



どうなる、被ばくの森！ —福島復興支援ツアー視察記（Ⅲ）—

技術士（衛生工学・建設・環境部門）・第一種放射線取扱主任者等
環境計画センター 専任理事 鍵谷 司

はじめに

平成27年12月、環境省は原発事故に伴う福島県内の除染作業について、生活圏から離れ、日常的に人が立ち入らない大部分の森林は除染を行わない方針であると発表した。その理由は、①原発事故時に葉や枝に付着した放射性物質の8割程度が土壌表層に留まり、生活圏の空間線量に影響するような飛散あるいは降雨などによる流出も確認されていないこと、②落ち葉などを広い範囲で取り除くと、表土の流出などの悪影響が懸念されるとし、柵や土のうの設置で放射性物質（以下、放射能と記す）を含む落ち葉や表土の流出を防ぐことが適切であると判断した。

原発事故後の主たる報道は、人の健康、生活・事業活動を含めた社会・経済活動等に関する事柄であり、動植物や微生物を含めた生態系に関する報道は極端に少ない。長期的にみれば人間の生存あるいは活動は自然の生態系の中に組み込まれているのであり、膨大な面積を有する被ばくした森、その中の動植物への影響は素人ながら非常に気になる。「環境施設」No.141、pp.42-52（2015.9）で「視察中に小鳥を見なかった」と紹介した。また、除染物を保管している沿岸部でも一匹のカモメも見なかった。当然、広大な森林部も高濃度の放射能で汚染されているはずであり、森の生態系（動植物・微生物など）はどうなるであろう！

これまでこのような異常な事態を経験したことがないこと、自然界が放射能で汚染されるということも動植物への影響についてもあまりにも知見が少なく、調査・研究は緒に就いたばかりである。様々な方々に関心を持っていただくために素人の視点から「被ばくの森はどうなる！」と題して寄

稿する。なお、以前にNHK-BSで世界ドキュメンタリーシリーズ「チェリノブイリ事故25年」（国際共同制作）が福島原発事故3ヶ月後の平成23年6月に放映された。被ばくの森の二十数年後を示唆する貴重な映像であったのでこれをベースにして検討した。

1. 原発事故に伴う森林の放射性物質による汚染状況

1. 1 航空機による空間線量率の測定^{*1)}

森林の被ばく状況については、航空機によるモニタリングにより測定され、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。

さて、上空から地上の空間線量率がわかるのであろうか！ 誰もが疑問に思うので簡単に解説する。地表に沈着した放射能からは常時、放射線が放出される。現在ではほとんど放射性Cs（Cs137とCs134）である。これらは非常に不安定な原子核であり、 β 線（電子）放出して最終的に安定なバリウムに壊変する。壊変過程でエネルギー的に不安定な状態であるのでエネルギー（ γ 線）を放出して安定化する。

ところで、 β 線は原子核から放出された電子なので、大きなエネルギーを持っている。マイナス電荷を持った粒子なので「もの」により遮へいは容易である。空気中の飛程は約2～4mであり、覆土厚が0.2～0.5mで遮へいされる。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。電磁波は波動であり、電波と同様に空気中ではいくらかでも遠くに届くのに似ている。 γ 線が半分にくらでも遠くに届くのは約100mであり、除染土壌で約10cm程度である。密度の高い物質は

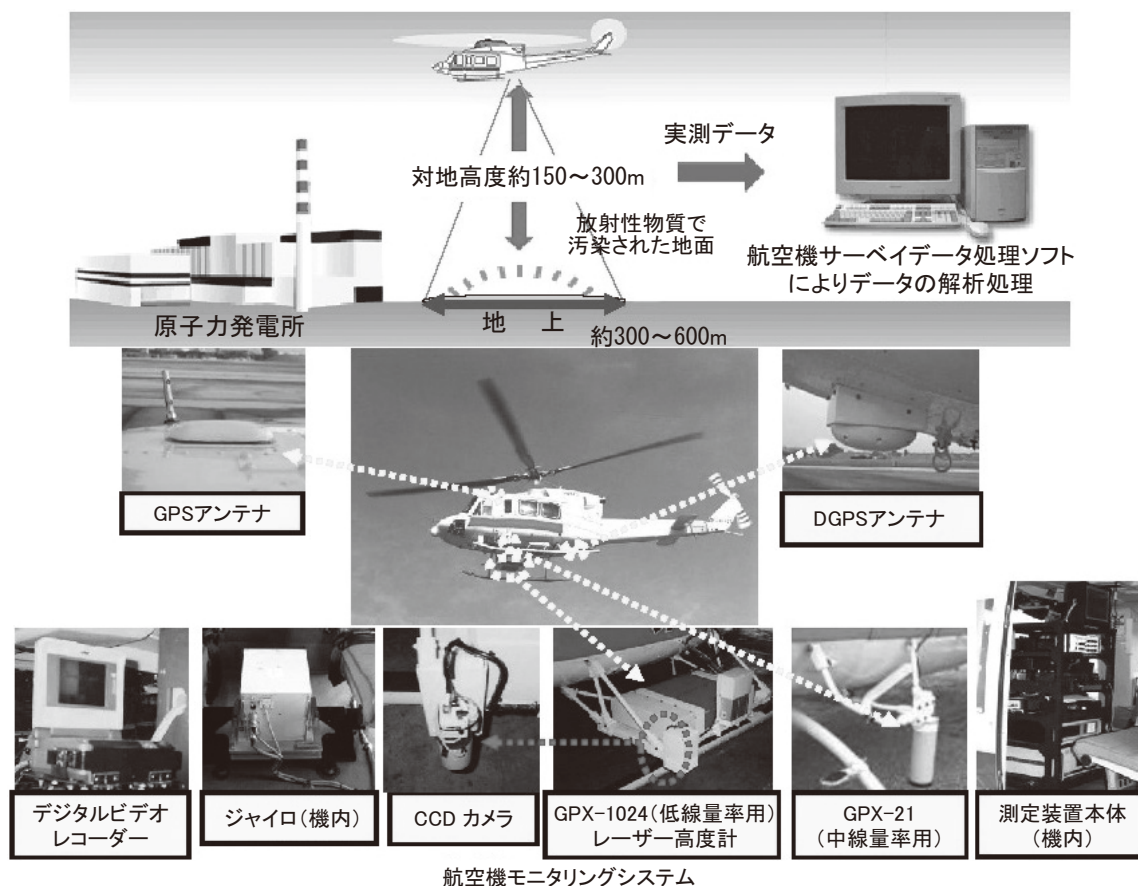


図1 航空機によるモニタリング方法※1)

ど遮へい効果が大きいので、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。当然、地表1m地点において γ 線を測定し、その整合性がチェックされる（図1）。測定結果の事例を図2に例示した※1）。なお、放射性Csは減衰するので、排出時のCs137/Cs134の割合を50/50とすると、5年後には事故時の約54%に減り、空間線量率も同じように低下する。

1. 2 森林の汚染状況（福島県等8県）※2)

福島原発事故時に放出された放射能雲（プルーム）は、風に乗って拡散した。大量に放出された原子炉建屋の爆発時点における風向は北西であったので、その方向の地域に大量の放射能が拡散し

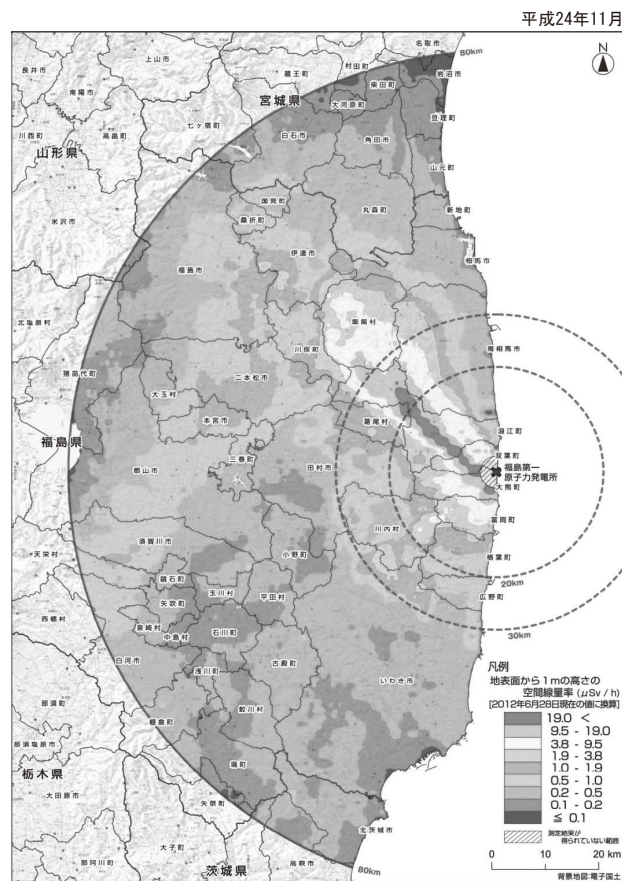


図2 航空機モニタリング結果の事例※1)

て高濃度に汚染した。その後の風向変化等により関東圏まで広く汚染された。

福島県及びその周辺における森林の汚染状況が年間被ばく線量（mSv）で表示されたデータを表1に示す。除染基準である1 mSv/年以上に汚染された森林面積は、福島県内は84.2万 ha、群馬県が17.9万 haであり、両県で102.1万 haに達する。

一般的に年間被ばく線量とは、その場所で生活した場合の追加被ばく線量を示すので、時間当たりの空間線量率では0.23 μ Svに相当する。仮に放射能が深さ5 cm程度の表層土壌に分布するとし、単位体積重量（t/m³）を1.3に設定するとその濃度は重量当たり1,000Bq/kg程度に相当する。つまり、20mSv/年では20,000Bq/kg、5 mSv/年では5,000Bq/kgがおおよその目安になる。^{※3)}

なお、一般公衆の被ばく基準は1 mSv/年であり、職業人は5 mSv/年以下である。放射能量が10,000Bq/kg以上あるいは空間線量率が2.5 μ Sv/hr

の現場での作業では法律（電離放射線障害防止規則；電離則）により被ばく管理が義務付けられている。

当然、森林以外の生活圏も著しく汚染されている。汚染レベルを空間線量率で区分し、年間被ばく線量が5 mSv以上を「帰宅困難地域」、20～50mSvを「居住制限区域」及び20mSv以下を「避難指示解除準備区域」として区域指定している（表2）。帰宅困難区域では除染作業ができないが、他の区域は被ばく管理のもとで除染作業が行われている。なお、森林部分の除染範囲は基本的に生活圏の林縁部から20mまでとされている。

1. 3 森林内の放射性物質の挙動及び分布

さて、森林内の放射性物質の挙動や分布はどのような状態であろうか。

【森林内の放射性Csの挙動と特性について】

平成21年度から毎年福島第一原発からはほぼ西側

表1 森林の汚染状況（被ばく線量；mSv/年）^{※2)}

地 域	5～20	1～5	1以下	合計（万 ha）
福島県	54.8	29.4	13.6	97.8
岩手県	0.0	0.2	113.4	113.6
宮城県	0.04	3.5	39.6	43.14
茨城県	0.0	2.1	17.6	19.7
栃木県	0.0	12.1	23.8	35.9
群馬県	0.0	17.9	24.7	42.6
埼玉県	0.0	0.2	12.6	12.8
千葉県	0.0	0.2	16.0	16.2
合計（万 ha）	54.84	65.6	261.3	381.74

表2 福島県内の指定区域と対象人口等（平成27年9月）

指定区域	被ばく線量（mSv/年）	対象人口（世帯数）	備 考
帰宅困難区域	50以上	約24,100人（約9,000）	※除染できず
居住制限区域	20～50	約22,700人（約8,300）	※立入可、宿泊不可
避難指示解除準備区域	1～20	約23,600人（約8,000）	※一時帰宅、営農再開等可

※追加被ばく線量が年間1 mSv以上の区域が除染対象。

※追加被ばく線量；原発事故に伴って追加的に被ばくする線量；自然被ばく線量は除外

に位置する川内村（約26km）、大玉村（約66km）、只見町（約134km）のスギ林、コナラ林、アカ松林において放射能の分布に関する実態調査が行われている（図3）。各調査地の空間線量率の範囲を表3に示す。被ばく管理を必要とする $2.5\mu\text{Sv/hr}$ を超える森は川内村であったので、そのスギの年度別・部位別放射性Cs濃度（単位； kBq/kg ）と割合（％）の推移を図4に示す^{※2)}。

原発事故が2011年3月の早春であったので、飛散した放射性Csは、地上の樹木に約44％、地表面の土壌や落葉層に約54％に沈着した。2013年になると樹木では数％に低下し、逆に落葉層と表層土が約94％と大幅に増加した。樹木に沈着した放射性Csが雨あるいは落葉により地表面に移動したことを示唆する。なお、針葉樹の杉林よりも落葉広葉樹のコナラ林において土壌への移行割合が高いことから樹種により移行割合が異なることが分かっている。

次に川内村スギ林の土壌中の放射能の分布状況

を表4に示す。土壌中の放射性Csは、その90％強が表層から5cm以内に分布し下層部への浸透は極少ない。また、地表の落葉層は、いずれ分解されて土壌化するので土壌中の濃度が次第に高くなる。なお、放射性Csには半減期があり、3年を経過した段階で当初の約65％に減衰する。

以上の実態調査により放射性Csの移流メカニズムは次のように考えることができるとしている^{※2)}。

①沈着した放射能は、樹木への取り込みは数％



図3 森林における放射性Cs調査地

表3 2011年と2012年の森の空間線量率の最大（最小）（ $\mu\text{Sv/hr}$ ）

調査プロット	2011年	2012年	原発からの距離
川内スギ	3.11 (0.42)	3.01 (0.54)	約26km
大玉コナラ	0.33 (0.02)	0.30 (0.02)	約66km
大玉スギ	0.31 (0.02)	0.28 (0.01)	約66km
只見杉	0.12 (0.02)	0.12 (0.03)	約124km

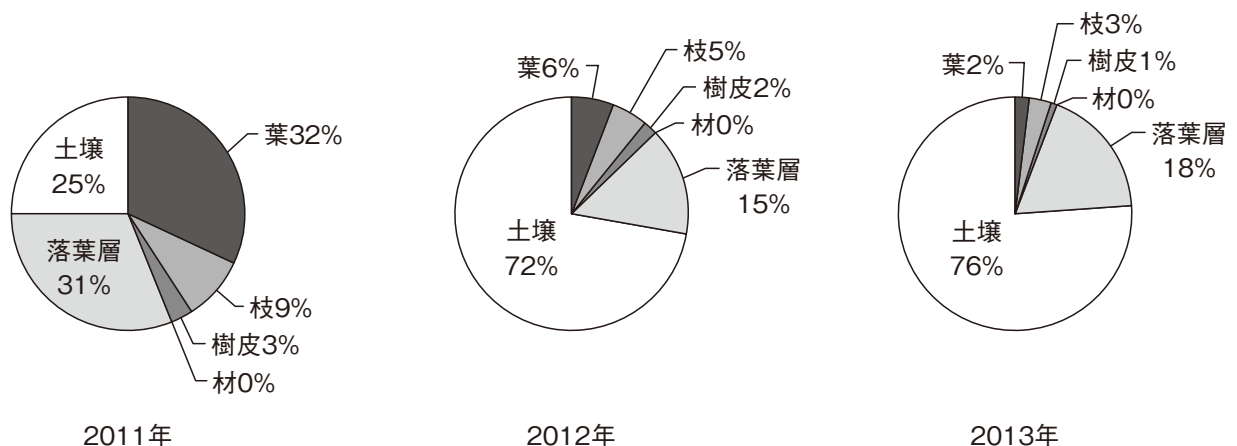


図4 川内スギの年度別・部位別放射性Cs割合の推移

表4 放射性Csの土壤中の濃度と分布（川内村スギ林データより）

調査年度	放射性Cs総量 kBq/kg（割合）	表層；0～5cm （分布割合；％）	表層；5～10cm （分布割合；％）	表層；10～20cm （分布割合；％）
2011	23.16（100.0）	22.1（95.4）	0.71（3.1）	0.357（1.5）
2012	55.52（100.0）	51.2（92.2）	3.21（5.8）	1.113（2.0）
2013	41.51（100.0）	38.3（92.3）	1.70（4.1）	1.511（3.6）

※10kBq/kgは10,000Bq/kgであり、作業時には被ばく管理対象となる汚染。

以下であり、落葉層と土壌層へ移行する。

②土壌層の放射性Csは表層から5cmまでの浅い土壌に固定され、深部への浸透は少ない。放射性Csの土壌吸着と固定については文献⁴⁾を参照のこと。

③落葉層の放射性Csはゆっくり分解して表層土壌に移行、固定される。なお、樹皮や落葉層に附着した放射性Csは、水に溶解しやすいので植物に吸収され易いと考えられる。

④雨水に溶解した放射性Csは表層土に移行すると吸着して固定されるので、森からの流出は極めて少ない。下流へは汚染土壌の流出に伴って移流することになり、非常少ないと言われている。

【野生生物等の被ばくについて】

さて、上記に示した森の被ばくは、あくまでも人の健康への影響を示す実効線量（Sv）で示している。また、航空機によるモニタリングは地表1m高さに換算した強さである。放射能が蓄積した森では、昆虫や微生物などは地中や地表面で活動するので高さ1mにおける実効線量による評価の意味は低い。空間線量率が高いほど放射能濃度（Bq/kg）が高いことを示すに過ぎない。

ところで、森の生物は、放射能を含んだ木の実や葉・樹皮や樹液あるいは体内に放射能を取り込んだ小動物などを餌としている。その結果、直接体内へ取り込むと内部被ばくを受け、放射能が存在する地中や地表面で活動するので外部被ばくを受ける。遮へいや距離による減衰が小さいので被ばく線量はかなり高くなると考えられる。とくに、空気中におけるγ線の減衰は距離に二乗に反比例

するので、近接時には高さ1m地点とは桁違いに大量に被ばくすることになる。また、雑食性動物である野性のイノシシの場合、放射能を取り組んでいる草や木の葉、根、果実、菌類などの植物質、様々な昆虫をはじめ、ミミズ、カエル、ネズミなどの動物質まで餌にしている。一体、生態系に対してどのような影響が現れるのかについてはほとんどわからない。生態バランスが崩れることは確かであろう。

【野生生物の餌となる葉・果実の汚染について】

この調査では、森林の木材利用を目的とした調査であり、野生動物の餌場としての調査は行われていない。とくに、葉や木の実類は野生動物の生存に欠かせない餌であり、必要不可欠である。森林におけるドングリなどの実に対する放射性Csの移行に関する調査資料が見当たらない。農園の桃、梨、ブドウ、リンゴなどの果樹に関する調査が多い。農地土壌における野菜類、根菜類や果実類への放射能の移行を参考に示す^{※5)}。

$$\text{移行係数} = \left[\frac{\text{農作物のCs濃度（生鮮Bq/kg）}}{\text{〔土壌のCs濃度（乾土、Bq/kg）〕}} \right]$$

たとえば、土壌中の放射性Cs濃度が1,000Bq/kgとし、成長した樹木の果実を生そのまま測定した結果、10Bq/kgの場合には、移行係数は0.01になる。移行係数が高いほど、放射能を取り込みやすいことを意味する。果実類は、0.001以下であるので、野生の木の果実の放射能濃度も低いと考えられる。なお、土が酸性だと移行係数は大きくなり、Cs濃度が高くなることや、土壌中のカリウムが多いと移行係数は小さくなり、Cs濃度が低くなるこ

表5 農地土壌中の放射性Csの野菜類及び果実類への移行係数の事例^{*5)}

1. 野菜類					
分類名	農作物名	科名	移行係数		備 考
			幾何平均値	範 囲	
果実的野菜	イチゴ	バラ科	0.0015	0.00050～0.0034	1 論文の7個のデータ
マメ類	ソラマメ	マメ科	0.012	－	1 論文の幾何平均値を転記
鱗茎類	タマネギ	ユリ科	0.00043	0.000030～0.0020	2 論文の13個のデータ
	ネギ		0.0023	0.0017～0.0031	1 論文の各値を転記
根菜類	ダイコン	アブラナ科	－	0.00080～0.0011	2 論文の2個のデータを転記
	ニンジン	セリ科	0.0037	0.0013～0.014	2 論文の13個のデータ
	ジャガイモ	ナス科	0.011	0.00047～0.13 [指標値：0.067]	6 論文の49個のデータ
	サツマイモ	ヒルガオ科	0.033	0.0020～0.36	3 論文の14個のデータ
2. 果実類					
樹木類	りんご	バラ科	0.0010	0.00040～0.0030	1 論文の16個のデータ
	ぶどう	ブドウ科	0.00079 *	－	1 論文の算術平均値を転記
低木類	ブラック カラント	スグリ科	0.0032	0.0021～0.0052	1 論文の8個のデータ
	グースベリー		0.0010	0.0006～0.0014	

*算術平均値、正式には「数論文から得られた何個のデータから算出」

とが分かっている。また、図4に示したように樹木の放射能分布では、樹種にもよるが3年を経過しても葉や樹皮にも放射能が残存している。

これらは、野生生物の餌になり、かつ含まれる放射性Csは水に溶けやすいので、体内へ取り込まれやすく、内部被ばくが懸念される。

【野生生物に蓄積される放射性Csについて】

上記の森における放射能の調査は、主に林野庁や森林生態研究所などによる「福島森林・林業の再生に向けて」を目的にした現地調査である。2011年から毎年継続して行われているが、放射能汚染による木材への取り込み、木材を使用した場合の被ばくの程度を明らかにするための調査であり、一部に動物調査も行われているが、ミミズ、野ネズミとモグラの体内に蓄積された放射性Cs濃度(Bq/kg)である。一部試料の測定結果では、アカネズミ(198～208,340Bq/kg)、ツバメ(不検出～1,411Bq/kg)、ミミズ類(873～321,577Bq/

kg)などであるが、試験検体数も少なく、固体数にどれだけ影響しているかについては不明である。なお、人の体には食事や呼吸により放射性のカリウムや炭素等が取り込まれるので、放射能濃度は100～110Bq/kg程度である^{*6)}。

一方、環境省では平成23年から毎年、「野生動植物の放射線影響に関する意見交換会」として野生生物の調査を行っている。この調査では、「帰還困難区域」(年間50mSv以上)の浪江町、双葉町、大熊町、いわき市の調査地点において哺乳類(各種ネズミ)、鳥類(ツバメ、巢材、キジ等)、両生類(イモリ、カエル等)、は虫類(ヘビ、トカゲ等)、魚類(メダカ、フナ、アユ、ヤマメなど)、無脊椎動物(ミミズ、ゴミムシ、エビなど)の試料として濃度(Bq/kg)を調査している。当然、かなり高濃度で放射能を体内に取り込んでいるが、個体数や繁殖の有無などについてのデータがないので、どのように影響を及ぼすかについては不明である。

詳細データについては文献を参照されたい^{*7)}。

2. チェリノブイリ原発事故から25年後の被ばくの森

平成23年6月に放映されたNHK-BS 世界ドキュメンタリーシリーズ チェリノブイリ事故25年、シリーズ2「被ばくの森は今」の字幕等をメモしたので紹介する。

日本の面積の数倍が放射能で汚染され、いまだに広大な土地が人の住めない放射能汚染地域であるにもかかわらず、ここが、「動植物の天国」とさえいわれている。福島の前被ばくの森の未来を示唆する貴重な映像である。

2. 1 チェリノブイリ原発事故と放射能汚染

【チェリノブイリ原発事故の概要】

1986年（昭和61年）4月に旧ソ連のウクライナに位置するチェリノブイリ原発において爆発事故（原発4号機；黒鉛型、95.9万kW）が起こり、地球規模で放射能汚染が拡大した。チェリノブイリからエカテリンブルグ市付近まで汚染された。その距離は約2,000kmであり、九州南端から北海道北端までに相当する。また、1km²当たり0.1キュリー（Ci）以上の汚染面積（3,700Bq/m²）は214万km²であり、日本の面積（38万km²）の5.6倍であった。さらに、ヨーロッパから北欧諸国もかなり高濃度の放射能で汚染された。

人類史上、最悪の原子炉の爆発事故であり、膨大な量の放射能が放散された。事故炉には膨大な

量の粘土や砂、中性子吸収剤や鉛など約5,000トンが投下され、コンクリートの石棺（写真1）で覆われた。その結果、核反応の停止及び放射性物質の漏出を防いだとされる。しかし、石棺の老朽化が激しく、放射性物質の漏出が懸念されている。その対策として巨大シェルター（写真2）を2017年11月までに完成し、これを200mスライドしての事故を起こした4号機をすっぽりと覆って、その後、石棺の解体作業を行う計画とある。

【原発事故による放射能汚染の概要】

ところで、チェリノブイリ被災者救済法に基づく、汚染地域はレベル別に以下のように区分される。日本と違って面積当たりの放射能量（キュリー；Ci）で汚染レベルを決めている。

放射能による汚染は数百km先までに及び、チェリノブイリ原発周辺の汚染地図を図5に示す。人は移住できるが、動植物は、強い放射線に曝されているにもかかわらず逃げることもなく活動するのである。最も注目すべきことは、汚染状態がマダラ状であり、高濃度汚染されている土地と汚染の低い土地が入り組んでいることである。

- ①第一区域（立入禁止区域）；40Ci/km²以上：
強制避難ゾーン
- ②第二区域（永久管理区域）；15～40Ci/km²：
強制（義務的）移住ゾーン
- ③第三区域（一時管理区域）；5～15Ci/km²：
希望すれば移住が認められるゾーン
- ④第四区域（汚染区域）；1～5 Ci/km²：厳しい放射線管理が必要なゾーン



写真1 4号機を覆うコンクリートの石棺



写真2 石棺を囲むシェルターの建設

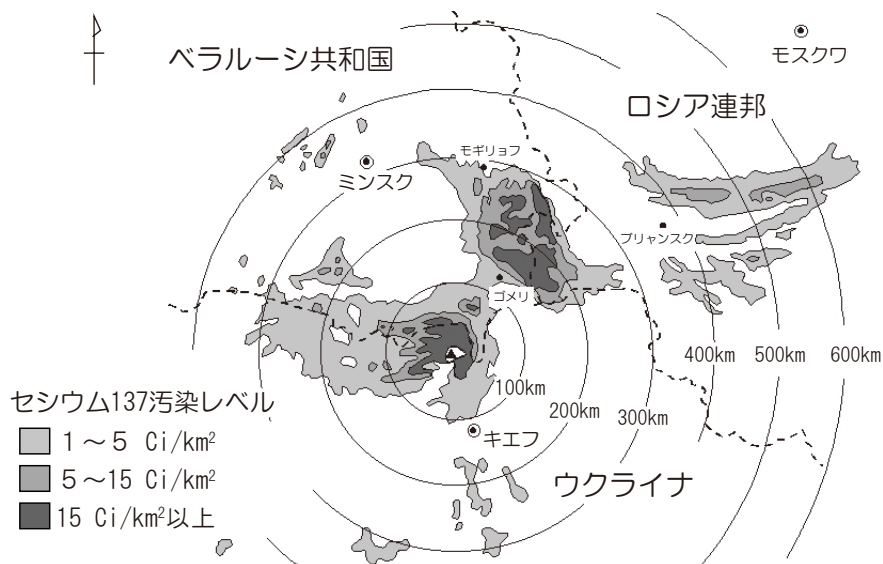


図5 チェリノブイリ周辺の放射能汚染（1989年春）※8)

〈参考；福島原発の汚染区分と比較するため、同じ単位に換算〉

IAEA（国際原子力機関）では面積当たりの放射能濃度（Bq）から空間線量率（ $\mu\text{Sv/hr}$ ）を求める換算係数を公表している。各汚染区域の放射能濃度（Bq）を1Ci（キュリー）を370億Bq（ベクレル）として算出し、この換算係数を用いて空間線量率並びに実効線量を算出した。

- 第一区域；立入禁止区域；148万Bq/m²＜；5.28（ $\mu\text{Sv/h}$ ）
- 第二区域；永久管理区域；55.5万～148万Bq/m²；1.98～5.28（ $\mu\text{Sv/h}$ ）
- 第三区域；一時管理区域；18.5万～55.5万Bq/m²；0.66～1.98（ $\mu\text{Sv/h}$ ）
- 第四区域；汚染区域；3.7万～18.5万Bq/m²；0.13～0.66（ $\mu\text{Sv/h}$ ）
- 第五区域；非汚染区域；3.7万Bq/m²以下；0.13（ $\mu\text{Sv/h}$ ）

なお、現在では事故からほぼ30年を迎えようとしており、放射性Cs137の半減期が約30年であるので、放射エネルギーはほぼ半分になっていることになる。

2. 2 チェリノブイリ原発事故25年後の「被ばくの森」

【現地調査の概要；ドキュメンタリー映像より】

放射線生態学の専門家や学者にとっては、「放射

線を浴びた生物を長期的に観察できる絶好の実験場」となっている。事故直後に約80万人が避難した「立入禁止地区」は半径30km圏内であり、人の住めない広大な土地が広がる。除染をしないので、ひたすら放射能の減少を待つしかない状況がもう25年も過ぎている。

しかしながら、この地域は荒涼たる原野ではなく、うっそうと植物が生い茂るジャングルなのである。事故原発から2kmの森の放射線量は通常の1,000倍も高いにも関わらず、コンクリートの石棺には小鳥の巣がある。通常の百万倍の放射線の強さである。動植物は放射線に対してとてつもなく強いのであろうか！ 人間だけが弱いのであろうか？

さて、20年を経過するとネズミは約40世代にわたって世代交代が行われている。ネズミの体にはCs137が蓄積されているはずなのに元気に活動している。

チェリノブイリ原発は、1986年4月26日に水蒸気爆発により200トンの酸化ウランが飛散したが、火災が10日間も続いた。原子炉の温度が上昇し、いわゆるチェリノブイリの雲により遠方まで拡散した。世界中の原発から1年間に排出される放射能の約3万倍が放出された。このため、周辺は急性被ばくに見舞われ、松は数週間で枯死して赤い森となり、数ヶ月でバクテリアを含むすべての

生物が死に絶えた地域と被害の少ない地域が入り混じった状態となった。放射能は次第に減少するので時間が経過するとともに低線量被ばくによる慢性被ばくの影響が現れる。急性被ばくにより枯死した植物は分解され、他の植物が吸収され最終的に動物のエサとなり、植物連鎖が繰り返される。

【チェリノブイリのネズミ】

野ネズミは、草食からドングリなどの種子や昆虫など雑食性なので地表を徘徊し、すべてのものを餌としているので、内部被ばくと外部被ばくを受ける。研究用の捕獲も容易であることなどからこの放射線の高い森におけるネズミ「チェリノブイリのネズミ」に関する共同研究が行われた。

原発事故直後には汚染地域の動物はすべて死に絶えた「空白地帯」となった。しかしながら、しだいに植物が繁殖し、餌が豊富になると、天敵の人がいない、他の動物との競争もないので、汚染区域内外からネズミが侵入し、繁殖するとともにほかの動物、とくに大型動物である鹿、クマ、イノシシなども増加した。

この汚染地域のネズミの先天性異常についてDNAを解析した結果、突然変異したネズミの割合が低いこと、および遺伝子的に近いネズミが生息していた。つまり、①ネズミに特異な病気はないこと、②放射線に対する防御機能があることなどが明らかになった。 γ 線によるDNAの損傷を自ら修復して生存しているらしい。

チェリノブイリのネズミは、立ち入り禁止地域で何の影響もなく活動し、繁殖し続けている。試しにこのネズミと安全地帯のネズミに放射線を照射した実験では、赤い森（通常の1,000倍以上の放射線量）のネズミは、1.5グレイ（1,500mSvに相当？）でも「元気はつらつ」に活動するのに対し、安全地帯のネズミはDNAが損壊して死滅する。DNAの損傷を修復する抗酸化物質が増え、DNAを損傷するフリーラジカルが消されていた。その要因物質は明確でないが、放射線の照射により細胞が活性化するホルミシス効果が想定される。

【鳥類への影響は！】

1991年から調査を開始し、高汚染地帯の松枯れ

した赤い森と低汚染地帯の鳥類を比較すると赤い森の鳥類の数は半分程度、種類は2/3程度であった。また、異常のある鳥が多いこと、腫瘍のあるツバメが多く、その卵は通常の1/4程度と小さいこと、時々、色素が抜けて白い斑点があるものや羽根の形に異常がある（左右が異なる）こと、老化が早いことや精子の5割に異常があることなど、多くの異常が認められた。羽根の異常は遠くへ飛ぶことができないなど生存が難しくなり、渡り鳥にとっては致命傷である。鳥は飛べるので、空白地帯へ常に別の個体が侵入するが、繁殖することは難しい。

渡り鳥は主にアフリカで冬を越してこの地区へ戻るが、体力の消耗に伴いフリーラジカルが生成されるが、これを抗酸化物質により消して細胞の老化を防いでいる。この抗酸化物質が放射線の被ばくに伴うフリーラジカルを消す重要な役割を担っている。高汚染地域のツバメは低汚染地域のツバメよりも抗酸化物質が少ないことが解った。被ばくの影響と体内の抗酸化物質に関係があることを示唆する。

3. どうなる、被ばくの森ふくしま

3. 1 被ばくの森における放射性Csの挙動の意味すること

調査地のうち最も汚染の高い川内村の放射性Csの挙動から野生動物に対する影響を考えてみた。

①樹木の放射性Csと野生生物について；沈着した放射能は雨で流下あるいは落葉・落枝により減少し、土壌へと移行する。野生動物の餌となる葉・樹皮等の分布割合は数%以下であり、木の実の濃度も低いと想定される。しかしながら、微生物や小動物の活動の場である落葉層には約20%も残存する。放射性Csは土壌には強く固定されるので、植物にはほとんど吸収されない。葉・枝や木の実などを食べたとしても放射能濃度は比較的低いので、内部被ばくは問題なさそうである。野生生物や微生物等に対する被ばくの影響はわからないが、放射線の細胞への作用を考えれば、成体

であれば活動に大きな支障はなさそうである。むしろ樹皮や落葉層に生み付けられた昆虫などの卵や幼虫に影響を及ぼし、繁殖できる確率は低下する可能性がある。つまり、汚染地帯において孵化する生体数は低下し、個体数は減少するのではないかと。なお、樹皮や落葉層の放射性Csは水溶性であると考えられるので、ここから栄養をとるキノコ類などは植物であっても高濃度に汚染される可能性がある。

- ②土壤中の放射性Cs濃度と野生生物について；
森林に沈着した放射性Csは、しだいに樹木から土壌へと移行して固定され、外部への流出は少ないとの調査結果であった。落葉層は、微生物や昆虫あるいは小動物のエサ場でもあり、活動の場所である。これらは餌に含まれる放射能を取りこみ内部被ばくと活動中には外部被ばくを受ける。とくに、地表面を這いずり回る小動物等は、線源（放射能）からの距離が短いことあるいは遮へい物が少ないことから外部被ばくが高くなりそうである。また、地中を生活の場としているミミズなどは大量に放射能を取りこんでいると考えられ、これらを餌にする鳥類や小動物類の被ばくは大きく、とくに、細胞分裂の激しい繁殖時の影響が懸念される。

3. 2 チェリノブイリ事故に係る映像の意味すること！

膨大な放射能が森に降り注いだにもかかわらず植物は緑の葉をつけ、果実を実らせて動物や鳥を誘う。汚染地帯は、無人地帯であり、農薬も一切散布されていない自然状態である。隣接する低汚染地帯から野生生物が侵入し、放射線に強い生物が繁殖し、生物多様性が実現し、大型動物も増加し、いまや「動植物の宝庫、天国」となっているとの報道であった。

チェリノブイリのネズミのように放射線によるDNAの傷を修復する機能を獲得した動物が生き残り、繁殖することは衝撃的である。ネズミは40回

以上の世代交代を繰り返していると報道されていた。人間に当てはめると、世代交代の年数を寿命の半分に想定すると、およそ1,600年以上に相当する。世界には日本の10倍以上も高い自然放射線に曝されている都市も少なくない。長い年月をかけて放射線に強い人のみが生存、いわば自然淘汰された結果であると思えない。

また、高濃度に汚染した地帯の鳥類は、事故直後には全滅したと考えられるが、その周辺の低汚染地帯あるいは渡り鳥が餌の豊富な楽園に侵入する。しかし、人に対する放射線の影響では、眼への影響が大きいことが分かっている。鳥は、眼で見ながら空中を飛び、餌を探すことを考えると、視力低下することは生存が危ぶまれる。当然、低汚染地帯の鳥類あるいは渡り鳥が侵入するであろうが、個体数や種類は激減するのではないかと危惧している。

一方、哺乳動物は、視力だけでなく、むしろ匂い、感触、温度、振動などで餌を見つけたり、捕食できるので生存することができる。しかし、落葉層、地表面あるいは表層の汚染土壌からの被ばくは無視できない。また、地表面や地中で活動するミミズや昆虫を餌にする野生生物は桁違いに大きな被ばくを受ける。高濃度に汚染された地域は、人がいないことや植物は繁殖に支障がなさそうなので餌も豊富にある。当然、生き延びたあるいは低汚染地帯から生物が侵入し、一見、動植物の天国が出現するのではないかと！ まさに「禁断の森」になることを示唆する。

3. 3 福島県の被ばくの森はどうなる！

汚染地帯の動物の個体数は、その汚染地帯における繁殖率や生存率が低下したとしても餌が豊富であれば近接する低汚染地区や遠方から侵入するので、個体数の数は変わらないかもしれない。とくに、植物にはさほど影響がなさそうなので、汚染区域がマダラ状であれば放射能汚染の影響は見えにくい。

さて、航空機によるモニタリングは、300mの上空から測定しているので、ほぼ均一に表示される

が、実際には地形により汚染に大きな差異があるはずである。放射能のプルームは、北西方向に流れ、そこに広がる里山や阿武隈高地に連なる森林が高濃度に汚染された。通常、有風時の拡散の特徴は、プルームの中心付近が最も高濃度になるので、山が高いほど、あるいは東から南東の斜面ほど濃度は高くなる。つまり、事故原発から見て山影や低地の放射エネルギーは低いと考えられるので、低汚染地帯が入り組んでいると推測される。

ここで生き延びたあるいは繁殖した動物は、当然、エサが豊富で、天敵である人間のいない汚染地帯へと移動するに違いない。動物の寿命が短いほど、放射線の影響が出現し難いようなので、野生生物の個体数は復活するのではないかと！あるいは、「チェイノブイリのネズミ」のように放射線に強い小動物も現れそうな予感がする。

ところで、仮に微生物や昆虫類が死滅するほど放射能で汚染されている区域では、落葉・落枝などの有機物の分解速度が著しく低下するので、樹木や草本への栄養供給が不足することになる。その結果、枯死、個体数の減少や成長阻害が考えられるので、このような汚染地帯では動物の繁殖も抑制されよう。また、高濃度に汚染された生活圏（警戒区域など）における耕作地では、耕作しなければ雑草が主体であり、餌場としては貧弱であろう。つまり、汚染地帯での種の繁殖、個体数の維持は難しいと考えられる。しかも、餌も少なければ、周囲から野生動物の侵入も少ない。つまり、鳥獣類は極端に少ない状況が生まれるものと推測される。これが、視察時において小鳥を全く見ることができなかった理由ではなかったか！単なる偶然の出来事であれば良いが！

3. 4 エピソード；放射線影響に係る体験談

福島県内の森林における放射性Csの挙動やNHKドキュメンタリー「チェリノブイリ事故25年後の森」などの情報に基づいて合理的に考察したつもりであるが、微生物・動植物など生物に対する被ばくの影響については学術的にも明らかでないこともあり、知見に欠ける。

最後にこれまで放射線との係わりの中で強く印象に残る体験をエピソードとして紹介する。

【エピソード①】チューリップ球根に γ 線を照射した事例

私は、プラスチックにコバルト60 γ 線を様々な雰囲気（空気中、真空）で照射し、分子構造の変化と物性（耐化学薬品性、耐熱性や強度変化）について基礎研究をしていた。 γ 線照射による化学反応はラジカル反応であるので、その特性をかなり理解できているつもりである。

研究仲間の一人にチューリップの球根に γ 線を照射してその成長を研究していた。放射線量が高くなるにしたがってチューリップの成長は抑制され、チューリップの稈長は低くなる。中央に通常の球根、その周辺を照射線量に対応した球根を配置すると、真ん中に背の高い、その周りが次第に低くなる花の城ができる。なお、花の大きさへの影響は気が付かなかった！植物に放射線を照射すると成長しないことを実感した。

【エピソード②】放射線（コバルト60 γ 線）による滅菌業務

ディスポーザル注射器や手術用具は、従来、エチレンオキサイドガスで滅菌していたが、確実に滅菌することは難しい。ヨーロッパや中東諸国への製品輸出では放射線滅菌が要請されていた。放射線滅菌は、製品をダンボールに密閉した後に外部から γ 線を照射して滅菌する方法であり、確実性が高い。私は、照射の管理業務を担当していた。 γ 線は外部から照射しても細菌までも完全に死滅できることを実感した。

【エピソード③】放射線治療における漢方薬「ジリウ912」の効果

故鍵谷勤先生（京都大学名誉教授；兄です）は、京都大学医学部の先生方と共同で、放射線によるガン治療の研究をしていた。放射線照射はガン細胞の死滅や増殖抑制に大きな効果をもつが、通常の細胞も傷付くので、その副作用が問題になっていた。先生は中国・西安市第4軍医大学の客員教授として「動物由来物質の漢方剤（ジリウエキス912）に関する癌共同研究」を行っていた。そ

の中で中国には特殊なミミズを煎じて飲む地域に長寿村があるとのことに注目していた。なにしろ長さ1m以上もあり、これを洗浄・冷凍・乾燥し、粉末をカプセルに入れて飲むのである。

ミミズには様々な効果があり、利尿作用、熱さまし、血栓防止などの漢方薬として有名である。放射線治療時に服用すると副作用が軽減され、かつ食欲が旺盛になったとの報告が多かった。体力の回復は免疫力の向上をもたらすので一石二鳥の効果があると聞いていた。放射線で傷ついたDNAの損傷の基となるフリーラジカルはジリウエキスの何らかの成分が抗酸化剤として作用して消しているとの説明であった。

おわりに

被ばくの森は、均一に高濃度に汚染されているのではなく、低汚染の土地と入り混じっている。沈着した放射性Csは、地上部の樹木のものは水に溶けて生物に取り込まれ易く、地表面では土壌に強く固定されるので取り込まれ難い特徴がある。植物は、水に溶けない放射性Csを吸収できないので樹木・幹・葉・実の放射能濃度は低い。また、土壌中の放射性Csは表層から5cm程度の浅い部分にほとんど固定されている傾向があった。このことから根から吸収される放射性Csは僅かであり、放射能による枯死は起こりにくいと考えられる。つまり、野生動物の餌となる果実などは放射

線の影響が低いので豊富であり、近隣の動植物を誘因する。が、放射線の被ばくにより繁殖率は低く、個体数や種の種類は貧弱になると考えられるが、外部からの侵入あるいは被ばくに強い生物が生き延びる可能性が高いと結論してみた。

ところで、森林の除染は行なわないとの国の方針に疑問を持つ方も多いのではないだろうか！被災者にとっては「見捨てられたような惨めな気持ち」になるのではなかろうか？ 今後、落葉層における放射性Csの挙動、洪水あるいは山火事による放射能の流出や飛散などリスクを慎重に見極めて、少なくとも谷底部などは除染を検討するなど前向きに対応すべきであると考え、いかがでしょう！

【追記】

放射能により汚染された土壌環境において活動する森林生物に関するデータや知見は限られており、専門外でもある。知り合いの久馬一剛先生（京都大学名誉教授；農学部、土壌学）に相談させていただいたことに感謝いたします。

なお、寄稿内容について推論も多いので、様々な意見や反論もあると思います。コメントをいただき、意見交換させていただきたいと思いますので下記に連絡をお願いします。

鍵谷司あて；epc@gold.ocn.ne.jp

〈参考・引用文献〉

- ※1)「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年度版；環境省）
- ※2)林野庁；平成25年度森林内における放射性物質実態把握調査事業報告書（2014年3月）
- ※3)鍵谷司；東日本大震災で発生した災害廃棄物等の処理について（Ⅵ）～放射性物質の濃度と被ばく線量について～；環境施設、No.128、pp.61-69（2012.6）
- ※4)中尾淳；セシウムの土壌吸着と固定；放射能除染の土壌科学－森・田・畑から家庭菜園まで－（公益財団法人日本学術協力財団 2013.11.20）
- ※5)プレスリリース 農林水産省；農地土壌中の放射性セシウムの野菜類と果実類への移行について；平成23年5月27日
- ※6)鍵谷司；東日本大震災で発生した災害廃棄物等の処理について（Ⅶ）～100Bg/kgはどの程度危険か？～；環境施設、No.128、pp.70-76（2012.6）
- ※7)「平成24年度、平成25年度、平成26年度 野生動植物への放射線影響に関する意見交換会 要旨集」（環境省）
- ※8)今中哲二；チェルノブイリ原発事故による放射能汚染と被災者たち（1）、「技術と人間」1992年5月号