

# 愛媛県原子力センター所報 第7号

Ehime Prefectural Nuclear Safety Center (ENSC) Seventh Report



令和4年3月

愛媛県原子力センター



## はじめに

愛媛県原子力センターは、伊方発電所周辺の安全確保と環境保全を図るため、周辺環境の放射線の常時監視、環境試料の放射能調査、立入調査等の業務を行っております。現在、同発電所については、事業者において1、2号機の廃炉が決定され3号機のみとなりましたが、同機は本年1月24日から通常運転を再開しております。

このような中、本県では、東京電力(株)福島第一原子力発電所事故以降、平常時モニタリングについて、同発電所から30km圏内にモニタリングポスト12局を追加配備したほか、58地点に通信機能付き電子線量計を設置し、四国電力(株)のモニタリングポストと合わせ、合計99地点で連続測定を行う体制を整え、モニタリング体制の強化を図ってまいりました。

更に、原子力規制庁が策定した「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)」を踏まえ、同発電所から5km圏内に新たにダストモニタ等を整備して本年度その運用を開始したほか、令和元年度より3か年計画で、同発電所から30km圏内の土壌等環境試料中の放射能濃度の水準の実態調査を行っております。

また、緊急時モニタリングについては、同発電所から60kmの位置にある愛媛県立衛生環境研究所を第2分析拠点として定め、緊急時に備えた更なる体制強化を実施するとともに、新規の緊急時モニタリング要員を対象とした研修や機器操作習熟のための研修等を適宜開催するほか、原子力防災訓練では第2分析拠点との連携確認を行い、実施体制の習熟を図っております。

この他にも、本年度は大規模災害等により県内が同時被災した場合に備え、データ収集サーバ等を遠隔地に設置するなど耐災害性の強化等を目的とした環境放射線監視テレメータシステムの更新を行っており、モニタリング体制の更なる強化及び継続維持の確保に努めたところです。

最後になりますが、本報では、前述のダストモニタによる大気中の放射性物質濃度の連続測定結果や同発電所周辺30km圏の土壌・陸水の実態調査結果などを取りまとめました。今後とも、職員一人一人が研鑽を積みながら、原子力センターとして組織一丸となり、県民の安全・安心のため、全力で業務を進めて参る所存でございますので、引き続き御支援、御協力を賜りますようお願い申し上げます。

令和4年3月吉日

愛媛県原子力センター所長 山内 昌博

# 目 次

## I 運 営

1 概要 .....	1
2 施設 .....	1
3 組織 .....	1
4 業務内容 .....	1
5 沿革 .....	2

## II 報 告

ダストモニタによる大気中の放射性物質濃度の連続測定結果について .....	3
ダストモニタ連続採取ろ紙によるガンマ線放出核種分析について .....	7
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） .....	14

# I 運 宮



## 1 概要

愛媛県原子力センターは、伊方発電所周辺住民の安全・安心と地域の環境を守るため、愛媛県、伊方町及び四国電力(株)の3者で締結した「伊方原子力発電所周辺の安全確保及び環境保全に関する協定書(昭和51年3月)」に基づき、環境放射線の常時監視、環境試料の放射能調査、発電所への立入調査等を実施する機関である。

## 2 施設

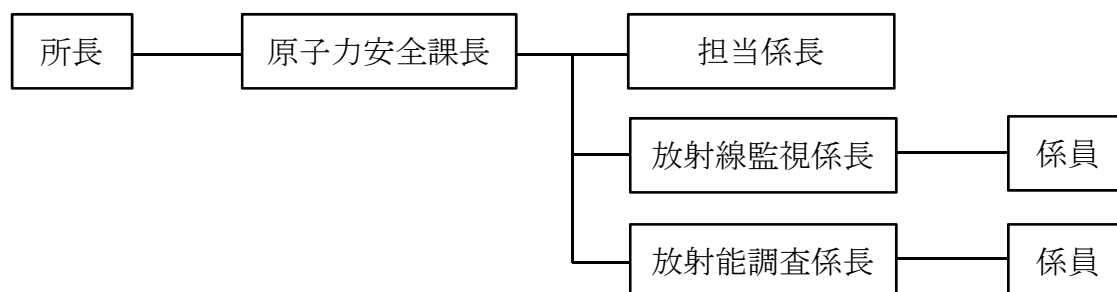
建物：鉄筋コンクリート2階建て

建物面積：延べ約1700m<sup>2</sup>

敷地面積：約2600m<sup>2</sup>

開所：平成22年10月1日

## 3 組織



## 4 業務内容

	業務内容
担当係長	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 人事, 予算, 経理, 給与及びサービス</li><li>・ 物品, 財産の管理及びセンターの管理等</li></ul>
放射線監視係	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 伊方発電所への立入調査による安全確認及び指導</li><li>・ 環境放射線監視テレメータシステムによる常時監視</li><li>・ モニタリングポスト等の維持管理</li><li>・ モニタリングカー及び可搬型モニタリングポスト等による環境放射線の定期測定</li></ul>
放射能調査係	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 環境試料の採取及び前処理</li><li>・ 環境試料中に含まれる放射性物質の調査及び分析</li><li>・ 伊方発電所から排出される排水調査</li></ul>
全体	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 緊急時モニタリングの実施</li><li>・ 原子力広報事業の実施</li></ul>

## 5 沿革

- 昭和 49 年 4 月 [公害研究所]  
伊方発電所1号機の運転開始(昭和52年9月30日)に先立ち、発電所  
周辺における環境放射線等の調査を行うため、公害研究所公害部に  
放射能科を設置
- 昭和 53 年 4 月 [公害技術センター]  
公害技術センターに改称  
公害部が指導研究部へ名称変更
- 平成 4 年 4 月 [公害技術センター]  
指導研究部が研究指導室へ変更
- 平成 5 年 4 月 [環境保全センター]  
環境保全センターに改称
- 平成 10 年 4 月 [衛生環境研究所]  
衛生研究所と環境保全センターを統合  
環境研究課環境調査室放射能科を設置  
[八幡浜地方局]  
伊方発電所への立入調査による安全確認・指導等を行うため、八幡浜  
中央保健所に環境保全課を設置
- 平成 12 年 4 月 [衛生環境研究所]  
放射能科が環境放射能科に名称変更
- 平成 15 年 4 月 [衛生環境研究所]  
環境研究課環境調査室の環境放射能科を独立させ、環境調査課を新  
設し、放射能研究室、放射能調査科を設置。
- 平成 20 年 4 月 [衛生環境研究所]  
環境調査課放射能調査科の業務の一部を南予地方局八幡浜支局環  
境保全課原子力安全室へ移管  
放射能調査科の業務を、環境試料中に含まれる放射性物質の調査・  
分析、伊方発電所から排出される排水調査等とする。  
[南予地方局八幡浜支局]  
現地における伊方発電所に係る安全監視機能を一層強化するため、  
環境保全課内に原子力安全室を設置  
原子力安全室の業務を、環境放射線の常時監視・定期測定、伊方発  
電所への立入調査による安全確認・指導等とする。
- 平成 22 年 10 月 [原子力センター]  
衛生環境研究所環境調査課放射能調査科と南予地方局八幡浜支局  
環境保全課原子力安全室を統合し、現地に安全監視と緊急時対策の  
基幹施設となる「原子力センター」を新たに設置



## II 報告



# ダストモニタによる大気中の放射性物質濃度の 連続測定結果について

宮城雅彦 渡邊雅也 松本純子 山内昌博

## 1. はじめに

東京電力(株)福島第一原子力発電所事故の経験等を踏まえ、原子力規制庁が「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)」を策定し、平常時モニタリングの目的の一つとして「原子力施設からの予期しない放射性物質又は放射線の放出の早期検出及び周辺環境への影響評価」が掲げられ、平常時モニタリングの主な実施項目として、大気中の放射性物質濃度の連続測定が定められた。

そこで本県では、これまでモニタリングステーション1か所で大気中の放射性物質濃度を測定していたところを、前述の目的を達成するため、新たにダストモニタを整備し、

監視体制の強化を図ることとした。

本報では、令和2年度末の機器整備と令和3年度からの運用実績及び測定結果を取りまとめたので報告する。

## 2. 整備方針

原子力規制庁から示された整備基準である「原子力施設を中心とした5km圏内の8方位の陸域区画内に1台」に準じて、図1に示すモニタリングステーション及びモニタリングポスト局舎内に計4台整備した。

## 3. 機器仕様

ダストモニタの主な仕様は表1、外観は図2に示す。

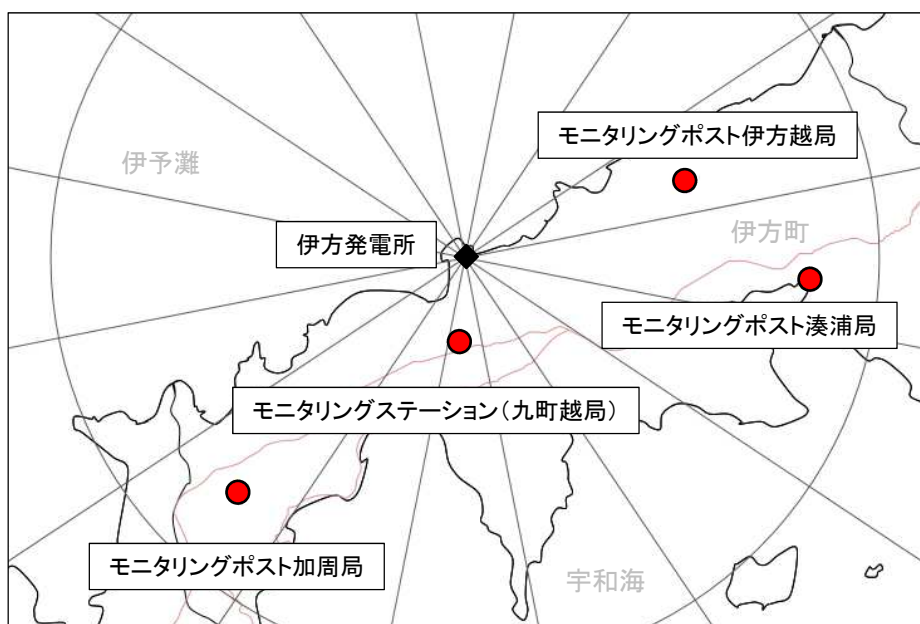


図1 ダストモニタ整備地点

表 1 ダストモニタの主な仕様

外形寸法	600 mm(W)×500 mm(D)×1200 mm(H)	検出器	2重シリコン半導体検出器(25mm φ)
電源	AC100V, 60Hz, 700VA 以下 (AC電源遮断時, UPS及び非常用発電機により3日間の連続運用可)	測定対象	アルファ線, ベータ線
		測定範囲	5Bq/m <sup>3</sup> 以下~5000Bq/m <sup>3</sup> 以上(1時間値)
集じん方式	メンブレン長尺ろ紙	検出器効率	アルファ線: <sup>241</sup> Amに対し24%以上 ベータ線: <sup>36</sup> Clに対し24%以上
ろ紙交換	ろ紙の自動ステップ送り	制御方法	監視操作パネルによる手動操作 管理用パソコンによる遠隔操作
ろ紙送り周期	1分から999分まで設定可能 (通常の運用時:480分)	動作温度・湿度範囲	動作温度:5~40℃ 動作湿度:30~80%RH(結露しないこと)
流量調整範囲	最大60L/分以上 (通常の運用時:約40L/分)	製造メーカー・型式	株式会社田テクノル THC-P106 (検出部:キャンベラ CAM 450AM)
吸気口位置	地表面(または床面)から1.2mの高さ	備考	建築設備耐震設計・施工指針(2014年度版)に示す耐震クラスS相当で施工



図 2 ダストモニタの外観

#### 4. 測定方法

図3のとおり, 2重シリコン半導体検出器を用いて, アルファ線, ベータ線, ガンマ線を同時測定しており, 測定したラドン・トロン崩壊生成物に起因するアルファ線のエネルギー

ギースペクトルから, 自然放射性核種の影響を補正するとともに, 2層の検出器間にアルファ/ベータ線吸収体を設置することにより, 両検出器で同時にカウントされた計数をγ線による影響と判断して補正することで, 人工のベータ線放出核種濃度を測定値として算出している。

#### 5. 測定結果

本県では, 流量約40L/分, 自動ろ紙送り周期を8時間として運用し, 正10分ごとの1時間平均値を測定しており, その結果(令和3年4月~12月)を表2, 図4, 5に示す。

なお, ろ紙送りの直後は, ろ紙上に大気浮遊じんが, 十分捕集されていないため, 当該測定値は不採用としている。

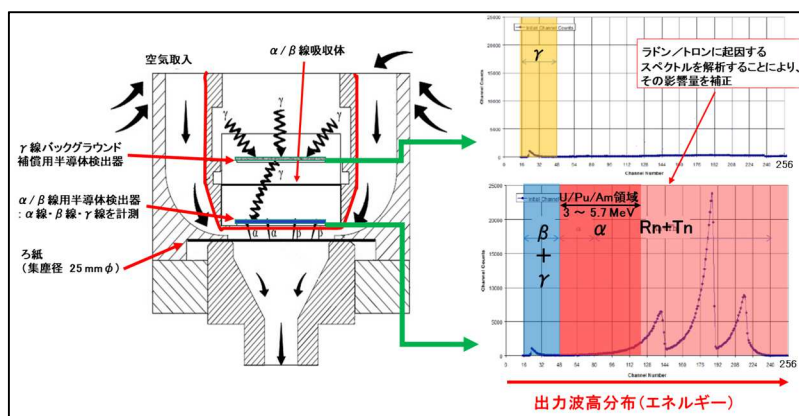


図 3 ダストモニタの測定原理

表 2 ダストモニタの測定結果(令和3年4月~12月)

	九町越局	湊浦局	加周局	伊方越局
最大値(Bq/m <sup>3</sup> )	2.11	2.04	2.39	2.37
最小値(Bq/m <sup>3</sup> )	-2.17	-2.31	-2.32	-2.39
平均値(Bq/m <sup>3</sup> )	0.02	0.03	0.03	0.02
標準偏差	0.40	0.41	0.41	0.41

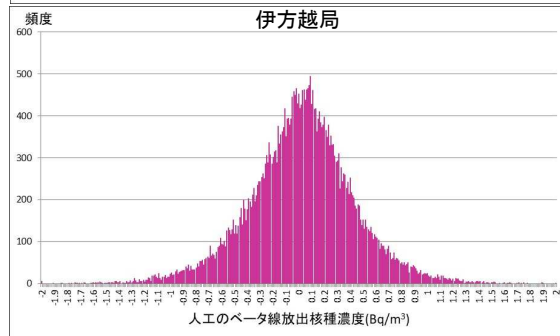
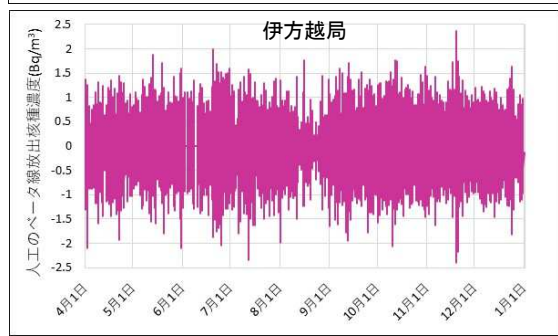
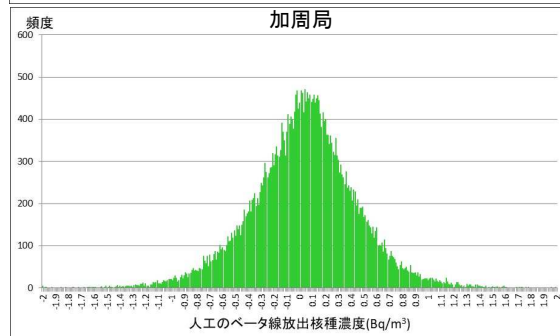
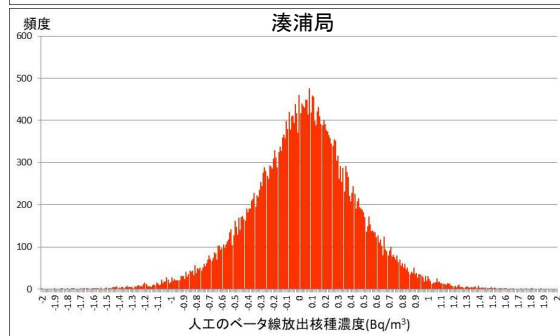
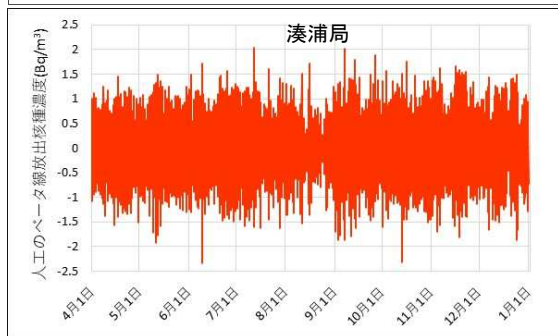
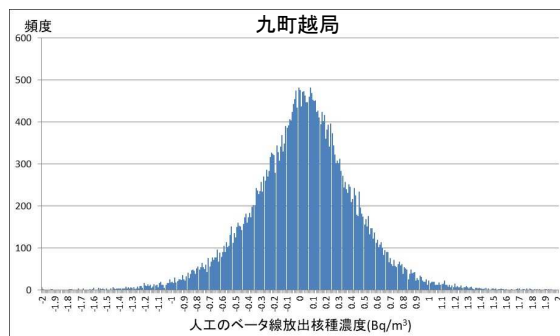
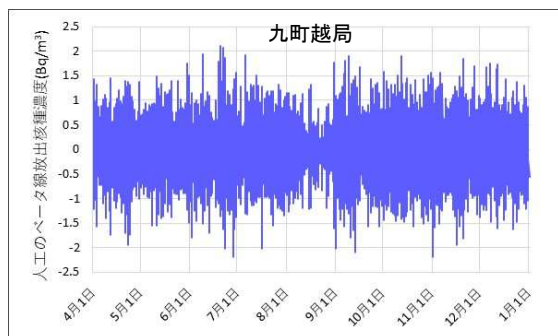


図 4 各局の測定値変動

図 5 各局の測定値の頻度分布

## 6. まとめ

ダストモニタによる人工のベータ線放出核種濃度の連続測定の結果は、加周局において瞬間的に最大値  $2.39 \text{ Bq/m}^3$  を観測しているが、図 5 に示すとおり、全ての測定局の測定値が、ほぼ 0 を中心とした正規分布に近い頻度分布となっていることから、機器特有の測定誤差と考えられる。

なお、ダストモニタで採取した大気浮遊じんは、高純度ゲルマニウム半導体検出器で

ガンマ線放出核種濃度を測定しており、伊方発電所の影響と考えられる人工放射性核種は検出されていない。

ダストモニタの運用は、まだ 1 年不足であることから、今後測定データを蓄積するとともに、降雨や風向風速による変動、季節変動、全アルファ線放出核種濃度と全ベータ線放出核種濃度の関係性などについても検討することとしたい。

## ダストモニタ連続採取ろ紙によるガンマ線放出核種分析について

野村健吾 西田典由 影浦久 松本純子 山内昌博

### 1. はじめに

本県では、伊方発電所の周辺住民等の被ばく線量の推定及び評価を目的として、伊方発電所から 5km 圏内の 4 地点について、ハイボリュームエアサンプラ（以下「ハイボリ」という。）により大気浮遊じんを採取し、高純度ゲルマニウム半導体検出器によりガンマ線放出核種分析を実施してきた。

令和 3 年度より、平常時モニタリングの目的の一つである「原子力施設からの予期しない放射性物質又は放射線の放出の早期検出及び周辺環境への影響評価」の充実のため、伊方発電所の周辺で実施してきたダストモニタを用いた連続採取による大気中の放射能濃度連続測定地点を 1 地点から 4 地点に増やし、常時監視体制の強化を図った<sup>1)</sup>。これに伴い、大気浮遊じんの採取方法を、ハイボリによる 1 日採取から、ダストモニタによる 1 か月連続採取に変更した。

試料採取方法の変更に際して、使用するろ紙の材質や形状、採取流量等が従来と異なることから、事前検討として、高純度ゲルマニウム半導体検出器を用いた測定方法の検討やハイボリとダストモニタの同時採取による比較を行った。

また、令和 3 年度ダストモニタにより採取した試料（以下「ダストモニタ試料」という。）の測定結果が、令和 2 年度までの

ハイボリにより採取した試料（以下「ハイボリ試料」という。）の測定結果と差異が認められたことから、主要人工放射性核種であるセシウム-137(Cs-137)、環境試料で検出される自然放射性核種であるベリリウム-7(Be-7)及びカリウム-40(K-40)に係るダストモニタ試料の分析の妥当性について考察したので報告する。

### 2. 試料採取及び測定の検討

#### 2.1. 使用機器等

・試料採取機器

(ハイボリ)

紀本電子工業(株) MODEL-120B  
(ダストモニタ)

(株)千代田テクノル THC-P106

・試料採取用ろ紙

(ハイボリ用ろ紙)

ガラス繊維ろ紙 GB-100R

(ダストモニタ用ろ紙)

PTFE メンブレン長尺ろ紙

FLUOROPORE FSLW

・ガンマ線放出核種測定器

(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

## 2.2. 各種検討・考察

### 2.2.1. 測定方法の検討

令和 2 年度までの大気浮遊じん調査は、ハイボリによりガラス繊維ろ紙に採取した試料を U-8 容器内径に合わせて打ち抜いた後充填し、高純度ゲルマニウム半導体検出器により測定を実施してきた。

ダストモニタに使用する PTFE メンブレン長尺ろ紙は測定実績がなく、原子力規制庁の放射能測定法シリーズにも定めがないことから、測定方法について検討した。

検討に当たっては、試料を灰化又は酸抽出する方法も考えられたが、灰化による有害ガスの発生が懸念されることやダストモニタの放射能濃度が上昇した際に速やかな測定が求められることから、これまでの測定と同様に U-8 容器にろ紙を直接詰める方法を選択した。

ダストモニタ用ろ紙の集じん径が約 25mm であり、U-8 容器内径の約 45mm に比べて小さいこと、また、帯電性であることから、打ち抜き法により均一に詰めることが難しいため、ろ紙を細断して可能な限り均一に詰めて、上から未使用のろ紙を重石として詰めたものを測定試料とした。

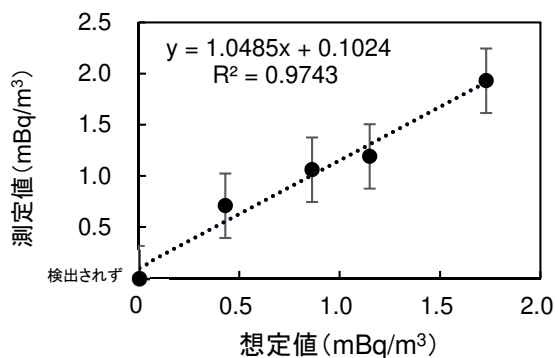


図1 ハイボリ用ろ紙測定値と K-40 想定値の比較

ダストモニタ用ろ紙の測定の妥当性を検討するため、ハイボリによる採取で検出されている K-40 濃度程度に相当する塩化カリウム (KCl) 溶液を未使用のハイボリ用ろ紙及びダストモニタ用ろ紙にそれぞれ滴下し、乾燥した後、高純度ゲルマニウム半導体検出器により測定し、計算により得られた K-40 想定値と比較した。

ハイボリ用ろ紙及びダストモニタ用ろ紙の測定値と K-40 想定値との関係をそれぞれ図 1 及び図 2 に示す。ろ紙の測定値は、どちらも K-40 想定値と同程度であり、測定による差異は認められなかった。

### 2.2.2. 試料採取期間等の検討

ダストモニタ試料の採取期間等について検討するため、ダストモニタとハイボリの同時採取による比較を実施した。

ダストモニタとハイボリの同時採取の実施に際して、ハイボリについても、ダストモニタの平常時の集じん期間である約 1 か月間集じんすることが必要であることから、ハイボリの採取流量、採取期間及びろ紙の交換頻度を検討した。

ハイボリの 1 回当たりの連続採取設定時間は最長で 99 時間であることから、

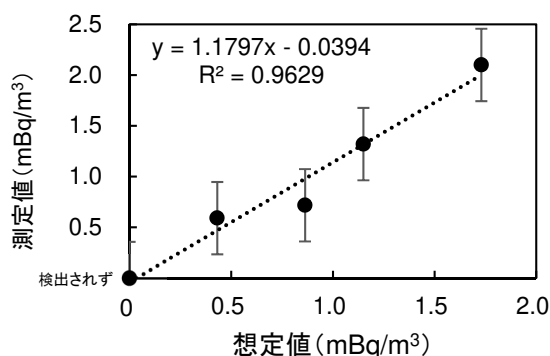


図2 ダストモニタ用ろ紙測定値と K-40 想定値の比較



4日間(96時間)の採取とし、採取流量は、ろ紙の目詰まりを考慮し、できる限り低流量かつ流量が安定する 800L/分とした。これを、現行法のハイボリ測定での採取時間である 1 日間(24 時間)及び採取流量 1200L/分で採取した試料と比較した。

U-8 容器への試料の充填に当たり、十分な充填量となるようろ紙の打ち抜き枚数を調整した。

それぞれの結果を表 1 に示す。Be-7 についてはそれぞれの試料で同程度の結果が得られた一方で、K-40 について

は低流量にすることにより濃度が低くなる結果が得られた。

次に、ダストモニタとハイボリにより 1 か月間並行して試料採取を実施した。ダストモニタについては、採取流量 40L/分で 8 時間ごとに自動でろ紙送りをし、1 か月間連続採取した。ハイボリについては、採取流量 800L/分で、4 日間ごとにろ紙を交換した。

それぞれの測定結果を表 2 に示す。

Be-7 については、それぞれの試料で同程度の濃度であり、流量 40L/分のダ

表 1 並行測定によるハイボリ試料(現行法)とハイボリ試料(長期間採取)の比較

		ハイボリ試料(現行法)	ハイボリ試料(長期間採取)
ろ紙		ガラス繊維ろ紙(GB-100R)	ガラス繊維ろ紙(GB-100R)
流量(L/分)		1200	800
ろ紙交換頻度(時間)		24	96
採取期間(日)		4	4
採取量(m <sup>3</sup> )		7001.4	4687.0
供試料率(%) (供試料/採取量)		30.8	66.0
放射能濃度 (mBq/m <sup>3</sup> )	Be-7	5.96 ± 0.11	5.28 ± 0.077
	K-40	0.45 ± 0.055	0.14 ± 0.029

表 2 並行測定によるハイボリ試料(長期間採取)とダストモニタ試料の比較

		ハイボリ試料(長期間採取)	ダストモニタ試料
ろ紙		ガラス繊維ろ紙(GB-100R)	PTFE メンブレン長尺ろ紙
流量(L/分)		800	40
ろ紙交換頻度(時間)		96	8
採取期間(日)		28	28
採取量(m <sup>3</sup> )		33109.2	約 1600
供試料率(%) (供試料/採取量)		30.8	100
試料の状態		打ち抜き	細断
放射能濃度 (mBq/m <sup>3</sup> )	Be-7	5.40 ± 0.046	3.92 ± 0.084
	K-40	0.14 ± 0.016	検出されず

ストモニタにおいて、ハイボリと同程度に捕集できることがわかった。

K-40 については、ハイボリ試料では低濃度の傾向ながらも検出されたのに対し、ダストモニタ試料では検出されなかった。K-40 濃度の差異の原因として、ろ紙の性質による違い等が考えられた。

### 2.2.3. 試料前処理方法の検討

ダストモニタ試料の前処理方法について、ろ紙の細断による機器等の汚染を考慮し、ろ紙全体を細断せず袋に入れよく混ぜた後袋ごと詰めた試料の測定方法を検討することとした。

前項で採取したダストモニタ試料について、ろ紙を細断した試料と、ろ紙を細断せず袋に入れよく混ぜた試料との測定結果の比較を実施した。(図 3)

それぞれの結果を表 3 に示す。

Be-7 についてはそれぞれの試料で同程度の濃度であり、K-40 については検出されなかった。

ダストモニタ試料において、ろ紙を細断した試料と細断せずよく混ぜた試料の

測定結果が同程度であることから、ろ紙を細断せずよく混ぜる充填方法で定量が可能であると判断した。

### 2.2.4. 試料採取用ろ紙の考察

ろ紙の捕集性能等に違いがあると推測し、それぞれの性質について比較するため、光学顕微鏡及び電子顕微鏡を用いてろ紙を観察した。それぞれの結果を図 4 に示す。

ろ紙表面の観察により、ハイボリ用ろ紙では直径 10 $\mu$ m 以上の大きな粒子が観察された一方で、ダストモニタ用ろ紙では直径 10 $\mu$ m 以上の粒子はほとんど見られなかった。

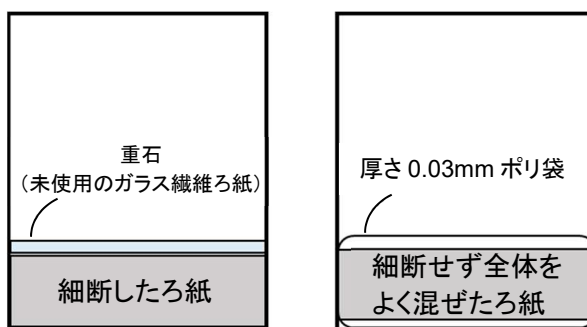
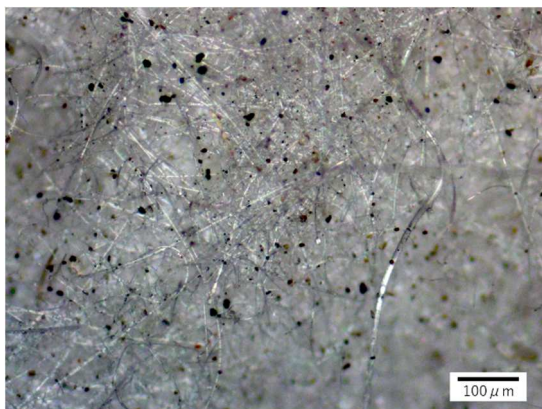


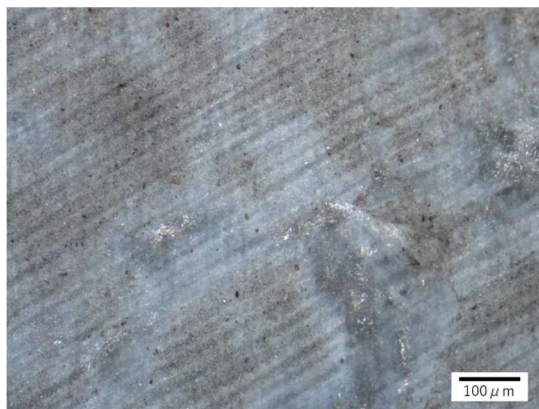
図3 ダストモニタ用ろ紙の入った U-8 容器

表3 ダストモニタ試料の前処理方法の比較

		ダストモニタ試料	
ろ紙		PTFE メンブレン長尺ろ紙	
流量(L/分)		40	
ろ紙交換頻度(時間)		8	
採取期間(日)		28	
採取量(m <sup>3</sup> )		約 1600	
供試料率(%) (供試料/採取量)		100	
試料の状態		細断	袋ごと
放射能濃度 (mBq/m <sup>3</sup> )	Be-7	3.92 ± 0.084	4.51 ± 0.11
	K-40	検出されず	検出されず



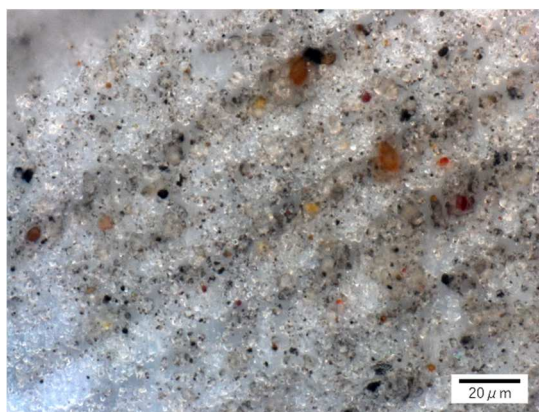
ハイボリ用ろ紙表面の観察(100倍)



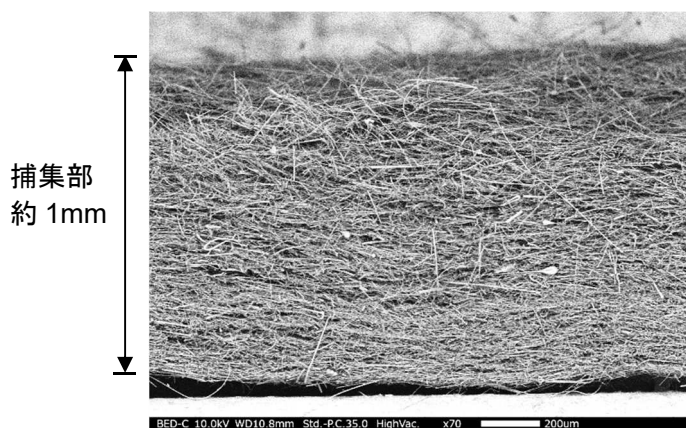
ダストモニタ用ろ紙表面の観察(100倍)



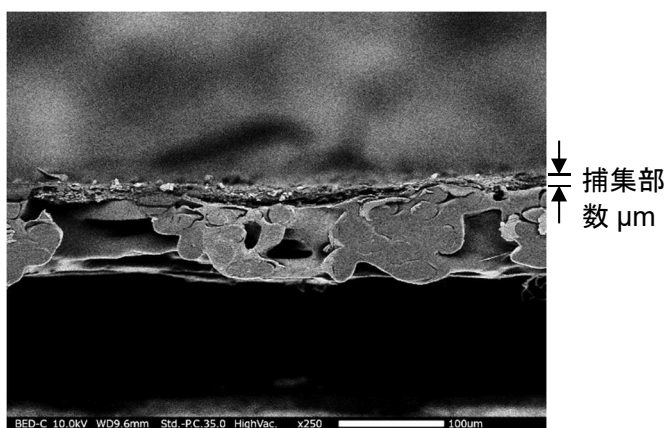
ハイボリ用ろ紙表面の観察(500倍)



ダストモニタ用ろ紙表面の観察(500倍)



ハイボリ用ろ紙断面の観察(50倍)



ダストモニタ用ろ紙断面の観察(100倍)

図4 顕微鏡によるろ紙の観察

ろ紙断面の観察により、ハイボリ用ろ紙の捕集部の厚さは約 1mm であり粒子がろ紙内部に吸着される構造であるのに対し、ダストモニタ用ろ紙の捕集部の厚さは、ろ紙表面の数  $\mu\text{m}$  であることがわかった。

メーカー提供資料においても、ダストモニタ用ろ紙は、アルファ線を効率よく測定するためにろ紙表面に試料が吸着する性質を利用しているが、これにより直径が  $10\mu\text{m}$  以上の粒子に対する捕集率は極めて小さいことが示されている。

ダストモニタ用ろ紙で採取可能な核種についてさらに考察するため、粒子の直径と放射性核種濃度との関係について調査した。

K-40 について、本県で採取された微小粒子状物質(以下「PM2.5」という。)について調査したところ、過去に実施された成分分析<sup>2)</sup>から、微粒子に含まれる K-40 の放射能濃度を推定すると、 $0.005\text{mBq}/\text{m}^3$  程度であり、検出下限値である約  $0.05\text{mBq}/\text{m}^3$  未満であることがわかった。

また、本県で調査している PM2.5 及び浮遊粒子状物質(以下「SPM」という。)を採取したろ紙を高純度ゲルマニウム半導体検出器により測定したところ、K-40 は検出されなかった。

これらの結果により、K-40 は直径  $10\mu\text{m}$  以上の粒子(土壌や花粉等)に多く含まれていると考えられ、これらの粒子はハイボリ用ろ紙では捕集できるが、ダストモニタ用ろ紙では捕集できないため、ダストモニタ用ろ紙の測定では K-40 が検出されなかったと考えられる。

Be-7 について、大気中の Be-7 を含む粒子のほとんどが直径  $3\mu\text{m}$  以下であることが報告されており<sup>3)</sup>、ハイボリ試料及びダストモニタ試料の測定結果が同程度であったことから、ダストモニタにより、Be-7 のような直径  $3\mu\text{m}$  以下程度の粒子については、ハイボリと同程度に捕集、定量できると考えられる。

Cs-137 について、東京電力(株)福島第一原子力発電所事故時に放出された Cs-137 を含む粒子の多くは直径が約  $2\mu\text{m}$  程度であったことが報告されている<sup>4)</sup>。また、ガラス繊維ろ紙及び PTFE ろ紙の Cs-137 に対する捕集性能は同程度であること、PTFE ろ紙による SPM の集じんにおいて Cs-137 が捕集されることも報告されている<sup>5)</sup>。

これらのことから、Cs-137 を含む粒子に対して、ハイボリ用ろ紙とダストモニタ用ろ紙は同程度に捕集可能であり、ダストモニタ試料は高純度ゲルマニウム半導体検出器を用いた測定により、主要人工放射性核種である Cs-137 の定量が可能であると考えられる。

### 3. 環境試料測定結果

最後に、令和 3 年度に採取したダストモニタ試料のガンマ線放出核種測定結果と、平成 28 年度から令和 2 年度までの過去 5 年間に採取したハイボリ試料の測定結果の平均値との比較を報告する。

Be-7 については、図 5 に示したとおり、夏場に低くなる季節変動も含め、ハイボリ試料とダストモニタ試料で同程度の結果が得られた。K-40 については、ハイボリ試料では年間を通して平均で

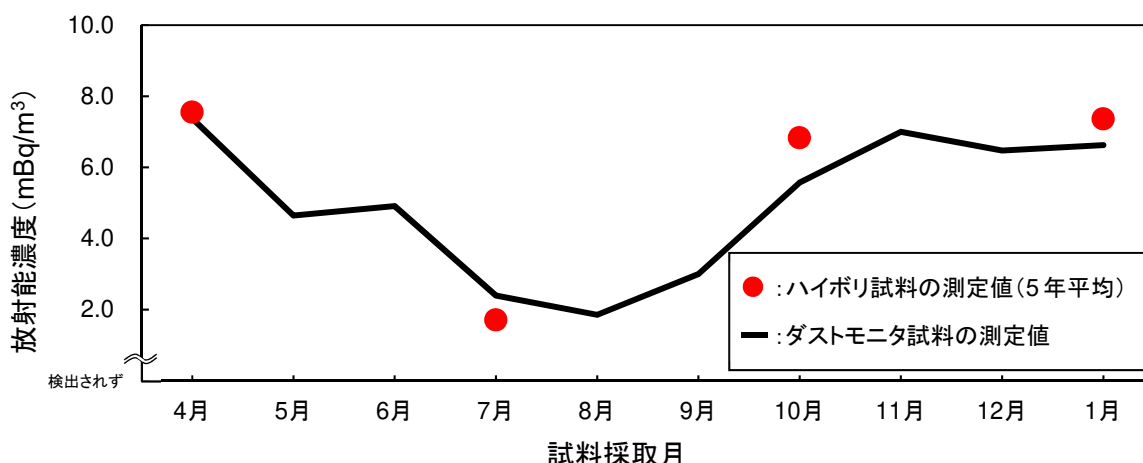


図5 Be-7 濃度の季節変動

0.6mBq/m<sup>3</sup> 程度であるのに対し、ダストモニタ試料では検出されなかった。

これらの結果は、事前検討で得られた結果と同様の傾向を示しており、K-40については粒子の直径等による捕集性能の違いと考えられる。

また、ダストモニタ試料の測定において人工放射性核種は検出されていないため、引き続き調査を進める中で検討していきたい。

#### 4. まとめ

ダストモニタによる試料採取、ダストモニタ試料の測定において、以下のことを確認することができた。

- ①流量 40L/分において、Cs-137, Be-7等の直径が小さい粒子に含まれる核種については、ハイボリと同程度に捕集できる。
- ②K-40等の直径が 10μm 以上の粒子に含まれる物質については、十分な捕集ができない。

③大気浮遊じん中に含まれる Cs-137等の人工放射性核種について、ろ紙をポリ袋に入れ U-8 容器に詰めることで、高純度ゲルマニウム半導体検出器の測定により定量が可能であり、周辺住民等の被ばく線量の推定及び評価が可能であると考えられる。

#### 【参考文献】

- 1) 宮城雅彦, 渡邊雅也, 松本純子, 山内昌博, 愛媛県原子力センター所報, 7(2022)3.
- 2) 山内正信, 芝和代, 兵頭大輔, 篠崎由紀, 和田修二, 愛媛県立衛生環境研究所年報, 15(2012)23.
- 3) 阿部道子, エアロゾル研究, 10(1995)283.
- 4) K. Adachi, M. Kajino, Y. Zaizen, Y. Igarashi, Scientific Reports, 3(2013)1.
- 5) 大浦泰嗣, 鶴田治雄, 海老原充, 大原利眞, 中島映至, 分析化学, 69(2020)1.

## 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。

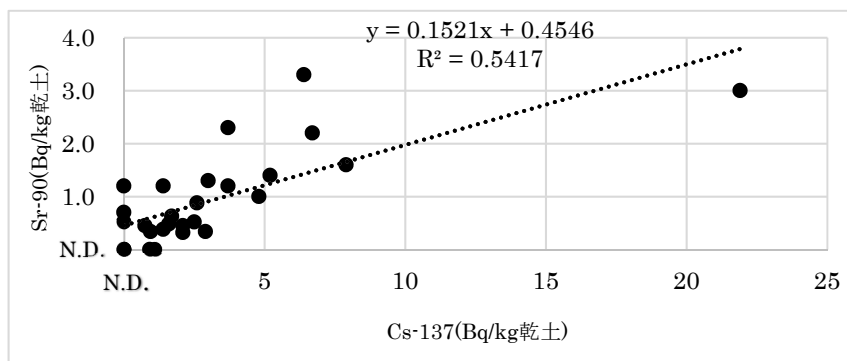


図4 Cs-137 と Sr-90 の関係

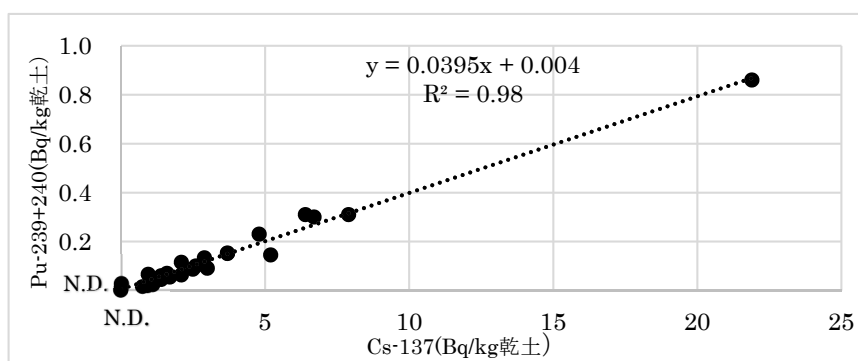


図5 Cs-137 と Pu-239+240 の関係

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

---

## 愛媛県原子力センター所報 第7号

令和4年3月発行

編集発行所 愛媛県原子力センター  
〒796-0202  
愛媛県八幡浜市保内町宮内1番耕地485番地1  
Tel 0894-20-6610 Fax 0894-36-1150  
E-mail [genshiryoku-center@pref.ehime.lg.jp](mailto:genshiryoku-center@pref.ehime.lg.jp)

---