

第3章 放射性物質の異常放出事後対応に関する調査研究

3.1 作物地上部表面の放射性物質の挙動に関する調査研究

Behavior of Radionuclides on Crop Ground Surface

川端 一史, 箭内 真寿美, 今田 省吾, 多胡 靖宏, 吉田 聡
環境影響研究部

Hitoshi KAWABATA, Masumi YANAI, Shogo IMADA,
Yasuhiro TAKO, Satoshi YOSHIDA
Department of Radioecology

Abstract

Root crops (Chinese yam, radishes, etc.), grass, and apples are important crops for the areas surrounding the first commercial nuclear fuel reprocessing plant in Aomori Prefecture and for the prefecture itself. We have conducted studies on leaf absorption, translocation, and weathering for radishes and grasses, and on absorption from leaf, trunk, and fruit surface and translocation for apples. However, weathering for depositions on the leaf and fruit of apple tree, and leaf absorption, translocation and weathering for Chinese yam are not well known. Therefore, we aimed at: obtaining empirical data on weathering of radiocesium deposited on the fruit surface and leaf of apples, and on foliar absorption, translocation, and weathering of radiocesium deposited on the leaf surface of Chinese yam; and clarifying transfer parameters involved in these processes, thereby providing a reliable means to predict the behavior of radiocesium transferred to crops under abnormal release conditions. In FY 2021, we studied the effect of rainfall on the weathering of cesium (Cs) deposited on fruit or leaf surfaces of the apple tree as dry aerosol. Potted 3-y-old 'Fuji' apple (*Malus Domestica*) trees grafted on M. 9 rootstock were used as the experimental plant.

After applying dry aerosol containing CsCl onto the fruit surfaces at three different fruit development stages (early fruit development, fruit development, and late fruit development), the plants were exposed at different rainfall intensities and rainfall durations using a rain simulator. Exposed fruits were collected and the surfaces were washed with a solution containing detergent. The fruit uptake of Cs was measured by analyzing the fruit and the solution samples obtained by washing the surfaces. In an experiment with the rainfall intensity of 1.2 mm h^{-1} , the decrease in the remaining proportion of Cs applied on the fruit surface at the late fruit development was approximated by a function with two exponential terms for rainfall duration. And in an experiment with the duration of rainfall of 1 h, two components with different efficiencies for cesium removal for rainfall intensity were found to exist. Furthermore, the remaining proportion of Cs on the fruit surface exposed to rainfall intensity of 1.2 mm h^{-1} for 1 h tended to increase as the growth stage of the fruit progressed.

After applying dry aerosol containing CsCl onto the leaf surfaces of apple trees at the leafing stage and leaf growth arrest period, the plants were exposed at different rainfall intensities and rainfall durations using the rain simulator. Exposed plant leaves were collected and treated in the same manner as mentioned above. As with the results obtained for fruit surfaces, in an experiment with the rainfall intensity of 1.2 mm h^{-1} , the decrease in the remaining proportion of Cs applied on the leaf surfaces at the foliation stage was approximated

by a function with two exponential terms for rainfall duration. And in an experiment with the duration of rainfall of 1 h, two components with different efficiencies for cesium removal for rainfall intensity were found to exist. There was a tendency for less removal from the fruit surface as growth progressed, while removal from the leaf surface showed a tendency to become easier in the leafing stage.

We constructed a compartmental model for absorption from the surface of each part of the apple tree and translocation to the fruit. Then, data obtained from the experiments conducted between FY 2016 and FY 2019 were applied to the compartment model and the values of the transfer parameters were obtained. Furthermore, we obtained an equation between the remaining proportion and duration of rainfall or intensity of rainfall from the experiments conducted in FY 2020 and FY 2021 for the weathering factor from the surface of each part of the apple tree and we obtained transfer parameters that can be incorporated into the advanced environmental transfer and dose assessment model.

1. 目的

大型再処理施設の方が一の異常事象時には、放射性セシウム等の放射性核種が環境中に放出され、周辺地域を始め、青森県内の広い地域を汚染する恐れがある。そのため、大型再処理施設周辺地域で生産される主要な農作物について、方が一の異常放出の際に、農作物への移行を予測し、必要に応じて放射性物質濃度を低減することが求められる。しかし、作物の地上部表面からの放射性セシウムの吸収、気象現象による除去（ウェザリング）及び転流については不明な点が多く残されている。そこで、本調査では、放射性セシウムについて、青森県及び周辺地域におけるそれぞれの主要農作物であるリンゴ及びナガイモに関する作物地上部での挙動に関する実証的データを室内実験により取得し、方が一の異常時に放出された放射性核種の作物中挙動予測に資することを到達目標としている。

令和 3 年度は、リンゴのふじ (*Malus domestica* Borkh. 'Fuji') 幼木を対象に、粒子状セシウムを負荷した果実表面又は葉面を雨にばく露し、ウェザリング除去率を雨ばく露時間及び降雨強度別に求めることを目標とした。

2. 方法

調査対象植物として、3 年生のふじ幼木を使用した。また、実験は、環境条件をコントロールするため、全天候型人工気象実験施設内の大型人工気象室内で行い、安定セシウムを使用した。

生育段階の異なる 3 時期（果実初期発達期、果実発達期及び果実後期発達期）にリンゴ樹の果実表面に、又は生育段階の異なる 2 時期（展葉期及び葉面生長停止期）にリンゴ樹の葉面に粒子状セシウムを負荷し、負荷後降雨強度と時間を変えて雨にばく露した。雨にばく露した果実及び葉部を採取し、果実表面及び葉面を洗浄液で洗浄した後、果実は果実表皮とその他の部位（以下、果肉）に分け、熱乾燥、粉碎した。粉碎後の植物試料は混酸 ($\text{HNO}_3 : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{HClO}_4 : \text{HF} = 2:1:0.013:0.13$) で全分解し、得られた洗浄液及び分解液中のセシウムを ICP 質量分析装置 (HP-7700X、Agilent Technologies) で定量した。

3. 成果の概要

結果の一例として、果実後期発達期にある果実表面に粒子状セシウムを負荷し、降雨強度 1.2 mm h^{-1} の雨に時間を変えてばく露した場合の植物残存率の時間変化を Fig. 1 に、強度を変えて雨に 1 時間ばく露した場合の植物残存率と降雨強度との関係を Fig. 2 に示した。植物残存率とは、果実に残存するセシウム量（洗浄液に回収された量と果実中に存在するセシウム量の和）を初期沈着量で除した値である。

降雨強度 1.2 mm h^{-1} の雨に時間を変えてばく露した場合の植物残存率は、時間の経過とともに指数関数的に減少したが、2 時間を経過した以降は減少率が小さくなった。このことから、果実表面上セシウムの降雨によるウェザリング速度は降り始めに速く、その後遅くなり、速度の異なる 2 成分が存在するこ

とが分かった。そこで、植物残存率の減少を二つの指数項を持つ変化と仮定し、非線形最小二乗法により、果実表面からの減少速度とその割合を見積もり、Fig. 1 中に実線で示した。減少速度の速い割合は 0.55 で、速い速度は遅い速度の約 13 倍であった。

また、降雨強度を変えて雨に 1 時間ばく露した場合の植物残存率は、強度が強くなるほど減少し、強度が 3.3 mm h^{-1} まで減少率が大きく、その後小さくなる傾向を示したことから、除去効率の異なる 2 成分が存在することが認められた。そこで、植物残存率の減少を二つの指数項を持つ変化と仮定し、非線形最小二乗法により、回帰式の各係数を求め、Fig. 2 中に実線で示した。減少率の大きい成分の割合が全体の約 75%を占め、その減少率は小さい成分の約 6 倍であった。

果実の生育段階別に植物残存率を比較すると、降雨強度が 1.2 mm h^{-1} の雨に対する 1 時間のばく露では、果実表面上セシウムは果実生育後期ほど除去され難い傾向を示し、降雨強度が強くなる、又は時間が長くなると、生育段階に依る差異は見られなくなる傾向を示した。

展葉期及び葉面生長停止期にあるリンゴ幼木の葉

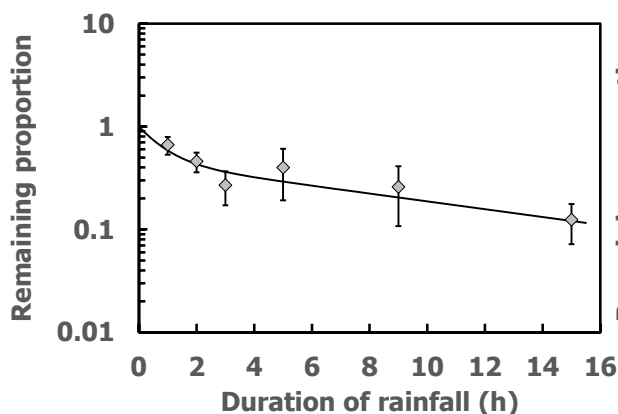


Fig. 1 Remaining proportion of Cs and duration of rainfall. Remaining proportion of Cs was defined as the ratio of the sum of amounts on fruit surfaces and in fruits to that loaded initially on the fruit surfaces. Each vertical bar indicates the standard deviation of five samples. The line shows least square approximation by a function with two exponential terms of duration.

面に負荷した粒子状セシウムの降雨によるウェザリング速度は、果実表面からの傾向と同様、降り始めに速く、その後遅くなり、速度の異なる 2 成分が存在することが分かった。また、降雨強度の効果についても同様に、除去効率の異なる 2 成分が存在することが認められた。さらに、降雨強度が 1.2 mm h^{-1} の雨に 1 時間のばく露では、葉面上セシウムは、果実生育後期になるほど除去されやすい傾向を示し、果実表面からの傾向と逆であった。

平成 28 年から令和元年度までの 4 か年で、無降水条件下におけるリンゴ樹各部位表面からの吸収及び果実への転流に関するコンパートメントモデルを構築し、それらの移行パラメータを得た。さらに、令和 2 年及び 3 年度に、各部位表面からの降雨によるウェザリングに関するパラメータを得ることで、青森県にとって重要な農作物であるリンゴに関して、現実的な被ばく線量を計算するために必要なパラメータを収集できた。

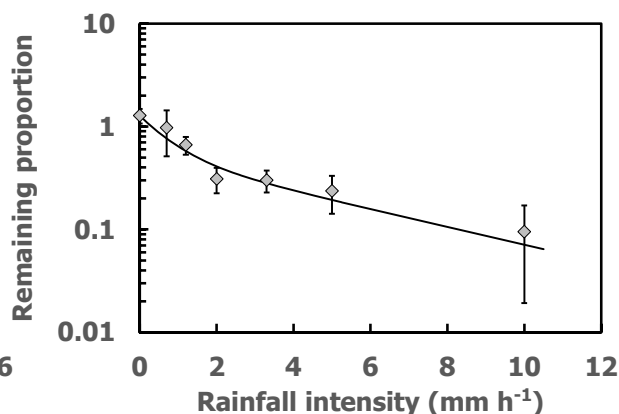


Fig. 2 Remaining proportion of Cs and rainfall intensity. Remaining proportion of Cs was defined as the ratio of the sum of amounts on fruit surfaces and in fruits to that loaded initially on the fruit surfaces. Each vertical bar indicates the standard deviation of five samples. The line shows least square approximation by a function with two exponential terms of rainfall intensity.