

原発事故後の林業再生に向けた課題

森林総合研究所企画部長 高橋 正通

1. 福島県の林業と原発事故の影響

福島県の森林面積は 98 万 ha、森林の蓄積は約 1 億 9000 万 m^3 で都道府県別ではともに全国 4 位である。そのうち民有林面積は 41% で国有林の割合が高く、また、天然林率は 60% である。生産される材の 6 割がスギで、広葉樹、アカマツと続く。製材工場は年々減少しつつあるものの、原発事故の前の 2010 年には 251 工場が稼働し、その年の木材の素材生産量（山から切り出した丸太の量）は 71 万 m^3 でやはり全国 4 位である。コナラなどの広葉樹は原木きのこの「ほだ木」や菌床栽培用として全国に供給されていた。福島県は林業の盛んな県として関係者にはよく知られていた。

原発事故の経済的影響を農林水産省および福島県の統計資料で見ると、木材の素材生産額は事故前の 2010 年度は 73 億円あったが、2011 年度には

62 億円に、栽培きのこの生産は 2010 年度の 49 億円が、2011 年度には 24 億円と半減した。きのこ生産への影響は県のほぼ全域にわたっているが、素材生産は地域による差が大きい。

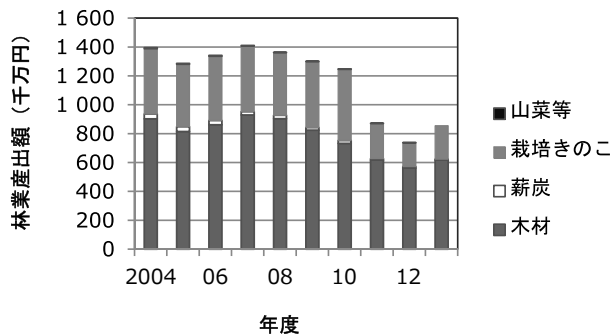


図 1 福島県の林業関係生産額

い。県東部（浜通り）の相双、富岡の農林事務所管内で影響が著しく、相双管内の2011年度生産量は2010年度の12%、富岡管内は29%にまで低下したが、その他の県農林事務所管内は75%（県中事務所管内）から124%（県南事務所管内）と幅がある。2013年度も素材生産が62億円、きのこが23億円とほとんど回復の兆しが見られない（図1）。

福島県は林業が盛んだと言っても、県全体の産業構造から見ると林業の占める割合は非常に小さい。2010年の国勢調査では、福島県の林業就業者数は2181人であり、県の就業者総数97万人の0.2%しかない。同年度の福島県の名目総生産は7兆1000億円であるが、林業収入は125億円であり、全体の0.18%である。当然、震災復興の施策でも林業の優先順位は低く、一般の関心も低い。また、産業規模が小さいため、林業の復興事業が発注されても受注できる事業体や経験のある労働者が少ない。林業を取り巻く構造的な問題が復興事業への対応も遅らせている面がある。

2. 森林内の空間線量率

空間線量率は放射線の量の単位であり、被ばく量を推定するのに有効であるが、汚染の程度も

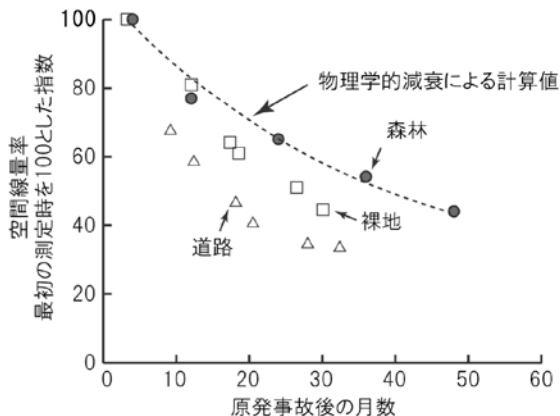


図2 土地利用の違いによる空間線量率の変化
裸地（人為的なく乱の少ない開かれた土地）および道路（道路上およびその近傍）は原子力規制庁³⁾、森林は林野庁⁴⁾の調査

把握できる。県内各地のモニタリングポストの空間線量率は確実に下がってきている。これは除染の効果の他に、放射性セシウムの物理学的半減期による自然減少が要因である。2016年の空間線量率は、セシウム134（半減期は2年）は当初の17%に、セ

シウム 137（半減期 30 年）は 89%に低下し、両方合わせて 38%まで自然に減衰する。放射能への対応は時間に任せるのも有効な解決策といわれている¹⁾。

空間線量率のモニタリングは、航空機や自動車でも行われている。これらによると、福島各地の空間線量率は上で示した計算上の値よりも速く低下している。航空機モニタリングによると、高さ 1m の空間線量率は、事故 7 カ月後に比べ 30 カ月後の測定では計算よりも 13%速く低下していた²⁾。これは風雨などによる流出や土壌の下方への浸透等（ウェザリング）によるものとされている。自動車による走行モニタリングでは道路上の低下はさらに大きい³⁾。一方、林野庁の調査⁴⁾によると、森林内の空間線量率の変化は自然の減衰に沿って低下している（図 2）。森林ではウェザリングの効果はほとんど認められず、空間線量率は低下しにくい。これは、森林が除染されていないだけでなく、次に示すように、放射性セシウムを保持する特性を持つためである。

3. 事故当初の森林内部の汚染

森林総合研究所では、林業としての経済性や分布面積からスギ林を主な調査対象とし、一部で広葉樹林やアカマツ林等を比較している。原発に近い川内村、安達太良山山麓の大玉村、原発から遠い会津地方の只見町にスギ林の調査地を設け、また大玉村ではスギ林の他、アカマツ林と落葉広葉樹林で調査をした。2011 年の調査地の空間線量率は川内村で毎時 3.1 μSv 、大玉村は 0.3 μSv 、只見町は 0.1 μSv であり、川内村は事故後、全村避難を強いられている。調査の方法は樹木の成長量を測るとともに、伐採して葉や幹、樹皮等に分けて試料を採取し、土壌や落葉も調べる精密な方法である⁵⁾。ここでは特徴的な調査結果を紹介する。

まず、森林内の空間線量率が高いほど葉や幹など各部位の放射性セシウム濃度は高く、正比例している。当たり前ではあるが、空間線量率が樹木の汚染の指標として利用できることを示している。

事故のあった 2011 年夏の調査では、樹木の種類、特に常緑樹（スギやマツ）と落葉樹（コナラなど）による放射性セシウムの濃度分布に違いが見られた。

スギの葉や枝、広葉樹の枝や樹皮、地表の落葉の放射性セシウムは比較的高濃度であり、一方、土壌はあまり汚染されていない（図3）。各部位の放射性セシウム蓄積量と森林生態系内の分布割合を計算すると、スギ林では樹木の葉、落葉、土壌に多くが分布し、落葉広葉樹では落葉層への分布割合が多かった（図4）。このような濃度や分布の特徴は、原発事故の起こった3月

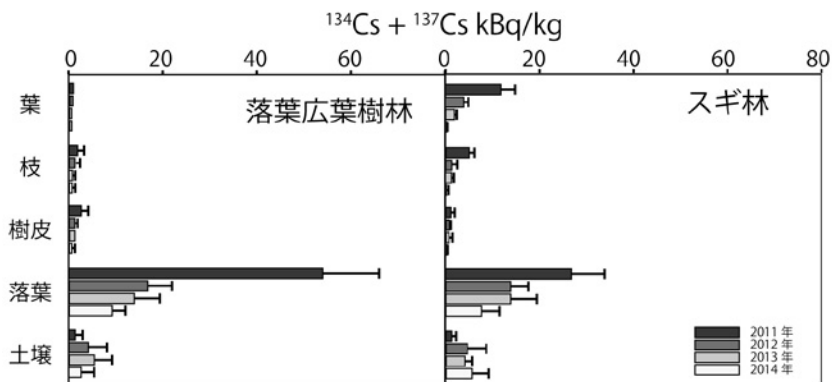


図3 大玉試験地におけるスギ林と落葉広葉樹林の部位別放射性セシウム濃度の変化¹⁴⁾。土壌は0-5cmの値。材は低濃度なので省略

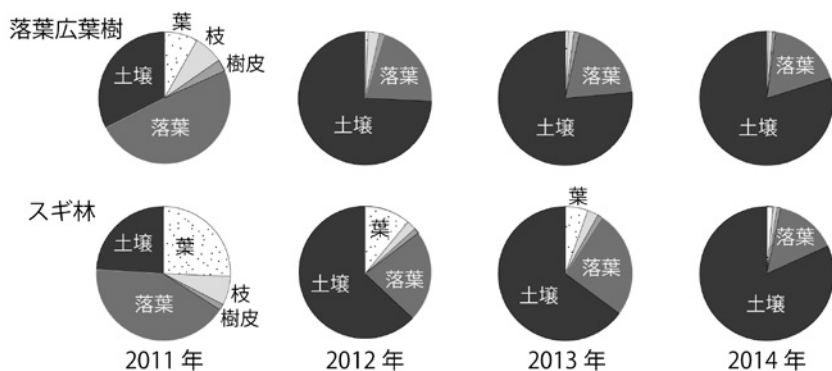


図4 大玉試験地における落葉広葉樹林とスギ林における放射性セシウム（ ^{134}Cs , ^{137}Cs の合計）蓄積量の部位別割合¹⁴⁾

の樹木の状態を考えると理解できる。上空から飛来した放射性セシウムは、スギのような常緑樹の場合、まず枝葉に付着したが、落葉樹では葉がない時期なので、枝や樹皮に付着しながらも多くは地面（雪面）に到達したのであろう。

スギ材の内部にも最高 410Bq/kg 程度の放射性セシウムが検出された。当初、木材の専門家は、樹木の根によってセシウムが吸収され内部へ移行するので、木材が汚染されるまでには時間がかかると考えていた。結果は予想外のもので、葉面に付着したセシウムも吸収されたと考えられる。主な吸収経路に関しては明確な結論は出ていないが、木材内部に短時間で浸透したのは事実である。

以上のように、放射性セシウムの濃度や分布から、上空から降り注いだ放射性物質が、樹木の葉や枝、幹などに付着しながら地上に到達した様子が分かる。もし夏に事故が起きたとすると、落葉広葉樹の葉も開いており、下草も多いので、分布の様子は変わっていただろう。

4. 急激なセシウム分布の変化

2012 年の調査では、樹木の部位別放射性セシウム濃度と落葉中の濃度は 2 分の 1 ～ 3 分の 1 程度に低下するとともに、土壌中のセシウム濃度は 2 ～ 3 倍に上昇した（図 3）。部位別の蓄積分布では、樹木や落葉の分布割合が減少し、土壌の割合が大幅に増加した（図 4）。雨や雪で放射性セシウムは樹木から洗い流され土壌に移動したため、分布が大きく変化した。

また、スギ材内部のセシウム濃度も変化していた。2011 年は辺材（丸太の樹皮に近い方）が高濃度であり、心材（丸太の中心部）が低濃度であったが、2012 年は材の濃度分布は均質な値になった。この変化は、セシウムが材内部の濃度勾配に従って拡散移動して平衡状態になったと考えられ、セシウムは樹体中で動きやすい元素であることが示唆された。ただし、コナラでは材内の濃度変化は緩やかで、樹種による違いも見られた。材のセシウム移動は岡田の報告が詳しい⁶⁾。

その後も毎年、定期的に調査を行っているが大きな変化は見られない。2013 年、落葉や樹木の放射性セシウム濃度や分布割合が徐々に低下し、土

壤（特に表層5cm）への蓄積割合が増加してきた（図4）。2014年も同様の傾向にあった。現在、落葉層で放射性セシウム濃度は最高値を示すが、セシウムの大半は土壌の表層に集中している⁷⁾。樹木への分布割合は低下し、今では多くても森林全体の約5%以下しかない。森林を伐採・搬出しても放射能は減らず、表土に蓄積した放射性セシウムの管理に注意を払うべき状況にある。

樹木と土壌を合わせた森林全体の放射性セシウム蓄積量を求めると、自然減衰による低下割合以上には減少していなかった。放射性セシウムは森林内を移動したが、土壌に大半が保持されている。

以上のような森林内や木材中の放射性セシウム濃度と分布を理解したうえで、林業再生に向けた課題を考えてみる。重要なことは、安全な木材の供給と、森林に蓄積している放射性セシウムの再拡散を防止することである。

5. 木材の放射性セシウム濃度

チェルノブイリ原発事故後、ヨーロッパでは森林や木材のセシウム動態を予測する数値モデルがいくつか開発された⁸⁾。これらの多くは、樹木が放射性セシウムを吸収して木材中の濃度が上昇する過程と、放射性セシウムの半減期に沿って放射能が減衰する過程が組み入れられており、その結果、10～20年程度で木材中セシウム濃度が最高値となり、その後、徐々に濃度が下降するという予測になっている。そのため、木材の汚染が進む前にできるだけ早く伐採し、利用すべきという意見もあった。しかし、欧州のモデルによる予想と異なり、森林総研や福島県の調査結果はどれも木材のセシウム濃度の明確な上昇を確認していない。除染目的で樹木を伐採するのでなければ、数年経過してから林業活動を再開する方が樹木のセシウム濃度が低く、作業上の安全性も高いといえる。

これまでの調査の結果は、伐採収穫されるような大きな樹木の場合、木材のセシウム濃度が変化するほど根からのセシウム吸収量は大きくないことを示唆している。むしろ、木材中の放射性セシウム濃度は事故の年に取り込まれたセシウムでほぼ決まってしまったように見える。ただし、これは楽観的な考えかもしれない。森林に沈着した放射性セシウムの大部分が土壌、特に

表層部分に集中してきており、その濃度は事故当初より数倍も高くなってきた。樹木の細根は地表付近に集中しているので、今後、根からのセシウム吸収量は多くなる可能性も考えられる。また伐採後、汚染土壌に新しく植林された苗木は初めからセシウムを吸収して成長することになる。いろいろなサイズの樹木でモニタリングを続け、木材中の濃度を監視する必要があるだろう。さらに、最近、福島に関する論文も増え、行政の調査データも公表されているので、これらを使って日本に適応可能な予測モデルを作ることが研究者に期待されている。

6. 木材の安全基準

木材の濃度が予想できても、その安全性の評価については難しい課題がある。そもそも木材の放射性セシウム濃度の許容基準がないのである。その代わり、木材は食べ物ではないので内部被ばくの心配はないが、放射能を含んだ木材で家具や木造住宅を作った場合に受ける放射線量を評価しようという考えがある。国際原子力機関（IAEA）では、木材から受ける外部被ばく量の計算方法を提示しており、林野庁はこれを用い、放射線医学総合研究所の協力により木造住宅内の被ばく量を計算している⁹⁾。木材の含水率が20%、放射性セシウム濃度が497Bq/kgとして、天井と床に厚さ3cm、壁に厚さ12cmの木材を使って作った4畳半の部屋で生活した場合、被ばく量は毎時0.0017 μ Sv、年間0.012mSvと計算された。福島県も調査で得られた木材の最高値2700Bq/kgで同様の計算をし、年間0.064mSvと試算した。この部屋はログハウスに近く、普通の木造住宅の場合、木材使用量はもっと少ないので放射線も少ない。この考えでいけば、すべての建築材料から出る放射線を気にする必要があるが、実はコンクリートや大理石から出る放射線の方が木材からよりも大きいことが知られている。それでも自然に受ける放射線量（日本の場合、年間2.1mSv）に比べ十分小さい。

海外で木材に安全基準を設けている国があるかどうかを調べてみたが、IAEAの報告書で参照されているロシアの国内法が唯一の例かもしれない¹⁰⁾。それによると、工業や野外で利用する場合、セシウム137の濃度基準が樹皮の付いた丸太で1万1100Bq/kg、樹皮を剥いだ材は3100Bq/kg、家具

や楽器など室内利用の場合は2100Bq/kg、薪が1400Bq/kg、建材が400Bq/kgとされている。日本の各種基準に比べて高いという印象を受ける。この値の根拠をロシアの研究者に確認してみたが、行政上の判断もあり詳細は分からないと言われた。また、チェルノブイリ事故の影響を強く受けたスウェーデンの研究者にも問い合わせたが、木材の放射能基準はなく、焼却灰についての基準（セシウム137で1万Bq/kg）を紹介された。北欧はバイオマスエネルギーの利用が盛んで、木材はボイラー等に広く利用されている。高濃度の焼却灰の方が、被ばくや環境汚染による実質的なリスクが高いので、現実的な対応だと思う。

林業再開の中で注意すべきは、木材よりも放射性セシウム濃度の高い樹皮の扱いである。木材の放射性セシウム濃度より10倍から100倍も高濃度である（図5）。伐採された木材は樹皮が付いたまま製材所に搬入されるので、副産物である樹皮の適切な処理は必須である。事故以前、樹皮は焼却され熱源となったり、家畜の敷料、バーク堆肥としてうまく利用されていたが、事故後、樹皮の引き取り手はいなくなった。一時は、製材所に樹皮が大量に山

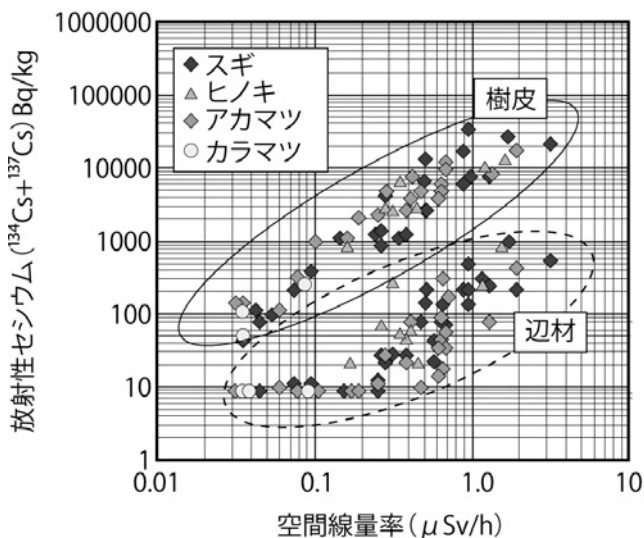


図5 福島県各地で採取した樹木の放射性セシウム濃度と空間線量率との関係。2014年の福島県報告¹³⁾を改編。辺材とは丸太の樹皮に近い部分

積みになり問題となった¹¹⁾。最近は、樹皮の放射能の低下や汚染の低いものとの混焼等で処理のめどが立ち、樹皮は引き取られつつあると聞くが、今後も十分注意すべき課題である。また、日本でも原子力発電に替わってバイオマス発電の期待が高まっている。日本の焼却灰は一般廃棄物の 8000Bq/kg を基準としており、木質バイオマス利用の道を閉ざさないよう、適切な対応や技術開発を望みたい。

7. 林内作業の安全性

林内作業の安全確保も重要である。現在の政府の指針では、森林内の空間線量率が毎時 2.5 μSv 以下ならば間伐等の林業に係る活動が可能である。この基準は除染作業者の労働安全を決めた除染電離則の基準を適用したものである。除染作業では、対象である落葉や土壌の放射性セシウム濃度が 1 万 Bq/kg 以上の場合、作業者の健康管理が義務付けられている。林業労働者は除染従事者ではないので除染電離則の適用外であるが、汚染度の高い土壌や落葉に接する場合は、同様の対応が必要と考えられる。除染ボランティアは健康管理の対象ではないこともあり、作業に伴う追加被ばく量を年間 1mSv 以下とすることが推奨されている。林業労働においても、被ばく線量把握と健康管理を実施しないのであれば、ボランティアと同じように低めの基準で働いた方がよい。

作業による被ばく線量を年 1mSv 以下に抑えるとすると、例えば、空間線量率が毎時 2.5 μSv の森林に 1 日 8 時間滞在すると、年間 50 日しか働けない。林業の労働日数を年間 200 日とすると、空間線量率は毎時 0.63 μSv 以下の森林となる。2014 年度の福島県の調査¹³⁾では、この線量率の材の放射性セシウム濃度は最大でも 300Bq/kg 程度、平均は 100Bq/kg 以下と汚染度は低い(図 5)。ただし、樹皮は 1 万 Bq/kg を超える場合があるので、安全を見るとさらに低い空間線量率での作業の方がよいと思う。労働安全や樹皮の処理を考慮して、安全な働き方のできる森林に限定すると、放射性セシウム濃度の高い材は出荷されないと予想される。エリアを区分し、適切な森林管理計画をたてる必要がある。

8. 再拡散防止と先端林業

最後に、林業再生は放射性セシウムの再拡散に十分注意すべきである。林業活動の中でも林道の開設や伐採・搬出は特に表土の流出を起こしやすい。現在、放射性セシウムの 95% 以上が落葉と表土に分布している状況である。林地のかく乱面積をできるだけ少なくするため、間伐や小規模な皆伐にとどめ、土砂流出を防止する対策や工法を積極的に適用する必要がある（写真）¹²⁾。各種対策は経費がかかるので、追加費用を補助する予算も必要と考える。

林業再生への積極的な対策としては、高性能な林業機械を導入して作業効率を高めて作業被ばくの低減と低コスト化の両立を図ることも可能であろう。福島への投資として最先端の林業技術の開発と普及をめざす夢がほしいと思うところである。

林業はもともと 50 年、100 年を要する産業である。100 年後の放射性セシウムは自然に 10 分の 1 以下になる。あきらめずに長期的視野で復興に取り組みたい。



写真 コナラの伐採地に木材チップを散布して表土流出を抑える効果の試験＝林野庁実証試験地

〔引用文献〕

- 1) IAEA (2012) Guidelines for Remediation Strategies to Reduce the Radiological Consequences of Environmental Contamination. Technical Reports Series 475
- 2) 原子力規制庁 (2013) 第7次航空機モニタリング、<http://www.nsr.go.jp/data/000047766.pdf>
- 3) 原子力規制庁 (2014) 空間線量率の分布状況及びその推移について－サーベイメータによる地上での空間線量率の測定－ www.nsr.go.jp/data/000047964.pdf
- 4) 林野庁関東森林管理局 (2015) 平成27年度福島県の国有林野内における環境放射線モニタリング調査の実施結果について、http://www.rinya.maff.go.jp/kanto/kikaku/kukansenryoutyousa_h27.html
- 5) 梶本卓也ら (2015) 東京電力福島第一原子力発電所事故で影響を受けた森林の放射性セシウムの挙動－事故後2年間の林冠から地表への移行過程からみた樹種特性－、日本森林学会誌、97：33-43
- 6) 岡田直紀 (2014) 木材の放射能汚染、森林科学、72：9-12
- 7) 林野庁、「森林内の放射性物質の分布状況調査結果について」平成23年12月27日、平成25年3月29日、平成26年4月1日、平成27年3月27日プレスリリース
- 8) Avila, R., et al. (1999) Conceptual overview of Forestland - A Model to Interpret and Predict Temporal and Spatial Patterns of Radioactivity Contaminated Forest Landscape, NATO Science Series, Vol. 58, 173 - 183.
- 9) 林野庁、木造で囲まれた居室を想定した場合の試算結果、<http://www.rinya.maff.go.jp/j/mokusan/sinsai/pdf/120821-1.pdf>
- 10) IAEA (2003) Assessing radiation doses to the public from radionuclides in timber and wood products.
- 11) 早尻正宏 (2014) 福島の林業再生に何が必要か－「公共の任務」を考える。森林科学 72, 21-24.
- 12) 林野庁「平成25年度 森林における放射性物質拡散防止等技術検証・開発事業」等の調査結果について、平成26年8月22日プレスリリース
- 13) 福島県森林計画課 (2014) 森林における放射性物質の状況と今後の予測について <http://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/78653.pdf>
- 14) 高橋正通 (2015) 森林の放射性物質汚染と除染の現状・課題、環境情報科学 44-2、1-6



高橋 正通 (たかはし・まさみち)

国立研究開発法人森林総合研究所企画部長。北海道大学農学部卒。博士（農学）。立地環境研究領域長、研究コーディネータなどを経て現職。専門は土壌学、生態学、環境科学。熱帯林や温帯林の物質循環、炭素動態の研究から原発事故以降、福島に関わる。1956年生まれ。
