

福島第一原発事故に伴う その後の森林木材への影響

高橋 正通

Takahashi Masamichi

1. 森林の多面的機能の汚染

日本は森林国であり、福島県の森林率も71%と高い。そのため、東京電力(株)福島第一原子力発電所の事故で陸地に流れた放射性核種は大半が森林に沈着した。文部科学省の第4次航空機モニタリング(平成23年12月16日発表)によると、栃木県や群馬県など関東平野北部の森林にも3万Bq/m²を超える放射性Csの汚染エリアが広がっている。また、東北地方の南部にも同レベルの汚染が見られる。東日本太平洋側の山間部の森林は広く汚染が確認されている。

森林は人工林と天然林に区分できる。広く植栽されているスギやヒノキは住宅用建材などを生産する経済的な人工林である。また、福島県ではシイタケ等のきのこ原木(ほだ木)生産が盛んで、コナラなどの広葉樹林も経済的に重要な森林であった。経済価値の明らかな人工林の所有者は、東電と損害賠償の交渉を進めている。一方、森林には貨幣価値による評価が難しいが多くの重要な働きがある。例えば、森林は水源林として下流に住む人々の生活を支えている。また、山地の崩壊や土壌の流出を防いでいる。遠足などのレクリエーション活動や、きのこ山菜などの楽しみもある。また、野生生物のすみかとして生物多様性を支えている。このような森林の多面的で公益的な機能を考えると、森林の放射能汚染は福島県の山村や林業にとどまらず、都市に住む一般の人にも多大な影響を及ぼしているといえる。

森林の除染に対しては、優先度や緊急性の観点から住居や農耕地、道路などの生活圏周辺の森林が当面の対象となっている¹⁾。ただし、その範囲は森林の縁から内側20mに限られている。その他、レクリエーション施設やきのこ栽培などで日常的に人が立ち入る森林も除染対象とされている。一方、奥地の森林は、幾つかの除染実証試験が行われているものの、対策は決まっていない。林業や木材産業からは、木材の風評被害回避や追加的な汚染の防止、林内作業の安全性確保等のため除染を求める声を聞く。

ただし、福島県に限らないが日本の林業の経済規模や就業人口は小さく、農業や食品の汚染ほど国民の関心は高くない。そのため、森林の汚染の現状はほとんど知られていないように思われる。この機会に、(独)森林総合研究所の調査を中心に森林環境における放射性Csの現状や問題点について解説したい。

2. 放射性Csの初期沈着

筆者らは原発からの距離や汚染度、樹木の種類の違いなどを考慮し、福島県の川内村、大玉村、只見町の国有林や村有林に放射能汚染のモニタリングサイトを設けている(図1)。ここでは福島県に最も広く植えられているスギ林を対象に、樹木を伐採して葉や枝幹など部位別の放射性Cs濃度を測定し、さらに生息する植物や動物への影響も調べている³⁾。また、大玉村では、スギ林以外にアカマツ林や落葉広葉樹林との比較を行っている。それらの成果の一部は



図1 森林総研の福島調査地
●は森林の沈着量及び分布調査，○は溪流水質調査の地点

農林水産省林野庁から毎年プレスリリースとして公表されている²⁾。

まず、事故から半年後の2011年8月の最初の調査結果を説明する。森林の葉や枝、落葉や土壌などの部位別の放射性Cs濃度を比べると、樹種による沈着パターンの違いが分かる(図2)。ウォッシュアウト*で雨に含まれた放射性物質は、スギの場合、葉や枝の密生する林冠がフィルターとなり、残りが地面に落ちた。一方、コナラのような落葉広葉樹の場合、3月は芽吹き前で葉がなく、放射性Csは枝に付着しながらも、大部分は雪面か落葉におおわれた地面に直接到達した。そのため、スギは葉と落葉の放射性Cs濃度が高く、落葉広葉樹は落葉の濃度が高いが、事故の影響を直接受けていない葉の濃度は低かった(図2)。

このような葉や幹などの部位別濃度と樹木の部位別重量(全立木の直径や樹高の測定と伐採木の重量から推定)との積により、樹木全体の面積当たりのCs沈着量が計算できる。同様に土壌や落葉も沈着量に換算して、森林内の全沈

着量と部位別の分布が求められる。大玉村のスギでは林冠の葉と落葉層にそれぞれ25%、43%の放射性Csが分布し、落葉広葉樹では落葉層が50%を占めた(図3)。一方、落葉の下の土壌汚染は農地等と比べると軽度で、汚染の大半は樹木と落葉に分布していた。

この分布調査の結果などが参照され、住居等近隣の森林除染ガイドラインでは落葉除去や枝打ちが推奨されている¹⁾。実際、郡山市郊外で筆者らが行った落葉除去試験でも、落葉除去により20~30%の空間線量率の低下が確認された⁴⁾。この除染方法は事故初期には最も簡便で有効な方法であったと考えているが、その後、森林内の分布は予想を上回る速さで変化した。

分布は予想を上回る速さで変化した。

3. 放射性Csの1年半後の変化

2012年8月の調査では、葉や幹などの樹木の放射性Cs濃度は大幅に低下した⁵⁾。前年の濃度の約1/2~1/4となり、放射性Csの物理学的崩壊による低下を大幅に上回った(図2)。落葉中の濃度も低下した。一方、表層0~5cmの土壌の放射性Cs濃度は2~3倍に上昇した。

森林内で採取した雨を測定すると常にある程度の放射性Csが含まれていることや、スギなど常緑針葉樹の葉は毎年少しずつ入れ替わることから、林冠の葉の放射性Cs濃度は次第に低下すると予想された。しかし、1年以内に樹体の各部位の濃度がこれほど大幅に低下するとは予想していなかった。2012年10~12月測定された文部科学省による第6次航空機モニタリング(平成25年3月1日発表)では、空間線量率が物理的減衰から予想された1年間の減衰(-21%)を大幅に上回る約40%の減少が観察され、その原因は降雨等の自然環境の影響と解析されている。放射性Cs濃度の低下は筆者らと同様であるが、森林の沈着量に関しては以下のように異なる結果がえられている。

* ウォッシュアウト：落下中の雨滴に放射性物質が補足されること。

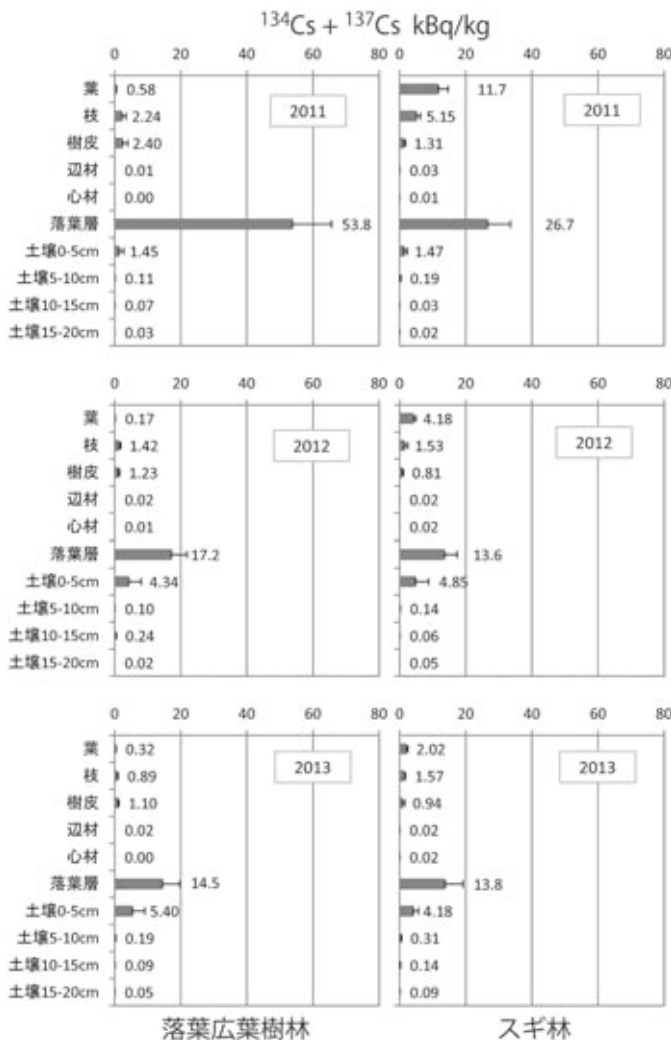


図2 森林内の部位別の放射性Cs濃度 ($^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$, kBq/kg) の変化
左図は落葉広葉樹林 (コナラ), 右図はスギ

2011年と同じように、部位別の濃度と重量との積により、森林全体の放射性Cs量を計算した。樹木と落葉に分布する放射性Csの割合は大幅に低下したが、逆に土壌の割合が大幅に増加した。そのため、森林全体の放射性Cs沈着量は ^{134}Cs の減衰を考慮するとほとんど変わっていない(図4)。樹木からの溶脱はあったが、森林からは流出していないと判断している。航空機計測は森林のキャリブレーション

を取っていないため、推定誤差や森林内の分布変化の影響を受けたのであろう⁶⁾。

森林内に放射性Csが留まっていることは、別の調査でも裏付けられた。森林から放射性Csが流出すると、除染後の農地が再汚染されると心配されたため、2012年3月から福島県内6か所で森林の渓流水を毎日採水し、放射性Csを測定した(図1)。その結果、通常、放射能は検出されなかった。雨で増水して濁った時の渓流水からは時々放射能を検出したが、その濁水を濾過すると不検出となり(検出限界1 Bq/L)、放射能は濁水の浮遊物が原因と判断された⁷⁾。また検出は増水中ずっと続くわけではなく、増水初期の数時間程度に限られた。渓流水における土砂輸送は過去に多くの研究例があり、降雨による浮遊土砂移動の特徴と整合していた。

水溶性の放射性Csは微量だったので、森林からの放射性Cs流出は大部分が浮遊する土砂流出量とその放射性Cs濃度に依存している。森林の表土の汚染度が高くなっていることから、放射性Csの流出を抑えるためには土砂や濁水を流出させない森林の管理が特に重要である。

4. 事故2年半後の変化

さらに、2013年8月(事故から2年半後)に同じ森林を調査した⁸⁾。1年間の放射性Cs濃度と分布の変化はわずかであった(図2, 3)。放射性Csは土壌中の粘土に固定され動きにくくなるので、森林土壌の表層で補足された状態が続いているものと考えられる。また、樹木の各部位の濃度もそれほど変わっていない。雨で流されるような動きやすい成分の移動は収まっ

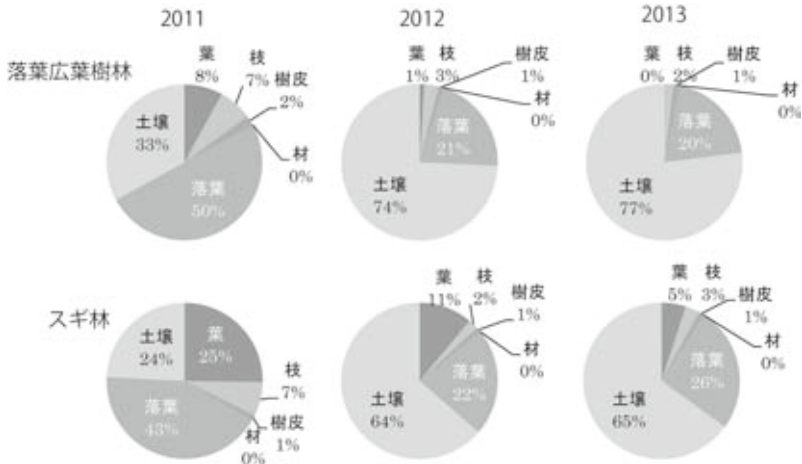


図3 落葉広葉樹林とスギ林の放射性 Cs 部位別沈着割合の変化 (大玉村)

たように見える。しかしながら森林内部の Cs 循環が終わったわけではないと考えている。

木材利用からは、土壌の放射能汚染が進むと、樹木が放射性 Cs を吸収して将来木材が汚染されるのではないかと懸念がある。残念ながら、40 年生の大きな樹木の調査からは厳密な評価は今のところ難しい。樹体内の放射性 Cs の移動や分布の不均一性もあり、吸収量の見積もりには至っていない。しかしながら調査地の空間線量率や初期沈着量が多いほど、木材の放射性 Cs 濃度も高いので、初期沈着の直接影響が最も大きいことが分かる (図 5)⁹⁾。初めに取り込まれた放射性 Cs で木材内部の濃度が決まっており、今のところ土壌から新たな吸収があっても初期濃度を大きく変えるほどにはなっていない。初期沈着が大きいとすると樹木のサイズによる違いも検討が必要である。筆者らの限られた調査だけでなく、様々な樹種や条件で測定したデータを集約して解析することが必要と考えている。

5. 森林における今後の課題

森林の除染方法は緊急時に決められたが、今後は新しい状況に合わせて検討する必要がある。樹木の枝打ちや間伐，落葉回収による除染

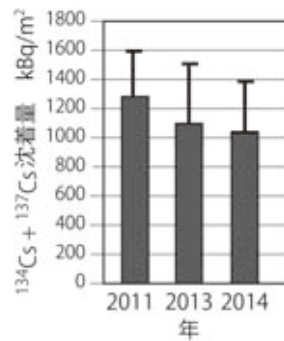


図4 川内村のスギ林 (40 年生人工林) における放射性 Cs 沈着量 (kBq/m²) の変化

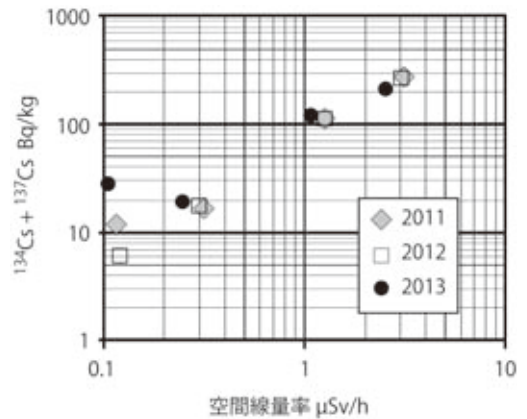


図5 スギの木材中の放射性 Cs 濃度と採取地の空間線量率との関係の変化

効果は減少してくるだろう。既にそのような事例は報告されており、Csの集中した表土を薄く剥ぐような作業も検討されている。しかし、落葉採取により土壌が露出すると、土壌の流亡リスクが高まり再拡散する可能性がある。土壌保全対策がますます重要になってきている¹⁰⁾。

植物の放射性Cs吸収指標として移行係数があるが、吸収量は通常土壌中の濃度や沈着量に比例する。ただし、樹木の場合、少なくとも伐採までに50年程度必要なので、半減期を考慮した長期的な見通しが必要である。また、樹木の養分吸収は菌類を介して行われている。森林に発生するきのこの一部は放射性Cs濃度が高いので、樹木の養分吸収は土壌の性質だけでなく、菌類との関わりも影響する可能性がある。しかし、森林内の食物連鎖や物質循環はその一部しか解明されていない。放射性Csの動きから、私たちの知らない生物間のつながりが明らかになるかもしれない¹¹⁾。

最後になるが、住居周辺の除染が進み住民が帰還しても、裏山の森林に立ち入りできない不自由さを抱えたままでは山村の復興は難しい。林業の再建も必要である。更には冒頭で挙げたような森林の公益的な機能が回復して、ようやく森林と放射能の問題は解決されたといえる。道のりは長い。

参考文献

- 1) 環境省, 除染ガイドライン 平成23年12月14日 (2011)
- 2) 農林水産省林野庁, 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(第二報)」, 平成23年12月27日 (2011)
- 3) 長谷川元洋, 福島原発事故の森林のミミズへの影響, 畜産の研究, **67**, 29-32 (2013)
- 4) 坪山良夫, 大谷義一, 森林の放射能汚染と除染(2)—下草や落ち葉を取り除くと空間線量率はどの程度下がるのか?—, 放射能除染の土壌科学, 学術会議叢書20, 31-39 (2013)
- 5) 農林水産省林野庁, 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」, 平成25年3月29日林野庁 (2013)
- 6) 高橋正通, 森林の放射能汚染と除染, 日本応用地質学会, 平成25年度特別講演およびシンポジウム予稿集, 7-12 (2013)
- 7) 森林総合研究所, プレスリリース「融雪期における渓流水中の放射性物質の観測結果」, 平成24年6月12日 (2012)
- 8) 農林水産省林野庁, 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(事故後2年半までの変化)」, 平成24年4月1日 (2014)
- 9) Kuroda, K., *et al.*, Radiocesium concentrations in the bark, sapwood and heartwood of three tree species collected at Fukushima forests half a year after the Fukushima Dai-ichi nuclear accident, *Journal of Environmental Radioactivity*, **122**, 37-42 (2013)
- 10) 高橋正通, 福島県の森林放射性セシウム汚染の実態と長期モニタリング, 学術の動向, **18**(6), 68-71 (2013)
- 11) 金子真司, 他, 福島原発事故による森林生態系における放射性セシウム汚染とその動態, 日本土壌肥科学雑誌, **85**, 86-89 (2014)

((独)森林総合研究所)