

報告

福島原発事故による放射能汚染と
森林、林業、木材関連産業への影響
— 現状及び問題点 —



平成26年（2014年）9月1日

日本学術会議

農学委員会 林学分科会

この報告は、日本学術会議農学委員会林学分科会の審議結果を取りまとめ公表するものである。

日本学術会議 農学委員会 林学分科会

委員長	川井 秀一（第二部会員）	京都大学大学院総合生存学館学館長
副委員長	鈴木 雅一（連携会員）	東京大学大学院農学生命科学研究科教授
幹事	鈴木 滋彦（連携会員）	静岡大学農学部教授
幹事	田中 和博（連携会員）	京都府立大学大学院生命環境科学研究科教授
	有馬 孝禮（連携会員）	東京大学名誉教授
	磯貝 明（連携会員）	東京大学大学院農学生命科学研究科教授
	黒田 慶子（連携会員）	神戸大学大学院農学研究科教授
	橘 燦郎（連携会員）	愛媛大学農学部教授
	丹下 健（連携会員）	東京大学大学院農学生命科学研究科教授
	水山 高久（連携会員）	京都大学大学院農学研究科教授
	飯塚 堯介（連携会員）	東京大学名誉教授
	土屋 俊幸（特任連携会員）	東京農工大学大学院農学研究科教授

報告書の作成にあたり、以下の方々及び団体に御協力いただきました。

石田 健	東京大学大学院農学生命科学研究科准教授
大手 信人	東京大学大学院農学生命科学研究科准教授
恩田 裕一（特任連携会員）	筑波大学大学院生命環境系教授
白石 則彦	東京大学大学院農学生命科学研究科教授
高橋 正通	独立行政法人森林総合研究所研究コーディネータ
外崎 真理雄	独立行政法人森林総合研究所四国支所長
中村 道人	林野庁森林整備部室長
早尻 正宏	山形大学農学部准教授
吉田 聡	独立行政法人放射線医学総合研究所プロジェクトリーダー

森林・木材・環境アカデミー
認定特定非営利活動法人才の木

本件の作成にあたっては、以下の職員が事務を担当した。

事務局	中澤 貴生	参事官（審議第一担当）
	渡邊 浩充	参事官（審議第一担当）付参事官補佐
	藤本紀代美	参事官（審議第一担当）付審議専門職

要 旨

1 作成の背景

東京電力福島第一原子力発電所の事故から放出された放射性物質は、福島から北関東の山間部に広く拡散し、地域の森林、林業、木材関連産業及び中山間地域の生活環境や暮らしに大きな影響を及ぼしている。事故から3年が経過し、大学や研究機関により森林生態系や木材、林産物への影響の調査が進み、実態が把握されつつある。放射性セシウム 137 の半減期は約30年と長いため、長期的な取り組みの検討が必要である。

日本学術会議農学委員会林学分科会では、この問題について最新の科学的知見をもとに、多角的な視点から議論してきた。また、関連する分野の第一線で調査研究に取り組んでいる研究者を招き、平成24年11月7日と平成26年1月24日の2回にわたって公開シンポジウムを開催し、そこでの報告や討論の内容を共有することによって議論を深めてきた。

本報告は、林学分科会でなされた議論の主要な論点をもとに、放射能汚染が地域の森林、林業、木材関連産業及び中山間地域の生活環境や暮らしに及ぼしている影響の現状と問題点、並びに、中・長期的視野のもとに今後取り組むべき課題や必要とされる対策等について整理した内容について報告するものである。

2 現状及び問題点

森林に降り注いだ放射性物質は、まず林冠の枝葉や樹皮に沈着し、数年かけて土壌へと移行していく。現在は、この段階である。放射性物質は土壌に強固に吸着されほとんど動くことはないが、一部は植物の根から吸収され、食物連鎖を通して森林の生物にも取り込まれていくと予想されている。チェルノブイリの事例からは、今後数十年間にわたって森林生態系が放射性物質を保持し続けると推察される。しかし、どのような生物種のどの部分に、どの程度の速さでどのくらい蓄積されていくかについては、ほとんど未知の領域である。

現在、大学や研究機関によってモニタリング調査が継続されているものの、ごく僅かなスポット調査にすぎず、しかも、高濃度地域では現地調査を実施できないことから、調査データに偏りがあることが懸念される。そのため、数十年にわたって継続することができ、かつ、汚染地域全体の変化を観測できるようなモニタリング体制を早急に構築する必要がある。あわせて、生物への蓄積の実態についても継続調査が必要であり、そのための環境指標や指標生物の選定も重要な課題である。

放射性セシウム 137 の半減期は約30年であることから、中・長期的な視点にもとづいて汚染度に応じた森林ゾーニングの指定と解除が必要である。なお、森林ゾーニングとは、一般には、森林が発揮する機能の内容や森林を利用する目的に応じた森林区分のことをいうが、ここでは、放射能汚染の状況に応じて必要とされる森林区分も含めて森林ゾーニン

グと呼ぶことにする。放射能に汚染されている地域では、住居等近隣の森林、日常的に立ち入る森林、人工林、その他の森林に分けて、リスク管理基準にもとづいてゾーニングし、土地利用の中期計画と長期計画を住民参加のもとに策定する必要がある。

住居等近隣の森林については、林縁から 20m 程度の区域の落葉の除去等が実施されているにすぎない。日常的に立ち入る森林や人工林がある林業経営地帯はほとんど手つかずのままである。比較的低濃度に汚染されている立木については、間伐木を木質バイオマスとして利用する計画も検討されているが、焼却灰の最終処分が新たな課題として浮上する。あわせて、最終処分場までの輸送についても課題が残る。また、間伐作業や木質バイオマス利用時における担い手の安全性の確保についても課題が残る。

林業については、高濃度汚染地域では間伐作業等ができないことから、今後、間伐手遅れ林分が誘因となる土砂災害等が懸念される。一方、高濃度汚染地域以外の森林については、放射能汚染によるリスクの評価と管理基準にもとづく森林ゾーニングの指定が遅れていることにより森林施業が滞っている地域があり、森林組合や素材生産業者の事業量が確保できないことから、雇用力の低下にもつながっている。

放射性物質が低濃度な森林から伐採・搬出された木材の汚染は低濃度であり、健康に問題は無いレベルであるが、風評被害については懸念されている。こうした懸念を払拭するには、適切な基準値等の設定にあわせて、検査体制の確立とトレーサビリティ・システムの早急な導入が必要である。

森林を生活の糧としてきた人々の暮らしの再建や、林業、木材関連産業再開の見通しも立っていない。早急に、中・長期的な展望のもとに課題を整理し、方針を示して、対策を実施していく必要がある。

以上のとおり、森林、林業、木材関連産業への放射能汚染の影響は多岐にわたるとともに、チェルノブイリの例が示すように、今後、数十年あるいは百年以上の時間スケールの中で対応していかなければならない。長期的なモニタリングを実施しながら順応的に注意深く対応していく必要がある。

3 報告の内容

上記のような現状と問題点、並びに今後の課題と対策は、現時点で得られている情報や知見に基づき、以下のように要約される。

(1) 森林生態系における放射性物質の現状と動態

- 森林に降り注いだ放射性物質は、土壌に強固に吸着され始めており、また、動植物に取り込まれている放射性物質も森林生態系の中で循環していると推定される。
- 放射性物質の森林生態系の外への流出は、大雨による浮遊土砂の輸送に伴い懸濁態に混じって流出すると考えられる。しかし、放射性物質の系外への流出量は、年間でも、森林の総沈着量の 1% にも満たないと推定される。
- これらのことから、森林は放射性物質を保持する生態系であると考えられ、放射性物

質による森林への影響は深刻かつ非常に長期にわたる。

(2) チェルノブイリの事例から得られている主な知見

- 放射性物質は長期間にわたり森林の生物に比較的高濃度に保たれる。
- 立木の中に蓄積された放射性物質の量は、事故後 10～20 年後にピークを迎える。
- 山菜、キイチゴ類、キノコ、及び野生獣肉の汚染が長引いている。
- キノコは放射能の吸収特性によって、4 グループに区分されている。
- 獣肉の平均放射能レベルは動物の種類によって異なり、イノシシやシカが高い。

(3) 木材、林業関連産業への影響

- 林業、木材関連産業への影響は多岐にわたり、いずれも深刻である。放射性物質の立木への蓄積量は今後 10 年以上にもわたって増加し続ける。山菜、キイチゴ類、キノコ、及び野生獣肉の汚染が深刻であり、その被害も長期にわたると予想される。
- 放射性物質が低濃度な森林から伐採・搬出された木材の汚染は低濃度であり、健康に問題はないレベルであるが、風評被害については懸念される。
- 放射能汚染は森林を汚染しただけにとどまらず、森林から生活の糧を得ていた人々の生活基盤や地域社会のシステムまでも大きく破壊している。

(4) 今後の課題と必要とされる対策

- 流域を含めた長期的なモニタリング体制の構築、生物への蓄積の実態についての継続調査を実施しながら順応的に注意深く対応していく必要がある。その際、施策への住民の合意が重要で、根拠となる基準作りが緊急の課題である。
- 中・長期的な視点にもとづき、汚染度に応じた森林ゾーニングの指定と解除が必要である。住居等近隣の森林、日常的に立ち入る森林、人工林、その他の森林に分けて、長期モニタリング調査データとリスク管理基準にもとづいてゾーニングし、土地利用の中期計画と長期計画を住民参加のもとに策定する必要がある。
- 木材の風評被害の懸念を払拭するには、適切な基準値等の設定にあわせて、検査体制の確立とトレーサビリティ・システムの早急な導入が必要である。
- 森林を生活の糧としてきた人々の暮らしの再建に向けて、中・長期的な展望のもとに課題を整理し、方針を示して、対策を実施していく必要がある。

目 次

1	はじめに	1
2	森林生態系における放射性物質の現状と動態	2
	(1) 森林における放射性物質の現状	2
	(2) 森林生態系における放射性物質の動態	3
	(3) 放射性物質の森林生態系外への流出	4
	(4) 立木への放射性物質の蓄積	5
3	チェルノブイリの事例から得られている主な知見	6
4	林業、木材関連産業への影響	9
5	今後の課題と必要とされる対策	12
	(1) 放射性物質で汚染された森林生態系の保全について	12
	(2) 林業、木材関連産業並びに生活基盤の再建について	12
	<参考文献>	15
	<参考資料1>分科会審議経過	16
	<参考資料2>公開シンポジウム	17

1 はじめに

2011年3月に発生した東京電力福島第一原子力発電所の事故から放出された放射性物質は、福島から北関東の山間部に広く拡散し、地域の森林、林業、木材関連産業に大きな影響を及ぼしている。事故から3年近くが経過し、大学や研究機関により森林生態系や木材、林産物への影響の調査が進み、実態が把握されつつある。

放射性セシウム137の半減期は約30年と長いため、長期的な取り組みの検討が必要である。特に森林は広大な面積を占め、河川を通して生活圏との関わりが深いので、今後、流域を単位とする長期的な対策が必要となる。チェルノブイリの例からも明らかのように、この問題が長期化し、その影響が広範囲に及ぶことは必至である。

日本学術会議農学委員会林学分科会では、この問題について最新の科学的知見をもとに、多角的な視点から議論してきた。また、関連する分野の第一線で調査研究に取り組んでいる研究者を招き、平成24年11月7日と平成26年1月24日の2回にわたって公開シンポジウムを開催し、そこでの報告や討論の内容を共有することによって議論を深めてきた。

本報告は、林学分科会でなされた議論の主要な論点をもとに、放射能汚染が地域の森林、林業、木材関連産業及び中山間地域の生活環境や暮らしに及ぼしている影響の現状と問題点、並びに、中・長期的視野のもとに今後取り組むべき課題や必要とされる対策等について整理した内容について報告するものである。

2 森林生態系における放射性物質の現状と動態

森林生態系における放射性物質の動態については、現在、大学や研究機関によってモニタリング調査が継続されている。ここでは、(1)森林における放射性物質の現状、(2)森林生態系における放射性物質の動態、(3)放射性物質の森林生態系外への流出、(4)立木への放射性物質の蓄積について、これまでに得られた調査結果や知見を整理し、主要なものを報告する。

(1) 森林における放射性物質の現状

森林に降り注いだ放射性物質は、まず林冠の枝葉や樹皮に沈着し、数年かけて土壌へと移行していく。森林における放射性物質の現状について、これまでに得られた主な調査結果や知見は、次の通りである。なお、以下に、調査結果や知見を箇条書きで示しているが、重要度の順番に記載している訳ではないので、番号等で表すのではなく、○印で表している。また、[] 記号は報告者による注記を示し、[] 記号は参考文献一覧（15 ページ）に掲げてある文献番号を示している。p で始まる数字は参考文献から引用したページを示している。括弧記号の使い分けについては、他の引用箇所においても同様である。

- 事故当時は落葉広葉樹の展葉前だったため、落葉樹林においては、放射性物質は林床の堆積有機物層に多く沈着した。一方、常緑針葉樹林においては、常緑針葉樹の葉にもセシウムがかなり沈着し、堆積有機物層とほぼ同量が分布していた。[11] p69
- 〔針葉樹林では〕高いところの枝の方が汚染度が高く、しかも同じ枝でも上を向いた側の方が下側部分よりもより汚染されていた。[15] p81
- 森林の放射性セシウムの濃度や沈着量は部位毎に空間線量率に比例している。[11] p69
- 森林内では依然として樹木樹冠部から林床への林内雨と樹幹流による ^{137}Cs の移動が生じている（4～7 Bq/m²/day）。特に ^{137}Cs が降下した時期（2011年3月）に着葉していたスギ樹冠には、まだ相当量の付着 ^{137}Cs が残存している。また、落葉広葉樹（コナラ）とスギの両者とも、樹皮に付着した ^{137}Cs 量は依然として高く（スギ：5～15 kBq/kg、コナラ：10～18 kBq/kg）、上記の移動は長期に継続する可能性が考えられる。加えて、落葉試料の分析結果から、スギ人工林では降下時に付着した ^{137}Cs の落葉に伴う移動が2013年4月時点で継続していることが明らかになった。また、落葉広葉樹の落葉から1kBq/kg オーダーの ^{137}Cs が検出され、2012年以降に展葉した生葉に、樹体の他の部位からの ^{137}Cs の転流が生じていたことが明らかになった。[2] p4
- 放射性物質の降下は均一ではなくスポット状であった。[15] p73
- 落ち葉や有機物が分解されると、そのとたんに、その下に広がる土壌が放射性物質を受け止めて〔放射性物質が〕動かなくなる。[15] p82
- 事故から1年半後の2012年8月に2回目の調査を行った。これによると、樹木の葉や樹皮等、地上部の放射性セシウム濃度は半減し、表層土壌（0～5 cm）の濃度が2

～3倍になっていた。[11] p69

- [2011年に調査した地点と] 同じ地点を2012年に調査したところ、〔中略〕、森林全体の放射性セシウム蓄積量はほとんど変化せず、また流出や再拡散も少ないことを確認した。[12] p3
- 現在、放射性セシウムは大部分が土壌に移行した。[12] p3
- セシウムは粘土鉱物の層状の結晶構造の間にはまり込む。[15] p73
- 環境中の放射性物質が最終的に落ち着く先は土壌へ吸着した形態ではないかと予測され始めている。[15] p21
- 放射性セシウムが次第に土壌へ移行することは、チェルノブイリ事故後の欧州諸国の調査から予想されていたが、より温暖で湿潤な日本では、その変化が急速に進行しているようである。[11] p70
- 日本においても森林は放射性セシウムを保持する生態系であると考えられる。[11] p70
- [森林等に降り注いだ放射性物質による汚染は、] ある一点から徐々に汚染が広がっていくということを意味するのではない。[15] p21

(2) 森林生態系における放射性物質の動態

森林に降り注いだ放射性物質は、土壌へと移行していき、そこで強固に吸着されてほとんど動くことはないようであるが、一部は植物の根から吸収され、食物連鎖を通して森林の生物に蓄積されていくと予想されている。チェルノブイリの事例からは、今後数十年間にわたって森林生態系が放射性物質を保持し続けると推察される。しかし、どのような生物のどの部分に、どのような速さでどのくらい蓄積されていくかについては、ほとんど未知の領域である。森林生態系における放射性物質の動態について、これまでに得られた主な調査結果や知見は、次の通りである。なお、参考までに、農業関係で得られている知見も含める。

- [イネ] カリウム濃度が低い土壌で放射性セシウムの吸収量が多くなる傾向がある。[15] p99
- ヒマワリの種子にはほとんど放射性セシウムが蓄積されない。[15] p192
- [ウグイス] 羽にポツポツとスポット状に放射性物質が付着している。[15] p150
- [ウシ] 動物が摂取した場合、生物学的半減期は60日から90日とされているように、非常に短い。[15] p140
- ウシよりもブタの方が放射能汚染が強い。ブタでは、各臓器や組織の放射能がウシに比べて2倍以上高く、卵巣では4倍近く高くなっていた。[15] p142
- 生物は代謝によって放射性セシウムを体外へと排出していた。[15] p147
- 2011年のミミズの調査では、〔中略〕、空間線量率に比例したミミズの放射性セシウム濃度が観察された。乾重ベースで比べると、ミミズのセシウム濃度は落葉と土壌との中間的な値に収まり、ミミズの餌と生息環境を反映したものと考えられた。[11] p71
- 森林内の動物相では、落葉を直接利用する腐食者（ミミズやケバエの幼虫等）が著し

く ^{137}Cs を取り込んでいる。これらを捕食する陸上の生物も比較的高い放射性セシウム濃度を示し、生葉を摂食する昆虫等への移動経路（生食連鎖系）に比べて、落葉から始まる腐食連鎖を通じた ^{137}Cs の移動の方が顕著である。生物試料の窒素安定同位体比を用いた解析から、栄養段階に沿った ^{137}Cs 濃度の増加は観察されず、いわゆる生物濃縮（栄養段階が上がると特定の成分の濃度が増加すること）は、現段階では生じていない。[2] p4

○イノシシの各部位における放射能濃度は1キロあたり百ベクレルをはるかに超えており、中でも食用となる筋肉の放射能が一番高かった。[15] p152

○高い放射能の値が検出されたキノコは、そのほとんどが腐生菌（腐朽菌）と呼ばれるもので、落ち葉や枯れ草等を分解して成長するものであった。まわりの落ち葉の方がキノコよりも高い放射能値をもつ場合が多かった。[15] p173

○森床部のセシウムがキノコに吸着・蓄積され、キノコが朽ちていくとまた土壤に放射性セシウムが吸着されるという循環が存在している。[15] p186

○降ってきた放射性物質は土壤表面に付着して固定し、その上で育つ動植物中の汚染は、時間の経過とともに次第に減少してきたと考えることができる。[15] p158

○放射性セシウムの生物濃縮は起きていないことになるが、詳細はこれからの測定待ちである。[15] p170

(3) 放射性物質の森林生態系外への流出

森林生態系では土壤へ移行した放射性物質は、そこで強固に吸着されてほとんど動くことはないと思われている。放射性物質の一部は植物の根から吸収され、また、キノコに吸着・蓄積されるが、最終的には植物遺体が分解されることにより土壤へと循環していくと推察されている。イノシシ等の大型野生動物についても、食物連鎖を通して放射性物質は体内に取り入れられるものの、大部分が代謝によって体外へと排出されると推定できる。これらの知見から、森林は放射性セシウムを保持する生態系であると考えられるが、放射性物質が河川を通して森林生態系外への流出しているのかどうかについて確認しておく必要がある。これまでに得られた主な調査結果や知見は、次の通りである。

○土壤表面に付着した放射性セシウムはそこに雨が大量に降ってもほとんど離れずにとどまっている状態である。[15] p161

○土に付着して動かなくなった放射性セシウムを植物はほとんど吸うことができない。[15] p80

○大雨が降ると、森林から流れてくる水量は増加し、河川水中の放射能濃度も高くなる。[15] p166

○流れてくるのは懸濁態の放射性セシウムが多い。[15] p166

○降雨による浮遊土砂の輸送が森林から流出する放射性セシウムの主要なルートと考えられた。ただし、年間の推定流出量は森林の総沈着量の1%にも満たなかった。[11]

○福島山から放射性セシウムはほとんど流出していない。[15] p84

(4) 立木への放射性物質の蓄積

森林に降り注いだ放射性物質が、やがて立木へ蓄積されていくことは、チェルノブイリの事例でも報告されている。福島第一原子力発電所の事故後の調査により確認された知見は、次の通りである。

○スギは心材部にセシウムを含むアルカリ金属類を高濃度に集積する性質が知られている。[14] p81

○2011年には樹皮のセシウム濃度は枝や葉と同様に高濃度であったが、材部内部はそれより1~2桁低い濃度であった。材の外側の辺材の方が高濃度で、中心付近の心材は低濃度であった。また、木材各部位の濃度は調査地の空間線量率に比例していた。2012年の調査では、樹皮のセシウム濃度は半減したが、木材中の濃度は大きく変化しなかった。樹種によって材内部の分布に違いがみられるが、スギでは辺材と心材の濃度差が小さくなり、放射性セシウムが材中で移動したことが示唆された。一方、今のところ材のセシウム濃度の変化は明瞭な傾向がみられず、調査林分における材の汚染は事故当初の汚染と同程度の状況にある。[12] p3

○セシウムは根を通じて樹木に吸収される可能性がある。土壌はセシウムを強く固定するので樹木には吸収されにくいと考えられる一方、一部のセシウムは樹木に吸収され森林生態系内を長期にわたり循環する可能性も十分ある。[12] p3

○約400Bq/kg-dryの木材を使ったとし、壁が全部12cm厚さの木の部屋で生活するという極端な条件での追加被曝量を試算した。結果は0.01mSv/年程度で、日本人の平均天然被曝量1.5mSv/年と比較してはるかに小さく、健康には問題は生じないだろう。[14] p81

3 チェルノブイリの事例から得られている主な知見

2011年3月に発生した東京電力福島第一原子力発電所の事故から2年余りの間に得られた主要な調査結果や知見については、前章で報告した通りである。森林に降り注いだ放射性物質は、土壌に強固に吸着され始めており、また、動植物に取り込まれている放射性物質も森林生態系の中で循環していると推定されている。放射性物質が森林生態系の外へ流出するとすれば、それは、大雨による浮遊土砂の輸送に伴い懸濁態に混じって流出する場合であると考えられている。その場合でも、放射性物質が森林生態系の外へ流出する量は、年間でも、森林の総沈着量の1%にも満たないと推定されている。これらのことから、森林は放射性物質を保持する生態系であると考えられている。

しかし、放射性セシウム137の半減期は約30年と長いため、事故後の2年余りの間に得られた主要な調査結果や知見は、汚染の初期段階についてのものであるとの認識が必要である。この章では、1986年4月に起きたチェルノブイリ原子力発電所事故により、旧ソビエト連邦の森林、林業、木材関連産業が、今日までの28年間に、どのような影響を受けてきたのか、最近の文献から参考となる主要な事柄を抽出し、以下の通り紹介することにする。

- チェルノブイリ事故の後、農耕地に沈着した放射性セシウムは、時間とともに土壌中の粘土鉱物に固定されて動きにくくなり、農作物に吸収される割合も低下した。[22] p78
- 林床に到達した放射性セシウムは長期間土壌の表層（堆積有機物層と鉱物質土壌の境界付近）にとどまる傾向がある。[22] p78
- 森林に入って来た放射性セシウムは、森林生態系の物質循環に伴ってダイナミックに移動する。これは、セシウムが主要な栄養塩であるカリウムと同じアルカリ元素で、性質が似ているためである。[22] p78
- 植物体中のカリウムは、生長の活発な部位に集まる傾向があり、放射性セシウムも同様である。[22] p79
- 常緑樹の放射性セシウムは古い葉よりも新しい葉でより高い。[22] p79
- 植物の若い部分を選んで採取する山菜の濃度が比較的高い。[22] p79
- 〔ウクライナでは〕セシウム137はカリウムと同様に新しく形成された葉、小枝や樹皮等の生物物理的に活動的な組織に蓄積され、一方ストロンチウム90はカルシウムと同様に様々な木質組織や老化した葉に蓄積されやすい。[7] p49
- 〔ウクライナでは〕樹木が根から吸収し、落葉によって土壌表層に戻されることによりストロンチウムの移動が起こる。[8] p46
- 〔ベラルーシでは〕農地や森林の除染は行われなかった。[8] p48
- 〔ベラルーシでは〕現在、飲料水の汚染の問題はないが、汚染された湖の魚の摂取が問題となっている。[8] p48
- 〔ベラルーシでは〕1986年当時に0～14歳であった子供のグループの1995～96年に

おける甲状腺がんの発病率が 1986 年と比較して 39 倍に増加する等の健康被害が明らかになっている。[8] p48

- キノコの菌糸が、土壌への放射性セシウムの保持に関与している。[22] p78
- 森林の生物中の放射性セシウムは比較的高濃度に保たれる。[22] p78
- チェルノブイリ事故後の報告等で〔放射性セシウムが〕木材部に移行することはわかっているが、〔中略〕、初期段階での移行経路には不明な部分が多い。[14] p80
- ヒロシマやチェルノブイリ後の研究では、放射性物質の降下以前に形成された心材にもセシウムが移行。[14] p80
- チェルノブイリの例においては 10 年以降に材木中における〔放射性セシウムの〕蓄積量がピークを迎える。[3] p76～77
- チェルノブイリ以降の研究では、木材部の濃度は 10～20 年後程度にピークになるというモデル試算を示した報告がある。[14] p81
- 〔ベラルーシでは〕木材中のセシウム濃度は土壌中のセシウム濃度と相関がみられる。[9] p46
- 〔ベラルーシでは、土壌中のセシウム濃度が〕40 Ci/平方キロ以上は基本的に伐採禁止である。[8] p49
- 〔ベラルーシでは〕林業労働者の年間の外部被曝量の許容量の基準である 1 ミリシーベルトを徹底させる。[8] p49
- 〔ベラルーシでは〕ブラックベリーが生えているような森では一般に濃度が高いとされている。[9] p47
- 〔ベラルーシでは〕その他の森林産物では、キイチゴ類、キノコ、及び野生獣肉の汚染が長引いている。[9] p47
- 〔ベラルーシでは〕キイチゴ類の採取とキノコ狩りが許されるのは、〔中略〕、〔土壌中のセシウム濃度が〕2 Ci/平方キロ以下の箇所である。[8] p49
- 〔ベラルーシでは〕許容レベル以下の製品・産品のみが販売・流通を許されている。[8] p48
- 〔ベラルーシでは〕2012 年において基準を超えた森林産物の割合は、丸太が 0.7%、クリスマスツリーが 2%、燃料用木材が 2.33%、野生獣肉が 19%、ハーブが 23%、キイチゴ類が 23.6%、キノコ類が 46%となっている。[9] p46
- 〔ベラルーシでは〕平均的なセシウムのレベルは、キイチゴ類が 2003 年の 357Bq/kg をピークに緩やかな減少傾向にあり、2011 年以降は 150Bq/kg 程度で推移してきており、キノコ類については、2004 年の 1792Bq/kg をピークに 1500Bq/kg 前後で推移していたが、2010 年以降は 900～1000Bq/kg 程度で推移している。[9] p47
- 〔ベラルーシでは〕キノコは放射能の吸収特性によって、著しい集積型、強度集積型、中度集積型、弱度集積型の 4 グループに区分されている。[9] p47
- 〔ベラルーシでは〕セシウム濃度 1～6 Ci/平方キロの森林で得られた獣肉の平均放射能レベルは、イノシシが 869Bq/kg、トナカイが 574Bq/kg、シカが 437Bq/kg、その他ウサギ等が 260Bq/kg となっている。[9] p47

以上の知見からは、放射性物質による森林への影響は深刻であり、しかも非常に長期にわたるとともに、その内容も変化していくことが伺える。特に、注目すべきことは、次の5点である。

- ① 放射性物質は長期間にわたり森林の生物に比較的高濃度に保たれる。
- ② 立木の中に蓄積された放射性物質の量は、事故後10～20年後にピークを迎える。
- ③ 山菜、キイチゴ類、キノコ、及び野生獣肉の汚染が長引いている。
- ④ キノコは放射能の吸収特性によって、4グループに区分されている。
- ⑤ 獣肉の平均放射能レベルは動物の種類によって異なり、イノシシやシカが高い。

4 林業、木材関連産業への影響

第2章では、森林生態系における放射性物質の現状と動態について、事故後の2年余りの間に得られた主要な調査結果や知見について報告した。また、第3章では、チェルノブイリの事例から得られている主な知見について紹介した。それらの知見から明らかになったことは、森林は放射性物質を保持する生態系であるため、その影響が非常に長期にわたること、放射性物質の立木への蓄積量が今後10年以上にもわたって増加し続けること、森の恵みである山菜、キイチゴ類、キノコ、及び野生獣肉の汚染が深刻であり、その被害も長期にわたると予想されることである。放射性物質による森林汚染は非常に深刻であり、林業、木材関連産業へも甚大な被害や影響を与えている。本章では、事故後に、林業、木材関連産業や中山間地域が直面している問題について主要なものを報告する。

事故後2年余りの間、2013年5月頃までの主要な政策的な動きは次の通りである。

○福島県内11市町村が「除染特別地域」に、8県101市町村が「汚染状況重点調査地域」に指定されている。[16] p82

※福島県内の11市町村のうち、田村市については除染実施計画に基づく除染が2013年6月に終了し、2014年4月1日に避難指示解除の予定である。双葉町については、除染実施計画の策定が調整中である。他の市町村では除染実施計画に基づく除染区域については除染終了の見込みがみついているところもあるが、帰還困難区域については除染実施計画が策定されていない。なお、最新の情報については、環境省の「除染情報サイト」<https://josen.env.go.jp/area/>を参照のこと。

○環境省の「除染関係ガイドライン」において、林縁から20m程度の落葉の除去等が除染の方法として位置づけられた。[16] p82

※「除染関係ガイドライン」第1版は2011年12月、第2版は2013年5月に策定された。

○〔農林水産省は〕平成24年4月に「森林における放射性物質の除去及び拡散抑制等に関する技術的な指針」を公表した。[16] p82

○〔上記の技術的な指針では、〕その他の森林（人工林）では、主として放射性物質の拡散抑制の観点から、土砂流出防備機能等を維持するための間伐を推奨した。[16] p82

○平成24年9月25日に「今後の森林除染の在り方に関する当面の整理について」が〔環境省から〕公表された。[16] p83

これに対して、次のような問題点が指摘されている。

○森林から除去した汚染物の処理方法が確立していない。[13] p84

○森林の除染を大規模に行っていくという選択は年々困難になっていく。[13] p84

○森林土壌や木材に含まれる放射性物質の経年的な低減を踏まえた森林の管理計画を立て、モニタリングしながら森林管理を着実に実行していくことが必要である。[13]

p84

- 森林を樹種と林齢、汚染程度によって区分し、それぞれについての管理計画の立案が必要である。[13] p85
- 林内作業が制限される期間が長期化する林分では、人力による植栽が必要な皆伐作業ではなく、放射線を遮断する林業機械による間伐作業が中心になる。[13] p85
- 放置して間伐遅れ等になり表土が流出するとそれはまた問題だ。[10] p87
- エネルギー利用した際には灰に放射性セシウムが濃縮されることになる。[14] p81
- 持続性が担保される伐採造林計画と放射性物質が濃縮された灰の最終貯蔵施設の目処をたてることがまず求められる。[13] p85
- 現在まで建築材等の規制値が設定されていない。[3] p77
- 木材製品中の放射性セシウム濃度の基準値の策定が求められるだろう。また、それを保証する検査体制の構築が必要となる。[14] p81
- 表面線量計等を用いた安価で製造ラインでの全数測定が可能なシステムの開発が求められる。[14] p81
- 消費者の不安の底には、低線量の放射能汚染が人体にもたらすリスクが科学的に解明されていないことがある。[15] p204
- Fesenko et al (2005) は、被害森林について取り得る対策として、1. 規制、2. 森林及び森林産物の適正な利用、3. 土壌についての対策、4. 動物についての対策の4つがあるとしている。[9] p47

原発被災地での取材にもとづく調査では、次のような問題が浮かび上がってきている。

- 福島県庁の調べでは、県内民有林(563千ha)のおよそ半分(265千ha)が、放射性物質による環境汚染を調査する必要のある空間線量率(0.23 μ Sv/h)を上回る。[20] p8
- 帰〔還〕困難区域をはじめ避難指示区域の森林については、立ち入ることすらできないところもあり、汚染の全容を知る人は誰もいない。[20] p8
- 林業生産の場である「作業員等が日常的に立ち入る森林」等については〔森林除染は〕検討中である。[20] p8
- 原発事故後、福島県内の民有林の森林整備事業量は避難指示区域における林業生産の停止、財源不足による県発注の森林整備事業の縮小、森林汚染の広がりや長引く避難生活による森林所有者の「森林離れ」等により激減した。[19] p3
- 「被災〔森林〕組合」の中には、組合員の長期避難や従業員(職員、作業班員)の退職、放射能汚染に伴う営林停止等に見舞われ、組合経営が悪化するケースがみられる。[21] p5
- 双葉地方森林組合は原発事故により本所の放棄を余儀なくされ、〔中略〕、組合員もその多くが県内外で避難生活を続け、〔中略〕、2011年は最高意思決定機関である総代会も開催できなかった。[19] p3~4
- 〔双葉地方森林組合では〕本格的な事業再開の見通しは立っていない。[20] p9
- 〔田村市〕都路町はシイタケ原木の一大生産地であり、〔中略〕、重要な収益源を失

った〔ふくしま中央森林〕組合の経営は悪化し、いまま危機的状況が続いている。〔20〕
p9

○シイタケ原木は1m³あたり約24,249円と一般用材約10,413円よりも高い価格で取引され、パルプ材約6,268円のおよそ4倍であった。〔19〕p6

○田村森林組合は製材工場に人工乾燥設備を導入するなど品質向上に力を入れ、「田村材」の銘柄化を進めてきた。〔しかし、現在〕製材工場にバーク（樹皮）が滞留し続けている。製材加工に伴い発生するバークは放射線量が高く、堆肥や敷料として出荷できない。また、焼却灰中に放射性物質が含まれることから燃料利用も進まず、製材工場の敷地内に山積みされている。〔19〕p7～8

○〔福島〕県森連や各組合は東京電力に対し、森林（土地、立木）への賠償の早期実現を求めている。〔19〕p3

○森林汚染をめぐる被害収束の気配が見えない。〔20〕p10

○〔現在の国の対応では〕森林から生活の糧を得ていた人々が元の生活に戻る道を閉ざすことにつながりかねない。〔20〕p10

○山村住民が安心して働き暮らせる定住条件を確保する必要がある。〔20〕p11

○生活圏に限らない森林除染を早急に展開するべきである。〔20〕p11

○原子力災害からの復旧・復興をめぐる提言の多くは、被災地域の森林管理を誰が進めるのかという担い手の問題に言及していないため、どのような問題を解決しないといけないのか、それらの解決にはどのような手段があるのかが不明なままである。〔21〕
p5

以上の通り、林業、木材関連産業への影響は多岐にわたるとともに、その内容はいずれも深刻である。指摘されている問題は、林業、木材関連産業の関係者の努力だけでは到底解決できないものが多い。そうした状況の中で、被災後3年が経過してしまった。放射能汚染は森林を汚染しただけにとどまらず、森林から生活の糧を得ていた人々の生活基盤や地域社会のシステムまでも、復旧しがたいほどに破壊してしまった。

5 今後の課題と必要とされる対策

第2章では、森林生態系における放射性物質の現状と動態について、主要な調査結果並びに知見について報告した。また、第3章では、チェルノブイリの事例にもとづいて、被害が長期にわたって林業、木材関連産業へ甚大な影響を及ぼすであろうと予想した。第4章では、福島県内の林業、木材関連産業や中山間地域が直面している問題について主要なものを報告した。本章では、今後の課題と必要とされる対策について、その要点をまとめることにする。

(1) 放射性物質で汚染された森林生態系の保全について

森林に降り注いだ放射性物質は、まず林冠の枝葉や樹皮に沈着し、数年かけて土壌へと移行していき、そこで強固に吸着されることにより定着すると考えられている。一部の放射性物質は、今後、植物の根から吸収されるとともに、食物連鎖を通して森林の生物にも取り込まれていくと予想されている。チェルノブイリの事例からは、今後数十年間にわたって森林生態系が放射性物質を保持し続けると推察される。しかし、どのような生物のどの部分に、どのような速さでどのくらい蓄積されていくかについては、ほとんど未知の領域である。

現在、大学や研究機関によってモニタリング調査は継続されているものの、東日本の広域にわたる汚染区域の中では、ごく僅かなスポット調査にすぎず、しかも、高濃度地域では現地調査できないことから、調査データに偏りがあることが懸念される。そのため、数十年にわたって継続することができ、かつ、汚染地域の全体の変化を観測できるような長期間モニタリング体制を早急に構築する必要がある。森林の放射性セシウムの濃度や沈着量は空間線量率に比例していることが多いので、航空機モニタリングによる空間線量の計測を定期的に継続的に実施し、現地調査結果との突合を経た解析、並びに、予測モデルの開発とシミュレーションが必要である。

あわせて、生物への蓄積の実態についても継続調査が必要であり、そのための環境指標や指標生物の選定も重要な課題である。チェルノブイリの事例からは、キノコにも種類によって放射能の吸収特性が異なることが知られていることから、指標生物の選定にあたっては専門的な知識が必要となる。また、野生鳥獣についても、種類や部位によって放射能の吸収特性が異なることから注意が必要である。セシウム137については際だった生物濃縮は観測されていないが、筋肉や甲状腺等の特定の部位に集中して蓄積する傾向はあるので継続的な調査が必要である。

放射性セシウム137の半減期は約30年と長いため、今後、流域を含めた長期的なモニタリングと除染のための対策と展望が必要である。その際、対策への住民の合意が重要で、対策の根拠となる基準作りが緊急の課題となる。

(2) 林業、木材関連産業並びに生活基盤の再建について

被災地域の森林がおかれている状況は実に様々である。放射能汚染の状況が異なるた

め、高濃度に汚染されて立ち入りが不可能な場所から、比較的低濃度な汚染地域であったため安全性が確保できれば、早晩、林業が再開できると期待できる地域までである。しかし、現状では、十分なモニタリング調査が実施されていないため汚染実態にあわせた森林ゾーニングや対策が行われていない。むしろ、森林生態系が放射性物質を保持する性質を有しているため、取り敢えず森林に放射性物質を閉じ込めておくという形で事態が推移してきており、抜本的な解決を見ないまま、問題が先送りされている。

放射能で汚染されたままの森林への立ち入りは、当然、被曝リスクを伴うものである。森林所有者や森林組合あるいは地域住民が被災地域の森林を自主的に管理することは現実的に不可能である。まずは、行政主導のもとに、モニタリング調査体制を構築し、リスク管理基準を設定して、個々の森林毎に解決のための処方箋を提示していくことが必要である。具体的には次のような対策が必要である。

まず、森林は今後数十年間にわたって放射性物質を保持し続けると考えられるが、一方では、放射性物質には半減期があり、例えば、放射性セシウム 137 の半減期は約 30 年であることから、中・長期的な視点にもとづいて汚染度に応じた森林ゾーニングの指定と解除が必要である。なお、森林ゾーニングとは、一般には、森林が発揮する機能の内容や森林を利用する目的に応じた森林区分のことをいうが、ここでは、放射能汚染の状況に応じて必要とされる森林区分も含めて森林ゾーニングと呼ぶことにする。放射能に汚染されている地域での森林ゾーニングにおいて、具体的な線引きの根拠となるのは、長期モニタリング調査のデータである。放射能に汚染されている地域では、住居等近隣の森林、日常的に立ち入る森林、人工林、その他の森林に分けて、リスク管理基準にもとづいてゾーニングし、土地利用の中期計画と長期計画を住民参加のもとに策定する必要がある。

次に、除染については、汚染物質を系外に出すための搬出間伐とバイオマスエネルギー等の利用が有効である。また、現段階では汚染された樹木から用材を製材して使っても十分安全レベルにあり、加工処理時における樹皮等の汚染物質の回収に関わる技術対策も可能である。

しかし、住居等近隣の森林について、林縁から 20m 程度の区域の落葉の除去等が実施されているにすぎない。日常的に立ち入る森林や人工林がある林業経営地帯はほとんど手つかずのままである。比較的低濃度に汚染されている立木については、間伐木を木質バイオマスとして利用することが有効であるが、間伐木を燃やしてしまい灰の状態にすると、より高濃度に濃縮されることになるので、焼却灰の最終処分が新たな課題として浮上する。あわせて、最終処分場までの輸送についても課題が残る。また、間伐作業や、木質バイオマス利用時における担い手の安全性の確保についても課題が残る。

林業については、当初は Early Harvesting（汚染初期段階における早期収穫）といって、放射性物質が幹材部へ沈着する前に伐採してしまつて木材として利用することが提案された。これは、除染も兼ねた対策であったが、伐採・搬出作業員の不足、作業員の安全確保等の問題がなかなか解決できないまま 3 年が経ち、放射性物質の心材部への移行が始まりつつある現在では、時機を逸したといえる。高濃度汚染地域では間伐作業

等ができないことから、今後、間伐手遅れ林分が誘因となる土砂災害等が懸念される。一方、高濃度汚染地域以外の森林では、放射能汚染によるリスクの評価と管理基準にもとづく森林ゾーニングの指定が遅れていることにより森林施業が滞っている地域があり、森林組合や素材生産業者の事業量が確保できないことから、雇用力の低下にもつながっている。

放射性物質が低濃度な森林から伐採・搬出された木材の汚染は低濃度であり、健康に問題はないレベルであるが、やはり、風評被害については懸念されている。こうした懸念を払拭するには、適切な基準値等の設定にあわせて、検査体制の確立とトレーサビリティ・システムの早急導入が必要である。基準値等については、チェルノブイリ事故を経験したロシアやベラルーシの数値が参考値になる。

森林は広大な面積を占め、その除染には莫大な経費がかかる。例えば、福島県が見積もる9,000ヘクタールの除染間伐は全県の年間の素材生産量に匹敵している。時間と労働量等の制約も勘案しなければならない。市民の帰還と生活を優先し、生活圏に近いところから、施業にあわせて50%減とか60%減等の目標を決めて進めるべきである。

以上のとおり、森林、林業、木材関連産業への放射能汚染の影響は多岐にわたるとともに、チェルノブイリの例が示すように、今後、数十年あるいは百年、二百年の時間スケールの中で対応していかなければならない。森林は汚染地域の大半を占め、除染等の対策には莫大な経費がかかるとともに、自然度の高い地域なので、対策の優先順位が低くなる傾向がある。しかし、今後、自然環境の中では生物への蓄積を通しての汚染物質の集積も懸念され、また、森林の荒廃に伴う土砂流出が放射性物質の拡散につながる恐れもあることから、それらの影響はじわじわと現れてくると予想される。また、森林を生活の糧としてきた人々の暮らしの再建や、林業、木材関連産業再開の見通しも立っていない。早急に、中・長期的な展望のもとに課題を整理し、方針を示して、できるところから対応していく必要があるとともに、長期的なモニタリングを実施しながら順応的な管理手法を用いて注意深く対応する必要がある。

<参考文献>

- [1] 石田 健 (2014) 野生生物を調べてわかること. 日本学術会議公開シンポジウム『福島原発事故による放射能汚染と森林・木材 Part II』要旨集、p6
- [2] 大手信人 (2014) 集水域生態系における放射性セシウムの移動・蓄積の実態把握. 日本学術会議公開シンポジウム『福島原発事故による放射能汚染と森林・木材 Part II』要旨集、p4
- [3] 恩田裕一 (2013) 森林における放射性物質の影響と現状. 学術の動向 18、No. 6 : 72～77
- [4] 金子真司・坪山良夫 (2012) 森林の放射能汚染と除染. 学術の動向 17、No. 10 : 10～16
- [5] 川井秀一 (2013) 特集の趣旨. 学術の動向 18、No. 6 : 67
- [6] 川井秀一 (2014) 前回 (平成 24 年 11 月 7 日) シンポジウムの概要. 日本学術会議公開シンポジウム『福島原発事故による放射能汚染と森林・木材 Part II』要旨集、p2
- [7] 柴田晋吾 (2013) チェルノブイリの森は今 (1). 山林 2013・10 : 46～49.
- [8] 柴田晋吾 (2013) チェルノブイリの森は今 (2). 山林 2013・11 : 46～49.
- [9] 柴田晋吾 (2013) チェルノブイリの森は今 (3). 山林 2013・12 : 46～49.
- [10] 白石則彦・川井秀一 (2013) パネル討論概要. 学術の動向 18、No. 6 : 86～89
- [11] 高橋正通 (2013) 福島県の森林の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、No. 6 : 68～71
- [12] 高橋正通 (2014) 森林・木材の汚染実態と長期モニタリングの必要性. 日本学術会議公開シンポジウム『福島原発事故による放射能汚染と森林・木材 Part II』要旨集、p3
- [13] 丹下 健 (2013) 今後の森林管理と林業の課題. 学術の動向 18、No. 6 : 84～85
- [14] 外崎真理雄 (2013) 木材への放射性セシウム移行と安全な木製品利用. 学術の動向 18、No. 6 : 80～81
- [15] 中西友子 (2013) 土壌汚染 フクシマの放射性物質のゆくえ. NHK 出版、東京、220pp
- [16] 中村道人 (2013) 森林の除染と林業活動. 学術の動向 18、No. 6 : 82～83
- [17] 日本学術会議農学委員会林学分科会編 (2013) 福島原発事故による放射能汚染と森林・木材. 学術の動向 18、No. 6 : 68-89
- [18] 日本学術会議農学委員会林学分科会編 (2014) 福島原発事故による放射能汚染と森林・木材 Part II. 日本学術会議公開シンポジウム要旨集、pp8
- [19] 早尻正宏 (2013) 原発災害後の森林組合の取り組み —その現状と課題. 協同組合研究誌にじ 643 : 1-9.
- [20] 早尻正宏 (2014) 原発事故に翻弄される林業・林産業界. 共済と保険 667 : 8-11.
- [21] 早尻正宏 (2014) 地域林業の原発被災と担い手問題. 日本学術会議公開シンポジウム『福島原発事故による放射能汚染と森林・木材 Part II』要旨集、p5
- [22] 吉田 聡 (2013) チェルノブイリに学ぶ長期生態系影響. 学術の動向 18、No. 6 : 78-79

<参考資料 1>分科会審議経過

平成 24 年

1 月 5 日 農学委員会林学分科会（第 1 回）

○役員を選定、審議事項、今後の進め方について

5 月 31 日 林学分科会（第 2 回）

○第 1 回公開シンポジウムの企画について

11 月 7 日 林学分科会（第 3 回）

○第 1 回公開シンポジウムの開催、『学術の動向』への寄稿について

平成 25 年

7 月 19 日 林学分科会（第 4 回）

○第 2 回公開シンポジウムの企画について

平成 26 年

1 月 24 日 林学分科会（第 5 回）

○第 2 回公開シンポジウムの開催、報告案骨子並びに構成案について

6 月 27 日 日本学術会議幹事会（第 195 回）

農学委員会 林学分科会 報告「福島原発事故による放射能汚染と森林、林業、
木材関連産業への影響－現状及び問題点－」について承認

＜参考資料２＞公開シンポジウム

「福島原発事故による放射能汚染と森林・木材」

(学術の動向、平成 25 年 6 月号、p. 67-89 (2013))

日時：平成 24 年 11 月 7 日 (水) 場所：日本学術会議講堂

主催：日本学術会議農学委員会林学分科会、森林・木材・環境アカデミー

講演：

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

高橋正通 (森林総合研究所研究コーディネータ)

森林および土壌の放射能汚染と移行の実態

恩田裕一 (筑波大学教授、日本学術会議特任連携会員)

チェルノブイリに学ぶ長期生態系影響

吉田聡 (放射線医学総合研究所福島復興支援本部環境動態・影響プロジェクトリーダー)

木材への放射線セシウム移行と安全な木製品使用

外崎真理雄 (森林総合研究所四国支所長)

森林の除染と林業活動

中村道人 (林野庁技術開発推進室長)

今後の森林管理と林業の課題

丹下健 (東京大学教授、日本学術会議連携会員)

パネルディスカッション

コーディネータ 川井秀一 (京都大学教授、日本学術会議会員)

「福島原発事故による放射能汚染と森林・木材 Part II」

日時：平成 26 年 1 月 24 日 (金) 場所：日本学術会議講堂

主催：日本学術会議農学委員会林学分科会

共催：森林・木材・環境アカデミー、認定 NPO 法人才の木

講演：

森林・木材の汚染実態と長期モニタリングの必要性

高橋正通 (森林総合研究所)

集水域生態系における放射性セシウムの移動・蓄積の実態把握

大手信人 (東京大学大学院)

地域林業の原発被災と担い手問題

早尻正宏 (山形大学)

野生生物を調べてわかること

石田 健 (東京大学大学院)

パネルディスカッション

コーディネータ 田中和博 (第三部連携会員、京都府立大学大学院)