

<福島長期環境動態研究>
森林域を中心とした
放射性セシウムの環境動態

新里 忠史



国立研究開発法人
日本原子力研究開発機構
Japan Atomic Energy Agency

自己紹介(これまでの研究)

- 2023 ✓ 森林域の放射性Cs環境動態 (森林生態学, 地形学, 水文学, 土壌学, 放射化学)
- 2014 ✓ 環境調査のエキスパートシステム開発 (知識工学, 地形学, 地質学, 構造地質学, 水文学, 土木工学, 古気候学)
- 2012 ✓ 地すべり地形 (地形学, 地質学)
- ✓ 硫酸還元菌 (微生物学)
- ✓ 森林域の放射性Cs環境動態 (森林生態学, 地形学, 水文学, 土壌学, 放射化学)
- 2011 ✓ 地下水流動の長期変遷解析 (水文学, 土木工学, 地質学, 地形学, 古気候学)
- ✓ システム解析 (システム工学)
- 2008 ✓ 衝上断層褶曲帯 (地質学, 堆積学, 地形学)
- ✓ 歴史地震 (古地震学)
- 2005 ✓ 活構造 (活断層, 海成段丘の隆起) (地形学, 測量学)
- ✓ 地球化学環境の変遷 (地球化学, 地質学, 水文学, 古気候学)
- 2003 ✓ ウラン鉱床 (放射化学, 地球化学, 地質学)
- 2002 ✓ シュードタキライト, マイロナイト, 島弧地殻 (地質学, 岩石学)
- 1993 ✓ 水中火砕岩 (火成岩岩石学, 地質学)

森林科学

知識工学

地形・地質学 (第四紀学)

地質学

セシウム森林動態

地層処分研究

地質学

福島の主な動き(森林に係るもの)

<会津>

<中通り>

<浜通り>



福島大学
連携協力協定

野生きのこ
出荷制限解除

野生マツタケ
出荷初認可

野生きのこ
出荷制限解除

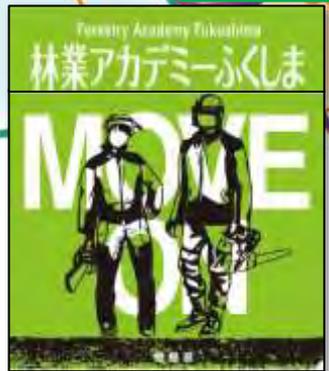
国内最大級
集積材工場完成

野生きのこ
出荷制限解除

林業アカデミー
ふくしま

木質バイオマス
発電施設稼働

山菜出荷
制限解除



福島イノベーション・コースト構想
福島国際研究教育機構

地図の出典) 福島県ホームページ

「福島林業研究会」の資料より

福島国際研究教育機構（以下「機構」）は、**福島をはじめ東北の復興を実現するための夢や希望となるものとするとともに、我が国の科学技術力・産業競争力の強化を牽引し、経済成長や国民生活の向上に貢献する、世界に冠たる「創造的復興の中核拠点」を目指す。**

内閣総理大臣
文部科学大臣
厚生労働大臣
農林水産大臣
経済産業大臣
環境大臣

主務大臣として共官

7年間の中期目標・中期計画

※機構が長期・安定的に運営できるように必要な予算を確保

福島国際研究教育機構(F-REI)

Fukushima Institute for Research, Education and Innovation
(福島復興再生特別措置法に基づく特別の法人)

理事長 藤原 達雄・山崎 光成 (理化学研究所)

理事長のリーダーシップの下で、研究開発、産業化、人材育成等を一体的に推進

・ 研究者にとって魅力的な研究環境 (国際的に卓越した人材確保の必要性を考慮した給与等の水準などを整備)

・ 若手・女性研究者の積極的な登用

国内外の優秀な研究者等

将来的には数百名が参画

研究開発

- 福島での研究開発に優位性がある下記5分野で、被災地や世界の課題解決に資する国内外に誇れる研究開発を推進

産業化

- 産学連携体制の構築
- 実証フィールドの積極的な活用
- 戦略的な知的財産マネジメント

人材育成

- 大学院生等
 - 地域の未来を担う若者世代
 - 企業の専門人材等
- に対する人材育成

司令塔

- 既存施設等に横串を刺す協議会
- 研究の加速や総合調整のため、一部既存施設・既存予算を機構へ統合・集約

機構が取り組むテーマ ※新産業創出等研究開発基本計画 (R4.8.26策定)

【①ロボット】

廃炉にも資する高度な遠隔操作ロボットやドローン等の開発、性能評価手法の研究等



ドローン



遠隔操作ロボット

【②農林水産業】

農林水産資源の超省力生産・活用による地域循環型経済モデルの実現に向けた実証研究等



生産自動化システム等の実証



有用資源の探索・活用

【③エネルギー】

福島を世界におけるカーボンニュートラル先駆けの地にするための技術実証等



水素エネルギーネットワークの構築・実証



ネガティブエミッション技術

【④放射線科学・創薬医療、放射線の産業利用】

放射線科学に関する基礎基盤研究やR1の先進的な医療利用・創薬技術開発、超大型X線CT装置による放射線産業利用等



新しいMRI医薬品によるがん治療



超大型X線CT装置 (ものづくりDX)

【⑤原子力災害に関するデータや知見の集積・発信】

自然科学と社会科学の融合を回り、原子力災害からの環境回復、原子力災害に対する備えとしての国際貢献、更には風評払拭等にも貢献する研究開発・情報発信等 放射性物質の環境動態研究



<機構及び仮事務所の立地>

円滑な施設整備、周辺環境、広域波及等の観点から、以下に決定

本施設：浪江町川添地区

仮事務所：浪江町

福島国際研究教育機構の設置効果の広域的な波及へ

- ・ 機構を核として、市町村、大学・研究機関、企業・団体等と多様な連携を推進
- ・ 沿道沿地域を中心に「世界でここにしか見られない研究・実証・実業の場」を実現し、国際的に情報発信

環境モニタリング・マッピング ⇔ 環境動態研究

環境モニタリング・マッピング



動き



分布

環境動態研究

放射線量の可視化と将来予測が可能なシステムの提供

環境動態研究の成果の利用(表層環境における核種移行)

地層処分において地下の地質環境に期待される役割

- 地質環境に期待される役割 …… 隔離機能、遅延機能、処分施設の設置環境
- 地質環境がこれらの機能を数万年以上の長期にわたり維持すること
- 地殻変動や気候変動によって対象となる地質環境が変化したとしても、その変化の生じる程度や範囲がそれらの機能に著しい影響を及ぼさないこと

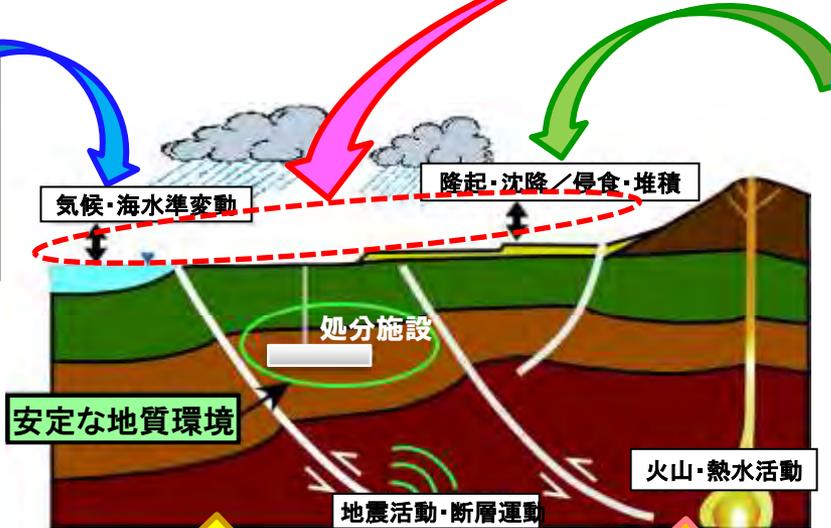


気候・海水準変動

- ✓ 気候変動による涵養量の変化(H)
- ✓ 海岸線の移動による涵養・流出域の変化(H) など

地震活動・断層運動

- ✓ 断層運動や地震動に伴う破断・破砕(M)
- ✓ 断層周辺での透水性の変化、地下水水圧の変化(H)
- ✓ 地震活動・断層運動の前後における地下水の水質及び地下水の水圧変化(C) など



隆起・沈降/侵食・堆積

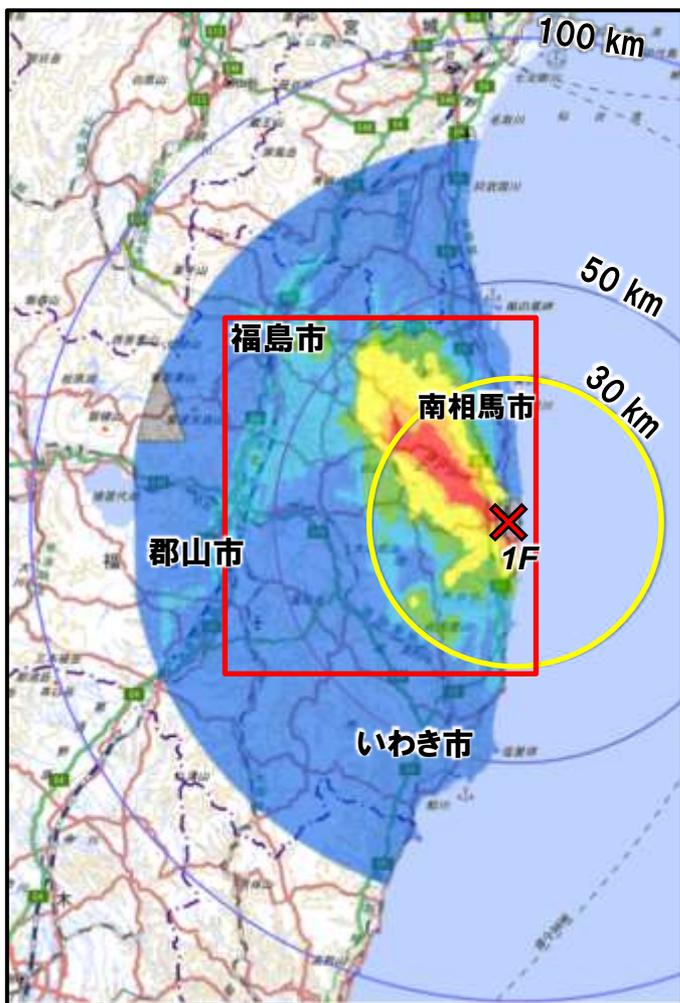
- ✓ 処分施設と地表面との物理的距離の変化(C)
- ✓ 地形や土被りの変化による動水勾配や地下水位の変化(H) など

火山・熱水活動

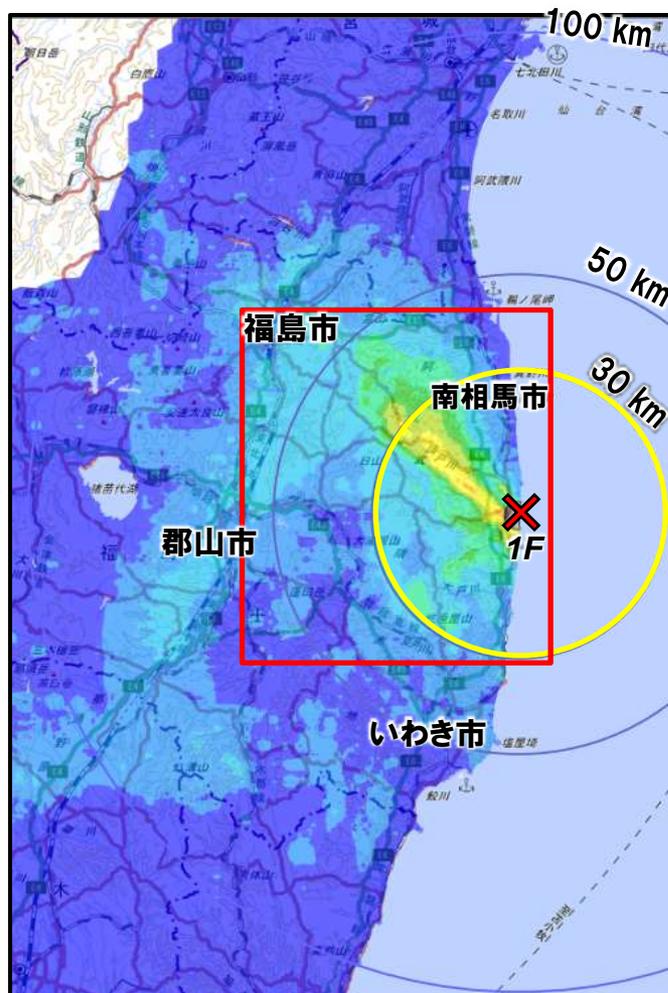
- ✓ マグマの貫入・噴出による岩盤の破壊・陥没(M)
- ✓ 地下のマグマによる周辺岩盤の温度上昇(T)
- ✓ 熱水対流系の生成による地下水流動の変化(H)
- ✓ 地下水への熱水・火山ガスの混入による地下水の水質変化(C) など

T: 熱的影響、H: 水理学的影響
M: 力学的影響、C: 地球化学的影響

空間線量率の推移 (航空機モニタリング)



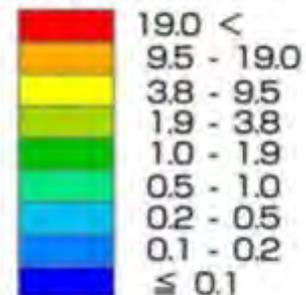
事故約1か月後(2011.4.29)



事故約9.6年後(2020.10.29)

凡例

地表面から1 mの高さの
空間線量率 ($\mu\text{Sv/h}$)



測定結果が
得られていない範囲

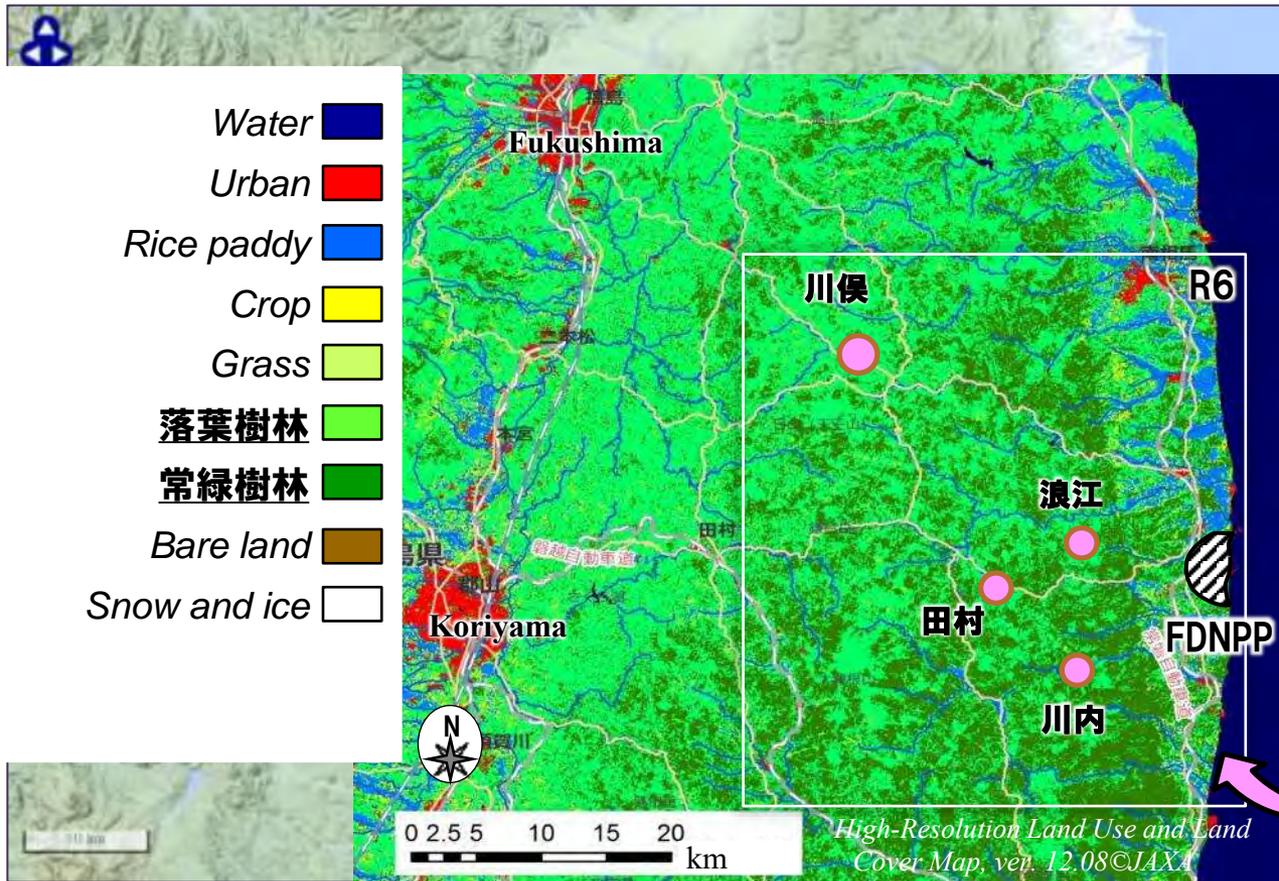
*本マップには天然核種による
空間線量率が含まれています。

- 全般的に、空間線量率は時間とともに減少
- いまだ、空間線量率の高い地域がある

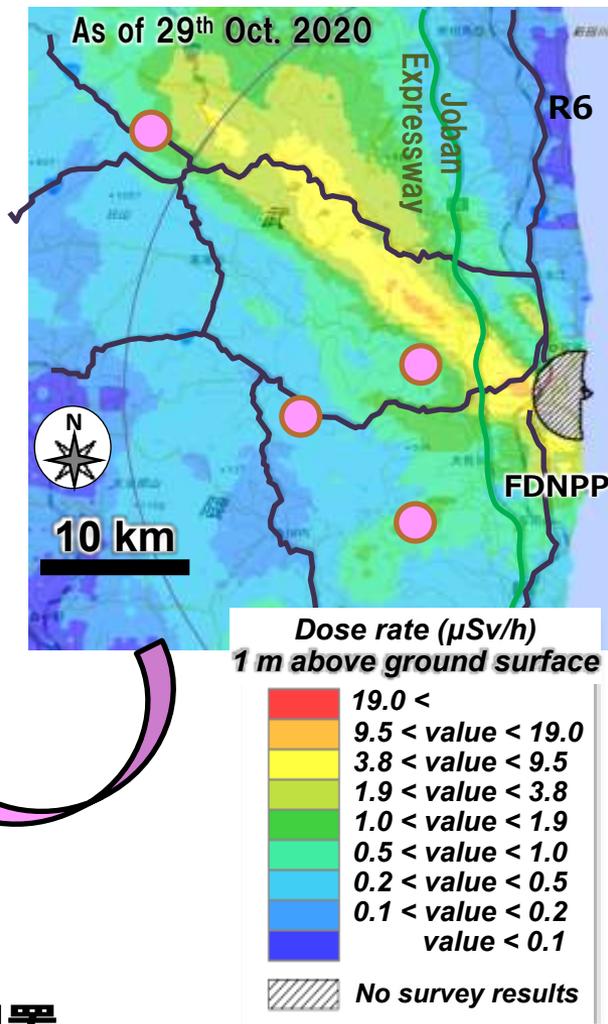
土地利用

○ 調査地

Relief map is based on the 10 m DEM of Base map information by GSI



空間線量率



- 山地の森林が大部分を占める
- 北西ブルームと南西ブルームに沿う地点に調査地を配置

川俣町の例

- 山地の森林
- 緩傾斜地、開けた傾斜地 / 平坦地 (畑地)
- 森林に隣接する平坦地 (家屋、倉庫等)









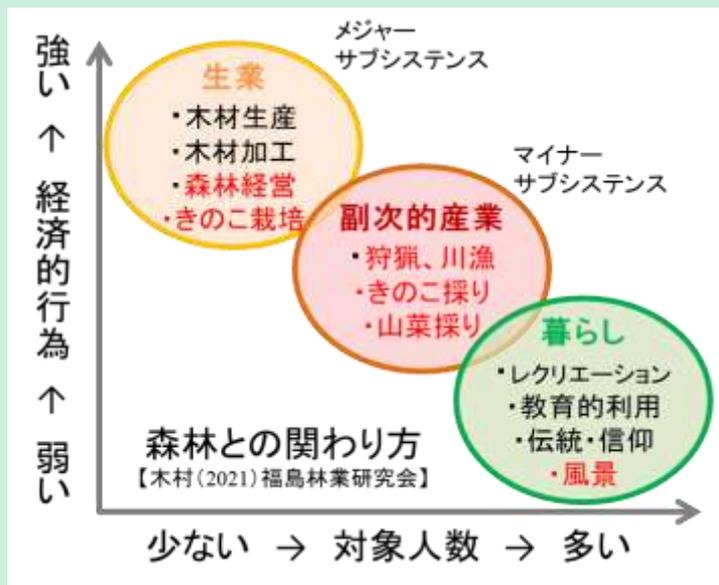
ニーズの例（森林の放射性セシウムについて）

カテゴリー

具体的な内容

国や自治体の施策について

（県庁農林水産部、林野庁研究指導課、市町村（川俣町、浪江町、田村市、楡葉町、南相馬市など、県内アンケート調査（環境創造センター実施））



※赤文字；回復、復興が遅れている分野

- ✓ 落葉広葉樹林の多様な利用方法⇨科学的エビデンスの提供(Cs移行抑制対策技術、利用可能な森林エリアの抽出、将来のCs濃度予測技術=落葉広葉樹へのCs移行プロセス理解)(県庁、県内市町村)
- ✓ 県内の山林樹木のCs濃度変化の傾向(増減、いつ基準値を下回るか)
- ✓ 森林施業に伴う林内の空間線量率の変化(林野庁)
- ✓ 林業の成長産業化への取組、原子力災害後の自然環境の変化(温暖化含めて)や復旧状況に関する研究(県水産資源研究所、県内アンケート、南相馬市)
- ✓ 自然災害の増加・激甚化に伴う影響
- ✓ 災害に強い地域づくりに関する取組み

循環型林業「植林→育林→伐採→植林」の生産サイクル



予測モデルを利用し、
将来の空間線量率
と放射性物質の濃
度を予測する

いつ、伐採・搬出の
基準を下回る空間
線量率や濃度にな
るのか示す

基準を下回る時期を、
伐採や丸太の搬出な
どの林業の再開時期
の目安として示す

伐採・搬出が可能となる
時期を考慮して、森林利
用計画や育林計画を作
成(林業事業者)

○伐採・搬出してもよいセシウム濃度か？

(福島県の指針、平成26年12月)

- 林地の空間線量率; 0.50 $\mu\text{Sv/h}$ 以下
- 樹皮の濃度; 抽出により樹皮の放射性物質濃度を確認し、6,400 Bq/kg 以下

●対象とする林地で、いつ、上記の基準を下回る空間線量率や濃度になるかが分かる。

- いつから伐採や搬出などの林業が再開できるか目途がたてられる
- 空間線量率と樹木の放射性物質濃度の予測モデルの適用

5)集材・運材

- 作業内容:大型の林業機械を利用して、丸太を林外へ運び出す
- 林地の状況:丸太が散在、枝葉が散在、林業機械の作業範囲や森林作業道に締め固められた土壌が露出



大型の林業機械による搬出

4)主伐・造材

- 作業内容:大型の林業機械を利用して、立木を切倒し、丸太にする
- 林地の状況:
 - ・背丈を超える立木、枝葉が散在
 - ・切り倒した立木周辺、林業機械の作業範囲、森林作業道の周辺で土壌が露出、林業機械により締め固められる



林業機械による伐採



○林内の生産過程でセシウムが移動する可能性はあるか？

→各生産過程において、セシウムを含む土壌が流出する可能性の高い作業がある

- 1)各生産過程に伴い生じるセシウム流出量の事前評価や事前予測を行う
- 2)流出量が多い生産過程については、土止めなどによる土壌移動固定などの対策を実施する
- 3)林業の生産過程において、事前にセシウム流出抑制対策ができる＝セシウム流出を抑制しつつ、林業作業を実施することができる

1)地ごしらえ・植え付け

- 作業内容:植林予定地の雑草などの刈り払い、植林地に残された立木の枝葉を利用した土止め作り・苗木の植栽
- 林地の状況
 - ・刈り払いした草があたり一面に存在
 - ・土壌の露出箇所が点在

2)下刈り・蔓切り

- 作業内容:苗木周囲の下草を刈る、苗木に巻き付く蔓を切る
- 林地の状況
 - ・苗木が植林されている
 - ・下刈りした草があたり一面に存在



下草刈り

3)除伐・間伐・枝打ち

- 作業内容:チェーンソー等の小型の電動器具を用いて、立木下半部の枝を剪定する、育成する立木以外を切倒す
- 林地の状況
 - ・背丈を超える立木
 - ・枝打ちした枝葉が散在
 - ・切り倒した立木周辺と森林作業道の周辺で土壌が露出、人力作業が多くあまり締め固まっていない

ニーズの例 (1 / 2)

カテゴリー	具体的な内容
森林について、...	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 除染した家が、また汚染されるのではないか。(移行予測) ✓ 裏山の山菜やキノコは食べても大丈夫か、いつになったら食べれるのか。(濃度予測) ✓ しいたけの原木栽培はいつ再開してよいのか。(濃度予測) ✓ スギ(建築用材)やコナラ(しいたけ栽培用の原木)はいつ売れるようになるのか。(濃度予測) ✓ 裏山で遊んでも大丈夫か。(被ばく線量予測) ✓ 林野火災でセシウムが流出したのではないか(移行挙動) ✓ 県のモニタリングデータのばらつきを何とか説明できないだろうか。(移行挙動、濃度予測) ✓ 県モニタリングデータを使って県産野生キノコの30年後の濃度が予測できないか。(濃度予測)
河川・ダム湖について、...	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 川(溪流含む)や河川敷で遊んでも大丈夫か。(濃度分布、被ばく線量予測) ✓ 川魚を食べても大丈夫か。(移行挙動・予測) ✓ 養殖場のヤマメは何で濃度が高いのか。(移行挙動、濃度予測) ✓ 2019年台風19号でセシウムが大規模に移動したのではないか(移行挙動)
シミュレーションについて、...	<ul style="list-style-type: none"> ✓ シミュレーションで予測できたというけど、それは本当? 実際に測った値のほうが説明しやすいが(分析値と解析による予測)、... ✓ 分析結果を説明できるモデルはないですか。(移行挙動を説明できるモデルが欲しい)

□ いずれのニーズも、生活に係る(具体的な)現在と将来の状況に関係している

- ✓ 環境中のセシウム分布とセシウムの動き
- ✓ 林産物と水産物のセシウム濃度
- ✓ 被ばく線量

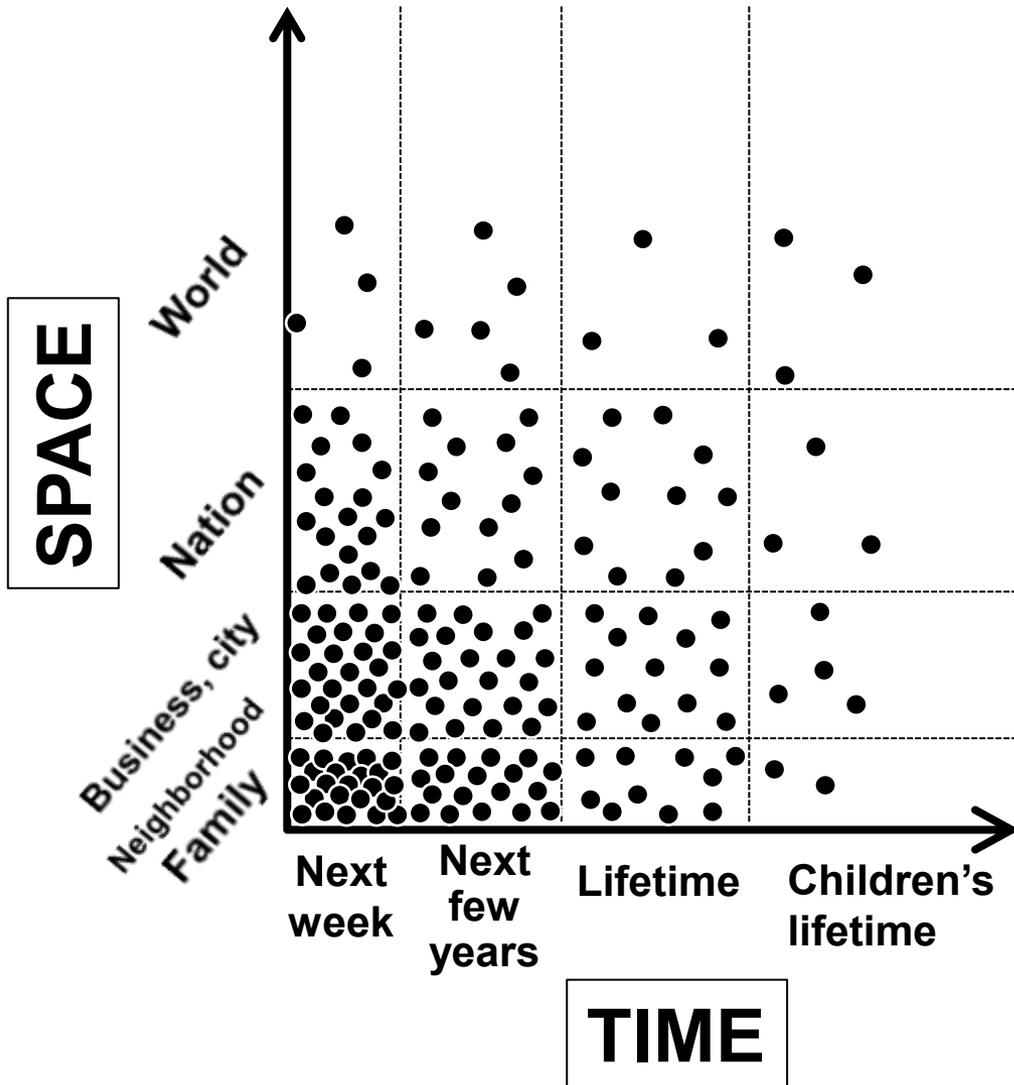
□ 加えて、大規模な自然災害の影響、についての関心も高い

□ シミュレーション結果と現地調査や分析結果の両方を示すことが求められている

ニーズの例 (2/2)

カテゴリー	具体的な内容
<p>誰に聞けばよいのか、 何を見ればよいのか、 どこを見ればよいのか、</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ いろいろ図面を使って説明してくれるのはありがたいが、図の見方がよくわからない、むずかしい。もっと手短に簡単に説明してくれないか。 ✓ まじめな人が多いのでくわしく説明してくれるが、伝えたいメッセージをまとめて欲しい。公民館に貼れるような資料(公民館に貼って、地元の方が読むだけで理解できるようなポスターとか)が欲しい。 ✓ 大学の先生やマスコミとかがいろいろ言っているが、どこに行けば、どこのサイトを見れば、まとまった簡単な説明が書いてあるのか。 ✓ インターネットで公開していると言うけど、家にはコンピューターがない。スマホでも見れるか。 ✓ 文科省の放射線教育の副読本との対応がわかるようにしてほしい

- さらに、様々な調査研究機関やマスコミから情報が発信され、情報が氾濫しているため、それら**情報の案内役**や、**分かりやすいまとまった解説**が必要とされている(“データ”と“知識”は違う)
- 調査や研究だけではなく、それらの結果の**普及活動**も必要



- ✓ Although *the perspectives of the world's people vary in space and in time*, every human concern falls somewhere on the space-time graph.
- ✓ *The majority* of the world's people are concerned with matters that affect only family or friends over a short period of time.
- ✓ *Others* look further ahead in time or over a larger area – a city or a nation.
- ✓ *Only a very few people* have a global perspective that extends far into the future.



(Meadows, D.H., et al., 1972, Limits to growth. <http://www.clubofrome.org/report/the-limits-to-growth/>)「成長の限界」

(Sandrine Dixon-Declève, et al., 2022, Earth for All: A Survival Guide for Humanity「Earth for all 万人のための地球」2022年11月(丸善出版)

予測・評価の方法

外挿法

過去の変動傾向を明らかにし、その傾向を将来へ外挿することによる予測

類推法

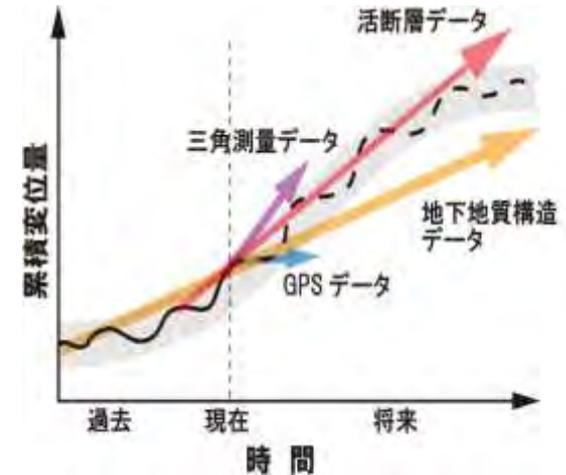
予測しようとする現象と類似の事例を研究し、現象の一般化を図り、その類推から将来の変動・変化を予測

確率論

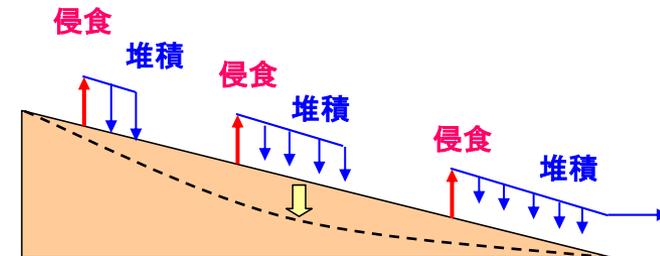
地殻変動などの発生可能性を統計的に見積もり、将来の発生確率を予測

モデル

現象を複数のパラメータでモデル化し、数値解析により将来を予測



$$\frac{\partial u}{\partial t} = k e^{rx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + b \frac{\partial u}{\partial x} + f(x, t)$$



「過去から現在に至るまでに生じた自然現象を詳細に知ること」
が将来予測の鍵

- ・ 楠瀬勤一郎, 小出 仁: 地質環境予測期間と不確実性の取り扱い. 資源と素材 117, 808-815 (2001).
- ・ 田中和広: 地質環境の将来予測の考え方と現状. 月刊地球 26, 344-348 (2004).

予測・評価の注意点

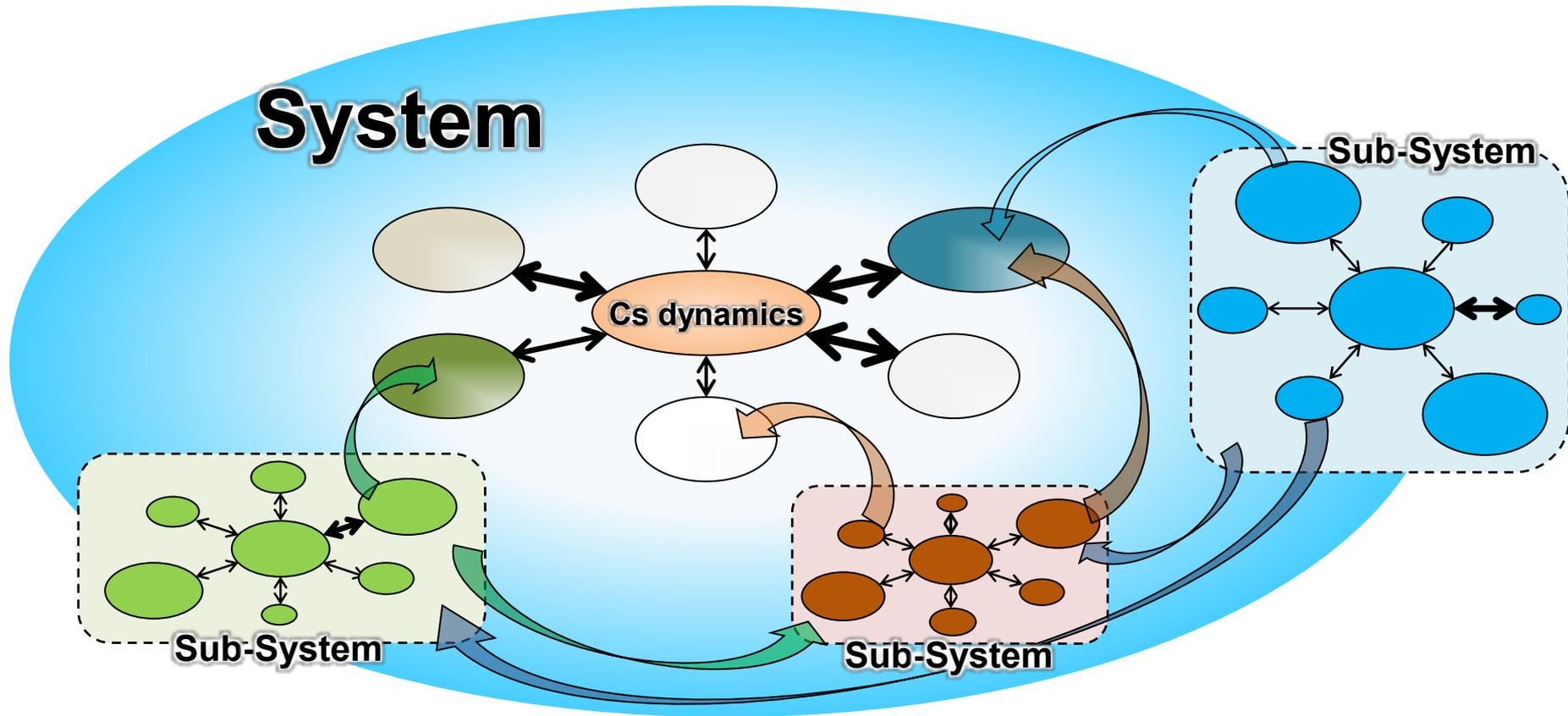
<Prophecy, Forecast, Prediction, Projection?>

The results of the computer simulation showing future trends should *not* be taken as trustworthy predictions of what the system will in fact do; *instead they indicate the type of behaviour*

(将来の動向を指し示すコンピューターシミュレーションの結果は、信頼すべきものであり、現実のシステムそのものの行動を正確に予測している、と理解してはならない; その行動のいくつかのタイプを呈示するにすぎない)

Huggett, R., 1980, Systems Analysis in Geography, pp.107-108.

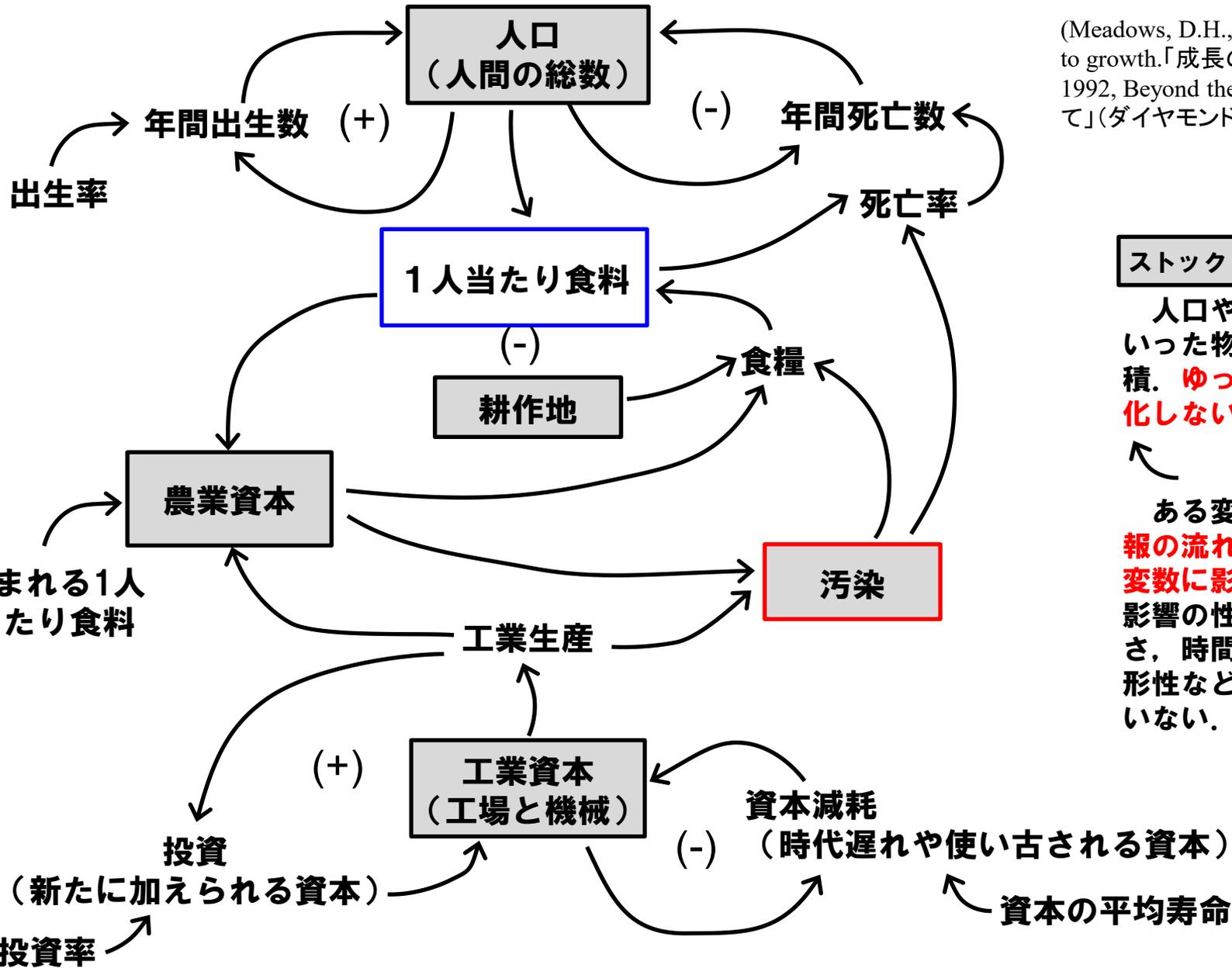
(藤原・米田訳“地域システム分析”, 古今書院, p.124)



システムのイメージ

複数の構成要素からなり、それぞれが相互作用し、秩序性をもち、相互に物質やエネルギーなどの流れがある

人口・資本・農業・汚染のフィードバックループ (+) (-)



(Meadows, D.H., et al., 1972, Limits to growth.「成長の限界」, 1992, Beyond the limits「限界を超えて」(ダイヤモンド社))

ストック

人口や工場, 汚染といった物質的数量の蓄積. ゆっくりとしか変化しない.

ある変数が物質や情報の流れを通じて他の変数に影響を与える. 影響の性質や程度, 速さ, 時間的遅れ, 非線形性などは表現されていない.

Huggett, R. (1980)

-
- ```
graph TD; A["The lexical phase
(語彙段階)"] --> B["Parsing phase
(説明段階)"]; B --> C["Modelling phase
(モデル化段階)"]; C --> D["Analysis phase
(分析段階)"]; D --> A;
```
- **基本的なシステム成分の認識**
    - ✓ システムに関する仮説, 課題の識別
    - ✓ システムの境界の設定
    - ✓ システムの状態を定義する状態変数の選択
  - **システム成分間の関係の定義**
    - ✓ 例:理論式, 経験式, 相関係数
  - **システム成分の状態変数に作用し, システムの状態を変化させるメカニズムの説明**
  - **パラメータや定数に実際の値を与えてモデルを操作し, モデルを調整**
  - **システムの振る舞いを記述するモデルの解明**
    - ✓ 時に, 評価可能な結果を生み出す

◆もし, 分析段階における結果が十分でないとすれば(通常, 実際に観察されたシステムの状態変化と結果があまり対応していないことを意味する), そのモデルを適切なものに修正するために, 以上の手順が再び繰り返される◆

## 福島の森林内での放射性セシウム動態 —モデル相互比較の結果と解析—

Hashimoto, Tanaka, Komatsu et al. (2021)  
Journal of Environmental Radioactivity  
DOI: 10.1016/j.jenvrad.2021.106721

日仏英の6つの  
最新モデル

- CMFW (日)
- FoRothCs (日)
- RIFE1 (英・日)
- SOLVEG-II (日)
- TREE4 (仏)
- TRIPS2.0 (仏)

福島の森林のデータ



モデルの性能と不確実性を評価

- 事故初期 (10年以内)
  - 観測値を良好に再現
  - モデルによる違いも小さい
- 事故から50年間の予測値
  - 木材のセシウム濃度予測に、モデル間で大きな違いがあった
- 長期モニタリングデータでの検証が必要
- 根からの吸収量の説明が鍵

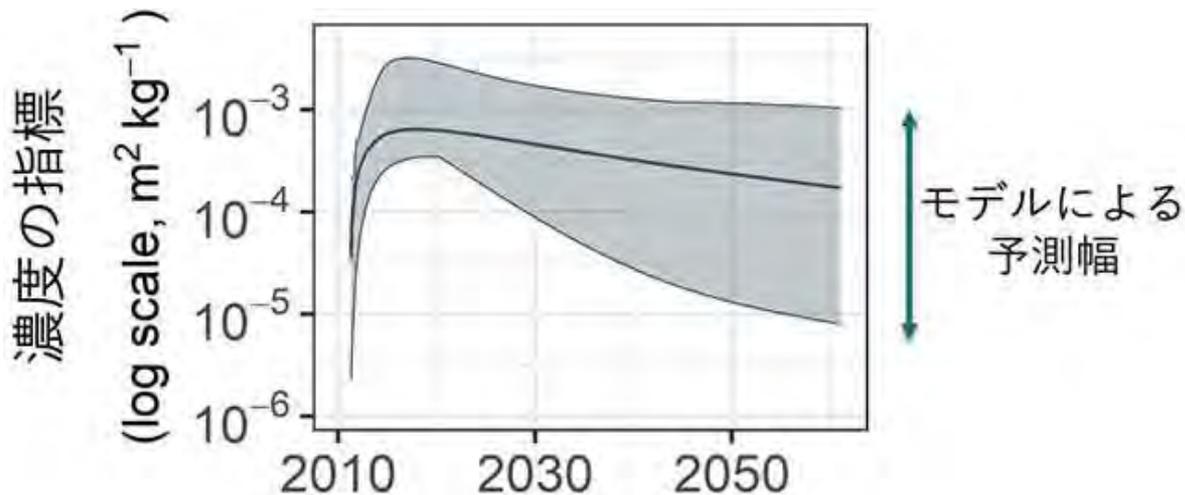


図1: 6つのモデルによる木材中の放射性セシウムの長期予測(スギ・ヒノキ林)。灰色の幅は予測値の最大と最小の値の範囲を示していて、中央の線は予測値の幾何平均を示している。

事故後に多くの調査が行われデータがとられたことから、事故から現在までの短期的なシミュレーションには十分な情報があるものの、さらに長期に予測結果を延ばした場合、モデルのパラメータの少しの違いが時間とともに予測値に大きな差を生み出すためと考えられます。

- 1) 事故から10年目後まではモデル間での差が小さく、実際の観測結果と一致しました。
- 2) 事故から50年後まで延ばして比較すると、木材の放射性セシウム濃度の予測はモデルによって大きく違っていました。

## ■ はじめに

- 現状・ニーズ
- 予測の方法論
- 森林のセシウム動態の課題

## ■ 調査地、調査方法

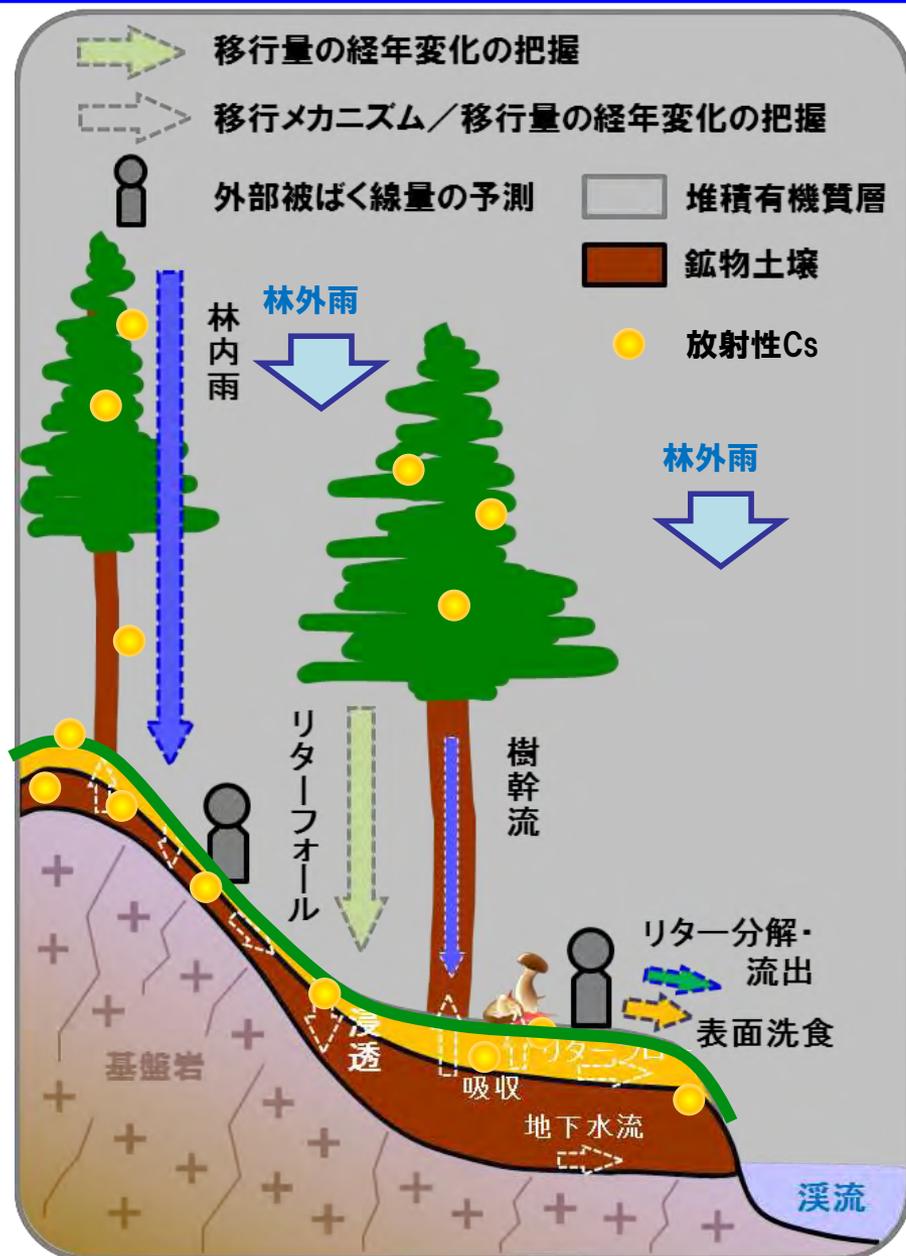
## ■ 調査結果

- 森林内でのセシウムの移動
- 森林内でのセシウムの分布
- 樹木へのセシウム吸収量の見積もり

## ■ まとめ・今後の課題

- 今後の研究の方向性





● 除染された生活圏へ、除染されずに残っている森林の放射性Csが移動し、再汚染されるのではないかと？

● 森林の林産物(樹木、きのこ、山菜)に放射性Csが取り込まれ、今後、出荷できない・食べられないのではないかと？

● 除染されていない林の隣接地で生活すると/林に入ると(山菜取り、森林保全)、被ばくするのではないかと？

- 除染された生活圏へ、除染されずに残っている森林の放射性Csが移動し、再汚染されるのではないか？

## 森林内での移動、林外への流出(様々な森林環境)

- ✓ 未除染地、除染地、山岳地、火災跡地、溪流域等の様々な森林環境での長期観測・経年変化

- 森林の林産物(樹木、きのこ、山菜)に放射性Csが取り込まれ、今後、出荷できない・食べられないのではないか？

## 森林内のCs分布と経年変化

- ✓ 地上部(樹木)と地下部(リター、土壌層)における放射性Cs分布と経年変化
- ✓ リター、土壌層における放射性Csの分布と経年変化
- ✓ 樹木各部(葉、枝、樹皮、木部)の放射性Cs分布と経年変化

## 林産物のCs移行 溶存態Csの生成と移行

- ✓ きのこ/山菜とリター/土壌での移行
- ✓ 樹木とリター/土壌での移行
- ✓ リター分解に伴う溶存態Cs生成と移行
- ✓ 源頭域における溶存態Csの生成と移行

- 除染されてない林の隣接地で生活すると/林に入ると(山菜取り、森林保全)、被ばくするのではないか？

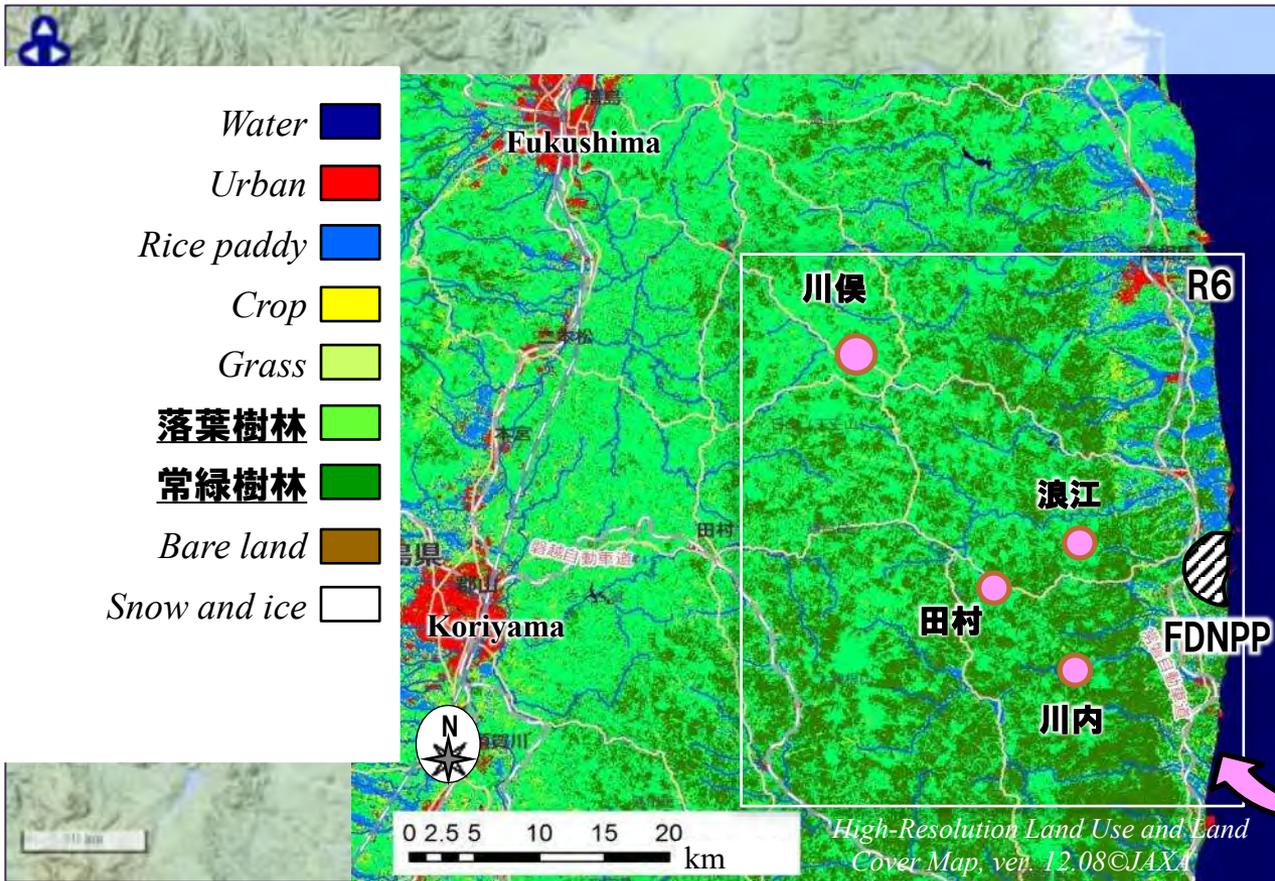
## 空間線量評価ツールの整備

- ✓ 森林各部の放射性Cs分布の経年変化
- ✓ 森林における空間線量率の分布と経年変化

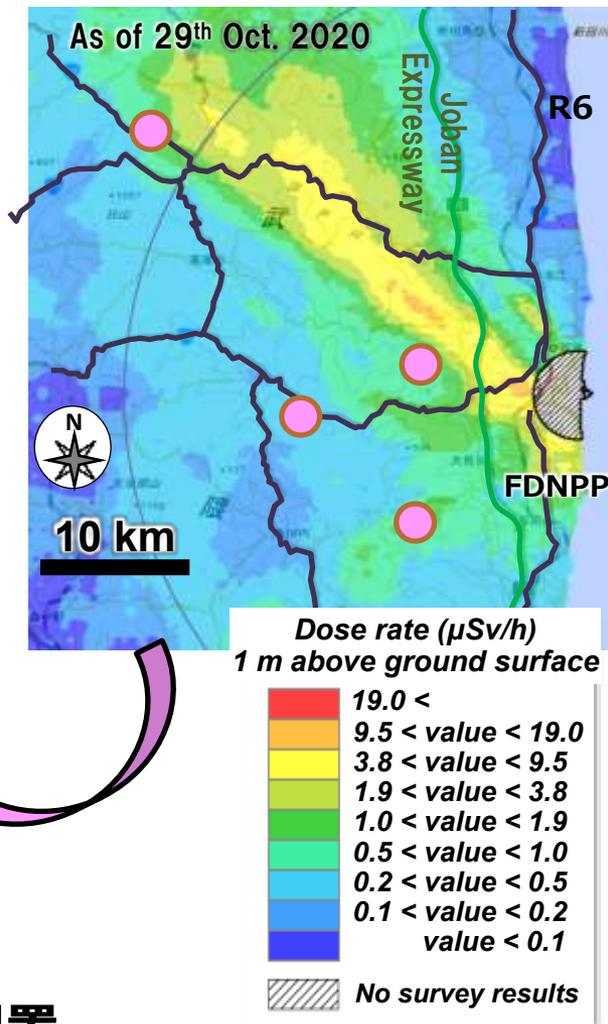
## 土地利用

○ 調査地

Relief map is based on the 10 m DEM of Base map information by GSI



## 空間線量率



- 山地の森林が大部分を占める
- 北西ブルームと南西ブルームに沿う地点に調査地を配置

## 調査地



| 植生                                                                                                          | 地形                                                                                                           | 土壌                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 川俣町山木屋地区(降水量 1221.7mm/年)                                                                                    |                                                                                                              |                               |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>落葉広葉樹林</b><br/>(アカマツ・コナラ)</li> </ul>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 南向きの谷地形</li> <li>✓ 緩～急傾斜の斜面</li> <li>✓ 傾斜や方位の変化が大きく複雑な地形</li> </ul> | 褐色森林土<br>観測プロット/緩<br>観測プロット/急 |
| 浪江町井出地区(降水量 1539.7 mm/年)                                                                                    |                                                                                                              |                               |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 上流) <b>落葉広葉樹林</b></li> <li>✓ 下流) <b>常緑針葉樹林</b><br/>(スギ)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 急峻な谷地形</li> <li>✓ 川房)ガリー侵食による運搬・堆積</li> <li>✓ 井出)火災跡地</li> </ul>    | 堆積性土壌<br>真砂土<br>観測プロット/急      |
| 田村市 岩井沢地区(降水量 1180.5 mm/年)                                                                                  |                                                                                                              |                               |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>落葉広葉樹林</b></li> </ul>                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 平坦な地形</li> </ul>                                                    | 褐色森林土<br>令和3年度より調査開始          |
| 川内村荻地区 (荻ダム湖) (降水量 1465.1 mm/年)                                                                             |                                                                                                              |                               |
| < 荻地区 A ><br><ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>常緑針葉樹林</b><br/>(スギ林)</li> </ul>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 北向きの谷地形</li> <li>✓ 中程度～急傾斜</li> <li>✓ 尾根-斜面-谷底からなる単純な地形</li> </ul>  | 観測プロット/急                      |
| < 荻地区 B ><br><ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>常緑針葉樹林</b><br/>(スギ林)</li> </ul>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 南向きの谷地形</li> <li>✓ 急傾斜</li> <li>✓ 尾根-斜面-谷底からなる単純な地形</li> </ul>      | 褐色森林土                         |

# 植生：山地の森林

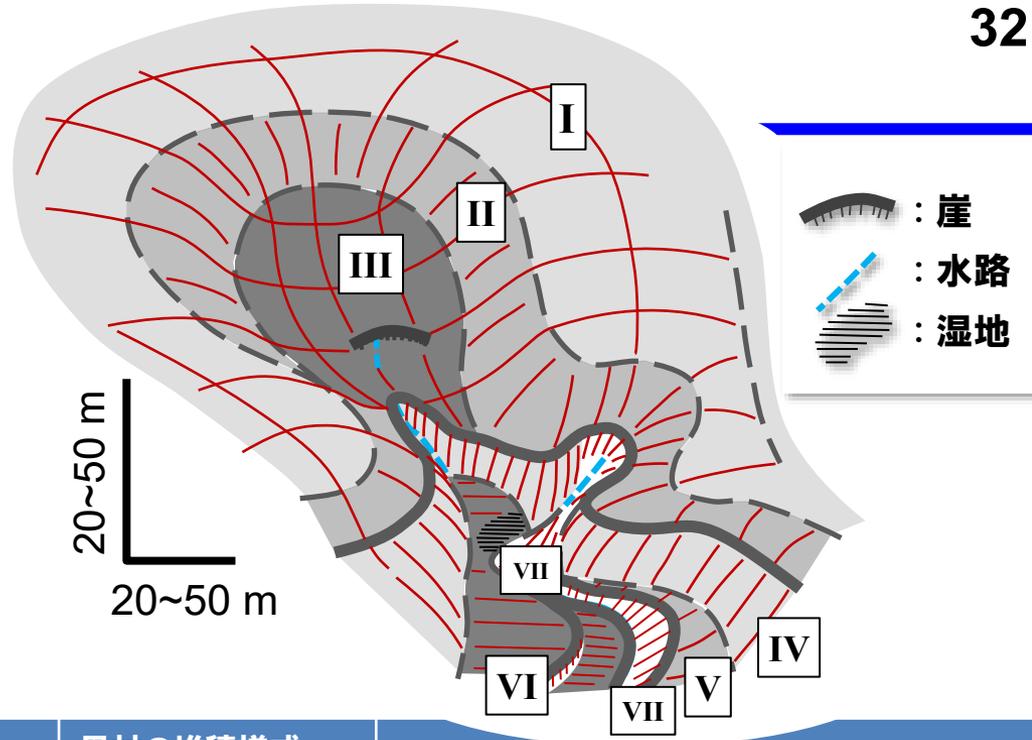
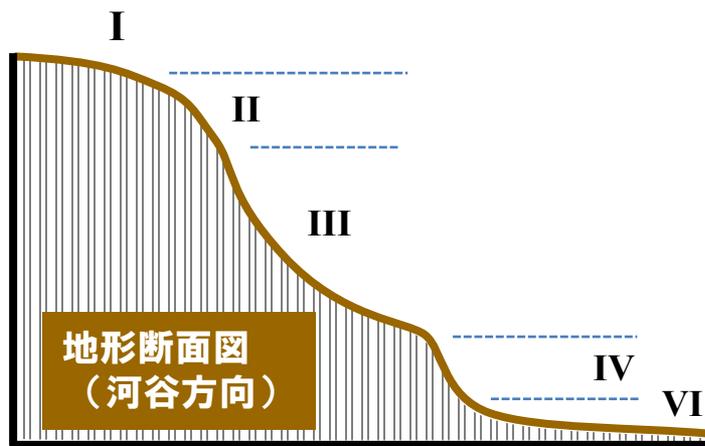


(落葉広葉樹林、ナラ林)



(常緑針葉樹林、スギ人工林)

# 地形：谷頭付近の微地形単位



田村(1999)微地形分類と地形発達, 古今書院, を一部改変

| 微地形単位           | 主な水の動き             | 土壌の移動過程                            | 母材の堆積様式<br>湿潤状況             | 地形の変化                                   |                                         |
|-----------------|--------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
| I 頂部斜面<br>頂部平坦面 | 鉛直方向               | ごくわずかな葡行                           | 残積成<br>弱乾性                  | やや安定<br>弱い凸型従順化                         | ときに大きく破壊される。現在は徐々に変化しつつ、外形の形成はすでに終了している |
| II 上部谷壁斜面       | 鉛直方向<br>(斜面方向)     | 葡行                                 | 葡行成、土層薄い<br>適潤～弱乾性          | やや不安定<br>凸型従順化                          |                                         |
| III 谷頭凹地        | 鉛直及び斜面方向、<br>水みち流  | 斜面上部からの崩落、<br>堆積、葡行、崩壊<br>(水みち侵食)  | 崩壊成、土層厚い<br>適潤～一部弱湿         | 不安定<br>凹型従順化と凹型急峻化ないし<br>一時的な線状掘り込みとが交互 |                                         |
| IV 下部谷壁斜面       | 鉛直及び斜面方向、<br>飽和表面流 | 葡行、崩壊<br>(水みち侵食)                   | 葡行成、土層薄い<br>弱乾性～適潤性         | きわめて不安定<br>凹型急斜面維持<br>新しい谷頭に発生          |                                         |
| VI 谷底面          | 表面流<br>水みち流        | 斜面上部からの崩落、<br>堆積、雨洗、水みち侵食、<br>氾濫堆積 | 崩積性～水積成<br>土層厚い<br>弱湿～きわめて湿 | きわめて不安定<br>平滑化と線状掘り込みとが交互               | 現在活発に変化している                             |

# 土壌：土壌層位(落葉広葉樹林・スギ林の例)

黒ボク土

褐色森林土



● 試料採取地点

褐色森林土



←過去の  
地表面

マサ

←有機質層が  
繰り返している

スギ林  
(常緑針葉樹)

竹林

約 30 m

## ■ はじめに

- 現状・ニーズ
- 予測の方法論
- 森林のセシウム動態の課題

## ■ 調査地、調査方法

## ■ 調査結果

- 森林内でのセシウムの移動
- 森林内でのセシウムの分布
- 樹木へのセシウム吸収量の見積もり

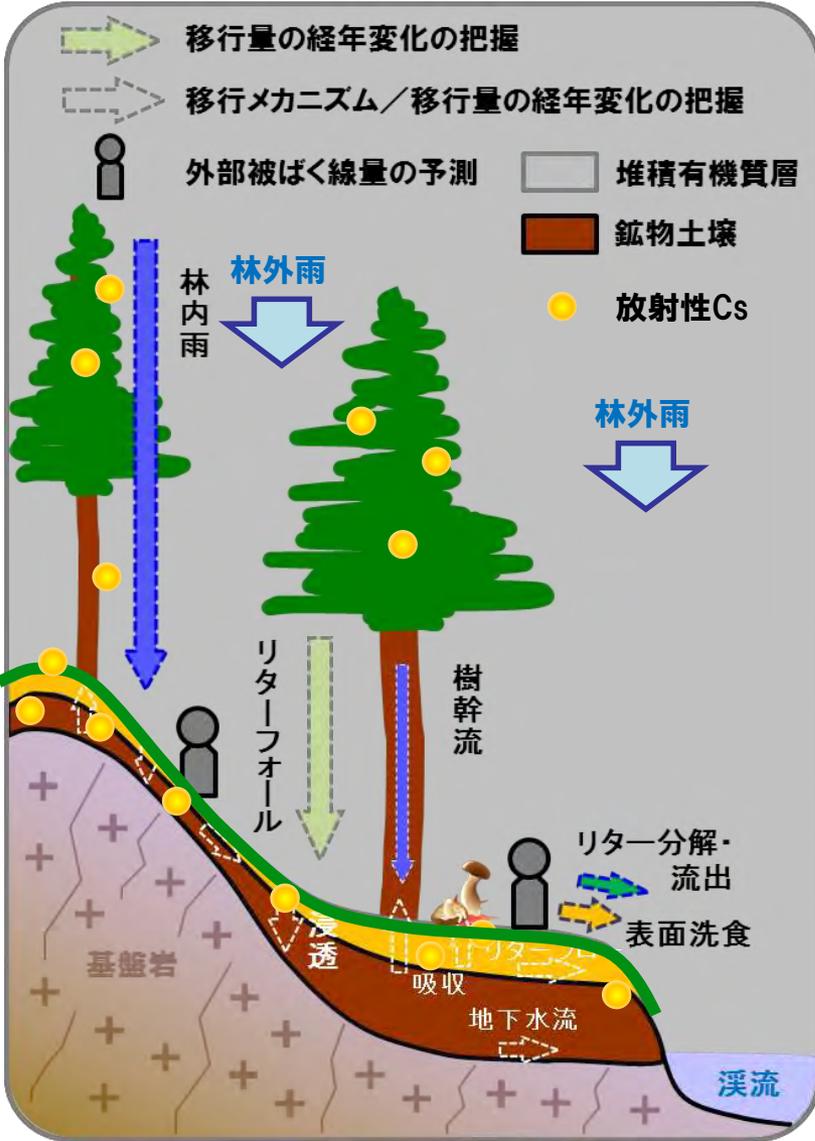
## ■ まとめ・今後の課題

- 今後の研究の方向性



## ① 森林内での移動、林外への流出 (様々な森林環境)

✓ 未除染地、除染地、山岳地、火災跡地、渓流域等の**様々な森林環境**での長期観測



# 森林での放射性Cs動態→林床を中心として考える

森林内での移動  
林外への流出

**Input**

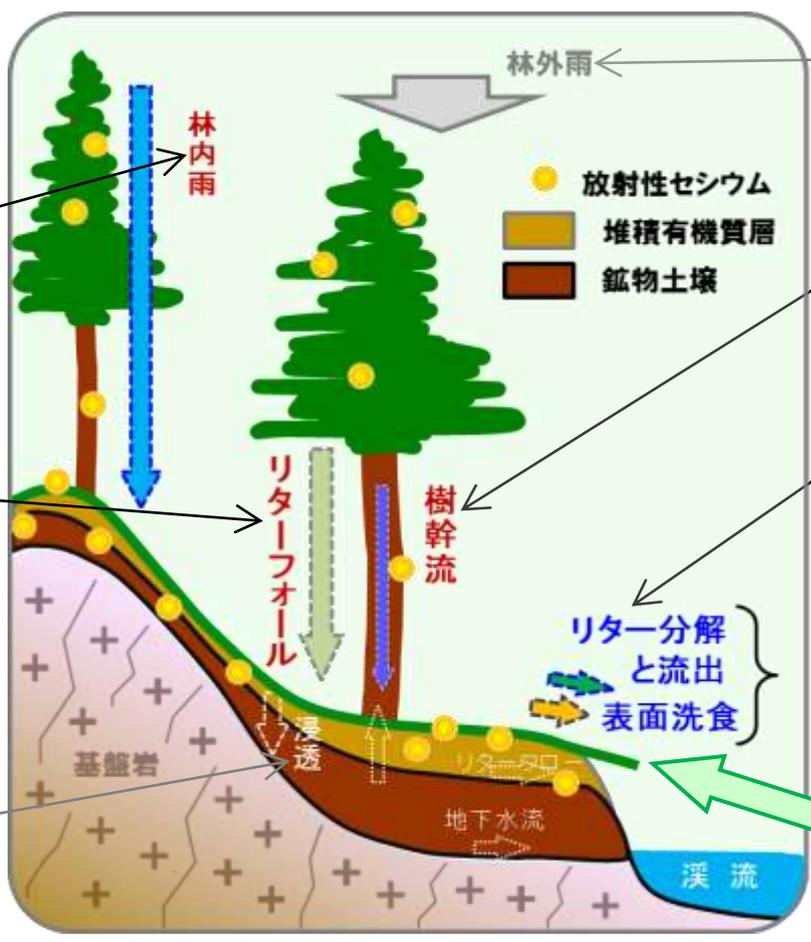
➤ **樹冠通過雨 (林内雨)**

**Input**

➤ **リターフォール**

**output**

➤ **土壤中の深さ方向への移行**



➤ **降雨 (林外雨)** **Input**

➤ **樹幹流** **Input**

➤ **表面流** **Output**

➤ **土壌流出** **Output**

**林床**

すべてのプロセスが林床を經由  
→林床を基準として<sup>137</sup>Csの流出と流入をとらえる

- 樹冠・樹幹→ →林床  
林内雨(水)、樹幹流(水)、リターフォール(落葉など)
- 林床→ → → →林外  
表面流出(水)、土壌流出(土壌粒子)

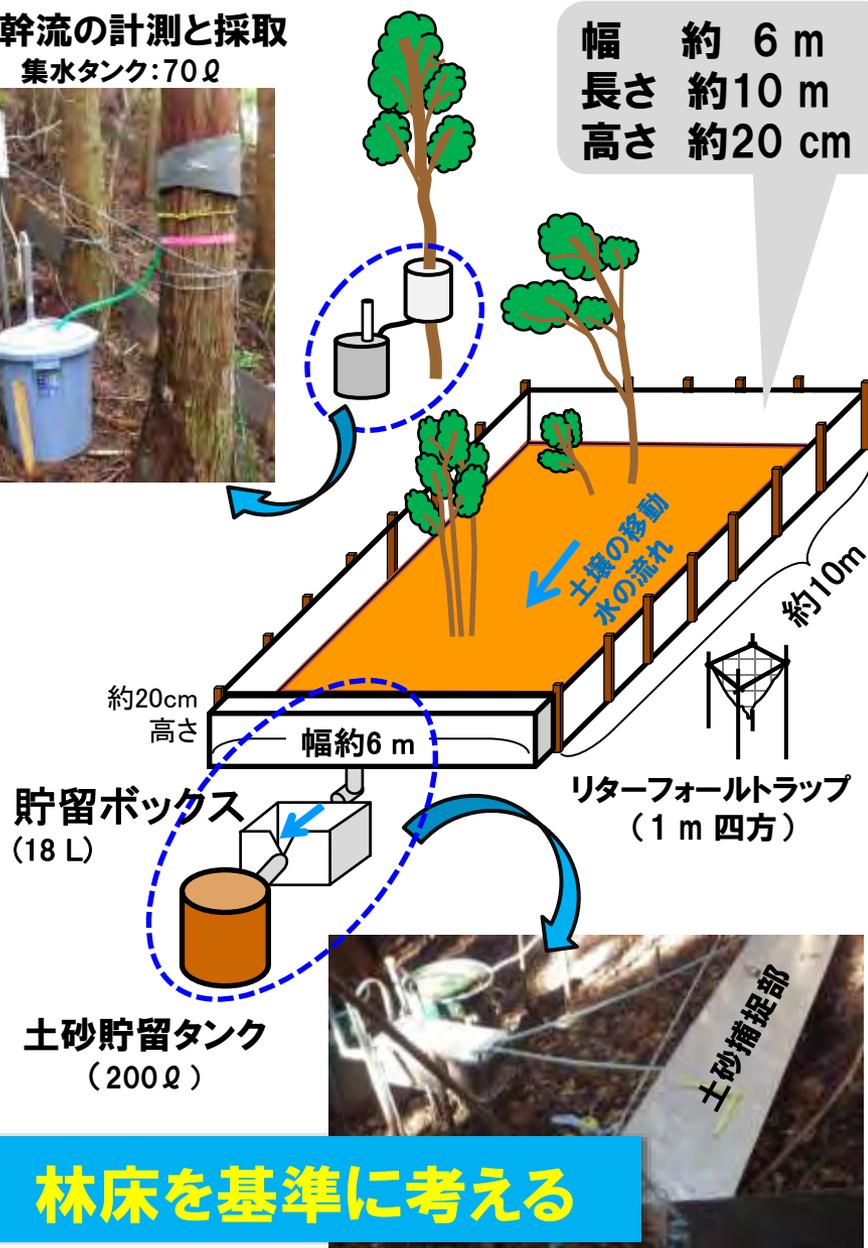
# 森林からの放射性Cs流出量、流入量の観測

森林内での移動  
林外への流出

樹幹流の計測と採取  
集水タンク:70ℓ



幅 約 6 m  
長さ 約10 m  
高さ 約20 cm



林内雨量計  
+  
降雨採取  
(2ℓ)

樹冠から林床へ  
(放射性Csの流入)

- 林内雨 → 「林内雨量」の観測  
→ 「林内雨」の採取
- 樹幹流の発生  
→ 「樹幹流下量」の観測  
→ 「樹幹流」の採取
- リターフォール  
→ リターフォールの採取

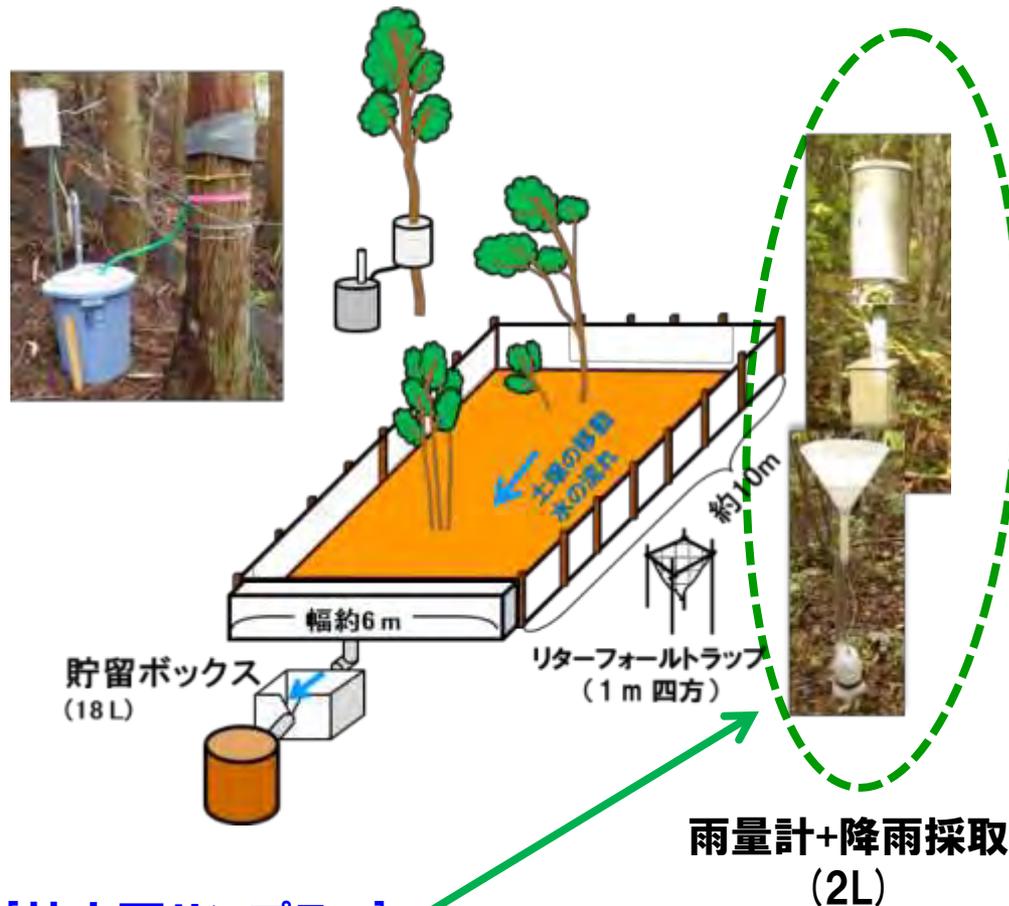
林床から林外へ  
(放射性Csの流出)

- 表面流と土壌流出の発生  
→ 「貯留ボックス」における水位観測  
→ 「土砂貯留タンク」で全量回収

林床を基準に考える

ある期間 / ある面積における放射性Cs流出  
入量の定量的評価:  $[Bq\ m^{-1}\ 期間^{-1}]$

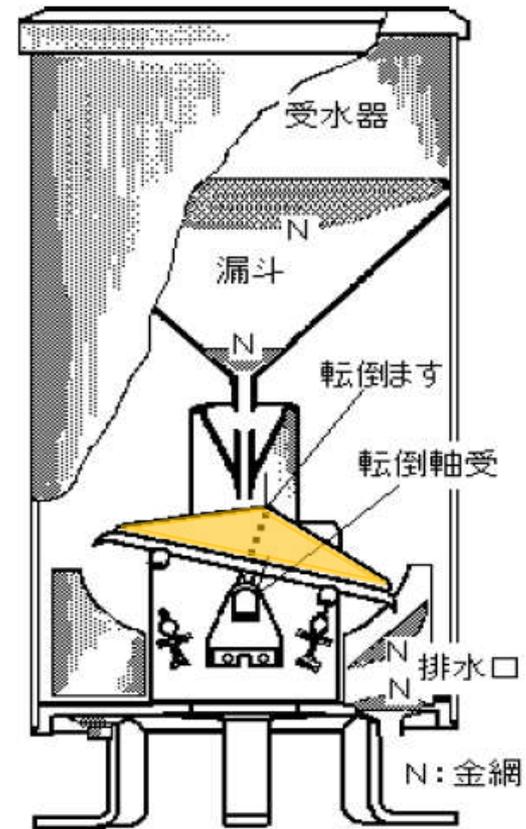
# 林内雨の観測



## [林内雨サンプラー]

- ✓ 転倒ます型雨量計で降雨量を計測
- ✓ 雨量計と接続された採水ボトルで林内雨を採取(2L)

降雨

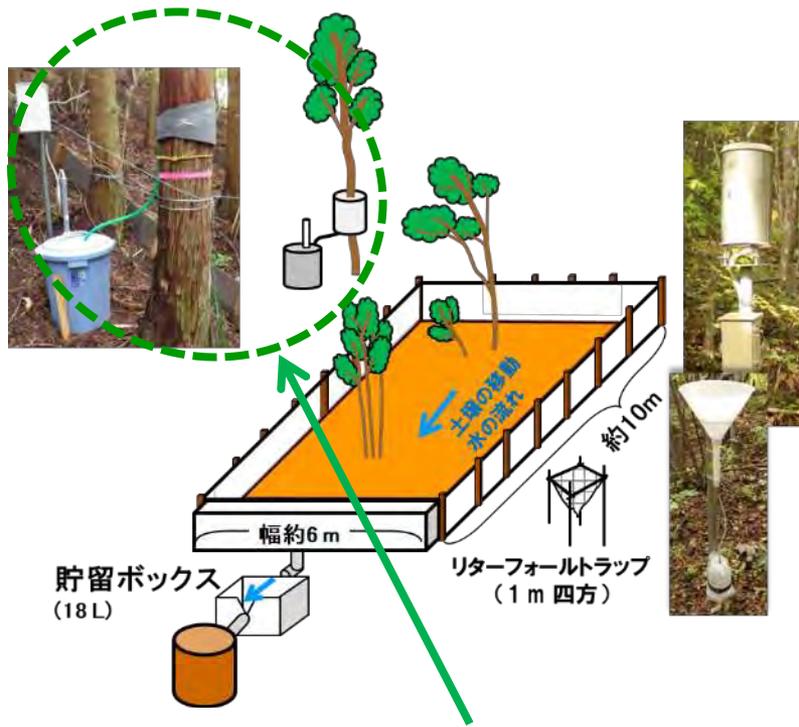


気象観測の手引き(気象庁, 平成10年9月)



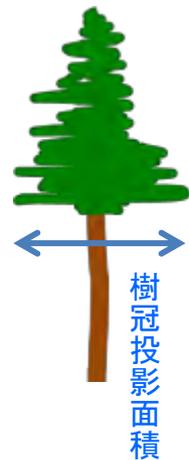
- ✓ 放射性セシウム沈着量( $\text{Bq}/\text{m}^2$ )  
= 降雨量( $\text{mm} = \text{L}/\text{m}^2$ ) $\times$ 放射性セシウム濃度( $\text{Bq}/\text{L}$ )

# 樹幹流の観測



## [樹幹流]

- ✓ 幹の周りに流水を受ける覆いを設置
- ✓ 流下する樹幹流をポリバケツに全量集め、水位から体積を算出(L)
- ✓ 体積を樹冠投影面積で割ることにより、単位面積当たりの樹幹流下量を算出(L/m<sup>2</sup>)



- ✓ 放射性セシウム沈着量(Bq/m<sup>2</sup>)  
= 樹幹流下量(L/m<sup>2</sup>)×放射性セシウム濃度(Bq/L)

## リターフォールの観測



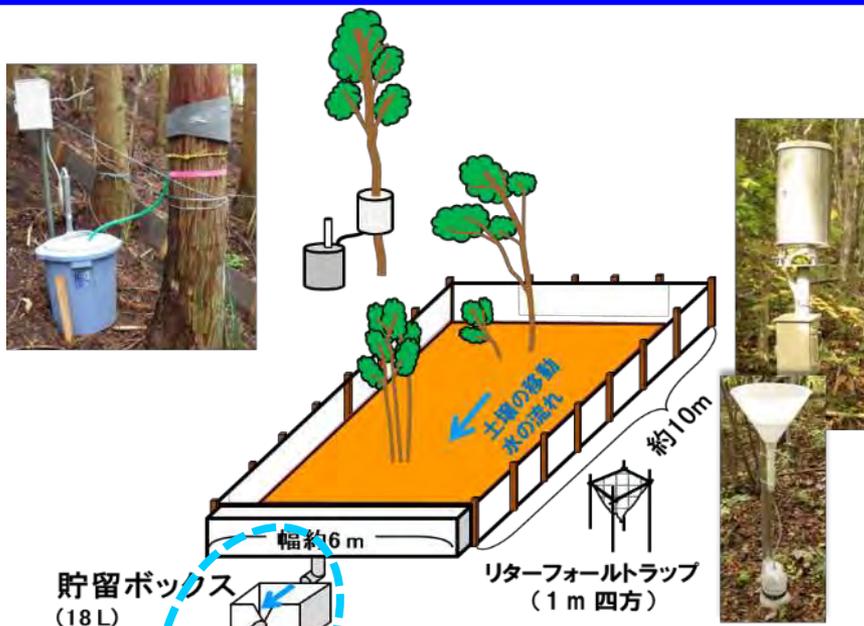
### [リターフォール量]

- ✓ 園芸用の支柱で1 m四方の枠を作り、寒冷紗を張る
- ✓ 放射性セシウム沈着量(Bq/m<sup>2</sup>)  
= リターフォール量(kg/m<sup>2</sup>)×放射性セシウム濃度(Bq/kg)



# 表面流出の観測

森林内での移動  
林外への流出



## [表面流出]

- ✓ タンク内に流入した表面流の水位を計測
- ✓ 水位→体積に換算し、表面流の流量(L/m<sup>2</sup>)を算出
- ✓ 流出した土砂等をすべて回収

## ✓ 放射性セシウム流出量(Bq/m<sup>2</sup>)

$$= \{ \text{表面流量 (L/m}^2\text{)} \times \text{放射性セシウム濃度 (Bq/L)} \} + \{ \text{土砂流出量 (kg/m}^2\text{)} \times \text{放射性セシウム濃度 (Bq/kg)} \}$$



# 表面流出の観測

森林内での移動  
林外への流出

## 観測プロットでの 試料採取



## 溶液試料の減圧ろ過



## 固相試料の分離



①三角堰内から  
採取したスギ・  
広葉樹の枝葉

②三角堰の底質(ス  
ギの実、4 cm以下  
の枝葉、土壌)

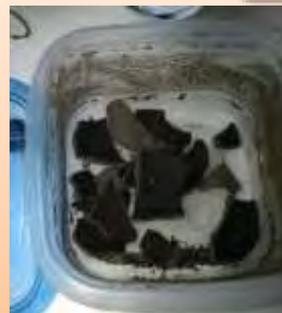
③三角堰内の水(試  
料採取時に濁った)

乾燥器  
による乾燥



リター\_杉の枝葉

リター\_落葉  
樹の枝葉



採取により浮遊した泥質  
分;粘土, シルト



三角堰の底質\_スギの実、  
枝葉、土壌

# 濃度, 量, インベントリー, 移動フラックス

## □ 放射性セシウム量 [Bq]

→どれくらいの量[Bq]の放射性セシウムが採取試料に含まれているか

$$\text{放射性セシウム濃度[Bq/kg]} \times \text{試料の重量[kg]} = \text{放射性セシウム量[Bq]}$$

(比放射能)

## □ 放射性セシウム沈着量・存在量(インベントリー) [Bq/m<sup>2</sup>]

→単位面積あたりに, どれくらいの量の放射性セシウムが含まれているか

$$\text{放射性セシウム量[Bq]} \div \text{試料の採取面積[m}^2\text{]}$$

$$= \text{放射性セシウム沈着量[Bq/m}^2\text{]}$$

※“沈着量=濃度[Bq/kg]×密度[kg/m<sup>3</sup>]×試料厚さ(深度)[m]”でも算出できる

## □ 放射性セシウム移動フラックス[Bq/m<sup>2</sup>・期間]

→ある期間において, 単位面積あたりから, どれくらいの量の放射性セシウムが移動したか

$$\checkmark (I_1 - I_2) / \text{観測期間}$$

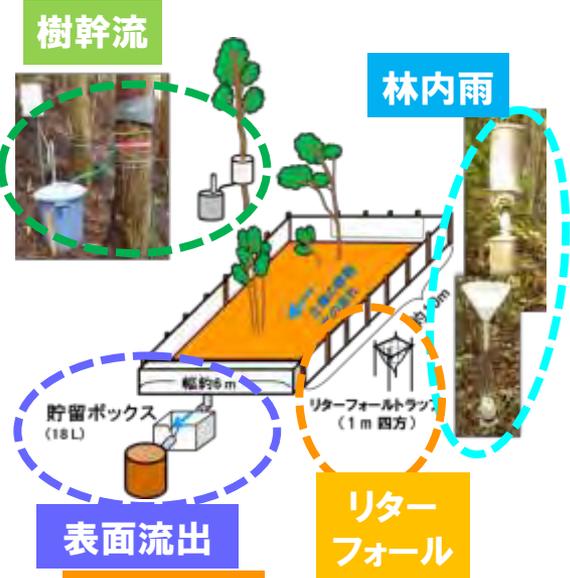
$$\checkmark (\text{放射性セシウム量[Bq]} \div \text{観測区画の面積[m}^2\text{]}) / \text{観測期間}$$

## □ 移動率・流出率[% / 期間]

→ある期間において, 初期沈着量[Bq/m<sup>2</sup>]に対して何パーセントの放射性セシウム量が移動・流出したか

# 林内雨, 樹幹流, 表面流の観測

森林内での移動  
林外への流出



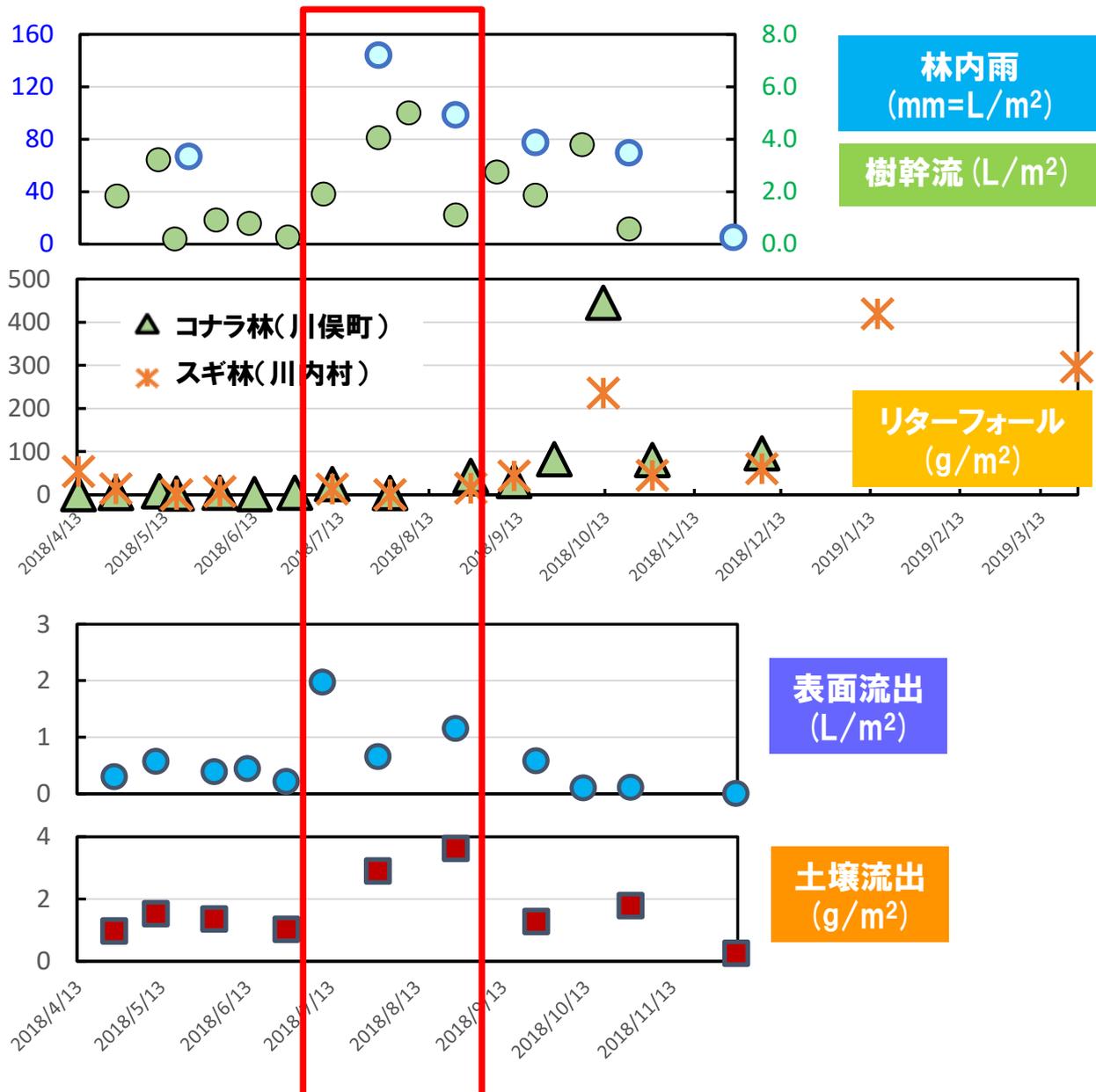
表面流出

リター  
フォール

土壌流出

川俣町山木屋地区  
(コナラ林; KW-plot)

2018年の観測  
データ



森林内での移動  
林外への流出

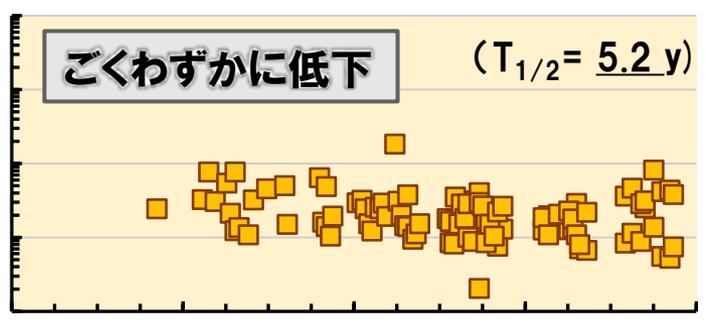
# 137Cs濃度の経年変化

Input

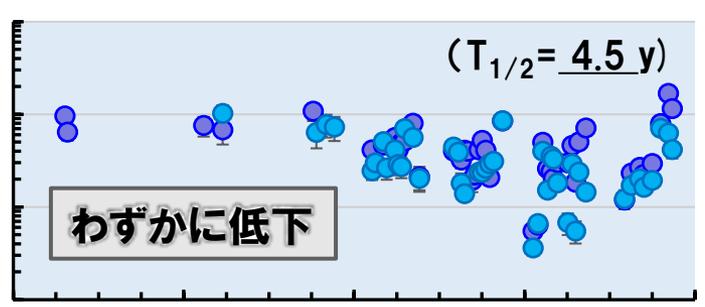
2013.4.1に減衰補正

**落葉広葉樹 (コナラ)** <sup>137Cs</sup>沈着量 497 kBq/m<sup>2</sup>

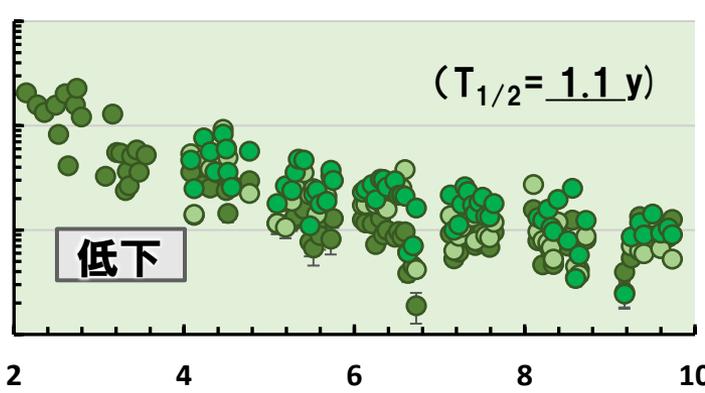
リターフォール  
(kBq/kg)



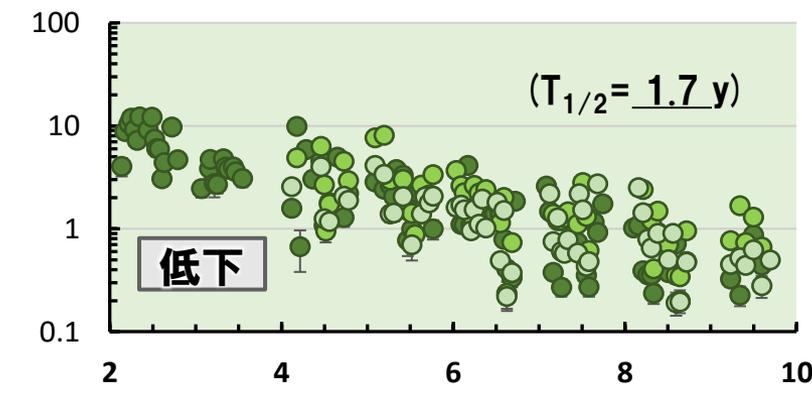
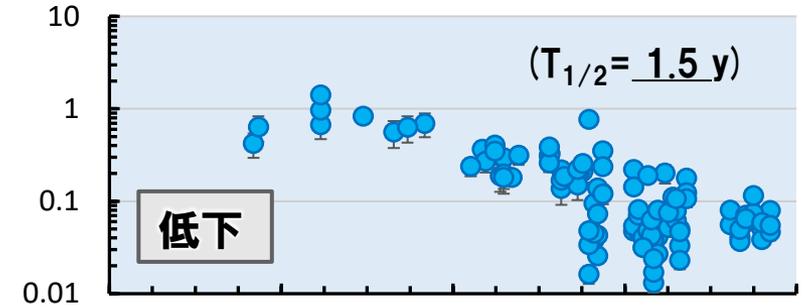
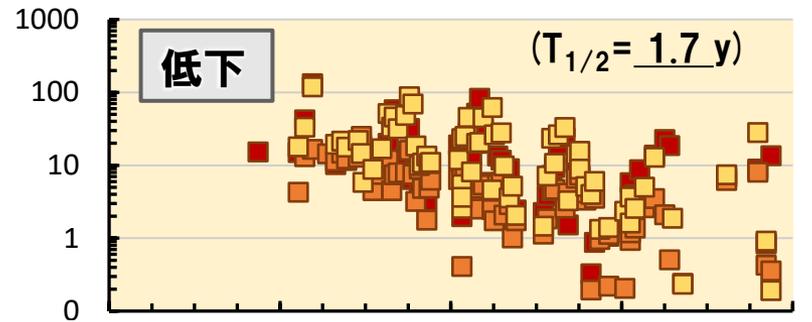
林内雨  
(Bq/L)



樹幹流  
(Bq/L)



**常緑針葉樹 (スギ)** <sup>137Cs</sup>沈着量 487 kBq/m<sup>2</sup>



時刻tにおける濃度  $C_t = \beta \cdot \exp(-kt)$  → 環境半減期(年)  $T_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$

# 137Cs濃度の経年変化

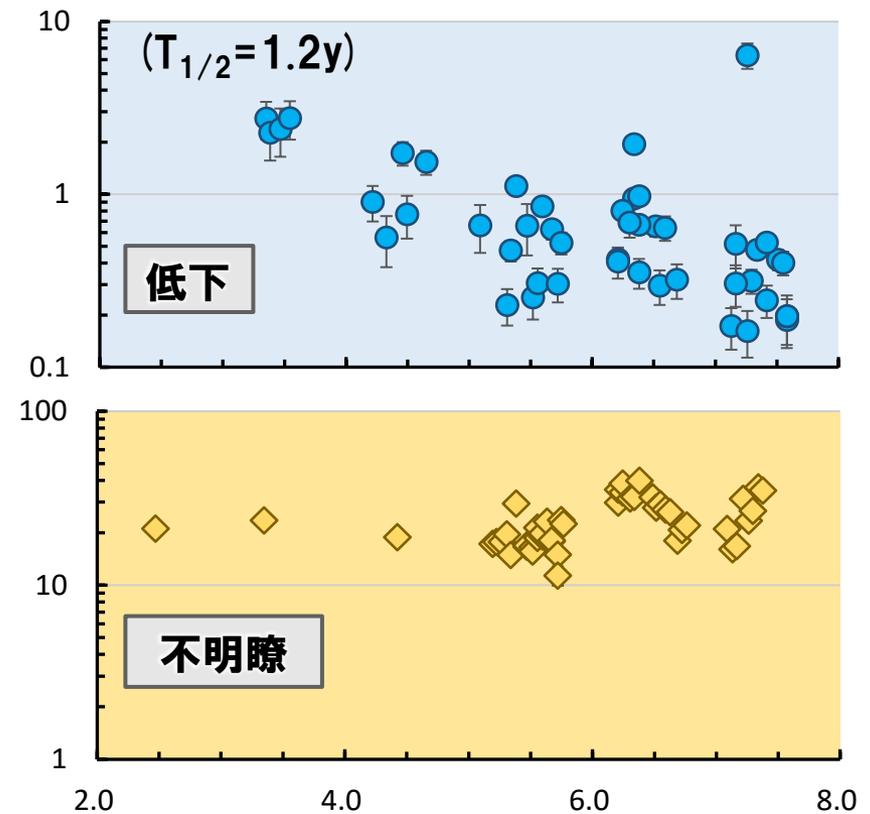
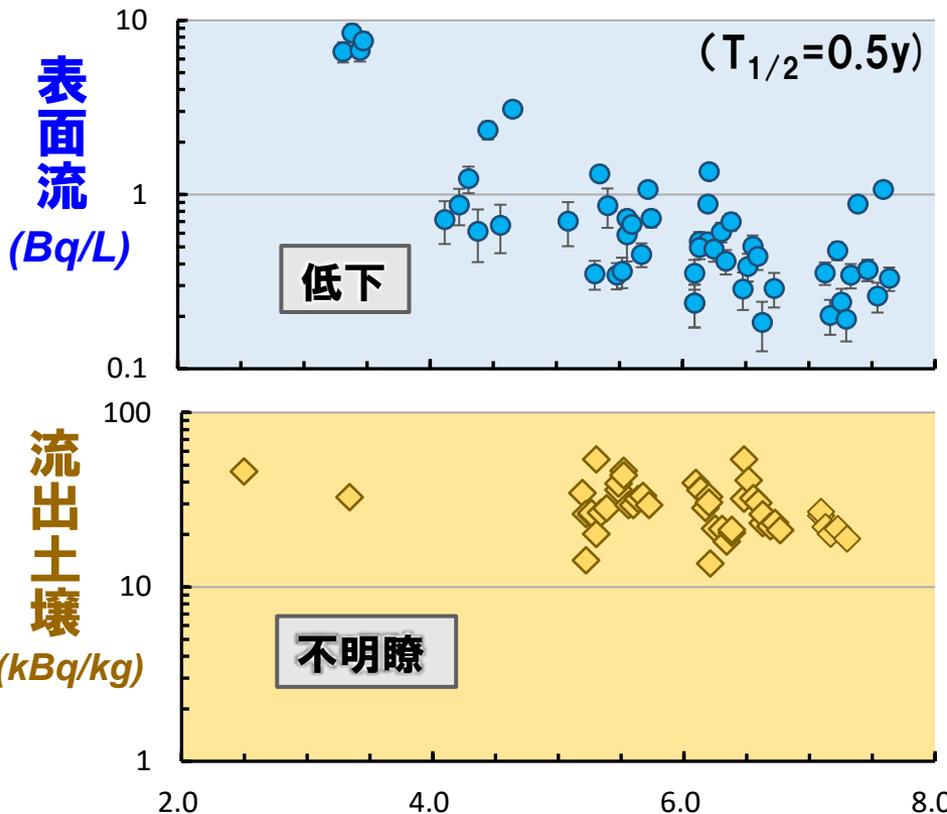
森林内での移動  
林外への流出

## 落葉広葉樹林 (コナラ林)

<sup>137</sup>Cs沈着量  
497 kBq/m<sup>2</sup>

## 常緑針葉樹林 (スギ林)

<sup>137</sup>Cs沈着量  
487 kBq/m<sup>2</sup>



環境  
半減期

|         | (落葉広葉樹)       | (常緑針葉樹) |
|---------|---------------|---------|
| リターフォール | (5.2年 > 1.7年) | 針葉と落枝   |
| 林内雨     | (4.5年 > 1.5年) | 針葉と落枝   |
| 樹幹流     | (1.1年 < 1.7年) | 樹幹      |
| 表面流     | (0.6年 < 1.7年) | 林床      |

● 流出土壌を除き、  
いずれも低下傾向

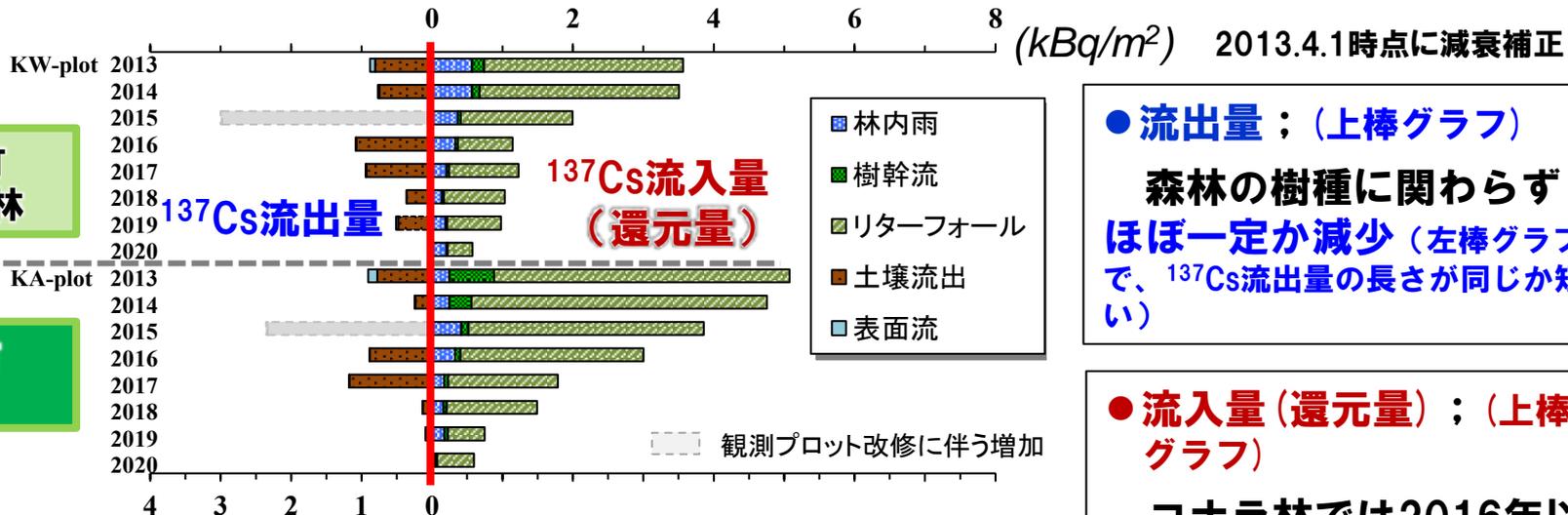
# 林床を基準とした<sup>137</sup>Csの流出入量

森林内での移動  
林外への流出

※傾斜約30度の  
山林にて観測

川俣町  
コナラ林

川内村  
スギ林



● **流出量**；(上棒グラフ)  
森林の樹種に関わらず  
**ほぼ一定か減少**(左棒グラフ  
で、<sup>137</sup>Cs流出量の長さが同じか短い)

● **流入量(還元量)**；(上棒  
グラフ)  
コナラ林では2016年以  
降は**ほぼ一定か減少**  
大部分がリターフオー  
ルによる流入  
スギ林では**減少傾向**(左  
棒グラフで、<sup>137</sup>Cs流入量の長  
さが年々短くなる)

● **流出量と流入量はともに、<sup>137</sup>Cs沈着量の1%程度  
かそれ未満(左表)**  
⇒森林内でセシウムはほと  
んど移動していない

| 観測年         | <sup>137</sup> Cs流出  |         | <sup>137</sup> Cs流入  |      | <sup>137</sup> Cs 沈着量<br>( $\text{kBq/m}^2$ ) |      |
|-------------|----------------------|---------|----------------------|------|-----------------------------------------------|------|
|             | ( $\text{kBq/m}^2$ ) | (%)     | ( $\text{kBq/m}^2$ ) | (%)  |                                               |      |
| 川俣町<br>コナラ林 | 2013                 | 0.9     | 0.18                 | 3.6  | 497                                           |      |
|             | 2014                 | 0.8     | 0.15                 | 3.5  |                                               | 0.71 |
|             | 2015                 | (3.6)*1 | (0.60)*1             | 2.0  |                                               | 0.40 |
|             | 2016                 | 0.9     | 0.22                 | 1.1  |                                               | 0.23 |
|             | 2017                 | 0.8     | 0.19                 | 1.2  |                                               | 0.25 |
|             | 2018                 | 0.4     | 0.07                 | 1.0  |                                               | 0.21 |
|             | 2019                 | 0.5     | 0.10                 | 1.0  |                                               | 0.20 |
| 2020        | —                    | —       | 0.6                  | 0.12 |                                               |      |
| 川内村<br>スギ林  | 2013                 | 0.9     | 0.19                 | 5.1  | 487                                           |      |
|             | 2014                 | 0.2     | 0.05                 | 4.8  |                                               | 0.98 |
|             | 2015                 | (2.4)*1 | (0.48)*1             | 3.9  |                                               | 0.79 |
|             | 2016                 | 0.9     | 0.18                 | 3.0  |                                               | 0.62 |
|             | 2017                 | 1.2     | 0.24                 | 1.8  |                                               | 0.37 |
|             | 2018                 | 0.1     | 0.03                 | 1.5  |                                               | 0.31 |
|             | 2019                 | 0.1     | 0.02                 | 0.7  |                                               | 0.15 |
|             | 2020                 | —       | —                    | 0.6  |                                               | 0.12 |

\*1 2015年は、観測プロット改修により流出量が増加

2013.4.1時点  
に減衰補正

## 森林内で観察される移動現象

### □ 降雨による侵食

- ✓ 雨滴侵食(リター被覆が無いか薄い林床)
- ✓ 樹幹流による樹木の根元付近の侵食
- ✓ 表面流による侵食(リター被覆が無い林床で顕著)
- ✓ リターフロー(広葉樹の落葉からなる林床斜面)
- ✓ 雨期(主に7月から10月)
- ✓ 比較的に広範囲

### □ フロスト・アクションによる移動

- ✓ 凍上とフロスト・クリープ(凍結融解作用)
- ✓ 凍結融解した土壌の傾斜方向へのスリップ
- ✓ 冬期
- ✓ 日中に日差しの差し込む南向き谷地形
- ✓ 林内では局所的

### □ マスムーブメントによる移動

- ✓ ガリ壁面、林道壁面や石取り場などの人為的な崖での土砂崩れ
- ✓ 主に、雨期および融雪期(3月)
- ✓ 林内では局所的

### □ 雪による侵食

- ✓ 積雪が斜面の傾斜方向へ移動し侵食
- ✓ 日中日差しの差し込む林床では、融雪水
- ✓ 積雪および融雪期
- ✓ 林内では局所的



# スギ林の林床

森林内での移動  
林外への流出

2017. 6. 8 浪江町



# 落葉広葉樹林の林床

森林内での移動  
林外への流出

2018. 10. 16川俣町



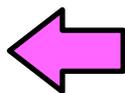
## 実際の除染作業



「除染関係ガイドライン」より抜粋  
平成25年5月 第2版(平成30年3月追補)  
(環境省、除染情報サイト)

## 除染地の状況

## ➤ 山地森林



下草/リター/表土除去による林床状況の変化  
→ 土壌流出に伴う放射性セシウム流出状況の変化

## ➤ 緩傾斜地、開けた傾斜地/平坦地(畑地)

## ➤ 森林に隣接する平坦地(家屋、機材小屋等)

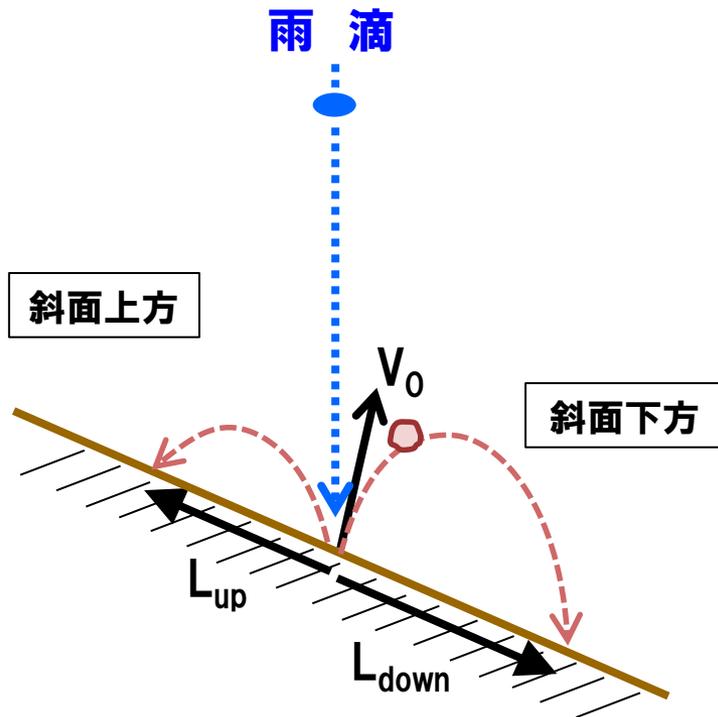


除染

未除染

# 雨滴侵食による土壌の移動

森林内での移動  
林外への流出

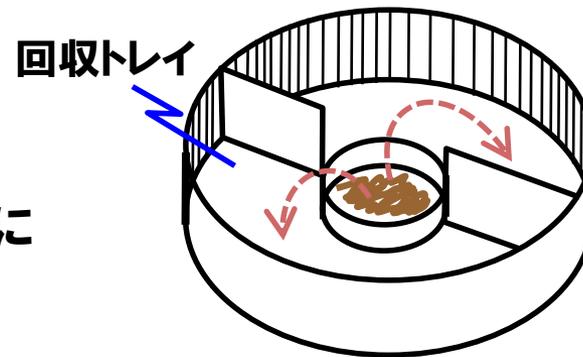


雨滴侵食を被った林床の例(川内村荻地区)

$$L_{\text{net}} = \frac{L_{\text{down}} - L_{\text{up}}}{2}$$

## □ 雨滴侵食:

樹冠を通過した雨滴・枝葉滴下が林床に到達し、林床の土壌が侵食される。



モーガン型  
スプラッシュカップ  
(Morgan, 1978)  
外径30cm, 内径10cm,  
高さ10cm

# 火災跡地の状況

## ● 林床被覆の状況

### <非延焼地>

- ✓ リターによる厚い被覆  
(4-7 cm厚)
- ✓ 土壌層の露出は確認できない
- ✓ 下層植生は認められない

## 延焼跡地

2017. 6. 26



### <延焼跡地>

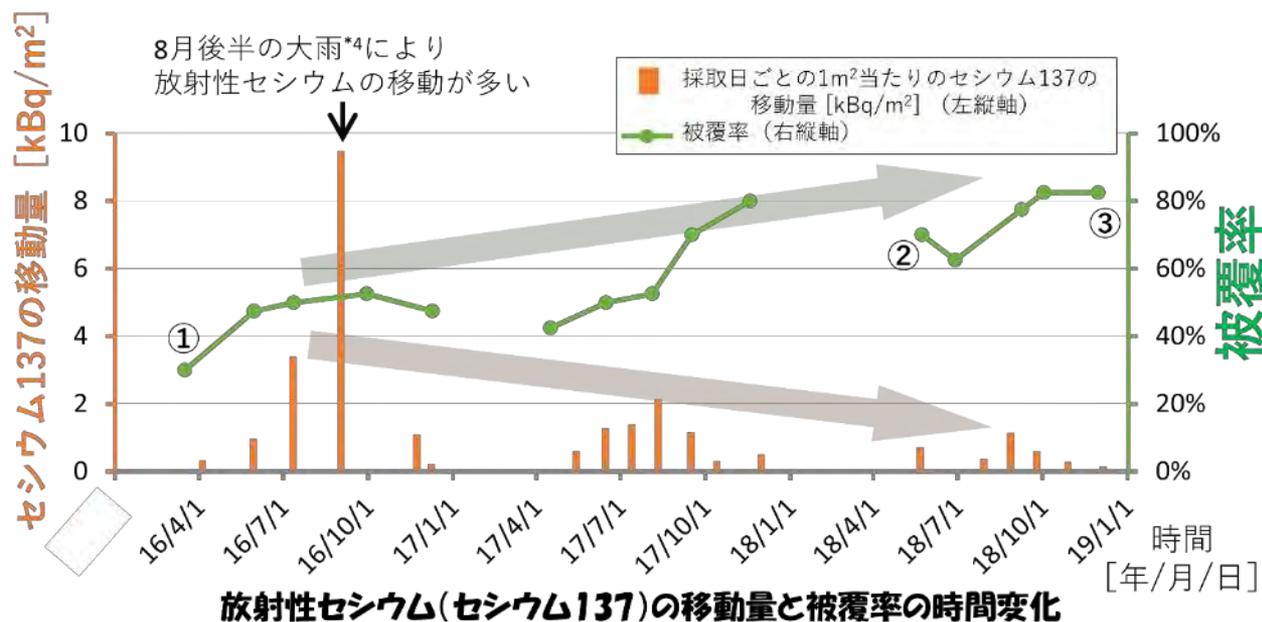
- ✓ リター層焼失
- ✓ 花崗岩礫、炭化した枝や樹皮
- ✓ 火災後に堆積したリター
- ✓ 階段状に斜面が凸凹している
- ✓ 草本類とササがごくわずかに生育



非延焼地

# 様々な森林環境における $^{137}\text{Cs}$ 流出量の比較

森林内での移動  
林外への流出



観測の結果、草や落葉で覆われた地面の割合 (被覆率)が増加するにつれて、放射性セシウムの移動量は減少していた。地面が草や落葉により覆われることで土の動きが抑えられ、放射性セシウムの移動量が減少したためと考えられる。

**5~10月は下草、11~12月は落葉で林床が覆われる。**

除染地

セシウムの流出率は、**2.55%(2016年)**から**0.65%(2018年)**へと落葉落枝の堆積および下草の回復とともに**低下**

# 森林内での移動 林外への流出

## 様々な森林環境 における<sup>137</sup>Cs 流出量の比較



### 林野火災 の跡地

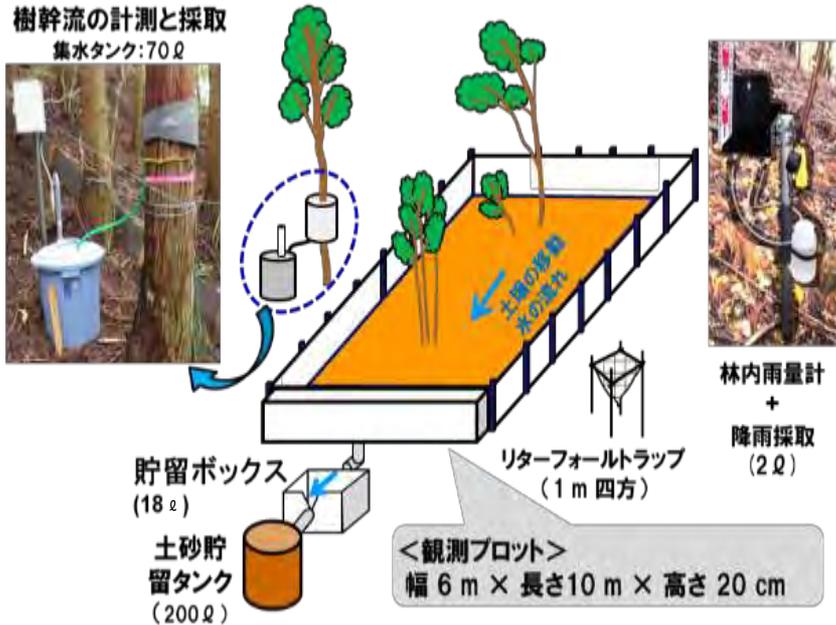


\* 2017. 6. 19時点に減衰補正

| 観測地  | 観測期間                  | 降雨量<br>(mm) | 被覆率     | <sup>137</sup> Cs沈着量*<br>(2017.6.19時点)<br>(Bq m <sup>-2</sup> ) | 流出物                          |                                                |            |
|------|-----------------------|-------------|---------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------|------------|
|      |                       |             |         |                                                                 | 乾燥重量<br>(g m <sup>-2</sup> ) | <sup>137</sup> Cs流出量*<br>(Bq m <sup>-2</sup> ) | 流出率<br>(%) |
| 火災跡地 | 2017年6月19日<br>～12月19日 | 949         | 16-58 % | 416k                                                            | 348                          | 10,806                                         | 2.60       |
|      | 2018年4月19日<br>～12月19日 | 828         | 79-84 % |                                                                 | 128                          | 2,635                                          | 0.63       |
| 非延焼地 | 2017年6月19日<br>～12月19日 | 949         | 90-92 % | 547k                                                            | 18                           | 810                                            | 0.15       |
|      | 2018年4月19日<br>～12月19日 | 828         |         |                                                                 | 19                           | 310                                            | 0.06       |

# 森林斜面からの<sup>137</sup>Cs流出率

## 森林内での移動 林外への流出



### 人為的改変 のない山林

- ・コナラ林; 川俣町山木屋地区
- ・スギ林; 川内村荻地区

コナラ林; **0.18→0.10%**

(2013年→2019年)

スギ林 ; **0.19→0.02%**

(2013年→2018年)

### 除染地

(除染翌年→3年後)

- ・川俣町山木屋地区

コナラ林; **2.55→0.65%**

(2016年→2018年)

※被覆率; **30→82%**

### 林野火災の跡地

(火災当年→2年後)

- ・浪江町井出地区

スギ林 ; **2.60→0.16%**

(2017年→2019年)

※被覆率; **10→95%**

➤ 人為的な行為がない森林では、**セシウム137流出率は0.1%のオーダー**

➤ 除染地と林野火災の跡地では、被覆率の回復とともに、**セシウム137流出率が2%から0.1%のオーダーへと低下していく**

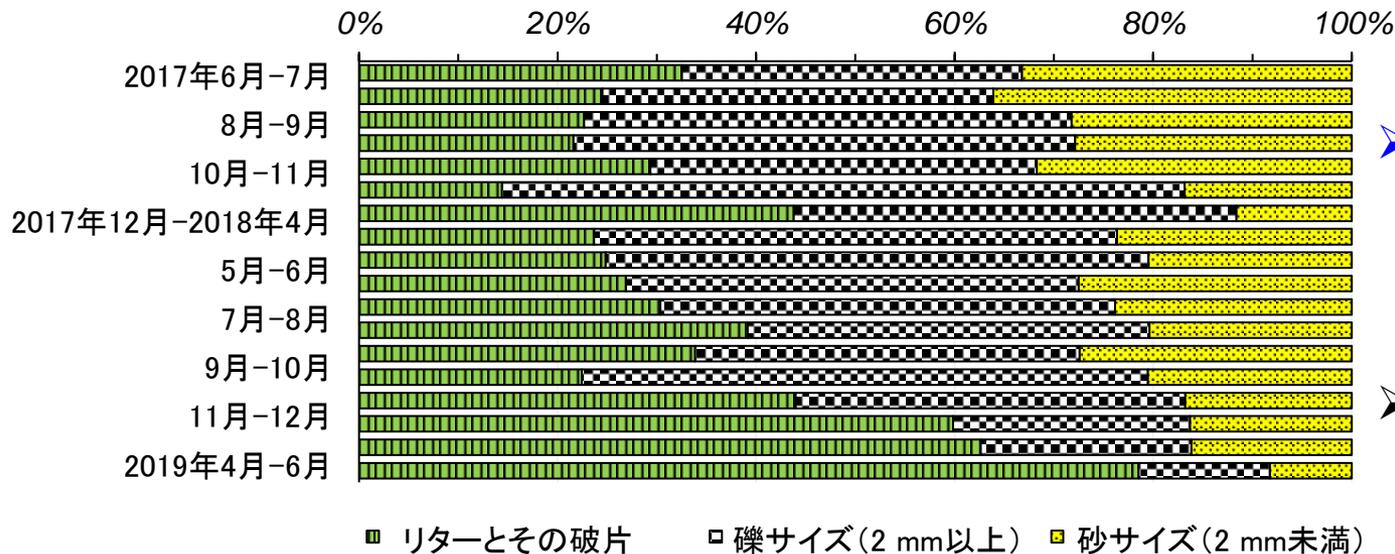
⇒ **林床被覆の回復が、セシウム137の流出率の低下に寄与している**



# 様々な森林環境における<sup>137</sup>Cs 流出量の比較

森林内での移動  
林外への流出

## 火災跡地からの流出物に含まれる土壌とリターの割合



- 林床が落葉落枝や植生で覆われることにより、土壌の移動が抑えられる。
- このため、森林斜面からの流出物にはリターが多く含まれるようになる。
- セシウム濃度は土壌で高く、リターで低い。そのため、リターが流出物の大部分を占めると、セシウム流出量が低下する。

## 除染された森林斜面からの流出物に含まれる土壌とリターの割合

| 観測プロット | 観測年度  | <sup>137</sup> Cs 濃度 (kBq/kg) |              |             | 流出物 (重量%)    |      |
|--------|-------|-------------------------------|--------------|-------------|--------------|------|
|        |       | 土壌粒子の重量 (g)                   | リター(落葉落枝の破片) | 深度0-1 cmの土壌 | リター(落葉落枝の破片) | 土壌粒子 |
| 除染地    | 2016年 | 24.5                          |              |             | 15           | 85   |
|        | 2017年 | 25.9                          | 14.5         | 26.3        | 3            | 97   |
|        | 2018年 | 21.4                          |              |             | 42           | 58   |
| 未除染地   | 2016年 | 33.0                          |              |             | 85           | 15   |
|        | 2017年 | 27.8                          | 9.6          | 162.8       | 88           | 12   |
|        | 2018年 | 23.7                          |              |             | 91           | 9    |

**流出物の変化が要因**

# 森林での放射性セシウム動態／課題

## 森林内での移動 林外への流出

### 森林内での移動、林外への流出 (様々な森林環境)

✓ 未除染地、除染地、山岳地、火災跡地、渓流域等の  
**様々な森林環境**での長期観測・経年変化

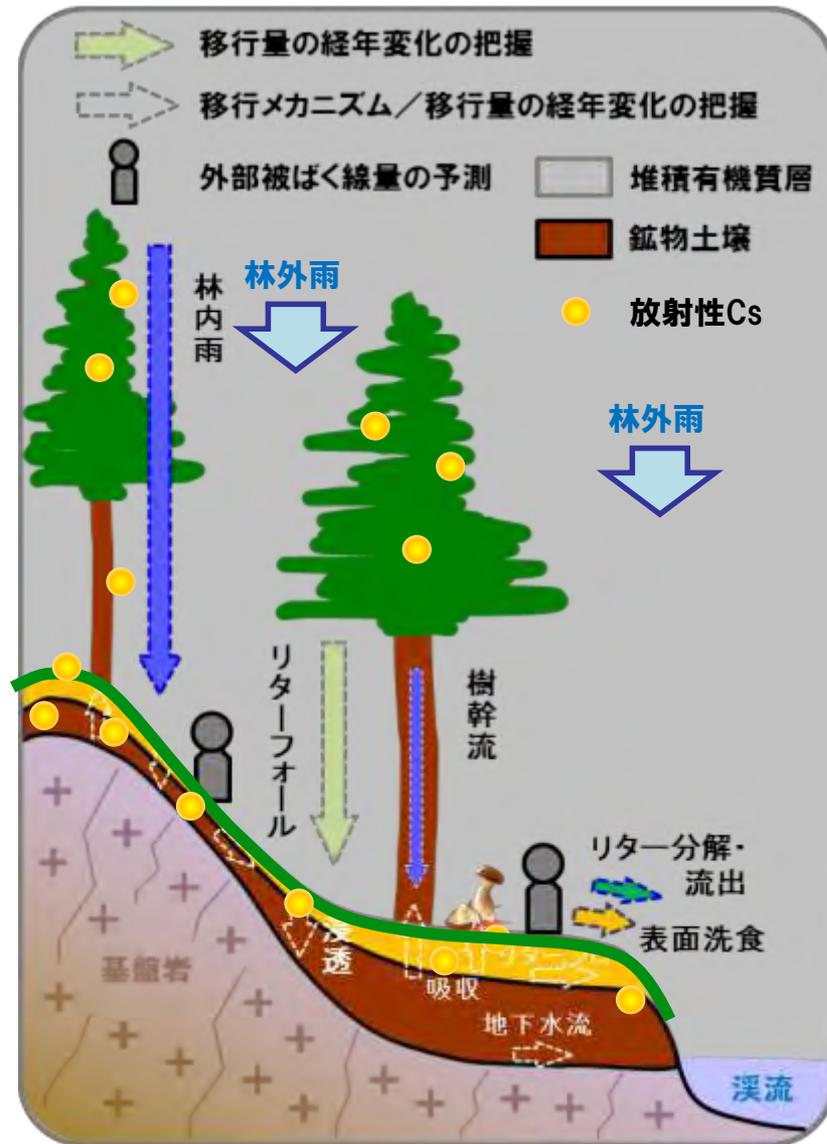
- 未除染の森林では～0.2%の流出率、除染地や火災跡地では一時的に2%台、被覆の回復とともに1%台を下回る（1年程度の回復期間が必要）
- 森林の地表面の被覆状況（被覆率）が流出率に大きく影響

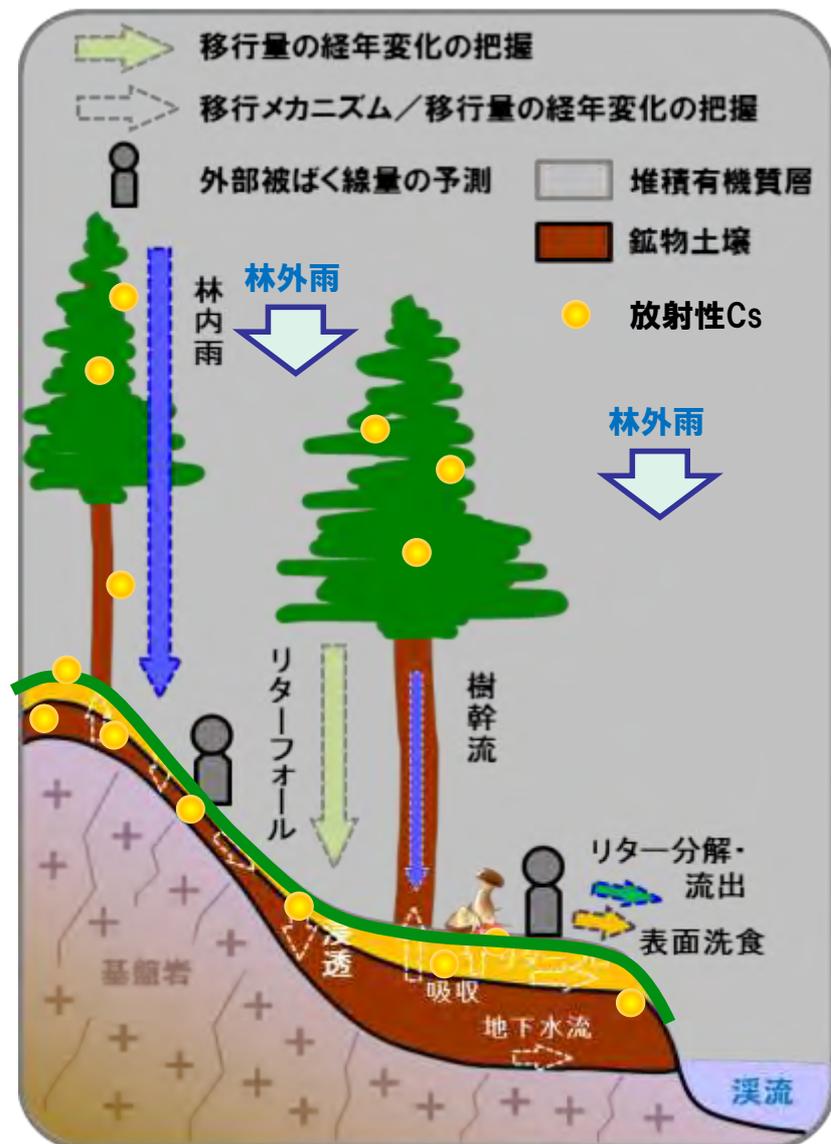
### <<sup>137</sup>Cs流出>

林床から流出する<sup>137</sup>Cs

= 森林から除去される<sup>137</sup>Cs

- 流出率に基づき単純計算すると・・・、山地森林における<sup>137</sup>Cs沈着量が半減するのは数十年～数百年後となり、森林環境に長期にわたり留まる傾向





### 森林内のCs分布と経年変化

- ✓ 地上部(樹木)と地下部(リター、土壌層)における放射性Cs分布と経年変化
- ✓ リター、土壌層における放射性Csの分布と経年変化
- ✓ 樹木各部(葉、枝、樹皮、木部)の放射性Cs分布と経年変化



## 森林のセシウム分布の調査

## ① 毎木調査 (直径の測定)



## ① 伐倒木の選定



## ① 毎木調査 (樹木本数、直径の計測)



## ① 伐倒木の選定



## ② 樹木の伐倒

## ③ 針葉と小枝

→ 秤量、前処理、分析

## ④ 樹皮

→ 形状の計測、秤量、前処理、分析

## ⑤ 立木円板

→ みかん割、心材と辺材の分離、容積密度の測定、前処理、分析

## 樹木

## ② 立木の伐倒



## ⑤ 立木円板の採取



## スクレーパープレート



## ライナー採土器



## 土壌

## ③ 枝葉の採取



## ④ 樹皮の採取

立木円板の  
みかん割

心材と辺材の分離

## ○リターと土壌の採取

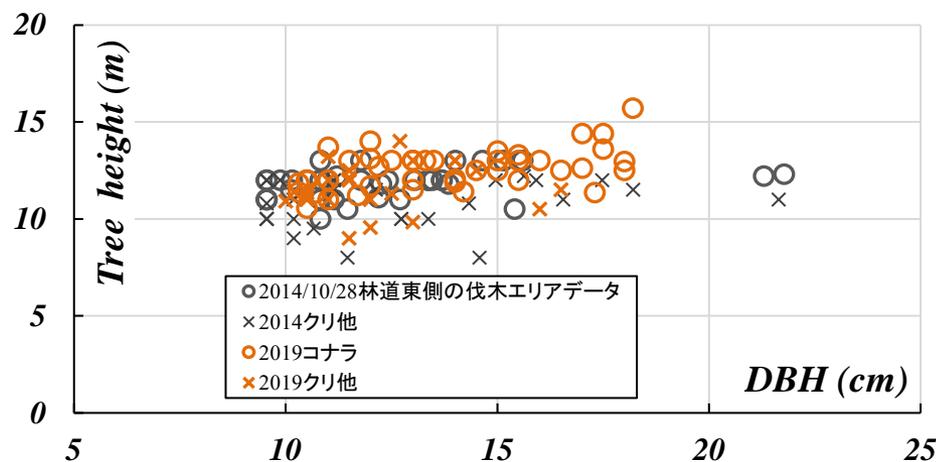
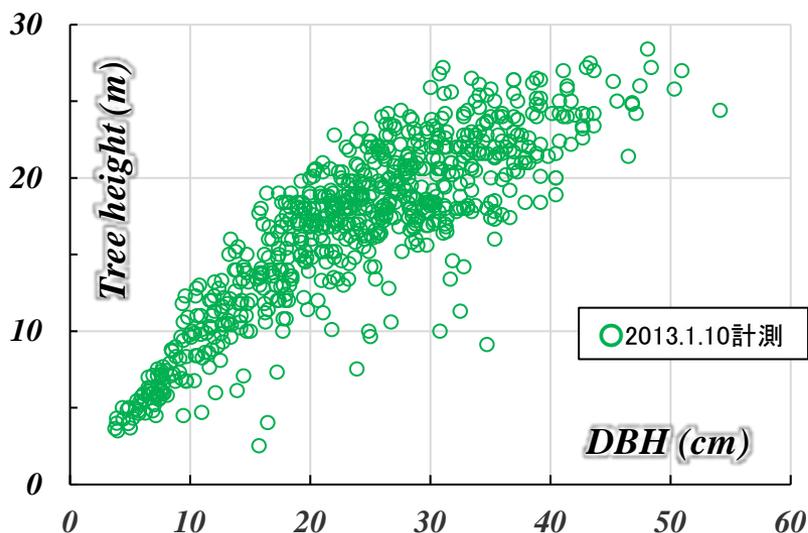
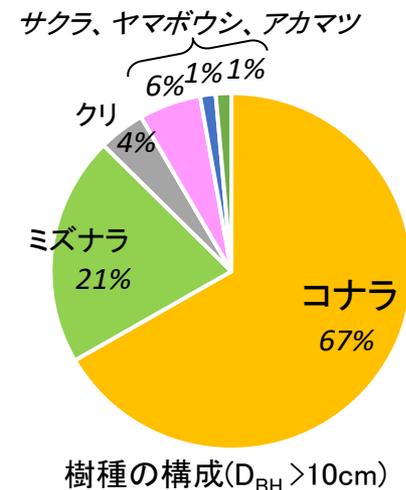
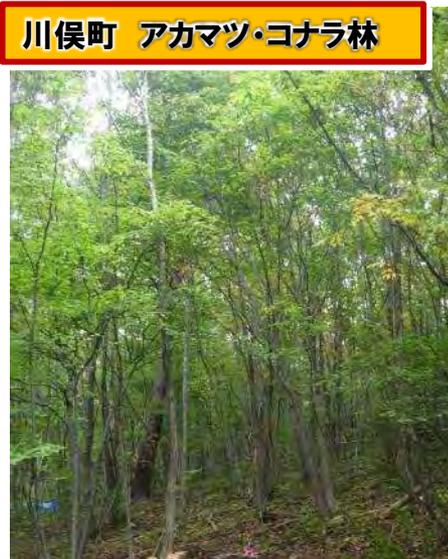
- ✓ リターは一定面積(20~50 cm四方)で全量採取
- ✓ 土壌はスクレーパープレートで一定面積(15×30 cm)を深度20 cmまで全量採取
- ✓ 他、ライナー採土器で深度20 cmまで採取

# 伐倒による樹木試料の採取

川内村スギ林



川俣町 アカマツ・コナラ林



➤ 過去30年間（1981-2010）の年間降水量の平均値は**1465.1 mm/年**（気象庁、川内気象観測所）

➤ 常緑針葉樹のスギ人工林、樹木密度**745本/ha**（伐木林分947本/ha）、平均樹高**21.3 m**

➤ 過去30年間（1981-2010）の年間降水量の平均値は**1223.8 mm/年**（国土交通省、山木屋観測所）

➤ コナラとミズナラ主体の落葉広葉樹林、アカマツが少数分布、樹木密度**748本/ha**、平均樹高**12.7 m**

# 伐木による樹木試料の採取

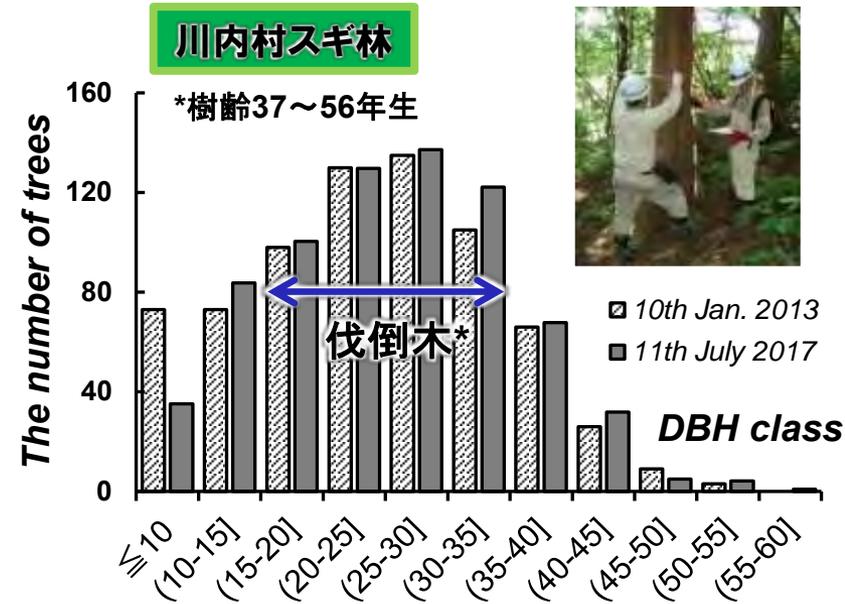
## ■ 毎木調査 ( $D_{BH}$ 、樹高、立木密度)

## ■ 伐木 (容積比、容積密度、分析試料)

- 全ての立木の直径を測定 ※胸高(約1.2 m高)にて測定
- 直径の頻度分布(右図)から代表木を選定し伐倒
- 幹バイオマス;
  - ✓ 樹種、DBH、樹高から森林総研のstemvolumeエクセル関数により算出。
  - ✓ 容積比と容積密度から樹皮、辺材、心材のバイオマスを算出
- 枝葉バイオマス; アロメトリー式(梶本ほか、2014)を使用し $D_{BH}$ から算出
- バイオマス(幹+枝葉)増分; 毎木調査の結果を利用し増分を算出

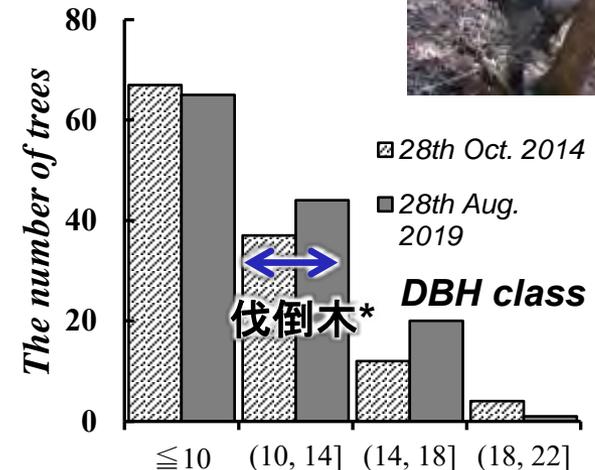
## ■ 樹木の $^{137}\text{Cs}$ 量

- 各 $D_{BH}$  classにおける樹木各部の $^{137}\text{Cs}$ 濃度(Bq/kg)とバイオマス増分(kg)を乗じて、①各 $D_{BH}$  classの $^{137}\text{Cs}$ 変化量(Bq)を算出
- 各 $D_{BH}$  classの $^{137}\text{Cs}$ 変化量(Bq)の総和(=全classの $^{137}\text{Cs}$ 変化量(Bq))を調査地の面積( $\text{m}^2$ )で除することにより、②調査林分の単位面積当たりにおける $^{137}\text{Cs}$ 変化量( $\text{Bq}/\text{m}^2$ )を算出

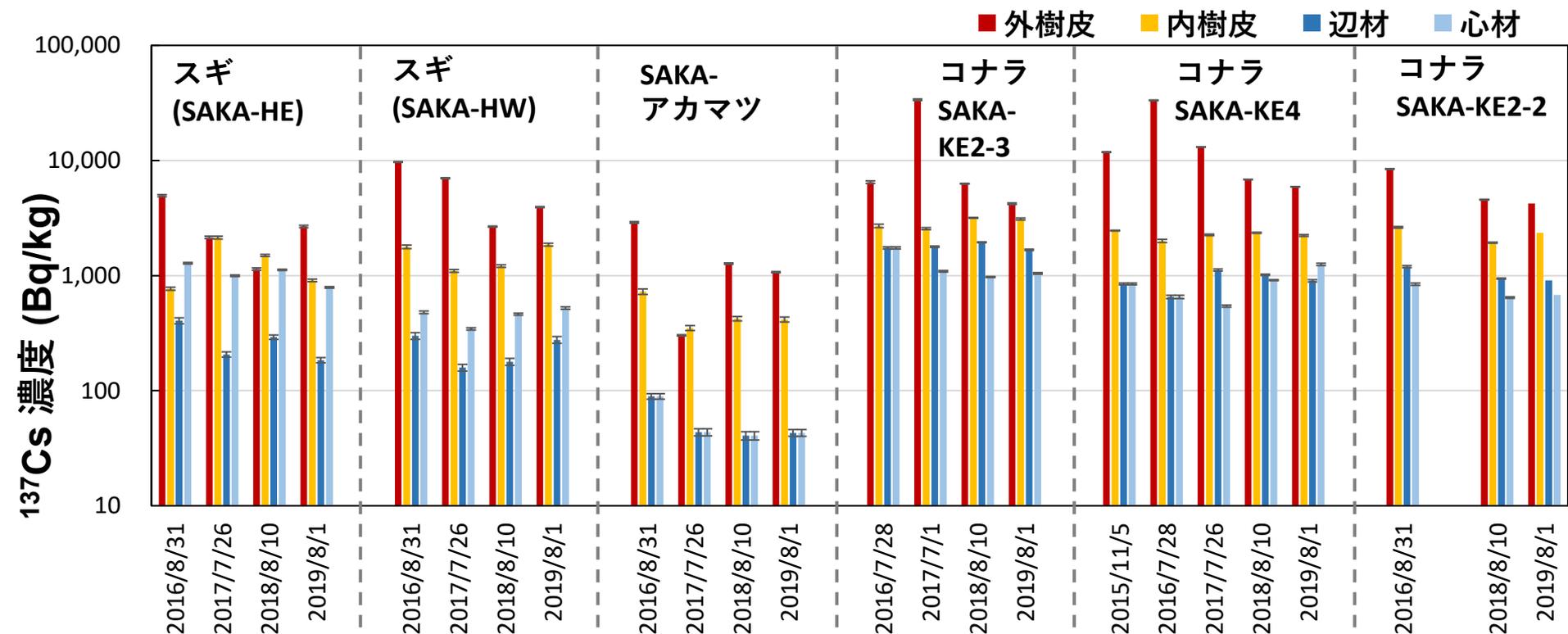


## 川俣町コナラ林

\*樹齢24~25年生



## 樹木各部の放射性Cs濃度



## 2015-2019年度の調査結果

川俣町山木屋  
地区での事例

※縦棒グラフが長いほど、濃度が高いことを示す

- 各年度の濃度：樹皮で高く、木部で低い傾向
- 2015-2019年の調査結果：外樹皮は濃度が低下する傾向。他は明瞭な変化は認められない
- スギ、アカマツ、コナラでは濃度分布が異なる  
→養分や水(≒セシウム)の運ばれる仕組みの違い



成長錐による材の採取



樹木部位の名称

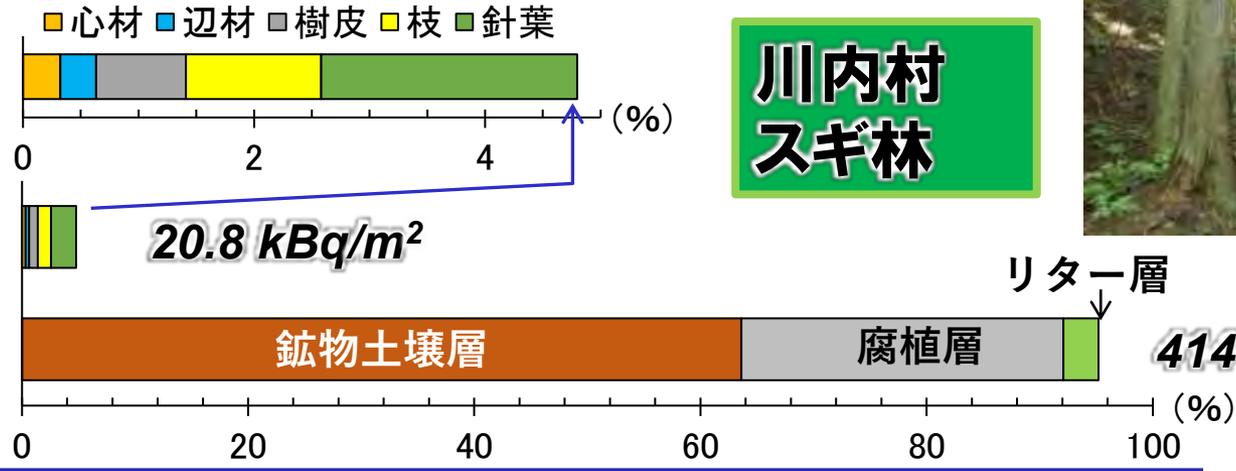
森林内のCs分布

# 森林内における<sup>137</sup>Cs分布(スギ林)

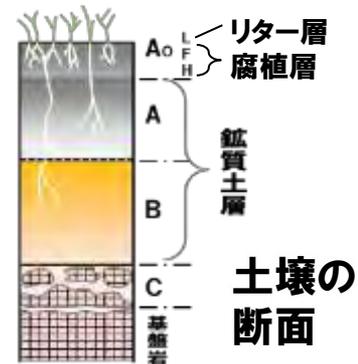
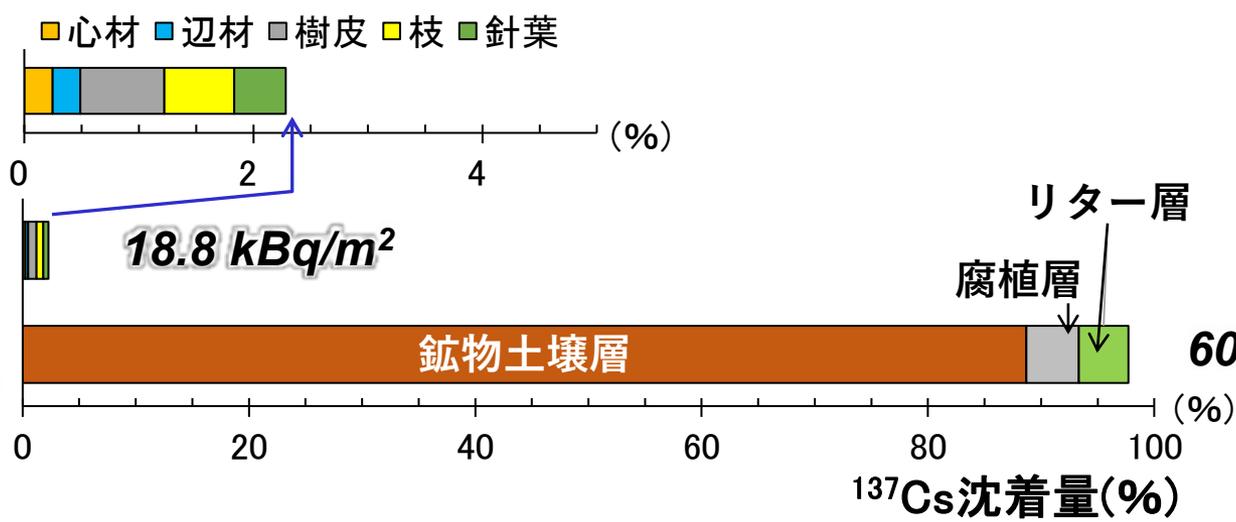


川内村  
スギ林

2015年  
10月



2017年  
9月



- 地上部 << 地下部 ← 沈着量の9割以上 (樹木) (落葉落枝、土壤)
- スギ立木の針葉と枝の<sup>137</sup>Cs沈着量が減少

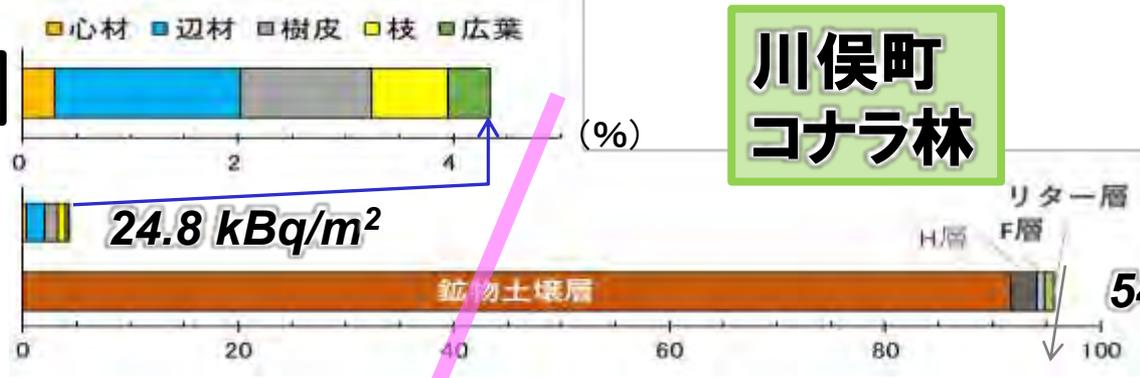
森林内のCs分布

# 森林内における<sup>137</sup>Cs分布(コナラ林)

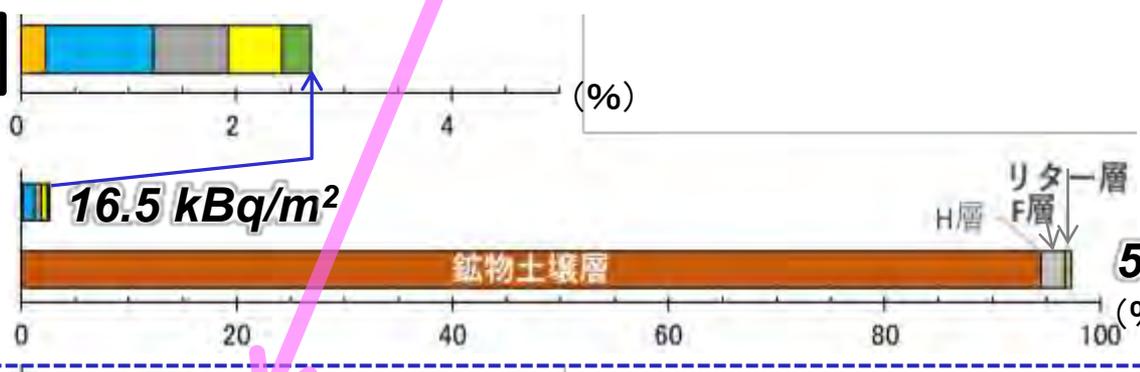


川俣町  
コナラ林

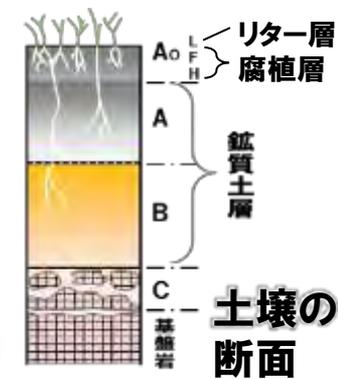
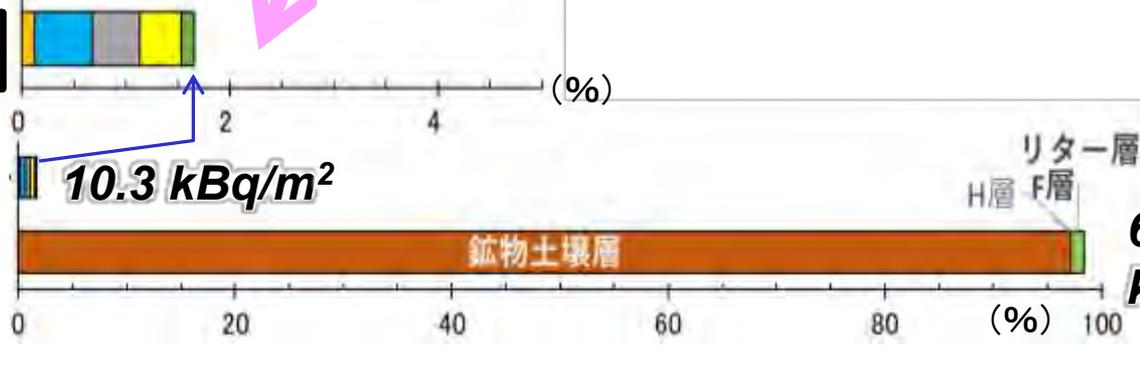
2018年10月



2019年10月



2020年10月



- 地上部(樹木) << 地下部(落葉落枝、土壤) ← 沈着量の9割以上
- コナラ立木の辺材と樹皮の<sup>137</sup>Cs沈着量が減少

森林内の  
Cs分布

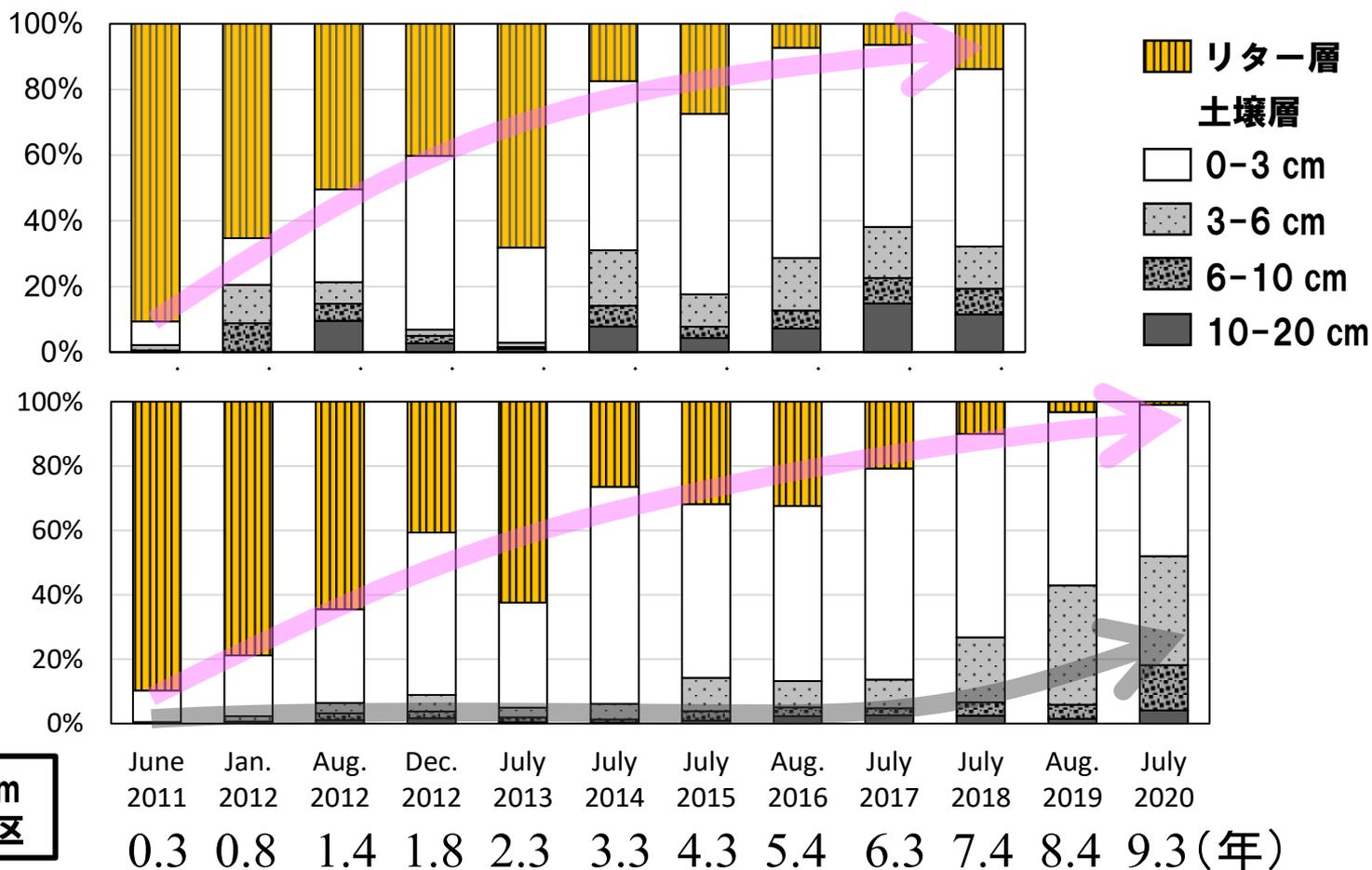
# 地下部(リター、土壌)における放射性Cs分布

スクレーパープレートによる土壌試料採取

地中の<sup>137</sup>Cs  
総量に対する割合  
(%)

落葉広葉樹林  
(コナラ・アカマツ)

常緑針葉樹林  
(スギ)

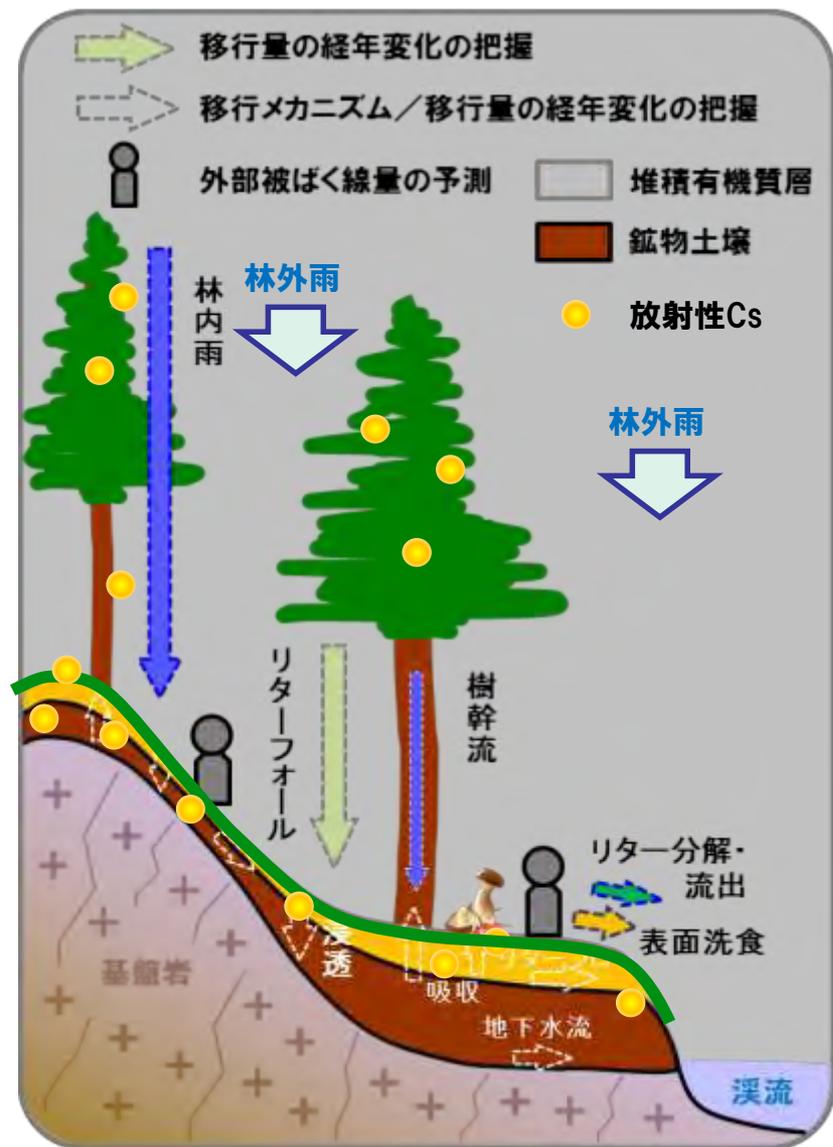


1Fの北西約34km  
川俣町山木屋地区

June 2011 Jan. 2012 Aug. 2012 Dec. 2012 July 2013 July 2014 July 2015 Aug. 2016 July 2017 July 2018 Aug. 2019 July 2020  
0.3 0.8 1.4 1.8 2.3 3.3 4.3 5.4 6.3 7.4 8.4 9.3 (年)

- リター層の<sup>137</sup>Cs沈着量は経年で**減少**
- 土壌 0-3 cm深度:2014-2018年は**ほぼ一定**
- 土壌 3-6 cm深度:2018年以降に**増加傾向**

➤ 表層から下層への移行は**ほぼ生じておらず**、<sup>137</sup>Csはリター層および**土壌表層3 cm以内に長期間留まる可能性**

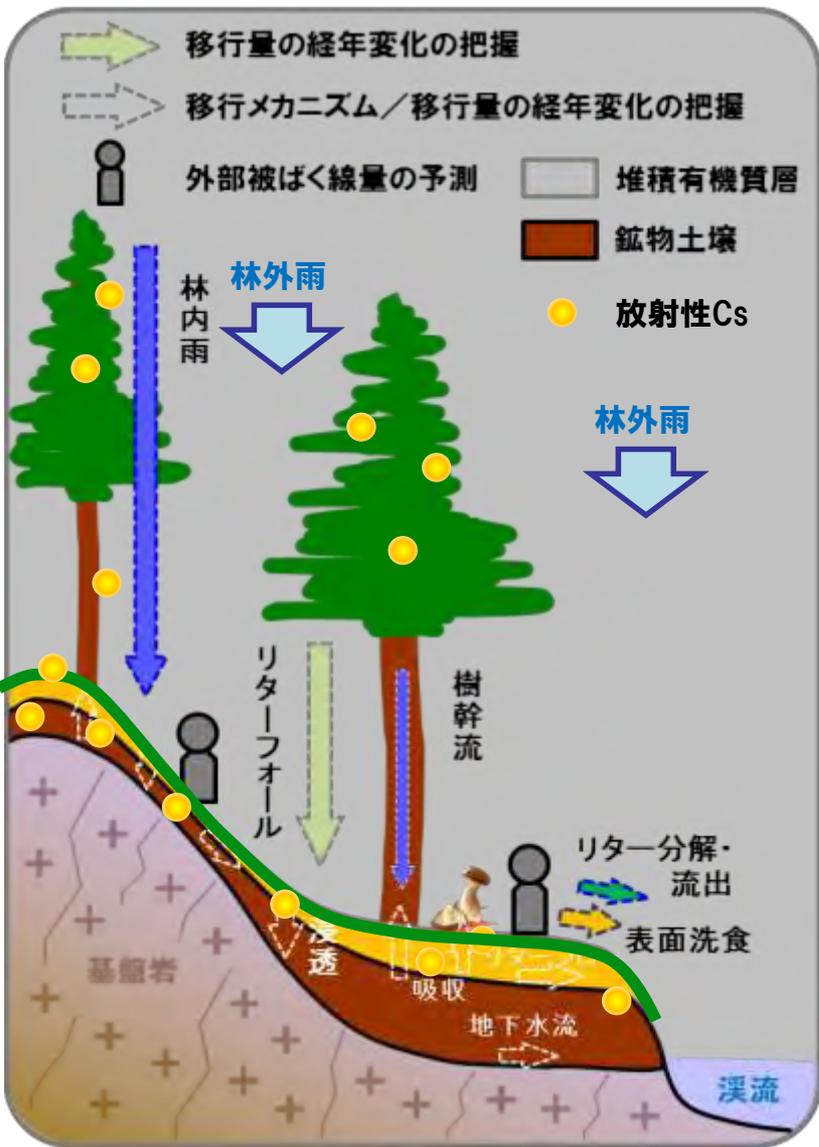


### 森林内のCs分布と経年変化

- ✓ **地上部(樹木)と地下部(リター、土壌層)**における放射性Cs分布と経年変化
- ✓ **リター、土壌層**における放射性Csの分布と経年変化
- ✓ **樹木各部(葉、枝、樹皮、木部)**の放射性Cs分布と経年変化

- **地上部(スギ立木) ≪ 地下部(リター、土壌) ← 沈着量の9割以上が地下部**
- **樹皮で高く、木部で低い濃度勾配**
- ※ただし、樹種や個体で異なる
- **<sup>137</sup>Csはリター層および土壌表層3 cm以内に長期間留まる傾向**

※ただし、2018年以降は、  
深度3-6 cmで増加傾向



④-1 林産物のCs移行

④-2 溶存態Csの生成と移行

✓きのこ/山菜とリター/土壌での移行

✓樹木とリター/土壌での移行

✓リター分解に伴う溶存態Cs生成と移行

✓源流域における溶存態Csの生成と移行

スギ



細根  
(直径2 mm以下)

浪江町石熊地区、七日沢沿いのスギ林

コナラ



川俣町山木屋地区、コナラ林

|    | 名称  | 太さ         | 特徴・機能                                |
|----|-----|------------|--------------------------------------|
| 細根 | 細根  | 2 mm 以下    | 一次組織を多く含む成長部位 (吸収)                   |
|    | 小径根 | 2 – 5 mm   | 木質化、若い組織が多い (吸収)                     |
| 太根 | 中径根 | 5 – 20 mm  | 若い組織からの吸収物質・同化生産物を運ぶ <b>通道</b> 作用の働き |
|    | 大径根 | 20 – 50 mm | 蓄積部分                                 |
|    | 特大根 | 50 mm 以上   | 支持・蓄積部分                              |

$$\text{年間吸収量} = \Delta B + LF + R_w \text{ (TF, SF)}$$

$\Delta B$ : 年間の枝・幹の増加部分に含まれるCs量

LF: 年間のリターフォールに含まれるCs量

$R_w$ : 年間の「(林内雨 (TF) + 樹幹流 (SF)) - 林外雨」のCs量

- 樹木のCs吸収量は、1964–1974年に世界40の国が参加した**国際生物学事業計画 (IBP)**における養分吸収量の算出方法に従った。
- 植物体への吸収量は、**植物体の生長に伴う吸収量 ( $\Delta B$ )**と**植物体からの枯死 (LF)**及び**溶脱により失われた量 ( $R_w = TF + SF$ )**の総和となる。  
**→生長した部分に含まれているもの & 排出されたものは吸収したもので、**
  - 1) 植物体の枝葉量が平衡状態にあり、
  - 2) 枝葉生産量は枯死量に等しいとされ、
  - 3) 根の生長や枯死量、樹体内での転流及び**エアロゾル吸収量**は考慮されていない。

➤ 樹幹流や林内雨には樹木から溶脱したものではなく、大気から混入したもの(初期沈着など)も含まれている→**過大評価**

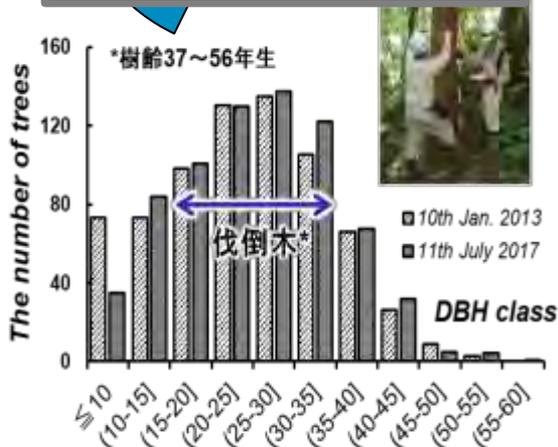
$$\text{年間吸収量} = \Delta B + LF + Rw \text{ (TF, SF)}$$

$\Delta B$ : 年間の枝・幹の増加部分に含まれるCs量

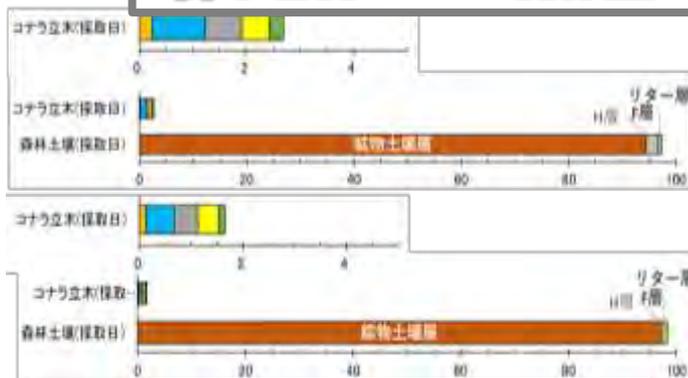
LF: 年間のリターフォールに含まれるCs量

Rw: 年間の「(林内雨 (TF) + 樹幹流 (SF)) - 林外雨」のCs量

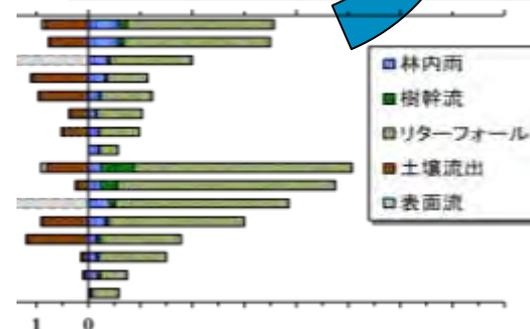
## 樹木バイオマス増分



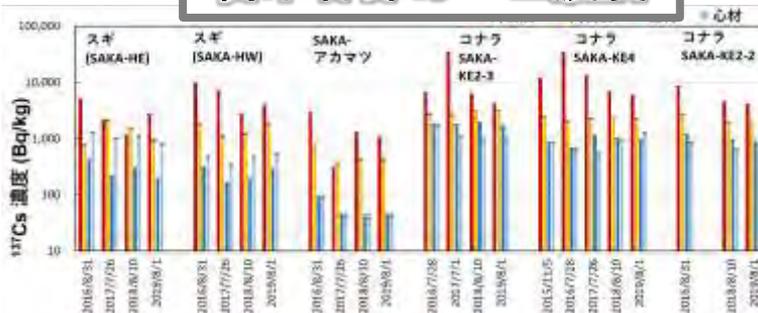
## 樹木各部の<sup>137</sup>Cs現存量



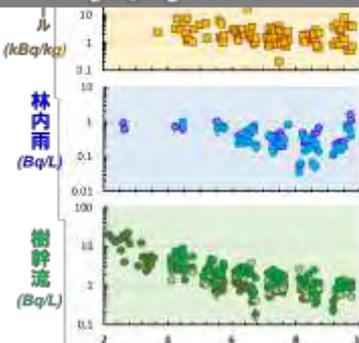
## LF, Rw<sub>(TF, SF)</sub>の<sup>137</sup>Cs量



## 樹木各部の<sup>137</sup>Cs濃度



## LF, Rw<sub>(TF, SF)</sub>の<sup>137</sup>Cs濃度



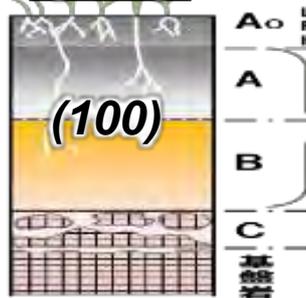
コナラ林における $^{137}\text{Cs}$ の吸収量

2018→2020



リターフォール(0.42)  
林内雨(0.09)  
樹幹流(0.02)

(0.65)



## ➤ LFが大部分を占める→リターフォール型

※他元素の吸収率の例

(京都府コナラ優勢林、1978年の報告例)

リターフォール型;窒素 (1.2-1.4%)  
カルシウム (17.8-51.5%)  
マグネシウム (7.2-17.9%)  
雨水溶脱型: カリウム (17.4-20.4%)

※現存量に対する割合(%)

川俣コナラ林、年間 $^{137}\text{Cs}$ 吸収量

観測期間; 2018.10.16-2020.10.15

| 年間吸収量   | Bq/m <sup>2</sup>   | 吸収量に占める割合 | 樹木の $^{137}\text{Cs}$ 現存量に対する割合 (%) | $^{137}\text{Cs}$ 現存量に対する割合 (%) |
|---------|---------------------|-----------|-------------------------------------|---------------------------------|
| 生長量     | $\Delta B$ 684 ± 68 | 18%       | 6.6%                                | 0.12%                           |
| リターフォール | LF 2,465 ± 15       | 65%       | 23.9%                               | 0.42%                           |
| 林内雨     | TF 519 ± 6          | 14%       | 5.0%                                | 0.09%                           |
| 樹幹流     | SF 124 ± 4          | 3%        | 1.2%                                | 0.02%                           |
| 総計      | 3,791 ± 70          |           | 36.8%                               | 0.65%                           |

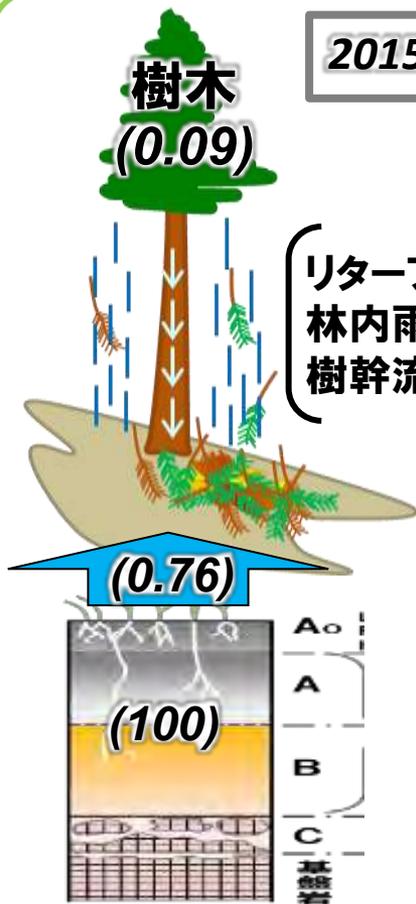
\* 地下部 $^{137}\text{Cs}$ 現存量 585 kBq/m<sup>2</sup>\* 樹木 $^{137}\text{Cs}$ 現存量 22.6-10.3 KBq/m<sup>2</sup>

還元

樹木への蓄積

- $^{137}\text{Cs}$ 現存量に対する吸収率は、年間0.65%
- 樹木に含まれる $^{137}\text{Cs}$ のうち、約30%(吸収量の約8割)が還元される量

2015→2017



## ※他元素の吸収率の例

(滋賀県ヒノキ林、1983-84年の報告例)

リターフォール型:窒素 (0.5-0.7%)  
カルシウム (9.4-10.1%)  
マグネシウム (5.0-12.6%)  
雨水溶脱型: カリウム (9.1-30.2%)

※現存量に対する割合(%)

## 川内スギ林、年間<sup>137</sup>Cs吸収量

観測期間; 2015.10.28-2017.9.26

| 年間吸収量      | Bq/m <sup>2</sup> | 吸収量に占める割合 | 樹木の <sup>137</sup> Cs現存量に対する割合 (%) | <sup>137</sup> Cs現存量に対する割合 (%) |
|------------|-------------------|-----------|------------------------------------|--------------------------------|
| 生長量 ΔB     | 515 ± 51          | 12%       | 3.3%                               | 0.09%                          |
| リターフォール LF | 3,402 ± 10        | 77%       | 21.8%                              | 0.58%                          |
| 林内雨 TF     | 414 ± 59          | 9%        | 2.7%                               | 0.07%                          |
| 樹幹流 SF     | 107 ± 1           | 2%        | 0.7%                               | 0.02%                          |
| 総計         | 4,438 ± 79        |           | 28.4%                              | 0.76%                          |

\* 地下部<sup>137</sup>Cs現存量 587 kBq/m<sup>2</sup>

\* 樹木<sup>137</sup>Cs現存量 21.9-15.6 kBq/m<sup>2</sup>

還元

樹木への蓄積

- <sup>137</sup>Cs現存量に対する吸収率は、年間0.76%
- 樹木に含まれる<sup>137</sup>Csのうち、約25%(吸収量の約9割)が還元される量

## ① $^{137}\text{Cs}$ 濃度(リターフォール、林内雨、樹幹流、表面流、流出土壌)

- 流出土壌を除き、いずれも低下傾向
- 樹種による差異

## ② 林床を基準とした $^{137}\text{Cs}$ 流出・流入量

- 流出量→ほぼ一定、**流入量→減少**
- いずれも $^{137}\text{Cs}$ 沈着量の1%未満(森林環境での移行は緩慢)



## ③ 森林内の $^{137}\text{Cs}$ 分布

- 地上部(スギ立木) << **地下部(リター、土壌) ← 現存量の9割以上**
- $^{137}\text{Cs}$ はリター層および土壌**表層3 cm以内に長期間留まる可能性(\*)**

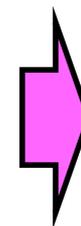
\*2018年以降は3-6 cm深度で増加傾向

## ④ 樹木の $^{137}\text{Cs}$ 吸収量

- 吸収量: **1%未満** (生長量 < 還元量)

今後の  
課題

土壌中 $^{137}\text{Cs}$ 深度分布と根系 $^{137}\text{Cs}$ 量との関係  
将来的な**濃度**の見積もり  
森林土壌 $^{137}\text{Cs}$ 沈着量の**不均質性**の評価



樹木(林産物)の  
**平衡濃度**の予測

# 今後の研究の方向性など

## 具体的な事象への適用を通じてニーズに応じていく研究

### 具体的な場面

- ✓ 2016年関東・東北地方**豪雨**や2019年台風19号
- ✓ 2017年4月下-5月上旬の帰還困難区域における**林野火災**
- ✓ 福島県森林モニタリング調査の結果の解釈
- ✓ ○○市○○地区の**シイタケ原木**となるコナラ林の濃度変化

### 事物の多義性 vs 限定合理性(部分最適化)

- ✓ 森林からのCs流出率が低いという観測データは、森林からの流出を不安視している住民にとっては**安心材料**、森林内での活動や林産物の利用を再開したいと考える人々にとっては**不安材料**。

### 相互行為

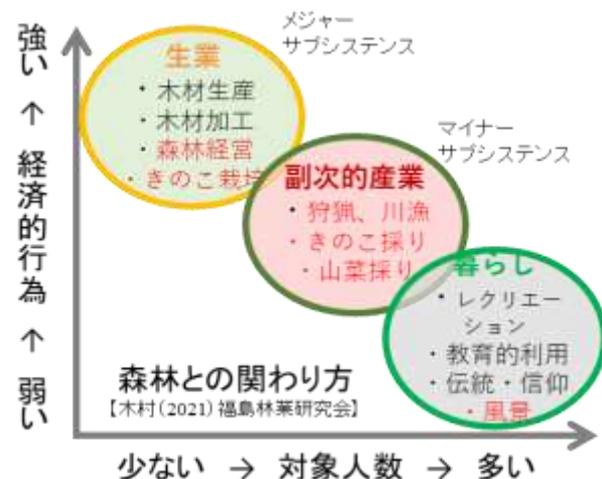
- ✓ 専門用語を**日常の日本語に送り返す**ことにより、専門的な知識を普及・広報することが必要

### <原子力災害への備え>

- ✓ もし、世界のどこかで原子力事故が発生した時は、**福島**の経験を役立てなければならない(**知識継承・将来世代への責任**)

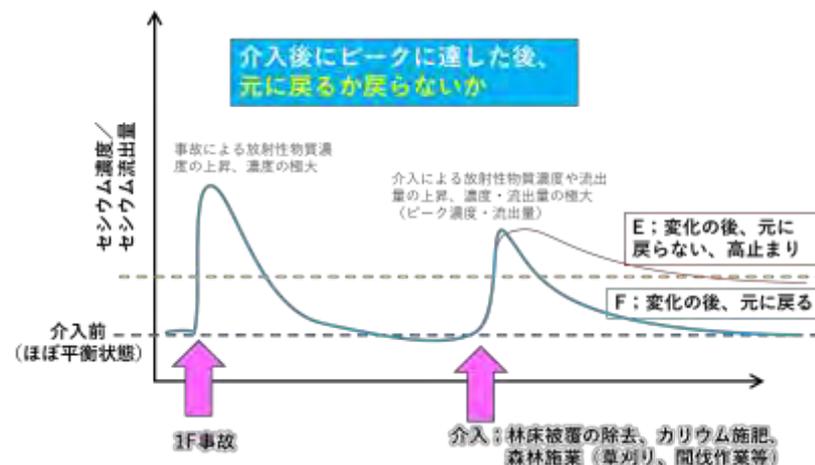
### <長期観測の必要性>

- ✓ 平常時の観測データがないと**事故の影響度合い**を見積もることができない。
- ✓ **緩慢な変化**は、長期観測でしか明らかにすることができない。
- ✓ 自然の回復能力の閾値はどこにあるのか(**緩衝能**の把握)、その限界は(人類の地球上における**持続可能性**)、
- ✓ 人の活動で悪化する可能性は、その影響の度合いは(**回復能**)



※赤文字;回復、復興が遅れている分野

参考;中村雄二郎, 1992, 臨床の知とは何か. 岩波新書.



# 研究成果をどうやって広め、使ってもらおうか



## FaCE!S (フェイス)

放射線物質モニタリングデータの情報公開サイト

### 放射性物質モニタリングデータの情報公開サイト

よく使われているデータ

|                                       |                                             |                               |                    |                   |
|---------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------|
| <b>AIR DOSE RATE</b>                  | <b>SOIL DEPTH DISTRIBUTION</b>              | <b>SEA WATER</b>              | <b>MARINE SOIL</b> | <b>DEPOSITION</b> |
| <b>SOIL &amp; ENVIRONMENT SAMPLES</b> | <b>AIRBORNE PARTICLES</b>                   | <b>FALLOUT</b>                | <b>RIVER WATER</b> | <b>RIVER SOIL</b> |
| <b>DRINKING WATER</b>                 | <b>WILD ANIMALS &amp; AQUATIC ORGANISMS</b> | <b>SHIP TOWING MONITORING</b> |                    |                   |

福島について、知りたいことは何ですか？

次ページをクリックすると、Q&A一覧から詳しい情報を見ることができます。

Home

なぜ放射性セシウムを研究し始めたのですか？

1Q1 放射性物質・空間線量率

1Q2 放射性物質・空間線量率

1Q3 放射性物質の分布・森林

1Q4 放射性物質の分布・河川

1Q5 生産物・林野火災・結露の分布

このサイトについて

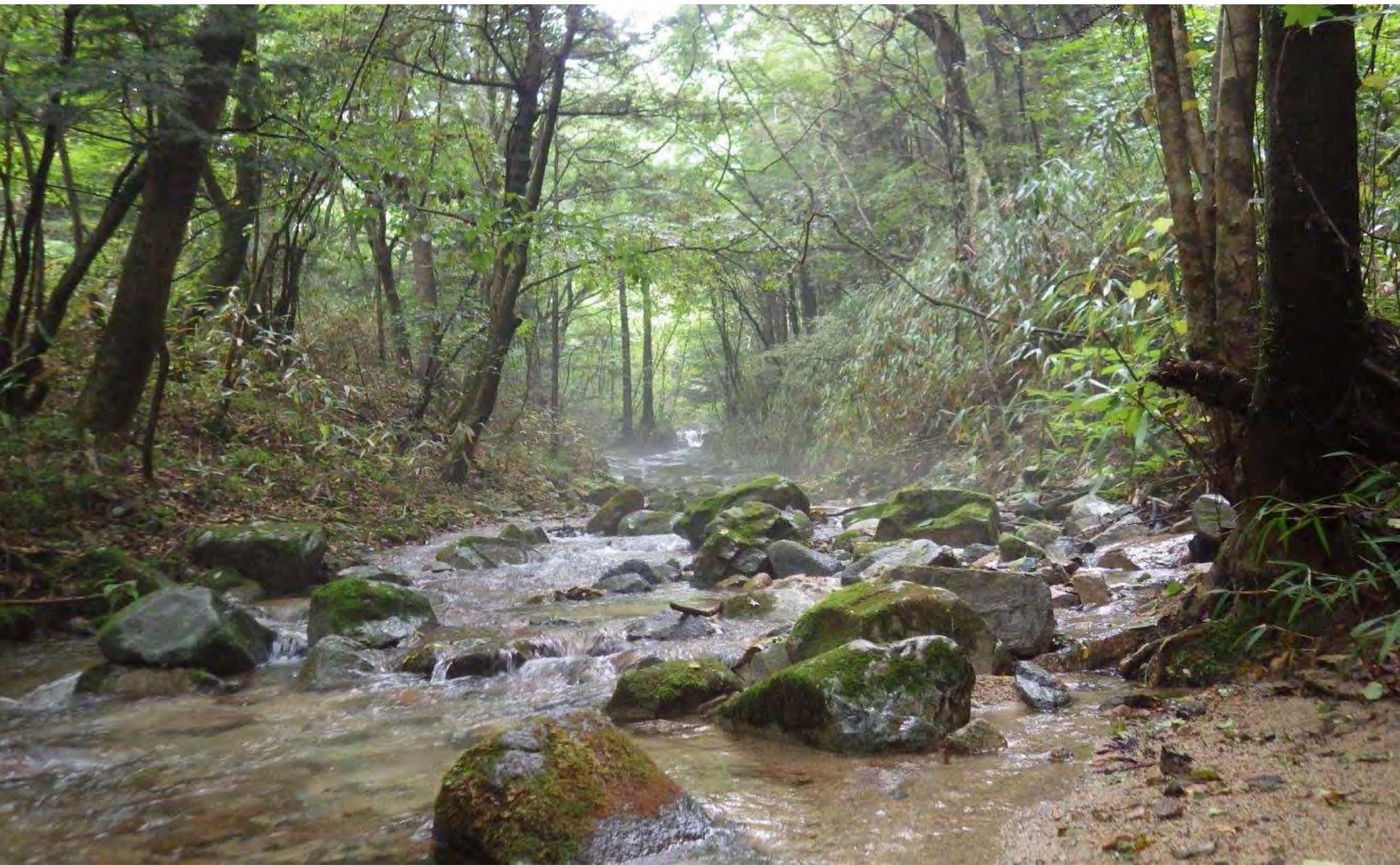
お問い合わせ

関連リンク集

<https://fukushima.jaea.go.jp/ceis/>

「QRコード」もしくはホームページアドレスからアクセス





# 以降のスライドは付録です

参考文献、樹種の特徴  
樹木と土壌の解説  
チヨルノービリ(Чернобыль)の事例  
河川の調査事例など

# 参考資料・サイトなど

## ■ 福島県森林保全課ホームページ

「森林における放射性物質調査結果等について」

○福島県による森林のモニタリング調査結果、pdf

○林野庁のテキストやパンフレット、pdf

→調査方法やデータを見たいときにモニタリング調査結果を参照

→概要の把握にはパンフレットが最も適切

## ■ 林野庁ホームページ

「東日本大震災に関する情報/東京電力福島第一原子力発電所事故による影響等」

○森林総合研究所による森林内の放射性物質の分布状況調査結果、web, pdf

○きのこや山菜の放射性物質の検査結果(県別、pdf)

○林野庁のテキストやパンフレット、web, pdf

→調査結果は専門的。検査結果はデータを見たい時に。パンフレット等は同上

## ■ 研究機関のホームページ

○森林総合研究所「森林と放射能」→調査報告も掲載。ちょっと難しい(専門的)

→解説動画も掲載(わかりやすい)

○日本原子力研究開発機構「FaCE!S/根拠情報Q&Aサイト」

→一般向け(図が多い)および専門家(報告書)

→放射線や放射能に係る情報を広く知りたいときに

# コナラとスギの樹木特性

## □ コナラ (*Quercus serrata*)

- ✓ 落葉広葉樹。樹形は筈状、根系は深根性で杭根が発達、陽樹、環孔材。
- ✓ 成長は早いがある程度の年数がたつと成長が止まる。
- ✓ 傾斜の緩やかな山腹下部から山麓地で、土層や深くて軟らかく、透水性のよい崩積土で成長が最も良い。適潤性土壌から弱乾性土壌まで造林可能。標高500-600m以下が適。
- ✓ 薪炭材とシイタケ原木栽培用のほだ木として用いられる。薪炭材には直径5-20cmの小径材、シイタケ原木には直径6-14cmのものが用いられる。シイタケ原木の採材率は胸高直径8-14cmで最も多く、これより大きくなると、パルプ材として利用されることが多い。大径木は建築材、器具材、家具材としても利用される。シイタケ原木には外樹皮が薄く（サクラ肌）、表面に割裂の多い（チリメン肌）樹皮が適する。

## □ スギ (*Cryptomeria japonica*)

- ✓ 常緑針葉樹。樹形は細長い円錐状、根系は心根型で太い斜出根がよく発達して深くまで分布する。閉鎖林冠下（暗い林内）でもある程度生存を続けることができる中庸樹（陽樹と陰樹の間；intermediate）。
- ✓ おおむね、連続的に伸長成長と肥大成長を継続する。太平洋側に分布するスギ（オモテスギ）は林齢40-50年頃から生長が悪い。
- ✓ 北限は青森県、南限は鹿児島県屋久島。水分や養分に恵まれた肥沃な土地でよく成長、それらの欠乏に対して成長の低下が著しい。
- ✓ スギの用途は広く、材は建築用材、船舶のマスト、橋梁、電柱、家具、桶・樽、お盆など、樹皮は屋根茸、葉は線香。

- 陽樹(intolerant)；少ない日光では、光合成があまりできない。光量の増加とともに、光合成量も増加。アカマツ、クロマツ、カラマツ、ナラ類。これとは反対の性質を持つ樹木を陰樹(tolerant)とよび、少ない日光でも光合成ができる。ただし、光量が増加しても、光合成量があまり増加しない。
- 環孔材；広葉樹において、水の通り道である道管が年輪に沿って配列する。針葉樹は、仮道管が材の全面に分布する。
- 耐乾性；土壌含水率が低いと光合成速度が低下する程度のこと。耐乾性が高いと同じ土壌水分量であっても光合成速度が高い。広葉樹の耐乾性は、コナラ>ミズナラ>ブナの順。アカマツは乾燥に対して耐性が高く水不足では蒸散が低下する。スギは水不足に対する反応が遅く水が樹体から失われやすい。耐乾性は、アカマツ>ヒノキ>スギの順。ミズナラはスギよりも耐乾性が高い。
- 根系；杭根型は株から太い主根が深く地中に発達するタイプで深根性であり、平根型は地中浅くに水平に発達するタイプで浅根性。心根性は株から放射状に根が広がるタイプ。樹木の地上部と地下部の量的なつり合いを両者の重量比、T/R比(top-root ratio)で表す。種の違いや個体の大きさに無関係にほぼ安定、スギ、ヒノキ、アカマツは3~4が多い。
- ほだ木；シイタケ菌が伸長したシイタケ原木を「ほだ木」と呼ぶ。

### 文献

本多静六 原著(2003)最新改訂森林家必携. 林野弘済会；森林総合研究所編集(2009)森林大百科事典. 朝倉書店；東京農工大学農学部、森林・林業実務必携編集委員会編(2007)森林・林業実務必携. 朝倉書店。  
堤 利夫編(1994)造林学. 現代の林学10、文永堂出版；堤 利夫編(1989)森林生態学. 朝倉書店。

# <用語集> 樹木の組織、水流

→ **樹冠**：樹木の地上部(幹、枝、葉)のうち、幹や枝、葉のある部分

→ **樹幹**：木の幹。木の主要構造であり、枝を支え、根に直接つながり支えられている

**外樹皮**：樹幹のもっとも外側にあり、厳しい気象条件や外敵などから内部組織を保護する。

**内樹皮(師部)**：外樹皮の内側にあり、葉で生産された物質(光合成産物など)を輸送し貯蔵する役割。

**辺材**：木部の外側で心材の周辺にある白っぽい部分。通常は含水率が高い。根から葉へと水を運び、物質を貯蔵する役割を持つ。樹木を支える支持機能も果たす。

**心材**：木部中心部の色の濃い部分。樹脂が多く、強度と耐久性に優れ、含水率が低く、樹木を支える支持機能を果たす。心材は全て死細胞



樹幹の構造



**林床**：森林内の地表面及び地表面に近い所

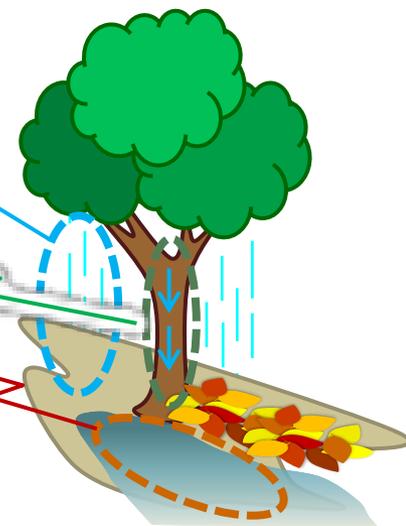
**リター層(L層)**：植物の葉、枝、樹皮、果実等が分解されずに地表面に堆積している層

**落葉層**：土壌の上にある落葉や落枝とそれらが分解して形成された有機物からなる層。リター層を含む

**林内雨**：樹冠の枝や葉を通過し林床に降る雨水

**樹幹流**：森林に降った雨水のうち、樹幹を伝わって流れる雨水

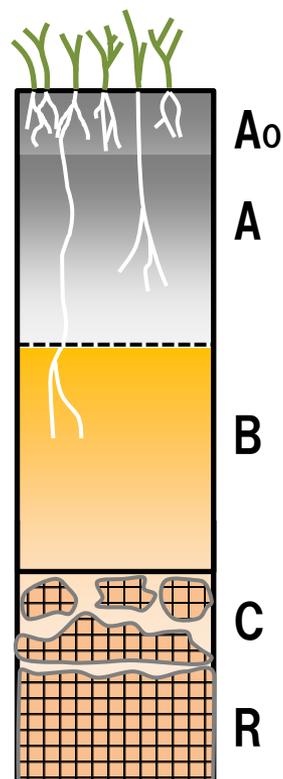
**表面流**：地表面を流れる水流。降雨の際、土壌に浸透しきれない雨水が地表面を流れる場合や、土壌に一度浸透した水が地表面に現れて流れる場合などがある



森林内での水の流れ

参考文献：1)森林総合科学用語辞典(東京農大出版会、2015年)、2)樹木学(築地書館、2001年)、3)農林水産省プレスリリース「森林内の放射性物質の分布状況調査結果について」(農林水産省、平成25年3月29日)4)森林生態学(全国林業改良普及協会、2006年)、5)森林・林業実務必携第2版(朝倉書店、2021年)

“土 壤” = “岩石の破砕物” + “生物活動に由来する有機物”



**Ao層**: 落葉や落枝とその腐朽途中の**有機物**からなる。灰色や黒色を呈する。腐朽の程度により、**L層(リター層)**, F層, H層に細分される。堆積有機物層あるいは堆積腐植層ともいう。

※L: litter(リター), F: fermentation(発酵), H: humus:腐植, の頭文字  
※土壌学の用法: A<sub>0</sub>層→O層, L層→O<sub>i</sub>層, F層→O<sub>e</sub>層, H層→O<sub>i</sub>層

**A層**: Ao層の下位にあり、**腐植に富み**膨潤で柔らかく、密度が小さい。植物の**細根に富み**、微生物や土壌動物の活動が活発。**黒褐色**を呈することが多い。土壌が小さな団子状(**団粒**)を呈する人が多い。

**B層**: A層の下位にあり、**明るい色調**で腐植が少ない。A層から溶脱した鉄や腐植が蓄積する土壌もある。褐色森林土の場合は明るい褐色を呈する。

**C層**: **岩石の礫**が多く、土壌の母岩の性質が強く残る。土壌の生成作用はあまり受けていない。

**R層**: C層の下部にあり、**固結した基盤岩**。硬く、人力の掘削は困難。

# チェルノービルの事例：樹木汚染状況の予測評価

- 森林の樹木や土壌に沈着した放射性セシウムは、林床の土壌から樹木の根、あるいは樹木表面から吸収され樹木内部に取り込まれて葉や枝に移動し、落葉落枝とともに再び林床へ移動し、森林内で循環している可能性がある
- 森林内の放射性セシウム循環は非常に緩慢で長期にわたる

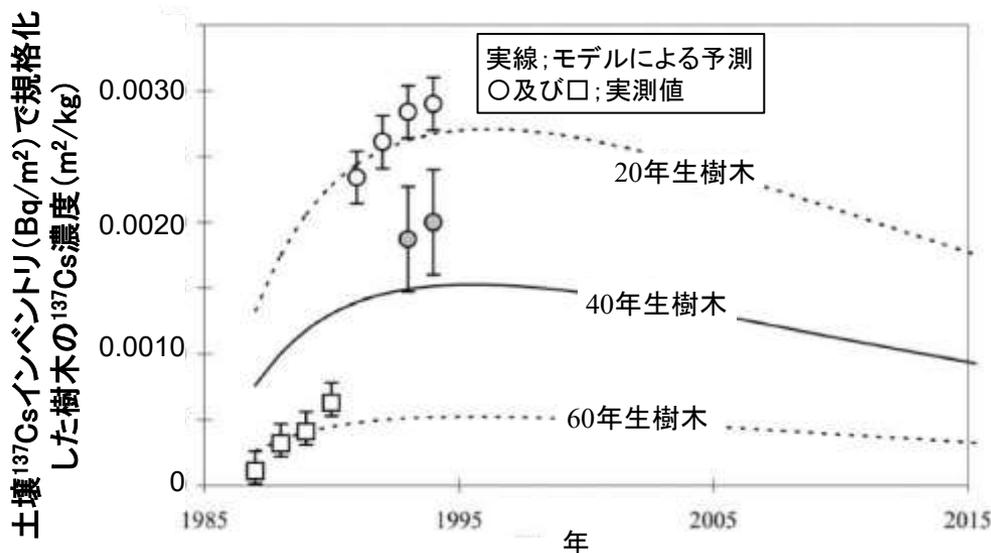
## チェルノービル原子力発電所事故における樹木汚染状況の予測評価

<Shaw, et al., 2003, Fig. 11>

Modelling the behaviour of radiocaesium in forest ecosystems

MODELLING RADIOACTIVITY IN THE ENVIRONMENT

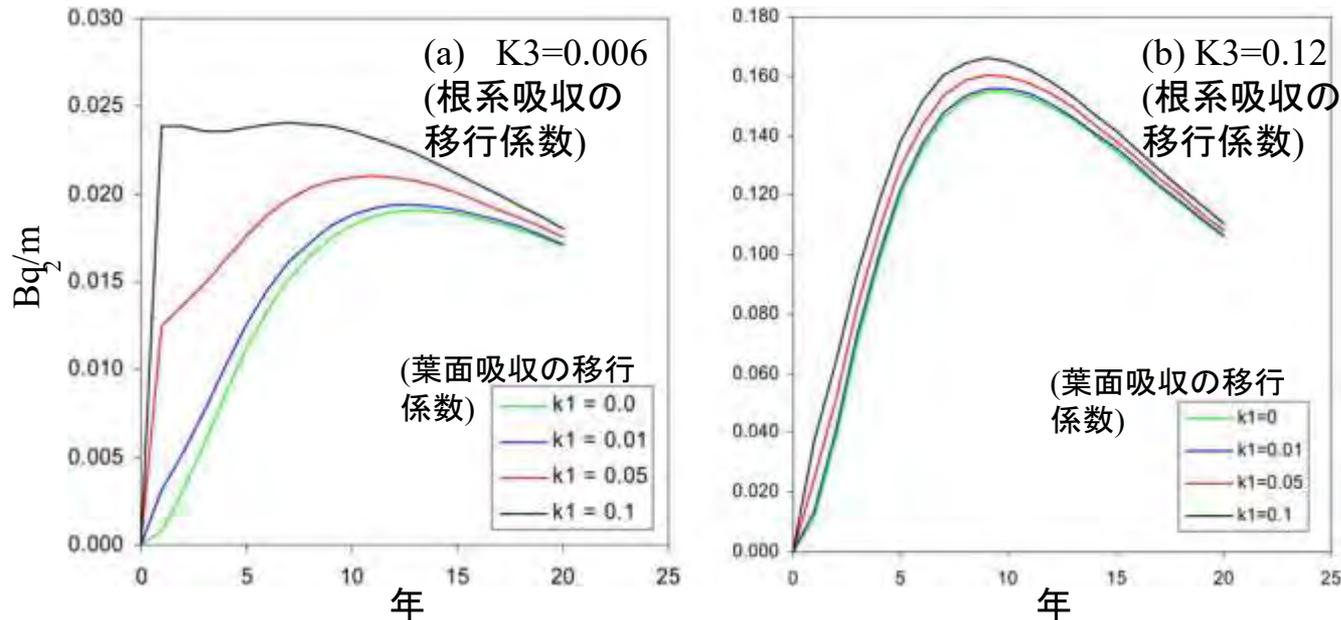
E. Marian Scott (Editor)



ベラルーシのマツ林における樹木<sup>137</sup>Cs汚染状況の予測 (Shaw, 2002による)

- ✓ Cs濃度が増加し、その後減少する傾向を示すことが、Csの森林内循環を示す。
- ✓ 樹木の木部における濃度は、樹木表面に初期沈着したCsの表面/葉面吸収と土壌層に含まれるCsの経根吸収で増加し、樹木内を移動して新葉や新枝に達したCsがリターフォールや枝葉滴下とともに林床へ移動することで減少する。
- ✓ 林床では、土壌層へのCs固定化や下方移行が、経根吸収の速度より速いため、森林内におけるCsの循環が繰り返されることで、樹木内の濃度は減少
- ✓ 若齢林の樹木は生物活性が高く、栄養素を多く必要とするため、それらと合わせてCsも多く取り込まれ濃度が増加しやすい

# チョルノービリの事例;木部における放射性Cs存在量の感度解析



$K3$ ; soilからtree internalへの移行係数  
 $K1$ ; 樹木表面 (tree external) から樹木内部 (tree internal) への移行係数

<Belli, eds., 2000, Fig. 26>

Agencia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, Rome (ANPA), SEMINAT Final Report 1996-1999

※リターフォールによるCs除去と土壌層中での下方への移行に関する移行係数は一定

- (a)  $K3=0.006$ ; 土壌から樹木への移行が著しく遅く、**実質的に根系吸収がないとみなせる条件**。チョルノービリの事例では、ChNPPから30km圏内で見られる状況。燃料粒子が多いため、放射性物質が土壌中に溶出しにくく、溶存態の存在量が少ない(放射性セシウムのbio-availabilityが低い状況)。
- (b)  $K3=0.12$ ; 土壌から樹木への移行が比較的早い条件。**有意に根系吸収があるとした条件**。チョルノービリの事例では、ChNPPから30km以上離れた遠隔地での状況。(bio-availabilityが高い状況)

- **経根吸収がなく、葉面吸収が主となる条件**(上図左(a)の $k1=0.1$ 、葉面吸収が経根吸収の100倍程度)では、事故後すぐに木部Cs濃度のピークが認められる。経根吸収が葉面吸収の10倍程度以下の条件(上図左(a)の $K1=0.05$ 以下)では、事故後10年前後に濃度ピークが認められる。
- **経根吸収が有意である条件**では、葉面吸収が経根吸収と同程度であっても、事故後5-10年にCs濃度ピークが認められる。

## 環境倫理学の立場・主張

### 1)地球の有限性

地球の生態系という**有限空間**では、原則としてすべての行為は他者への危害の可能性を持つもので、倫理的統制のもとに置かれる。

### 2)世代間倫理

**未来の世代の生存**を保証するという責任が現在の世代にある。

### 3)生物保護

資源、環境、生物種、生態系など未来世代の利害に関係するものについては、人間は自己の現在の生活を犠牲にしても、保存の完全義務を負う。

- 参考文献
- ・加藤尚武(1991)「環境倫理学のすすめ」、丸善ライブラリー
  - ・加藤尚武(1998)環境問題を倫理学で解決できるだろうか、加藤尚武編「環境と倫理 自然と人間の共生を求めて」、有斐閣アルマ