

里山再生に向けた放射性物質汚染の把握と対策の課題

千葉大学大学院園芸学研究科 教授 小林 達明

キーワード：放射性セシウム、里山、森林生態系、循環、流出

1 里山における放射性セシウムの分布実態の把握

東日本大震災に伴って起きた福島第一原子力発電所事故により、放射性セシウム、同ヨウ素等、大量の放射性物質が大気中に放出され、その降下域は深刻な汚染に悩まされることになった。とりわけ放射線量が高い阿武隈山地北部は、丘陵状の地形が広く覆い、その中には多くの人の生活がある典型的な里地里山地域である。生活や農と森林は深く結びついており、森林の汚染対策に対する地元の要望は当初から大変高かったが、森林の対策はこれまで全く進まなかった。

平成 24 年に政府環境回復検討会でまとめられた「今後の森林除染の在り方に関する当面の整理について」では、森林を、住居等近隣の森林エリア A、利用者や作業者が日常的に立ち入る森林エリア B、エリア A・B 以外の森林であるエリア C の三つに分類しているが、これまでの環境省による除染事業の中では、「住居等近隣の林縁から 20m を目安に落葉落枝の除去を進める」とされたエリア A の部分のみ対策が行われてきた。

「ほだ場やキャンプ場等の人が日常的に利用する場所について、利用の目的や利用の頻度などの活動形態や空間線量率の高低等を踏まえつつ、除染の具体的な進め方を検討する」とされたエリア B、「今後、調査・研究を進め、その結果を踏まえた上で判断することが適当」とされたエリア C は、これまで後回しにされており、エリア B と C のゾーニングの議論さえ全く進んでいない。

このような現状に対して、ようやく森林対策へ少しだけ目が向けられるようになってきた。住民感情からすると「あまりに遅い」という声が聞かれる実情だが、この機会に森林の放射性物質汚染対策のあり方を再考するのは意味があるだろう。本稿では、福島県川俣町山木屋地

区で 2011 年から行っている私たちの研究グループやその他のグループの成果も交えながら、里山の放射性物質汚染の現状と対策について考え、課題について整理したい。

国が行うトップダウンの除染事業が現在進んでいるが、今後、次第に住民や地方行政主体の放射線防護対策が求められていくと思われる。そのためには、避難区域の策定などに用いられた政府の放射線量等分布マップでは精度が不十分で、地域の詳細がわかる空間線量マップが必要になる。

図 1 は、GPS と線量計を組み合わせたシステムを用いて行った歩行サーベイによる実測例だが、図中の範囲内でも、毎時 $1\mu\text{Sv}$ (マイクロシーベルト) から $3\mu\text{Sv}$ まで、空間線量率が大きく変化していることがわかる。この図は、住宅地や農地の除染が実施される前のデータだが、それでも植生・土地利用によって線量が異なっていた。森林で線量が一般に高く、草草がそれに次ぎ、

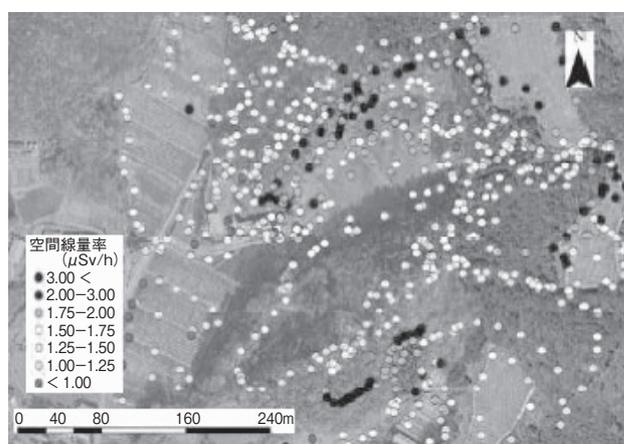


図1 川俣町山木屋地区のある里山流域における2012年5月の歩行サーベイの結果 (近藤、2013)

<http://www2.jpgu.org/publication/jgl/JGL-Vol9-3.pdf> (10p参照)

農地が低く、道路・住宅周辺で最も低かった。同じ森林でも常緑で林冠部にも放射性物質を集積しているスギ林では線量が高い傾向があり、伐採後の林冠が疎開した幼齢林では線量が低い傾向にあった。農地では、一般に畑地が高く、水田は低い傾向があった。

斜面方位等によっても線量に違いが見られ、拡散・降下時の放射性雲の動きによって、その流入側の斜面では放射線量が高いとする意見もある。地形的には放射線が集中しやすい凹地形で高く、拡散する凸地形で低い。このような一般的傾向もあるものも、原則的には測ってみなければ線量の分布はわからない。

面積の広い森林の対策では、除染には限界があり、隔離や封じ込め、遮蔽という手法を効果的に計画する必要があるが、そのためには、空間的な実態の把握が欠かせない。現在は、飛行高度の制限がない無人小型航空機 (UAV) を用いた低空モニタリングの手法開発が取り組まれている。

2 森林は農地や住宅地を再汚染するのか？—森林生態系外への放射性セシウム流出

私たちの調査地農家の土地は、東、北、西の三方を丘陵地森林が囲み、中に畑と水田と畜舎と家屋がある典型的な里山景観である。丘陵地に降った雨は地下水を涵養して飲用水源や農用水源となっている。落葉広葉樹林は、シイタケほど木材や木炭材として定期的に伐採され、落葉の層は堆肥として農地に鋤き込まれてきた。家畜は、夏場、林内放牧された。したがって、林地と農地と畜舎と家屋は、生活のための一体のセットであり、わけて考えることはできない。それらの間にある循環的な物質の動きによって小流域生態系が成り立っている。

当地の復興とは、究極的には、そのような里山生態系の再生がベースにならなければならない。そう

でなければ、環境と人の関わりがなくなり、里山景観は失われ、中山間地に人が住む意味がなくなる。そのように私たちは考え、生態系の枠組みを基礎にした研究を進めている。

里山の村では、農業用水はもちろん、飲用水も、井戸か渓流水から得られているが、その水源は放射性物質が集積した里山である。そうした水は安全なのか？山地斜面から流出した水は、除染された農地や住宅地を再び汚染してしまうのではないのか？現地住民には、そのような心配があった。

私たちは、山木屋地区のコナラが優占し、斜面上部はアカマツが混交する丘陵地斜面に、2013年試験地を設置して、里山生態系の放射性セシウムの循環と流出を計測する試験を始めた (山本ら、2014)。この試験地には、生態系全体で 1m^2 あたり 708kBq (キロベクレル) の放射性セシウムがあり、うち植生に 5%、地表の有機物層に 72%、鉍質土層に 23% が存在していた。放射性セシウムの多くは地表にあり、特に有機物層が多かった。

試験区の斜面長は 35m で斜面全体をほぼ被い、一つの処理区の幅は 9m とした。試験区の構成は対照区と三つの処理区であり、一つの処理区は有機物層を含む全汚染土層を除去している。残りの二つの処理区で

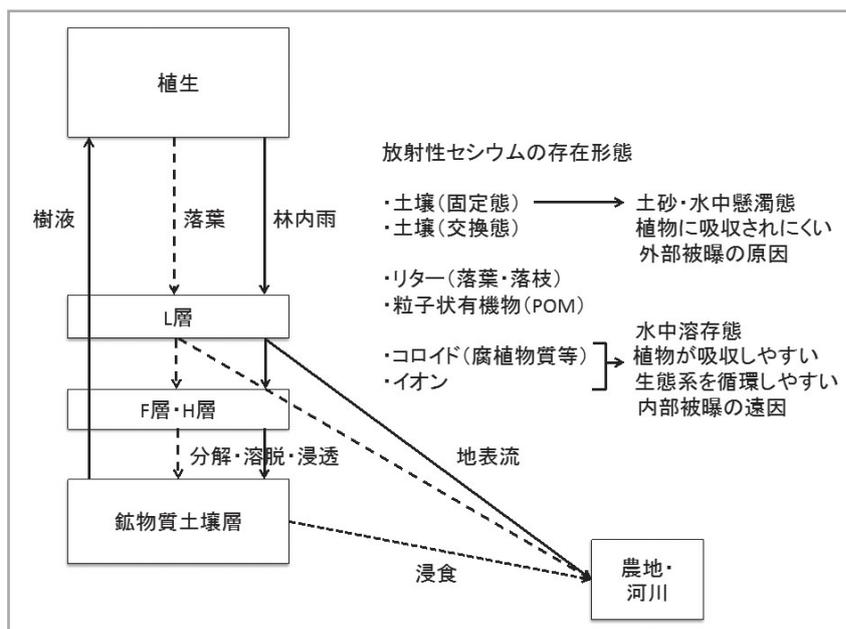


図2 里山と農地をめぐる放射性物質の動き—循環と流出のモデル

は熊手で落葉かきを行っている。調査区の下端には、土砂流出防止用の不織布マットを敷設した柵を設置し、堆積した土砂やリターを捕集した。柵の下には雨樋を設置して、不織布マットを透過して流出する地表流水を捕集した。

森林水文学の常識として、有機物層の発達した森林では、地表流は発生しないといわれていたが、ここでは、2013年8～11月の間の585mmの降雨に対して、各調査区で7mmに相当する地表流水が観察された。試験区設置直後の7～11月末までの間に、対照区下端の柵に堆積したリターは、調査区面積あたり31g/m²で、土砂はほとんどなかった。

これらの試料を用いて、夏から秋の5か月間にこの斜面から下方へ流出する放射性セシウムを推定したところ、対照区では斜面に残存するものの0.085%と少なかった。チェルノブイリ事故報告書では、「森林の放射性物質の自然減少は極めてゆっくりとしか進まず、森林生態系からのセシウム137の正味の年流出率は1%未満」(IAEA, 2006)とされており、福島事故後の各調査チームのデータもあわせて、森林の放射性セシウムの保全能力は高く、大規模な土砂流出や山火事等がない限り、流出量は少ないと言えそうである。

流出と見なした放射性セシウムの93%は不織布マットつきの柵で捕集されたもので、その実体はほとんど落ち葉だった。落葉かき処理を行った区では、流出率は0.64～0.69%と増加したものの1%を超えることはなかった。また、それらのセシウムの96%以上は不織布マットつきの柵で、実際には流出をくい止められており、斜面の浸食・流出防止工が放射性物質の流出防止に効果があることを示している。別の試験区で行った木質チップ敷き均しも、斜面の土砂流出抑制に効果があった。

不織布マットを透過流出した水の放射性セシウム濃度は、対照区で8.7Bq/L、落葉かき区で14～27Bq/Lだった。全体の量は多くないので、農地等汚染の心配はあまりないと思われるが、その濃度は飲料水の基準10Bq/Lと比べて低いとは言えないので、斜面流出水が直接農地に流入し滞留するようなことは避けた方がよいと思われる。特に、別に設定した流出防止柵を設置せ

ずに落葉かき処理を行った試験区では、流出水の放射性セシウム濃度が83Bq/Lと高かったので、注意が必要である。また、上述したように、安定した森林から放射性セシウムを最も運び出しているのは落ち葉だから、それが農地に堆積して汚染源とならないような配慮が当面は必要と思われる。

私たちの調査地の井戸では、地下水の放射能は1Bq/L以下であり、他の報告でも、地下水の放射能はほとんど検出限界以下である。地下水の湧出までの時間が長いこと今回の事故の影響をまだ受けていないこと、鉍質土に含まれる粘土鉍物のセシウム固定能力が高いことなどにより、リターの加入や斜面流出水の混入等がなければ、地下水の健康リスクは低いと考えられる。

溪流では、堆積物に放射能が高い場合があり、溪流魚の放射能も高い値が計測されているので、現時点での食用利用は控えた方がよい。しかし、避難指示解除準備区域の汚染レベルの渓流水そのものの放射能は、濁流時以外ほとんど検出限界以下であり、農用水としてのリスクは低いと考えられる。

3 里山は今後利用できるのか？－森林生態系内の放射性セシウム循環

住民の最大の関心は、山がこれから使えるのか？ということである。チェルノブイリ事故の報告書で引用されたウクライナのマツ林の例では、1986年の事故発生後12年を経ても、木部の放射能は上昇を続けている。阿武隈の里山では、どのように変化するのだろうか？

図2は、その予測のためのコンパートメントモデルを構成している。私たちは、予測の精度をあげるために、放射性セシウムの存在形態も分別して把握するよう努めている。図中の存在形態一覧は、上にいくほど安定して存在し、下に行くほど循環しやすい形態である。すなわち、同じ放射性セシウムでも、粘土鉍物に強く結合した固定態のものは、植物に吸収されることは将来的にもない。したがって、生態系を循環して人に内部被ばくを引き起こすリスクはないのであり、外部被ばくのリスクだけを心配すればよい。一方、水にとけたイオン態のセシ

ウムは、植物にすぐに吸収され、内部被ばくの原因となる。イオン態のセシウムの性質はカリウムと似ており、生態系内を最も早く循環すると考えられている。

われわれの調査地では、放射性セシウムの5%が植生に保持されていたが、この数値はチェルノブイリ後の安定した森林で観察された数値と同様である。山木屋地区で森林の放射能を経時的に測定しているチームのデータを見ても、葉の放射能は2012年以降安定してきており、現在、当地の森林生態系はほぼ定常状態に達していると考えられる。

森林生態系内の放射性セシウム循環には二つの考え方があり、図3の左は、放射性セシウムが植物によく吸収されて、生態系をぐるぐるとよく循環するというもので、チェルノブイリ後の東部・北部ヨーロッパの森林で観察された挙動である。右は、放射性セシウムは植物に吸収される前に鉍質土層に下方浸透して、生態系の循環は少ないという考え方である。

林野庁は、2012年以降、「森林内の放射性物質の分布は樹木や落葉層から表層土壌に移行した」と発表してきたが、私たち含め、多くのチームのデータでは、2013年現在、放射性物質の分布の中心は引き続き有機物層にある。この食い違いについて、層位区分の方法が単に異なって生じたのか、生態系の性質の違いによって生じた本質的な違いなのか、まだ明らかになっていないが、図3の議論と深く関係するため、きちんと検討する必要がある。ただし、現在分析中の私たちのデータでは、有機物層にある放射性セシウムでも、植物に利用可能な形態のセシウム量は多くないと結果も出つつあり、現実の森林は二つの考え方の中間的な性質を持っている可能性もある。

森林生態系の放射性セシウム循環に関する私たちのデータは現在とりまとめ中であり、現時点で確定的なことを述べるのは差し控えたいが、昨年の予備的研究からは、森林生態系の循環率は1~3%と流出率よりかなり大きいと予想される。もしそうだとすると、循環を制御することによっ

て、生態系の性質を大きく変えられる可能性がある。

実際、落葉かきを行い、放射性セシウムの総量が削減された試験区では、循環量が減少し、幹木部の放射性セシウム濃度も大きく減少した。当地の森林資源が今後利用可能かどうかということを考えると、材の数値は100~1000Bq/kgの微妙なレベルにあるので、今後継続的な監視が必要だし、精度の高い予測もまた求められる。

<参考文献>

IAEA (2006) Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and their Remediation : Twenty Years of Experience / Report of the Chernobyl Forum Expert Group 'Environment' ., Vienna : IAEA, 165pp. (邦訳版は <http://www.scj.go.jp/ja/member/iinkai/kiroku/3-250325.pdf> 参照)

山本ら (2014) : 原発事故被災地の丘陵地広葉樹斜面林における林床放射能低減試験とその後の水土流出、日本緑化工学会誌 40、130-135.

林野庁 (2014) : 森林・木材と放射性物質-福島森林・林業再生に向けて

<プロフィール>

専門は再生生態学、緑化学。里山生態系の研究に取り組んでいる。中央環境審議会専門委員、同外来生物対策のあり方検討小委員会委員。

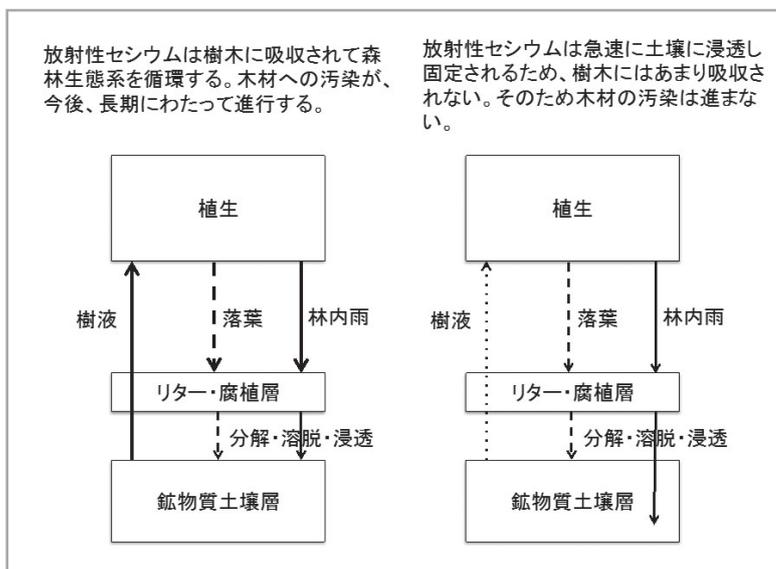


図3 森林生態系内の放射性セシウム循環に関する二つの考え方