

【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1報）

Complement Survey of Environmental Radiation Level around Ningyotoge
- Pine Needles - (1st Report)

中野拓也, 小川 登, 三宅和彰, 森上嘉亮

NAKANO Takuya, OGAWA Noboru, MIYAKE Kazuaki, 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、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3年度の調査では、人形峠周辺における監視測定結果と各エリアの測定値の平均値を比較すると、ウラン238及びふっ素濃度については人形峠周辺と各エリアで特徴的な差は見られなかったが、ラジウム226濃度は人形峠周辺が各エリアより高い傾向が見られた。一方、個々のエリアの測定結果を比較すると、ふっ素濃度は人形峠周辺と各エリアで特徴的な差は見られなかったが、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。

[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、監視測定結果の評価を補完することを目的に、環境放射線等のバックグラウンドレベルの把握として、平成24～26年度は空間γ線線量率等を、また平成27～29年度は指標生物であるヨモギを、平成30～令和2年度は野菜及び精米を調査した¹⁻³⁾。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。）の濃度データは、人形峠周辺においては従来からの監視測定により十分な量のデータ蓄積があるが、他地域のデータ等については報告が少ない。

そこで、監視測定の結果を評価する上での補完データの蓄積を目的として、岡山県内の松葉に係る放射性核種及びFの濃度レベルの調査を実施したので、その結果を報告する。

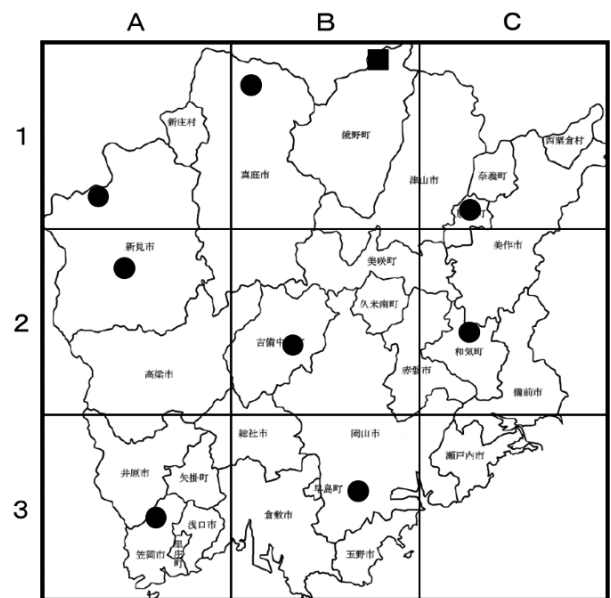
2 材料と方法

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

象エリアとした。

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、8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。



■ 人形峠環境技術センター ● 各エリア調査地点

図1 県内メッシュ調査図

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⁴⁾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^{5), 6)}に準拠してそれぞれ測定しており、本調査においても同様の方法により行った。

また、参考として、本調査では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。これらについても放射能測定法シリーズ⁴⁾に準拠し測定した。

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、ウイレー型粉碎器（吉田製作所製 1029-A）で粉碎した。

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

3 結果及び考察

各エリアの令和3年度の測定結果と、比較のための人形峠周辺における監視測定結果を表2及び3に示す。

放射性核種の濃度は、灰化率から生重量当たりの放射能濃度への換算を行った（Bq/kg生）。F濃度については、水分率から生重量当たりのF濃度への換算を行った（mg/kg生）。

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倍以下の場合にはND（不検出）と表記した。

松葉のU-238濃度は0.016～0.115 Bq/kg生、Ra-226濃度は0.10～1.90 Bq/kg生、F濃度は0.5～0.9 mg/kg生、

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 ₄ 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 (mg/kg) | | | Cs-134 (Bq/kg生) | Cs-137 (Bq/kg生) | K-40 (Bq/kg生) |
|--------|---------|---------|----------------|-----------------|-----------|-----------|---------|-----------------|-----------------|---------------|
| | | | | | 乾 | 生 (換算値) | 水分率 (%) | | | |
| A1 | R3.5.10 | 1.1 | 0.016 ± 0.002 | 0.22 ± 0.02 | 1.5 | 0.8 | 47.9 | ND | ND | 73.8 ± 0.58 |
| A2 | R3.5.10 | 1.1 | 0.026 ± 0.003 | 0.10 ± 0.02 | 1.5 | 0.7 | 49.9 | ND | 0.023 ± 0.007 | 74.9 ± 0.53 |
| A3 | R3.5.12 | 1.2 | 0.071 ± 0.005 | 0.74 ± 0.04 | 1.6 | 0.8 | 50.1 | ND | ND | 69.6 ± 0.47 |
| B1 | R3.6.1 | 1.4 | 0.024 ± 0.003 | 0.19 ± 0.02 | 1.7 | 0.8 | 52.4 | ND | 0.15 ± 0.008 | 51.4 ± 0.47 |
| B2 | R3.4.26 | 1.3 | 0.115 ± 0.008 | 1.90 ± 0.08 | 1.4 | 0.7 | 50.5 | ND | 0.023 ± 0.007 | 74.8 ± 0.68 |
| B3 | R3.4.22 | 1.3 | 0.032 ± 0.003 | 0.19 ± 0.02 | 1.7 | 0.9 | 45.2 | ND | ND | 68.5 ± 0.69 |
| C1 | R3.6.1 | 0.9 | 0.020 ± 0.002 | 0.23 ± 0.02 | 1.2 | 0.5 | 56.6 | ND | 0.027 ± 0.005 | 71.7 ± 0.49 |
| C2 | R3.4.26 | 1.0 | 0.037 ± 0.003 | 0.45 ± 0.03 | 1.3 | 0.7 | 46.6 | ND | 0.086 ± 0.008 | 63.3 ± 0.52 |
| 測定値の範囲 | | | 0.016 ~ 0.115 | 0.10 ~ 1.90 | 1.2 ~ 1.7 | 0.5 ~ 0.9 | | ND | ND ~ 0.15 | 51.4 ~ 74.9 |
| 平均値 | | | 0.043 | 0.50 | 1.5 | 0.7 | | ND | 0.062 | 66.6 |
| 人形峠南部 | R3.6.7 | 1.0 | 0.036 ± 0.003 | 1.14 ± 0.06 | 0.9 | 0.5 | 48.3 | ND | 0.053 ± 0.006 | 56.9 ± 0.43 |

Cs-134濃度は全地点でND, Cs-137濃度はND~0.15 Bq/kg生, K-40濃度は51.4~74.9 Bq/kg生であった。

人形峠周辺における監視測定結果と各エリアの測定結果の平均値を比較すると, U-238, F, Cs-134, Cs-137及びK-40濃度については人形峠周辺と各エリアで特徴的な差は見られなかったが, Ra-226濃度は人形峠周辺で各エリアの測定範囲内ではあるがやや高い傾向が見られた。なお, Cs-137及びK-40については, 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: ND~0.53 Bq/kg生, K-40: 39~115 Bq/kg生)⁷⁾と同程度であった。

個々のエリアの測定結果を比較すると, F, Cs-134, Cs-137及びK-40濃度は人形峠周辺と各エリアで特徴的な差は見られなかったが, U-238及びRa-226濃度については, B2エリアが各エリア平均値の2倍を大きく超える高い値であった。

土壌のU-238濃度は0.010~0.028 Bq/kg乾, Ra-226濃度は0.021~0.076 Bq/kg乾, F濃度は70~500 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167~909 Bq/kg乾であった。

人形峠周辺における監視測定結果と各エリアの測定結果の平均値を比較すると, F, Cs-134, Cs-137及びK-40濃度は人形峠周辺と各エリアで特徴的な差は見られなかったが, U-238及びRa-226濃度は人形峠周辺で各エリア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が土壌中に比較的多く含まれるためであると考えられる。

個々のエリアの測定結果を比較すると, F濃度はB3エリア, Cs-137濃度についてはC1エリアが各エリア平均値の2倍を大きく超える高い値であった。

次に, 生育土壌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, 土壌から松葉への移行係数を算出した。(表4)。U-238は各エリアで1.1E-03~4.1E-03, 人形峠周辺で6.8E-04, またRa-226は各エリアで3.0E-03~3.6E-02, 人形峠周辺で1.2E-02であり, いずれの核種

表3 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 ³) | 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 | R3.5.10 | 1.1 | 0.011 ± 0.001 | 0.030 ± 0.003 | 70 | ND | 3.40 ± 0.25 | 888 ± 11 |
| A2 | R3.5.10 | 1.0 | 0.015 ± 0.001 | 0.031 ± 0.003 | 130 | ND | ND | 728 ± 11 |
| A3 | R3.5.12 | 1.3 | 0.028 ± 0.002 | 0.076 ± 0.004 | 130 | ND | ND | 905 ± 10 |
| B1 | R3.6.1 | 0.8 | 0.022 ± 0.002 | 0.048 ± 0.003 | 190 | ND | 2.92 ± 0.27 | 688 ± 11 |
| B2 | R3.4.26 | 0.9 | 0.028 ± 0.002 | 0.053 ± 0.003 | 190 | ND | 0.88 ± 0.21 | 849 ± 12 |
| B3 | R3.4.22 | 1.2 | 0.026 ± 0.002 | 0.064 ± 0.004 | 500 | ND | ND | 909 ± 10 |
| C1 | R3.6.1 | 0.6 | 0.011 ± 0.001 | 0.021 ± 0.002 | 110 | ND | 28.8 ± 0.69 | 291 ± 9 |
| C2 | R3.4.26 | 1.0 | 0.010 ± 0.001 | 0.027 ± 0.002 | 150 | ND | 2.86 ± 0.25 | 167 ± 6 |
| 測定値の範囲 | | | 0.010 ~ 0.028 | 0.021 ~ 0.076 | 70 ~ 500 | ND | ND ~ 28.8 | 167 ~ 909 |
| 平均値 | | | 0.019 | 0.044 | 184 | ND | 7.77 | 621 |
| 人形峠南部 | R3.6.7 | 1.1 | 0.053 ± 0.004 | 0.096 ± 0.005 | 120 | ND | ND | 1071 ± 13 |

表4 移行係数(松葉濃度/土壌濃度)

| 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 |
| A1 | R3.5.10 | 1.5E-03 | 7.3E-03 | 1.1E-02 | - | 8.3E-02 |
| A2 | R3.5.10 | 1.7E-03 | 3.2E-03 | 5.7E-03 | - | 1.0E-01 |
| A3 | R3.5.12 | 2.5E-03 | 9.7E-03 | 6.3E-03 | - | 7.7E-02 |
| B1 | R3.6.1 | 1.1E-03 | 4.0E-03 | 4.3E-03 | 5.0E-02 | 7.5E-02 |
| B2 | R3.4.26 | 4.1E-03 | 3.6E-02 | 3.6E-03 | 2.6E-02 | 8.8E-02 |
| B3 | R3.4.22 | 1.2E-03 | 3.0E-03 | 1.8E-03 | - | 7.5E-02 |
| C1 | R3.6.1 | 1.8E-03 | 1.1E-02 | 4.6E-03 | 9.2E-04 | 2.5E-01 |
| C2 | R3.4.26 | 3.7E-03 | 1.7E-02 | 4.8E-03 | 3.0E-02 | 3.8E-01 |
| 測定値の範囲 | | 1.1E-03 ~ 4.1E-03 | 3.0E-03 ~ 3.6E-02 | 1.8E-03 ~ 1.1E-02 | 9.2E-04 ~ 5.0E-02 | 7.5E-02 ~ 3.8E-01 |
| 平均値 | | 2.2E-03 | 1.1E-02 | 5.2E-03 | 2.7E-02 | 1.4E-01 |
| 人形峠南部 | R3.6.7 | 6.8E-04 | 1.2E-02 | 4.2E-03 | - | 5.3E-02 |

においても同程度であった。佐々木らの報告⁸⁾によると、農作物におけるU-238の移行係数は $4.9E-06\sim 3.6E-04$ 、Ra-226の移行係数は $< 7.8E-04\sim 4.0E-03$ であり、松葉中の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、参考に求めた土壌から松葉へのF、Cs-137及びK-40濃度の移行係数は、Fは各エリアで $1.8E-03\sim 1.1E-02$ 、人形峠周辺で $4.2E-03$ 、Cs-137は各エリアでND $\sim 5.0E-02$ 、人形峠周辺でND、K-40は各エリアで $7.5E-02\sim 3.8E-01$ 、人形峠周辺で $5.3E-02$ の結果であり、いずれも各エリアと人形峠周辺で同程度であった。

4 まとめ

令和3年度に実施した調査では、人形峠周辺における監視測定結果と各エリアの測定値の平均値を比較すると、松葉はRa-226濃度が、土壌ではU-238及びRa-226濃度が人形峠周辺において各エリアより高い傾向であった。一方、個々のエリアの測定結果を比較すると、松葉はU-238及びRa-226濃度についてB2エリアで特に高い値であった。また、土壌ではF濃度がB3エリアで、Cs-137濃度についてはC1エリアで特に高い値であった。

次年度以降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) 畑 陽介, 清水光郎, 木下浩行, 片岡敏夫, 小川 登: 岡山県内における環境放射能バックグラウンド調査(第4報), 岡山県環境保健センター年報, 40, 39-46, 2016
- 2) 蜂谷博郎, 木下浩行, 加藤大貴, 清水光郎, 小川 登: 岡山県内における環境放射能バックグラウンド調査-ヨモギ- (第3報), 岡山県環境保健センター年報, 42, 27-34, 2018
- 3) 中野拓也, 蜂谷博郎, 加藤大貴, 小川 登, 信森達也, 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-野菜・精米- (第3報), 岡山県環境保健センター年報, 45, 13-18, 2021
- 4) 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/> (2022.6.1アクセス)
- 5) 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
- 6) 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

- 7) 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/> (2022.6.1アクセス)
- 8) 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