

落葉果樹における放射性セシウムの挙動

福島県農業総合センター果樹研究所 佐藤 守

E-mail satou_mamoru_01@pref.fukushima.lg.jp

1 はじめに

東京電力福島第1原子力発電所の事故で放出された放射性物質は福島県果樹地帯の中心である伊達市および福島市をはじめ、中通りのほぼ全域に広がり、全ての果樹が汚染された。これらの地帯の汚染は主として3月15日の降雨による放射性降下物(フォールアウト:以下RF)によるものである。放出された放射性核種の内、深刻な放射性汚染物質となっているのは ^{134}Cs および ^{137}Cs である。放射性Csは葉または根から吸収され、特に葉から吸収されやすいとされている。RFがあった時期は、ウメは小梅類を中心に開花または幼果期であったが、モモ、リンゴ等の主要落葉果樹の生育ステージは発芽前であった。従って、果実への移行は根からのみで限定的なものであると推測されていた。しかし、幼果から予想を超える高濃度の放射性Csが検出された。その後の調査からチェルノブイリ事故では見落とされてきた果樹をはじめとする樹木特有の放射性Csの樹体内への移行動態が明らかになった。本報告では、汚染後2か年にわたる樹園地の土壌および果実中の放射性物質の動態調査により明らかになった落葉果樹における放射性セシウムの挙動の一端を報告する。

2 果樹の樹体内における放射性物質の移行動態の解明

(1) 落葉果樹の葉および果実中放射性Cs濃度の経時的推移

果樹研究所内および現地にてウメ、オウトウ、モモ、ブドウ、ナシ、リンゴおよびカキについて汚染初年度の葉および果実中放射性Cs濃度の経時的推移を調査した。ここでは、モモおよびリンゴを中心に紹介する。

果実中Cs濃度は満開後40日以内(6/1)の幼果期で72(ナシ)~183(リンゴ) Bq/kgFWと成熟果の5~7倍の高濃度であった。しかし、満開後50日頃には少なくとも幼果期の1/3以下まで激減した。これに対し、成熟期の濃度の低下は緩やかであった(図1、2)。葉中放射性Cs濃度も、果実同様、未成熟葉で高濃度を示し、成熟期ではいずれの樹種も減衰傾向を示した。また、生育期間の長いリンゴおよびカキでは果実肥大期から成熟期まで一定濃度で維持された(図1、2)。

Carini(2009)は、放射性Csは師部内の移動が容易であり、生育期間中は葉からの転流により果実へ放射性Csが蓄積されるとし、果実生育期は成長に伴う希釈

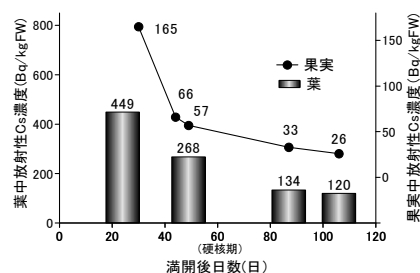


図1 葉および果実中放射性Cs濃度の推移(あかつき:2011年)

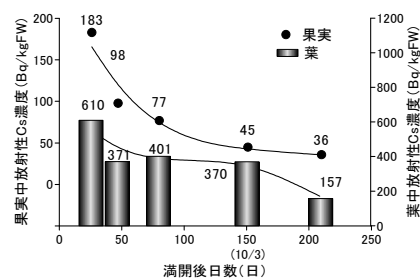


図2 葉および果実中放射性Cs濃度の推移(ふじ:2011年)

により放射性核種濃度は低下するとしている。また Zehnder ら (1995) はブドウで葉から果実への ^{134}Cs の転流では幼果で高濃度となり、以後、減少したと報告している。本調査では、最初の汚染源が不明であるが、汚染源から樹液流動期の維管束器官に移行し、まず芽への移行が優先的に起こり、その後、葉から果実への転流が起きたものと仮定して良いのではないかと考えられた。

(2) 落葉果樹の果実中放射性 Cs 含有量の経時的推移

果重と放射性 Cs 濃度から 1 果中の放射性 Cs 含量を算出した。果実当たり放射性 Cs 含量はブドウ、ナシ、リンゴおよびカキでは果実肥大に係わらず成熟期直前または完熟 30 日前からほぼ一定量で推移した(図 3)。しかし、モモでは完熟期まで果実肥大とともに増加した(図 4)。ブドウ、ナシ、リンゴおよびカキでは果実肥大後期では葉からの放射性 Cs の転流は極めて少ないことを示唆しており、これらの果樹ではこの時期より、放射性 Cs の貯蔵器官への転流が起きているのではないかと考えられた。

Zehnder ら (1995) はブドウでは成熟後期には果実から茎や根への再転流が起きているとしていることから葉から果実への転流と果実から他器官への再転流が併行して起きている可能性も思料された。

(3) 汚染翌年の果実中放射性 Cs 濃度の経時的推移と年次比較

2011 年に調査した同一樹または同一ほ場の非除染樹について果実中放射性 Cs 濃度を経時的に測定した。また成熟果の放射性 Cs について RF 翌年の経年減衰効果を検証した。経年減衰効果は、物理的半減期を考慮し、 ^{137}Cs 濃度で評価した。

核果類の果実中放射性 Cs 濃度はいずれも満開後 30 日以前の花または幼果が最も高い値を示した(図 5)。ナシ、リンゴでも同様であった。2012 年の 13 年生 ‘あかつき’ の果実中 ^{137}Cs 濃度の経時的推移は、硬核期で満開後 30 日の 41%まで減衰し、以後収穫期まで同レベルで推移した。2011 年と比較して満開後 30 日から硬核期までは約 1/7 に減衰したが、硬核終了後は 1/5 から 1/3 程度の減衰に留まった(図 6)。

果実生育に伴う放射性 Cs 濃度の減衰傾向は樹種により異なったが、いずれの樹種でも開花前の花または満開後 30 日以前の幼果が最も高い値を示した。このことから、成熟果の放射性 Cs 濃度は開花期から細胞分裂期の果実

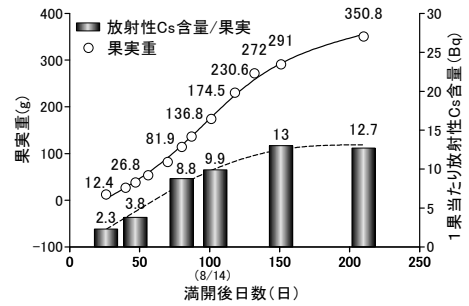


図 3 果実当たり放射性 Cs 量の推移 (ふじ：2011 年)

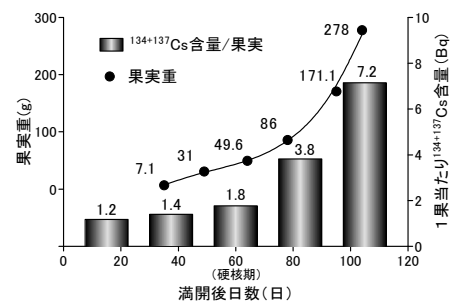


図 4 果実当たり放射性 Cs 量の推移 (あかつき：2011 年)

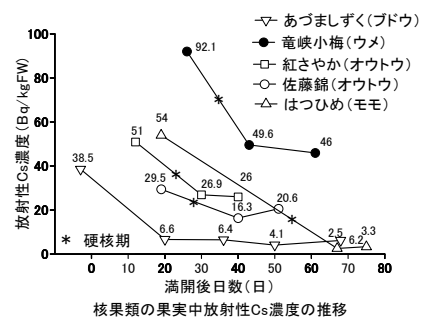


図 5 核果類の果実中放射性 Cs 濃度の推移 (2012 年)

よりも低くなることは明らかで、果実の汚染レベルの早期判定に活用できると考えられた。

落葉果樹の果実中放射性 Cs 濃度は汚染初年度と比較して、大きく減少した。物理的半減期の長い ^{137}Cs 濃度でも、1/3 以上の経年減衰効果が認められたが、2011 年に低濃度であったナシおよびブドウの減衰比は 1/3 以下であった (図 7)。

チェリノブイリ事故による汚染調査によると、リンゴ、モモ、サクランボ、スモモでは長期的には土壌からの吸収は無視してよく、汚染から 2、3 年は貯蔵された放射性 Cs の再利用が多かった。また、アンズでは 1987 から 1988 年の間で新生器官の ^{137}Cs 濃度が 1/3 までの減少が認められている (Carini, 2001)。本調査結果は、これらの報告と矛盾はなく、また、貯蔵養分による成長期である細胞分裂期で高濃度を示していることから、汚染 2 年目の新生器官の汚染源は貯蔵された放射性 Cs と考えられた。

3 果樹の樹皮からの放射性物質の移行動態の解明

(1) モモの主枝および側枝における表皮と内皮の放射性 Cs 濃度

6/14、6/16 に‘あかつき’および「78-12」の主枝と 3 年生枝の樹皮組織を形成層から内皮ごと木質部より剥離し、室内にて樹皮組織を表皮と内皮に分離し放射性 Cs 濃度を測定した。幹表皮の放射性 Cs 沈積量は‘あかつき’で 74069 Bq/kgFW、「78-12」で 114801 Bq/kgFW であった。内皮でも放射性 Cs が 1529 Bq/kgFW および 1660 Bq/kgFW 検出された。直接、果実を着生する 1 年枝を含む 1、2 年生枝では表皮 141074 Bq/kgFW、内皮 1498 Bq/kgFW が検出された。表皮に対する内皮の放射性 Cs 濃度比は 0.011~0.021 であった (図 8)。

(2) モモ樹皮の放射性 Cs 分布のイメージング解析

2011 年 6/6 に 18 年生‘あかつき’の新梢、1 年生枝 (短果枝および長果枝) および主枝部樹皮を採取し、東京大学農学部にて依頼してイメージングプレート画像解析を行った。

新梢の茎では検出されなかった。採取時に伸長停止していた新梢の葉では、全葉が葉脈および葉の外周でシグナルが見られた (図 9)。また、採取時に生育中の発育枝では第 6 節位葉までの葉縁部でシグナルが検出された。

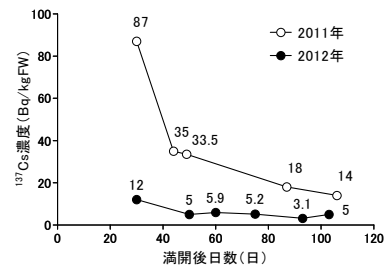


図 6 ‘あかつき’の果実中 ^{137}Cs 濃度の年次比較

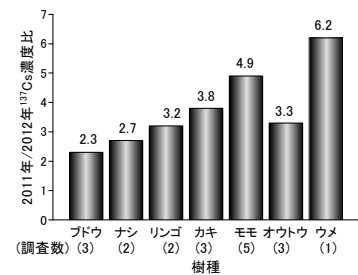


図 7 成熟果の ^{137}Cs 濃度の年次比

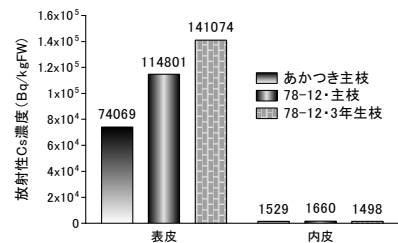


図 8 モモ主枝および側枝の樹皮中放射性 Cs 濃度 (2011 年)

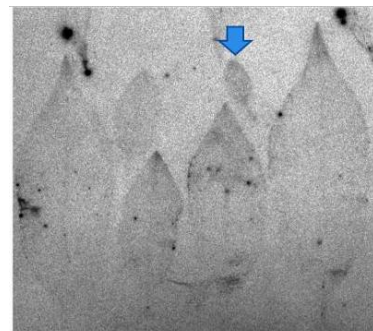


図 9 葉 (伸長停止新梢)

発育枝での反応は第6節位葉で最大であり、第7葉より上部では検出されなかった。樹皮部では皮目周辺部にのみ放射性物質の沈積が認められた(図10)。

放射性CsはKに類似する金属元素であり、植物体内の挙動もKと相似するとされているが、放射性Csの葉への移行は早く成長を終えた古い葉に留まっており、新生部に移動しやすいとされるKとは異なっていた。また、樹皮上では皮目周辺部にのみ沈積が認められた。皮目周辺部は添充細胞が発達している。添充細胞は細胞壁間の結合がゆるく、樹体内のガス交換を担っているとされていることからこの器官を通じて放射性Csが樹体内に移行したのではないかと推察された。

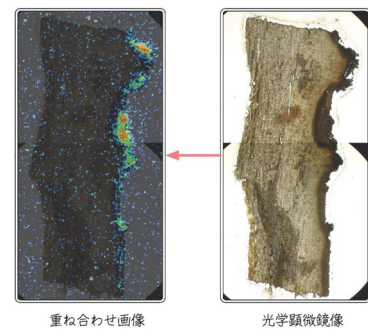


図10 樹皮(主枝部)

4 最後に

汚染初年の落葉後に、リンゴM26台‘ふじ’、モモ‘ゆうぞら’およびカキ‘蜂屋’の解体調査を行い、地上部および地下部の放射性Csの分配率を求めたところ、3樹種とも地上部が95%以上となり地下部は数%以内に留まった。地下部の濃度は、秋根に地上部から再転流したものと見なされるレベルであった。このことから、根からの吸収は無視してよいことが明らかになった。また、2012年には、発芽前の非汚染モモ苗に放射性Csの抽出液を散布または塗布処理を行ったところ、葉または果実で放射性Csが検出された。

Katanaらは、リンゴ2年生枝の樹皮部に¹³⁴Cs浸漬処理をし、その約7週間後に果実への移行を確認しており(Carini, 2001)、今回の調査結果はこれと符合するものである。

2か年にわたる調査から葉、果実および樹体内で検出された放射性Csの汚染源は樹皮上の放射性降下物であるとの結論に至った。

なお、果樹研究所での放射能汚染対策試験は、東北大学電子光理学研究センター、学習院大学、東京大学および福島大学による全面的な無償支援のもとに実施されたものである。

引用文献

Carini, F. 2009. Radionuclide transfer to fruit in the IAEA TRS 364 Revision, Journal of Environmental Radioactivity 100, 752-756.

Carini, F et al. 2001. Post-deposition transport of radionuclides in fruit, Journal of Environmental Radioactivity 32, 215-236.

Carini, F. 2001. Radionuclide transfer from soil to fruit, Journal of Environmental Radioactivity 52, 237-279.

Zehnder et al. 1995. Uptake and transport of radioactive cesium and strontium into grapevines after leaf contamination. Radiation Physics and Chemistry, 46 (1), 61-69.

IAEA. 2003. Modelling the transfer of radionuclides to fruit