

## 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(第2報)

影浦久 野村健吾 西田典由 芝和代<sup>\*</sup> 松本純子 山内昌博

### 1. はじめに

原子力規制庁が平成 30 年 4 月に策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)」<sup>1)</sup>(以下「補足参考資料」という。)において、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、発電用原子炉施設から 30km 圏内の土壌等環境試料中の放射能濃度の水準の把握が求められた。

このことから、本県では、「補足参考資料」の趣旨も踏まえ、できる限り早く放射能濃度の水準を把握することが望ましいとの考えから、令和元年度からの 3 か年計画で集中的に土壌及び陸水の放射能濃度を把握することを目的に実態調査を実施した。

前報 <sup>2)</sup> では、土壌及び陸水の調査地点の選定方法、測定の実況等を報告した。

ここでは、予定していた調査が完了したことから、その測定結果及び特徴等について取りまとめたので報告する。

### 2. 調査地点の選定 <sup>2)</sup>

#### 2.1. 土壌

土壌調査地点の選定にあたっては、5km から 30km 圏内において、原則 16 方位で 5km メッシュごとに、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モニタリングポスト、通信機能付き電子線量計又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 1)。

なお、図中の 5km 圏内の地点については、蓄積状況等を把握することを目的として毎年 1 回測定を実施している地点である。

#### 2.2. 陸水

陸水調査地点の選定にあたっては、対象となる伊方発電所から 30km 圏内に、市町が管理するもの以外に南予水道企業団が管轄し、広範囲に供給するものなど、規模が様々な多数の水道水源が存在することから、発電所からの方位や距離、給水人口、給水範囲等について、市町等水道担当課及び防災担当課と協議して決定した。

また、調査を実施する中で、分水嶺や給水範囲等を考慮し、当初予定の 35 地点から 3 地点を追加して計 38 地点の調査を実施した(図 2)。

なお、図中の 5km 圏内の地点については、被ばく評価等を目的に毎年 1 回測定を実施している地点である。

### 3. 調査方法等

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。

#### 3.1. 土壌

##### 3.1.1. 採取方法

土壌採取器(試料採取部:内径 6.6cm、高さ 15cm(図 3 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。

愛媛県原子力センター 八幡浜市保内町宮内 1-485-1

<sup>\*</sup>現愛媛県南予地方局健康福祉環境部環境保全課





図3 土壌採取器

### 3.1.2. 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)

## 3.2. 陸水

### 3.2.1. 採取方法

水道源水の採取口からポリタンクに採取した。

### 3.2.2. 分析項目

- ・ガンマ線放出核種
- ・トリチウム
- ・Sr-90

## 3.3. 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)

## 4. 調査結果及び考察

### 4.1. 土壌

表1に土壌の調査結果を示す。

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、検出された人工放射性核種はセシウム-137(Cs-137)のみで、その濃度範囲は、検出されず(N.D.)~ $21.9 \pm 0.53 \text{ Bq/kg}$  乾土と、調査地点により濃度にばらつきがみられ、未耕土が比較的高濃度で、学校跡地等人工的に整備された地点が低濃度であった。<sup>2)</sup>

また、Sr-90は、N.D.~ $3.3 \pm 0.24 \text{ Bq/kg}$  乾土、Pu-239+240(以下「Pu」という。)は、N.D.~ $0.86 \pm 0.032 \text{ Bq/kg}$  乾土であり、Cs-137が高濃度の地点は、Sr-90、Puも同様の傾向を示した。

このことから、Cs-137との相関関係をみた結果を図4及び図5に示す。

なお、N.D.は、0として取り扱った。

Cs-137とPuは、伊方発電所周辺において実施してきた調査結果<sup>3)</sup>と同様にSr-90に比べ極めて強い相関がみられた。

このことから、発電所から30km圏の広範囲において、調査地点の土壌の由来や地質差が異なっても、フォールアウトとして降下した後、Cs-137及びPuは土壌に強く吸着される一方、Sr-90は、比較的雨

表1 土壌調査結果

市 町	地 点	測定結果(Bq/kg 乾土) <sup>(注)</sup>				
		Cs-137	Sr-90	Pu-238	Pu-239+240	K-40
伊方町	堀切大橋下	3.7±0.29	1.2±0.16	N.D.	0.151±0.0099	162±5.7
	むかしのパーク	6.4±0.32	3.3±0.24	N.D.	0.31±0.015	176±5.3
	県立三崎高校前	N.D.	N.D.	N.D.	0.015±0.0031	757±9.1
	野坂神社	21.9±0.53	3.0±0.21	0.016±0.0041	0.86±0.032	203±6.1
八幡浜市	喜木津小学校跡	0.95±0.25	0.34±0.081	N.D.	0.066±0.0069	591±8.4
	宮内小学校	5.2±0.33	1.4±0.13	0.011±0.0028	0.145±0.0099	768±9.7
	日土保育所	1.6±0.24	0.48±0.086	N.D.	0.070±0.0063	599±8.6
	八幡浜市民スポーツパーク	7.9±0.40	1.6±0.16	N.D.	0.31±0.016	126±5.6
	大島産業振興センター	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	968±9.3
大洲市	櫛生ふれあい広場	2.5±0.25	0.52±0.089	N.D.	0.087±0.0072	851±9.7
	肱川あらし展望公園	2.6±0.24	0.88±0.11	N.D.	0.100±0.0076	92±4.2
	上須戒ふれあい広場	0.92±0.28	N.D.	N.D.	0.018±0.0030	655±9.3
	大洲東中学校	2.1±0.27	0.32±0.084	N.D.	0.063±0.0058	655±8.9
	柳沢ふれあい広場	1.4±0.31	0.38±0.086	N.D.	0.060±0.0075	486±8.6
	富士山公園	6.7±0.28	2.2±0.19	0.011±0.0026	0.30±0.014	80±3.5
	南久米ふれあい広場	0.75±0.24	0.45±0.092	N.D.	0.015±0.0031	767±9.7
	蔵川ふれあい広場	1.4±0.23	1.2±0.13	N.D.	0.045±0.0048	372±7.2
西予市	西予市役所三瓶支所	N.D.	N.D.	N.D.	0.028±0.0038	820±11
	下泊小学校跡	2.9±0.25	0.34±0.077	0.011±0.0034	0.133±0.0093	803±9.2
	多田公民館	2.1±0.33	0.45±0.089	N.D.	0.115±0.0080	600±9.8
	宇和運動公園	4.8±0.30	1.0±0.11	N.D.	0.23±0.015	441±7.8
	明間公民館	3.7±0.29	2.3±0.16	N.D.	0.153±0.0096	509±8.0
	あけはまシーサイドサンパーク	1.1±0.29	N.D.	N.D.	0.022±0.0038	730±10
	溪筋公民館	3.0±0.34	1.3±0.13	N.D.	0.091±0.0071	594±9.9
宇和島市	東蓮寺ダム桜公園	1.7±0.32	0.63±0.090	N.D.	0.055±0.0054	850±12
	嘉島小学校	N.D.	0.70±0.093	N.D.	0.0048±0.0015	1140±11
伊予市	下灘ふれあいグラウンド	N.D.	1.2±0.12	N.D.	0.015±0.0029	813±9.6
内子町	平岡児童公園	N.D.	0.52±0.089	N.D.	0.017±0.0033	790±10

(注) 試料の放射能  $N \pm \Delta N$  において、 $N < 3 \Delta N$  のときは、N.D.と表示した。

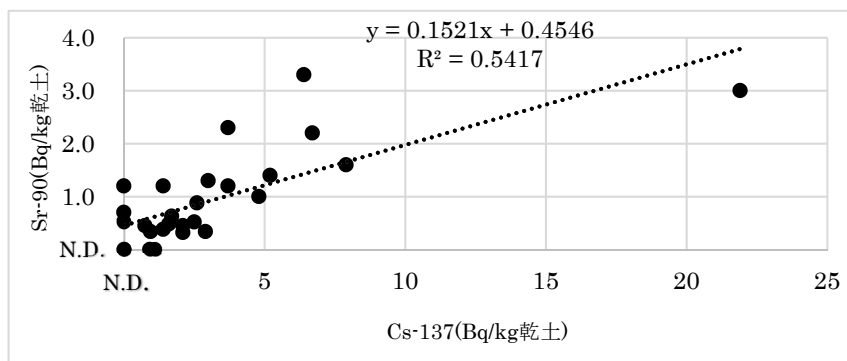


図4 Cs-137 と Sr-90 の関係

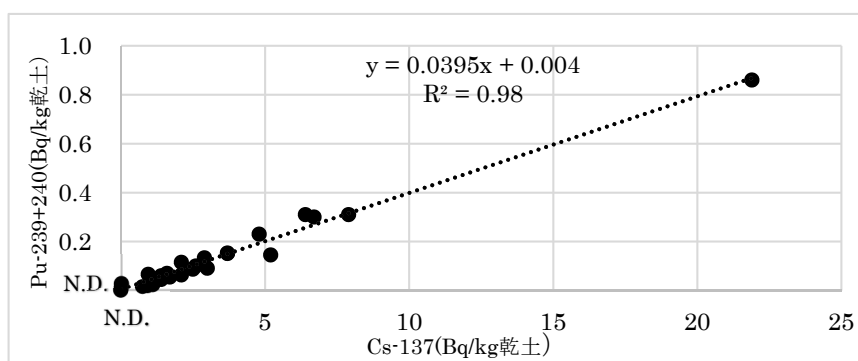


図5 Cs-137 と Pu-239+240 の関係

水等により流出すると推定される傾向は同様だと考えられた。

今後、数年ごとに同地点で調査を継続していくことから、前報で報告したとおり、Cs-137 濃度を同一地点の 18 か所で測定した結果、1.6~60Bq/kg 乾土、平均値が 25.0 Bq/kg 乾土と大きく差がある<sup>2)</sup>ことも考慮して測定結果を評価する必要がある。

その際には、濃度差等の妥当性を検討するうえで Cs-137 と Pu の比率を参考にすることが可能と考えられる。

また、自然放射性核種のカリウム-40(K-40)は、地質により含有量が異なることから、数年ごとの測定において大きく濃度変化がみられた際には、土地造成等土壌の入れ替わりを確認する手立てとなると考えられる。

#### 4.2. 陸水

表 2 に陸水の調査結果を示す。

トリチウム(H-3)については、検出された地点が全 38 地点中 6 地点、測定値は検出限界値である 0.3Bq/L とほぼ同程度の 0.30~0.38 Bq/L と低濃度であった。

また、水源別では表流水が 4 地点、地下水が 2 地点で濃度差はみられず、水源により差があるかは不明で継続調査が必要である。

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、Cs-137 等の人工放射性核種は未検出であった。

なお、表 2 には人工放射性核種の代表として、Cs-137 を、また、参考として K-40 の値を記載した。

Sr-90 は、N.D.~1.7±0.17mBq/L、平均値が 0.86mBq/L で、N.D.の地点は 4 地



点であり、Cs-137 や H-3 と異なり多くの地点で検出された。

水源の種類を表流水、地下水(浅井戸)、地下水(深井戸系)に分類して検討することとし、ダムは表流水、伏流水及び湧水は地下水、表流水+地下水は表流水、浅井戸+深井戸等を深井戸系と分類して評価した。

なお、N.D.は、検出限界値 0.2mBq/L として平均値を求めた。

表流水は、N.D.~1.7mBq/L、平均値が 0.89mBq/L、浅井戸は、0.32~1.6mBq/L、平均値が 1.0mBq/L であり、表流水と浅井戸に大きな差は見られなかった。

一方で、深井戸系の 4 地点では、N.D.~0.50mBq/L、平均値が 0.28mBq/L (N.D.が 3 地点、検出が 1 地点)と表流水等と比べ低濃度であった。

このことは、地表面の影響を受ける表流水や不圧地下水である浅井戸と異なり、不透水層に挟まれた被圧帯の地下水を汲み上げている深井戸は、過去のフォールアウトの影響が極めて小さいためと考えられる。

緊急時において長期間の監視を継続する場合には、特に浅井戸の地下水について、表流水と同様に注意をもって対応することが求められる。

また、Sr-90 が多くの水源から検出されたものの、Cs-137 が全地点で未検出であった結果は、これまでの 5km 圏内の浄水場やチェルノブイリ事故等の影響を除いた蛇口水においても同様となっている。<sup>4,5)</sup>

この結果は、Cs-137 が土壌に強く吸着される一方、Sr-90 は雨水等により流出する傾向が大きいと考えられる土壌の調査結果とも一致している。

## 5. まとめ

### (1) 調査地点

伊方発電所からの方位や距離を基本とし、土壌は、試料採取の容易さや永続性等を、陸水は、給水人口、給水範囲等を考慮して調査地点を選定した。

### (2) 土壌調査

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、測定値は、地点間でばらつきがみられた。

②Sr-90 及び Pu は、Cs-137 が高濃度の地点が同様に高い傾向を示し、特に Cs-137 と Pu には、極めて強い相関関係がみられた。

③この結果は、Cs-137 及び Pu は土壌に強く吸着されているものの、Sr-90 は雨水等による流出傾向があり、地点ごとでばらつきが生じたものと推定される。

④今後の定期的な調査では、Cs-137 と Pu の比率や K-40 濃度を参考にその妥当性や土地造成等の土壌の入れ替わり等を確認する手立てとなる。

### (3) 陸水調査

①H-3 が検出された水源は少なく、検出されたものも検出限界値程度であった。

②ガンマ線放出核種分析による人工放射性核種は全地点未検出であったが、Sr-90 は多くの地点で検出され、この傾向は、これまでの浄水場及び蛇口水の分析結果とも一致している。

③表流水と浅井戸の Sr-90 濃度は、ほぼ同レベルであったが、深井戸系はフォールアウトの影響が少なく低濃度である。

④緊急時における長期的な安全確認調査では、表流水と同様に地下水の測定結果も重要である。

表2 陸水調査結果

市 町	地 点	測定結果(注1)				(注3) 水源の種類
		H-3 (Bq/L)	Cs-137(注2)	Sr-90	K-40	
		(mBq/L)				
伊方町	三机浄水場	N.D.	N.D.	0.67±0.090	24±5.8	表流水
	塩成浄水場	N.D.	N.D.	1.5±0.14	40±6.3	表流水
八幡浜市	第3水源地	0.37±0.10	N.D.	0.80±0.10	43±4.7	地下水(浅)
	磯崎浄水場	N.D.	N.D.	0.45±0.090	N.D.	表流水
	峰水源地	0.30±0.097	N.D.	0.76±0.11	17±3.9	表流水
	鼓尾浄水場	0.33±0.10	N.D.	1.2±0.14	N.D.	表流水
	尾之花浄水場	0.38±0.10	N.D.	1.6±0.13	30±4.6	地下水(浅)
	八幡浜浄水場	N.D.	N.D.	1.1±0.11	46±6.8	野村ダム
	川之内浄水場	N.D.	N.D.	1.4±0.12	25±5.4	表流水
	松柏水源地	N.D.	N.D.	1.1±0.11	49±4.1	地下水(浅)
	神山水源地	N.D.	N.D.	0.76±0.10	51±7.0	地下水(浅)
	谷浄水場	N.D.	N.D.	0.59±0.097	21±6.6	伏流水
	中当浄水場	N.D.	N.D.	0.86±0.10	N.D.	表流水
大洲市	柴5号水源井	N.D.	N.D.	N.D.	20±6.1	地下水(深、浅)
	豊茂浄水場	N.D.	N.D.	0.33±0.078	N.D.	表流水
	五郎水源地	N.D.	N.D.	0.78±0.10	32±4.5	地下水(浅)
	本村水源地	N.D.	N.D.	1.3±0.12	24±5.7	地下水(浅)
	森山水源地	N.D.	N.D.	1.2±0.12	30±4.4	地下水(浅)
	蔵川浄水場	N.D.	N.D.	0.93±0.12	N.D.	表流水
	上須戒浄水場	N.D.	N.D.	1.1±0.11	N.D.	表流水
	保子野浄水場	0.34±0.10	N.D.	1.1±0.12	28±5.9	表流水
	田処浄水場	0.38±0.10	N.D.	0.37±0.092	N.D.	表流水
西予市	三瓶浄水場	N.D.	N.D.	1.1±0.12	45±6.2	野村ダム
	津布理第1水源	N.D.	N.D.	0.50±0.086	109±6.5	地下水(深、浅)
	和泉浄水場	N.D.	N.D.	1.2±0.13	N.D.	表流水
	上松葉浄水場	N.D.	N.D.	N.D.	33±7.3	地下水(深)
	多田浄水場	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	地下水(深、湧水)
	河内浄水場	N.D.	N.D.	0.78±0.10	17±5.7	表流水
	明石浄水場	N.D.	N.D.	1.6±0.13	54±5.1	地下水(浅)
	田之筋浄水場	N.D.	N.D.	0.28±0.074	N.D.	表流水、地下水(深)
	西山田浄水場	N.D.	N.D.	0.78±0.11	N.D.	表流水
	下川浄水場	N.D.	N.D.	0.71±0.11	16±5.2	表流水
	野村ダム取水塔	N.D.	N.D.	1.0±0.12	46±6.0	野村ダム
	鳥鹿野浄水場	N.D.	N.D.	1.1±0.12	N.D.	表流水
	中筋(頭王)浄水場	N.D.	N.D.	0.85±0.10	21±3.9	表流水
白髭浄水場	N.D.	N.D.	1.7±0.17	N.D.	表流水	
宇和島市	法花津浄水場	N.D.	N.D.	0.32±0.090	26±6.6	地下水(浅)
伊予市	奥西浄水場	N.D.	N.D.	N.D.	15±4.4	表流水

(注1) 試料の放射能  $N \pm \Delta N$  において、 $N < 3\Delta N$  のときは、N.D.と表示した。

(注2) ガンマ線放出核種分析における人工放射線核種は未検出、代表してCs-137をN.D.と記載した。

(注3) 水源の種類のうち、浅井戸水を地下水(浅)、深井戸水を地下水(深)と標記した。

## 6. おわりに

令和元年度から3か年で、伊方発電所から30km圏における土壌及び陸水の実態調査を実施し、その傾向等を確認することができた。

しかし、本調査結果は、地点ごと1度のものであり、今後調査を継続していくことが、万が一の異常時の際の基礎資料として重要になるものと考えている。

最後に、今回の調査に当たり地点選定や試料採取の同行等において、多大な助言や協力をいただいた関係市町及び南予水道企業団の職員の方々に深謝いたします。

## 【参考文献】

- 1) 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), 原子力規制庁監視情報課, 2018
- 2) 芝和代 野村健吾, 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)9.
- 3) 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.
- 4) 伊方原子力発電所周辺環境放射線等調査結果(平成25~令和2年度), 愛媛県
- 5) 日本の環境放射能と放射線, 環境放射線データベース, 公益財団法人日本分析センター