森林立地55(2), 99～104 2013
Jpn J For Environ 55 (2), 99–104, 2013

栃木県奥日光および足尾地域のニホンジカにおける放射性セシウムの体内蓄積，2012年

小金澤正昭[1,*]・田 村 宜 格[2]・奥 田　 圭[3]・福井えみ子[4]
[1]宇都宮大学農学部附属演習林・[2]宇都宮大学大学院農学研究科・
[3]宇都宮大学農学部附属里山科学センター・[4]宇都宮大学農学部

2011年３月に起きた東京電力福島第一原子力発電所の爆発事故は，広範な地域に放射性核種を飛散させ，原発から約160 km離れた栃木県奥日光および足尾地域においても低線量ではあるが，放射性セシウムの飛散が確認された。そこで，今後，森林生態系における放射性セシウムの動態と野生動物に及ぼす影響を明らかにしていく上での基礎資料を得るため，両地域において2012年の２月と３月に個体数調整で捕獲された計80個体のニホンジカの筋肉，臓器類および消化管内容物等の計９試料と，各地域における冬季のシカの餌植物8種の放射性セシウム濃度を調べた。９試料のセシウム濃度は，両地域ともに直腸内容物が最も高く，次いで第一胃内容物，筋肉，腎臓，肝臓，心臓，肺，胎児，羊水の順となっていた。このことから，放射性セシウムは，シカの体内全体に蓄積していることが明らかとなった。また，奥日光と足尾における放射性セシウムのシカへの蓄積傾向には，明瞭な差異が認められた。これは，両地域における放射性セシウムの沈着量と冬季の餌資源の違いが反映した結果と考えられた。さらに，直腸内容物の放射性セシウム濃度は，第一胃内容物および餌植物８種よりも高濃度であった。このことから，シカは採食，消化，吸収を通じて，放射性セシウムの濃縮を招いていることが示唆された。
キーワード：生物濃縮，体内蓄積，ニホンジカ，福島第一原子力発電所事故，放射性セシウム

Masaaki Koganezawa, Yoshitada Tamura, Kei Okuda and Emiko Fukui：Radioactive cesium accumulation in the body of sika deer inhabiting the Oku-Nikko and Ashio regions of Tochigi prefecture in 2012. Japanese Journal of Forest Environment 55:99–104, 2013.

In 2011, radioactive cesium (^{134}Cs + ^{137}Cs) fallout after the Fukushima nuclear accident reached 10,000–30,000 $Bq \cdot m^{-2}$ and 30,000–60,000 $Bq \cdot m^{-2}$, respectively, in Oku-Nikko and Ashio located 160 km southwest of the Fukushima nuclear power plant in Central Japan. To obtain basic data in elucidating the dynamics of radioactive cesium in the forest ecosystem and its impacts on wildlife in the future, we investigated radioactive cesium concentrations in a total of nine sample categories, including muscles, organs, and gastrointestinal contents obtained from 80 sika deers (*Cervus nippon*) captured from the Oku-Nikko and Ashio during February and March 2012. We also examined radioactive cesium concentrations in eight food plants consumed by the deer in these regions during the winter period. The investigation revealed that radioactive cesium concentration was highest in the rectal contents in samples from both regions, followed by ruminal contents, muscles, kidneys, liver, heart, lungs, fetus, and amniotic fluids. This elucidated that radioactive cesium was accumulated in the entire body of the deer. Moreover, a prominent difference was found in the radioactive cesium accumulation trend between the deer in the Oku-Nikko and Ashio. We believe this was caused due to variations in the precipitation amount of radioactive cesium and winter food sources in these regions. Additionally, for both regions, radioactive cesium concentration in the rectal contents was higher than that in the ruminal contents and the eight food plants. This suggests that sika deer plays a key role in transferring radioactive cesium through food intake, digestion, and absorption.
Key words : accumulation, bioconcentration, Fukushima nuclear accident, radioactive cesium, sika deer

１．はじめに

2011年３月に起きた東京電力福島第一原子力発電所の原子炉爆発事故により，広範な地域に放射性核種が降下した(Kinoshita *et al*., 2011)。人工放射性核種による環境負荷に関する研究は，核実験が頻発した1950～1960年代から発展し，生態系における放射性核種の分布や循環，生物への影響などが検討されてきた。しかしながら，従来の研究は人体への影響の解明に主眼が置かれ，ヒト以外の生態系に対する影響評価については，近年になってからその必要性および緊急性が指摘され始めたばかりである(村松ら，2003)。そのため，生態系への影響を評価するための基礎資料は世界的にも不足しているのが現状であり，今回起きた東電原発事故による放射能汚染に伴う生態系への影響評価を早急に取り組む必要性がある。

そこで本研究では，今後，森林生態系における放射性セシウム(以下，Cs)の動態と野生動物に及ぼす影響を明らかにしていく上での基礎資料を得るため，栃木県奥日光および足尾におけるニホンジカ*Cervus nippon*(以下，シカ)の筋肉，心臓，肝臓，肺，腎臓，羊水，胎児の筋肉，第一胃内容物およ

＊　連絡・別刷請求先(Corresponding Author)：〒329–2441　栃木県塩谷郡塩谷町船生7556：7556 Funyu, Shioya-machi, Shioya-gun, Tochigi, 329–2441, Japan
E-mail：masaakik@cc.utsunomiya-u.ac.jp
1　Utsunomiya University Forests, Faculty of Agriculture, Utsunomiya University
2　Graduate School of Agriculture, Utsunomiya University
3　Satoyama Science Research Center, Faculty of Agriculture, Utsunomiya University
4　Faculty of Agriculture, Utsunomiya University

(2013年８月９日受付，2013年10月２日受理)

び直腸内容物の９項目の試料と，餌植物８種のCs濃度を測定したので報告する。

２．試料および方法

2.1　試　　料

本報告の試料とした個体は，2012年２月および３月に栃木県の北西部に位置する奥日光および足尾(図-1)において実施されたシカの個体数調整により捕殺された80個体(奥日光：41個体；足尾：39個体)である。これらの試料個体の捕殺日および頭数は，奥日光は2012年２月14日に27頭，２月21日に14頭，足尾は2012年３月11日に39頭である。試料個体の性年齢区分別の内訳は，奥日光がメスの成獣24頭，亜成獣２頭，幼獣５頭，オスの成獣５頭，亜成獣２頭，幼獣３頭，足尾がメスの成獣21頭，亜成獣１頭，幼獣４頭，オスの成獣８頭，亜成獣１頭，幼獣４頭であった。そして，これらの試料個体から筋肉(奥日光：大腿部および腰部の筋；足尾：頚部の筋)，心臓，肝臓，肺，腎臓(奥日光でのみ採取)，羊水，胎児の筋肉(右上肢上腕部の筋)，第一胃内容物および直腸内容物の計９項目の試料を採取した。ただし，全試料個体から９項目すべての試料を採取することはできなかった。

2.2　試料個体の生息地域の概要

本報告の試料個体を捕獲した奥日光および足尾は，ともに福島原発の南西約160 kmに位置しており，2011年11月５日時点における^{134}Csと^{137}Csの合計沈着量は，奥日光地域が10-30 kBq/m^2，足尾地域が30-60 kBq/m^{2}となっている(文部科学省，2013)(図-1)。奥日光地域の植生は，ミズナラ*Quercus crispula*やブナ*Fugus crenata*，ハルニレ*Ulmus davidiana* var. *japonica*などの落葉広葉樹とウラジロモミ*Abies homolepis*の針広混交林が主体であり，一部，カラマツ*Larix kaempferi*造林地によって構成されている。林床は，近年のシカの個体数増加により矮小化したミヤコザサ*Sasa nipponica*と，シロヨメナ*Aster ageratoides* subsp. *leiophyllus*などのシカの不嗜好性植物によって被覆されている。足尾地域の植生は，治山緑化のために植栽されたリョウブ*Clethra barvinervis*やヤシャブシ*Alnus firma*，クロマツ*Pinus thunbergii*が主体となっており，林床は，ヒメノガリヤス*Calamagrostis hakonensis*やヘビノネゴザ*Athyrium yokoscense*，ススキ*Miscanthus sinensis*，イタドリ*Reynoutria japonica*などによって被覆されている(栃木県教育委員会・宇都宮大学農学部附属演習林，1996)。

2.3　測定方法

試料個体から採取した９項目の試料のCsの蓄積状況を把握するため，NaI(TI)ウェル型シンチレーション式γ-カウンター(AccuFLEX γ-7001，日立アロカメディカル株式会社，三鷹市)を用いて，９項目の生試料のCsの放射線測定を行なった。そして，測定結果を^{134}Csと^{137}Csのベクレル値に換算し，これを合算して生試料の重量で割り戻してCs濃度(Bq/kg FW)とした。なお，測定時間は10分，測定回数は３回，標準計数効率は40％に設定し，試料容器は20 mlバイアルを用いた。また，奥日光および足尾の各地域において冬季のシカが餌資源とする植物部位(奥日光：ミヤコザサの葉；ハルニレの枝先；カラマツの枝先；ミズナラの落葉；足尾：ススキの越冬葉；コナラ*Q. serrata*の落葉；リョウブの枝先；アキグミ*Elaeagnus umbellata*の枝先(瀬戸隆之，未発表)(以下，餌植物)についても，風乾(80℃，24時間)後，同様の方法を用いてCs濃度(Bq/kg DW)を算出した。餌植物の採取は，奥日光では2012年４月30日，足尾では2012年４月18日に行なった。なお，第一胃内容物および直腸内容物についても，これらの餌植物とのCs濃度を比較するため，風乾後のCs濃度を算出した。

本測定におけるバックグラウンド値は25 Bq/kgであった。また，測定値は，検出限界未満(35 Bq/kg未満)，検出限界(35 Bq/kg以上～70 Bq/kg未満)および検出限界以上(70 Bq/kg以上)に分けて記録した。なお，検出限界未満とは，測定器の性能上，測定された値からではCsの量を判断できない値のことを示す。ただし，本報告では，試料数を確保す

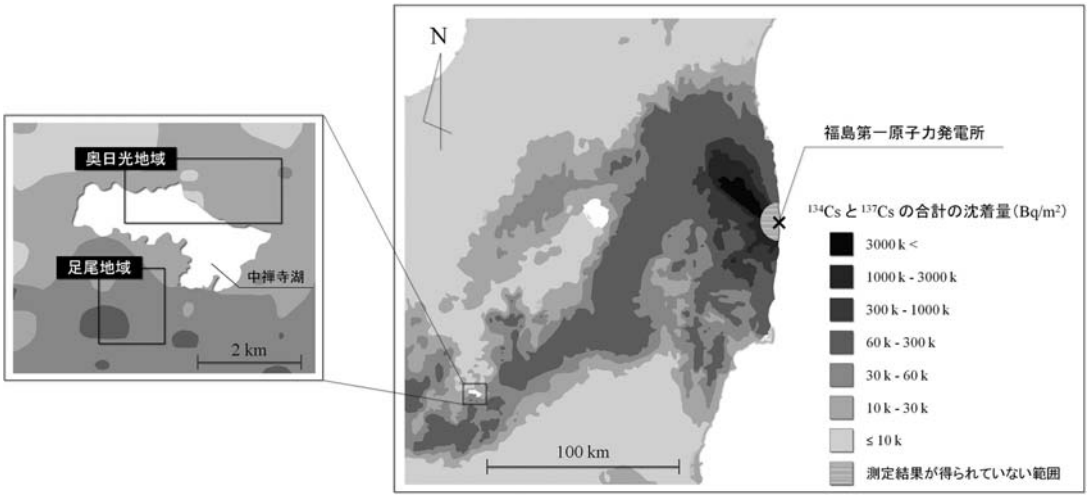


図-1　試料のサンプリング場所と2011年11月５日時点における放射性セシウムの沈着量の分布
文部科学省(2013)の図を改編。

るため，検出限界未満の値を示した試料についても解析に用いた。

2.4　解析方法

９項目の試料間のCs濃度の差異を把握するため，地域毎に各試料のCs濃度をSteel-Dwass法による多重比較検定を用いて比較した。また，奥日光および足尾におけるシカのCsの蓄積状況に地域差があるのか検討するため，両地域における各試料のCs濃度をStudentのt検定またはWelchのt検定，Mann-WhitneyのU検定を用いて比較した。さらに，各地域において心臓，肝臓，肺，第一胃内容物および直腸内容物のCs濃度のデータがすべて揃っている試料個体のみのデータを用いて，Bray-Curtis類似度指数行列に基づく非計量多次元尺度法（以下，nMDS：Non-metric Multi-dimensional Scaling）および類似度行列分析（以下，ANOSIM：Analysis of Similarities）を行なった。なお，本報告では，得られた試料個体が少なかったため，性および年齢に関わらず，すべてをまとめて解析を行なった。

以上の解析には，R 3.0.1（R Development Core Team 2013）を使用し，有意水準は５％とした。

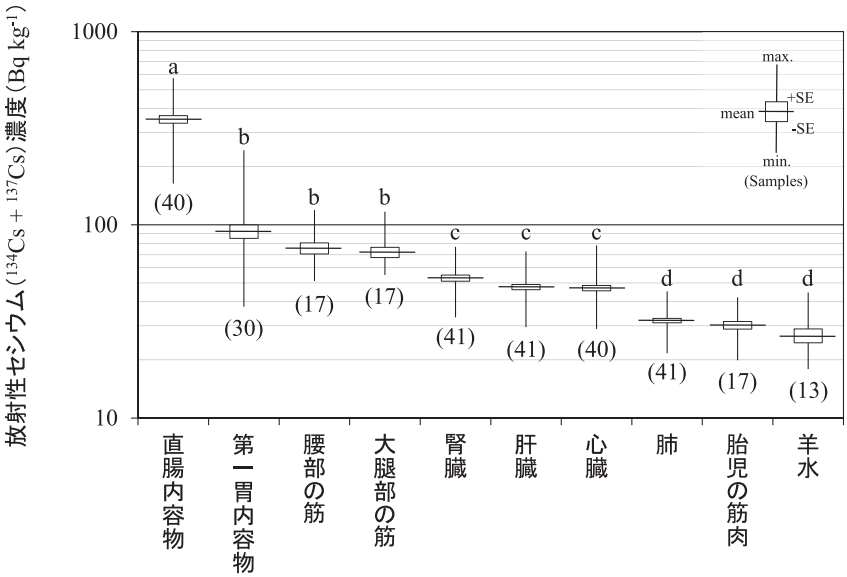
３．結　　果

3.1　シカにおけるCsの体内蓄積

９項目の試料のCs濃度を測定した結果，両地域ともに直腸内容物が最も高濃度であり，次いで第一胃内容物，筋肉，腎臓，肝臓，心臓，肺，胎児の筋肉，羊水の順となっていた（図–2，3）。

奥日光における直腸内容物のCs濃度は，すべての試料が検出限界以上（70 Bq/kg以上）の値を示し，平均351.4 Bq/kg FW　（SE = 15.9，n = 40）であった。第一胃内容物は，73％が検出限界以上（70 Bq/kg以上），27％が検出限界（35 Bq/kg以上～70 Bq/kg未満）の値を示し，平均92.5 Bq/kg FW（SE = 7.4，n = 30）であった。腰部の筋は，47％が検出限界以上，53％が検出限界の値を示し，平均74.7 Bq/kg FW（SE = 4.8，n = 17）であった。大腿部の筋は，35％が検出限界以上，65％が検出限界の値を示し，平均71.2 Bq/kg FW（SE = 4.2，n = 17）であった。なお，腰部および大腿部の筋のCs濃度には有意差は認められず（Mann-Whitney's　U-test，U = 164，P = 0.50），かつ，有意な正の相関が認められた（Spearman's rank correlation test, r_s = 0.62，P = 0.02）。腎臓は，12％が検出限界以上，83％が検出限界，5％が検出限界未満（35 Bq/kg未満）の値を示し，平均53.0 Bq/kg FW（SE = 1.9，n = 41）であった。肝臓は，２％が検出限界以上，90％が検出限界，７％が検出限界未満の値を示し，平均47.6 Bq/kg FW（SE = 1.5，n = 41）であった。心臓は，３％が検出限界以上，93％が検出限界，5％が検出限界未満の値を示し，平均47.0Bq/kg FW（SE = 1.5，n = 40）であった。肺は，29％が検出限界，71％が検出限界未満の値を示し，平均31.9 Bq/kg FW（SE = 0.9，n = 41）であった。胎児の筋肉は，24％が検出限界，77％が検出限界未満の値を示し，平均30.2 Bq/kg FW（SE = 1.4，n = 17）であった。羊水は，15％が検出限界，85％が検出限界未満の値を示し，平均26.7 Bq/kg FW（SE = 2.2，n = 13）であった。なお，肺，胎児の筋肉および羊水については検出限界以上の値を示した試料はなかった。

奥日光における各試料間のCs濃度を比較した結果，筋肉（腰部および大腿部）と第一胃内容物，腎臓と肝臓および心臓，肺と胎児の筋肉および羊水との間には有意差は認められず



図–2　2012年２月における栃木県奥日光のニホンジカの直腸内容物，第一胃内容物，筋肉，腎臓，肝臓，心臓，肺，胎児の筋肉および羊水の放射性セシウム濃度（Bq/kg FW）

箱ひげ図は，平均 ± 標準誤差，最小値および最大値を示す。箱ひげ図上のアルファベットは，Steel-Dwass法による多重比較検定の結果を示し，異なるアルファベットは有意差があることを示す（P < 0.05）。また，カッコ内の数値は，試料数を示す。

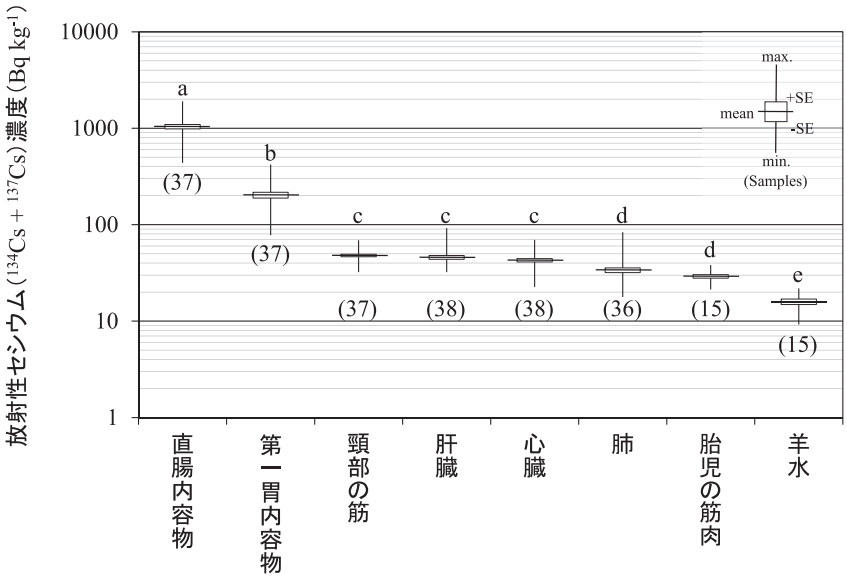


図-3　2012年３月における栃木県足尾のニホンジカの直腸内容物，第一胃内容物，筋肉，肝臓，心臓，肺，胎児の筋肉および羊水の放射性セシウム濃度(Bq/kg FW)
箱ひげ図は，平均 ± 標準誤差，最小値および最大値を示す。箱ひげ図上のアルファベットは，Steel-Dwass法による多重比較検定の結果を示し，異なるアルファベットは有意差があることを示す(P ＜ 0.05)。また，カッコ内の数値は，試料数を示す。

(Steel-Dwass test, P ＞0.05)，それ以外の試料間については有意差が認められた(Steel-Dwass test, P ＜ 0.05)(図-2)。

一方，足尾における直腸内容物および第一胃内容物のCs濃度は，ともにすべての試料が検出限界以上の値を示し，それぞれ平均1,040.6 Bq/kg FW(SE = 54.2, n = 37)，203.0 Bq/kg FW(SE = 14.2, n = 37)であった。頸部の筋は，92%が検出限界以上，８%が検出限界未満の値を示し，平均48.0 Bq/kg FW(SE = 1.5, n = 37)であった。肝臓は，５%が検出限界以上，87%が検出限界，８%が検出限界未満の値を示し，平均45.8 Bq/kg FW(SE = 2.0, n = 37)であった。心臓は，79%が検出限界，21%が検出限界未満の値を示し，平均42.8 Bq/kg FW(SE = 1.6, n = 38)であった。肺は，33%が検出限界，64%が検出限界未満の値を示し，平均33.7 Bq/kg FW(SE = 1.9, n = 36)であった。胎児の筋肉は，13%が検出限界，87%が検出限界未満の値を示し，平均29.1 Bq/kg FW(SE = 1.2, n = 15)であった。羊水は，すべての試料が検出限界未満の値を示し，平均15.9 Bq/kg FW(SE = 1.1, n = 15)であった(図-3)。

足尾における各試料間のCs濃度を比較した結果，頸部の筋と肝臓および心臓，肺と胎児の筋肉との間には有意差は認められず(Steel-Dwass test, P ＞0.05)，それ以外の項目間については有意差が認められた(Steel-Dwass test, P ＜0.05)(図-3)。

奥日光および足尾における各試料間のCs濃度を比較した結果，筋肉，直腸内容物および第一胃内容物に有意差が認められ，筋肉および羊水は奥日光において高く(筋肉：Mann-Whitney's U-test, U = 82, P ＜ 0.01；羊水：U = 11, P ＜ 0.01)，直腸内容物および第一胃内容物は足尾において高かった(直腸内容物：Mann-Whitney's U-test, U = 1471, P ＜ 0.01；第一胃内容物：Welch's t-test, t = −6.91, P ＜ 0.01)。また，nMDSの結果，両地域のデータのプロットは明瞭に分かれて配置され(図-4)，両地域におけるシカのCsの蓄積状況には顕著な差異があることが認められた(1-way ANOSIM, Global R = 0.83, P = 0.001)。

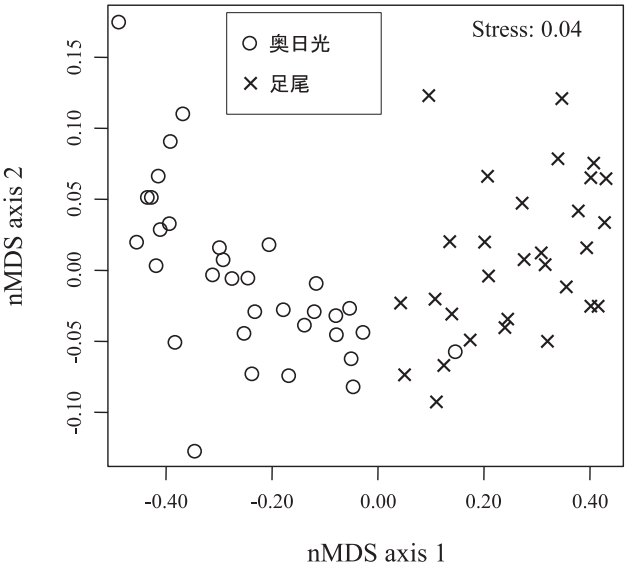


図-4　nMDSによる栃木県奥日光(○)および足尾(×)におけるニホンジカの放射性セシウムの蓄積状況の比較

3.2　冬季におけるシカの餌植物のCs濃度

奥日光における冬季のシカの餌植物のCs濃度は，ミヤコザサの葉が平均248.7 Bq/kg DW(SE = 77.1, n = ４)，ハルニレの枝先が433.5-453.4 Bq/kg DW(n = ２)，カラマツの枝先が67.0-98.0 Bq/kg DW(n = ２)，ミズナラの落葉が211.7-

247.9 Bq/kg DW(n = 2)であった。一方，足尾における冬季のシカの餌植物のCs濃度は，ススキの地際の越冬葉が587.7 Bq/kg DW(n = 1)，コナラの落葉が299.2 Bq/kg DW(n = 1)，リョウブの枝先が48.3 Bq/kg DW(n = 1)，アキグミの枝先が64.4 Bq/kg DW(n = 1)であった。

3.3 第一胃内容物および直腸内容物の風乾後のCs濃度

奥日光における第一胃内容物および直腸内容物の風乾後のCs濃度の平均は，それぞれ474.4 Bq/kg DW(SE = 49.32，n = 30)，896.4 Bq/kg DW(SE = 38.34，n = 40)であった。一方，足尾における第一胃内容物および直腸内容物の風乾後のCs濃度の平均は，それぞれ872.8 Bq/kg DW(SE = 83.44，n = 38)，2,633.0 Bq/kg DW(SE = 134.51，n = 37)であった。

4．考　　察

9項目の試料のCs濃度を測定した結果，両地域ともに直腸内容物が最も高く，次いで第一胃内容物，筋肉，腎臓，肝臓，心臓，肺，胎児，羊水の順となっていた(図–2，3)。このことから，シカはCsを取り込むと，ヒト(青木・渡辺，1996)やアカシカ*C. Elaphus*(Zalewski and Szymczyk-Kobrzyńska，2005)における体内分布と同様に，筋肉にやや多く蓄積する傾向はあるものの，特定の臓器に偏って蓄積はせず，そのほとんどが排泄されていることが示唆される。また，胎児の筋肉および羊水のCs濃度が他の項目よりも低かったことから(図–2，3)，Csは胎盤において濾過されている可能性が示唆される。一方で，Fukuda *et al*.(2013)は，牛の胎児における臓器類のCs濃度は，母牛の臓器類よりも高くなることを報告している。そのため，胎盤のCsの濾過機能の有無については，更なる調査が必要である。また，肺のCs濃度についても他の項目よりも低かったことから(図–2，3)，Csは肺にも蓄積しにくいことが示唆される。Markham *et al.*(1982)は，偶蹄目に属するプロングホーン*Antilocapra americana*の体内におけるCsの分布を調査し，肺は筋肉や肝臓と比較してCs濃度が低いことを報告しており，本報告と同様の傾向を示している。

nMDSおよびANOSIMの結果，各試料へのCsの蓄積状況には顕著な地域差があることが認められた(図–4)。また，奥日光および足尾における各試料間のCs濃度を比較した結果，筋肉，直腸内容物，第一胃内容物，羊水に有意差が認められ，直腸内容物および第一胃内容物については足尾において高かった。さらに，両地域における冬季のシカの餌植物8種のCs濃度を測定した結果，足尾において冬季のシカの主要な餌資源となっているススキ(瀬戸隆之，未発表)が最も高かった。このことから，足尾では，奥日光よりもCs濃度の高い植物を主要な餌資源としているため，直腸内容物および胃内容物のCs濃度も高かったことが考えられる。一方，筋肉のCs濃度は奥日光において高くなっていた。しかし，Avila *et al.*(1999)は，ノロジカ*Capreolus capreolus*の採食物と筋肉のCs濃度の対応を検討し，Cs濃度が高いキノコ類の採食率が増加すると，筋肉のCs濃度も高くなることを報告している。このことから，両地域における筋肉のCs濃度の差異は，奥日光と足尾とでは異なる部位の筋肉を試料として用いたことが要因となっている可能性が示唆される。すなわち，奥日光において筋肉の試料として用いた腰部および大腿部の筋は，足尾において筋肉の試料として用いた頸部の筋よりもCsを蓄積しやすいことが推察され，筋肉はそれぞれの部位によってCsの蓄積状況が異なっている可能性が示唆される。今後，筋肉におけるCsの蓄積状況を把握していく上では，様々な部位のCs濃度を測定していくことが必要であろう。また，羊水のCs濃度についても奥日光において高くなっていたが，その要因については不明である。

第一胃内容物の風乾後のCs濃度は，両地域ともに餌植物8種のいずれのCs濃度よりも高かった。このことから，第一胃がCsの濃縮機能を果たしている可能性が示唆される。また，両地域におけるシカが，秋季および冬季にかけて，Csを特異的に取り込むキノコ類(村松ら，2003)を採食することや(丸山ら，1975)，降雨やフィルター効果によって高濃度のCsが付着する樹皮(河田，2011)を採食すること(丸山ら，1975)が報告されていることから，今回採取した餌植物8種よりもCs濃度が高い資源をシカが採食している可能性も示唆される。

さらに，直腸内容物の風乾後のCs濃度は，第一胃内容物の風乾後のCs濃度と比較して，奥日光では1.9倍，足尾では3.0倍となっていた。つまり，風乾後のCs濃度の序列は，直腸内容物 > 第一胃内容物 > 餌植物となっており，シカは，採食，消化，吸収を通じて，Csを濃縮し，排泄していることが考えられる。

謝　　辞

本研究の実施にあたっては，大変多くの方々にお世話になりました。特に，宇都宮大学バイオサイエンス研究センターの平田慶氏には放射性セシウムの測定でお手を煩わせました。改めてお礼申し上げます。また，試料の採取にあたっては，栃木県環境森林部自然環境課，栃木県県西環境森林事務所，栃木県県民の森管理事務所，日光市農林課の担当者の皆様には大変お世話になりました。とりわけ，栃木県猟友会日光支部，小来川支部，足尾支部の皆さんには全ての試料の搬入までお手を煩わせ，大変お世話になりました。また，凍てつく地吹雪のなか，労をいとわず，試料採取に協力してくださった鳥獣管理士の方々，宇都宮大学，東京農工大学の学生諸氏にお礼申し上げます。本研究はJSPS科研費25517003の助成を受けたものです。

引　用　文　献

青木芳朗・渡辺一夫(編)(1996) 人体内放射能の除去技術，挙動と除染のメカニズム．108pp．講談社サイエンティフィク，東京．

Avila, R., Johanson, K.J. and Bergström, R. (1999) Model of the seasonal variations of fungi ingestion and ^{137}Cs activity concentrations in roe deer. Journal of Environmental Radioactivity 46:99–112.

Fukuda, T., Kino, Y., Abe, Y., Yamashiro, H., Kuwahara, Y., Nihei, H., Sano, Y., Irisawa, A., Shimura, T., Fukumoto, M., Shinoda, H.,

Obata, Y., Saigusa, S., Sekine, T., Isogai, E. and Fukumoto, M. (2013) Distribution of artificial radionuclides in abandoned cattle in the evacuation zone of the Fukushima daiichi nuclear power plant. PLOS ONE 8:e54312.

河田東海夫 (2011) 福島地方のセシウム汚染状況について．保健物理46：193−196.

Kinoshita, N., Sueki, K., Sasa, K., Kitagawa, J-i., Ikarashi, S., Nishimura, T., Wong, Y.S., Satou, Y., Handa, K., Takahashi, T., Sato, M. and Yamagata, T. (2011) Assessment of individual radionuclide distributions from the Fukushima nuclear accident covering central-east Japan. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 108:19526−19529.

Markham, O.D., Halford, D.K., Autenrieth, R.E. and Dickson, R.L. (1982) Radionuclides in pronghorn resulting from nuclear fuel reprocessing and worldwide fallout. Journal of Wildlife Management 46:30−42.

丸山直樹・遠竹行俊・片井信之 (1975) 表日光に生息するシカの食性の季節性，哺乳動物学雑誌６：163−173.

文部科学省 (2013) 放射線量等分布マップ―航空機モニタリング―，セシウム134及びセシウム137の合計の沈着量 (Bq/m^2)，2011年11月5日現在の値に換算<http://ramap.jmc.or.jp/map/mapdf/pdf/air/20121228/cstot/5539-B.pdf>，2013, 7, 22参照.

村松康行・土居雅広・吉田　聡(編) (2003) 放射線と地球環境―生態系への影響を考える．242pp，研究社，東京.

R Development Core Team (2013) R: Alanguage and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, http://www.R-project.org.

栃木県教育委員会・宇都宮大学農学部附属演習林 (1996) 足尾のカモシカ　特別天然記念物カモシカ保護地域管理技術策定調査報告書．63pp，栃木県教育委員会・宇都宮大学農学部附属演習林，宇都宮.

Zalewski, K. and Szymczyk-Kobrzyńska (2005) Radiocesium contamination of red deer (*Cervus Elaphus*) in northeastern Poland. Polish Journal of Environmental Studies 14:103−108.