

果樹の放射性物質吸収の 仕組みと対策



福島県農業総合センター 果樹研究所

福島県内の主要果樹産地の放射能汚染状況

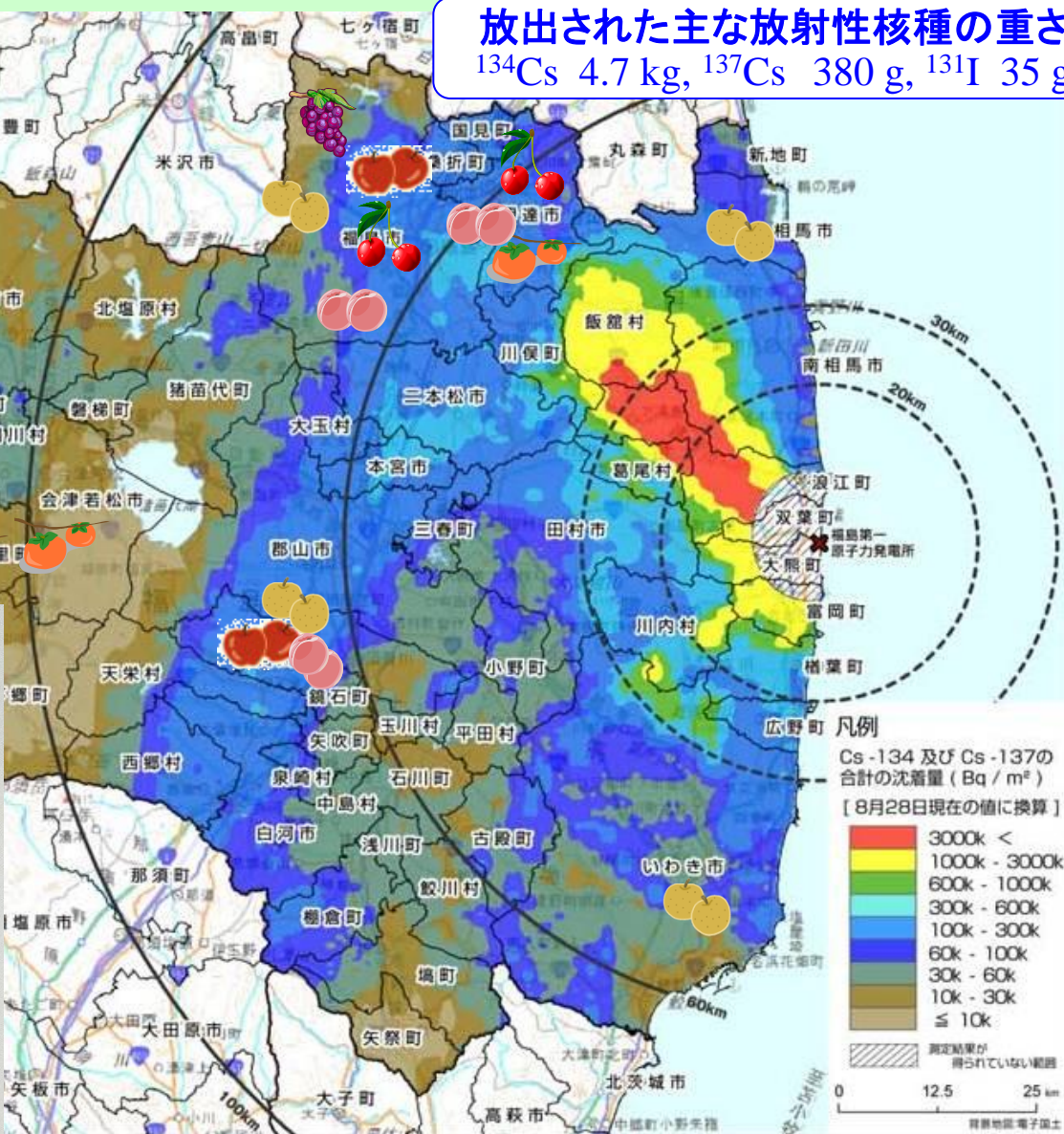
福島県は
青森、長野、山梨、山形に
次ぐ落葉果樹の主産県

果樹の県別順位(収穫量:平22)

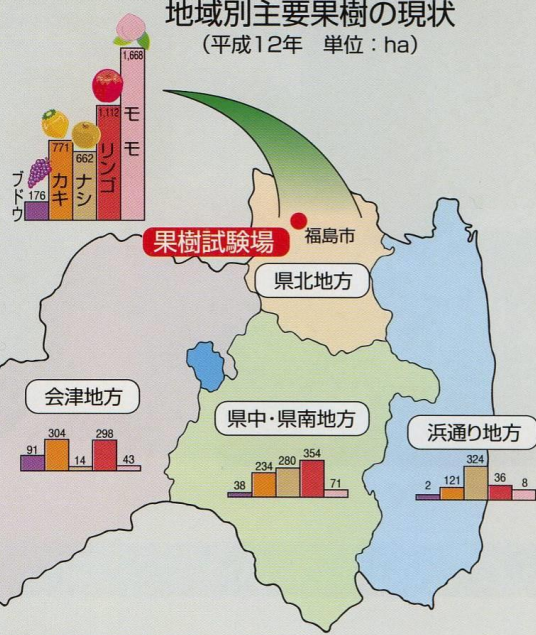
モモ	2位	カキ	4位
リンゴ	6位	オウトウ	6位
ナシ	3位	ブドウ	12位

放出された主な放射性核種の重さ

^{134}Cs 4.7 kg, ^{137}Cs 380 g, ^{131}I 35 g



地域別主要果樹の現状
(平成12年 単位: ha)



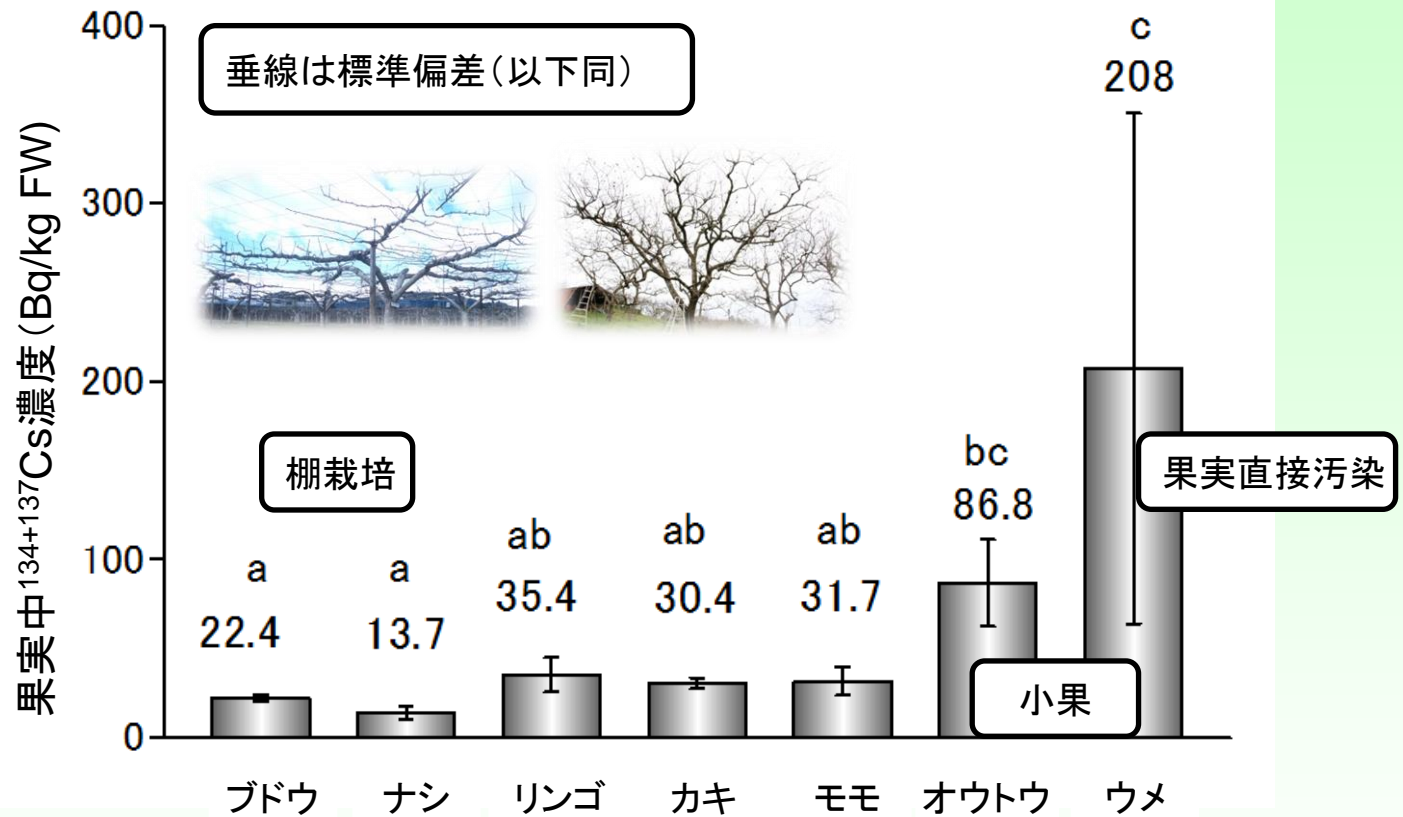
文部科学省による福島県の航空機モニタリングの測定結果より
(平成23年9月12日)

2011年主要落葉果樹の発芽日(果樹研)

樹種 <i>Fruit tree species</i>	品種 <i>Cultivar</i>	発芽日 <i>Date of sprouting</i>
モモ(<i>Peach</i>)	あかつき(<i>Akatsuki</i>)	3月28日(<i>March 28th</i>)
ナシ(<i>Japanese pear</i>)	幸水(<i>Kosui</i>)	4月8日(<i>April 8th</i>)
リンゴ(<i>Apple</i>)	ふじ(<i>Fuji</i>)	3月31日(<i>March 31th</i>)
オウトウ(<i>Sweet cherry</i>)	佐藤錦(<i>Satonishiki</i>)	3月31日(<i>March 31th</i>)

3月15～22日の降雨と降雪により果樹園が放射能に汚染された。ウメは開花後の汚染であったが、他の落葉果樹は発芽前であった。地上部の主要な汚染器官はイチジクは前年の夏果、ウメは幼果、休眠期の落葉果樹は樹皮、常緑果樹のユズ、ビワは葉であった。

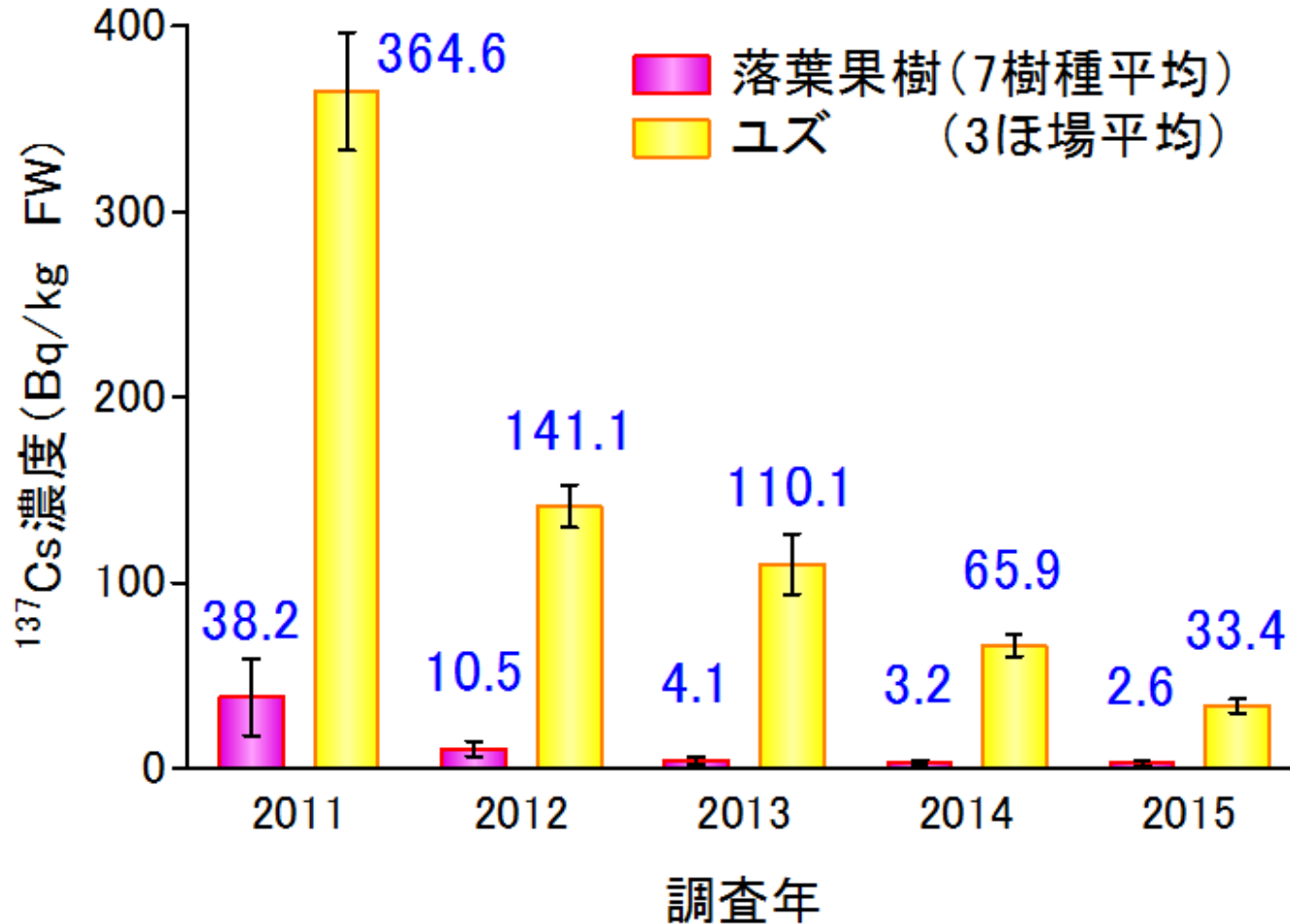
果樹研究所における2011年成熟果の放射性Cs濃度



落葉果樹の種類

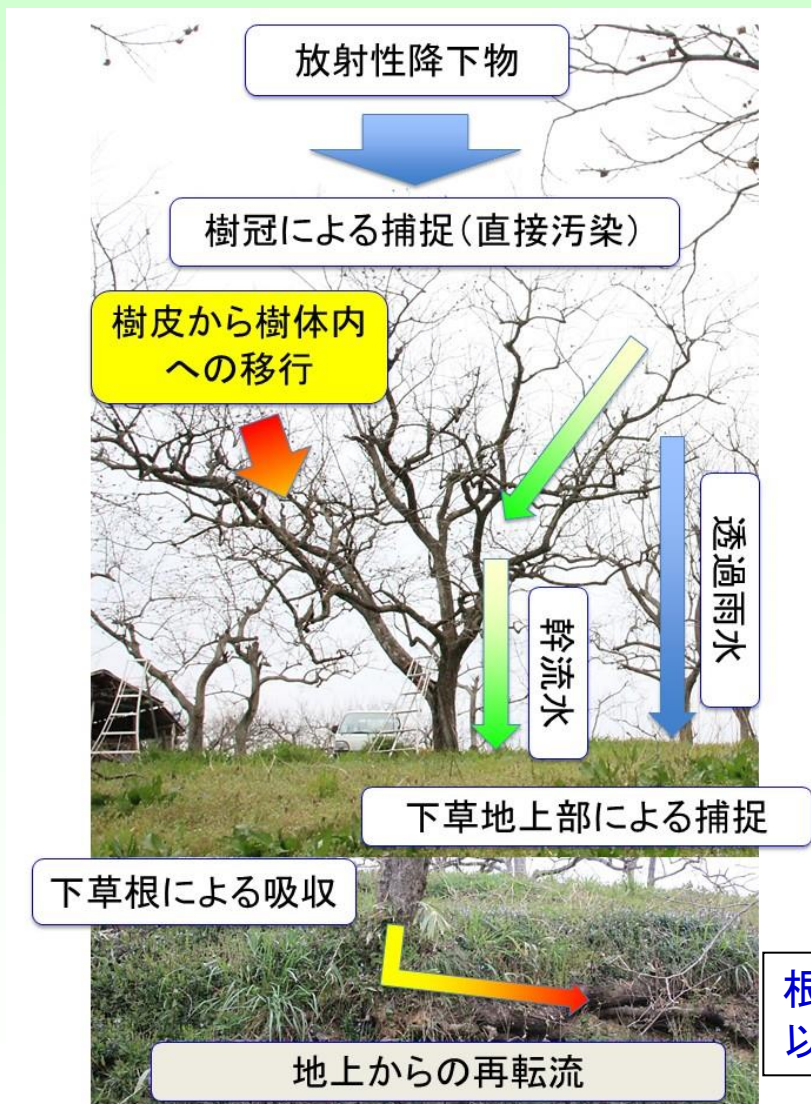
7樹種(ウメ、オウトウ、モモ、ブドウ、ナシ、リンゴ、カキ)で調査。
供試品種数はモモ5品種、オウトウ3品種、それ以外は2品種

落葉果樹およびユズにおける 果実中¹³⁷Cs濃度の経年推移



落葉果樹では3年目までは急速に減少。4年目からは下げ止まり傾向
ユズは5年目でも急速な減少が継続

福島原発事故に伴い放出された放射性Csの果樹園における移行経路



調査年
2011年

樹体表面の汚染状況

5種類の落葉果樹（モモ、オウトウ、リンゴ、ナシ、ブドウ）
主枝分岐から30cmの位置の周囲方向で上部、側部、下部
の位置の汚染状況をGMサーベーターにより測定した。



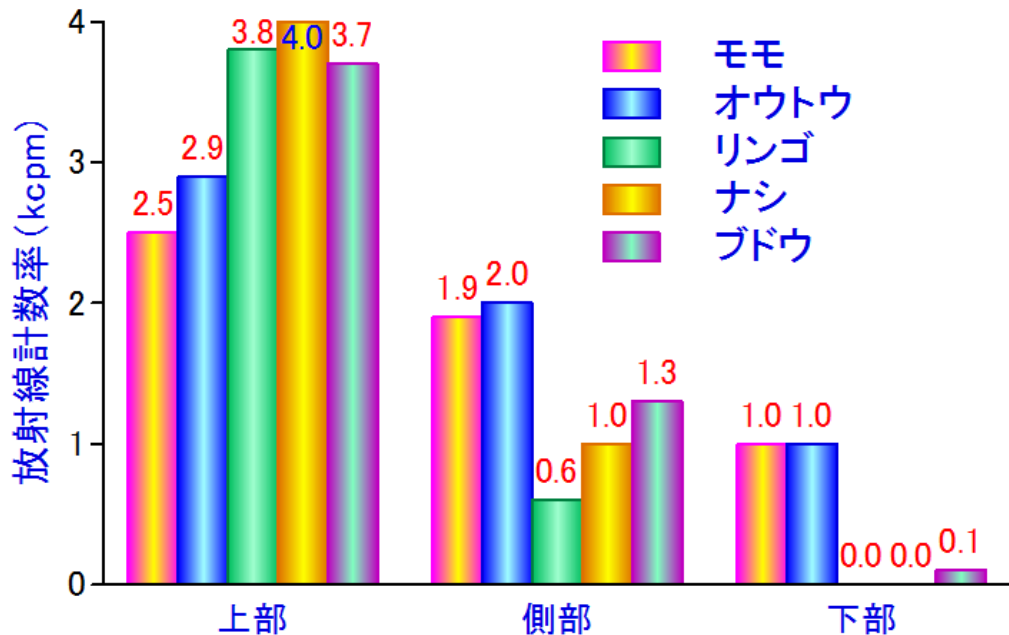
上部(天空側)



側部



下部



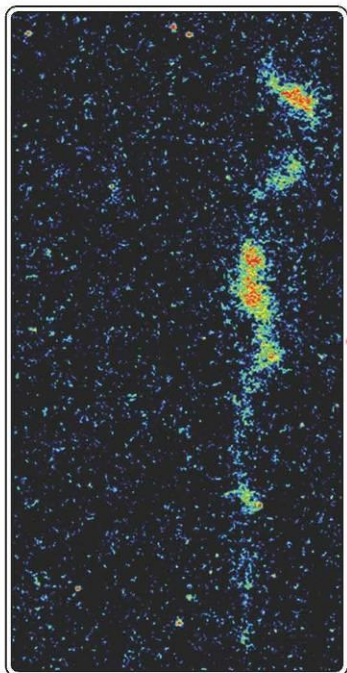
主枝表面の部位(円周方向)

主枝表面の放射線量(2011. 5/10測定)

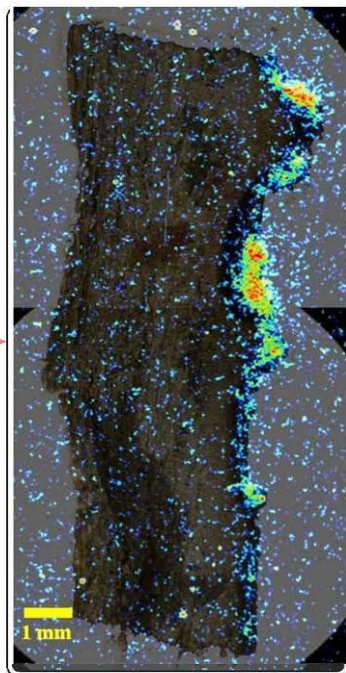
上部>側部>下部の順に放射線量は高く主枝表面の天空側で地面側に比べ明らかに多くの放射線が計測された。

調査年
2011年

モモ樹皮上の放射性物質の分布 (イメージングプレート法による分布の検証)



IP像 (≒放射能)



重ね合わせ画像



光学顕微鏡像



皮目



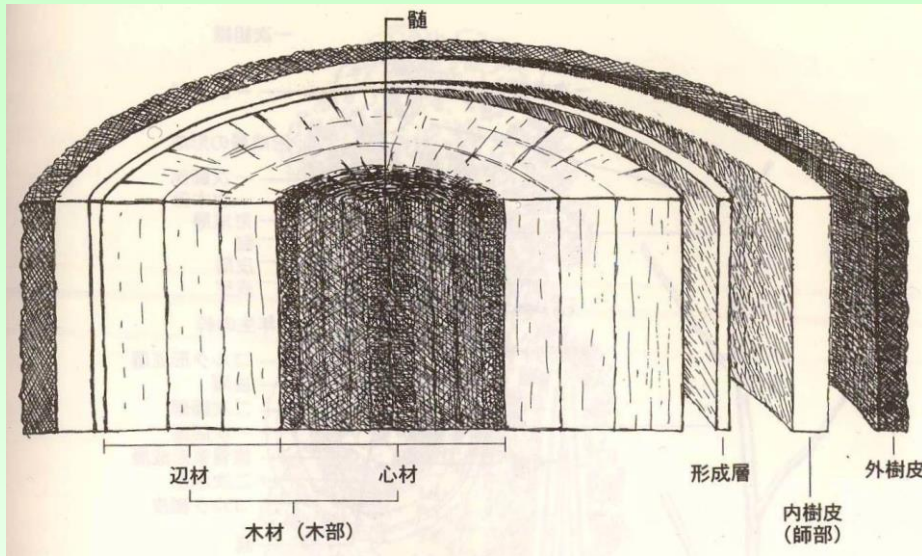
樹皮(主枝部)のIP画像と光学顕微鏡像の合成

IP分析は
東京大学
で実施

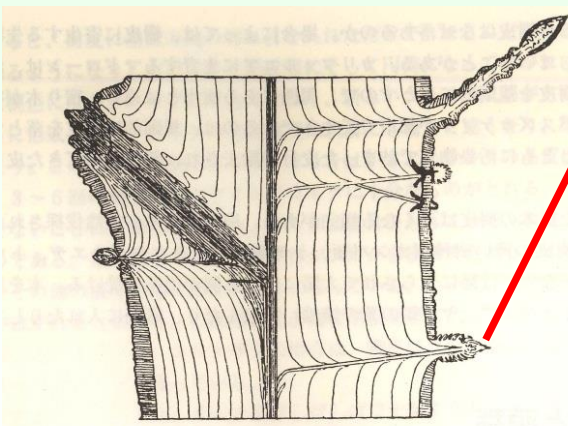
放射性Csは皮目周辺部に集積
皮目は樹皮表面の2~3%を占める

所内モモほ場
品種:あかつき18年生
(2011.6.16)

広葉樹の幹の構造



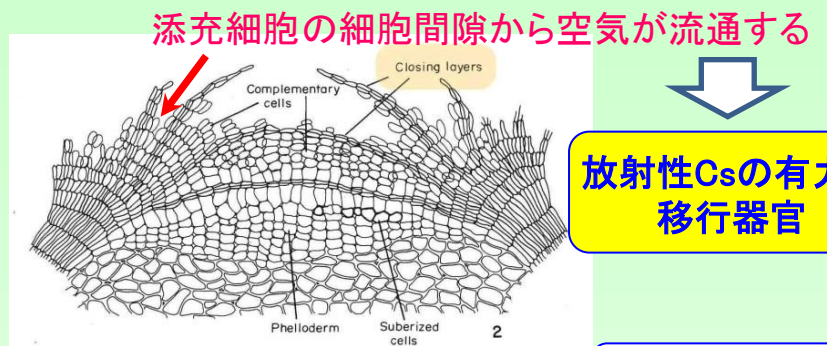
幹の横断面



一年目の休眠芽も木部を貫通し、樹皮表面に潜在する

樹幹の縦断面
樹幹の中央部でできた萌芽をもち、毎年樹皮の表面に出るように成長している。時に分岐する

出典: 樹木学



添充細胞の細胞間隙から空気が流通する



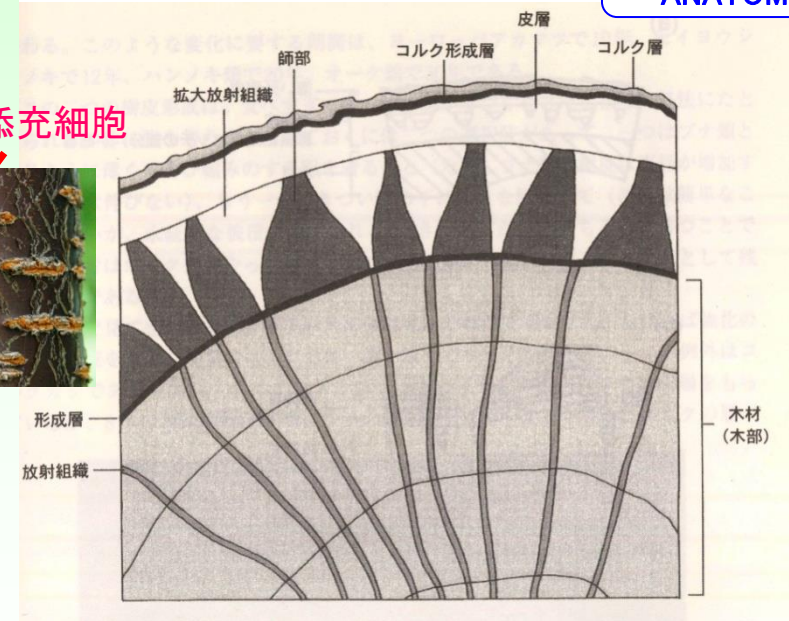
放射性Csの有力な移行器官

Prunus avium の成熟木皮目の図解

出典: PLANT ANATOMY



添充細胞

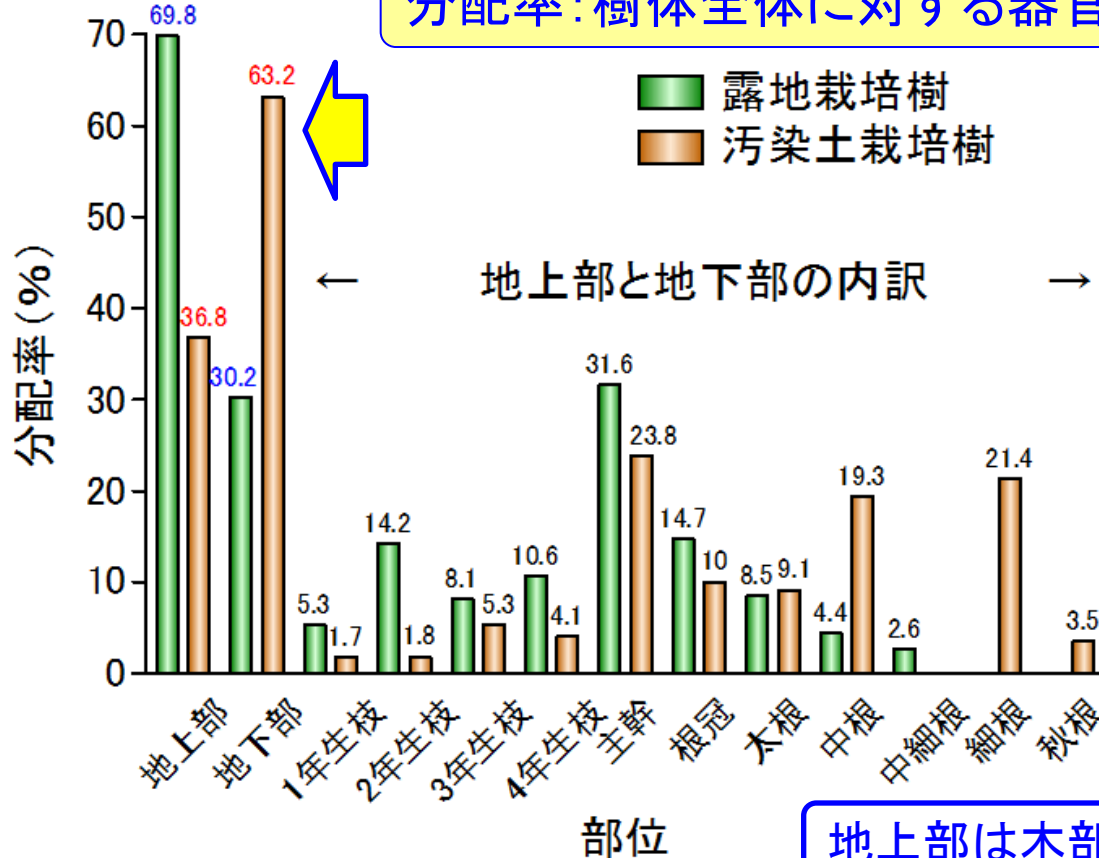


放射組織

生きた細胞。養水分の通路の他、通気や貯蔵器官として機能する

カキ‘蜂屋’の経皮吸収樹と 経根吸収樹の¹³⁷Csの分配率の比較

分配率：樹体全体に対する器官別含量割合



地上部は木部の測定値

地上部と地下部の分配率は経皮吸収樹70:30、経根吸収樹37:63

露地栽培と汚染土栽培カキ‘蜂屋’各1樹を解体調査

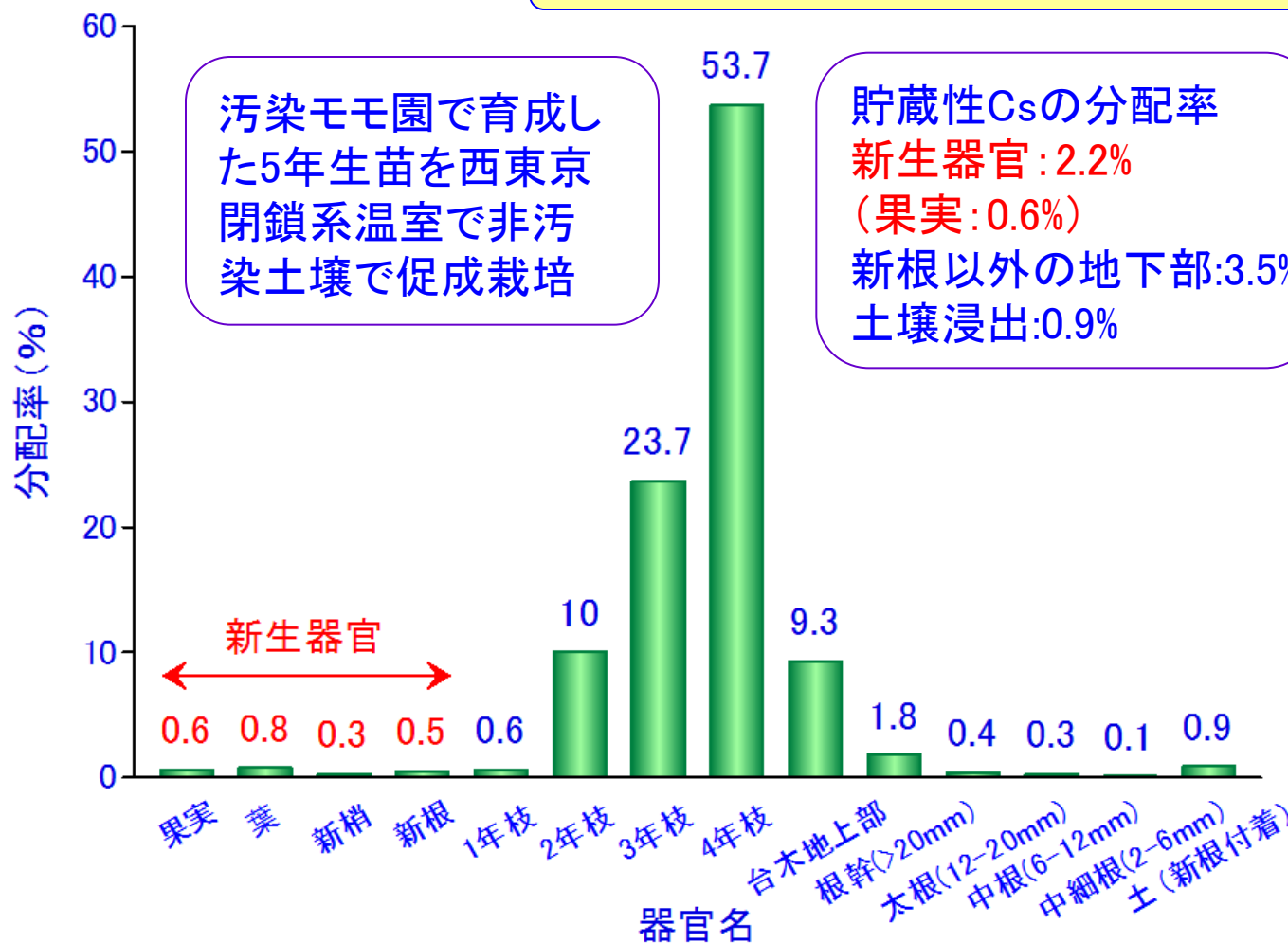
解体調査日：露地栽培：2012年1月31日，ポット栽培：2014年10月3日

貯蔵された放射性Csの汚染翌年の分配率

調査年
2012年

東京大学
との共同
研究

分配率：樹体全体に対する器官別含量割合



放射性Csの部位別分配率(5年生‘あかつき’)

カキ園における樹皮洗浄効果

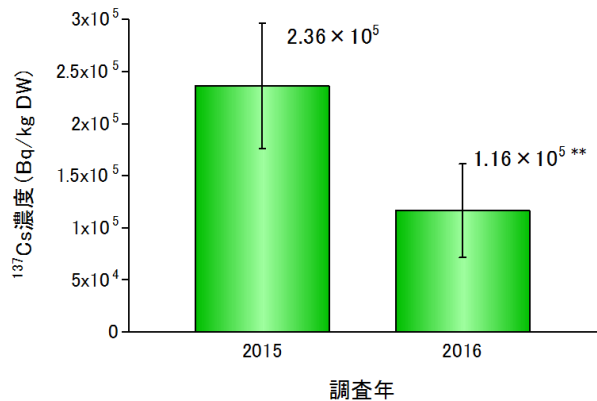


洗浄前



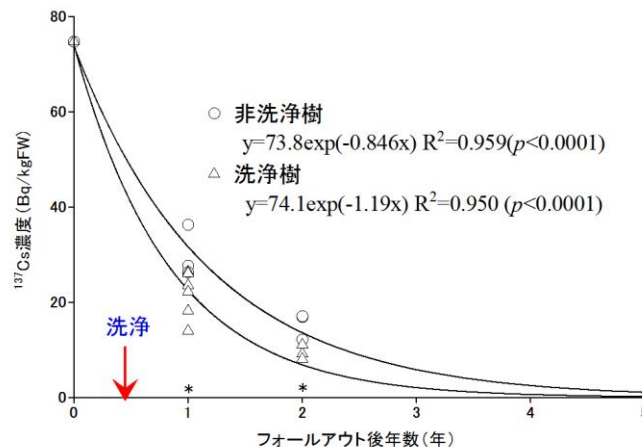
洗浄後

樹皮洗浄: 2011年12月21日

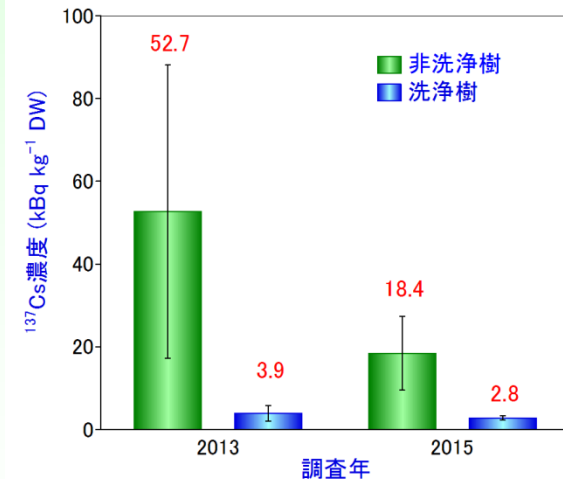


ヒロハツヤゴケ(主幹部着生)濃度平均と標準偏差

主幹着生ゴケ中 ^{137}Cs 濃度の経年推移



樹皮洗浄による果実中 ^{137}Cs 濃度の比較



主幹樹皮中 ^{137}Cs 濃度の経年推移

樹皮洗浄による果実中 ^{137}Cs の低減効果はモデル式から29.1%と試算された。

調査年
2011年

表層5cmの土壌中放射性核種濃度の水平分布

表層下5cmの放射性核種濃度を測定

果樹研ほ場では

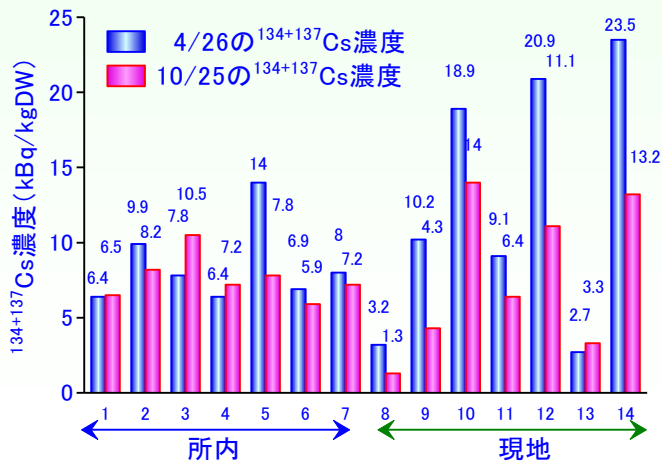
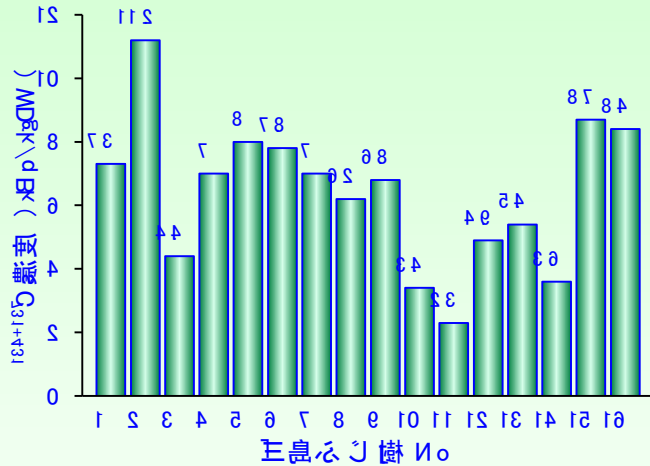
樹間の格差

面積3aのほ場の樹間で格差は5倍

ほ場間の格差

総面積5haの7ほ場間で格差は2倍

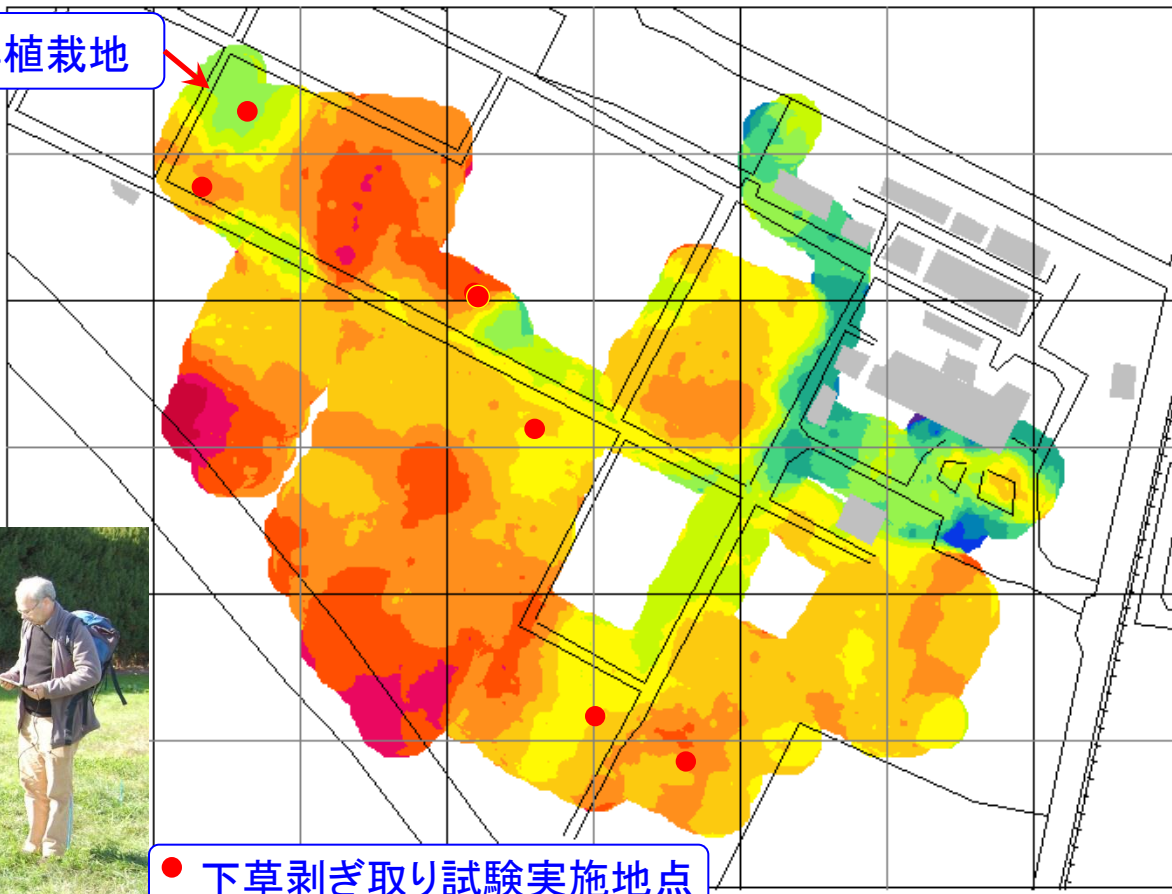
土壤中放射性物質濃度のみでの樹園地の汚染実態の把握には限界がある



調査年
2012年

果樹研ほ場の土壌中 ^{137}Cs 分布マップ

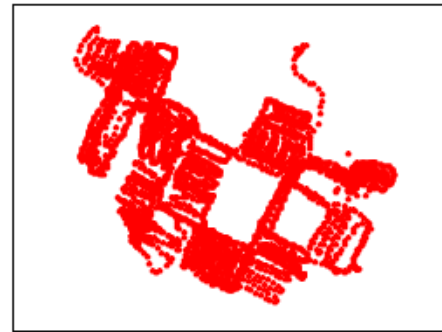
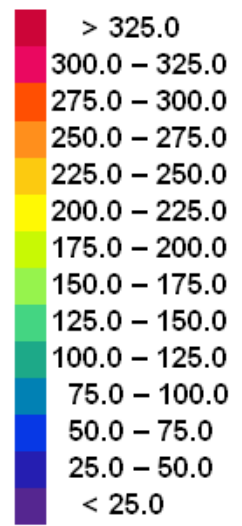
非植栽地



● 下草剥ぎ取り試験実施地点



^{137}Cs (kBq m^{-2})



n = 3830
mean = 235
stddev = 51
Percentiles
10 161
50 242
90 293



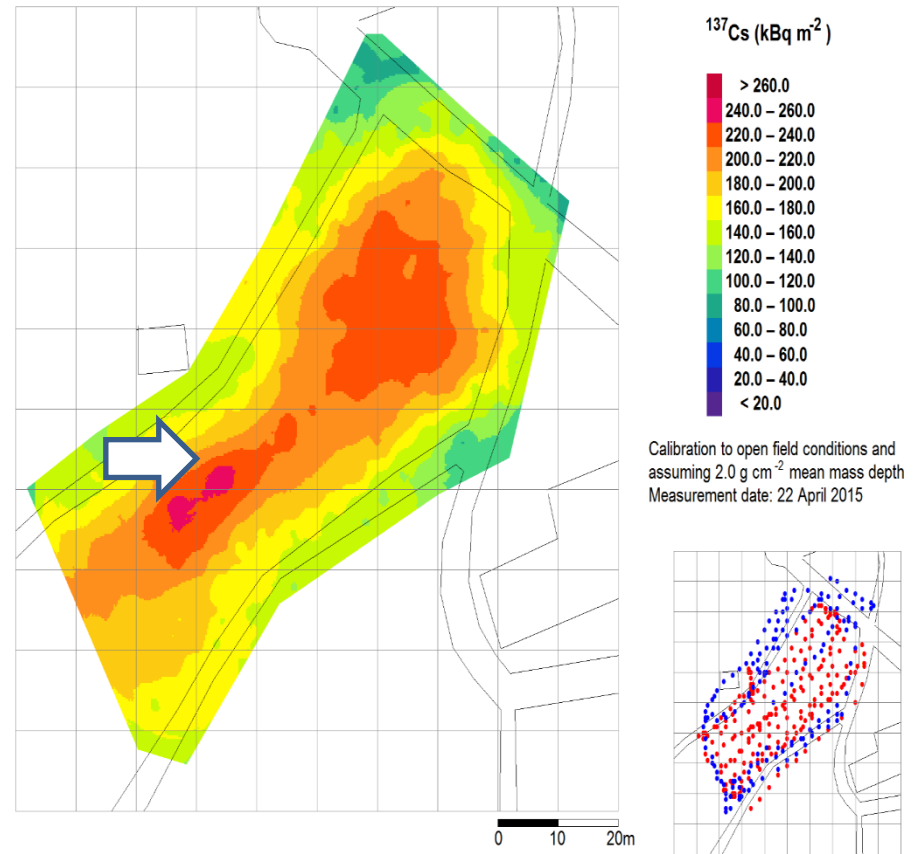
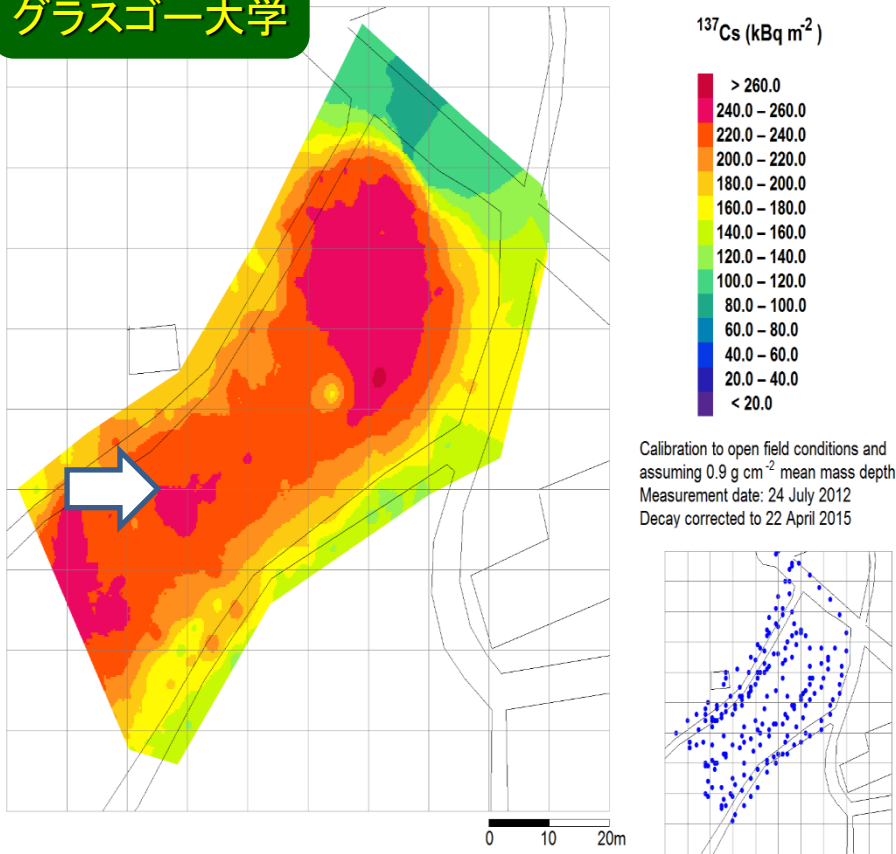
Calibrated to open field planar geometry
mean mass depth: 0.9 g cm⁻²
Measurement dates:
8th March, 21st May, 12th July, 3rd Nov 2012

測定:
グラスゴー大学

測定: 3/8, 12, 5/12, 11/3 (2012年)

カキ園の表層における ^{137}Cs 濃度の経年推移

測定:
グラスゴー大学



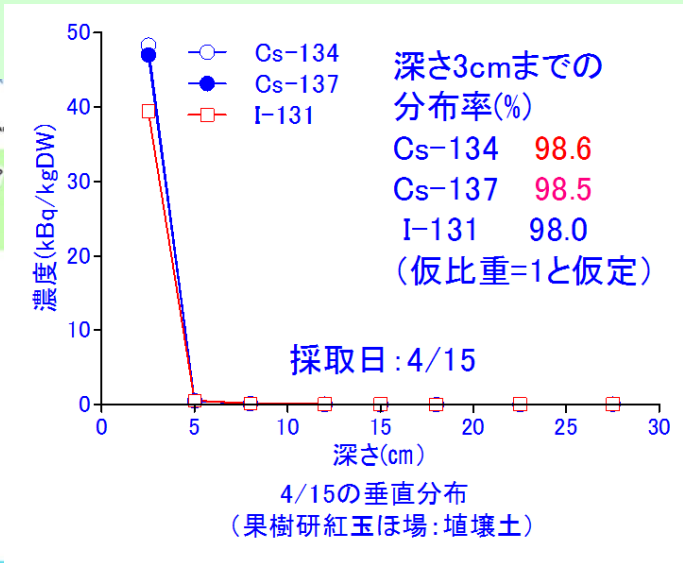
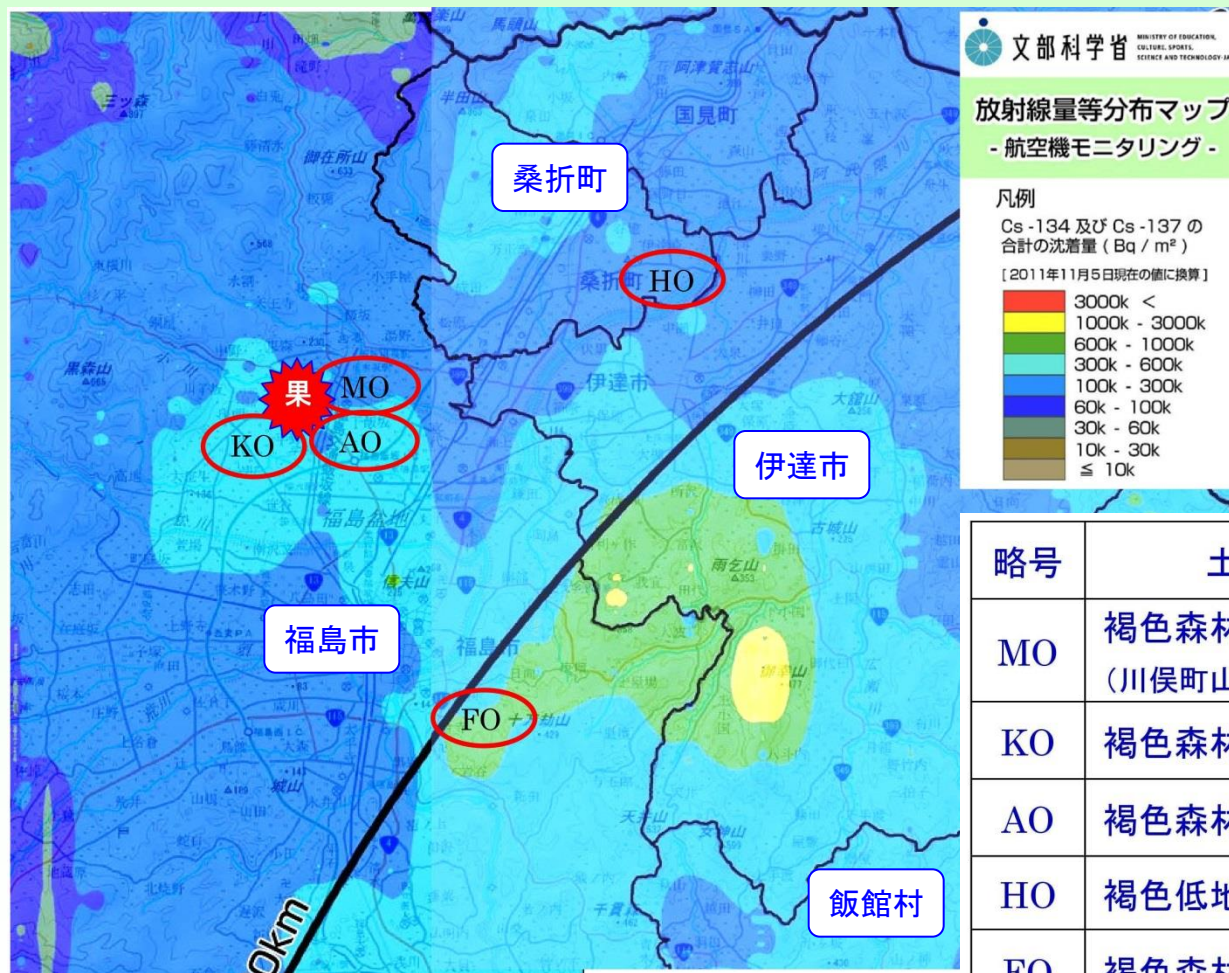
2012年7月24日測定値を2015年
4月22日に減衰補正

測定日: 2015年4月22日

園地の周縁部で理論値より低減し、樹冠に被われたエリアで ^{137}Cs が滞留している

土性の異なる樹園地の土壌中¹³⁷Cs垂直分布

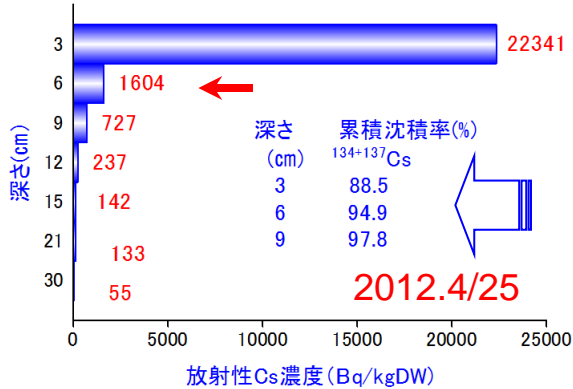
2011年4月に土壌中放射性Cs垂直分布の調査ほ場として土性の異なる5ほ場を選定した



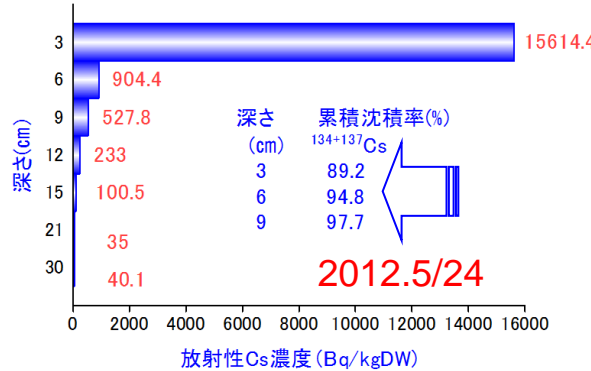
略号	土質	土性	樹種・品種
MO	褐色森林土 (川俣町山木屋土壌)	砂壤土 壤質粗砂土	リンゴ・‘みしま ふじ’
KO	褐色森林土	埴壤土	リンゴ・‘紅玉’
AO	褐色森林土	埴壤土	モモ‘あかつき’
HO	褐色低地土	砂質埴壤土	モモ‘はつひめ’
FO	褐色森林土	重埴土	リンゴ・‘ふじ’

調査年
2012年

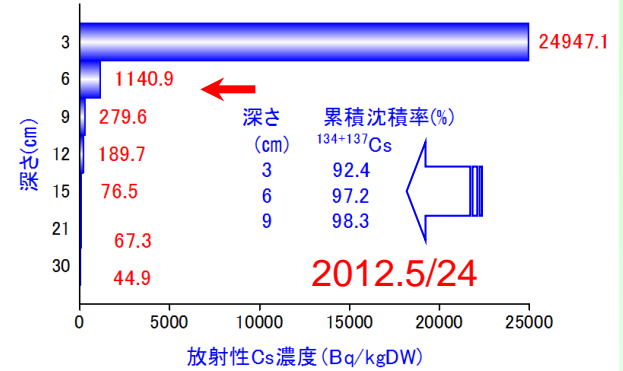
汚染レベルの異なる樹園地の 土壌中放射性Cs濃度の垂直分布



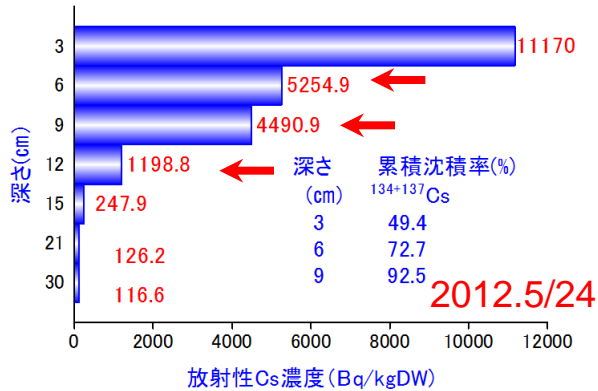
渡利(ふじ)3反復



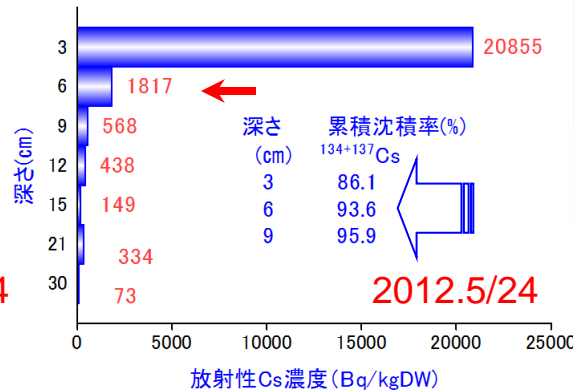
桑折(はつひめ)3反復



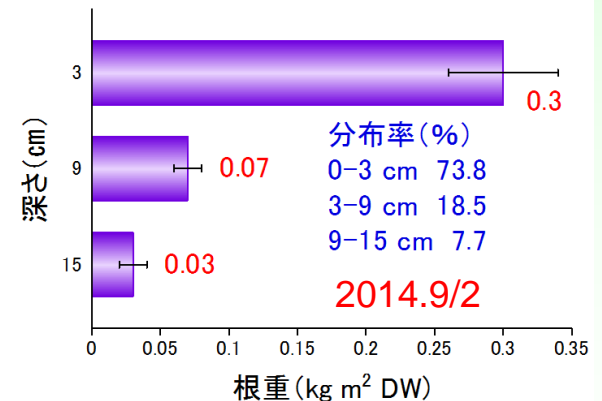
果樹研(紅玉)3反復



信夫山(ユズ)2反復



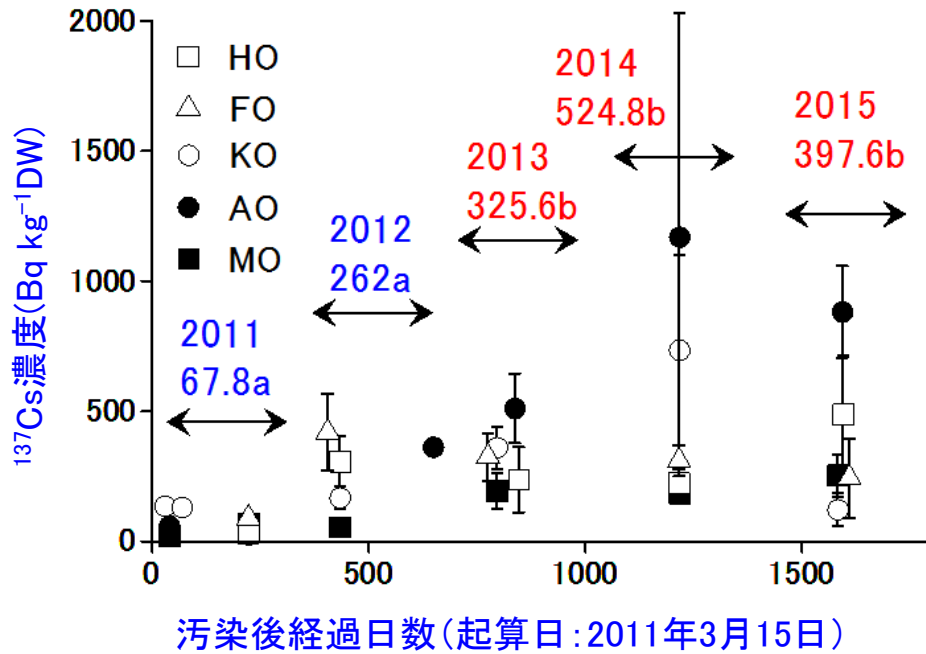
柱沢(蜂屋)3反復



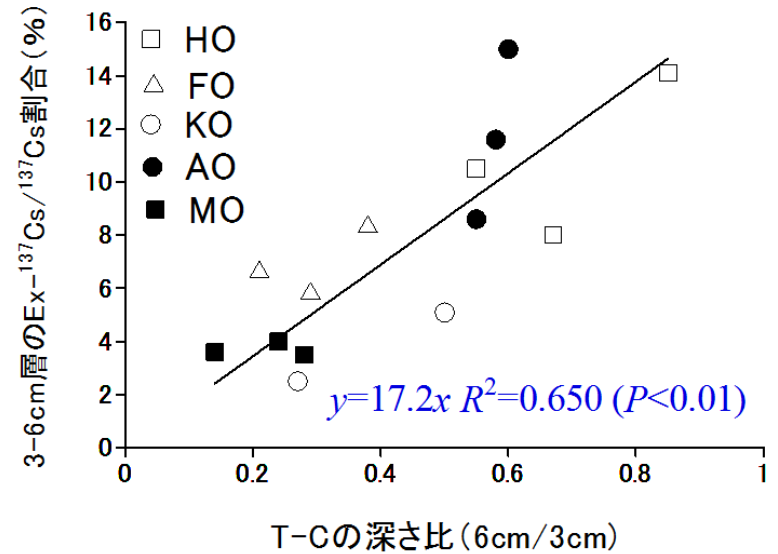
下草根の垂直分布

汚染翌年においても表層3cmに85%以上の放射性Csが存在
下草根は表層3cmに15cmまでの73.8%が存在

土壤中¹³⁷Csの下方への移行



6-9cm層の¹³⁷Cs濃度の経年推移



全炭素量の3-6cm層/0-3cm層比
と3-6cm層の交換性¹³⁷Cs割合の関係
(2013年)

平均移動距離として以下の式により算出し、鉛直方向移動を表す変数とした。

$$\langle x \rangle = \frac{\sum h_i \cdot C_i \cdot \Delta h_i}{\sum C_i \cdot \Delta h_i}^{-1}$$

$\langle x \rangle$: 平均移動距離

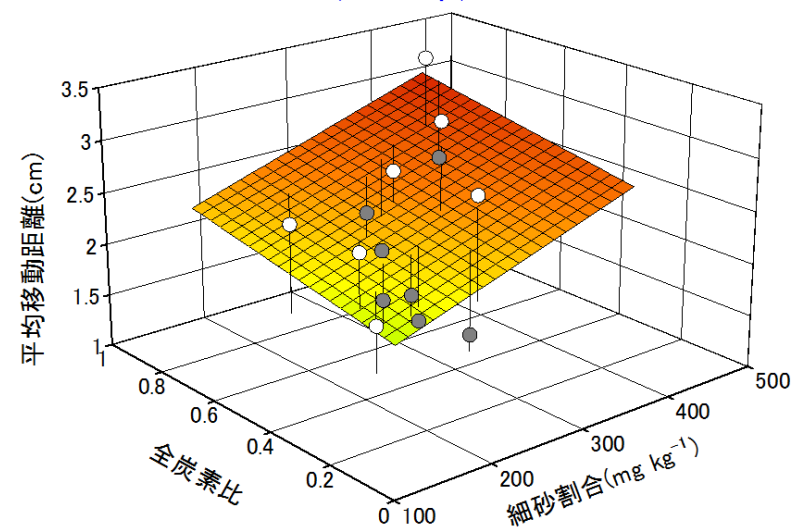
C_i : i 層の濃度

h_i : 各層の中心の深さ

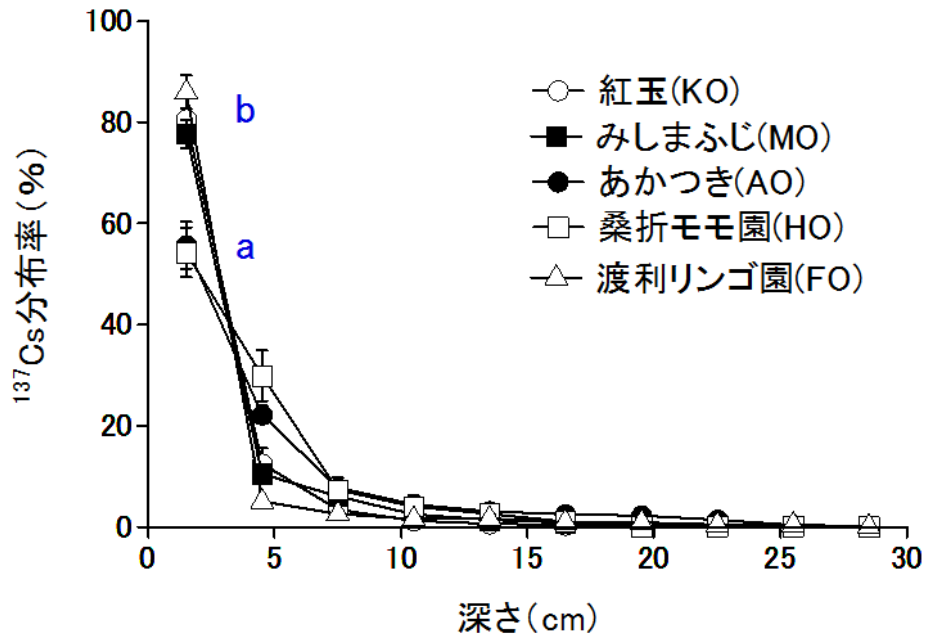
Δh_i : 層の厚さ

(塩沢ら, 2011)

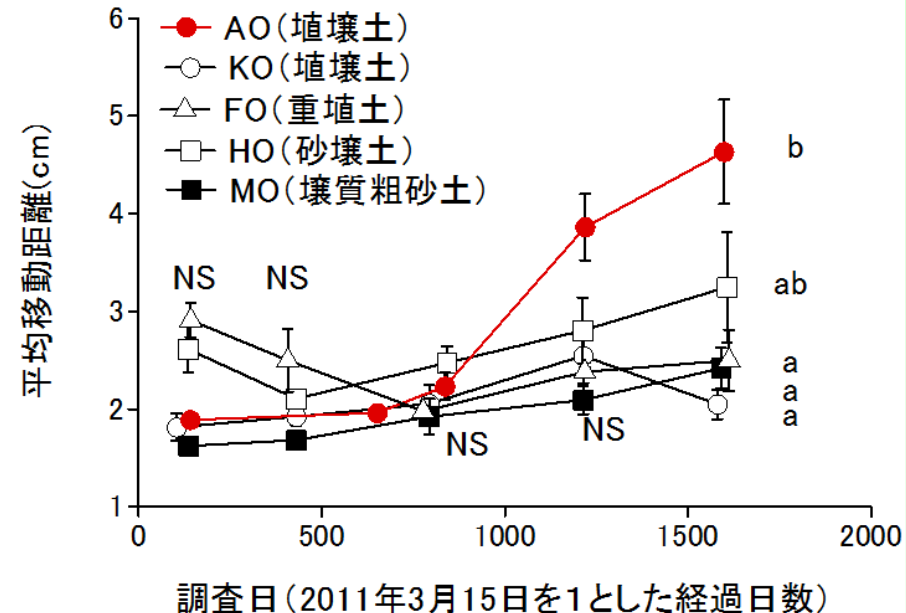
平均移動距離と
全炭素量の3-6cm層/0-3cm層比
および0-3cm層の細砂割合との関係
(2013年)



土壤中¹³⁷Csの深さ別分布率(2015年)と平均移動距離の経年推移



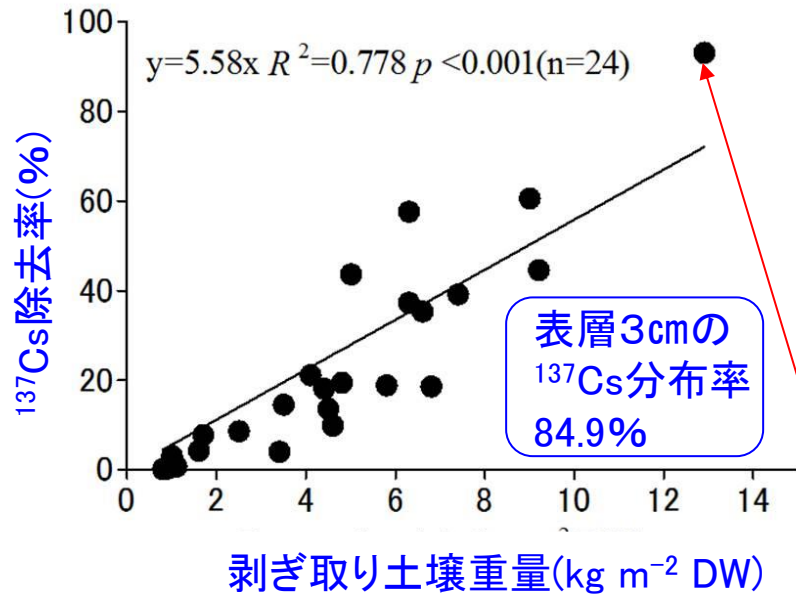
第1図 深さ別分布率(2015年)



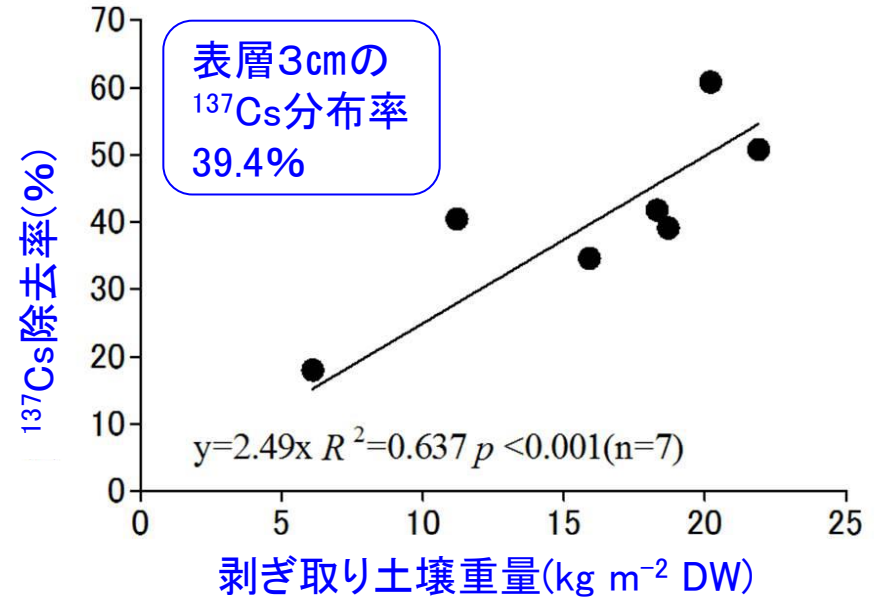
第2図 平均移動距離の推移

表層3cmの分布率および平均移動距離ともに汚染5年後の2015年で有意なほ場間差が認められた。砂質土壤でも花崗岩を母岩とする山木屋土壤のMOほ場は下方移動が小さかったのに対し褐色低地土のHOほ場は下方移動が大きかった。(2011、2012年の現地ほ場の平均移動距離が大きいのは堆肥マルチ上を採取したため)

樹園地における土壌中¹³⁷Csの除去



下草剥ぎ取りによる土壌中¹³⁷Csの除去効果
(2012-2014年; 樹冠下)



下草剥ぎ取りによる土壌中¹³⁷Csの除去効果
(2014年; 非植栽地)

- ¹³⁷Csの除去効果は¹³⁷Csの下方移行が進捗すると低下する。
- ルートマットを形成するケンタッキブルーグラスと匍匐茎を発達させるホワイトクローバーによる草生栽培は下草剥ぎ取りによる土壌中¹³⁷Csの除去効果が高い

除去率: 93.1%



まとめ

1. 汚染当年の果実中放射性Cs濃度は展葉前に汚染された落葉果樹と葉が汚染された常緑果樹では10倍程度の濃度差が認められた。
2. 休眠期に汚染された落葉果樹では放射性Csは地上部を經由して樹体内に移行した。果実中放射性Cs濃度は3年目には初年度の10分の1に減少した。
3. 葉が汚染された常緑樹ユズでは5年目で初年度の10分の1に減少した。
4. 土壌中放射性Csの水平分布は2～5倍程度の濃度差が認められた。
5. 土壌中放射性Csの垂直分布は汚染後3年目で初年度より有意な下方への移動が認められ、5年目ではほぼ場間差が顕在化した。
6. 土壌中放射性Csは、細砂と有機物の多い土壌で下方へ移行しやすい傾向が認められた。
7. 下草剥ぎ取りによる土壌中放射性Csの除去は、下方移動が少ない土壌で除去効果が高いことが検証された。
8. 下草剥ぎ取りによる土壌中放射性Csの除去は、多年生イネ科牧草とマメ科牧草の草生栽培で効果が高い。
9. 多年生イネ科牧草とマメ科牧草の草生栽培は土壌の放射能汚染に対する予防、除染対策として有効な土壌管理法である。

御清聴ありがとうございました



ふくしまから
はじめよう。