

## 東京大学演習林における福島原発事故後 7 年間の野生キノコ中

### 放射性セシウム濃度の推移

山田利博<sup>1</sup>・村川功雄<sup>2</sup>・井口和信<sup>3</sup>・大村和也<sup>1</sup>・五十嵐勇治<sup>1</sup>・  
齋藤俊浩<sup>1</sup>・高德佳絵<sup>1</sup>・齋藤暖生<sup>4</sup>・小林奈通子<sup>5</sup>・田野井慶太郎<sup>5</sup>・中西友子<sup>5</sup>

- 1 東京大学秩父演習林
- 2 東京大学千葉演習林
- 3 東京大学北海道演習林
- 4 東京大学富士癒しの森研究所
- 5 東京大学アイソトープ農学教育研究施設

**要旨：**東京大学演習林では、福島原発事故後、野生キノコの放射性セシウム汚染のモニタリングを続けている。いくつかの種類キノコで  $^{137}\text{Cs}$  濃度は事故後の早い時期に高く、その後低下した。しかし、多くのキノコでは  $^{137}\text{Cs}$  濃度の変化は大きくなく、時間とともに  $^{137}\text{Cs}$  が集積することは一般的ではなかった。 $^{137}\text{Cs}$  は  $A_0$  層では次第に減少する傾向がみられたが、キノコや  $A/HC$  層における増加、つまり  $A_0$  層からの移行、は事故後の早い時期にみられたものの、その後の傾向は明瞭でなかった。 $^{134}\text{Cs}$  との比から計算した過去の残存  $^{137}\text{Cs}$  の割合から、キノコや土壌では福島事故以前からの  $^{137}\text{Cs}$  を長期間保持しているだけでなく、福島事故由来の  $^{137}\text{Cs}$  は流動的でキノコや  $A_0$  層から移行しやすいのに対して、事故以前からの  $^{137}\text{Cs}$  は生態系内に保持されていることが示唆された。

**キーワード：**福島原発事故、放射性セシウム、東京大学演習林、野生キノコ

### Radiocesium dynamics in wild mushrooms in the University of Tokyo Forests during the first 7 years after the Fukushima nuclear accident

Toshihiro YAMADA<sup>1</sup>, Isao MURAKAWA<sup>2</sup>, Kazunobu IGUCHI<sup>3</sup>, Kazuya OOMURA<sup>1</sup>, Yuji IGARASHI<sup>1</sup>, Toshihiro SAITO<sup>1</sup>,  
Kae TAKATOKU<sup>1</sup>, Haruo SAITO<sup>4</sup>, Natsuko I. KOBAYASHI<sup>5</sup>, Keitaro TANOF<sup>5</sup>, Tomoko M. NAKANISHI<sup>5</sup>

- 1, The University of Tokyo Chichibu Forest, Chichibu, Saitama
- 2, The University of Tokyo Chiba Forest, Kamogawa, Chiba
- 3, The University of Tokyo Hokkaido Forest, Furano, Hokkaido
- 4, Fuji Iyashinomori Woodland Study Center, The University of Tokyo, Yamanakako, Yamanashi
- 5, Isotope Facility for Agricultural Education and Research, The University of Tokyo, Bunkyo, Tokyo

**Abstract:** Dynamics of radiocesium in wild mushrooms were investigated during first 7 years after the Fukushima nuclear accident in the University of Tokyo Forests. Several mushroom species contained a high level of  $^{137}\text{Cs}$  in the first few years after the accident, and then  $^{137}\text{Cs}$  concentration gradually decreased. Changes in  $^{137}\text{Cs}$  concentration were not clear for many other mushrooms. Reduction of  $^{137}\text{Cs}$  in litter and increase in mushrooms and mineral soils, i.e. transfer of  $^{137}\text{Cs}$  from litter to mushrooms and soils, was recognized in the first few years, but it was not obvious in subsequent years. Residual pre-Fukushima  $^{137}\text{Cs}$  still remained in mushrooms, litter and mineral soils. From the ratio of the residual  $^{137}\text{Cs}$ , it was suggested that the residual  $^{137}\text{Cs}$  was retained in the forest ecosystem, whereas  $^{137}\text{Cs}$  emitted from the Fukushima accident was still fluid.

**Key-word:** Fukushima nuclear accident, radiocesium, The University of Tokyo Forests, wild mushrooms

#### I はじめに

2011年3月の福島第一原子力発電所事故（以下、福島

事故）に起因する放射性物質により、東京大学各演習林でキノコがどの程度汚染されているかを知るため、また

汚染の動態や特徴を明らかにするため、森林における野生キノコと、土壌や樹木の材などのキノコの基質における放射性セシウムのモニタリングを続けている。福島事故以前の汚染の解析から、森林では放射性セシウム (Cs) の多くがキノコ類の菌糸に保持され、長期間生態系内を循環しているとされている(2, 8)。福島事故半年後の東京大学演習林における野生キノコの汚染状況調査からは、チャナメツムタケで事故後の放射性 Cs の速やかな取り込みがあること、またいくつかのキノコで事故以前の残存汚染が大きいことが見出された(4, 6)。また、同じく福島事故後5年間の調査結果では、土壌表層では  $^{137}\text{Cs}$  濃度が次第に低下したにもかかわらず、キノコでは低下はほとんどみられなかった(5)。今回、さらに2011年から2017年までの7年間の汚染の推移をみるとともに、特に  $^{137}\text{Cs}$  の移行の状況やその特徴について検討したので報告する。

## II 材料と方法

1. 調査地 調査した東京大学各演習林(4, 6)のうち、2017年まで継続調査している北海道演習林(以下、北演)、秩父演習林(秩父演)、富士癒しの森研究所(富士研)、千葉演習林(千葉演)のデータを用いて解析した。

なお、東日本における2011年時点での放射性Csや空間線量率の分布と東京大学各演習林の位置関係については、Yamada(4)を参照されたい。

2. 調査方法 放射性核種の測定には、2011~2017年の秋に発生したキノコと、その基質としてキノコ下のA<sub>0</sub>層、A層、富士研の場合はA層の代わりにA<sub>0</sub>層下に存在するHC層(C層に部分的に有機物が混入)、あるいは樹皮や材を採取した。基本的に毎年、同じ地点付近で採取したため、年によって同じキノコが発生せず採取できない場合もあった。採取地点数は、北演が2地点、秩父演が2~6地点、富士研が4~7地点、千葉演が2~3地点である。採取したキノコ種については2016年までではあるがYamadaら(7)を参照されたい。土壌については地点毎に層の厚さが異なるため、全層厚から満遍なく採取した。採取試料は生重測定後、乾燥し、乾燥試料をU-8スチロール容器(100mL)にできる限り充填した。キノコについては、サイズにもよるが可能な場合は1試料当たり複数個採取し、混合してU-8容器に入れて放射性物質濃度を測定した。同種、異種を問わず複数のキノコが隣接して発生していた場合は基質についてはまとめて1地点からの採取とした。

乾燥試料の放射性物質濃度をゲルマニウム半導体検出器(ORTEC, セイコー EG&G)で測定し、ガンマ線スペ

クトロメトリ法により核種を同定した。測定対象は  $^{134}\text{Cs}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  であり、それぞれ試料採取時の濃度に補正した。ただし、本報では放射性Csの濃度変化については半減期の長い  $^{137}\text{Cs}$  で議論する。また、核種濃度は乾重ベースで表記、議論する。なお、福島事故による  $^{134}\text{Cs}$  と  $^{137}\text{Cs}$  の放出量の比を1:1とし、半減期は  $^{134}\text{Cs}$  で2.07年、 $^{137}\text{Cs}$  で30.1年を計算に用いた。

## III 結果と考察

1.  $^{137}\text{Cs}$  濃度の変化 キノコについては、福島事故の汚染が検出されなかった北演のオシロイシメジとハナイグチでは  $^{137}\text{Cs}$  濃度に変化の傾向はみられなかった。北演以外の地点では  $^{137}\text{Cs}$  濃度の変化にいくつかのパターンがみられたが、図-1にパターンの異なる代表的な例を示す。富士研のチャナメツムタケの1地点(II林班)、材に生えるキノコの一つヒラタケなど3例で  $^{137}\text{Cs}$  濃度が明瞭に一貫して低下する傾向を示した。ヨーロッパでチェルノブイリ事故後2, 3年間はキノコの放射性セシウム濃度が増加したことが報告されているが(1, 3)、富士研のチャナメツムタケのもう1地点(III林班)を含む3例で同様なパターンを示し、2011年から2012年にかけて一旦増加しその後は低下する傾向がみられた。しかし、 $^{137}\text{Cs}$  濃度変化の傾向は千葉演のオオモミタケの1地点(札郷)のように明瞭でない場合が12例と多かった。このように、キノコにおける  $^{137}\text{Cs}$  濃度変化は大きく分けて3つのパターンがみられた。

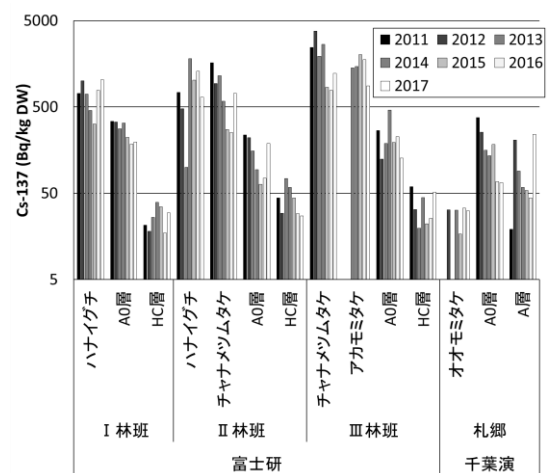


図-1. キノコと土壌における  $^{137}\text{Cs}$  濃度変化の例。同じ地点で採取した試料毎に分けて表示した。

Fig.1 Representative changes in  $^{137}\text{Cs}$  concentration in mushrooms and soils shown by each sampling sites separately.

A<sub>0</sub>層では<sup>137</sup>Cs濃度が次第に減少した地点が6例と多かったが、減少傾向が明瞭でない地点も2例あった。A/HC層では<sup>137</sup>Cs濃度は一旦増加した後、大きな変化はみられない場合が6例中4例と多かった。キノコや土壌における以上の変化は既報の2015年までの傾向と同じであった(5)。

**2. <sup>137</sup>Cs濃度の年次変化の傾向** キノコ、A<sub>0</sub>層、A層とHC層(以下A/HC層)の間で年次間の<sup>137</sup>Cs濃度変化を比較した(図-2)。全期にわたってほぼ試料が得られた9地点(秩父演1地点、富士研6地点、千葉演2地点)、キノコ13例のデータを用いた。A<sub>0</sub>層では時間が経つにつれて<sup>137</sup>Cs濃度が低下する明瞭な傾向が認められた。キノコ間では<sup>137</sup>Cs濃度の時間的変化に大きな差異があり、低下するもの、低下しないもの、一時的に増加するものと様々であったが、全般的にキノコは<sup>137</sup>Csを保持する傾向が伺われた。A/HC層では増減はあったものの特に明瞭な連続した増加や低下の傾向はみられなかった。A<sub>0</sub>層の<sup>137</sup>Csの一部はA/HC層に移行したと思われるが、移行の状況については詳細な検討を要する。

キノコと土壌におけるこれらの傾向は事故後5年以上も継続していた。

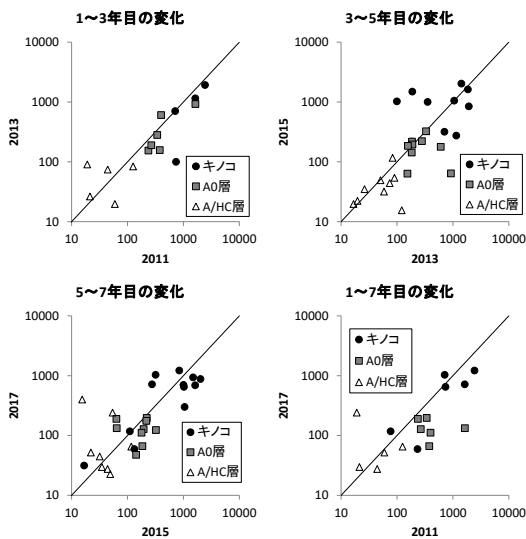


図-2. 同じ採取地点のキノコと土壌における<sup>137</sup>Cs濃度(Bq kg<sup>-1</sup> DW)の変化傾向。Y=Xを実線で表示。

Fig. 2 Changes in <sup>137</sup>Cs concentration (Bq kg<sup>-1</sup> DW) of mushrooms and soils. The oblique solid lines (Y=X) are shown.

**3. 福島事故由来の<sup>137</sup>Csの動態—全体的な傾向** <sup>137</sup>Cs汚染の生物学的、生態学的な動態を知るため、福島事故と過去の核実験あるいはチェルノブイリ事故による<sup>137</sup>Csの寄与を、<sup>134</sup>Csと<sup>137</sup>Csの比率から評価した。秩父

演、富士研、千葉演の3演習林を込みにした、キノコ、A<sub>0</sub>層、A/HC層における全汚染のうち福島事故由来の割合の平均値の変化を図-3に示す。ただし、毎年キノコが発生する場所、つまりキノコや土壌の採取場所は少しずつ異なる。また同じキノコが採取できなかった地点、濃度が低くて測定できなかった試料もあるため、厳密な比較はできない。福島事故由来の割合は以下の式で求めた。tは事故後試料採取までの年数(半月単位)である。  
 福島事故由来の割合(%) = 100 × <sup>134</sup>Cs濃度 × (10<sup>log 0.5 / 30.1</sup>)<sup>t</sup> / <sup>137</sup>Cs濃度 × (10<sup>log 0.5 / 2.07</sup>)<sup>t</sup>

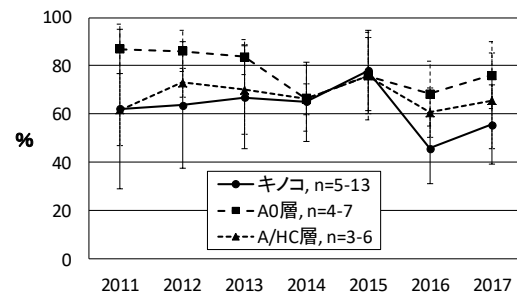


図-3. キノコと土壌の<sup>137</sup>Csにおける福島事故由来の割合の変化。バーは標準偏差。

Fig.3 Changes in the proportion of Fukushima accident-derived <sup>137</sup>Cs against total <sup>137</sup>Cs of mushrooms and soils. Bars indicate standard deviations.

A<sub>0</sub>層では<sup>137</sup>Csにおける福島事故由来の割合は、事故の半年後は高く平均88%と計算された。その後、この値は時間が経過するにしたがい低くなる傾向があった。このことは、単に<sup>137</sup>Cがキノコによく保持されているだけでなく、福島事故で放出された<sup>137</sup>Cは比較的早くA<sub>0</sub>層外に移行したのに対し、福島以前からの<sup>137</sup>Cは移行しないでA<sub>0</sub>層に残ったものが多いことを示唆している。つまり、A<sub>0</sub>層中に残存している<sup>137</sup>Cは粘土鉱物に吸着されおらず、本来は移行しやすいはずであるが、その多くが土壌表層の物質循環系に保持されていることが考えられる。量的な評価はできないが、一つの要因として菌糸内に保持されていることも推測される。さらに、近年はこの値の減少が止まって安定しているようにみえる。福島由来の<sup>137</sup>Csも循環系内に取り込まれつつあるのかも知れない。

A/HC層については、<sup>137</sup>Csにおける福島事故由来の割合は2011年は低く、その後は増加傾向にあったが、近年は増加が止まり、A<sub>0</sub>層に近いレベルで落ち着いたようにみえる。この変化は、福島事故で放出された<sup>137</sup>CsがA<sub>0</sub>層からA/HC層へ移行して平衡状態になってきたためと推測される。

キノコでは福島事故由来の  $^{137}\text{Cs}$  は当初低く、その後2015年までは高くなるというA/HC層と似た変化を示した。これは福島事故由来の  $^{137}\text{Cs}$  を周囲の  $\text{A}_0$  層やA/HC層から取り込んだことを示唆する。さらに、 $\text{A}_0$  層とはやや異なり、近年は福島事故由来の  $^{137}\text{Cs}$  の割合は低下する傾向がみられた。古くから取り込んだ  $^{137}\text{Cs}$  を系外に排出させにくい何らかのメカニズムの存在が推測される。

**4. 福島事故由来の  $^{137}\text{Cs}$  の動態—個別の傾向** 福島由来の  $^{137}\text{Cs}$  の割合は汚染程度に大きく影響を受けると考えられるため、次に、同じ場所で採取された各試料で  $^{137}\text{Cs}$  濃度と福島以前/福島由来の割合の推移を調べた(図-4)。この図で、右下への変化は福島由来の  $^{137}\text{Cs}$  を取り込んでいることを、左上への変化は福島由来の  $^{137}\text{Cs}$  を優先して排出していること、左水平方向への変化は福島由来と福島以前の  $^{137}\text{Cs}$  を同じように排出していることを示す。

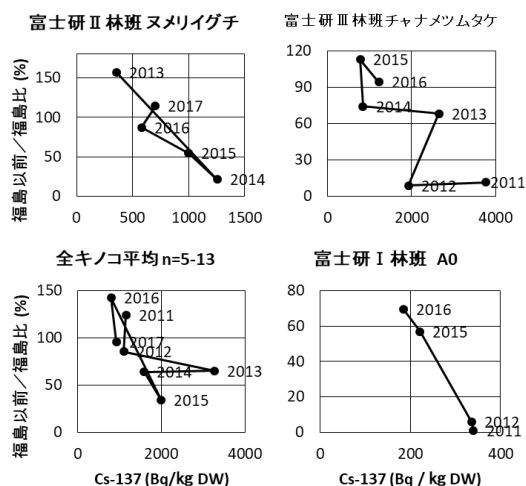


図-4. 同じ採取地点のキノコや土壌の  $^{137}\text{Cs}$  における福島以前/福島由来の比率の変化と  $^{137}\text{Cs}$  濃度との関係の代表例。図中の数字は採取年を示す。

Fig.4 Representative changes in the pre-Fukushima / Fukushima ratio of  $^{137}\text{Cs}$  of each mushroom and soil from same site and relationship with  $^{137}\text{Cs}$  concentration. Numbers in the figures indicate sampling years.

キノコではさまざまなパターンがみられたが、ヌメリイグチや全キノコ平均(各キノコの  $^{137}\text{Cs}$  濃度、福島以前/福島由来の割合の平均)のように左上から右下へ変化した後、再度左上に変化するもの(12種14例中6種6例)、富士研III林班のチャナメツムタケのように右下から左上に変化するもの(3種3例)、および両者の中間形(2種3例)が比較的多かった。ヌメリイグチの例では、事故後次第に福島由来の  $^{137}\text{Cs}$  を吸収し、その後、 $\text{A}_0$  層

などの土壌中の福島由来  $^{137}\text{Cs}$  が減少するにしたがって、福島由来分について吸収より排出が上回ったことが推測される。チャナメツムタケの場合は、2011年に既に多量の福島由来  $^{137}\text{Cs}$  を吸収したが、その後の変化はヌメリイグチと同様であると考えられる。

$\text{A}_0$  層では右下から左上へ変化するパターンが目立ち(8例中4例)、降下した福島由来の  $^{137}\text{Cs}$  が先に移行したことを示している。A/HC層での変化(4例)は図には表示していないが、一定の傾向はみられなかった。

**謝辞:** 調査に協力いただいた東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林の教職員に厚く御礼申し上げます。

### 引用文献

- (1) Borio R, Chiocchini S, Cicioni R, Esposti PD, Rongoni A, Sabatini P, Scampoli P, Antonini A, Salvadori P (1991) Uptake of radiocesium by mushrooms. *Sci. Total Env.* 106: 183-190
- (2) 村松康行・吉田 聡 (1997) キノコと放射性セシウム. *Radioisotopes* 46: 450-463
- (3) Smith JT, Beresford NA (2005) Radioactive fallout and environmental transfers. In: Smith JT, Beresford NA (eds) *Chernobyl – Catastrophe and Consequences*, Springer, Berlin, 310pp.
- (4) Yamada T (2013) Mushrooms: Radioactive Contamination of Widespread Mushrooms in Japan. In: *Agricultural Implications of the Fukushima Nuclear Accident*. Nakanishi TM, Tanoi K (eds), Springer, Tokyo, 163-176
- (5) 山田利博 (2018) 福島原発事故後の東京大学演習林におけるキノコの放射性セシウム動態. *水利科学* No.364: 82-100
- (6) 山田利博・村川功雄・齋藤俊浩・大村和也・高德佳絵・井口和信・井上 淳・才木道雄・齋藤暖生・辻 和明・田野井慶太郎・中西友子 (2013) 福島第一原子力発電所事故に起因する放射性物質低汚染地域におけるキノコ類への放射性セシウムの蓄積—東京大学演習林における事例—. *Radioisotopes* 62: 141-147
- (7) Yamada T, Omura K, Saito T, Igarashi Y, Takatoku K, Saiki M, Murakawa I, Iguchi K, Inoue M, Saito H, Tsuji K, Kobayashi NI, Tanoi K, Nakanishi TM (2018) Radiocesium contamination of wild mushrooms collected from the University of Tokyo Forests over a six-year period (2011-2016) after the Fukushima nuclear accident. *Misc. Inform. Univ. Tokyo For.* No.60: 31-47
- (8) 吉田 聡・村松康行 (1996) 菌類と地球環境：地球規模の放射能汚染と菌類. *日菌報* 37: 25-30