



## トリチウムをどう管理するか

### 原子力学会が都内でトリチウム研究会

「福島第一原子力発電所で発生した汚染水のうち、セシウムやストロンチウムを取り除いても、トリチウムが残る。トリチウムは生体で濃縮されることはない。このためトリチウムについてはさまざまな管理方法が考えられるが、希釈して海洋に放出することが最もリスク低減上は合理的な選択肢だと原子力学会の事故調査委員会は結論した」――。

3月4日に日本原子力学会が都内で開いたトリチウム研究会。会場からの質問に答える形で、登壇者である京都大学の小西哲之教授は、こう答えた。同氏はさらに、「トリチウムを濃縮して地上で管理するという方法もあるが、それは別のリスクを生み出す。トリチウムは天然に存在する核種であり、管理された方法で海洋放出すれば、このトリチウムによって健康被害がもたらされることはない。風評被害が最大の問題で、地元と社会の理解を得ることが重要」と続けた。

東京電力福島第一原子力発電所では今も汚染水が発生し、セシウム除去設備（SURRY、KURION）や多核種除去設備（ALPS）によって、セシウムやストロンチウムを取り除く処理が行われている。しかし、水と同じような挙動をするトリチウムを完全に除去することは容易ではない。このため同発電所の敷地内には、1月末時点で約43万トンの処理汚染水が、約千基のタンクに保管されている。さらに、その量は毎日約400トンずつ増え続けており、その管理が大きな課題となっている。

一方、トリチウムの挙動については、長い間にわたって研究された学術成果がある。こ

のため日本原子力学会は原子力機構の後援で、トリチウムに関する科学的・工学的な知見を共有する場を設けて、この問題への対応を議論した。会合のあらまは次の通り。

(発表資料 (PDF) は、<http://fukushima.jaea.go.jp/initiatives/cat05/pdf/20140311.pdf> をご覧ください。)

## 環境中のトリチウム

九州大学 教授 百島 則幸

地球上に生きる動植物の生命を維持する上でなくてはならないものの一つである水は、私たちの体重の 60~70% を占め、その水にはトリチウムが含まれている。大気上層において、陽子や中性子と大気を構成する窒素原子や酸素原子との核反応により、トリチウムは定常的に生成されている。トリチウムは、空気中の水蒸気、雨、海水や地表水などに広く存在し水と一緒に自然界を循環しているため、大昔から人類は、環境中のトリチウムを飲料水あるいは食物として摂取してきた。

1950-60 年代に活発に実施された大気圏核実験によって成層圏や対流圏に放出された人工的なトリチウムのために、1952 年以降は降水中のトリチウム濃度が増加している。1963~1964 年にその値はピークとなり、天然レベルの 100 倍を超える値が現れた。その後、大気圏核実験停止に伴って世界中の降水中のトリチウム濃度は年々減少していき、現在は天然レベルに戻っている。核実験に由来するトリチウムは最終的には海に移行するが、海には大量の水が存在するので濃度増加はほんのわずかである。

トリチウムは原子炉燃料棒中のウランの三体核分裂により生成し、使用済みの核燃料中に蓄えられる。ほとんどの原子力発電所や核燃料再処理工場ではトリチウムの回収を行っておらず、トリチウムはすべて環境へ放出されている。海洋に放出されたトリチウムは、大量の海水で希釈されている。また、気体廃棄物として煙突から環境に放出されたトリチウムの一部は、施設近傍に直接あるいは雨で降下するが、雨等により希釈をうける。

福島原子力発電所事故によりトリチウムが環境へ放出された。原発に近い福島県内の陸水のトリチウム濃度に少し上昇が見られたが、そのレベルは 1980 年代より小さかったことから環境影響はほとんどなかったといえる。

## 環境生態系のトリチウム影響

海洋生物環境研究所 研究参与 宮本 霧子

トリチウムが発する  $\beta$  線はわずかな距離しか飛ばず、そのエネルギーは小さいので、これによる放射線被ばくは通常、内部被ばく影響のみを考慮する。この内部被ばく影響は、皮膚や肺からの吸入被ばくと、水や食物を通じた経口被ばくに分けられる。

線量係数とは人々が 1 ベクレルの放射性核種を摂取した時に、どの程度の実効線量 (Sv) をもたらすかを表すものである。トリチウムの場合、その線量係数はとても小さく、Cs-137 など等の 1000 分の 1 しかない。

トリチウムは水素の同位体であるため、生体内では通常、水の形をとるか、あるいは炭素や酸素、水素、窒素、硫黄などの原子に結びついている。前者の場合を組織自由水トリチウム (TFWT)、後者を有機結合型トリチウム (OBT) と言う。

なお平衡状態の環境生態系において、トリチウムがどのように移行するかについては、いくつかの研究結果がある。その結果を要約するならば、TFWT 濃度は環境中トリチウム濃度と等しい平衡状態になる。一方で OBT 濃度は環境中トリチウム濃度と等しいか、それ以下の分別平衡状態になり、濃縮はしない。非平衡状態の環境生態系では、取り込みと排出の動的モデルに従い、平衡状態をめざして濃度が変化していく。

## トリチウムの分離

京都大学教授 小西 哲之

地球上の水はふつう重水素とトリチウムを含み、重水素とトリチウムは環境や生体中の水の中で、水素と同じようにふるまっている。

大量の水素同位体の分離技術として、実用化された、あるいは実用化の考えられる技術には、蒸留法、同位体交換法があり、それらが単独あるいは組み合わせて使われる。電解法、熱拡散法、レーザー法などの方法が知られているが、これらは大量に処理する方法としては適当ではない。

福島原発の汚染水の場合、その中のトリチウムを分離しようとするならば、高濃度廃液と低濃度廃液とができる。その両者について、明確な目標とその先の処理法を考えておく必要がある。なお、この場合、大量に処理することとなり、大きな設備とコスト、そして長い期間が必要となる。とりわけ、高濃度になったトリチウムのリスクは大きく、その管理には困難がつきまとう。

低い濃度のトリチウム水については、放出限度や自然環境、生活環境でのトリチウム濃度との関係に留意して処分法を考える必要がある。

## 規制と管理

日本原子力研究開発機構 小野寺 淳一

原子炉等規制法では、トリチウムを単独で、あるいは特別な規制対象とすることはなく、他の核種による内部被ばく及び外部被ばくを含めて放射線業務従事者、一般公衆の線量限度を超えないように管理を行うことが要求される。

原子炉等規制法関係法令では、周辺監視区域外での実効線量限度を 1 年間で 1mSv と定

めている。原子力施設に起因する外部被ばく及び内部被ばくの合計は 1mSv 以下とする必要があり、トリチウムによる内部被ばくもこの中に含まれる。一方、発電用原子炉施設では、「線量目標値に関する指針」に基づき、環境へ放出される放射性物質による施設周辺の公衆の実効線量を年間 50 マイクロシーベルト以下とする目標が設定されており、これを担保するため、トリチウムを含めて核種毎の年間の放出量が設定されており、保安規定に放出管理目標値として記載され、遵守されている。

なおトリチウムの管理は、ベータ線のエネルギーが低いため、他の $\beta$ 核種と比べて迅速な検出、定量が難しい。

## 原子力施設におけるトリチウムの取扱い経験

日本原子力研究開発機構 白鳥芳武

原子炉では減速材（重水）や反応度制御材（ホウ酸）等の中性子照射によりトリチウムが生成される。

「ふげん」は平成 15 年に約 25 年間にわたる運転を終了し、現在、廃止措置を行っている。「ふげん」で減速材として使用している重水は常に高純度に維持する必要があり、2 種類の原理の異なる精製装置で劣化した重水の精製を行ってきた。また、重水中に生成されたトリチウムは長期間の運転に従い、徐々にその濃度が上昇し、約 25 年間の運転により約 250MBq/cm<sup>3</sup> という濃度に達した。

このトリチウムによる被ばく低減や放出量低減対策のために、ハードソフトの両面でさまざまな対策と管理を行ってきた。

回収・再利用が困難な微量の重水については希釈して海洋放出した。それに含まれるトリチウムについては、保安規定に定められた管理目標値等を十分下回ることを常に確認してきた。「ふげん」からのトリチウム放出量は海外の重水炉に比べ十分に低く、国内の軽水炉と比べても同等以下である。

今後、廃止措置を進めるにあたり、残留しているトリチウムの除染を適切に行い、安全な作業管理に努めていく。

## 福島第一原子力発電所の汚染水の現状と汚染水中のトリチウム

元東北大学教授 内田俊介

燃料溶融に伴って発生する核分裂生成物（FP）は、短期ソースと長期ソースに分類される。事故初期の環境への FP 放出は短期 FP ソースに支配されるが、汚染水の処理では長期 FP ソースが重要で、長期にわたる FP 溶出への対処が必要である。

汚染水のもっとも根本的な対策は格納容器の封水である。さらに汚染水の総量の低減と閉じ込め、そして効果的な浄化が必須である。しかしながら漏洩箇所の特特定とその封水はいまだ実現しておらず、今後の課題となっている。

多核種除去設備 ALPS ほかの汚染水処理に係る設備は、トリチウム以外の核種については、告知濃度限界値以下に低減することが可能だが、これらの除去設備ではトリチウムを除去することができない。

トリチウムへの対応としては、①サイト内貯蔵②トリチウム除去と濃縮③希釈放出という三つの選択肢がありうる。工学的な視点からすれば、希釈、監視放出が現実的と考える。これは技術的現実性が高く、環境リスクが小さい。その際には(1) 希釈およびモニタリングのハード化の推進と地元自治体他への十分な事前説明が必要であり、(2) 風評被害を最小限に食い止めるための準備が不可欠である。

なお会場からは「トリチウムを今後、どのように管理したらよいか」との質問があった。これに対し小西氏は「トリチウムは放射線が弱いので、健康影響のあるレベルよりはるかに低い濃度で検出されるため、福島汚染水では健康被害の恐れはなく、風評被害が最大の問題。いくつかの管理の方法があるが、トリチウムを濃縮して地上で管理するとすれば、事故や漏洩のリスクが残り、それが環境で検出される可能性もある。総合的なリスクを最小限にするためには、例えば希釈して環境で検出されるベクレルを最小限にする必要があるが、地元と社会の理解と合意を得ることが最も重要」と回答した。