

2020年10月

東電福島第一原発

# 汚染水の危機2020

シヨン・バーニー（グリーンピース・ドイツ）

原文監修：伴 英幸 抄訳：大沼 淳一





助言いただいたイアン・フェアリー博士、デビッド・ポアイエ ACRO 理事長に深く感謝する。

文中、グリーンピースと書かれている場合、とくにそうでない、と記されていない限りグリーンピース・ジャパンとグリーンピース・東アジアを意味する。

発行：グリーンピース・東アジア グリーンピース・ジャパン

# 目次

はじめに	05
概要	06
現在の状況	08
原子炉建屋に流入する地下水・雨水	09
多核種除去装置ALPSの故障	10
ピュロライト技術と日立ゼネラルエレクトリックとALPSの失敗	11
ALPS2020の二次処理（実質同じことを繰り返す再処理）	12
ストロンチウム90およびその他の核種の挙動と危険性は一樣ではない	13
放射性炭素14の複雑な動き	14
炭素14の重要性	14
東電、汚染水に高濃度の炭素14が含まれることを認める	15
トリチウムリスク分析の欠陥	16
トリチウム分離技術	18
放出の代替としての長期貯蔵	19
経産省ALPS小委員会2020報告	19
ALPS小委員会は放出開始を遅らせることの重要性を示した	21
福島第一原発の汚染水は人権問題	22
さいごに	23
付録	24
文末注	25

執筆：  
ショーン・バーニー  
グリーンピース・ドイツ  
核問題シニアスペシャリスト

原文監修：  
伴 英幸、ダニエル・シモンズ、  
鈴木 かずえ、マリ・チャング  
原文編集：  
キャロライン・ロバーツ

抄訳：  
大沼 淳一  
抄訳編集：  
川瀬 充久





## はじめに

2019年1月、グリーンピースは東京電力福島第一原発の放射能汚染水に関する報告書を発表した<sup>1</sup>。それから2年近く経過したが、原発敷地内の汚染水問題は解決を見ていない。本報告書はそれに続くものである。汚染水にはトリチウム以外にも、ストロンチウム90、炭素14などの放射性物質が含まれる。海洋放出は地域の住民はもとより、広範囲にわたって長期的に大きな影響を及ぼす。海洋放出は2022年末から2023年にかけて始まり、2050年中頃まで続くと予想される。

日本政府と東電はこれまで自らに都合のよい複数の「神話」を作り上げてきた。2022年までに汚染水を保管する場所がなくなる、汚染水に含まれているのは無害なトリチウムである、そして海洋放出以外の選択肢がないというものである。

本報告書では、これらが事実ではないことを示す。これらの「神話」は経済および政治的理由から作られたものである。海洋放出は最も「安い」選択肢であるだけでなく、廃炉が順調に進んでいるという印象づくりにも役立つ。しかし、東電福島第一原発事故の影響は、福島県の住民はもとより、国境を超えて人々にとっての脅威であり続けている。

東電と日本政府はこの危機をさらに深刻にしている。高濃度の炭素14が汚染水に含まれていることを明らかにしたのはつい最近のことだ<sup>2</sup>。この10年間、この種の隠蔽が繰り返されてきた。

海洋放出に対する反対は、福島県の住民、福島県の市町村議会の過半数、全国漁業協同組合連合会（全漁連）、そして全国に広がっている。隣国である韓国も反対を表明している。しかし、日本政府はこれらの海を守ろうとする人々の声を無視し続けている。

詳細な検討の結果、グリーンピースは、汚染水について、容認できる選択肢は長期保管と放射性物質除去技術の適用しかないと結論づけた。これらの選択肢は実現可能である。効果的な放射性物質除去技術を検討する間、保管を続けることは半減期が12.3年のトリチウムの量を減らすことにもなる。それが福島県の、全国の、そして世界中の人々の健康と環境についての権利を守る唯一の方法だ。

## 概要

### 汚染水は貯まり続ける

- ・地下水汚染が未解決のまま蓄積し続ける汚染水問題には終わりが見えない。阿武隈山地から敷地内に流入する地下水の量は、サブドレンや地下水バイパスによって減少しており、2019年の平均日量は180m<sup>3</sup>である。しかし、2019年10月の台風19号の際は650m<sup>3</sup>/日を超えた。汚染水の総量は、2022年夏までに137万m<sup>3</sup>に増加すると予想されている。
- ・炉心溶融物が、流入し続ける地下水にさらされ続ける限り、汚染水の問題は続く。地下水侵入を防止できなければ、2030年までにはさらに50万~100万m<sup>3</sup>の汚染水が追加されると推定される<sup>3</sup>。

### 現ALPSの使用は誤りである

- ・多核種除去装置（ALPS）の性能に関する問題は、英国の原子力技術コンサルティング・エンジニア、故ジョン・ラーズ博士の調査結果に基づいた、2018年のグリーンピースの報告書で指摘している<sup>4</sup>。報告書では、2011年に汚染水中の多種類の放射性核種の濃度を検出限界以下まで低減できることを示した米国・ピュロライト社のイオン交換技術を東電が採用しなかった経緯についても詳述している。
- ・ピュロライト社はイオン交換技術に関する数十年の経験を持っていたが、東芝と日立ジェネラルニュークリアエレクトリック社（HGNE）はほとんど持っていなかった。
- ・ALPSの欠陥により、処理済みの汚染水の72%は再度の処理が必要となっている。それもALPSにより行なわれるが、疑問である。今後80万トン以上の汚染水について再処理がなされる。
- ・ストロンチウム90のような高濃度の有害な放射性核種に加えて、東電は2020年8月27日、タンク内の汚染水に高レベルの炭素14の問題が存在することを初めて認めた<sup>5</sup>。
- ・ALPSは、炭素14が長半減期核種であるにもかかわらず、それを除去するように設計されていなかった。炭素14は、無機炭素または有機炭素として自然界の複雑な炭素サイクルに、固体、液体または気体の状態で組み込まれている。したがって、炭素14はすべての生物にさまざまな濃度で取り込まれる。炭素14の半減期は5,730年であり、何世代にもわたって全世界の人々の集団被曝線量に寄与する因子となる<sup>6</sup>。
- ・東電と日本政府は、これまでのところ福島県民や国内外に向けて、炭素14の問題があると気が付くのに、なぜこれほど長い年月を要したのかを説明していない。
- ・日本の外務省は、国連の人権特別報告者からの汚染水に関する質問について、誤解を招きかねない回答をしている。例えば「アルプス処理水は汚染水ではない」と回答している<sup>7</sup>。
- ・東電は、トリチウムに関する基礎的な科学的事実をねじまげ、恣意的に無視し続けている。特に、彼らは生体内で有機物と結合した有機結合型トリチウム（OBT）の役割を無視し、説明を怠り続けている。
- ・現在 IAEA（および日本政府と東電）が使用している人体放射線量反応モデルは、単回投与に基づいているが、多重投与では、生物体内OBTのレベルは徐々に増加する<sup>8</sup>。

## 長期保管は現実的な選択肢

- ・「汚染水に関する経済産業省ALPS小委員会」（以下ALPS小委員会）報告を分析すると、同委員会は、2022年以降の汚染水の追加的貯蔵は敷地内でも敷地外でも可能であるとして検討したが、「複雑な調整と時間」が必要であるとして除外した。
- ・ALPS小委員会はまた、汚染水をより長く貯蔵することについて、少なくともトリチウムに関しては、ALPS処理水の危険性が物理的減衰によって低減することを確認していた。
- ・トリチウムの半減期は比較的短く（12.3年）、貯蔵期間中にも減衰する。このことと計画されている年間放出量が22 TBqであることから、経済産業省のデータに基づいて計算すると、放出開始を2035年まで遅らせれば放出完了が2055年となり、2020年に放出を開始した場合と比べてわずか3年遅れただけで放出作業が完了することになる。
- ・福島県内の市町村議会、漁業組合、市民などは、汚染水の環境中へのいかなる放出にも強く反対し続けている。
- ・福島第一原発の汚染水問題は、技術的かつ科学的であると同時に人権問題でもある。2020年6月の国連特別報告者に対する日本政府の対応は、福島県をはじめとする人々が法的に守られるべき人権の基本原則を事実上無視している<sup>9</sup>。



## 現在の状況

東電によると、2020年9月17日現在、福島第一原発敷地内に1,044基のタンクに汚染水が貯留されており、このうち、952基がALPS処理水、71基がセシウム/ストロンチウム処理水、19基が淡水化装置処理水、2基が濃縮塩水である<sup>10</sup>。2020年9月17日現在、福島第一原発のタンク内に保管されている汚染水の総量は123万724m<sup>3</sup>である<sup>11</sup>。また、原子炉建屋等に滞留している高濃度汚染水は、2020年8月の東電の報告では17万10m<sup>3</sup>である<sup>12</sup>。これらは、太平洋に直接漏れ出す危険性がある。

東電は、溶融した原子炉燃料や炉心溶融物を冷却するために、壊れた1~3号機の原子炉圧力容器 (RPV) 内に、毎日200トン以上の水を注入し続けている。3つの原子炉の炉心溶融物は609トンから1,141トンと推定されている。最確値は合計880トンで、3基の元の燃料の重量の3.4倍にあたる<sup>13</sup>。このため、この冷却水は高度に汚染される。阿武隈山地から敷地内に流入する地下水の量は減少しているが、2019年の原子炉建屋への日平均流入量は180m<sup>3</sup>だった。これは、頻繁に発生する台風などの大雨により急激に増加する。この地下水汚染を防ぐことができなければ、約80万m<sup>3</sup>の汚染水が2030年までに追加蓄積されると推定される<sup>14</sup>。つまり、日本政府が太平洋に放出しようとしている100万m<sup>3</sup>以上の高濃度汚染水は、今後10年以内に200万m<sup>3</sup>に達する可能性がある。現在、貯水費用は年間1000億円強で推移している<sup>15</sup>。



## 原子炉建屋に 流入する 地下水・雨水

東電福島第一原発のタンクに貯蔵された汚染水を放出するという提案は、毎日のように汚染水が蓄積され続けているという根本的な問題を解決するものではない。2019年の報告書に詳述したように、東電の対策の結果、汚染水の蓄積速度は原発事故の初期と比べて大幅な減少が見られた。しかし、長年にわたり、東電は、福島第一原発敷地内に流入する地下水と原子炉圧力容器に注入される冷却水とが直接接触していることは明確にしておかなかった。東電は現在「山側から流れ込んだ地下水が原子炉建屋内に侵入し、事故で溶融して硬化した燃料を冷却するための水と混ざることにより、高レベル放射性物質を含む水（汚染水）が毎日発生している」と公言している。

地下水問題は未解決のままであり、タンク貯蔵水の処分が決定されても汚染水は蓄積し続ける。地下水や雨水の敷地内への流入量は、天候などによって大きな変動がある。

台風の季節には、敷地内に流入する水と汚染される水の量は劇的に変動する。例えば2019年10月の台風19号の影響で、予想通り650m<sup>3</sup>/日を超えた。明らかなことは、東電は当面、止まらない地下水汚染に対して、汚染水を貯蔵し処理し続ける必要があるということである。

炉心溶融物を隔離しない限り、地下水汚染は継続するだろう。120万m<sup>3</sup>のタンク貯蔵汚染水に含まれる放射能は、壊れた原子炉内に残っている全放射能のほんの一部に過ぎないことは注目に値する。例えば、福島第一原発の3基の原子炉の炉心は溶融する前に520PBqのストロンチウム90を含んでいたと推定されている<sup>16</sup>。そのうちの1~3%はその後、太平洋に放出された<sup>17</sup>。しかし、ストロンチウム90の大部分は溶融炉心に残っており、それは日本政府の汚染水100万トン処分計画で放出されるかもしれない量の1730万倍に相当する。この膨大な量のストロンチウム90が環境中に出ることを防止しなければならない。しかし、その一部は敷地内に流入する地下水との混合によって汚染水に入り込むこと、そして東電が今後地下水汚染を止めるための信頼できる計画を持っていないことが既に明らかになっている。



## 多核種除去 装置ALPSの 故障

2018年、福島第一原発敷地内に設置されている3台のALPSによる汚染水処理の失敗が明らかになった<sup>18</sup>。2018年9月28日、東電は、数十万m<sup>3</sup>のALPS処理済み貯蔵水に、海洋への排出基準より高い濃度の危険な放射性物質が含まれていたことを認めた<sup>19</sup>。2020年、東電はタンクの水全体の72%にあたる78万m<sup>3</sup>が再処理されると報告した<sup>20</sup>。

東電によると、処理水6万5,000m<sup>3</sup>中のストロンチウム90濃度は規制値の100倍以上で、一部のタンクでは2万倍に達する。ストロンチウム90は最も危険な放射性核種の一つであり、植物、動物およびヒトに生物濃縮されるため、環境中に放出してはならない。生体内でカルシウムのように挙動するため、しばしば向骨性元素（Bone-seeker）と呼ばれ、白血病や血液がんのリスクが高くなる。東電は、過去何年にもわたって、ALPS処理技術が「排出基準を下回る」<sup>21</sup>レベルまで放射能を低下させると主張してきたが、そうはならなかった。東電は2018年にALPSの失敗を認めたが、公開されている文書を見ると、早くも2013年には問題が発生し、ALPS処理水中のこの核種の除去率が目標レベルに達していないことを知っていた<sup>22</sup>。

ALPSシステムが失敗したのにはいくつかの理由がある。利用可能な最良の技術を選択するのではなく、目先の財務コストにとらわれた悪しき技術選択をしたことである。

2018年6月、英国の原子力技術コンサルタントのジョン・ラージがグリーンピース・ジャパンの依頼で東京電力から提供された公的データの一部を評価した。2011年以降、東電は膨大な量のデータを公開しているが、情報の正確性を第三者が検証することはほとんど不可能である。彼の予備的な分析では、東電の情報の正確性について重大な疑問があると結論づけられた<sup>23</sup>。例えば、処理後のセシウム137の濃度を報告した2016年のデータシートには、ほぼ一貫して海洋への排出基準ぴったりの30Bq/Lと書かれていた。東電はALPSを含む処理系の放射性核種除去効率すなわち除染係数DFに大きなばらつきがあることを知っていたはずである。その東電が、そうした事実を反映していないデータを公表したのはどのような経緯があったのだろうか。

## ピュロライト 技術と日立 ゼネラルエレ クトリックと ALPSの失敗

2011年、原子力発電関連での豊富な実績を持つ米国の水処理プラントメーカーのピュロライト社は、日立ゼネラル・エレクトリック・ニュークリア・エナジー社（HGNE）と共同で、福島第一原発敷地内にALPSの早期試験施設を稼働した。結果は有望であり、ピュロライト社によれば、トリチウムを除く62の放射性核種を除去することが実証されたとされた<sup>24</sup>。しかし、東電はピュロライト式イオン交換技術をベースとしたALPSの建設・運用契約を結ばずに、東芝と契約を締結し、最終的にHGNEとピュロライト社は除外された。ピュロライト社は水処理イオン交換の分野で数十年の経験があったが、東芝とHGNEには実質的な経験はなかった。その後、ピュロライト社は、HGNE社を秘密保持契約違反で告訴し、営業秘密の設計情報を第三者に無断で提供し、さらに、HGNE社がこの情報を高性能ALPSの設計・運用に利用したとして損害賠償を求めている。

ピュロライト社がHGNEを相手に起こした訴訟では、東電が優れた技術や経験を適用していないことで、ALPSの性能に悪影響を与えているとの証拠が示されている。ピュロライト社は、同社のコア技術が、63放射性核種のうち62核種について、東電の仕様に従った2011回の試験運転で検出限界（ND）レベルを達成したと述べている<sup>25</sup>。検出限界目標は東電が定めたもので、2014年後半になっても「新しい高性能水処理システムは ... ストロンチウム90を検出不可能なレベルにまで下げる（だろう）」としている<sup>26</sup>。

ALPSの欠陥により、汚染水処理の目標が「検出限界以下」から「排出基準以下」に置き換えられたことは注目に値する。これは放出される汚染水には、東電が当初計画していたよりも多くの放射能を含むことを意味する。たとえ汚染水の再処理が計画通りに行われたとしても、ストロンチウム90やヨウ素129などの放射性核種の汚染レベルは、2011年にピュロライト社の技術によって達成されたレベルよりもはるかに高いものになるだろう。

ピュロライト社が東京地裁に提出した証拠には、HGNEや東芝には知られていなかった水処理の技術や専門知識に関する詳細な記述が含まれていた<sup>27</sup>。我々の2019年1月の報告書に詳述したように、そこでは吸着剤との接触時間やpH調整に関する臨界条件などの情報を含んでいた。

ピュロライト社は「処理段階間で複数回のpH調整を行うことは、当時の汚染水処理業界の技術上の常識では考えられないものであった」「段階間で複数回のpH調整を行うことが最適であるが、業界では知られていなかった」と述べている。

なお、ピュロライト社は、訴訟の前、最中および判決後にも、東電または経済産業省に対して、自らの水処理のノウハウ及び技術を提供する旨の申し出を行っていたが、拒否されている。



## ALPS 2020の 二次処理 (実質同じことを 繰り返す再処理)

東電は、2020年9月、汚染水の再処理のための試験を開始した<sup>28</sup>。このALPS処理は、ストロンチウム90やヨウ素129などトリチウム以外の放射性核種の濃度を、規制基準以下に低減することを目的としている。東電によると、試験段階では、規制濃度の100倍以上のレベルの汚染水が約2,000m<sup>3</sup>使用される<sup>29</sup>。

問題は、彼らが過去の失敗をどの程度効果的に教訓とすることができるかだ。

東電は、2020年3月、処理水の再処理の目的について「環境中に放出される放射性物質の量を可能な限り減少させるために実施される」と述べている<sup>30</sup>。

これは、東電が、ALPSが機能していなかったことを事実上認めたものであり、汚染水中の放射能濃度を検出限界（ND）以下に低減するという当初のコミットメントから後退したものである。ピュロライト社のCEO、スティーブ・プロディーは2012年、「浄化された水を安全に海洋に放出するためには、62種すべての放射性核種について検出限界以下のレベルを達成することが、地域社会、漁業者、農業者、近隣諸国および政府機関にとって極めて重要である。62の放射性核種のいずれかが検出されないレベルに低下しない場合、東電は、満足な解決策が見つかるまで、貯蔵タンクをさらに建設することを余儀なくされる可能性がある」と警告している<sup>31</sup>。

## ストロンチウム 90およびその 他の核種の挙動 と危険性は一樣 ではない

2019年1月の報告書の公表以来、グリーンピースが報告してきたように、日本政府と東電は、環境中に放出される放射性核種を意図的に軽視している。これらの有害な放射性核種には、放射性ストロンチウム、放射性ヨウ素、プルトニウムなどが含まれる。すでに述べたように、ストロンチウム90は最も危険な放射性核種の一つである。

ウッズホール海洋学研究所のケン・O・ブッセラーは、これらの放射性同位体について「海洋中のトリチウムとは異なる挙動を示し、海洋生物相や海底堆積物に容易に取り込まれる。例えば、魚類の生物濃縮係数はトリチウムよりも炭素14の方が最大5万倍高い。また、コバルト60のような同位体は、海底の堆積物と結合する可能性が最大30万倍高い。その結果、トリチウムの急速な拡散と希釈を伴う海洋中のトリチウムの挙動モデルは、他の重要な汚染物質の行方と影響を評価するためには使用できない。トリチウムの急速な拡散と希釈を伴う海洋中のトリチウムの挙動モデルは、他の重要な汚染物質の行方と影響を評価するためには使用できない。汚染水放出の結果を評価するためには、再処理後の各々のタンクにどのような同位体が残っているかの完全な収支計算が必要である。これには、東電が常時報告している9種類の同位体の濃度や量だけでなく、プルトニウムなど存在可能性のあるすべての汚染物質の量も含まれる」と最近報告している<sup>32</sup>。

すでに述べたように、ストロンチウム90の大部分が溶融炉心に残留しており、敷地内に流れ込み続ける地下水に混じりつつある。しかも、東電は今後も地下水汚染を止める信頼できる計画を持っていない。ストロンチウム90とトリチウムの半減期はそれぞれ28.8年と12.3年であり、これら2つの放射性核種だけでも放射線リスクが1000分の1になるまでに、それぞれ290年および125年近くかかることになる。しかし、汚染水にはさらに長い半減期を持つ放射性核種が他にも数多く存在している。例えばヨウ素129は1350万年である。



## 放射性炭素14 の複雑な動き

炭素14の半減期は5,730年であるため、環境中に取り込まれた炭素14がもたらす放射線の影響は、現在の世代から将来世代へ、局所から地域へ、地域から世界へと、様々な集団へ広がる。

炭素14の生物学的半減期は約40日である。呼吸を介したヒトの体内への炭素14の蓄積は、汚染された食物の摂取によるものと比較して重要ではないことがわかっている。また、炭素14は食物連鎖の中で容易に濃縮される。魚類と軟体動物の濃縮係数は5,000、水底堆積物の濃縮係数は2,000であることが研究で示されている<sup>33</sup>。

また、物理学的半減期は5,730年と長く、炭素がすべての生物体の中心的な基本構成要素であるがゆえに、長期的に見れば全世界のヒト集団被曝線量の主要な要因の一つである。炭素14は細胞構成成分（タンパク質、核酸）、特に細胞DNAに組み込まれるため<sup>34</sup>その結果として、分子破壊を含むDNAダメージが発生し、細胞が壊死するか突然変異が保存されて生き続けるかのどちらかに進む<sup>35</sup>。

## 炭素14の 重要性

ALPSは炭素14を除去するように設計されていないため、汚染水にそのまま残っている。つまり日本政府が汚染水を太平洋に放出する決定を進めた場合、タンク内の炭素14はすべて環境中に放出される恐れがある。東電、日本政府は、炭素14が除去されていないことをずっと説明してこなかった。ALPS処理後にはトリチウムが残るだけであり、それは問題でないことを繰り返し強調してきた。つい最近の2020年6月、外務省は国連人権特別報告者に対し、「この浄化システム（ALPS）でトリチウム以外のほとんどの放射性核種を除去した後、水はALPS処理水としてタンクに安全に貯蔵される ... したがって、タンクに貯蔵されるALPS処理水は汚染水ではない」と説明した<sup>36</sup>。

## 東電、汚染水に 高濃度の炭素 14が含まれる ことを認める

2020年8月27日、東京電力は、汚染されたタンク水の全ベータ放射能測定において、炭素14の存在が重要な寄与をしていることを初めて認めた文書を公表した<sup>37</sup>。その後、2020年9月10日の文書が続いた<sup>38</sup>。東電は、炭素14の問題があると認めるまでになぜこれほど長い年月がかかったのかについて説明していない。東電は2020年8月の文書で「ALPS出口評価（現状の告示濃度比総和別貯留量の評価）による告示濃度比総和とタンクのサンプリング結果から評価した告示濃度比総和について乖離が大きい」としている。言い換えれば、全ベータ放射線量は、その時点までに測定したすべてのベータ核種の合計よりも大きかった<sup>39</sup>。

そして、彼らは「全ベータ値と核種ごと測定値の合計とのずれの原因は炭素14によるものだった」ことを確認することになったのである。

9月の資料では、10月に予定されているALPS再処理試験の後、「放射性炭素（C-14）とトリチウム（H-3）に加えて除去対象となる62核種」について処理水の測定を行うと説明している。ALPSで再処理されるタンク貯留水について炭素14に特化した測定計画を東京電力が確認したのは初めてのことである。その東電は、2014年にALPS処理前と処理後の水の中の炭素14濃度は検出限界以下と報告していた<sup>40</sup>。実際には、これは炭素14の実測値に基づくものではなく、ALPS処理前後のセシウム濃度を参考にして推計したものであった。

炭素14の放出は、福島沿岸の海洋生物だけでなく、必然的に日本全域、朝鮮半島、中国の海域における放射性同位体の生物蓄積につながる。海洋に放出された炭素14が集団被曝に寄与する主な経路は、汚染された海産物を人間が消費することによるものである。半減期の長い同位体は、海流とともに長時間拡散し地球規模の汚染につながる。日本政府は福島県民や国内外にこれらを説明してこなかった。

液体廃棄物からの炭素14の除去は可能でありIAEAの資料にも記載されている<sup>41</sup>。にもかかわらず東電と政府は炭素14除去のための汚染水処理方法の改良を検討しないことを決めたようである。炭素14が環境中に放出されれば、その影響は数万年に及ぶ。



© Shaun Burnie / Greenpeace

## トリチウム リスク分析の 欠陥

東電は、トリチウムに関する基礎的な科学的事実を誤って伝え続けている。経済産業省のALPS小委員会は、トリチウムの一部が有機結合型トリチウム（OBT）にもなることを認めているが、東電はこれについて説明していない。東電のトリチウムに関する情報を読むと、何らかの形でトリチウムが人体に入り、害が及ぶなどということはある得ないという印象が残る。

日本政府は、汚染された処理水の放出計画を正当化しようとして、2019年9月に「トリチウム水は水と同様の特性を有するため、ヒト及び特定の生物に濃縮されることは見出されていない」と誤解を招くような見解を述べている<sup>42</sup>。

環境省は、有機結合型トリチウム（OBT）へのいかなる言及もしなかった。OBT問題などについて市民団体からの指摘があった後、汚染水を管理する選択肢を評価する任務を負ったALPS小委員会は、少なくとも次のことを認めた。

「トリチウムは弱いベータ線だけを出すので、影響が出る被ばく形態は内部被ばく」。そしてICRP勧告によるトリチウム水（HTO）およびOBTの預託実効線量は、「体内に取り込まれたトリチウム水のうち約5～6%がOBTに移行するため、その影響も考慮」「OBTの生体内の半減期は、40日若しくは1年程度の2タイプがある。それも考慮した上でトリチウム水と比較して2～5倍程度の影響」があると評価した<sup>43</sup>。

小委員会は海洋放出されたトリチウム水が置換されて生成するOBTの影響の調査を省き、OBTは蒸気放出のケースでしか評価していない。海洋環境にトリチウム水として放出されるケースの評価が存在しないため、（トリチウム水がその後プランクトンや海産生物に取り込まれてOBTへと変換されるとしても）考慮から除外されていることになる。

日本政府と東電はトリチウムの危険性を意図的にごまかし、OBTの役割を説明していない。このことは汚染水の将来の潜在的な影響に関する正確な科学的データを提供していないことを意味する。

放射能問題の専門家であるイアン・フェアリー博士は「ICRP/IAEA線量反応モデルは単回の投与を前提としているが、多重的（慢性的）投与が起こると、OBTのレベルが徐々に増加する」としている<sup>44</sup>。





これは、日本政府と東電が、汚染された魚介類の消費によってもたらされるOBTによる被曝線量を過小評価していることを意味している<sup>45</sup>。フェアリー博士の説明によると

「現在のICRPモデル（1989）では摂取されたHTOの100%が吸収され、血液中に入ると仮定している。HTOの代謝回転による半減期は10日と想定されており、また、投与されたHTOの5%がOBTとして結合するが、HTO投与によるOBT由来放射線量は無視できるレベルと想定されている。しかし、以下に紹介する動物実験結果は、OBTからの放射線量を考慮しなければならないことを明らかにしている。コムフォードら（1982）は、マウスへの一過性のHTO暴露後、残存するすべてのトリチウムが暴露8週間後にDNAとヒストン（DNAが巻き付いているたんぱく質）に結合することを発見した<sup>46</sup>。HTOに比べてOBTの量は少ないが、細胞核タンパク質ははるかに長寿命であり、著者らは、それらからの放射線量はHTOの放射線量を超えるであろうと結論した。さらにトリヴェルディら（1997）は、ヒトへのHTOの急性投与の結果、OBTとして結合するのはそのうちの3%～9%の範囲であり、ICRPが想定している5%ではないと推定している<sup>47</sup>。問題はICRPの生体反応速度論モデルがトリチウムへの慢性曝露を無視していることである。このことはトリチウムを24時間放出する施設の風下に住む人々にとっては重要である。ICRPは、慢性的な曝露は1回の急性曝露の繰り返しにすぎないと考えている。すなわち、いずれの場合も、放射線量は主にHTO由来であってOBT由来ではなく、HTOとOBTは次の急性曝露前に排泄されるとしているが、これは誤りである。動物実験では、HTOへの慢性曝露の後、ほとんどのトリチウム放射線量がOBTによるものであることが明らかにされている。例えば、コムフォード、カーステン、クロンカイト（1977）は、マウスに対して長期にHTO投与し、投与中止の2～3日後のトリチウム放射線量がほとんどOBT成分によるものであることを明らかにしている<sup>48</sup>。ロジャース（1992）は、OBTは組織中の水トリチウムよりもはるかにゆっくりと排泄されるため、OBTがマウスの慢性曝露後の推定放射線量の主要な決定因子であるとしている」<sup>49</sup>

「長期のHTO投与は、投与の継続時間に依存して、OBT濃度をより高いレベルに増加させる。約50年前の研究であるが、数カ月以上にわたる慢性的曝露の条件では、体内の置換可能な水素結合の割合に限界（～30%）があるために、HTOによる有機分子のトリチウム - 標識化に理論的な最大値があると報告している<sup>50</sup>。これを支持する複数の証拠がある。ロジャース（1992）はトリチウム代謝回転の定常状態

を確立するためにマウスにトリチウム水を与え続けた実験において、OBTレベルは56日後に体内のHTOレベルの22%に上昇したと報告している。多くの証拠は、トリチウムが代謝反応によって取り込まれ続けるにつれて、OBT濃度が徐々に上昇し続けることを示唆している。OBTの半減期が非常に長いので、最終的にはOBT濃度は体内のHTO濃度と平衡に達するだろう。それを明らかにするためには、寿命が長いヒトに蓄積されたOBTの半減期が長いので、数年規模の長期間生体反応速度論実験が必要であろう」<sup>51</sup>

フランスの放射線研究所ACROのデビッド・ボワイエは、日本政府と東電のアプローチに問題があると考えている。「有機物中のトリチウムの生物蓄積については、いくつかの海産動物で予想以上に高濃度であったため、フランスで盛んに議論された ... <sup>52</sup> もし（政府が）『風評被害』と戦いたいのであれば、彼らは計算結果を詳しく説明すべきである」<sup>53</sup>

トリチウムの環境中挙動に関する重要な研究が2019年12月、ネイチャー誌に発表された。これは、トリチウムが数十年間、ダム湖底堆積層中に有機結合形で保存されていることを示した<sup>54</sup> 著者らは、「OBTの一部（<30%）は周囲の環境で水分子と容易に置換可能であるが、ほとんどのOBTは湖底堆積物中有機物として長期間隔離されている。OBTの有機物（OM）内での持続性は、主に結合した有機化合物の生分解速度に依存する」と述べている<sup>55</sup>。

## トリチウム 分離技術

2019年の報告書で説明したように、東電にはトリチウム除去技術を開発する選択肢があった。しかし、それを選ぶ代わりに、東電と日本政府は、キュリオン社などの国際的な原子力企業や米国エネルギー省が提案した技術を見捨てることを選んだ。

明らかに誤った決定がなされたのは、2016年4月19日、経産省の汚染水タスクフォース委員会が、トリチウム除去技術は福島第一原発には適用できないと結論づけたときである<sup>56, 57</sup>。

キュリオン社の最高技術責任者（CTO）は当時、次のように述べた。「ある人々は、この技術のコストは高すぎるという。何に比べて高いのか？ 私は、この水を放出すべきだと言っている人と話をしてその費用について話し合いたい ... どうするのか？ どのような影響があるのか？ そして、影響を受けるかもしれない人々にどのように補償するのか？」<sup>58</sup>

確かに費用は高い。キュリオン社によれば、設置だけで1億USドル、その後の運営に年間数百万USドルがかかるという<sup>59</sup>。米国エネルギー省PPNLが提案した技術のコスト見積りには幅があるが、高コストのケースでは1リットルあたり60USドルから180USドル、つまり100万m<sup>3</sup>なら60億USドルから1800億USドルである<sup>60</sup>。

しかし、それが原発を使うコストとリスクだ。日本経済研究センター（JCER）は2019年3月、福島第一原子力発電所の事故に関連して、汚染水貯蔵費用を含めたコストの改定値を公表した。総費用は35～81兆円と推定した<sup>61</sup>。汚染水を陸上保管するための費用は、1m<sup>3</sup>当たり2000万円のコストに基づいて51兆円または4800億USドルと推定された。これは、米国エネルギー省技術の最大コストに近い。これらの高コストが日本政府を汚染水放出に向かわせているのであろう。

政府と東電は、汚染水危機を解決するための時間枠として2020年を目標としていたが到底無理であったことが実証された。すべての汚染水の再処理でさえ5～6年かかると推定されている。汚染水の量は今後も増え続けるだろう。処理技術の並行開発とともに、中長期にわたるタンク貯蔵が唯一の実行可能な選択肢である。

## 放出の代替 としての 長期貯蔵

日本政府が汚染水の環境への放出を強行しようとしている主な理由は、長期貯蔵の選択肢を放棄しているからである<sup>62</sup>。ところが、政府の意思決定の根拠となるはずのALPS小委員会報告書は、利用可能な長期貯蔵の選択肢があることを明らかにしている。「（長期貯蔵の継続には）問題があり時間がかかるが可能である。しかし、汚染水危機に対して提案されたすべての解決策には、複数の危険とリスクがある」

以下の短いセクションでは、東電福島原発における汚染水貯蔵オプションの現実性、特にALPS小委員会2020年報告書<sup>63</sup>について考察する。報告書を注意深く読んだ結果、日本政府の専門家委員会が長期貯蔵の可能性を示しており、トリチウムの危険性を減少させ、環境への影響が最も少ない選択肢だとしていることがわかった。

## 経産省ALPS 小委員会2020 報告

政府のALPS小委員会は「総容量約137万m<sup>3</sup>のタンクを2020年末までに増設するという現在のタンク建設計画によると、タンクを追加しても、2022年夏頃には満杯になる見込みであり、現在の計画より多くのタンクを設置するためのスペースの追加は制限されている」と報告した。

しかしながら、2つの具体的な選択肢、すなわち福島第一原発敷地内または原発敷地外での継続的貯蔵を選択すれば、環境放出に代わるやり方があるということの小委員会は提示した。

彼らの分析の重要な部分は、福島第一原発敷地境界外に追加的な土地を確保するという選択肢に関するものである。福島第一原発の立地自治体である双葉町と大熊町は放射能汚染度の高い地域であり、元の住民の多くが帰還せず人口が激減している。この両町にまたがる中間貯蔵施設用地と呼ばれている敷地外のスペースではここ数年、2カ所の大型核廃棄物貯蔵施設が建設中である。これらの中間貯蔵施設は、約10年間の除染プログラムの間に福島県内各地で除去された数百万トンの除染土壌のために選ばれた場所だ。

小委員会は、敷地外の選択肢の評価において、法的規制要件だけでなく、汚染水移送のためのパイプラインおよび車両輸送の検討もしている。同委員会は、汚染水が福島第一原発敷地内から敷地外に移送される場合、「法律に準拠した移送施設が必要となり、移送ルートについて自治体の理解を得る必要がある」と考えている。

規制については、「ALPS処理水の貯蔵とは、放射性物質を取扱うことなので、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（以下「原子炉等規制法」という）に基づく放射性廃棄物貯蔵施設としての事業許可の取得、同法に基づく放射線疾病予防対策の実施、保安検査、核物質防護検査等が必要となる。新たな放射性物質貯蔵施設の設置には、適切な設備、幅広い高度な調整及び承認プロセスが必要であり、相当な時間を要するであろう」としている。

小委員会は技術的にかつ法的に何が必要になるかを正確に把握しており、また、これらのことが効果的な選択肢であることも認めている。防護措置が求められるという事実は、ALPS処理水が危険であることを強く示している。

小委員会は、大熊、双葉両町の中間貯蔵施設の利用についても検討した。政府は、地元自治体、福島県に対して、大部分が土壌由来の放射性廃棄物の最終処分地を、30年以内（すなわち2050年頃まで）に福島県外に確保することを約束している。小委員会は、「廃炉についての中長期ロードマップでは、2011年12月の冷温停止状態達成後、30年から40年以内の福島第一原子力発電所の廃炉措置完了を目指している。ALPS処理水の処分は、「核燃料物質によって汚染された物の廃棄」と

同じことであり、原子炉等規制法に規定された廃炉措置の一部に相当する。福島復興と廃炉を二大原則とするという重要な前提があり、ALPS処理水の処分は、廃炉自体が完了した時点で、廃炉作業の一部として完了しなければならない。したがって、汚染水貯蔵の継続は廃炉措置の完了時に終了すると仮定すべきである」と指摘している。

もちろん、中長期ロードマップは信頼できないものであり、今後数年、数十年のうちに何度も修正されることになるだろう。これは公的機関の誰も言及していないが、内心では誰もが思っているだろう。大熊、双葉両町に運ばれた数百万トンの土壌を中心とした核廃棄物は、30年以内に搬出されることはないだろう。福島第一原発の廃棄物を受け入れる場所は、日本の他の都道府県にはないだろう。汚染水の長期貯蔵の提案は、福島第一原発事故によって発生した数百トンの炉心溶融物と数百万トンの汚染土壌を含む、すべての放射性廃棄物が今世紀半ばまでに除去されるという日本政府と東電の身勝手な物語と矛盾することになる。

小委員会は、「中間貯蔵施設予定地については、地権者の皆様に、中間貯蔵施設のために利用させていただくことを目的として、土地の提供（地上権の設定を含む）をお願いしている。福島県内の除染土壌等や特定復興再生拠点区域で発生する除染土壌等も含めて確実に貯蔵ができるように、今後も用地取得・施設整備を進めていく必要がある。したがって、福島第一原発の敷地の外側にある中間貯蔵施設予定地を、中間貯蔵施設以外の用途で使用し、福島第一原発の敷地を拡大することは難しい」と述べている。

この結論は、ALPS処理された汚染水の貯蔵場所を確保する上で、技術的、工学的、法的な障壁はなく、政治的意志の問題であることを示している。

東電によれば、「貯水タンク区域の効率化（フランジ付タンクを設置していたスペースを活用して）や廃棄物処理等の進捗により、敷地内に空き地ができる可能性がある。一方で、今後、廃炉作業を進めていくためには、ALPS処理水を貯蔵するためのタンク、使用済燃料や燃料デブリの一時保管施設、その他、様々な試料の分析用施設や燃料デブリ取り出し資機材保管施設、燃料デブリ取り出しモックアップ施設、燃料デブリ取り出し訓練施設、廃棄物リサイクル施設等の廃炉事業に必要と考えられる施設が必要となる」という<sup>64</sup>。

例えば、1100トンほどの炉心溶融物の貯蔵場所が今後数十年のうちに必要になるとする現行の廃炉中・長期ロードマップが、東電及びALPS小委員会、そして最終的には日本政府が想定している用地についての前提になっている。そこが根本的な問題なのである<sup>65</sup>。現在進められている2021年から2031年までに炉心溶融デブリを除去するというスケジュールは、信ぴょう性に乏しく、ほとんど無理であろう。したがって、既存の福島第一原発敷地内の土地は、追加の貯蔵タンクのために利用可能であり、少なくとも数十年、そしてほぼ確実にもっと長くその状態が続く可能性が高いのである。

## ALPS小委員会は放出開始を遅らせることの重要性を示した

ALPS小委員会報告で放出時期を遅らせることについて議論がなされている。下表は、トリチウムだけに着目した処分開始時期と処分量によるタンクに貯蔵されている処理水の処分期間（処分終了時期）の試算例である（第16回ALPS小委員会資料4から抜粋）<sup>66</sup>。

処分開始時期 \ 処分量	《参考》 22兆Bq/年	50兆Bq/年	100兆Bq/年	《参考》 タンクの想定貯蔵量(最大)
2020年《参考》	33年 (2052年)	19年 (2038年)	10年 (2029年)	約130万m <sup>3</sup>
2025年	29年 (2053年)	17年 (2041年)	9年 (2033年)	約147万m <sup>3</sup>
2030年	25年 (2054年)	14年 (2043年)	8年 (2037年)	約165万m <sup>3</sup>
2035年	21年 (2055年)	12年 (2046年)	7年 (2041年)	約183万m <sup>3</sup>

小委員会が述べているように、放出は2020年に開始されるわけではないが、計算の基準日として用いられている。この表で強調すべき重要な問題は、2020年に最大22TBq/年の放出を開始すれば33年間かかるのに対して、2035年まで15年間延期すれば放出期間は21年間で済むことである。2035年までの遅延時間（15年）はトリチウムの半減期（12.3年）よりも長く、減衰によって全放射能が半分以下になるからである。

ただし、放出決定を遅らせることは、半減期が約30年のストロンチウム90、半減期が2万4,100年のプルトニウム239などの長寿命放射性核種に関しては、ほとんど、あるいはまったく影響しない。小委員会報告の上記の表は、少なくとも放出を15年間遅らせることの意義について明確にしている。このことは、当然のことながら、廃炉計画に避けられない遅延や変更が生じた場合に、既存の福島第一原発敷地内の利用可能な土地を使用することや、敷地外での貯蔵の選択肢について交渉するために相当な追加的時間が必要だという問題を軽減し、タンク増設の可能性を広げるものである。

しかし残念ながら、小委員会は、放出の決定を遅らせてトリチウムの減衰を待つという明白な勧告を回避した<sup>67</sup>。



## 福島第一原発 の汚染水は 人権問題

国連人権高等弁務官事務所（OHCHR）特別報告者はこの問題に介入し、汚染水は人権問題であるという意見を表明し、日本政府に対して以下のように求めた。「国内外の人々に影響を及ぼす可能性のある放射性廃棄物の処分について、適切な協議の場と機会を与えるよう求める」（2020年6月9日）<sup>68</sup>

2020年6月9日、4人の国連特別報告者<sup>69</sup>は日本政府に対し「福島第一原発の原子炉から出る放射性廃液の海洋投棄に関するいかなる決定も、新型コロナウイルス感染症の危機が過ぎ、適切な国際協議が開催できるようになるまで遅らせるよう」促した。2020年4月の日本政府へ情報提供要請の中で、国連特別報告者は彼らの懸念を以下のように説明した<sup>70</sup>。

「東京電力は、放出前に大量のALPS処理水の再処理を行う計画であるが、ストロンチウム90を含む大量の放射性物質が残っている。福島原発事故で汚染された水を海や空に処分することは、収入と生活のために漁業に大きく依存している先住民を含む多くのコミュニティの多数の人権と生計を危険にさらす ... 汚染された廃水を海に処分するという決定は、原発事故後に産業の再建に多大な努力を払ってきた地元の漁師の人権と生計にも深刻な影響を与えるだろう」<sup>71</sup>

しかし、日本政府は、国連の介入によって提起された人権の基本原則を事実上無視し、上述したようにALPS処理水は汚染水ではないと主張した<sup>72</sup>。

福島県内の市町村議会は、汚染水問題について日本政府にその立場を明確にした。2020年3月以降、多くの自治体で汚染水の放出に対する懸念や反対を表明する決議が可決された。「これ以上海を汚すな！市民会議」が報告しているように、2020年10月8日現在で意見書は59市町村のうちの44の地方議会によって採択されており、うち41が反対ないしは慎重な判断を求めており、ALPS小委員会の提案を直ちに受け入れることはできないという立場である。「これ以上海を汚すな！市民会議」が国連特別報告者らに説明したように、内陸部を含め、福島県の隅々からこうした反対が出ている。（東京都）小金井市議会も、海洋放出に反対し、陸上貯蔵を求める決議を採択した。2020年6月23日には全国漁業協同組合連合会の通常総会に

において、2020年6月26日には福島県漁業協同組合連合会の通常総会において、処理水の処分方法として「海洋放出に断固反対する」の特別決議が全会一致で承認された<sup>73</sup>。

2020年3月11日の石川町の意見書で、一人の漁師の以下の発言が引用されている。「試験操業を繰り返し、やっと本操業が見えてきたのにトリチウム汚染水が放出されたら、今までの苦労が水の泡になってしまう。後継者を育てないと技術の継承もできず、福島の漁業は壊滅してしまう」。

石川町から安倍首相（当時）らへ提出された意見書は、海洋放出ではなく、長期保管とし、廃炉終了時までには分離・回収技術を研究開発し実用化することをもとめている<sup>74</sup>。

2020年7月8日、バスクト・トゥンジャク氏は「2011年3月の悲劇的な出来事によって壊滅的な打撃を受けた福島の地域社会は、汚染水の環境への放出に対する懸念と反対を表明してきた。尊厳を持って生活し、文化を享受し、意図的に新たな汚染にさらされないような環境を整えることは、彼らの人権問題である。これらの権利は完全に尊重されるべきであり、日本政府が無視することは許されない」と日本のメディアに意見を寄せた<sup>75</sup>。

## さいごに

10月中旬、日本政府が2020年10月27日に放射能汚染水の海洋放出方針を決定すると報道があった。しかし、10月23日、梶山経済産業大臣は「風評を最大限抑制する処分、国内外への丁寧な情報発信と主要論点についてさらに検討を深める」と会見で述べ、海洋放出方針の決定は先延ばしされた。

同日朝の経済産業省廃炉・汚染水対策チーム会合（第6回）で汚染水の処分についてのパブリックコメントの結果が公表された。計4,011件の意見が寄せられ、そのうち安全性への懸念が約2,700件、合意プロセスへの懸念が約1,400件だったという。

また、福島県内の自治体議会の意見書、関連産業界からの「ご意見を伺う場」における参加者の意見表明からしても、環境中への「放出反対」の民意は明らかだ。

国は「風評」を強調するが、トリチウムも有害であり、さらにリスクの高いストロンチウム90、炭素14も含まれている「処理水」の放出は「実害」を招く。

1982年に採択された「国連海洋法条約（UNCLOS）」第194条2は、「いずれの国も、自国の管轄又は管理の下における活動が他の国及びその環境に対し汚染による損害を生じさせないように行われること並びに自国の管轄又は管理の下における事件又は活動から生ずる汚染がこの条約に従って自国が主権的権利を行使する区域を越えて拡大しないことを確保するためにすべての必要な措置をとる」としている。

本報告書からわかるように、日本政府は、汚染の拡大を避けるための必要な措置をとっていない。

それどころか、経産省ALPS小委員会での福島第一原発敷地内または原発敷地外での継続的貯蔵について、および放出開始を遅らせることによる放射能の減衰などの利点についての議論も活かしていない。

日本の科学者やエンジニア、環境保護団体などから構成される「原子力市民委員会」はモルタル固化など、環境中への放出に代わる案も提示してきた。グリーンピースも一貫して、陸上保管とそれと並行しての放射性物質除去技術の開発と適用を提言してきた。パブリックコメントには同様の意見が含まれている。それらこそが、汚染の拡大を避けるために必要な措置なのである。

## 付録

排出基準以下へのALPSによる「除去」の対象となる62の放射性核種のリスト

番号	同位体	半減期	番号	同位体	半減期
1	ルビジウム86 (Rb86)	19日	32	バリウム140 (Ba140)	13日
2	ストロンチウム89 (Sr89)	51日	33	セリウム141 (Ce141)	33日
3	ストロンチウム90	29年	34	セリウム144 (Ce144)	284日
4	イットリウム90 (Y90)	64時間	35	プラセオジウム144 (Pr144)	17分
5	イットリウム91 (Y91)	58日	36	プラセオジウム144m (Pr144m)	7.2分
6	ニオブ95 (Nb95)	35日	37	プロメチウム146 (Pm146)	5.5年
7	テクネチウム99 (TC99)	21万年	38	プロメチウム147 (Pm147)	2.6年
8	ルテニウム103 (Ru103)	39日	39	プロメチウム148 (Pm148)	5日
9	ルテニウム106 (Ru106)	374日	40	プロメチウム148m (Pm148m)	43日
10	ロジウム103m (Rh103m)	56分	41	サマリウム151 (Sm151)	89年
11	ロジウム106 (Rh106)	30秒	42	ユーロピウム152 (Eu152)	13年
12	銀110m (Ag110m)	250日	43	ユーロピウム154 (Eu154)	9年
13	カドミウム113m (Cd113m)	14年	44	ユーロピウム155 (Eu155)	5年
14	カドミウム115m (Cd115m)	45日	45	ガドリニウム153 (Gd153)	240日
15	スズ119m (Sn119m)	293日	46	テルビウム160 (Tb160)	72日
16	スズ123 (Sn123)	130日	47	プルトニウム238 (Pu238)	88年
17	スズ126 (Sn126)	10万年	48	プルトニウム239 (Pu239)	2万4,110年
18	アンチモン124 (Sb124)	60日	49	プルトニウム240 (Pu240)	6,552年
19	アンチモン125 (Sb125)	2.8年	50	プルトニウム241 (Pu241)	14年
20	テルル123m (Te123m)	120日	51	アメリシウム241 (Am241)	430年
21	テルル125m (Te125m)	58日	52	アメリシウム242m (Am242m)	141年
22	テルル127 (Te127)	9時間	53	アメリシウム243 (Am243)	7,470年
23	テルル127m (Te127m)	110日	54	キュリウム242 (Cm242)	160日
24	テルル129 (Te129)	69分	55	キュリウム243 (Cm243)	29年
25	テルル129m (Te129m)	34日	56	キュリウム244 (Cm244)	18年
26	ヨウ素129 (I129)	1,570万年	57	マンガン54 (Mn54)	312日
27	セシウム134 (Cs134)	2年	58	鉄59 (Fe59)	45日
28	セシウム135 (Cs135)	230万年	59	コバルト58 (Co58)	71日
29	セシウム136 (Cs136)	13日	60	コバルト60 (Co60)	5年
30	セシウム137 (Cs137)	30年	61	ニッケル63 (Ni63)	100年
31	バリウム137m (Ba137m)	3分	62	ジルコニウム65 (Zn65)	244日

東電の資料などを元に、筆者が作成した。



## 文末注

1. 東電福島原発汚染水の危機 Water Crisis (抜粋訳) [https://storage.googleapis.com/planet4-japan-stateless/2019/12/f94f2670-bp\\_2019\\_watercrisis\\_jpn.pdf](https://storage.googleapis.com/planet4-japan-stateless/2019/12/f94f2670-bp_2019_watercrisis_jpn.pdf) 英語版は2019年1月発行
2. 放出基準超えの汚染処理水 東電が再処理試験開始 福島第1原発 毎日新聞 <https://mainichi.jp/articles/20200915/k00/00m/040/174000c>
3. 「事故処理費用、40年間に35兆～80兆円に」、日本経済研究センター、2019年3月7日 <https://www.jcer.or.jp/policy-propos-als/2019037.html>
4. John Large, "Preliminary analysis of TEPCO processed water data sheets", June 21st 2018, Large&Associates, London for Shaun Burnie, Greenpeace Germany.
5. 東京電力、「ALPS処理水>告示濃度比総和別貯留量の更新データ」、2020年8月27日 <https://www.tepco.co.jp/decommission/progress/watertreatment/images/200827.pdf>
6. European Parliament, "Possible Toxic Effects From The Nuclear Reprocessing Plants At Sellafield (UK) and Cap de la Hague (France)", A first contribution to the scientific debate, Schneider, M., Study team: Coeytaux, X., Faïd, Y.B., Marignac, Y., Rouy, E., Thompson, G. (IRSS, Cambridge, USA) Fairlie, I., Lowry, D., Sumner, D. (Independent consultants), European Parliament Directorate General for Research Directorate A The STOA Programme, November 2001, see [http://www.wise-paris.org/index.html?/english/stoa\\_en.html&/english/frame/menu.html&/english/frame/band.html](http://www.wise-paris.org/index.html?/english/stoa_en.html&/english/frame/menu.html&/english/frame/band.html)
7. 外務省 国連人権理事会特別手続による共同コミュニケーションに対する日本政府回答 2020年6月12日 <https://www.mofa.go.jp/files/100064088.pdf>
8. Rodgers DW., "Tritium Dynamics in Mice exposed to Tritiated Water and Diet." Health Physics, 63, 331-337 1992, see [https://journals.lww.com/health-physics/Abstract/1992/09000/Tritium\\_Dynamics\\_in\\_Mice\\_Exposed\\_to\\_Tritiated.9.aspx](https://journals.lww.com/health-physics/Abstract/1992/09000/Tritium_Dynamics_in_Mice_Exposed_to_Tritiated.9.aspx)
9. 「人権無視は許されない コロナ禍を利用するな」国連有害廃棄物に関する特別報告者・バスクト・トゥンジャク <https://www.47news.jp/5144685.html>
10. 東京電力「処理水ポータルサイト」 <https://www.tepco.co.jp/decommission/progress/watertreatment/>
11. 同上
12. 「福島第一原子力発電所における高濃度の放射性物質を含むたまり水の貯蔵及び処理の状況について (第465報)」東京電力、2020年8月24日 [https://www.tepco.co.jp/decommission/information/newsrelease/watermanagement/pdf/2020/watermanagement\\_20200824-j.pdf](https://www.tepco.co.jp/decommission/information/newsrelease/watermanagement/pdf/2020/watermanagement_20200824-j.pdf)
13. 国際原子炉廃止措置研究所 (IRID) は、原子炉自体の限られた検査データに基づくだけでなく3基の原子炉メルトダウン過程のモデル化を監督してきた。その中で、宇宙線ミュオンを利用した走査画像解析などから炉心溶融物のトン数の範囲が推定された。
14. 前掲、日本経済研究センター 2019年3月7日
15. 同上
16. Journal of Nuclear Science and Technology "Radionuclide release to stagnant water in the Fukushima-1 nuclear power plant1", Kenji Nishihara, Isao Yamagishi, Kenichiro Yasuda, Kenichiro Ishimori, Kiwamu Tanaka, Takehiko Kuno, Satoshi Inada & Yuichi Gotoh (2015) , 52:3, 301-307, DOI: 10.1080/00223131.2014.946455, see <https://doi.org/10.1080/00223131.2014.946455>
17. 同上
18. The Japan Times, "ALPS system at Fukushima No.1 plant failing to remove more than tritium from toxic cooling water", Kyodo, 19 August, 2018, see [https://www.japantimes.co.jp/news/2018/08/19/national/alps-system-fukushima-no-1-plant-failing-remove-tritium-toxic-cooling-water/?utm\\_source=Daily+News+Updates&utm\\_campaign=65c5c70dd4-Monday\\_email\\_updates20\\_08\\_2018&utm\\_medium=email&utm\\_term=0\\_c5a6080d40-65c5c70dd4-332761853](https://www.japantimes.co.jp/news/2018/08/19/national/alps-system-fukushima-no-1-plant-failing-remove-tritium-toxic-cooling-water/?utm_source=Daily+News+Updates&utm_campaign=65c5c70dd4-Monday_email_updates20_08_2018&utm_medium=email&utm_term=0_c5a6080d40-65c5c70dd4-332761853)
19. Julian Ryall, "Japan plans to flush Fukushima water 'containing radioactive material above permitted levels' into the ocean" 16 October 2018, Daily Telegraph, see <https://www.telegraph.co.uk/news/2018/10/16/japan-plans-flush-fukushima-water-containing-radioactive-material/>
20. 「多核種除去設備等処理水の取扱いに関する小委員会 報告書を受けた当社の検討素案について」東京電力、2020年3月24日 <https://www.tepco.co.jp/decommission/progress/watertreatment/images/200324.pdf>
21. Atomic Energy Society Japan, "Treatment of contaminated water stored in Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant", Division of Water Chemistry, Fusion Engineering Division, 10 September 2013, see <http://www.aesi.or.jp/jikocho/Treatmentofcontaminatedwater.pdf>
22. Nuclear Emergency Response Headquarters, "Basic Policy for the Contaminated Water Issue at the TEPCO's Fukushima Daiichi NPS", 3 September 2013, as cited in METI, "Countermeasures for Contaminated Water at TEPCO's Fukushima Daiichi NPS", Osamu GOTO Director-General for Energy and Environmental Policy Agency for Natural Resources and Energy, METI, 16 September 2013, see <https://www.iaea.org/sites/default/files/countermeasures160913.pdf>
23. John Large, "Preliminary analysis of TEPCO processed water data sheets", June 21 2018, Large&Associates, London for Shaun Burnie, Greenpeace Germany
24. Purolite, "Purolite Develops Solution to Fukushima Radioactive Water Clean-up", 23 March 2012, see <https://www.prnews-wire.com/news-releases/purolite-develops-solution-to-fukushima-radioactive-water-clean-up-143961516.html>
25. Purolite, "Purolite Core Technology achieved ND in the onsite test"(Extract from Purolite presentation at Tokyo District Court on 18 July 2017)
26. TEPCO, "Fukushima Daiichi NPS Prompt Report (Oct 21, 2014) Recent topics: New High-Performance Water Treatment System At Fukushima Set To Increase Capacity By A Third While Cutting Waste 90 Percent", see [https://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/2014/1243241\\_5892.html](https://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/2014/1243241_5892.html)

27. 知的所有権高等裁判所により2019年9月20日に下された判決、同日に裁判所書記官によって受理された損害賠償請求事件。口頭弁論終結日 2019年7月18日
28. 福島第一原子力発電所多核種除去設備等処理水の二次処理性能確認試験結果：速報 [https://www.tepco.co.jp/decommission/information/newsrelease/reference/pdf/2020/2h/rf\\_20201015\\_1.pdf](https://www.tepco.co.jp/decommission/information/newsrelease/reference/pdf/2020/2h/rf_20201015_1.pdf)
29. 東京電力「多核種除去設備等処理水の取扱いに関する小委員会報告書を受けた当社の検討素案について」 <https://www.tepco.co.jp/decommission/progress/watertreatment/images/200324.pdf>
30. 同上
31. Purolite, "Purolite Develops Solution to Fukushima Radioactive Water Clean-up", 23 March 2012, see <https://www.prnewswire.com/news-releases/purolite-develops-solution-to-fukushima-radioactive-water-clean-up-143961516.html>
32. Ken O. Buesseler. "Opening the floodgates at Fukushima", Science 7 Aug 2020: Vol. 369, Issue 6504, pp. 621-622 DOI: 10.1126/science.abc1507, see <https://science.sciencemag.org/content/369/6504/621>
33. IAEA, "Sediment Distribution Coefficients And Concentration Factors For Biota In The Marine Environment", Technical Reports Series No. 422, International Atomic Energy Agency Vienna, 2004, see [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TRS422\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TRS422_web.pdf)
34. As cited by IRSN (see reference below, Le Dizès-Maurel S, Maro D, Lebaron-Jacobs L, Masson M (2009). « Carbone 14 », in Chapitre 31, Toxicologie nucléaire environnementale et humaine. Ménager M.T., Garnier-Laplace J., Goyffon M. (Coord). Editions Tex&Doc – Lavoisier., 603-618.
35. 「放射性核種ファクトシート炭素-14と環境」、2012年8月、以下を参照 <https://www.irsn.fr/EN/Research/publications-documentation/radionuclides-sheets/environment/Pages/carbon14-environment.aspx>
36. 外務省「日本国政府の特別手続からの共同コミュニケへの対応」、2020年6月12日 <https://www.mofa.go.jp/files/100064087.pdf>
37. 東京電力「ALPS処理水>告示濃度比総和別貯留量の更新データ」、2020年8月27日 <https://www.tepco.co.jp/decommission/progress/watertreatment/images/200827.pdf>
38. 東京電力「福島第一原子力発電所多核種除去装置で処理された水の二次処理の性能確認試験」、2020年9月10日 [https://www.tepco.co.jp/decommission/information/newsrelease/reference/pdf/2020/2h/rf\\_20200910\\_1.pdf](https://www.tepco.co.jp/decommission/information/newsrelease/reference/pdf/2020/2h/rf_20200910_1.pdf)
39. 前掲、東京電力、2020年8月27日
40. 「第一原子力発電所における 福島第一原子力発電所におけるトリチウム量 及び多核種除去設備処理水化学的水質について 及び多核種除去設備処理水化学的水質について」、東京電力、2014年4月24日 [https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/140424/140424\\_02\\_003.pdf](https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/140424/140424_02_003.pdf)
41. 水性液体廃棄物中の炭素-14の化学形態は、通常、溶液のpHに応じて、炭酸塩または重炭酸塩ないしはその混合塩である。したがって、イオン交換のような従来の水処理プロセスは、HCO<sup>3-</sup>/CO<sup>3-2</sup>として炭素14を十分に除去することができる(前掲IAEA2004参照)
42. ANRE, "The current status and future process of the domestic study of ALPS treated water at Fukushima Daiichi NPS", Agency for Natural Resources and Energy, METI September, 2019, see [https://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/decommissioning/pdf/20190904\\_current\\_status.pdf](https://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/decommissioning/pdf/20190904_current_status.pdf)
43. 経済産業省「ALPS処理水の取扱いに関する小委員会報告書10年、2020年2月 <https://www.meti.go.jp/press/2019/02/20200210002/20200210002-2.pdf>
44. Rodgers DW, "Tritium Dynamics in Mice exposed to Tritiated Water and Diet." Health Physics, 63, 331-337 1992, see [https://journals.lww.com/health-physics/Abstract/1992/09000/Tritium\\_Dynamics\\_in\\_Mice\\_Exposed\\_to\\_Tritiated.9.aspx](https://journals.lww.com/health-physics/Abstract/1992/09000/Tritium_Dynamics_in_Mice_Exposed_to_Tritiated.9.aspx)
45. イアン・フェアリー博士の意見、ショーン・バーニーとの私信、2020年8月25日
46. S. L. Commerford; A. L. Carsten; E. P. Cronkite, "The Turnover of Tritium in Cell Nuclei, Chromatin, DNA, and Histone", Radiation Res (1982) 92 (3): 521-529, see <https://doi.org/10.2307/3575924>
47. Duong, T., Trivedi, A., "Evaluation of storage conditions for tritiated thymidine as reference organically-bound tritium in urine", J Radioanal Nucl Chem 226, 229-231 (1997), see <https://doi.org/10.1007/BF02063653>
48. S. L. Commerford; A. L. Carsten; E. P. Cronkite, "The Distribution of Tritium in the Glycogen, Hemoglobin, and Chromatin of Mice Receiving Tritium in Their Drinking Water", Radiat Res (1977) 72 (2): 333-342, see <https://doi.org/10.2307/3574703>
49. 前掲、フェアリー 2020年8月25日
50. R. V. Osborne, "Permissible Levels of Tritium in Man and the Environment" Radiation Research Vol. 50, No. 1 (Apr., 1972), pp. 197-211 (15 pages), Radiation Research Society DOI: 10.2307/3573479, see <https://www.jstor.org/stable/3573479>
51. 前掲、フェアリー 2020年8月25日
52. Autorité de Sûreté Nucléaire, Livre Blanc Tritium, July 2010, <http://livre-blanc-tritium.asn.fr/plus/english-version.html>
53. デビッド・ポワイエ、ショーン・バーニーとの私信、2020年8月31日 <https://www.acro.eu.org/international/japon/actualites-fukushima/> も参照
54. Eyrolle, F., Copard, Y., Lepage, H. et al. Evidence for tritium persistence as organically bound forms in river sediments since the past nuclear weapon tests. Sci Rep 9, 11487 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47821-1>
55. Eyrolle, F. et al. An updated review on tritium in the environment.", Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN), PSE-ENV, SRTE, BP 3, 13115 Saint-Paul-lez-Durance, France, J. Environ. Radioactiv. 181, 128-137 (2018), see <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0265931X17307956?via%3Dihub>
56. 経済産業省「汚染水処理対策委員会トリチウム水タスクフォース(第14回)議事概要汚染水処理対策委員会」2016年4月19日 [http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/osensuitaisaku/committee/tritium\\_tusk/pdf/160419\\_07.pdf](http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/osensuitaisaku/committee/tritium_tusk/pdf/160419_07.pdf)

57. International Research Institute for Nuclear Decommissioning (IRID), "Previous Discussions on the Management for Tritiated Water", 3 June, 2014 Ministry of Economy, Trade and Industry Agency for Natural Resources and Energy (Cabinet Office, Management Office of the Team for Decommissioning and Contaminated Water Countermeasures), <https://www.mri.co.jp/en/news/dia6ou00000g08f-att/2014060212E.pdf>
58. Kurion technical officer, Gaetan Bonhomme, cited in Los Angeles Times, "4 years after Fukushima, Japan considers restarting nuclear facilities", 30 March 2015, see <http://www.latimes.com/world/asia/la-fg-japan-nuclear-20150330-story.html>
59. 同上
60. U.S.DOE, "Separation of Tritiated Water Using Graphene Oxide Membrane" Prepared for U.S. Department of Energy Fuel Cycle Research and Development Material Recovery and Waste Form Development Campaign, GJ Sevigny, RK Motkuri, DW Gotthold, LS Fifield Pacific Northwest National Laboratory AP Frost, W Bratton Kurion June 2015 FCRD- MR-WFD-2015-000773 PNNL-24411, see [https://www.pnnl.gov/main/publications/external/technical\\_reports/PNNL-24411.pdf](https://www.pnnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-24411.pdf)
61. 前掲、日本経済研究センター、2019年3月7日
62. 経済産業省「ALPS処理水取扱いに関する小委員会報告書」2020年2月10日  
<https://www.meti.go.jp/press/2019/02/20200210002/20200210002-2.pdf>
63. 前掲、経済産業省、2020年2月10日
64. 前掲、経済産業省、2020年2月10日
65. Greenpeace Germany, "Decommissioning plans for the Fukushima Daiichi Nuclear Plant Analysis of IAEA Mission Report and NDF Strategic Plan", Shaun Burnie, March 2019, see <https://storage.googleapis.com/planet4-japan-state-less/2020/09/866bd062-tepco-water-crisis.pdf>
66. 表は、第16回ALPS小委員会資料4から抜粋したもの。以下の説明がある：  
※様々な仮定の下に得られた試算結果の一例であることに留意。また、事故時に発生したトリチウムが全て汚染水に含まれると仮定しており、建屋内の燃料デブリ等に残存するトリチウム量によって処分期間が変動する可能性がある。  
※追加的に発生する汚染水や日々の減衰も考慮。  
※タンクに貯留されているALPS処理水の処分を終えても、廃炉を終えるまで、処理水が発生し続ける可能性があることに留意が必要。処分量や濃度について、前例を超えるかどうか風評へ影響を及ぼす可能性があるため、できるだけ前例と同程度の範囲内での処分とすることで風評への影響を抑えることも考えられる。
67. 前掲、経済産業省、2020年2月10日
68. OHCHR, "Fukushima: Japan must not ignore human rights obligations on nuclear waste disposal – UN experts", 9 June 2020, see <https://www.ohchr.org/EN/NewsEvents/Pages/DisplayNews.aspx?NewsID=25940&LangID=E>;
69. 4人の特別報告者は以下の通り（外務省の表記による）  
バスクト・トゥンジャク（Baskut Tuncak）有害物質及び廃棄物の環境面での適切な管理及び廃棄の人権への影響に関する特別報告者（有害廃棄物特別報告者）、マイケル・ファクリ（Michael FAKHRI）食糧の権利に関する特別報告者（食糧の権利特別報告者）、クレマン・ヴール（Clement Nyaletsossi VOULE）平和的集会及び結社の自由に対する権利に関する特別報告者（平和的集会・結社特別報告者）、ホセ・カリ（Jose Francisco Cali TZAY）先住民族の権利に関する特別報告者（先住民の権利特別報告者）
70. 外務省仮訳より <https://www.mofa.go.jp/mofaj/files/100064086.pdf>
71. 同上
72. 回答外務省仮訳 <https://www.mofa.go.jp/mofaj/files/100064088.pdf>
73. これ以上海を汚すな！市民会議 バスクト・トゥンジャク氏らへの手紙 2020年7月10日
74. 石川町、「福島県の漁業と漁業関係者の生活を守るために東京電力第一原発敷地内に保管されているトリチウム汚染水の海洋放出に反対する意見書」2020年3月11日、<https://www.greenpeace.org/japan/sustainable/story/2020/07/14/17127/>
75. 「人権無視は許されない コロナ禍を利用するな」 国連有害廃棄物に関する特別報告者・バスクト・トゥンジャク  
<https://www.47news.jp/5144685.html>

# 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。世界中の300万人以上の人々からの寄付に支えられ、企業や政府、一般の人々により良い代替策を求める活動を行っています。

## 問い合わせ

kouhou@greenpeace.org  
press.kr@greenpeace.org

国際環境NGO **グリーンピース・東アジア**（ソウル事務所）  
6F Cheongryong bldg 257 Hangang-daero, Yongsan-gu  
Seoul, South Korea (04322)

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/)

