

# 循環する放射能

東京電力福島第一原発事故の生態系への影響（抄訳）

Summary of Greenpeace report

## Radiation Reloaded :

Ecological Impacts of the Fukushima Daiichi Nuclear Accident  
5 years later





## はじめに

2011年3月11日に、東京電力福島第一原発事故が始まってから5年が過ぎた。マグニチュード9の地震が東日本太平洋沿岸を襲い、高い津波が追い打ちをかけた。1万5,893人の命が奪われ、6,152人が負傷、いまだ2,500人以上が行方不明だ。

東京電力の福島第一原発で3つの原子炉が炉心溶融（メルトダウン）、爆発などで原子炉建屋も大破した。引き金は自然災害だが、この原発事故は人災だ。国会事故調査委員会は報告書で、規制当局が電気事業者の「虜（とりこ）になっていた」こと、「安全文化の欠如」が根本原因だとした。

国際原子力事象評価尺度（INES）でレベル7とされた原発事故は史上二つしかない。チェルノブイリと東京電力福島第一原発事故である。福島原発事故は膨大な量の放射能を大気と海洋に放出したが、その大半が、西風に乗って太平洋に流れた。

しかし、風が内陸に向かって吹き始めると相当なレベルの放射能が福島県の深々とした森や山々、沿岸の平野に沈着し、陸域を高濃度に汚染した。この事故で16万人以上が避難を余儀なくされ、5年を経ても10万人近くが避難を続けている。

3月14日から16日にかけて2、3号機の爆発から放出された大量の放射能が風で原発の北西に流れ、雨で沈着、原発から40キロの飯館村などに深刻な汚染を引き起こした。

この4年間、飯館村の除染に巨額の資金と大量の人員が投入され、除染作業が続けられている。除染作業員の献身的な仕事ぶりは尊敬に値する。作業員は汚染された建物や歩道、道路を擦り、表面の土壌や小石を取り除いている。それらは1平方メートルのバッグに詰められ、県内に分散された除染廃棄物仮置き場に積み上げられる。森林は民家や道路縁から20メートルが「除染」されるが、森林生態系の複雑さとその中で放射能の移動により、除染の効果は極めて限定的だ。

グリーンピースによる調査は、避難指示がすでに解除、または解除されようとしているいくつかの区域の放射線レベルが、人々が安全に帰還できるほどは下がっていないことを明らかにした。この問題は、国が人々の健康より政治を優先していることを示している。国は現在人が住んでいる場所よりも、今は住民のいない避難区域の除染を優先しているが、現在人が住んでいる場所にも高線量の場所はあるし、人が住んでいる場所の除染こそ、被ばく低減に効果がある。

東京電力福島第一原発事故の環境への影響を理解することは非常に重要だ。それは、人への影響を理解、予測することにほかならない。人は、農業、漁業、林業、それに飲料水のために、森、野辺、川、湖やダムを利用している。

原発事故の被害者は人間だけではなく、植物、動物といった生態系も、この人災によって、不可逆的な被害を受けている。

では、どのような被害なのか？  
どれほど長く、人間や植物や動物の住処である環境に放射線の影響を与え続けるのか？

この重要な問いに答えるべく、東電福島原発事故、チェルノブイリ原発事故そしてキシュティムの核惨事の環境への影響を調査した内外の科学者による文献を吟味した。

そこから引き出された結論は、過酷事故が起これば汚染された広大な地域の「除染」や「修復」は不可能だということだった。

生態系に入り込んだ放射能は堆積し、循環し、消えることはない。

原発の再稼働が迫る今、とくに、関西の深々とした森や山々を抱く地域にとって、東電福島原発事故からの学びが今ほど必要な時期はない。

過酷事故が起きれば、被害を受けるのは人間や都市だけではない。森林、山、河川流域、湖、海岸が、数百年というスパンで汚染される。動植物も相当な被害を受ける。原発立地県と隣県は、甚大な、そして長期的な経済的損失を被るだろう。

このレポートは、「Radiation Reloaded : Ecological Impacts of the Fukushima Daiichi Nuclear Accident - 5 years later」(英文：全52ページ)の抄訳です。

全文(英文)はこちらからダウンロードが可能です。

[http://www.greenpeace.org/japan/ja/library/publication/20160304\\_report/](http://www.greenpeace.org/japan/ja/library/publication/20160304_report/)

# 循環する放射能：

## 東京電力福島第一原発事故の生態系への影響（抄訳）

### 森への影響

東京電力福島第一原発事故以降、環境中の放射能レベルは低下しているものの、この低下傾向は、森林生態系、淡水の水生生態系のどちらも、ほぼ5年で底をつく見込みだ<sup>1</sup>。その後、かなり「安定的な」汚染継続状態に達する。この状態に入ってからさらなる放射能レベルの緩やかな低下は、長寿命核種の崩壊によるものが中心となる。

チェルノブイリとキシテムの核惨事の調査結果で注目すべきは、森林では、事故から5年が経過した後も、根系からの放射性セシウムの摂取量と、表面や植物の内部からしみ出してきたものが洗い流されたり、落葉によって林床へ戻る量とのあいだに、ある種の均衡状態が達成されるまでの期間、根系による摂取量が林床へ戻る量を上回る結果、植物の地上部分の放射性セシウム濃度が緩やかに上昇する可能性を示す証拠があがっている点だ<sup>2</sup>。

日本政府は、除染として、森林の縁と家屋から20メートルの範囲内の落葉、腐葉土、植物を除去している。森林は福島県の全面積の70%以上を占めており、この方法では効果は著しく限定的となる。

東電福島原発事故で放出された放射性核種のうち、大変危険であるセシウム134、セシウム137、ストロンチウム90の3つは、カリウムおよびカルシウムと極めて似た動き方をする。セシウムを含む微粒子<sup>3</sup>と気化した水溶性の放射性セシウム<sup>4</sup>のうち、降雨や霧とともに湿性沈降物として落下した水溶性セシウムは、樹皮や葉の表面を介して樹木の内部組織のなかに容易に吸収される<sup>5</sup>。今後の数年、数十年にわたって、高い放射能をもつ不溶性の微粒子、ホットパーティクルは、自然条件のもとで、セシウムを溶出すると考えられる<sup>6</sup>。また、放射性セシウムとストロンチウム90は、根系からも吸収される<sup>7</sup>。

ひとたび樹木の内部組織中に吸収されたセシウム134とセシウム137は、栄養素の流れに乗って移動し、茎葉構造や、花、花粉といった成長速度の速い組織内で濃縮される<sup>8</sup>。福島森林におけるスギ花粉の放射性セシウム濃度は高いと思われる。一般的には、これらの潜在被ばくは極めて低いとされている<sup>9</sup>。しかし、もっとも汚染がひどい森林における放射性セシウムの濃度や、そうした地域での人体への潜在的被ばくリスクについては、ほとんど解明されていない。花粉に高濃度の放射性セシウムが含まれることは、チェルノブイリの立ち入り禁止区域内の汚染された森林でも<sup>10</sup>、ミュンヘンでも<sup>11</sup>、クローアチアの顕花草本植物類でも確認されている。また、



© Jeremy Sutton-Hibbert / Greenpeace

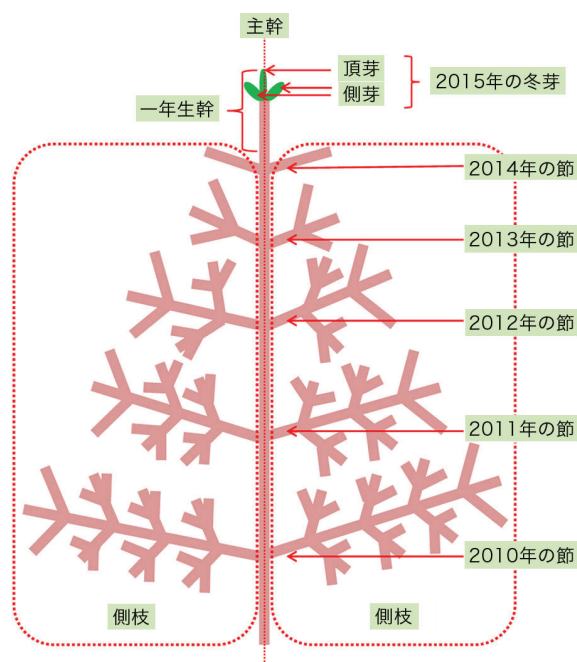


クオアチアのケースでは、放射性セシウムが花粉に含まれるだけでなく、放射能に汚染された花からミツバチが集めた蜂蜜にも含まれていた<sup>12</sup>。

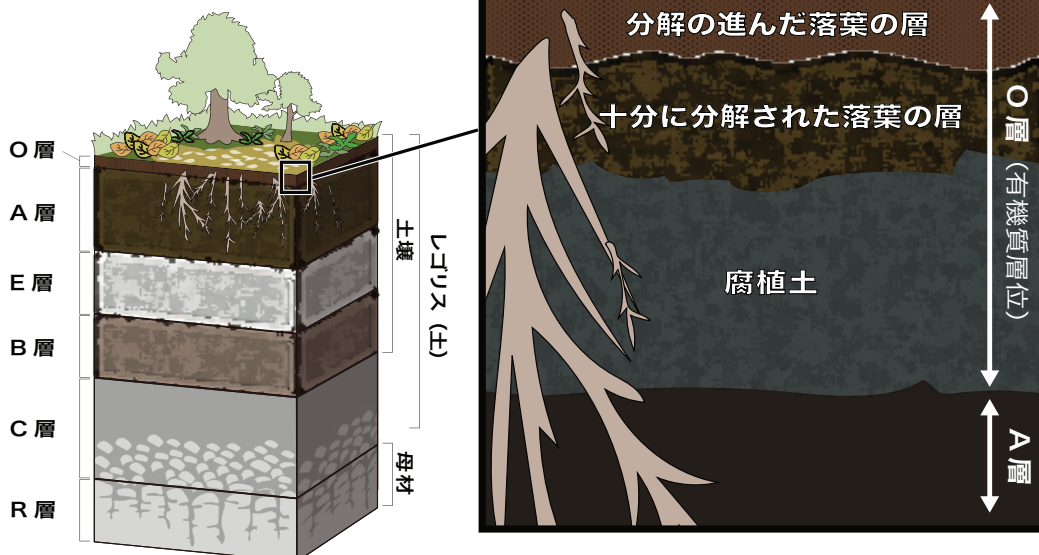
福島県では、地表にたまった落葉や腐葉土を除去する除染作業によってほとんどの放射性セシウムが除去される、との想定に立って、立ち入りが制限されている区域以外での木材生産の継続は認められてきた<sup>13</sup>。この想定は、今のところ正しいようだ。しかし、セシウムは（根から林冠へ、逆に林冠から根へと）上下方向に移動するだけでなく、横方向にも移動するため、環境中に放射性セシウムが放出されるよりもはるか以前に形成された年輪でさえも、汚染されてしまう<sup>14</sup>。福島で汚染されたアカマツ、ナラやカシ、スギを用いた検査結果は、放射性セシウムの濃度は樹皮と辺材がもっとも高いとはいえ、放射能汚染が樹皮と辺材だけでなく心材にも達していることを示しており、このことから、樹木の組織内では放射性セシウムの横方向の移動が急速に生じていることがうかがわれる<sup>15</sup>。

セシウムが移動して心材にまで到達するメカニズムは十分に解明されていないが、この移動はおそらく水分濃度が高くなるにともなってカリウム濃度も高くなる、という水分濃度とカリウム濃度の相関関係によるのではないかと研究者たちは見ている<sup>16</sup>。樹木内の物質循環において、セシウムはカリウムにとって代わりうるので、セシウムについても同じことが当てはまるものと思われる。日本で商業的に重要な木材であるスギに関して、特に気懸りは、アカマツやナラ・カシと違ってスギの場合は、心材における水分とカリウムの濃度が高いことだ<sup>17</sup>。事実、大気中核実験の放射能降下物によるスギの組織内のセシウム濃度について調べた複数の研究によって、スギの心材におけるセシウム濃度は、他の樹木以上に高いことは、すでに明らかになっている<sup>18</sup>。今後根系からのセシウム吸収量が増え、放射性セシウムの樹木組織内の移動が続くなかで、放射能汚染された森林でのスギ材の伐採・生産が継続されるならば少なからぬ影響が生じる可能性がある。スギが商業上重要な木材であることを考えると、福島県で生産されるスギ材については、今後数年、数十年にわたって、入念にモニタリングが必要だ。

東電福島原発事故由来の放射能に汚染された地域のモミの木に生育異常が発見されている<sup>19</sup>。放射能レベルと、梢の先端部 — つまり、木が垂直方向にまっすぐに成長するのを可能にし、やがては木の幹となる、樹頂における年々の新たな芽生えの部分 — が欠落するという生育異常の発生率とのあいだには、顕著な相関関係が見られた<sup>20</sup>。研究は、こうした異常が放射能以外の要因が原因でも起こりうるとしているが、一般的にモミを含む針葉樹は放射線感受性が高いことを踏まえ、放射能が一因である可能性を示唆している<sup>21</sup>。



出典：http://www.nirs.go.jp/information/event/report/2015/0828.shtml より作図





土壌や腐葉土内へのセシウムの縦方向への浸透は、植物が吸収することと外部被ばくのリスクの両方にとって、きわめて重要だ。東電福島原発事故の影響を受けた地域の森林でおこなわれた数々の調査は、大半のセシウムが表面（0から5センチメートル以内の土壌の最上層部）つまり植物にもっとも吸収されやすく、被ばくリスクも最大となる範囲内に、とどまっていることを示している<sup>22</sup>。菌類と根との共生関係も、放射性セシウムの吸収を促進させる可能性があるが、この放射性セシウムの吸収は、さらに鉱物に結合しているセシウムの遊離や移動をもたらす可能性があるのだ<sup>23</sup>。チェルノブイリとキシテムの汚染された森林の場合と同様に、植物体によって捕捉され、その組織内に吸収されることによって、放射性セシウムは、今後何年も、何十年も、樹木の表層部分にとどまり続ける可能性が高い、と考えられる<sup>24</sup>。

さらに、チェルノブイリの調査結果によると、放射能汚染は、分解者に対してマイナスの影響を及ぼすと見られる<sup>25</sup>。例えば、落葉の分解が進まなくなる結果、落葉の堆積量が膨大になる。チェルノブイリの場合、放射能の影響によって落葉の堆積量が増加したことが、森林火災の発生件数を増やし、火災をより激しくした原因だ、とされている<sup>26</sup>。そうした森林火災、とりわけ樹冠火が発生すると、それまで樹木の組織内に隔離されていた放射性元素は、吸入されやすい非常に微細な微粒子状となって、遠くまで運ばれ、上層大気中へと再度浮遊する可能性がある<sup>27</sup>。

ある火災ハザード解析によると、福島県の里山の針葉樹林における火災発生リスクはきわめて高い<sup>28</sup>。福島県のウェブサイトによれば、火災がもっとも発生しやすいのは3月から5月にかけての乾季だという<sup>29</sup>。また、同ウェブサイトは、2014年に県内で発生した野火が43件にのぼったと記している<sup>30</sup>。

## 森の生き物への影響

野生動物も汚染された植物や草食動物を食べたり放射能に汚染される。つまり、セシウムが食物連鎖の上位へと移動する。また排せつ物も、放射性セシウムの転移に寄与する<sup>31</sup>。

国際原子力機関（IAEA）はすでに、東京電力福島原発事故起源の放射能は野生動物に影響に及ぼすことはなさそうだ、と断定する一方で、自ら、生態系や野生動物への影響について検討したわけではなく、個体への影響のみ関心を払ったことを認めている<sup>32</sup>。IAEAはさらに、自分たちが採用した方法論は、国際放射線防護委員会（ICRP）が提唱する方法論に基づくものだということも認めているが、ICRPのモデルが主として依拠しているのは、実験室あるいは制約条件付きの環境下での個体の研究なのだ<sup>33</sup>。

ところが、近年、フランス政府系機関である放射線防護原子力安全研究所（IRSN）は、チェルノブイリの立ち入り禁止区域内の野生動物に関する複数の研究において、自然状態にある動物の方が、実験室ないしは制御された環境内での実験における動物よりも、人工の放射能への恒常的な低線量被ばくに対してより敏感である可能性がある、と結論を出した<sup>34</sup>。その理由としては、ストレス要因の増加と被ばく時間の長さを含むが、これらだけに限定されない多くの要因が考えられる、ということが示唆された<sup>35</sup>。事実、IRSNは、放射能で汚染された自然の生態系においては、野生動物は非汚染環境におけるより8倍も敏感になりうる、と結論づけた<sup>36</sup>。

このことは、非常に大きな意味をもっている可能性がある。つまり、これに照らせば、野生動物の放射能汚染リスクを評価するための従来の方法は、時代遅れであり、きわめて的外れな仮定に立っていた、と考えられるのだ。



福島県の飯館村で調査をするティモシー・ムソー南カリフォルニア大教授。2015年7月

© Jeremy Sutton-Hibbert / Greenpeace



事実、野生生物への影響については、汚染濃度が高い地域で採取されたヤマトシジミという蝶<sup>37</sup>、ゴール形成アブラムシの異常<sup>38</sup>、ミミズのDNA損傷<sup>39</sup>などが、いくつかの研究によってすでに指摘されている。

さらに、2011年から2014年までの4年間にわたって、福島第一原発から50キロの圏内で57種の鳥類を調べたある研究では、放射能レベルが高くなるにともなって種の多様性が低下することが報告された<sup>40</sup>。その上、調査した鳥類の90%は、繁殖力への影響の可能性が考えられるレベルの放射能に、慢性的に被ばくしていた<sup>41</sup>。

ツバメの巣を調べた別の研究は、雛鳥の個体数が減少していることを明らかにし、繁殖力の低下を示唆している<sup>42</sup>。この研究結果は、上で言及した研究結果とも一致していると言える。さらに、チェルノブイリの汚染地域における複数の研究で、放射能レベルが高くなるのに比例して鳥の脳の大きさが縮小する<sup>43</sup>、白内障の発症率が増加する<sup>44</sup>、白皮症と腫瘍の発生率が増加する<sup>45</sup>ことが示されている。



© Andrea Bonisoli Alquati

チェルノブイリ立ち入り禁止区域。2007年

## 森から川へ

大気中の放射性降下物の大半が、葉の茂った木々によって受け止められること、そして森林の生態系が放射能を貯める巨大な貯蔵庫の働きをすることは、よく知られている<sup>46</sup>。放射性降下物によって汚染された当初は、放射性降下物の一部は降雨によって急速に流域へ洗い流される。残りの部分は、河川の集水地域に蓄えられ、長い時間をかけてゆっくりと移動する<sup>47</sup>。

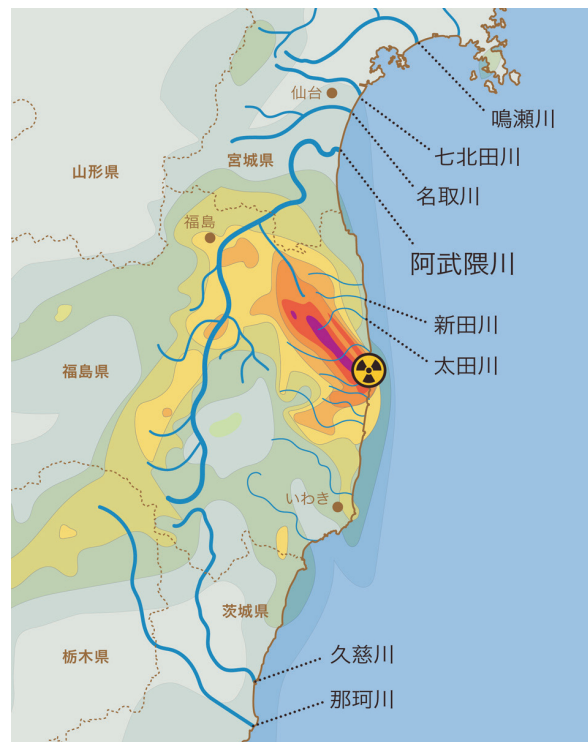
森林から水系へのセシウム137の排出率は低いとはいえ、汚染された森林と土地の面積が非常に広大なため、流水域を介しておこなわれるセシウム137の再配分は極めて重要な意味をもつ可能性がある<sup>48</sup>。福島県と周辺の県には、放射能で汚染された海拔の高い地域の森林から太平洋へと注ぐ大小数々の河川が流れているが、これらの水系の集水地域の面積は、数千平方キロにもなる。

2011年から2111年までの1世紀における放射性セシウム137の排出予測によると、集水地域を主として福島県内に有している大きな河川（阿武隈川、荒川、那珂川、阿賀野川、只見川）は、東電福島第一原発から流出するのと匹敵する量のセシウム137を、太平洋に排出する可能性があるという<sup>49</sup>。「除染」が現在のペースで進んだと仮定した場合でも、事故発生からの1世紀間に阿武隈川という一つの川が排出する量だけで、セシウム137が111テラベクレル（1テラベクレル=1兆ベクレル）、セシウム134が44テラベクレルにのぼるとの予測だ<sup>50</sup>。

非生物学的な系（鉱物など）から生物学的な系（水性および海洋性植物および動物）への移動の可能性を考えると、放射性セシウム137が土地から淡水の水生生態系と海水の水生生態系の両方に移動することは、きわめて重要な意味をもつ。

## 川からダム、湖へ

福島県の地形を特徴づけているのは、急峻な山地と、その裾野に広がるより緩やかな里山、沿岸域に広がる平坦な氾濫原の組み合わせだ。すでに指摘したとおり、海拔の高い地域は、稠密な老齢林と人工林によって覆われ、そのあいだに田畑や家屋が点在している。秋には台風があり、春には雪解け水が流れるという気候条件のため、地表面は浸食されやすい。大雨が降ったり、台風が襲われたり、春の雪解けの時などには、森林、山地の斜面、氾濫原にとどまっていた放射性セシウム137が、再び動き出し、下流が汚染される。その中には、事故直後には放射性





雲からの降下物が降らなかった地域や、除染が実施済みの地域も含まれる<sup>51</sup>。

沿岸域の生態系と海洋生態系に対する放射能汚染の影響は、現在も重大であるし、今後も重大であり続ける見込みだが、淡水の水生生態系への影響は、それらよりも深刻かもしれない<sup>52</sup>。たとえば、放射能で汚染された淡水魚の体内に蓄積されている放射性セシウムが、海水魚の体内の濃度よりも約100倍も高いことがあった<sup>53</sup>。

森林生態系の場合と同様に、放射性セシウムが水系中に存在する時間の長さは、非生物のプロセスと生物のプロセスの両方によって大きく左右される。湖水の上層と下層の反転、汚染された水域からの持続的でゆっくりとした溶出、台風その他の現象によって、汚染された沈殿物と有機物質が再び浮遊することがありうる<sup>54</sup>。つまり、セシウムは新しい沈殿物の下に埋まるのではなく、こうした現象によって攪拌され、二次的な汚染を生じる可能性がある。さらに、大雨や台風によって森林や田畑から低地へと向かって押し流される汚染された浮遊粒子や有機物は、今後何年、何十年にわたって、湖沼や沿岸域の生態系への放射性セシウムの供給源として機能し続けるだろう<sup>55</sup>。

もう一点森の場合と似ているのは、放射能汚染が起きてから最長で5年ほどの期間、水生生態系も初期フラックスを経験するということだ。5年が経つと放射能濃度の低下は底を突いて、その後は、主として放射性核種の緩やかな崩壊とセシウムのさらなる固定化によって濃度が緩やかに低下する、かなり安定した状態にとどまるという傾向だ<sup>56</sup>。したがって、東電福島原発事故発生から約5年が経過した現在、我々は、当初の放射能濃度低下の傾向が横ばいになって、今後数年あるいは数十年にわたって、水生生態系、とりわけ汚染状態が激しい地域の水生生態系への影響が続くものと想定すべきだ。

福島県の汚染された地域の水源地域内にあるダムや貯水池に関する数々の研究で、これらのダムや貯水池は、放射性セシウムを貯めていると同時に、そこから他の場所へと放射性セシウムを供給する供給源でもあることが示されている。沿岸域の仁井田川と真野川の流域について調べたある研究によると、真野川に設けられた大きなダムは、上流地域から下流に送り込まれる沈殿物の量を減らす上で大きな役割を担ったのだ<sup>57</sup>。仁井田川の場合、沿岸域で採取した沈殿物の47%が上流地域から運ばれたものだったのに対し、真野川の沿岸域の沈殿物では上流地域からのものは19%だった<sup>58</sup>。

しかし、ダムは時々放水する必要がある<sup>59</sup>。つまりダムや貯水池は、汚染のひどい山岳の森林地域からの放射性セシウムの流出速度を遅らせる上で一定の役割を果たしているとしても、河川上流の汚染された集水地域から沿岸域に放射性沈殿物が大量に供給されるという問題への解決策とはならない。むしろ、実際には、大雨が降るような場合には汚染濃度を高める可能性がある<sup>60</sup>。



© Christian Aslund / Greenpeace

福島沖での底質サンプリング調査。2016年2月

## 汽水域への影響

河口の汽水域は、生物多様性に富み生産性が高いことから、しばしば「海のゆりかご」と称されてきた。河川から豊富な栄養分が流れ込むのに加えて、強い沿岸流の影響を直接受けることなく、そうした影響から隔離され守られている場合が多いこともあり、汽水域は、多くの魚、貝や甲殻類、海生動物によって、餌場や繁殖地として利用される。また、商業的に重要な魚類の大半は、一定部分を汽水域で過ごす。さらに、多くの鳥類が汽水域を餌場と営巣地として利用し、渡り鳥がしばしば羽を休める場でもある<sup>61</sup>。

こうした生態系は、その中で生きる豊富な生物群に豊かな栄養分を供給するという特徴をもつが、同時に、汽水域へ注ぎ込む河川が運んでくる放射能汚染に対して、この生態系は脆弱だ。

ここで重要なのは、セシウムを含んで水中を浮遊する微粒子が汽水域に到達しても、沈殿物中に沈殿するのはそのごく一部に過ぎない、ということを知ることだ。大半の状況下では、セシウムは粘土の粒子とほぼ不可逆的に結合するが、水中の塩分濃度が高まるのにもなって、水中に浮遊する微粒子からセシウムが離脱する現象は、多くの研究報告ではっきりと指摘されている<sup>62</sup>。微細な粒子と結合した放射性セシウムは、生物学的に利用不可能な状態にある。しかし、セシウムが優先的に結合するこうした微細な粒子は、同時に、大量の降水によ



て浸食される可能性が高い上に、汚染された流域の上流から太平洋へと移動する可能性も高い、という特徴をもつ<sup>63</sup>。セシウムの一部は、沿岸域に棲息する動物、渡り鳥などの移動性の動物、海生の動物たちにとって最重要な生態環境の一つである汽水域に到着する時点で、水中に浮遊する微粒子から離脱して、生物学的に利用可能となり、海食物網に入り込む。

このことは、餌場として、また繁殖地として汽水域に依存している動物たちの健康に影響を及ぼす可能性があるだけではない。ライフサイクルの一部分を汽水域で過ごした魚介類を食するかもしれない人間にも、重要な意味をもつ。

## 森林汚染の経済的影響

東電福島原発事故以後、日本政府は、木材以外のさまざまな森の生産物に出荷制限を課したが、それは影響を受けた地域のシイタケ栽培産業にとって壊滅的な打撃だった。2013年12月の時点で、出荷制限の対象となった木材以外の森林製品は、キログラムあたり100ベクレル (bq/kg) を上回る放射能が検出された、12県の175の自治体で生産される21品目にのぼった<sup>64</sup>。1年後の2014年12月の時点では、180の自治体で生産される木材を除く22品目が出荷制限の対象だった<sup>65</sup>。

2015年7月8日現在、木材を除く22の森林生産物が依然として出荷を制限されていた<sup>66</sup>。ここで明記すべきことは、シイタケその他の製品に対する出荷制限は、福島県だけに限られたものではなく、関東地

方の多くの自治体でも実施されていることだ<sup>67</sup>。

しかし、日本政府は、キノコ狩り、山菜取り、薪拾い、猟などの活動を制限してきた一方で、立ち入り制限されている区域以外の汚染地域における木材生産については、何らの制限もおこなっていない<sup>68</sup>。にもかかわらず、2014年3月現在の福島県内の林業生産は、事故以前の水準を40%も下回ったままだった。2015年3月末までに、県内の林業関係者が東京電力に42億円の補償を請求していたのに対し、実際に支払われた額は40億円だった。

シイタケ栽培は、2015年3月現在、原発事故前の生産量のわずか30%にとどまり、壊滅状態から立ち直れないままだ。2014年11月の時点までに、シイタケ栽培農家が東京電力に請求した損害補償額は246億円、実際に支払われた額は227億円だった<sup>69</sup>。

2014年9月、避難区域内の森林価値が失われたことに対する損害補償の請求受付が、すでにはじまっていた<sup>70</sup>。東京電力がこうした損害補償（宅地・田畑以外の土地および立木）請求の受付を開始してから約3カ月間に賠償合意額は166億円にのぼった<sup>71</sup>。ただし、この額には、裁判外紛争解決手続きで決まった補償額や、裁判所の裁定で決まった補償額は含まれない。グリーンピースは2016年1月、東京電力に最新の数値の提供を求めたが、公表できる最新の数値はない、との回答だった。

高濃度に汚染された広大な森林の除染はしないだろう、ということは周知の事実となっていたが、2015年12月、NHKは、環境省の「環境回復検討会」<sup>72</sup>がこれを認めたこと、そして除染は家屋や道路ほかのインフラから20メートルの範囲内だけに限定しておこなわれる予定だ、ということを報じた<sup>73</sup>。



© Jeremy Sutton-Hibbert / Greenpeace



## 結論

事故から5年を経て明らかになったのは、環境への影響は、複雑で広範囲にわたるとのことだ。原発から放出された放射能の影響は今後数十年、数百年と続く。放射能は生態系における物質循環の中へ入り込むため、長期的に影響を及ぼす。福島原発事故の環境影響について把握する試みは、まだ始まったばかりだが、いくつか明らかになっていることがある。

植物の内部組織が汚染され、セシウムが樹皮、辺材、心材、そして新葉、花粉（少なくともスギの）へと移動している。空間線量が高い地域ほどモミの幹の先端部分の形態異常が発見され、ヤマトシジミに異常が出ており、ミミズのDNAが損傷している。地域経済にとって重要な淡水魚にセシウム汚染が見られ、ツバメの繁殖力が低下しているようだ。そして、重要な生態系である汽水域に放射能が蓄積している。

チェルノブイリとキシュテムに起こったことを見れば、今後、東京電力福島原発事故により汚染された地域の動植物と、淡水水生生態系に深刻な影響が出ることが予測できる。

森林にいわば貯蔵された大量の放射能は、超長期的な汚染源となり、沿岸や海洋を含む低域へ流れ込み続ける。

グリーンピースは、人災である原発事故の生態系への影響を理解しようと福島での調査を続ける、独立した科学者たちの献身的な作業を心から支持する。

東京電力が起こした事故により、ふるさとや暮らし、安寧を奪われ、自らを守るために日々さまざまな判断を迫られている東電福島原発事故被害者には、正確で包括的な情報を得る権利がある。このレポートを、忍耐と希望と勇気を持って原発事故という困難に立ち向かっているそうした人々に捧げる。





除染作業で発生した除染廃棄物が集められた福島県内の仮置き場。こういった中間集積所は11万3000カ所ある（2015年9月現在）。

© Jeremy Sutton-Hibbert / Greenpeace



## 巻末注

1. Yoshihara, T., et al. (2014) "Changes in radiocesium contamination from Fukushima in foliar parts of 10 common tree species in Japan between 2011 and 2013." *Journal of Environmental Radioactivity*. 138 (December 2014) 220–226. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0265931X14002689>  
See also, Bergan T.D. (1995) Long ecological half-lives of radionuclides in Nordic Limnic. Technical Report EKO-2.3. Nordic Nuclear Safety Research, Norway.
2. See also, Nimis, P.L. (1996). "Radiocesium in Plants of Forest Ecosystems." *Studia Geobotanica*. Vol. 15: 3–49. <http://dbiodbs.univ.trieste.it/ecoapp/cesio.pdf>  
See also, Tikhomirov, F.A. & Shcheglov, A.I. (1994). "Main investigation results in the forest radioecology in the Kyshtym and Chernobyl accident zones." *Sci. Tot. Envir.*, 157: 45–57. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7839123>
3. Adachi, K., et al. (2013). "Emission of spherical cesium-bearing particles from an early stage of the Fukushima nuclear accident." *Scientific Reports* 3, Article number: 2554. <http://www.nature.com/articles/srep02554>
4. Kaneyasu, N., et al. (2012). "Sulfate aerosol and a potential transport medium of radiocesium from the Fukushima Nuclear Accident." *Environmental Science and Technology*. 46 (11), pp 5720–5726. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es204667h?src=recsys&>
5. Nishikiori, T., et al. (2015). "Uptake and translocation of radiocesium in cedar leaves following the Fukushima nuclear accident." *Science of the Total Environment*. 502: 611–616. [https://www.researchgate.net/publication/266744005\\_Uptake\\_and\\_translocation\\_of\\_radiocesium\\_in\\_cedar\\_leaves\\_following\\_the\\_Fukushima\\_nuclear\\_accident?requestFulltext=1](https://www.researchgate.net/publication/266744005_Uptake_and_translocation_of_radiocesium_in_cedar_leaves_following_the_Fukushima_nuclear_accident?requestFulltext=1)  
See also, Yoshihara, T., et al., op. cit. (2014)  
See also, Kuroda, K., et al. (2013). "Radiocesium concentrations in the bark, sapwood and heartwood of three tree species collected at Fukushima forests half a year after the Fukushima Dai-ichi nuclear accident." *Journal of Environmental Radioactivity*. Volume 122. 37–42. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0265931X13000568>  
See also, Chigira, M., et al. (1988). "Distribution of <sup>90</sup>Sr and <sup>137</sup>Cs in annual tree rings of Japanese cedar, *Cryptomeria japonica*." *Journal of Radiation Research*. 29, 152–160. <http://jrr.oxfordjournals.org/content/29/2/152.full.pdf>  
See also, Mahara, Y. et al. (2014). "Atmospheric Direct Uptake and Long-term Fate of Radiocesium in Trees after the Fukushima Nuclear Accident." *Scientific Reports* 4. Article 7121. <http://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/bitstream/2433/196856/1/srep07121.pdf>  
See also, Nimis, P.L., op. cit. (1996).
6. Yamaguchi, N., et al. (2016). "Internal structure of cesium-bearing radioactive microparticles released from Fukushima nuclear power plant." *Scientific Reports* 6, Article number: 20548. <http://www.nature.com/articles/srep20548>
7. Nimis, P.L., op. cit. (1996).
8. Yoshihara, T., et al., op. cit. (2014)  
See also, Nimis, P.L., op. cit. (1996).  
See also, Tagami, K., et al. (2012). "Translocation of radiocesium from stems and leaves of plants and the effect on radiocesium concentrations in newly emerged plant tissues." *Journal of Environmental Radioactivity*. Vol. 111: 65–69. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0265931X11002396>  
See also, Kanasashi, T., et al. (2015). "Radiocesium distribution in sugi (*Cryptomeria japonica*) in Eastern Japan: translocation from needles to pollen." *Journal of Environmental Radioactivity*, 139: 398–406.  
See also, Tsuruoka, H., et al. (2015). "Variation of radiocesium concentrations in cedar pollen in the Okutama area since the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident." *Radiation Protection Dosimetry* 167: 1–3.
9. Kanasashi, T., et al., op. cit. (2015)
10. Tschiersch, J. et al. (1999). "Enhanced airborne radioactivity during a pine pollen release episode." *Radiation and Environmental Biophysics*. Vol. 38(2): 139–145. [https://www.researchgate.net/publication/12837730\\_Enhanced\\_airborne\\_radioactivity\\_during\\_a\\_pine\\_pollen\\_release\\_episode](https://www.researchgate.net/publication/12837730_Enhanced_airborne_radioactivity_during_a_pine_pollen_release_episode)
11. Bunzl, K., et al., (1993). "Spruce pollen as a source of increased radiocesium concentrations in air." *Naturwissenschaften* 80.4 : 173–174. <http://link.springer.com/article/10.1007/BF01226376>
12. Barisic, D., et al. (1992). "<sup>137</sup>Cs in flowers, pollen and honey from the Republic of Croatia four years after the Chernobyl accident." *Apidologie*. 23 (1): 71–78. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00890972>
13. 「森林・木材と放射性物質 福島森林・林業再生に向けて 2014年」 発行：林野庁  
[http://www.ringyou.or.jp/publish/detail\\_1270.html](http://www.ringyou.or.jp/publish/detail_1270.html)
14. Kuroda, K., et al., op. cit. (2013).
15. Ibid
16. Ibid
17. Ibid
18. Chigira, M., et al., op. cit. (1988).
19. Watanabe, Y., et al. (2015). "Morphological defects in native Japanese fir trees around the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant." *Scientific Reports* 5. Article 13232. <http://www.nature.com/articles/srep13232>
20. Ibid
21. Ibid
22. Teramage, M.T., et al. (2014). "Vertical distribution of radiocesium in coniferous forest soil after the Fukushima nuclear power plant accident." *Journal of Environmental Radioactivity*. Vol. 137: 37–45. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0265931X14001817>

- See also, Nakanishi, T. et al. (2013). "137Cs vertical migration in a deciduous forest soil following the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident." *Journal of Environmental Radioactivity*. Vol. 128. Pgs 9-14. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0265931X13002348>
- See also, Fuji, K., et al. (2014). "Vertical migration of radiocesium and clay mineral composition in five forest soils contaminated by the Fukushima nuclear accident." *Soil Science and Plant Nutrition*. 60: 751–764. <http://ci.nii.ac.jp/naid/110009910384>
- See also: Fujiwara, T., et al. (2012). "Isotopic ratio and vertical distribution of radionuclides in soil affected by the accident of Fukushima Dai-ichi nuclear power plants." *Journal of Environmental Radioactivity*. Vol. 113: 37-44. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0265931X12001038>
23. Nimis, P.L., op. cit. (1996).  
See also, Yuan, L., et al. (2004). "Biological mobilization of potassium from clay minerals by ectomycorrhizal fungi and eucalypt seedling roots." *Plant and Soil*. 262: 351–361. [https://www.researchgate.net/profile/Peter\\_Christie3/publication/226746783\\_Biological\\_mobilization\\_of\\_potassium\\_from\\_clay\\_minerals\\_by\\_ectomycorrhizal\\_fungi\\_and\\_eucalypt\\_seedling\\_roots/links/5582e8dd08ae1b14a0a28e79.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Peter_Christie3/publication/226746783_Biological_mobilization_of_potassium_from_clay_minerals_by_ectomycorrhizal_fungi_and_eucalypt_seedling_roots/links/5582e8dd08ae1b14a0a28e79.pdf)
  24. Nimis, P.L., op. cit. (1996).
  25. Mousseau, T.A., et al. (2014). "Highly reduced mass loss rates and increased litter layer in radioactively contaminated areas." *Oecologia*. <http://cricket.biol.sc.edu/chernobyl/papers/Mousseau-et-al-Oecologia-2014.pdf>
  26. Evangelidou, N., et al. (2015). "Fire evolution in the radioactive forests of Ukraine and Belarus: future risks for the population and the environment." *Ecological Monographs*, 85(1), 2015, pp. 49–72.
  27. Ibid
  28. Stankevich, S., et al. (2015). "Risk assessment of adsorbed radionuclide emission by fire within Fukushima exclusion zone using multispectral satellite imagery." *Український журнал дистанційного зондування Землі* 4: 4–9. [https://www.researchgate.net/publication/276028384\\_Risk\\_assessment\\_of\\_adsorbed\\_radionuclide\\_emission\\_by\\_fire\\_within\\_Fukushima\\_exclusion\\_zone\\_using\\_multispectral\\_satellite\\_imagery](https://www.researchgate.net/publication/276028384_Risk_assessment_of_adsorbed_radionuclide_emission_by_fire_within_Fukushima_exclusion_zone_using_multispectral_satellite_imagery)
  29. Fukushima Prefecture. 林野火災の防止について <https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/16025b/saigai-rinyakasai.html>
  30. Fukushima Prefecture. 林野火災の防止について <https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/16025b/saigai-rinyakasai.html>
  31. Nimis, P.L., op. cit. (1996).
  32. "The Fukushima Daiichi Accident." Director General of the International Atomic Energy Agency. 2015. pg. 131 <http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1710-ReportByTheDG-Web.pdf>
  33. Ibid
  34. Garnier-Laplace, J., et al. (2013). "Are radiosensitivity data derived from natural field conditions consistent with data from controlled exposures? A case study of Chernobyl wildlife chronically exposed to low dose rates." *Journal of Environmental Radioactivity*. Vol. 121: 12-21 <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0265931X12000240>
  35. Ibid
  36. Garnier-Laplace, J., et al. (2015). "Radiological dose reconstruction for birds reconciles outcomes of Fukushima with knowledge of dose-effect relationships." *Scientific Reports* 5. Article 16954. <http://www.nature.com/articles/srep16594>
  37. Hiyama, A., et al. (2012). "The biological impacts of the Fukushima nuclear accident on the pale grass blue butterfly." *Scientific Reports* 2, Article: 570. <http://www.nature.com/articles/srep00570>  
See also, Hiyama, A., et al. (2013). "The Fukushima nuclear accident and the pale grass blue butterfly: evaluating biological effects of long-term low-dose exposures." *BMC Evolutionary Biology* . 13:168 <http://www.biomedcentral.com/1471-2148/13/168>
  - See also, Taira, W., et al. (2014). "Fukushima's Biological Impacts: The Case of the Pale Grass Blue Butterfly." *Journal of Heredity*. 105(5):710–722. <https://jhered.oxfordjournals.org/content/105/5/710.full>
  38. Akimoto, S., (2014). "Morphological abnormalities in gall-forming aphids in a radiation-contaminated area near Fukushima Daiichi: selective impact of fallout?" *Ecology and Evolution*; 4(4): 355– 369. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ece3.949/full>
  39. Fujita, Y., et al. (2014). "Environmental radioactivity damages the DNA of earthworms of Fukushima Prefecture, Japan." *European Journal of Wildlife Research*. Vol. 60(1): 145-148. <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10344-013-0767-y>
  40. Garnier-Laplace, J., et al., op. cit. (2015).  
See also, Møller, A.P. et al. (2015). "Cumulative effects of radioactivity from Fukushima on the abundance and biodiversity of birds." *Journal of Ornithology*. DOI 10.1007/s10336-015-1197-2, <http://cricket.biol.sc.edu/chernobyl/papers/Moller-et-al-JO-2015b.pdf>
  41. Ibid
  42. Bonisoli-Alquati, A., et al. (2015). "Abundance and genetic damage of barn swallows from Fukushima." *Scientific Reports* 5, Article: 9432. <http://www.nature.com/articles/srep09432>
  43. Møller, A.P., et al. (2011) "Chernobyl Birds Have Smaller Brains." *PLoS ONE* 6(2): e16862. doi:10.1371/journal.pone.0016862. <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0016862>
  44. Mousseau, T.A. & Møller, A.P. (2013). "Elevated Frequency of Cataracts in Birds from Chernobyl." *PLoS ONE* 8(7): e66939. doi:10.1371/journal.pone.0066939. <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0066939>
  45. Møller, A.P., et al. (2013). "High frequency of albinism and tumours in free-living birds around Chernobyl." *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*. Volume 757, Issue 1, Pages 52–59. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383571813001848>



46. Kato, H., et al (2012). "Interception of the Fukushima reactor accident-derived <sup>137</sup>Cs, <sup>134</sup>Cs and <sup>131</sup>I by coniferous forest canopies." *Geophysical Research Letters*, 39(20). <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2012GL052928/abstract>  
See also, Nimis, P.L., op. cit. (1996). pg. 5.  
See also, Ohno, T., et al. (2012). "Depth profiles of radioactive cesium and iodine released from the Fukushima Daiichi nuclear power plant in different agricultural fields and forests." *Geochemical Journal*. Vol. 46: 287 - 295. <https://www.terrapub.co.jp/journals/GJ/pdf/4604/46040287.pdf>
47. Pratama, M.A., et al. (2015). Future projection of radiocesium flux to the ocean from the largest river impacted by Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant." *Scientific Reports* 5, Article: 8408. <http://www.nature.com/articles/srep08408>  
See also, Yamashiki, Y., et al. (2014). "Initial flux of sediment-associated radiocesium to the ocean from the largest river impacted by Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant." *Scientific Reports* 4, Article: 3714. <http://www.nature.com/articles/srep03714>
48. Pratama, M.A., et al., op. cit. (2015).
49. Ibid
50. Ibid
51. Evrard, O., et al. (2015). "Radiocesium transfer from hillslopes to the Pacific Ocean after the Fukushima Nuclear Power Plant accident: A review." *Journal of Environmental Radioactivity*. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26142817>  
See also, Eyrolle-Boyer, F., et al. (2015). "Behaviour of radiocaesium in coastal rivers of the Fukushima Prefecture (Japan) during conditions of low flow and low turbidity e Insight on the possible role of small particles and detrital organic compounds." *Journal of Environmental Radioactivity*. 151: 328-340. [https://www.researchgate.net/publication/283896408\\_Behaviour\\_of\\_radiocaesium\\_in\\_coastal\\_rivers\\_of\\_the\\_Fukushima\\_Prefecture\\_Japan\\_during\\_conditions\\_of\\_low\\_flow\\_and\\_low\\_turbidity\\_-\\_Insight\\_on\\_the\\_possible\\_role\\_of\\_small\\_particles\\_and\\_detrital\\_organic\\_com](https://www.researchgate.net/publication/283896408_Behaviour_of_radiocaesium_in_coastal_rivers_of_the_Fukushima_Prefecture_Japan_during_conditions_of_low_flow_and_low_turbidity_-_Insight_on_the_possible_role_of_small_particles_and_detrital_organic_com)
52. Avery, S. (1996). "Fate of caesium in the environment: Distribution between the abiotic and biotic components of aquatic and terrestrial ecosystems." *Journal of Environmental Radioactivity*, 30(2): 139-171. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0265931X96892769>
53. Arai, T (2014). "Radioactive cesium accumulation in freshwater fishes after the Fukushima nuclear accident." *SpringerPlus*. 3:479 <http://www.springerplus.com/content/3/1/479>
54. Avery, S., op. cit. (1996).  
See also, Yamashiki, Y., et al., op. cit. (2014).
55. Evrard, O., et al., op. cit. (2015).
56. Bergan T.D., op. cit. (1995)
57. Lepage, H., et al. (2016). "Investigating the source of radiocesium contaminated sediment in two Fukushima coastal catchments with sediment tracing techniques." *Anthropocene*. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213305416300042>
58. Ibid
59. Evrard, O., et al. (2014). "Renewed soil erosion and remobilisation of radioactive sediment in Fukushima coastal rivers after the 2013 typhoons." *Scientific Reports* 4. <http://www.nature.com/articles/srep04574>
60. Evrard, O. et al., op. cit. (2015)
61. For basic information on estuaries, visit: <http://omp.gso.uri.edu/ompweb/doe/science/descript/whats.htm>
62. Takata, H., et al. (2015). "Remobilization of radiocesium on riverine particles in seawater: The contribution of desorption to the export flux to the marine environment." *Marine Chemistry*. 176: 51-63. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304420315300219>  
See also, Fan, Q., et al. (2014). "Factors controlling radiocesium distribution in river sediments: Field and laboratory studies after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident." *Applied Geochemistry*. 48: 93-103. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S088329271400167X>  
See also, Eyrolle-Boyer, F., et al., op. cit. (2015).
63. Evrard, O. et al., op. cit. (2015)
64. 「森林・木材と放射性物質 福島の森林・林業再生に向けて 2014年」 発行：林野庁  
[http://www.ringyou.or.jp/publish/detail\\_1270.html](http://www.ringyou.or.jp/publish/detail_1270.html)
65. Forestry Agency, (2014). "Annual Report on Forest and Forestry in Japan Fiscal Year 2014 (Summary)." Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Japan. Pg 24. [http://www.maff.go.jp/e/pdf/2014\\_summary.pdf](http://www.maff.go.jp/e/pdf/2014_summary.pdf)
66. "About shipment restriction on mushrooms or/and wild vegetables." Website of Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries. <http://www.rinya.maff.go.jp/j/tokuyou/kinoko/syukkaseigen.html>
67. Ibid
68. Bird, W.A. & Little, J.B. (2013). "A Tale of Two Forests: Addressing Postnuclear Radiation at Chernobyl and Fukushima." *Environmental Health Perspectives*. 121(3) <http://ehp.niehs.nih.gov/121-a78/>
69. Forestry Agency, (2014). op. cit.
70. Forestry Agency, (2014). op. cit.
71. Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, Japan. [http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chousa/kaihatu/016/shiryo/\\_icsFiles/afieldfile/2015/01/28/1354739\\_5.pdf](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/kaihatu/016/shiryo/_icsFiles/afieldfile/2015/01/28/1354739_5.pdf)
72. Recommendation of the Environmental Ministry's expert panel on decontamination on December 21, 2015. See, <http://josen.env.go.jp/material/session/pdf/016/mat05.pdf>
73. "Forests will not be decontaminated." December 20, 2015. NHK. [http://www3.nhk.or.jp/nhkworld/english/news/20151221\\_09.html](http://www3.nhk.or.jp/nhkworld/english/news/20151221_09.html)



© Christian Aslund / Greenpeace

グリーンピースは環境保護と平和を願う  
市民の立場で活動する国際環境NGOです。  
問題意識を共有し、社会を共に変えるため  
政府や企業から資金援助を受けずに  
独立したキャンペーン活動をしています。

国際環境NGO グリーンピース・ジャパン

〒160-0023

東京都新宿区西新宿 8-13-11 NFビル 2F

Tel. 03-5338-9800 Fax. 03-5338-9817

[www.greenpeace.org/japan](http://www.greenpeace.org/japan)

執筆： ケンドラ・ウルリッチ  
(グリーンピース・ジャパン)

制作・発行：グリーンピース・ジャパン

2016年3月

表紙写真：

福島県飯館村、道路脇での除染作業

© Jeremy Sutton-Hibbert / Greenpeace

**GREENPEACE**