

■特別寄稿：NHKスペシャル「被曝の森」を斬る！…………… 鍵谷 司	2
– 福島復興支援ツアー視察記（Ⅳ）–	
■トピックス：	
第15期卒塾グループレポート発表会・卒塾式……………	11
– フォーラム環境塾・環境技術講座 –	
「高温材料システム」分科会 特別講演会……………	16
– 3月17日、首都大学東京で開催、吉葉教授退職記念 –	
■連載：Front Line ④⑨…………… 村山愉偉	20
ITシステムで焼却炉運転を省人化	
オペレーションでも差別化を図る日造、JFEエンジ	
■シリーズ：福島問題の考え方ー放射線を正しく理解する… 西嶋茂宏	22
【第3章】被ばくの影響	
■特別寄稿：エネルギー源としての固形燃料（RDF）の方向性（その3）	
…………… 渡邊洋一	34
■シリーズ：廃棄物埋立跡地の問題と安全利用（Ⅵ）…………… 鍵谷 司	38
跡地の利用特性と作業時における発生ガス対策について	
■Topics on Waste Management……………	48
エスエヌ環境テクノ 本曾広域連合ごみ焼却施設整備受注／日造 津山圏域施設組合クリーンセンター完成／新日鉄住金エンジ 名古屋市北名古屋工場整備運営契約／荏原環境プラント 岡山市当新田環境センター長期包括運営受注／JFEエンジ・川崎市 廃棄物発電活用、ごみ収集実証試験開始／日造 亀岡市桜塚クリーンセンター改良完工／荏原環境プラント 伊勢広域組合ごみ処理施設長期包括運営受注／日造 水戸市新清掃工場整備・運営受注／荏原環境プラント 四万十町廃棄物処理施設包括長期委託受注／荏原環境プラント 弘前地区環境整備センター包括管理運営受注／新明和工業 大磯町RCリサイクルセンター整備運営受注／日造 同社初、タイ向けごみ焼却発電プラント受注／川重 亘理名取組合ごみ処理施設納入／JFEエンジ 鈴鹿市清掃センター改修対策受注／タクマ 宮津与謝組合ごみ処理施設整備運営受注／住重エンパイロメント 津市処分場に前処理・浸出水処理施設納入／JFEエンジ 名古屋市都市環境プラント更新受注	
■実践レポート：太陽光発電15年間の稼働実績と最新の動向について	
…………… 鍵谷 司	57
■データ：	
平成27年度一般廃棄物処理施設関連発注状況……………	70
環境省・循環型社会形成推進交付金等 平成28年度当初内示状況…	72
■Topics on Biomass……………	84
メタウォーター 琵琶湖流域・湖西浄化C汚泥燃料化施設完成／三井造船 英国でバイオマス発電所竣工／メタウォーター 宇都宮市川田水再生センター消化ガス発電開始／住重 国内最大級バイオマス高混焼発電設備受注	
■技術情報：高効率廃棄物発電ボイラ過熱器の減肉挙動について	
…………… 野口 学	86
■連載：見栄ごみ処理プラントエンジニア講座…………… 鈴木康夫	95
第8回 現場に行こう！	
■連載コラム：多事雑言（第6回）…………… 吉葉正行	96

NHKスペシャル「被曝の森」を斬る！

—福島復興支援ツアー視察記（Ⅳ）—

技術士（衛生工学・建設・環境部門）・第1種放射線取扱主任者

環境計画センター 専任理事 **鍵谷 司**

はじめに

少々、刺激的なタイトルを付けましたが、真の狙いは「視点を変えて見る！」ことにより新しい発見を試行したものです。平成28年3月6日にNHKスペシャル「被曝の森 ～原発事故5年目の記録」、ついで、5月1日にNHK-BS1スペシャル「原発事故5年目の記録、前編；被曝の森、後編；無人の町は今」が放映された。現状を映像で紹介するので社会に及ぼす影響は絶大である。初回の報道で視聴者の反響が大きかったので、さらに追加して再編集して再放送したものであろう。

被ばくの森や無人と化した街中の動植物の現状を現場カメラによる映像、様々な視点から取り組まれている最新の調査や研究、住民の苦悩などが報道された。放射能により汚染された街は人が立ち入ることもできない危険地帯であり、1962（昭和37）年に世界中に環境汚染の怖さをアピールしたレイチェル・カーソンの「沈黙の春」を想像させた。しかし、植物に侵食された住宅地帯は、意外にも野性動物の天国となっており、チェルノブイリ原発事故後の状況を再現していた。

ところで、現地調査から生物に対する放射線の影響は、長期的、かつ膨大な調査結果を積み重ねなければわからない。報道されたすべての研究・調査の結論は先送りされている。NHKは公共放送であり、住民に不安を与えないよう、あるいは風評被害が起こらないように慎重に編集し、しかも真実を伝えなければならない使命がある。つまり、これが、放射線の生態系に及ぼす影響について結論を先送りしている理由であると深読みしている。ネット上では報道について批判的な書き込みも多いが、放射線による影響に関する研究・調査はわ

ずか5年前の原発事故以降に本格的に行われたことを考えると「現実を知る」こと自体に大きな意味があった。

さて、映像で紹介された被ばくの森や人の消えた被ばくの町の現状を見た視聴者の印象は「意外と被ばくしても動植物には大きな影響はない」とのメッセージともあるいは「動植物の一生の単位で考えると様々な健康影響がありそうな」報道とも読み取れる。最新技術を駆使して様々な方法や手法を用いて被ばくの森の生物調査が行われている。これまで国内では事例がないため、試行錯誤の積み重ねであり、簡単に結論を導き出せない。放射線に携わったことのある一研究者として調査の問題点、今後の研究課題などについて視点を変えてコメントしておきたい。

【キーワード；被ばくの森、植物の繁殖、動物天国、放射線の影、ホットスポット、ベータ線被ばく、ねぐらの放射能、DNA修復機能】

1. NHKスペシャル「被曝の森 ～原発事故5年目の記録～」の概要とコメント及び指摘事項

2011年3月16日に起きた福島第一原発事故により放出された放射性物質（以下、放射能と記す）によって半径20km圏内は避難区域となり、住民の姿が消えた。5年目を迎えた現在は植物が繁殖し、イノシシなどの野生動物の天国となっている。放射能で汚染された森では、人に対する被ばく基準の400倍以上も高い毎時100 μ Sv以上というホットスポットが見つまっている。このように高い放射線（空間線量率）の中で活動する動植物に影響はないのだろうか。番組では、最新の調査や研究結果を挿入しながらその実態について報道した。

(1) 放射線可視カメラ等による放射能汚染実態調査について

【概要】

原発事故で放出された各種核物質のうち、5年を経過して強い放射線を放出している放射能はCs134とCs137である。前者の半減期は約2年、後者では約30年である。事故時にほぼ同量が放出されたとすると5年を経過すると放射能量は約60%に減少している。

東京大学の森教授が行った浪江町の山間部（10 $\mu\text{Sv/h}$ ；被ばく基準の約40倍以上）における放射線と生き物の関係について紹介されている。放射線可視カメラで森を撮影すると放射能による汚染状況を画像で表示できる。特に地面付近が高く、ところどころで高放射線量のホットスポットが点在していることがわかった。毎時100 μSv のスーパーホットスポット（写真1）の存在も明らかになった。また、植物や生き物たちの放射能汚染の実態を放射線で感光する特殊なフィルムで調べた結果、汚染を示す黒い影がくっきりと浮かび上がった。黒い影は放射能の存在を示しており、ツバメでは羽根先と内臓が黒く（写真2）、蛇では全体が黒く、体中に分布していた（写真3）。^{*1)}

【コメント及び指摘事項】

放射線に見える化は、不均一に分布する森林内の放射能の存在が見えるので、非常に分かり易く、重要な研究成果である。しかしながら、単に放映されなかったかもしれないが次のような点を指摘しておきたい。

①山間部の空間線量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）の測定について

空間線量率の単位（ $\mu\text{Sv/h}$ ）は人に対する被ばくの影響を判断する実効線量（換算値）であり、地表高さ0.5～1 m地点における測定値を示す。しかしながら、森林内の動物は地表面で活動するので地表面上においても測定すべきである。空気中における放射線（ γ 線）は線源（汚染土壌）からの距離の二乗に反比例して減衰するので、地表面上ではかなり高い線量率であると推測される。

また、ガイドラインによると、用いられているシンチレーションサーベイメータは、 γ 線のみを



写真1 放射線可視カメラによる森林内のホットスポット

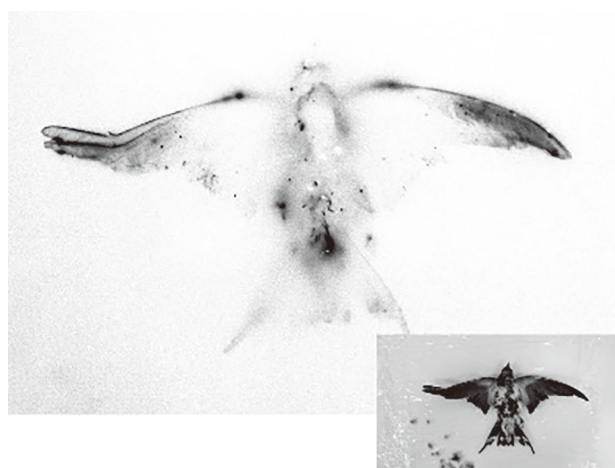


写真2 ツバメの放射線感光写真^{*1)}

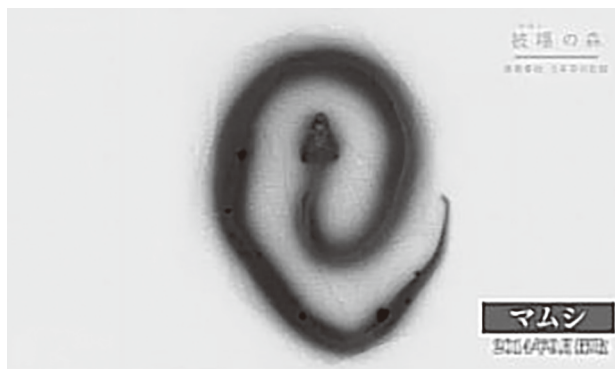


写真3 マムシの放射線感光写真^{*1)}

測定し、 β 線を検出しない^{*2)}。 β 線も放射線であり、Cs134及びCs137からも放出されており、空気中における飛程は数cm～1 m程度（ γ 線の飛程は100m以上）である。これも含めて測定すると放射能で汚染された地中及び地表面ではかなり高くなる。また、体内に取り込まれると内部被ばくによる影響も大きい。つまり、地表面や地中で行動する小動物への影響を調査・研究するならば

β 線と γ 線を測定できるGM管測定器等を兼用して用いるべきであろう。

②ホットスポットと空間線量率について

画像で放射能の高い地点が色で区分され、放射能濃度が高いことは一目瞭然であり、このような危険地帯への立ち入りを避けることができる。また、イノシシに装着した放射線測定器による調査は、森中のホットスポットの発見や安全な区域など重要な知見をもたらす。ホットスポットで示された赤い画像地点の空間放射線量は $100\mu\text{Sv/h}$ と読み取れる。人に対する追加被ばく基準（ 1mSv/年 ）を10時間で超えてしまう超汚染区域である。このような地点のみを土砂の固着による流出防止あるいは除染するだけでも被ばくの森の安全性は大きく改善できそうである。

ところで、地表面では線源（放射能汚染土壌）に近いのでより高い放射線に暴露され、しかも β 線による被ばくもあるので動植物に対する影響は計り知れない。画像の色（青から赤）と土壌中の放射能濃度（ Bq/m^2 、 Bq/kg ）の関係を示してほしい。除染作業が行われている生活圏の汚染状況（年間の被ばく線量で判断）と比較するとより分かりやすい。次に独自に推算した結果を示す。

③ホットスポット（ $100\mu\text{Sv/h}$ ）の土壌中の放射能濃度の推算

山間地における放射線の測定時には、飛散した放射能から放出される γ 線が四方八方から測定器に入射するが、樹木や地形の凹凸により遮へいや散乱もあるので、空間線量率から地面の放射能濃度を推算することは極めて難しい。しかしながら、放射能が無限平面に分布すると仮定すると計算は容易になる。^{*3)} 以下にいくつかの仮定を設けて試算してみた。

国際原子力機関（IAEA）によると単位面積当たりの放射能濃度による空間線量率を換算する係数を核種ごとに公表している。^{*4)}

- Cs134：5.4（ $\mu\text{Sv/h/MBq/m}^2$ ）；半減期（2.06年）
- Cs137：2.1（ $\mu\text{Sv/h/MBq/m}^2$ ）；半減期（30.2年）

原発事故直後には、Cs134とCs137がほぼ同量放出されたとすると、その存在割合はそれぞれの半減期が違うので経時的に変化する。5年後の現在では、放射能量は当初の約54%に減少し、その割合は、Cs134が17.3%で、Cs137が82.7%になる。半減期の短いCs134は急速に減少し、換算係数の小さなCs137の存在割合が高くなる。つまり、同じ空間線量率であっても放射能濃度が高くなるので、安全性が高まることを意味する。

上記の換算式から $100\mu\text{Sv/h}$ の表面汚染密度（ Bq/m^2 ）を計算すると

$$100\mu\text{Sv/h} = \left[\text{Cs134} (5.4 \times 0.173) + \text{Cs137} (2.1 \times 0.827) \right] \times X \text{ (MBq/m}^2\text{)}$$

$$\Rightarrow X \text{ (MBq/m}^2\text{)} = 3,700 \text{ 万 Bq/m}^2$$

30年前のチェルノブイリ事故では30km圏内が立入禁止区域（148万 Bq/m^2 以上）及び永久管理区域（55.5～148万 Bq/m^2 ）と比べてもその汚染の深刻さが理解できるであろう。

これを重量あたりに換算するために、放射能は地表から5cmの深さまでに分布する、土の重量換算係数を1.6（ t/m^3 ）に設定すると、1 m^2 あたりの重量を求めると80kgになる。^{*5)} つまり、

$$100\mu\text{Sv/h} \Rightarrow 3,700 \text{ 万 Bq/m}^2 \Rightarrow 46 \text{ 万 Bq/kg}$$

一方、除染対象である追加被ばく線量が1 mSv/年以上 （空間線量率は $0.23\mu\text{Sv/h}$ に相当）の汚染土壌の放射能濃度を、事故直後及び5年を経過した現在の状況を推算すると次のようになる。

《当初》空間線量率 $0.23\mu\text{Sv/h}$ 以上

$$\Rightarrow 61.3 \text{ 万 Bq/m}^2 \text{ 以上} \Rightarrow 7,660 \text{ Bq/kg 以上}$$

《現在》空間線量率 $0.23\mu\text{Sv/h}$ 以上

$$\Rightarrow 86.0 \text{ 万 Bq/m}^2 \text{ 以上} \Rightarrow 10,800 \text{ Bq/kg 以上}$$

いくつかの仮定はあるもののホットスポットの汚染の実態が理解できるであろう。

なお、当式を適用するに当たっては、無限平面に線源が均等に分布、経時的にCs134とCs137の存在割合が変動、地中の放射能の分布が5cmに分布、土壌の重量換算係数を1.6であると仮定していることに留意していただきたい。

④汚染を示す黒い影

いわば検体を放射線による感光フィルムの近く

で撮影したものであろう。動植物の表面や体内における放射能の分布状況を把握することができる。しかしながら、含まれる放射能が少ない場合でも長時間フィルムにさらすと黒く感光するはずである。放射線に対する暴露方法や感光時間および体内の汚染濃度 (Bq/kg) について示すべきである。いわば、着色 (黒) 濃度と体内の放射能濃度 (Bq/kg) との相関が分れば、臓器や筋肉など試料を採取して放射能を分析しなくても濃度を推定できるので画期的な成果になる。

動物体内の放射エネルギーは、餌に含まれる放射能摂取量に大きく依存すると考えられる。ツバメは主に昆虫食であり、巣材の泥を求めるとき以外は地面に降りることはめったにない。放射能で汚染されていることは確かであり、羽根の部分は、巣作りのための汚染土壌の採取や砂遊びで付着し、餌から取り込まれた放射能は内臓に集まることを示している。必ずしも放射線の影響とは断定できないが、渡来した親ツバメが被ばくにより尾羽根の長さが変わったと考えるよりも福島生まれの個体が被ばくで異常が発生した可能性が高い。

【ツバメ；越冬地は東南アジアなどで、3月下旬から4月上旬頃に渡来し、人家などの建物に巣を作る。渡り鳥の寿命は1.5年程度で、産卵期は4～7月ごろに1回に3～7個の卵を産む。子育て後の9月から10月にかけて渡り去る】

一方、蛇類は地表面の小動物を餌として放射能を摂取する。全体が黒く感光していることは、体全体が筋肉質であり、Csが筋肉に集まり易いためであろう。なお、放射線量は、放射能 (線源) との距離により大きく変動するので、地表面で活動する蛇は外部被ばくもかなり高いと考えられる。

放射線の細胞への影響は、産卵や孵化時に最も大きいと考えられるので、活動空間 (地表、木の上など)、餌の種類 (地中や地表の小動物、植物や木の樹皮・葉、実など)、産卵の場所や材料 (土、枝・葉) などが大きく影響しているのではないかと！

【マムシ；小型の哺乳類、爬虫類、両生類等を餌とする。森林や藪に棲み水場周辺に多く出現する。夜行性だが、冬眠直前や直後あるいは妊娠中のメ

スは日光浴のため昼間にも活動する。繁殖形態は卵胎生で、8～10月に1回に5～15匹の幼蛇を2～3年に1度産む】

(2) アカネズミの染色体異常に関する調査について 【概要】

弘前大学の三浦教授らによる浪江町の高線量の森でアカネズミを捕まえ、放射能による染色体の異常について調べた結果を紹介している。浪江町のネズミから3,383個の細胞を取り出し、汚染されていないネズミの細胞3,266個と比べた結果、異常発生率はどちらも0.1～0.2%で特に差はなかった。だが影響がないと言い切るにはさらに数万個の細胞の分析が必要だと教授は考えている。

【コメント及び指摘事項】

ネズミの細胞に対する放射線の影響を染色体の形を一個一個確認する非常に大変な作業であり、しかも数万個の細胞の分析が必要であるとしている。動物に対する放射線の影響は、基本的には遺伝子であるDNAが傷つくあるいは切断するために起こるとされているので、貴重な基礎データになるであろう。しかしながら、前回に紹介したように高い放射線に暴露されているはずのチェルノブイリのネズミは、放射線に対する防護機能を取得し繁殖しており、DNAの修復能力が高いためであるとの解説であった。^{※2)}

福島のネズミもすでに原発事故から5年を経過すると繁殖を2ヶ月としても30世代程度の交代が起こっている。早い世代交代は、環境の変化に対する順応が早い事を意味し、遺伝子の損傷を修復する機能を備えたものが繁殖している可能性が高い。非汚染地区のネズミよりも異常発生率が低いデータはそのためではないかと考えることができる。つまり、いくら検体数を増やしても「大差はない」との結論になることが予想される。むしろ、遺伝子の異常なネズミについて体内の放射能濃度 (Bq/kg) およびDNAの損傷修復機能を調べる研究がより貴重な知見をもたらすのではないだろうか。なお、福島県内の避難区域では5年もの間、農薬類が一切使用されていない自然状態である。



写真4 アカネズミの遺伝子の確認研究

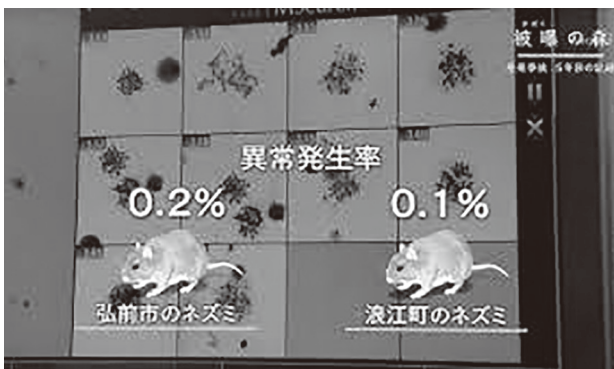


写真5 アカネズミの異常発生率

一方、非放射能汚染地の弘前市では農薬等の使用もありうる。むしろ、農薬による影響により異常発生率が高いこともありえる。

このようなフィールドにおける基礎調査も重要であるが、放射能を含んだ餌を食べさせあるいは外部から放射線に暴露したネズミの遺伝子の異常発生状況を研究することは短期間で多くの知見が得られるのではないかと考える。さらに、餌を変えることにより放射線によるDNAの損傷を修復する作用の解明、ひいては、森の小動物の放射線に対する適応性を解明できる可能性があると考えられる。

繁殖できる程度の低線量被ばく領域のフィールドにおいて野生動物の調査を長年にわたって継続しても、餌による内部被ばくや外部被ばく量などの解明ができなければ結論を導くことは難しい。

【※野ネズミは、雑食性で草や木の種子、小型の昆虫や土壌動物などを捕食する。春と秋を中心に年に2～3回出産し、エサが豊富な時などは7匹以

上出産することもある。妊娠期間は20日前後で生後2～3ヶ月で繁殖が可能になる。寿命は1～2年ほどである】

(3) 人の消えた街中の動物調査について

【概要】

森に接する里山。生態系に変化が起き、草原を好むアカギツネやキジが姿を現した。人が去った建物は野生動物の住処に変わろうとしている。福島大学の奥田特任助教は無人になった住宅街で2年前から野生動物の調査を続けている。住宅に仕掛けた監視カメラにはアライグマが屋根裏をめぐらしている様子が映されていた。「空き家が手付かずのまま残っている。それが野生動物の住処に変わってきている。人がいなくなったことで野生動物の密度が高まっている」と語った。

福島第一原発事故で住民が避難した地域でイノシシが激増している。イノシシの激増を調査している獣医師は富岡町で捕獲したイノシシに小型カメラを取り付け、イノシシの行動を追跡した結果、群れの仲間と共に住宅地帯の柿の実を食べ、山に行かず人里ばかりで行動していることがわかった。イノシシは、人のいない空き家を安全な住いとして繁殖の温床となっていた。また、人のいない街中で生まれ育ったイノシシは人を全く恐れなくなっていた。

なお、イノシシの他にもアライグマやハクビシンが空き家を住処とし、街中にはキジやカラスなども撮影されていた。

【コメント及び指摘事項】

イノシシは、窪地に落ち葉などを敷いて巣を作り、出産前や冬期には枯枝などで屋根のある巣を作る。最大の天敵である人がいない街の空き家は、雨露をしのげ、安心して生活できる住処に最適であり、しかも餌が豊富であれば異常な速さで繁殖が進む。人以外に天敵のいないイノシシは雑食性で何でも餌にするので、異常に繁殖する条件が揃っている。野生イノシシの寿命は約10年程度、平均5年くらいと言われている。生後1年半程度で性成熟し、春に5頭ほどの子を出産し、秋にも出産



写真6 人の消えた街中で繁殖するイノシシ

することがある。放射能が強いといっても被ばくにより死亡するような強さではなく、たとえ健康被害を引き起こして短命になったとしても繁殖力が大きければイノシシ天国になりうる。また、放射能を含んだ餌を大量に取り込んでも短時間で大量に糞として排出すれば影響は小さいし、あるいはネズミと同じように植物なども食べる雑食性なのでDNAを修復する機能に優れていることもありうる。

つまり、イノシシの繁殖の原因は次の要因が想定されるのであり、単純にイノシシが放射線に強いということではなからう。

- ①イノシシの寿命から考えて放射線の影響が発現する頃には寿命で死亡する。
- ②イノシシは繁殖力が大きいので、少々、寿命が短くなっても繁殖できる。
- ③DNA損傷の修復機能が高まっているのではないか？

放射線の影響を検討するにあたり、外部被ばくや内部被ばくによる被ばく線量が注目されているが、人間と異なり、寿命が短いことや繁殖力を考慮すれば、生存を脅かすことはなさそうである。むしろ、放射線の影響が大きい、妊娠期、出産場所や幼少期（ウリ坊）など細胞分裂の活発な時期の被ばくが問題であり、研究対象とすべきではないか！

【イノシシ：餌は、植物の根や地下茎（芋など）、果実（ドングリなど）、タケノコ、キノコ等で、昆虫類、ミミズ、サワガニ、ヘビなども食べる。基

本的には昼行性で日中に採餌する】

（４）鳥類（ツバメ）の調査について

【概要】

福島県浪江町でツバメの調査を行うと、尾羽根の長さが左右で違うものが見つかった。避難区域で見つかったツバメの死骸からは放射性物質が検出された。チェルノブイリでツバメの調査を行っている生物学者のティモシー・ムソー氏は「チェルノブイリと同じような結果になるのかわからない。見極めるには長期的な調査が必要」と語った。

【コメント及び指摘事項】

①チェルノブイリにおける調査報道

以前、NHK-BS世界ドキュメンタリーシリーズ「チェルノブイリ事故25年」（国際共同制作、平成23年6月）で報じられた、ムソー氏らによるチェルノブイリの高汚染地帯のツバメの調査報告は次の通りであった。^{*5)}

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（左右が異なる）があること、老化が早いことや精子の5割に異常があるなど、多くの異常が認められた。渡り鳥は主にアフリカで冬を越してこの地区へ戻るが、体力の消耗に伴うフリーラジカルが生成され、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より発生する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分った。被ばくの影響と体内の抗酸化物質には関係があることを示唆する。

②鳥類の放射線に対する影響について

渡来した正常な親ツバメが被ばくして尾羽根の長さが変化したとは考え難い。親鳥は地面に降りることが少なく、汚染地区には不在期間が長いことや行動範囲が広いので大きな外部被ばくは無さそうである。つまり、報道で観察された正常でないツバメは福島生まれの個体である可能性が高い。

ツバメの巣は外敵から防護するために高いとこ



写真7 左右の尾の長さが違うツバメ



写真8 ツバメの巣；泥を固めている

ろに作られるので、意外に地表からの外部被ばくは小さいと考えられる。が、産卵、孵化し、巣の中で成長するが、巣は、泥などを固めて作っており、これが高濃度の汚染土壌であれば、卵や雛に対する被ばく量は非常に大きくなる。親の運んだ食べ物に含まれる放射能による内部被ばくもあるが、細胞分裂の活発な孵化や幼鳥の時期の被ばくは体に大きな異常をもたらす可能性が高い。つまり、同じ鳥類でも好む餌、巣の場所（木の上、地表）あるいは巣の材料（土、葉、枝）により被ばく量、しいては異常発生率が大きく異なることを意味する。そのような視点からも調査・研究も必要である。

なお、報道された画像には元気なキジ、カラスなども映っていた。偶然にカメラで捉えられているが、個体数が少ないので、繁殖の有無は不明。

このようにツバメは、渡りで体力を消耗し、大きな負担になっているので、放射線に弱いとの示唆であったが、むしろその活動や餌の種類あるい

は繁殖時の卵や幼少時の被ばくが大きな影響を及ぼし、とくにDNA修復機能が発達した動物が繁殖できることを示唆する。いわば、活性酸素やフリーラジカルを消す抗酸化剤がDNA修復機能に大きな役割を果たすので、これを多く含む植物（ビタミン類）が注目されている。つまり、鳥類が必ずしも放射線に弱いのではなく、餌の種類、活動が地表面あるいは地上、巣や寝ぐら、寿命などに大きな影響を受けるのではないかと結論に至る。

（5）霊長類「ニホンザル」の調査について

【概要】

チェルノブイリとは比較できないのがニホンザルである。野生の霊長類が被ばくしたのは初めてのケースである。このサルについて研究している東北大学・福本教授は「人ではこれだけの被ばくはありえないけど、霊長類のサルでこれだけの被ばくをしたとき、何か変化があるのか一番知りたいこと」と語った。教授は赤血球や白血球を作る骨髓に注目している。

駆除されたニホンザルの臓器を調査した結果、骨髓液を作る血球細胞が少なすぎる。9件の分析、筋肉中のセシウム濃度が高いほど白血球を作る細胞が少ない。ただしサンプル数が少ない（写真9）。これを通して白血病になる骨髓に血球をつくる細胞がほとんどなく、脂肪だらけとなっているサルがいるのだ（写真10）。ニホンザルへの影響は人間への影響のシグナルだ。このニホンザルは人間に近い環境で暮らしているからだ。ニホンザルの放射性セシウム汚染は、人間の放射性セシウム汚染より高いが、それは、サルが果実、野生キノコ、虫など放射能汚染が高いものを食べており、汚染度の低い食べ物を食べている人間より多く被ばくしているからだ。このように骨髓性低血球から白血病になることがある。

【コメント及び指摘事項】

写真9の白血球数と筋肉中の放射能濃度の相関性を直線回帰で図示したことがネット上で不適切との批判が集中し、炎上している。直線を引かなければ大きな問題はなかったのではないかと。実験

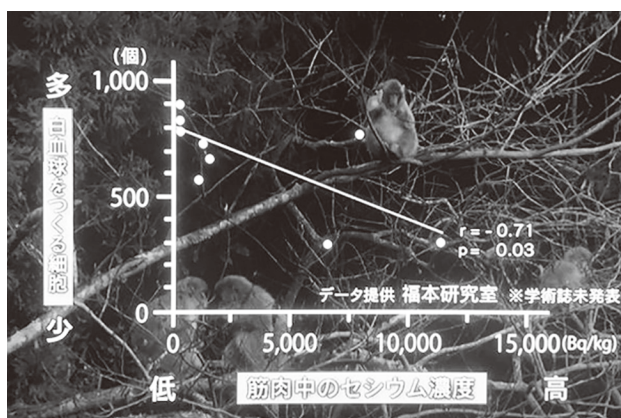


写真9 血球数と筋肉中放射能の関係

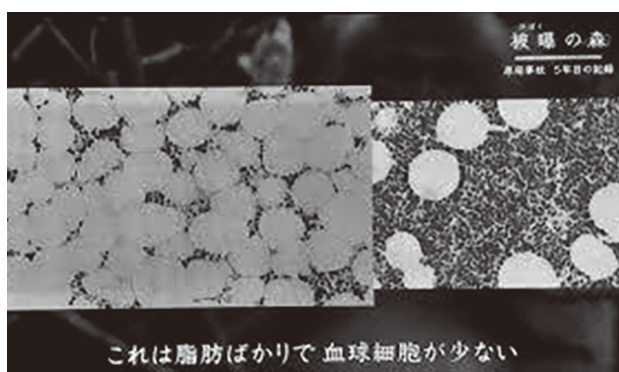


写真10 右が正常細胞、左は異常細胞

室での再現性の高い研究ではないので、重相関係数が0.5 ($\gamma = 0.7$) は傾向を判断するに支障はなかろう。いくら多くのデータを図示してもフィールド調査なので、傾向が分かる程度で、相関性が大きく改善されるとは思えない。

造血機能を営む骨髓は重要な組織であり、固い骨で守り、これを筋肉が取り巻いた構造である。その筋肉に放射性セシウムが取り込まれやすい。骨髓では常に細胞分裂により新しい血球が作られるので、放射線の影響を受けやすいと考えられる。つまり、筋肉中の放射能が高ければ、血球数の低下は避けがたいので当然の結果である。むしろ、写真9の図中では筋肉中の放射性セシウム濃度の低い範囲においても白血球数が大きく変動している。個体差あるいは外部被ばくが要因とも考えられるが、放射能濃度にかかわらずこの程度の変動があることに留意すべきである。

いずれにしてもニホンザルの食餌は主に植物であり、木の実あるいは冬季には樹皮などである。

また、活動は汚染土壌から離れた樹木の上などであり、外部被ばくは小さいのではないかと推定される。主に果実や木の実、木の芽や花、キノコなどの植物質のものを食べるが、地域や季節によって様々なものを食べ、昆虫や鳥の卵、カエルやトカゲなどのほか、魚を食べることも知られている。

事故直後では外部被ばくの影響は無視できないであろうが、現在では生存、種の存続には影響しないのではないかと予想している。とくに、餌が、抗酸化剤を多く含む植物が主体であることからDNA修復機能に優れている可能性もある。むしろ妊娠期間の被ばくの影響あるいは歩行や白内障などの健康に支障をもつサルへの調査が必要ではないか。どの程度の割合でサルに影響を及ぼすのか、あるいは血球数が少ないことによる発がんなどデータの蓄積が望まれる。

【ベルゴニー・トリボンドーの法則；細胞の放射線に対する感受性は、その細胞の再生能力に比例し、分化程度に反比例する。①細胞分裂の頻度が高いほど、②将来、分裂回数が多いほど、③形態的、機能的に未分化なほど高い。つまり、分裂が盛んな血液や骨髓等の造血器、皮膚、消化管、粘膜等の組織は感受性が高く、分化が終了している筋肉組織や神経組織は感受性が低い。】

おわりに

報道は、放射能による影響は種の存続を妨げるほど個体数を抑制するものではないことを示す。むしろ、人間がいなくなったことから動植物が大繁殖している。要するに、動物たちには、放射能よりも人間の存在の方が、影響が大きいことを実証している。なお、動物の数が増えたことと健康であることとは違うことに留意すべきである。

さて、報道内容を別の視点あるいは一研究者の立場から考察すると次の課題が見えてきた。

①放射線の測定について；空間線量率の測定は、地表高さ0.5～1 mで γ 線のみの測定値あり、 β 線を検知しない。森の小動物は、地中や地表面で活動するので、地表面における測定及び β 線も測定すべきである。

②被ばくの影響について；主に土壤が放射能で汚染されていることから活動時の外部被ばく及び餌となる植物や小動物の採餌による内部被ばくに焦点が当てられている。しかし、放射線の影響は、産卵や幼虫、幼鳥などの細胞分裂の活発な時期に最も影響を受けやすいことを考えれば、産卵場所、ねぐら、巣の材料の放射能濃度に注目した調査・研究すべきであると思う。

③フィールドにおける被ばく量の測定について；動物の体内の放射能濃度を測定すれば内部被ばく量を推算できるが、空間放射線量率の測定だけでは外部被ばく量を推算することは難しい。たとえば、水質検査で使うpH試験紙のように放射線の被ばく総量に対応して色あるいは濃度の変わるインジケータが実用化できれば、動物に貼付、巣の中あるいは森林内に設置し、回収すれば被ばく総量を把握できるのではないかと安くて簡単！！

ところで、現在、個人の積算被ばく線量を管理する目的でガラスバッジ線量計が広く用いられている。低被ばく線量から高被ばく線量まで測定ができ、装着も簡単である。しかし、価格がやや高い、放射線の読み取り装置が必要、 γ 線のみ測定するなどの課題はある。が、たとえば放射線に感光するインジケータを数多く設置し、いくつかの箇所ではガラスバッジ線量計を併用してインジケータの精度を確認する方法はどうだろうか？これなら原発周辺における放射線管理にも応用できるので画期的である。つまり、時間当たりの放射線量を測定しただけでは、本当の被ばく線量はわからないのである。

【※エピソード；コバルト60 γ 線の照射業務では、滅菌対象製品に放射線が照射されたことを確認するためにダンボールにインジケータ（ラドカラー）を貼付し、真っ赤に変色していることを視認し、所定の線量が照射できたことを確認していた。】

④DNA損傷修復能力について；チェルノブイリ事故後のネズミは、耐放射線性に優れ、DNA損傷を修復する能力が大きいことが報道された。いわば、細胞を損傷する活性酸素やフリーラジカルを消す抗酸化剤（ビタミン類）が作用し、細胞の老化を防ぐのである。これらは体内では十分に作れないので、植物から摂取するとあった。

つまり、餌が動物食か、植物食か、により抗酸化物質の摂取量、結果的にDNA修復機能に大きく影響しそうである。このような観点からの研究も重要である。

⑤放射能で汚染された森や街における生物に及ぼす影響について様々な調査や研究、たとえば現地の動植物の個体数や異常を調べるフィールド手法、遺伝子レベルで放射線の影響を調べる手法等が個別に行われている。これらを個々の研究者レベルで行い、原因を解明するには限度がある。全体の研究を統括あるいは大がかりな共同研究が必要であると思うが！

【追記】

視聴者の最も大きな疑問は「人が住めないような放射線の高い街中で、なぜ植物が生い茂り、イノシシなどの動物が繁殖することができるのか？」ではないだろうか。良く調べて次回で紹介したい。

〈引用・参考資料〉

- 1) 森敏、加賀谷雅道共著；単行本「放射線像 放射線を可視化する」(株)皓星社（2015.3初版）
- 2) 放射能濃度等測定方法ガイドライン；環境省
- 3) 鍵谷；「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、p.61-69（2012.6）
- 4) IAEA-TECDOC-1162 国際原子力機関（IAEA）2008年8月「放射線緊急事態時の評価および対応のための一般的手順 放射線医学総合研究所緊急被ばく医療研究センター線量評価研究部 訳」
- 5) 鍵谷；「どうなる、被ばくの森！－福島復興支援ツアー視察記（Ⅲ）－」、環境施設、No.143、pp.2-13（2016.3）