

# 放射性セシウムは森林の中で どう動いてきたか？

橋本昌司

東京大学大学院農学生命科学研究科

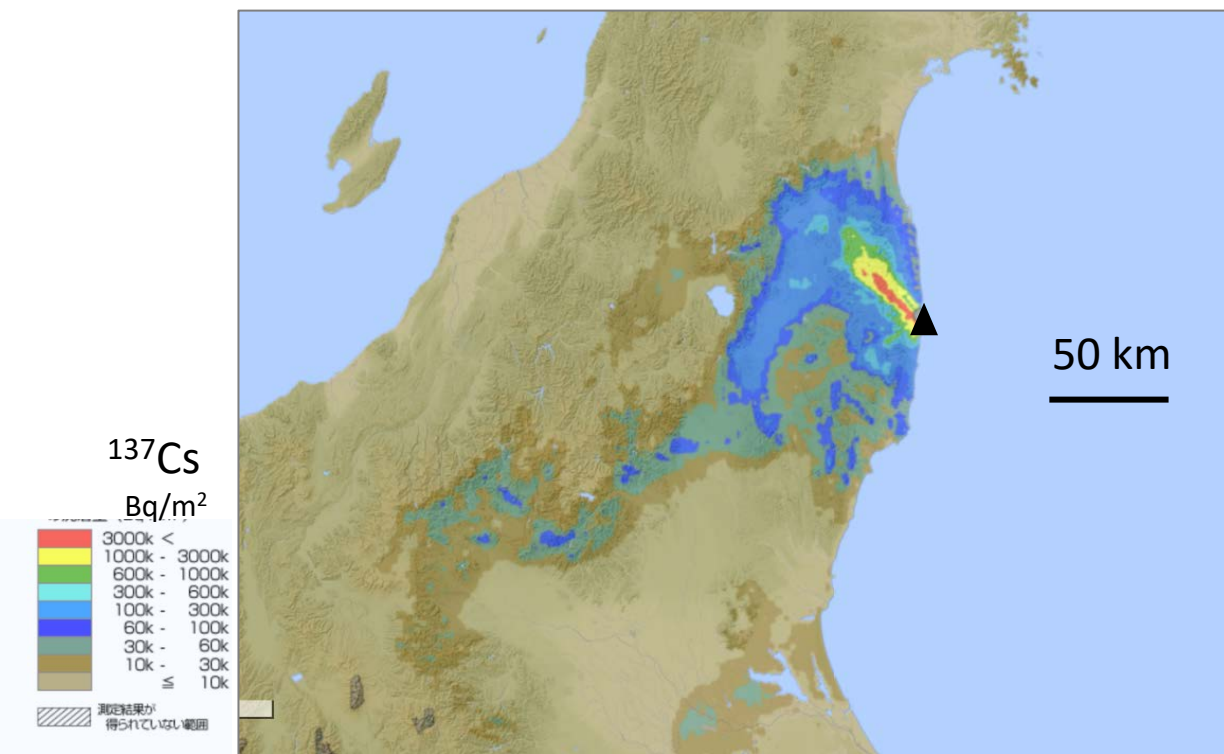
附属アイトープ農学教育研究施設

(兼任)森林科学専攻

(クロスアポイントメント)

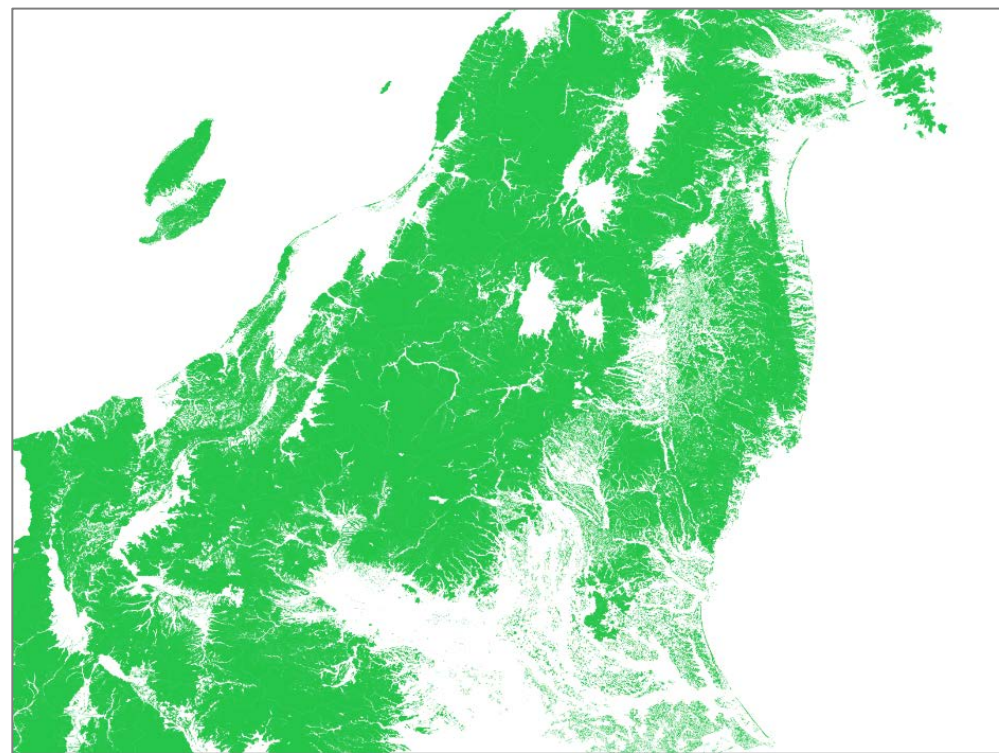
(国研)森林研究・整備機構森林総合研究所

# 汚染された地域が多くが森林



## 汚染マップ

第4次航空機モニタリング  
放射線量等分布マップ拡大サイト



## 森林マップ

国土数値情報

# 福島の森林

- 森林面積(平成29年度統計)
  - 97万ha(青森県の面積程度。県土面積の71%)
  - 人工林: 33万ha(人間が植えた)
  - 天然林: 58万ha(自然、またはずっと以前から人間が関わっていない)
- 主要な樹種
  - (常緑針葉樹)スギ、ヒノキ、アカマツ、(落葉広葉樹)コナラ



# 農地・山村を取り囲む森林

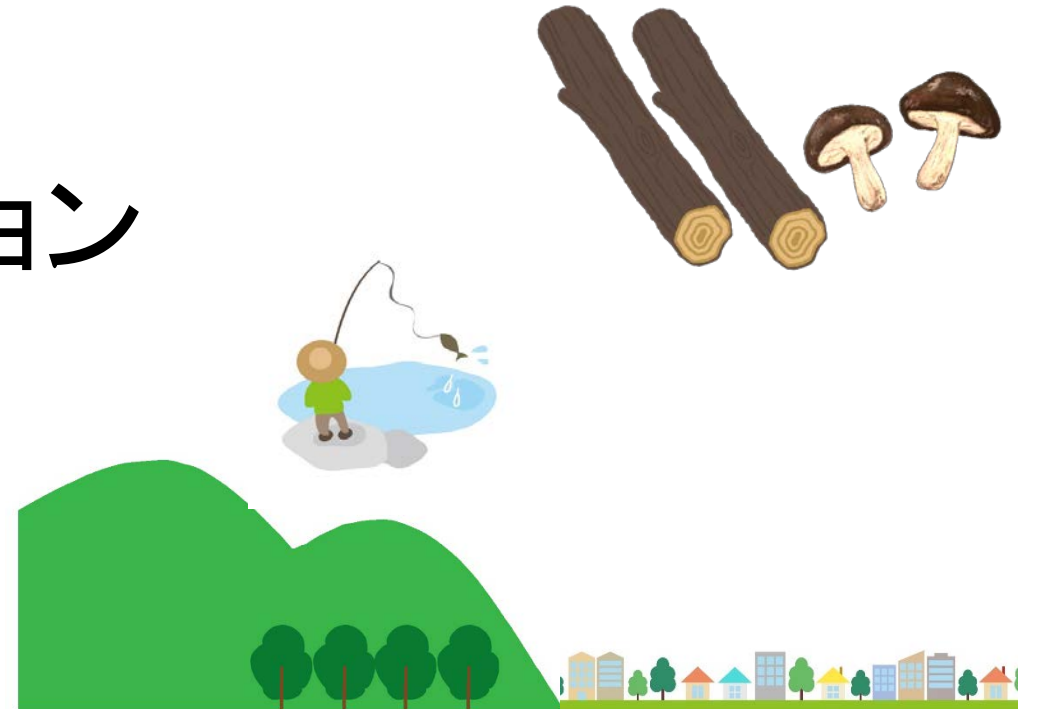


# 農地・山村を取り囲む森林



# 森林の放射能汚染問題

- 広大な面積
- 水源
- 木材・林産物生産の場
- 地域住民のレクリエーション
- 農地・住宅地と隣接



# 今日の内容

- 森林内の放射性セシウム動態に関わる研究データを収集・集約する活動
  - より一般性のある動態を明らかに
  - データベース化、アーカイブ化
    - 世界へ・未来へ残す
- 様々な研究を集約し、「事故後から現在まで、放射性セシウムが森林の中でどう動いてきたか？」



お話していきます

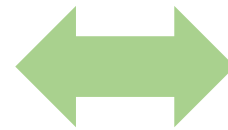
# 森林の特徴と物の動き

## 物質の動き(例)

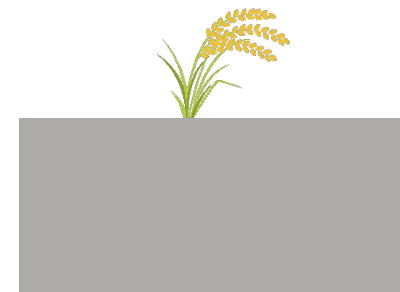
- 水: 雨をトラップする、根から吸収
- 有機物の動き: 落葉、成長
- 養分・ミネラルの動き: 根からの吸収、転流



- 樹高10-20m
- 永年性
- 表層に落葉層
- 耕起無し

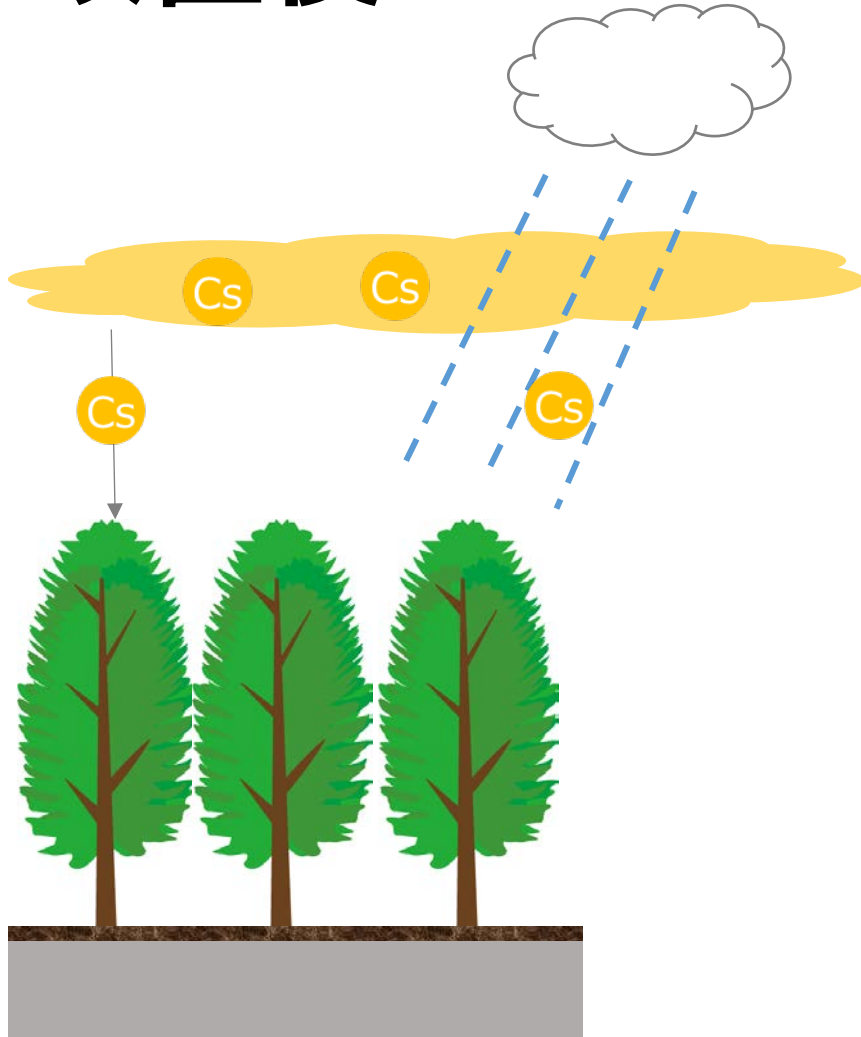


- 1m以下
- おもに一年性
- 耕起



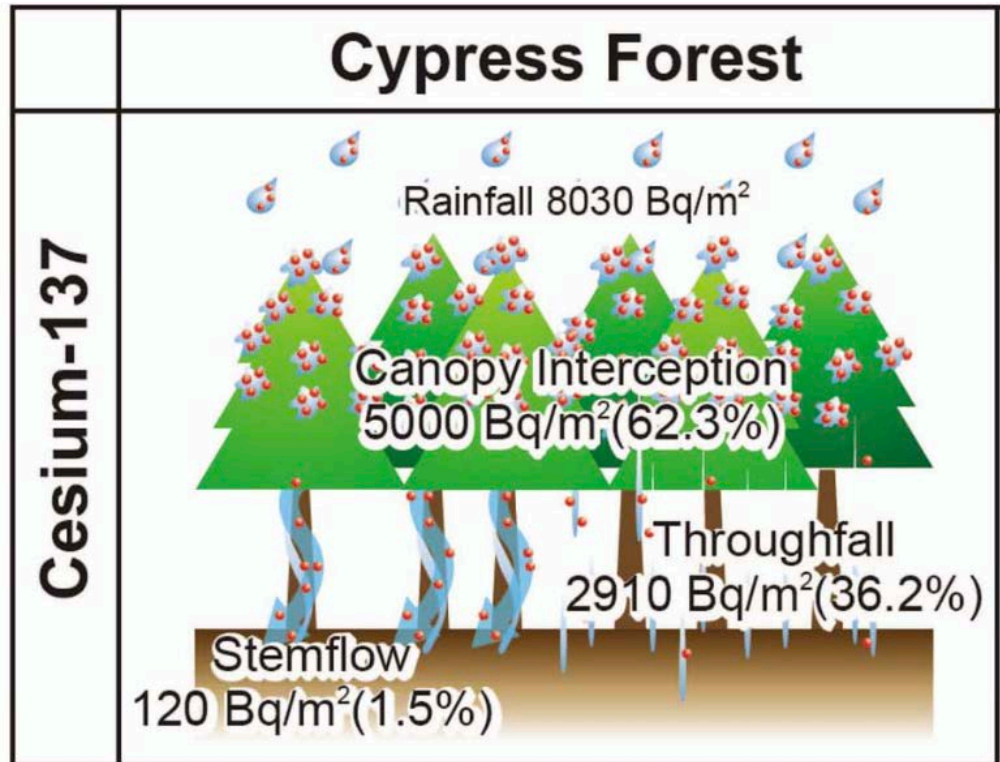


# 事故直後



- 大気を漂ってきた放射性セシウムが、森林生態系に
  - 1) 雨によって入ってくる(湿性沈着)
  - 2) 雨を経由しない(乾性沈着)

# 事故直後：多くが樹冠（樹木）に付着する



Kato et al. 2012 GRL

- 観測例（スギ林：常緑針葉樹）
  - 主に森林内の水で運ばれるセシウムを観測
  - 最初の5ヶ月の結果
  - 樹木に約60%強が付着していた
  - 偶然、事故前から森林の中の水の観測をしていた

# 事故直後：多くが樹冠（樹木）に付着する

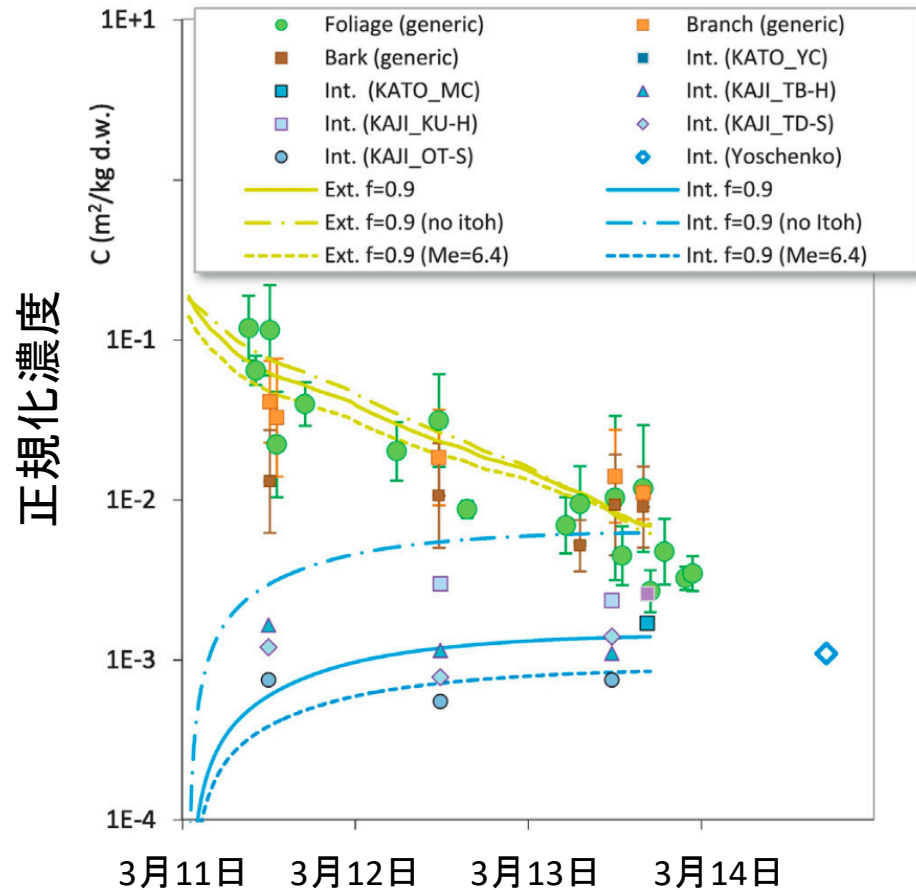
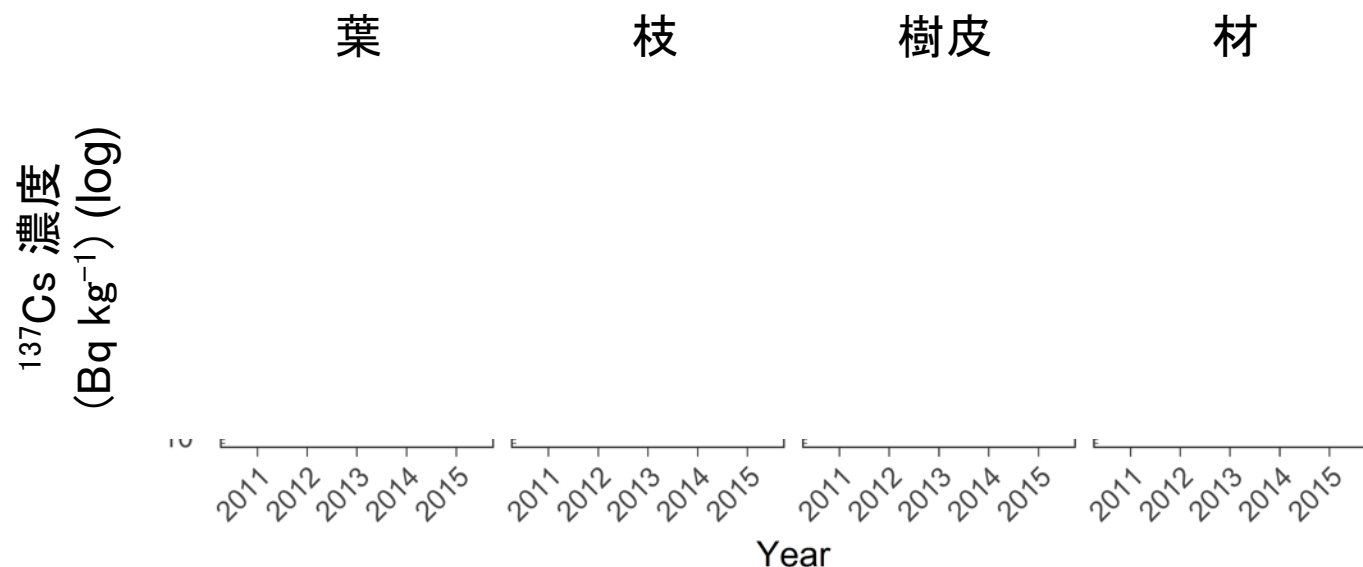


Fig. 9. Comparison between observed (symbols) and predicted concentrations (curves) in the external and internal tree organs over the period 2011–2013 in an EGC forest, under the assumptions that: (1)  $f = 0.9$  (with or without ITOH data) and  $Me = 4.8 \text{ kg d.w. m}^{-2}$  (imposed value) or (2)  $f = 0.9$  (with ITOH data) and  $Me = 6.4 \text{ kg d.w. m}^{-2}$  (calibrated value).

- たくさんの観測事例から逆推定した研究
  - 樹木から土壌への簡易なCs移行モデルを構築
- 事故後かなり初期（数日から1週間程度）は約90%のセシウムが樹木に付着していた
  - ただし、森林タイプによって異なる

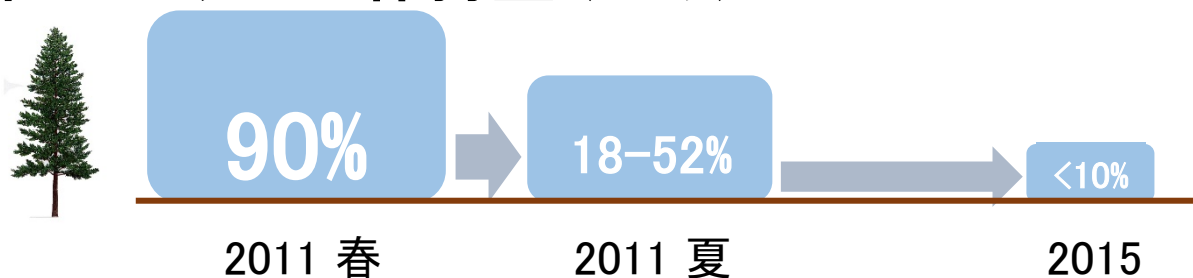
# すぐに地表・土壌に移動していく

- 濃度 (スギ) 色の違いは異なる調査地点を表す



- 葉や枝の放射性セシウムは指数関数的に減少していく
  - 半減期=半年~1.5年
- 樹木の放射性セシウムの保持量は数年後には10%以下に
- ただし、一部の放射性セシウムは樹木の木材部分に

- 放射性セシウムの保持量 (スギ)

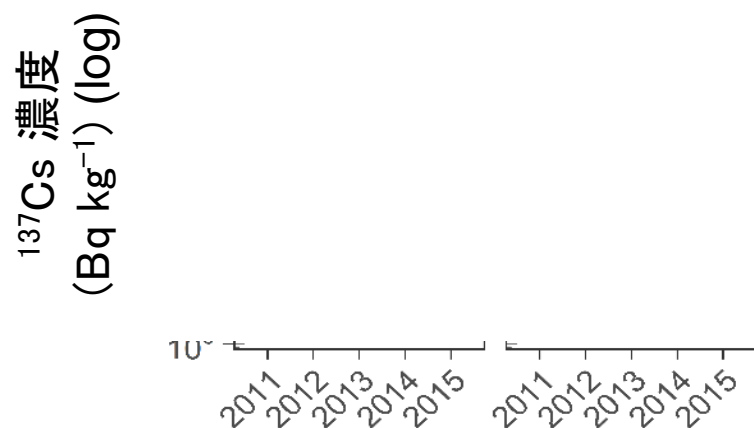


Imamura, Ohashi, Komatsu et al. SR 2017  
Gonze and Calmon STE 2017

# すぐに地表・土壌に移動していく

- 濃度 (スギ) 色の違いは異なる調査地点を表す

落葉層      鈹質土壌



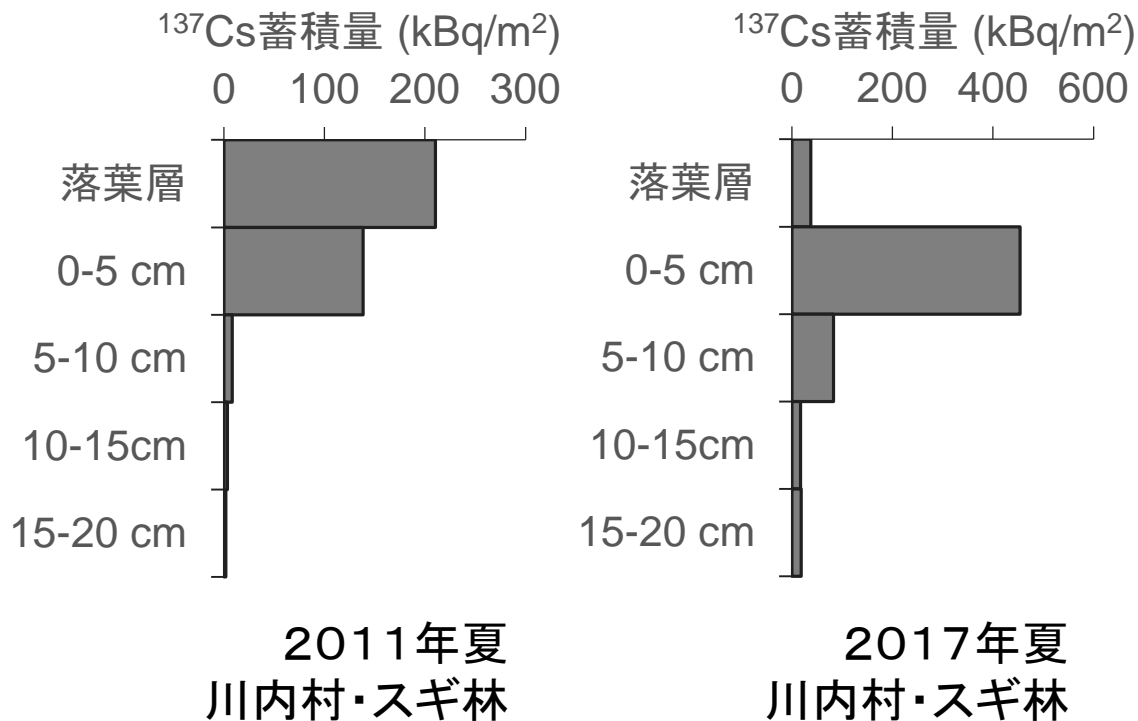
- 表層の落葉層で長く滞留することはない
- その下の鈹質土壌(主にミネラルで構成される)に移動していく
- 鈹質土壌が数年以内に森林内の放射性セシウムの大部分が蓄積する

- 鈹質土壌 (スギ)



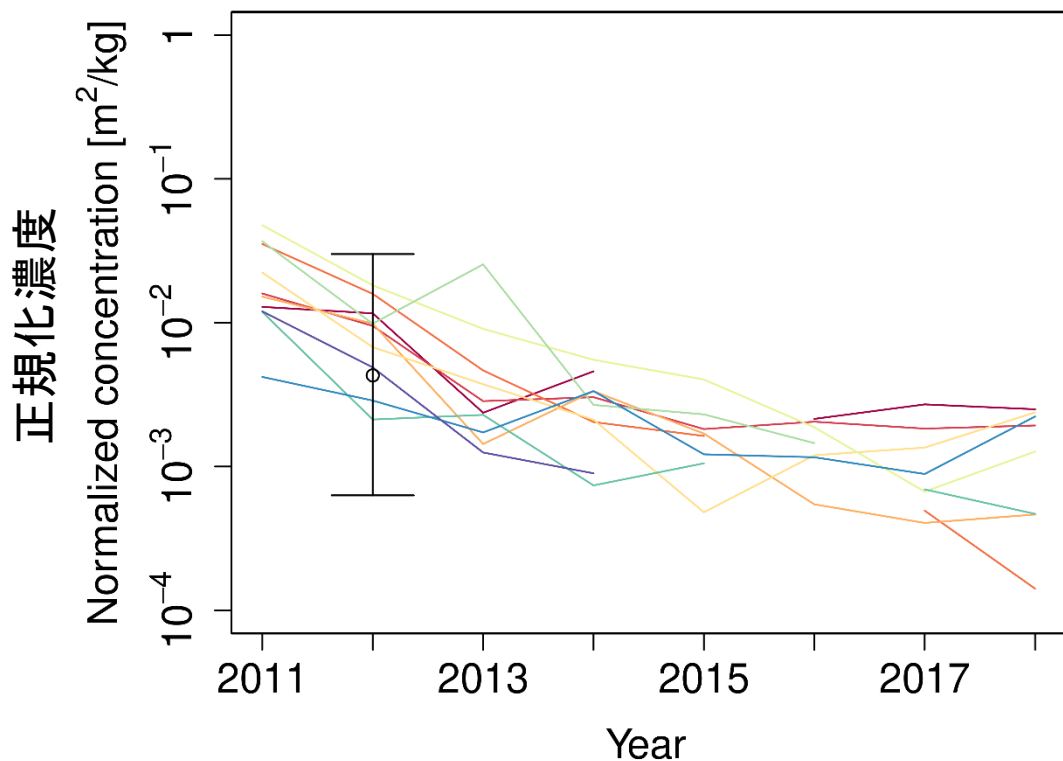
Imamura, Ohashi, Komatsu et al. SR 2017

# 土壌表層にとどまる放射性セシウム



- 事故初年度から20cm程度の深いところにまで放射性セシウムは到達しているが、
- 量的には表層部分にとどまっている
- 事故後の調査からこの分布形態は大きくは変化していない

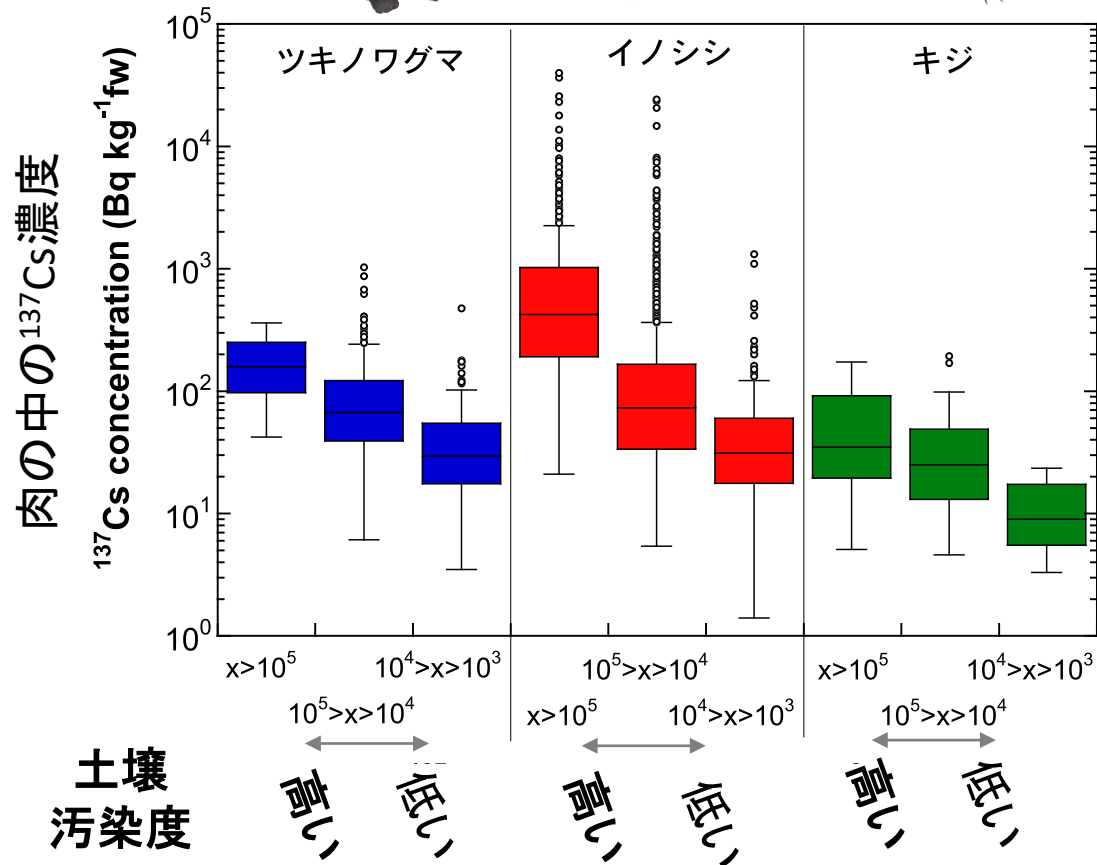
# 花粉の汚染



林野庁のモニタリングデータ  
Kanasashi et al. 2015 JER  
より作成

- 林野庁のモニタリング
  - 10地点の長期モニタリング
    - (色のついた折れ線)
- 金指らの120点調査
  - (2012年のエラーバー)
- 花粉中の放射性セシウムも時間と共に指数関数的に低減

# 生き物の汚染



Tagami, Howard, and Uichida EST 2016

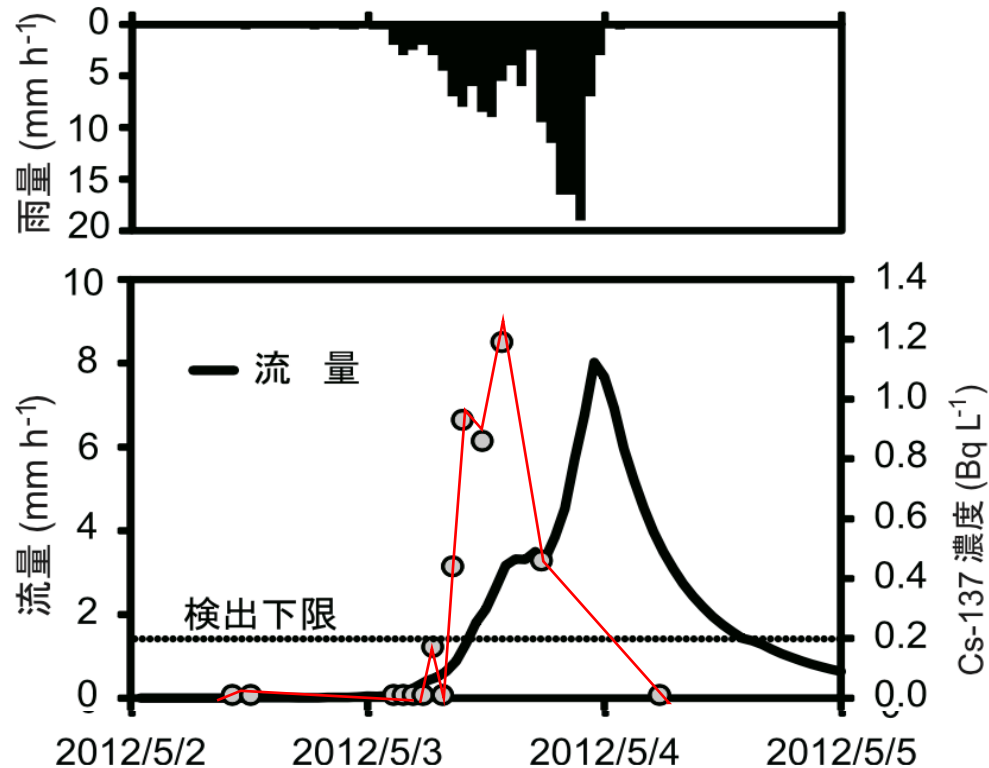
Courtesy of Dr. Tagami

- 生き物にも放射性セシウムが取り込まれた
  - 食物連鎖
  - 食性
- 地域の汚染度(土壌)の汚染度が高いほど高い傾向
- このような傾向は、ミミズやキノコなどでも見られる





# 森林から流出するの？



**Fig. 6** 多田野試験林の杉・ヒノキ人工林における流量、濁度、懸濁物濃度、Cs-137 濃度の降雨にともなう変化 (篠宮ら (2013) を元に作成).

- 福島県での観測例
  - 森林の溪流でモニタリング
- 事故から1年もたつと、平常時には水のセシウム濃度は検出限界以下
- 大きな雨が降るとセシウム濃度も上昇し、流出
- 森林流域から溪流水(の中の懸濁物)にのって森林からセシウムが出ている

小林 2014 土壌の物理性  
より改変

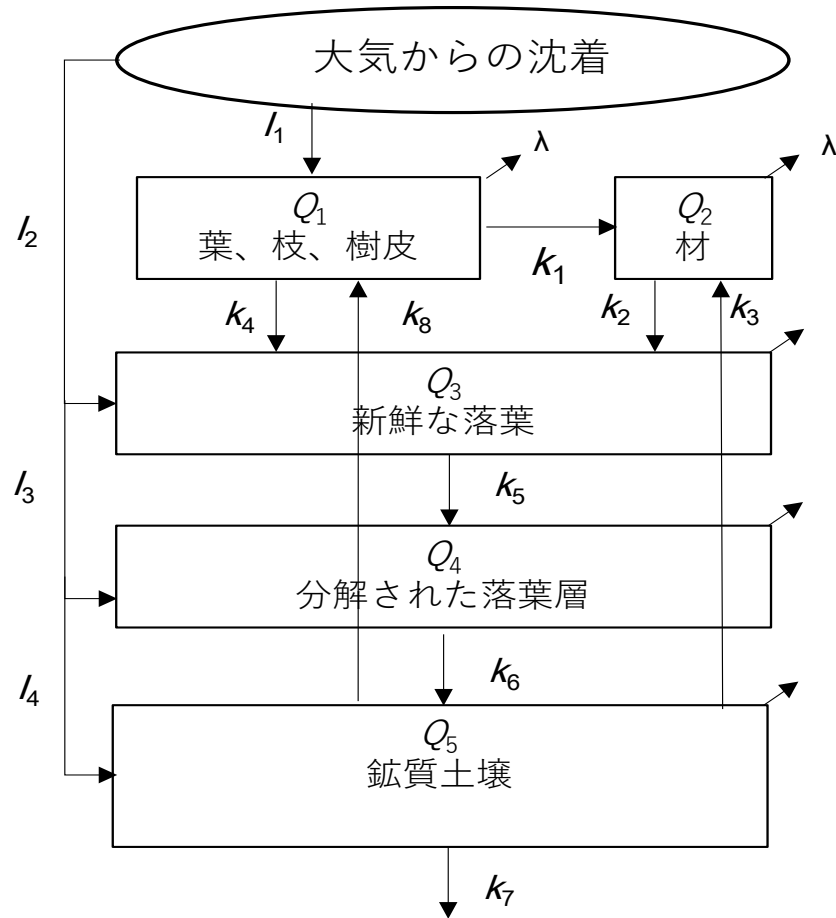
# 森林から流出するの？

資料	総沈着量に占める流出量	時期
Iwagami et al. 2017 JER	<b>0.002–0.3 %</b>	2012年8月から 2013年9月
小林 2014 土壌の物理性	<b>0.3 %</b>	2012年3月から 12月
林 2013 シンポジウム 資料*	<b>0.4–0.5 %</b>	2011年3月から 2012年8月

\* 放射能汚染ジョイントセミナー「生活環境から放射能汚染を考える」

- 流域全体のセシウム量に対する流出する放射性セシウムの比率
  - 事故後早い時期でも
  - 0.数% 以下
- 基本的には、森林は放射性セシウムを保持する性質がある
- 今後も注意が必要

# 樹木～土壤間移動のモデル解析:



Hashimoto et al. in press

- セシウム循環モデルを用いた解析
  - RIFE1モデル
  - 森林を「葉・枝・樹皮、木材、落葉層、鉍質土壤」に分けて
  - 森林内の放射性セシウムの移動と蓄積をモデル化

# 樹木～土壤間移動のモデル解析: 定常状態に達しつつある

スギ林

移動量  
(事故直後の総沈着量を100とした場合の量)

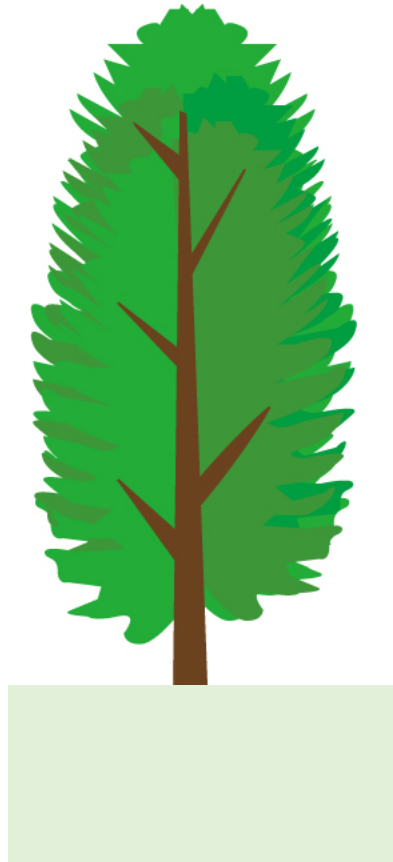
樹木から地表へ ↓

樹木による吸収 ↑

- セシウム循環モデルを用いた解析
  - 事故直後、総沈着量の数10%が一年で土壤に移行していたが
  - 5～10年程度で、樹木による吸収と釣り合う
  - 循環が定常に達しつつある
  - 今後も事故直後の総沈着量の1%程度が循環し続ける

# まとめ

## 「放射性セシウムが森林の中でどう動いてきたか？」



- 事故直後は、多くが樹冠(樹木)に付着していた
- 事故後数年で大部分が地表へ
- 土壌表層に大部分の放射性セシウムが蓄積
- 土壌の中ではあまり動かない
- 放射性セシウムは木材の中に入り込んでいる
- 生き物にも取り込まれている
- 河川からの流出は限定的
- 動きは落ち着きつつある

# 今後の課題

- 1) 継続したモニタリング
  - 当初より動く量は小さくなったが、森林の中でセシウムは動いている
  - メカニズムの解明
- 2) データを統合して理解、将来予測
  - データのメタ解析とアーカイブ化
  - モデリング
- 3) 健全性を維持する持続可能な森林管理
  - 病虫害、荒廃
  - 気候変動
  - 機能維持に関する研究や取り組み