

NHKスペシャル「被ばくの森・汚染循環」を追跡する！

第1種放射線取扱主任者
技術士（衛生工学・建設・環境）等
環境計画センター 専任理事 **鍵谷 司**

はじめに

平成30年3月7日（水）にNHKスペシャル「被曝（ばく）の森2018 見えてきた“汚染循環”」が放映された。2年前（平成28年3月6日）に放映されたNHKスペシャル「被ばくの森 ～原発事故5年目の記録」の続きである。

平成23年3月11日に東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所事故で放射性物質（以下、放射能と記す）が大量に放出された。これにより長期にわたって未曾有の放射能災害を引き起こした。これまで福島県下等における被害状況を3回視察し、災害状況や放射能による被ばくの実態をつぶさに見続けてきた。

また、平成28年3月と5月に放映されたNHKスペシャル「被ばくの森～原発事故5年目の記録～」および「前編：被ばくの森、後編：無人の町は今」が放映された機会に、被ばくの森における動植物の生育・行動状況並びに調査研究の結果について検討し、その問題点と解釈等についてコメントして寄稿した。

○鍵谷司：緊急報告：どうなる、被ばくの森！、環境施設、No.143、pp.2-13（2016.3）

○鍵谷司：特別寄稿：NHKスペシャル「被曝の森」を斬る！、環境施設、No.144、pp.2-10（2016.6）

○鍵谷司：特別レポート：福島からツバメが消える？ 福島における鳥獣調査報告より、環境施設、No.146、pp.2-13（2016.12）

今回放映された「被ばくの森における汚染循環」は、主に前回、取材した研究者の調査・研究内容のその後の取り組みが紹介された。前回からわずか2

年より経ていないので、目新しい成果は限られるが、メインタイトル「汚染循環」が目につく。森林を汚染した放射能は、ほとんど外部に流出しないことはすでに多くの調査で明らかにされていたので、専門家にとっては常識の範囲内であったが、一般の人々にとってはインパクトがあったかもしれない。

今回は、新たに追加されたデータ並びに汚染循環についての解説が必ずしも十分でない点もあるので、取材内容に対する要望も含めて指摘しておきたい。なお、取材内容は専門以外の担当者により素人向けに編集されていることに留意する必要があるだろう。

1. NHKスペシャル「被ばくの森2018 見えてきた“汚染循環”」

1.1 放映の概要

平成30年3月7日（水）に放映された概要は次の通りである。

東京電力福島第一原子力発電所の事故によって放射性物質で汚染された区域はこの先どうなっていくのか？ 平成28年3月に放映された「被ばくの森～原発事故5年目の記録～」では、急速に家々を覆っていく植物や、昼間から住宅地に出現するイノシシなど、無人の町が野生に侵食されつつある衝撃の実態が明らかにされた。また、放射能の生物影響に関する様々な研究報告も伝え、低線量被ばくの謎に迫った。今回の番組はその続編であった。なお、写真は放映画面から引用した。

平成29年の春、被災地は新たな局面を迎えた。国による計画除染が終わり、広い範囲で一斉に避難指示が解除された一方で、山間部を中心に「帰



写真1 被ばくの森



写真2 被ばくの森内での調査活動

還困難区域」として取り残された。その面積は340km²（東京23区の約半分）であり、対象となる住民は2万4千人に及ぶ。そうした「帰還困難区域」で、放射性物質はどのような影響をもたらしているのか？ 科学者による研究は、より深く、より多角化している。これまで調査されてこなかった高線量の森に踏み込み、生態系の中で放射性物質がどのように移動・残留しているのか、解明が進んでいる。科学者たちの挑戦や住民の思いを追いながら、その実態を記録した（NHK）。

1. 2 放射能汚染に関する前回の報道内容について（平成28年3月）

報道内容は、空間線量率が高いので、許可なく立入が禁止されている「帰還困難区域」を対象にして、「失われた故郷」の汚染実態、復活に望みを

託す元住民の活動や思いの実録と「被ばくの森」における動植物に対する汚染実態や汚染のメカニズム等の両面から取材されている。2年前に放映された「被ばくの森」については、主に動植物への影響を取り上げて寄稿した。そのポイントは下記の通りである。

- ①放射線可視カメラ等による放射能汚染実態；被ばくの森内部における空間線量率を可視化して、放射能の見える化技術が紹介された。
- ②感光フィルムによる動植物の放射能汚染画像；動植物の体内の放射能を感光フィルムに映し出した放射能の分布画像を紹介した。
- ③アカネズミの染色体異常に関する調査；被ばくなしと被ばくありのアカネズミについて遺伝子の異常発生率を調査した研究では、とくに差は認められなかった。検体数が少ないので、今後、数万個の細胞の分析が必要である。
- ④人の消えた街中における動物調査；人のいない街中は、安全な住処があり、食べ物が豊富で敵もいないことなどから、イノシシ、アライグマ、ハクビシンなどが繁殖し続けている。
- ⑤鳥類（ツバメ）の調査について；浪江町で尾羽根の長さが左右で異なるツバメが発見された。避難区域のツバメの死骸から放射能が検出された。今後も長期的な調査が必要である。
- ⑥霊長類「ニホンサル」の調査について；駆除されたニホンサルの内臓の血球細胞は少なく、脂肪が多かった。放射エネルギーが多いほどその傾向があるとのことだったが、検体数が少なく、論争になった。

これらの情報より「人間が活動できない被ばくした街や森林においても動植物は繁殖していた」ことから放射能による影響は、種の存続を妨げるほどの汚染ではないとの結論を述べた。詳しくは上述した「環境施設」、No.144、pp.2-10（2016.6）を参照のこと。

2. 放射能汚染に関する基本的な事項について

「被ばくの森」の報道内容に関し、少しでも専門的な視点から調査・研究内容ならびに問題点ある

いはコメントを理解していただくために、放出された放射能の減衰、空間線量率の測定方法及び被ばく線量の計算方法や帰還困難区域等に関する基本的な項目について説明しておきます。

2. 1 放射性セシウム (Cs137) の壊変

原発事故で放出された放射能は、放射性ヨウ素など様々な放射性物質が放出されたが、現在、放射線を放出する物質は主に放射性セシウムである。放射性セシウムには多くの同位体（同じ原子で、重さが違う）が存在するが、原発事故ではCs134とCs137がほぼ同量放出されたと言われる。

放射性物質は、原子核が非常に不安定な状態にあるので、自ら放射線（ α 線、 β 線）を放出して壊変（崩壊ともいう）し、より安定な別な物質（原子）へと変わり、最終的には放射線を放出しない安定な物質になる。放射性セシウムCs137の場合は、 β 線（電子）を放出して最終的に安定なBaに壊変する。壊変過程はエネルギー的に不安定な状態であるので γ 線を放出して安定なBaになる。安定なBaになると放射線は放出されない。

Cs137は1gあたり約3.2兆Bq（ベクレル）の放射能（比放射能）を有する。放射能とは、1秒間に壊変する原子の数を表すので、1秒間に約3兆個の原子核が壊変することを意味する。つまり、国が処分を行う10万Bq/kgを超える汚染土壌（指定廃棄物）に含まれている放射性セシウム量はわずかに0.03 μ g/kgに過ぎない。極微量であること、分析者の被ばくや分析機器の放射能汚染があるので、化学分析は難しい。

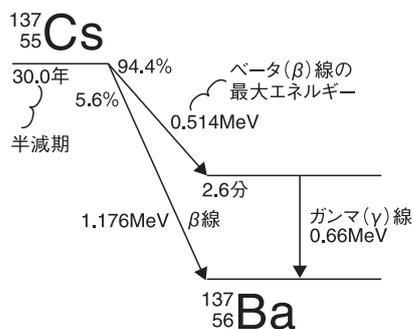


図1 放射性セシウム (Cs137) の壊変

2. 2 放射能の減衰に係る経年変化について

放射性セシウムは、壊変して別の物質であるBaに変化し、最終的には放射線を放出しなくなる。事故で放出され、現在も放射能汚染を引き起こしている放射能は、放射性セシウム (Cs134とCs137) であり、Cs134は約2年、Cs137は約30年で半分の原子がBaに変わる。原発事故で放出されたCs134とCs137の割合は1対1と言われており、その割合で減衰した場合の放射能の割合（放出時を1.0）を算出して図2に示す。

図2より、放出直後から放射能は急激に減衰し、そのあとはゆっくりと何十年もかけて減っていく様子がわかる。これは、半減期の短いCs134がまず減衰してしまい、半減期の長いCs137があとあとまで残るためである。事故から7年後の現在の放射線量は、当初の47.3%に減衰しており、空間放射線量率も同じように減衰する。

これは半減期の短いCs134がすでに1/10以下に減衰したためであるが、Cs137はまだ80%が残っている。つまり、今後は、放射線量は半減期の長いCs137に依存するので、減衰までに長期を要することになる。たとえば、事故後、70年後にようやく当初の1/10、100年後に1/20、170年後に1/100、270年後に1/1,000になると推算できる。

※同位体：Cs134とCs137は、同じ物質（原子番号である陽子数が同じ55）であるが、中性子の数が違うので重さが異なる。中性子は陽子と電子等から構成されており、中性子が壊れ β 線（核内電子）を放出すると陽子が1個増えてBa（原子番号56）になる。

2. 3 航空機による空間線量率の測定¹⁾

被ばく状況は、図3に示したように航空機によるモニタリングで γ 線を測定し、地上1m地点の空間線量率に換算して定期的に公表されている。上空から地上の空間線量率の測定方法について簡単に解説しておきます。

放射性セシウムの壊変過程で放出される β 線は大きなエネルギーを持っているが、マイナス電荷を持つ粒子なので「もの」により遮へいは容易で

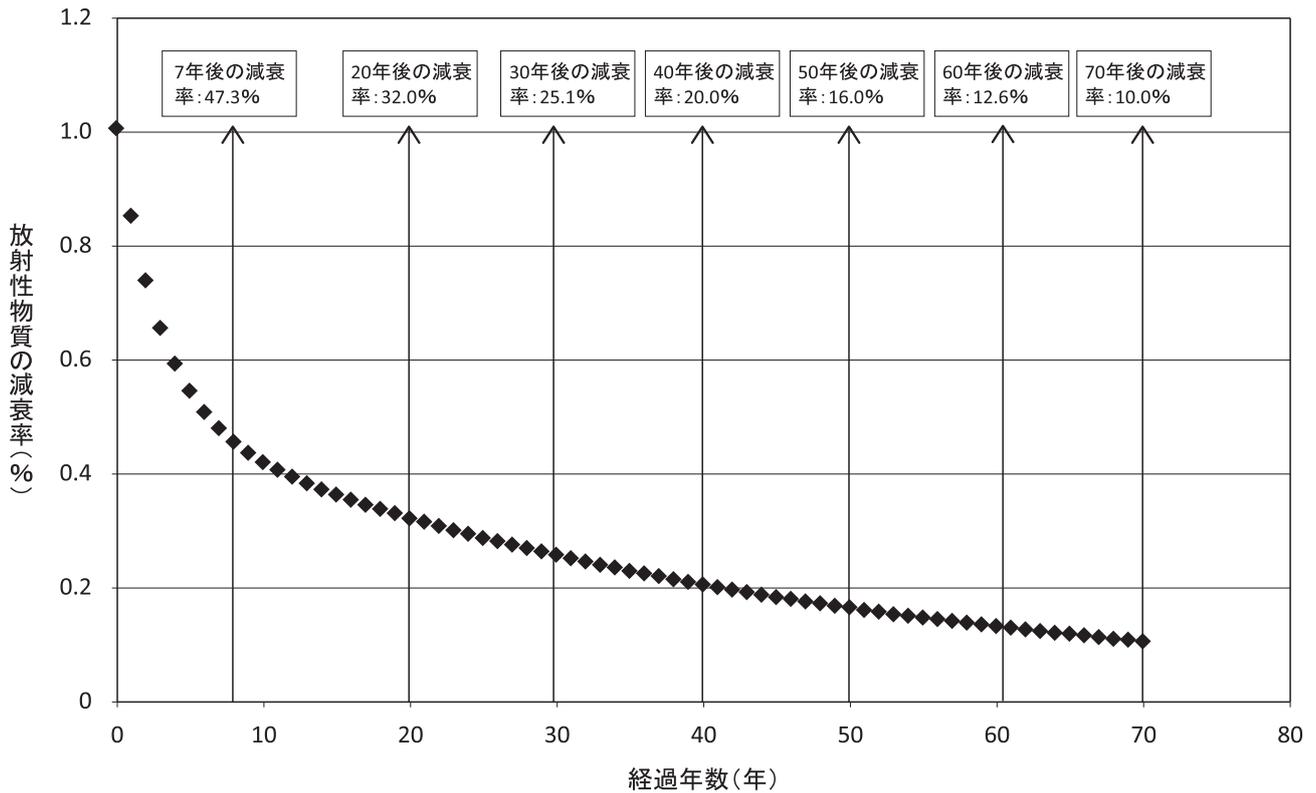


図2 放射性セシウム (Cs134/Cs137=50/50) の減衰曲線 (鍵谷作成)

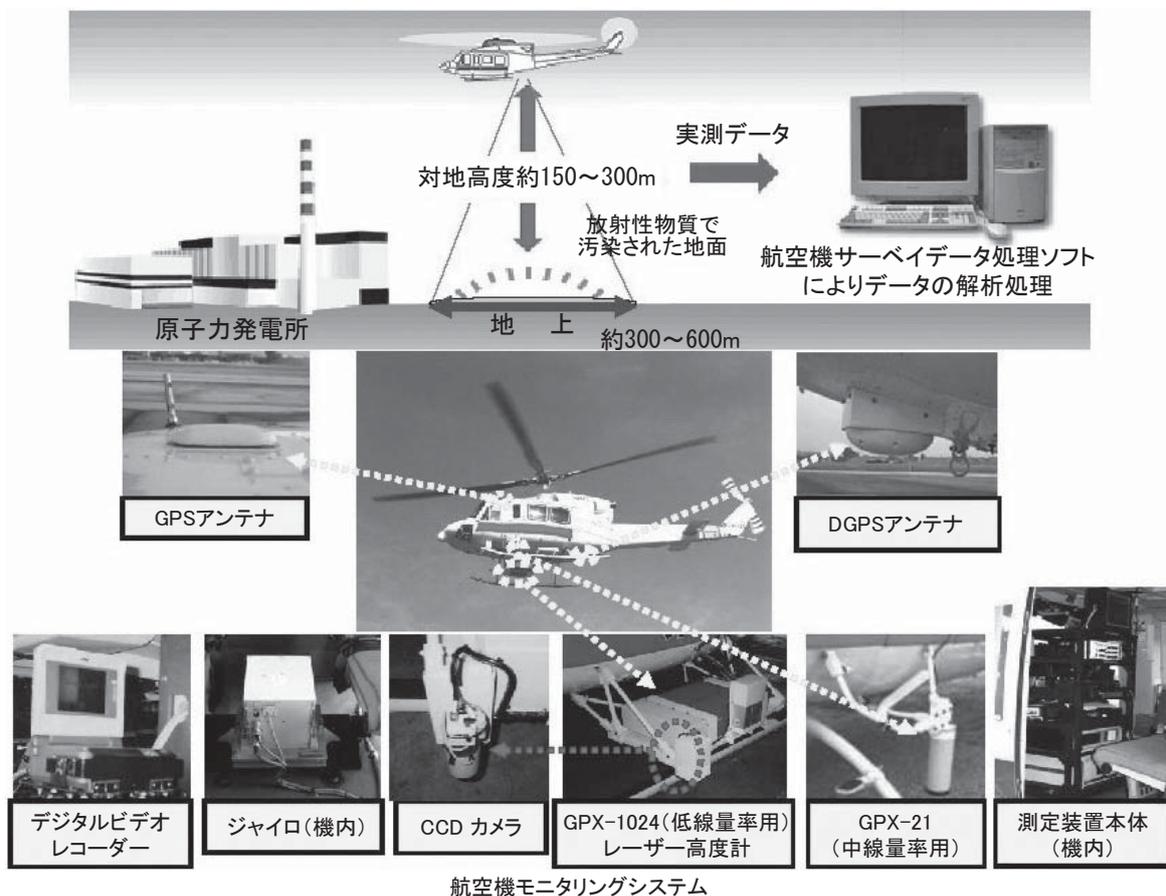


図3 航空機によるモニタリング方法¹⁾

ある。空気中の飛程は約2～4mであり、覆土厚が0.2～0.5mで遮へいできる。一方、 γ 線は電磁波であり、完全に遮へいすることは難しい。 γ 線が半分に低下する距離は、空気中では約100mであり、除染土壌で約10cm程度である。密度の高い物質ほど遮へい効果が大いなので、遮へい材には、水、コンクリートや鉛が用いられる。

つまり、事故に伴う空間線量率は、主に放射性Csの γ 線なので航空機からでも十分に検知できる。航空機モニタリングの飛行高度は150～300m程度で、3km間隔（原発周辺は1.8km）で飛行し、測定値は地表1mの高さに換算して示される。

2. 4 被ばく線量と帰還困難区域について

今回、調査対象となった帰還困難区域は、人がその場所で生活した場合に原発事故により追加される年間被ばく線量が時間あたり50ミリシーベルト（mSv）を超える区域である。なお、生活できる区域の被ばく管理基準は1 mSv以下である。

(1) 追加被ばく線量の算定方法

年間被ばく線量は生活空間における放射線線量率より次の条件で算出される。

その内訳は、1日の屋外での活動時間を8時間、残りの16時間を屋内で生活すると仮定し、屋内では木造家屋で生活するとして放射線の低減効果を0.4として算出している。

【計算方法】被ばく線量1ミリシーベルト（mSv）

$$\Rightarrow 1,000\mu\text{Sv}/\text{年}$$

$$= \text{空間線量率} (\mu\text{Sv}/\text{hr}) (8 \text{ hr} + 16\text{hr} \times 0.4) \times 365 \text{ 日}$$

これより空間線量率は $0.19\mu\text{Sv}/\text{hr}$ となる。さらに、当該地方の自然放射線であるバックグラウンド値 $0.04\mu\text{Sv}/\text{hr}$ を合算して、 $0.23\mu\text{Sv}/\text{hr}$ 以下を管理基準としている。なお、管理基準は、サーベイメータにより管理されるが、測定高さは地上から1m地点である。

γ 線は、一般的に距離の2乗に反比例して減衰するので、地表面で活動する小動物はかなり高い被ばく線量になる。また、線源（地表の放射能）

との距離が短いので、 β 線による被ばくも考慮すべきであろう。被ばく線量は、人がその場所で生活した場合の計算値である。同じ空間線量率であっても地表面や地中で活動する野生動物に対する被ばく線量はかなり高いことになる。

(2) 帰還困難区域と被ばく線量について²⁾

事故当初には、事故を起こした福島原発を中心に20～30kmの範囲を警戒区域に指定し、立入等を制限していた。現在の避難指示区域は、被ばく量（空間線量に基づく年間積算線量）の水準に応じて、以下の3つの類型に区分されている。平成29年4月1日現在の区分を図4に示す。

- ①帰還困難区域（50mSv/年超、空間線量率が $9.5\mu\text{Sv}/\text{時}$ 超）；放射線量が非常に高いレベルにあることから、バリケードなど物理的な防護措置を実施し、避難を求めている区域。平成30年4月で 337km^2 である。
- ②居住制限区域（20mSv/年超～50mSv/年以下；空間線量率が $3.8\mu\text{Sv}/\text{時}$ 超～ $9.5\mu\text{Sv}/\text{時}$ 以下）；将来的に住民の方が帰還し、コミュニティを再建することを目指して、除染を計画

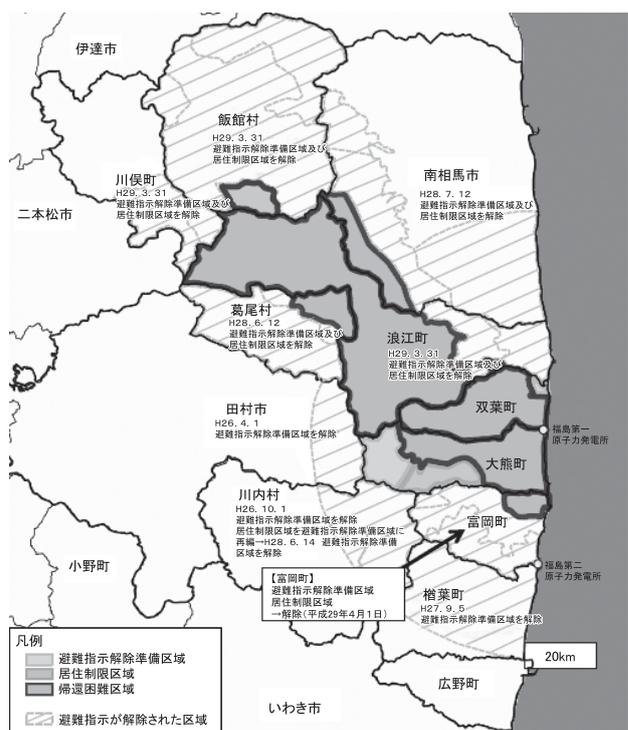


図4 避難区域（平成29年4月1日）²⁾

的に実施するとともに、早期の復旧が不可欠な基盤施設の復旧を目指す区域。

③避難指示解除準備区域（20mSv/年以下、空間線量率が3.8μSv/時以下）；復旧・復興のための支援策を迅速に実施し、住民の方が帰還できるための環境整備を目指す区域。

3. 現地調査内容に関するコメント&指摘事項

今回の報道内容のメインテーマは「汚染循環」であるが、福島粘土鉱物は放射性セシウムを吸着しやすく、水への溶出は少ないとの研究報告³⁾や林野庁による森林調査事業においても「放射能は森林内に留まる」との報告がある⁴⁾。今回の報道は、2年前に放映された内容と同じフィールド調査であるが、現場は異なる。森林内における放射能の挙動や動植物に対する放射能汚染の現状を調査し、汚染が強調されただけで、活動や繁殖等にどのような影響が生じているかについては明らかにされていない。このため、ネットでは、批判的な投稿やツイートは多いが、それだけ関心が高いことを示す裏付けかも知れない。

報道された「汚染循環」及び従来の現地調査を継続した結果について紹介しつつ、若干の疑問や科学的に説明が不十分と思われる個所を精査したので紹介します。

3. 1 放射能による「汚染循環」の実態とメカニズムについて

帰還困難区域の被ばくの森は、これまで高い放射線量に阻まれて近づけなかったが、ようやく短時間ならば調査できるようになった。放射線量は毎時60μSvで、約17時間の滞在で管理基準の1mSvを超える（写真3）。なお、事故当初では、毎時20mSv以下で管理されていた。

（1）森林内の放射能分布と流出阻害メカニズムについて

【森林内の放射能分布】

この汚染された森林の土壌を深さ20cmまで不攪乱で採取し、厚さ5cmごとに、枯れ葉や樹皮お

よび土壌に区分して放射能濃度を分析している。

その結果、①水に溶けやすいCs、②有機物に結びついたCs、③粘土鉱物に強く結びつくCsが存在し、図5に示したように、落ち葉と樹皮を合わせて約10%弱、土壌に90%強が分布しており、地下水への移動は極めて少ないとのことであった。なお、分布割合は明示されているが、テレビ画面からは放射能濃度はそれぞれ1,500～30,000kBq/m²以下と読み取れる。m²あたりの放射能濃度は、単位としては特殊であり、通常kgあたりの放射エネルギー（Bq）でないので、汚染の程度を判断することができない。誤りではないか？

その結果、外部にほとんど流出することなく森林内に貯留され、循環していることが明らかになったとしてその仕組みを科学的に解説している。



写真3 福島第一原発近くの被ばくの森

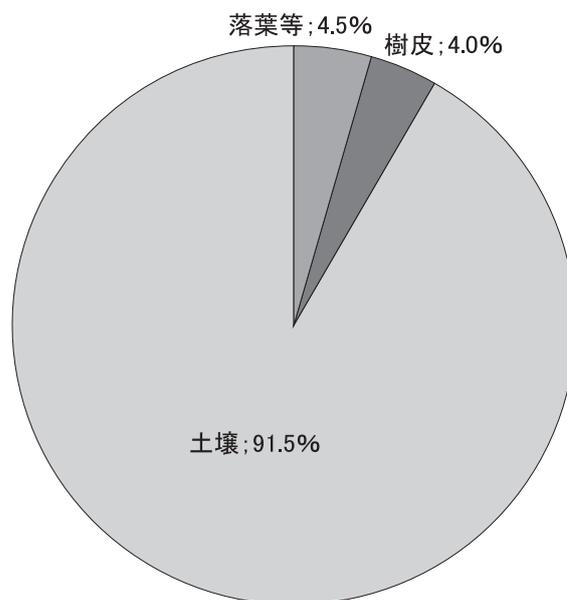


図5 森林内の放射性セシウムの分布

【河川へ流出しないメカニズム】

河川の源流である湧水源及び下流河川で採水して放射能を測定した結果は、飲料水基準（10Bq/l）を大きく下回る1Bq/l以下であった。そのメカニズムは、放射性セシウムは、表層には土壌や落葉などが腐敗した有機物層に分布するが、雨などで地中に浸み込んでもその下層に分布する粘土鉱物層に吸着され、それより下の層には移動しにくいとの説明であった（図6）。

その結果、放射能は、地下水の層まで到達せず、源流の水は汚染を免れていたとの報告である。つまり、森が放射性セシウムを閉じ込めるダムの役割を果たし、下流の汚染を防いでいたとの結論である。放射能が森から排出されないことは、動植物に取り込まれ、再び土にかえるので、「汚染の循環」が起きることになる。その事例の一つとしてスズメバチの巣の放射能濃度が紹介された。



図6 森林から河川に流れ出ないメカニズム

【放射能の循環の事例；スズメバチの巣汚染】

昆虫の専門家によるスズメバチの巣（写真4）の調査では、平均で1kgあたりおおよそ1万Bqで、最大で11万Bqの放射性セシウム濃度が検出された。その原因は、スズメバチが木の樹皮を齧って巣の材料にしており、放射能循環の根拠の一つの事例であるとのことであった。

※一般的に、大型のスズメバチは、樹皮のコルク層や風化して少しもろくなった木材を粉のように噛み砕き、それにタンパク質を沢山含んだ唾液を混ぜてペースト状に練り上げ、それで巣を作るとあった。



写真4 スズメバチの巣の放射能

（2）指摘事項及びコメント

森林内では、放射性セシウムが土壌に吸着されて森林外へほとんど流出しないことは、原発事故直後から各種の報文で明らかにされている³⁾。また、林野庁では、森林内の放射性物質の分布状況調査事業（平成23年～平成28年）が継続して実施されている⁴⁾。ここでは、事故原発からの距離が異なる福島県内の3町村（川内村、大玉村、只見町）において、森林内の土壌や落葉層、樹木の葉や幹などの部位別の放射性セシウム濃度と森林全体の放射性セシウムの蓄積量を調査している。鍵谷司；特別レポート 福島からツバメが消える？ 福島における鳥獣調査報告より、環境施設、No.146、pp.2-13（2016.12）を参照してください。

①樹木への放射性セシウムの取り込みについて

森林内に放射性物質が貯留されるとの報道であるが、放射性セシウムが土壌に吸着されやすく、一度、吸着されると水には溶けにくい性質があるので当然である。それにもかかわらず、樹木（枯れ葉、樹皮）には、おおよそ8.5%も分布している。水にほとんど溶けないのであれば、放射性セシウムが葉や樹皮には簡単に取り込まれないことを意味する。

植物は、固体の栄養分を吸収することができないので、有機物は、生物化学的酸素要求量（BOD）、窒素（N）やりん（P）等に分解されて水溶性になって初めて根から吸収される。樹木と同じ程度に溶解するのであれば、森林から流出する放射性セシウムはもっと多いはずである。放射性セシウ

ムが存在していても水に溶けなければ吸収されることはないはずである。

ところで、セシウムは、アルカリ金属類であり、酸には可溶性である。セシウムはクエン酸や酢酸などの有機酸に溶解することが報告されている⁵⁾。森林内の枯葉などの有機物は、土壤微生物により分解されるとフミン酸やフルボ酸などの有機酸が生成する。樹木の周りには多くの落葉が堆積し、これが分解すると栄養分とともに有機酸が生成する。これが土壤に吸着された放射性セシウムを溶解して栄養分とともに葉や樹皮に取り込まれるのではないかと推測している。なお、実験データは見当たらなかった。

②放射性セシウムが河川へ流出しないメカニズムについて

報道では、河川の源流は、森林内の降雨が土壤層などを浸透する過程で、粘土鉱物に吸着されて固定されるので、水は浸透して河川に流出するが、放射性セシウムは固定されているとのメカニズムで説明された。

しかしながら、河川水は、降雨水が地下浸透の他に表流水としても供給される。様々な文献によると、森林から放射能の年間流出率は、多くても0.1%程度と言われている。図6に示すように、水に溶けて流出するよりも表層土壤が大雨や洪水時に懸濁物質として流出すると報告されている⁶⁾。

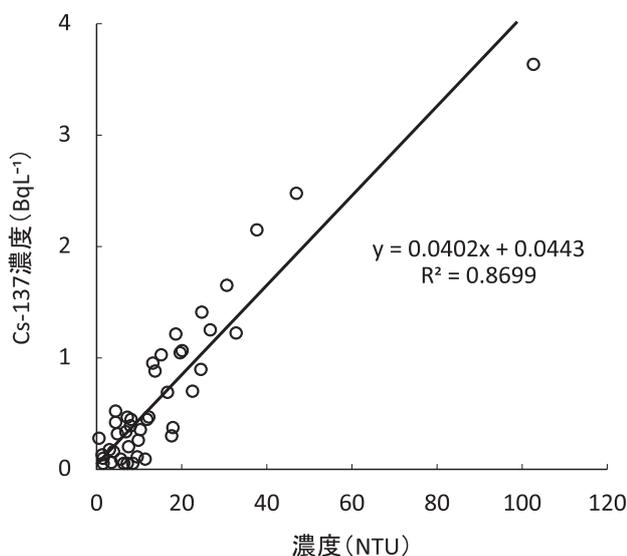


図6 河川水の濁度とCs137濃度の関係⁶⁾

つまり、河川への流出は、降雨状況や表層土壤の分布や傾斜地など地形などに影響を受けることを意味する。放映されたような濁りの無い透明な河川水中にはほとんど検出されない結果から、単純に河川水へはほとんど流出しないとの報道はかなり説明不足である。なお、逆に水に溶けやすければ、短期間に森林内から流出して安全になるが、移動先の河川や海の汚染問題を引き起こすことになりかねない。このような説明も放射能汚染の全体を考えるうえで重要なのである。

③スズメバチの巣汚染について

森林内の放射能が、外部に流出しないで貯留されており、その結果、森林内の植物に取り込まれ、これを動物が餌とするなどの植物連鎖で濃縮され、最終的に再び土壤に戻るといった汚染の循環がわかりやすく報道された。とくに、スズメバチの巣が、放射能で汚染された樹皮を材料にしていることから、非常に高い濃度に濃縮されていることを示していた。

しかしながら、最も大きな関心事は、このように放射能濃度の高い巣では、本当にミツバチが育て活動できるのか、あるいは孵化して子孫が残せるかであろう。単に巣の放射能濃度が高いことを強調し、汚染循環が起こっていると主張しても、影響にはほとんど触れられていない。

さらに、すでに「環境施設」146号で寄稿したように、ツバメなど土で巣を作る鳥類の減少が懸念されており、汚染土壤の影響は生物全体に影響する可能性があることを指摘すべきである。

3. 2 従来からの継続調査とその結果について

2年前のNHKスペシャル「被ばくの森」では、次のような最新の調査結果が紹介された。今回も調査及び研究を継続して実施しており、わずかながら新たな知見が得られている。

①放射線可視化による放射能汚染画像；動植物の体内の放射能を感光フィルムで影として映し出し、体内の放射能分布を調べた。シジュウカラの死骸の可視化では、脳に放射能が蓄積していることがわかった。これも森林内に

貯留し、循環する放射能の挙動の根拠の事例を示す。

- ②アカネズミの染色体異常に関する調査；アカネズミやアライグマの染色体に、放射線で損傷した遺伝子が誤って修復された「二動原体染色体」が確認された。被ばくのない青森県のアカネズミではこのような異常遺伝子はないが、被ばくの森では0.6%の頻度であった。なお、それが生体にどのような影響を及ぼすかについては、不明であるとのことであった。
- ③霊長類「ニホンサル」の細胞調査について；18匹のニホンサルから採取した7万個の細胞について、筋肉中の放射能濃度と血球細胞数を調べた結果、前回と同じく放射能濃度が高いほど脂肪層が多く、血球細胞数が少なくなる傾向が認められた。しかしながら、血球細胞が減少していても血液に異常はないことがわかった。血球細胞が減少すると、骨髄の血球生成スピードが正常時よりも速くなるとの仮説で説明された。

以上は、前回に報道された項目であるが、今回は、帰還困難区域の被ばくの森の動植物の調査であり、この区域には、許可された時間のみの滞在になるので、同じような調査はできないと思われる。

おわりに

現場調査や研究内容は、ほぼ前回の続きであり、その成果は限られたものであった。森林内における放射能の流出に関する調査研究は広く行われており、流出割合は0.1%以下程度との報告も多い。

また、林野庁による森林内における放射性物質の実態把握調査も事故直後から継続して行われており、同様な結論が得られている。

最も大きな関心事は、これだけ放射能で汚染された森の中で、生物が放射線の影響を受けながらも活動し、かつ子孫を残して繁殖しうるか否かである。野生動物の寿命は、人に比べるとはるかに短い。放射線による障害が発現する前に寿命を迎えるので、顕著な悪影響が観察されないのではないかと。

野生動物に関する調査では、調査対象の動物の年令などが大きな影響要因と考えられるので、たとえば、爪や歯から生存年数を調べることができであろう。成体が被ばくした影響なのか、被ばくした親から生まれた卵や幼鳥などへの影響であったかを調べるのが重要であると思った。これには、フィールドにおける被ばく条件を把握するとともに、実験的研究で具体的な影響を検証することが必須であろう。現場における放射能の挙動の報告だけではもの足りない。被ばくの森では、高濃度の放射能が生体に取り込まれ、しかも循環することが強調されている。が、このような環境の中でも動植物は、枯死したり、絶滅することなく、生きながらえて繁殖を続けているのも事実であり、次世代への影響について追及してもらいたかった。

被ばくを受けながら大変な苦勞を伴う現場調査なので、現状把握という意味では大きな意義はある。が、取材的には、個人的な狭い範囲の調査内容であり、もっと総合的な取り組みが必要であると感じた報道内容であった。

〈参考文献〉

- 1) 環境省；「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料」第3章 環境モニタリングQ & A（平成24年度）
- 2) 避難指示区域の状況；ふくしま復興ステーション・福島県HP
- 3) 中尾淳；特集1 放射能除染の土壌科学；セシウムの土壌吸着と固定、学術の動向（2012.10）
- 4) 林野庁；森林内における放射性物質実態把握調査事業報告書（平成23～29年度）
- 5) 三浦等5名；汚染土壌からの動電学的手法によるセシウムの除去に及ぼす有機酸の影響、静電気学会誌、46-1、pp.14-19（2016）
- 6) 小林等4名；森林流域から流出する放射性セシウムの調査法、森林総合研究所研究報告、Vol.13、No.3（No.432）、pp.147-154（2014.9）