

伊方発電所周辺 30km 圏における土壌・陸水の実態調査について

芝和代 野村健吾 影浦久 宇高真行 高市恭弘

1. はじめに

原子力規制委員会が東京電力㈱福島第一原子力発電所事故を踏まえて決定した原子力災害対策指針を補足する「平常時モニタリングについて(原子力災害対策指針補足参考資料)」(以下「補足参考資料」という。)が平成 30 年 4 月に策定され、平常時モニタリングの目的、実施体制及び実施内容等が示された。

この補足参考資料では、平常時モニタリングの目的の一つとして、緊急事態が発生した場合への平常時からの備えを掲げ、発電所から 30km 圏内の土壌等環境試料中の放射性物質濃度の水準の把握が必要とされた。

このため、本県では、できる限り早急に県内の状況を把握する必要があるとの方針から、平成 30 年度に関係市町の協力のもと調査地点の選定作業を開始し、令和元年度から 3 か年計画の実態調査として調査を実施している。

今後、この実態調査で得られる結果等をもとに、愛媛県伊方原子力発電所環境安全管理委員会の専門家の意見を踏まえて、地点の追加や変更等の検討を必要に応じ行ったうえで、令和 4 年度以降の伊方原子力発電所周辺環境放射線等調査計画(以下「調査計画」という。)へ反映することとしている。

本報告では、土壌及び陸水試料の調査地点の選定方法や選定理由等を取りまとめ

るとともに、これまでに得られた土壌調査の分析結果等について報告する。

2. 調査地点の選定

2.1. 選定の基本方針

補足参考資料では、調査地点及び調査対象について、

○発電用原子炉施設から 30km 圏内の環境試料中の放射性物質濃度の水準を適切に把握できるよう定点を設定

○対象とする環境試料としては、土壌、陸水及び海水が重要

とされている。

本県では、土壌及び陸水の調査については、これまで調査計画に基づき発電所周辺 5km 圏内を対象に実施してきたが、今回 30km 圏内に範囲が拡大されたことに伴い、これまでの調査地点も含めて再検討を行った。

なお、海水の調査については、これまで海底土とともに発電所前面海域において実施しており、今後も同調査地点で継続調査することで対応可能と判断した。

2.2. 土壌

伊方発電所が立地する地域は、図 1 に示すとおり、自然放射線が比較的低い緑色片岩(一部、黒色片岩)を主とした三波川変成帯に位置しており、30km 圏南西部は粘板岩、粘板岩・砂岩互層、泥・砂・礫層等が分布する地質である。

これを踏まえ、土壌調査地点の選定に当たっては、図 1 に示すとおり、まず発電所から原則 16 方位で 5km メッシュごとに地

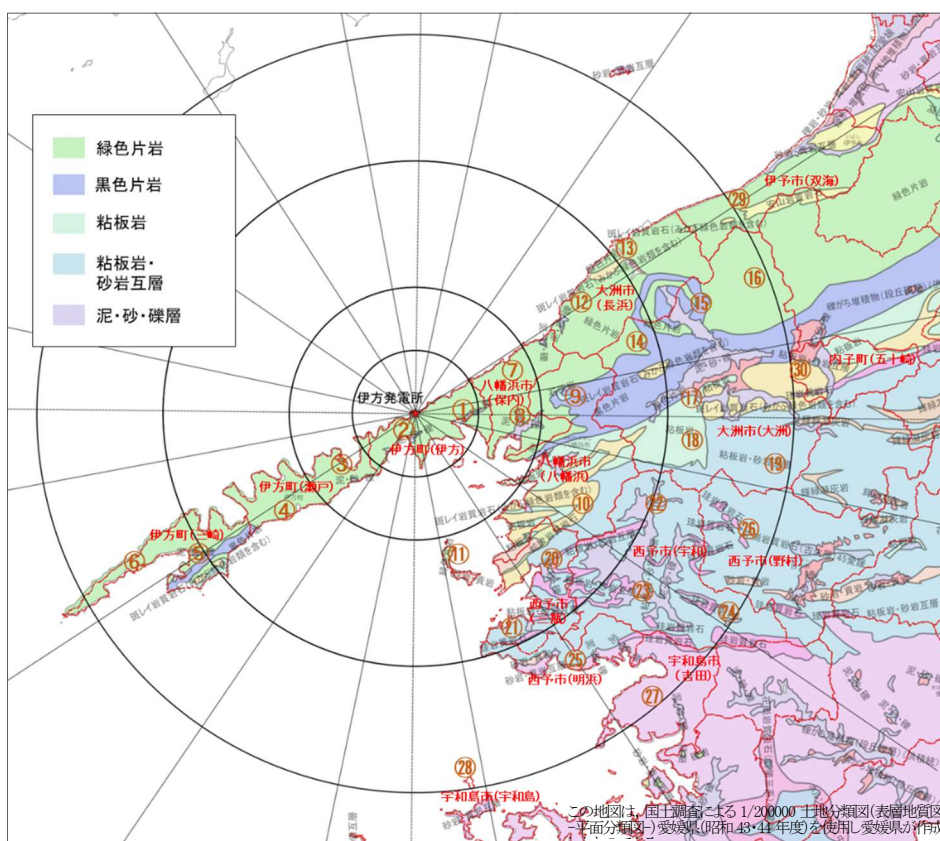


図1 土壌調査地点の選定に係る検討状況

点を設けることとし、さらに地質を考慮し、同一メッシュ内に複数の地質が存在する場合は、それぞれの地質ごとに地点を設けることとした。その結果、30箇所を候補地点とした。

また、30km 圏内の有人離島である八幡浜市大島及び宇和島市嘉島については、緊急時の防護措置判断に必要なとの観点から、上述に関係なく、優先的に候補地点とした。

図1の候補地点を基本としたうえで、具体的な調査地点については関係市町の協力を得ながら、緊急時の効率的なモニタリングの実施等を考慮して既設モニタリングポストあるいはその近傍において、試料採取が容易かつ永続的に実施可能な地点として、28地点を選定した(図2)。

なお、発電所から5km圏内は、従来の発電所周辺3地点(九町越公園周辺、九町越、九町越北)を継続調査するとともに、新たに2地点(九町、湊浦)を追加拡充し、調査計画に基づく調査として実施することとした。

2.3. 陸水

対象となる発電所から30km圏内には、市町が管理する上水道及び簡易水道等のほか、南予水道企業団が管轄し、野村ダムを水源として伊方町など4市町に供給する南予水道があり、給水人口が数万人に及ぶものから、数十人程度の小規模なものまで様々な施設が多数存在する。

このため、陸水調査地点の選定にあたっては、土壌と同様に、伊方発電所からの方位や距離、給水人口等を考慮した候補地



図2 土壌実態調査地点図

点をもとに、市町等水道担当課及び防災担当課と協議して決定した。

例えば、西予市では、協議の過程で、

①市内全体でのバランスを考慮し、発電所に近い河内浄水場(表流水)と比較的給水人口の多い下川浄水場を追加

②地形を考慮し、長谷浄水場を鳥鹿野浄水場へ変更するとともに中筋水源を一元化

③モニタリングの効率化を考慮し、同一水源(野村ダム)である三瓶及び明浜浄水場は、三瓶浄水場へ一元化

など、地元の情報や意向も踏まえつつ選定した(図3)。

同様に、伊方町、八幡浜市、大洲市、宇和島市及び伊予市についても協議を重ね、

全35地点を選定した(図4)。

有人離島である八幡浜市大島は神山水源地(調査対象)からの送水であり、また、宇和島市嘉島は、30km圏外の浄水場からの送水であることから、それぞれ、調査対象外とした。

なお、5km圏内の調査地点については、従来の調査地点2地点(伊方浄水場、九町新川)から、一部追加変更し、3地点(伊方浄水場、九町、湊浦)において、調査計画に基づく調査として実施することとした。

3. 調査結果及び考察

試料の採取、前処理及び分析は、原子力規制委員会策定の放射能測定法シリーズに準じて行った。

なお、土壌試料については、平成30年

度の現地調査時に採取した試料及びその後の追加調査で採取した試料を使用した。

3.1. 調査方法等

3.1.1. 土壌

(1) 採取方法

土壌採取器(試料採取部:内径 6.6cm, 高さ 15cm(図 5 参照))を用いて, 地表面から深さ 15cm までの土壌を 1 地点あたり 5 点混合で採取した。

(2) 分析項目

- ・ガンマ線放出核種
- ・ストロンチウム-90(Sr-90)
- ・プルトニウム (Pu-238 及び Pu-239+240)

3.1.2. 陸水

(1) 採取方法

水道施設の採取口からポリタンク(20L)に採取した。

(2) 分析項目

- ・ガンマ線放出核種
- ・トリチウム
- ・Sr-90

3.1.3. 測定機器

- ・ガンマ線放出核種

(高純度ゲルマニウム半導体検出器)

ORTEC® GEM40-70-XLB-C(1 台)

ORTEC® GEM40-76-LB-C-S(1 台)

ミリオンテクノロジーズ・キャンベラ(株)

GC4018(2 台)

(多重波高分析装置)

セイコー・EG&G(株) MCA7

・Sr-90

(低バックグラウンド放射能自動測定装置)

(株)日立製作所 LBC-4502

・Pu-238 及び Pu-239+240

(シリコン半導体検出器)

ORTEC® ENS-U600

(多重波高分析装置)

ORTEC® ALPHA-DUO

・トリチウム

(低バックグラウンド液体シンチレーションカウンタ)

(株)日立製作所 LSC-LB7(2 台)

3.2. 土壌中ガンマ線放出核種分析結果

3.2.1. セシウム-137(Cs-137)濃度

高純度ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線放出核種分析の結果一覧を表 1 に示す。

検出された人工放射性核種は Cs-137 のみで, その濃度範囲は, N.D.(検出されず)~ 21.9 ± 0.53 Bq/kg 乾土であり, 調査地点による濃度差のばらつきが大きいことがわかった。

また, 追加調査を実施した地点の結果からは, 同じ調査地点であってもわずかに採取場所が違うことにより Cs-137 濃度に数倍の差があることがわかった。

土壌の性状等から比較すると, Cs-137



図 5 土壌採取器

表1 実態調査結果一覧

地点 番号	市町	未耕土等	地 点 名	試料採取年月日	分析結果(単位:Bq/kg乾土)		試料の比重 (単位:g/cm ³)	
					Cs-137	K-40		
1	伊方町	○	堀切大橋下	2019年1月29日	3.7±0.29	162±5.7	1.01	
2		○	むかいパーク	2019年1月29日	16.4±0.49	203±6.2	0.78	
				2019年7月5日	6.4±0.32	176±5.3	0.97	
3				県立三崎高校前	2018年11月6日	N.D.	757±9.1	1.15
4		○	野坂神社	2019年1月29日	21.9±0.53	203±6.1	1.06	
5	八幡浜市		喜木津小学校跡	2018年12月4日	N.D.	704±9.3	1.17	
				2019年10月11日	0.95±0.25	591±8.4	1.29	
6			宮内小学校	2018年12月4日	5.2±0.33	768±9.7	1.16	
7			日土保育所	2018年12月4日	4.6±0.34	512±8.9	1.06	
				2019年10月11日	1.6±0.24	599±8.6	1.29	
8			○	八幡浜市民スポーツパーク	2018年12月4日	7.9±0.40	126±5.6	0.93
9				大島産業振興センター	2019年1月11日	N.D.	968±9.3	1.37
10		大洲市		榑生ふれあい広場	2019年2月14日	2.5±0.25	851±9.7	1.15
11			○	肱川あらし展望公園	2019年2月14日	2.6±0.24	92±4.2	0.91
12			上須戒ふれあい広場	2018年12月11日	0.64±0.21	578±7.8	1.24	
				2019年10月17日	0.92±0.28	655±9.3	1.40	
13			大洲東中学校	2019年2月14日	1.7±0.28	726±9.6	1.11	
				2019年10月17日	2.1±0.27	655±8.9	1.24	
14				柳沢ふれあい広場	2018年12月11日	1.4±0.31	486±8.6	1.18
15			○	富士山公園	2019年2月14日	6.7±0.28	80±3.5	1.04
16				南久米ふれあい広場	2018年12月11日	N.D.	890±11	1.14
					2019年10月17日	0.75±0.24	767±9.7	1.30
17			蔵川ふれあい広場	2019年2月14日	1.4±0.23	372±7.2	1.04	
18	西予市		西予市役所三瓶支所	2018年12月18日	N.D.	820±11	1.24	
19			下泊小学校跡	2018年12月18日	2.9±0.25	803±9.2	1.32	
20			多田公民館	2018年12月18日	3.8±0.29	566±8.8	1.04	
				2019年11月29日	2.1±0.33	600±9.8	1.21	
21			○	宇和運動公園	2018年12月18日	4.8±0.32	470±8.4	0.99
					2019年11月29日	4.8±0.30	441±7.8	1.10
22				明間公民館	2018年12月18日	3.7±0.29	509±8.0	1.04
23			○	あけはまシーサイド・サンパーク	2018年12月18日	1.3±0.34	770±11	1.17
		2019年11月29日			1.1±0.29	730±10	1.28	
24			溪筋公民館	2018年12月18日	3.0±0.34	594±9.9	1.04	
25	宇和島市		東蓮寺ダム桜公園	2019年1月10日	3.0±0.34	640±10	1.00	
				2019年11月29日	1.7±0.32	852±12	1.18	
26			嘉島小学校	2019年1月10日	N.D.	1140±11	1.28	
27	伊予市		下灘ふれあいグラウンド	2018年12月17日	1.6±0.26	688±8.4	1.22	
				2019年10月11日	N.D.	813±9.6	1.34	
28	内子町		平岡児童公園	2019年1月15日	N.D.	790±10	1.36	

※ N.D. …検出されず

濃度が高かった地点は、未耕土又は未耕土に近いと推定した地点であり、逆に低かった地点は、学校跡地等の造成や整地等がなされた地点と、概ね区分することができた。

未耕土等の地点が比較的 Cs-137 濃度が高いことは、過去の大気圏内核実験等によるフォールアウトにより Cs-137 が土壌表面に沈着し、その状態が維持されている¹⁾ためと考えられる。

3.2.2.カリウム-40(K-40)濃度

自然放射性核種である K-40 濃度については、地点によって大きな濃度差がみられ、特に低濃度であった地点は、すべて緑色片岩等で未耕土と推定した地点であり、地質由来によるものと考えられる。

一方、学校跡地等で比較的高濃度な地点が多いが、これは造成や整地の際に花崗岩質等の K-40 含有率が高い土壌が搬入されたことに起因すると考えられる。

また、この搬入土壌はフォールアウトの影響が少ない切り取り土と推定され、学校跡地等で Cs-137 濃度が低い傾向を示す結果と一致している。

これらのことから、今後の調査において、K-40 濃度の変化から、土壌搬入の有無等を推定することが可能と考えられる。

3.2.3.土壌詳細調査

追加調査を行った調査地点のうち、濃度差が最も大きかった地点(むかいパーク)について、同敷地内での Cs-137 の分布状況を把握するため、詳細調査を実施した。詳細調査では、15m 四方の範囲を設定し、5メートルメッシュで 16 地点の土壌の調査を実施した。

当該調査地点は、過去に牧草地として

使用されていた履歴があり、現在は公園として草地のまま利用されており、その間、特に造成等を行われていない。

詳細調査の分析結果一覧を表 2 に、分布状況の概要図を図 6 に示す。すべての地点から Cs-137 が検出され、その濃度範囲は $1.6 \pm 0.34 \sim 60.0 \pm 0.88 \text{Bq/kg}$ 乾土と大きく差異があることが判明した。ただし、その分布状況に規則的な濃度勾配等の特段の傾向は認められなかった。なお、過去の調査計画等に基づく土壌調査の結果においても、同様に同じ調査地点でも濃度差が生じる傾向が見られている(表 3)。

また、土壌の比重は、乾土で $0.78 \sim 0.98 \text{g/cm}^3$ と顕著な差は見られなかった。

さらに、K-40 濃度については、 200Bq/kg 乾土前後で比較的低く、顕著な差は見られなかった。このことから、他地域からの花崗岩質等の土壌の搬入等の可能性は低いと考えられる。

以上の結果及び調査時の現地確認から、当該地点の土壌はほぼ未耕土であり、その性状はほぼ均質であると考えられる。

しかしながら、Cs-137 濃度については、同じ敷地の中においても、採取地点のわずかな違いにより、その濃度に明らかに違いがあることが確認されたが、その要因等については解明に至らなかった。

最後に、Pu239+240 濃度について、測定結果と Cs-137 濃度との関係を表 2 及び図 8 にそれぞれ示す。その結果、Pu239+240 は Cs-137 と同様に採取地点により濃度に差異が見られるが、両者の間には強い正の相関関係があることが示された。

表 2 むかいパークにおける調査結果一覧

測定区分	地点番号	試料採取年月日	分析結果 (単位:Bq/kg乾土)			試料の比重 (単位:g/cm ³)
			Cs-137	Pu-239+240	K-40	
実態調査 採取1回目	---	2019年1月29日	16.4±0.49	0.78±0.029	203±6.2	0.78
実態調査 採取2回目	---	2019年7月5日	6.4±0.32	0.31±0.015	176±5.3	0.97
詳細調査	A	2019年11月18日	10.0±0.39	0.54±0.021	175±5.7	0.88
	B		60.0±0.88	-	175±6.4	0.93
	C		39.7±0.75	-	161±6.3	0.90
	D		25.8±0.56	1.50±0.047	149±5.2	0.92
	E		5.8±0.36	-	189±6.6	0.84
	F		1.6±0.34	-	228±7.5	0.85
	G		35.0±0.67	-	155±5.5	0.87
	H		26.3±0.62	-	185±6.6	0.91
	I		23.5±0.56	-	179±5.9	0.89
	J		40.6±0.80	-	174±6.8	0.89
	K		31.2±0.62	-	167±6.0	0.89
	L		31.0±0.63	-	168±5.8	0.86
	M		21.3±0.58	1.16±0.038	171±6.2	0.98
	N		16.9±0.55	-	191±6.7	0.90
O	25.7±0.56	-	159±5.4	0.90		
P	33.5±0.66	1.93±0.059	163±5.7	0.87		

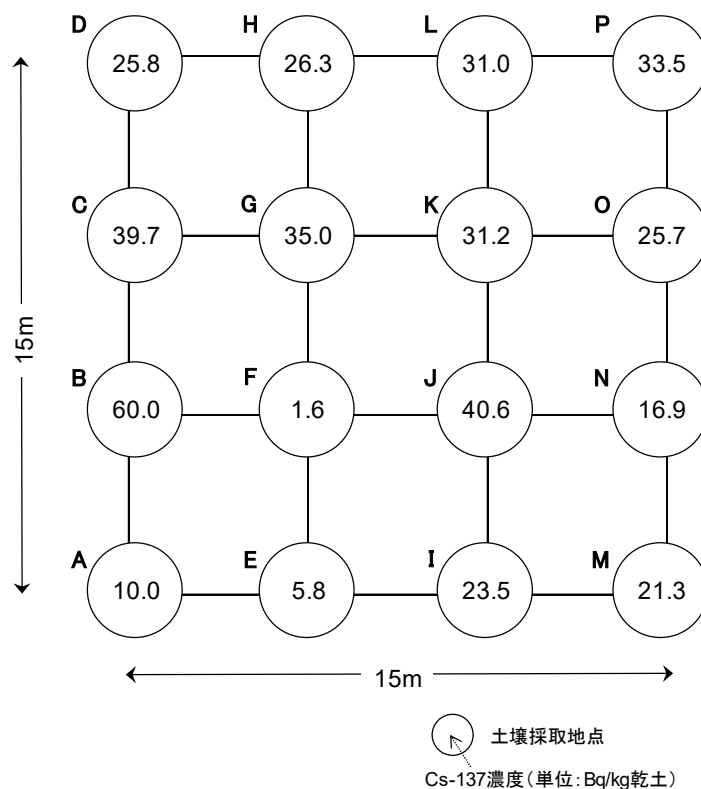
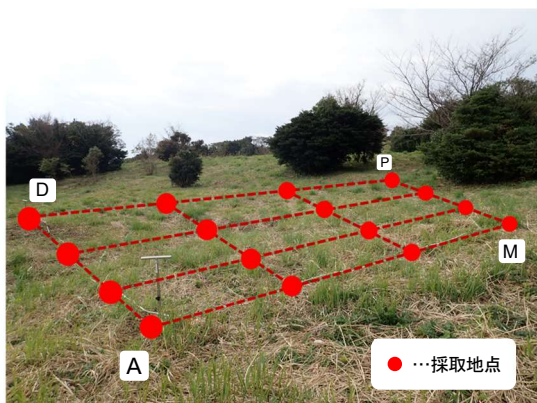


図 6 詳細調査の地点と土壌中 Cs-137 濃度の概要図



5メートルメッシュで土壌を採取



採取した土壌試料の例

図7 詳細調査地点における土壌採取状況及び採取した土壌試料の例

表3 過去の調査における伊方地域の
土壌中 Cs-137 濃度

(単位: Bq/kg 乾土)

調査名	最高	最低	平均	
今回の詳細調査	60.0	1.6	25.1	
調査計画に基づく調査 (H21～30年度)	九町越公園	18.0	3.4	7.3
	九町越	28.1	8.3	17.6
	九町越北	40.3	12.0	22.7
自然放射線調査(伊方町内(H3年度))	60.6	2.0	29.8	

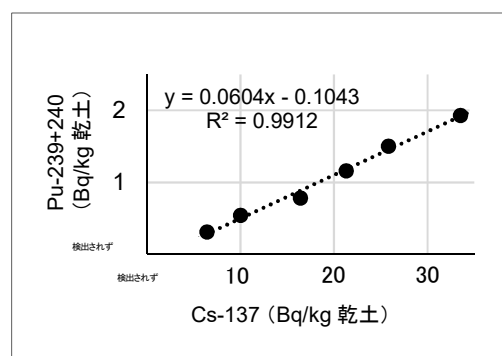


図8 むかいパークにおける土壌中 Cs-137 と Pu-239+240 濃度の関係

このことは、過去の調査計画に基づく調査結果を考察した野村らの報告⁴⁾と同じ傾向であり、土壌における Pu239+240 と Cs-137 については、異なる調査地点においても、同様の相関関係を維持して分布していることを示唆していると考えられる。

4. まとめ

(1) 調査地点の決定

調査地点の選定にあたっては、伊方発電所からの方位や距離を基本とし、土壌では、地質や試料採取の容易さや永続性を、陸水では、水源の種類や給水人口を考

慮し、関係市町等の協力を得て、28 地点及び 35 地点をそれぞれ選定した。

(2) 土壌の調査状況

①ガンマ線放出核種分析で検出された人工放射性核種は Cs-137 のみであり、未耕土又は未耕土に近い地点で比較的高濃度を示した。

②詳細調査において、同じ調査地点でも採取場所のわずかな違いにより、土壌の性状がほぼ均質であると考えられても、Cs-137 濃度に明らかな差異があることが判明

した。しかし、その要因の解明には至らなかった。

- ③今後、土壌等の調査については、調査計画に基づく調査に移行していくこととなるが、本実態調査の結果を踏まえ、土壌調査では、地質や土壌の入れ替え等の影響を受けること、また、採取場所のわずかな違いにより Cs-137 濃度等の差異が大きいことを十分認識したうえで調査に臨む必要がある。そのためにも、今後の実態調査において、追加調査の実施など、各

調査地点の放射性物質濃度の水準把握を充実させる必要がある。

【参考文献】

- 1)M.アイゼンバッド, 環境放射能第 2 版 -環境科学特論-, 産業図書(株), 1979.
- 2)伊方原子力発電所周辺環境放射線等調査結果(平成 21~30 年度), 愛媛県
- 3)愛媛県自然放射線等調査結果(平成 4 年 3 月), 愛媛県
- 4)野村健吾, 芝和代, 影浦久, 宇高真行, 高市恭弘, 愛媛県原子力センター所報 6(2020)19.