

休眠期に汚染された落葉果樹の放射性セシウムの樹体内への移行経路の解明

Investigation of the radiocesium migration pathway
into the deciduous fruit tree contaminated at the dormant period

福島県農業総合センター果樹研究所 佐藤 守 阿部和博
学習院大学理学部 大野 剛 村松康行
福島大学理工学類 高瀬つぎ子 河津賢澄
東京大学院農学生命科学研究科 高田大輔 田野井慶太郎

落葉果樹の休眠期における放射性セシウム (Cs) の樹皮および土壌から樹体内への吸収移行を検証した。放射性 Cs のカキ樹体の部位別分配率は主幹下部で全体の 60.5% を占め、根部は 1.9% に過ぎなかった。主幹部に汚染されたモモ樹皮抽出液を塗布したモモ苗の葉から放射性 Cs が検出された。同様に汚染されたユズ葉洗浄液を発芽前に噴霧処理したモモ苗の葉および果実から放射性 Cs が検出された。汚染翌春に新植したモモと汚染土でポット栽培したモモおよびブドウの葉または果実から放射性 Cs が検出された。果実の移行係数はモモが 10^4 、ブドウは 10^3 オーダーであった。本試験から休眠期に汚染された落葉果樹では樹皮等の樹体表面から直接、放射性 Cs が樹体内に移行した割合が多いことが明らかとなった。

キーワード：部位別分配率、塗布試験、噴霧試験、新植、移行係数

1 緒言

東京電力福島第一原子力発電所の事故で放出された放射性降下物により、福島県内の主要な果樹地帯のほぼ全域が汚染された。ウメ以外の落葉果樹は発芽前であったが、発芽前の放射能汚染による放射性セシウムの落葉果樹樹体内への移行経路については解明されておらず、その後の動態についての報告もない。そこでカキ、モモおよびブドウを用いて休眠期における放射性 Cs の樹体内への移行経路を解明するために、樹体を解体調査するとともに、樹皮および土壌からの吸収移行について検証試験を実施した。

2 試験方法

(1) 実験 1 カキ樹体における放射性 Cs の部位別分布状況

果樹研究所ほ場植栽のカキ‘蜂屋’ (7年生、樹高 4.5 m) 1 樹について、2012 年 1 月 31 日に根部ごと掘上げ、解体した。地上部は主幹部高さ 1.5 m の位置で下部と上部に分け、枝齢別 (1～4 年生枝、主幹) に試料を採取した。深さ 1.4 m の位置までに存在する根をすべて採取し、太さ別 (直径 2 cm 未満、2cm 以上 5 cm 未満および 5 cm 以上、以下細根、中根、太根) に分けた。試料は、各分画ともに皮部と木部を併せた全体の他に、皮部および木部に分けて調整した。1 年生枝、2 年生枝および地下部の全体は 3 反復とし、皮部分画試料は 1 反復とした。また、樹冠下 3 か所から深さ 30 cm までの土壌を 3、9、15、21 cm で区分して採取し、放射性 Cs 濃度分析に供試した。土壌濃度の乾物換算は土壌水分 20% として算出した。土壌採取は直径 83mm のステンレス製円筒型採取器 (東北大学電子光理学研究センター作製) を用いた。各部位の放射性 Cs 濃度と重量から含有量を算出し、樹体全

体に対する器官別含量割合として分配率を求めた。また木部の放射性 Cs 濃度と重量から木部の放射性 Cs の分配率を試算した。土壌中放射性 Cs の垂直分布は、各深さ区分の仮比重を 1 として深さ 30 cm までの放射性 Cs の存在割合を以下の式により算出し、深さ別沈積率 (D) とした。 $D = w_i \times C_i / T_c \times 100$ 、ここで 0～3、3～9、9～15、15～21、21～30 cm の区分を添え字 i で表し 1～5 を充てる。 w_i : 採土層の厚さに基づく加重係数、 $w_1=1$ 、 $w_2=w_3=w_4=2$ 、 $w_5=3$ 、 C_i : 放射性 Cs 濃度、 $T_c=C_1+2 \times (C_2+C_3+C_4)+3 \times C_5$

(2) 実験 2 樹皮からの吸収移行検証試験

果樹研究所温室で養成中の 2 年生モモ‘つきかがみ’ 1 樹および交雑実生 (個体 No. 121-10) 2 樹を供試し、モモ樹皮からの放射性 Cs 抽出液を 2012 年 3 月 24～26 日および 30 日の 4 回にわたって主幹下部に塗布した。‘つきかがみ’ は先端部が催芽期、他は未発芽であった。‘つきかがみ’ は 7 月 13 日に、交雑実生は 9 月 20 日に葉を採取し分析試料を調整した。さらに、東京大学附属生態調和農学機構 (以下、機構) 温室内 (西東京市) で育成されたモモ‘白鳳’ポット苗 4 樹を露地下で供試し、放射性 Cs を含むユズ葉洗浄液を発芽前の 3 月 30 日、4 月 2～4 日の 4 回にわたってハンドスプレーにて噴霧散布した。8 月 20 日に葉および果実を 4 樹併せて採取し分析試料を調整した。

(3) 実験 3 土壌からの吸収移行検証試験

機構温室内にて育成されたコンテナ栽培 5 年生‘あかつき’ 3 樹を供試し、2012 年 4 月 14 日に果樹研内のモモ抜根跡地に植栽した。8 月 6 日に果実および葉を樹ごとに採取した。併せて 11 月 22 日に樹幹から 35～45 cm の各樹 1 か所から深さ 30 cm までの土壌を 3、9、15、21 cm で区分して採取混合し、分析試料とした。さらに、機構雨よけ施設に

て育成されたポット栽培4年生モモ‘白鳳’および3年生ブドウ‘ピオーネ’3樹を供試し、4月14日に伊達市現地ほ場より採取した土壌を充てんしたポットに植栽した。果実の放射性Cs濃度は、モモは8月10日に採取し樹ごとに、ブドウは9月13日および9月20日に果実および葉を3樹併せて採取し、分析試料を調整した。11月11日にブドウ1樹を解体、洗浄後、部位別の放射性Cs濃度を測定した。

(4) 放射性核種測定

放射性Cs濃度は、学習院大、東京大、福島大および材料科学技術振興財団においてゲルマニウム半導体検出器により測定した。分析値は採取日に減衰補正した。

3 試験結果

(1) 実験1 カキ樹体における放射性Csの部位別分布状況

枝齢別放射性Cs濃度は、全体では主幹、4年生枝、および3年生枝>2年生枝>1年生枝の順で有意に高かった。皮部でも同様の傾向であった。1年枝は全体で100Bq/kgFW(kgFW:新鮮重kg)以下で2年枝以上より有意に低濃度であった。3年枝以上では枝によるばらつきが大きかった。高さ別では下部の2年枝で上部より有意に高濃度であった。また主幹でも下部で高い傾向を示した。木部では上部で3年生枝が高く、下部では1年生枝が低く、主幹が高い傾向を示した。根の放射性Cs濃度は、太根は事故後に発芽伸長した1年生枝と同程度で、中根および細根では1年生枝より低濃度であった。皮部では根幹で高濃度であったが、他の

表1 カキ‘蜂屋’樹体の部位別放射性Cs濃度

樹体	部位区分 ^z 器官	生重 (kg)	乾物率 (%)	放射性Cs濃度 (Bq/kgDW)						分配率 (%)		
				¹³⁴ Cs		¹³⁷ Cs		¹³⁴ Cs+ ¹³⁷ Cs		¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	¹³⁴ Cs+ ¹³⁷ Cs
地上部 (4.45m)	1年枝上部	0.6	0.54	43.5	± 24.5	54.9	± 32.9	98	± 41	0.09	0.08	0.09
	1年枝下部	1.8	0.54	35.5	± 14.2	44.4	± 28.7	80	± 32	0.22	0.21	0.21
	2年枝上部	1.0	0.57	218	± 106	292	± 147	510 ^x	± 181	0.75	0.75	0.75
	2年枝下部	2.8	0.57	582	± 176	771	± 243	1353 ^y	± 301	5.6	5.7	5.6
	3年枝上部	0.7	0.58	1120	± 13	1420	± 22	2540	± 26	2.6	2.5	2.5
	3年枝下部	0.8	0.58	1070	± 8	1470	± 13	2540	± 15	2.8	2.9	2.9
	4年枝下部	3.4	0.57	1470	± 14	1950	± 23	3420	± 27	17.4	17.5	17.5
	主幹上部	1.4	0.60	1670	± 5	2260	± 9	3930	± 10	7.9	8.1	8.0
	主幹下部	6.1	0.60	2840	± 11	3730	± 19	6570	± 22	60.7	60.4	60.5
地下部 (1.35m)	根幹	9.9	0.46	23.3	± 5.2	29.8	± 3.4	53.0 ^{ab}	± 6.3	0.81	0.78	0.79
	太根	5.4	0.53	38.4	± 10.7	46.2	± 10.5	85.0 ^b	± 15	0.72	0.65	0.68
	中根	4.4	0.49	18.4	± 3.6	20.8	± 0.2	39.0 ^a	± 3.6	0.28	0.24	0.26
	細根	1.8	0.40	25.1	± 5.6	32.2	± 4.8	57.0 ^{ab}	± 7.4	0.16	0.15	0.16
地上部合計(a)		18.4								98.0	98.2	98.1
地下部合計(b)		21.5								2.0	1.8	1.9
樹体合計(a+b)		39.9								100	100	100

^z 主幹部の地上から1.5mで区分した

^y 測定値は1/31に減衰補正した

^x 2年枝および地下部については異符号間で危険率5%で高さ間で有意差あり

表2 カキ‘蜂屋’樹体の皮部と木部の放射性Cs濃度比較

器官名	部位	¹³⁴ Cs+ ¹³⁷ Cs (Bq/kgFW)	皮部/ 木部
1年枝上部	皮部	172	1.7
	木部	103	
1年枝下部	皮部	87	1.7
	木部	51	
2年枝上部	皮部	1740	15.5
	木部	112	
2年枝下部	皮部	5470	52.6
	木部	104	
3年枝上部	皮部	8770	49.2
	木部	178	
3年枝下部	皮部	11600	112
	木部	104	
4年枝	皮部	7200	86.6
	木部	83	
主幹上部	皮部	8850	82.0
	木部	108	
主幹下部	皮部	12800	93.8
	木部	137	
根幹	皮部	1050	21.4
	木部	49	
太根	皮部	142	2.7
	木部	52	
中根	皮部	158	3.9
	木部	40	

表3 カキ‘蜂屋’樹体木部の部位別放射性Cs分配率

器官名	生重 ^z (kg)	乾物率 (%)	¹³⁴ Cs+ ¹³⁷ Cs		分配率 (%)
			濃度 (Bq/kgDW)	含有量 (Bq)	
1年枝上部	0.6	0.54	33.4	20.0	0.3
1年枝下部	1.8	0.54	49.6	89.2	1.1
2年枝上部	1.0	0.57	63.8	63.8	0.8
2年枝下部	2.8	0.57	166	465	5.9
3年枝上部	0.7	0.58	72.3	50.6	0.6
3年枝下部	0.8	0.58	48.3	38.6	0.5
4年枝下部	3.4	0.57	161	547	7.0
主幹上部	1.4	0.60	90.7	127	1.6
主幹下部	6.1	0.60	501	3060	39.0
根幹	9.9	0.46	223	2210	28.1
太根	5.4	0.53	149	804	10.2
中根	4.4	0.49	86.2	379	4.8
合計	38.3			7850	100

^z 生重の皮部/木部割合は数%であることから木部重量と見なして試算

部位では1年枝と同濃度であった。放射性Csの部位別分配率では主幹下部で全体の60.5%を占めて最も高く、次いで下部4年枝で17.5%であった。これに対し、根部は合わせて1.9%に過ぎなかった。また太さ別では太根で高く、中、細根の順で低下した(表1、2)。木部濃度から木部のみの

表4 カキ‘蜂屋’樹体の樹冠下土壌の放射性Cs濃度の垂直分布(2012年)

反復	深さ区分 (cm)	¹³⁴ Cs (Bq/kgDW)			¹³⁷ Cs (Bq/kgDW)			¹³⁴ Cs+ ¹³⁷ Cs (Bq/kgDW)			沈積率 ^γ (%)
		濃度 ^z	±	誤差	濃度	±	誤差	濃度	±	誤差	
地点1,2 平均	0~3	6390	±	85.1	8840	±	148	15200	±	171	88.7
	3~9	320	±	11.1	436	±	19	757	±	22	8.8
	9~15	59.6	±	2.4	76.1	±	4.0	136	±	5	1.6
	15~21	25.1	±	0.6	34.1	±	1.1	59.2	±	1.2	0.7
	21~30	5.17	±	0.74	5.49	±	1.16	10.7	±	1.4	0.2
100											
地点3	0~3	6980	±	99	9680	±	172	16700	±	198	66.5
	3~9	1180	±	26	1660	±	45	2840	±	52	22.7
	9~15	197	±	5	291	±	8	488	±	9	3.9
	15~21	83.7	±	4	118	±	7	201	±	8	1.6
	21~30	219	±	2	229	±	2	448	±	3	5.4
100											

^z 各濃度は2012年1/31に減衰補正した。

^γ 30cmまでの放射性Csの各深さ区分の分布割合。仮比重を1として各区分の厚さにより濃度を加重し算出した。

分配率(乾物換算)を試算した結果、主幹下部で39.0%、次いで根幹が28.1%で根幹を含めた地下部全体では43.2%であった。また、剪定の対象となる1~4年生枝の分配率は併せて16.2%であった(表3)。土壌の垂直分布は3か所のうち1か所は21~30cmの濃度が他の2か所より2桁高い値を示した。他の2か所では3cmまでに約90%が沈積していた(表4)。

(2) 実験2 樹皮からの吸収移行検証試験

モモ樹皮抽出液を発芽前に主幹部に塗布したモモ苗3樹ともに葉からの放射性Csが検出された(表5)同様に、ユズ葉洗浄液を発芽前に噴霧処理したモモ‘白鳳’の葉および果実からも放射性Csが検出された(表6)。ここで処理始めの日に減衰補正した処理液の放射性Cs濃度はモモ樹皮抽出液が547 Bq/kgFW、ユズ葉洗浄液は160 Bq/kgFWであった。

表5 塗布処理されたモモ苗の個別葉中放射性Cs濃度^z

品種・器官名	放射性Cs濃度 (Bq/kgFW)						
	¹³⁴ Cs		¹³⁷ Cs		¹³⁴ Cs+ ¹³⁷ Cs		
	濃度	±	誤差	濃度	±	誤差	
つきかがみ	29.1	±	1.93	38.7	±	2.39	67.8 ± 3.07
交雑実生	23.5	±	3.59	40.1	±	4.24	63.6 ± 5.56
交雑実生	7.89	±	1.96	12.1	±	3.01	20.0 ± 3.59

^z ‘つきかがみ’は7月13日、交雑実生は9月20日に試料採取

表6 噴霧処理されたモモ苗‘清水白桃’の葉および果実中放射性Cs濃度

器官名	放射性Cs濃度 (Bq/kgFW)						採取日
	¹³⁴ Cs		¹³⁷ Cs		¹³⁴ Cs+ ¹³⁷ Cs		
	濃度	±	誤差	濃度	±	誤差	
葉	30.5	±	2.3	54.3	±	3.9	84.8 ± 4.5 8/20
果実	2.1	±	0.4	3.5	±	0.4	5.6 ± 0.6 8/20

表7 抜根跡地および汚染土で栽培されたモモの葉および果実中放射性Cs濃度

品種・器官名	放射性Cs濃度 (Bq/kgFW)						
	¹³⁴ Cs		¹³⁷ Cs		¹³⁴ Cs+ ¹³⁷ Cs		
	濃度	±	誤差	濃度	±	誤差	
あかつき・葉	3.16	±	0.90	3.52	±	1.05	6.69 ± 1.38
あかつき・果実	0.27	±	0.22	0.98	±	0.26	1.25 ± 0.34
白鳳・果実	2.52	±	0.37	4.68	±	0.47	7.20 ± 0.59

^z ‘あかつき’は抜根跡地、‘白鳳’はポットにて栽培

表8 抜根跡地土壌の放射性Cs濃度の垂直分布

土壌深さ (cm)	放射性Cs濃度 (Bq/kgDW)						沈積率 (%)
	¹³⁴ Cs		¹³⁷ Cs		¹³⁴ Cs+ ¹³⁷ Cs		
	濃度	±	誤差	濃度	±	誤差	
0~3	1010	±	170	1650	±	278	2670 ± 325 16.0
3~9	1090	±	198	1770	±	324	2870 ± 380 34.5
9~15	881	±	160	1430	±	260	2310 ± 305 27.8
15~21	586	±	107	981	±	179	1570 ± 208 18.9
21~30	79.5	±	23.2	79.4	±	23.3	159 ± 33 2.9

(3) 実験3 土壌からの吸収移行検証試験

抜根跡地に植栽し‘あかつき’および汚染土でポット栽培した‘白鳳’、‘ピオーネ’の葉または果実から放射性Csが検出された(表7、9)。抜根跡地土壌の放射性Cs濃度は深さ21cmまでは、抜根作業に伴う混和により、深さ30cmまでの含有量の16~35%の沈積率を示した(表8)。また、‘ピオーネ’の細根で葉より高濃度の放射性Csが検出された。これに対し中根と結果母枝は細根の1/3で同濃度であった(表9)。試験結果から算出された果実の移行係数は、モモが10-4、ブドウは10-3オーダーで、モモはブドウよりも1桁小さかった。葉の移行係数は、モモ、ブドウともに10-3オーダーであった(表10)。なお、数値の丸め操作によって合計が一致しないことがある。

4 考察

Carini⁴⁾のブドウPinor Blanc 2年生苗を供試し、汚染部位を葉または土壌に限定したポット試験の報告によると、ポット当たり5305kBqを含む¹³⁴Cs溶液250mLを土壌に加え、土壌からのみ吸収させた場合の移行係数は根 2.6×10^{-2} 、新梢 1.3×10^{-2} 、果実 0.8×10^{-2} 、葉 0.68×10^{-2} であり、部位別分配率は根42%、果実33%、葉および新梢9%で、根の濃度および分配率が最も高かった。一方で、葉からのみ吸収させた場合の分配率は根10%、果実48%、葉24%、新梢8%であり、葉から吸収された¹³⁴Csは容易に根部にも転流することが認められた。ここで葉から果実への移行係数は 2.5×10^{-1} であった。なお、土壌処理された¹³⁴Csは6cmまでに深さ20cm全体の約82%が存在していた。実験3での根および葉中放射性Cs濃度の結果はCarini⁴⁾の土壌からの吸収試験の報告と同様に根の濃度が最も高く、また、実験1の地下部と地上部の放射性Cs濃度の関係は葉からのみ吸収させたCarini⁴⁾の実験結果と類似した。加えて、実験1の土壌中放射性Csの垂直分布もCarini⁴⁾の報告と一致した。

Antonopoulos-Domis¹⁾は、Chernobyl事故では放射性Csは土壌表層10cmまでに95%が存在しており、果樹ではこの部位に根は存在

しないので根からの吸収は無視してよいとし、2年目以降の果実中放射性Csのほとんどは地上部から樹体内に取込まれた放射性Csの再転流によると報告している。また、高田ら⁵⁾はコンテナにより根域制限栽培している5年生モモ‘あかつき’を供試し、コンテナの被覆処理の有無により土壌中の放射性Cs濃度は異

表9 汚染土でポット栽培されたブドウ‘ピオーネ’の葉および果実中放射性Cs濃度

器官名	放射性Cs濃度 (Bq/kg) ^z									
	¹³⁴ Cs			¹³⁷ Cs			¹³⁴ Cs+ ¹³⁷ Cs			採取日 (月日)
	濃度	±	誤差	濃度	±	誤差	濃度	±	誤差	
葉	46.1	±	3.7	79.2	±	4.9	125.3	±	6.1	9月20日
果実	13.5	±	1.3	22.7	±	1.4	36.2	±	1.9	9月13日
新梢	11.0	±	2.6	18.6	±	2.5	29.5	±	3.7	11月11日
結果母枝	21.1	±	5.7	57.4	±	4.8	78.5	±	7.4	11月11日
中根 ^y	24.5	±	4.3	52.9	±	3.6	77.3	±	5.6	11月11日
細根	85.2	±	7.6	168	±	6.2	254	±	9.7	11月11日
栽培土壌	7440	±	448	10700	±	644	18100	±	784	4月14日

^z 単位は植物は新鮮重、土壌は乾物当たり

^y 太さ1.5mm以上を中根、1.5mm未満を細根とした

なったが、樹体内放射性Csの濃度に差は認められず、根の放射性Cs濃度も低かったことから事故当年での根を通じての地上部への移行は、樹皮よりの移行に比べて僅かであるとしている。Cariniら²⁾の総説によると、Katanaらはリンゴ2年生枝・樹皮部の¹³⁴Cs浸漬処理7週間後に処理側枝から25cm離れた果実で処理濃度対比1.8%の¹³⁴Csを検出している。

本研究では細根の放射性Cs濃度は、実験1ではフォールアウト後伸長した1年生枝より低かったが、実験3のように根より放射性Csを吸収させた場合では、葉よりも高かった。この比較から実験1の根から検出された放射性Csは秋根伸長に伴う地上からの再転流によるものと推察された。実験2の結果から、休眠期に汚染された落葉果樹では樹皮等の樹体表面から直接、放射性Csが樹体内に移行した割合が多いことが明らかとなった。

本研究で得られたモモおよびブドウの果実の移行係数のオーダーはCarini³⁾らの報告と比較してモモは1桁低く、ブドウもやや低かった。本試験では汚染翌年の土壌を供試していることを考慮する必要がある。2011年の見かけの移行係数(土壌濃度に対する果実の濃度比)は10⁻²オーダーで土壌の移行係数としては明らかに高い。これは、2011年は樹皮から移行したためである。今後は樹皮からの移行係数を求める必要があるが、現在のところ報告例はない。

翌年の新生器官へ再転流する放射性Csは主として木部に貯蔵される。実験1における木部の放射性Csの分配率の試算値から剪定による貯蔵された放射性Csの除去効果は最大(間引き率2/3相当)で10%程度と推察された。なお、主幹部を地上から60cmで切断する胴切りでは地下部全体に主幹下部の40%(試算式;60/150)が残存することから、貯蔵された放射性Csの除去効果は40%(試算式;100-(43.2+39.0×0.4))程度と見込まれた。このことから剪定による貯蔵された放射性Csの除去効果は限定的と推察された。

謝辞

東京電力福島第一原子力発電所の事故後、いち早く福島県に駆けつけ、測定指導および無償で分析をしてくださった東北大学電子光理学研究センター、学習院大学、東京大学大学院農学生命科学研究科および福島大学の皆さんに感謝いたします。

引用文献

- Antonopoulos-Domis, M., A. Clouvas and A. Gagianas. 1990. Compartment model for long-term contamination prediction in deciduous fruit trees after a nuclear accident. *Health Physics* 58: 737-741.
- Carini, F., G. Bengtsson. 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.
- Carini, F., E. Lombi. 1997. Foliar and soil uptake of ¹³⁴Cs and ⁸⁵Sr by grape vines. *The Science of the Total Environment* 207: 157-164.
- 高田大輔・安永円理子・田野井慶太郎・中西友子・佐々木治人・大下誠一. 2012. 放射性降下物に起因した果樹樹体内放射性核種の分布(第2報) -福島第一原子力発電所事故当年における土壌からの放射性Csの移行について. *RADIOISOTOPES* 61: 517-521.

表10 モモおよびブドウの移行係数

樹種	品種・器官	放射性Cs濃度			2011年見かけの移行係数 ^y	文献の移行係数 ^x	
		土壌 ^z (Bq/kgDW)	果実・葉 (Bq/kgFW)	移行係数		最大値	最小値
モモ	あかつき・葉	2300	6.7	2.9×10 ⁻³	1.9×10 ⁻²	1.3×10 ⁻²	9.0×10 ⁻³
	あかつき・果実	2300	1.3	5.4×10 ⁻⁴			
	白鳳・果実	19800	7.2	3.6×10 ⁻⁴			
ブドウ	ピオーネ・葉	18100	125	6.9×10 ⁻³	1.2×10 ⁻²	8.0×10 ⁻²	1.0×10 ⁻³
	ピオーネ・果実	18100	36.2	2.0×10 ⁻³			

^z ‘あかつき’は深さ20cmまでの加重平均濃度

^y 土壌濃度に対する果実の濃度比、ほ場表層下5cmの土壌とそのほ場から収穫された果実の放射性Cs濃度からの算出値(土は4で除して深さ20cmに換算、仮比重は1とした)

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