

特集 放射性物質と放射線 —その基礎から除染まで—

福島環境回復—事故後3年の除染

Environmental Remediation in Fukushima—Decontamination 3 Years After

中山 真 一*

Shinichi Nakayama

1. 事故による環境の放射能汚染

原子力発電所の事故によって福島県を中心に広域の環境が放射性物質により汚染された。事故後3年を経た今も10万人以上の人々が避難生活を余儀なくされている。かつて生活を営んでいた場所への帰還と生活再建は、インフラの整備や社会サービスの復活とともに進められなければならないが、健康影響が危惧される程度に放射線量が高いのであれば、あるいはインフラ整備等の作業員の安全を確保するために、まずは除染が必要である。

除染とは、機器や施設構造物から放射性物質を除去することを意味する原子力分野の専門用語である。非放射性の有害重金属や有害有機物で汚れた土壌を洗浄することも、汚染を取り除くという意味では除染と言えるかも知れないが、放射線を放出するという点において放射性物質は特有である。放出された放射線が空間線量として計測されるものであり、物質が体内に入って起こす「内部被ばく」とは別のリスクである「外部被ばく」の原因となる。

事故後早急に食品に対する基準が定められ、一定濃度以上の放射性物質を含む食品の摂取が禁じられた。また、事故後まもなく厳重な出荷前検査が開始され、汚染した食材・食品が流通することはなかった。このため住民の内部被ばくは極めて低い。自宅で採れた、出荷制限がされた、放射性セシウム（以下セシウムを「Cs」と記す。）を高濃度に含むシイタケなどを常食されている方などに内部被ばくが検出される程度であり、福島県内の住民の平均的な体内放射性Cs濃度は、大気圏内核実験の結果として、1964年の日本人成人男性の体内に含まれる値と同程度との報告がある¹⁾。食品に対する緊急措置によって内部被ばくを低く抑えることができた点はチェルノブイリ事故後との大きな違いのひとつである。

現段階においては被ばくのリスクを低下させるとは外部被ばくを抑制することであり、除染の第一義的目的は、生活圏での外部被ばくの原因となる空間線量を下げることである。

なお、内部被ばくを低減させるためには食料中の放射性物質濃度を下げることが必要であり、野菜への移行を抑制するために、土壌中の放射性物質濃度の低下策や、畑土へのカリウム散布が行われた。Csは表土数cm以内に分布し、さらに土壌に含まれる粘土鉱物に強く吸着して容易に離脱・移行しにくい。これらの事実を利用すれば、汚染した表土を鋤き込むあるいは天地返しを行うことによって、土壌中の放射性Cs濃度を長期に亘って低下させておくことが可能である。また、Csと化学的性質が類似し、植物に吸収されやすいカリウムを畑土に散布して優先的に吸収させることにより、結果として食物によるCsの吸収を抑制可能である。こうした田畑での対策は正確に言えば除染ではない。放射性物質を除いているわけではないからである。しかし、表土の鋤き込みによって土壌が放射線を遮へいし、地表での線量率が低下して安全な農作業を可能とする。つまり放射性物質を取り除かなくても放射線量は下がる。

こういった対策は、環境の分野では「環境修復(remediation)」と呼ばれており、汚染物質そのものを取り除く狭い意味の「除染(decontamination)」はその一部である。しかし、今回の事故の後のわが国では「環境修復」のことを広く「除染」と呼んでいるようだ。この点は、remediationとdecontaminationを厳密に使い分けている諸外国の専門家をしてしばしば戸惑わせることになっている。ある国際団体が「日本語には『修復』と『除染』とを同時に表すひとつの単語しか存在しない」と報告書に書き始めたのを見て、筆者の方から「個別の単語は存在するし、とくに専門家は違いも分かっているが、現地では一連の方策全体を『除染』と呼び習わしているようだ」とコメントしたことがある。本稿では、もともと原子力分野の専門用語として使われていた定義を踏襲し、放射性物質を取り除く「除染」を扱うこととする。

現在環境中に残存している放射性物質のほとんどは、半減期が2.06年の¹³⁴Csと30.2年の¹³⁷Csである。¹³⁷Csが放出する代表的な放射線は0.662MeVのエネルギーをもつγ線で、大気中での平均の到達距離は100m程度である。放射線は放射性元素から四方八方（いわゆる4π方向）に飛び出すから、汚染地帯の中のある1点では四方八方からの放射線

*日本原子力研究開発機構 安全研究センター
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2-4
E-mail: nakayama.shinichi@jaea.go.jp

を観測することになる。その場の土壌や建物に付着しているCsを除去しても、数十メートル先から飛来する放射線によって空間線量がなくなることはない、このことが放射性物質の除染を複雑なものにしている。

放射性物質による汚染は、後述するように、除染の対象とされている市町村だけで福島県をはじめとする8県111市町村（2013年6月25日）の広い範囲に及ぶ。汚染の程度は地域によって大きな差異があり、自然のバックグラウンドである毎時0.05 μ Sv程度を超えるくらいの地域から、発電所に隣接するあるいは近傍のように毎時数10 μ Svを超える地域も存在する。事故後まもなくでは、年間20mSv（＝毎時2.3 μ Sv）を超える地域は約500km²、年間5から20mSvの地域は約1,300km²に及んだ。

ベクレル (Bq) で表される放射線量で言えば、例として、事故直後の2011年4月から7月にかけて福島県など7県の合計数百か所の田畑で測定されたデータによれば、621km²の田畑が土壌キロ重量あたり1,000Bq以上の放射性Csで汚染され、83km²が5,000Bq以上に汚染された。25,000Bq以上を観測した田畑も存在する（2011年6月20日現在の値に換算）。ちなみに半減期が30年の¹³⁷Csでは、10万Bqという大きな値もグラム数に換算すれば1億分の3gである。その僅かな量を除去することが除染を難しくしている要因でもある。

このように放射性物質で汚染された広域の環境に対して除染が進行中である。汚染が特に高い大熊町、富岡町を含み、いわゆる避難指示区域と言われる11市町村は国が、線量が低めの、福島県内の市町村を含め8県100市町村は市町村が除染を行う。契約状況、計画ははじめ除染の進捗状況はJR福島駅近くの環境省除染プラザの壁一面に市町村ごとに貼り出されている。少しでも早く揭示しようとの意図か、手書きである。

どのような場所をどの程度までいつまでに除染をするのか、つまり除染の方針は2012年1月に施行された「平成二十三年三月十一日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故により放出された放射性物質による環境の汚染への対処に関する特別措置法」（以下「特措法」という）に定められた。除染期間を当初一律に2年と決めて除染活動が開始されたが、諸事情によりいくつかの自治体では遅れが開始された。このため、昨年（2013年）9月に環境省は、後述する「汚染状況重点調査地域」に対して、市町村ごとに除染完了時期を見直すこととなる。

本稿では、広域環境除染の現況を紹介するとともに、除染廃棄物の管理などこれからも検討を要する事柄について触れたいと思う。

なお、本稿は、事故を起こした原子力発電所の敷地外を対象とした、いわゆる環境の除染について述べている。発

電所内の除染は、環境の除染と技術的に同様な部分もあるが、原子炉の廃止措置と一体に扱うものであり、特有の技術開発が多々あるためその道の専門家の筆に委ねたい。

2. 広域環境の除染

被災地域におけるすべての除染活動及び除染活動により発生する廃棄物の管理に取り組むための主たる法律文書は、前出の特措法である。2011年8月に制定され、2012年1月に施行された。その基本方針が2011年11月に定められたことにより、除染活動を実施するための制度的枠組みが構築された。

被災地域は、特措法に従って2つの地域に編成された。ひとつは「除染特別地域」と呼ぶ。この地域は、福島第一原子力発電所から半径20km圏内（旧「警戒区域」）及び個人の年間積算被ばく線量が20mSvを上回ると予想される地域（旧「計画的避難区域」）を合わせた11市町村にまたがり、楢葉町、富岡町、大熊町、双葉町、浪江町、葛尾村及び飯館村の各全域、並びに田村市、南相馬市、川俣町、川内村で警戒区域又は計画的避難区域であったことのある地域が対象である。この地域の除染は国が市町村と協議・調整を行い、実施計画を策定し、国が除染を実施する。もうひとつは「汚染状況重点調査地域」と呼ばれる。この地域は個人の年間線量が1～20mSvになると推定される区域であり、市町村が除染計画を策定し、市町村が除染を実施する。年間1mSvは毎時0.23 μ Svに相当する^{注1)}。

除染特別地域は、2012年3月31日時点で補正した年間積算線量の分布に基づき、さらに3区域に分類された：年間積算線量が20mSv以下になることが確実であると確認された「避難指示解除準備区域」、年間積算線量が20mSvを超えるおそれがあり、住民の被ばく線量を低減する観点から引き続き避難の継続を求める「居住制限区域」、および年間推定線量が50mSvを超え、5年経過してもなお20mSv/年を下回らないおそれのある「帰還困難区域」である。最初の2区域、つまり「避難指示解除準備区域」および「居住制限区域」は「帰宅を希望される方全員が1日も早くご帰宅できるよう、除染を進めていきます。」とされる区域であり、最後の「帰還困難区域」は、「5年以内にお戻りいただくことがむずかしい状況」の区域である。区域は、大字、小字または行政区単位で設定された^{2, 3)}。

上記3区域のいずれにおいても、除染によって、長期的

注1) 除染に関連する線量は全て追加線量である。「追加」とは、自然のバックグラウンドを上回る、事故によってもたらされた線量を指す。また、個々の被ばく低減が目的であるから、考慮すべき線量は、防護量である実効線量であるべきだが、当初測定された実用量である空間線量に基づいた議論が行われてきている。それが本文中の「年間1mSvは毎時0.23 μ Svに相当する」という表現となって定着してしまった。本件については後ほど再度触れる。

には年間1 mSv以下となることを目指すが、当面の目標として、「避難指示解除準備区域」においては、2013年8月までに年間追加被ばく線量を2年前の2011年8月と比べて物理的減衰を含め50%以下、ただし、子どもについては60%以下とする。「居住制限区域」については20mSv以下を目指す。最も線量の高い「帰還困難区域」に対しては線量目標を立てず、まず除染モデル実証事業を実施し、除染技術および作業員の安全確保策を確立する。

一方、汚染状況重点調査地域は、空間線量率が毎時0.23 μ Sv以上を目安として指定された地域であり、8県100市町村に及ぶ。各市町村の除染計画は、地域の実情に応じて市町村が定めることとされ、特措法の基本方針上、特に期限を示していない。福島県内を中心に5年間、それ以外の多くは2～3年間を除染計画期間としている。

進捗状況については、環境省のホームページを参照されたい^{4, 5)}注2)。市町村ごとに報告されている。

当初2年間の予定を定めて開始された除染活動であるが、市町村によって進捗に差が出始めた。その理由は、区域見直しや除染計画の策定に時間を要した、放射線の健康影響や除染の効果についての懸念があり除染に着手するまでの調整に時間がかかった、あるいは降雪等の自然影響や補償業務の追加などの現場条件により時間を要した、などである。こうした事態を受け、環境省は2013年9月に、一律に2年間で除染し廃棄物の仮置場への搬入を目指すとした従前の目標を改め、個々の市町村の状況に応じ、復興の動きと連携した除染を推進することとして、市町村ごとの計画に見直した。

市町村、あるいは市町村内の区域によってさまざまな社会的、技術的事情があり、除染が一様には進まないであろうことは除染というものを多少とも経験したものであれば容易に想像がつくことであり、より柔軟に計画を見直して効果的で着実な除染が加速されることを期待したい。

このとき環境省は併せて、森林汚染対策の見直しと、いったん除染した場所のフォローアップモニタリングの結果についても公表している。

地域や樹種によって濃淡はあるが、汚染面積の7割を占める森林は放射性Csの巨大な貯留場所である。現在行われている除染活動の主目的は避難住民の帰還・生活再建を可能にするためであり、除染のターゲットは生活圏である。森林の奥深くはこのため除染対象とはされていない。一方、福島では林地に囲まれた、あるいは林地を背後に背負った住宅地は多く、もし住宅地における線量が高く、かつもしその線量の無視できない割合が近傍の林地に留まっている

注2) 除染特別地域の「避難指示解除準備区域」、「居住制限区域」および「帰還困難区域」への区域区分、ならびに除染特別区域および汚染状況重点調査区域の場所と進捗状況は参考文献リストに示したアドレスにカラーでわかりやすく示してある。

放射性Csからの寄与であるならば、生活圏である住居の線量を低減させるために、樹木や林床を除染する必要がある。

それでは、林縁部からどれだけ奥までを除染の対象とすればよいか、これを初期に調べた例が南相馬市で行われた試験であり⁶⁾、その結果から、「林縁部から奥に10mあるいは20mといった程度の除染により、林縁部における空間線量率を有意に（たとえば数十%）低下させることが可能であった」というものだった。放射線強度が距離に対して逆二乗則で変化するという性質を考えれば、これ以上に深い箇所を100m、200mと除染しても有意な効果は得られにくく、ましてや、生活圏の線量低減のために、森林全体を除染する必要はない。さらに、除染は、局地的な地形や植生や建物の配置や、あるいは農地では土壌の物理的性質によってさえその効果が影響を受けるために、場所によってはほんの数mで済む場合もあろうし、地形的な要因などにより例外的に20mを超えて除染する必要のある場合もあろう。林縁部からの奥行距離を一律に決めるのではなく、それぞれの除染現場において効果を確かめつつ除染範囲を決めるべきである、というメッセージも併せて発出した。

南相馬市での成果や他の調査結果を踏まえ、環境省は『除染ガイドライン』の中で林縁部から約20mを除染するとしたのだが、除染現場ではこの「20」が、おそらくは過剰に意識され、実情とあっていないことが判明してきた。そのため、環境省は森林の除染を再検討したというのが今回の見直しの発端のひとつと推測する。

見直し案では、除染に関するのみならず、環境省と林野庁が連携して各種取組を推進することとしているが、直接的な放射性物質対策としては、20m以遠の下層植生が衰退している箇所について放射性物質の流出・拡散防止対策を行うこと、林縁において、風向・風況による線量変動の調査、ダストサンプリングによる飛来物質の放射性濃度の測定を行うことなど、きめ細かい対策を示した。

福島はチェルノブイリと異なり、山林が多く、除染をするとしても斜面崩落や土砂流出の防止、水源としての保全、作業員の安全確保などとのバランスを考慮する必要がある。一方で、森林がCsの貯留場所となっている以上、森林近傍においては、放射線やCsを付着させたダストの飛散は住民にとって気懸りであり、そのような懸念に対する処置もされたということだ。

フォローアップモニタリングもまた除染効果への住民の懸念に対する活動である。これは、除染終了後に除染効果が維持されている確認のために行うものである。一旦除染しても周囲が除染されていなければ、汚染している落ち葉や水の流れによって再度汚染される可能性は否定できない。こうした再汚染が有意に生じていないことを確認し、またもし線量の上昇が確認された場合には対処する。

ちなみに、現在行われている除染に先立ち、かつて誰も経験したことのない広域環境の除染に関する総合的な知見を整備するため、日本原子力研究開発機構は内閣府委託「除染モデル実証事業」を実施し、2011年11月から2012年6月にかけて、避難指示区域内の18地区、合計約200haに亘って試験的除染を行った⁷⁾。再汚染の可能性は事業終了時から意識しており、その可能性を把握するために14か所では事業終了後モニタリングを継続した。その結果⁸⁾によれば、除染終了後のおよそ1年間は面的な線量上昇は観測されず、除染の効果が維持されていることがわかる。除染は極めてサイトスペシフィックであり、またCsの移動はたいへん遅いことから、ここで示した限られた場所の限られた期間に対する結果だけで再汚染を否定することは当然控えるべきだが、当初思われていたような「除染しても無駄」といったことは決してないということを示すデータである。

地形の変化に富み、また生活の場所として土地利用形態が多様であるので、将来のCsの動きを予測することは容易ではない。そのため、今後もモニタリングを継続してデータを蓄積するとともに、物質移動を数理的に解析して中・長期的な将来分布を示すことが必要である。国内の研究機関がこの環境動態研究に乗り出しており、日本原子力研究開発機構においても大規模な調査・研究F-TRACEプロジェクトが進行中である⁹⁾。

F-TRACEプロジェクトの中で再汚染と関連した観測のひとつは、浪江町の請戸川河川敷のCs蓄積である。Csは土壌粒子に吸着しており、河川水中に溶存態としては殆ど含まれていない。土壌粒子に吸着したまま、大雨後などの増水時に濁流となって運ばれる。濁流が河川敷を通過する際に土壌粒子がトラップされ、結果的にCsが留まることになる。

浪江町の請戸川河川敷は子供たちの遊び場であった。このような生活域の一部にCsが蓄積し線量が高いままでは、住民の帰還を阻む理由になりかねない。一旦除染したとしても、濁流が発生すればCsが再度蓄積することが考えられる。Csは上流の森林から供給されるのである。

河川は環境省が進める除染の対象に入っていない。現在進行中の大規模除染活動の中では、河川敷は除染されない。試験的に除染の効果を調べることで、蓄積の程度を推定すること、そしてそれらの結果に基づいて遮へいなどの何らかの措置を講ずることを検討してはどうだろうか。住民の帰還と生活再建が除染の目的のはずである。

3. IAEA除染ミッション

広域に亘って放射性物質による汚染が生じた大規模事故は、英国のウィンズケール火災事故、ロシアのチェルノブイリ事故について福島が3度目だと言われる。事故はどれ

も様相が異なるものであるが、福島では、多くの住民の生活圏が汚染されたこと、汚染面積の7割が山地で占められるなど地形が複雑であることなど、特有の汚染状況を呈した。

そのような汚染状況に対する除染戦略・除染方針・除染方法は当然ながら過去の事故とは異なるものであり、これほどまでに大規模な除染が行われたのは世界で初めてである。投入している資金額に見合った効果がないとの評価も否定はしないが、一方で、実にさまざまな技術が開発され、試され、それらをきちんとドキュメントすれば、今後起こる可能性のある原子力事故に対する国際的に貴重な備えとなり得る情報だ。

本稿では、紙面の都合から、除染の技術について紹介することはできなかった。除染の技術と言っても、除染がモニタリング、放射性物質の除去、除染で発生する廃棄物の管理、作業員の安全確保などを含む一連の作業であることを考えれば、モニタリングのための航空サーベイや走行サーベイ、廃棄物減容のための焼却技術・分級技術などを含め、多方面・多彩な技術が試され、開発されてきている。それらの成果もまた将来のための貴重な資源である。

2013年10月、国際原子力機関IAEAは、日本からの要請に応じ、日本における環境修復活動を評価するために、13人の国際専門家による調査団を派遣した。「除染ミッション」と呼んでいるこの一団は、日本が提供する環境修復に関する情報の分析、日本の関係機関（国、県、地方の各機関）へのインタビュー、除染現場、廃棄物・土壌の一時貯蔵サイト、下水汚泥焼却実証施設など被災地域への視察を精力的にこなした¹⁰⁾。

除染を含むこれまでの環境修復活動に対して、除染ミッションは、日本が被災者の生活環境を向上させるために多くの資源を割り当て、その取り組みの結果として十分な進捗を達成していると概ね良好な評価を下した。とともに、8項目の指摘事項（「助言」）を与えてくれた。本稿の趣旨からはいささかずれる事柄もあるが、そのうちのいくつかをここに記載して除染に伴う今後の課題を代弁してもらうことで本稿のまとめとしたい。

IAEAは、除染の目標とする線量について、「政府は、人々に1mSv/yの追加個人線量が長期の目標であり、例えば除染活動のみによって、短期間に達成しうるものではないことを説明する更なる努力をなすべき」であり、それによって「生活環境の向上のために不可欠なインフラの復旧のために資源の再配分を可能」とするとした（助言2）。続く助言3では、そのことも含め、環境回復と復興に係るさまざまな活動の全体像や相互関係を当事者間で十分共有すべきであることも主張している。意思決定のための当事者間でのコミュニケーションが決定的に不足していることへの指摘と筆者は受け取っている。「環境回復と復興の全体的

なプログラム,様々な構成要素がどのように関係するか(たとえば,被ばくの低減と廃棄物量の増加のトレードオフ)を伝えることで,不確実性を低減し,意思決定への信頼をより高めることができると確信している.全体的な見通しを掲げることは,重要な利害関係者の参画を事前に計画する機会を提供し,事後に対応するよりも前もって対応するプロセスを可能にする.このような活動を実施できるように,自治体の間でこのような活動を共有するためのプロセスを設定することが有益である.このようなアプローチは,人々の信用を高め,より多くの人々が警戒区域の外部から各自の自宅に帰還できることに寄与するだろう。」(助言3)

除染の程度を決める線量基準については,空間線量率ではなく,「個人線量計で測定されるような,個人線量の活用」が必要としており,原子力規制委員会が個人線量に基づいて帰還の判断を検討していることを支持している(助言4).個人線量を表す防護量である実効線量と,実用量である空間線量とは,同じシーベルト単位で表される数値であっても線量概念が異なる.事故後被災地域で個人線量を直接測定することができなかつたため,各種のモニタリングで得られる空間線量率から,一定の仮定に基づいて個人線量を推定してきた.これが,「年間追加被ばく線量1 mSv=空間線量率毎時0.23 μSv」である.しかし,そもそも線量概念が異なるのであるから,個人被ばくは個人が受ける線量に基づいて判断すべきである.個人が受ける線量は生活スタイルや生活場所など生活様式によって異なるのである.こうした意識は徐々に自治体にも浸透し,伊達市や田村市などでは住民に線量計をもってもらい,個人線量を測定している.空間線量率から換算した数値に比べ1/3~1/5と低い値が報告されている.

IAEA報告書の中でもう1点原子力規制委員会への期待が現れていると考えられるのは,「責任を有する組織が,特に長期間にわたる活動において,汚染物を管理するための施設および活動の安全性について適切に示し,独立した評価を考慮に入れることを推奨する」とした助言8である.

本稿では除染活動によって発生する廃棄物について触れることができなかったが^{注3)},事故以前に原子力施設から計画的に排出された廃棄物を所管してきた原子力安全・保安院および文科省の機能を引き継いだ現在の原子力規制委員会は,やはり規制対象とする放射性廃棄物は施設内で発生したものに限定している.除染および除染廃棄物の管理は環境省が事業主体であり,その事業に対する規制当局は今のところ存在しない.このことは国際的には奇異なことであり,とくにIAEAとしては指摘しておきたいことであろう.

注3) 事故によって原子力施設の外で発生した放射性物質で汚染された廃棄物は既存の法律の隙間に入り込み対応できず,事故後矢継ぎ早にさまざまな規則・基準が作られた.この辺りの経緯は文献¹¹⁾に詳しい.

その他除染に係る技術的事柄として,農業生産に関しては,植物による物質吸収作用を考えれば,表土を剥ぐことに抛らずとも,放射性Csの吸収を減らし安全な食品を生産できること,それによってまた土壌に含まれている栄養素を維持し,処分される必要がある除去土壌の量を減少させることが可能であること(助言5),また,森林に関しては,住民の線量低減を目指しつつ,「可能な場合には森林の生態学的機能を損なうことがない場所」に取組を集中することにより,住宅地域,農地および公共の場所の周囲にある森林地域の環境回復の最適化を継続することを推奨する.線量率および住民の懸念の面での便益と,環境回復作業者の職業上の危険について考量する必要がある」と除染に際してのバランスに言及するとともに,「土壌流出と放射性物質の挙動の影響について,森林における放射性Csのモデルを使用し,評価すべきである.日本の研究機関による現在の研究活動をこの評価に含めることが推奨される」と今後の放射性物質の分布予測を示すことの必要性も指摘した(助言6).

謝辞

本稿の執筆にあたり,日本原子力研究開発機構の油井三和,中井俊郎,宮原要,浅妻新一郎,川瀬啓一各位より貴重なご意見をいただきました.

参考文献

- 1) 早野龍五;福島の内被ばくと外被ばく—福島のリングテール,日本原子力学会誌,56-1(2014),30-36.
- 2) 環境省;除染特別地域の一覧・計画について, <http://josen.env.go.jp/area/roadmap.html>
- 3) 環境省;避難指示区域の概念図, http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/130808/130808_01a.pdf
- 4) 環境省;除染特別地域における進捗状況, <http://josen.env.go.jp/area/index.html>
- 5) 環境省;汚染状況重点調査地域における進捗状況, <http://josen.env.go.jp/zone/index.html>
- 6) 日本原子力研究開発機構;平成23年度福島第一原子力発電所事故に係る福島県除染ガイドライン作成調査業務報告書,平成24年3月, http://www.jaea.go.jp/fukushima/kankyoanzen/guideline_report.html
- 7) 日本原子力研究開発機構;福島第一原子力発電所事故に係る避難区域等における除染実証業務,平成24年6月, http://www.jaea.go.jp/fukushima/kankyoanzen/d-model_report.html
- 8) 環境省;除染モデル実証事業後の空間線量率の推移について, http://josen.env.go.jp/material/pdf/transition_130607.pdf,平成25年6月.
- 9) 日本原子力研究開発機構;福島県における放射性核種の環境中移動調査・研究～福島長期環境動態研究(F-TRACE)プロジェクト～, <http://fukushima.jaea.go.jp/initiatives/cat01/pdf/project.pdf>
- 10) 環境省;福島第一原子力発電所外の広範囲に汚染された地域の除染に関するIAEA国際フォローアップミッションのサマリーレポート, http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=23190&hou_id=17283,平成25年10月21日.
- 11) 森口祐一;放射性物質で汚染された廃棄物への対処, <http://ja.scribd.com/doc/91893496/Kagaku-201204-Moriguchi>,岩波「科学」.