

## 福島第一原発の

トリチウム ( $^3\text{H}$ ) 水の海洋放出について

Concerning to the release of tritium ( $^3\text{H}$ ) water into the sea as of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant

大木 久光

OHKI Hisamitsu

トリチウムはベータ崩壊をする放射性物質で、水素の同位体である。酸素と結合して容易に水（トリチウム水）となる事を説明し、世界の原発からの廃水に含まれるトリチウム濃度と比較しながら、人体および環境への影響を述べる。さらに、政府のタスクフォースによる福島第一原発のトリチウム水の海洋放流方法の検討とその結果を記載する。トリチウムの濃度を 1,500Bq/L に薄めれば海洋放流しても人体及び環境への影響は極めて小さい事を示す。最後に、政府・東京電力関係者は、地元の漁業関係者に安全であることを理解して貰えるまで丁寧に説明し、納得して貰えるように努力することが安心に繋がる極めて重要な点であることを強調する。

Tritium is a radioactive substance that undergoes beta decay and is an isotope of hydrogen.

Explain that it easily becomes water (tritiated water) by combining with oxygen, and describe the effects on the human body and the environment while comparing it with the concentration of tritium contained in wastewater from nuclear power plants in the world.

In addition, the author will explain how the government's task force examined the method of releasing tritiated water from the Fukushima Daiichi nuclear power plant into the ocean and the results.

It is shown that if the tritium concentration is diluted to 1,500 Bq / L and released into the ocean, the impact on humans and the environment will be extremely small.

Finally, the author state that government and TEPCO officials should politely explain to local fisherman and stake folders that they are safe, and it is then emphasized that it is very important to make effort to be convinced and reassured.

キーワード：トリチウム、トリチウム水、ベータ崩壊、デューテリウム、海洋放出

# 1 トリチウム ( $^3\text{H}$ ) とは、トリチウム水 ( $^3\text{H}_2\text{O}$ )

## とは

### 1.1 トリチウム ( $^3\text{H}$ ) とは

#### (1) トリチウムの一般情報

トリチウム ( $^3\text{H}$ ) は自然界にも存在し、陽子 1 個、中性子 2 個からなる原子核とその周囲を回る電子 1 個で構成される質量数 3.016 の原子で、水素 (H) の放射性同位体 (\*) である。

一般に、水素 (H) は陽子 1 個からなる原子核とその周囲を回る電子 1 個で構成される質量数 1.008 の原子である。

トリチウムは、天然に存在する人工放射能の一つで、大気中の窒素・酸素と宇宙線の反応で生成し、地球上の

天然でつくられる分の存在量は 96 京ベクレル ( $9.6 \times 10^{17}\text{Bq}$ ) と推定されている。

現在の降雨中の濃度は 1~3 ベクレル/リットル (Bq/L) であるが、核兵器開発競争の前は 0.2~1 Bq/L であったことから、核実験の影響で約 3 倍になった可能性もある。

他に、陽子 1 個、中性子 1 個からなる原子核とその周囲を回る電子 1 個で構成される質量数 2.014 の原子の「重水素」(デューテリウム) ( $^2\text{H}$ ) がある。重水素は水素の安定同位体である。

トリチウム ( $^3\text{H}$ ) は英語の頭文字の T で表わすこともある。同様に、「重水素」(デューテリウム) ( $^2\text{H}$ ) は D で表わされる。水素はトリチウムやデューテリウムと区別するときは軽水素と表現される。

\* 水素には質量数が 4 から 7 の同位体もあるが、いずれも半減期が  $10^{-22}$  秒以下と極めて短く不安定で実験室外には存在しないため、

多くの場合には三重水素(トリチウム)が事実上唯一の水素の放射性同位体として扱われている。

## (2) トリチウム( $^3\text{H}$ , T)の物理的性質

トリチウムの質量数は軽水素の約3倍、質量数2の重水素( $^2\text{H}$ , D)の約1.5倍で、 $\beta$ 線を放出しながらベータ崩壊をしてヘリウム3( $^3\text{He}$ )になる。半減期は12.32年で、生物学的半減期は12日とされている。

## (3) 化学的性質

トリチウムは化学的性質が質量数1の水素とほぼ同じで、酸素と結合して放射性を持った水(トリチウム水)となる( $^3\text{H}_2\text{O}$  或いは  $\text{T}_2\text{O}$ )。同様にデューテリウム( $^2\text{H}$ )は酸素と結合すると重水( $^2\text{H}_2\text{O}$  或いは  $\text{D}_2\text{O}$ )となる。すなわち、トリチウム( $^3\text{H}$ もしくはT)は、科学的に水素(軽水素)とおなじ挙動をする。

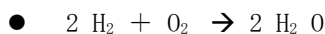
| 原子核  | 陽子1つ                | 陽子1つ、中性子1つ          | 陽子1つ、中性子2つ         |
|------|---------------------|---------------------|--------------------|
| 日本語名 | 軽水素<br>※一般的な水素      | 重水素                 | 三重水素               |
| 英語名  | hydrogen<br>ハイドロジェン | deuterium<br>デュテリウム | tritium<br>トリチウム   |
| 表記   | $^1\text{H}$ または H  | $^2\text{H}$ または D  | $^3\text{H}$ または T |

出典:三菱総合研究所

図1 水素同位体の概念

## 1.2 トリチウム水( $^3\text{H}_2\text{O}$ または $\text{T}_2\text{O}$ )とは

水素原子(H)は2個で水素分子( $\text{H}_2$ )を構成する。酸素原子(O)も2個で酸素分子( $\text{O}_2$ )を構成する。これらの水素分子と酸素分子とが2:1の割合で結合して水となる。



一方、トリチウム水は、原子炉内の反応で生成される。

その概略手順は、原子炉において、炉内の重水(HDOや $\text{D}_2\text{O}$ )の二重水素(D)が、中性子捕獲することでトリチウム水(つまりHTOや $\text{T}_2\text{O}$ の形)が生成される。

- HDO(重水) → 中性子捕獲 → HTO(トリチウム水)
- $\text{D}_2\text{O}$ (重水) → 中性子捕獲 →  $\text{T}_2\text{O}$ (トリチウム水)

つまり、トリチウム水は普通の水と同じ物理化学的性質の挙動をする。

## 1.3 福島第一原子力発電所のトリチウムに関する状

況

トリチウムは、自然界において宇宙線の働きなどにより約7京(約 $7 \times 10^{16}$ )Bq/年生成されており、

その存在量は約100~130京(約 $1 \sim 1.3 \times 10^{18}$ )Bqと言われている。さらに、日本における降水中のトリチウムは年間約223兆Bq、日本全国の原因による海用へのトリチウム排出量は年間約380兆Bqとされている。

## 2 トリチウム水の人体および環境への影響

### 2.1 トリチウム水の人体への影響

1945~1963年の間に行なわれた核実験により生成したトリチウムは約1.8~2.4垓(約 $1.8 \sim 2.4 \times 10^{20}$ )ベクレルとされている。

一方、福島第一原発事故前の原子力発電所の近隣海域のトリチウム濃度はND~21Bq/Lで、既に自然界に存在していた自然由来のトリチウム量との比較で約1/20であった。

人の体内には、元々、数十Bq程度のトリチウムが含まれているとされている。仮に、1Bqの放射性物質を摂取した場合、トリチウムの影響はセシウム137の約700分の1程度である。

2016年度の東日本海域における海産生物のトリチウム濃度は0.1Bq/L程度であった。

また、近隣海域の海水濃度はND~2.6Bq/L程度で、トリチウム水からのトリチウムの特定の生物への生物濃縮は確認されていない。

トリチウム水の規制値は国や国際機関で飲用規準と放流規制値とに関してそれぞれ独自に定めている。

表1に各国のトリチウム濃度の規制値を示す。

|                            | 飲料水        | 排水         |
|----------------------------|------------|------------|
| EU                         | 100Bq/L    |            |
| アメリカ                       | 740Bq/L    | 37,000Bq/L |
| WHO                        | 10,000Bq/L |            |
| オーストラリア                    | 76,103Bq/L |            |
| 日本                         | 規制値なし      | 60,000Bq/L |
| 福島第一原発の運用目標<br>(地下水バイパスなど) |            | 1,500Bq/L  |

WHO(世界保健機関)は、トリチウムの飲料水中の濃度を1万Bq/Lとしている。この水を1年間毎日2リットル飲んだ場合の被ばく線量は0.13ミリシーベルト(mSv)で、1mSvを大きく下回っている。飲料水がトリチウム以外の放射性物質を含むことを想定したり、大人と子どもでの放射線に対する感受性が違うことを考慮した結果の値である。

日本では、飲料水に関するトリチウムの濃度の規制値は設定されていない。その代わりに、日本は排水中のトリチウムの濃度を設定している。

オーストラリアは、トリチウムの飲料水中の濃度を7万6,103Bq/Lとしている。これは、国際機関や各国が設ける規制値のうち、最も高いものである。「この水を1年間毎日2L飲んだ場合の被ばく線量を1mSvとする」という想定に基づいて試算されている。

アメリカのトリチウムの濃度規制値は、飲料水中と排水中とで比較すると、飲料水は排水の50倍厳しく設定されている。飲料水は「人が飲む」ことを前提とし、排水は「そのまま人が飲む」ということがないためと考えられている。

このように、トリチウムについては各国で規制値が統一されていない。その要因の一つに、トリチウムはベータ崩壊し、β線の届く範囲が数mmという短い距離であることとエネルギーが他の核種のβ線より小さいことによると思われる。

主なベータ崩壊元素のエネルギー比較を表2に示す。

表2 主なベータ崩壊元素のエネルギー比較

| 元素名       | 元素記号               | 半減期(年) | 崩壊の種類 | 崩壊エネルギー(keV) | 記 事                                 |
|-----------|--------------------|--------|-------|--------------|-------------------------------------|
| トリチウム     | T( <sup>3</sup> H) | 12.3   | β崩壊   | 18.6         | ・最大飛距離5mm(空気中)、6μm(水中)              |
| ヨウ素131    | <sup>131</sup> I   | 8(日)   | β崩壊   | 606          | ・揮発性が高く拡散しやすい。                      |
| セシウム137   | <sup>137</sup> Cs  | 30     | β崩壊   | 514          | ・揮発性が高く拡散しやすい。                      |
| ストロンチウム90 | <sup>90</sup> Sr   | 29.1   | β崩壊   | 546          | ・Caに化学的性質が似ており、骨に沈着しやすい。            |
| プルトニウム241 | <sup>241</sup> Pu  | 14.4   | α崩壊   | 4,897        | ・α線を放出して崩壊する。<br>β線に比べ人体への影響は20倍以上。 |

出典：理化学辞典 2020 版

2011年3月に事故を起こした東京電力福島第一原子力発電所では、「地下水バイパス」や「サブドレン」などにより地下水を海に排水している。東京電力は、この排水中のトリチウムの濃度の運用目標を、1,500Bq/Lと定め、必ずこれを下回るように管理している。

## 2.2 トリチウム水の環境への影響

水と同じ性質のトリチウム水は水と同じように新陳代謝し、トリチウムだけが生物体内に残留することは考えられないので、生物循環も体内蓄積(生物濃縮)も起こりえないと考えられている。

# 3 トリチウム水の海洋放出について

## 3.1 日本での<sup>3</sup>Hの海洋放流基準

放出にあたっては、トリチウムの濃度を国の排水規  
準の40分の1、WHOが示す飲料水の基準の7分の1程  
度に薄めるとしている。すなわち、今回の海洋放出ではトリチウムを1,500Bq/Lという濃度まで薄めたうえで放出する方針となっている。

## 3.2 原子力発電所廃水の世界と日本の現状

世界の原子力発電所の廃水中のトリチウム排出量を図2に示す。

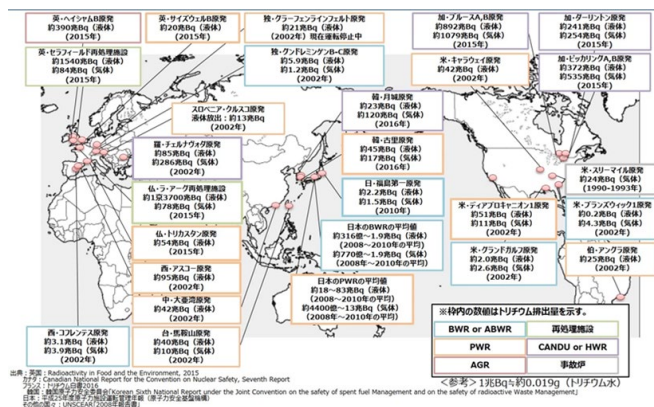


図2 世界の主な原発からトリチウム年間排出量

出典：各国政府機関

## 3.3 トリチウムを含む水の処分方法についての科学的、技術的な観点からの議論

### (1) 検討され採用された方法

福島第一原発の汚染水を処理した後のトリチウムを含む水の処分方法については科学的、技術的な観点から議論をしてきた国のタスクフォースチームが平成28(2016)年に5つの案を示した。

- ▼基準以下に薄めて海に放出する案
- ▼加熱して蒸発させ、大気中に放出する案
- ▼電気分解して水素にして大気中に放出する案
- ▼地下深くの地層に注入する案
- ▼そして、セメントなどに混ぜて板状にし、地下に埋める案の5つである。

このタスクフォースの議論を引き継いだ小委員会の今回の素案では、5つの案のうち、

- ▼基準以下に薄めて海に放出する案と
- ▼加熱して蒸発させ、大気中に放出する案の2案を中心に議論を進めることを提言した。

「海洋放出案」は、海水を混ぜて基準以下に薄め、

海洋に放出するもので、下記の利点があるとされた。

- ▶ 日本を含め各国で基準を決めて海洋放出をしているなど実績があり（原子力発電所）、
- ▶ 監視も確実にできる、
- ▶ 安定的に薄くなり拡散ができる（タスクフォース）、
- ▶ 最もコストが安い、
- ▶ 大量の処理水を最短で処分できる。

一方、「大気放出案」は、1,000 度ほどの高温で蒸発させ排気筒から大気中に放出するというもので、40 年前にメルtdownを起こしたアメリカ・スリーマイル島の原子力発電所で実績がある。

両案の選択の理由には、国と東京電力が国連科学委員会のモデルに基づいて行った被ばく量の試算で「一般の人が自然界で受ける被ばく量と比較しても十分に小さい」との評価が出たことに基づいている。

最終的には、実績があり、安定して監視しやすく、安価で大量処理が出来る「海洋放出案」が採用された。

## (2) 採用されなかった理由

他の3案が採用されなかった理由は「現実的な選択肢としては課題が多い」とされたことによる。

▼地層注入については、

- ✓ 適した用地を探す必要があり、
- ✓ 監視する手法が確立されていないこと、

▼水素にして大気へ放出する案は、

✓ さらなる技術開発が必要で水素爆発の可能性も残ること、

▼地下埋設は、

- ✓ 新たな規制が必要になること
- ✓ 処分場の確保などが課題になるとした。

■ タンクにためて長期保管する案（住民参加の公聴会などで議論に追加された）

- ✓ 原発の敷地内ではタンクを増設する余地が限定的であること、
- ✓ 大容量のタンクが破損した場合漏えい量が膨大になること、
- ✓ 敷地の外に保管するには輸送の問題のほか、搬送先の自治体の理解や認可に時間を要する。などから否定的な見解となった。

## 4 むすび

政府、東京電力関係者は、「安全」と「安心」は別ものであること、すなわち安全は技術的な問題で「安心」は受け取る側の心理的な問題であることを理解しておく必要がある。すなわち、関係者（ステークホルダー）に、トリチウム濃度を1,500Bq/Lに希釈して放流することが生態や環境に及ぼす影響が極めて小さい事を、技術的な内容をわかりやすく、理解が得られまです丁寧の説明し、そして皆が相互に納得してもらうよう努力することが安心に繋がることを認識する必要がある。また、技術士だけでなく技術者もこのことをしっかり理解しておく事が責務であることを自覚する必要がある。

### 〈引用文献〉

- 1) 「トリチウムの環境動態」金沢大学坂上正信研究員、核融合研究 第54巻第5号 1985年9月30日研究報告
- 2) 「環境トリチウム-測定法の現状及び課題について-」九州大学高島良正教授、トリチウムの総合研究報告、1991年
- 3) 「環境トリチウムの現状と分布-大気中トリチウム濃度の変遷と化学形態別測定-」宇田達彦、田中将裕、核融合科学研究所安全管理センター、2009年6月8日
- 4) 「イラストで分かる原発と放射能」大木久光著、技報堂出版、2012年1月25日出版
- 5) 「トコトンやさしい土壌汚染の本」（共著）、日刊工業新聞社刊、第6章、2013年8月26日
- 6) 「トコトンやさしい環境汚染の本」（共著）、日刊工業新聞社刊、第1章、第5章、2013年8月26日
- 7) 「トリチウムに掛る規制基準」トリチウム水タスクフォース事務局、平成26（2014）年1月16日
- 8) 「福島第一原発のトリチウム(3H)水の海洋放出について」、（公社）日本技術士会環境マネジメントセンターミニ講演、2021年7月17日、大木久光

**大木 久光(おおき ひさみつ)**

技術士(資源工学・環境部門)  
(株)大木環境研究所 代表取締役  
(公社)日本技術士会

資源工学部会  
環境部会  
環境マネジメントセンター  
事故技術研究会

Eメール: ohkihmts@ab.auone-net.jp

