

樹園地における放射能汚染の実態 —カキ園における環境放射能の影響評価—

○佐藤 守¹・阿部和博¹・山口奈々子¹・瀧田克典¹・湯田美菜子¹・額田光彦¹・
佐久間宣昭¹・安部充¹・大野剛²・菊永英寿³・大槻勤³・村松康行²
(¹福島県農総セ果樹研, ²学習院大理学部, ³東北大電子光理学研セ)

研究の目的

福島第1原子力発電所の事故で放出された放射性物質により福島県果樹地帯の多くの果樹が汚染された。汚染は主として3/15の降雨によるものであり、ウメを除く落葉果樹は葉が無い状態であった。その後の調査から、これらの果樹では、樹皮に沈着した放射性Csが転流して果実に移行すると考えられている。モモやリンゴ等の福島県主要果樹では暫定基準値を超える値は検出されなかった。しかしカキでは南相馬市で暫定基準値を超える果実が見つかり、県北果樹地帯の主要農産物であるアンポ柿の原料品種「蜂屋」の一部でも放射性Csが検出された(乾燥に伴う濃縮を考慮しアンポ柿生産を自粛)。そこで我々はカキ園の放射能汚染について周辺環境を含め実態調査をしたので報告する。

材料および方法

調査1: 伊達市柱沢のカキ「蜂屋」園の環境放射能調査として、地上1cmおよび樹園地内外の地上1mの空間線量を測定した。また、表層下5cmの土壌および園地内に植生するイネ科多年草のルートマット層(以下RM層)および茎葉部の放射性Cs濃度を測定した。カキ樹の汚染調査として果実および葉(頂芽新梢葉)、樹皮、枝(1-3年枝)、樹体に付着していたコケを採取し、放射性Cs濃度を測定した。空間線量、果実、葉の測定は経時変化を見るため数回行った。土壌は春(4/27)と落葉期(12/21)に採取し比較した。成熟期(11/14)に採取した果実についてはヘタ、果皮、果肉に分けた。更に果皮および葉について洗浄の有無による比較を行った。

調査2: 11/15に暫定基準値を超えた南相馬市馬場のカキ樹について隣接する常緑針葉樹のヒノキ林を含め調査した。カキ樹周辺の地上1cmおよび1m、ヒノキ林の地上1cmの空間線量を測定した。また、カキ樹皮のヒノキ林側とその反対側の高さ1、1.5、2mの表面汚染をGMサーベイメータにより測定した。次に、カキ樹の果実、樹皮(ヒノキ林側とその反対側に分けて採取)および深さ5cmまでの土壌とヒノキの葉を採取し、放射性Cs濃度を測定した。果実はヘタ、果皮および果肉に分け、ヘタおよび果皮は洗浄の有無による濃度差を比較した。カキの葉は落葉後で採取できなかった。

伊達市柱沢のカキ「蜂屋」園のコケと南相馬市のカキ樹皮およびヒノキ葉について^{110m}Ag(706KeVの計数値)の測定を行い、¹³⁴Csおよび¹³⁷Csとの計数比を算出した。

結果

調査1: 地上1mの空間線量は園外よりも園内が高かった。空間線量は地上1cmも含め、5月から12月の間に50~65%まで減衰した。表皮の放射性Cs濃度は主幹>3年枝>2年枝>1年枝で、枝齢を重ねるほど高かった。コケは40万Bq/kgを超え、主幹樹皮の4倍以上の高濃度を示した(Fig.1)。葉中Cs濃度は夏季(8/23)に高濃度(602Bq/kg-FW)を示したが、着色開始期は約200Bq/kg-FW低下し、その後は落葉期まで300~400Bq/kg-FWで推移した。落葉期の土壌中Cs濃度は春と比較して74%までに低下した。RM層のCs濃度は乾物ベースで表層下5cm土壌濃度の約4倍に達した(Table1)。イネ科多年草茎葉部のCs濃度は150~210Bq/kgであった。果実中Cs濃度は未熟期から着色開始後の成熟盛期まで160~180Bq/kg-FWで推移した。成熟期後半にやや減衰傾向を示したが、完熟期以降は果実が軟化しても濃度の低下は認められなかった。果実の器官別Cs濃度は生重ベースでヘタ>葉>果皮>果肉の順で低下した(Table2)。また、葉の放射性Cs濃度は、無洗浄409Bq/kg-FW、洗浄335Bq/kg-FWであり、洗浄の有無により葉の放射性Cs濃度に有意差が認められた。

調査2: カキの樹皮表面での計数率はヒノキ林側1.93kcpm、反対側0.56kcpmでヒノキ林側が有意に高く、同様に放射性Cs濃度でもヒノキ側が反対側より1.7倍高い値を示し(Fig.2)、樹皮表面の放射能汚染において方向的偏りが認められた。果実のヘタおよび果皮では洗浄の有無によりそれぞれ513およ

び 351Bq/kg-FW の差異が認められ、特にヘタで顕著であった (Fig. 3)。ヒノキの葉でも無洗浄で 1.3 倍高い値を示した。

$^{137}\text{Cs}/^{110\text{m}}\text{Ag}$ 比はヒノキ葉 (632) < カキ樹皮 (991, 1033) < コケ (4590) の順に高く、特にコケの $^{137}\text{Cs}/^{110\text{m}}\text{Ag}$ 比はヒノキ葉の 4.5 倍できわめて高かった。カキ樹皮のヒノキ側 (1033) と反対側 (991) 間では有意差は認められなかったが、ヒノキ葉、カキ樹皮およびコケ間では有意差が認められた。

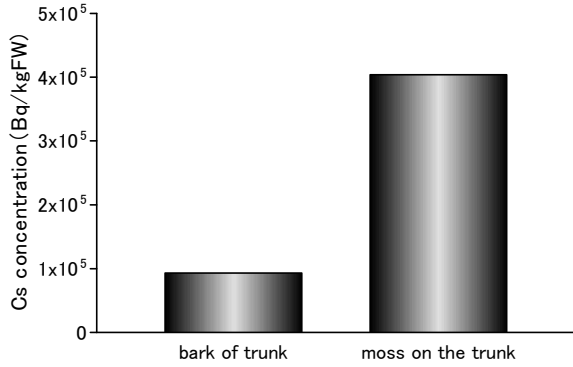


Fig.1 Comparison of $^{134+137}\text{Cs}$ concentrations in the bark of the tree trunk and the moss on the trunk (persimmon orchard in Date city)

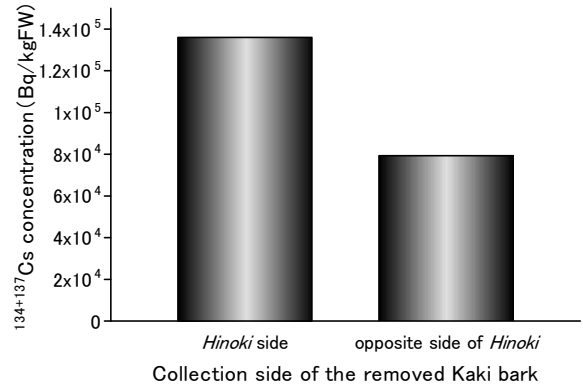


Fig.2 Comparison of $^{134+137}\text{Cs}$ concentration in the trunk bark samples collected from *Hinoki* side and the opposite side (persimmon tree in Minamisoma city)

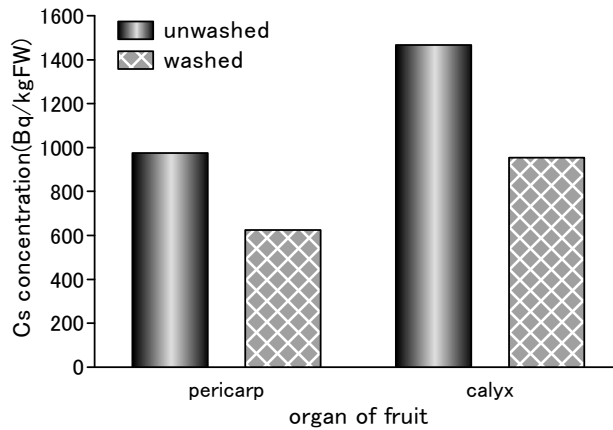


Fig.3 Comparison of $^{134+137}\text{Cs}$ concentration of pericarp and calyx between washed and unwashed (persimmon tree in Minamisoma city)

Table1 Radiocesium concentration in the 0-5 cm soil layer and layer of grass root mat

sample	sampling day		^{134}Cs		^{137}Cs		$^{134+137}\text{Cs}$	
			(kBq/kg-DW)		(kBq/kg-DW)		(kBq/kg-DW)	
0-5 cm soil layer	4/27	(A)	9.68	± 0.49	9.26	± 0.31	18.9	± 0.58
	12/21	(B)	6.00	± 0.35	8.03	± 0.48	14.0	± 0.60
	B/A		0.62		0.87		0.74	
layer of grass root mat	12/21		22.6	± 1.33	31.6	± 1.90	54.3	± 2.32

Table2 Radiocesium concentration of fruit organs and leaf of persimmon

sample ^z	¹³⁴ Cs			¹³⁷ Cs			¹³⁴⁺¹³⁷ Cs		
	(Bq/kg-FW)			(Bq/kg-FW)			(Bq/kg-FW)		
calyx	194	±	15.1	228	±	10.3	422	±	18.3
pericarp	114	±	6.9	152	±	9.3	288	±	11.5
flesh	63.0	±	3.9	74.8	±	2.7	138	±	4.7
leaf(green)	128	±	8.2	183	±	11.9	316	±	14.5
leaf(yellow)	139	±	8.8	182	±	1.2	321	±	8.9

^z sampling day 11/14

考察

4月27日に採取した土壌からは¹³⁴Csおよび¹³⁷Csに加えて4.17 kBq/kg-DWの¹³¹Iが検出されている。¹³¹Iは物理的半減期約8日の短半減期核種である。果樹研究所ほ場では4月15日から5月25日の期間の土壌中放射性核種濃度のうち、¹³¹Iは時間とともに減少し、5月下旬には土壌中からはほとんど検出されないまでに減衰した。これに対し、放射性Csでは明瞭な減衰傾向は認められなかった。一方、土壌表面1cmの空間線量はこの44日間に30%の低下が認められ、これは土壌中¹³¹Iの濃度の減衰と相関が高いことが明らかになっている(未発表)。伊達市柱沢のカキ「蜂屋」園の調査においても5月下旬までの土壌表面1cmの空間線量の減衰は土壌中¹³¹Iの影響があったものと推察される。一方、樹園地内1mの空間線量は、9月下旬以降で比較的大きく減衰し、6月以降は、緩やかな減衰傾向を示した果樹研究所ほ場とは異なる傾向を示した。これについては、園内はカキ樹冠で被われていることから当該園の空間線量は土壌表層に加え樹皮上に沈積した放射性Cs (Fig. 1)の動態の影響を受けている可能性が思料された。すなわち、物理的半減期を超える樹園地内1mの空間線量の減衰は、9月下旬までの降雨に伴う洗浄作用による樹皮上の放射性Csの低下も反映しているのではないかと考えられる。土壌中放射性Cs濃度については、主たるフォールアウトのあった3月15日を起算日とし、初期の¹³⁴Cs/¹³⁷Cs比を1.1として試算した4月27日から12月27日の期間の¹³⁴Cs、¹³⁷Csおよび¹³⁴⁺¹³⁷Csの物理的半減期による減衰率は20.0、1.5および11.3%である。これに対し測定値ではそれぞれ38.0、13.3、25.9%減衰し、物理的半減期よりも高い減衰率を示した(Table 1)。深さ3cmまでに90%以上の放射性Csが沈積する樹園地の垂直分布の実態から、土壌下層への浸透による減衰は無視して良い。表層2cm程度のRM層の土壌中放射性Cs濃度が高いこと(Table 1)から、草刈り等の管理作業による土壌表層からの土壌微粒子の遊離・飛散や、雨水による放射性Csの表面流出が物理的半減期を超える減衰の一因ではないかと推察される。

果実中Cs濃度は夏季から収穫期の11月上旬まで大幅な減衰傾向は認められなかった。また葉の濃度も同様であった。葉では洗浄の有無で有意な濃度差が認められている(Fig. 3)ことから、環境からの2次汚染の可能性を示唆した。ここで、樹皮上のコケで極めて高濃度の放射性Csが検出されており(Fig. 1)、コケは樹冠全体に着生していることから2次汚染源の可能性が疑われた。果実器官では果実の呼吸器官であるヘタで高濃度を示した(Table 2)。ヘタは形態的に雨滴が停滞しやすいことから2次汚染の影響を受けやすいものと推察された。なお、葉中の放射性Cs濃度は緑葉と黄葉とでは差は認められず、葉におけるCsの動態はKとは異なる可能性を示唆した(Table 2)。

南相馬市馬場のカキ樹では樹皮の放射線量および放射性Cs濃度いずれにおいてもヒノキ側が高い値を示した(Fig. 2)。ヒノキの葉(データ省略)、カキ果皮およびヘタの放射性Cs濃度は洗浄の有無により高い濃度差が認められた(Fig. 3)ことから環境からの2次汚染の可能性を示唆した。ヒノキの葉に付着した放射性Csが梅雨時等の風雨に伴う樹冠滴下水と共にカキ樹皮および果実表皮に付着したものと思料されるが、Cs/^{110m}Ag比ではカキ樹皮のヒノキ側と反対側間で有意差は認められず、Cs/^{110m}Ag比によりヒノキを2次汚染源として説明することはできなかった。ここで、Cs/^{110m}Ag比はヒノキ葉ではカキ樹皮より低く、逆にコケではカキ樹皮より高い値を示している。^{110m}Agは雨水等による移動性が低いとされている。このことから汚染源のCs/^{110m}Ag比の地域間差はないものと仮定すれば、放射性Csのヒノキ葉からの飛散とカキ樹皮からコケへの集積が起きているものと推察された。

A field study on the radioactive contamination in deciduous orchards: Assessment of environmental radioactivity effects on plants in Japanese persimmon orchards

M.Sato¹,K.Abe¹,N.Yamaguchi¹,K.Takita¹,M.Yuda¹,M.Nukada¹,N.Sakuma¹,M.Abe¹,T.Ohno²,
H.Kikunaga³,T.Ohtuki³,Y.Muramatsu²

¹ Fruit Tree Research Centre, Fukushima Agricultural Technology Centre , ²Department of Chemistry, Faculty of Science, Gakushuin University, ³Research Center for Electron Photon Science Tohoku University

Abstract

Radioactive contamination in ‘Hachiya’ Kaki (Japanese persimmon) orchard located in Date city and kaki tree neighboring Hinoki (the Japanese cypress) hedgerow in Minamisoma city were investigated. When the radiation dose and the radiocesium concentration in the 0-5 cm top soil layer of the ‘Hachiya’ Kaki sampling area were compared between 27 April 2011 and 21 December 2011, faster decreases were observed compared to the combined physical half-lives of radiocesium ($^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$). The radiocesium concentration in soil of the defoliation stage of the persimmon tree decreased to 74% of that observed in the spring of 2011. At late December, the radiocesium concentration in the grass root mat layer under the *kaki* tree reached approximately 4-four times higher than that of the 0-5cm top soil layer on dry matter basis. No clear tendency of radiocesium concentration decreases in fruits from the summer until the beginning of November (harvest season) was observed. Radiocesium concentrations on the barks of tree parts were higher in the following order: trunk > three-year-old branch > two-year-old branch > shoot; the radiocesium concentration was higher in the older branch. The moss sample collected from the persimmon tree in the ‘Hachiya’ Kaki sampling area contained more than 400,000 Bq/kg-FW of radiocesium, which was higher four times or more than that observed for the trunk bark, and the moss sample showed the highest concentration among the collected samples. Although radiocesium in *Kaki* leaves showed a high concentration (602 Bq/kg-FW) in the summer (23 August 2012), however, it decreased to approximately 200Bq/kg-FW, and then, the concentration remained constant at 300 ~ 400 Bq/kg-FW until defoliation period. Radiocesium concentration of different organs of fruit decreased in the following order calyx > (leaf) > pericarp > pulp on fresh weight basis. In addition, concentrations of radiocesium before and after washing were different. Radiocesium concentration in trunk bark of *Kaki* tree collected in Minamisoma city, indicated concentration differences in the different collection side; the value was 1.7 times higher near *Hinoki* hedgerow side than that in the opposite side. For fruit, washing effect was clearly detected especially in the calyx and the peel. Radiocesium concentration of the *Hinoki* leaves without washing also showed the 1.3 times higher than that of with washing sample. The $^{137}\text{Cs}/^{110\text{m}}\text{Ag}$ ratio which adopted $^{110\text{m}}\text{Ag}$ count value at 706 keV was higher in the following order; of moss (4590) > kaki bark (991, 1033) > *Hinoki* leaf (632). The significant difference was not observed between *Hinoki* side (1033) and the other side (991) of the persimmon bark. Probably, there was re-suspension of radiocesium from *Hinoki* leave to the Kaki tree bark scattering from a *Hinoki* leaves of the radiocesium and then the radiocesium was accumulated to the moss because of the low ratio in the *Hinoki* leaves and the high ratio in the moss. Our finding suggests the occurrence of the secondary contamination of radiocesium from the moss or the *Hinoki* leaves to the neighboring *Kaki* trees.