

福島第一原発のトリチウム汚染水

上澤千尋

かみさわ ちひろ
原子力資料情報室

貯まり続ける汚染水と多核種除去装置

福島第一原発1・2・3号炉では、熔け崩れた核燃料デブリを冷却するために、いまも毎日それぞれの原子炉へ100～130トンの注水が、既設の給水系および炉心スプレイ系の配管をつかって続けられている。これらの水は原子炉建屋やタービン建屋の地下に流れ込み、高い濃度の放射性物質の汚染水となる。また、建屋の壁の隙間などから入り込んだ地下水もこれに加わり、1日あたり約400トンの高い濃度の放射性物質の汚染水を発生させている。建屋内に貯まった汚染水は、いったん集中廃棄物建屋に貯められたのち、セシウム吸着装置に送られセシウム134および137の濃度を10万分の1程度にまで下げ、淡水化装置などを経て、一部は冷却のために再び原子炉へと送られ、それ以外は「濃縮塩水」などとしてタンクや地下貯水槽に貯められている（濃縮塩水を貯蔵している地下貯水槽から、120トン以上、ストロンチウムなど7100億ベクレル以上が漏えいしたと4月6日に公表された）。

セシウムの濃度を低下させた処理済みの汚染水のなかには、なおストロンチウム89および90をはじめとする放射性物質が、きわめて高い濃度で含まれている。処理済み汚染水から、プルトニウムなどのアルファ核種、コバルト60、マンガン54などの放射化生成物、ストロンチウム89および90などの核分裂生成物など、62の核種があるレベル以下になるように取り除くために設置されたのが、多核種除去装置(Advanced Liquid Processing System, 略称ALPS)である。

東京電力は、福島第一原発で3月30日から汚

染水処理システムの多核種除去装置で放射性物質を使った試運転を開始したと発表した(4月4日には誤操作により運転を停止したと東京電力が発表)。

多核種除去装置が用いる方法は、ろ過、凝集沈殿、イオン交換などの方法であり、水として存在するトリチウム(三重水素)を取り除くことはできない。東京電力の「福島第一原子力発電所 特定原子力施設に係る実施計画、別紙II 特定原子力施設の設計、設備」によると、2011年9月から2013年1月の間に淡水化装置(逆浸透膜装置)の入り口の水を採取して調べたところ、トリチウムの濃度は $8.5 \times 10^2 \sim 4.2 \times 10^3 \text{ Bq/cm}^3$ であった。多核種除去装置の処理水中にもこの濃度のトリチウムが含まれることになる。

東京電力は、2013年2月28日に記者会見で配布した資料「福島第一原子力発電所でのトリチウムについて」のなかで、トリチウムがセシウム134や137にくらべていかに害が小さいかを強調した説明をおこなっている。貯まり続ける汚染水の処分に困った東京電力は、多核種除去装置で処理した水を、地下水で希釈するなどして、放射性物質の濃度を法令の基準以下に落として、海洋中に放出する意図が見えすいている。

トリチウムとは

トリチウムは水素の放射性同位体である。半減期12.3年でベータ崩壊する。ごく弱いベータ線しか出さずガンマ線は放出しない(ベータ線のエネルギーは最大18.6 keV、平均5.7 keVである)。環境資料中のトリチウムの検出には、簡単なサーベイメータなどは役に立たず、キシレンなどの有機溶媒に蛍光

体を溶かした液体シンチレータを利用した装置（液体シンチレーションカウンター）を使う。

原発内でのおもな生成元は、核燃料の三体核分裂（ウランやプルトニウムが核分裂により3つのかけらに分かれる反応）である。そのほか、制御棒のなかの中性子吸収物質炭化ホウ素に含まれるホウ素10に中性子があたってもトリチウムが生成される。原子炉水中に不純物として含まれるリチウム6などに中性子があたることによってもトリチウムができる（加圧水型炉では、原子炉水中にホウ素とリチウムが添加されており、このため沸騰水型炉よりトリチウムの生成量が多い）。

カナダにある^{キャンドゥ}CANDU炉や、日本の2003年3月に運転停止し現在解体工事中の新型転換炉「ふげん」は、中性子の減速材として重水を用いており、重水の放射化によって大量のトリチウムができる。また、イギリスにある改良型ガス冷却炉（AGR）では、燃料の被覆管にステンレスを採用しているのだが、トリチウムがステンレスの被覆管を通過してしまうため、環境中に大量のトリチウムが放出され問題になっている。

軽水炉の燃料中で生成されたトリチウムは、燃料被覆管が健全ならば外に出てくることはない。再処理工場では、燃料棒をせん断する際にトリチウムが解放され、大気や海洋に莫大な量のトリチウムを放出している。このため、青森県にある六ヶ所再処理工場では計画の当初は設計図面にトリチウム除去施設を設置することになっていたが、経済的な問題か技術的な困難さが理由かわからな

いが、いつのまにか立ち消えになってしまった。米国ハンフォードやサバンナリバーなどの核兵器工場（再処理工場）でもトリチウムの汚染が深刻な問題になっている。

トリチウムの人体への影響

トリチウムは、壊変時に出すベータ線のエネルギーが小さいので、人体にはあまり大きな影響はないものと扱われてきた。確かに外部被曝はほとんど問題にならない。体内に取り込んだ場合でも、これまでは、トリチウムは酸素と結合してトリチウム水（HTO）の形をとることが多く、人体の特定の組織や臓器には濃縮しないため、その危険性は国際放射線防護委員会（ICRP）の評価でもセシウムと比べると100分の1から1000分1程度とされてきた。

しかし、トリチウムがトリチウム水として人体に取り込まれた場合でも、その一部が細胞核の中にまで入り込んで、DNA（遺伝子）を構成する水素と置きかわる可能性がある。その場合には、トリチウムが放出するエネルギーが低く飛ぶ距離が短いベータ線が遺伝子を傷つけるのに非常に効果的に作用し、ガンマ線よりも危険性が高いとみるべきではないかと指摘する研究もある。ベータ線の生物学的効果比（ガンマ線に対する相対的危険度）を1.5～5にすべきとの指摘もある。

有機トリチウムとしてふるまう場合にはもっと重大だと考えられている。トリチウムが有機化合

表1—トリチウムの実効線量係数と濃度限度

核種	半減期	化学形	実効線量係数 (mSv/Bq)		排水中の濃度限度 (Bq/cm ³)
			吸入	経口	
トリチウム (H-3)	12.3年 ベータ崩壊	水素	1.8E-12	—	—
		メタン	1.8E-10	—	—
		水	1.8E-08	1.8E-08	6.0E+01
		有機物(メタンを除く)	4.1E-08	4.2E-08	2.0E+01
		上記以外の化合物	2.8E-08	1.9E-08	4.0E+01

実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則の規定に基づく線量限度等を定める告示、平成十三年三月二十一日、経済産業省告示第百八十七号

改正：平成一七年一〇月二六日経済産業省告示第二七五号、平成一七年一月二二日経済産業省告示第二九五号
Eは10のべき乗を表し、たとえば1.8E-12は 1.8×10^{-12}

表2—トリチウムの経口摂取による線量係数(摂取時の年齢別)

核種	化学形	預託線量係数(mSv/Bq)					
		3カ月	1歳	5歳	10歳	15歳	成人
トリチウム (H-3)	トリチウム水	6.4E-08	4.8E-08	3.1E-08	2.3E-08	1.8E-08	1.8E-08
	有機トリチウム	1.2E-07	1.2E-07	7.3E-08	5.7E-08	4.2E-08	4.2E-08

表3—トリチウムの吸入摂取による線量係数(摂取時の年齢別)

核種	化学形	預託線量係数(mSv/Bq)					
		3カ月	1歳	5歳	10歳	15歳	成人
トリチウム (H-3)	トリチウム水	6.4E-08	4.8E-08	3.1E-08	2.3E-08	1.8E-08	1.8E-08
	水素ガス	6.4E-12	4.8E-12	3.1E-12	2.3E-12	1.8E-12	1.8E-12
	メタン	6.4E-10	4.8E-10	3.1E-10	2.3E-10	1.8E-10	1.8E-12
	有機トリチウム (メタンを除く)	1.1E-07	1.1E-07	7.0E-08	5.5E-08	4.1E-08	4.1E-08

ICRP Publication 72, Aged-dependent Dose to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 5
Compilation of Ingestion and Inhalation Dose Coefficients, 1995

物の中に入った形になると、人体にも吸収されやすく、細胞核の中にも入り込みやすくなり、長期間にわたりとどまると考えられる。

トリチウムの線量係数についての表(表1~3)を示しておく。

カナダでの被害の実例——遺伝障害、 新生児死亡、小児白血病

新しいデータというわけではないのだが、以前に筆者の所属する原子力資料情報室のニューズレター「原子力資料情報室通信」から、トリチウムの危険性をはからずも浮かび上がらせたカナダ原子力委員会(AECD)の1991年の報告書の事例を紹介する。

前述のように、カナダには重水を用いたCANDU炉があり、重水に中性子があたるとトリチウムが発生するため、トリチウムの生成量が多く、また、環境中への放出量も多い。ピッカリング原発やブルース原発といったCANDU炉が集中立地する(ともに8基ある)地域の周辺で、子どもたちに異常が起きていることが1988年に市民グループによって明らかにされた。

これを受けてカナダ原子力委員会がまとめた報告書(AECD報告INFO-0401とINFO-0300-2)では、結論こそちがうが、データとして遺伝障害、新生児

表4—0~14歳児の白血病死亡率(ピッカリング)

子どもの出生時の住居と死亡数の関連

原発運転前(1950~1970年)

出生時住居	観測死者数(O)	期待値(E)	O/E
郡全体	84	78.4	1.07
近隣地区	80	74.1	1.08

原発運転後(1971~1987年)

出生時住居	観測死者数(O)	期待値(E)	O/E
郡全体	33	25.7	1.28
近隣地区	33	24.6	1.34

AECD報告書INFO-0300-2をもとに作成

死亡、小児白血病の増加が認められる。

原発の立地地点であるピッカリングや隣接するエイジャックス(Ajax)で、1973~1988年の調査期間に生まれた子どものダウン症の発症率の増加があった。ピッカリングでは増加率1.85倍で統計的に有意、エイジャックスでは統計的に有意ではないが1.46倍増加しているのが観察された。

また、新生児死亡率とトリチウムの放出量(水中)との間には図1のような関係が見いだされ、1977年以降1986年ぐらいまで、強い相関が認められる。

AECD報告INFO-0300-2のデータから作成した小児白血病に関する表(表4)を示す。強いとはいえないが、原発の運転後には白血病死亡率増加の傾向は認められる。

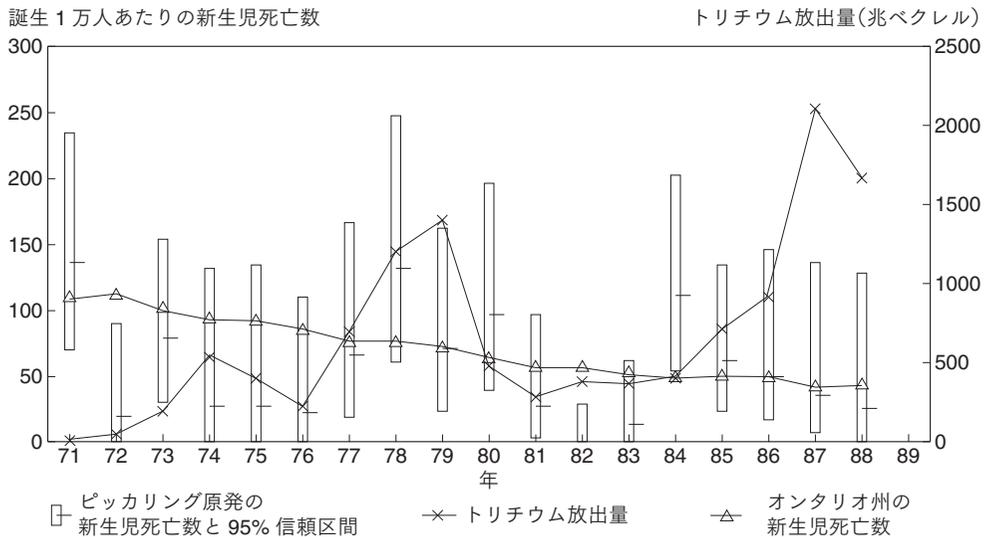


図1—ピッキングの新生児死亡率とトリチウム放出量
AECD 報告 INFO-0401 より抜粋

トリチウム除去・隔離について

東京電力がトリチウムの除去について真剣に検討した様子はみられない。トリチウムの除去については、コストの面での困難はあるだろうが、蒸発濃縮による方法やレーザー濃縮によって分離除去する方法が知られている。

東京電力がトリチウムを含む汚染水を海洋中に放出する姿勢を見せていることに対しては、当然のことながら、多くの反対の声があがった。福島県内の漁業関係者からは、多核種除去装置の稼働そのものに反対する声もある。

東京電力は、汚染水のトリチウムについて、除去は難しいとしても環境中からの隔離は徹底しておこなうべきである。

参考文献

東京電力: 福島第一原子力発電所 特定原子力施設に係る実施計画, 別紙II 特定原子力施設の設計, 設備(2013年3月29日) http://www.tepco.co.jp/cc/press/betu13_j/images/130329j0902.pdf

東京電力: 福島第一原子力発電所多核種除去設備(ALPS)の概要等(2013年3月29日) http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/handouts/2013/images/handouts_130329_01-j.pdf

東京電力: 福島第一原子力発電所でのトリチウムについて(2013

年2月28日) http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/handouts/2013/images/handouts_130228_08-j.pdf

I. Fairlie: Tritium: The Overlooked Nuclear Hazard, *Ecologist*, vol. 22, Mo. 5, pp. 228-238(1992)

E. A. Clarke, J. McLaughlin & T. W. Anderson: INFO-0300-2, Childhood leukemia around Canadian nuclear facilities - Phase II - Final Report, A report prepared for the Atomic Energy Control Board Ottawa(1991) <http://www.nuclearsafety.gc.ca/eng/about/past/timeline-dev/resources/documents/infohistorical/info-0300-2.pdf>

K. C. Johnson & J. Rouleau: AECD INFO-0401, Tritium Releases from the Pickering Nuclear Generating Station and Birth Defects and Infant Mortality in Nearby Communities 1971-1988, Birth Defects and Poisonings Section, Diseases of Infants and Children Division, Bureau of Chronic Disease, Epidemiology Laboratory Centre for Disease Control Health Protection Branch, Health and Welfare Canada(1991) <http://www.nuclearsafety.gc.ca/eng/about/past/timeline-dev/resources/documents/infohistorical/info-0401.pdf>

三輪妙子: 「カナダ, トリチウムと新生児死亡率」, 原子力資料情報室通信, 第180号(1989年7月30日)

三輪妙子: 「カナダ, 原発周辺で高レベルのトリチウム検出」, 原子力資料情報室通信, 第201号(1991年4月30日)

高木仁三郎: 「再処理を考える——トリチウム放出の深まる疑問」, 原子力資料情報室通信, 第228号(1993年5月30日)

福島民報: 「漁業関係者怒り 東電の汚染水処理方針」, 2013年1月25日