



# 果樹における放射性核種の 移行と分配について

東京大学大学院 生態調和農学機構  
高田大輔

アグリコクーン2013年4月15日

## モモ樹体内での分配について

どこに放射性セシウムが蓄積されるのか？

## 土壌からの移行

土からの移行はどの程度か？

## 樹体中の旧器官からの移行

樹体中の放射性セシウムは翌年の果実にどの程度移行するか？

## 果実濃度の予測について

ある程度の予測ができるのか？

# モモ樹体内での分配について

どこに放射性セシウムが蓄積されるのか？

土壌からの移行

樹体中の旧器官からの移行

果実濃度の予測について



# 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

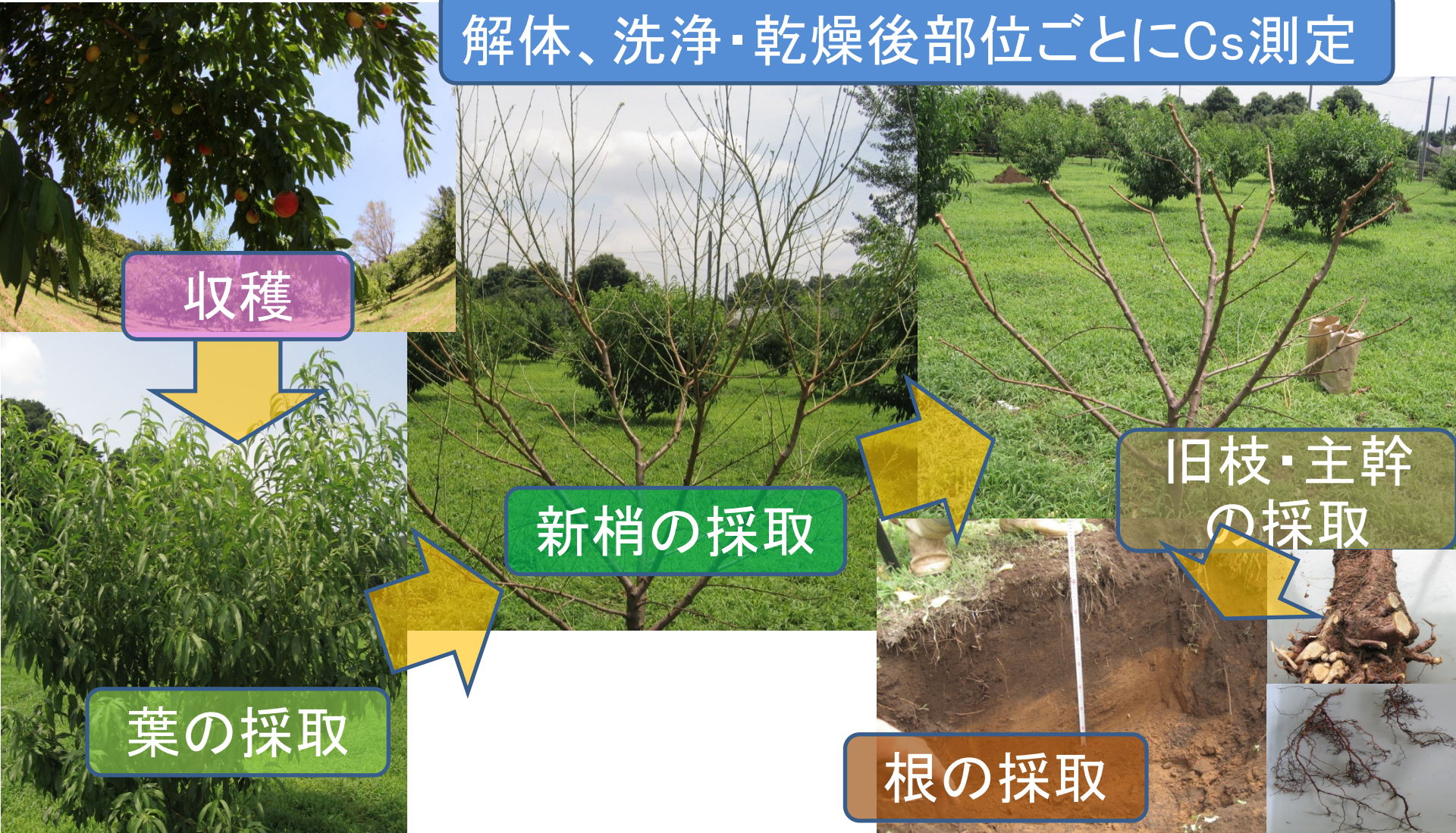
収穫

新梢の採取

旧枝・主幹  
の採取

葉の採取

根の採取





## 樹体内における分配

8月

モモ園の $^{134}+^{137}\text{Cs}$ 濃度

Bq/kgDW

DWは乾燥重

面積あたりでない

表層植生

360.0

0-5cm

114.6

5-10cm

78.4

10-15cm

69.0

20-25cm

41.4

浅い

深い

いわゆる  
雑草



## 樹体内における分配

モモ樹体の $^{134}+^{137}\text{Cs}$ 濃度

8月

洗浄後に  
測定

Bq/kgDW

果実

61.7

葉

67.0

新梢

24.0

旧枝

145.1

主幹

50.4

台木

検出限界値  
以下

中大根

検出限界値  
以下

細根

44.8

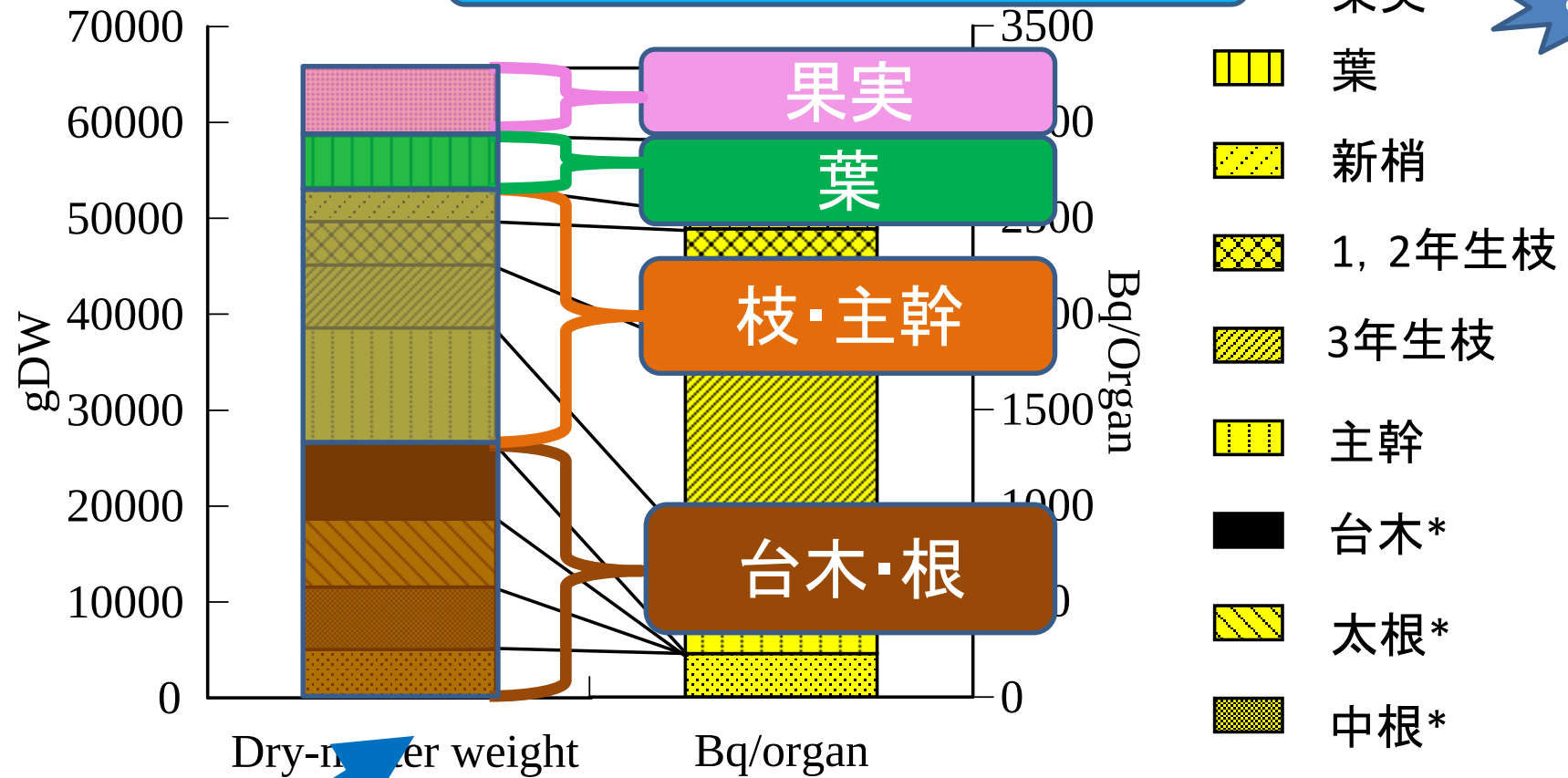
細根の一部は事故時には無い

事故時には  
無い器官事故時に  
あった器官

# 樹体内における分配

## モモ樹体重量

8月



樹体の重量

\*: 検出限界値以下

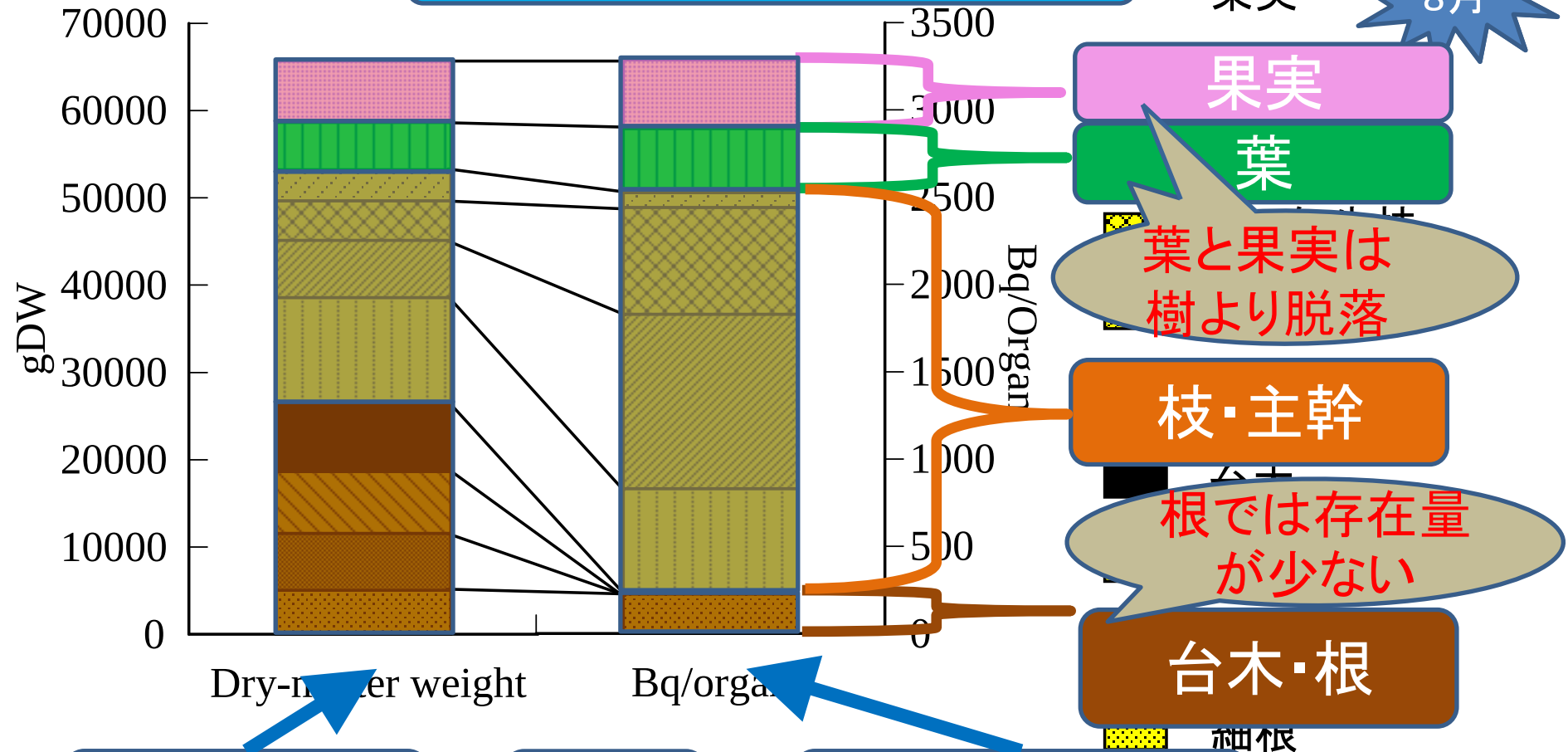


# 樹体内における分配

## モモ樹体重量とCs含量

果実

8月



葉と果実は  
樹より脱落

枝・主幹

根では存在量  
が少ない

台木・根

細根

樹体の重量

×

濃度

=

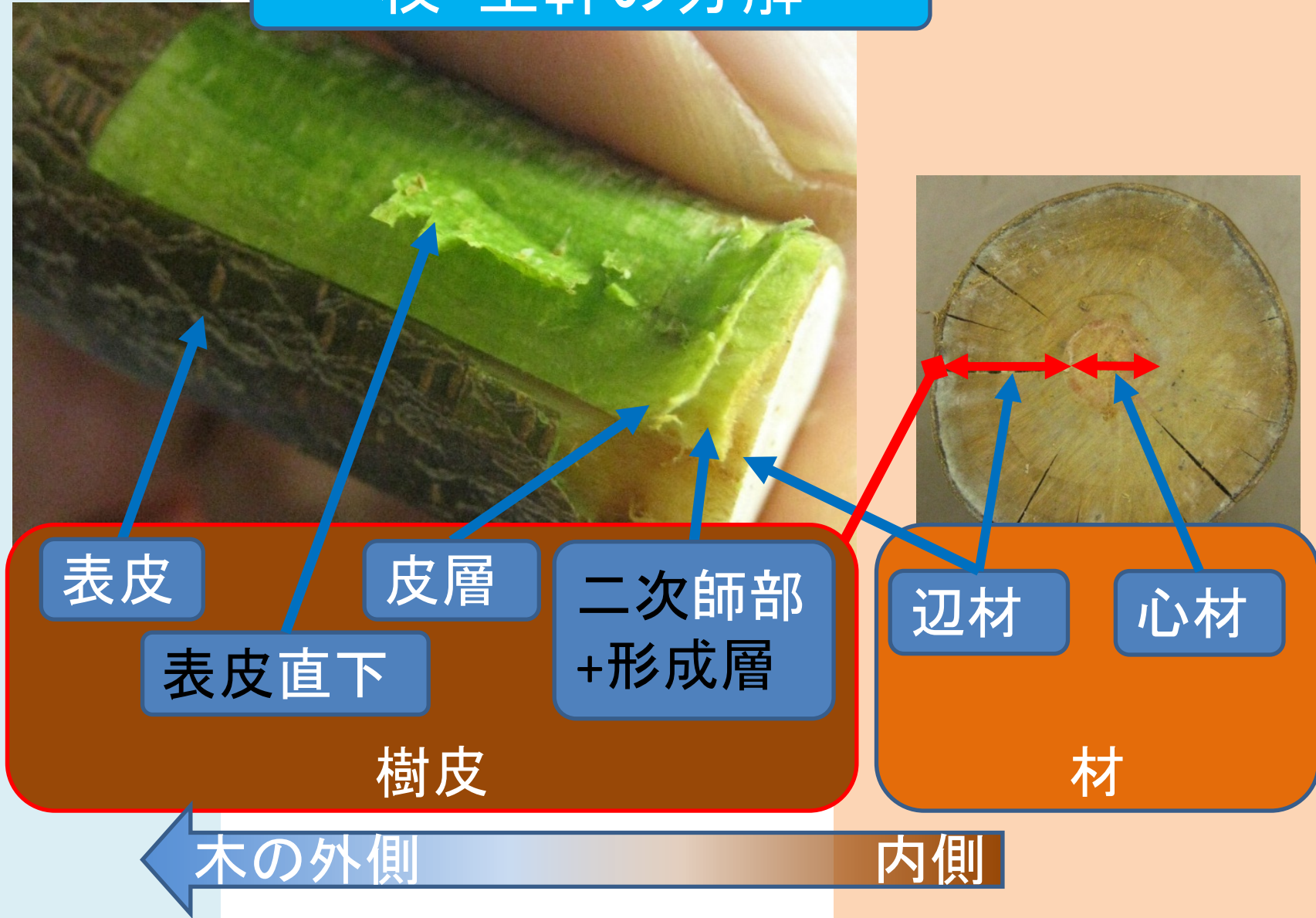
部位ごとの含量

先ほどの数値

\*: 検出限界値以下

# 樹体内における分配

## 枝・主幹の分解





## 樹体内における分配

## モモ主幹Cs濃度

8月

樹皮で高い、しかもごく外層の表皮で特に高い

通水性のある組織で他よりやや高い

Bq/kgDW

536.0

11.2

15.9

48.3

39.1

ND\*

表皮

直下

皮層

師部

辺材

心材

樹皮

材

木の外側

内側

\*: 検出限界値以下

# 樹体内における分配

## モモ主幹Cs含量と濃度

8月



Bq/kgDW

536.0

11.2

15.9

48.3

39.1

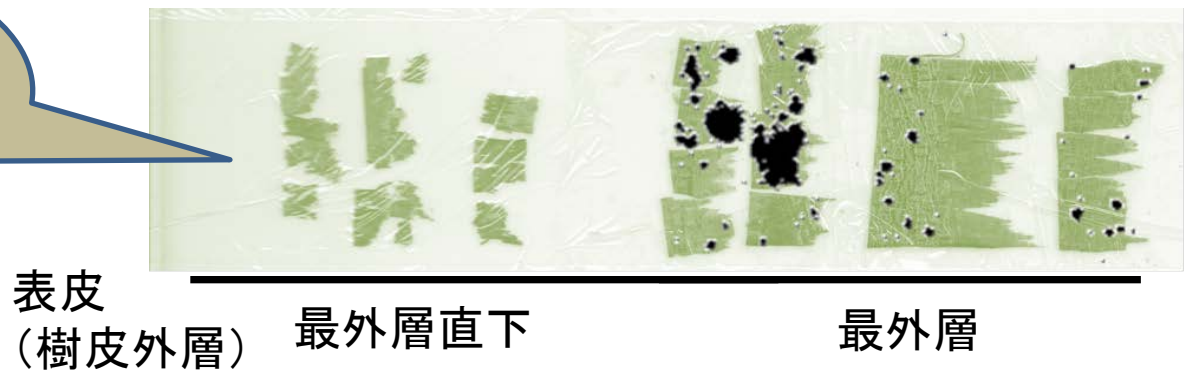
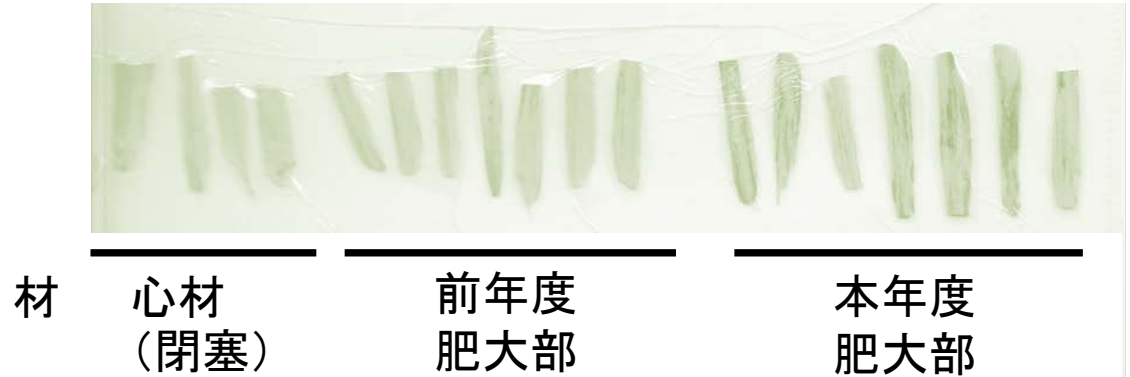
ND \*

\*: 検出限界値以下

# 樹体内における分配

## 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



## まとめ

樹皮で高い濃度

量としてみると材でも多い

モモ樹体内での分配について

土壌からの移行

土からの移行はどの程度か？

樹体中の旧器官からの移行

果実濃度の予測について

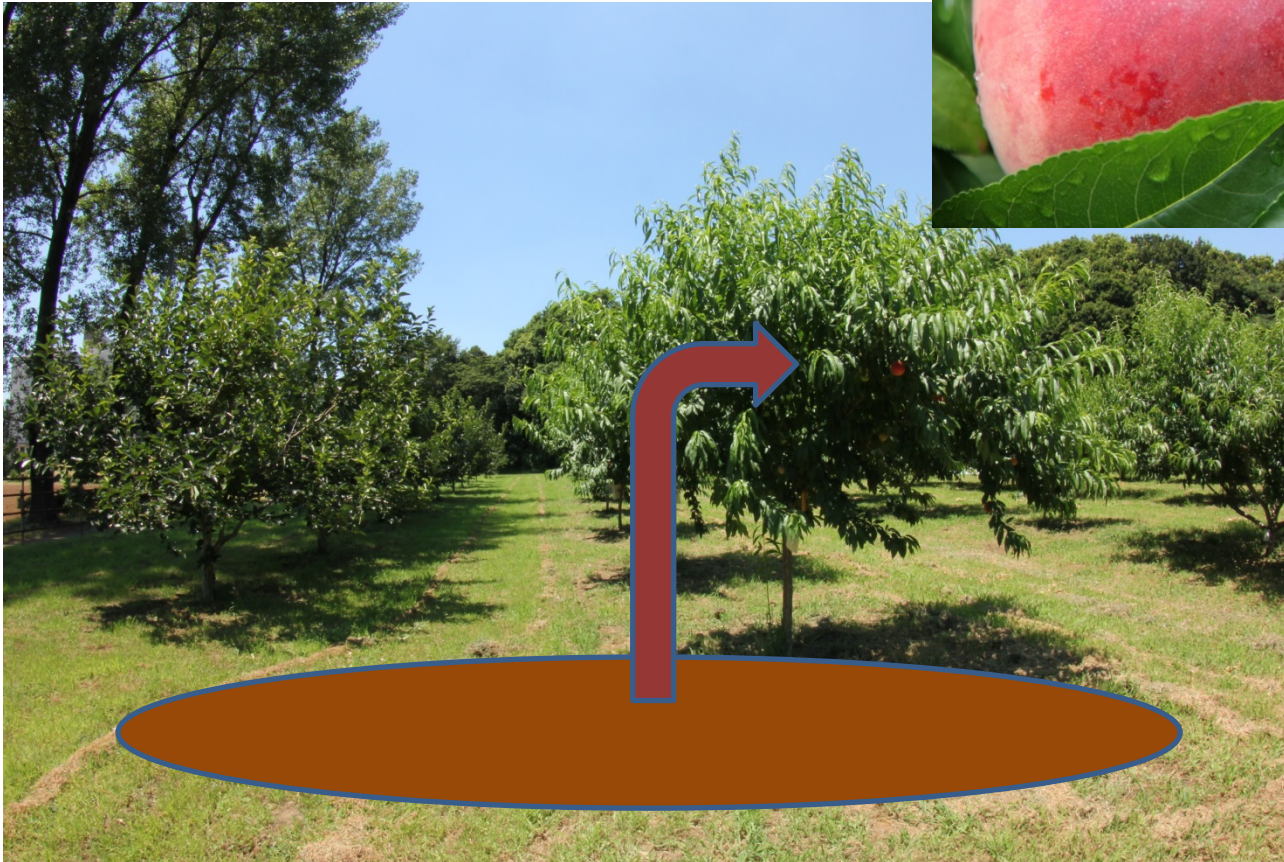
# 移行係数を測定する

土壌からの移行

## 移行係数

果実濃度 (Bq/kgFW)

土壌濃度 (Bq/kgDW)





# 移行係数を測定する

土壌からの移行

非汚染の苗(東京大学の閉鎖系温室で栽培)



試験イメージ



福島県果樹研究所に持ち込み、伊達市土壌を用いて植え付け



洗浄した根の様子



収穫まで栽培

# 移行係数を測定する

## モモとブドウ(2012)

| 樹種  | 品種・器官   | 放射性Cs濃度                                     |                                  | 移行係数                 | 2011年                     |                             |                      |
|-----|---------|---------------------------------------------|----------------------------------|----------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------|
|     |         | 土壌 <sup>z</sup><br>(Bq・kgDW <sup>-1</sup> ) | 果実・葉<br>(Bq・kgFW <sup>-1</sup> ) |                      | 見かけの<br>移行係数 <sup>y</sup> | 文献の移行係数 <sup>x</sup><br>最大値 | 最小値                  |
| モモ  | あかつき・葉  | 2302                                        | 6.7                              | $2.9 \times 10^{-3}$ | $1.9 \times 10^{-2}$      | $1.3 \times 10^{-2}$        | $9 \times 10^{-3}$   |
|     | あかつき・果実 | 2302                                        | 1.3                              | $5.4 \times 10^{-4}$ |                           |                             |                      |
|     | 白鳳・果実   | 19756                                       | 7.2                              | $3.6 \times 10^{-4}$ |                           |                             |                      |
| ブドウ | ピオーネ・葉  | 18116                                       | 125.3                            | $6.9 \times 10^{-3}$ | $1.2 \times 10^{-2}$      | $8.0 \times 10^{-3}$        | $1.0 \times 10^{-3}$ |
|     | ピオーネ・果実 | 18116                                       | 36.2                             | $2.0 \times 10^{-3}$ |                           |                             |                      |

<sup>z</sup> ‘あかつき’は深さ20cmまでの加重平均濃度

<sup>y</sup> ほ場表層下5cmの土壌とそこから収穫された果実の放射性Cs濃度からの算出値(土は深さ20cmに換算)

<sup>x</sup> Carini, F. 2001. Radionuclide transfer from soil to fruit, Journal of Environmental Radioactivity 52,237

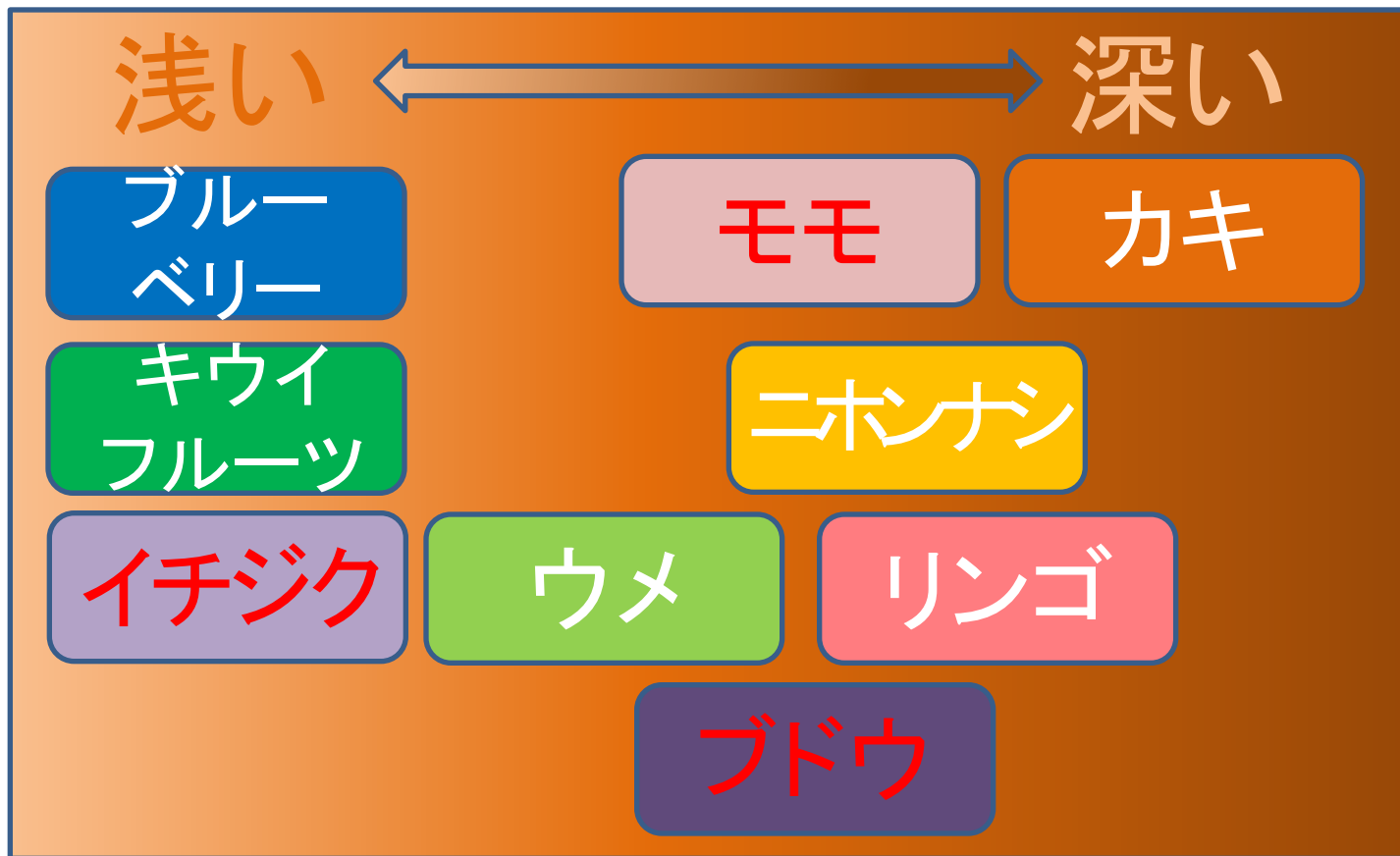
佐藤ら、2013

野菜・イネと比べると総じてみれば低い

# 果樹の根の深さ

土壌からの移行

## 根の出方は樹種によって異なる

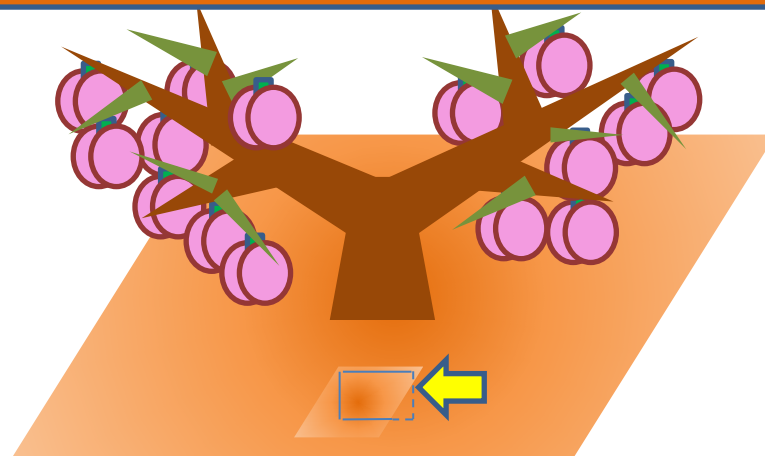


もちろん、根の張り方は  
台木や園地条件により、大きく異なる。  
表記は参考程度に。

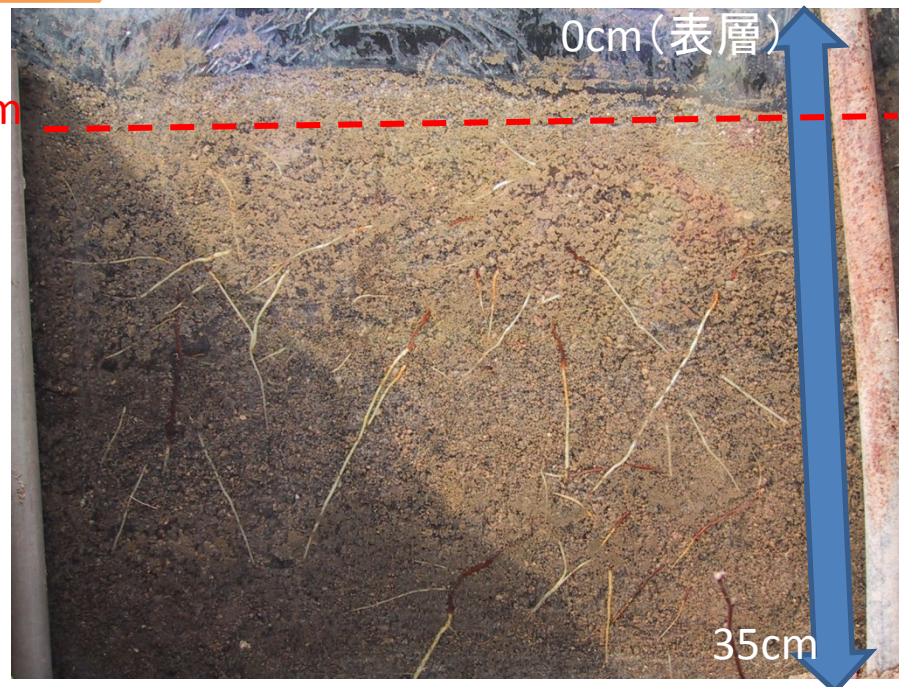
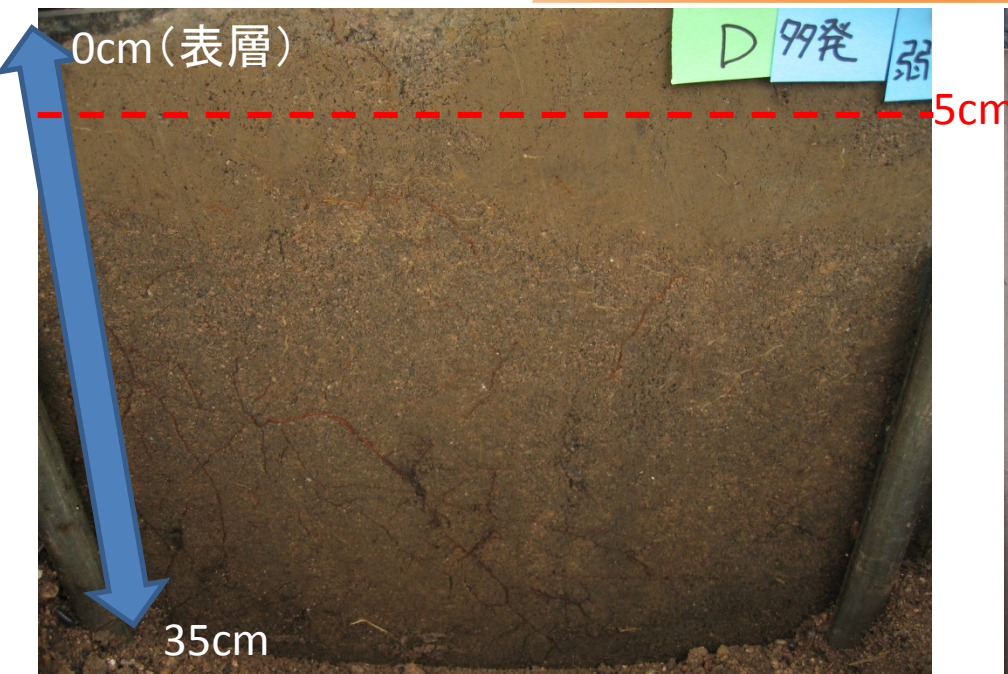


# 果樹の根の深さ

## 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)





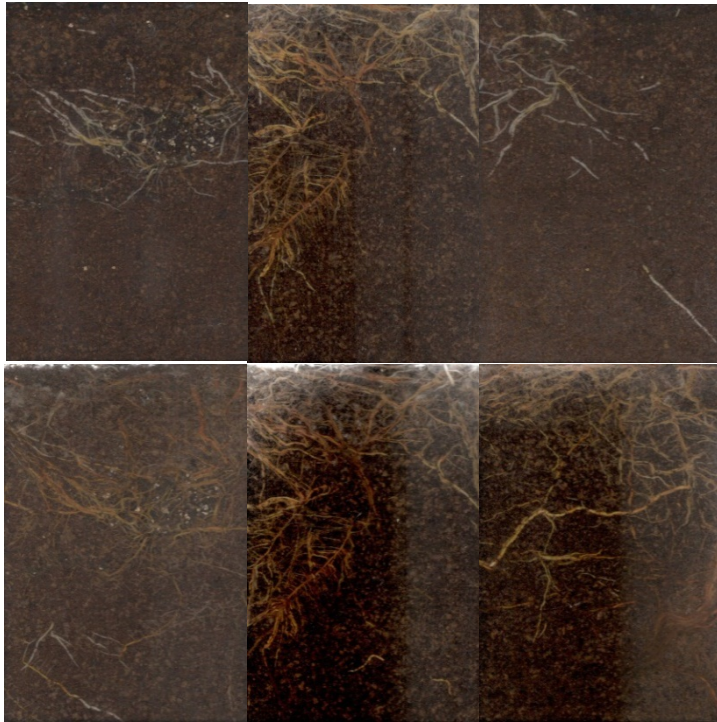
# 果樹の根の深さ

土壌からの移行

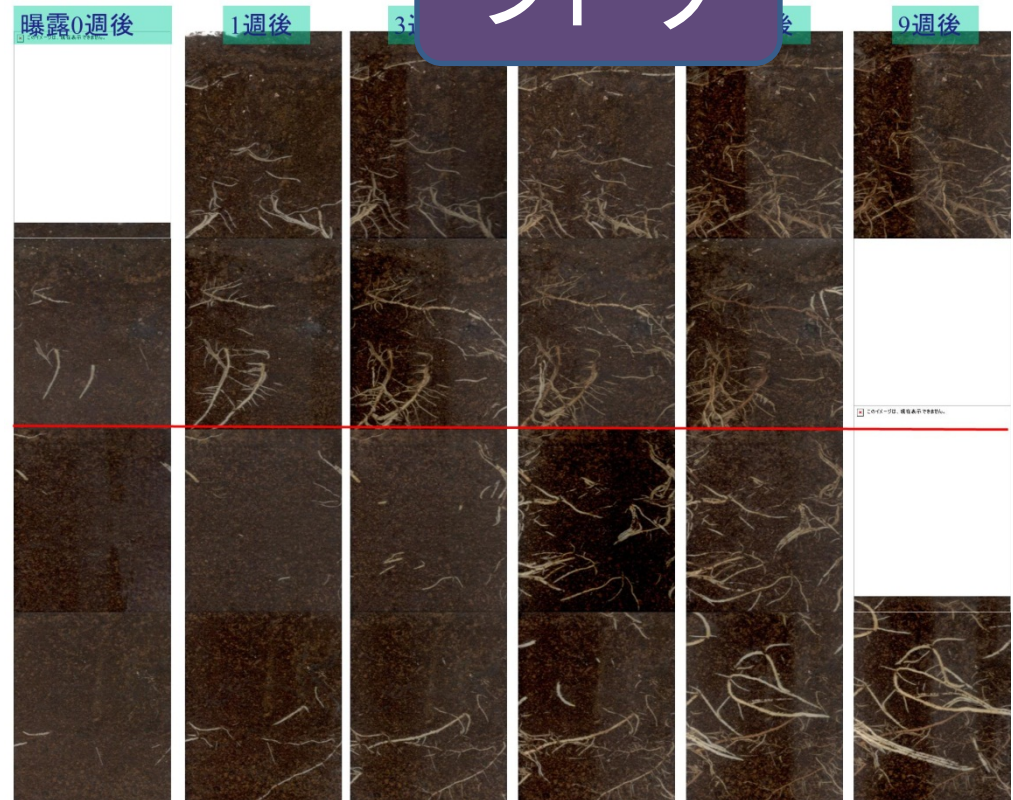
## 鉢植え樹の根の分布

自作アクリル鉢で  
栽培し、地下部を  
定期的にスキャン

### イチジク



### 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、  
ブドウは全面にあるいは下の方から根が出やすい



# その前にイチジク



収穫果いろいろ



試験イメージ



# その前にブドウ



試験の様子



試験樹収穫果



試験の様子



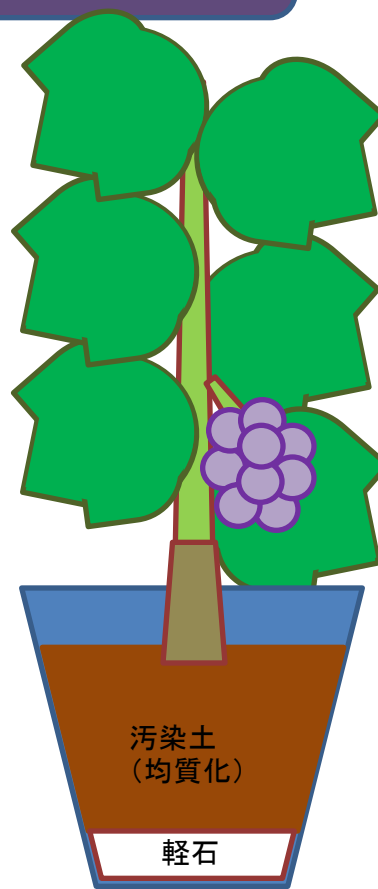
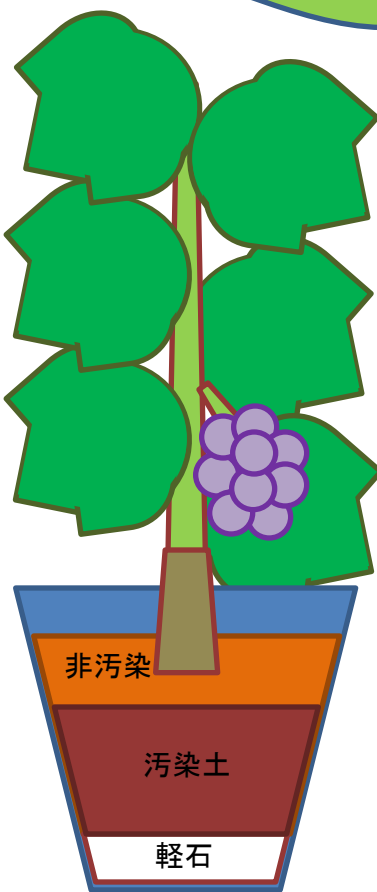
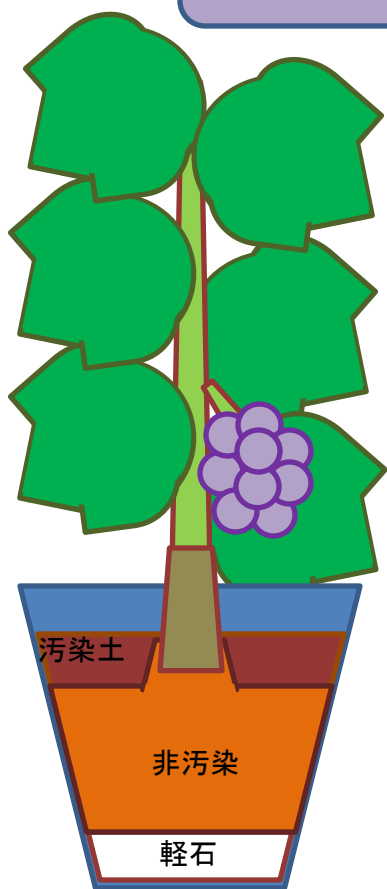
試験イメージ

# 移行係数を調べる

浅い  
イチジク

調べる核種  
 $^{137}\text{Cs}$

深い  
ブドウ



# 移行係数を調べる

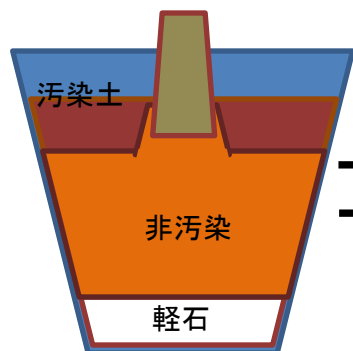
汚染不均一性

ブドウ

土壌濃度

果実濃度

移行係数



上 834  
下 5

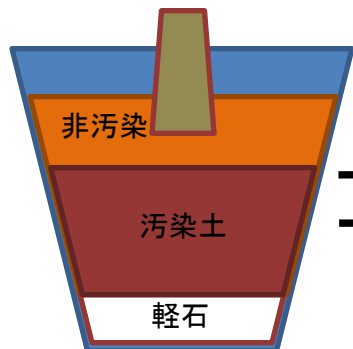
均質化

259  
(655)



1.9

= 0.00168



上 2  
下 938

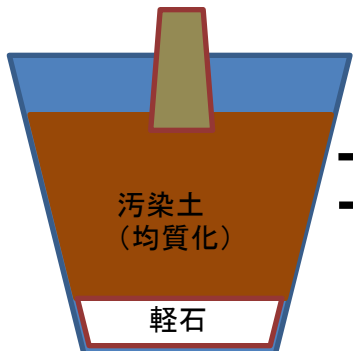
均質化

619  
(1544)



10.6

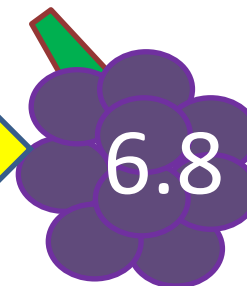
= 0.00397



上 576  
下 609

均質化

592  
(1665)



6.8

= 0.00267

( ) は銻中<sup>137</sup>Cs総量(Bq当量)



根の浅い

イチジク

# 移行係数を調べる

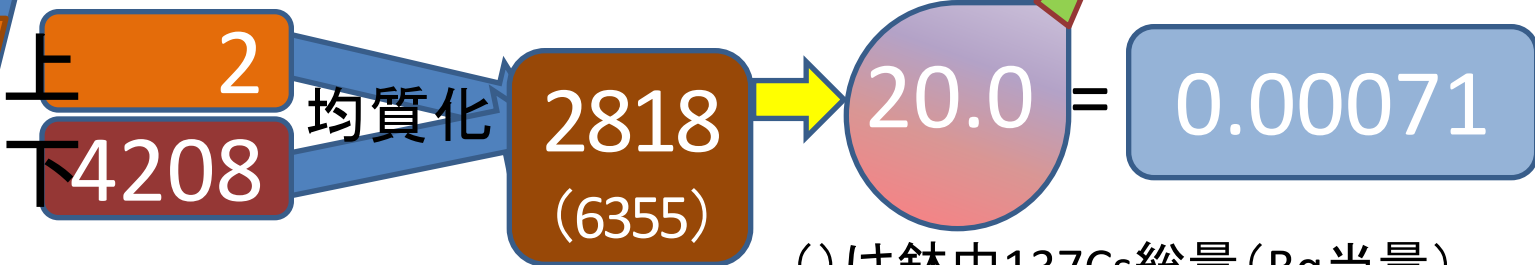
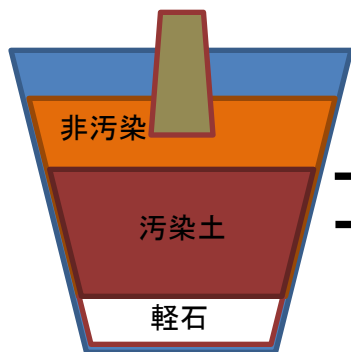
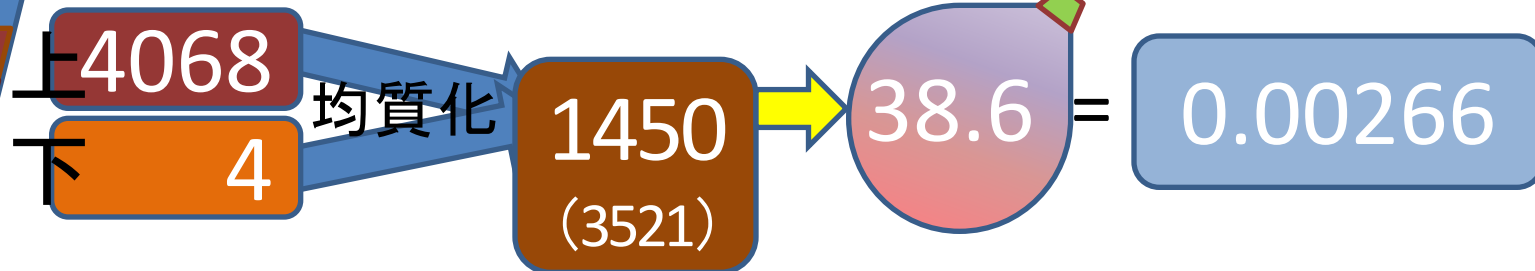
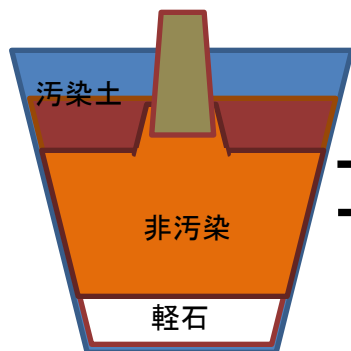
土壌からの移行

上下

土壌濃度

果実濃度

移行係数



( ) は鉢中<sup>137</sup>Cs総量 (Bq当量)

# 土を經由して地上部には移行するのか？

## 1. モモ鉢植え樹の土壤被覆栽培

2011年2月(事故前)に  
土壌部分を被覆

VS

対照:  
被覆しない樹



Bq/kgDW

30.1

果実

31.4

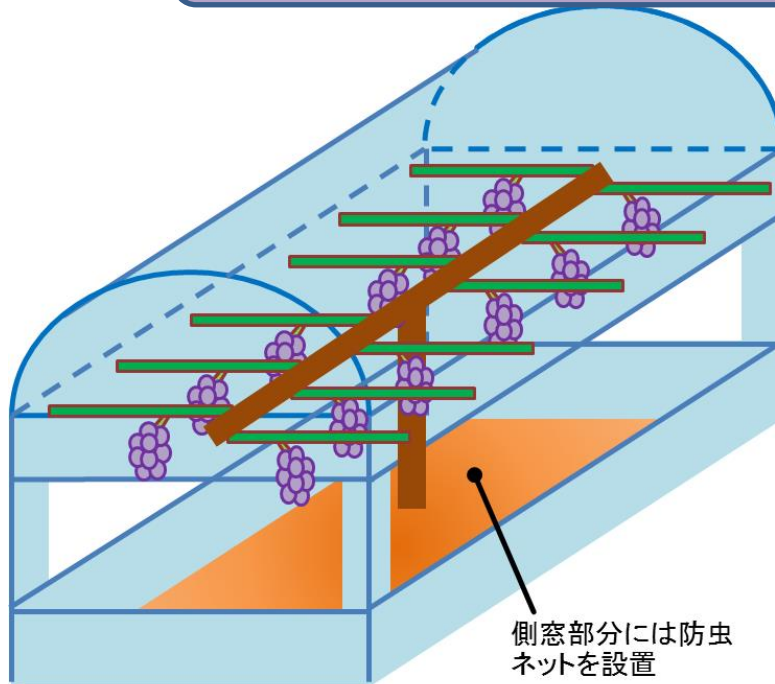
26.9

土

163.1

# 土を經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

側窓部分には防虫  
ネットを設置

土壌表層の<sup>134+137</sup>Cs含量(乾土あたり)

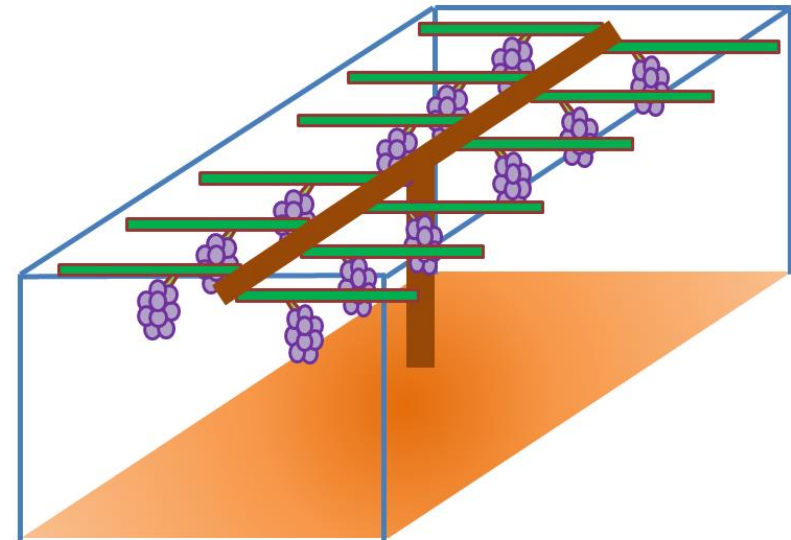
↓ビニル被覆

256.6Bq/kgDW

土壌表層の<sup>134+137</sup>Cs含量(乾土あたり)

東白川

土濃度は(それ  
でも)高い



東京都西東京市園地  
露地栽培(棚仕立て)

82.7Bq/kgDW

東京

土濃度は低い



# 土を經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

地上部と土  
の傾向が  
一致しない

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

## まとめ

移行係数を見ても、イネや野菜などより低い

根が深い  
相対成長率の関係か？

根のはり方などで移行程度が変わる

土壌由来のものより直接降下したCsの寄与が高い

## モモ樹体内での分配について

## 土壌からの移行

樹種によるが、果樹の場合、土からの移行はあまりない

## 樹体中の旧器官からの移行

樹体中の放射性セシウムは翌年の果実にどの程度移行するか？

## 果実濃度の予測について



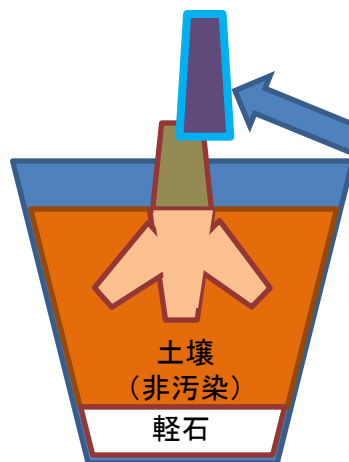
# 旧枝からの移行

すでに木から  
部位から



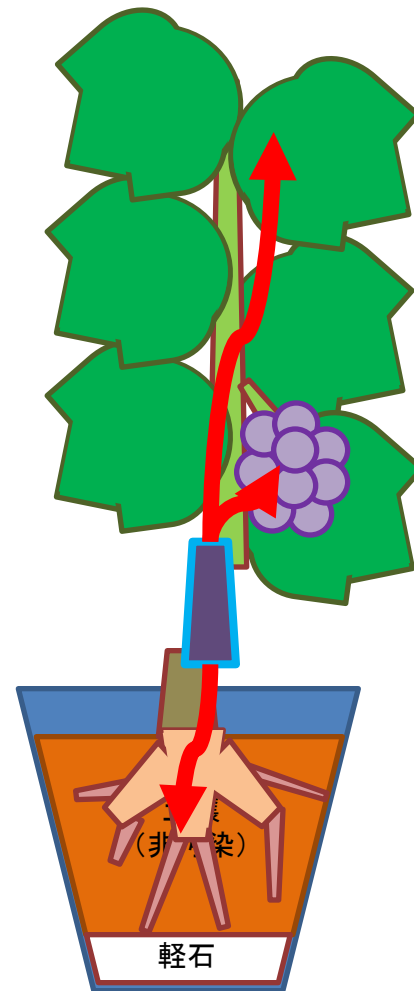
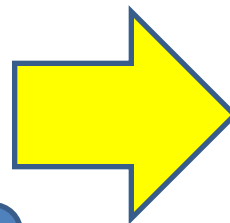
非汚染樹に汚染接ぎ穂を接ぐ試験

長い枝を無理やり接ぎ木  
(巨峰3年生に巨峰を接ぐ)



挿し穂(1年枝)  
のみが汚染

土壌  
(非汚染)  
軽石



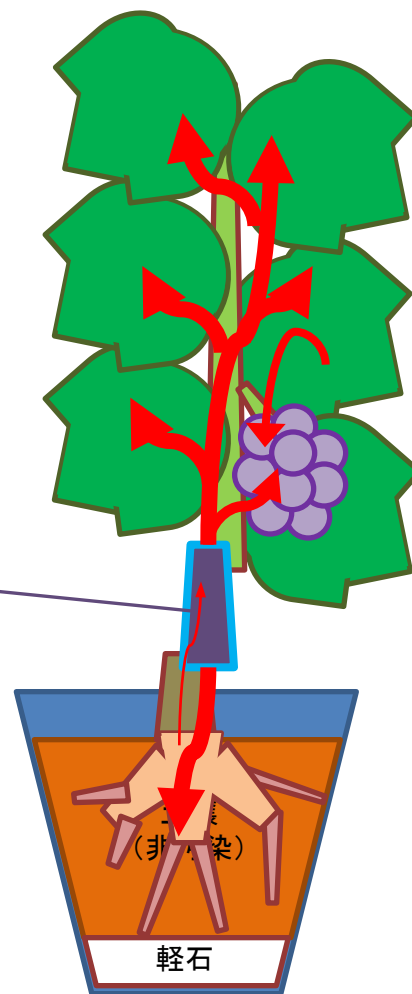
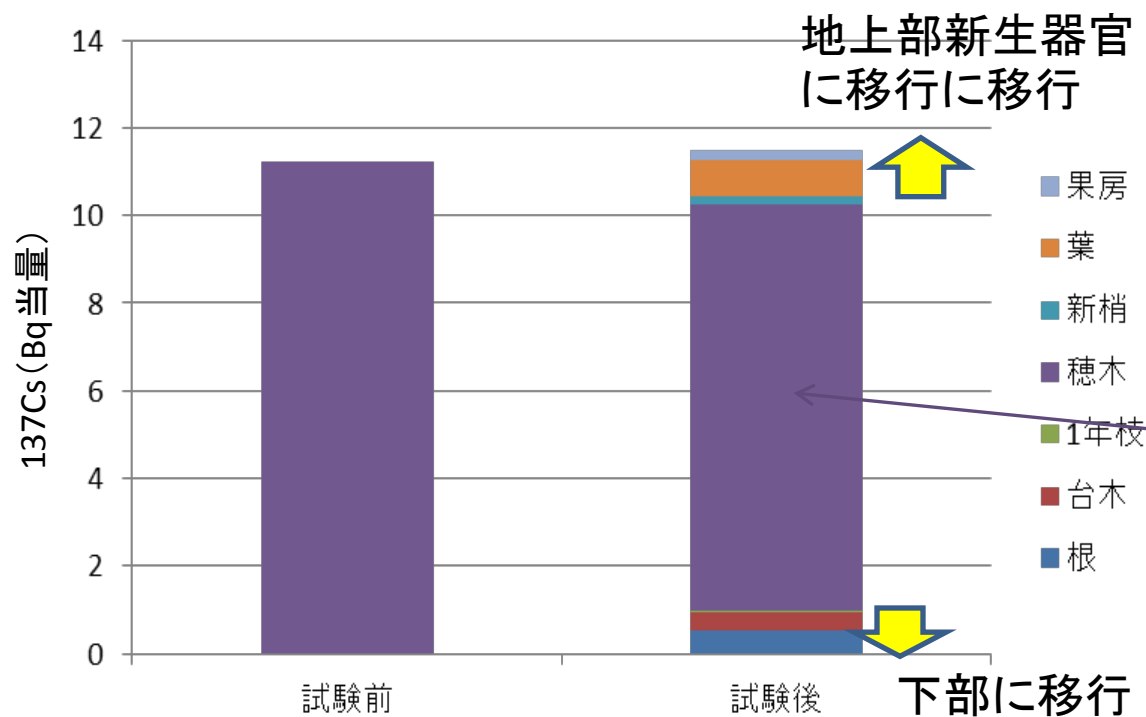
軽石

# 旧枝からの移行

すでに入った  
部位から

旧器官からの移行

$^{137}\text{Cs}$ 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

$$\frac{\text{果実中総量 (= 果実の濃度} \times \text{果実の重量)}}{\text{移行元総量 (= 土壌 or 穂木の濃度} \times \text{重量)}}$$

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

×

上部汚染

0.0000986

||

549Bq相当が果実に  
（濃度2.0Bq/kgFW）

樹体中に約6.2万 Bq当量

×

0.04160

||

2566Bq相当が果実に  
（濃度10.7Bq/kgFW）

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

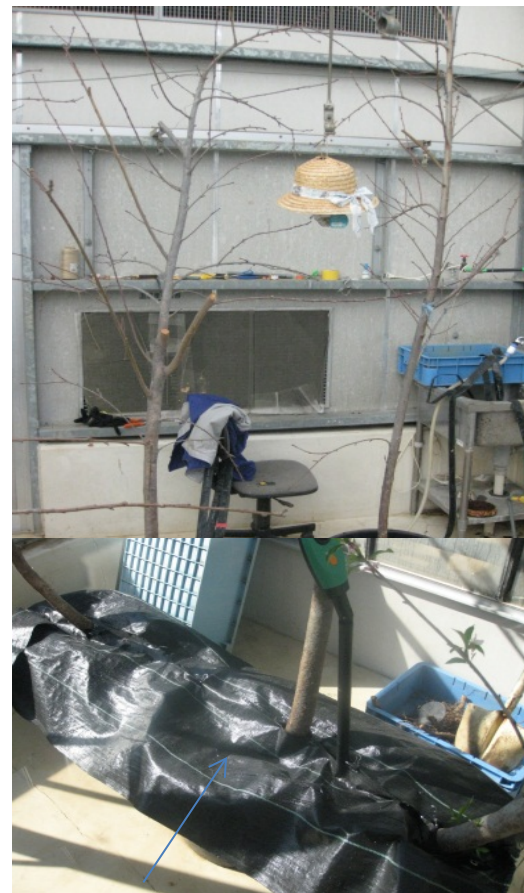
根が完璧な生育し  
ていたら、実際は  
もっと低いと思われ  
る（桁が変わるレ  
ベルで）

注）移行係数経由の計算だと480Bq相当

# 旧器官からの移行



伊達市霊山町のモモ  
‘あかつき’を掘り取り  
非汚染環境下で栽培





# 旧器官からの移行

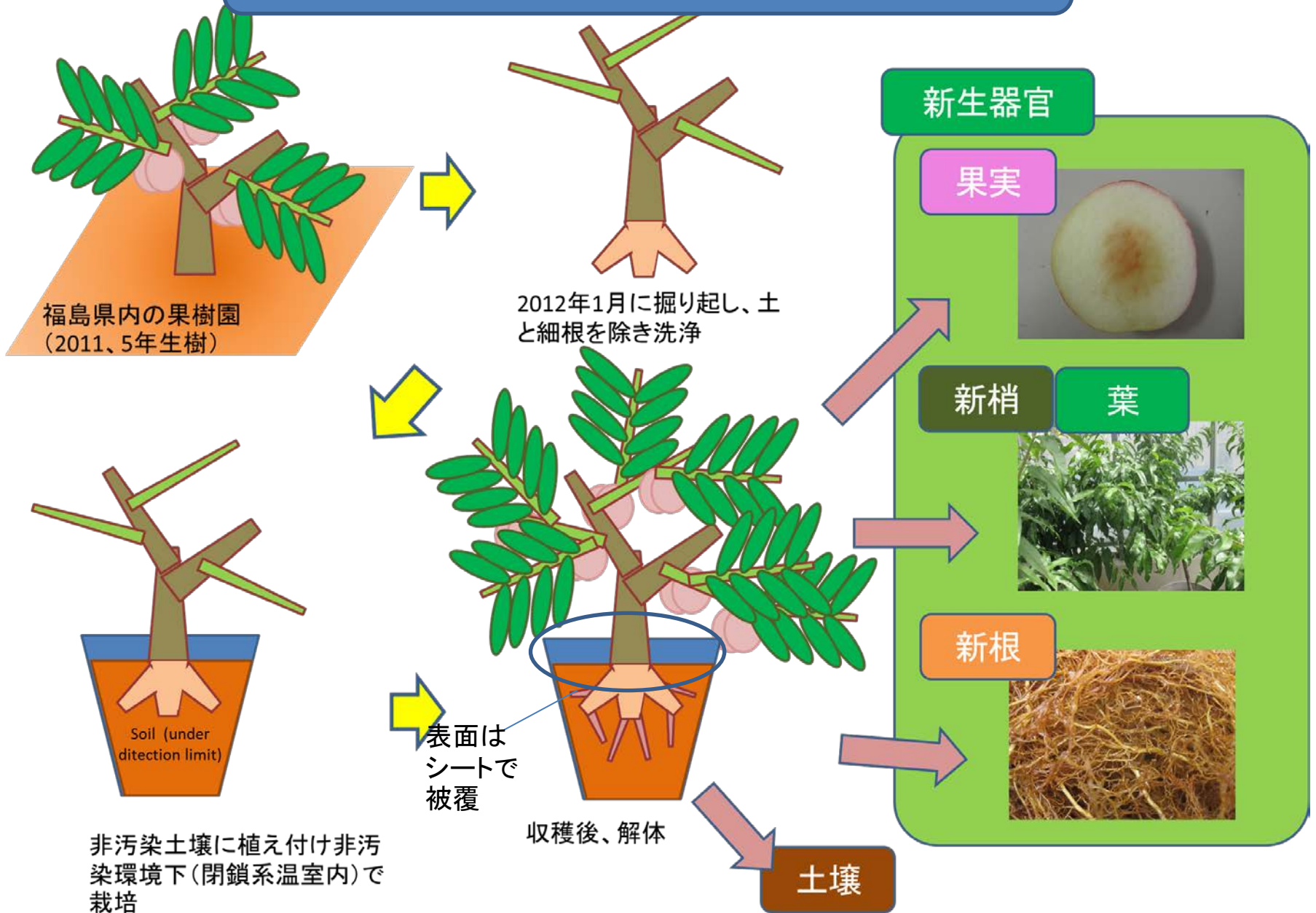
## 目的

果実濃度の予測に必要な基礎データを得る

2011年度に樹体に移行したCsの2012年度  
における移行を見る



# 旧器官からの移行



# 旧器官からの移行

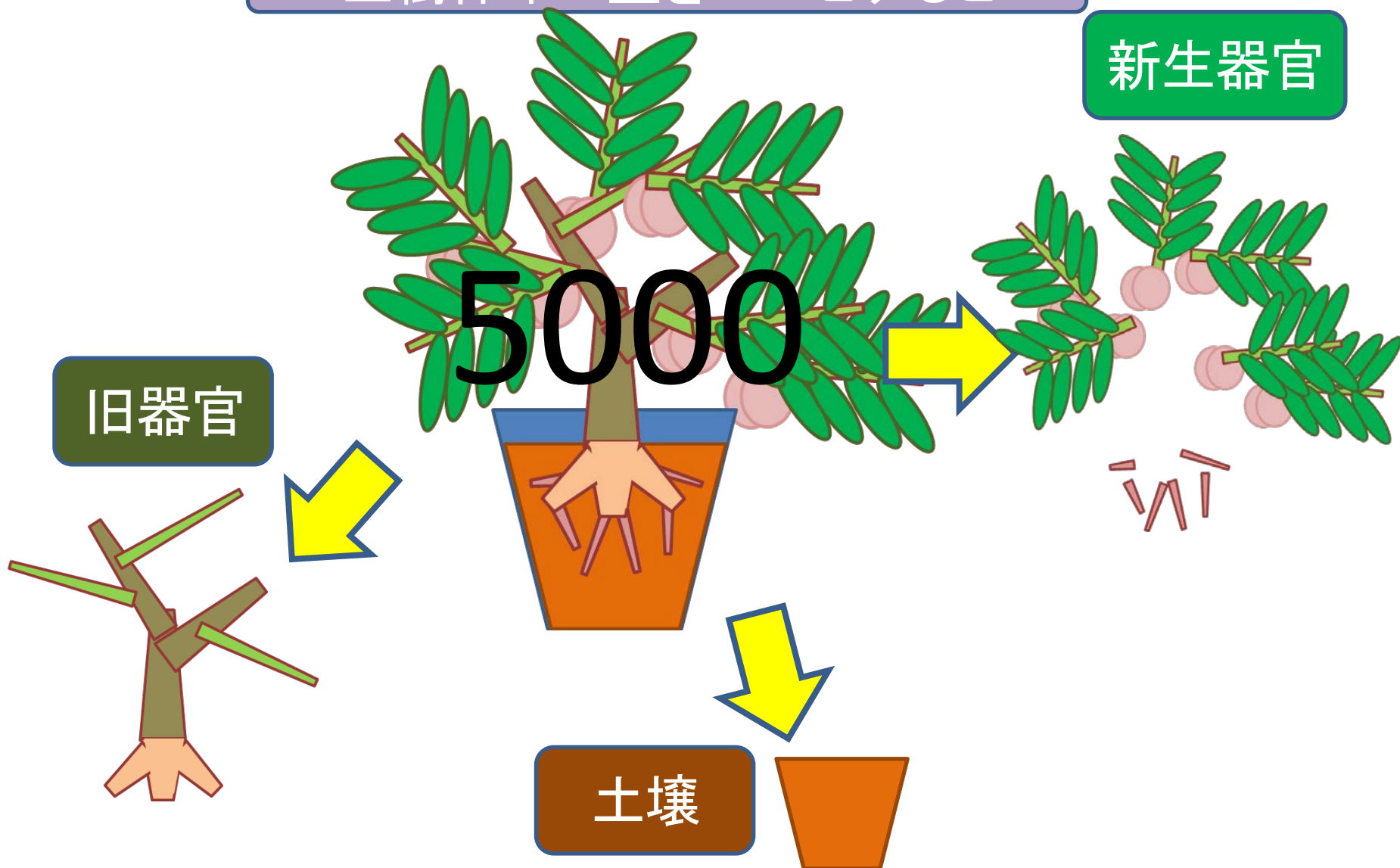
全樹体中Cs量を5000とすると

新生器官

5000

旧器官

土壌





# 旧器官からの移行

全樹体中Cs量を5000とすると

新生器官

106

旧器官

4849

土壌

45

32

56

18



# まとめ

## 旧器官から新生器官に移動する

土にも移動(再放出)

## 土壌由来のCsよりも寄与率が高い

それでも%オーダー以下



樹皮のはく皮、突発徒長枝による側枝亜主枝更新、計画的な主枝の再配置、次に表土の除染

もちろん、計画的な樹体更新(改植)も視野に入  
れなければならない。

モモ樹体内での分配について

土壌からの移行

樹体中の旧器官からの移行

果実濃度の予測について

ある程度の予測ができるのか？

高田ら、園芸学会秋季大会要旨2012、同春季大会要旨2013などのデータで説明



# 果実濃度の予測

## 背景

放射性Csの果樹樹体内における動態など、  
さまざまな点で不明

収穫後の測定では、出荷に間に合わない

## 目的

モモ果実の放射性Cs濃度の変化は？

摘果果実や葉を用いて予測が可能か？

# 果実濃度の予測

## 調査園地

福島市飯坂(果樹研究所)  
伊達市霊山(経済栽培園)

## 調査樹

あかつき, 3樹

## 調査日

2012年  
満開後15, 30, 50, 60, 80, 103(収穫)日

## 採取

果実100~15個, 葉100枚

## 調査項目

果実と葉の重量, 径  
 $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ と $^{40}\text{K}$ を乾燥後に測定(Bq / kgDW)  
生重あたり(Bq / kgFW), 1個あたり(Bq / 個)に換算

## 測定機器

ゲルマニウム半導体検出器(セイコーEG & G)

# 果実濃度の予測

## 摘蕾・摘花(モモ) 3月上旬～4月上旬



摘蕾は早くに行った方が効果的だが、花芽の膨らみ始める3月ごろに行った方が、作業しやすい。

**方法** 背面側をそととでるように花芽(花)を落とす。葉芽を落とさないように注意する。



摘果  
(摘花)

手前部分の枝について強めに摘花した。1新梢に対して1果実程度残した状態。下向きの果実を残している。

## 一次摘果(モモ) 4月下旬～5月上旬

**時期** 摘果の時期は早いほど大きな効果が期待できるが、満開後2～3週間は受精不受精の判断が難しい。そのため、受精が判別しやすい満開後4週ごろ(第1期終わり頃)に行なう。

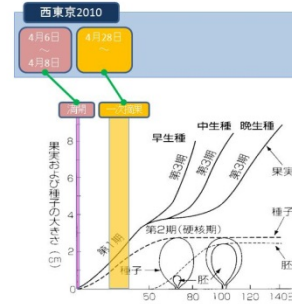


図 モモの果実と種子の发育

一次摘果が早過ぎると...

不受精果が判断しにくい(残りやすい)。

樹冠内で着果が偏る。

一次摘果が遅いと...

養分競合を起こす

果肉細胞の分裂が不十分。

細胞分裂は満開後5週頃までにほぼ終了する。

収穫果のサイズが小さくなる。

## 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。

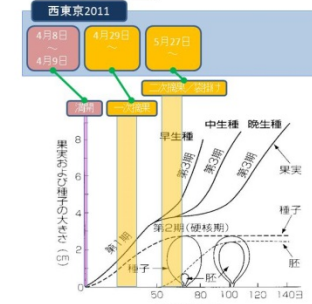


図 モモの果実と種子の发育

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...

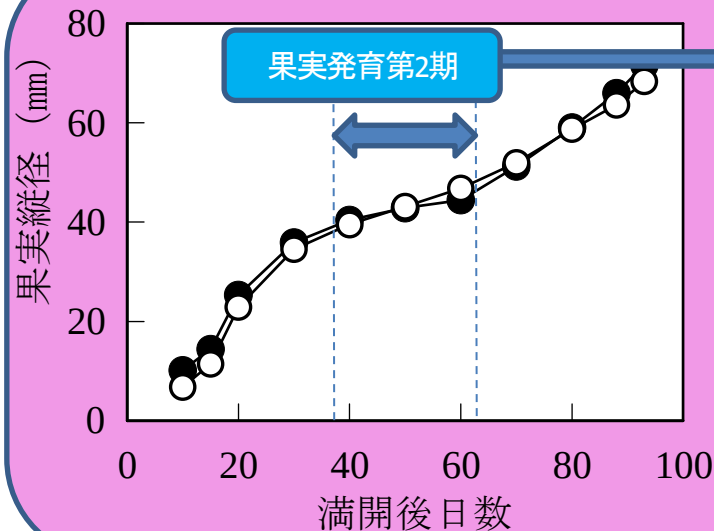
養分競合を起こす

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。

## モモ果実の肥大の様相



果実发育第2期に  
摘果を行う

この時期に測れば  
いいのではないかと  
濃度的にも、  
採取の手間的にも



# 果実濃度の予測

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？

# 摘果果実を用いた濃度予測

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

# 摘果果実を用いた濃度予測

## 調査日

2012年 満開後60日程度, 103(収穫)日

## 採取

各樹 果実15~5個、葉100~30枚

## 調査項目

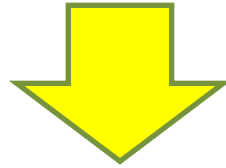
果実と葉の $^{134}\text{Cs}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ を  
乾燥後に測定( $\text{Bq} / \text{kgDW}$ )し、  
生重あたり( $\text{Bq} / \text{kgFW}$ )に換算  
時期, 部位, 核種ごとの相関を求めた

## 測定機器

ゲルマニウム半導体検出器(セイコーEG & G)

## まとめ

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



樹体ごと(園地ごと)の把握は可能



ただし、100%ではない



# 総まとめ（果樹の放射性Csについて）

## モモ樹体内での分配について

↳ 樹皮に高濃度、材でも総量は多い

## 土壌からの移行

↳ 土壌から移行するが、寄与率は低い

## 樹体中の旧器官からの移行

↳ 土壌よりも高寄与

## 果実濃度の予測について

↳ 100%ではないが抽出には使える、  
時期を早めればあるいは

# 謝辞

・ JA伊達みらい管内7支部（保原・桑折・国見・伊達・霊山・月舘・梁川）25農家  
およびJA伊達みらいに協力いただいた。  
厚く、御礼申し上げます。