

# カキおよびクリにおける発芽前に側枝先端結果母枝に施与された $^{137}\text{Cs}$ の移行特性

佐藤 守

福島大食農

## 1. はじめに

2011年3月、東電福島第一原発(FDNPP)事故発生時の落葉果樹は発芽前であり、落葉果樹では枝幹部樹皮に沈着した放射性セシウム(RCs)が果実など発芽後の新生器官で検出された RCs の主たる移行源となった[1]。しかし休眠枝から果実への RCs の移行について定量的に検証した報告は少ない。農作物の可食部への RCs の移行特性を評価する指標としては、土壌からの移行係数 ( $CR^{fs}$ ) があり、果樹でも  $CR^{fs}$  を求める研究が進められてきた。これは重量ベースの濃度比で表されたものである。他の指標としては、可食部の RCs 濃度 ( $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、FM または DM) と単位面積当たりの RCs 沈着量 ( $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$ ) の比で表される面的移行係数 (Aggregated transfer factors、 $T_{ag}$ ) がある。 $T_{ag}$  は必ずしも土壌が汚染源であることを意味するものではなく、果実の放射能濃度につながるすべての移行プロセスからの寄与度を評価することができる[1]。しかし、樹皮沈着を移行源とした  $T_{ag}$  も報告例が少ない。

カキとクリは、日本で古くから栽培、利用されてきた果樹である。また、カキは FDNPP 事故で最も経済的被害を被った果樹でもある。カキ果実は子房が肥大した真果であり、クリの可食部は種子(子葉と胚)である。ともに花芽は葉芽と花芽が混在する混合花芽であり、前年に伸長した1年生の結果母枝上の混合花芽の発芽後に新梢(結果枝)が伸長し、その葉腋に分化した花序に果実を結実させる。両樹とも枝齢2年~5年程度の側枝を中心に結果母枝群を形成している。特に側枝先端部の結果母枝で結実量が多い。本研究では、発芽前の側枝先端結果母枝に溶存態  $^{137}\text{Cs}$  液を塗布し、各部への  $^{137}\text{Cs}$  移行率と葉および果実への  $T_{ag}$  を求め、カキとクリの  $^{137}\text{Cs}$  移行特性を明らかにすることを目的とした。

## 2. 材料および方法

### 2.1 供試樹および塗布処理

福島県農業総合センター果樹研究所ほ場に植栽されたカキ‘平核無’(17年生)および福島市内の果樹園に植栽されたクリ‘丹沢’(30年生以上)各1樹を供試した。2020年および2021年4月の発芽前に2017年5月26日に飯舘村長泥地区比曾川沿いのヤチダモに着生したコモチイトゴケ(*Pylaisiadelphatenuirostris*)から抽出した溶存態  $^{137}\text{Cs}$  液(以下  $^{137}\text{Cs}$  液)を、任意に選んだ7~8側枝の先端結果母枝の天空側に、ポリアミド製毛筆を用いて塗布した。塗布した  $^{137}\text{Cs}$  液濃度は2020年  $7.0 \text{ Bq} \cdot \text{mL}^{-1}$ 、2021年  $7.5 \text{ Bq} \cdot \text{mL}^{-1}$ であった。塗布量は  $1 \text{ mL} \sim 2 \text{ mL}$ とした。塗布処理は、予め反復ごとに定容した  $^{137}\text{Cs}$  液を塗布と乾燥後の塗布処理を繰り返した。処理直後に採取した処理枝2本の  $^{137}\text{Cs}$  濃度を測定し、塗布量に対する付着量の百分率を付着率とした。各処理母枝の塗布量と付着率の積をその付着量とした。

### 2.2 形態調査および着果管理

塗布処理前に結果母枝の長さ太さ、クリは開花期に花穂数、葉数を、カキは幼果期(満開後30日)に果数、葉数を調査した。また、成熟期に葉数、果数(カキ)および殻斗数(クリ)を測定した。着果管理としては、カキは、2020年は満開後30日(7月2日)に葉果比25で摘果をした。2021年は無摘果とした。クリは両年とも無摘果とした。

### 2.3 試料の採取および調整

クリ開花期、カキ幼果期およびそれぞれの成熟期に処理母枝、処理母枝直下無処理母枝（2021年のみ）および対照として無処理側枝の結果母枝から母枝、新梢、葉、クリ花穂、カキ幼果、カキ成熟果、クリ殻斗を採取した。殻斗は毬（果皮）、鬼皮（果肉）、渋皮（種皮）および可食部（子葉・胚）に、カキ果実はガクと果皮付き果肉、処理母枝および対照は皮部と木部に分けた。試料は反復（処理母枝）単位で合わせ、80°Cで乾燥後、U8容器に充填し、Ge半導体検出器にて<sup>137</sup>Cs濃度を測定した。

## 2.4 移行率および $T_{ag}$ の算出

処理区と無処理区の<sup>137</sup>Cs濃度の差分に重量を乗じ<sup>137</sup>Cs吸収量とした。母枝の<sup>137</sup>Cs付着量に対する各部位の<sup>137</sup>Cs吸収量の百分率を処理枝からの移行率とした。 $T_{ag}$ は乾物ベースとして次式より算出した。

$$T_{agDW} \text{ (m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}) = A_o \cdot A_b^{-1}$$

$A_o$  試料中<sup>137</sup>Cs濃度(Bq · kg<sup>-1</sup> DW)、 $A_b$  単位面積当たり<sup>137</sup>Cs付着量 (Bq · m<sup>-2</sup>)

塗布面積 ( $S$ ) は塗布前に測定した枝の太さ ( $W$ ) と長さ ( $L$ ) から $S=0.5 \pi WL$ として算出した。

## 3. 結果

### 3.1 <sup>137</sup>Cs液塗布処理に供した側枝先端結果母枝の形態および処理量

<sup>137</sup>Cs液塗布処理に供した側枝先端結果母枝の形態および処理量を Table.1 に示した。

Table 1 Outline of dissolved <sup>137</sup>Cs treatment to the apical fruiting mother shoot

| Species            | Year | Applied <sup>137</sup> Cs |           | Retained <sup>137</sup> Cs Amount Bq | Contaminated mother shoot |                        |   | <sup>137</sup> Cs per unit area Mean ± SD kBq·m <sup>-2</sup> | Application days   |
|--------------------|------|---------------------------|-----------|--------------------------------------|---------------------------|------------------------|---|---|--------------------|
|                    |      | Volume mL                 | Amount Bq |                                      | Length Mean ± SD cm       | Thickness Mean ± SD mm | Contaminated area Mean ± SD cm <sup>2</sup> |   |                    |
|                    |      |                           |           |                                      |                           |                        |   |   |                    |
| Chestnut           | 2020 | 1.4                       | 11.9      | 11.7                                 | 44.9 ± 13.8               | 4.9 ± 0.4              | 36.0 ± 13.5                                 | 3.8 ± 1.4   | 16 and 17 April    |
|                    | 2021 | 2.1                       | 14.9      | 14.6                                 | 39.3 ± 8.0                | 4.8 ± 0.6              | 29.6 ± 6.1                                  | 5.1 ± 1.2   | 15,18 and 20 April |
| Japanese persimmon | 2020 | 2.0                       | 14.0      | 13.3                                 | 29.1 ± 12.1               | 8.5 ± 2.3              | 41.7 ± 24.3                                 | 5.2 ± 4.3   | 3 and 6 April      |
|                    | 2021 | 2.0                       | 14.5      | 13.1                                 | 33.9 ± 10.8               | 5.9 ± 0.8              | 32.2 ± 13.9                                 | 4.8 ± 2.3   | 6 April            |

### 3.2 カキとクリにおける施与された<sup>137</sup>Csの処理枝成熟果の移行率および $T_{agDW}$ の比較

成熟果の移行率と $T_{agDW}$ および分散分析の結果を Fig. 1 および Table 2 に示した。移行率、 $T_{agDW}$ は、いずれもクリよりカキで有意に高かった。年次間では移行率および $T_{ag}$ ともに有意差は認められなかった。ここで、カキでは、移行率は2021年の方が約2.5倍高かったが、 $T_{agDW}$ は2021年が低く逆の傾向を示した。一方クリでは、 $T_{agDW}$ は2020年より2021年の方が約2.5倍高かったが、移行率では顕著な年次間差は認められなかった。 $T_{agDW}$ は交互作用で有意性が認められており、樹種により年次間の傾向が異なることを示した。処理枝当たりの着果数は、カキは葉果比25で摘果をした2020年は1.8 ± 0.5果、無摘果とした2021年は6.8 ± 8.3果、クリでは2020年5.2 ± 1.6果、2021年3.0 ± 2.0果であった。処理母枝間のばらつきが大きく、明瞭な年次間差は認められなかったが、母枝当たり着果数の少ない調査年で移行率は低く、逆に $T_{agDW}$ は高い傾向を示し、特にカキで顕著であった。そこでカキについて葉果比と移行率

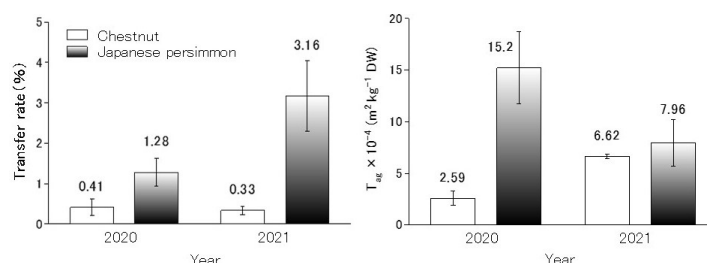


Fig. 1 Comparison of transfer rate and  $T_{agDW}$  in mature fruit between Japanese persimmon and chestnut. Vertical bar represents arithmetic standard deviation (the same applies hereafter)

Table 2. ANOVA of transfer rate and  $T_{agDW}$  for the main effect of the survey year and the fruit tree species.

| Effect      | Transfer rate |           | $T_{agDW}$ |           |
|-------------|---------------|-----------|------------|-----------|
|             | $F_0$         | $P$ value | $F_0$      | $P$ value |
| Year        | 3.3           | 0.09 NS   | 0.62       | 0.44 NS   |
| Species     | 13.3          | 0.003 **  | 14.8       | 0.001 **  |
| Interaction | 3.9           | 0.072 NS  | 13.2       | 0.002 **  |

\*, \*\* and NS indicate significant difference between treatments at  $P \leq 0.05$ , 0.01 and not-significant.

および  $T_{agDW}$  の関係を検討した結果、移行率とは有意な相関が認められ、2成分指数減衰関数に適合した。移行率は葉果比10以下で高まる傾向を示した。 $T_{agDW}$ は葉果比により単調増加傾向が認められたが、ばらつきが大きく有意な相関は認められなかった (Fig.2)。一方、クリでは移行率および  $T_{agDW}$  ともに葉果比との一定の傾向は認められなかった。

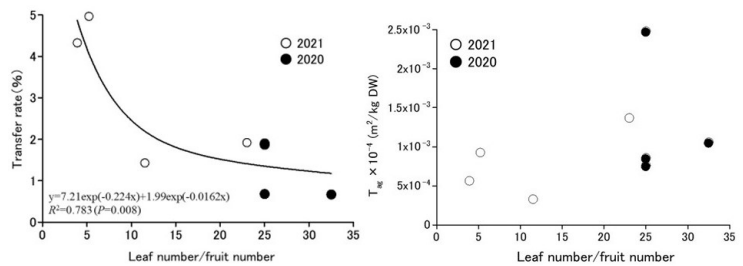


Fig. 2 Relation between the ratio of leaf to fruit and both of transfer rate and  $T_{agDW}$  in Japanese persimmon

### 3.3 クリ殻斗の部位別移行率の比較

殻斗では穂と可食部 (子葉および胚) が主要な移行部位であった。移行率は、可食部と穂部間では有意差は認められなかった。また、年次間差も認められなかった。果肉に相当する鬼皮への移行率は極めて低かった (Fig. 3)。

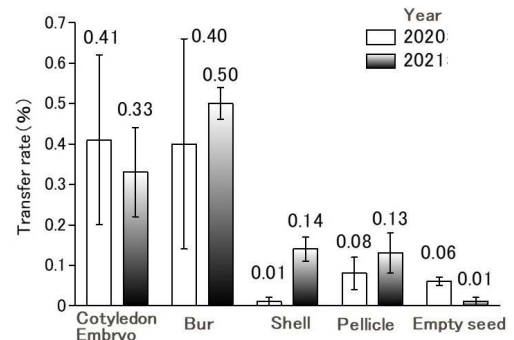


Fig. 3 Comparison of the transfer rate among organs of chestnut cupule

### 3.4 カキとクリにおける $^{137}\text{Cs}$ の処理母枝および直下非処理母枝への移行率の比較 (2021年)

表皮に塗布された  $^{137}\text{Cs}$  が残留していることを考慮し、処理母枝では皮部を除いて母枝内部への  $^{137}\text{Cs}$  移行率を集計した。発芽前に塗布された  $^{137}\text{Cs}$  のクリ開花期およびカキ幼果期での移行率は、処理結果母枝および直下の非処理結果母枝双方においてカキで有意に高く、処理母枝内への移行率はカキよりクリの方が約2倍高かった。また、処理母枝直下の非処理母枝への移行率はカキよりクリの方が約10倍高かった。処理母枝内と直下非処理母枝への移行率の比は、クリは約3分の1、カキは10分の1以下でクリの方が処理枝から吸収された  $^{137}\text{Cs}$  は下部へ移行しやすく、逆にカキは下部へ移行しにくいことを示した (Fig. 4)。器官別では、葉の移行率が、クリでは処理母枝および非処理母枝で  $7.20\% \pm 2.32\%$  および  $2.68\% \pm 1.96\%$  で葉が主要な移行器官であった。カキでは処理母枝ではクリ同様、 $2.95\% \pm 0.40\%$  と葉への移行が顕著であったが、非処理母枝では母枝、葉、幼果間で有意差は認められず、ともに0.1%程度であった。

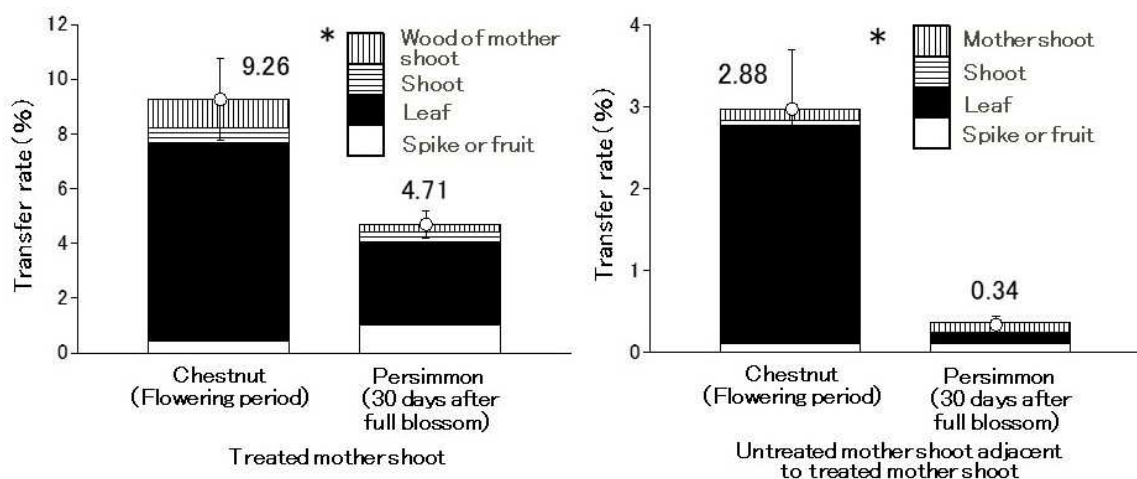


Fig. 4 Comparison of the transfer rate in organs both of the treated apical fruiting mother shoot and the untreated fruiting mother shoot immediately below the treated apical fruiting mother shoot between chestnut and Japanese persimmon in 2021

\* indicate significant difference between treatments at  $P \leq 0.05$  by  $t$ -test.

### 3.5 クリにおける生育時期による処理枝各部への<sup>137</sup>Cs移行率の比較

2020年は花穂の着生が豊富であったが、2021年はかなり少なかった。これを反映し、開花期では2020年で花穂への移行率が高く、枝梢部は低かったのに対し、2021年は逆の傾向を示した。2か年ともに開花期は葉への移行率が高かった。収穫期では殻斗および枝梢部の移行率は、年次間差は認められなかったが、葉の移行率は2021年で著しく高かった。処理母枝の収穫期の移行率は開花期より数%減少し、他の母枝へ移行したことを示唆した (Fig. 5)。

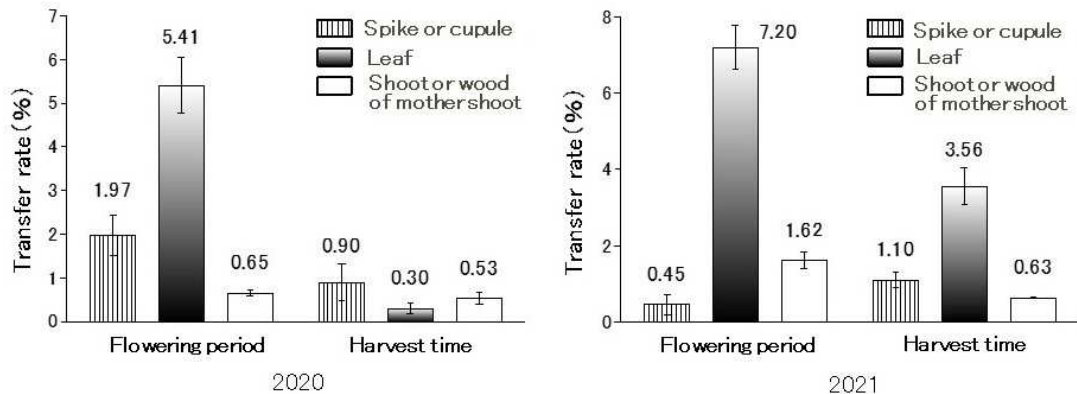


Fig. 5 Comparison of the transfer rate in organs on the treated apical fruiting mother shoot between flowering period and harvest time for the chestnut in 2020 and 2021

### 3.6 カキにおける生育時期による処理枝各部への<sup>137</sup>Cs移行率の比較 (2021年)

幼果期は、葉の移行率が高かった。収穫期では葉の移行率はほぼ半減したのに対し、果実の移行率は約3倍に上昇した。枝梢部の移行率は変わらなかった。また、処理母枝の収穫期の移行率は、幼果期と有意差は認められず、処理母枝外への移行を示したクリとは異なった (Fig. 6)。

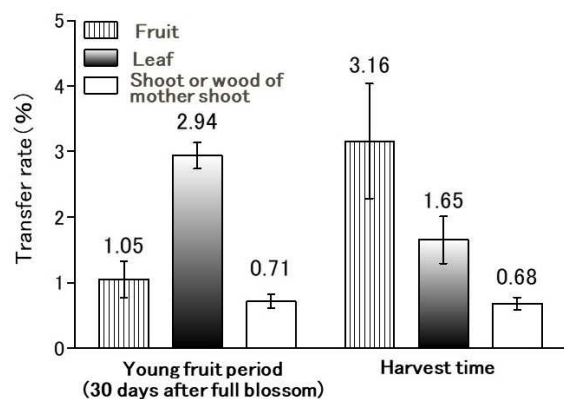


Fig. 6 Comparison of the transfer rate in organs on the treated apical fruiting mother shoot between flowering period and harvest time for Japanese persimmon

## 4. 考察

2020年と2021年に発芽前のカキおよびクリの側枝先端結果母枝表面に<sup>137</sup>Cs液を塗布し、発芽後の処理母枝およびその直下の非処理母枝上の各器官への<sup>137</sup>Csの移行特性を移行率と $T_{ag}$ を指標として検証した。休眠期に汚染された結果母枝上の成熟果の移行率および $T_{agDW}$ は、いずれもクリよりカキの方が高かった (Table 3)。カキの移行率および $T_{agDW}$ は、葉果比の影響をうける可能性が認められた (Fig. 2)。堀井は摘葉により葉果比と果実中<sup>137</sup>Cs濃度との関係を検討したが、一定の傾向は認められなかったことを報告している[2]。一方で佐藤 (印刷中) は摘果により結果枝上の葉に塗布された<sup>137</sup>Csの果実中<sup>137</sup>Cs濃度は有意に高まることを実証している。このことから移行源から果実への<sup>137</sup>Cs移行は、葉よりも着果量の影響が強いものと推察された。これは葉での光合成量が着果量に依存することを反映しているためと考えられた。ここでRCsは物理化学的特性がKと類似することから植物体中の移動はカリウム (K) のanalogue (相似元素) として挙動すると考えられる。Kは光合成産物である糖の葉から果実への転流を円滑にする作用があり[3]、Kは光合成産物とともに果実へ転流することが報告されている[4]。一方で果樹の物質移動においては、光合成産物の転流・分配の研究から確立されたシンクとソースの関係が成立する。物質の転流方向と分配量はシンク強度 (Sink strength) によって制御される。Sink strengthは容量因子と強度因子の積 (Sink size × Sink

activity) で定義される[5]。開花期または幼果期まではカキ、クリともに葉への移行率が高いことから、果実の Sink activity の高まりとともに葉中の  $^{137}\text{Cs}$  が果実、殻斗への転流するものと考えられた (Fig.5、Fig.6)。葉から果実への  $^{137}\text{Cs}$  の転流は光合成産物の葉から果実への転流に伴ったものと仮定するとカキとクリの移行率および  $T_{agDW}$  の差異、葉果比の影響の樹種間差が説明できる。すなわち、クリでは果肉に相当する果皮への移行率は極めて低く、クリの種子可食部もカキと比較して明らかに Sink size が劣る (Fig. 3)。そのためクリの Sink strength はカキよりも弱く、これが移行率および  $T_{agDW}$  に反映されたと考えられた。Fig. 2 からカキでは休眠期に汚染された結果母枝上の成熟果の移行率および  $T_{agDW}$  は同一結果母枝内の着果数に起因する葉果比の影響を受けやすいと推察された。ここで移行率と  $T_{agDW}$  は葉果比に対してトレードオフの関係にあり、葉果比を高めると果実への移行率は低くなるが  $T_{agDW}$  は高まるリスクが増す。このことから高濃度カキ果実生産抑制の観点からは強摘果は回避することが望ましいと考えられた。本研究からは満開後 30 日の摘果としては葉果比 10 程度を下限とした着果管理が妥当と考えられた。これは慣行の着果基準の 2 倍程度に相当する。なお、2021 年の収穫期のクリの葉の移行率は 2020 年と比較して著しく高かった。これは 2021 年の着果数が少なかったことが一因と考えられ、更に葉から他の母枝へ転流する余地を残していたと推察された。

塗布された  $^{137}\text{Cs}$  の母枝内への移行率は処理母枝と直下非処理母枝を併せるとクリ 12.4%、カキ 5.1% (Fig. 4) でカキよりクリの方が休眠期に汚染された結果母枝から母枝内へ  $^{137}\text{Cs}$  が移行しやすいこと、生育初期の段階 (開花期または幼果期) でカキよりクリの方が汚染された結果母枝から他の母枝へ  $^{137}\text{Cs}$  が移行しやすいことが明らかとなった (Fig. 5)。開花期または幼果期まではカキ、クリともに葉への移行率が高く、生育初期では葉が主要な Sink 器官であることは明らかである。クリ殻斗では種と可食部が主要なシンクであるが、処理された結果母枝以外に Sink strength として機能する器官が存在することを示唆している。山本らはカキでは葉で同化された  $^{13}\text{C}$  の収支は同一結果枝内でほぼ完結しているとしているが[6]、カキでは何故、生育初期段階でも他器官へ  $^{137}\text{Cs}$  が移行しにくいのかは不明である。 $^{137}\text{Cs}$  の樹種による汚染母枝から他の非汚染母枝への移行性の差異については、K 代謝の園芸学的観点からも重要であり、解明されるべき課題である。また、果樹の地上部に沈着した  $^{137}\text{Cs}$  の移行動態研究手法として着果量の評価と結果母枝または結果枝単位の調査が有効であると考えられた。

2020 年はクリでの塗布処理 1 日後の 4 月 18 日に福島気象台観測値で 88.5mm の降雨があった。処理後から開花期までの期間の処理母枝内への移行率は 2020 年  $8.7\% \pm 1.8\%$ 、2021 年  $9.3\% \pm 3.0\%$  であった。このことから、少なくとも処理後 1 日の多雨は  $^{137}\text{Cs}$  の内部への移行に影響はなかったと推察された。また、処理液の  $^{40}\text{K}$  濃度から  $^{137}\text{Cs}$  液は天然 K として最大 0.2% を含有していたと試算された。本研究において、相当量の塗布された  $^{137}\text{Cs}$  が検出され、各試料採取日において、 $^{137}\text{Cs}$  液が塗布されていない側枝から採取された対照群と実験群の器官中の  $^{40}\text{K}$  濃度に有意差は認められなかった。天然 K はリーチングにより葉や樹皮表面に存在し、組織表面からの RCs の内部への移行は物理的な拡散・浸透現象であり、根からの吸収とは異なる。これらのことから、 $^{137}\text{Cs}$  液中の K による溶存態  $^{137}\text{Cs}$  の内部への移行に対する影響は無視できるものと推察された。

Table 3 Transfer rate and  $T_{agDW}$  of  $^{137}\text{Cs}$  into fruit of Japanese persimmon and chestnut via apical fruiting mother shoot contaminated during dormancy

| Species            | Transfer rate (%) |      |      |      | $T_{agDW} \times 10^{-4} (\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1} \text{DW})$ |      |      |      |
|--------------------|-------------------|------|------|------|---|------|------|------|
|                    | AM                | ASD  | GM   | GSD  | AM  | ASD  | GM   | GSD  |
| Japanese persimmon | 2.22              | 1.59 | 1.77 | 1.96 | 12.8  | 6.99 | 11.0 | 0.54 |
| Chestnut           | 0.38              | 0.34 | 0.28 | 2.24 | 4.10  | 2.34 | 3.38 | 0.62 |

<sup>2</sup> AM Arithmetic mean, ASD Arithmetic standard deviation, GM Geometric mean, GSD Geometric standard deviation

## 5. 参考文献

- [1] IAEA. IAEA-TECDOC-1927, 68–90 (2020) .
- [2] 堀井 幸江・草場新之助・関澤 春仁・八戸 真弓・濱松 潮香・松波 寿弥・野中 章久・村上 敏文

. 農研機構研究報告 東北農研 . 121, 39–47 (2019) .

[3] Eplon, E., Cabral, O. M. R., Laclau, J., Dannoura, M., Packer, A. P., Plain, C., Battie-Laclau, P., Moreira, M. Z., Trivelin, P. C. O., Bouillet, J., Gérant, D. and Nouvellon, Y. *Tree Physiology* 36: 6–21 (2015) .

[4] 西村安代・福元康文・島崎一彦. *生物環境調節* 42 : 137-146 (2004) .

[5] 平野 暁・菊池卓郎. 果樹の物質生産と収量. 農文協, 東京, pp 40-42 (1989) .

[6] 山本隆儀・野堀秀明・佐々木宏・早坂康平. *園学雑*. 68 : 302-311 (1999) .

## Comparison of $^{137}\text{Cs}$ inward-migration via apical fruiting mother shoot applied $^{137}\text{Cs}$ solution during dormancy between Japanese persimmon and chestnut.

Mamoru Sato

Fukushima University, Faculty of Food and agriculture

Fruit trees were in their dormancy phase so radiocaesium was deposited onto external branches of the trees and onto orchard soils after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident in March 2011. Whilst data had previously been compiled on root to fruit transfer, there were few studies identifying and quantifying the relative importance of external deposition and translocation compared with root to fruit transfer. In 2020 and 2021, transfer rate ( $TR$ ) of applied  $^{137}\text{Cs}$  into organs and aggregated transfer factors ( $T_{ag}$ ) of applied  $^{137}\text{Cs}$  into mature fruits were studied after application of  $^{137}\text{Cs}$  solution at dormancy to apical fruiting mother shoots (FMS) of Japanese persimmon and chestnut to compare  $^{137}\text{Cs}$  inward-migration between both fruit tree species.  $^{137}\text{Cs}$  solution was prepared using samples of *Pylaisiadelphina tenuirostris* collected in the Nagadoro area of Iitate village in May 2017.  $TR$ s were measured by collecting the following organs in the early stages of growth (flowering stage for chestnut and 30 days after full blossom for Japanese persimmon) and at harvest time; bark and wood of FMS, shoot, leaf, spike and cupule for chestnut and young and mature fruits for Japanese persimmon. Cupule was subdivided into bur, cotyledons and embryo termed here as cupule fruit, shell, pellicle and empty seed. In 2021,  $TR$  of each organ of the treated apical FMS and the untreated FMS immediately below the treated apical FMS was also measured in the early stages of growth. The sum of the  $TR$  into both of treated and untreated FMS was 12.4% for chestnut and 5.1% for Japanese persimmon in 2021. The  $TR$  into leaves was the highest value among organs on the treated apical FMS in both chestnut and Japanese persimmon up to the flowering or young fruit stage. The  $TR$  adjacent untreated FMS at the early growth stage was 4.7% for chestnut and 0.3% for Japanese persimmon, indicating that  $^{137}\text{Cs}$  is more likely to be transferred from treated FMS to other untreated FMS in chestnut than in Japanese persimmon. As a result of application of  $^{137}\text{Cs}$  solution during dormancy, the  $TR$  into mature fruit via the FMS was 2.2% for Japanese persimmon and 0.38% for chestnut, and  $T_{agDW}$ , which was based on dry weight, was  $10.4 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1} \text{ DW}$  for Japanese persimmon and  $4.1 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1} \text{ DW}$  for chestnut, where each of values was calculated using both data of 2020 and 2021, resulting both of which were higher in Japanese persimmon than in chestnut. The weak sink strength of cupule fruit in chestnuts likely caused lower  $TR$  and  $T_{agDW}$  of edible part in chestnuts than those of fruit in Japanese persimmon. It was found that  $TR$  and  $T_{agDW}$  in Japanese persimmon have a trade-off relationship with respect to leaf–fruit ratio; therefore, refraining from intensive fruit thinning may be a useful remediation option that could reduce  $^{137}\text{Cs}$  activity concentrations in Japanese persimmon fruits.