

# イノシシ体内に含まれる放射性セシウム量推定方法の検討 － 体組織別調査と焼却残渣調査の実施

斎藤 梨絵<sup>1\*</sup>、大町 仁志<sup>1</sup>、根本 唯<sup>1</sup>、大迫 政浩<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 福島県環境創造センター（〒963-7700 福島県田村郡三春町深作 10-2）

<sup>2</sup> 国立研究開発法人 国立環境研究所（〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2）

## Estimation of the Total Amount of the Radiocaesium in the Wild Boar in their Body － Each Organs Survey and Incineration Residue Survey

Rie SAITO<sup>1\*</sup>, Hitoshi OHMACHI<sup>1</sup>, Yui NEMOTO<sup>1</sup>, and Masahiro OSAKO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fukushima Prefectural Centre for Environmental Creation (10-2 Fukasaku, Miharu, Fukushima 963-7700, Japan)

<sup>2</sup> National Institute for Environmental Studies (16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506, Japan)

### Summary

We examined two methods of estimating the total amount of radiocaesium in the bodies of wild boar. This knowledge is important for proper disposal of wild boar containing radiocaesium that are captured during animal control culling operations. The two methods were organ survey and an incineration residue survey. For the organ survey, comparing the  $^{137}\text{Cs}$  concentration in the muscle, heart, lung and other organs, muscle had the highest  $^{137}\text{Cs}$  concentration in almost all individuals studied. For the incineration residue survey, we estimated the total amount of radiocaesium in wild boar using the  $^{137}\text{Cs}$  concentrations and in the total amounts of main ash and fly ash that occurred after incinerating wild boar. We surveyed the relationships between  $^{137}\text{Cs}$  concentration in muscle before incineration and  $^{137}\text{Cs}$  concentration in main ash and fly ash, and a significant positive relation between  $^{137}\text{Cs}$  concentration in muscle and  $^{137}\text{Cs}$  concentration in main ash and fly ash was observed. In addition, the survey showed a significant positive relation between the weight of wild boar and the amount of main ash, but no significant relation between the weight of wild boar and the amount of fly ash. Therefore, estimating the accurate total amount of radiocaesium in wild boar by analyzing ash residue after wild boar incineration was difficult. Based on the organ surveys, the estimation value can be calculated by multiplying the  $^{137}\text{Cs}$  concentration in the muscle by the weight of the wild boar. This estimation value was 1.57 times higher than the value closer to true value the calculated by estimation method using organs heavy rate of pig, therefore, we also indicated degree about this estimation value.

**Key Words:** Wild boar, Organs,  $^{137}\text{Cs}$  concentration, Incineration, Ash

### 1. はじめに

2011年の東京電力株式会社 福島第一原子力発電所事故により、環境中に大量の放射性核種が放出された。事故後に行った福島県のモニタリング調査の結果、県内の野生動物の体内から $^{137}\text{Cs}$ が検出されており、野生動物の出荷制限や一部の地域での摂取制限によって、野生動物の利活用が制限されている状況にある<sup>1-4)</sup>。

これまでの福島県によるモニタリング結果から、野生動物種の中でもイノシシ (*Sus scrofa*) の筋肉中 $^{137}\text{Cs}$ 濃度がとりわけ高く、同様な土壌汚染レベルのエリアで捕獲された場合であっても、個体間で測定値のバラツキが非常に大きいという

結果が得られている<sup>5)</sup>。イノシシは、チェルノブイリ原子力発電所事故後の研究においても、他の動物よりも放射性セシウム濃度が高く<sup>6)</sup>、長期にわたり体内に蓄積していることが報告されている<sup>7-10)</sup>。東京電力株式会社 福島第一原子力発電所事故後におけるイノシシ体内の放射性セシウム濃度については、筋肉中の放射性セシウム濃度に季節的な変動が認められること<sup>5, 11)</sup>、事故後6年以上経過した2017年においても、筋肉生重量あたりの放射性セシウム濃度が数千、数万Bq/kgの個体が検出されていることが報告されている<sup>12)</sup>。また、チェルノブイリ原子力発電所事故後の研究結果を踏まえ、イノシシ体内での放射性核種の存在が長期化する可能性があるこ

\*Corresponding author: E-mail: \*saito\_rie\_01@pref.fukushima.lg.jp

と、放射性核種による汚染がイノシシの個体群管理においても欠かせない課題となることが指摘されている<sup>11)</sup>。とりわけ、福島県内の避難指示区域内等の一部浜通り側の地域においては、人間活動の低下に伴うイノシシの行動範囲の拡大<sup>13)</sup>や個体数の増加が懸念されている。

ニホンイノシシ (*Sus scrofa leucomystax*, 以下「イノシシ」と記述) は、本州(青森県、岩手県、秋田県、山形県を除く)、四国、九州、淡路島に分布し、高い繁殖能力をもつ<sup>14)</sup>。近年、イノシシの生息数増加や生息地拡大が認められ、それに伴う農林業等の被害が増加している<sup>13, 15-17)</sup>。イノシシにおける2016年度全国農作物被害額は、約50億円に上る<sup>18)</sup>。福島県内における2016年度のイノシシの農作物被害金額は約95百万円であり、他の鳥獣に比べて最も高く、福島県内で2番目に被害をもたらしているニホンザル(農作物被害金額 約16百万円)と比較しても、イノシシはおおよそ6倍の被害金額にあたる<sup>19)</sup>。このようなイノシシによる被害を軽減するため、福島県内では鳥獣保護管理法の下での有害鳥獣捕獲や指定管理鳥獣捕獲制度により、イノシシの捕獲を強化している。このような背景から、イノシシの年間捕獲数は増加しており、2015年度における福島県内の有害鳥獣捕獲及び指定管理鳥獣捕獲等による捕獲総数は1万頭以上であった。捕獲されたイノシシについては、主に捕獲現場近くでの埋設処理が多く行われており、捕獲者の負担であるとともに適切な埋設場所も不足している。また、搬出したイノシシは既存の一般廃棄物焼却炉で処理されており、一部では専用焼却炉や微生物作用を利用した専用生物処理設備等による処理法も行われている。このように、イノシシの捕獲数が増加する中で、埋設処理から適切な搬出、施設での処理をすることが望ましいが、捕獲駆除されたイノシシは放射性セシウムを含有しており、適切な配慮のもとに円滑に処理していくことや、放射性セシウム濃度により取り扱いが異なる処理後物の適切な管理が、喫緊の課題となっている。本研究では、放射性セシウムを含むイノシシの処理及び処理後物も含めた適切な管理の観点から重要となる、イノシシ1頭に含まれる放射性セシウムの含有量の推定方法について、2つの調査法により検討した。(1) 筋肉・臓器等の体組織及び胃内容物別調査(以下「体組織別調査」とする)では、イノシシの体内の放射性セシウムの分布状況を明らかにし、放射性セシウムが最も蓄積しやすい部位とイノシシの個体重量を利用して、含有量の推定方法を検討した。加えて、体内における筋肉及び臓器等の割合を利用して真値に近い放射性セシウム含有量についても推定し、筋肉のみを用いた推定法との差異を考察した。また、含まれる放射性セシウムを全量回収して放射性セシウム含量を直接的に算定するため(2) 専用焼却炉での焼却残渣調査により、イノシシを焼却した際に生じる主灰及び飛灰を利用して、放射性セシウムの含有量の推定方法を検討した。

## 2. 方法

### (1) 体組織別調査

2015年7月から2016年11月に福島県の二本松市において、狩猟者により、有害鳥獣捕獲等の理由で捕獲されたイノシシ15頭を使用した。各個体から、筋肉(大腿四頭筋)、胃内容物、心臓、肺、肝臓、腎臓、皮膚・体毛、肋骨を採取した。<sup>137</sup>Cs濃度の測定のため、採取した各臓器をミンチ状にし、U8容器に封入した。肋骨については、肋骨の周囲に付着している肉をできる限り取り除き、骨を切断破砕し、U8容器に封入した。

### (2) 焼却残渣調査

2017年の6月から12月に相馬市及び新地町で捕獲されたイノシシ12頭を使用した。イノシシは、有害鳥獣捕獲等により捕獲された個体を使用した。イノシシの焼却には相馬方部衛生組合の有害鳥獣焼却場(専用焼却炉、焼却能力: 200 kg/h 未満、パッチ式)を利用した。焼却前にイノシシの個体重量を測定し、個体の筋肉(大腿四頭筋)の一部を分取した。分取した筋肉をミンチ状にし、U8容器に封入した。イノシシの焼却は1頭ずつ焼却し、発生した主灰及び飛灰を回収した。焼却時間は、目安としてイノシシ1 kgあたり1分とし、重量に応じて調整した。焼却温度は900℃前後であった。

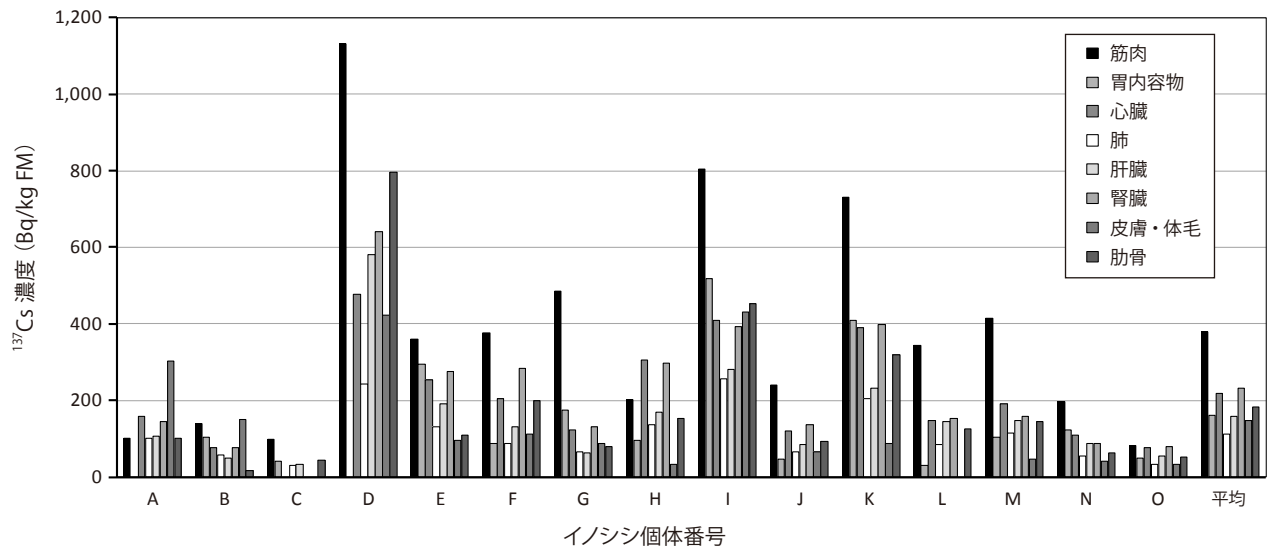
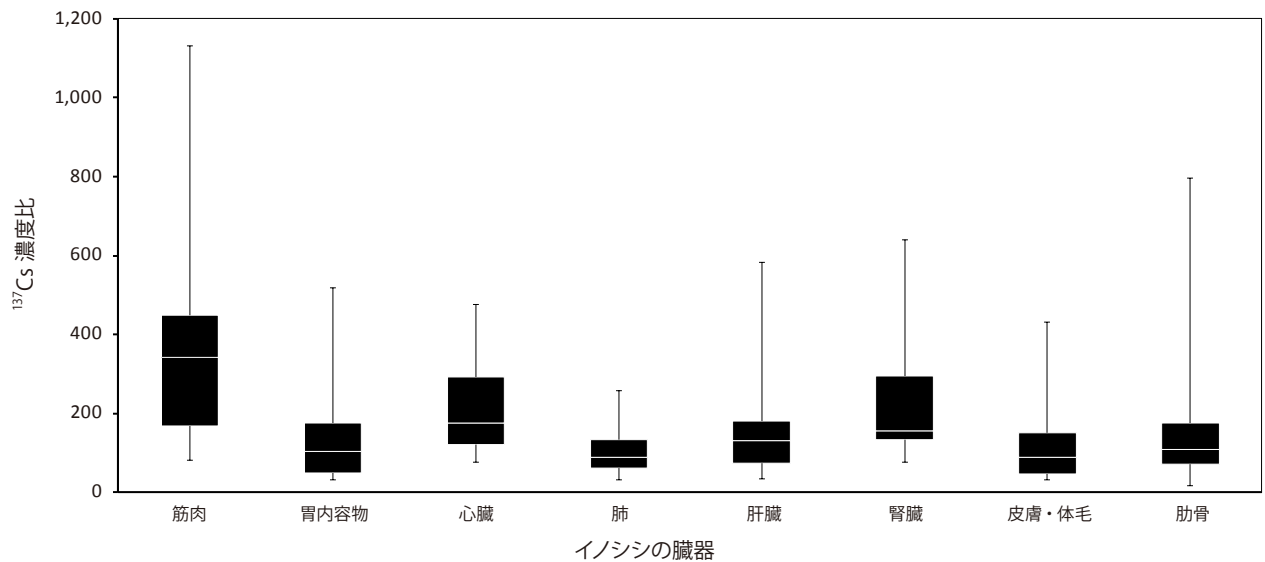
主灰は、残灰集塵機により吸引し、残灰貯槽に集められたものを回収した。飛灰は、バグフィルターに捕集された飛灰を払い落とし、飛灰集塵機で収集し、飛灰貯槽に集められたものを回収した。回収した主灰及び飛灰の回収量を測定後、<sup>137</sup>Cs濃度の測定のため、主灰及び飛灰をそれぞれよく攪拌し、その一部をそれぞれU8容器に封入した。

### (3) <sup>137</sup>Cs濃度の測定

U8容器に封入したサンプルについて、ゲルマニウム半導体検出器(GC3018, GC4020及びGR4521 Canberra Japan, Tokyo, Japan)を使ってガンマ線放出核種の濃度を測定した。本研究では、事故による環境中への放出量が多く<sup>20, 21)</sup>、物理的半減期が約30年と長い<sup>137</sup>Csの濃度を対象とした。

### (4) データ解析及び統計解析

体組織別調査において、Kruskal-Wallis検定により各体組織及び胃内容物における濃度比の差の有無を検討した。Kruskal-Wallis検定により有意差が認められた場合には、Bonferroni, pairwise wilcoxonの多重比較検定による体組織及び胃内容物間での有意差検定を行った。また、焼却残渣調査において、a) 主灰及び飛灰の<sup>137</sup>Cs濃度と筋肉中の<sup>137</sup>Cs濃度の関係性、b) 主灰及び飛灰の回収量と個体の体重との関係性について、単回帰分析を行った。解析にはR3.31 (<https://cran.r-project.org/src/base/R-3/>)を使用した。

図1 各個体における臓器中<sup>137</sup>Cs濃度図2 各臓器中<sup>137</sup>Cs濃度

箱グラフの上部は75%値、箱グラフの下部は25%値である。グラフ中の横線は中央値を示している。また箱グラフ上部下部のひげは、最大値、最小値をそれぞれ示している。

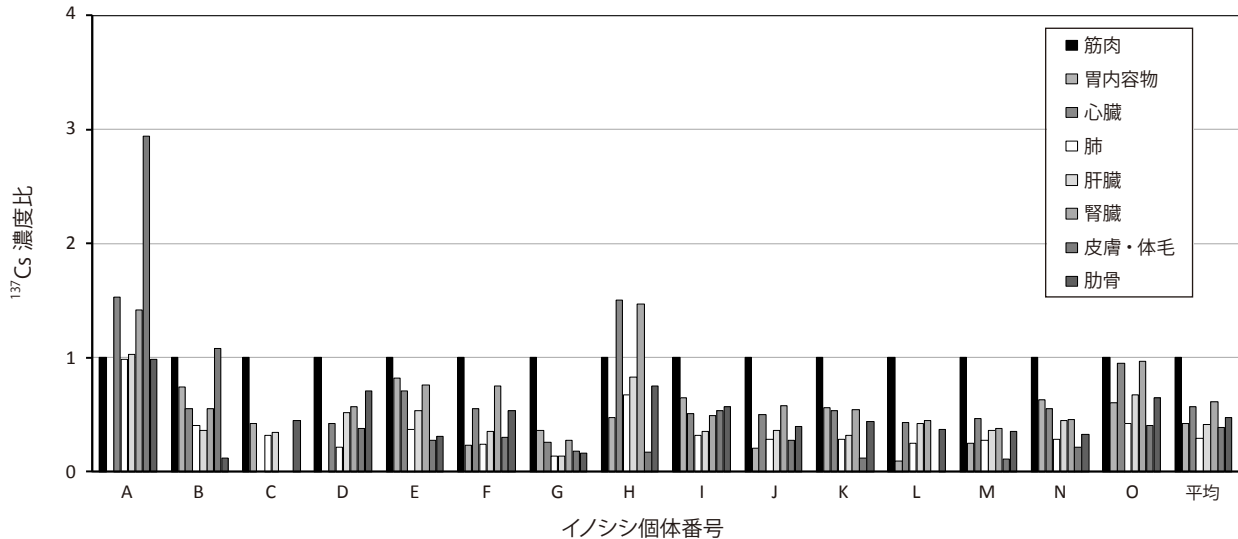
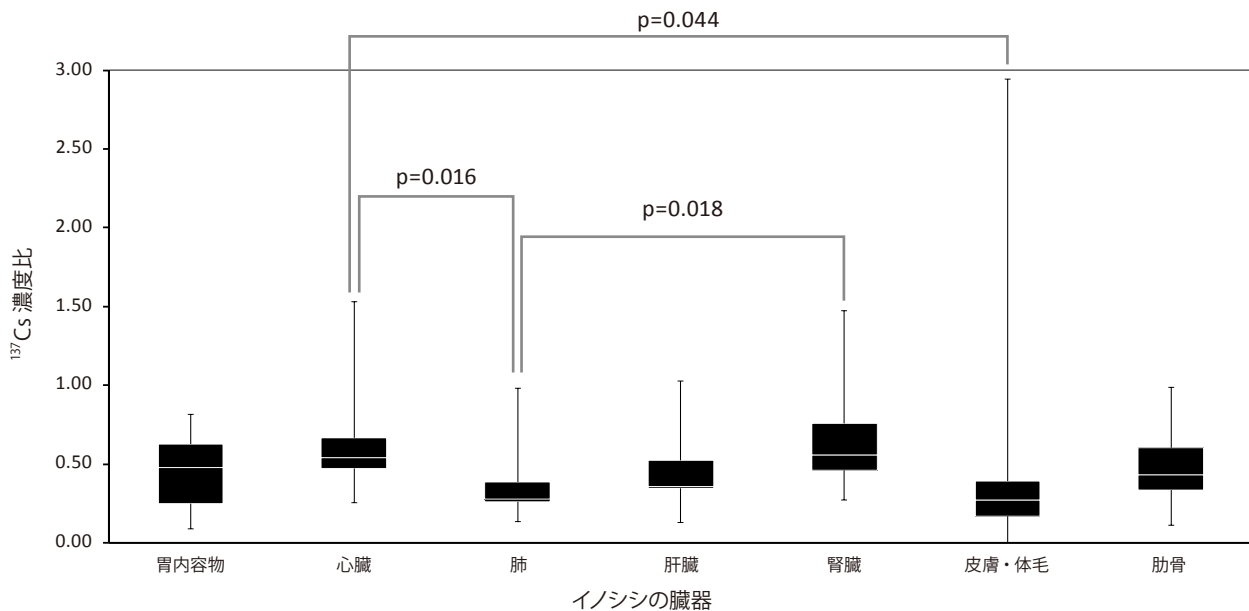
### 3. 結果と考察

#### (1) 体組織別調査

イノシシの各個体における体組織及び胃内容物中の<sup>137</sup>Cs濃度を図1、2に示した。同一市内で捕獲されたイノシシであるが、体内中の<sup>137</sup>Cs濃度は個体により大きく異なった。全個体の各体組織及び胃内容物における<sup>137</sup>Cs濃度の中央値及び平均値±標準偏差は、以下の通りである；筋肉 343, 381 ± 290 Bq/kg (生重量, N=15)、胃内容物 104, 160 ± 147 Bq/kg (生重量, N=13)、心臓 175, 217 ± 126 Bq/kg (生重量, N=14)、肺 88, 111 ± 69 Bq/kg (生重量, N=15)、肝臓 132, 158 ± 132 Bq/kg (生重量, N=15)、腎臓 156, 233 ± 155 Bq/kg

(生重量, N=14)、皮膚・体毛 88, 147 ± 137 Bq/kg (生重量, N=13)、肋骨 110, 184 ± 197 Bq/kg (生重量, N=15)。

体内中の<sup>137</sup>Cs濃度の個体差が大きいことから、体組織及び胃内容物間の濃度の差をより明確にするため、各個体の体組織及び胃内容物中<sup>137</sup>Cs濃度を筋肉中の<sup>137</sup>Cs濃度にて除し、各体組織及び胃内容物における<sup>137</sup>Cs濃度比を算出した(図3、4)。全個体の各体組織及び胃内容物における<sup>137</sup>Cs濃度比の中央値、平均値±標準偏差は以下の通りである；筋肉 1.00, 1.00 ± 0.00 (生重量, N=15)、胃内容物 0.48, 0.46 ± 0.22 (生重量, N=13)、心臓 0.54, 0.68 ± 0.37 (生重量, N=14)、肺 0.28, 0.36 ± 0.20 (生重量, N=15)、肝臓 0.36, 0.47

図3 各個体における筋肉中  $^{137}\text{Cs}$  濃度に対する各臓器の濃度比図4 筋肉中  $^{137}\text{Cs}$  濃度に対する各臓器の濃度比

箱グラフの上部は 75% 値、箱グラフの下部は 25% 値である。グラフ中の横線は中央値を示している。  
箱グラフ上部下部のひげは、最大値、最小値をそれぞれ示している。  
また、多重比較検定 (Bonferroni, pairwise wilcoxon test,  $p < 0.05$ ) の結果を示している。

$\pm 0.22$  (生重量,  $N=15$ )、腎臓  $0.56, 0.69 \pm 0.35$  (生重量,  $N=14$ )、皮膚・体毛  $0.27, 0.50 \pm 0.72$  (生重量,  $N=13$ )、肋骨  $0.44, 0.47 \pm 0.22$  (生重量,  $N=15$ )。各体組織及び胃内容物における  $^{137}\text{Cs}$  濃度及び濃度比の中央値と平均値により比較すると、筋肉が最も高く、次いで腎臓、心臓が高かった (図 2、4)。また、一部の個体においては、筋肉中  $^{137}\text{Cs}$  濃度より他の体組織中  $^{137}\text{Cs}$  濃度の方が高い傾向にあった；個体番号 A の心臓、肝臓、腎臓、皮膚・体毛、個体番号 B の皮膚・体毛、個体 H の心臓、腎臓 (図 1、3)。各体組織及び胃

内容物における  $^{137}\text{Cs}$  濃度比を比較したところ、体組織間で有意差が認められた (Kruskal-Wallis test,  $p < 0.001$ )。多重比較検定 (Bonferroni, pairwise wilcoxon test) による結果では、心臓と肺 ( $p=0.016$ )、心臓と皮膚・体毛 ( $p=0.044$ ) 及び腎臓と肺 ( $p=0.018$ ) の濃度比の間で有意差が認められたが、その他の体組織及び胃内容物間では有意差は認められなかった ( $p > 0.05$ )。

今回調査を行ったイノシシの体組織及び胃内容物に関して、多くの個体で筋肉が最も高いという結果が得られた。同様に



イノシシ体内における $^{137}\text{Cs}$ 濃度の分布を調査した研究においても、他の体組織に比べ筋肉が最も高くなるという報告がなされている<sup>1,7,22)</sup>。また、筋肉以外の体組織においては、腎臓、舌、心臓の $^{137}\text{Cs}$ 濃度が高いこと<sup>22)</sup>、筋肉に次いで腎臓、心臓の $^{137}\text{Cs}$ 濃度が高いこと<sup>7)</sup>が報告されており、本研究の結果と概ね一致している。イノシシのような単胃生物において、放射性セシウムは通常、腎臓を介して排泄されている<sup>8)</sup>。体内を循環し、体外へ排出される $^{137}\text{Cs}$ が一時的に腎臓に貯蔵されることにより、腎臓の $^{137}\text{Cs}$ 濃度が高い傾向にあったのではないかと考えられる。また、心臓には心筋があることから、筋肉と類似した構成をしているために、高い傾向が認められたのではないかと考えられる。

本研究の結果では個体番号AとBにおいて皮膚・体毛の $^{137}\text{Cs}$ 濃度が高い傾向にあった。イノシシはノミやダニなどの寄生虫の除去や体温調整のため、耕作放棄水田などにできたぬた場で泥あび（ぬたうち）をする習性がある<sup>23)</sup>。そのような習性を考慮すると、皮膚・体毛の $^{137}\text{Cs}$ 濃度が高い傾向にあった個体では、皮膚や体毛表面に付着していた土や泥などの粒子が十分に除去できていなかったために、高い値を示したと考えられる。加えて、他の体組織に比べ、皮膚の $^{137}\text{Cs}$ 濃度は最も低かったという報告<sup>7)</sup>があることから、皮膚・体毛に付着した土壌の影響と考えるのが妥当であるといえる。

## (2) 焼却残渣調査

本研究では専用焼却炉での焼却残渣調査を行うことで、含まれる放射性セシウムの全量を回収してイノシシ1頭に含まれる $^{137}\text{Cs}$ の含有量の算定を試みた。焼却実験に用いたイノシシにおける筋肉中の $^{137}\text{Cs}$ 濃度と主灰及び飛灰に含まれる $^{137}\text{Cs}$ 濃度について、正の関係が認められた〔筋肉中 $^{137}\text{Cs}$ 濃度 ( $\log_{10}$  Bq/kg, 生重量) =  $1.18 \times$  主灰中 $^{137}\text{Cs}$ 濃度 ( $\log_{10}$  Bq/kg) - 1.04,  $p < 0.001$ ,  $R^2 = 0.82$ ; 筋肉中 $^{137}\text{Cs}$ 濃度 ( $\log_{10}$  Bq/kg) =  $3.66 \times$  飛灰中 $^{137}\text{Cs}$ 濃度 ( $\log_{10}$  Bq/kg) - 14.3,  $p < 0.001$ ,  $R^2 = 0.67$ ] (図5)。

また、焼却前のイノシシの個体重量と主灰回収量の間についても正の関係が認められたが〔イノシシの個体重量 (kg) =  $16.70 \times$  主灰回収量 (kg) + 19.0,  $p = 0.003$ ,  $R^2 = 0.56$ 〕、焼却前のイノシシの個体重量と飛灰回収量の間に有意な関係性は認められなかった〔イノシシの個体重量 (kg) =  $6.83 \times$  飛灰回収量 (kg) + 60.2,  $p = 0.729$ ,  $R^2 = -0.086$ ] (図6)。一般に同種のものを同一条件で焼却した場合、焼却物と焼却残渣の重量には正の関係がでると推測される。バグフィルターに付着した飛灰は、バグフィルターの内側から圧縮された空気を入れ、払い落とされ、飛灰集塵機により回収される。このことから、バグフィルターに付着した飛灰の全量が払い落とされていない、あるいはバグフィルターに到達する前に排ガスの配管壁などにクリンカとして固着してしまうといった理由から、1頭分の飛灰が十分に回収できなかったものと考えられる。

したがって、放射性セシウムの物質収支を厳密にとることは困難であることから、今回の焼却残渣調査におけるイノシシ1頭に含まれる $^{137}\text{Cs}$ の含有量の推定法においては、その点への留意が必要である。

## (3) イノシシ1頭に含まれる放射性セシウムの含有量の推定方法について

イノシシの処理方法を検討する上で重要となるイノシシ1頭に含まれる放射性セシウムの含有量の推定方法について、体組織別調査の結果を踏まえると、体組織中で最も濃度の高い部位の濃度にイノシシの重量を乗じて算出することで、過小評価とならない $^{137}\text{Cs}$ の含有量を推定可能であると考えられる。本研究の結果では、多くの個体(15個体中12個体)では、筋肉が最も濃度が高かったが、3個体については、皮膚や心臓等の一部の体組織で、筋肉中の $^{137}\text{Cs}$ 濃度を上回った。しかしながら、これらの部位が体内で占める割合は低いと考えられる。イノシシの筋肉や各種臓器等の割合に関する詳細な割合についてはこれまでに報告がないため、イノシシと近縁であるブタの体内での筋肉や臓器等が占める割合についてみると、ブタの体全体(体重 80-100 kg)に対する筋肉の割合は 35-40%、内臓 20%、脂肪 30-35%、皮 3%、骨 7% であると報告されている<sup>24)</sup>。つまり、皮膚が体内に占める割合は 3% 程度であり<sup>24)</sup>、筋肉のような体の 40% を占める部位<sup>24)</sup>に比べると、イノシシ1頭に含まれる放射性セシウム含有量への影響は小さいと考えられる。以上のことから、筋肉中 $^{137}\text{Cs}$ 濃度にイノシシの重量を乗じて算出すること【算定法1】で、 $^{137}\text{Cs}$ の含有量が真値より大きい値にはなるが、真値から大きく逸脱しない推定値を算出可能であると考えられる。しかし、どの程度真値より大きい推定値なのかについて目安が分かれば、より適切な管理が可能である。より真値に近いイノシシの放射性セシウム含量を算定するには、イノシシ体内における筋肉や各臓器等の濃度及び体内に占める割合を用いる方法が挙げられる。ここでは、上述したブタのデータ<sup>24)</sup>を利用し、体内での筋肉や臓器等が占める割合を考慮した算定を試みた。野生のイノシシは飼育されたブタに比べて脂肪量が少ないことを加味し、脂肪の割合を 30%、筋肉の割合を 40% として算定した。また、イノシシの体組成には季節的な変動を伴うことが予想されるが、このような季節的な変動を考慮することは現状困難であることから、体組成の季節的な変動は考慮せずに算定を行った。筋肉は、福島県の野生鳥獣の放射線モニタリング調査においても使用される部位であり、汎用性が高いことから、算定式は筋肉中の濃度と筋肉に対する各臓器及び胃内容物(胃内容物、心臓、肺、肝臓、腎臓)、皮膚及び骨の濃度比(平均値)を利用した。皮膚の濃度比は、皮膚や体毛表面に付着していた泥などの粒子の影響を受けて濃度比が高かったと思われる2個体(個体A及びB)を除き、算出した。脂肪の濃度比は参考文献<sup>25)</sup>を

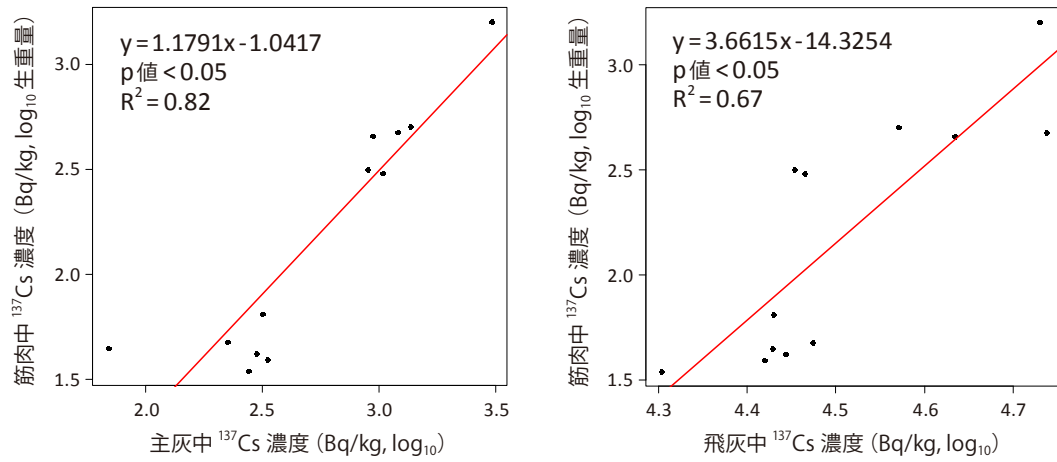


図5 イノシシの筋肉中  $^{137}\text{Cs}$  濃度とイノシシ焼却主灰（左）及び飛灰（右）中  $^{137}\text{Cs}$  濃度の関係

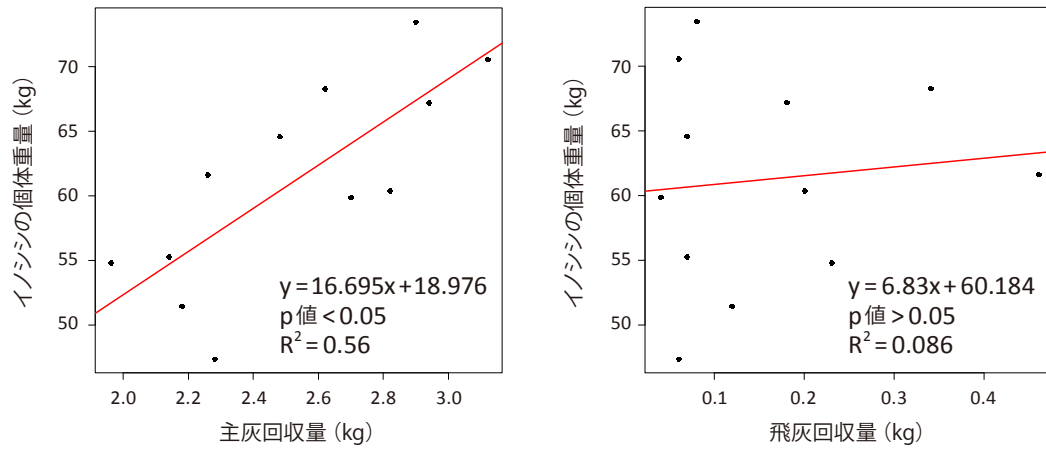


図6 イノシシの個体重量 (kg) とイノシシ焼却主灰（左）及び飛灰（右）回収量 (kg) の関係

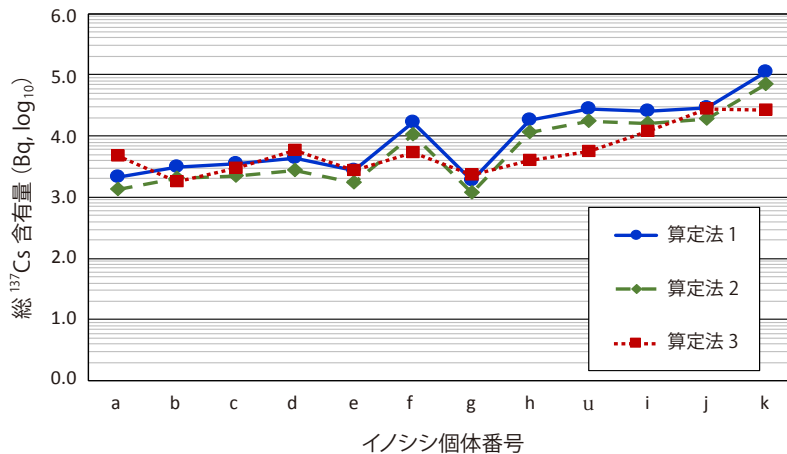


図7 算定法を用いたイノシシの総  $^{137}\text{Cs}$  含有量の推定

算定法1: 体組織別調査の結果、臓器中で最も濃度の高かった筋肉中  $^{137}\text{Cs}$  濃度にイノシシの重量を乗じて算定。算定法2: 体組織別調査による筋肉中  $^{137}\text{Cs}$  濃度及び筋肉に対する各臓器等の  $^{137}\text{Cs}$  濃度の濃度比の平均値、また体内に占める筋肉や臓器等の割合を利用し算定。算定法3: 焼却残渣調査の結果による主灰及び飛灰に含まれる  $^{137}\text{Cs}$  濃度に、主灰及び飛灰の回収量をそれぞれ乗じたものの総和により算定。

もとに、筋肉中  $^{137}\text{Cs}$  の濃度の 0.30 とした。以上を用いると、個体の総  $^{137}\text{Cs}$  含有量 (Bq) は次式で算定される: 個体重量 (kg)  $\times$  [ 筋肉中  $^{137}\text{Cs}$   $\times$  ( 体に占める割合, 0.4)  $+$   $\Sigma$  筋肉に対する各臓器及び胃内容物 ( 胃内容物、心臓、肺、肝臓、腎臓)  $\cdot$  脂肪  $\cdot$  皮膚  $\cdot$  骨の濃度比 ( 平均値)  $\times$  筋肉中  $^{137}\text{Cs}$  濃度  $\times$  体内に占める割合 (Bq/kg, 生重量)] 【算定法 2】。本研究の結果を踏まえ、代入すると次式のようにになる。式において、筋肉中  $^{137}\text{Cs}$  濃度 (Bq/kg, 生重量) を  $x$  とした: 個体の総  $^{137}\text{Cs}$  含有量 (Bq) = イノシシ体重 (kg)  $\times$  [0.4 $x$  + (臓器及び胃内容物の濃度比, 0.53)  $x$   $\times$  0.2 + (脂肪の濃度比, 0.30)  $x$   $\times$  0.3 + (皮膚の濃度比, 0.26)  $x$   $\times$  0.03 + (骨の濃度比, 0.47)  $x$   $\times$  0.07] (Bq/kg, 生重量)。

また、焼却残渣調査の結果から、イノシシの筋肉中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度と主灰及び飛灰に含まれる  $^{137}\text{Cs}$  濃度について、正の関係が認められたことから、イノシシの放射性セシウムの含有量を推定する上で、筋肉中  $^{137}\text{Cs}$  濃度が指標となり得ると考えられる。飛灰の回収量に過不足があり、より厳密な放射性セシウム濃度の算定には不十分ではあることを念頭に置いた上で、次式を用いて、個体の総  $^{137}\text{Cs}$  含有量 (Bq) を算出した。個体の総  $^{137}\text{Cs}$  含有量 (Bq) = 主灰の  $^{137}\text{Cs}$  濃度 (Bq/kg)  $\times$  主灰の回収量 (kg) + 飛灰の  $^{137}\text{Cs}$  濃度 (Bq/kg)  $\times$  飛灰の回収量 (kg) 【算定法 3】

焼却残渣調査を実施してイノシシについて、算定法 1 から 3 を用いて算出したイノシシ個体の総  $^{137}\text{Cs}$  含有量 (Bq) をグラフに示した (図 7)。算定法 1 は、算定法 2 の算定値よりも平均 1.57 倍総  $^{137}\text{Cs}$  含有量が高い値となった。また、体組織別調査個体のうち、全ての体組織の結果が揃っている 12 検体について、算定法 2 の式に用いた濃度比の平均値に、各個体の濃度比を代入し、調査個体の総  $^{137}\text{Cs}$  含有量を推定した【算定法 2'】。その結果、算定法 1 は、算定法 2' の算定値よりも最小で 1.34 倍、最大で 1.81 倍の値となった。また算定法 2' に基づく値の中心は、1.50 ~ 1.70 の範囲であり、平均値を用いた算定法 2 の値と概ね一致した結果が得られている。このことから、イノシシの体組織別調査の結果を用いた算定法 2 において、濃度比の平均値を利用することは妥当であるといえる。また算定法 3 と比較すると 12 個体中 3 個体では 0.4 ~ 0.8 倍の値となったが、その他の 9 個体については 1.0 ~ 5.0 倍の値となった。算定法 3 において、一部の個体で、算定法 1 よりも高い含有量が推定された要因として、飛灰の回収量に過不足があること、イノシシの体表面に放射性セシウムを含有する物質が付着していた可能性等が考えられる。算定法 2 と算定法 3 では、算定法 2 のほうが 0.3 から 3.2 倍ほどの値となった。算定法 2 が算定法 3 よりも高い値となったのは 12 個体中 6 個体であった。算定法 2 と算定法 3 は一致することが期待され、先述のように、算定法 2 ではイノシシではなくブタのデータをもとにしていること、算定法 3 では物質収支が不十分なデータを使っていることにより

一致はしていないものの、極端な差ではなく、両者を比較することに論理的矛盾があるとはいえない。

以上の算定法 1 から 3 の算定結果の比較より、イノシシ個体 1 頭あたりに含有される放射性セシウム濃度について、筋肉中の濃度と個体重量を用いる算定法 1 は真値より大きいと想定される算定値であり、ブタの各部位重量割合のデータに基づいた算定法 2 の算定値よりも平均 1.57 倍高く、どの程度真値より大きい算定値であるかの目安になると考えられた。

イノシシの処理方法には焼却処理及び生物分解処理が挙げられ、イノシシの処理時に電離放射線障害防止規則の観点から 10,000 Bq/kg を超過していないか、焼却処理時の焼却灰の濃度や生物分解処理時の生物分解による菌床への蓄積が放射性物質汚染対処特別措置法に基づく指定廃棄物の基準である 8,000 Bq/kg を上回らないか等が、放射性セシウム量や放射性セシウム濃度の管理において重要となる。このような管理値を超過しないような安全側での監視運用を考慮すると、筋肉中の濃度を用いた推定法 1 によるイノシシ体内の放射性セシウムの推定は、ある程度迅速かつ安全側での監視方法といえる。しかしながら、これらの算定法 1 及び 2 は、体組織内の全量を推定する推定式であり、イノシシの体表面に非常に高濃度の放射性セシウムを含有する物質が付着していた場合、イノシシの実際の処理の際には、より高い放射性セシウム含有量となる可能性もあるので、留意が必要である。

#### 4. 結論

体組織別調査により、 $^{137}\text{Cs}$  が最も蓄積しやすい部位は筋肉であり、筋組織をもつ心臓や、 $^{137}\text{Cs}$  を体外へ排出する機能をもつ腎臓においても濃度が高い傾向が認められた。また、焼却残渣調査により、イノシシ 1 頭を焼却した際に発生する主灰及び飛灰の  $^{137}\text{Cs}$  濃度と回収量を調査したところ、焼却前の筋肉中  $^{137}\text{Cs}$  濃度と主灰及び飛灰に含まれる  $^{137}\text{Cs}$  濃度の関係について、いずれも正の関係が認められた。焼却前のイノシシの個体重量と主灰回収量の間についても正の関係が認められたが、個体重量と飛灰回収量の間に関係性は認められなかった。飛灰の全量を回収することが難しいことから、イノシシ 1 頭を焼却した際に発生する主灰及び飛灰から、イノシシ 1 頭に含まれる放射性セシウムを厳密に算出することは困難であった。イノシシの処理方法を検討する上で重要となるイノシシ 1 頭に含まれる放射性セシウムの含有量の推定方法について、体組織別調査結果を踏まえると、筋肉中  $^{137}\text{Cs}$  濃度にイノシシの重量を乗じて算出することで、 $^{137}\text{Cs}$  の含有量が真値より大きい値にはなるが、真値から大きく逸脱しない推定値が算出可能である。またその推定値は、ブタの各部位の重量割合に基づく算定法から得られた算定値の平均 1.57 倍であり、どの程度真値より大きい数値であるかの目安を示すことができた。

なお、本研究で得られた結果も踏まえて作成された「福島県における放射性セシウムを含む捕獲イノシシの適正処理に関する技術資料<sup>26)</sup>」が2018年10月より公開されており、今後、放射性セシウムを含有するイノシシの適正処理が進められることが期待される。

## 謝 辞

本研究を進めるにあたり、福島県猟友会、二本松市農業振興課、相馬方部衛生組合の渡辺和彦氏及び森 範雄氏、福島県野生生物共生センター、福島県自然保護課、いであ株式会社、国立環境研究所の山田正人氏には、多大なるご協力をいただきました。また、宇都宮大学の小寺祐二准教授及び長崎県農林水産部農山村対策室の平田滋樹氏からは貴重なご助言をいただきました。この場を借りて感謝申し上げます。本研究は、環境省の環境研究総合推進費(3K162012)の支援を受けました。

## 参 考 文 献

- 1) S. Fuma, Y. Kubota, S. Ihara, H. Takahashi, Y. Watanabe, T. Aono, H. Soeda, S. Yoshida: Radio-caesium contamination of wild boars in Fukushima and surrounding regions after the Fukushima nuclear accident. *J. Environ. Radioactiv.*, **164**, 60-64 (2016).
- 2) 「野生鳥獣の放射線モニタリング調査結果」福島県 HP (<http://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/wildlife-radiationmonitoring1.html>), 2018 年 9 月閲覧.
- 3) S. Merz, K. Shozugawa, G. Steinhäuser: Analysis of Japanese radionuclide monitoring data of food before and after the Fukushima Nuclear Accident. *Environ. Sci. Technol.*, **49** (5), 2875-2885 (2005).
- 4) K. Tagami, B. J. Howard, S. Uchida: The Time-Dependent Transfer Factor of Radiocesium from Soil to Game Animals in Japan after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Accident. *Environ. Sci. Technol.*, **50** (17), 9424-9431 (2016).
- 5) Y. Nemoto, R. Saito, H. Oomachi: Seasonal variation of Cesium-137 concentration in Asian black bear (*Ursus thibetanus*) and wild boar (*Sus scrofa*) in Fukushima Prefecture, Japan. *PLoS ONE*, **13** (7), e0200797 (2018), <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200797>
- 6) J. Kapata, K. Mnich, S. Mnich, M. Karpińska, A. Bielawska: Time-dependence of <sup>137</sup>Cs activity concentration in wild game meat in Knyszyn Primeval Forest (Poland). *J. Environ. Radioactiv.*, **141**, 76-81 (2015).
- 7) A. V. Gulakov: Accumulation and distribution of <sup>137</sup>Cs and <sup>90</sup>Sr in the body of the wild boar (*Sus scrofa*) found on the territory with radioactive. *J. Environ. Radioactiv.*, **127**, 171-175 (2014).
- 8) U. Hohmann, D. Huckschlag: Investigations on the radiocaesium contamination of wild boar (*Sus scrofa*) meat in Rhineland-Palatinate: a stomach content analysis. *Eur. J. Wildl. Res.*, **51** (4), 263-270 (2005).
- 9) G., Steinhäuser, P. R. J., Saey: <sup>137</sup>Cs in the meat of wild boars: a comparison of the impacts of Chernobyl and Fukushima. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, **307**, 1801-1806 (2016).
- 10) F., Strebl, F. Tataruch: Time trends (1986–2003) of radiocesium transfer to roe deer and wild boar in two Austrian forest regions. *J. Environ. Radioactiv.*, **98**, 137-152 (2007).
- 11) 小寺 祐二, 武田 努, 平田 慶: 栃木県, 茨城県および福島県にまたがる八溝山地域に生息するイノシシの放射性セシウムによる汚染状況の評価. 哺乳類科学, **57** (1), 9-18 (2017).
- 12) 「野生鳥獣の放射線モニタリング調査結果」福島県 HP (<http://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/wildlife-radiationmonitoring1.html>) 2019 年 1 月閲覧.
- 13) 佐藤 悠, 小倉 振一郎, 吉原 佑, 玉手 英利: 福島原発事故後の避難による住民の減少が中山間地域におけるイノシシの農地利用に及ぼす影響. システム農学, **31** (2), 41-49 (2015).
- 14) Y. Kodaera: 128 *Sus scrofa* Linnaeus, 1758. In “The wild mammals of Japan”, Ed. by S. D. Ohdachi, Y. Ishibashi, M. A. Iwasa, D. Fukui, T. Saitoh. Shokadoh, Kyoto, pp.312-313 (2015).
- 15) 上田 弘則, 姜 兆文: 山梨県におけるイノシシの果樹園・放棄果樹園の利用. 哺乳類科学, **44** (1), 25-33 (2004).
- 16) 大東 - 伊藤 絵理子, 神崎 伸夫: 近・現代のニホンイノシシの個体群トレンド. 野生生物保護, **3** (2), 95-105 (1998).
- 17) 野元 加奈, 高橋 俊守, 小金澤 正昭, 福村 一成: 栃木県茂木町の水田と畑地におけるイノシシ被害地点と周辺環境特性. 哺乳類科学, **50**, 129-135 (2010).
- 18) 「全国の野生鳥獣による農作物被害状況について (平成 28 年)」農林水産省 HP ([http://www.maff.go.jp/j/seisan/tyozyu/higai/h\\_zyokyo2/h28/180119.html](http://www.maff.go.jp/j/seisan/tyozyu/higai/h_zyokyo2/h28/180119.html)), 2018 年 9 月閲覧.
- 19) 「野生鳥獣による農作物の被害状況について, 平成 28 年度の被害状況」(<https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/37200b/gaiju-top.html>), 2018 年 9 月閲覧.



- 20) K. Hirose: 2011 Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident: Summary of regional radioactive deposition monitoring results. *J. Environ. Radioactiv.*, **111**, 13–17 (2012)
- 21) S. Hashimoto, S. Ugawa, K. Nanko, K. Shichi: The total amounts of radioactively contaminated materials in forests in Fukushima, Japan. *Sci. Rep.*, **2**, e416 (2012), <https://doi.org/10.1038/srep00416>
- 22) K. Tanoi: Chapter 9 Wild Boars in Fukushima After the Nuclear Power Plant Accident: Distribution of Radiocesium. In “Agricultural Implications of the Fukushima Nuclear Accident”, Ed. by T. M. Nakanishi, K. Tanoi, Springer, Japan, pp.99-106 (2016).
- 23) 平田 滋樹: 第3章 5. イノシシ. 「野生動物管理のためのフィールド調査法 哺乳類の痕跡判定からデータ解析まで」, pp.68-78, 關 義和, 江成 広斗, 小寺 祐二, 辻 大和監修, 京都大学学術出版会, 京都 (2015).
- 24) 森田 猛: 付録 プタの整理と生産性データ集. 「プタの生理と生産性」, pp.75-97, 養豚界 (2010).
- 25) G. Steinhäuser, C. Knecht, W. Sipos: Fat tissue is not a reservoir for radiocesium in wild boars. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, **312**, 705-709 (2017).
- 26) 「福島県における放射性セシウムを含む捕獲イノシシの適正処理に関する技術資料について」 福島県 HP (<https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/298/guidelineboarddisposal.html>), 2018年12月閲覧.
- 2019年1月29日受付  
2019年6月10日受理  
(第7回研究発表会 座長推薦論文)

### 和 文 要 約

本研究では、捕獲駆除された放射性セシウムを含有するイノシシの円滑かつ適切な処理方法を検討する上で重要なイノシシ1頭に含まれる放射性セシウムの含有量を2つの調査法により検討した。体組織別調査により、同じ個体の筋肉及び臓器等に含まれる $^{137}\text{Cs}$ 濃度を比較した結果、多くの個体で筋肉中 $^{137}\text{Cs}$ 濃度が最も高かった。また、イノシシ1頭を焼却した際に発生する主灰及び飛灰の $^{137}\text{Cs}$ 濃度と回収量から、 $^{137}\text{Cs}$ 含有量を試算可能か検討した。焼却前の筋肉中 $^{137}\text{Cs}$ 濃度と主灰及び飛灰に含まれる $^{137}\text{Cs}$ 濃度について、いずれも正の関係が認められた。しかし、焼却前のイノシシの個体重量と飛灰回収量の間に関係性は認められず、放射性セシウム含有量を厳密に算出することは困難であった。イノシシ1頭に含まれる放射性セシウムの含有量の推定方法について、体組織別調査結果を踏まえると、筋肉中 $^{137}\text{Cs}$ 濃度にイノシシの重量を乗じて算出することで、概ね推定できる。またその推定値は、プタの各部位の重量割合に基づく算定法から得られた算定値の平均1.57倍であり、どの程度真値より大きい数値かの目安を示すことができた。

