

## 1. 2. 2 果樹における放射性ヨウ素等移行調査

### Transfer of Iodine and Cesium from the Surface of Leaf, Trunk or Fruit to the Interior of Apple Fruit

川端 一史, 箭内 真寿美, 多胡 靖宏, 高久 雄一, 久松 俊一  
環境影響研究部

Hitoshi KAWABATA, Masumi YANAI, Yasuhiro TAKO  
Yuichi TAKAKU, Shun'ichi HISAMATSU  
*Department of Radioecology*

#### Abstract

When radionuclides are released into the atmosphere during nuclear fuel reprocessing, some are deposited on the surfaces of crop plants; this is then followed by absorption and translocation to other parts of the plants. Apples are one of the important agricultural products in Aomori Prefecture, where the first commercial nuclear fuel reprocessing plant is undergoing final operating assessment activities. Since the behavior of radiocesium and radioiodine deposited on apple tree surfaces and their transfer to fruit are not well known, a research project to determine them was launched in FY 2016. In FY 2019, we studied 1) the absorption of stable I<sup>-</sup> applied onto fruit surfaces, and 2) the absorption and translocation of stable Cs<sup>+</sup> applied onto leaf, trunk or fruit surfaces. In both studies, the target ions were applied as solid particles on the surface. Potted Plumleaf crab apple (*Malus sp.* cv. ALPS OTOME) trees, 2 to 3 years old, were used as the experimental plant for easy handling. Compartment models of absorption from various surfaces and translocation to fruit in apple tree were constructed for describing the behaviors of cesium (Cs) and iodine (I) by using results from the studies in FYs 2017-2019.

For 1), we cultivated the apple trees in artificial climate chambers and sprayed solid aerosols of NaCl containing NaI onto the fruit surfaces at early and late development stages and the fully mature stage, corresponding to 75-77, 117-120 and 145-147 days after flowering, respectively. The fruits were periodically collected from the trees, and their surfaces were washed with solution containing detergent, followed by peeling. The wash solution, peel and flesh samples were analyzed for I. At all growth stages, the remaining I proportion in the wash solution and peel samples after a few days were about 10% for each. I was not detected in the fresh samples. Therefore, most of the I applied onto fruit surface was volatilized into the atmosphere. The apparent absorption rates defined as the ratio of the proportion in fruit at the harvest date to the days after application of I was on the order of 10<sup>-3</sup> d<sup>-1</sup>.

For 2), we cultivated the apple trees in artificial climate chambers and sprayed solid aerosols of NaCl containing CsCl onto the leaf or trunk surfaces of apple trees at early and late fruit development stages, corresponding to 74-92 and 119-127 days after flowering, respectively. Solid aerosols were sprayed onto the fruit surfaces at early and late development stages and the fully mature stage, corresponding to 68-70, 111-113 and 144-148 days after flowering, respectively. The whole apple trees were periodically collected after the application and separated into their parts. The various Cs-applied samples were washed with solution containing detergent, and this was followed by analyzing those samples, other plant part samples and the wash solution for Cs. The Cs applied onto the leaf or trunk surfaces was absorbed from these surfaces and

translocated into the fruits. The proportion of Cs applied onto the leaf surfaces that translocated into the fruits was higher than for Cs applied onto the trunk surfaces. Cs applied onto fruit surfaces was absorbed from the surfaces and transferred into the fresh samples. The Cs apparent absorption rates from fruit surfaces we calculated was on the order of  $10^{-3} \text{ d}^{-1}$  and similar to the rate for I. The apparent absorption rates from the leaf and trunk surfaces of apple trees were on the order of  $10^{-4} - 10^{-5} \text{ d}^{-1}$ .

To describe the behavior of I and Cs on various surfaces and in the plant, we constructed a dynamic model with five compartments. In the model, the various surfaces were assumed to consist of two compartments with different uptake and volatilization rates. Volatilizing rates were not introduced for Cs. The constructed models were mostly able to reproduce the results from the studies.

## 1. 目的

大型再処理施設から大気中へ排出された放射性核種は、様々な過程を経て、作物表面に沈着する。作物表面に沈着した放射性核種の一部は、表面から吸収され、他の部位へ転流する。作物表面に沈着した放射性核種の吸収及び転流の速度は、作物を介した線量評価に大きな影響を与えるパラメータであり、作物葉面に沈着した放射性核種の挙動を把握することは被ばく線量評価上必要である。これまで、根菜類及び牧草を対象に葉面吸収、転流及びウェザリングの速度を求めてきた。しかし、経済的にも重要な青森県産物である果樹（リンゴ *Malus domestica*）への放射性核種の移行には不明の点が多い。そこで、本調査では、大型再処理施設から排出される放射性核種のうち、 $^{14}\text{C}$  及び  $^3\text{H}$  の次に重要な  $^{129}\text{I}$  並びに異常放出時に重要な核種となる  $^{137}\text{Cs}$  を評価対象とし、リンゴを対象にヨウ素及びセシウムのリンゴ樹各部位表面から果実への移行を調べる室内実験を行い、その結果を基に果樹の移行モデルを構築することを到達目標としている。令和元年度は、①果実表面に負荷した粒子状ヨウ素の吸収、②結実後のリンゴ樹葉面及び樹皮表面に負荷した粒子状セシウムの吸収及び果実への転流、並びに果実表面に負荷した粒子状セシウムの吸収に関する実験を行い、それらの吸収及び転流の速度を求めるとともに、③果樹のヨウ素及びセシウムの吸収及び転流に関する移行モデルを負荷形態別に構築することを目標とした。

## 2. 方法

調査対象植物として、2 及び 3 年生のアルプスお

とめ幼木のポット苗を使用した。また、実験では、環境条件をコントロールするため、リンゴ樹の栽培は全天候型人工気象実験施設内の人工気象チャンバー内で行い、安定ヨウ素及びセシウムを使用した。

### 2.1 結実後のリンゴ樹果実表面に負荷した粒子状ヨウ素の吸収

結実後の果実生長段階の異なる 7 月下旬の開花後 75~77 日、9 月初旬の開花後 117~120 日及び 10 月初旬の開花後 145~147 日の 3 時期（発達期、後期発達期及び成熟期）にリンゴ樹の果実表面に粒子状ヨウ素を負荷し、負荷後経時的にリンゴ樹を採取した。採取後、負荷部位を洗浄液で洗浄した後、樹全体を部位別に採取した。植物試料はアルカリ抽出を行い、得られた洗浄液及び抽出液中のヨウ素を ICP 質量分析装置で定量した。

### 2.2 結実後のリンゴ樹の葉、樹皮及び果実表面に負荷した粒子状セシウムの挙動

結実後の果実生長段階の異なる 7 月下旬から 8 月初旬の開花後 74~92 日及び 9 月初旬から中旬の開花後 119~127 日の 2 時期（発達期及び後期発達期）にリンゴ樹の葉面又は幹の樹皮表面に、また 7 月中旬の開花後 68~70 日、8 月下旬の開花後 111~113 日及び 10 月初旬の開花後 144~148 日の 3 時期（発達期、後期発達期及び成熟期）にリンゴ樹の果実表面に粒子状セシウムを負荷し、負荷後経時的にリンゴ樹を採取した。採取後、負荷部位を洗浄液で洗浄した後、樹全体を部位別に採取した。植物試料は混酸で全分解し、得られた洗浄液及び分解溶液中のセシウムを ICP 質量分析装置で定量した。

### 2.3 果樹のヨウ素及びセシウム移行モデルの構築

得られたデータを基にしてヨウ素及びセシウムの吸収及び転流に関する移行モデルを作成した。各部位をコンパートメントとしたモデルを採用し、コンパートメント数及びその繋がりについて検討を行い、負荷形態別に最適化を行った。

### 3. 成果の概要

#### 3.1 結実後のリンゴ樹果実表面に負荷した粒子状ヨウ素の吸収

いずれの生長段階においても、負荷後数日で果実表面及び果実表皮中にそれぞれ約 1 割が残存するものの、果肉へはほとんど移行していなかった。これらのことから、負荷したヨウ素の多くは、果実（果実表皮及び果肉）には吸収されず、大気へ揮散したと推察された。

収穫期における果実（果実表皮及び果肉）のヨウ素の存在割合を負荷後の栽培日数で除すことにより求めた見かけの吸収速度は、 $10^{-3} \text{ d}^{-1}$  のオーダーであった。

#### 3.2 結実後のリンゴ樹の葉、樹皮及び果実表面に負荷した粒子状セシウムの挙動

葉面に負荷した場合は、両生長段階とも葉面からの吸収及び果実への転流が見られた。幹表面に負荷

したセシウムの幹中への吸収及び果実への転流も認められたが、その割合は葉面に比較して低かった。また、果実表面に負荷したセシウムは果肉まで移行していた。

果実表面に粒子状セシウムを負荷した場合、3.1 同様に求めた見かけの吸収速度は、 $10^{-3} \text{ d}^{-1}$  のオーダーであった。葉面または樹皮表面に粒子状セシウムを負荷した場合の負荷部位からの見かけの速度を同様に求めたところ  $10^{-4} \sim 10^{-5} \text{ d}^{-1}$  のオーダーであった。

#### 3.3 果樹のヨウ素及びセシウム移行モデルの構築

モデルは、負荷表面の吸収速度が異なる 2 コンパートメント並びに負荷部位、果実及びその他の部位がそれぞれ 1 コンパートメントの 5 コンパートメントを基本として、負荷する元素及び形態別に、コンパートメント数及び相互の繋がりを調整した。

一例として、結実前のリンゴ樹葉面からの液状セシウム移行モデル (Fig. 1) による推定値を Fig. 2 に実測値と併せて示した。葉面に残存する割合を示す洗浄液、負荷葉及び果実中セシウムの割合の経時変化を概ね再現することができた。また、その他の負荷部位、元素及び負荷形態について作成したいずれのモデルも得られた実験結果を概ね再現できた。

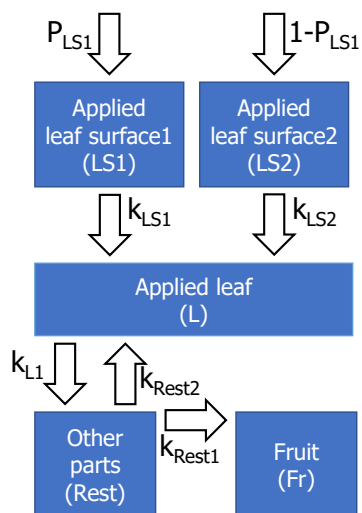


Fig. 1 Compartment model describing foliar uptake and translocation of Cs in apple plant.

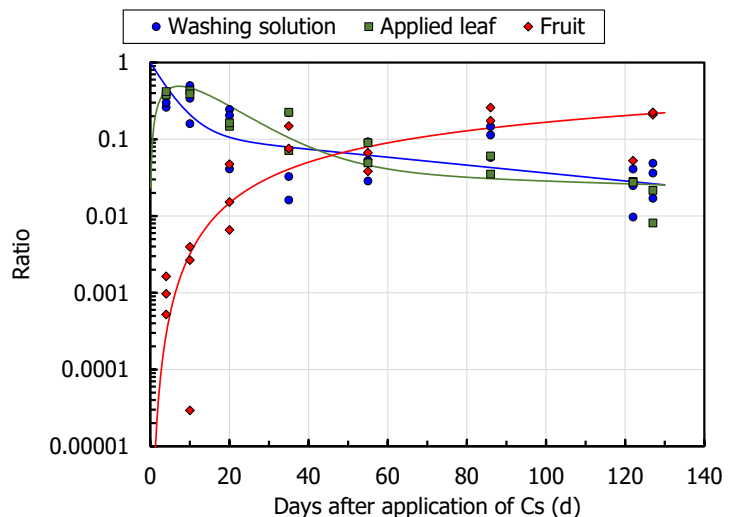


Fig. 2 Change in ratios of Cs in various parts after application of Cs. Ratios of Cs in various parts were defined as the ratio of the amounts in various parts to that loaded initially on the leaf surfaces. Solid curves show least square fitting lines obtained by the compartment model in Fig. 1.