

【資料】

人形峠周辺の環境放射線等測定に係る補完調査－松葉－（第2報）

Complement Survey of Environmental Radiation Level around Ningyotoge  
 - Pine Needles -(2nd Report)

中野拓也, 小川 登, 信森達也, 徳田 亨, 森上嘉亮

NAKANO Takuya, OGAWA Noboru, NOBUMORI Tatsuya, TOKUDA Kyou,  
 MORIKAMI Yoshiaki

要 旨

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構人形峠環境技術センター周辺の環境放射線等測定結果を評価する上での補完データの蓄積を目的として、令和3～5年度の3年間、岡山県内に生育する松葉を採取し、放射性核種濃度及びふっ素濃度の調査を実施することとしている。令和4年度の調査では、人形峠周辺における監視測定結果と県内8エリアの測定値の平均値を比較すると、ラジウム226濃度は人形峠周辺が県内8エリアより高い傾向が見られた。一方、各エリアの測定結果を比較すると、ウラン238及びラジウム226濃度については高い値を示すエリアがあった。

令和3年度の調査で放射能濃度が特に高かった1エリアについて各個体間の結果を比較すると、ウラン238及びラジウム226濃度は、人形峠周辺における監視測定結果を上回る濃度が検出されるなど大きな個体差が見られた。

[キーワード：松葉, 環境放射能, ウラン238, ラジウム226, ふっ素]

[Key words : Pine Needles, Environmental Radiation, U-238, Ra-226, Fluorine]

1 はじめに

岡山県では、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構人形峠環境技術センター周辺において環境放射線等の監視測定（以下「監視測定」という。）を昭和54年度から継続して行っている。他方、監視測定結果を評価する上での補完データの蓄積を目的として、環境放射線等のバックグラウンドレベルを把握しており、令和3～5年度は、監視測定対象である松葉に含まれる放射性核種及びふっ素（以下「F」という。）の濃度レベルの調査を行っている。<sup>1)</sup>

このうち、令和4年度については、令和3年度に実施した調査（以下「R3調査」という。）<sup>1)</sup>と同一のエリアで実施するとともに、放射能濃度が特に高かったエリアで追加調査を実施したので、その結果を報告する。

2 材料と方法

2.1 試料採取方法, 調査時期及び検体数

試料採取に当たっては、県内全域を対象とするため、岡山県を図1に示すように9メッシュに区切り、このうち海域が大半を占める1エリアを除く8エリアを調査対象とした。

松葉は、近接して生育する複数の個体を対象とし、樹冠下部の枝ごと採取した。調査時期は4～6月とし、12

検体の試料を採取した。併せて、松葉と生育土壌中の放射性核種及びF濃度の関連性を確認するため、試料を採取した松の近傍の表土（0～5 cm）を採取した。

また、県内8エリアのうちの1エリア（B2エリア）については、R3調査で放射能濃度が特に高かったことから、個体間の差を調査するため、R3調査の個体（B2①）

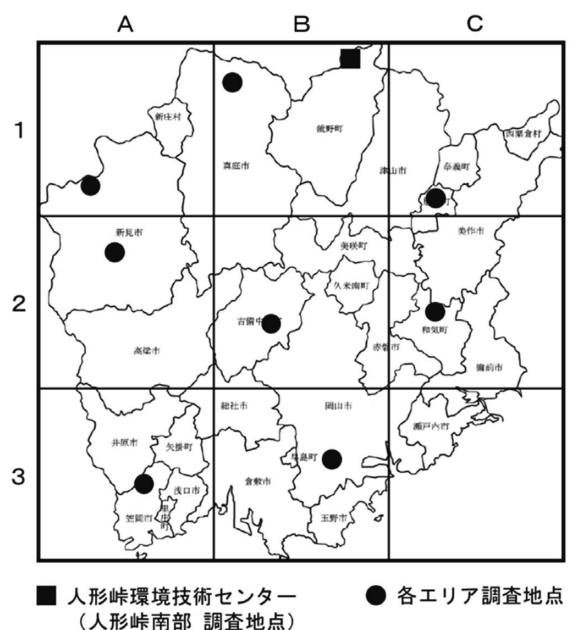


図1 県内メッシュ調査図

に加えて、半径約100 m以内に点在する4個体（B2②～B2⑤）を追加調査の対象とした。

## 2.2 測定項目、測定方法等

測定項目、測定方法及び使用した測定機器を表1に示す。監視測定では、放射能測定法シリーズ<sup>2)</sup>に準拠して試料の採取及び前処理を行った後、ウラン238（以下「U-238」という。）及びラジウム226（以下「Ra-226」という。）濃度は同シリーズに、F濃度はFイオン電極法<sup>3), 4)</sup>に準拠してそれぞれ測定しており、令和4年度に実施した本調査（以下「R4調査」という。）においても同様の方法により行った。

また、参考として、R4調査ではγ線放出核種であるセシウム134及びセシウム137（以下「Cs-134」及び「Cs-137」という。）、カリウム40（以下「K-40」という。）濃度も併せて調査した。これらは放射能測定法シリーズ<sup>2)</sup>に準拠し、U-8容器に試料を充填し、Ge半導体検出器（CANBERRA製GC2518）を用いて測定した。なお、密度についてはU-8容器に充填した試料重量及び容積から算出した。

## 2.3 試料の前処理

松葉は枝から採取した2年葉を分析対象試料とし、それぞれの測定項目に応じて前処理及び試料調製を行った。U-238及びRa-226の濃度測定に供する試料は、105℃の熱風循環式乾燥装置（富士科学器械製S7P）で十分に乾燥させ、脱臭装置付電気炉（東京技術研究所製TFF80-C）を用いて灰試料とした。

F濃度の測定に供する試料については、105℃の定常恒温器（ヤマト科学製DK63）で試料を十分に乾燥させ、ウイレー型粉碎机（吉田製作所製1029-A）で粉碎した。

土壌は2 mmのふるいを通したものをU-238、Cs-134、Cs-137及びK-40の濃度測定用試料とし、300 μmのふるいを通したものをRa-226濃度測定用試料に、150 μmのふるいを通したものをF濃度測定用試料とした。

## 3 結果及び考察

松葉のR4調査結果と人形峠周辺における監視測定結果（以下「人形峠監視結果」という。）を表2に示す。なお、B2エリアはR3調査の個体（B2①）から採取した松葉の測定結果を代表値とした。（以下、表4及び表6

表1 測定項目、測定方法、測定機器一覧

測定項目	測定方法	測定機器
U-238	TBP抽出分離法及びα線スペクトロメトリ法	α線波高分析装置 (CANBERRA製α-Analyst)
Ra-226	EDTA-4Na分解・BaSO <sub>4</sub> 再沈法及び全α計数法	2πガスフロー自動測定装置 (日立アロカメディカル製LBC-4311B)
F	Fイオン電極法	Fイオンメーター (サーモフィッシャーサイエンティフィック製VERSA STAR)
Cs-134 Cs-137 K-40	Ge半導体検出器によるγ線放出核種測定	Ge半導体検出器 (CANBERRA製GC2518)

表2 松葉の放射性核種及びF濃度の測定結果

エリア	採取年月日	灰化率 (%)	U-238 (Bq/kg生)	Ra-226 (Bq/kg生)	F			Cs-134 (Bq/kg生)	Cs-137 (Bq/kg生)	K-40 (Bq/kg生)
					乾 (mg/kg乾)	生 (mg/kg生)	水分率 (%)			
A1	R4.5.18	1.2	0.025 ± 0.002	0.25 ± 0.03	1.1	0.6	48.4	ND	0.019 ± 0.005	74.0 ± 0.5
A2	R4.5.18	1.0	0.016 ± 0.002	0.15 ± 0.02	0.9	0.5	50.7	ND	ND	62.7 ± 0.4
A3	R4.5.23	1.4	0.081 ± 0.005	0.60 ± 0.04	1.9	0.9	51.6	ND	ND	79.9 ± 0.6
B1	R4.5.16	1.4	0.019 ± 0.002	0.24 ± 0.03	1.3	0.6	52.7	ND	0.126 ± 0.008	52.1 ± 0.5
B2 ①	R4.5.30	1.6	0.114 ± 0.008	0.41 ± 0.04	1.7	0.8	52.8	ND	ND	80.6 ± 0.6
B3	R4.5.10	1.2	0.026 ± 0.002	0.20 ± 0.02	1.6	0.8	47.8	ND	ND	69.0 ± 0.5
C1	R4.5.16	0.9	0.018 ± 0.002	0.18 ± 0.02	1.0	0.5	54.1	ND	0.054 ± 0.008	76.9 ± 0.5
C2	R4.5.23	1.0	0.030 ± 0.003	0.36 ± 0.03	1.5	0.8	50.0	ND	0.063 ± 0.006	60.1 ± 0.4
測定値の範囲			0.016 ~ 0.114	0.15 ~ 0.60	0.9 ~ 1.9	0.5 ~ 0.9		ND	ND ~ 0.126	52.1 ~ 80.6
平均値			0.041	0.30	1.4	0.7		ND	0.066	69.4
人形峠周辺	R4.6.6	1.0	0.028 ± 0.003	1.11 ± 0.06	0.9	0.4	54.7	ND	0.031 ± 0.007	65.3 ± 0.5

について同じ。)

放射性核種の濃度は、松葉の灰化率から生重量当たりの放射能濃度に換算 (Bq/kg生) し、F濃度は、松葉の水分率から生重量当たりのF濃度に換算 (mg/kg生) した。

なお、放射線計測による測定結果は、測定値が計数誤差の3倍を超える場合を有意値とし、3倍以下の場合もND (不検出) と表記した。

松葉のU-238濃度は0.016~0.114 Bq/kg生、Ra-226濃度は0.15~0.60 Bq/kg生、F濃度は0.5~0.9 mg/kg生、Cs-134濃度は全地点でND、Cs-137濃度はND~0.126 Bq/kg生、K-40濃度は52.1~80.6 Bq/kg生であった。

県内8エリアにおけるR4調査結果の平均値 (以下「全エリア平均値」という。) と人形峠監視結果を比較すると、U-238、F、Cs-134及びK-40濃度については特徴的な差は見られなかった。Ra-226濃度は人形峠周辺でやや高く、一方Cs-137濃度は人形峠周辺でやや低い傾向が見られた。なお、Cs-137及びK-40の濃度は、福島第一原発事故前である平成元年~平成22年の他県 (島根県)

の松葉の測定結果 (Cs-137濃度: ND~0.53 Bq/kg生、K-40濃度: 39~115 Bq/kg生)<sup>5)</sup> と同程度であった。

各エリアの測定結果を比較すると、F、Cs-134、Cs-137及びK-40の濃度は各エリア間で特徴的な差は見られなかったが、U-238濃度はB2①エリアで、Ra-226濃度はA3エリアで全エリア平均値の2倍を超える高い値が確認された。

R3調査で放射能濃度が特に高かったB2エリアの5個体の測定結果と人形峠監視結果を表3に示す。

人形峠監視結果とB2エリアにおけるR4調査結果の測定結果の平均値 (以下「B2エリア平均値」という。) を比較すると、F、Cs-134及びK-40の濃度は特徴的な差は見られなかったが、U-238及びRa-226の濃度は人形峠周辺よりもB2エリアが高い傾向が見られた。

B2エリアの各個体間の結果を比較すると、F、Cs-134、Cs-137及びK-40の濃度は大きな差は見られなかったが、U-238濃度で最大5倍程度、Ra-226濃度で最大10倍程度の個体差が見られた。

土壌のR4調査結果と、人形峠監視結果を表4に示す。

表3 松葉の放射性核種及びF濃度の測定結果 (B2エリア)

エリア	採取年月日	灰化率 (%)	U-238 (Bq/kg生)	Ra-226 (Bq/kg生)	F			Cs-134 (Bq/kg生)	Cs-137 (Bq/kg生)	K-40 (Bq/kg生)
					乾 (mg/kg乾)	生 (mg/kg生)	水分率 (%)			
B2 ①	R4.5.30	1.6	0.114 ± 0.008	0.41 ± 0.04	1.7	0.8	52.8	ND	ND	80.6 ± 0.6
B2 ②	R4.5.30	1.4	0.183 ± 0.012	4.60 ± 0.16	1.3	0.6	54.5	ND	0.033 ± 0.009	75.9 ± 0.6
B2 ③	R4.5.30	1.0	0.036 ± 0.003	0.68 ± 0.04	1.6	0.8	52.0	ND	0.027 ± 0.008	70.5 ± 0.5
B2 ④	R4.5.30	1.4	0.197 ± 0.013	3.83 ± 0.14	1.9	0.9	51.5	ND	ND	78.1 ± 0.6
B2 ⑤	R4.5.30	1.2	0.138 ± 0.010	2.44 ± 0.10	1.4	0.7	51.9	ND	0.019 ± 0.006	49.6 ± 0.4
測定値の範囲			0.036 ~ 0.197	0.41 ~ 4.60	1.3 ~ 1.9	0.6 ~ 0.9		ND	ND ~ 0.03	49.6 ~ 80.6
平均値			0.134	2.39	1.6	0.7		ND	0.026	70.9
人形峠周辺	R4.6.6	1.0	0.028 ± 0.003	1.11 ± 0.06	0.9	0.4	54.7	ND	0.031 ± 0.007	65.3 ± 0.5

表4 土壌の放射性核種及びF濃度の測定結果

エリア	採取年月日	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	U-238 (Bq/kg乾)	Ra-226 (Bq/kg乾)	F (mg/kg乾)	Cs-134 (Bq/kg乾)	Cs-137 (Bq/kg乾)	K-40 (Bq/kg乾)
A1	R4.5.18	1.0	11.2 ± 0.8	29.5 ± 2.5	86	ND	3.23 ± 0.26	831 ± 11.2
A2	R4.5.18	1.0	14.6 ± 1.0	24.7 ± 2.3	120	ND	0.83 ± 0.25	803 ± 11.6
A3	R4.5.23	1.2	42.1 ± 2.8	99.4 ± 4.9	540	ND	ND	956 ± 11.4
B1	R4.5.16	0.9	19.3 ± 1.3	42.5 ± 3.0	210	ND	2.26 ± 0.27	669 ± 11.1
B2 ①	R4.5.30	1.2	19.4 ± 1.4	43.9 ± 3.1	160	ND	ND	841 ± 10.5
B3	R4.5.10	1.4	26.7 ± 1.6	61.1 ± 3.7	480	ND	ND	747 ± 9.2
C1	R4.5.16	0.7	9.7 ± 0.6	18.2 ± 2.0	120	ND	28.8 ± 0.68	299 ± 8.9
C2	R4.5.23	1.0	11.2 ± 0.7	23.0 ± 2.2	170	ND	2.95 ± 0.26	119 ± 5.5
測定値の範囲			9.7 ~ 42.1	18.2 ~ 99.4	86 ~ 540	ND	ND ~ 28.8	119 ~ 956
平均値			19.3	42.8	236	ND	7.62	658
人形峠周辺	R4.6.7	1.2	41.3 ± 2.8	82.8 ± 4.3	169	ND	ND	948 ± 11.2

放射性核種の濃度は、土壤の乾燥重量当たりの放射能濃度に換算（Bq/kg乾）し、F濃度は、土壤の乾燥重量当たりのF濃度に換算（mg/kg乾）した。

なお、放射線計測による測定結果は、測定値が計数誤差の3倍を超える場合を有意値とし、3倍以下の場合をND（不検出）と表記した。

土壤のU-238濃度は9.7～42.1 Bq/kg乾、Ra-226濃度は18.2～99.4 Bq/kg乾、F濃度は86～540 mg/kg乾、Cs-134濃度は全地点でND、Cs-137濃度はND～28.8 Bq/kg乾、K-40濃度は119～956 Bq/kg乾であった。

全エリア平均値と人形峠監視結果を比較すると、F、Cs-134、Cs-137及びK-40の濃度は特徴的な差は見られなかったが、U-238及びRa-226の濃度は人形峠周辺で全エリア平均値より高い傾向が見られた。これは、人形峠周辺はウラン鉱床が存在する地域であり、U-238及びその子孫核種であるRa-226が土壤中に比較的多く含まれるためであると考えられる。

各エリアの測定結果を比較すると、U-238及びRa-

226の濃度はA3エリア、F濃度はA3及びB3エリア、Cs-137濃度はC1エリアが全エリア平均値の2倍を超えていた。

R3調査で放射能濃度が特に高かったB2エリアの5個体の測定結果と、人形峠監視結果を表5に示す。

人形峠監視結果とB2エリア平均値を比較すると、いずれの項目も特徴的な差は見られなかった。

B2エリアの各個体間の結果を比較すると、F、Cs-134、Cs-137及びK-40の濃度は大きな差は見られなかったが、U-238及びRa-226の濃度で最大2倍程度の個体差が見られた。

次に、生育土壤と松葉に含まれる放射性核種及びF濃度の関係性を調べるため、土壤から松葉への移行係数（松葉中の各項目濃度/土壤中の各項目濃度）を算出した結果を表6に示す。

U-238は各エリアで9.7E-04～5.9E-03、人形峠周辺で6.8E-04、Ra-226は各エリアで3.3E-03～1.6E-02、人形峠周辺で1.3E-02であり、いずれの核種においても昨年

表5 土壤の放射性核種及びF濃度の測定結果（B2エリア）

エリア	採取年月日	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	U-238 (Bq/kg乾)	Ra-226 (Bq/kg乾)	F (mg/kg乾)	Cs-134 (Bq/kg乾)	Cs-137 (Bq/kg乾)	K-40 (Bq/kg乾)
B2 ①	R4.5.30	1.2	19.4 ± 1.4	43.9 ± 3.1	160	ND	ND	841 ± 10.5
B2 ②	R4.5.30	1.0	28.2 ± 2.0	63.1 ± 3.7	140	ND	0.86 ± 0.22	914 ± 11.8
B2 ③	R4.5.30	0.9	28.9 ± 2.0	45.7 ± 3.1	190	ND	0.85 ± 0.19	417 ± 8.8
B2 ④	R4.5.30	0.9	22.3 ± 1.3	49.8 ± 3.4	140	ND	1.48 ± 0.25	908 ± 13.0
B2 ⑤	R4.5.30	1.1	42.2 ± 2.5	107.1 ± 5.2	190	ND	ND	1013 ± 12.1
測定値の範囲			19.4 ~ 42.2	43.9 ~ 107.1	140 ~ 190	ND	ND ~ 1.5	417 ~ 1013
平均値			28.2	61.9	164	ND	1.1	819
人形峠周辺	R4.6.7	1.2	41.3 ± 2.8	82.8 ± 4.3	169	ND	ND	948 ± 11.2

表6 移行係数（松葉濃度/土壤濃度）

エリア	採取年月日	移行係数（松葉濃度/土壤濃度）				
		U-238	Ra-226	F	Cs-137	K-40
A1	R4.5.18	2.2E-03	8.5E-03	6.5E-03	5.8E-03	8.9E-02
A2	R4.5.18	1.1E-03	6.1E-03	3.8E-03	-	7.8E-02
A3	R4.5.23	1.9E-03	6.0E-03	1.7E-03	-	8.4E-02
B1	R4.5.16	9.8E-04	5.6E-03	2.9E-03	5.6E-02	7.8E-02
B2 ①	R4.5.30	5.9E-03	9.3E-03	5.0E-03	-	9.6E-02
B3	R4.5.10	9.7E-04	3.3E-03	1.7E-03	-	9.2E-02
C1	R4.5.16	1.9E-03	9.9E-03	3.8E-03	1.9E-03	2.6E-01
C2	R4.5.23	2.7E-03	1.6E-02	4.5E-03	2.1E-02	5.0E-01
測定値の範囲		9.7E-04 ~ 5.9E-03	3.3E-03 ~ 1.6E-02	1.7E-03 ~ 6.5E-03	1.9E-03 ~ 5.6E-02	7.8E-02 ~ 5.0E-01
平均値		2.2E-03	8.1E-03	3.7E-03	2.1E-02	1.6E-01
人形峠周辺	R4.6.7	6.8E-04	1.3E-02	2.3E-03	-	6.1E-02

※ Fの松葉濃度は生換算値を適用

度と同程度であった。佐々木らの報告<sup>6)</sup>によると、一般的な農作物における移行係数はU-238で4.9E-06~3.6E-04, Ra-226で<7.8E-04~4.0E-03であり、松葉中におけるU-238及びRa-226の移行係数は一般的な農作物と比べてやや高い傾向であることが認められた。

また、参考に算出した土壌から松葉へのF, Cs-137及びK-40の移行係数は、Fは各エリアで1.7E-03~6.5E-03, 人形峠周辺で2.3E-03, Cs-137は各エリアで1.9E-03~5.6E-02, (人形峠周辺ではNDのため算出不可), K-40は各エリアで7.8E-02~5.0E-01, 人形峠周辺で6.1E-02であり、いずれも各エリアと人形峠周辺と同程度であった。

R3調査で放射能濃度が特に高かったB2エリアの5個体における土壌から松葉への移行係数を算出した結果を表7に示す。

U-238は1.2E-03~8.8E-03, Ra-226は5.6E-03~9.3E-03, Fは3.6E-03~6.5E-03, Cs-137は3.1E-02~3.9E-02, K-40は4.9E-02~1.7E-01であり、他のエリアや人形峠周辺と同程度で、個体差は軽微であった。

#### 4 まとめ

R4調査では、全エリア平均値と人形峠監視結果を比較すると、松葉ではRa-226濃度が、土壌ではU-238及びRa-226の濃度が人形峠周辺において各エリアより高い傾向が見られた。一方、各エリアの測定結果を比較すると、松葉ではU-238濃度がB2①エリアで、Ra-226濃度がA3エリアで特に高い値であった。また、土壌ではU-238及びRa-226の濃度がA3エリアで、F濃度はA3及びB3エリアで、Cs-137濃度がC1エリアで特に高かった。

R3調査で放射能濃度が特に高かったB2エリアの各個体間の結果を比較すると、U-238及びRa-226の濃度については、人形峠監視結果を上回る濃度が検出されるな

ど大きな個体差が見られた。

次年度も同様の方法により調査を進め、データの蓄積を行う。

#### 文 献

- 1) 中野拓也, 小川 登, 三宅和彰, 森上嘉亮: 人形峠周辺の環境放射線等測定に係る補完調査-松葉-(第1報), 岡山県環境保健センター年報, 46, 13-16, 2022
- 2) 原子力規制委員会: 放射能測定法シリーズ, <https://www.kankyo-hoshano.go.jp/library/series/> (2023.6.1アクセス)
- 3) 柳沢三郎: 植物体中のフッ化物の測定法の検討, 環境保健レポート, 8, 33-37, 1972
- 4) 環境庁企画調整局研究調整課: 環境測定分析参考資料-底質の測定分析
- 5) 原子力規制委員会: 日本の環境放射能と放射線, <https://www.kankyo-hoshano.go.jp/> (2023.6.1アクセス)
- 6) 佐々木朋三, 田代純利, 藤永英司, 石井友章, 軍司康義: 土壌から農作物へのウラン, トリウム, ラジウム及び鉛の移行係数と線量評価, 保健物理, 37(3), 208-221, 2002

表7 移行係数 (松葉濃度/土壌濃度) (B2エリア)

エリア	採取年月日	移行係数 (松葉濃度/土壌濃度)				
		U-238	Ra-226	F	Cs-137	K-40
B2 ①	R4. 5. 30	5. 9E-03	9. 3E-03	5. 0E-03	-	9. 6E-02
B2 ②	R4. 5. 30	6. 5E-03	6. 1E-03	4. 1E-03	3. 9E-02	8. 3E-02
B2 ③	R4. 5. 30	1. 2E-03	6. 0E-03	4. 2E-03	3. 1E-02	1. 7E-01
B2 ④	R4. 5. 30	8. 8E-03	5. 6E-03	6. 5E-03	-	8. 6E-02
B2 ⑤	R4. 5. 30	3. 3E-03	9. 3E-03	3. 6E-03	-	4. 9E-02
測定値の範囲		1. 2E-03 ~ 8. 8E-03	5. 6E-03 ~ 9. 3E-03	3. 6E-03 ~ 6. 5E-03	3. 1E-02 ~ 3. 9E-02	4. 9E-02 ~ 1. 7E-01
平均値		5. 1E-03	7. 3E-03	4. 7E-03	3. 5E-02	9. 7E-02
人形峠周辺	R4. 6. 7	8. 8E-03	7. 7E-02	2. 3E-03	-	6. 1E-02

※ Fの松葉濃度は生換算値を適用