比率 (%)	88.0	8.4	2.9	0.4	0.2	0.1

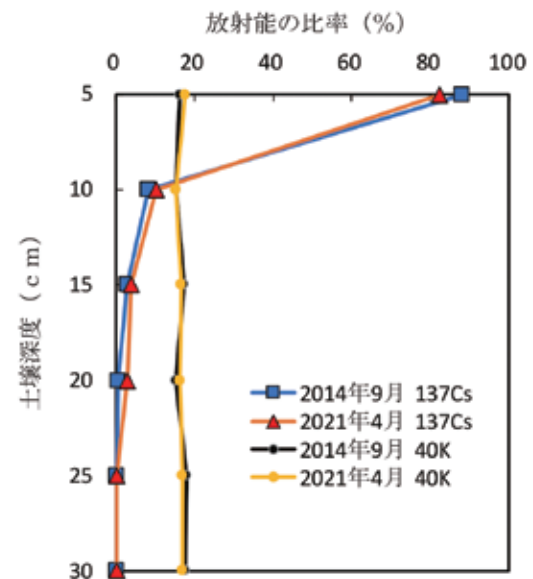


図-2 若齢のスギ林の土壤深度別年次別の<sup>137</sup>Csと<sup>40</sup>K放射能

物質が集積しやすい場所の汚染状況を把握する必要であるといえる。

#### 4. まとめ

栃木県北部の宅地敷地および森林地における土壤の放射性セシウムに関する調査して得られた主な結果は、以下のとおりである。

- ① 2018 年から 3 ヶ年にわたる宅地敷地の調査結果、空間線量率および土壤表層の放射能ともに値が減少する傾向が示された。しかしながら、2021 年において線量率  $0.23 \mu\text{Sv/h}$  の高い値が観測された。
- ② 宅地敷地の土壤表層は、 $^{137}\text{Cs}$  放射能の空間分布は一様でなく、スポット的に極端に高い値を示す箇所が存在が明らかになった。
- ③ 原発事故 11 年後の森林地の土壤中の  $^{137}\text{Cs}$  について、深度方向では移動性が乏しく土壤表層の比率が極端に高かった。一方、水平方向の土壤表層では、比較的移動しやすい可能性が示された。
- ④ 高林齢の森林では、若林齢の森林に比べ、土壤の  $^{137}\text{Cs}$  放射能の値が低いことが示された。
- ⑤ 原発事故 10 年後の 2021 年の調査における宅地敷地と森林の土壤の  $^{137}\text{Cs}$  放射能について、その分布パターンと放射能の値は比較的類似しているという可能性が推察された。

#### 謝辞

本調査に当たり、元宇都宮大学教育学部非常勤講師手塚郁夫氏に、多大な指導や助言を受け、感謝の意を表す。また、本研究は、JSPS 研究費 JP20K02130 の助成を受けた。

#### 引用文献

- 飯塚和也, 大島潤一 (2017) 宇都宮大学演習林における Cs-137 濃度に関するモニタリング. 水利科学 355 : 11–25.
- Iizuka K, Toya N, Ohshima J, Ishiguri F, Miyamoto N, Aizawa M, Ohkubo T, Takenaka C, Yokota S (2018) Relationship between  $^{137}\text{Cs}$  concentration and potassium content in stem wood of Japanese cedar. Journal Wood Science 64: 59–64.
- 飯塚和也, 星野祐介, 安田菜生, 山本美穂, 大島潤一, 逢沢峰昭, 大久保達弘 (2022) 宇都宮大学船生演習林におけるシイタケ原木に関する放射性セシウムの調査. 宇都宮大学農学部演習林報告 58 : 17–22.
- みんなのデータサイト編 (2018) 図説 17 都県放射能測定マップ+読み解き集, みんなのデータサイト出版, 1–200.
- 清水奈名子, 手塚郁夫, 飯塚和也 (2019) 栃木県北部の宅地敷地内における土壤中の放射性セシウム – 2018 年 12 月の調査結果報告 –. 宇都宮大学国際学部研究論文集 48 : 39–46.
- 清水奈名子, 手塚郁夫, 飯塚和也 (2022) 栃木県北部の宅地敷地内における土壤中の放射性セシウム – 2018 年、2020 年、2021 年の調査結果の比較考察 –. 宇都宮大学国際学部研究論文集 54 : 29–37.