

放射性セシウムの 果樹樹体内での動態



農学生命科学研究科 附属生態調和農学機構 高田大輔
福島県農業総合センター果樹研究所 佐藤 守・阿部和博

アグリコクーン2014年5月26日

目次

福島県の果樹・果樹の一般的な知識

果樹園の土壌汚染・周囲の汚染

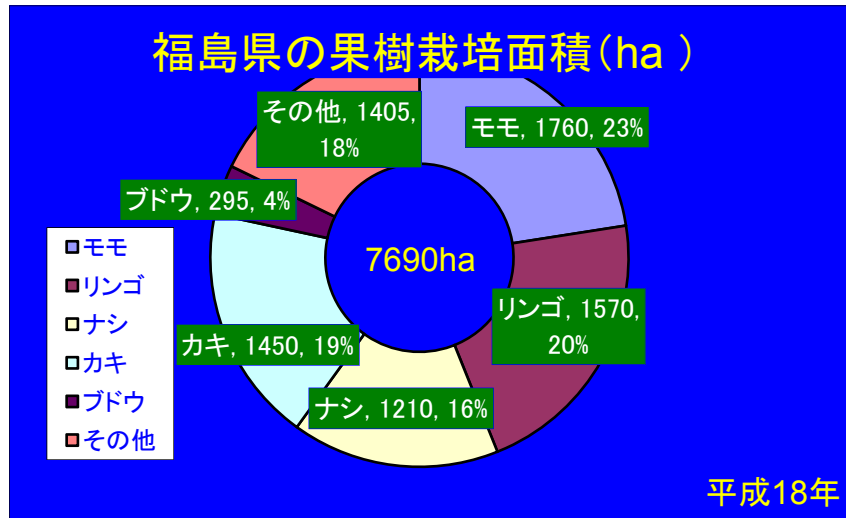
樹体の汚染状況

汚染経路

果実濃度の予測・安全性の担保

福島県の果樹栽培

落葉果樹の主要生産県の1つ



果樹の県別順位(収穫量:平成22年)

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

福島県の果樹栽培



モモ「あかつき」



ナシ「幸水」



あんぽ柿



リンゴ「ふじ」

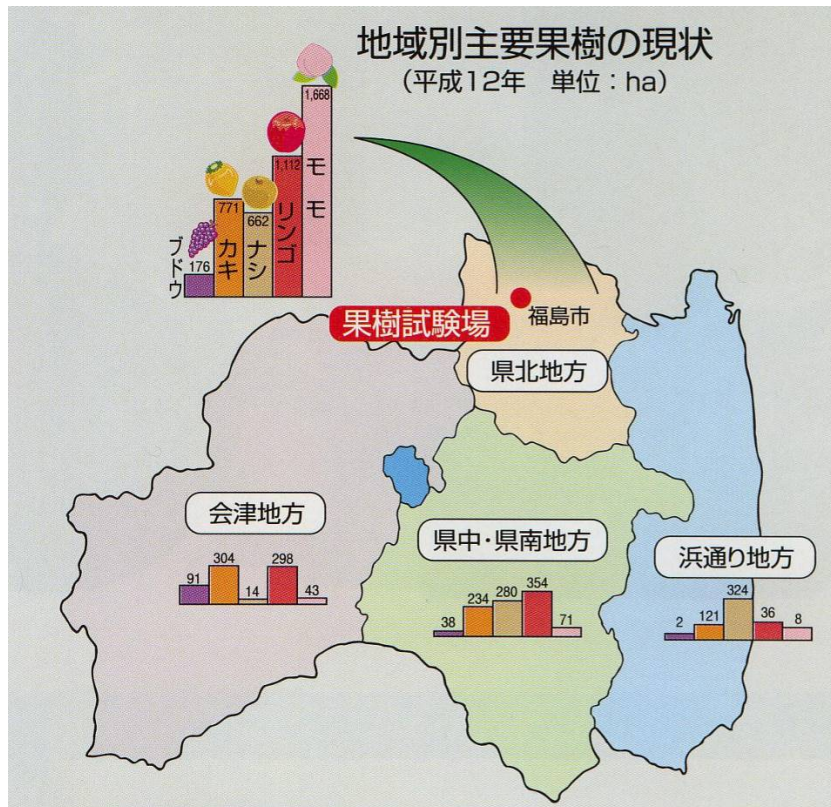


ブドウ「あづましずく」

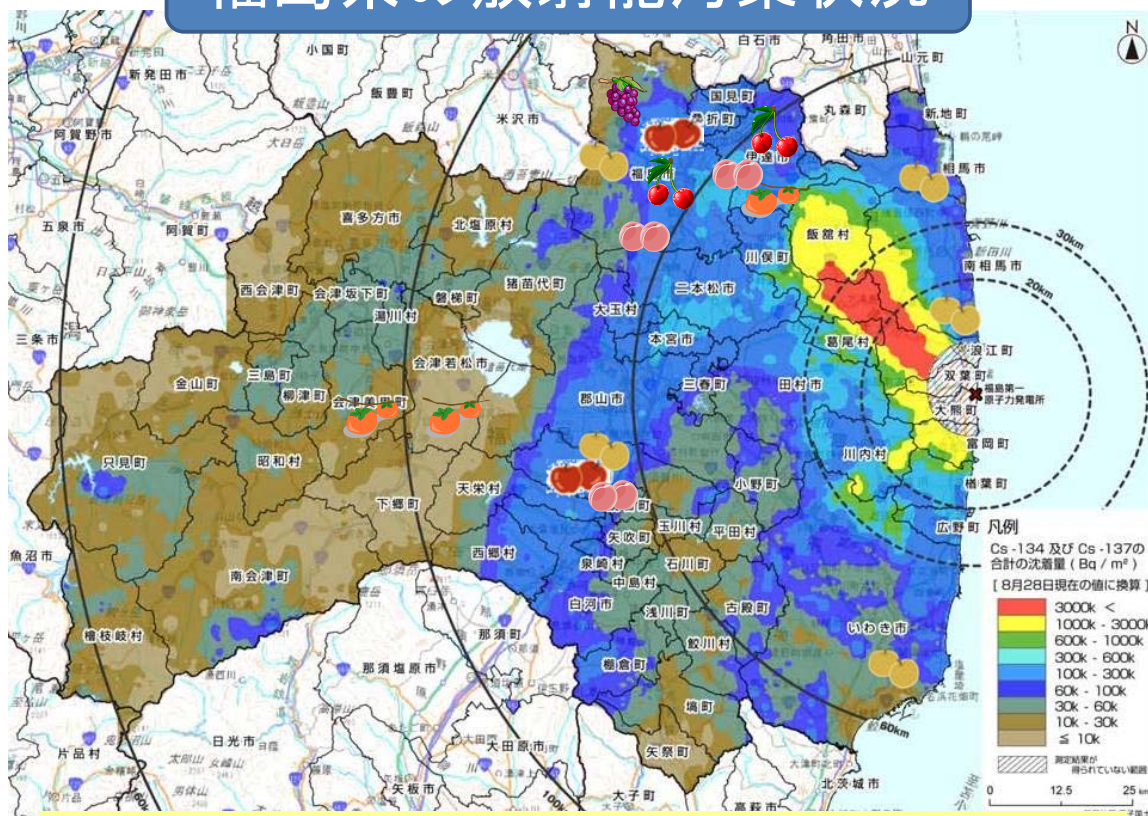


オウトウ「佐藤錦」

福島県の果樹栽培



福島県の放射能汚染状況



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
(福島県内の地表面へのセシウム134、137の沈着量の合計 平成23年9月12日)

果樹の一般論

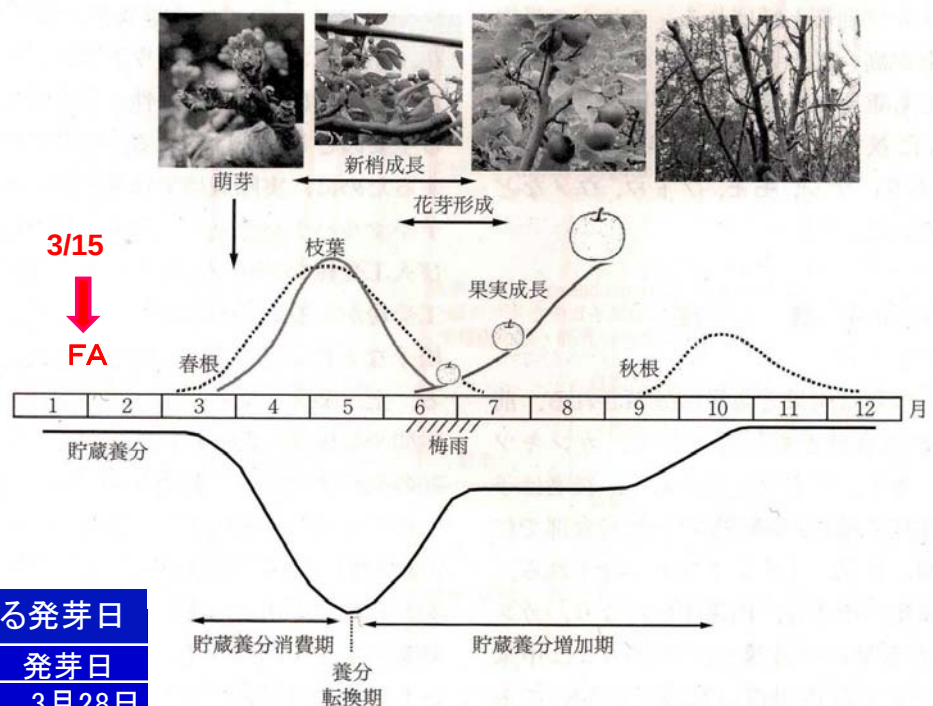
事故時の開花・萌芽の状況

生活環

試験に際して

部位の簡単な説明

一般的な果樹の1年



2011年の福島県における発芽日

樹種	品種	発芽日
モモ	あかつき	3月28日
ナシ	幸水	4月8日
リンゴ	ふじ	3月31日
オウトウ	佐藤錦	3月31日

事故時の開花・萌芽の状況

ウメ

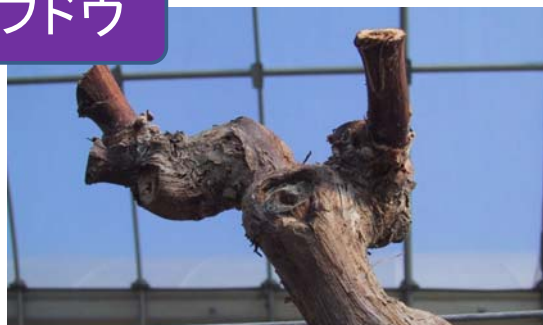


開花後

モモ



ブドウ



萌芽前(花は新梢の中)

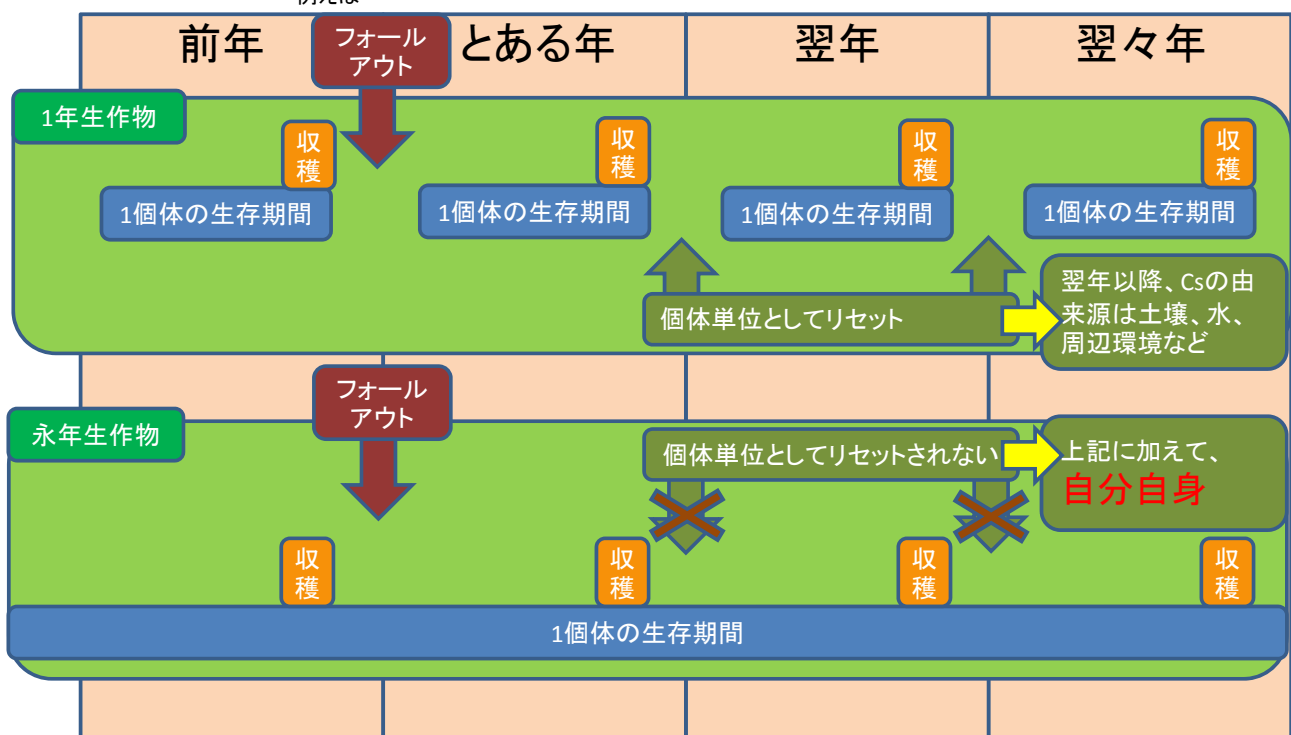
カキ



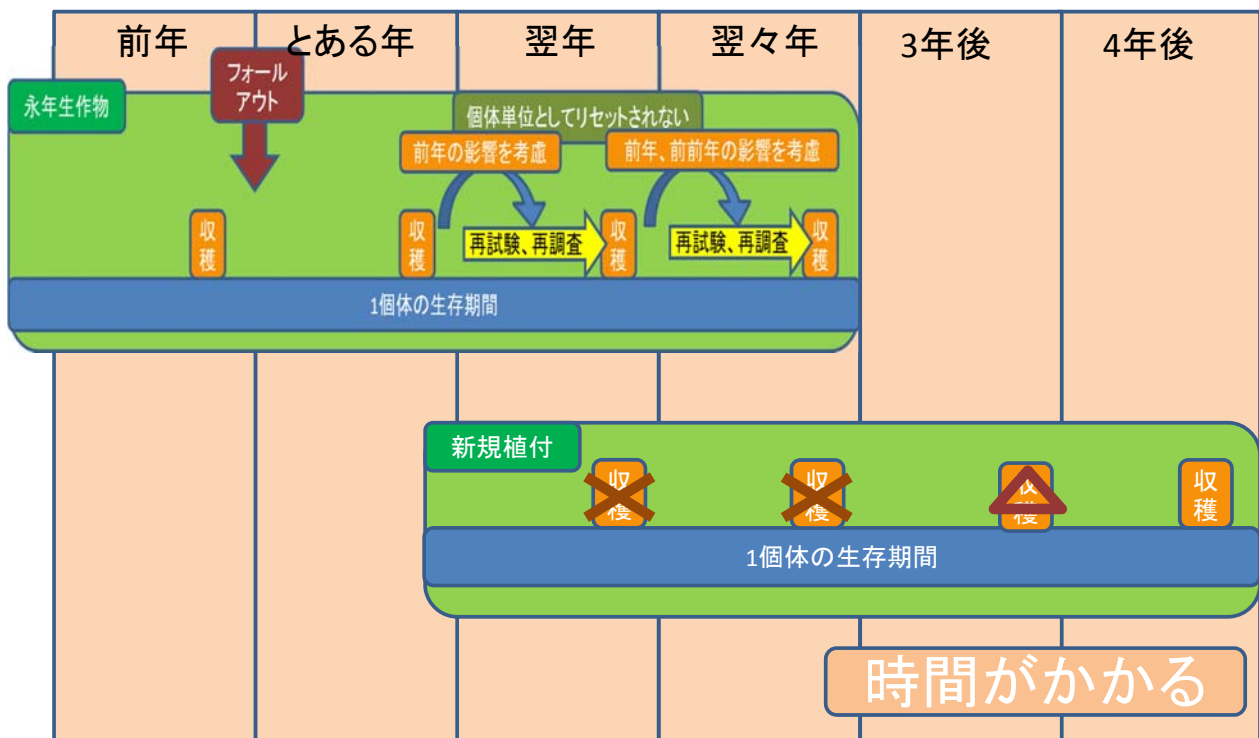
萌芽前(花は新梢の中)

永年生作物と放射能試験

例えば



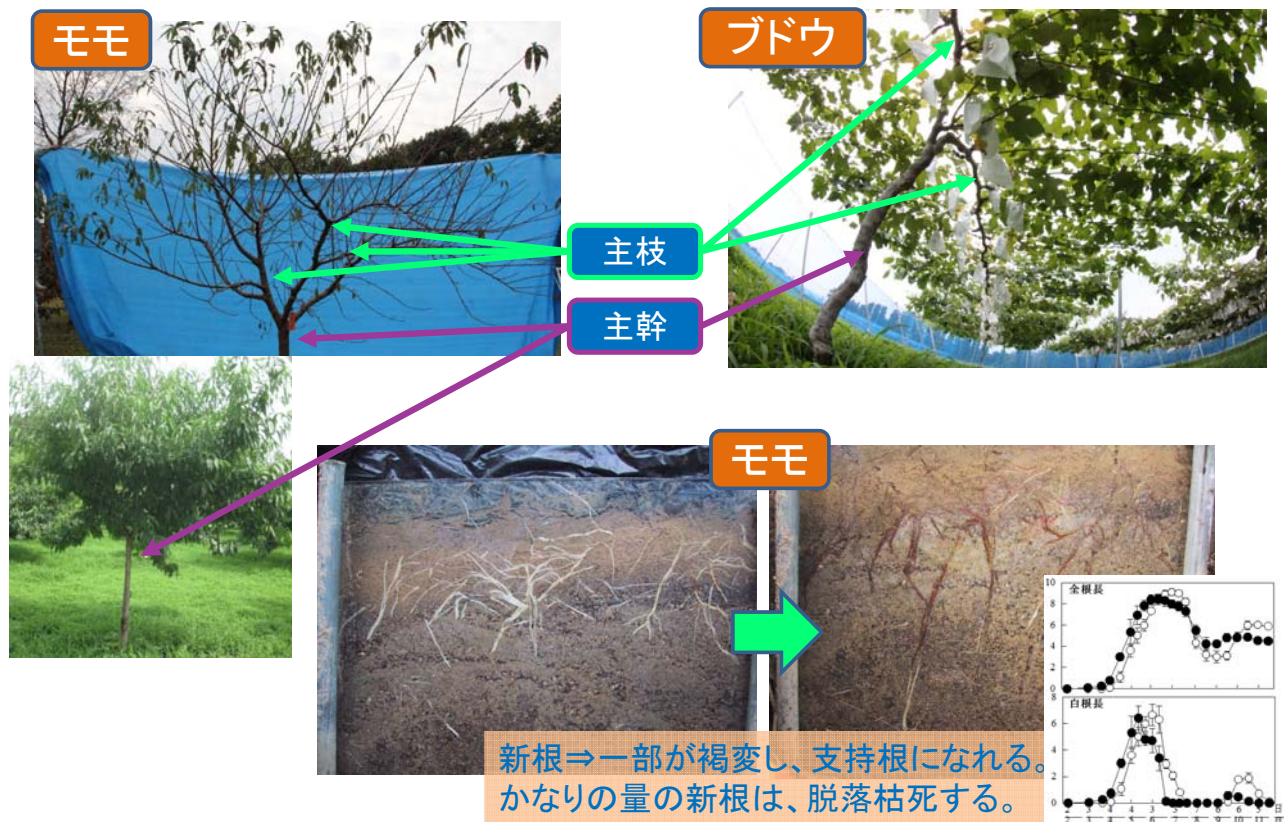
永年生作物と放射能試験



果樹の樹体



果樹の樹体



目次

福島県の果樹・果樹の一般的な知識

果樹園の土壌汚染・周囲の汚染

樹体の汚染状況

汚染経路

果実濃度の予測・安全性の担保

樹園地のモニタリング調査

過去の知見では、
放射性Csは葉または土壌から
樹体内に移行しやすいとされている



ウメを除く落葉果樹は葉・花が無い状態



土壌からの移行を警戒

樹園地のモニタリング調査

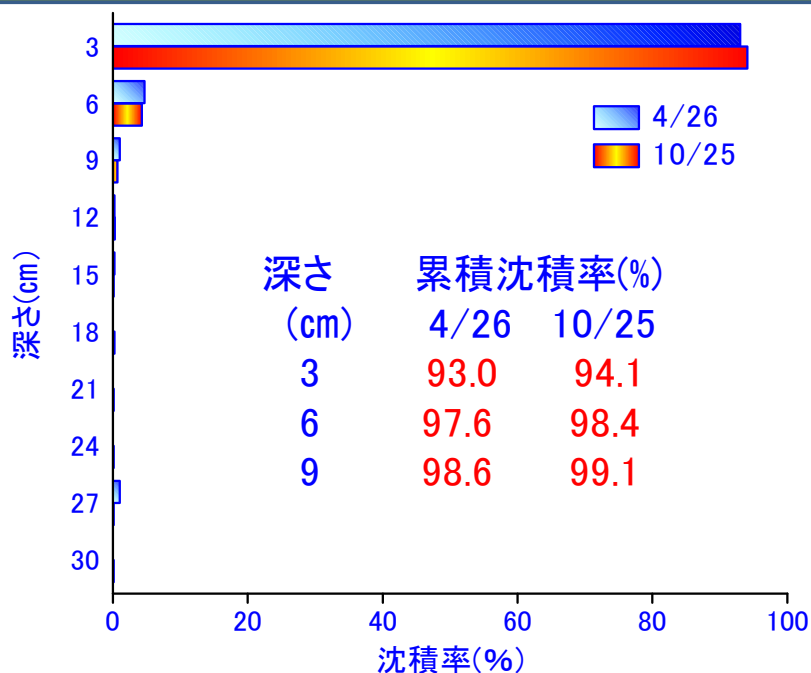
土壌中放射性Cs濃度の垂直分布



- (1) 調査対象ほ場：樹園地19か所
- (2) 樹種（主要6樹種＋α）：モモ、オウトウ、リンゴ、ニホンナシ、ブドウ、カキ、ユズ、ウメ
- (3) 土性：砂質埴壌土、埴壌土、重埴土、花崗岩系砂質土、シルト質壤土
- (4) 土壌及び葉・果実の放射性Cs濃度・樹園地内外の空間線量

樹園地のモニタリング調査

土壌中 ^{137}Cs 濃度の垂直分布



(「あかつき」ほ場・褐色森林土・埴壤土)

樹園地のモニタリング調査

土壌中放射性Cs濃度の水平分布

表層下5cmの放射性核種濃度を測定

圃場間のばらつき

15圃場
1圃場当たり5か所の土壌

樹ごとのばらつき

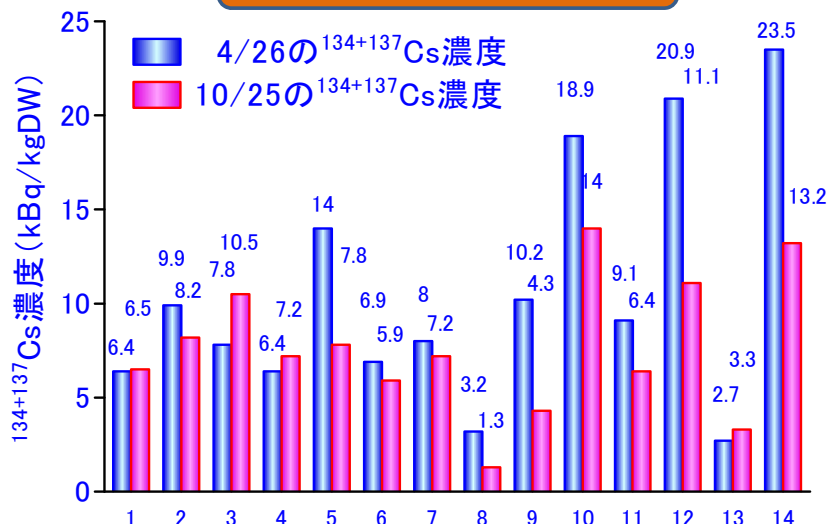
モモ「あかつき」12樹
1樹当たり4か所の土壌

リンゴ「三島ふじ」16樹
1樹当たり2か所の土壌

樹園地のモニタリング調査

土壌中放射性Cs濃度の水平分布

圃場間の比較



(注) 物理的半減期から試算した10/25までの放射性Csの減衰率は85%である。

樹園地のモニタリング調査

土壌中放射性Cs濃度の水平分布

樹体間の比較



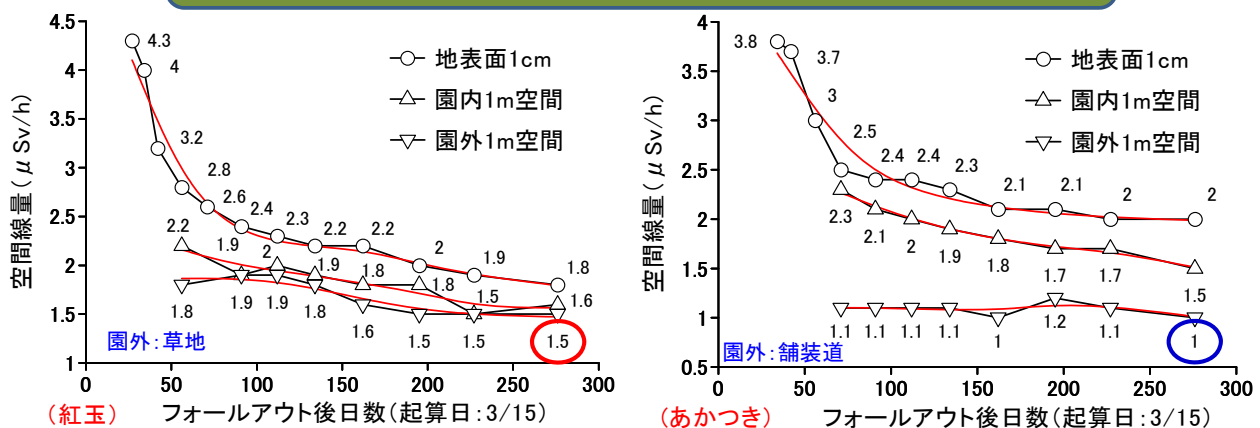
樹園地のモニタリング調査

土壌中放射性Cs濃度



樹園地のモニタリング調査

樹園地内外の空間線量



調査開始から5月25日までの放射線量は約30%低下

これは¹³¹Iの低下による(3月15日の512分の1)

¹³¹Iが消失した5月25日以降の200日間では約20%低下。

樹園地の放射線量は土壌表面>園内(地上1m)>園外(地上1m)
の順に高かった。

目次

福島県の果樹・果樹の一般的な知識

果樹園の土壌汚染・周囲の汚染

樹体の汚染状況

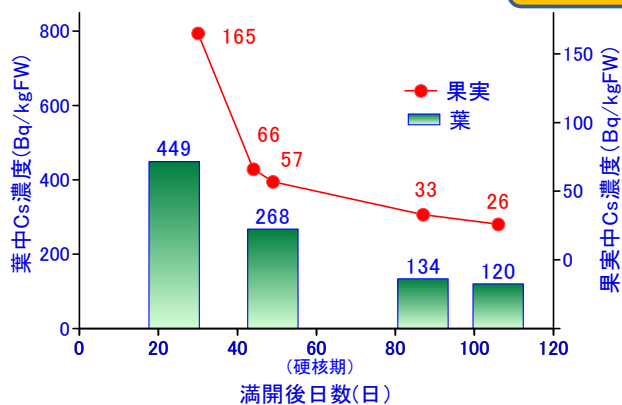
汚染経路

果実濃度の予測・安全性の担保

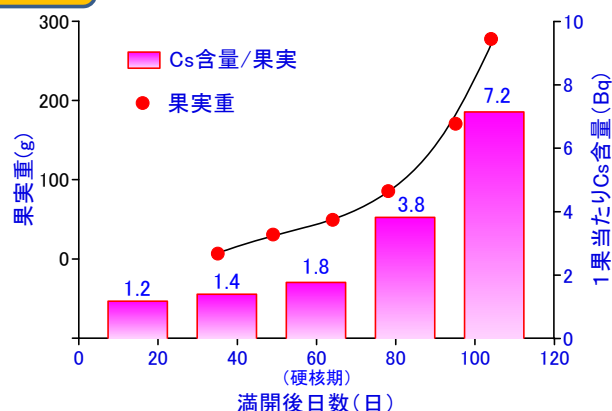
果実と葉の汚染状況

モモ果実と葉の放射性Cs濃度の変化

2011年



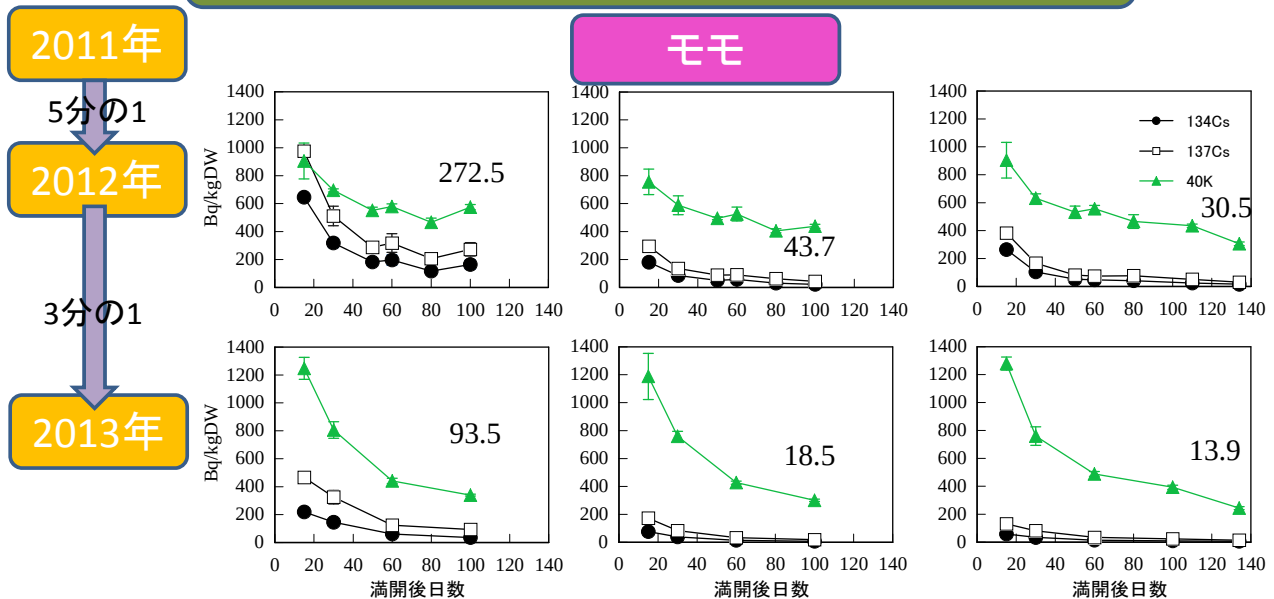
「あかつき」葉および果実中の放射性Cs濃度の推移



「あかつき」1果中の放射性Cs含量の推移

果実と葉の汚染状況

モモの放射性Cs濃度の変化



モモ果実中の放射性Cs(●: ^{134}Cs , ○: ^{137}Cs)とカリウム40(▲)の経時変化
(上段2012年、下段2013年)、図中の数値は収穫時の ^{137}Cs 濃度

注) 2011年のグラフと異なりDWあたりBq、また、別園地

樹体内における分配

モモの樹を解体する



目的

どこにどの程度の濃度と量の放射性Csが存在しているかを調べる



樹体内における分配

モモの樹を解体する

解体、洗浄・乾燥後部位ごとにCs測定



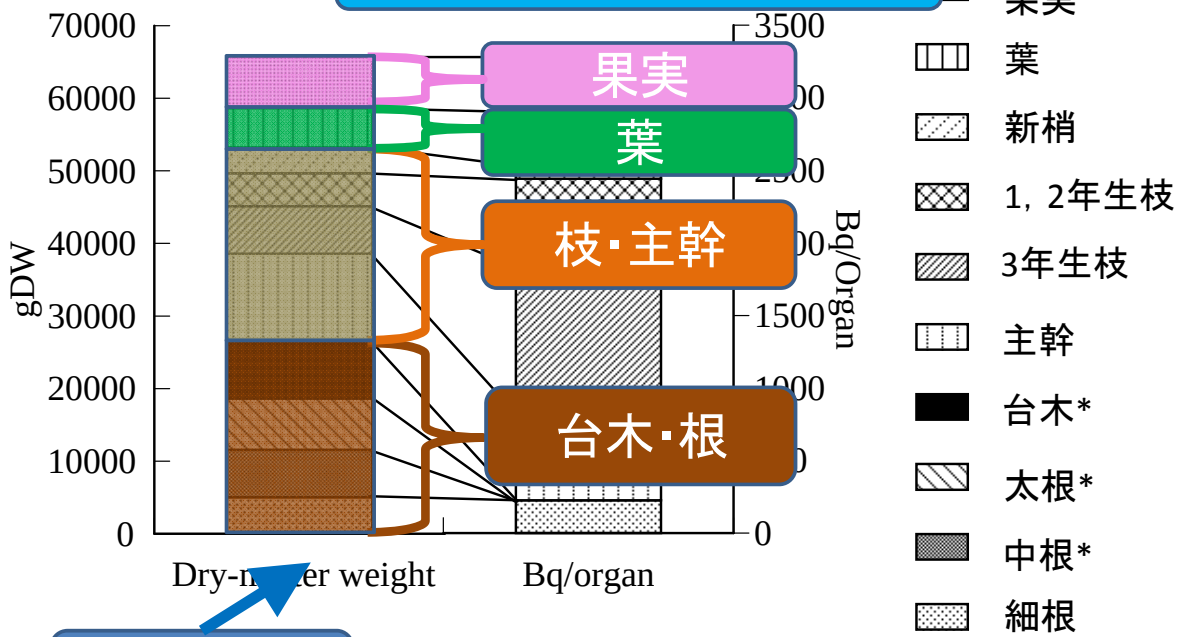
樹体内における分配

モモ樹体の¹³⁴⁺¹³⁷Cs濃度



樹体内における分配

モモ樹体重量

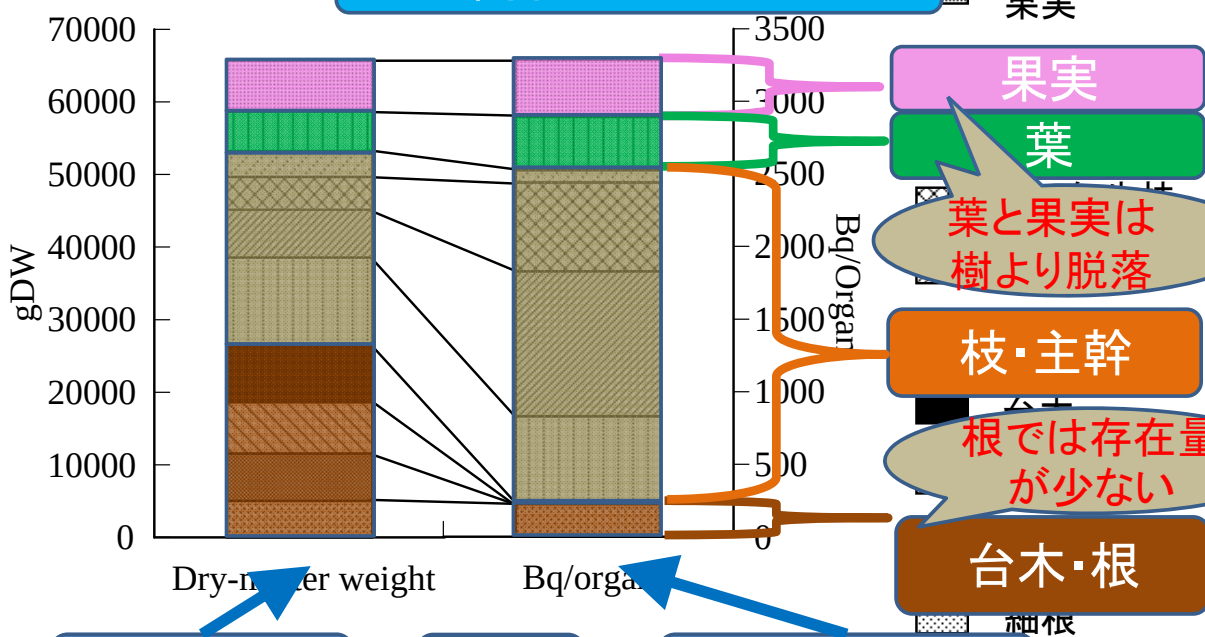


樹体の重量

*: 検出限界値以下

樹体内における分配

モモ樹体重量とCs含量



樹体の重量

× 濃度

= 部位ごとの含量

先ほどの数値

*: 検出限界値以下

葉と果実は
樹より脱落

根では存在量
が少ない

目次

福島県の果樹・果樹の一般的な知識

果樹園の土壌汚染・周囲の汚染

樹体の汚染状況

汚染経路

果実濃度の予測・安全性の担保

樹体のモニタリング調査

樹体表面の放射線量

6種類の落葉果樹（モモ、オウトウ、リンゴ、ナシ、ブドウ、カキ）の主枝分岐部から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。



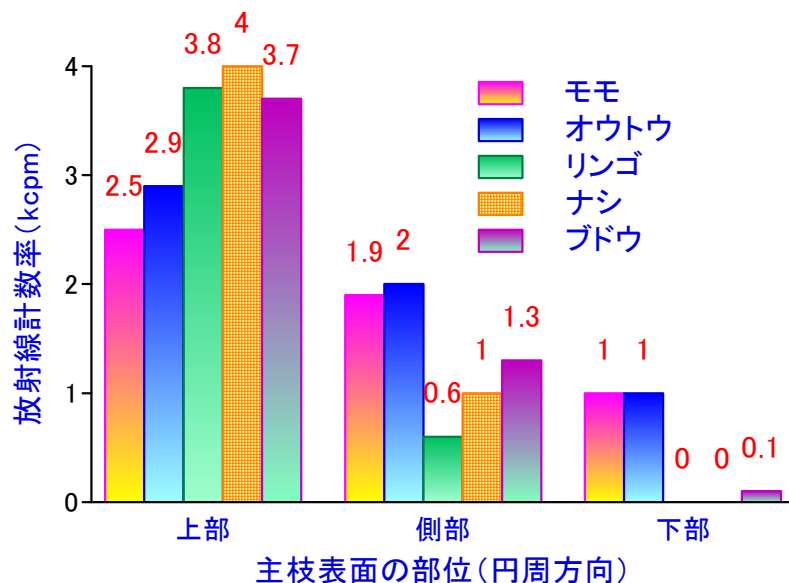
上部

側部

下部

樹体のモニタリング調査

樹体表面の放射線量

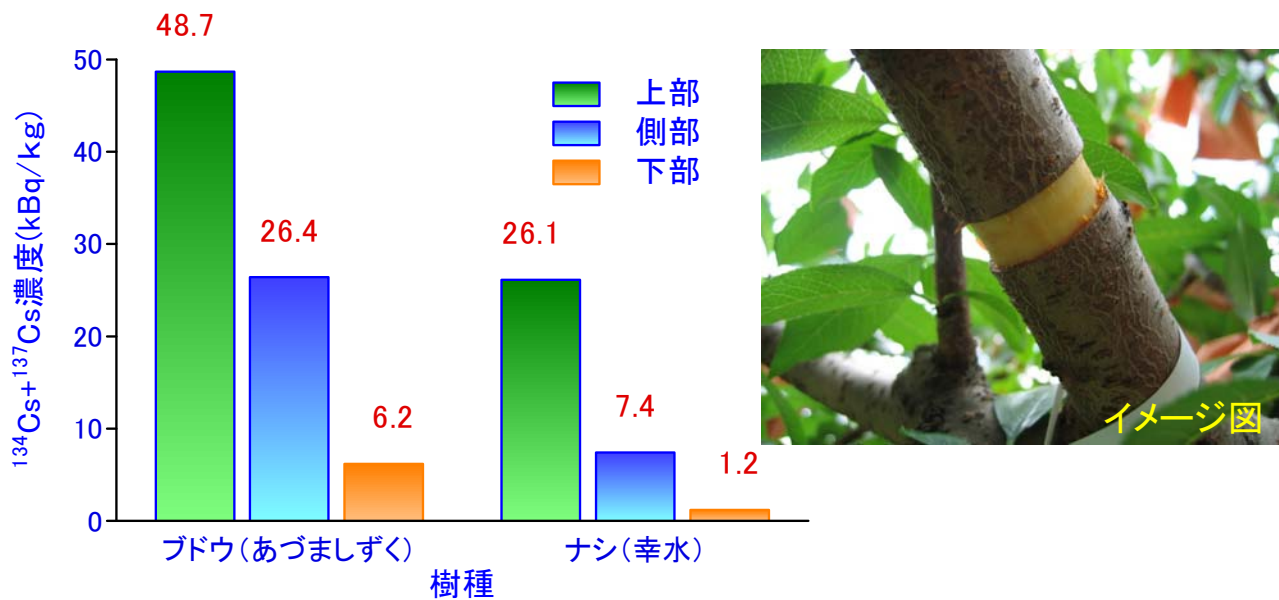


上部＞側部＞下部の順に放射線量が高い
天空側で地面側に比べ放射線量が高い

樹体の放射性Cs濃度

樹体表面の放射性Cs濃度

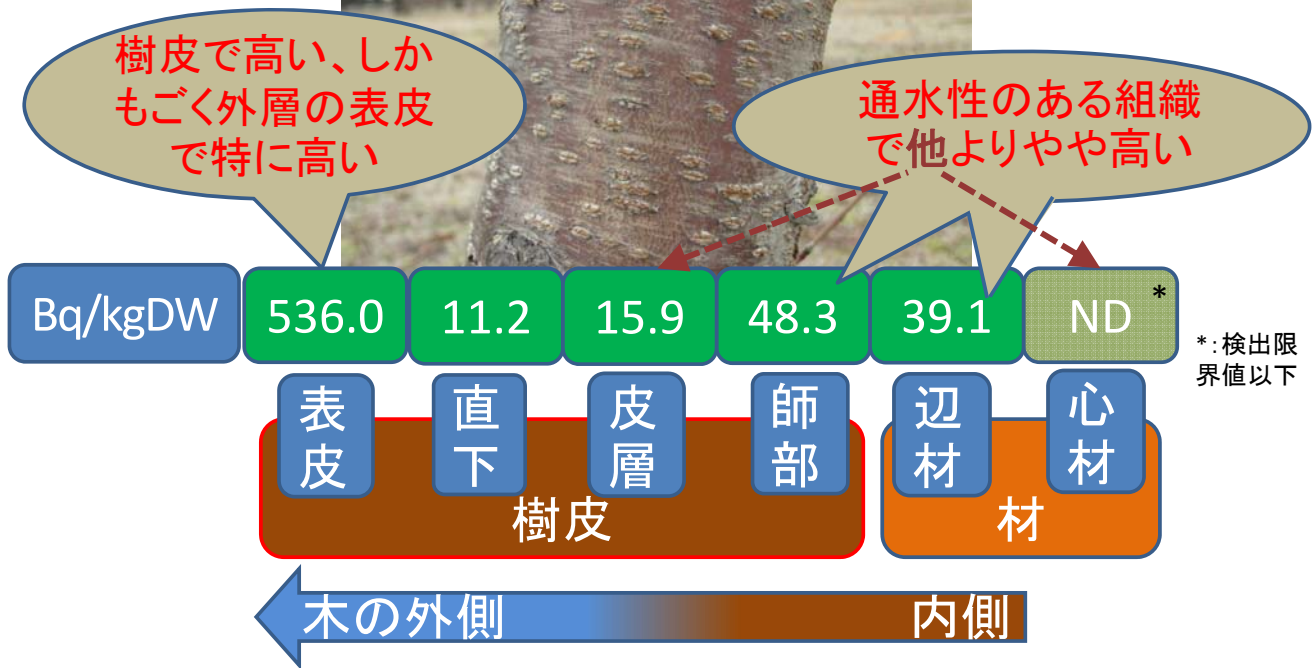
主枝から樹皮を剥いで、それを測定



放射性Cs濃度は上部で高い

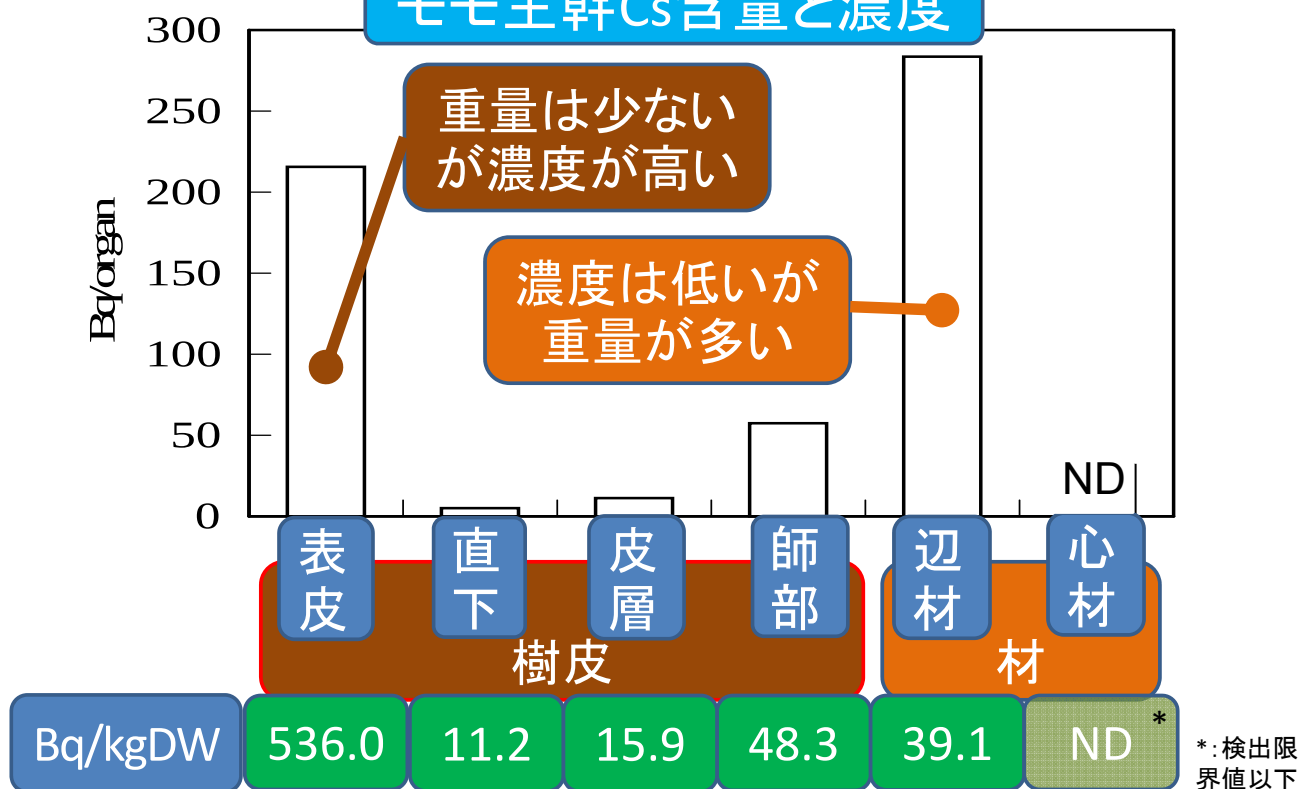
枝の放射性Cs濃度

モモ主幹Cs濃度



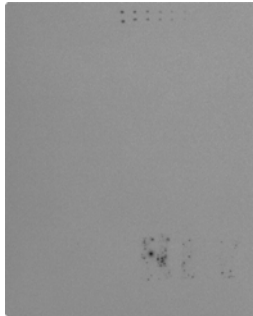
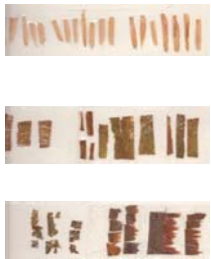
枝の放射性Cs濃度

モモ主幹Cs含量と濃度



枝の放射性Cs濃度

放射能の可視化
モモ3年生枝の
イメージングプレート



黒い部分は
 $\frac{200}{256}$ Bq以上の
検出部位を強調

材 心材 (閉塞) 前年度 肥大部 本年度 肥大部

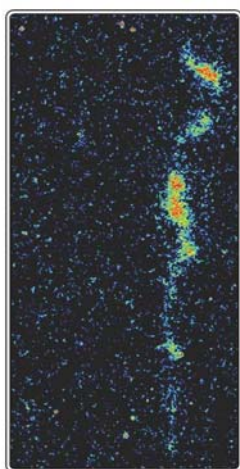


樹皮 二次師部 中 ← 皮層 → 外

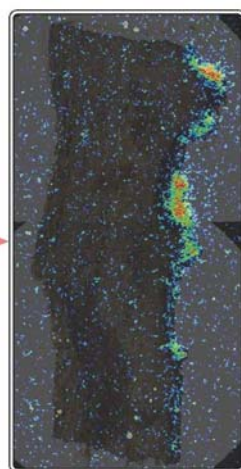


表皮 (樹皮外層) 最外層直下 最外層

枝の放射性Cs濃度



IP像 (≒放射能)

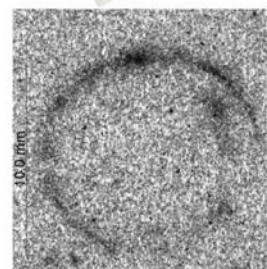


重ね合わせ画像



光学顕微鏡像

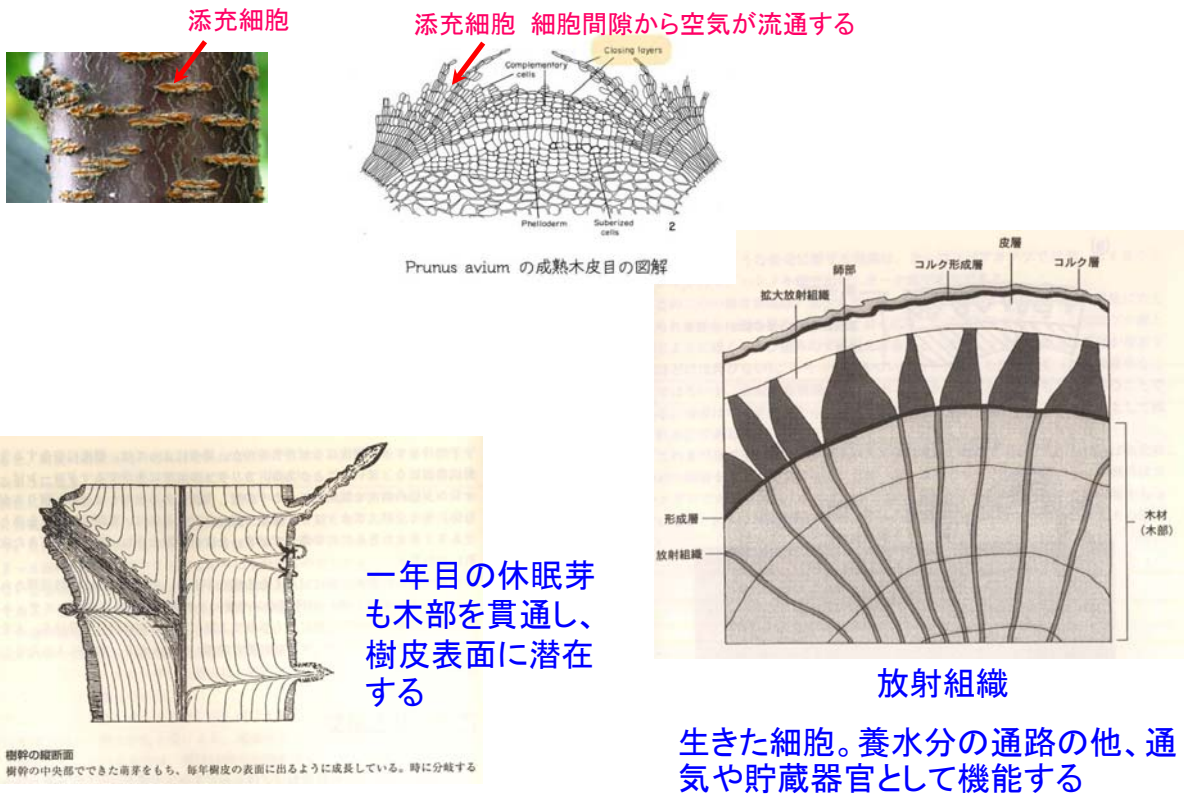
皮目



樹皮 (主枝部) のIP画像と光学顕微鏡像の合成

樹皮 (1年生枝部) のIP画像

皮目



枝の放射性Cs濃度

他の元素は？例えば窒素

- ^{15}N で標識した尿素10倍液を樹液流動期のブドウ・ピオーネの樹皮に塗布すると新梢の全窒素中の7%が尿素由来の ^{15}N であった。(小野,2003:園学研)
- ^{15}N で標識した5%硝安溶液をブドウ・デラウエアの芽と葉柄痕に塗布すると塗布5日後には NO_3 、 NH_4 いずれも新梢内への吸収が確認された。(望月,1993:土肥誌)

放射性セシウムも樹皮・葉柄痕・芽から吸収された？

枝の放射性Cs濃度

カキ樹に対する高圧洗浄処理



樹体内における分配

樹皮で高い濃度

量としてみると材でも多い

樹皮へのフォールアウトによる樹体内への侵入

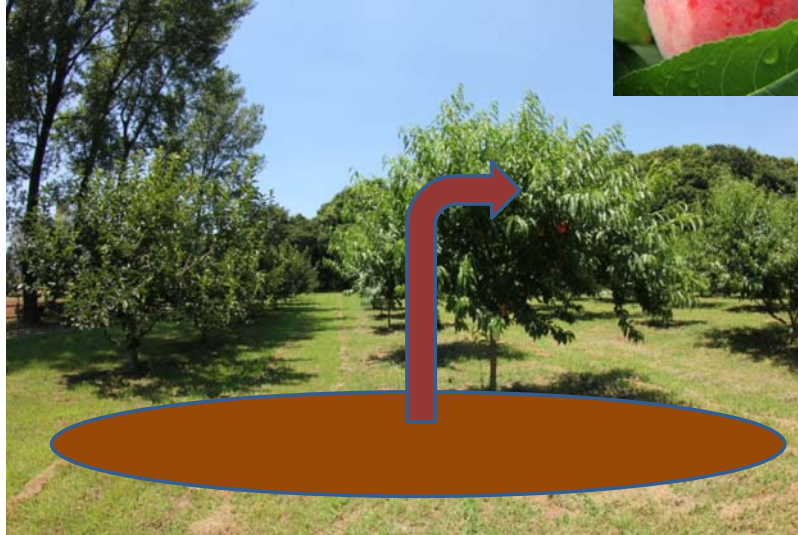
↑
土壌からの樹体内への侵入と比べてどうか？

土壌からの移行

移行係数

果実濃度 (Bq/kgFW)

土壌濃度 (Bq/kgDW)



土壌からの移行

移行係数



2012年

植え替え試験

モモ

$3.6 \sim 5.4 \times 10^{-4}$

ブドウ

2.0×10^{-3}

過去の知見

最大値

1.3×10^{-2}

最小値

9.0×10^{-3}

8.0×10^{-3}

1.0×10^{-3}

野菜・イネと比べると総じてみれば低い
が、事故翌年以降も確実に移行する

土壌からの移行

土壌を被覆することで、
土壌へのフォールアウトを防いでみる

事故前に土壌を被覆

被覆しないまま



収穫時の
Bq/kgDW

30.1

果実

31.4

26.9

土

163.1



事故年では、土壌から果実への
移行はわずか

果樹の根の深さ

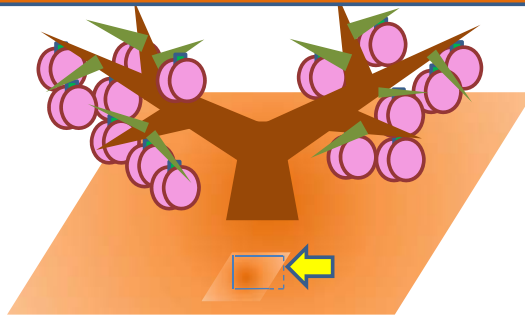
根の出方は樹種によって異なる



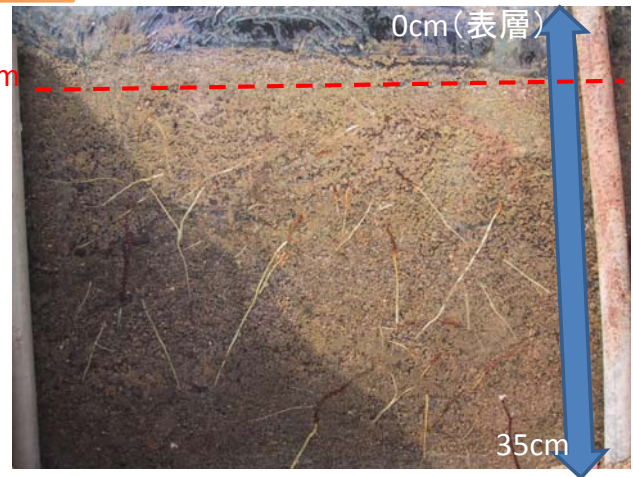
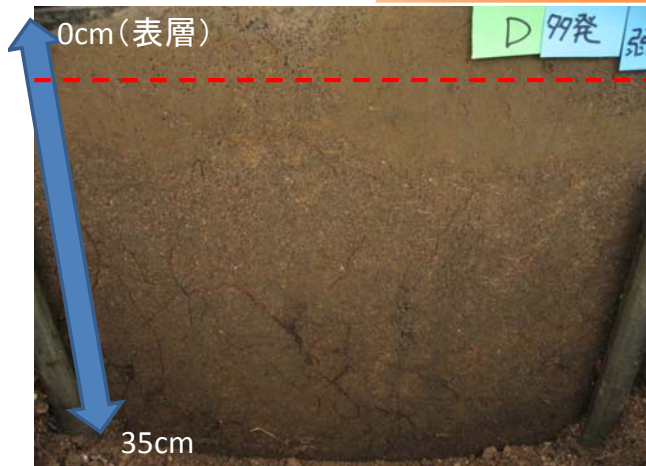
もちろん、根の張り方は台木や仕立て方、園地条件等により、大きく異なる。また、何を基準に浅い深いと判断するかにもよる（単純深度、平均分布域、対樹高比、等）。表記は参考程度に。

果樹の根の深さ

モモの根の分布



モモの樹の根元に穴を掘り、ガラスを設置し、そこに現れるモモの根を調査（岡山での試験、2003年）

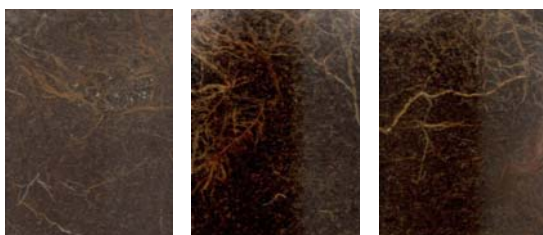
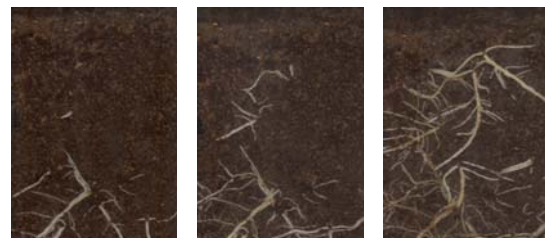
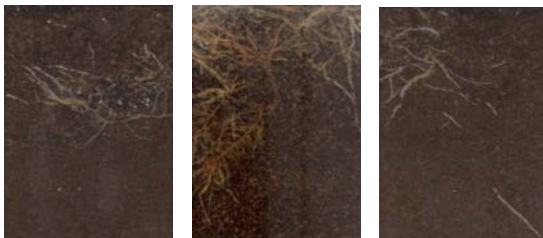


果樹の根の深さ

浅い
イチジク

鉢植え樹の根の分布

浅くない
ブドウ



鉢植え試験でも、イチジクは上の方から根が出やすい、ブドウは全面に出る。

イチジク



収穫果いろいろ



試験イメージ

ブドウ



試験の様子



試験樹収穫果



試験の様子



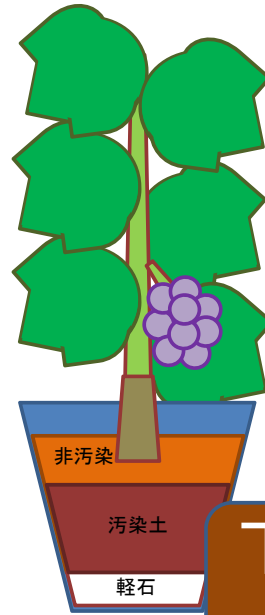
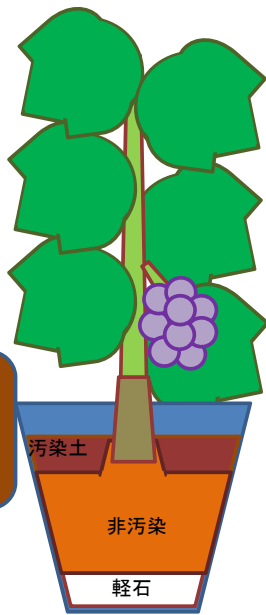
試験イメージ



土壌からのCs移行を調べる



表層を
汚染



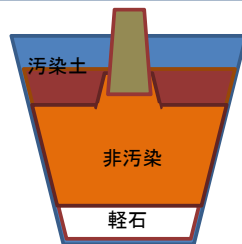
下層を
汚染

イチジクとブドウそれぞれに同じ処理

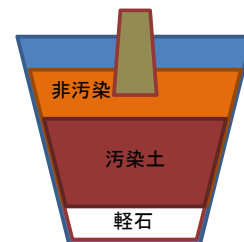
ブドウ

土壌からのCs移行を調べる

土壌濃度
(Bq/kgDW)



上 834
下 5



上 2
下 938

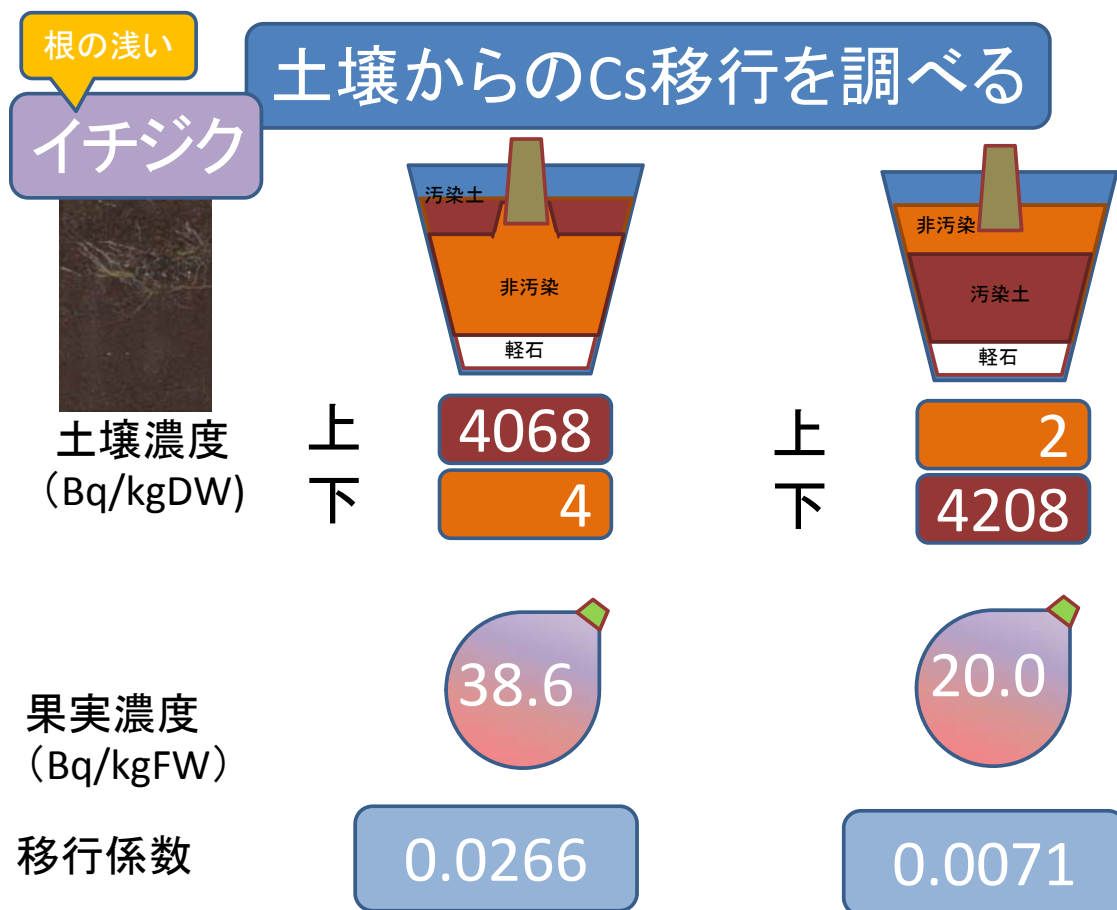
果実濃度
(Bq/kgFW)



移行係数

0.00168

0.00397



土壌からの移行

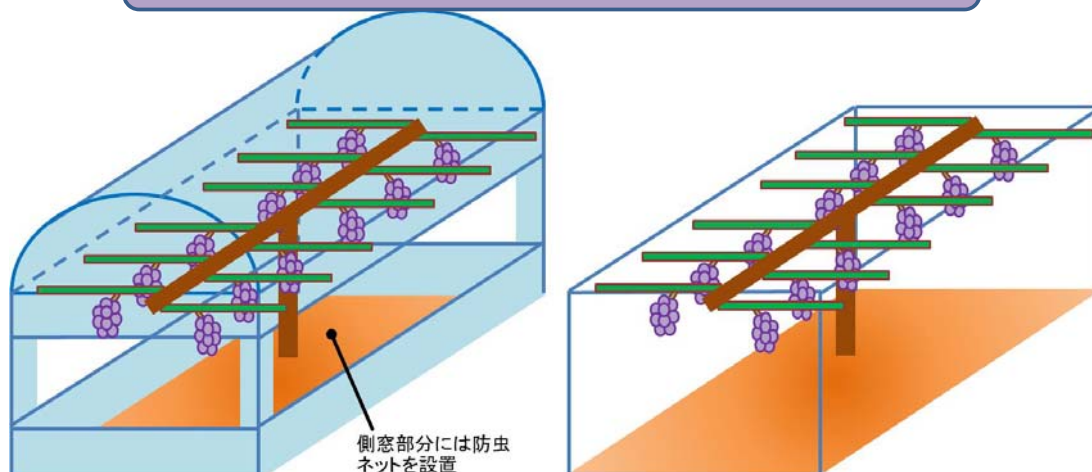
根の深い樹種では、土壌表層のCsを吸収しにくい

根の浅い樹種では、土壌表層のCsを吸収しやすい

事故当年は、根を通じた果実へのCsの移行は、直接降下したものと比較するとわずか

土を経由して地上部には移行するのか？

2. ブドウ園の土壌濃度との比較



福島県東白川郡園地
ビニル被覆栽培

7564.4Bq/kgDW

土壌表層の $^{134+137}\text{Cs}$ 含量(乾土あたり)

東京都西東京市園地
露地栽培(棚仕立て)

82.7Bq/kgDW

↓
ビニル被覆

256.6Bq/kgDW

土壌表層の $^{134+137}\text{Cs}$ 含量(乾土あたり)

東白川

土濃度は(それ
でも)高い

東京

土濃度は低い

土を経由して地上部には移行するのか？

2. ブドウ園の土壌濃度との比較

ビニル被
覆(サイド
レス)

東白川

Bq/kgDW

東京

無被覆

果皮

54.1

69.6

果肉

検出限界値
以下

24.8

葉

35.8

47.8

新梢

検出限界値
以下

32.4

細根

検出限界値
以下

検出限界値
以下

土0-5cm

256.6

82.7

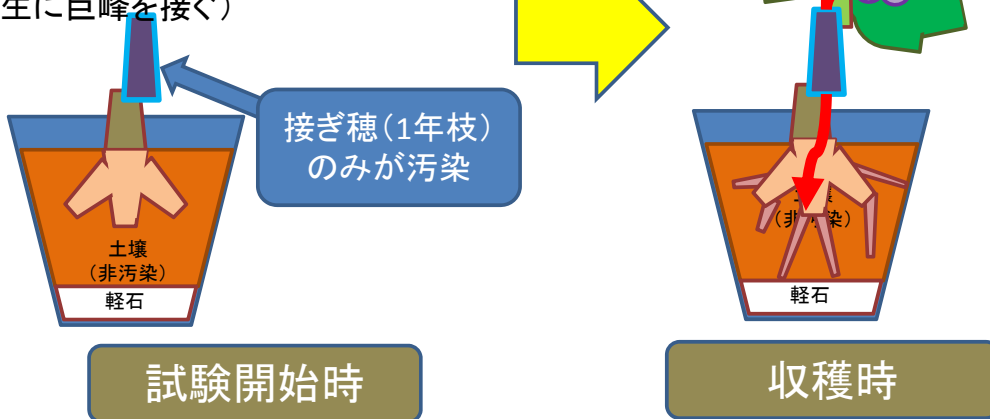
地上部と土
の傾向が
一致しない

旧枝からの移行



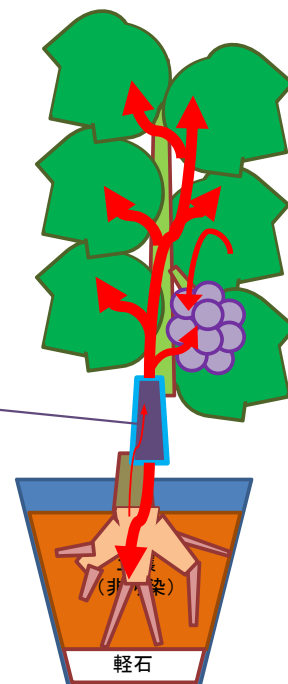
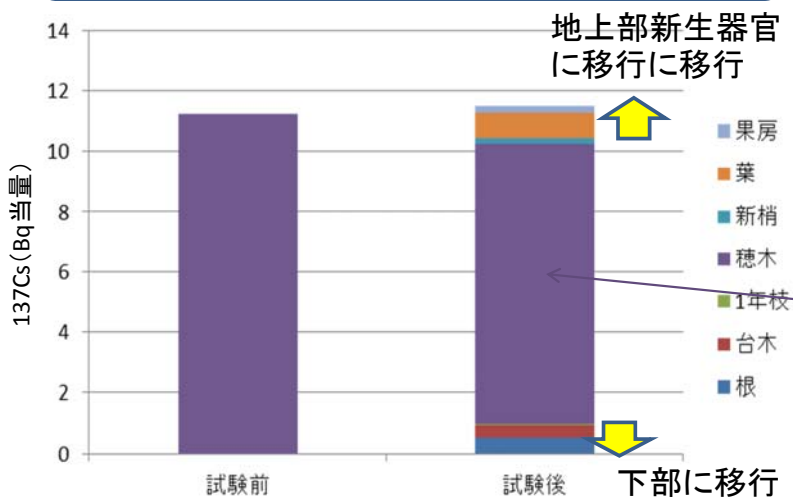
非汚染樹に汚染接ぎ穂を接ぐ試験

長い枝を無理やり接ぎ木
(巨峰3年生に巨峰を接ぐ)



旧枝からの移行

^{137}Cs の総量 (器官重量×濃度)



移行を比べる

土壌からの移行

VS

旧器官からの移行

どのように比べるか？

移行係数？

$$\frac{\text{果実濃度 (Bq/kgFW)}}{\text{土壌濃度 (Bq/kgDW)}}$$

というわけで、

果実中総量 (= 果実の濃度 × 果実の重量)

移行元総量 (= 土壌 or 穂木の濃度 × 重量)

というふうに、総量ベースで比べた

移行を比べる

果実中総量 (= 果実の濃度 × 果実の重量)

移行元総量 (= 土壌 or 穂木の濃度 × 重量)

土壌からの移行

ブドウ

旧器官からの移行

上部汚染

0.0000986

0.00168

下部汚染

0.0002006

0.00397

均質汚染

0.0001270

0.00267

<<

0.04160

小さい文字の数字は移行係数

移行を比べる

土壌中、樹体中の総量は？

土壌

ブドウ

旧器官

仮に、ブドウ10年生(16kgDW樹体、樹冠4m×4m、収量1.5t/10a)
表土5cmが5000Bq/kgDWの園地、根域深25cmとして、データを当てはめると、

土壌中に**約560万**Bq当量

樹体中に**約6.2万**Bq当量

上部汚染

0.0000986

チェルノブイリの
データで計算すると
さらに10分の1以下

0.04160

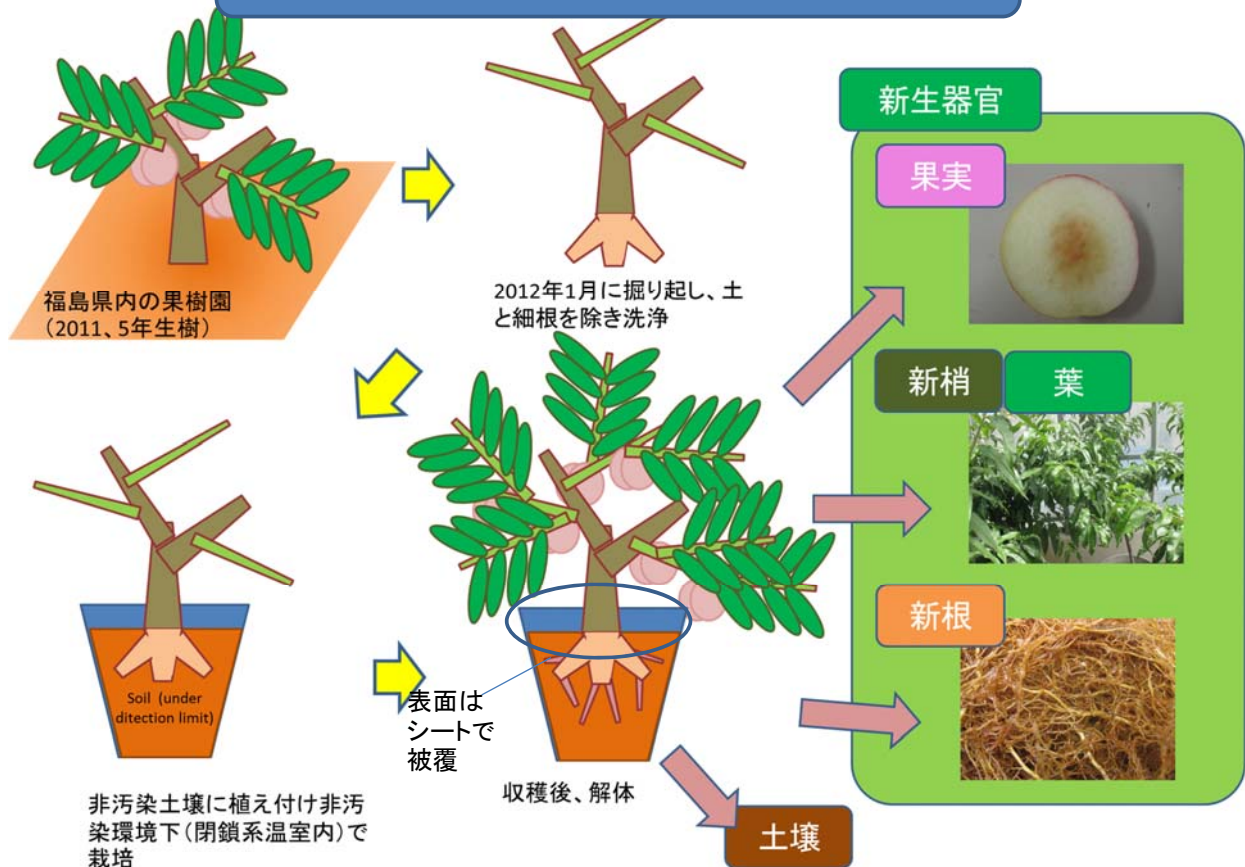
549Bq相当が果実に
(濃度2.0Bq/kgFW)

根が完璧な生育し
ていたら、実際は
もっと低いと思われ
る(桁が変わるレ
ベルで)

2566Bq相当が果実に
(濃度10.7Bq/kgFW)

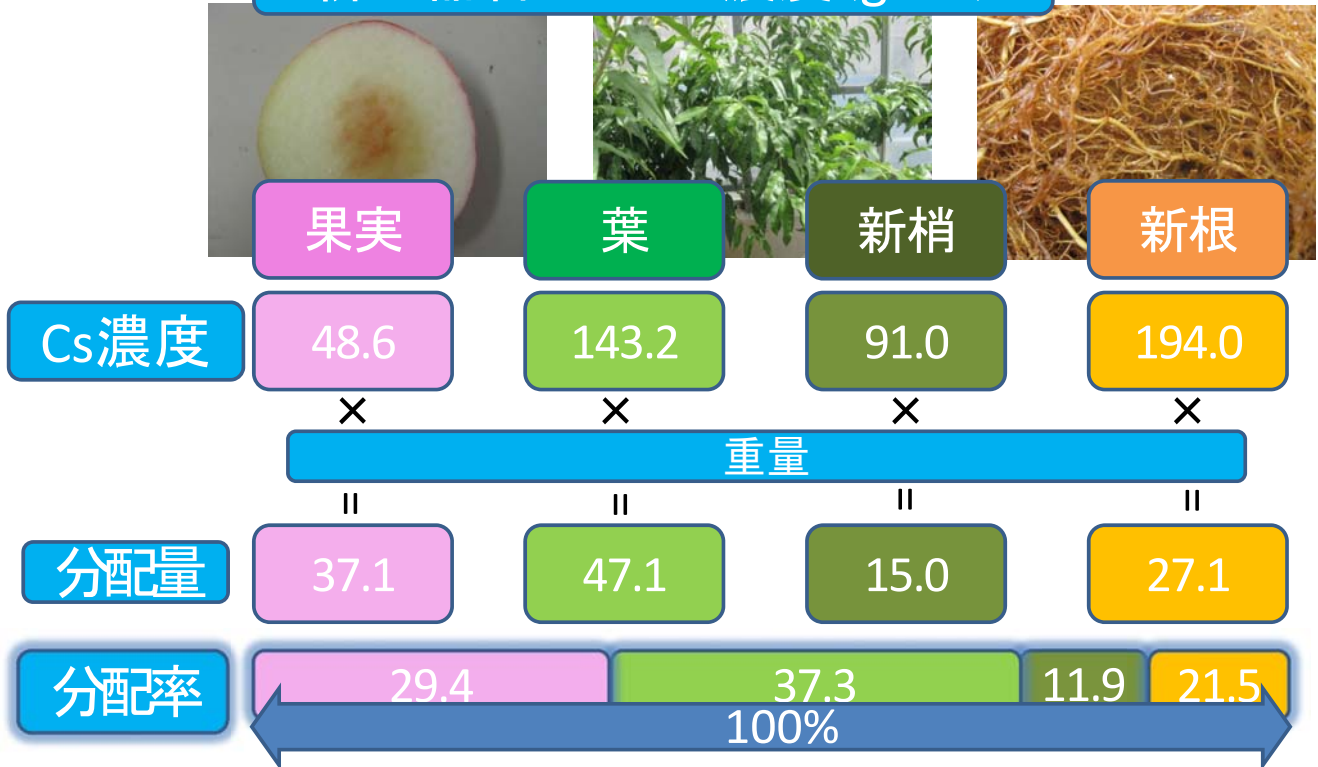
注) 移行係数経由の計算だと480Bq相当

旧器官からの移行



旧器官からの移行

新生器官の ^{137}Cs 濃度(gDW)



旧器官からの移行

全樹体中Cs量を5000とすると



目次

福島県の果樹・果樹の一般的な知識

果樹園の土壌汚染・周囲の汚染

樹体の汚染状況

汚染経路

果実濃度の予測・安全性の担保

予測までの道のりは遠い



予測が重要なのではなく、
どの程度の濃度を下回るかを判
別することが重要

その前に・・・

果実発育期間中の果実濃度の変化
を把握しないといけない。

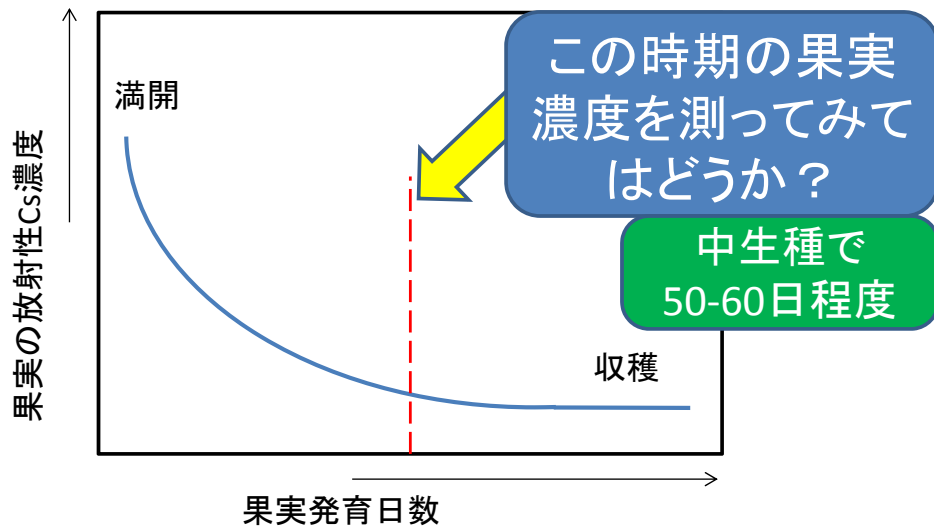
果実の発育期間中に濃度の増減は？

次に、この変化が、毎年同じかどう
か？

チェルノブイリ事故時は初年度のデータ
不足で果樹の放射性Csの変化は不明瞭

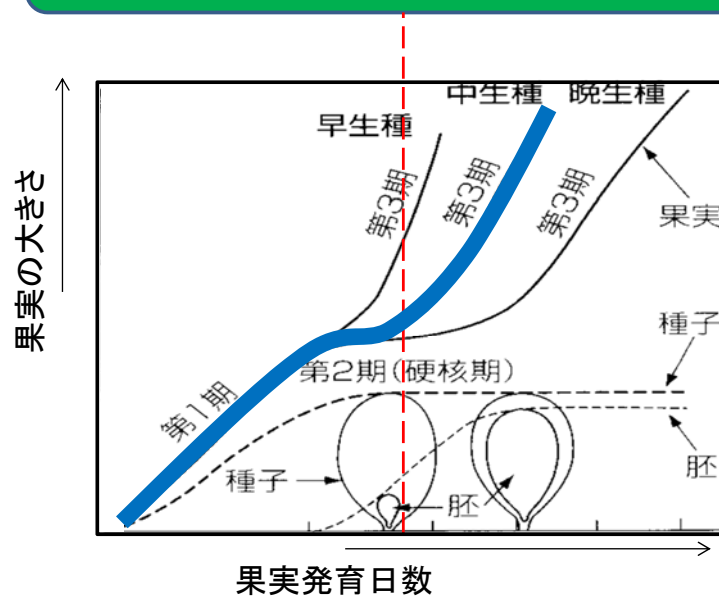
濃度の変化

果実濃度の変化



濃度の変化

この時期はどんな時期？



濃度の変化

二次摘果・袋掛け(モモ)

時期

二次摘果

5月の中下旬（満開後50～60日）頃に行う。清水白桃など生理的落果の起きやすい品種では、時期を遅らせる。

袋掛け

二次摘果後に行う。摘果の見直しを兼ねると効果的。

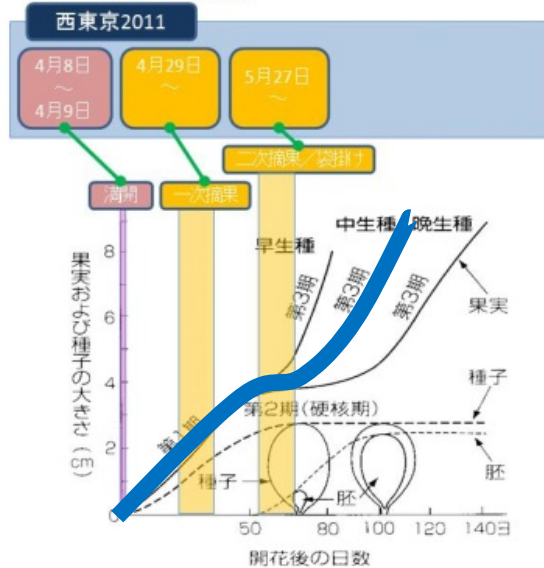


図 モモの果実と種子の発育

二次摘果が早過ぎると...

品種・年次によっては落果が起き、それを判断できない。

収量が激減する。樹勢が乱れる。

二次摘果が遅いと...

養分競合を起こす

果肉細胞の肥大が不十分。

第3期は果実細胞の肥大期に当たる。

収穫果のサイズが小さくなる。

濃度の予測について

モモ果実中の放射性Csの経時的変化

果実発育第2期にある程度低下



摘果果実と成熟果の放射性Cs濃度

収穫果の濃度予測が可能か？

濃度の予測について

調査園地

福島市飯坂(果樹研究所)

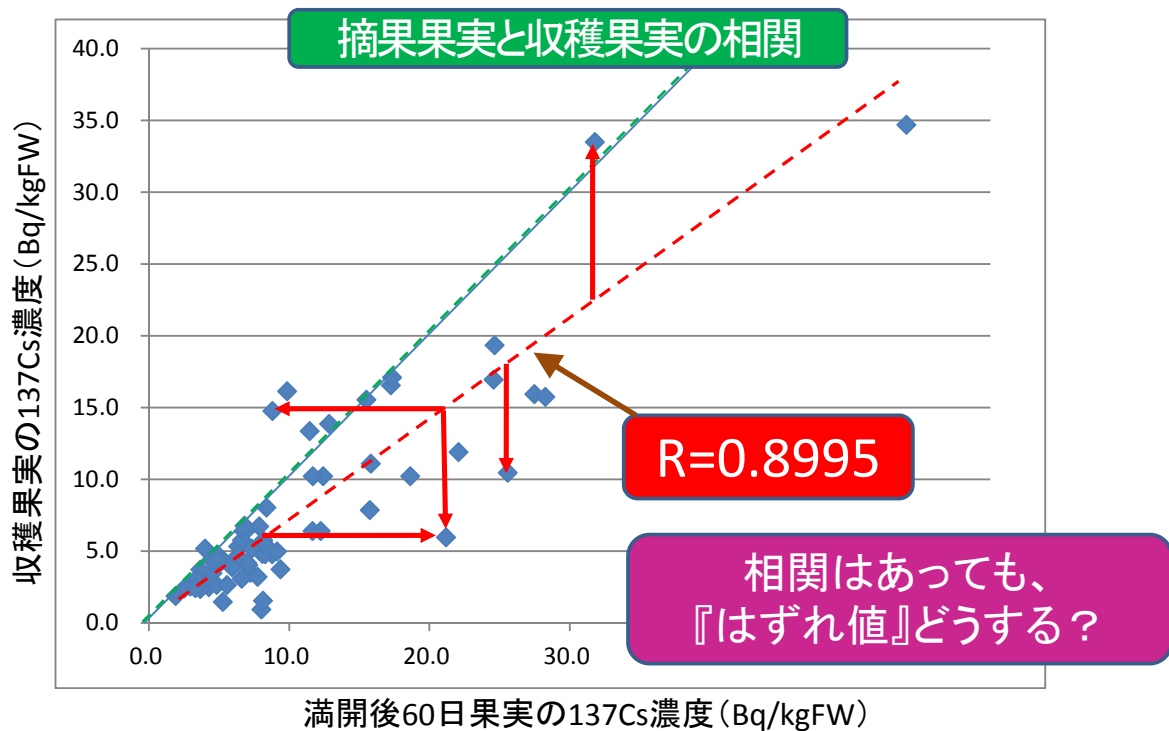
JA伊達みらい管内の経済栽培園 26園地



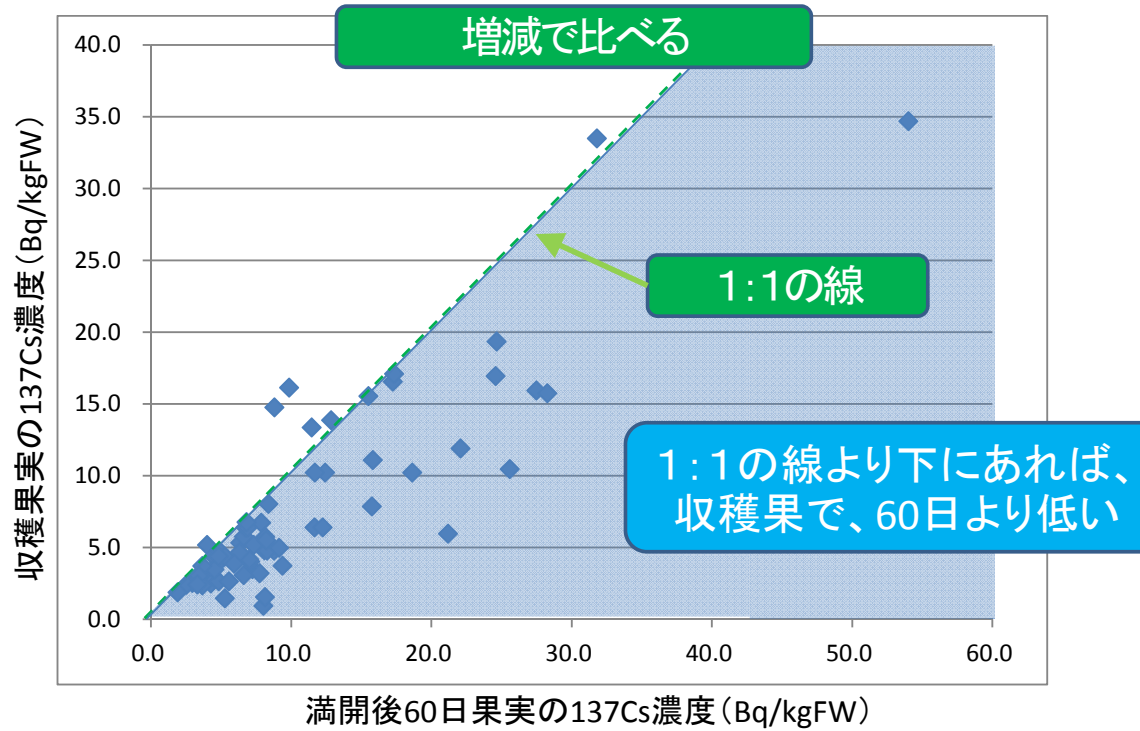
調査樹

あかつき, 3樹ずつ

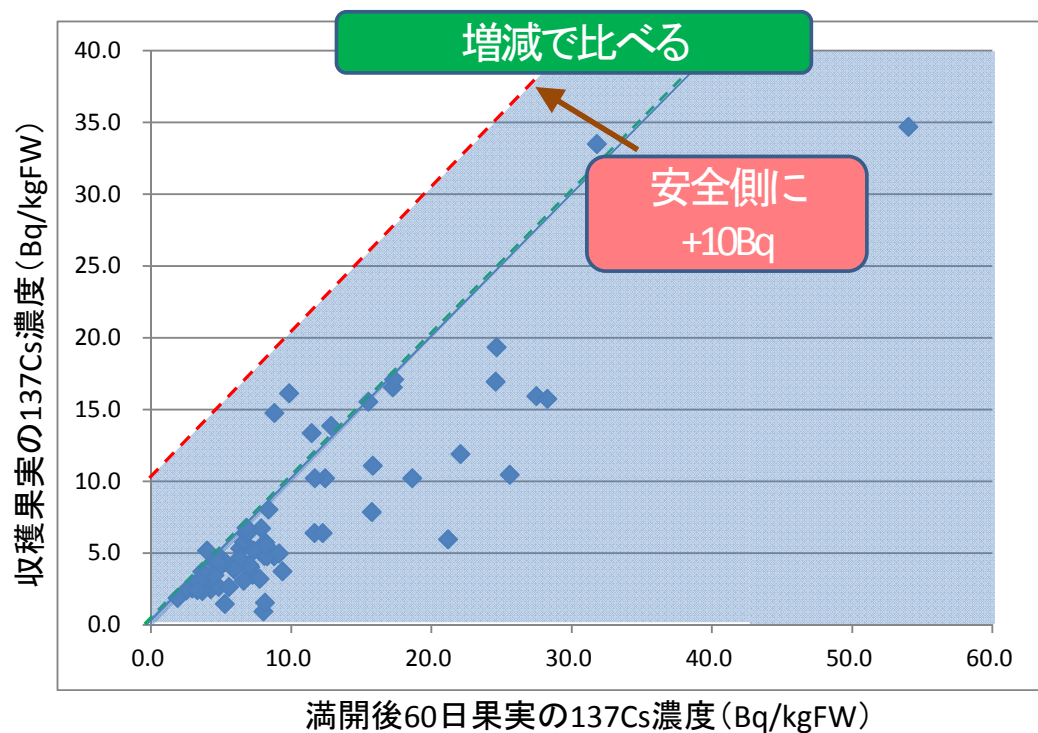
濃度の予測について



安全性の確保



安全性の確保



安全性の確保

果実発育第2期にある程度低下
果実濃度は収穫果で60日より低い傾向



樹体ごと(園地ごと)の把握は可能
摘果果実の濃度が規制値(+安全係数)を超えた園地の樹のみ、収穫時などに再検査することで、労力の分散化

安全係数をどのように見積もるか？

放射性セシウムの 果樹樹体内における動態

樹体への直接降下の影響が強く、
樹皮に高濃度に存在

樹体内に存在するCsは新生器官に移動し、その寄与は根からの吸収より高寄与

根からの吸収もあるが、根の分布域を把握したうえでの対処が必要

事前測定で汚染園地(樹体)の抜き出しはもちろん、安全性の担保ができるのでは？