

東日本大震災と森林・木材

森林生態系に飛散した放射性物質の1年目の状態

森林除染と雪解け水の放射性セシウム濃度

木材中の放射性物質

津波被害を軽減した海岸林の機能



高橋 正通
(研究コーディネータ
国土保全・水資源研究担当)

平成23年3月11日の東日本大震災では、大きな揺れによる地震被害だけでなく、その後に到達した巨大津波により多くの方々が犠牲になり深い悲しみを味わいました。さらに、東京電力福島第一原子力発電所の事故による放射能漏れで東日本の森林は広く汚染されてしまいました。

この特集では、昨年来、私たちが取り組んできた放射線や津波による震災影響調査の成果を紹介します。放射能汚染の関係では、森林生態系内の汚染状況とその除染効果、汚染された森林から流出する渓流水や木材内部の汚染度の確認などを調査しました。津波関係では、海岸林の被害状況と被害軽減の効果を検証しました。これらの成果は福島の森林除染や東北太平洋岸の海岸林復興に役立てられるようプレスリリースなどですみやかに公表してきました。

海岸林の復旧と再生計画にはこれまで積み重ねてきた研究がとても役立ちました。一方、放射性物質については初めての経験であり、先進的な海外研究者との情報交換も進めています。チェルノブイリの研究によると、森林生態系の放射性物質分布は、毎年変化していくことが予想されます。また、放射性セシウム137の半減期は30年と長いので長期的な対応が必要となるでしょう。

私たちは、震災後の森林の再生や地域の復興に向けた取り組みを支援するとともに、中長期的な観測によって科学的知見を積み上げていきたいと考えています。



森林生態系に飛散した 放射性物質の一年目の状態



赤間 亮夫

企画部
放射性物質影響評価監

はじめに

二〇一一年三月一一日の地震に伴う大津波により、東京電力福島第一原子力発電所が冷却機能を失い、数日後から放射性物質が飛散し東北地方の南部や関東地方周辺など東日本の森林が広範囲に汚染されました。この放射性物質の量はチェルノブイリ事故の一〇分の一程とも言われていますが、正確なところはまだわかっていないようです。

この時放出された放射性物質は、おもに放射性ヨウ素と二種類の放射性セシウムでした。森林総合研究所では事故直後から、チェルノブイリ事故等の情報や論文を参考にして、放射性物質の森林に及ぼす影響を調べる準備を始めました。放射性ヨウ素は半減期が八日ほどであり、事故後短い間にほとんど消失しています。しかし二種類の放射性セシウムの半減期は、セシウム一三四が二年、セシウム一三七が三〇年と長いためほとんど消失せずに残り、その分布は土壌の表層やその上に積もっている落葉（堆積有機物層）に多いこと、土壌中の粘土鉱物に固定さ

れ、動きにくいことなどが予測されました。

そこで、この予測を検証するため、放射性セシウムの林内での分布を解明することをめざし、福島県内に原発からの距離の異なる三箇所の試験地を設定して八月には調査を開始しました。この結果は、既に季刊森林総研一五、一六、一七号でも速報として

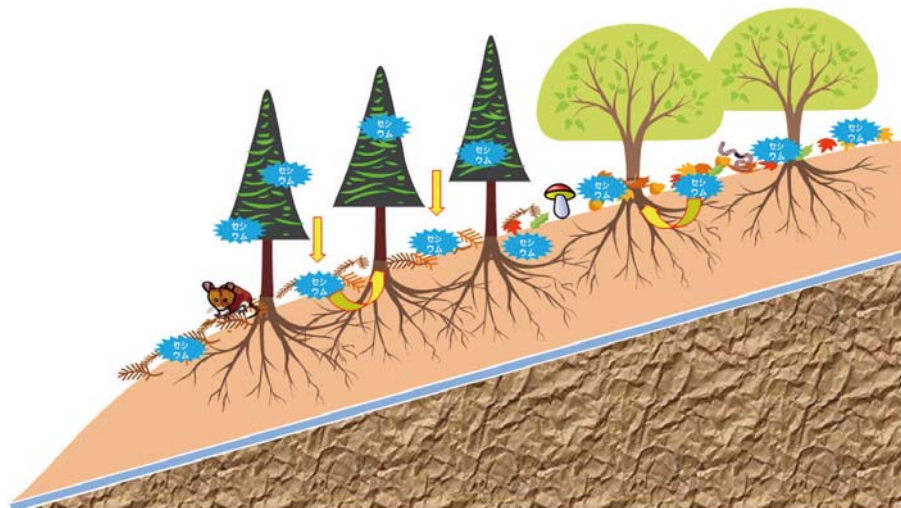


図1 森林生態系内の放射性セシウムの存在状態

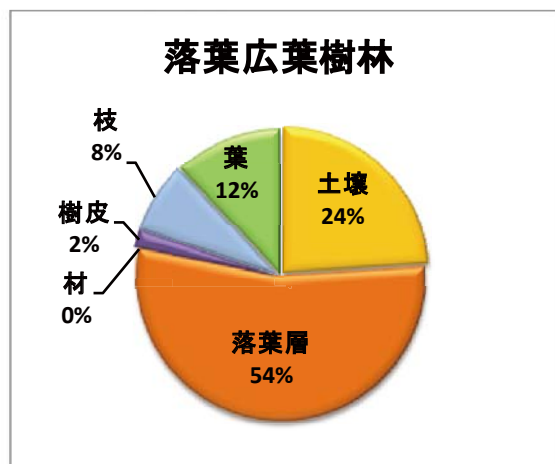
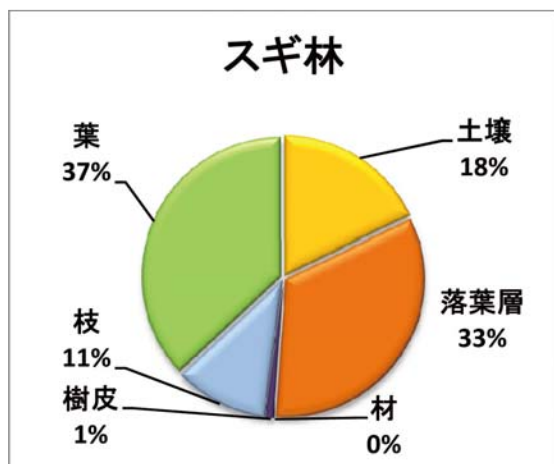


図2 スギ林と落葉広葉林における放射性セシウムの蓄積量の違い

お知らせしておりますが、ここではこれまでの調査の概要をまとめてお伝えしたいと思います。

森林内での放射性セシウムの分布

事故当時はまだ葉が着いていなかった落葉広葉樹林では、放射性セシウムの大部分が樹冠を通り抜けて降下し、地表の落葉に付着していました。一方、スギのような常緑樹の森林では、降下時に樹冠の葉がセシウムを捕捉したため、事故後半年を経過した時点でも、地表の落葉ばかりでなく、樹上の葉にも多くの放射性セシウムが付着していることがわかりました(図1、2)。また、いずれの調査地においても、地表から五センチメートルまでの土壌には放射性セシウムが検出されましたが、その濃度は落葉における濃度の1割以下でした。一方、五センチメートルより深いところの土壌にはほとんど検出されませんでした。このことから放射性セシウムは主に落葉層にとどまっており、土壌深くへは移動していないことが確認されました。

樹木の内部での放射性セシウムの動きについても情報が得られました。落葉広葉樹の葉やスギの雄花は、事故からしばらく時間が経過した後形成されたものなので、飛散した放射性セシウムに直接触れたとは考えられません。また、樹体の内部にある材の部分も、セシウムに直接触れていません。しかし、こうした部分からも、程度の差はありますが放射性セシウムが検出されました(材のセシウム濃度については「木材中の放射性物質」10ページを参照してください)。

また生物影響については、地表面付近に放

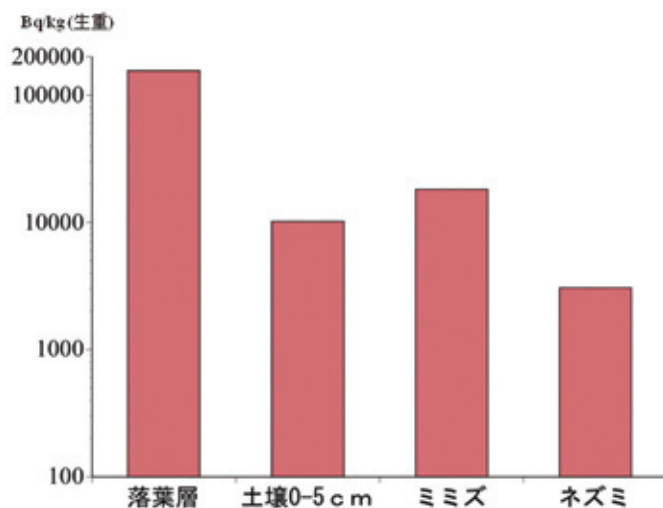


図3 土壌、落葉層、ミミズ、ネズミの放射性セシウム濃度

スギ雄花の放射性セシウム濃度

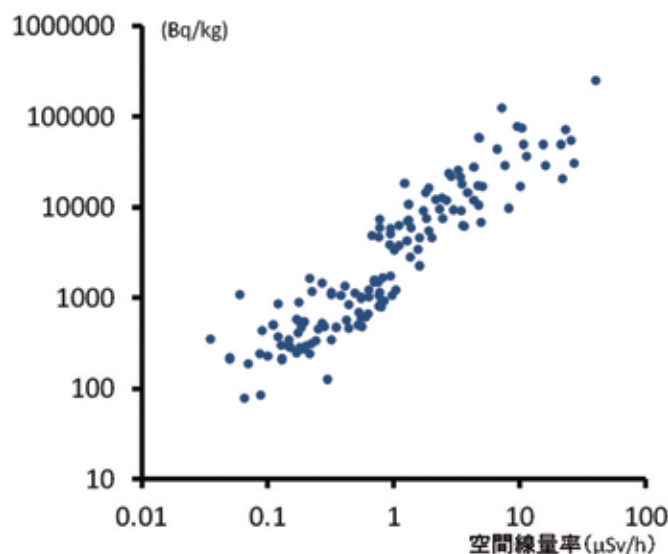


図4 空間線量率とスギ雄花の放射性セシウムの関係

放射性物質が多いので、その付近に生息しているミミズやネズミを調べました。放射性セシウムの濃度は、高い方から、落葉、ミミズ、表層の土壌、ネズミの順でした(図3)。この濃度の違いは、土壌や落葉を食物としているミミズと、地表付近の植物質、動物質などをエサとしているネズミという食物連鎖の違いによると考えられます。

空間線量率との関係

これらの調査結果を汚染の指標となる空間線量率との関係で見直すと、葉や枝、幹、土壌などの部位の違いや、落葉層、常緑樹の違い、生物種による違いはありますが、森林生態系の多くの部分に放射性

セシウムが分布し、それぞれの濃度を調査地点間で比較してみると、汚染度の指標である空間線量率が高いほど高くなることがわかりました(図4)。これにより空間線量率から、森林の部位別やそこに生息する生物の放射性セシウム濃度をある程度推察できます。

現状は以上述べたとおりで、セシウムはカリウムと同じような性質を持っており、土壌中の粘土鉱物に固定されていますが、一部は生物体に取り込まれて生態系内を循環すると考えられます。森林総合研究所では、今後長期間にわたってその動きを調べていきます。

森林除染と雪解け水の放射性セシウム濃度



坪山 良夫

（水土保全研究領域
領域長）

はじめに

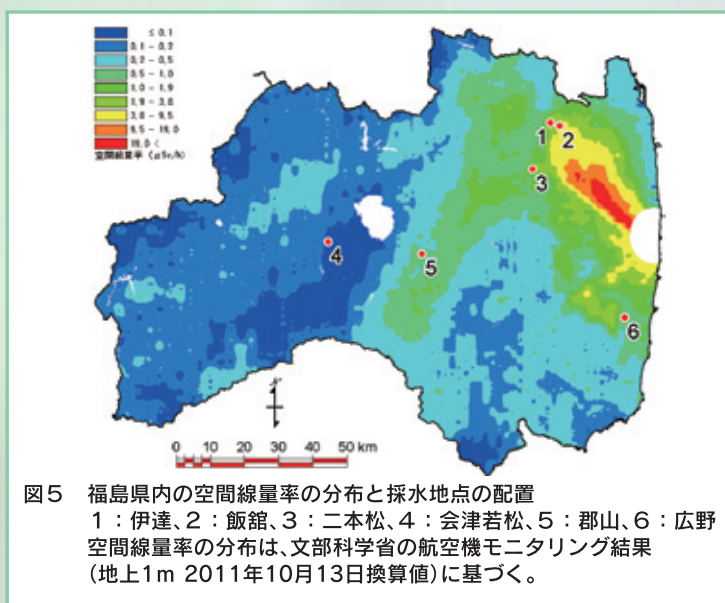
二〇一一年三月に発生した東京電力福島第一発電所の事故では周辺の森林にも放射性物質が降下しました。特に居住地等に隣接する森林では、森林に降下した放射性物質が追加被ばくの線源となるおそれがありました。その後、森林に降下した放射性物質の多くが葉や落葉に分布していることが知られるようになり（本特集5ページの「森林生態系に飛散した放射性物質一年目の状態」参照）、落葉の除去が森林除染の有効な方法の一つとして期待されました。しかし、除染の方針を立てる上で、除去の効果に関する定量的な情報はほとんどありませんでした。そこで、私たちは福島県林業研究センターと協力して、二〇一一年九月～一〇月に下草と落葉の除去による空間線量率の変化を調べました。

また、放射性物質が降下した森林の多くは河川上流の山間地にあり、冬季は雪に覆われる地域もあります。冬の間、溪流を流れる水は比較的小さい状態が続きますが、雪解けの時期になると水の量が増え

ます。森林に降った放射性物質が融雪期の増水と一緒に流れてくるのではないかと今年の春には、そのような心配をする声もありました。そこで、私たちは農林水産省の委託を受けて、二〇一二年三月～四月に森林から流れ出る渓流水の放射性セシウム濃度を調べました。

落ち葉を取り除くと空間線量率はどれくらい下がるのか？

落ち葉を取り除く試験は福島県林業研究センター多田野試験林（図5の地点5）の針葉樹林（スギ・ヒノキ）と広葉樹林（コナラ主体）で行いました。居住地等に隣接する森林では、森林からの放射線



以外、と道路など森林以外の場所の両方からも放射線が来るので、そのような場所で調査を行っても森林除染の効果を正確に捉えにくくなります。そこで、森林で覆われた斜面の中央に正方形の調査区（二〇m×二〇m、ただし長さは斜距離）を設け、中心から外側に向かって段階的に範囲を拡大しながら下草と落葉層を取り除きました（図6・写真1）。そして、除去の各段階で調査区中心における高さ〇・一m、〇・五m、及び一mの空間線量率を測定しました。また、除去した下草と落葉層の重さを測定し、それぞれの除去量を推定しました。

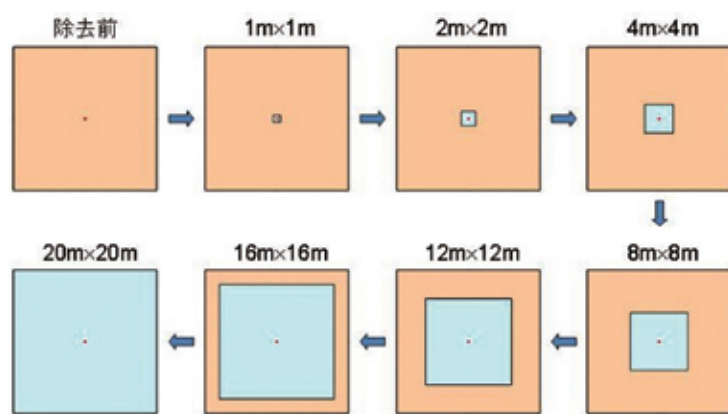


図6 落葉層の段階的除去の概念図。除去する範囲（空色の部分）を少しずつ増やしながら、中心点で空間放射線率を測定する。



写真1 除染実験の様子

その結果、調査区全体（ $20m \times 20m$ ）の除去が完了した時点で、調査区中心における高さ1mの空間線量率は、針葉樹林では除去作業開始前の毎時〇・七七マイクロシーベルトからその約七割の毎時〇・五七マイクロシーベルトに、また広葉樹林では毎時一・二二マイクロシーベルトからその約六割の毎時〇・七七マイクロシーベルトにまで低下しました。針葉樹林・広葉樹林どちらの調査地でも、除去の範囲を上げると中心の空間線量率は低下しましたが、下がり方は次第に緩やかになりました（図7）。調査区全体（ $20m \times 20m$ ）から除去した

下草と落葉層の総重量（湿重量）は、針葉樹林では約一、一二kg、広葉樹林では一、二七〇kgになりました。

広葉樹林の方が針葉樹林よりも、除去前の空間線量率が高く、除去に伴い空間線量率が低下する割合も大きかったのは、落葉樹林では放射性物質が降下した時期に落葉していたため、下草や落葉層に付着したことから、針葉樹では樹上の葉にかなり補足され、それがまだ落葉していなかったためと考えています。

融雪期の渓流水の放射性セシウム濃度

融雪期の渓流水の調査は、福島県内の六箇所の渓流で行いました（図5）。採水地点上流の地上1mの空間線量率は毎時〇・一四・一マイクロシーベルトの範囲でした。融雪期の渓流水は主に昼過ぎから夕方にかけて流量が増えることから、毎日一回午後二時に渓流水を採取しました（写真2）。そして、採取試料の放射性セシウム一三四と一三七の濃度をゲルマニウム半導体検出器で測定しました。

その結果、三四二本の試料中三三三本からは放射性セシウムは検出されませんでした。一部の試料



写真2 渓流水の自動採取

（三四二本中九本）から一リットルあたり一ベクレル以上のセシウム一三四または一三七が検出されました。放射性セシウムが検出された試料の大部分について、採水前二四時間以内に直近のアメダス観測所で降水が記録されていました。また、放射性セシウムが検出された試料を濾過により懸濁物質を取り除いたところ、放射性セシウムは検出されませんでした（表1）。このことは、検出された放射性セシウムが、主に増水した渓流水中の懸濁物質に含まれ

ていたことを示唆しています。

むすび

落葉を除去すると空間線量率は下がります。しかし、一定の範囲まで除去すると、空間線量率の下がり方にはぶるごとがわかりました。一方、頻度は限られていましたが、渓流水の放射性セシウム濃度は増

水時に高くなることがあり、それは増水した渓流水に含まれる懸濁物質に由来することが示されました。空間線量率を下げるという点で落葉の除去には一定の効果が期待できますが、急斜面の土壌を過度に剥きだしにすると、雨や凍結融解により土壌が移動しやすくなり、それが森林外への放射性物質の新た

な移動につながる可能性があります。このように、森林の除染を進める上では除去の効果と除去がもたらす影響のバランスを考えることが重要です。このため、現在でも渓流水の放射性セシウム濃度調査を続けています。

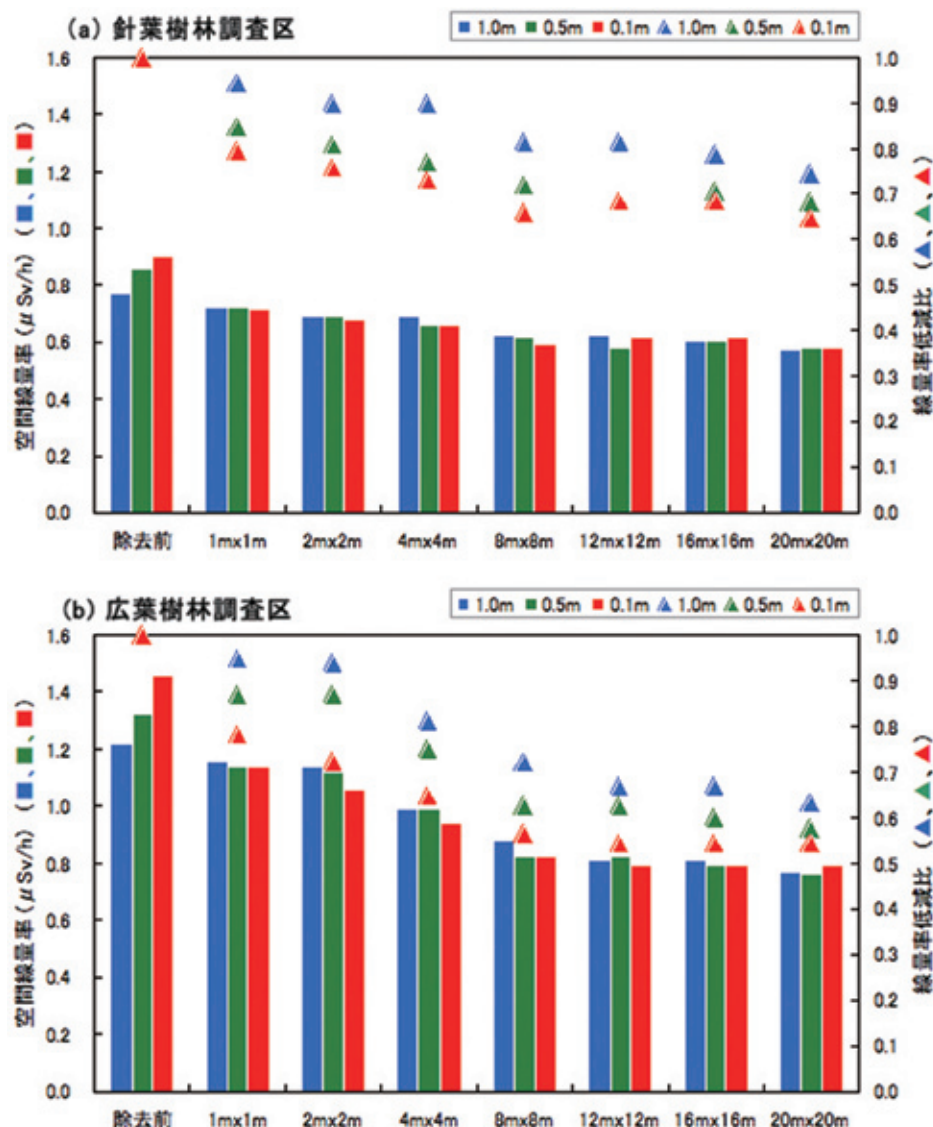


図7 落葉の除去範囲と空間線量率の低下。棒グラフは地上からの高さごとの空間線量率。三角印は除去前の値を1とした場合の割合(低減比)。

採水 地点	採水 月日	濾過前		濾過後		SS mg/L
		Cs-134 Bq/L	Cs-134 Bq/L	Cs-134 Bq/L	Cs-134 Bq/L	
伊達	3/5	1.7	2.3	<1	<1	17
伊達	3/12	1.1	1.8	<1	<1	2
伊達	4/12	1.2	1.7	<1	<1	2
伊達	4/27	<1	1.0	<1	<1	2
飯館	3/5	1.8	3.1	<1	<1	28
飯館	3/24	<1	1.2	<1	<1	6
飯館	4/4	2.7	3.1	<1	<1	170
二本松	4/4	<1	1.1	<1	<1	34
二本松	4/19	<1	1.0	<1	<1	14

表1 放射性セシウムが検出された渓流水9サンプルの懸濁物質(SS)濃度と濾過前後の放射性セシウム濃度。他の333サンプルからは不検出。

木材中の放射性物質



高野 勉
（木材特性研究領域
領域長）



外崎 真理雄
（四国支所 支所長）

はじめに

福島第一原発の事故によって放出された放射性物質は森林にも広く拡散しました。森林内での放射性物質の分布については本特集の5～6ページ「森林生態系に飛散した放射性物質一年目の状態」でも述べられていますが、そこに生育する樹木の内部についてはどうなっているでしょうか。ここでは木材中の放射性物質の状態を調べた結果をご紹介します。

樹木の放射性セシウム量

昨年八月から一十月にかけて、汚染の程度（空間線量率）が異なる福島県内の五つの地点（図8）でスギの木を切り倒して試料を採取し（写真3）、放射性物質の量をゲルマニウム半導体検出器で調べました。



図8 福島県の五つの地点

ウムが検出されましたが、木材からは検出されませんでした。しかし、より空間線量率が高い大玉村の〇・三マイクロシーベルトの調査地では心材（木材の中心部、写真4）から八ベクレル、辺材（木材の樹皮寄りの外側の部分、写真4）から二六ベクレル、樹皮で一三二ベクレルが検出されました。さらに、三箇所のうち最も空間線量率の高かった川内村の三・一マイクロシーベルトの調査地では、心材からは一五六ベクレル、辺材からは四〇〇ベクレル、樹皮から約三万ベクレルと空間線量率に比例した濃度の放射性セシウムが検出されました（図9）。いずれも樹皮での濃度が木材より高いのは、放出された放射性物質が樹皮の表面に付着したためと考えられます。一方、木材中には枝葉の表面からの吸

その結

果、空間線量率が低い只見町の一時あたりの〇・一マイクロシーベルトの調査地では、樹皮から一キログラムあたり一七七ベクレルの放射性セシ



写真3 スギ試料採取の様子
放射性物質を含む泥などが付着しないようにブルーシート上で作業

収や根からの吸収によって、わずかながら放射性セシウムが取り込まれたと考えられます。さらに、木材の辺材では、中心の心材に比べてすべて高い傾向でした。大玉村ではスギのほかアカマツとコナラについても調べましたが、このように辺材が心材より高い傾向は、同じでした（表2）。

文部科学省が公表している空間線量率のマップでは福島県の森林の大部分は〇・五～〇・一マイクロシーベルト程度と、大玉村調査地以下の値なので、木材中の放射性セシウムの濃度は、福島県のほとんどの地域で一キログラムあたり百ベクレルよりも低いことが予想されます。

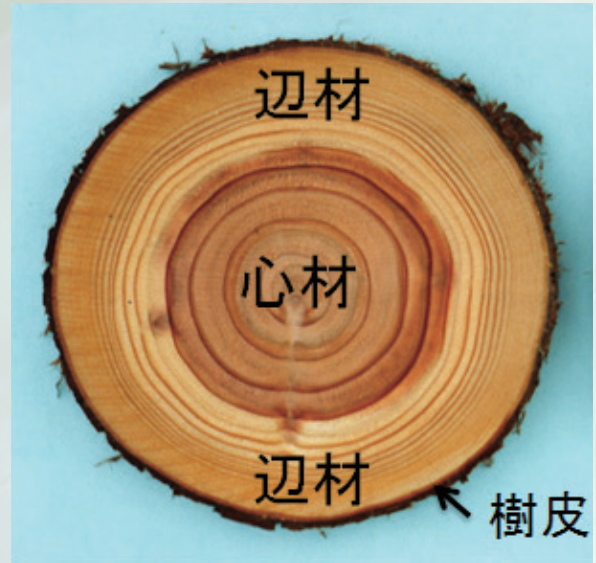


写真4 スギ材の横断面

樹体内でのセシウムの動き

セシウムは植物の三大栄養素のひとつであるカリウムと同じような性質をもつので、一部は根から吸収され、植物体中を移動し、生きた細胞に多く蓄積されます。ところが木材のうちでも心材は死んだ組織で構成されているので、セシウムは蓄積されにくいです。しかしすでに述べたように、今回の調査で心材からもわずかながらセシウムが検出されました。昭和三〇年代の核実験などに由来する放射性セシウムでも、降下当時に形成された年輪を超えて木材内部の心材に拡散することが報告されていますが、辺材・心材を含めた木材の内部で放射性セシウムがどのように移動するのか、不明な点が多く残されています。

放射性物質を含む木材の住宅

放射性物質を含む木材を住宅用に使うことは、健康に影響があるのでしょいか。これについては林野庁が次のような試算を行っています。

使用する建材には今回の調査で最も放射性セシウム濃度の高い一キログラムあたり四百ベクレルの木材を使うこととし、四畳半の部屋を想定した六面すべてが木材の四角い箱を作り、この中で一日の八割を過ごす想定しました。建材の厚さなどの詳細な条件については省略しますが、算出された年間外部被曝量は百分の一ミリシーベルトとなり、自然放射

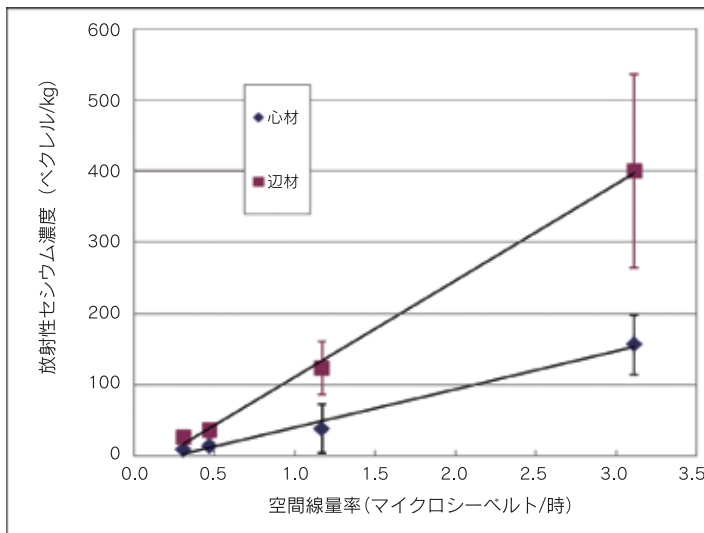


図9 空間線量率と木材中の放射性セシウム濃度の関係(辺材、心材別)

表2 放射性セシウム放射線濃度測定結果

採取地名	採取地の空間線量率	セシウム放射線濃度(ベクレル/kg)			
		樹種	樹皮	辺材	心材
川内	3.11	スギ	29,296	400	156
上川内	1.17	スギ	2,631	124	38
川内宮渡	0.47	スギ	1,335	36	14
大玉	0.31~0.33	スギ	1,312	26	8
		アカマツ	1,868	10	3
		コナラ	2,356	12	2

空間線量率単位: マイクロシーベルト/時

線による被曝量(日本での平均は一・五ミリシーベルト)に比べて十分低い値でした。この試算による限り、健康上の影響はほとんどないと考えられます。チェルノブイリの原発事故による影響調査では、事故後の数年にわたり森林生態系中の放射性セシウムの分布が大きく変化したと報告されています。したがって、木材中の放射性セシウムの濃度も今後変化していく可能性があります。私たちはその変化についても、生態系の調査チームと連携しながら注意深く調べていく予定です。

津波被害を軽減した
海岸林の機能

坂本 知己

（気象環境研究領域
気象害防災林研究室 室長）

はじめに

平成三三年東北地方太平洋沖地震に伴う津波は、多くの生命・財産を奪い社会基盤を破壊する戦後最悪の自然災害をもたらしました。本紙一四号で紹介しましたように、海岸林も、青森県から千葉県にかけて甚大な被害を免れ得ませんでした。しかしながら、海岸林は、被災しながらも津波被害軽減機能を果たしました。

津波の力を弱める機能

海岸林には、津波に抵抗してその流速や波力を弱める機能があります。これにより、家屋の被害を減らしたり、津波が到達する時刻を遅らせたりする効果が期待できます。ぎりぎりの場面では数秒の違いが生死を分けますから、わずかな時間の遅れでも重要な影響を及ぼします。

この機能は、コンピュータを使った数値シミュレーションでは明らかですが、現地に証拠が残るわけではなく、実証するのが難しいとされています。

今回の津波でも、福島県・岩手県では必ずしも明瞭ではありませんが、津波の規模が比較的小さかった青森県では、海岸林の樹木の傾きの程度から（写真5）、津波が海岸林を通過する途中で波力が弱められたことが確認できました。

なお、数値シミュレーションの精度をより高め、信頼性を上げるために、樹木がどれくらいの抵抗力を持つか（抵抗体としての特性値）、津波に対する幹や根の耐性などを今後明らかにしていく予定です。

漂流物を捕える機能

この機能は、津波による漂流物の移動を止める機能です。すなわち、船舶や瓦礫などの漂流物を捕らえて、それらが流れ込んで家屋などに衝突することを防ぐ機能と、家屋などが引き波で海域に流出することを防ぐ機能です。樹木の間を小さな漂流物が通過することもあります。海岸林が完全に倒れたり流されたりしてしまわない限りこの効果は期待できます。

海岸林の幅が広い（奥行きがある）ほど漂流物が通り抜けにくくなるので機能は高くなります。また、津波の力を弱める機能と違って、漂流物が現地に残るので確かめやすい機能です。

今回の津波でも、船舶が海岸林で止められていた例（写真6）や、防潮堤のコンクリートブロックなどが海岸林をなぎ倒しながらも海岸林内に残った例が見られました（写真7）。また、流木となった樹木が、生存木に捕捉されている例もありました。



写真5 津波による樹木の倒伏が林内で止まった例（青森県三沢市）

土地利用の制限がもたらす効果

これは海岸付近の一定の範囲を海岸林にし、土地利用を制限することで、家屋などを危険から遠ざける機能です。他の機能に比べると、直接的な機能ではありませんが、防災効果は高く確実で、積極的に評価したい機能です。

海岸近くに家屋があったとしたら、例えば、津波によって運ばれた防潮堤のコンクリート塊が（写真7）、建物を直撃したかもしれません。もしそうになったら家屋が瓦礫となって内陸側に漂流し、被害をより拡大したおそれもありますが、これを未然に防いだと評価できます。

津波から逃れる手段

津波に対する海岸林の機能はほかにもあります。樹木に登って津波をやり過ごしたり、津波に襲われた人が流されないように樹木にすがりついたり、津波に流された人が枝などにひっかかって助かることもあるのです。

機能というにはいささか大げさかもしれませんが、二〇〇四年のインド洋大津波の際には、これで多くの命が救われたことは事実です。ただし今回の津波はインド洋大津波の場合と比べると、気温・水温が低かったためか、残念ながら助かった方は多くありません。

おわりに

海岸林には、いままで果たしてきた防風や防潮、飛砂防備などの防災機能はもちろんのこと、景観の創出、保健休養の場の提供など多面的な機能があります。その機能の回復は復興に欠かせません。さら

に今回改めて明らかになったように、海岸林には津波被害を軽減する機能も担っています。こうした多面的な役割をもつ空間として、積極的に海岸林を復興計画の中に位置づける必要があります。



写真6 樹木に捕捉された漂流物(宮城県亘理町)



写真7 林内に散乱するコンクリートブロック(宮城県名取市)