

放射性セシウムの土壌中濃度分布

細井要一¹・酒井文雄²・鹿野正明³・松沢雄貴¹・師岡 巧⁴

2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震によって発生した東京電力福島第一原子力発電所事故（以下「福島原発事故」という）により土壌に沈着した放射性核種の挙動について、どのような拡散（移行）をするのか未だ不明な点も多い。

県では福島原発事故前から環境放射能水準調査として長野市において継続調査を行っており、また事故直後にも県内数か所で土壌調査を行っているが、県内の状況把握が充分とは言えない状況である。

そこで今回、県内の土壌を1cmごとに深度別に採取し、土壌中の放射性核種の中で代表的な放射性セシウム¹³⁴Cs及び¹³⁷Csの濃度分布を調査した。

キーワード：放射性セシウム、土壌、深度別、福島原発事故、環境放射能水準調査

1. はじめに

長野県では1976年（昭和51年）より国からの委託事業として、原発事故や核実験の影響を確認するため、降下物、浮遊じん、土壌、水道水、農産物等について環境放射能水準調査（以下、水準調査）を行うとともに、核実験等が実施された際にはモニタリングを強化する体制をとっている。

水準調査で実施している土壌調査では、年1回長野市で、地表面から5cmまでと5cmから20cmまでの2区分により調査を実施している。

「福島原発事故」直後には県内10箇所で見層5cmまでの水準調査と同じ区分の土壌調査¹⁾を行っているが、深度方向の分布などの詳細な調査は実施していない。

福島原発事故から6年以上が経過した現在も、県内においては野生きのこ等で基準を超える放射性セシウムが検出されており、県内の状況を把握するため1cmごとの試料採取による調査を行った。

2. 調査方法

2.1 測定地点

図1、表1に調査地点の概要を示す。

事故発生後の文部科学省による航空機モニタリング調査²⁾で福島原発事故による影響が比較的大きい

と思われる東北信地域（水準調査地点の長野市、木島平村、青木村、佐久市、軽井沢町）と、比較的影響が少ないと思われる中南信地域（伊那市、松本市）から、福島原発事故後を含めて過去の土地改変の可能性が低い場所を選定し、2015年4地点、2016年5地点（長野市と青木村は両年）で各1箇所から土壌を採取した。

長野市の調査地点は長野市郊外の飯綱山麓の高原地域で公園の草地、その他の地点は市街地近郊のグラウンド、公園の裸地である。

また、土壌採取時に地上1mにおける空間放射線量を、日立アロカメディカル(株)製NaIシンチレーションサーベイメーターTCS-171Bにより測定した。

2.2 試料の採取及び分析

2.2.1 試料の採取

スクレーパープレート（榊原製作所製、フレームサイズ150mm×300mm）を用いて、地表面から20cmまでを1cm間隔で土壌を採取した。ただし、岩石・礫等で採取不能になった場合は、その深度までとし、それ以下の採取は行わなかった。

2.2.2 分析方法

採取試料は水準調査に準じ、環境放射能測定法シ

1 長野県環境保全研究所 循環型社会部 〒380-0944 長野市安茂里米村 1978

2 長野県環境保全研究所 大気環境部 〒380-0944 長野市安茂里米村 1978
（現：長野県松本地域振興局環境課 〒390-0852 松本市大字島立 1020）

3 現：長野県千曲川流域下水道事務所上流管理課 〒381-2203 長野市真島町川井 1060-1

4 現：長野県企業局上田水道管理事務所管理課 〒386-0032 上田市諏訪形 613

3. 結果及び考察

各地点の測定結果は、調査年別に表 2,3 のとおりである。

サーベイメーターによる空間放射線量は佐久市がやや小さいものの、県内 7 地点に設置してあるモニタリングポストの値と同レベルであった。

3.1 地域ごとの比較

福島原発事故では、放射性セシウム ^{137}Cs 、 ^{134}Cs の放出が確認されており、東北信地域 5 地点と中南信地域 2 地点では濃度及び深度方向への分布が異なっていた。

半減期が約 30 年の ^{137}Cs は、東北信地域では表層が最も高く、下層になるに従って徐々に濃度が低下していた。中南信地域では濃度が低く、さらにある程度の深さまで同程度分布し、今回調査した 2 地点ではそれぞれ 5cm, 7cm の層が最高濃度となっていた。

半減期が約 2 年と短い ^{134}Cs については、東北信地域では全ての地点で表層から検出され、深度方向への分布も ^{137}Cs と同じ傾向を示していたが、中南信地域の 2 地点では全ての層で不検出となった。

この結果から、今回調査した中南信地域の 2 地点では、福島原発事故の影響は少なかったことが示唆され、また過去の核実験やチェルノブイリ原発事故による影響も考えられた。

なお、長野市は他の東北信地域と比較しても濃度が高かったが、調査地点は飯綱山麓にある公園緑地で標高が約 1,150m あり、他の地点と条件が異なっており、過去の当所の調査¹⁾でも放射性セシウムの濃度が高く、今回も同様な結果となった。

3.2 深度別濃度の比較

深度方向の測定結果について、 ^{137}Cs は東北信地域で水準調査地点の長野市では、中間に不検出となった層はあるものの、2015、2016 年とも地表から 17cm の層まで検出された。 ^{134}Cs は 2015 年が 6cm、2016 年が 4cm まで検出された。

今回の深度別濃度と層ごとの重量から、水準調査と同じ表層 (0 から 5cm) と下層 (5 から 20cm) の 2 区分とした場合の濃度を算出した結果と、福島原発事故後の 2012 年から 2016 年までの水準調査結果を表 4 に示す。

2015、2016 年とも表層 5cm までの表層の結果は水準調査結果と良く合致していたが、下層において



図 1 調査地点

表 1 調査地点の概要

地域	採取地点	用途	採取年		空間放射線量 ($\mu\text{Gy/h}$)
			2015	2016	
東北信	長野市上ヶ屋	高原・公園	○		0.060
	木島平村穂高	市街地・グラウンド		○	0.058
	青木村村松	市街地・グラウンド	○		0.043
	佐久市小田井	市街地・公園	○		0.036
	軽井沢町軽井沢	市街地・グラウンド		○	0.046
中南信	松本市波田	市街地・グラウンド		○	0.062
	伊那市中央	市街地・グラウンド		○	0.054

リーズ「ゲルマニウム半導体検出器を用いる機器分析のための試料の前処理法」³⁾により、異物除去、乾燥、ふるい分けなどの前処理を行った。試料を U 8 容器に入れて、ゲルマニウム半導体検出器 (キャンベラジャパン(株)製 G C 2018-7500 S 2002 C、セイコーエージアンドジー(株)製 G E M20-70、G E M25-70) で放射性セシウム ^{134}Cs 及び ^{137}Cs 濃度を測定した。なお、測定時間は 80,000 秒とし、測定減衰補正は行わなかった。

表 2 2015 年調査結果 (Bq/kg 乾土)

深度 (cm)	¹³⁷ Cs				¹³⁴ Cs			
	長野	青木	佐久	伊那	長野	青木	佐久	伊那
1	1700	79	110	5.5	420	17	27	(1.7)
2	480	96	48	5.6	100	22	9.2	(1.7)
3	160	11	19	6.3	18	2.9	3.5	(1.7)
4	120	(1.4)	3.1	6.4	5.2	(1.6)	(1.1)	(1.8)
5	85	(1.6)	(1.2)	7.4	3.8	(1.7)	(1.4)	(1.7)
6	59	(1.5)	1.5	6.3	4.0	(1.7)	(1.5)	(1.6)
7	32	(1.6)	1.2	6.9	(2.7)	(1.7)	(1.2)	(1.6)
8	15	(1.9)	(1.5)	5.1	(2.8)	(1.6)	(1.4)	(1.6)
9	11	(1.8)	(1.2)	5.5	(2.4)	(1.7)	(1.5)	(1.7)
10	6.3	(1.6)	(1.4)	2.8	(2.6)	(1.5)	(1.5)	(1.5)
11	5.4	(1.6)	(1.2)	2.5	(2.7)	(1.5)	(1.3)	(1.4)
12	4.2	(1.5)	(1.5)	3.5	(2.7)	(1.6)	(1.3)	(1.3)
13	4.3	(1.6)	(1.4)	2.5	(2.4)	(1.5)	(1.5)	(1.5)
14	2.9	(1.7)	(1.5)	(1.4)	(2.5)	(1.7)	(1.5)	(1.3)
15	(2.5)	(1.6)	(1.4)	1.6	(2.6)	(1.6)	(1.3)	(1.3)
16	(2.6)	(1.6)	(1.5)	(1.2)	(2.4)	(1.7)	(1.4)	(1.3)
17	2.6	(1.9)	(1.4)	1.6	(2.4)	(2.1)	(1.5)	(1.3)
18	(2.6)	(2.0)	(1.5)	1.5	(2.6)	(1.9)	(1.2)	(1.3)
19	(2.5)	—*1	(1.5)	(1.3)	(2.5)	—*1	(1.7)	(1.3)
20	(2.6)	—	(1.6)	(1.2)	(2.5)	—	(1.6)	(1.4)

注) 不検出の場合は()で検出下限値を示す
*1 青木村は18cmまで採取

表 3 2016 年調査結果 (Bq/kg 乾土)

深度 (cm)	¹³⁷ Cs					¹³⁴ Cs				
	長野	青木	木島平	軽井沢	松本	長野	青木	木島平	軽井沢	松本
1	3300	37	170	210	4.9	640	6.1	28	35	(1.7)
2	1300	46	17	300	5.4	230	6.5	2.6	52	(1.6)
3	220	4.7	(1.7)	190	4.8	30	(1.3)	(1.6)	30	(1.6)
4	110	(1.5)	(1.7)	110	4.8	9.8	(1.5)	(1.7)	17	(1.8)
5	46	(1.7)	(1.7)	23	5.8	(2.4)	(1.6)	(1.7)	4.6	(1.7)
6	23	(1.7)	(1.8)	13	7.3	(2.5)	(1.6)	1.6	2.1	(1.7)
7	6.2	(1.7)	(1.8)	5.8	10	(2.6)	(1.6)	(1.7)	(1.4)	(1.7)
8	4.3	(1.6)	(1.9)	4.0	9.4	(2.5)	(1.8)	(1.6)	(1.3)	(1.9)
9	3.0	(1.8)	(1.7)	3.6	8.3	(2.8)	(1.4)	(1.7)	1.4	(2.1)
10	(2.4)	(1.6)	(1.7)	2.0	2.9	(2.6)	(1.6)	(1.8)	(1.4)	(2.1)
11	3.4	(1.6)	(2.0)	1.5	(2.3)	(2.7)	(1.7)	(1.7)	(1.5)	(2.0)
12	3.9	(1.6)	(1.9)	(1.5)	(2.3)	(2.5)	(1.4)	(1.7)	(1.4)	(2.4)
13	(2.4)	(1.6)	(1.8)	(1.3)	(2.4)	(2.5)	(1.5)	(1.6)	(1.4)	(2.2)
14	(2.4)	(1.6)	(1.8)	(1.5)	(2.3)	(2.8)	(1.6)	(2.0)	(1.4)	(2.3)
15	(2.5)	(1.5)	(1.8)	(1.6)	(2.1)	(2.3)	(1.6)	(2.0)	(1.6)	(2.3)
16	2.7	(1.6)	—*1	(1.3)	(2.1)	(2.3)	(1.5)	—*1	(1.5)	(2.3)
17	2.3	(1.6)	—	(1.6)	(2.5)	(2.5)	(1.5)	—	(1.4)	(2.4)
18	(3.6)	(1.6)	—	(1.4)	(2.4)	(2.7)	(1.5)	—	(1.5)	(2.6)
19	(2.3)	(1.6)	—	(1.5)	(2.4)	(2.4)	(1.6)	—	(1.2)	(2.7)
20	(2.3)	(1.7)	—	(1.4)	(2.5)	(2.5)	(1.4)	—	(1.4)	(2.5)

注) 不検出の場合は()で検出下限値を示す
*1 木島平は15cmまで採取

表 4 過去の水準調査結果との比較 (Bq/kg 乾土)

調査年	水準調査				深度別調査			
	2012	2013	2014	2015	2016	2015	2016	
表層	¹³⁷ Cs	330	450	430	250	500	380	440
	¹³⁴ Cs	180	180	130	45	84	76	75
下層	¹³⁷ Cs	34	14	15	17	45	11	3.4
	¹³⁴ Cs	16	4.1	3.6	2.7	5.8	0.31	(不検出)

は兩年とも深度別調査の方が低くなっており、特に ¹³⁴Cs でその傾向が顕著であった。

この理由として、検出下限値未満で不検出となった場合には計算では 0 として扱うため、不検出の層が多かった下層においては水準調査結果より濃度が低く算出されたと考えられる。

他の東北信地域の木島平村、青木村では ¹³⁷Cs、¹³⁴Cs とも表層 3cm 程度まで検出されたが、佐久市では ¹³⁷Cs が 7cm まで、軽井沢町では、¹³⁷Cs が 11cm まで、¹³⁴Cs が 9cm までと比較的深くまで検出された。

福島原発事故の影響が少ないと考えられる中南信地域の伊那市、松本市では、前述したように ¹³⁷Cs しか検出されず、東北信地域と比較するとかなり低濃度であったが、伊那市では 18cm まで、松本市でも 10cm の深さまで検出された。

3.3 経年変化の比較

長野市と青木村では同じ地点で 2 年間継続して調査を行った。

各層ごとの濃度を見ると、表層付近では年度の差が大きく、長野市では 2016 年が高かったが、青木村では逆に 2015 年が高く、概ね 2 倍程度の差があった。当所の過去の研究⁴⁾では採取場所のわずかな違いで“バラツキ”が発生することがわかっており、今回の差も同程度であった。

経年変化を見るために、濃度の高かった ¹³⁷Cs について、各年の最大値を 100 とした場合の表層から 10cm までの深度方向への分布を図 2 に示す。両地点ともその分布はよく近似しており、1 年の経過では深度方向への移行を確認できなかった。

しかし、採取年による表層の濃度差が深度方向への分布に影響していないことから、深度方向の詳細調査によって放射性物質の移行状況を把握することは可能であると考えられ、今後も長期間調査を継続すれば移行速度等の情報が得られると思われる。

3.4 土壌性状の比較

軽井沢町では今回の調査地点の中で ¹³⁴Cs が最も深くまで検出された。そこで採取土壌の前処理で 2m のふるいで除かれた小石等の重量比を他地域と比較した。(図 3)

軽井沢町ではどの層でも他の地点よりふるい上に残った割合が高いことから、土壌に大きな粒径のものが多く、濃度分布に影響した可能性があると思われる。

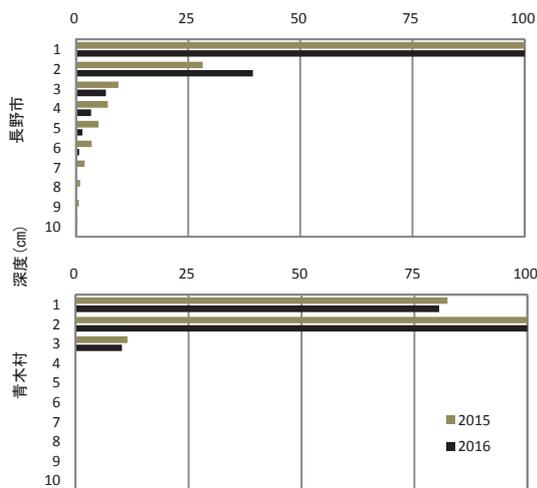


図2 長野市・青木村 137Cs の経年比較 (Bq/kg 乾土)

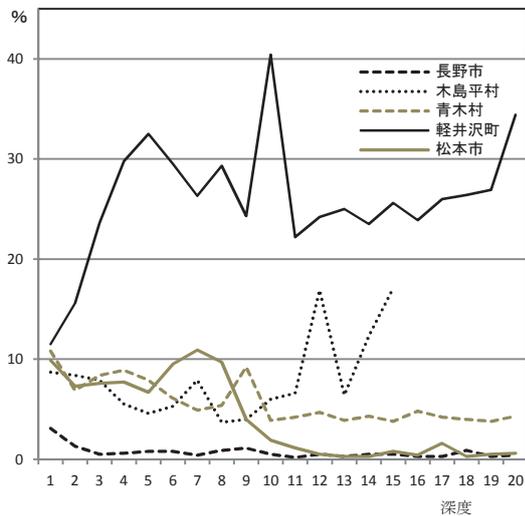


図3 ふるい上の重量

4 まとめ

長野県内で土壌中の放射性セシウム濃度を地表面から1cm間隔で20cmまで調査し、福島原発事故の影響や深度方向への移行に関して、以下の結果を得た。

- 1 福島原発事故後約6年経過しているが、放射性セシウムは比較的表層に留まっており、深度方向への移動は少ない。
- 2 同じ調査地点であれば濃度が異なる場合でも深度方向への濃度分布に差はなく、評価は可能である。
- 3 深度方向の放射性セシウム濃度分布は、土壌の

粒子径等の影響を受ける可能性がある。

- 4 長野県内の東北信地域は中南信地域と比較して、福島原発事故から影響を大きく受けている。
- 5 深度別調査によって、これまでの水準調査より更に詳細な評価が可能である。

本調査の結果を踏まえ、深度方向への移行については長期的に調査を継続していきたい。

文献

- 1) 齊藤憲洋・中込和徳・細井要一 (2013) 長野県における放射性セシウムの降下量調査, 長野県環境保全研究所研究報告, 9: 41-46
- 2) 文部科学省, 文部科学省による岩手県, 静岡県, 長野県, 山梨県, 岐阜県, 及び富山県の航空機モニタリングの測定結果, 並びに天然核種の影響をより考慮した, これまでの航空機モニタリング結果の改訂について: http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/5000/4899/24/1910_111112.pdf (2017年11月確認)
- 3) 文部科学省 科学技術・学術政策局 (1982) ゲルマニウム半導体検出器等を用いる機器分析のための試料の前処理法, 放射能測定法シリーズ, No, 13
- 4) 中込和徳・川村 實・薩摩林 光 (2008) 放射能調査用土壌試料の採取方法に関する検討, 長野県環境保全研究所研究報告, 4: 71-73

Concentration distribution of radioactive cesium in soil

Youichi HOSOI¹, Fumio SAKAI², Masaaki SHIKANO³,
Yuuki MATSUZAWA¹ and Takumi MOROOKA⁴

- 1 *Recycling Society Division, Nagano Environmental Conservation Research Institute, 1978 Komemura, Amori, Nagano 380-0944, Japan*
- 2 *Atomspheric Environment Division, Nagano Environmental Conservation Research Institute, 1978 Komemura, Amori, Nagano 380-0944, Japan
(Present : Matsumoto Regional Development Bureau, Environment Division, 1020 Shimadachi, Matsumoto 390-0852, Japan)*
- 3 *Present : Chikumagawa Regional Sewerage Office, Upstream Management Division, 1060-1 Kawai, Mashima-machi, Nagano 381-2203, Japan*
- 4 *Present : Public Enterprise Bureau, Ueda Water Supply Operation Office, Management Division, 613, Suwagata, Ueda 386-0032, Japan*