原子力災害環境影響評価論 I 2020年7月7日(火)08:40-09:55

(福島長期環境動態研究: 福島県における放射性セシウムの移動予測と移行抑制)

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 福島研究開発部門 廃炉環境共同研究センター

環境影響研究ディビジョン





セシウム-137の拡散シミュレーション(WSPEEDI)

- Deposition of Cs-137 was estimated by WSPEEDI model by comparison with measured surface soil concentration and meteorological data.
- Radioactive material deposited by Wet and Dry deposition processes depending on wind directions on each day.
- No border
- H. Nagai *et al.*, "Atmospheric dispersion simulations of radioactive materials discharged from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant due to accident: Consideration of deposition process", The first NIRS symposium on reconstruction of early internal dose due to the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident, Chiba, Japan, 10-11 July, 2012







事故約8.6年後(2019.11.2)

空間線量の分布(航空機モニタリング)

The source of the map; Extension Site of Distribution Map of Radiation Dose, etc.,/GSI Maps Dose rate (µSv/h) 1 m above ground surface 新田 19.0 < 9.5 < value < 19.0 3.8 < value < 9.5 1.9 < value < 3.8 1.0 < value < 1.9 0.5 < value < 1.0 105 0.2 < value < 0.5 0.1 < value < 0.2 value < 0.1 No survey results FDNPP FDNPP × NAN AN 大達根山 10 km 10 km As of 2nd Nov. 2019 As of 29th April 2011

> 全般的に、空間線量率は時間とともに減少してきている > いまだ、空間線量率の高い地域がある

地形、土地利用、空間線量率



> 北西プルームと南西プルームに沿う地点に調査地を配置

≻ 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)



川俣町の例

山地の森林(落葉広葉樹林、ナラ林)



林縁(山林と畑や道路の境界付近、山菜ほか)



山林の隣接地での生産活動



山地の森林(常緑針葉樹林、スギ人工林)



コナラとスギの樹木特性

ロ <u>コナラ (Quercus serrata)</u>

- ✓ 落葉広葉樹。樹形は箒状、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。

ロ <u>スギ (Cryptomeria japonica)</u>

- ✓ 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(陽樹と陰樹の中間; 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、樹皮は屋根葺、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.

ニーズの例 (1/2)

カテゴリー	具体的な内容
森林について、・・・	 ✓ 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、・・・	 ✓川(渓流含む)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、・・・	 ✓ 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 ✓ 環境中のセジ ✓ 林産物と水産 ✓ 被ばく線量 □ 加えて、大規模 □ シミュレーション 	も、 <u>生活に係る(具体的な)</u> 現在と将来の状況に関係している ハウム分布とセシウムの動き 置物のセシウム濃度 な自然災害の影響、についての関心も高い 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



カテゴリー	具体的な内容
誰に聞けばよいのか、	 ✓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。 ✓原子力機構さんは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 いて、地帯の方が詰むだけで理解できるようなプロシンが欲しい)
何を見ればよいのか。 どこを見ればいいのか、	
	ыって、地元の方が読むたりで理解できるようなホスターとかうが欲しい。 ✓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

ロ 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<mark>情報の案内役や、分かりやすいまとまった</mark> 解説が必要とされている

ロ 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. <u>http://www.clubofrome.org/report/the-limits-to-growth/</u>)「成長の限界」

予測・評価の方法論



- 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).

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)



From Huggett, R. (1980)



研究課題(森林域Cs動態、林産物のCs移行研究)



森林での放射性セシウム動態/課題



調查地(地形、土地利用、空間線量率)



▶ 北西プルームと南西プルームに沿う地点に調査地を配置

The source of the map; Extension Site of Distribution Map of Radiation Dose, etc.,/GSI Maps

https://ramap.jmc.or.jp/map/eng





森林での放射性セシウム動態/課題



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<u>様々な森林環境</u>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 23



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





-

樹冠投影面積

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/m²)



✓放射性セシウム沈着量(Bq/m²)

= 樹幹流下量(L/m²)×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/m²)
 - = **リターフォール量**(kg/m²)×放射性セシウム濃度(Bq/kg)



表面流出の観測



- ✓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/m²)
 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/m²)
 - = {表面流量(L/m²) ×放射性セシウム濃度(Bq/L)} +{土砂流出量(kg/m²) ×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 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]

林外への流出

→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

放射性セシウム濃度[Bq/kg]×試料の重量[kg]=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)[Bg/m²]
 - →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 放射性セシウム量[Bq]÷試料の採取面積[m²]

=放射性セシウム沈着量[Bq/m²]

※"沈着量=濃度[Bq/kg]×密度[kg/m³]×試料厚さ(深度)[m]"でも算出できる

- D 放射性セシウム移動フラックス[Bq/m²・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
 - ✓ (I₁-I₂)/観測期間
 - ✓(放射性セシウム量[Bq]÷観測区画の面積[m²])/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/m²]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

30

林内雨,樹幹流,表面流の観測









森林内での移動 34 林床を基準とした¹³⁷Csの流出入量 林外への流出 -137Cs流出量-----137Cs流入量-6 2 4 8 ※傾斜約30度の 2013.4.1時点に減衰補正 (kBa/m²) 山林にて観測 **KW-plot** 2013 ■林内雨 2014 ●流出量:(上棒グラフ) 2015 U 川俣町 ■樹幹流 2016 森林の樹種に関わらず コナラ林 ◎リターフォール 2017 ほぼ一定か減少 (左棒グラフ ■土壤流出 2018 で、¹³⁷Cs流出量の長さが同じか短 KA-plot 2013 □表面流 い) 2014 川内村 2015 スギ林 2016 ●流入量: (上棒グラフ) 2017 観測プロット改修に伴う増加 2018 コナラ林では2016年以 隆はほぼ一定 3 2 4 1 0 ¹³⁷Cs流入 ¹³⁷Cs流出 ¹³⁷Cs 沈着量 大部分がリターフォール 観測年 (kBq/m^2) (%) (kBq/m^2) (%) (kBq/m^2) による流入 0.9 3.6 2013 0.18 0.72 スギ林では減少傾向(左 0.71 2014 0.8 0.15 3.5 川俣町 **棒グラフで、¹³⁷Cs流入量の長** (3.6)*1 (0.60) * 1 497 2.0 0.40 2015 コナラ林 さが年々短くなる) 0.9 2016 0.22 1.1 0.23 2017 0.8 0.19 1.2 0.25 いない 0.26 2018 0.4 1.3 0.07 2013 0.9 0.19 5.1 1.04 流出量と流入量はともに、 川内村 2014 0.2 0.05 4.8 0.98 ¹³⁷Cs沈着量の1%程度 (0.48) *1 (2.3)*1 487 3.9 0.80 スギ林 2015 かそれ未満(左表) 2016 0.62 3.0 0.9 0.18 0.36 ⇒森林内でセシウムはほと 0.9 1.8 2017 0.24 1.5 0.31 2018 0.1 0.03 んど移動していない

*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

- ▶ 降雨による移動
 ✓ 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
- ✓ ガリー壁面、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

<u>雪による移動</u>

- ✓ 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



でのリターの堆












森林内での移動 林外への流出

落葉広葉樹林の林床







火災跡地の状況

39

- 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



様々な森林環境における¹³⁷Cs 流出量の比較



渡辺ほか、森林除染後の放射性セシウムの移動量調査.福島県環境創造センター成果 報告会(2019.5.20)資料(2019). 渡辺ほか、除染後の落葉広葉樹林林縁地における放射性セシウム流出量の経年変化、 KEKプロシーディング(投稿中)(2019).



森林内での移動

林外への流出

100%

80%

60%

40%

20%

0%

時間 [年/月/日]

3

29/2/2



森林内での移動 林外への流出

森林での放射性セシウム動態/課題





森林での放射性セシウム動態/課題



森林内の Cs分布

伐倒による樹木試料の採取



◎ 毎木調査(樹木本数、胸 ィ ③ 針葉と小枝 高直径の計測) →秤量、前処理、分析 4 樹皮 ① 伐倒木の選定と養生 → 形状の計測、秤量、前処理、分析 ⑤ 立木円板 2 樹木の伐倒 → みかん割、心材と辺材の分離、 容積密度の測定、前処理、分析











伐倒による樹木試料の採取







2013.4.1に減衰補正 森林内における¹³⁷Cs分布(スギ林とコナラ林)

森林の地上部(樹木)および地下部(リター層、土壌層)のセシウム分布



● 樹皮と辺材: スギ<コナラ、 葉と枝: スギ≒コナラ

森林内の

Cs分布

● 落葉広葉樹林(コナラ)と常緑針葉樹林(スギ)ともに、森林に分布するセシウムのうち、 地上部の樹木に2-5%程度、残りの90%以上が地下のリター・土壌層に分布



樹木各部の放射性Cs濃度





地下部(リター、土壌)における放射性Cs分布



50

地下部(リター、土壌)における放射性Cs分布



森林内の

Cs分布

- スギ林川内村) 土壌0-3 cmの¹³⁷Cs沈着量は、2014年以降わずかに増加、土壌3-6cmの¹³⁷Cs
 沈着量は増加傾向、¹³⁷Csは3cm以浅に約60%、6cm以浅に約85%が存在
- ■コナラ林川俣町)表層から下層への移行はほぼ生じておらず、¹³⁷Csはリター層および土壌表層 3cm以内に長期間留まる可能性、¹³⁷Csは3cm以浅に約90%以上



森林での放射性セシウム動態/課題





森林での放射性セシウム動態/課題





スギ林における¹³⁷Csの移行





コナラ林の¹³⁷Cs沈着量 年間移動量の変化(山地)



<137Cs流入>林内雨、樹幹流、リターフォール
 →樹木から林床へのCs移動量=樹木から除去されるCs量
 ● 流入量に基づき単純計算すると・・・、
 2018-2019年に2.5 kBq/m²がコナラ立木から除去

→コナラ立木を伐倒して丸ごと分析し、2018年 と2019年の¹³⁷Cs量を算出すると、地上部の 樹木のCs減少量は8.3 kBq/m²

→Cs除去量<樹木のCs減少量

この差分である-5.8 kBq/m²

(137Cs沈着量の0.97 – 1.05%相当)が地上 部の除去プロセス以外に機能

→根系への移動?

<137Cs流出>表面流出、土壤流出

→林床から流出する¹³⁷Cs=森林から除去される¹³⁷Cs

● 流出率に基づき単純計算すると・・・、

山地のコナラ林における¹³⁷Cs沈着量が 半減するのは数百年後となり、森林環境に長期 にわたり留まる傾向



樹木根とその周辺の土壌に含まれる放射性Cs



- ●立木の周辺に深さ1m程度の長方形の穴を掘り、細根、太根および根の 周辺の土壌を採取
- ●樹木根は、直径2 mm以下の"細根(ひげ根)"とそれより太い"太根" に区分し、放射性セシウムを分析
- ●土壌:地表面からスクレーパープレート、土壌断面から採土円筒にて採取



樹木根の太さと機能



	名称	太さ	特徴・機能
細∫	細根	2 mm 以下	ー次組織を多く含む成長部位(<mark>吸収</mark>)
根し	小径根	2 – 5 mm	木質化、若い組織が多い(<mark>吸収</mark>)
⊾∫	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 <mark>通道</mark> 作用の働き
根	大径根	20 – 50 mm	蓄積部分
	特大根	50 mm 以上	支持・蓄積部分

苅住昇(2015)森林の根系特性と構造ーバイオマス算定に向けた基礎解析ー. 鹿島出版会, 東京.



● このため、樹木内のセシウムが根に移動している可能性が高く、根が土壌から吸収するセシウム量は樹体内の移動量より比較的少ない、と考えられる。

森林域の137Cs動態のまとめ、今後の課題

- ① 137CS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¹³⁷Cs流出・流入量
 - ▶ 流出量→ほぼ一定、流入量→減 少



- ▶ いずれも¹³⁷Cs沈着量の1%程度もしくは1%未満(森林環境での移行は緩慢)
 ③ 森林内の¹³⁷Cs分布
 - ▶ 地上部(スギ立木) << 地下部(リター、土壌) ←沈着量の9割以上</p>
 - ▶ ¹³⁷Cs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(*)
 - スギ立木の¹³⁷Cs量の経年変化と地上部¹³⁷Cs除去量から見積もると、2015-2017
 年に¹³⁷Cs沈着量の約1%が新たに樹体に取り込まれた可能性
 - > コナラ立木の¹³⁷Cs量の経年変化と地上部¹³⁷Cs除去量から見積もると、2018-2019 年にかけて、¹³⁷Cs沈着量の1%程度が除去プロセス以外で地上部樹木から移動



今後の研究の方向性

<u>具体的な事象への適用を通じてニーズに応えていく研究</u>

> 具体的な場面

- ✓ 2016年関東・東北地方豪雨や2019年台風19号による放射性セシウム移動
- ✓ 2017年4月下-5月上旬の帰還困難区域における林野火災
- ✓ 県森林モニタリング調査の結果解釈(なぜ場所により濃度変化の 傾向が違うのか)、会津と中通りのキノコ濃度の変化は規則性が あるか、その要因はなにか。
- ✓ シイタケ原木となるコナラ林の濃度変化を予測できないか・・・、 等々。

■ 現実の山地や河川環境での生活・利用に係る総合的な取組



> 事物の多義性

✓ 森林からのCs流出率が低いという観測結果は、受け手により異なる意味を持つ。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となるが、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、不安材料となる。

▶ 相互行為

- ✓ 自然環境と避難区域の条件が同一であっても、その土地に係る人々(行政職員、事業者、住民)の考え方により、適用される or 適用できる対応策が異なる。
- ✓ 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 →FaCE!S開発の意義
 - Meadows, D.H., et al., 1972, Limits to growth
 - 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、使ってもらうか



放射性物質モニタリングデータの情報公開サイト 摂助情報Q&Aサイト 解析等例サイト このサイトについて 関連リンク集



「FaCE!S; フェイシス(福島総合環境情報サイト)」

「QRコード」もしくはホームページアドレスから、アクセスすることができます。ご活用ください。

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







- 河川水のセシウム137濃度は、懸濁態・溶存態ともに全般的に低下
- 溶存態Cs濃度は、夏季に相対的に高く、冬季に低い季節変動を示す。季節変動の上下幅は、時間とともに狭まる。
 →水温上昇とともに濃度が増加することは、リターや土壌有機物の分解が活発になる夏期に濃度が高くなったと推測される。
 季節変動の上下幅が狭まることは、それら分解に伴う溶出の影響が低下していることを示す(Nakanishi & Sakuma, 2019)
- 太田川上流域の<u>渓流水の溶存態¹³⁷Cs濃度</u>について、平成27年9月関東・東北豪雨および令和元年台風19 号前後の溶存態Cs濃度を比較した結果、豪雨や台風前後の濃度は季節変動の範囲内【NIESとの連携】

64

<u>河川</u>河川敷の¹³⁷Cs分布





河川による¹³⁷Csの移動



65

₩GBq:

 10^9 Bq



貯水池の¹³⁷Cs濃度



以降のスライドは付録です 数値解析の概要 土壌や河川の用語 など

^{個別モデル・データベース} 挙動予測モデル開発・整備(1/5)





長尾ほか(2019)福島における放射性セシウムの環境動態研究の現状(平成30年度版)JAEA-Research 2019-002, 235p.

^{個別モデル・データベース} 挙動予測モデル開発・整備(2/5)





^{個別モデル・データベース} 挙動予測モデル開発・整備(3/5)



K.Sakuma,T.Nakanishi, K. Yoshimura, H. Kurikami, K. Nanba, M. Zheleznyak (2019) A modeling approach to estimate the ¹³⁷Cs discharge in rivers from immediately after the Fukushima accident until 2017. Journal of Environmental Radioactivity, 208-209,10.1016/j.jenvrad.2019.106041



流域スケール(陸域生態系)を対象とした包括的な放射性セシウムの動態(森林動態、森林や農地などから河川への流出、農林水産物への移行)を考慮した被ばく評価モデルを開発。福島県浜通りの複数の流域に対してストック・フローを解析し、包括的評価システムへ導入。
 淫流魚に取り込まれるセシウムは、森林から河川への異なる3つの経路から供給されることを解明。



きのこ類や野生鳥獣類への適用も試行、林産物への適用を福島県と連携して進める予定

H. Kurikami et al. (2019) Numerical study of transport pathways of 137Cs from forests to freshwater fish living in mountain streams in Fukushima, Japan. Journal of Environmental Radioactivity, 208-209, DOI: 10.1016/j.jenvrad.2019.106005

71
^{個別モデル・データベース} 森林内の空間線量率の解析的評価(5/5)

実測の空間線量率の変化の要因として、樹冠から林床に移行し線源が1m高さに近くなる効果および放射性セシウムが深度方向に移行することによるリター/土壌の遮蔽効果が推察されており、それら要因を考慮したモデルを組み立てることにより、実測の線量率変化を解析により再現することを試行。【森林総合研究所との共同研究】 (佐久間ら、2018;Malins et al., 2019)





- ●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





<Shaw, et al., 2003, Fig. 11 > Modelling the behaviour of radiocaesium in forest ecosystems MODELLING RADIOACTIVITY IN THE ENVIRONMENT E. Marian Scott (Editor)

- ✓ 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



チェルノブイリの事例:木部における放射性Cs存在量の感度解析 74



- (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。チェル ノブイリの事例では、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bioavailability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。チェルノ ブイリの事例では、ChNPPから30km以上離れた遠隔地での状況。(bioavailability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。

土壌の断面→土壌層位

"土 壌"="岩石の破砕物"+"生物活動に由来する有機物"



<u>R層</u>: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、

河川の地形(人工堤防がある場合)と放射性セシウムの挙動



平水時(左)では陸たった高水敷が、高水時(石)では水に浸かっています。 また、高水時には川の濁りも増えていることが分かります。(小高川)

鈴木隆介(1998)建設技術者のための地形図読図入門第2巻低地,古今書院に基づき編図

□ 堆積物の粒子の大きさ(粒径)

粒径により、水流に対する振る舞いが異なる



Fritz, W.J. & Moore, J.N.(1988)(原田訳, 層序学と堆積学の基礎, 愛智出版)に基づき編図

粒子の移動を開始させる"流速(※)"と"粒径"の関係

(※) 移動限界流速(critical velocity) **Hjulstrom - Sundborg ダイアグラム** or 限界流速(threshold velocity) 掃 流 「「」」、「レイーノメーノト時間で С Ε 匧 Β 流 堆積 1 **v**.f. **f**. m. c. v.c. Clay Silt Sand Pebble 粒 径

Fritz, W.J. & Moore, J.N.(1988)(原田訳, 層序学と堆積学の基礎, 愛智出版)に基づき編図

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<u>有限空間</u>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

<u>未来の世代の生存を保証</u>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<u>未来世代の利害に関係するもの</u>については、 人間は自己の現在の生活を犠牲にしても、<u>保存の完全義務</u>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