

福島県二本松市東部で採取された野生動物 (数種の鳥類および哺乳類) の放射性セシウム蓄積

渡邊 泉*, 野村 あづみ, 増川 武志, 尾崎 宏和, 渡井 千絵,
林谷 秀樹, 五味 高志, 吉田 誠, 横山 正
東京農工大学 大学院 農学研究院 (〒183-8509 東京都府中市幸町 3-5-8)

Radioactive Cs Accumulations in Wildlife (Some Species of Birds and Mammals) Collected from Eastern Part of Nihonmatsu City, Fukushima Prefecture, Japan

Izumi WATANABE*, Azumi NOMURA, Takeshi MASUKAWA, Hirokazu OZAKI, Chie WATAI,
Hideki HAYASHIDANI, Takashi GOMI, Makoto YOSHIDA, and Tadashi YOKOYAMA
The Graduate School of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology
(3-5-8 Saiwai-cho, Fuchu, Tokyo 183-8509 Japan)

Summary

Radioactive Cs (^{134}Cs and ^{137}Cs) concentrations were measured in various organs and tissues of wild animals (Four species of mammals and 3 species of birds) collected from eastern part of Nihonmatsu City in Fukushima Prefecture, during 2011 to 2013. Muscular concentrations of radioactive Cs were higher than the other organs and tissues such as liver and kidney. However, the tissues which has important role such as brain and reproductive gland showed comparative concentrations of radioactive Cs. Decreasing trends of radioactive Cs in body of wildlife were observed from in April of 2011 to end of 2013. In the other hand, species inhabiting in forest tended to keep relatively high levels of radioactive Cs.

Concentrations of radioactive Cs in great cover of birds were higher than those in other parts of feather such as breast feathers. Clearly high concentrations were observed in vane of feather when comparing with those of shaft. These findings suggest that feather samples of birds are effective parts as indicator of exterior pollution of their habitat and also suggest that air pollution of radioactive Cs still continued during on 2012 and 2013. Relative higher concentrations of radioactive Cs were detected in the body of piglets than those of mother of Japanese wild boar and comparative concentrations were observed in the egg albumen and yolk of spot-billed duck. These were suggested that radioactive Cs can transfer to fetus and eggs from mother's body and pollution may continue through generations. Therefore, the continual monitoring using wildlife is require strongly for evaluation of ecological risks and human health.

Key Words: Species specific accumulation, Tissue distribution, Distribution in avian feather,
Monitoring of air pollution, Temporal trend

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震とそれに伴う津波は、東京電力福島第一原子力発電所の事故を引き起こし、とくに直後からのベント操作や爆発で、大量の放射性物質が大気中に放出された。この時の放射性物質は風向と降雨(降雪)による乾性沈着と湿生沈着によって、東北から関東地方を中心とした東日本に広大な土壌汚染をもたらした¹⁾。

大気に放出された放射性元素のなかでも、比較的半減期が長い放射性セシウム(とくに半減期が約30年の質量数137の同位体)は他種と比べ放出量が多く、長期にわたる影響を及ぼすことが懸念される。そのため、ヒトや農作物を含めた生物への蓄積状況など、生態影響の把握は重要である。原子力発電所事故が引き起こす健康影響への精確な評価が求められるが、鳥類や哺乳類など、野生の動物は、ヒトに比べ寿命が

*Corresponding author: TEL(FAX): 042-367-5736, E-mail: wataizumi@cc.tuat.ac.jp

短く、世代交代のサイクルが早くなり、また各種環境媒体(暴露経路)とも直接接触するといった特徴をもつ。それらの性質から、種による蓄積特性を考慮した解析は、放射性物質の生態リスク評価に有用な知見をもたらすと期待される。

1986年に起きたチェルノブイリ原子力発電所事故の場合も、東日本大震災と同様の大気を経由した陸上生態系の汚染が起き、野生生物の蓄積状況が報告されている²⁾。その結果、野生哺乳類の汚染レベルは食性によって異なり、また餌の変化などで顕著な季節変動を示すことなどが明らかとなった^{3,4)}。とくに大型哺乳類のイノシシ類は、放射性Csの経年減少が顕著でなく、その原因として放射性元素を濃縮しやすいキノコ類を嗜好することが指摘されている²⁾。

鳥類も、これまで大気汚染の有効な生物指標として、多くの報告がなされてきた^{5,6)}。とくに飛翔という独特の生態から、他の脊椎動物とは異なったレベルでの化学物質暴露を被ることが懸念され、環境毒性学的観点からもモニタリングが行われている⁷⁾。放射性物質による鳥類の環境毒性学的影響に関しては、チェルノブイリ事故のあと、ツバメ類の色素欠乏や奇形といった異常の発生率増加などが発見されている⁸⁾。

本報の調査地である福島県二本松市東部は、福島第一原子力発電所から約45 kmに位置しながら、市境でもある東と北に聳える山々が放射性プルームを遮ったことで、隣接する川俣町や飯館村にくらべ汚染のレベルは低い。しかし、鳥類は当然、市境を越えて移動する。この生態が、高レベル汚染地から放射性物質を再分配させる可能性も否定できない。また事故後、県内に営巣したサギ類のコロニーから周囲よりも高濃度の放射性セシウムが検出され⁹⁾、鳥類が新たなホット・スポットをつくりだす可能性も指摘されている。

本報は、福島県二本松市の東部で採取された野生の鳥類3種、哺乳類4種の組織器官における放射性セシウム分析を行い、体内分布や経年変動、さらに汚染の再分配や次世代汚染の可能性を検討した。

2. 試料と方法

試料は事故直後の2011年4月から約2年半が経過した2013年12月までに、福島県二本松市の東部で採取された野生哺乳類ニホンイノシシ *Sus scrofa* ($n=19$)、ハクビシン *Paguma larvata* ($n=5$)、ホンドタヌキ *Nyctereutes procyonoides viverrinus* ($n=2$) およびニホンアナグマ *Meles meles anakuma* ($n=1$)、野生鳥類カルガモ *Anas poecilorhyncha* ($n=5$)、キジ *Phasianus versicolor* ($n=3$) およびハシボソガラス *Corvus corone* ($n=3$) の組織器官を供した。ニホンイノシシ、ハクビシンおよび野生鳥類は有害鳥獣捕獲、ホンドタヌキとニホンアナグマは交通事故死個体から採取された。野生動物は解剖後、哺乳類からは大腿筋、心臓、肝臓、脾臓、腎臓、肺を摘出し、胃内容物も採取できる個体から採取した。鳥類からは胸筋、大腿筋、胃、心臓、肝臓、脾臓、膵臓、腎臓、

腸管、肺、気管、食道、脳、眼球、生殖器官(精巣・卵巣および卵)を摘出し、各消化管の内容物も別に取り出した。さらに鳥類は、羽を雨覆(大雨覆と中小雨覆、その背側と腹側の計4部位)、初列および次列風切羽、胸部の羽毛、尾羽の8部位に分けた。各種風切羽および尾羽は羽軸と羽弁にも分け、分析に供した。

生体試料は二次汚染を避けるためフッ素樹脂製のシートの上で細断後、90℃12時間で乾燥し、さらに粉化し均質化した。羽試料は非イオン性の界面活性剤(ポリオキシラウリルエーテル0.3%溶液)を用い30分間の超音波洗浄を2度行い、その後30分間、超純水による洗浄を行った。超音波洗浄後はアセトンおよび超純水ですすぎ、軟組織と同様の条件で乾燥後、ステンレス製のハサミを用いて細断した。組織によって、分析に充分な量が得られなかった場合、たとえば鳥類の脳や食道、眼球などは、数個体分をpoolし、分析に供した。

試料は100 ml容U-8容器に適量を分取し、パラフィルムで密封後、高純度ゲルマニウム半導体検出器(SEIKO-EG&G SEG-EMS GEM20-70, ORTEC)で γ 線核種を測定した。本報では陸上汚染における負荷の比率が高く半減期も比較的長い¹³⁷Csに注目して考察を行った。なお半減期が2.1年の¹³⁴Csレベルについて経時変化を検討した結果、理論的な半減期と一致した減少傾向が認められている。

3. 結果と考察

(1) 哺乳類の体内における放射性Csの組織器官分布

福島県二本松市東部で採取された4種の哺乳類における組織・器官の放射性セシウム濃度(¹³⁷Cs)をTable 1に示す。分析された全ての組織器官から¹³⁷Csは検出された。4種の哺乳類において、すべての種で放射性セシウムの高濃度は筋肉で認められた。セシウムは安定同位体および放射性同位体の両方において、筋肉に蓄積することが多くの動物で報告されている¹⁰⁻¹²⁾。つまり、同じ1族元素(アルカリ金属)であるカリウムの代謝経路を利用して体内に蓄積する¹³⁾ことが支持された。

4種ともに筋肉中の放射性セシウム濃度の平均値は、一般食品の基準値である100 Bq/kg(湿重あたり。以下FW)を超過し、イノシシは調査期間中の全検体で152 Bq/kg FWを超過した。4種の筋肉における放射性セシウムの濃度レベルはイノシシ>ハクビシン・タヌキ・アナグマの順で、他組織器官との比較では、濃度レベルのみで(統計的な有意差ではなく)、イノシシは筋肉>睾丸>腎臓>心臓>脾臓>肝臓>肺、ハクビシンは筋肉>腎臓>心臓>脾臓>肺>肝臓、タヌキは筋肉>肺>脾臓>心臓=肝臓>腎臓、アナグマでは筋肉>肝臓>腎臓>脾臓の順であった。

ここで、筋肉中の濃度レベルに比較的大きな個体差がみられたハクビシン(RSD=123%)に注目すると、種内において低濃度を示した検体(<101 Bq/kg FW:2012年7月採取)では筋肉以外の内臓組織間に差はみられにくく、中程度では肝

Table 1 ^{137}Cs concentrations (Average \pm SD, min.-max. and number of samples, on Bq/kg fresh weight) in various organs and tissues of wild mammals collected from eastern part of Nihonmatsu City, Fukushima during April of 2011 to December of 2013

Organs & tissues	Wild boar <i>Sus scrofa</i>	Masked palm civet <i>Paguma larvata</i>	Raccoon dog <i>Nyctereutes procyonoides v.</i>	Badger <i>Meles meles a.</i>
Muscle	605 \pm 534 152 - 2028 n = 18	364 \pm 446 101 - 1153 n = 5	220 96 - 343 n = 2	218 n = 1
Liver	204 \pm 146 45 - 501 n = 13	117 \pm 74 34 - 222 n = 5	116 42 - 190 n = 2	130 n = 1
Kidney	285 \pm 191 68 - 650 n = 12	154 \pm 181 47 - 475 n = 5	83 47 - 119 n = 2	112 n = 1
Spleen	182 \pm 157 48 - 410 n = 5	272 n = 1	121 45 - 197 n = 2	100 n = 1
Heart	283 \pm 188 74 - 436 n = 3	252 117 - 387 n = 2	117 n = 1	NA
Lungs	177 50 - 304 n = 2	173 78 - 268 n = 2	199 n = 1	NA
Testicle	394 \pm 228 142 - 586 n = 3	NA	NA	NA
Stomach contents	654 \pm 818 115 - 1595 n = 3	NA	2746 n = 1	NA

NA: not analyzed

臓に、高濃度の個体 (>1,000 Bq/kg FW:2012年8月採取) では腎臓に蓄積しやすい、つまりイノシシの体内分布と類いの傾向を示す結果であった。これは4種とも高濃度になるほど、イノシシが示した濃度分布へ近づき、低レベルでは内臓組織間に明確な差がなくなる傾向が推察された。ここで、“筋肉”として分析に供した骨格筋と同じ横紋筋でできている心臓は、いずれの種においても筋肉よりも濃度が著しく低かった。このことは、骨格筋と心筋で放射性セシウムの代謝(供給と蓄積、さらに放出のメカニズム)が異なることを示しているかもしれない。

イノシシにおいて、組織間の放射性セシウム濃度の相関を検討した結果、肝臓と腎臓 ($p < 0.01$, Spearman の順位相関検定)、脾臓と胃内容物で正の関係が明らかであった。このような結果は同じ福島第一原発事故後の八溝山系イノシシでも報告されており¹⁴⁾、放射性セシウムの蓄積が、体全体で同時

に起きるメカニズムを支持した。また、チェルノブイリ事故のあとのイノシシでは胃内容物と筋肉中の放射性セシウムの強い相関 ($p < 0.01$) も報告されている¹⁵⁾。本研究のイノシシ(筋肉の ^{137}Cs 濃度は448 Bq/kg FW:2012年9月採取)とタヌキ(筋肉の ^{137}Cs 濃度は343 Bq/kg FW:2012年6月採取)は胃内容物で1,000 Bq/kg FWを超過する高濃度が検出された。この結果は、イノシシとタヌキの餌に、高濃度で放射性セシウムを蓄積する生物が含まれる可能性を示している。

(2) 鳥類の体内における放射性 Cs の組織器官分布

事故から約1年が経過した2012年6月から約2年後の2013年6月までに、福島県二本松市東部で採取された野生鳥類の、羽を除いた体内組織・器官における ^{137}Cs 濃度を Table 2 に示す。卵殻を除いて、全ての組織器官から放射性

Table 2 ^{137}Cs concentrations (Average \pm SD, min.-max. and number of samples, on Bq/kg fresh weight) in various organs and tissues of wild birds collected from eastern part of Nihonmatsu City, Fukushima during April of 2012 to December of 2013

Organs & tissues	Spotbill duck <i>Anas poecilorhyncha</i>	Japanese pheasant <i>Phasianus versicolor</i>	Carrion crow <i>Corvus corone</i>
Breast muscle	43 \pm 19 11 - 63 n = 5	54 \pm 14 40 - 67 n = 3	183 \pm 114 56 - 276 n = 3
Femur muscle	37 \pm 23 11 - 65 n = 5	60 \pm 14 44 - 70 n = 3	125 \pm 64 54 - 180 n = 3
Stomach	39 \pm 3 35 - 43 n = 5	41 \pm 13 28 - 53 n = 3	106 \pm 90 45 - 210 n = 3
Heart	39 \pm 3 35 - 42 n = 5	28 \pm 16 13 - 44 n = 3	52 \pm 38 10 - 82 n = 3
Liver	42 \pm 4 38 - 48 n = 5	42 \pm 15 29 - 59 n = 3	62 \pm 58 10 - 124 n = 3
Kidney	26 \pm 12 17 - 39 n = 5	58 \pm 3 56 - 61 n = 3	60 \pm 40 14 - 87 n = 3
Intestine	21 3 - 39 n = 2	6 5 - 6 n = 2	69 n = 1
Lungs	63 \pm 35 42 - 115 n = 4	29 \pm 20 17 - 52 n = 3	54 \pm 31 25 - 87 n = 3
Brain	48* 47 - 48 n = 2	10 \pm 1 10 - 11 n = 3	43 n = 1
Trachea	NA	57 \pm 2 55 - 59 n = 3	NA
Esophagus	60* 58 - 61 n = 2	8 \pm 3 6 - 12 n = 3	NA
Eyeball	39* 39 - 39 n = 2	50 \pm 2 48 - 52 n = 3	41* 15 - 67 n = 2
Uterus	37 n = 1	NA	NA
Testis	40 35 - 45 n = 2	NA	NA
Ovary	38 n = 1	NA	NA
Crop content	NA	196 \pm 143 104 - 361 n = 3	NA
Stomach content	87 \pm 11 76 - 106 n = 5	96 \pm 66 43 - 170 n = 3	121 \pm 66 48 - 177 n = 3
Intestine content	172 \pm 218 23 - 558 n = 5	205 \pm 76 127 - 279 n = 3	232 n = 1

NA: not analyzed

*including pooled samples

セシウムは検出された。

分析された鳥類のなかで草食性が強いカルガモは、肺で 100 Bq/kg FW を超過する個体があったが（2012 年 6 月採取）、3 種の中で低い放射性セシウム濃度が検出された。いずれの個体も食道で比較的高い濃度の放射性セシウム濃度がみられた。2012 年に捕獲された個体では胸筋や大腿筋で高濃度がみられた。また 2012 年の個体に比べ 2013 年の個体の方が放射性セシウム濃度は低かった。濃度の低かった 2013 年の個体では腎臓や肝臓で、筋肉と同レベルの ^{137}Cs 濃度がみられた。このような傾向は、哺乳類でもうかがえ、放射性セシウムの蓄積レベルが低いときは、必ずしも蓄積部位とされる筋肉で高濃度になるのではなく、体内で均一の濃度レベルを示す傾向が一致した。

分析された 3 種のなかで、放射性セシウムレベルが中程度だったキジは、筋組織で比較的高い濃度がみられ、そのほか、眼球や腎臓で、肝臓を含む他組織に比べ高い濃度であった。とくに本種において大腿筋は胸筋よりも高値を示すという特徴がみとめられた。キジの生活空間は地上が多く、比較的歩行を得意とする。大腿筋で胸筋より高濃度を示したキジの特徴は、この運動性と関係していることが考えられた。微量元素であるセシウムは、一般に動物の体内で、多量に存在する必須元素カリウムの代謝経路にのって分布していると考えられている。また、動物体内でカリウムは細胞内液中に多量で存在し、とくに運動と関係した骨格筋に局在している¹⁶⁾。さらに、動物の細胞内における能動輸送のイオン選択性と、細胞外への受動輸送のイオン選択性において、後者の方がセシウムよりカリウムを選択する¹⁷⁾。つまり、細胞内でカリウムよりセシウムの方が滞留時間は長くなる。このことから、いったん骨格筋の細胞内に取込まれた放射性セシウムは、カリウムよりも生物学的半減期が長く、蓄積性に富む可能性が考えられた。

分析された 3 種の中で、ハシボソガラスの ^{137}Cs レベルは、最も高濃度であった。とくに、胸筋および大腿筋といった筋組織のレベルは、他組織器官にくらべ高かった。ハシボソガラスは、同地域において見かけることが多いハシブトガラスにくらべると、農地・森林に降りていることが多い。福島の子力発電所事故以降の研究によって、放射性セシウムは森林で高レベルが残留していることが明らかとなっており¹⁸⁾、鳥類の放射性セシウムレベルが生息環境に影響される可能性が考えられた。また、ハシボソガラスは 1 検体で脳における放射性セシウム濃度が分析された。そのレベルは、キジよりも高かったが、カルガモと同レベルであった。つまり、脳における放射性セシウム濃度は、筋肉にくらべ食性など生態に直接影響される可能性は低いと考えられた。しかし、本研究の結果は、(5)で考察する次世代汚染と同様に、一般の毒性物質でおきる血液-脳関門や、血液-胎盤関門が放射性セシウムでは機能せず、血液によって脳にも運ばれる可能性を示している。

また、本研究で分析された鳥類は、いずれも胃内容物より

も腸内容物で、体内よりも高いレベルの放射性セシウムがみられた。その濃度は乾重あたりで 1,000 Bq/kg を超過し、糞が環境中で乾燥状態におかれやすいことを考慮すれば、糞の集積する場所にホット・スポットが形成される可能性を示している。このことは、野生動物の生態が予期せぬ汚染の再分配を引き起こすことを示唆しており、各種の生態に考慮したモニタリングが求められよう。

(3) 鳥類の羽における放射性 Cs の分布と 大気汚染モニタリングの可能性

3 種の野生鳥類の羽における各部位の ^{137}Cs 濃度を Table 3 に示す。軟組織と異なり、カルガモにおいて羽毛と風切羽および尾羽の羽軸で検出限界の個体が 1 検体みられた。

鳥類の羽は、非捕殺的に採取できること、長期の保存が可能なこと、また水銀など特定の汚染物質を高濃度で濃縮する特徴から、これまで環境モニタリングの有効な指標部位として用いられてきた¹⁹⁾。一方で、鳥類に特徴的な体組織である羽は、近年、化学物質の分析において幾つかの留意点が指摘されている。つまり体表を覆い、飛翔を担う羽は、その種類（ダウンやフェザー）や部位によって蓄積の評価を峻別しておこなう必要があり、とくに羽軸とともにフェザーを構成する羽弁は、複雑な構造を有していることから、吸着を考慮する必要が指摘されている²⁰⁾。このことは、羽を細かく分けて評価することで、体内汚染のモニターだけでなく、体外、とくに大気汚染を有効に反映するとも捉えられる。我々の先行研究においても、さまざまな起源をもつ重金属類の評価で、体内由来の水銀・セレンや、大気由来の汚染物質および地殻を構成する元素などが、羽弁と羽軸の濃度比で明確に分けられることが示されている (Fig. 1)。

以上の羽に関する議論²⁰⁾を踏まえ、本研究でも羽を 8 部位にわけ、とくに分析量が得られやすい風切羽および尾羽に関しては羽弁と羽軸に分け、放射性セシウムの分布を検討した。その結果、表面積の大きな羽弁において羽軸より高い濃度が検出され、羽における外部由来の汚染の存在が推察された。8 部位を比較すると、採取時期や場所にも関係すると考えられたばらつきもみられたが、多くの個体で大雨覆（腹部・背部とも）で高濃度を示した。また、初列および次列風切羽も、大気と接触しにくい中小雨覆や各種羽毛（胸部・尾部）に比べ濃度が高くなる傾向がみられた。 ^{137}Cs を高濃度で蓄積する大雨覆を用いた 3 種の比較では、ハシボソガラスで明らかに高く、ついで地上を歩くキジ、ついで水上に浮かぶカルガモの順であった。

以上の結果は、2012 年および 2013 年の大気中における放射性セシウムの存在を示唆している。2011 年 3 月に大気を経由して放出された放射性セシウムは、土壌粒子と速やかに吸着することで表層土壌に蓄積し、その結合が強いいため再溶出する可能性も低いと考えられている²¹⁾。本研究で羽試料は、

Table 3 ^{137}Cs concentrations (Average \pm SD, min.-max. and number of samples, on Bq/kg dry weight) in various feather parts of wild birds collected from eastern part of Nihonmatsu City, Fukushima during April of 2012 to December of 2013

Parts of feather	Spotbill duck <i>Anas poecilorhyncha</i>	Japanese pheasant <i>Phasianus versicolor</i>	Carrion crow <i>Corvus corone</i>
Dorsal greater covert	342 40 - 644 n = 2	52 \pm 40 6 - 83 n = 3	2026 \pm 1890 137 - 3917 n = 3
Ventral greater covert	22 15 - 28 n = 2	84 \pm 52 24 - 116 n = 3	594 \pm 421 139 - 970 n = 3
(Ratio of dorsal/ventral covert)	(16)	(0.6)	(3.4)
Dorsal middle and lesser covert	30 28 - 32 n = 2	34 \pm 13 20 - 47 n = 3	547 \pm 150 381 - 672 n = 3
Ventral middle and lesser covert	4 3 - 5 n = 2	19 \pm 19 7 - 42 n = 3	570 \pm 625 73 - 1272 n = 3
(Ratio of dorsal/ventral covert)	(8.3)	(1.7)	(1.0)
Breast feather	19 \pm 17 1 - 43 n = 5	61 \pm 11 49 - 68 n = 3	795 \pm 747 131 - 1603 n = 3
Vane of primary feather	9 2 - 17 n = 2	64 \pm 31 45 - 100 n = 3	1466 \pm 1281 240 - 2796 n = 3
Shaft of primary feather	1 ND - 2 n = 1	3 1 - 6 n = 2	93 \pm 124 6 - 235 n = 3
(Ratio of vane/shaft)	(11)	(18)	(16)
Vane of secondary feather	18 15 - 20 n = 2	62 \pm 51 25 - 121 n = 3	1327 \pm 1133 221 - 2486 n = 3
Shaft of secondary feather	11 1 - 22 n = 2	8 \pm 7 1 - 15 n = 3	70 \pm 37 29 - 101 n = 3
(Ratio of vane/shaft)	(1.6)	(8.2)	(19)
Vane of tail feather	15 8 - 22 n = 2	497 44 - 950 n = 2	2220 \pm 361 1983 - 2635 n = 3
Shaft of tail feather	48 ND - 96 n = 1	46 n = 1	168 \pm 167 63 - 361 n = 3
(Ratio of vane/shaft)	(0.3)	(11)	(13)

ND: below the detection limit

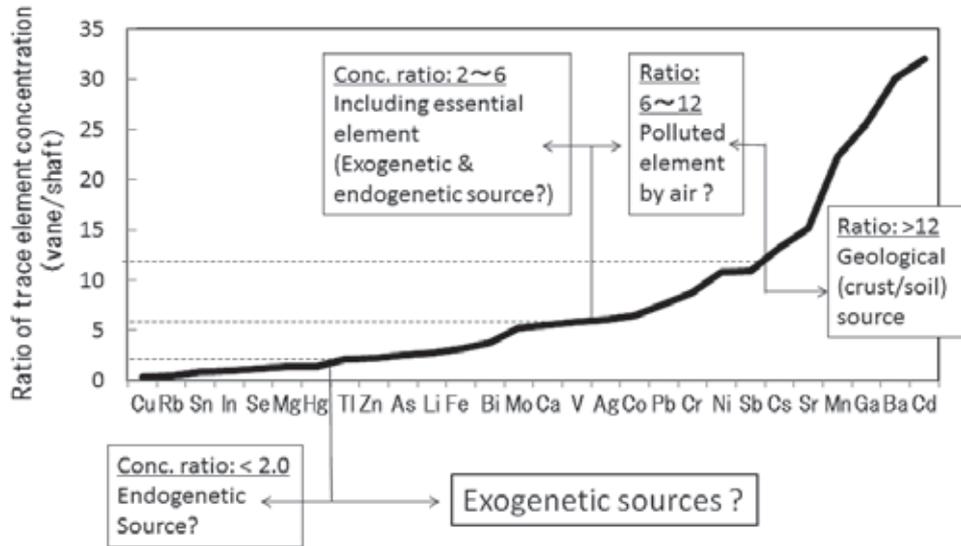


Fig. 1 Concentration ratio (vane/shaft) of trace elements in the feather of wild birds (4 species of raptors: black kite, sparrow hawk, peregrine and Ural owl) collected from Tokyo in 2011 (data from Watanabe and Azuma, unpublished data) and their suspected sources.

土壌粒子の付着といった物理的な汚れをある程度除去する洗浄法を採用しており、土壌粒子の再飛散による直接的な影響は回避できていると考えられる。2014年7月に、福島第一原発から50 km以上離れた南相馬市や宮城県南部に、2012年から2013年も放射性セシウムが飛散していたことが報道された²²⁾。鳥類の羽における放射性セシウムも、2012年以降の大気汚染を反映している可能性が考えられ、今後は化学形態を含めたモニタリングが重要となろう。

(4) イノシシの筋肉組織を用いた2011年から2013年までの経時変化

本研究で比較的個体数が多く採取できたイノシシの筋肉における放射性セシウムのレベルと捕獲時期の検討を試みた。その結果、2011年4月30日から2013年夏期にかけて、¹³⁷Csの濃度が減少している傾向が認められた (Fig. 2)。2011年から2013年までの年平均レベルは、2011年 (1,430 Bq/kg FW) から1年間で¹³⁷Cs濃度は6割以上が減少し、その後、2012年 (542 Bq/kg FW) から2013年 (212 Bq/kg FW) に

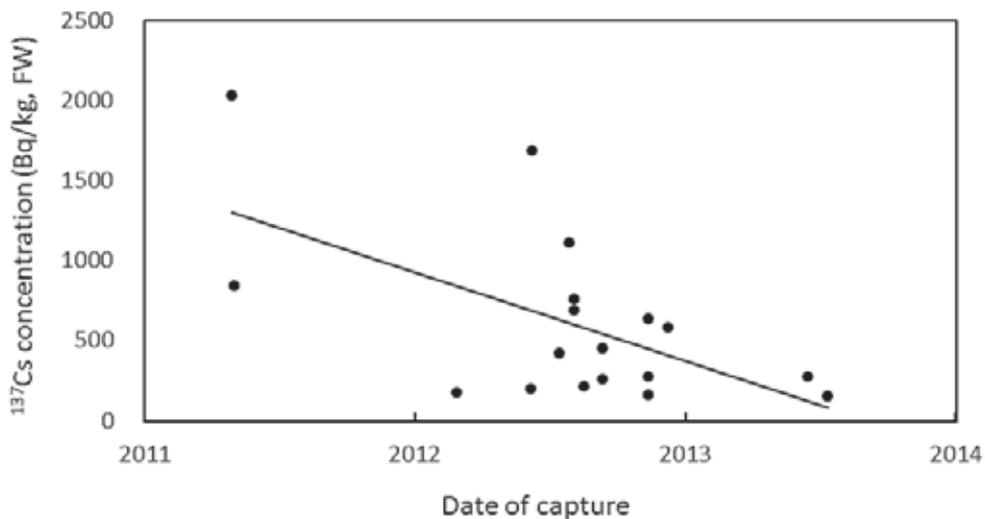


Fig. 2 Time trend of ¹³⁷Cs concentration in the muscle of Japanese wild bores *Sus scrofa leucomystax* captured from eastern part of Nihonmatsu City, Fukushima, Japan.

Table 4 ^{137}Cs concentrations (Average \pm SD, min.-max. and number of samples, on Bq/kg fresh weight) in various organs and tissues of Japanese wild boar *Sus scrofa* (mother and piglet) collected from eastern part of Nihonmatsu City, Fukushima on 2012

Mother/piglet	Capture date	Muscle	Liver	Kidney	Spleen	Stomach contents
Mother	5th Aug. in 2012	692	211	293	NA	NA
Piglet		761	383	608	410	NA
Ratio (piglet/mother)		1.1	1.8	2.1		

Mother	12nd Sep. in 2012	257	85	NA	75	NA
Piglet		448	129	170	NA	1595
Ratio (piglet/mother)		1.7	1.5			

NA: not analyzed

かけて同程度の割合で減少した計算となる。2011年3月に放出された ^{137}Cs レベルは、崩壊によって減衰した場合、約94%が存在するため、イノシシ筋肉における減少を説明できない。

チェルノブイリ原発事故では、土壤に負荷された ^{137}Cs の哺乳類への移行は、数年間でいちじるしく減少した。その原因として、土壤粒子に吸着した ^{137}Cs が植物へ移行しにくくなった、つまり餌生物への汚染軽減が指摘されている^{2,4)}。一方、チェルノブイリのケースで、野生哺乳類の中でイノシシのみ顕著な濃度減少がみられず、その原因として放射性元素を高濃縮したキノコ類を多く摂取する餌嗜好性が考えられている。福島原子力発電所事故においても、2011年の3月に大気を経由して土壤に負荷された放射性セシウムは土壤粒子と強く結合していることが報告され²¹⁾、植物への移行は減少していくことが予想される。本研究でうかがえたイノシシの濃度減少は、日本に棲息するイノシシが、あまりキノコに偏らない食性であることが影響していると考えられた。しかし、チェルノブイリのケースでは一方で、事故後4年目以降、哺乳類の放射能濃度が減少しなかったという報告もあり²⁾、日本における野生動物のモニタリングも継続の必要性が高い。

(5) 次世代への汚染の可能性

本研究で分析に供した試料の中で、野生鳥類のカルガモは2012年に卵を、2013年には生殖器(精巣および卵巣)の発達した個体が採取された。そこで、卵を卵黄、卵白および卵殻にわけ、また親体内の精巣および卵巣も放射性セシウム分析に供した。その結果、卵殻以外から放射性セシウムが検出され、放射性セシウムの次世代汚染が起きている可能性が示唆された。細かくみると、2013年の生殖腺(精巣:35 Bq/kg FW)において、2012年の個体(45 Bq/kg FW)よりも低くなっており、汚染の暫減もうかがえ、また、同年の同時期に捕獲された雌雄の生殖腺(卵巣:38 Bq/kg FW)に、明らかな濃度差はみられなかった。ここで、母体の卵巣と卵(卵黄・卵白ともに:37 Bq/kg FW)濃度はほぼ等しかったが、筋肉(胸筋・大腿筋ともに11 Bq/kg FW)よりは高濃縮していた。

哺乳類においては、イノシシで母子のペアが2組分析された。夏期に採取された幼獣は“ウリ坊”と呼ばれる生後5か月までの縦縞模様が明らかであった。いずれのペアにおいても幼獣の筋肉および肝臓、腎臓における放射性セシウム濃度は、母親のそれを上回っていた(Table 4)。一般に、イノシシの幼獣は母親とともに行動し、授乳期は生後6-8週という報告がある²³⁾。2頭のイノシシ幼獣でみられた高濃度は、放射性セシウムの母子間移行以外に、この時期の特異な摂餌、もしくは代謝が影響していた可能性も推察された。哺乳類も鳥類と同様、発生初期から幼獣といった細胞分裂の活発な成長期に化学物質の影響を受けやすいため、今後の幼獣・幼鳥の詳細なモニタリングが求められよう。

謝 辞

研究の遂行に際しまして、NPO法人ゆうきの里東和ふるさとづくり協議会の皆様には多大なご協力を賜りました。心より感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 大原 利眞、森野 悠、田中 敦: 福島第一原子力発電所から放出された放射性物質の大気中の挙動。保健医療科学、**60**, 292-299 (2011)
- 2) P. Kiefer, G. Prohl, H. Muller, G. Lindner, J. Drissner, G. Zibold: Factors affecting the transfer of radiocaesium from soil to roe deer in forest ecosystems of southern Germany. *Sci. Total Environ.*, **192**, 49-61 (1996)
- 3) 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 (2014)
- 4) T. Semizhon, V. Putyrskaya, G. Zibold, E. Klemt: Time-dependency of the ^{137}Cs contamination of wild boar from a region in southern Germany in the years

- 1998 to 2008: *J. Environ. Radioactiv.*, **100**, 988-992 (2009)
- 5) J. Burger, M. Gochfeld: Marine birds as sentinels of environmental pollution. *Ecobhealth*, **1**, 263-274 (2004)
- 6) R. F. N. Rothschild, L. K. Duffy: Mercury concentrations in muscle, brain and bone of western Alaskan waterfowl. *Sci. Total Environ.*, **349**, 277-283 (2008)
- 7) M. Pérez-López, M. H. Mendoza, A. L. Beceiro, F. S. Rodríguez: Heavy metal (Cd, Pb, Zn) and metalloid (As) content in raptor species from Galicia (New Spain). *Ecotoxicol. Environ. Safety*, **70**, 154-162 (2008)
- 8) A. P. Møller, T. A. Mousseau: Biological consequences of Chernobyl: 20 years on. *Trends Ecol. Evol.*, **21**, 200-207 (2006)
- 9) 「放射性物質の野鳥への影響調査 (おもに水鳥)」日本野鳥の会 HP (http://www.wbsj.org/activity/conservation/research-study/radioactivity/measure_fukushima/)、2014年11月閲覧
- 10) 渡邊 泉、四宮 基彦、國頭 恭、田辺 信介、窪寺 恒己: 駿河湾および東北沖で採取された深海生魚介類の微量元素蓄積。地球化学, **36**, 179-189 (2002)
- 11) 渡邊 泉、寶来 佐和子、新井 雄介、久野 勝治、林 光武、谷地森 秀二、國頭 恭、田辺 信介: 2000年に栃木県で大量死したムクドリ *Sturnus cineraceus* の微量元素蓄積。環境科学会誌, **16**, 317-328 (2003)
- 12) K. Sasaki, M. Hayashi, T. Narita, M. Motoyama, M. Oe, K. Ojima, I. Nakajima, S. Muroya, K. Chikuni, K. Aikawa, Y. Ide, N. Nakanishi, N. Suzuki, S. Sshioya, A. Takenaka: Radiocesium distribution in the tissues of Japanese black beef heifers fed fallout-contaminated roughage due to the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident. *Biosci. Biotech. Biochem.*, **76**, 1596-1599 (2012)
- 13) A. S. Relman, A. T. Lambie, B. A. Burrows, A. M. Roy: Cation accumulation by muscle tissue: The displacement of potassium by rubidium and cesium in the living animal. *J. Clin. Invest.*, **36**, 1249-1256 (1957)
- 14) 小寺 祐二、竹田 努: 原発事故によるイノシシへの影響。畜産の研究, **67**, 17-21, (2013)
- 15) U. Hohmann, D. Huckschlag: Investigations on the radiocesium contamination of wild boar (*Sus scrofa*) meat in Rhineland-Palatinate: A stomach content analysis. *Europ. J. Wildlife Res.*, **51**, 263-270 (2005).
- 16) 鈴木 一由: 生産動物臨床のための輸液療法-カリウム輸液剤-。獣医輸液研究会会誌, **8**, 1-5 (2008)
- 17) R. A. Leggett, L. R. Williams, D. R. Mero, J. L. Lipsztein: A physiologically based biokinetic model for cesium in the human body. *Sci. Total Environ.*, **317**, 235-255 (2003)
- 18) S. Ueda, H. Hasegawa, H. Kakiuchi, N. Akata, Y. Ohtsuka, S. Hosamatsu: Fluvial discharges of radiocesium from watersheds contaminated by the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident, Japan. *J. Environ. Radioact.*, **118**, 96-104 (2013)
- 19) J. Burger: Metals in avian feathers: Bioindicators of environmental pollution. *Rev. Environ. Toxicol.*, **5**, 203-311 (1993)
- 20) A. Martinez, D. Crespo, J. A. Fernandez, J. R. Aboal, A. Carballeira: Selection of flight feather from *Buteo buteo* and *Accipiter gentilis* for use in biomonitoring heavy metal contamination. *Sci. Total Environ.*, **425**, 254-261 (2012)
- 21) 斎藤 勝裕: 「東日本大震災後の放射性物質汚染対策-放射線の基礎から環境影響評価、除染技術とその取り組み」、pp.324、エヌ・ティー・エス、東京 (2012)
- 22) 朝日新聞社: 2014年7月14日付、同16日付、同31日付いずれも朝刊
- 23) F. Spitz: General model of the spatial and social organization of the wild boars (*Sus scrofa* L.). In "Ongulés/Ungulates 91", Ed. by F. Spitz, G. Janeau, G. Gonzalez and S. Aulagnier, S.F.E.P.M. -I.R.G.M., Paris-Toulouse, pp. 419-421 (1992)

2014年9月8日受付

2014年11月17日受理

和文要約

2011～2013年に福島県二本松市東部で採取された野生動物(哺乳類4種、鳥類3種)の組織器官における放射性セシウム濃度を分析した。体内分布では、安定セシウムと同様に筋肉組織で蓄積する傾向がみられ、高濃度で蓄積した個体ほど顕著であった。また脳や生殖腺など各種関門で守られている組織にも放射性セシウムの蓄積がみられた。イノシシやカルガモを用いて2013年までの経時変化を検討した結果、本地域の野生動物における放射性セシウムは減少傾向にあることが示唆された。鳥類の羽で

は大雨覆や羽弁に高濃度がみられ、放射性セシウムの大気汚染が反映されていた可能性が示された。イノシシ幼獣や鳥類の卵に、母親と同レベルかそれ以上の放射性セシウムが検出された。

原発事故発生から2-3年目となった調査時期には、ヒトへの影響理解が不十分であるが、世代交代の早い野生動物の調査は、有効な知見をもたらすと期待される。また、本研究で示唆された大気汚染や次世代汚染など、生態系の汚染把握も重要といえ、継続的なモニタリングが必要であろう。

