

# Spatio-Temporal Changes in $^{137}\text{Cs}$ Inventory in Soils in Neighboring Mixed Deciduous Forests of Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant

Momo TAKADA

Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University

## 福島原子力発電所近隣の落葉広葉樹林における 土壤中セシウム137の時空間変動

高田 モモ

広島大学大学院総合科学研究科

The  $^{137}\text{Cs}$  derived from the Fukushima Daiichi nuclear power plant (FDNPP) in 2011 is expected to contaminate the surrounding forest environment over the half-life of 30 years. Precise studies of  $^{137}\text{Cs}$  dynamics in a forest ecosystem are required for developing remediation activities in forest areas, determining appropriate radiation protection for local residents and workers, and resuming the use of the forest resources. I studied temporal changes in  $^{137}\text{Cs}$  dynamics in forest ecosystems and environmental parameters influencing the spatial heterogeneity of  $^{137}\text{Cs}$  after the FDNPP accident from August 2013 (2.3 years after the accident) to November 2015 (a period of 2.4 years). The survey focused on  $^{137}\text{Cs}$  contained in litter layers and soil to 10 cm depth in mixed deciduous forests located approximately 40 km northeast from the FDNPP. I focused on the following three topics: (1) spatial variation of  $^{137}\text{Cs}$  in forest soils; (2) temporal changes in the vertical distribution of  $^{137}\text{Cs}$ ; and (3) downward migration of dissolved  $^{137}\text{Cs}$  in forest soils. Based on the measurements

and analysis on the  $^{137}\text{Cs}$  in the samples, I found that almost all  $^{137}\text{Cs}$  deposited on forest ecosystems had been translocated to litter layers and surface soils (>5 cm) via litterfall and precipitation by the beginning of the study, accounting for approximately 65% and 25% of the total  $^{137}\text{Cs}$ , respectively. Spatial heterogeneity of soil  $^{137}\text{Cs}$  was predicted to be largest from shortly after the accident to the beginning of the study as a result of the translocation via precipitation. By August 2014, 80% of  $^{137}\text{Cs}$  in litter layers found in August 2013 had migrated into surface soil through litter decomposition processes and leaching, and approximately 80% of the  $^{137}\text{Cs}$  in the forest ecosystems remained in the surface soils. The spatial heterogeneity in the surface soils became homogenous with time because of this migration. After August 2014,  $^{137}\text{Cs}$  activities in the litter layers, the surface soils and the deeper soils (<5 cm) did not change substantially, suggesting that the so-called “quasi-equilibrium” state (increase or decrease in  $^{137}\text{Cs}$  activity was not observed in any

compartment in an ecosystem; IAEA, 2006) may have already started in the forests. However, small amounts of dissolved  $^{137}\text{Cs}$  continued to migrate after August 2015. Although these migrations were of very small amounts, I recommend that long-term monitoring on dissolved  $^{137}\text{Cs}$  in forest soils should be conducted. The dissolved  $^{137}\text{Cs}$  shows high mobility and is biologically available. Moreover, although similar trends of  $^{137}\text{Cs}$  dynamics have also been reported in many studies on radioactive cesium derived from the Chernobyl accident in 1986 in the former Soviet Union (now Ukraine), the temporal change found in the present study was faster than in Chernobyl. The difference between  $^{137}\text{Cs}$  dynamics in Fukushima and Chernobyl may be attributed to the difference in rates of carbon cycling in forest ecosystems, which is affected by factors such as annual temperature, forest type, and precipitation. For future nuclear energy development and preparedness,  $^{137}\text{Cs}$  dynamics need to be studied thoroughly from the perspective of climatic parameters.

## 日本語要旨

2011年の福島第一原子力発電所（以下、福島原発）によって森林生態系に放出されたセシウム137は、今後長期に亘って森林環境を汚染し続けることが予想されている。森林域の除染、地元住民や除染作業員の放射線防護、そして森林利用の再開といった観点から、森林生態系におけるセシウム137の詳しい動態解明は喫緊の課題である。本研究では、福島原発由来のセシウム137について、森林生態系内での時空間変動を明らかにした。本研究は、2013年8月から2015年11月（福島原発事故から2.3～4.7年後）にかけて、福島原発から北西に約40 km離れた落葉広葉樹林で、リター（落葉落枝）層から土壌10 cmに存在するセシウム137について、以下の3点に関して

調査を行った；(1)空間分布の特徴、(2)垂直分布の時間変化、(3)溶存態での下方移動。これらの結果をまとめると、2013年8月の調査開始までに、事故時に林冠と林床に沈着したセシウム137の99%以上が、落葉や降雨とともにリター層と土壌表層（> 5 cm）に、それぞれ約65%、25%の割合で移動していた。この事故から調査開始までの降雨を介した移動によって、土壌中のセシウム137の空間変動は、この期間に最も大きかったことが推測された。2013年8月から1年間で、リター層のセシウム137の約8割が分解や溶出によって土壌表層に移動することで、森林生態系に存在するセシウム137の約8割が土壌表層に存在することとなり、同時にこの移動によって土壌表層のセシウム137の空間変動は小さくなった。2014年の8月以降、リター層、土壌表層、土壌下層（5-10 cm）に存在するセシウム137の存在割合は大きく変化しなかったため、本調査地はセシウム137がどの場所でもあまり増減しない状態（準平衡状態；IAEA, 2016）に達しつつある可能性が示唆された。ただし、2015年の8月以降も微量のセシウム137が溶存態で依然として下方移動していることが明らかとなった。溶存態放射性セシウムは、土壌中での移動が速く、生物に利用されやすいことから、今後長期に亘って、溶存態セシウム137の微量な下方移動についてのモニタリングを行う必要がある。1986年に旧ソ連（現ウクライナ）で起こったチェルノブイリ原子力発電所事故由来の放射性セシウムについて観察されている多くの動態研究でも本研究の調査地と同様の傾向が観察されているが、本研究はチェルノブイリ原発事故に関連する研究結果より森林生態系内におけるセシウム137の移動が速いことを示しており、これらのことから、気温、森林タイプ、降水量などの違い等に大きく影響を受ける炭素動態速度の違いが原因の一つであると推測された。さらに、これらの結果は原子力開発とその防災にあたり、気候要因の考慮が極めて重要であることを示唆するものである。