

# 原発事故による放射性物質の 植物における動態

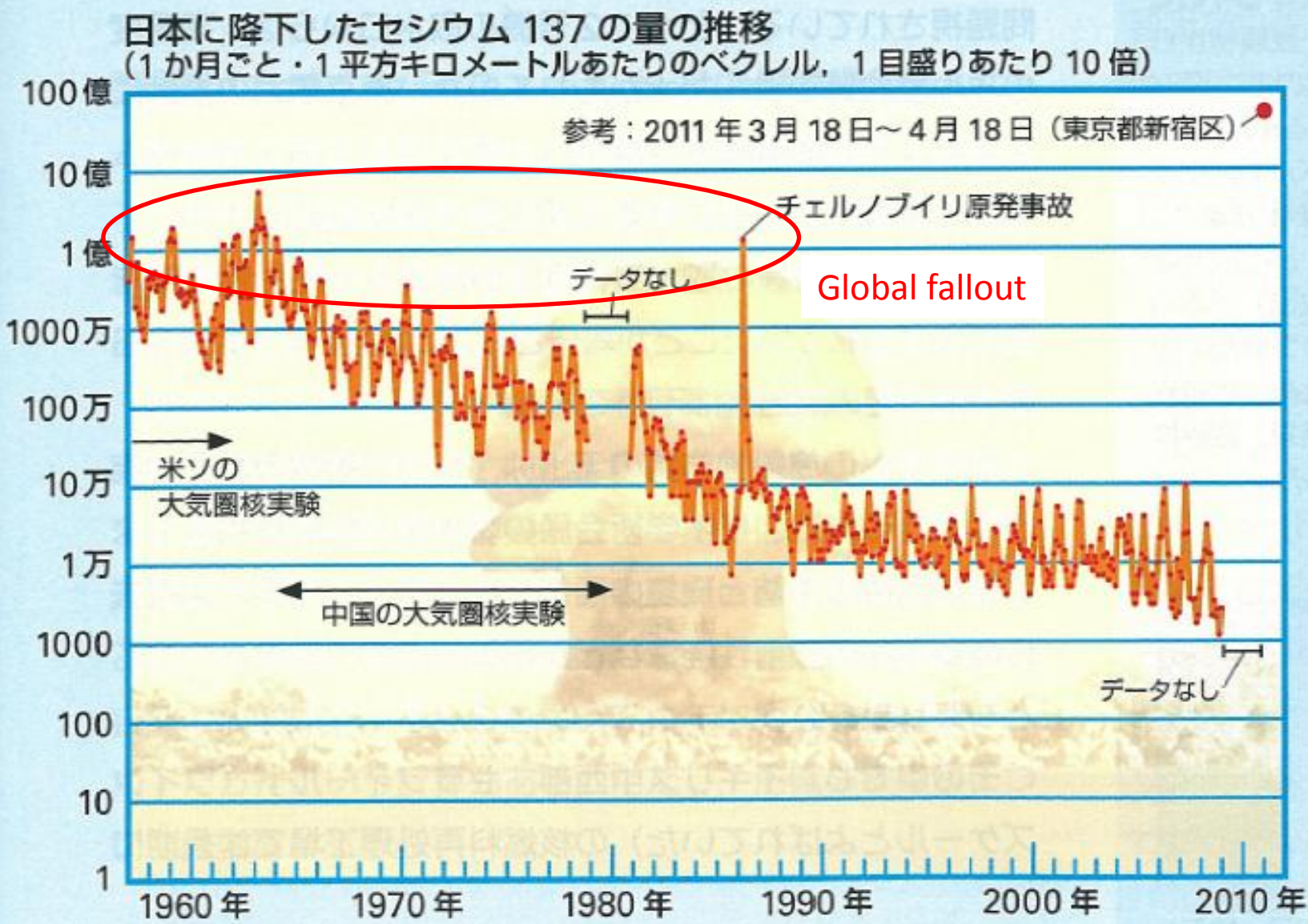
竹中 千里

名古屋大学大学院生命農学研究科

# Outline

1. 背景
2. 研究の目的
3. さまざまな植物葉中の $^{137}\text{Cs}$ 濃度
4. 植物による $^{137}\text{Cs}$ 吸収
5. スギの枝葉から花粉までの $^{137}\text{Cs}$ 輸送

# 背景1. $^{137}\text{Cs}$ を用いた森林における表面侵食量の推定方法



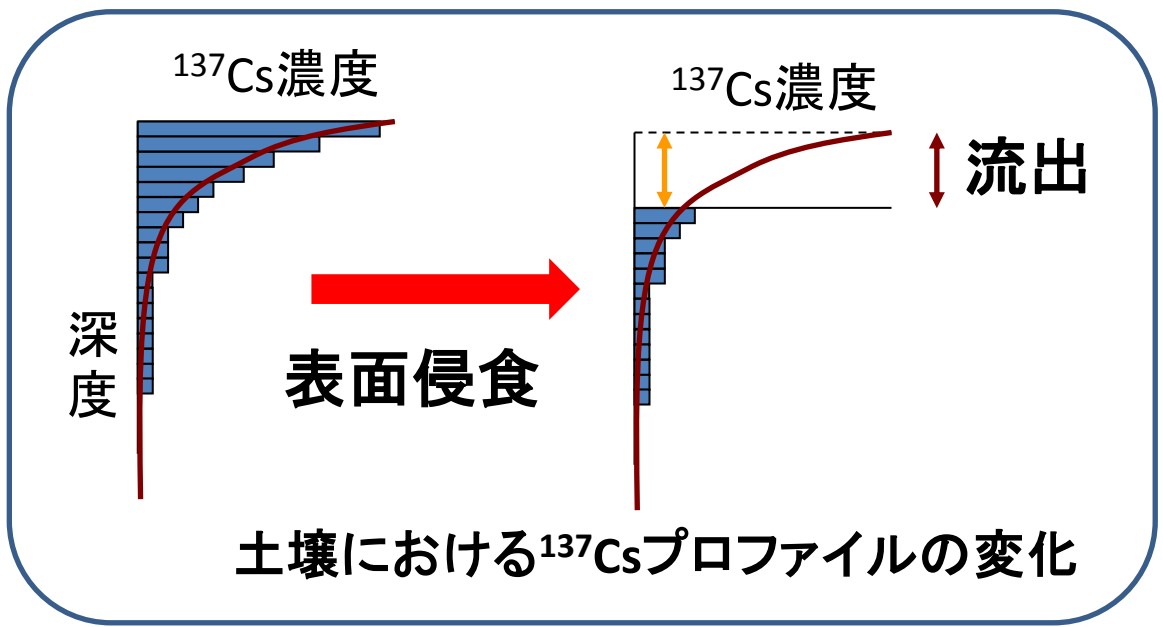
\* 文部科学省. "環境放射線データベース". <http://search.kankyo-hoshano.go.jp/servlet/search.top>  
(参照 2011-05-04). による。1978 年までは東京都中野区, 1981 年以降は茨城県つくば市での測定。

# 背景1. $^{137}\text{Cs}$ を用いた森林における表面侵食量の推定方法

## $^{137}\text{Cs}$ の特徴

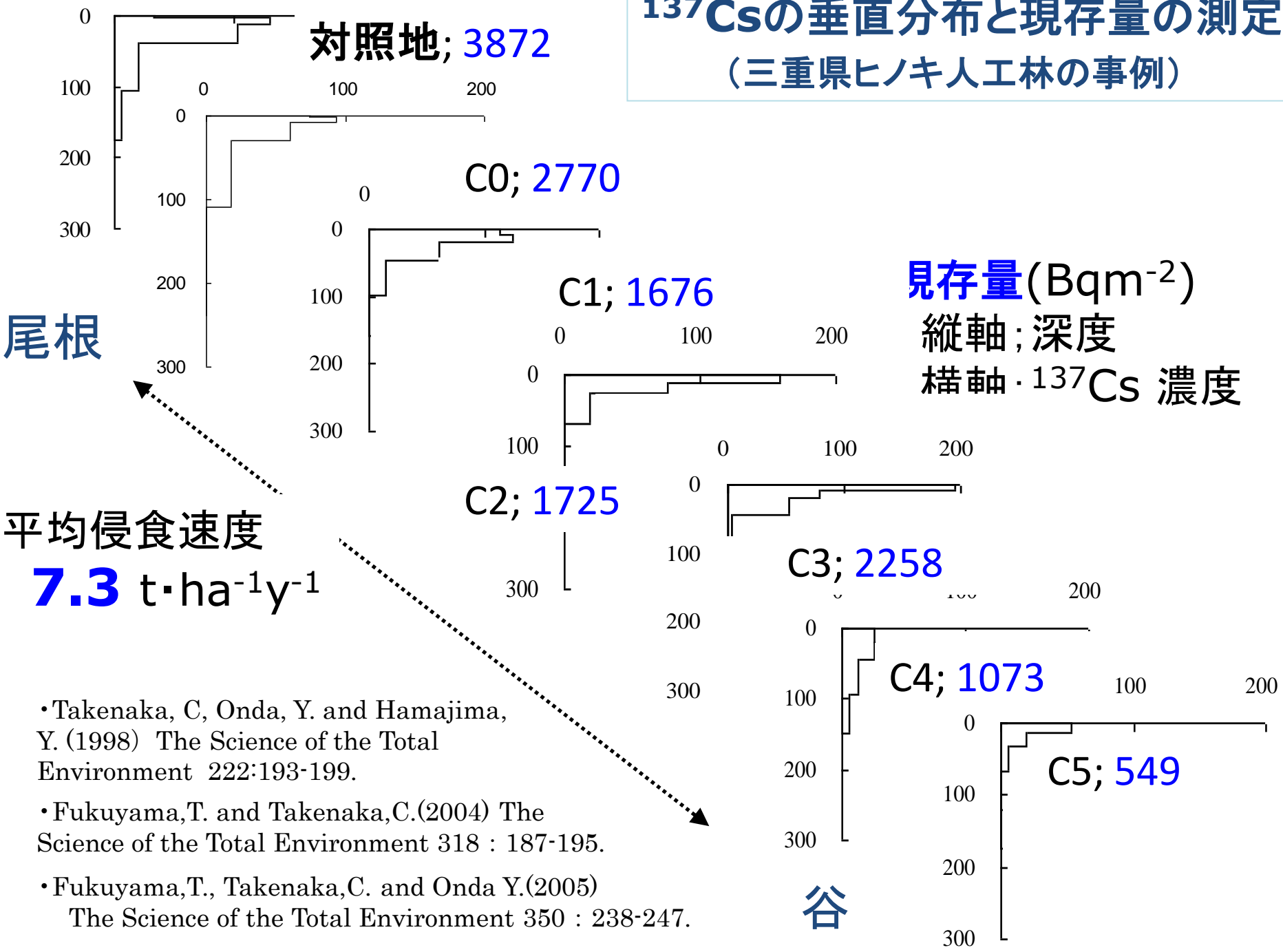
- ・大気圏核実験・原発事故起源
  - ・大気中に拡散・広域に降下
  - ・表層の土壌粒子に速やかに強く吸着
  - ・強い $\gamma$ 線(半減期30.2年)を放出
- 供給時期が既知
  - 広い範囲に存在
  - 土壌とともに移動
  - 測定が容易

人工放射性核種  $^{137}\text{Cs}$  を表面土壌の標識として利用した侵食土砂量の測定方法の開発



林床植生が消失し表面侵食が起こっているヒノキ人工林

# $^{137}\text{Cs}$ の垂直分布と現存量の測定 (三重県ヒノキ人工林の事例)



• Takenaka, C, Onda, Y. and Hamajima, Y. (1998) The Science of the Total Environment 222:193-199.

• Fukuyama, T. and Takenaka, C. (2004) The Science of the Total Environment 318 : 187-195.

• Fukuyama, T., Takenaka, C. and Onda Y. (2005) The Science of the Total Environment 350 : 238-247.

## CdとZnの高濃度蓄積植物の探索と蓄積メカニズムの解明

ハクサンハタザオ (アブラナ科)  
*Arabidopsis halleri ssp.gemmifera*



**葉**

**Cd:1,800  $\mu\text{g/g}$**   
**Zn:20,000  $\mu\text{g/g}$**

▪ Kubota, H. and Takenaka, C. (2003)  
International J. Phytoremediation 5(3):1-5.

タカノツメ (ウコギ科)  
*Gamblea innovans*

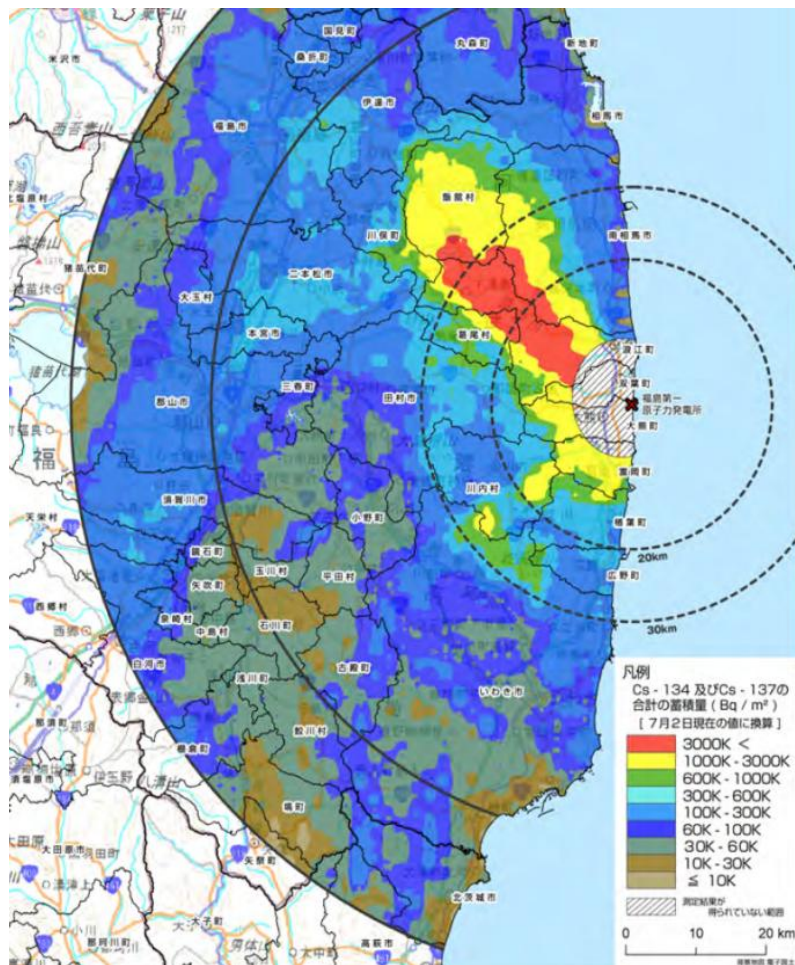


**葉および枝表皮**

**Cd:130~150  $\mu\text{g/g}$**

▪ Takenaka, C., M. Kobayashi and S. Kanaya (2009)  
Environmental Geochemistry and Health 31:609-615  
▪ Takenaka, C., Hayakawa N., M. Kobayashi and S. Kanaya,  
Tomioka R. (2011) Jpn. J. Forest Environment, 53: 1-15.  
▪ Hayakawa N., Tomioka R., Takenaka C. (2011) Soil Science  
and Plant Nutrition 57(5):691-695.

# 研究の目的



<http://radioactivity.mext.go.jp/>

1. 放射性セシウムの陸域生態系における動態を明らかにする
2. 放射性セシウムの高濃度蓄積植物を探す



高濃度に汚染した  
森林・農地の管理・除染

# さまざまな植物中の<sup>137</sup>Cs測定

## ◆植物試料採取：286試料

木本77種、草本76種

周囲の表面土壌(表層5cm)

1地点3サンプル

2011年5月～2012年3月

## ◆採取地点：福島県内

(郡山、いわき、相馬、伊達、川俣町)

## ◆分析

### 植物試料：

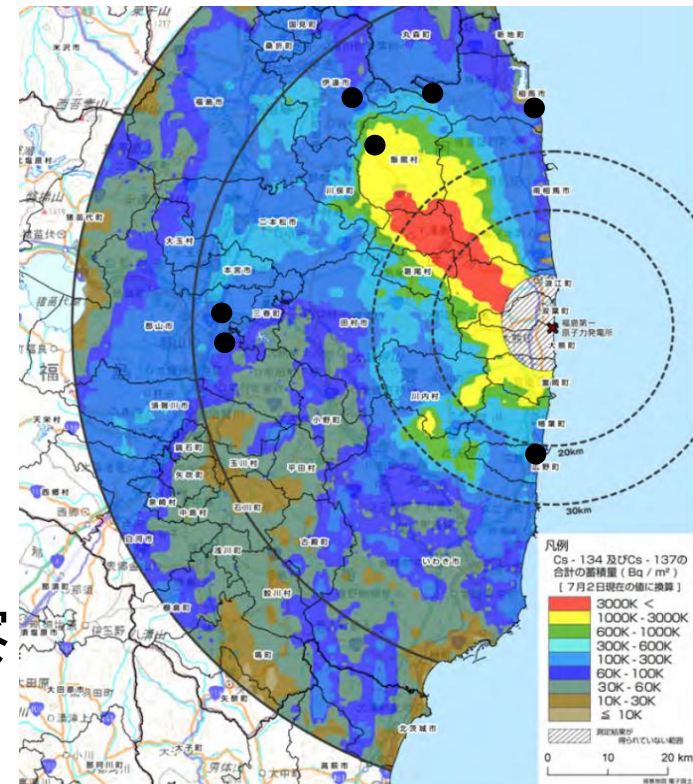
水洗後、イメージングプレートによる観察  
(72～96時間曝露)

乾燥、粉碎後、

Ge検出器によるγ線スペクトロメリー

### 土壌試料：

Ge検出器によるγ線スペクトロメリー



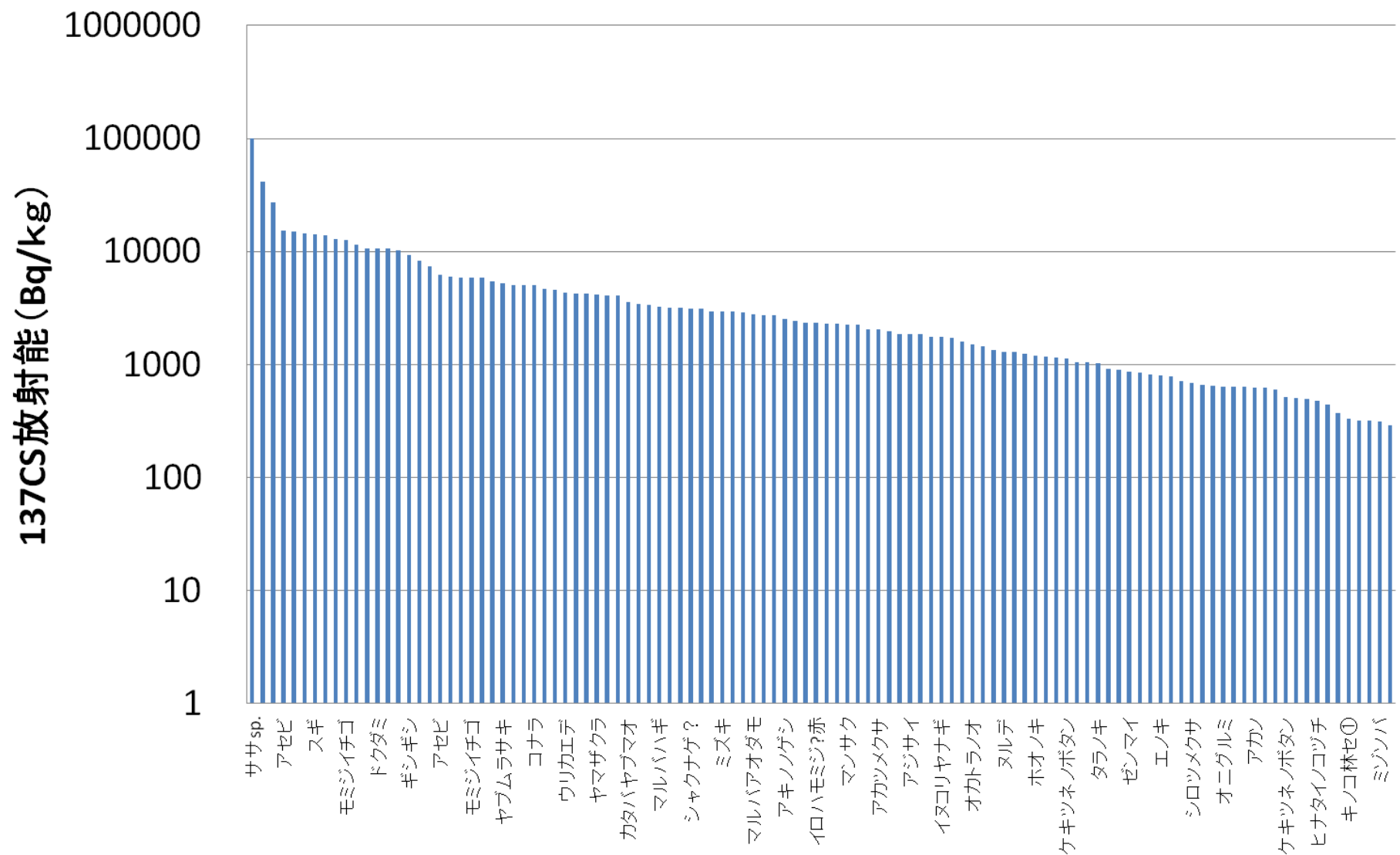
<http://radioactivity.mext.go.jp/>

● Sampling point

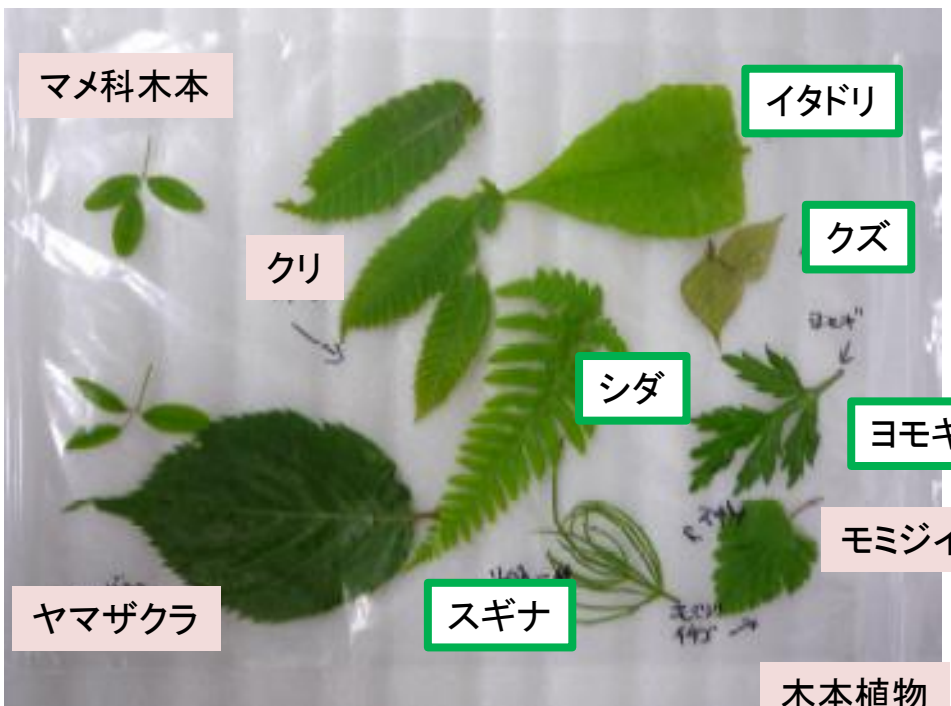


# さまざまな植物中の<sup>137</sup>Cs測定

## さまざまな植物の葉中放射能(<sup>137</sup>Cs)

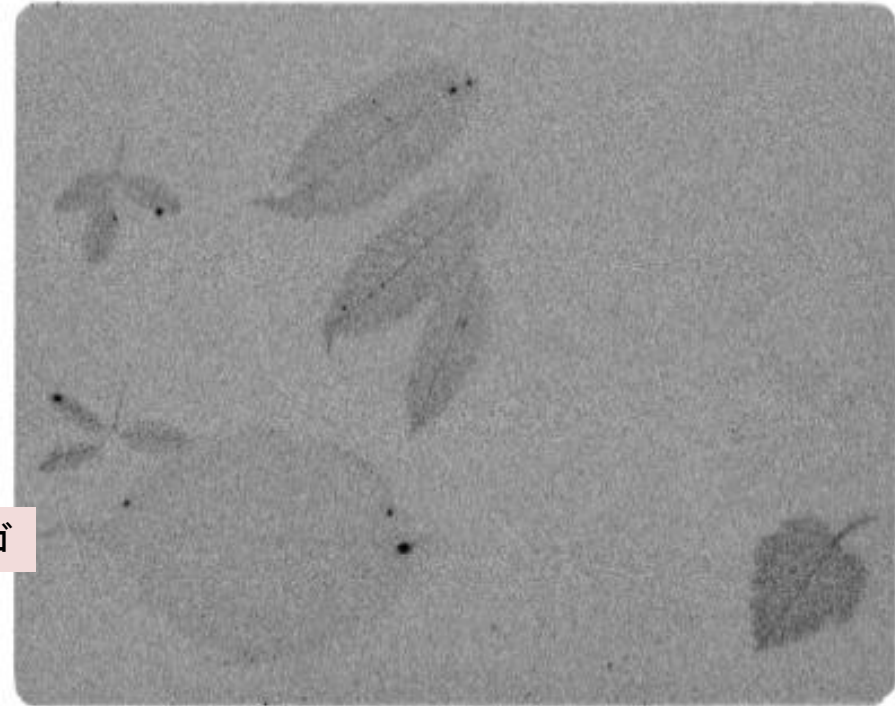


# イメージングプレートによる放射性物質の検出



(1) 写真

木本植物  
草本植物



(2) イメージングプレート画像

2011年5月 福島県伊達市で採取



- 同時期に展開したと思われる植物葉でも放射性物質の存在が大きく異なる
- 木本植物の葉における放射性物質の存在が明瞭

# TF値による評価

TF値 (Transfer Factor, 移行係数)

= 植物中<sup>137</sup>Cs放射能 (Bq/kg) / 土壤中<sup>137</sup>Cs放射能 (Bq/kg)

- 通常は、個々の植物がもつ土壤からの<sup>137</sup>Cs吸収能力の指標
- 今年の植物体地上部中の<sup>137</sup>Csは、葉面から吸収されたものか根から吸収したものか不明

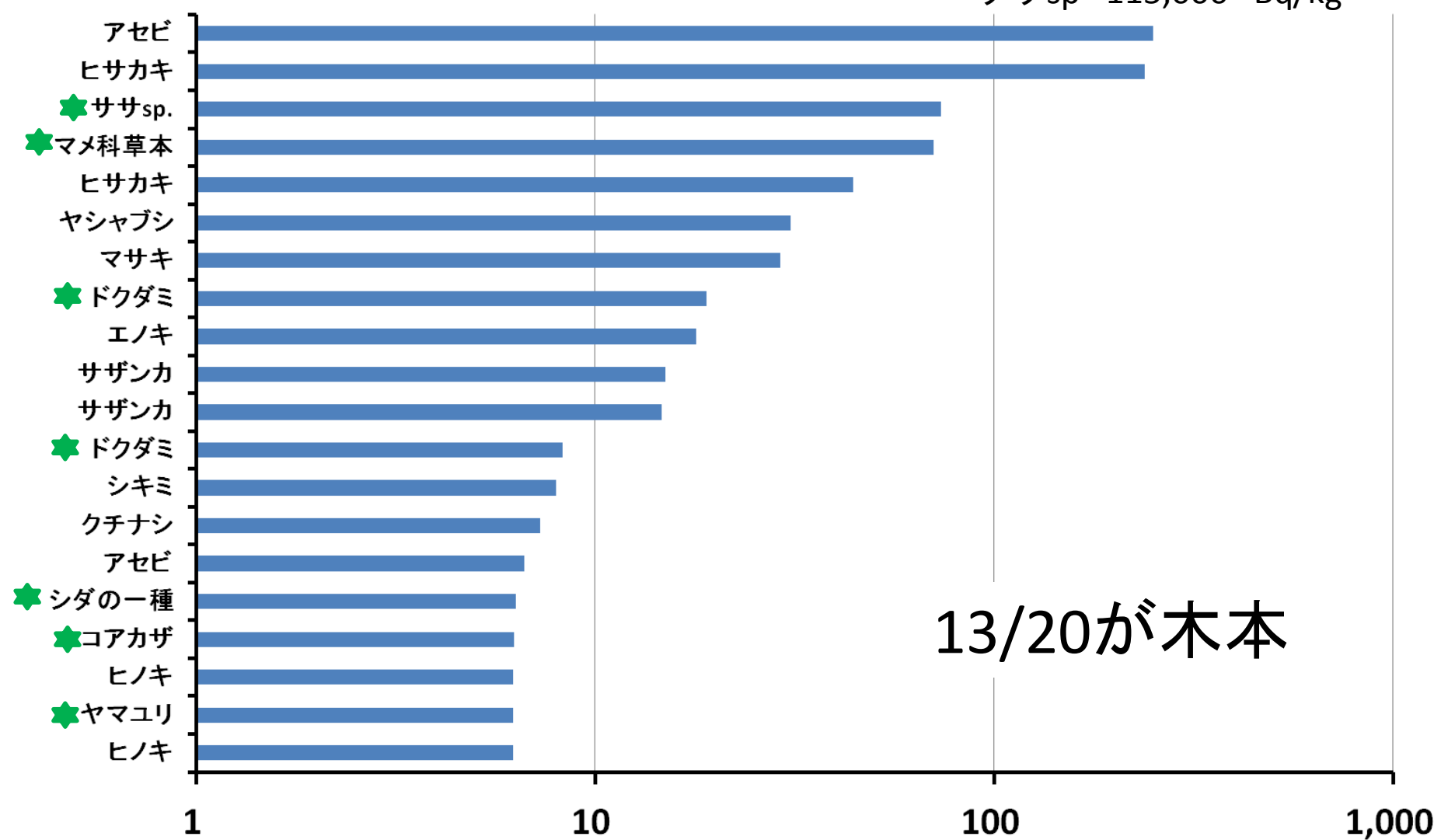


TF値を

降下した<sup>137</sup>Cs量に対して、捕捉・吸収した<sup>137</sup>Cs量の相対値  
として使用

# 全測定試料中TF値の上位20試料

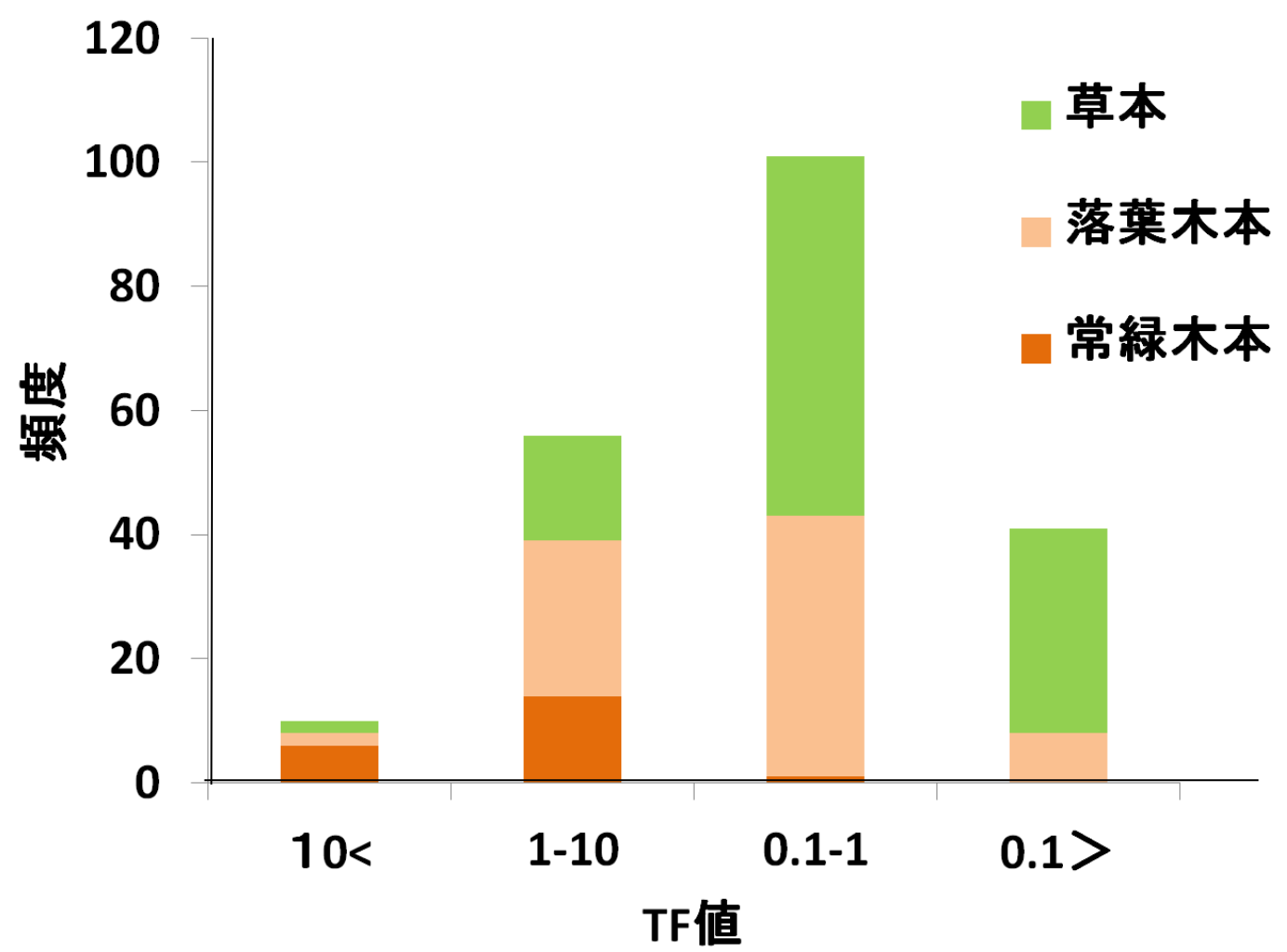
<sup>137</sup>Cs Max:  
ササsp 115,000 Bq/kg



13/20が木本

➡ 木本植物のほうが捕捉・吸収・蓄積しやすい

# TF値の頻度分布



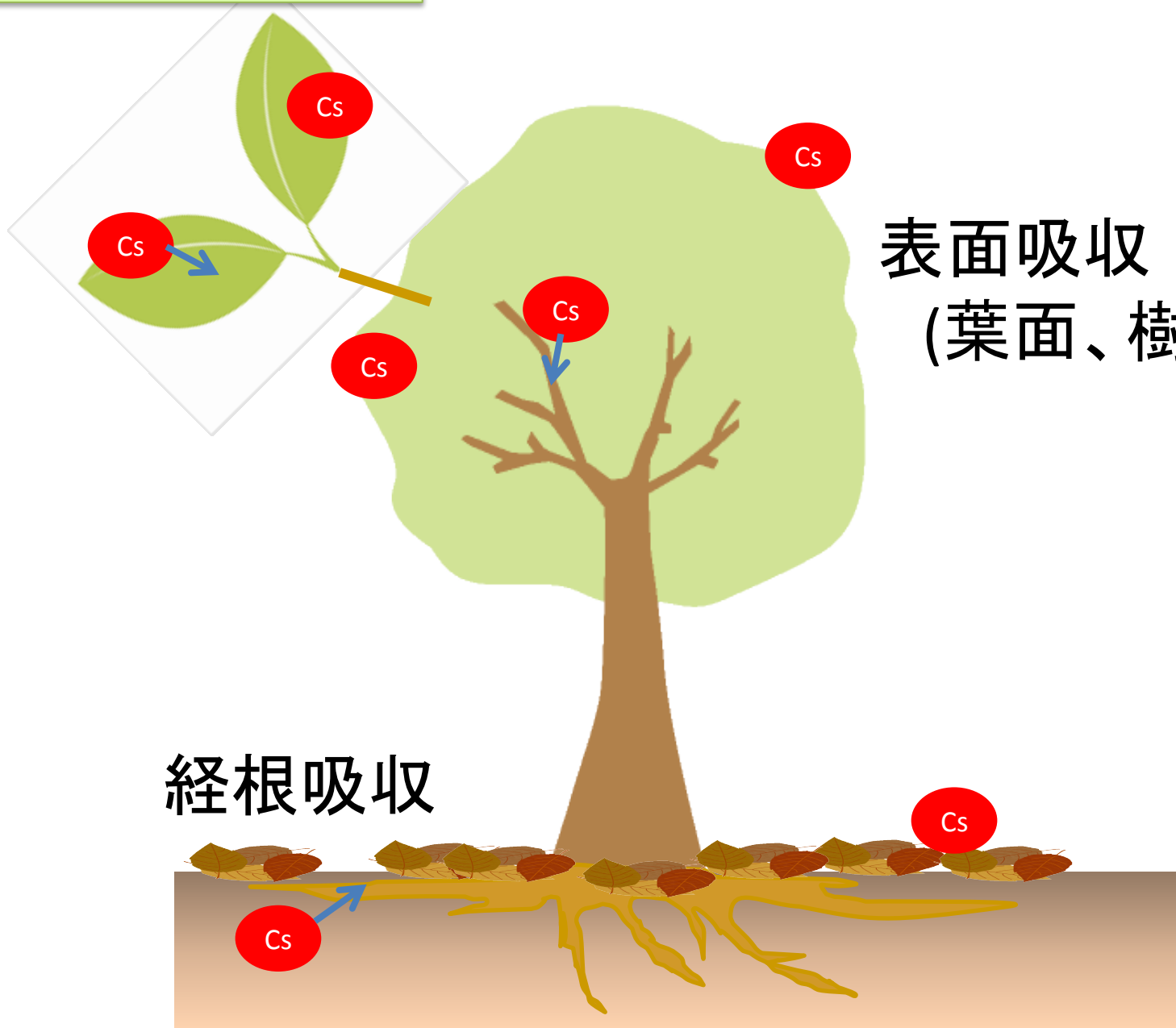
➡ 常緑木本植物のほうが捕捉・吸収・蓄積しやすい

# 移行係数(TF)

## TF=植物中のCs/土壌中のCs

>10	10～1	1～0.1	0.1～0.01	検出限界 以下
<p>アセビ ヒサカキ ササ ヤシャブシ マサキ ドクダミ サザンカ</p>	<p>ドクダミ シキミ チャノキ コアカザ ヒノキ ヤマユリ ヤブツバキ スギ モミジイチゴ ネズミモチ クリ ヤマツツジ セイヨウ ノギリソウ アカマツ アカソ</p>	<p>オカトラノオ ササ ヌルデ キンモクセイ クマイチゴ カナメモチ アカツメクサ オオシマザクラ セイタカ アワダチソウ ヒマワリ ヒナタイノコヅチ クズ キクイモ カラスノエンドウ ゼンマイ</p>	<p>イネ カナムグラ キバナコスモス ヒメコウゾ アレチウリ アジサイ アザミ マツヨイグサ オオブタクサ</p>	<p>ソバ オオイヌタデ アリタソウ エノコログサ キンエノコロ ハリエンジュ</p>

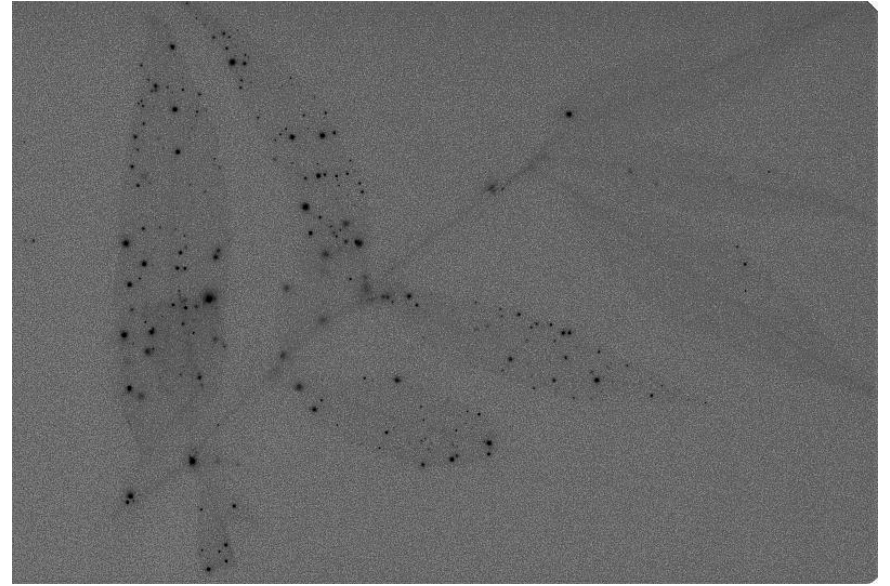
# 植物による $^{137}\text{Cs}$ 吸収



表面吸収  
(葉面、樹皮etc..)

経根吸収

## シラカシ



(2012年3月採取)

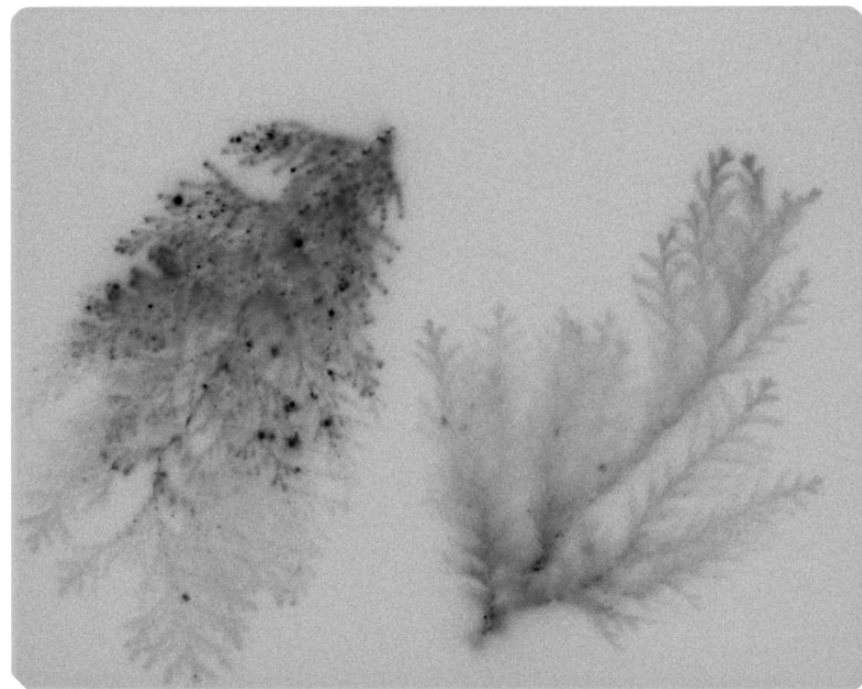


- 旧葉には点状で放射性物質が存在
- 新葉は葉の形に薄く存在



# 常緑樹の葉のIP画像

ヒノキ(左)とオウゴンシノブヒバ(右)

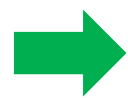
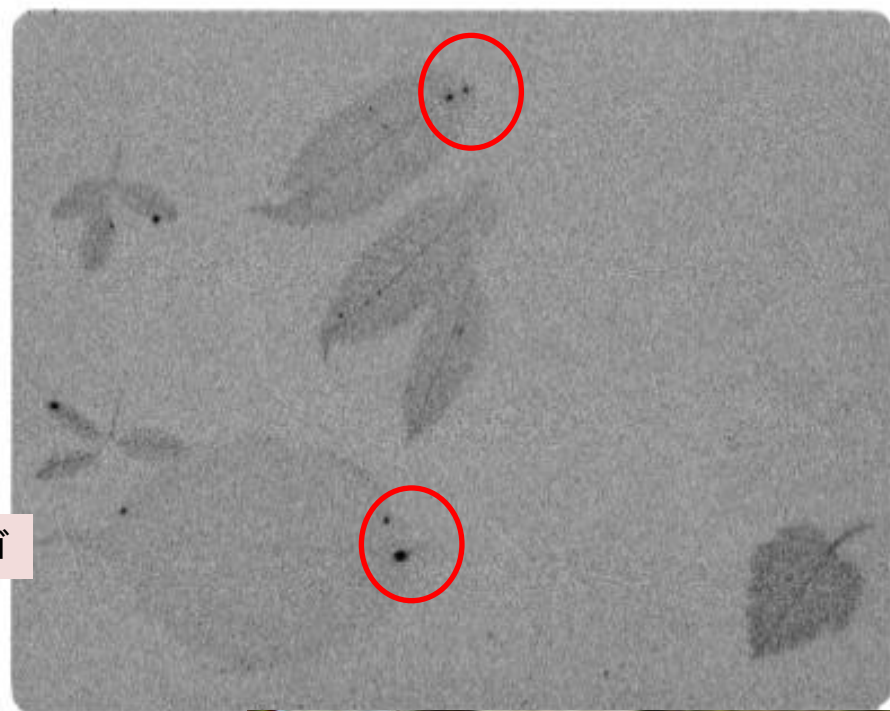
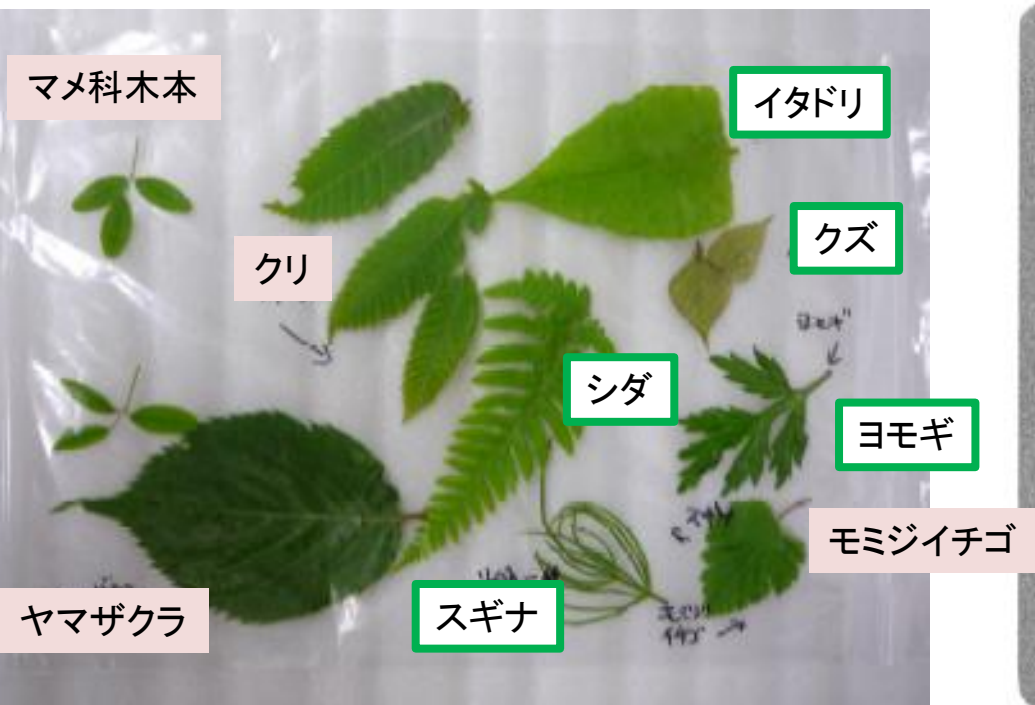


2012年3月採取



- 旧葉には点状で放射性物質が存在
- 新葉は葉の形に薄く存在

# 落葉樹の葉のIP画像

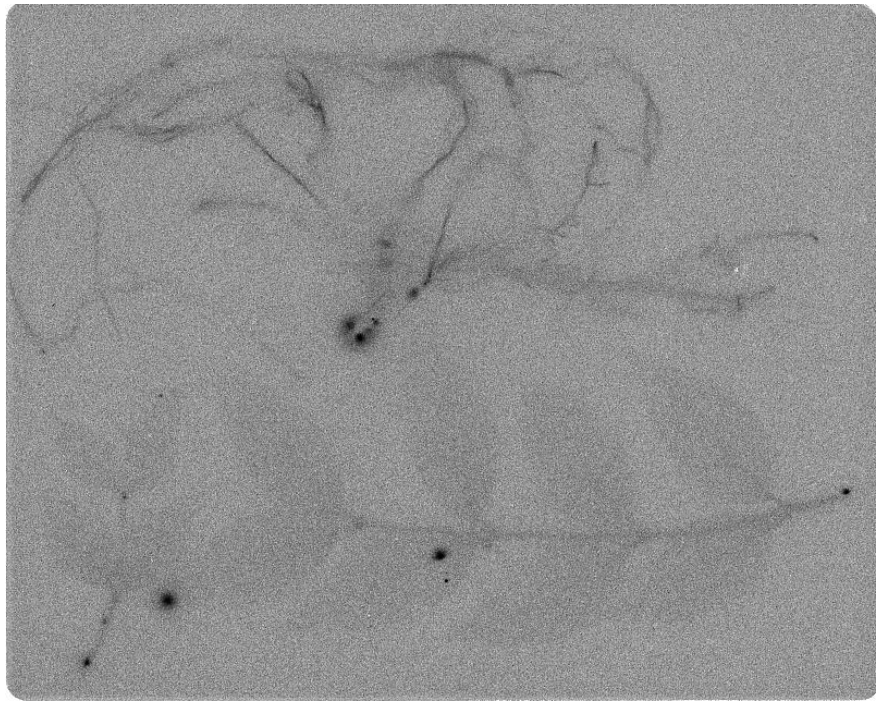


- 葉柄部分に粒子状に放射性物質が存在
- 葉芽に付着した放射性物質が吸収された？

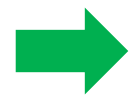


2012年4月6日  
モミジイチゴの枝

# トウネズミモチの稚樹

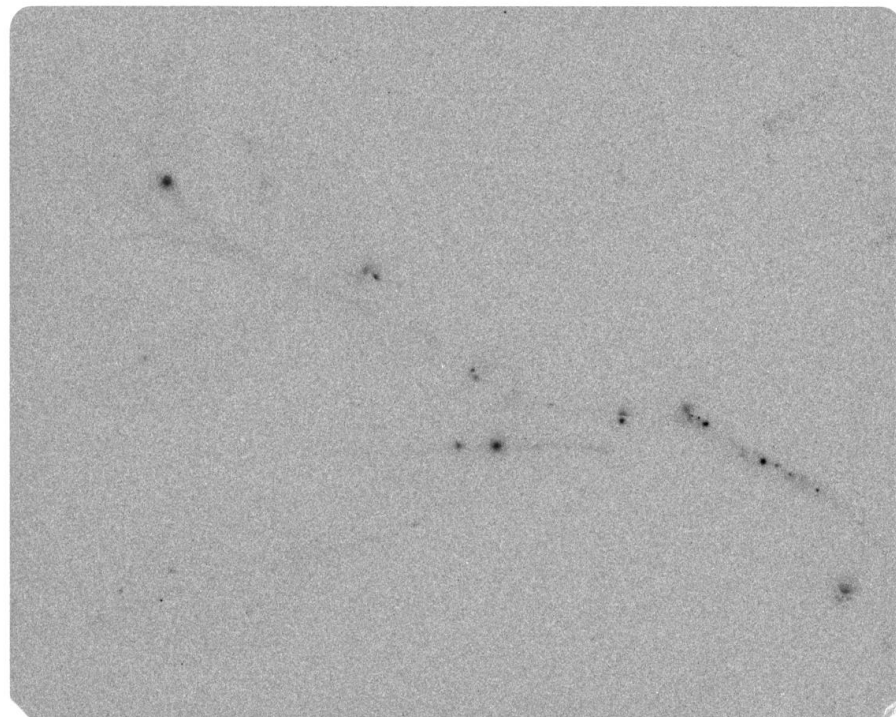


2011年10月採取  
A0層(腐葉土層)に根が存在

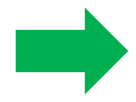


- 根の先端から葉先端まで放射能検出
- 経根吸収？

# リョウブの稚樹



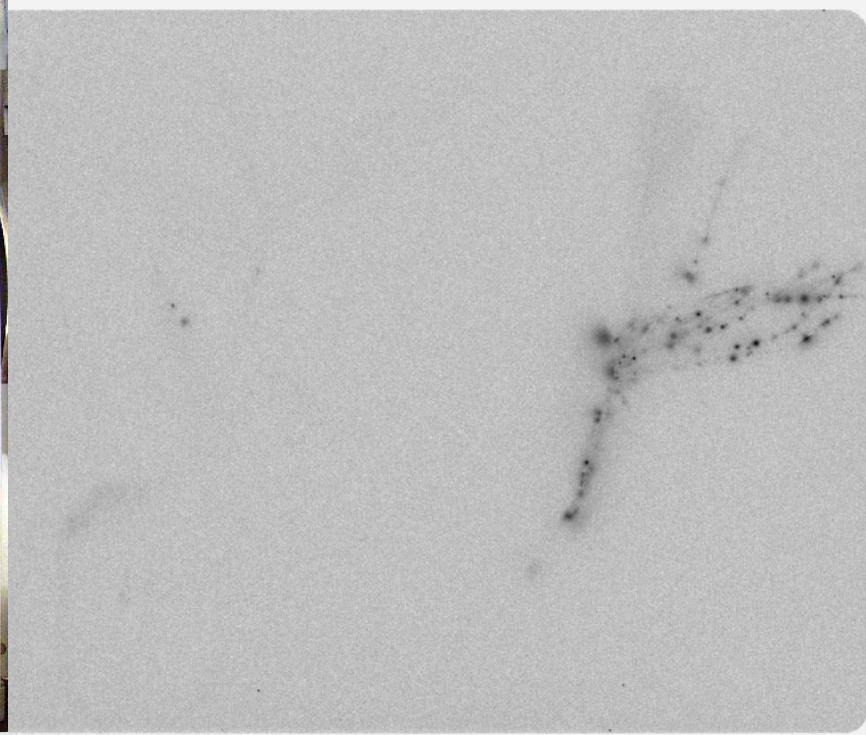
2011年6月採取



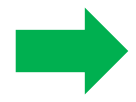
- 根の先端から葉先端まで放射能検出
- 経根吸収？

# 林床稚樹のIP画像

## アカマツ



2011年6月採取



- 地上部のみ放射能検出
- 経根吸収なし？

# ヒマワリでは??

Laboratory analyses of  $^{137}\text{Cs}$  uptake by sunflower, reed and poplar

Petr Soudek, Richard Tykva, Tomas Vanek

Chemosphere 55 (2004) 1081–1087

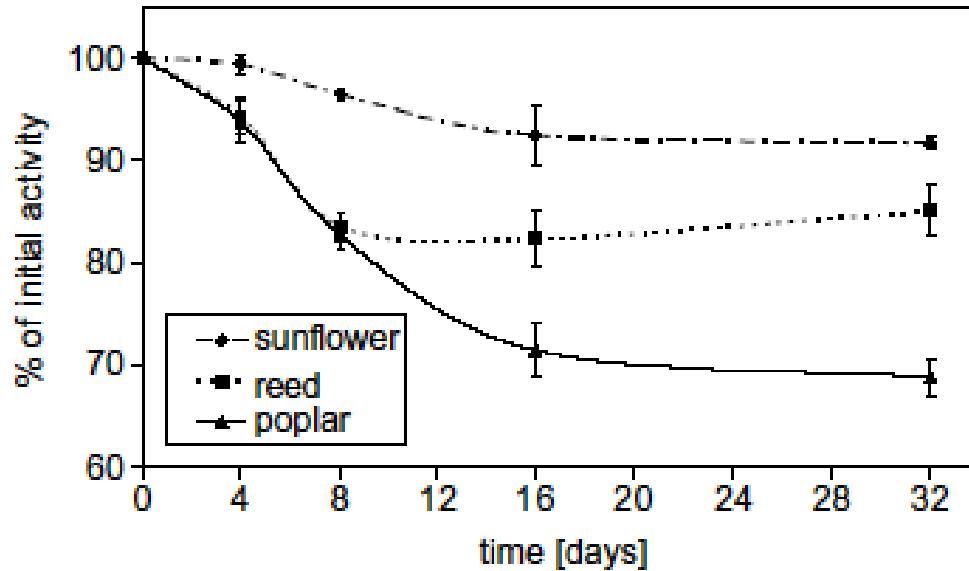


Fig. 1. Disappearance of activity from cultivation medium by three different plant species.

## 土壌中の放射性物質の処理方法

4月17日の工程表では、土壌の処理について、具体的な方法はあまりふれられていない。考えられる処理方法を紹介しよう。

	詳細	メリット	デメリット
表土を取り去る	放射性物質が多く含まれている、表土を削り取る	すぐに効果が出る	土砂の処分法を検討する必要がある
表土の入れかえ	放射性物質が多く含まれている表土を、より深い部分の土と入れかえる。チェルノブイリ原発事故でも採用された	すぐに効果が出る	放射性物質は地中で長い時間かけて減っていくため、掘り返さないよう注意が必要
土壌の洗浄	土壌を水と混ぜ、放射性物質を水にとかす	大部分の放射性物質を取り去ることができる	・水の処理が必要 ・費用がかかる
特定の植物を植える*	植物の種をまき、成長とともに土壌中の放射性物質を吸収させる	広い範囲に適用できる可能性がある	植物の成長を待つため、時間がかかる

※ひまわりによる放射性物質の除去について、124ページでくわしく解説している。

2011年9月14日 農林水産省発表

<http://www.s.affrc.go.jp/docs/press/110914.htm>

【別添2】実証した除染技術の成果の概要

技術の項目	これまでに得られた結果の概要
表土の削り取り	
1)基本的な削り取り 農業機械等で表土を薄く削り取る手法。	<ul style="list-style-type: none"><li>▪約4cmの削り取りにより、土壌の放射性セシウム濃度は、10,370 Bq/kg→2,599 Bq/kgに低減(75%減)。</li><li>▪圃場地表面の空間線量率は、7.14μSv/hから3.39μSv/hへ低減。</li><li>▪廃棄土壌量は、約40m<sup>3</sup>(40トン)/10a。</li><li>▪削り取りまでにかかる作業時間は、55分～70分/10a程度。</li></ul>
2)固化剤を用いた削り取り 土を固める薬剤により土壌表層を固化させて削り取る手法。	<ul style="list-style-type: none"><li>▪マグネシウム系固化剤を用いた実証試験では、溶液の浸透により地表から2cm程度の表層土壌が7～10日で固化。</li><li>▪3.0cmの削り取りで、土壌の放射性セシウム濃度は、9,090 Bq/kg→1,671 Bq/kgに低減(82%減)。</li><li>▪圃場地表面の空間線量率は、7.76μSv/hから3.57μSv/hへ低減。</li><li>▪廃棄土壌量は30m<sup>3</sup>/10a。</li></ul>
3)芝・牧草のはぎ取り 農地の牧草や草ごと土を専用の機械で削り取る手法。	<ul style="list-style-type: none"><li>▪3cmの削り取りで、土壌の放射性セシウム濃度は、13,600 Bq/kg→327 Bq/kg(低減率97%)。</li><li>▪草も含む排土量は約40トン/10a。</li><li>▪作業時間は、はぎ取りまでで250分/10a。</li></ul>



<p>水による土壌攪拌・除去</p>	
<p>表層土壌を攪拌(浅代かき)し、濁水を排水した後、水と土壌を分離し、土壌のみを排土とする手法。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 土壌の放射性セシウム濃度の低減率は土壌の種類によって異なり、予備試験で約30～70%と推定。</li> <li>▪ 飯舘村での実証試験では、15,254 Bq/kg→9,689 Bq/kgに低減(低減率36%)。</li> <li>▪ 圃場内の地表面線量は、7.55<math>\mu</math>Sv/h→6.48<math>\mu</math>Sv/hに低減。</li> <li>▪ 10a当たりの廃棄土壌量は、1.2～1.5トンと推計。</li> <li>▪ 分離した水の放射性セシウムは、検出限界以下。</li> </ul>
<p>反転耕</p>	
<p>プラウ耕により、30cm以上の反転耕起を行い、放射性物質を土中深くに埋め込む手法。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 30cmの反転により、表層に局在していた放射性物質は、15-20cmの深さを中心に0-30cmの土中に拡散。</li> <li>▪ 圃場地表面の空間線量率は、不耕起:0.66<math>\mu</math>Sv/h、通常のロータリ耕:0.40<math>\mu</math>Sv/hに対してプラウ耕:0.30<math>\mu</math>Sv/h。</li> <li>▪ 作業時間は30分/10a。</li> <li>▪ 45cmの反転では、表土は25-40cmの土中に移動。</li> <li>▪ 60cmの反転では、表土は40-60cmの土中に移動。ただし通常のトラクターでは施工不可。</li> </ul> <p>※施工前に土壌診断、地下水位等による評価が必要。</p>
<p>高吸収植物による除染</p>	
<p>放射性セシウムの吸収能力が高い植物を栽培し、土壌を除染する手法。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 青刈りのヒマワリの放射性セシウム吸収率は、植物体地上部生重当たり52 Bq/kg。</li> <li>▪ 単位面積当たりの吸収量は、作付け時の土壌の放射性セシウムの約1/2000であり、効果は小さい。</li> <li>▪ 現時点では、除染に利用可能な高吸収植物の候補が得られていないため、現場への普及の段階に無い。</li> </ul>

## 除染目的等で栽培されたひまわりの処分方法について

**ひまわりを緑肥として活用している場合、これまでどおりほ場にすき込んでも差し支えありません**

(注)ひまわりに菌核病や空洞病等が発生していた場合には、後作の作物にも感染する可能性がありますので、すき込むことは好ましくありません。

(参考1)

福島県内の2箇所のほ場(※)において、ひまわりを栽培し、開花期～開花20日後の地上部10サンプル及び根4サンプルに含まれる放射性セシウム濃度を測定したところ、以下の結果が得られています。この結果に基づき、今回のひまわりの廃棄方法を決定したところです。

(※)福島県農業総合センター(郡山市)及び相馬郡飯舘村。

土壌中の放射性セシウムはそれぞれ1,045 Bq/kg、7,715Bq/kg。

---

### ひまわりの放射性セシウム濃度 (生草重量)

---

地上部	根
12～79 Bq/kg	64～232 Bq/kg

---

ヒマワリでは??



$^{137}\text{Cs}$ の測定結果  
(伊達市霊山こどもの村)

27,000Bq/kg

移行係数: 0.28

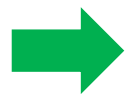
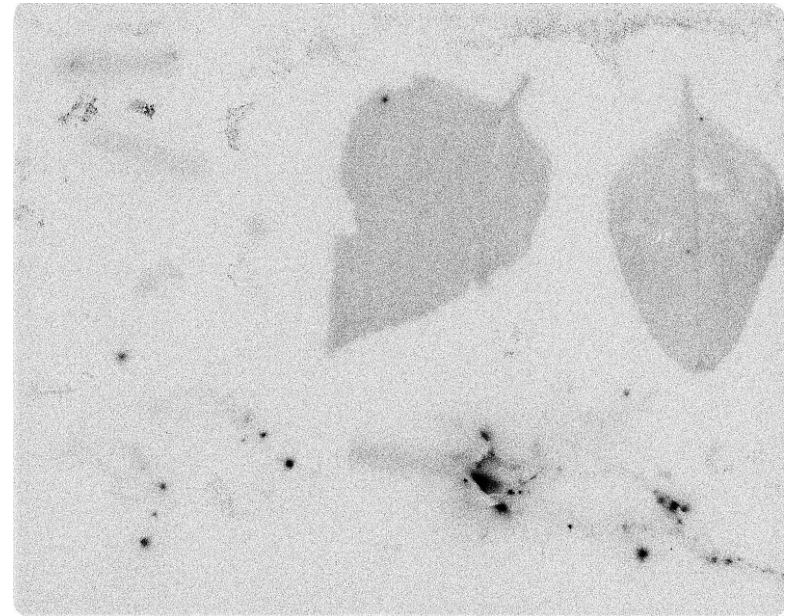
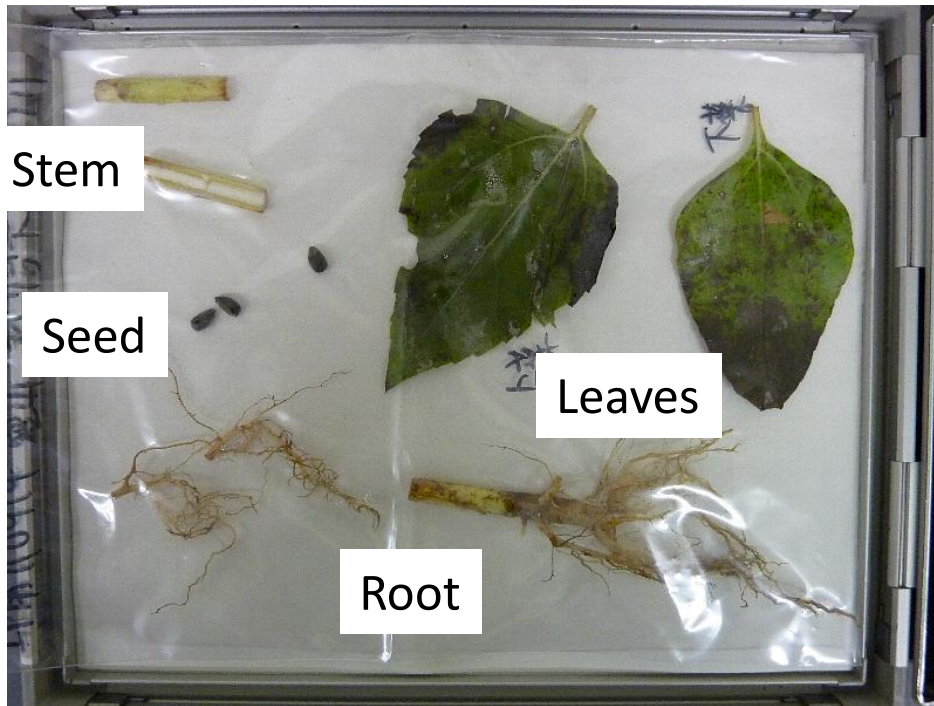
移行係数 =  
植物体中放射能 / 土壌中放射能  
(Bq/kg) / (Bq/kg)



砂質土壌のため?

ヒマワリでは??

## ヒマワリのIP画像



- 根の先端から葉先端まで放射能検出
- 経根吸収

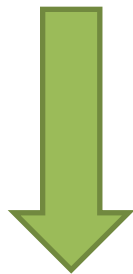
# 植物による<sup>137</sup>Cs吸収

- 常緑樹・落緑樹ともに当年葉に放射性物質存在
- 常緑樹のほうがTF値が高い試料が多い
- 落葉樹も葉柄等に放射性物質が存在



放射性セシウムの葉面吸収、表面吸収が起こった

林床の稚樹、砂質土壌で、根に放射性物質が検出される個体が存在



林床：樹冠から水溶性<sup>137</sup>Csの供給多い

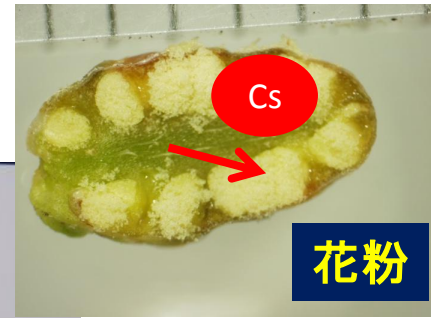
吸収されやすい

砂質土壌：セシウムの吸着は少ない

放射性セシウムの経根吸収が起こった

土壌タイプによる？ 植物種による？ 成木でも？

# スギの枝葉から花粉までの<sup>137</sup>Cs輸送

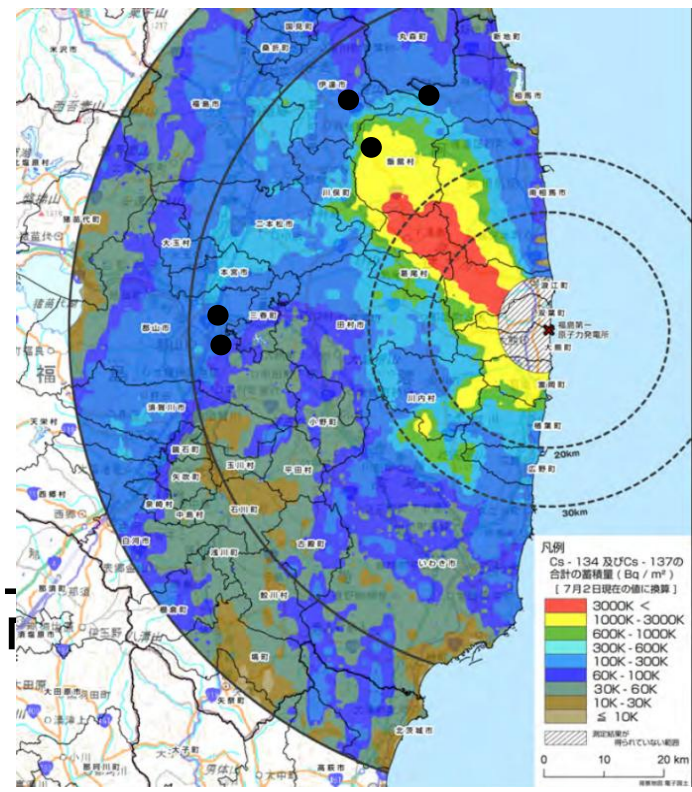


## 採取地点

- 福島県農業総合研究センター
- 福島県林業研究センター
- 伊達市霊山こどもの村
- 相馬市
- 伊達郡川俣町山木屋地区
- 森林総合研究所広域調査による高レベル汚染区(4サンプル)

## 期間

2011年9月以降  
月1回



<http://radioactivity.mext.go.jp/>

- Sampling point

# 福島県林業研究センターのスギ試料

- 福島県選抜の精英樹

東白川5号(A-83)相馬6号(A-142)相馬1号 (A-145)

- 花粉の少ない精英樹「南会津4号」

(A-507、A-513、A-515)

2010年7月にジベレリン処理

- 福島県 内で発見された雄性不稔個体の挿し木クローン(I-724、I-728、I-734)

2011年7月上中旬にジベレリン処理



# スギ葉のIP画像

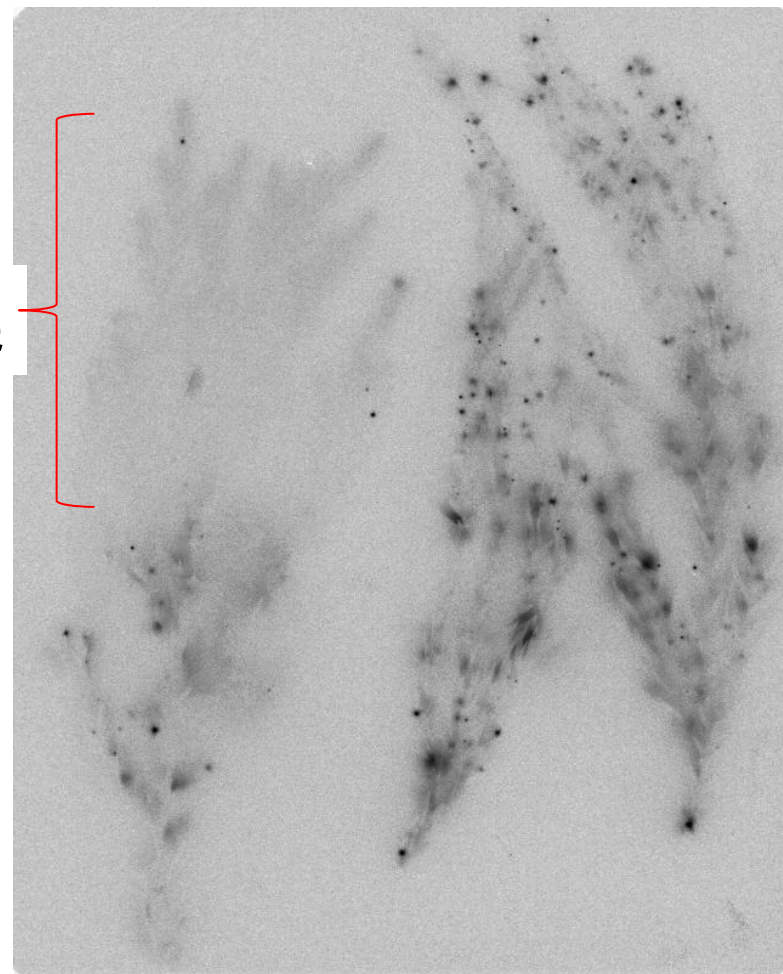


生葉

枯葉

写真画像

当年葉



IP画像

2011年9月 採取

# 雄花の成熟過程

山木屋



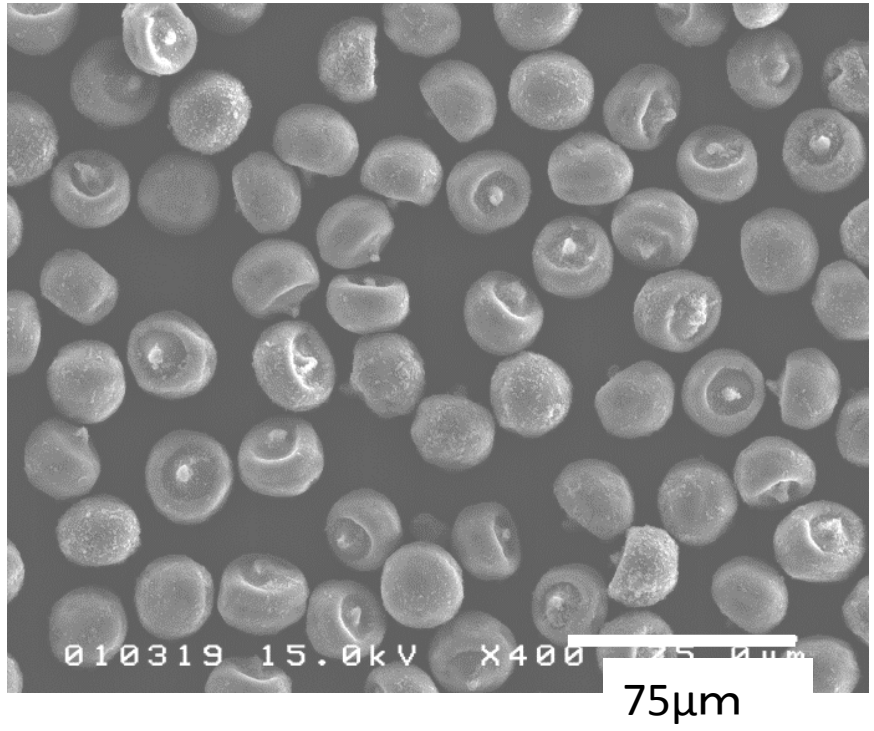
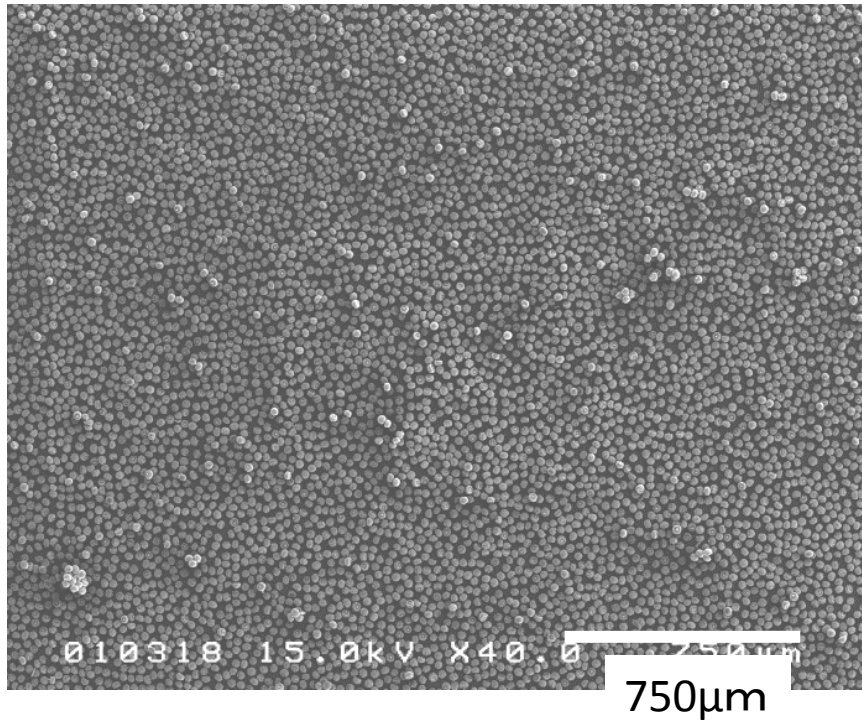
林業センター  
雄性不稔



9月

11月

# 花粉の状態



分離した花粉の電子顕微鏡写真

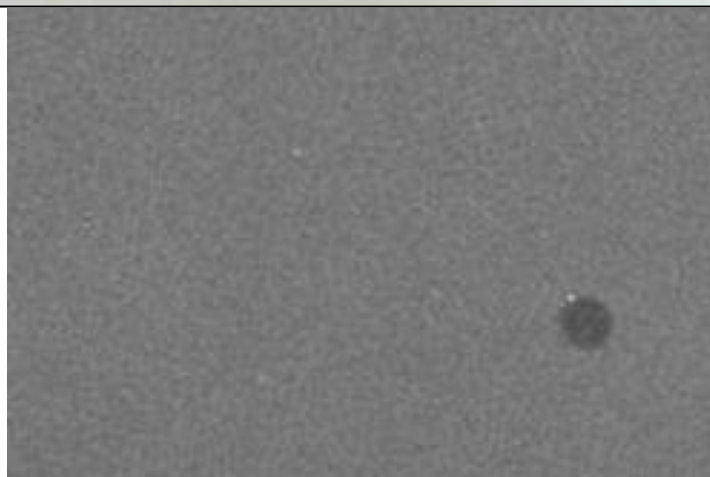
名大構内  
スギ花粉

福島435  
スギ花粉

写真

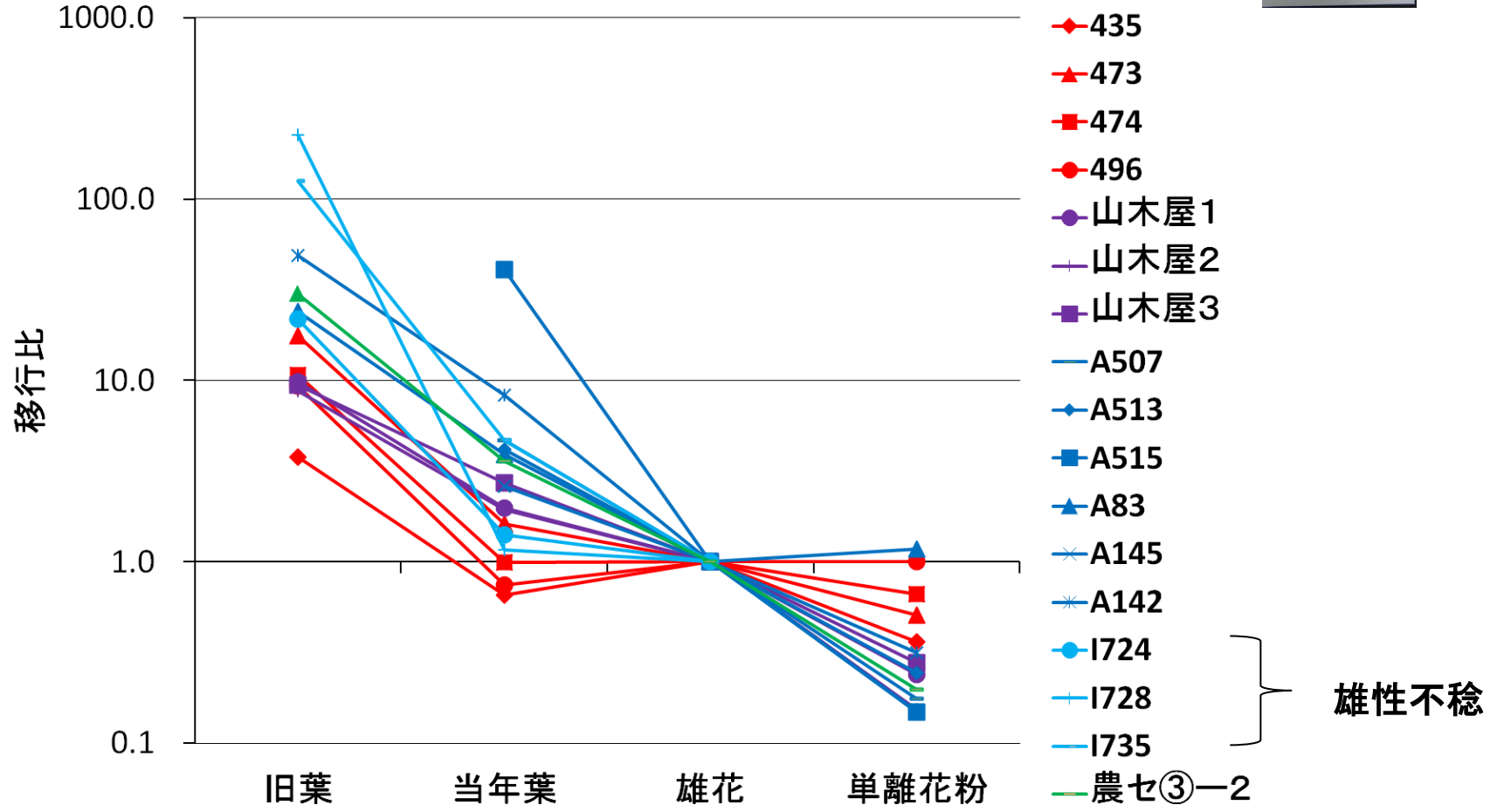


IP画像  
119時間暴露



# スギ旧葉から花粉への<sup>137</sup>Cs移行

(11月 or 12月採取試料)



➡ 品種や処理による違いは不明

# まとめ

- ◆さまざまな植物葉中の $^{137}\text{Cs}$ 濃度
  - ・木本植物葉中の濃度が高い
- ◆植物による $^{137}\text{Cs}$ 吸収
  - ・表面吸収(葉面、その他の部分)が起こった
  - ・経根吸収を確認(特に、林床植物、砂質土壌から)
- ◆スギの枝葉から花粉までの $^{137}\text{Cs}$ 輸送
  - ・旧葉に付着した $^{137}\text{Cs}$ の一部が吸収され、新たに展開した葉(当年葉)に輸送された
  - ・当年葉から雄花への $^{137}\text{Cs}$ 輸送は雄花形成時
  - ・花粉形成時は雄花中の $^{137}\text{Cs}$ が花粉へ輸送
  - ・当年葉から雄花への輸送と、雄花内での花粉への輸送は、メカニズムが異なる可能性