

## 震災から4年半、除染の現場をたどる

### －福島復興支援ツアー参加者からの報告－

今年6月14日・15日の両日、大阪大学大学院工学研究科・西嶋茂宏教授の企画による「福島復興支援ツアー」が行われた。視察先は、福島第一原発から近く現在も町民の帰宅が困難な状況にある双葉郡富岡町の除染土壌の仮置き場や南相馬市の仮保管場所など。東日本大震災の発生から約4年半が経過した今も、地震・津波の被害に加え、放射性物質による高濃度の汚染が復興の足取りを鈍らせている現状を認識するとともに、現時点で提供できる技術、今後必要とされる技術を判断し、その課題・問題点を抽出することが目的であった。全23名のツアー参加者の中から、企画者の西嶋教授をはじめ、深田晃二技術士（日本技術士会近畿本部衛生工学部会長）、鍵谷司技術士（環境計画センター専任理事）の3氏から、ツアーの目的や内容、成果などに関して、下記4件のレポートをお寄せいただいた。

#### 【寄稿表題・著者（敬称略）】

- |   |       |
|---|-------|
| • 寄稿1：福島復興支援ツアー その狙いと成果                       | …西嶋茂宏 |
| • 寄稿2：福島を除染作業を見学して                            | …深田晃二 |
| • 寄稿3：福島復興支援ツアーに参加して【Ⅰ 視察編】全町民避難の富岡町を視察して     | …鍵谷 司 |
| • 話題4：福島復興支援ツアーに参加して【Ⅱ 解説編】土壌汚染・処理と放射能に係る基礎知識 | …鍵谷 司 |

#### 【寄稿①】

## 福島復興支援ツアー その狙いと成果

大阪大学大学院工学研究科

環境エネルギー工学専攻 西嶋茂宏

2011年3月11日に起きた東日本大震災により、福島第一原子力発電所の事故が引き起こされ、その周辺に大量の放射性物質が放出された。事故後、4年半ほど経過しているにもかかわらず、被災地の復興の足取りは重く、必ずしも順調と言えない。これはひとえに、放射性物質が原因である。また復興を阻害する要因は、時間の経過に伴って変容しており、必要とされる技術も変わってきている。例えば、事故直後はヨウ素131が問題とされていたが、現在は、セシウム134および137の除染が問題の焦点となっている。将来は汚染物の減容化が

問題となると考えられる。（汚染水の問題は今回は触れない。）

これらの問題点を解決するための技術は、現場のニーズに合致するのみならず、社会的・経済的要請にも応え得る必要がある。これらの条件を満足した技術のみが実用に供し得るものである。このような様態では、現場の状況を的確に捉え、その時々に必要なとされる適切な技術を迅速に提案する事が肝要であろう。また長期視野に立った技術開発をしていくことも求められているものと考えられる。このような要請を満足するためには、福

島の現在を認識し、現時点で必要とされる技術あるいは提供可能な技術は何か、さらには、今後、どのような技術が必要とされるかを的確に判断する必要があると考えられる。このような目的をもって、2015年6月14日（日）、15日（月）の2日間、福島ツアーを実施した。具体的には、除染の現状、津波被災の復興の現状、汚染廃棄物の現状等を理解する事が目的である。また、それらの問題点を洗い出し、将来必要となる技術課題を抽出することも目的であった。また、一方で、福島から遠隔地に居住している方々に福島の現状を理解いただくことも大きな目的であった。このような目的で復興ツアーを企画した。

当日は仙台空港に11時30分集合、そこから貸し切りの中型バスでの移動である。参加者は全部で23人。（運転手、ツアコン含む）。ご存知のように仙台は東北地方の太平洋側の沿岸に位置する。常磐自動車道はその仙台と東京を結ぶ高速道路であるが、太平洋沿岸に沿って走っている。南相馬－浪江間が2014年12月6日に、浪江－常磐富岡間が2015年3月1日に再開通した。このため、今年3月より常磐自動車道が全線開通したのである。一方、それと並行して走っている国道6号線は、これより早く福島県富岡町－双葉町間の14kmの通行規制が解かれ2014年9月15日に開通した。今回は、国道6号線を通り、福島第一原発（イチエフ：1F）の近傍の様子を見分することが目的の一つである。福島第一原発（1F）は大熊町にあるが、（以降の文章の理解のために）仙台から南に向かう土地名を拾ってみると、仙台－相馬－南相馬－浪江町－双葉町－大熊町－富岡町－楢葉町－広野町－いわき市（四倉町）である。なお、福島県では“町”を“マチ”と読む。したがって、ナミエマチ、フタバマチ、オオクママチ、トミオカマチ……である。以前は、国道6号線は双葉町－富岡町間で通行規制がなされており、常磐自動車道では浪江IC－富岡ICが最後まで開通していなかったのである。いずれも原発がある大熊町が通行禁止になっていたことが理由である。国道6号線は原発敷地



写真1 往路常磐自動車道南相馬SAでの記念写真

まで最近接で1km程度である。仙台ICから1Fまでは約131kmある。今回は、常磐自動車道を仙台から南下し浪江IC（仙台より約80km南、1Fから50km程度北）の地点で降り、国道6号線で福島1Fの近傍を通過する予定である。

さて、出発である。仙台空港から常磐自動車道を南下する。国道6号線に下りる前に、仙台から約65km南の南相馬SAで休憩、記念写真を写す（写真1）。まだ参加者たちは、元気で余裕の面持ちである。今日の移動距離は250kmを超えるはずである。

南相馬のSAを出発し、浪江ICで国道6号線に下りる。ここは福島第一原発より北へ約10kmの地点。国道6号線は常磐自動車より海岸に近い側を走っている。浪江ICから国道6号線までは114号線で5km程度、東に向けて浪江町内を走るが、こころ辺りは居住制限区域である。（居住制限区域とは年間積算量が20mSv/年を超える恐れがある区域で、立ち入りあるいは一部事業活動は許されている。しかし宿泊は原則禁止の地域である。このため地域のコミュニティーは破壊されたままになっている。）国道6号線に出て南に向かうと、すぐ双葉町である。双葉町からは帰還困難区域である。（帰還困難区域とは、5年間を経過してもなお年間積算線量が20mSv/年を下回らない可能性があり、現時点で年間積算線量が50mSv/年を超える区域で原則立入禁止かつ宿泊禁止の地域である。）したがって、国道6号線は、立ち入りが禁止されている地域の帰還困難区域が存在するので、本来



写真2 双葉町入口。左右に「帰還困難区域」の標識がある

なら全線開通することはありえない。しかしながら、平成26年9月15日から、帰還困難区域の特別通過交通制度の運用変更により、通行できるようになったのである。この双葉町入口の地点からは原発までは約6 km程度である。写真は双葉町の入り口であり道標に双葉町と記している。道の両側には、“ここから帰還困難区域”との表示もあるのが分かる（写真2）。本来なら立ち入り禁止の帰還困難区域に入ることになるので、心が引きしまる。

ここからさらに南下すると原発がある大熊町がある。ここも帰還困難区域である。大熊町の入口、そこは直線距離で約1 kmで1 Fの敷地であり、2 kmで1 Fの建屋である。双葉町と大熊町の国道6号線沿いの全域が帰還困難区域である。つまり国道6号線は、両町の帰還困難区域を縦断していることになる。冒頭でも紹介したが、一部富岡町を含む大熊町、双葉町を通る、国道6号線の14kmの周囲はこのような状況になっている。これも頭では理解していたことであるが、現場に行って帰還困難区域を肌で実感した。この地域は車による通行は可能となったが、帰還困難区域であり基本的に立ち入り禁止になっている。このためこの区間では、自転車やバイクの通行は禁止されており、車でも窓を閉めるたり、途中下車しないことが求められている。また、枝道に入り込まないように、枝道の入口にはバリケードが施設されており、また巡視員もおり厳重な警戒がなされていた（写真



写真3 枝道にはバリケードが張られ、巡視員が配置されている

3)。

前述したが、国道6号線は原発敷地から約1 kmの場所を通過している。双葉町に入るところから皆の注目はGMメーターに。原発に近づくにつれて、GMメーターの針がふれる。GMメーターを持参した放射線取扱主任が、適宜、メモリの振れを大きな声で読む。Sv（シーベルト）表示のGMメーターでなかったので、暗算でSvに換算しながらの報告である。大熊町に入る。原発敷地までは1 km、建屋までは2 kmの距離である。新聞によると最大17.3 $\mu$ Sv/hの空間線量を示す場所もある。車窓からは原発から伸びる送電線と鉄塔である。これは1 Fから高圧（500kV）の電力を新福島変電所まで送電していた（写真4）。変電所では福島第二原発（2 F）からの電力をも一緒にして首都圏に送電していた。確かに、東北電力の電力を使用している福島県において首都圏で利用する電力をまかっていた証拠がここにある。首都圏に住んでいる人たちは、ここら辺りも理解すべきであろうと独りごちた。

さて、いろいろな地区の定義が出てきたが、それらを事故後の時間経過とともに振り返ってみて整理しておこう。まず事故直後（平成23年3月）は、“避難指示区域”として福島第一原発から半径20km圏内が指定された。原発を中心とする20kmの半円の地域である。記憶にも新しい。続いて同4月には、“警戒区域”として改めて20km圏内を



写真4 福島第一原発から延びる高圧送電線



写真5 JR富岡駅の周辺の様子

立ち入り禁止にするとともに宿泊を禁止にした。同時に追加被ばく20mSv/年を超える地域を“計画的避難区域”として指定し、立ち入りは可能であるものの宿泊を原則禁止としたのである。なお、警戒区域、避難指示区域、避難勧告区域、避難準備区域の各地域は、原発事故のみならず、災害発生等の時、市区町村長が住民らに対し立ち退きを求めることのできる措置である。

事故一年後の平成24年3月から避難指示区域の見直しがなされ、現在では、帰還困難区域、居住制限区域、避難指示解除準備区域（年間積算線量が20mSv/年以下になることが確実であると確認された区域、立入り可、事業活動可、宿泊原則禁止）となっている。後程、除染を実施する観点から異なる地域の定義が出てくるが、その時に整理することにする。

興奮冷めやらぬ大熊町を過ぎ6kmほど南下すると、そこは富岡町である。富岡町の大熊町寄り（2km程度）は帰還困難区域であるが、さらに南下していくと、居住制限区域に出る。この居住制限区域にJR富岡駅がある。ここは海岸から数百メートルに位置し、津波で崩壊したことで知られる。JR駅近傍は住宅街であったのであるが、震災から4年以上過ぎたにもかかわらず瓦礫の撤去が完全でない（写真5）。これは居住制限区域（放射能汚染が残存する）であることが大きな理由である。また、JR富岡町駅舎は撤去されてはいたが、賑わったであろう駅前の通りも破壊されたまま、人の通りはほとんどない。

昨年もここは訪れたのであるが、違っていたのは駅舎の海側に宏大な汚染廃棄物の仮置き場と減容化施設が建設されていることである。ここは仏浜仮置き場施設である。減容化施設は町内の津波廃棄物の破碎選別処理による減容化を行う施設である。焼却はここから少し離れた場所に建っている。またフレコンバッグ（1m×1m×1m）に収められた汚染瓦礫や土壌をうず高く積み上げている（写真6）。ここにある廃棄物は基本的には帰還困難区域のものは含まれていない。つまり、居住制限区域内の汚染廃棄物である。それにしても膨大な量に言葉を失う。約7.4haの広大な土地である。この広大な土地にフレコンバッグがうず高く積みあげられているのである。

この仮置き場（第一仮置き場）から今年の5月には、約500袋のフレコンバッグが大熊町の間貯蔵施設予定地内保管所にパイロット（試験）輸送が行われた。運搬車両が1日当たり9～20往復程度となり、国道6号線が使われた。中間貯蔵施設予定地は大熊-双葉の町にまたがる約16km<sup>2</sup>の土地であるが、問題が山積している。特に土地取得の問題が解決されていない。用地は国が買い取るかあるいは地上権設定のいずれかにより確保を求めているものの、現在のところ（2015年3月）、確保できた用地は予定の0.4%程度にすぎない。これは地権者（約2,300人とのこと）との交渉が進んでいないことが理由である。

さらに膨大な量の汚染廃棄物の輸送の問題も予想される。福島県内の仮置き場は現在約980カ所、



写真6 JR富岡駅に隣接する仮置き場

除染を行った民家の庭先などに置いたままの「現場保管」は約8万6,600カ所あるとのこと。これらすべて中間貯蔵施設への運搬となるが、その総量は2,200万 $m^3$ とされ、東京ドーム18杯分に相当する。輸送経路の沿道の住民の生活環境の悪化の問題、輸送にかかる長い期間（輸送にかかる時間は5年とも言われている）、また汚染物の保管バッグが毀損するおそれもあり、毀損しないまでも汚染物の漏えいの可能性もある。汚染廃棄物の処理は途に就いたところであり、難問が山積していると言える。このことを強く感じた富岡町の仮置き場である。

仮置き場内をさ迷った後、JR富岡町駅跡を訪れた。前述したが、富岡駅は海岸から数百メートルの場所にあり津波で崩壊した。ここは昨年訪れたが、駅舎が取り除かれた他は、ほとんど変わっていない。ひとえに居住制限区域であるためである。当然、JR常磐線は開通していない。国土交通省によると、原発に近い、浪江-富岡（20.8km：福島第一原発近傍を通過する箇所）は除染や安全確保後の再開とされる。ちなみに、それ以外の場所は平成30年までに再開させることになっている。やはり、放射能汚染が復興の足かせとなっている。駅舎横の駐車場跡には、小さな慰霊碑があり、花が供えられている。この風景は昨年と一緒である。駅舎跡からの景色は、海側の仮置き場の膨大な量の黒いフレコンバッグの山が見えるのが、昨年とは異なっている。また、減容化施設の白いテント張りの建屋が見える。富岡駅跡地で、被災



写真7 道の駅よつらのモニュメント

したバスの運転手さんからその当時のお話を伺い、その当時に思いをはせるとともに鎮魂のために額づいた。

JR富岡駅を後にし、さらに南下する。あまり注目されてはいないが、福島第二原発（2F）がJR富岡駅から直線距離で約2km、徒歩でも行ける範囲内にある。この2Fは双葉町にあるが、実は敷地の一部は富岡町にある。この2Fと1Fはわずか12kmしか離れていない。震災直後（3月12日）、2Fの半径3キロ圏内の住民に避難指示、10キロ圏内の住民に屋内退避の指示が出ていたのは記憶に新しい。最悪の場合、この2Fも1Fと同様の事故が起こる可能性があったのである。そのような思いを胸に2Fの横をさらに南下する。

楢葉町、広野町、と南下する。楢葉町にはJビレッジがある。ここは国が管理する原発事故の対応拠点となっている。1Fから約20km、毎日、4,000人の作業員が1Fに向かう。一度、Jビレッジに迷い込んだことがあったが、バスがひっきりなしに運行していた。屋内には、近くの小学生からであろうか激励のポスターが貼ってあった。作業員の方々に勇気を与えたことであろう。

広野町を通りいわき市四倉町の“道の駅よつら”で一休み。津波のモニュメントが残っており、当時の津波水位を示している（写真7）。ここも大きな津波の被害を受けた地点であるが、復興のつち音が聞こえる。放射線レベルが0.2 $\mu$ Sv/h（年間1mSv以下）と低く、復興の確かな足取りが見える（写真8）。放射線の有無で、復興のペースがこ



写真8 復興の力強い槌音が聞こえる四倉

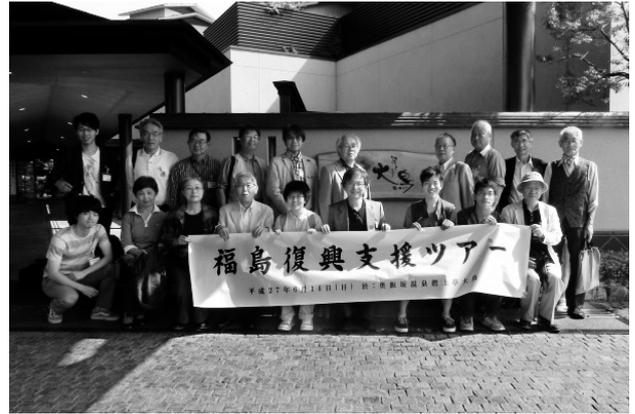


写真9 宿泊施設前での集合写真



写真10 除染特別地域の除染の状況を示したボード



写真11 除染情報プラザの展示の様子

うも違うものかとショックを受けた。

その後、磐越自動車道を通り阿武隈山脈を越えて中通（なかどおり）に出る。中通を、東北自動車道を通って福島へ。その夜は、奥飯坂の温泉宿で一泊である。今日の走行距離は290kmの大移動であった。その夜は、会食と共に懇親会を実施した。学生たちには、かなりのショックのようであった。

翌日は9時前に宿を出て、福島駅近くの除染情報プラザで講演会である。その前に宿の前で記念撮影(写真9)。宿で写真のようなのぼりを用意してくれていた。それもお土産に頂いて帰ってきた。9時過ぎには福島情報プラザに到着。除染情報プラザには、福島県内の除染の情報が集まっており、現在までの除染の状況が手に取るようにわかる。(写真10)は除染特別地域(国が主体として除染を実施する地域)の除染の進捗状況を表にしたも

のである。だれでも除染の現状を把握することができる。また、放射線、除染等の基礎的な知識も分かりやすく展示している(写真11)。除染情報プラザでの講演会は今回で3回目の開催である。プラザの方々には大変お世話になっている。今回も、閉館日であったにも関わらず開館していただき、説明を頂いた。ひたすら感謝である。

さて、講演会である。次の2件の講演があった。

1. 「強磁場を用いた汚染土壌の除染の減容化の可能性」…大阪大学 西嶋茂宏
2. 「福島第一原発事故と放射線」「除染・廃棄物処理の進捗状況」…除染情報プラザ 杉山康雄

阪大の西嶋は土壌の分級・研磨を行った後、粘土成分に対して高勾配磁気分離を行うという手法の報告を行った。分級・研磨を行う理由は、比表

面積を考えるとセシウムは粒子径の小さい粘土に大部分が吸着していると考えられるため、粘土を分離することが理由である。また、磁気分離を行うのは、粘土の中で常磁性を示すパーミキュライトがセシウムを強固に固定するため、パーミキュライトにセシウムを移行させ、磁気分離でパーミキュライトのみを分離するためである。この手法により大幅な減容化の可能性があるとの報告を行った。

次に、汚染情報プラザの杉山氏から除染・廃棄物処理の進捗状況について報告があった。前半は、放射線の説明であり、後半が除染の現状であった。一般の参加者もあり、前半の話が理解しやすかったという感想が寄せられている。除染に関しては空間線量が比較的低く、除染効果の高い地域からの除染が実施されているとのことである。避難指示解除準備区域においては帰還を促進する。また、汚染物については焼却可能なものは焼却し減容化を図る。焼却灰の10万Bq/kg超のものは中間貯蔵施設に搬送する。汚染土壌については全量中間貯蔵施設に移送するとのことである。

講演会が終わると除染情報プラザを後にし、バスで阿武隈山地を越え、南相馬市へ。約60kmの山道である。南相馬市役所で除染対策課の岩井係長から南相馬市で取り組んでいる除染の説明を頂く。南相馬市の除染に関しては、国が担当する地域と市町村が除染する地域が混在している。国が除染する地域は除染特別地域と呼ばれているが、基本的に放射線レベルが高い地域である。一方、市町村が担当する地域は汚染状況重点調査地域である。定義は若干異なるが、除染特別地域は現在で言う、帰還困難区域と居住制限区域および避難指示解除準備区域となる。一方、汚染状況重点調査地域（市町村除染地域）は市町村が除染計画を策定し除染を進める地域である。この地域は追加被ばく線量が年間1 mSv以上の放射線量の地域で、指定を受けている地域のことである。このため南相馬市の受け持ちは、追加線量が1 mSv/年を超える領域となる。なお、20km圏内も南相馬

市に存在するが、そこは除染特別地域で国が担当する。

南相馬市役所で除染対策課の岩井係長から市町村除染地域についての概要の説明を頂いた。生活圏では目標は年間1 mSv以下にすること。農地では5,000Bq/kg以上の地域で未耕起地では表土削り取り・客土・土壌攪拌、耕起地では反転耕・深耕による除染を実施する。一方、農地で5,000Bq/kg以下の場合は反転耕・深耕による除染で行うとしている。ここで驚いたのは、反転耕・深耕を採用することである。基本的に、本手法で成果は上げることができると（著者は）思っているが、農家の方々の賛同が得られず実現していないと理解していたのである（放射性セシウムが農地に残存することに抵抗をお持ちのようであった）。事故後、長期にわたり除染の進捗がはかばかしくなく、農家の方々の苦悩が伺える。反転耕・深耕のような手法を採用することになったのが驚きであったのである。

全体の説明の後、北泉仮置き場を見学した。ゴルフ場全体が仮置き場になっていた。28万ha、12万m<sup>3</sup>（フレコンバッグは1m<sup>3</sup>なので単純計算で12万個である）の除染廃棄物を保管可能である。常時100名程度の作業員が作業をしている。造成しながら同時に除染廃棄物を積み上げている（写真12）。また、小規模の廃水処理施設（10m<sup>3</sup>程度）が動いており、除染のために使用した排水が処理されている。処理方法は凝集沈殿で上澄水は放射線計測後、放流している。

仮置き場を後にして、小規模な除染現場を車内より見学し（写真13）、常磐自動車道を使って一路、仙台空港に。車内では復興応援ソング「花は咲く」を合唱しながらの岐路である。二日間の走行距離は全過程で420kmの大移動であった。

今回のツアーを通じて、著者が思ったことを以下に述べる（既に感想は本文中に入れているが）。まず、除染の早急な実施の必要性である。富岡町と四倉の復興の差は、まさしく放射線レベルの差である。除染の早急な実施が復興を促すことを示



写真12 南相馬市の北泉仮置き場の様子



写真13 南相馬市の除染現場

峻している。福島の人たちにとって、健康学的・身体的にも、精神的・心理的にも、経済的・社会的にも受け入れられる帰還促進可能な解決策は無いのであろうか？ またそれをバックアップする技術課題はなんであらうか？

次に感じたことは、膨大な量の除染廃棄物が発生していることである。輸送の問題は既に述べたが、それと裏腹になるが、減容化技術の確立が焦眉の急であると思われる。減容化は言い換えると大量の低線量汚染物と少量の高線量汚染物を作ることに他ならない。低線量汚染物の再利用の途を工夫することが今後重要になろう。環境省では、減容化は中間貯蔵施設で行うことにしているが、

仮置き場で減容化が可能であれば、輸送の問題の解決ができるのではなかろうか。この点は、環境省としては受け入れられない提案のようである。

福島では多数の仮置き場を目にしたが、仮置き場の借上げの契約はどうなっているのであろうか。国は初期の契約を3年間としていたはずである。契約延長の問題は残っていないのであろうか。

まだ気づいた点は多々あるが、参加された方で、いろいろ気が付かれた点があれば議論しても有意義ではなかろうか。これを提案しておきたい。

なお、本ツアーは富国生命保険相互会社の後援を受けて行ったものであることを記して謝意を表したい。

#### 〈参考文献〉

- 1) 環境省 除染情報サイト 常磐自動車道 広野IC～常磐富岡IC間の再開通について [https://josen.env.go.jp/area/jobando\\_disobliteration\\_hirono\\_jobantomioka.html](https://josen.env.go.jp/area/jobando_disobliteration_hirono_jobantomioka.html)
- 2) 国土交通省 磐木国道事務所 国道6号等の通過 [http://www.thr.mlit.go.jp/iwaki/ukairo\\_info/info.html](http://www.thr.mlit.go.jp/iwaki/ukairo_info/info.html)
- 3) 環境省 除染情報サイト 新たな避難指示区域の概要 <https://josen.env.go.jp/area/roadmap.html>
- 4) 環境省 除染情報サイト 特別除染地域 <https://josen.env.go.jp/area/roadmap.html>
- 5) 福島県ホームページ 避難区域の変遷について 避難指示等の経緯 [http://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/library/141001\\_suiizu.pdf](http://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/library/141001_suiizu.pdf)
- 6) YOMIURI ONLINE 中間貯蔵 用地確保0.4% <http://www.yomiuri.co.jp/feature/matome/20150304-OYT8T50154.html>
- 7) 忘れられた福島・双葉町 中間貯蔵施設ルポ（仮置き場数、現場保管の箇所数） <http://dot.asahi.com/wa/2015043000101.html>
- 8) 環境省 中間貯蔵施設情報サイト パイロット輸送 <https://josen.env.go.jp/chukanchozou/transportation/>
- 9) 環境省 中間貯蔵施設の現状について（中間貯蔵施設の貯蔵量） [http://www.env.go.jp/jishin/rmp/conf/law-jokyo03/lj03\\_mat01.pdf](http://www.env.go.jp/jishin/rmp/conf/law-jokyo03/lj03_mat01.pdf)
- 10) 環境省 除染情報サイト 市町村が中心となって除染を実施する地域における進捗状況 <https://josen.env.go.jp/zone/>



## 福島を除染作業を見学して

公益社団法人 日本技術士会近畿本部 衛生工学部会長  
技術士（衛生工学部門） 深田晃二

### 1. はじめに

2011年3月11日の東日本大震災直後の4月に宮城県石巻市へ民家と駐車場の泥かきに行き（西宮社協主催）、7月には南三陸町に漁網アンカー作りと民家のガレキ片付けに行った（宝塚市主催）。2012年3月には「東北研修旅行」（日本技術士会近畿本部環境研究会）で仙台市・石巻市・多賀城市等の被災状況を東北技術士会の案内で視察してきた。

これら3件のレポートは「技術士ひょうご」No.76（2011.7）（兵庫県技術士会）、「Associate Information」2011年11月号（大阪技術振興協会）、「きんき125号（2012.5.1）」（日本技術士会近畿本部）に報告している。

また京都技術士会では2012年から「東日本大震災復興支援子ども理科実験教室」を開催しているが、2014年10月（第3回）に、約20名が3泊4日の旅程で会津若松市などで約30名の小学生に二日間8コマの実験教室を行った。私はその内1コマを受け持って音の実験を通して交流支援を行った。

そして今年6月14日～15日、大阪大学の西嶋先生の「福島復興支援ツアー」に参加した。私にとっては5回目の東北支援活動となったが、これまでの4回と異なる点は地震・津波に加えて放射能による被害及び復興障害が際だつ点であり、その実態を目の当たりにしてきたので報告する。

### 2. 仙台空港から浜通りを南へ

初日は仙台空港からマイクロバスに乗り常磐高速道を南下して浪江ICで国道6号線に下りた。6号線を更に南に向かい、事故を起こした福島第一原発の側を通り抜け、双葉郡富岡町まで南下した。

国道6号線は福島原発事故以来通行禁止であったが、2014年9月から通行が可能になっている。ただし放射線量の高い「帰還困難区域（年間線量50mSv超）」や「居住制限区域（年間線量20～50mSv）」を通る道のため、通行する人の被曝線量を制御するため駐停車は禁止されていて、ノンストップ走行規制である。

帰還困難区域では国道から分岐する道は全てバリケードで封鎖され（写真1）、検問を行っている。検問員の被曝線量管理と人件費はいかばかりかと気に掛かる。さらに原発事故現場で作業する作業員7,000人はサッカーのJビレッジ（双葉郡楢葉町）に寝泊まりしているとのことであるが、こちらの方が人数といい浴びる被曝線量といい桁違いに大きい。作業従事者許容被曝量（50mSv/年、100mSv/5年）確保のための作業員入替による費用も莫大なことは言うまでもない。これらの事故処理費を含めると原子力の電気料金は安くは見積れない。

情報によると、空間放射線量測定のために福島県が平成26年度事業で県内に追加設置した77台の



写真1 国道6号線双葉厚生病院入口封鎖

表1 南相馬－広野間の常磐道路肩の空間放射線量

IC間	設置番号	放射線量 (μSv/h)			
		2015/6/14	2015/7/7	2015/8/3	2015/8/14
	時刻	12:20	12:20	10:10	21:18
南相馬 ↓ 浪江	9	0.2	0.18	0.19	0.18
	8	0.4	0.36	0.37	0.34
	7	1.2	1.14	1.18	1.06
浪江 ↓ 常磐富岡	6	1.0	0.94	0.95	0.88
	5	5.4	5.01	5.13	4.80
	4	2.9	2.68	2.66	2.46
常磐富岡 ↓ 広野	3	2.3	2.12	2.19	2.07
	2	0.7	0.65	0.68	0.62
	1	0.2	0.17	0.18	0.17

モニタリングポストのうち30台以上が異常に高い数値を示したり、電波障害・通信障害が発生するなど、予定の性能が確保できないので業者との契約を解除し運用を中止したとのことある。車窓から見かけたモニタリングポストにも「調整中」が多くあったのでその時は5年目で故障続発かと想像していた。今回の契約解除措置は、製品の性能上の問題なのか疑義が残るとの指摘がある。いずれにせよ管理の実態はこの程度なのかと暗澹たる持ちになるのは私だけであろうか。放射線管理が確実に行われているとは言い難い状況である。

空間線量測定値に疑問符が付く現状ではあるが、常磐道のサービスエリア(SA)で南相馬－浪江－常磐富岡－広野の各IC間の路肩に3カ所ずつ計9カ所のモニタリングポストを設置し、10分間の平均値の最新値を表示しているのを見かけた。NEXCO東日本の常磐道ホームページ(<http://jobando.jp/>)に「現在の放射線量について」常時掲載されているデータをSAに表示していたのである。ただしホームページには測定時刻の表示が無く「最新値」とだけあるので、アクセス時刻を記録しておく必要がある(表1)。

空間線量の公表は原子力規制委員会のHP(<http://radioactivity.nsr.go.jp/map/ja/>)や福島県ホーム

ページ(<http://www.atom-moc.pref.fukushima.jp/public/map/MapMs.html>)で行っている。

福島県HPによると、福島第一原発の北西側に高濃度汚染地区が広がる汚染図が多く公表されているが、真南にある夫沢では今でも13.638(以下単位はμSv/h)と非常に高い値を示している(2015年8月15日現在)。

原子力規制委員会の47都道府県の測定値で0.1を超えているのは福島市の0.16と島根県仁多郡の0.11の2県2地区である。福島市は別格として島根・山口・鳥取などの山陰地域が高い理由は自然核種放射線によるものなのか興味を持って見守っていきたい。島根県雲南市でも常時居住している西宮市の2～3倍の値(0.10～0.18:手持ちの簡易測定器による)である。

初日の夕刻には、津波によるガレキの残る、また駅舎の無い富岡町駅前で、バス運転手から放射能汚染による被害の過酷さと当局の対応への苛立ちについて心情を吐露する話を聞いた後、福島市内へ向かい飯坂温泉のホテルで一泊した。宿泊して地元で金を落とすのも今回の支援ツアーの目的の一つである。

### 3. 除染情報

二日目はJR福島駅前の除染情報プラザで「福島除染の現状」と「強磁場を用いた汚染土壌除染の可能性」の2題のセミナーを受講したあと、南相馬市役所に移動。市職員の先導で汚染土壌の中間貯蔵施設へ向かい除染作業と保管作業を見学した。

初日のバス移動中にも多数のユンボが田畑表土の除去作業をしていた。「除染」とは半減期の長いセシウムCs-137が付着した物を生活圏から取り除くことであり、その物を仮置場から中間貯蔵施設に運搬し土壌貯蔵、減容化（焼却）、廃棄物貯蔵を行い、そこから最終貯蔵施設に運んで処理することである。

具体的には、農地は表面の土壌を3～5cm除去する方法や反転耕（表層と下層の土壌を入れ替える）で行われ、空間線量が50%以上下がるという。住宅や建物は各所拭き取りや高圧洗浄で行う。南相馬市の住宅では49.1%（109点）の空間線量の減が報告されている。森林については生活圏から5～10mまでの除染は放射線量の低減に効果が有る事が確認できたので20mまでとしている。防風雪のために設けられたこの地方独特の屋敷林は除染が難しく線量が落ちない場所であると説明されていた。

除去した汚染土壌等は1m<sup>3</sup>ほどのフレキシブルコンテナ（土のう）に詰め仮置場から中間貯蔵施設に運び込まれる。その量は半端でなく随所の仮置場に3～4段に積み上げられ黒い山となって威圧している。

放射線遮蔽のために未汚染土壌を詰めた土のうで外周を囲ったところもある。見学した南相馬市の中間貯蔵施設はゴルフ場を丸ごと買い取って造成中であり、今は土のうがむき出しであるが、覆土やシート掛けにより飛散や外部被曝を防止することとである。地下水汚染のおそれのあるものは遮水機能の有る施設で貯蔵し、10万Bq/kgを超える高濃度の廃棄物は容器に封入し遮蔽効果のあ

る建物に貯蔵する計画であるが、まだ建設は着手されていない。

焼却による減容化施設も建設予定である。これらは福島県外の最終処分場で処分される計画というが、中間貯蔵施設が最終になる可能性も否定できないような量である。西嶋先生の強磁場中で粘土にCs-137を付着させ、他の土壌のBq/kgを下げ減容化する技術は、中間貯蔵施設の容積を格段に小さくした最終処分場建設に資すると期待されている。

高圧洗浄水などの排水は、Cs-137が付着した懸濁物質をPACや高分子凝集剤で沈殿させて回収、放流水はゼオライトに吸着させる小規模な装置が設置してあった。

しかし、除染作業が高圧洗浄や拭き取りという単純な方法であることを考えると、事故直後からの降雨による流出で海洋放射能汚染は多大なものと思われる。完全にブロックできない原発からの排水に加えて山野からの流出は太平洋全域を汚染し、魚介類への影響が本当に無いのか懸念される。

### 4. 終わりに

福島第一原発から20km圏内（南側）の楢葉町は今年9月にも「避難指示解除準備区域（年間線量が20mSv以下）」の指定を解除される見通しである。指定が解除されると「避難者」から「自主避難者（保証無し）」に変わるため、東京電力の対応や保証金が止まることを意味する。常住すると5年で作業従事者同等の被曝（100mSv/5年）となるため、妊婦幼児など帰宅しない人は多いと思われる。

阪神淡路震災で私自身が体験した、被災者に義捐金を配布する一方で住宅再建費用に消費税をかけた様な、被災者に過酷な負担をかけることを繰り返すことなく、指定解除が行われても避難者を切りすてることのない救済策が必要である。

## 福島復興支援ツアーに参加して【I 視察編】 ～全町民避難の双葉郡富岡町を視察して～

技術士（衛生工学・建設・環境）・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

東日本大震災が発生してから4年を経過した。東北地方は巨大地震、巨大津波により壊滅的な大被害を被ったが、なによりも福島第一原発事故が人々に大きな禍根を残している。「地震と津波」だけなら自然災害として心の整理もできるが、人災でもある原発事故はあまりに衝撃が大きすぎて生きる望みさえも奪い取る。先祖代々から営々として引き継いできた土地が放射性物質（以下、適切でないが放射能と記す）で汚染され、家も畑も道路があっても帰宅ができない、ゴーストタウンである。

原発事故から1年を経過した平成24年3月中旬に仙台市、石巻市、松島町、多賀城市などの地震・津波災害の実情を視察したことがある。とくに、石巻市の旧北上川河口に位置する日和山から見たあの被害状況、とくに沿岸の住宅地帯はほとんど流出し、道路、電気などのインフラがほとんど損壊して生活のできない街、ゴーストタウンとなっていたことを思い出す。

しかしながら、同じゴーストタウンでも、福島の場合は4年を経過しても未だに立入禁止区域があり、住宅地帯や田畑をはじめ、コンビニやガソリンスタンドなどがそのまま存在するにもかかわらず生活の気配が消えた現実が目の前にあった。

ツアーの目的、工程や視察先などの詳細については企画者の大阪大学大学院・西嶋教授、また、仮置場などについてご一緒した日本技術士会近畿本部衛生工学部会の深田部会長の寄稿を参照していただきたい。視察先は、富岡町の除染土壌の仮置場と南相馬市の仮保管場所であるが、視察編では、福島第一原発から近く、全町民が避難し、現在でも帰宅できない状況にある富岡町の状況を紹介する。ついで、解説編では、除染の考え方や

仮置状況並びに除染の基本となる被ばく線量や放射能濃度などについて解説を試みる。

### 1. 福島県富岡町の放射能による土壌汚染と除染について

#### 1.1 福島県双葉郡富岡町の放射能汚染状況

富岡町（とみおかまち）は、福島県双葉郡の中心に位置する沿岸に面した町である。町内には東京電力福島第二原子力発電所が立地し、隣接する大熊町には事故を起こした福島第一原子力発電所が北約10～20kmに位置する。平成23年（2011年）3月の原発事故で放射能が放出されたが、当時放射性雲（プルーム）は主に北西側に広がり、浪江町や飯館村などが最も深刻な放射能汚染地帯となったが、より遠方の80km圏内の福島市、二本松市あるいは南側のいわき市などにも飛散し、さらに東北地方のみならず圏外に及ぶ広範囲が放射能で汚染され、ところどころに汚染の高い地域などが点在する。

富岡町は事故原発の南側に位置していたが、放射能は飛散しており、町全体が半径20km圏内の「警戒区域」に入っていた。このため、津波や地震で破壊された痕を片付ける時間もなく、全町民が翌日早朝に避難せざるをえなく、未だ多くの人々が県内外で避難を余儀なくされている。なお、原発事故から4年を経過したにもかかわらず、福島県内の避難者数は平成27年3月現在でも116,284人である。2011年3月17日以降に町から西に数十km離れた郡山市に役場機能を移転している。

当町は、当初の「警戒区域」から約2年間を経た2013年3月25日に図1に示したように帰還困難、居住制限、避難指示解除準備の3区域に再編された。いずれも除染対象地域であり、町全体が

除染特別地域に指定され、現在も国直轄による除染作業が続けられている。

その規模は次の通りである。

○除染対象区域人口；約11,300人

○除染実施対象面積；約2,800ha

また、各指定区域では、その場所で1年間生活した場合の追加被ばく線量が1 mSv以下になるように除染が行われる。なお、空間放射線量は時間の経過とともに低くなるので、しだいに安全性は高くなる。

①帰還困難区域；2012年3月から数えて5年以上戻れない（年間放射線量50mSv超）

②居住制限区域；数年での帰還をめざす（同20mSv超～50mSv以下）

将来的に住民が帰還し、コミュニティを再建することを目指し、除染やインフラ復旧などを計画的に実施する区域。除染や放射性物質の自然減衰などによって、住民が受ける年間積算線量が20mSv以下であることが確認された場合には「避難指示解除準備区域」に移行。

③避難指示解除準備区域；早期の帰還をめざす（同20mSv以下）

除染、インフラ復旧、雇用対策など復旧・復興のための支援策を迅速に実施し、住民の一日でも早い帰還を目指す区域。

①「帰還困難区域」は、立ち入りには許可が必要であり、一般の者は立ち入ることはできない。②

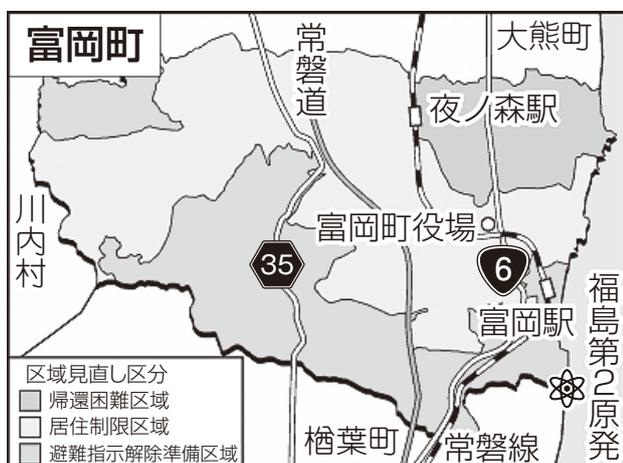


図1 富岡町の区域見直し区分（2013.3）

「居住制限区域」と③「避難指示解除準備区域」は、日中のみは一般の人も立ち入ることができるが原則宿泊はできない。長時間滞在すると被ばく線量が大きくなるためである。

## 1.2 富岡町の除染状況について

### 【除染の考え方】

除染基準は、その土地に居住した場合に原発事故に伴う追加被ばく線量が1 mSv/年を超えないことを基準にして実施されている。なお、その範囲は宅地、道路、農地などの居住地帯と生活圏から20mの範囲の森林と定めている。つまり、とりあえず放射能災害から避難した人々が帰郷して生活できることを優先にして実施されているが、森林部の放射能汚染の回復は後回しにされている。なお、大地から等の自然由来に基づく被ばくは除外される。除染の実施者は次のように規定されている。

①5 mSv/年以上の汚染地域は国が除染を行う。

※富岡町は全域が5 mSv/年以上であり、全て国による直轄除染が行われている。

※平成27年度内に宅地除染終了、平成28年度内に残りの除染を終了予定。

②5 mSv/年以下の汚染地域は自治体が除染を行う。

※役場は郡山市に移転している。

【除染範囲の概要】（除染関係Q&A 環境省 平成27年4月1日版より）

①生活圏の除染を優先的に実施する。ただし、生活圏以外の地域においても除染の実施により生活圏の空間線量率が低減する場合には実施しても良い。

②生活圏内の空間線量率の低減を目的に住宅地に近接する森林（原則として林縁から20m程度の範囲）及び日常的に人が立ち入るキャンプ場やほだ場等の森林は除染対象となる。

③河川、湖沼等は、水による遮へい効果は大きいですが、干し上がった場合には空間線量率が高くなるので、一般公衆の活動が多い生活圏に該当すると考える地域（河川敷グラウンドなど）

を除染対象とする。

### 【除染土壌等の仮置と処理】

除染に伴う除去土壌等については汚染廃棄物とは別に特別措置法により処理の枠組みが定められている。除染土壌等の処理は、①福島県内（図2）と②福島県外とでは処理方法は異なる。基本的には、除染された土壌等の保管には放射能濃度の規制はないので、仮置場に保管できる。このうち、可燃物は原則として焼却して減容化し、焼却灰等として処理する。放射能で汚染された可燃物を焼却すると数分の1程度に減量化されるが、放射能は焼却灰や集じん灰に濃縮されて残存する。県内の除染土壌及び10万Bq/kg以上の焼却灰等は仮保管後に中間貯蔵施設に搬入して30年間以内に県外の最終処分場へ搬出するとしている。一方、10万Bq/kg以下の焼却灰等は管理型処分場で処分できるとしている。なお、中間貯蔵施設は福島県にのみ設置され、国が確保し運用するとしている。

他方、県外で発生した除染土壌等は、10万Bq/kg以下のものは管理型処分場で、それ以上は遮断型処分場で処理できるとし、中間貯蔵施設へは搬入しない。また、8,000Bq/kg以下の焼却灰等は通常の廃棄物として一般廃棄物処分場・管理型廃棄

物処分場で処分できるとしている。8,000Bq/kgの基準は、放射能が付着・混入した焼却灰の処理、輸送、保管時の周辺住民および作業員の被ばく線量が1mSv/年を超えないことなどを目安に定められている。

今回視察した富岡町の除染土壌の仮置場であるが、名称は除染土壌とあるが、草木などがかなり混入しているので、できるかぎり減容化することが求められている。法律に基づいて同じ地域に破碎・選別施設及び焼却施設が整備され、稼働を始めている。

ところで、管理型処分場で処分できる焼却灰等の処理は、放射能の強さにより埋立方法は次の3段階に区分されている（図3）。放射能の低い①については自治体の処理、やや高い②及びかなり高い③については国が処理することされている。

- ① 8,000Bq/kg以下の焼却灰；一般廃棄物最終処分場（管理型処分場）で埋立処分
- ② 8,000Bq/kg～100,000Bq/kgの焼却灰；一般廃棄物最終処分場（管理型処分場）において次の三つの方法による埋立；管理型最終処分場に場所を決めて埋立（隔離層設置、長期間の耐久性のある容器等、屋根付き処分場）、

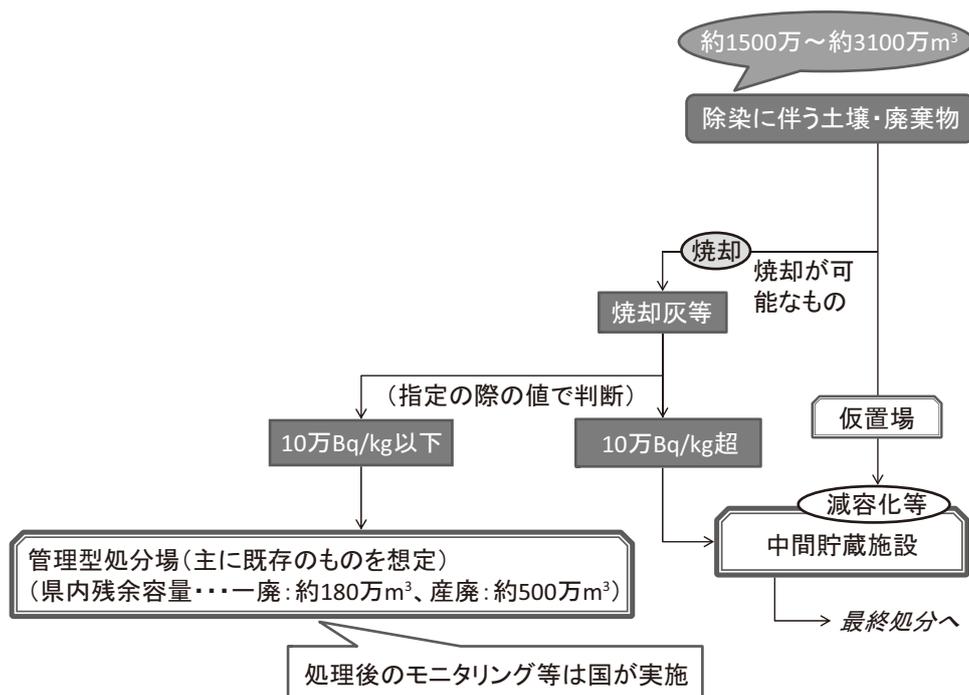


図2 福島県内の除染に伴う土壌・廃棄物処理フロー

8,000Bq/kg を超え 100,000Bq/kg 以下の焼却灰等の処分方法の概要  
 【一般廃棄物最終処分場（管理型最終処分場）での処理イメージ】  
 以下の 1) ~ 3) のいずれかによる。

- 1) 隔離層の設置による埋立      2) 長期間の耐久性のある容器等による埋立      3) 屋根付き処分場での埋立

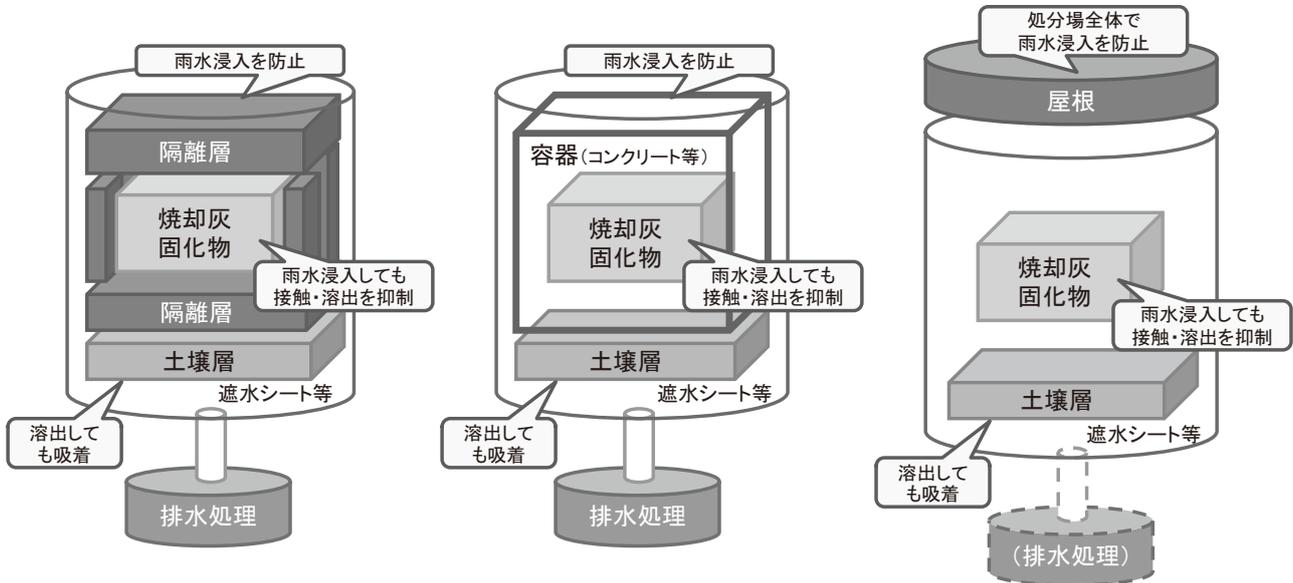


図3 焼却灰等の処分方法の概要 (8,000 ~ 100,000Bq/kg)

他の廃棄物と区分、即日覆土

- ③ 100,000Bq/kg 以上の焼却灰；適切に放射線を遮断できる施設、たとえば遮断型最終処分場での保管

※ 1) 鍵谷司；シリーズ③「東日本大震災で発生した災害廃棄物の処理について ~放射性物質が含まれた焼却灰等の埋立処分~」；環境施設、No.126、pp.56-63 (2011.12)

【富岡町の除染の進捗状況；平成27年5月31日】

- ① 宅地；除染対象は約2,300ha、約6,000軒に該当、実施率は36%
- ② 農地；除染対象は約670ha、実数量は約41ha、実施率は6%
- ③ 森林；除染対象は約530ha、実数量は約380ha、実施率は71%
- ④ 道路；除染対象は約150ha、実数量は約110ha、実施率は70%

※ 実施率は、除染対象の面積等に対する一連の除染行為（除草、堆積物除去、洗浄等）が終了した面積等の割合。

【除染物の保管状況；平成27年4月30日現在】

除染物の保管物数及び搬出済保管物数は下記の通りである。なお、( ) 内は福島県全体の数量である。

- ① 保管物の搬入が施行中の仮置場等の箇所数  
8か所で保管物数は366,798個（福島県下；117か所、2,103,679個）
- ② 保管物の搬入が完了した仮置場等  
12か所で保管物数は15,364個（福島県下；96か所、1,238,736個）
- ③ 施行中及び搬入完了仮置場（①+②）  
20か所で保管物数は382,162個（福島県下；213か所、3,342,415個）

※ 搬出済は仮焼却施設や中間貯蔵施設に少量。  
 ※ 保管物数：単位は「袋」。なお、1袋当たりの体積は、おおむね 1 m<sup>3</sup>。

1.3 JR富岡駅と汚染土壌の仮置場の視察について  
 汚染土壌の仮保管場所はJR富岡駅と海岸の間を南北に広がる細長い平坦地である。資料によると

富岡駅は海岸から約350m地点であり、この海岸沿いの平坦地には、第一仮保管場所、第二仮置場（今回の視察は仏浜仮置場）、破碎選別施設・選別物保管施設、焼却施設・灰保管施設が設置されている。

#### 【JR 富岡駅及び周辺状況】

インターネットでは、富岡町は福島県内最大の津波の高さ（25m）を記録した町と紹介されているが、津波は堤防や山などで止められると、後続の波が次々と重なるので、いくらでも高くなる。むしろ平坦地では津波の波高が幾重にも重なることはないので、比較的低い。富岡駅の標高は約6.5mであるので、駅舎撤去前の損壊状況から高さ10m以上の津波に襲われたものと推測される。つまり、海岸側の住宅地は数mの津波に襲われたので壊滅

状態になったと推測される。この地域は現在も避難指示解除準備区域に指定されているが、宿泊は認められておらず、無人地帯である。

津波により破損した富岡駅と今回の視察時の駅の様子を写真1～3に示した。破損した駅舎やプラットホームの屋根などは平成15年1月に解体・撤去され、現在はプラットホーム跡と使われていない線路が残っていた。富岡駅のある常磐線は2018年頃までに全線復旧の見通しであるが、福島原発1号機の近くを通過する浪江～富岡間の再開時期は示されていない。

一方、駅の西側はやや小高い丘陵地であり、高い場所の住宅はそのまま残っていたが、裾野の平坦部の住宅地は津波で破損したまま、車がひっくり返った状態で、当時のままであった（写真4）。



写真1 2013年5月の富岡駅  
(インターネットより)



写真2 2015年6月の富岡駅



写真3 富岡駅プラットホーム跡  
(奥の白い建屋は破碎選別施設)



写真4 富岡駅山手の住宅の状況



写真5 除染土壌の仮置場



写真7 空間放射線のモニター；0.202 $\mu$ Sv/hr



写真6 草木類の除染物；破碎選別後に焼却

現在は、避難指示解除準備区域に指定されており、立ち入ることはできるが、宿泊はできないので、ほとんどが被災したままの状態である。

#### 【除染土壌の仮置場】

視察したJR富岡駅の南側に広がる除染土壌の仏浜・小浜仮置場の面積は7.4haとあるが、津波がれき、被災家屋解体物や被災車両や家の片付けごみなどの置場と共用であるので定かでない。富岡町の仮置場は中小規模を含めて8か所であり、約36万個のフレコンバッグが保管されているとされているが、当該仮置場についての詳細は不明である。地震時には富岡浄化センターがあった敷地跡を中心に膨大な数のフレコンバッグに詰められた除染土壌が3段に積み上げられていた。数万個以上はありそうである。

目視では、少なくとも幅200m程度で、その長

さは約400m程度ありそうである。面積で約8haとして1袋が1m<sup>2</sup>、3段積で、保管場所以外の搬入路などを3割と想定すると10万個以上は保管できそうである。

仮置きなので、中間貯蔵施設が完成するまでの4年程度の保管と言われているが、町内の貯蔵施設の整備が遅れており、試験的に搬出されている。富岡町内には産業廃棄物の管理型最終処分場があり、これを国の所有として中間貯蔵施設として再整備して活用するとされている。仮置場には空間線量率のモニタリングが義務づけられており、いくつかのモニタリングポストが設置されていた。視察時の仮置場内のモニター値は0.20 $\mu$ Sv/hr程度であった。

#### 《参考》

- 仮置場については、市町村等の除染実施者が、保管場所境界等において、特措法に基づき定期的に空間線量率を測定することとされている。
- 現場保管については、市町村等の除染実施者が、一部の保管場所境界等において、自主的に定期的に空間線量率を測定している。

#### おわりに

大阪大学大学院環境・エネルギー科西嶋研究室が企画した「福島復興支援ツアー」には21人が参加された。大阪大学関係者の放射線専門家から学生、家族など様々であった。私は、三年前の平成24年3月に宮城県石巻市等の津波被害を視察した

が、当時は福島へは入れなかった。現在では、福島県下の市町村で警戒区域等の見直しにより立入はできるが、宿泊はできず、未だに立入禁止区域もあり、避難が続いている。

現場をみると映像ではないこの悲惨な現実が身に染みる。地元のマイクロバス運転手の話では、巨大地震や巨大津波で信じられないような被害を被っても気持ちの整理はできるが、原発事故による放射能汚染はいわば人災であり、しかも長年月にわたって影響が尾を引き、その無念さが伝わる。原発事故の恐ろしさは計りしれないものであることを強く実感した。

視察を通じて放射能、除染、仮置、モニタリング（空間線量率）や処理方法など全体のつながりが私を含めて理解できていないと感じたので、次項【Ⅱ 解説編】にて除染・仮置き・処理と放射能に関する基礎知識について解説する。



摺上温泉「大鳥」の庭園（宿泊宿）

「福島復興支援ツアー」は一人でも多くの方が福島に関心をいただき、福島の現状を理解し、お金を使うことにより少しでも支援に役立とうとする企画でもあろう。もっと幅広く支援者、参加者が集まることを願って寄稿することとした。

【寄稿④】

## 福島復興支援ツアーに参加して【Ⅱ 解説編】 ～土壌汚染・処理と放射能に係る基礎知識～

技術士（衛生工学・建設・環境）・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

今回のツアーには、放射線関係の専門家から学生を含む様々な方が参加した。移動バス中では学生による放射線・放射能に係る調査成果の発表・質疑、南相馬市における汚染・保管状況の紹介あるいは摺上温泉「大鳥」における懇親会での自己紹介&意見紹介が行われた。いろいろな意見および議論を聞いていると自分も含めて除染・仮置と放射能・放射線に関するつながりの欠如を感じたので、解説を試みた。

### 【解説1】放射能・放射線とその単位について

放射線とは、原子力基本法で「電磁波又は粒子線のうち、直接又は間接に空気を電離する能力をもつもの」と定義され、X線、 $\alpha$ 線、 $\beta$ 線、 $\gamma$ 線

などがある。いずれの放射線も人体に当たると細胞を傷つけたり、死滅させ、健康へ影響を及ぼす。 $\alpha$ 線と $\beta$ 線は物質であり、透過力は低いが大きなエネルギーをもつので、放出する物質が体内に取り込まれると内部被ばくを引き起こす。一方、 $\gamma$ 線は透過力が高いので、それを発生する物質が体外にあっても被ばくに注意する必要がある。

土壌汚染や除染作業、除染物の運搬や仮置や仮貯蔵などでは、主に放射能の強さと被ばくによる健康への影響を示す単位が用いられている。放射能の単位のうち、放射性物質の放射線を放出する能力を示す「ベクレル；Bq」と被ばくした場合の健康影響を表す単位「シーベルト；Sv」で表す。

1 Bqは、1秒間に崩壊する原子の数であり、安

定な原子に移行する過程で放射線を出す。ベクレル数が大きいほど崩壊する原子数が多く、放射線が高いことを意味する。例えば、Cs137の10万Bqは、1秒間に10万個の原子が崩壊して別の安定な原子（バリウム）になる。この過程で放射線を放出する。放射能濃度が高い、つまりベクレル数が大きいほど沢山の放射線が放出されるが、複数の放射線を放出する物質もあるので、放射線の数（cpm）から被ばく線量を算定することは簡単ではない。

放射線に被ばくすると細胞に傷がつくので健康への影響を引き起こすが、その程度は放射線の種類や浴びた組織により異なる。

放射線による影響の違いを評価するために、放射線荷重係数を $\alpha$ 線は20、 $\beta$ 線と $\gamma$ 線は1を用いる。 $\alpha$ 線はエネルギーの大きな粒子であり、組織への影響が大きいことを示す。また、組織や臓器の感受性の違いを組織荷重係数で評価する。生殖腺は0.20、肺や胃は0.12、皮膚は0.021などの重みを付ける。数値が大きいほど影響が大きいことを示す。皮膚は放射線に強く、細胞分裂の激しい生殖腺や造血器官は影響を受けやすいことを示す。すべての組織や臓器に対する値を総和して全身の放射線量として表したものが実効線量である。

○等価線量 (Sv) = 吸収線量 × 放射線荷重係数  
(組織・臓器ごとの確率的影響)

○実効線量 (Sv) = 等価線量 × 組織荷重係数  
(すべての組織・臓器の等価線量の総和)

放射能や放射線の単位には使用目的によりいろいろあるが、このような放射能で汚染された地帯で生活や活動すると被ばくが問題になる。この場合には人の健康に対する影響をただちに判断できる実効線量が用いられる。実効線量は、放射線の種類による影響や人の組織に対する感受性が考慮されており、数値をみれば健康に対するリスクをすぐに判断ができるという特徴がある。

## 【解説2 年間1 mSvの追加被ばく線量の放射能濃度 (Bq/m<sup>2</sup>) はどの程度か？】

除染の基準はそこに生活した場合の年間の追加

被ばく線量で決められているが、土地の放射能濃度はどの程度であろうか？また、除染された土壤にはどの程度の放射能が含まれているのであろうか？被ばく線量（シーベルト）と土壤中の放射能の濃度（ベクレル）との関係を試算した。

地面に分布する放射能から地表高1 mに到達する空間放射線量率の算定方法には、①IAEA（国際原子力機関）による推算方法と②文部科学省が現場で実測したデータから換算する方法（実験式）の二種類が知られている。ここでは①の方法で推算した。放射性のCs134とCs137の排出割合は事故時にはほぼ同じ量であったといわれているが、半減期はそれぞれ2年と30年であり、放射能及びその割合は経過時間とともに変わる。事故後50ヶ月を経過した現在の土壤の放射能濃度を推算した結果を以下に示す。

IAEAによると無限平面に均等に分布する放射性物質から $\gamma$ 線による地表1 m地点の空間放射線率 ( $\mu\text{Sv/h}$ ) と面積当たりの放射能濃度 ( $\text{MBq/m}^2$ ) の換算係数が示されている。

○Cs134；半減期2.06年、換算係数；5.4 ( $\mu\text{Sv/h/MBq/m}^2$ )

○Cs137；半減期30.2年、換算係数；2.1 ( $\mu\text{Sv/h/MBq/m}^2$ )

それぞれの半減期が違うので減衰速度は異なり、排出当初ではその比率は50：50であったが、50ヶ月が経過した現在ではCs134が21.3%、Cs137が78.7%であると計算される。なお、放射能濃度は当時の57.7%に減衰している。その結果、空間線量率が1 ( $\mu\text{Sv/h}$ ) の被ばく線量は、地表面の面積当たりの放射能濃度は35.7 (万Bq/m<sup>2</sup>) となる。

空間線量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ ) = [Cs134 (5.4 × 0.213) + Cs137 (2.1 × 0.787)] × X ( $\text{MBq/m}^2$ )

つまり、追加被ばく線量が1 mSvに相当する空間線量率は0.19 $\mu\text{Sv/h}$ とは、面積当たりの放射能は約68,000Bqとなる。除染はこれ以上の高い放射能土壤が対象であるので、除染物には高い濃度で放射能が含まれていることになる。しかしながら、面積当たりの放射能では取扱い時の被ばく線量や被ばく低減化対策を検討することができないの

で、重量当たりの放射エネルギー (Bq/m<sup>2</sup>) に換算する必要がある。

※IAEA-TECDOC-1162 国際原子力機関 (IAEA) 2000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」より

※1) 鍵谷司; シリーズ⑤「東日本大震災で発生した災害廃棄物の処理について (Ⅳ) ~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)

### 【解説3 年間1 mSv追加被ばく線量は重量あたりの放射能濃度はどの程度か?】

上記の推算により年間1 mSvの追加被ばく線量に相当する面積当たりの放射能濃度は6.8 (万Bq/m<sup>2</sup>) と推算された。これ以上の高い空間線量率を示す生活圏が除染対象となる。自治体が除染対象とする年間被ばく線量が5 mSv以下、及び国が除染対象とする5~20mSv以下の場合には、土壌中の放射エネルギーはどの程度になるであろうか? 除染物の重量あたりに換算した。なお、換算方法には前提条件があることに留意していただきたい。

①追加被ばく線量が年間1 mSvの場合; 空間線量率が0.19μSv/hrに相当する。

土壌の除染深度を5 cmとしその嵩比重を1.3に想定して重量換算する。

1 m<sup>2</sup>当たりの剥ぎ取られる土壌重量は65kg (= 100cm × 100cm × 5 cm × 1.3/1,000)。

1 m<sup>2</sup>当たり6.8万Bqであるので、重量kg当たり約1,000 (Bq) の放射エネルギーが存在すると推算される。

②追加被ばく線量が年間5 mSvの場合; 空間線量率が0.95μSv/hrに相当する。

除染作業で表層を剥ぎ取ることにより空間線量率が0.19μSv/hrに低下することは、0.76μSv/hrに相当する放射エネルギーが除去されたことになる。

面積当たりの放射エネルギーは①の4倍になるので、1 m<sup>2</sup>当たり27.2万Bqとなるので、重量kg当

たり約4,200 (Bq) の放射エネルギーが存在すると推算される。

③追加被ばく線量が年間20mSvの場合; 空間線量率が3.8μSv/hrに相当する。

②と同じ理由により面積当たりの放射エネルギーは①の19倍が除去されるので、1 m<sup>2</sup>当たり129.2万Bqとなる。重量kg当たり約20,000 (Bq) の放射エネルギーが存在すると推算される。

以上の換算にあたり、その前提条件は試料の厚さは5 cmで、かさ比重を1.3に設定している。条件が異なれば換算数値は異なる。なお、石や草木の根がある区域では重機により表層5 cmを剥ぎ取ることには神わざであり、実際は10cm程度と推測される。この場合には除染土壌の濃度は約1/2程度に低くなるが、除染した土壌量は倍増する。手作業ならば正確に剥ぎ取ることにはできるが放射エネルギー濃度が高いことや作業時間が長くなるので被ばくの危険性が高まる。

※1) 【解説1】の参考資料1) を参照

### 【解説4 放射能に係る各種基準と単位について】

放射能による汚染、除染や対応など目的に応じて色々な単位が用いられる。それぞれの考え方や換算方法をきちんと理解していなければ、放射能汚染の全体像を正確に把握することができない。

①除染基準 (mSv/年、μSv/h); 居住して生活する場合の原発事故に伴う追加被ばく線量が年間1 mSv以下を基準とし、屋外と屋内に滞在する時間を設定して時間当たりの空間線量率を設定している。それ以上の被ばく地域を除染対象とする (自然由来の被ばく線量は含まれない)。

※生活した場合の健康リスクを想定して被ばく線量が決められており、年間被ばく線量、つまり時間当たりの空間線量率で規定されている。

②飲料・食品の基準; 重量当たりの放射エネルギー (Bq/kg) で規制

※食料品や飲料水は体内に取り込まれるので内部被ばくを算定することになるので、重

量当たりの放射能濃度が重要であり、面積当たり濃度は意味がない。

③水田土壌の基準；重量当たりの放射能量 (Bq/kg) で規定

放射能で汚染された田畑において作付した作物に含まれる放射能濃度で基準が定められている。土壌中の放射性Csが作物の可食部にどの程度移行するかにより規定されている。たとえば、玄米の放射能基準は500 (Bq/kg) 以下であるが、土壌から玄米への移行係数を0.1として水田の放射能濃度を最大5,000 (Bq/kg) としている。なお、重量当たりの放射能濃度は汚染土壌の深さ方向の汚染状況を把握することができ、除染深度を決めるうえで重要である。畑についてもこの濃度が準用されている。

他の様々な食物の放射性Csの土壌から可食部への移行係数はつぎのようなデータがあり、移行し難いことが分かっている。なお、放射性物質の化学形態、土壌の性質、農作物の種の違いと生育条件などにより異なる。きこの類など移行係数の大きなものもある (原子力環境整備センター：1988)。

- 米：0.04～0.6 (他機関のデータも参考にして0.1が用いられている)
- 米以外の穀類：0.003～0.06
- イモ類：0.002～0.008
- 根菜類：0.008～0.1
- 葉菜物：0.001～0.8

放射性セシウムは主に土壌に吸着されており、化学的な形態に依存するが、水には溶解し難いといわれている。植物は水に溶けた栄養分を吸収して成長する。粒子を吸収しないので、可食部への移行は少量になると推測される。一方、粒子に付着して流出した放射性セシウムは流出して河川や海の底泥に溜まりやすい。底生生物であるミミズ、ゴカイ、貝類などに取り込まれ、これらを餌とする魚類に濃縮され、高濃度になると推測される。なお、セシウムは金属であり、融点は28℃程度であるので、30℃では液体である。また、非常に反応性が高いので、空気中では酸素と反応して酸化

物、湿度と化学反応すると水酸化物になると考えられるが、土壌中の化学形態は明らかではない。化学形態により水溶解度や土壌への付着、吸着特性が異なるにもかかわらず詳しい報告は見当たらない。

※2) シリーズ⑦「東日本大震災で発生した災害廃棄物の処理について (Ⅶ) ～100Bq/kgほどの程度危険か?～」；環境施設、No.128、pp.70-76 (2012.6)

### 【解説5 放射能の減衰について】

放射性セシウムの放射能は、核反応以外のどのような手段を講じても消滅することがないので、ただひたすらに自然崩壊により非放射性物質 (バリウム) に崩壊することを待つ以外に方法はない。今、問題になっている放射性セシウムには、重さの異なるCs134とCs137があり、それぞれの半減期 (放射能が半分になる期間) は2年と30年である。時間経過とともに放射能の強さ、つまり放射線は低くなるが、安全なレベルまで減衰するためには長期間を要する。

除染対象地域は生活した場合の被ばく線量で決められている。つまり、時間が経過すれば、放射能量は減少し、空間線量率も低下するので、除染しなくてもいずれ安全な土地にはなるが、その経過時間が問題になる。一般的に半減期の10倍の年月で放射能の影響はなくなると言われるが、おおよそ1/1,000に該当する。Cs137の放射能が1/1,000になるのは300年後である。300年前に例えると、あの元禄時代の赤穂浪士の頃である。

事故発生時における放射性のセシウムであるCs134とCs137が同じ量であったとされている。それぞれの半減期が異なるので、経過年数ごとにその比率及び放射能量が変動する。空間線量率は地表面の放射能 (ベクレル) に比例すると想定すると生活できる被ばく線量が1 mSv/hr以下になる時間数を計算して以下に示した。

- ①現在の被ばく線量が5 mSv/hrの地区が1 mSv/hr以下になる期間；6年
- ②現在の被ばく線量が10mSv/hrの地区が1

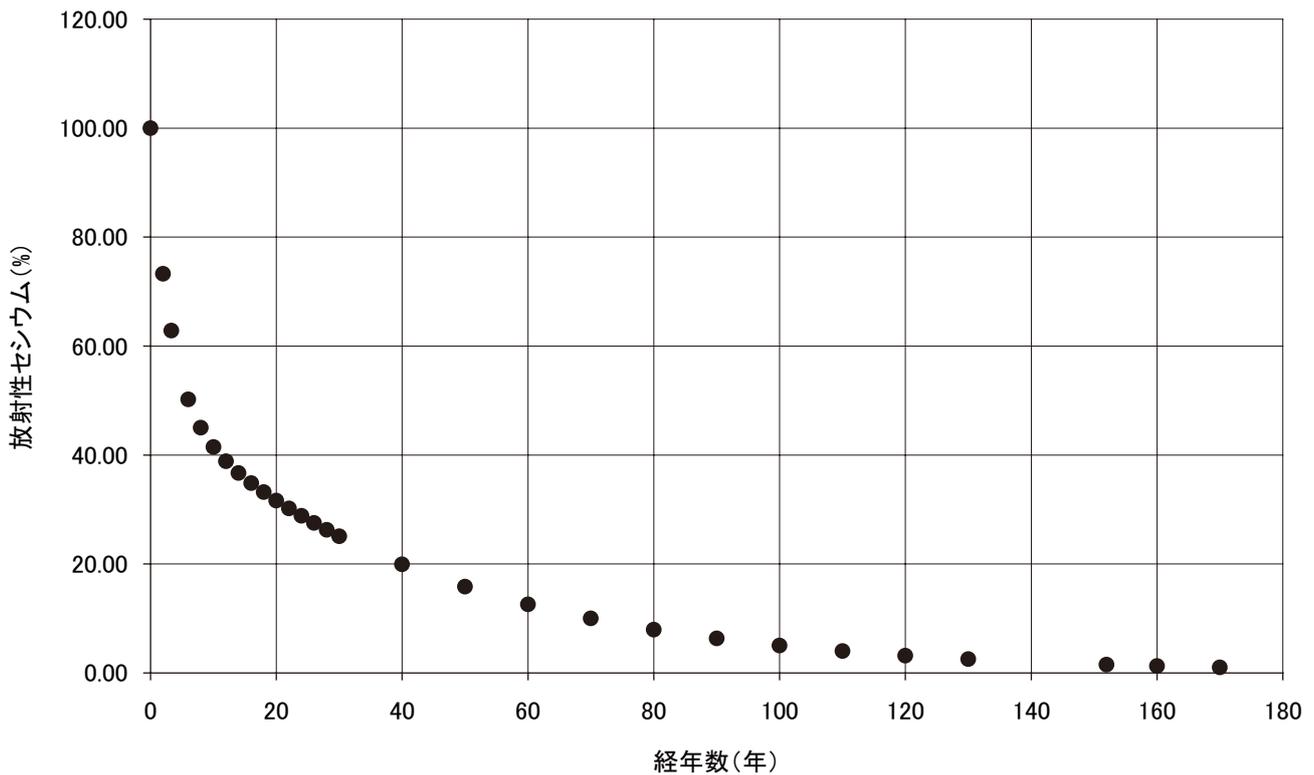


図4 放射性セシウムの減衰曲線 (Cs134 ; Cs137=50 ; 50) (鍵谷作成)

mSv/hr 以下になる期間 ; 70年

- ③現在の被ばく線量が20mSv/hrの地区が1 mSv/hr 以下になる期間 ; 100年

つまり、現状では半減期の短いCs134の含有割合が高いので比較的短い期間で減衰するが、半減期の長いCs137が主体になるとなかなか減衰しなくなる。早期の帰還をめざすために除染が必要となる。なお、現在では事故から50ヶ月を経過し排出当初の約60%に減少している。

※3) 鍵谷司 ; シリーズ②「東日本大震災で発生した災害廃棄物の処理について ~放射性物質が含まれた都市ごみ焼却灰について~」 ; 環境施設、No.125、pp.82-91 (2011.9)

**【解説6 追加被ばく線量について】**

自然界及び食べ物による内部被ばくがあるので日本人は年間約1.48mSvの被ばくを受ける。これに医療被ばくを加えると、年間で2.4mSvを被ばくしていると言われている。

これに原発事故により被ばく線量が追加されるので、その被ばく線量を年間1 mSvを目標として

設定されている。算定条件は、次の通りである。

- ①1日のうち屋外に8時間、屋内（遮へい効果(0.4倍)のある木造家屋）に16時間滞在するという生活パターンを仮定すると  
 ※毎時0.19μSv × (8時間 + 0.4 × 16時間) × 365日) ÷ 年間1 mSv
- ②通常のガンマ線サーベイメーターでは事故による追加線量に加え、自然界からの放射線のうち、大地からのγ線も測定されるのでこれを加味する必要がある。なお、宇宙からの放射線は測定されない。

$$0.19 + 0.04 = \text{毎時}0.23\text{mSv}$$

追加被ばく線量は除染範囲を決めるための計算手法であり、個々人の被ばく計算を目的としたものではない。したがって、屋内あるいは屋外における平均的な滞在時間数、あるいは木造家屋の地下室のない一階及び二階建てに留まるとの条件における遮へい係数を用いて計算されている。

事故あるいは自然放射線による個人に対する被ばく線量を計算するに当たっては、生活様式の違いから屋外及び室内における滞在時間あるいは木

造や鉄骨あるいは鉄筋コンクリートなど建屋の構造物、地下室の有無や生活する場所の高さなどにより遮へい係数が大きく異なる。たとえば、建屋内における代表的な遮へい係数の事例は次のように大きく変わる。これらに留意して被ばく線量を計算するとより精度が高まる。

○一階および二階建ての木造の家（地下室なし）；0.4

○一階及び二階建てのブロックやレンガ造りの家（地下室なし）；0.2

○三階または四階建て構造（1階のフロアあたり500～1,000m<sup>2</sup>）

・一階および二階；0.05

・地下室；0.01

※地下室や高層階になるほど遮へい係数は小さくなる。つまり被ばく線量は低くなる。

#### 【解説7 20km圏内に飛散した放射エネルギーはどの程度か？】

事故直後には、20km圏内が20mSv以上の被ばくをすることで警戒地域に指定され、避難指示により避難し、20～30km圏は屋内退避区域とされた。福島第一原発からの放射エネルギーの拡散は風向、風速及び大気安定度により大きく異なり、無風状態以外に同心円状に拡散することはなく、風の流れに乗って80km以上も離れた地域も汚染され、300km程度飛散したとされる。

仮に20km圏内が20mSvに汚染された場合にはどの程度の放射エネルギーが放出されたのであろうか？放射能ヨウ素など様々な核種が放出されたが、ここでは放射性Cs134とCs137が放出されたとしてその重量を算定した。なお、避難地域は、国際放射線防護委員会（ICRP）の勧告に基づき緊急時20～100mSv/年と提言されており、この下限値が適用された。

半径20kmの同心円の面積： $\pi \times 20\text{km} \times 20\text{km}$   
 $= 1,256\text{km}^2 = 1.256 \times 10^9\text{m}^2$

20mSvに相当する放射エネルギー；1 mSvに相当する放射エネルギーは約6.8万Bq/m<sup>2</sup>より136万Bq/m<sup>2</sup>

∴ 20km圏内に飛散した放射エネルギーは $1.71 \times 10^{15}$  Bq

放射性セシウムの1gあたりの放射エネルギー（比放射エネルギー）は下記の通りであり、同量排出されたとして推算する。

Cs134； $4.8 \times 10^{13}$  Bq/g

Cs137； $3.2 \times 10^{12}$  Bq/g

20km圏内に放出された放射エネルギーを各比放射エネルギーで除すると約285gになると算出される。当然、20mSv以上の汚染地域も存在するので、放出量は増加する。

ところで、この地区で除染土壌が100万トン発生した場合には含まれる放射性セシウムの重量はどの程度になるであろうか。なお、4年を経過した現在では排出時の約60%に減衰している。

・除染土壌；100万トン（ $= 10^9$  kg）

・20mSvに該当する除染土壌の重量kg当たり約20,000（Bq）

∴ 含まれる放射エネルギーの総量は $2 \times 10^{13}$ （Bq）

各放射性セシウムの比放射エネルギーよりわずかに4.8g程度と推算される。

10円玉1個の重さにも満たない排出重量でも、圏内は人の住めない廃墟となるのであり、核による環境破壊のすさまじさ、恐ろしさを実感できよう。極微量であっても生物にとって安全ではないのである。

#### 【解説8 放射線の健康リスクについて】

国際放射線防護委員会（ICRP）による勧告では、放射線による健康リスクの程度を広島・長崎の原爆被爆者や高自然放射線地域に居住する住民の疫学調査の結果等より次のように報告している。なお、いずれの調査においても100mSv/年程度の線量では、リスクの増加は認められていないと報告されている。

人に対する健康リスク；（10万人当たりがんで死亡する人数；発がんリスク）

・百万人当たりの死亡率

（ICRP；国際放射線防護委員会）

$= 0.057 \times$ 被ばく線量（Sv/年） $\times$ 100万人

上式を用いて被ばく線量に対する死亡率を算定すると次のようになる。

## 《計算事例》

- ①  $10\mu\text{Sv}/\text{年}$   $\Rightarrow$  100万人あたり一人以下の死亡率；一般公衆の被ばく線量の目標
- ②  $15\sim 20\mu\text{Sv}/\text{年}$   $\Rightarrow$  10万人あたり一人以下の死亡率；
- ③  $300\mu\text{Sv}/\text{年}$   $\Rightarrow$  10万人あたり1.7人の死亡率；ICRPの推奨
- ④  $1.0\text{mSv}/\text{年}$   $\Rightarrow$  10万人あたり5.7人の死亡率；平常時の国の基準（自然由来含まず）
- ⑤  $1.5\text{mSv}/\text{年}$   $\Rightarrow$  10万人あたり8.6人の死亡率；日本の自然放射線由来
- ⑥  $2.5\text{mSv}/\text{年}$   $\Rightarrow$  10万人あたり14.3人の死亡率；日本の自然放射線由来と追加の総和
- ⑦  $5.0\text{mSv}/\text{年}$   $\Rightarrow$  10万人あたり28.5人の死亡率；緊急時の暫定基準
- ⑧  $20.0\text{mSv}/\text{年}$   $\Rightarrow$  10万人あたり114人の死亡率；緊急時の暫定基準

なお、当該計算式には二世代にわたる遺伝的な影響も考慮されている。

つまり、日本の自然放射線由来（ $1.5\text{mSv}/\text{年}$ ）と追加被ばく線量（ $1\text{mSv}/\text{年}$ ）の総和である $2.5\text{mSv}/\text{年}$ を目指したものであり、10万人あたり14.3人の死亡率に相当する。追加被ばく線量 $1\text{mSv}$ による死亡率は5.7人であり、自然被ばくと比べてこの分の確率が高くなる。なお、病気による死亡率は、10万人当たり癌が276人、肺炎92.8人、自殺23.1人、腎不全18.5人、肝疾患12.7人、交通事故約4人である。

このように放射線の健康影響を死亡率で表すと非常に分かり易いが、あくまでも集団に対する算定式であり、個人の健康リスクを示すものではないことは重々理解しているが、素人に対してがん死亡リスクを考えるうえで極めて分かり易い。

※1）国際放射線防護委員会（ICRP）2007年勧告（Pub.103）の国内制度等への取り入れに係る審議状況について＝中間報告＝平成22年1月 放射線審議会 基本部会

※5）鍵谷司；シリーズ②「東日本大震災で発生した災害廃棄物の処理について～放射性物質が含まれた都市ごみ焼却灰について～」；環境施

設、No.125、pp.82-91（2011.9）

※環境計画センターホームページ；放射線Q&A；Q-12 被ばく線量と人の健康リスクについて <http://www.e-p-center.net/pg1080/pg1270/index.html>

## おわりに

除染土壌の仮置場を視察しながら、除染範囲が生活圈及び20mまでの林縁部までであり、除染しても除染してもいつまでも森林地帯から放射能が飛散、流出する可能性があり、安心して元の生活に戻ることはなかなか決断できないであろう。被ばく線量は、かなり低く抑えられてはいるが、感受性の高い幼児や子供を育てるには勇気がいる。追加被ばく線量が基準以下であるので安全であると強調しても直ぐそばに被ばくの森が存在するのであり、避難先からの帰郷を難しくしている。

ところで、視察現場はいずれも広大な土地であり、雑草をはじめ植物は放射線にめげずに繁殖していたように思う。が、小鳥は一度も目にすることはなかった。放射線の影響により弱視になると鳥類は飛ぶことも餌を探すこともできない。地上動物なら触感、臭い、温度、振動などを駆使して餌を探すことができるので生き延びれそう。

そういえば、チェリノブイリ事故25年目のドキュメンタリーがNHKで放映されたことがある。事故直後はほぼすべての動植物は死滅したが、高汚染地域は無人地帯で植物が繁殖している。低汚染地域から侵入したネズミが世代交代を繰り返し、放射線に強いネズミが繁殖しているとの報道であった。通常のネズミなら死滅するような強い放射線を浴びても元気はつらつ。なお、最も放射線に弱い動物は「渡り鳥」とのこと。妙に気になる内容であった。「被ばくの森はどうなる！」と題してもう少し調査してみたい。

解説編では、ページ数に制限があるので1項目1,000字程度を目途にまとめたので、計算結果のみ記したり、不十分な説明があると思われる。基本的に重要であると独自に判断したものであり、詳細はネットや専門書を参考にさせていただきたい。