

瀬戸内海と原発

-トリチウムと温排水の被害について-



伊方原子力発電所放流口付近の海面（2019年10月26日）

第4版

2019年12月25日

はじめに

ウランを核分裂反応させる原子炉では、運転にともなって様々な種類の核分裂生成物が作られます。ここでは、従来あまり注目されて来なかった核分裂生成物であるトリチウムと大量に流される温排水が瀬戸内海と地球環境に与える影響について考察します。

第1章 伊方原発から出される三重水素（トリチウム）は瀬戸内海を死の海にする

(1) 核分裂生成物三重水素（以下、トリチウム）とは

図1は、iseri氏作成の元素周期表です。

元素の周期表
The Periodic Table

周期\族	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	1 H 水素 Hydrogen 1.00798																		2 He ヘリウム Helium 4.0026
2	3 Li リチウム Lithium 6.968	4 Be ベリリウム Beryllium 9.01218											5 B 硼ホウ素 Boron 10.814	6 C 炭素 Carbon 12.0106	7 N 窒素 Nitrogen 14.0069	8 O 酸素 Oxygen 15.9994	9 F フッ素 Fluorine 18.9984	10 Ne ネオン Neon 20.1797	
3	11 Na ナトリウム Sodium 22.98976	12 Mg マグネシウム Magnesium 24.306											13 Al アルミニウム Aluminum 26.9815	14 Si 矽(ケイ素) Silicon 28.085	15 P 燐(リン) Phosphorus 30.9738	16 S 硫黄 Sulfur 32.066	17 Cl 塩素 Chlorine 35.452	18 Ar アルゴン Argon 39.948	
4	19 K カリウム Potassium 39.0983	20 Ca カルシウム Calcium 40.078	21 Sc スカンジウム Scandium 44.9559	22 Ti チタン Titanium 47.867	23 V バナジウム Vanadium 50.9415	24 Cr クロム Chromium 51.9961	25 Mn マンガン Manganese 54.938	26 Fe 鉄 Iron 55.845	27 Co コバルト Cobalt 58.9332	28 Ni ニッケル Nickel 58.6934	29 Cu 銅 Copper 63.546	30 Zn 亜鉛 Zinc 65.38	31 Ga ガリウム Gallium 69.723	32 Ge ゲルマニウム Germanium 72.630	33 As 砒素 Arsenic 74.9216	34 Se セレン Selenium 78.971	35 Br 臭素 Bromine 79.904	36 Kr クリプトン Krypton 83.798	
5	37 Rb ルビジウム Rubidium 85.4678	38 Sr ストロンチウム Strontium 87.62	39 Y イットリウム Yttrium 88.9058	40 Zr ジルコニウム Zirconium 91.224	41 Nb ニオブ Niobium 92.9064	42 Mo モリブデン Molybdenum 95.95	43 Tc テクネチウム Technetium [99]	44 Ru ルテチウム Ruthenium 101.07	45 Rh ロジウム Rhodium 102.906	46 Pd パラジウム Palladium 106.42	47 Ag 銀 Silver 107.868	48 Cd カドミウム Cadmium 112.414	49 In インジウム Indium 114.818	50 Sn 錫(スズ) Tin 118.710	51 Sb アンチモン Antimony 121.760	52 Te テルル Tellurium 127.60	53 I ヨウ素 Iodine 126.904	54 Xe キセノン Xenon 131.293	
6	55 Cs セシウム Cesium 132.905	56 Ba バリウム Barium 137.327	※1	72 Hf ハフニウム Hafnium 178.49	73 Ta タンタル Tantalum 180.948	74 W タングステン Tungsten 183.84	75 Re レニウム Rhenium 186.207	76 Os オスミウム Osmium 190.23	77 Ir イリジウム Iridium 192.217	78 Pt 白金(プラチナ) Platinum 195.084	79 Au 金 Gold 196.967	80 Hg 水銀 Mercury 200.592	81 Tl タリウム Thallium 204.384	82 Pb 鉛 Lead 207.2	83 Bi ビスマス Bismuth 208.980	84 Po ポロニウム Polonium [210]	85 At アスタチン Astatine [210]	86 Rn ラドン Radon [222]	
7	87 Fr フランシウム Francium [223]	88 Ra ラジウム Radium [226]	※2	104 Rf ラザフォード Rutherfordium [261]	105 Db ドブニウム Dubnium [268]	106 Sg シーボーグ Seaborgium [271]	107 Bh ボーヘリウム Bohrium [272]	108 Hs ハッシウム Hassium [277]	109 Mt マイトネリウム Meitnerium [276]	110 Ds ダームスタット Darmstadtium [281]	111 Rg レイトゲン Roentgenium [280]	112 Cn コペルニウム Copernicium [285]	113 Nh ニホニウム Nihonium [284]	114 Fl フレロビウム Flerovium [289]	115 Mc モスコビウム Moscovium [288]	116 Lv リバモヴィウム Livermorium [293]	117 Ts テネシン Tennessine [293]	118 Og オガネソン Oganesson [294]	
※1	57 La ランタン Lanthanum 138.905	58 Ce セリウム Cerium 140.116	59 Pr プラセオジウム Praseodymium 140.908	60 Nd ネオジム Neodymium 144.242	61 Pm プロメチウム Promethium [145]	62 Sm サマリウム Samarium 150.36	63 Eu ユーロピウム Europium 151.964	64 Gd ガドリウム Gadolinium 157.25	65 Tb テルビウム Terbium 158.925	66 Dy ジスプロシウム Dysprosium 162.500	67 Ho ホルミウム Holmium 164.930	68 Er エルビウム Erbium 167.259	69 Tm ツリウム Thulium 168.934	70 Yb イットルビウム Ytterbium 173.045	71 Lu ルテチウム Lutetium 174.967				
※2	89 Ac アクチニウム Actinium [227]	90 Th トリウム Thorium 232.038	91 Pa プロト アクチニウム Protactinium 231.036	92 U ウラン Uranium 238.029	93 Np ネプツニウム Neptunium [237]	94 Pu プルトニウム Plutonium [239]	95 Am アメリシウム Americium [243]	96 Cm キュリウム Curium [247]	97 Bk バークリウム Berkelium [247]	98 Cf カリフォルニウム Californium [251]	99 Es アインシュタイン Einsteinium [252]	100 Fm フェルミウム Fermium [257]	101 Md メンデルビ ウム Mendelevium [258]	102 No ノーベリウム Nobelium [259]	103 Lr ローレンス ウム Lawrencium [262]				

表の見方

セル内の表記

原子番号	元素記号	元素名(日本語)	元素名(英語)	原子量
------	------	----------	---------	-----

〔元素記号の色〕

- 緑色の元素は、単体の物質が金属的性質(光沢がある、電気や熱をよく通す、陽イオンになりやすい、など)を持つ。
- 黄色の元素は、単体の物質が非金属的性質を持つ。
- 茶色の元素は、単体の物質がその中間(半導体的、半金属的)性質を持つ、ことを示す。

※1 原子量は範囲で示される元素の原子量は、簡単のため、範囲の中間値を記した。
※2 安定同位体がなく、天然で特定の同位体組成を示さない元素については、その元素の放射性同位体の質量数の一例を [] 内に記した。

参考文献
国立天文台編「理科年表 2018年版」、丸善
...他

〔2018.06 作成: iseri〕

図1

まず目の一番上左にあるのは水素ですが、水素には性質の似た幾つかの仲間(同位体)があり、トリチウムはその一つで、半減期が約12年の放射性物質です。

科学は、事物を細分化して捉え、そのものに名称を与え、その性質を理解することで発展してきました。原子は物質をかたち作っている最小の単位で、図1の元素のそれぞれが原子核とその周りを回る電子からなる原子で出来ています。原子炉は、原子の中にある原子核を人為的に操作する装置で、原発はその技術を応用し原子核の崩壊時に発生するエネルギーか

ら電力を得ようとするものです。

普通の水素原子は、一つの陽子だけからなる原子核があり、その周りを1個の電子が回っています。これに対して、原子核の中に陽子1個と中性子1個を持つものを重水素（ジューテリウム）、原子核の中に陽子1個と中性子2個を持つものを三重水素（トリチウム）と言います。

水素も重水素もトリチウムも原子核の周りをまわる電子の数は1個で同じですが、トリチウムは原子核の中にある中性子の一つが陽子になることで、核の中の陽子が2個となり、β線を放出して周期表上段右隅のヘリウム3に変わります。放射能とは、放射線を出す能力のことですが、トリチウムは原子核の中に中性子を2個余分に持っていることからヘリウムに変わる際に放射線を出します。水素は物質が結合する際に要となる性質の元素で、接着剤のような働きをしています。同じように周期表の最上段に位置を占めるヘリウムは逆にきわめて不活性な元素で、例えると剥離剤のような働きがあります。

トリチウムの出す放射線はβ線と言われるもので、そのエネルギーは小さく、計測することが困難です。水素は生物の体を作るたんぱく質にはなくてはならない元素です。トリチウムの出す放射線は体内では0.01mm程しか飛びませんので影響が過小に評価されがちですが、その範囲にある原子と原子の結び付きをつかさどっている電子の対を壊します。そして、その部分が結合を阻害するヘリウムに置き換えられると組織を分断させ細胞死を招く危険があります。

(2) 原子炉からは必ずトリチウムが出る

原子炉では、核燃料のウランが核分裂により3個の破片に割れる反応（三体核分裂）によってトリチウムが生成します。また、原子炉内の水に含まれるリチウムに放射線が照射されることでもトリチウムが生まれます。運転中の加圧水型原子炉では、炭化ホウ素制御棒を使って出力の細かな調整を行うことから、ホウ素に中性子が吸収されて、沸騰水型原子炉に比べて多量のトリチウムが生成されます。以上が原発における主な発生源ですが、核燃料の三体核分裂による生成が主要な発生源であるとされています。

このようにして発生したトリチウムは世界中の原発から環境に放出されるのですが、伊方原発からは、気体としての他に、閉鎖性の高い水域である瀬戸内海に排水として流されます。

(3) 原発からのトリチウムは大量である

表1は原子力規制委員会『原子力施設運転管理年報』（平成25年度版）398ページからの資料です。

参考資料 4. 放射性液体廃棄物中のトリチウムの年度別放出量

① 運用発電用原子炉施設

(単位：ベクレル)

発電所名	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
北海道電力(株) 泊発電所	2.2E+13	1.9E+13	3.1E+13	2.9E+13	2.7E+13	2.0E+13	3.0E+13	3.3E+13	3.8E+13	8.7E+12
東北電力(株) 女川原子力発電所	5.6E+09	8.0E+08	2.1E+09	5.4E+09	5.1E+09	6.7E+09	6.6E+10	2.2E+10	8.4E+09	1.7E+10
東北電力(株) 東通原子力発電所	—	9.4E+08	3.9E+10	3.4E+10	5.3E+10	9.0E+10	2.3E+11	3.0E+10	1.6E+11	4.5E+10
東京電力(株) 福島第一原子力発電所	1.4E+12	1.0E+12	1.3E+12	2.6E+12	1.4E+12	1.6E+12	2.0E+12	—	—	放出実績なし
東京電力(株) 福島第二原子力発電所	3.8E+11	3.5E+11	9.6E+11	6.6E+11	7.3E+11	5.0E+11	9.8E+11	1.6E+12	2.3E+12	8.0E+11
東京電力(株) 柏崎刈羽原子力発電所	8.5E+11	4.9E+11	8.1E+11	8.8E+11	8.8E+11	9.2E+11	5.4E+11	6.6E+11	4.6E+11	2.6E+11
中部電力(株) 浜岡原子力発電所	5.9E+11	4.6E+11	7.5E+11	6.8E+11	6.0E+11	7.3E+11	6.4E+11	6.4E+11	4.6E+11	2.0E+11
北陸電力(株) 志賀原子力発電所	2.2E+11	1.2E+11	1.8E+11	1.8E+11	2.5E+10	7.6E+10	3.9E+11	2.8E+11	2.1E+11	1.1E+10
関西電力(株) 美浜発電所	2.3E+13	1.6E+13	1.5E+13	1.4E+13	2.0E+13	1.8E+13	2.3E+13	1.3E+13	2.2E+13	4.3E+12
関西電力(株) 高浜発電所	5.9E+13	6.3E+13	6.9E+13	6.8E+13	6.0E+13	4.0E+13	4.3E+13	6.5E+13	3.8E+13	6.8E+12
関西電力(株) 大飯発電所	9.0E+13	9.8E+13	6.6E+13	7.7E+13	8.9E+13	7.4E+13	8.1E+13	5.6E+13	5.6E+13	2.2E+13
中国電力(株) 島根原子力発電所	5.2E+11	6.3E+11	6.3E+11	3.0E+11	6.6E+11	2.8E+11	2.2E+11	2.3E+11	3.4E+11	1.5E+11
四国電力(株) 伊方発電所	5.4E+13	6.8E+13	5.3E+13	4.6E+13	6.6E+13	5.8E+13	5.7E+13	5.1E+13	5.3E+13	1.8E+12
九州電力(株) 玄海原子力発電所	9.5E+13	7.3E+13	7.4E+13	9.9E+13	8.6E+13	6.9E+13	8.1E+13	1.0E+14	5.6E+13	2.0E+12
九州電力(株) 川内原子力発電所	3.8E+13	5.1E+13	4.8E+13	3.5E+13	3.8E+13	5.3E+13	5.0E+13	3.0E+13	3.7E+13	1.0E+12
日本原子力発電(株) 東海発電所	3.7E+06	N.D.	4.1E+08	2.0E+08	1.0E+09	1.3E+09	7.5E+07	N.D.	N.D.	N.D.
日本原子力発電(株) 東海第二発電所	8.5E+11	6.1E+11	7.4E+11	6.2E+11	5.8E+11	5.5E+11	7.0E+11	4.2E+11	8.7E+11	4.1E+10
日本原子力発電(株) 敦賀発電所	2.2E+13	2.6E+13	9.2E+12	1.5E+13	1.3E+13	4.9E+12	1.5E+13	1.2E+13	6.0E+12	9.3E+11
合 計	4.1E+14	4.2E+14	3.7E+14	3.9E+14	4.0E+14	3.4E+14	3.9E+14	3.6E+14	3.1E+14	4.9E+13

注：加圧水型炉の発電所については、2次系からのトリチウム放出量を含む。また、福島第一原子力発電所における「放出実績」とは、排水設備から管理された状態で放出された放射性液体廃棄物の実績であり、東北地方太平洋沖地震の影響による放出については含まれていない。

*7：所内蒸気系及び1号機の原子炉蒸気冷却系への復水補給水系の水の混入により管理区域外へ放出された放射能を含む。

*8：トリチウムの放出限界濃度：2E-01 以下

表 1

表 1 によると、2011 年度に四国電力伊方発電所から 53 兆（表では 5.3E+13 と記されている）ベクレルのトリチウムが瀬戸内海に放出されたのがわかります。

このように、原子炉からは運転時に必ずトリチウムが作られ、気体や冷却水となって放出されるのですが、トリチウムを水中から分離して除去することは容易ではありません。福島

事故の汚染水処理に使われる多核種除去装置でも問題とされていますが、通常の水素とトリチウムに化学的性質や物理的な性質に際立った差異がないので、非効率で莫大な費用が掛かる手法を用いない限り、トリチウムを水中から分離することはできません。

米国は飲料水に含まれるトリチウムの上限を 740 ベクレル／リットルと定めている一方、EU指令ではさらに厳しい 100 ベクレル／リットルという値で飲料水を管理しています。しかし、日本には飲料水に関するトリチウム濃度の規制値がなく、単に、核施設などからの排水に関する濃度の規制値があるばかりです。しかも、この規制すらトリチウムを 1 リットル当たり 6 万ベクレル以下の濃度とすれば海洋に放出することが認められています。これは事業者に変な数値ですが、逆に言えば、これ程までに緩い規制で無ければ原発の運転ができないのです。ここには人間の健康や環境の保全と言う視点は全く無く、世界最高レベルという形容詞が付けられる日本の規制基準の実態は、原発の運転が最優先のものであることが見て取れます。

福島第一原発では、仮設タンクに溜まり続けるトリチウム水（実際はトリチウム以外にも多核種除去装置で除去できなかった微量でも有害な数種の核物質を含んでいますが、あたかもトリチウムだけが含まれているような誤解を招く表現です。）の処理に困って、海域に放流することを目論んでいます。環境保護、漁業資源の保全、国際的な倫理問題などから激しい抵抗を受けています。このために、原発からのトリチウムの放出は福島第一原発固有の問題と捉えられがちですが、トリチウムの環境に与える悪影響は世界中全ての原発に関わる問題です。特に、伊方発電所はトリチウムの放出量が多く、四国電力の自己申告でも年間 53 兆ベクレルものトリチウムが冷却水に混ぜられて瀬戸内海に放流されているのです。

(4) 東京電力のトリチウムに対する考え方

2011 年に放射性物質放出事故を起こした東京電力は、2013 年 2 月に「福島第一原子力発電所でのトリチウムについて」という文書を発表していますが、その中の記事を以下に転載します。

≪トリチウムの特性は一般的に以下のとおり

○化学上の形態は、主に水として存在し、私たちの飲む水道水にも含まれています

○ろ過や脱塩、蒸留を行っても普通の水素と分離することが難しい

○半減期は 12.3 年、食品用ラップでも防げる極めて弱いエネルギー（0.0186MeV）のベータ線しか出さない

○水として存在するので人体にも魚介類にも殆ど留まらず排出される

○セシウム-134、137 に比べ、単位 Bq あたりの被ばく線量（mSv）は約 1,000 分の 1≫と記しています。

また、≪原子力発電所でのトリチウム生成と濃度限度など

- ① 燃料の三体核分裂（ウランが核分裂により 3 つの破片に割れる反応）による生成
- ② ボロンカーバイド（炭化ホウ素）制御棒に含まれるホウ素-10 の照射による生成
- ③ 炉水の放射化（不純物として含まれるリチウム-6 等への放射線照射による生成）

上記①が主要な発生源

原子力発電所でのトリチウム生成源

○ 滞留水はサンプリング結果からトリチウム濃度が100万～500万Bq/l程度であると考えられる。（多核種除去装置（ALPS）ではトリチウムが除去できないことから処理した水、ならびに廃棄物に含まれる水にも同程度のトリチウムが含まれる）

福島第一原子力発電所の滞留水のトリチウム濃度

○ 法規制の濃度限度（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を定める告示）

・ 周辺監視区域外の水中の濃度限度：60,000Bq/l

* セシウム-137の濃度限度は90Bq/l

* セシウム-134の濃度限度は60Bq/l

○ 福島第一原子力発電所保安規定に示された放出基準値（事故前）

・ 22兆Bq/年……他の核種を含めて0.024mSv/年*

* 被ばく線量は気体廃棄物と液体廃棄物による実効線量》と説明されています。

東京電力がわざわざ色付けした資料中の赤い字を読めば、“トリチウムは自然界にも普通にあって、全然危険なものではない”と言うことを、つつい信じてしまいそうになりますが、自然界にあればその物質を人工的に増やしても良いという理由にはなりません。上記の記載はトリチウムを発生させ、これを放出する事業者の立場で書かれたものであることに注意する必要があります。

さらに、トリチウムとはどのようなものか、また人体にどのような影響が懸念されるか内外の研究から幾つかの情報を集めてみました。

(5) A. ターナー等の論文では

「河口水域におけるトリチウムの分配——有機物質の役割」（アンドリュー・ターナー、ジェフリー・E・ミルウォード、マーティン・ステンブ／Journal of Environmental Radioactivity／Volume 100, Issue 10, October 2009, Pages 890-895 /2018年10月20日 渡辺悦司氏訳の論文（A. ターナー等の論文））では、《トリチウムは、トリチウム水として河川水や海水に放出されると、水に溶存する有機リガンド（引用者による注：タンパク質と特異的に結合する物質）や水中を浮遊する微粒子との間で相互作用する。しかも、その相互作用の程度や範囲は、同位体交換を考慮した場合に予測されるレベルよりもかなり大きい。このような相互作用の原因は不明である。これまでも、トリチウムの基本的な放出形態がトリチウム水であるような環境において調査が行われてきたが、われわれの研究結果は、これらの調査結果と本質的に合致する。「トリチウムはもっぱらトリチウム水としてのみ現れ、したがって無限に溶解していく」という見解は、明らかに注意深く検討さ

れなければならない。トリチウムが自然環境中の水に分配される概念と特質について、いっそうの研究が求められている。現在 IAEA が勧告している単位数量（下位単位数量）あたりの分配係数と濃縮係数は、明確な定義に基づいて行われた測定結果によって立証されていない。それを採用し続けていくことについては再検討が必要であろう。》と書かれています。更に、上記研究では、《われわれの実験での測定値の正確な原因が何であれ、その結果が示しているのは、環境中にトリチウム水として放出されたトリチウムが、水生生物の食物連鎖に入り、その中で濃縮されていく可能性があるということである。》と生物濃縮について記載されているところから、トリチウムが水産物を食物とする人体にも有害であることが示唆されています。

(6) 「トリチウムの生体影響に関する報告書について」では

経済産業省多核種除去設備等処理水の取扱いに関する小委員会事務局作成の「トリチウムの生体影響に関する報告書について」（2018年11月30日）では、UNSCEAR2016年報告書について次のように評価をしています。

《原子放射線の影響に関する国連科学委員会（UNSCEAR）は、電離放射線による被ばくのレベルと影響を評価し、報告することを目的として国際連合内に設置された委員会である。

》

2016年報告書は、《UNSCEARのまとめた科学的知見により放射線リスク評価と国際的な放射線防護基準を下支えすることが目的とされている。》

記述内容は、《UNSCEAR2016年報告書では、トリチウムの生体影響に関して、体内動態挙動モデルや確率的影響、確定的影響、核変換効果、疫学研究、等について記載されている。

》

UNSCEAR2016年報告書7-2 トリチウムの生物影響まとめには、確率的影響として以下のよう

に記されています。

《発がん性について、ラットを用いた実験から3.3～6.6Gyでは乳腺線維腺腫の発生率の増加が確認されたが、それ以下では確認できなかった。遺伝性の影響についてマウスを用いた実験から、ベータ線及びガンマ線による被ばく量が2Gy以下では、染色体相互転座頻度の変化はなかった。一方、3～4Gy以上では相互転座頻度の増加が観測された。研究結果からHTO（引用者による注：2つある水素の1個がトリチウムに置き換わった水）による生殖細胞の内部被ばくにより、幅広い範囲の被ばく量で細胞の遺伝的に優勢致死となる突然変異が引き起こされることが確認された。RBE（生物学的効果比）は1.6～2.6となり、トリチウムのベータ線による影響はガンマ線より大きいことが分かった。》

また、確定的な影響として、《動物実験から、HTOの長期摂取により被ばく量が約0.4～0.6Gyのときに胚・胎児への影響が観察された。動物実験から、比較的高線量（1～8.7Gy）となるHTOによる長時間被ばくは、線量によっては回復可能な程度の免疫機能の低下をもたらすことが示された。ヒト（女性）の生殖系は未熟な生殖細胞は成熟卵細胞よりも放射線感受性がある。2.5～6Gyの線量を被ばくすると、卵母細胞の死滅により永続的な不妊となる。》

と記されています。

このことから、経済産業省は、UNSCEAR2016年報告書に記された研究結果からHTOによる生殖細胞の内部被ばくにより、幅広い範囲の被ばく量で細胞の遺伝的に優勢致死となる突然変異が引き起こされることが確認されたこと、RBE（生物学的効果比）は1.6～2.6となり、トリチウムのベータ線による影響はガンマ線より大きいことを理解しています。

また、確定的な影響として、一定線量の被ばくで、胚・胎児への影響や回復可能な程度の免疫機能の低下をもたらすこと、ヒト（女性）の生殖系は未熟な生殖細胞は成熟卵細胞よりも放射線感受性があり、2.5～6Gyの線量を被ばくすると、卵母細胞の死滅により永続的な不妊となることを経済産業省も認識しています。

(7) 壱岐新報や国立がん研究センター等の資料によると

2019年3月5日付けの壱岐新報に、長崎県壱岐市の白血病死亡率が対岸の九州電力玄海原発稼働後、6倍から7倍に増加しているという記事がありました。4基の原子炉を運用する玄海原発は毎年多量のトリチウムを海に放出していますが、四国電力も2011年度に伊方原発から53兆ベクレルのトリチウムを瀬戸内海に流したことを国に報告しています。瀬戸内海は水深が浅く、関門海峡、豊予海峡、紀伊水道の狭い三か所の水路だけで外洋に繋がる閉鎖性の強い海域であり、海水の交換は極めて緩慢です。瀬戸内海の海水の90%が入れ替わるのに1.5年から2年もかかる（湯浅一郎『原発再稼働と海』、緑風出版、2016年）と言われています。

下の表2は、原子力規制委員会『原子力施設運転管理年報』（平成25年度版）398ページから伊方原発のトリチウム排出量を抜き出したものです。

伊方発電所から瀬戸内海に流し込まれた液体トリチウムの量(単位は兆ベクレル)										
2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	10年間合計
54	68	53	46	66	58	57	51	53	1.8	507.8

表2

2012年1月13日には伊方原発の全ての原子炉が運転を停止しましたが、それでも、2003年から2012年の10年間に507兆ベクレルを超える膨大な量のトリチウムが瀬戸内海に流し込まれたのがわかります。

伊方町白血病死者数比較表

年	全国 10万人当たり 死者数 *1	愛媛県 10万人当たり 死者数 *2 *3	愛媛県 全国を1とした 比率	伊方町 白血病死者数 *2 *4	伊方町 人口 *3 *4	伊方町 10万人当たり 死者数	伊方町 全国を1とした 比率
1980	3.90	3.92	1.01	1	18,753	5.33	1.37
1985	4.28	5.16	1.21	1	17,414	5.74	1.34
1990	4.56	4.95	1.09	2	16,060	12.45	2.73
1995	4.88	5.97	1.22	2	14,787	13.53	2.77
2000	5.33	6.09	1.14	2	13,536	14.78	2.77
2005	5.70	6.88	1.21	3	12,580	23.85	4.18
2010	6.31	6.99	1.11	4	10,882	36.76	5.83
2015	6.79	5.99	0.88	1	9,626	10.39	1.53
平均	5.22	5.74	1.11	2.00	14204.75	15.35	2.82

*1 全国10万人当たりの白血病死者数は、国立がん研究センターがん情報サービス「がん登録・統計」による

*2 愛媛県および伊方町の白血病死者数は、愛媛県作成「えひめの衛生統計」による

*3 愛媛県および伊方町の人口は愛媛県人口統計による

*4 2005年より前の伊方町人口および白血病死者数は合併前の瀬戸町と三崎町を合わせたもの

表3

表3は、伊方原発からトリチウムが流し込まれる瀬戸内海の状況を国立がん研究センター等の資料から見たもので、愛媛県と伊方町の年間白血病死者数が人口10万人単位では何人となるかを算出し、全国値を1として比較したものです。トリチウムが全ての白血病の原因であるとは言えませんが、トリチウムと白血病との強い関連性は多くの研究や書物で指摘されています。

図2のグラフで見ると、愛媛県伊方町では、原発稼働後に白血病死者が増え始め、運転される原子炉の数の増加に従って白血病死者数も次第に増加しています。しかし、3基の原子炉すべてが運転を停止した2015年にはこれが10.39人（この年の全国平均の1.53倍）に減少しました。

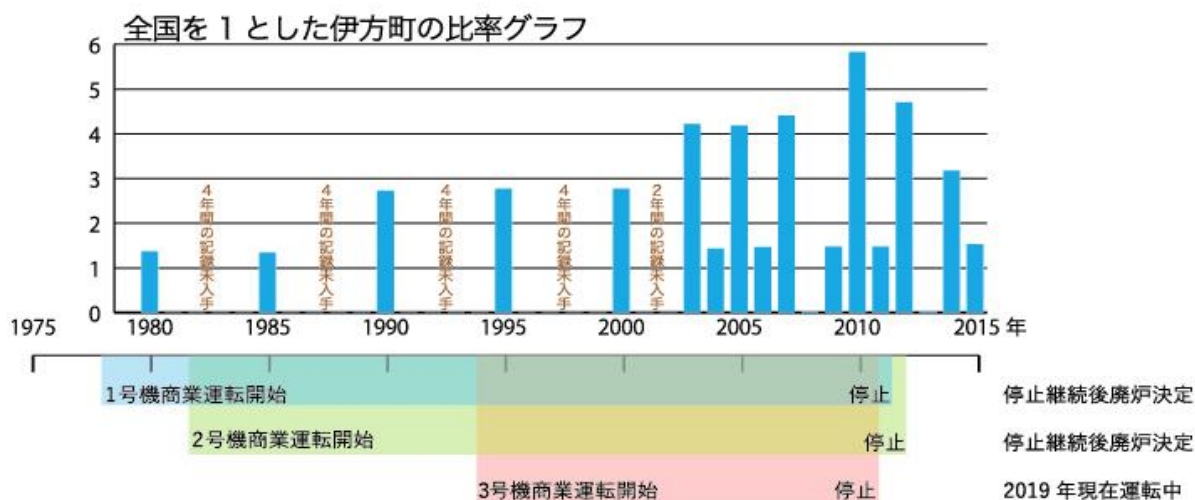


図2

次に表4で2010年における瀬戸内海西部各地域の白血病死者数を見てみます。表最下段の全国比とは、白血病死者人口10万人当たりの死者数をその年の全国の値を1として、各地域の白血病を全国と比較したものです。

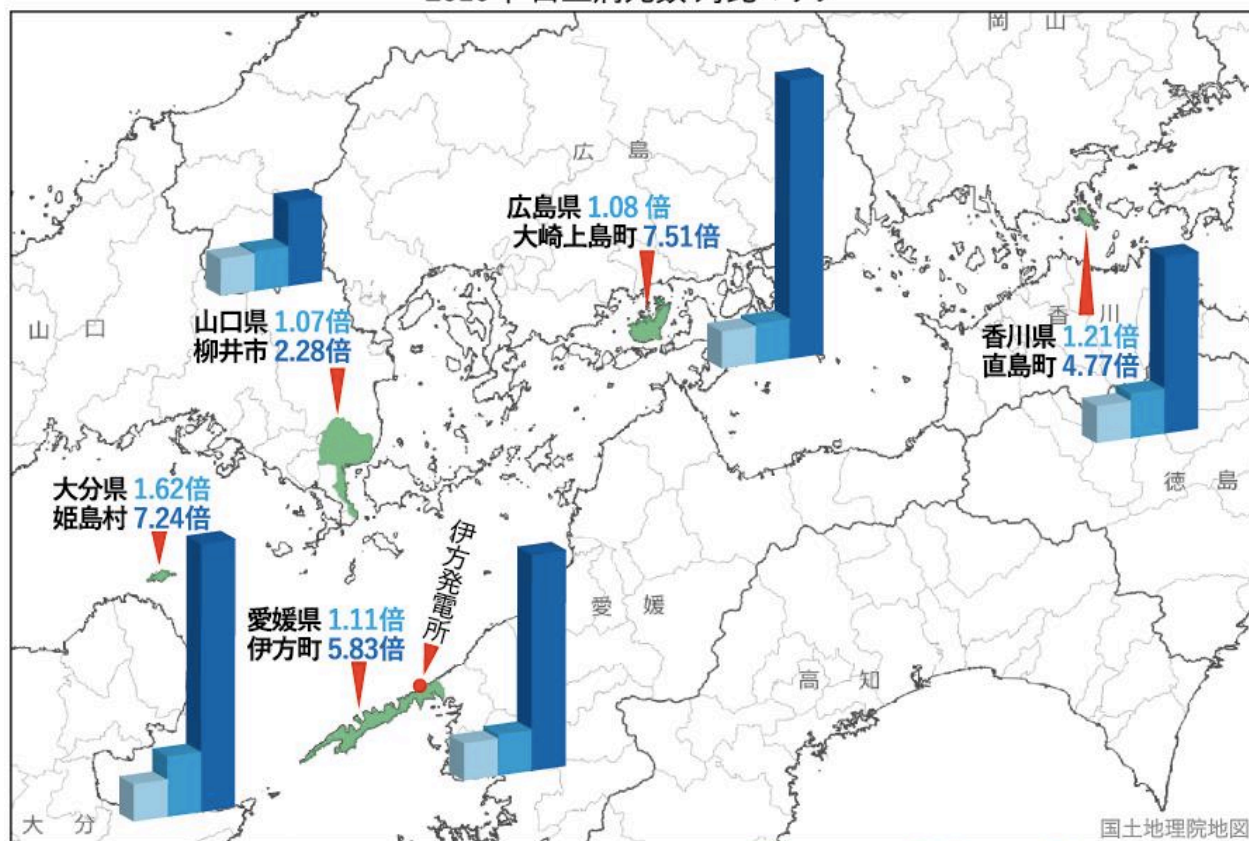
2010年における全国10万人当たり白血病死者数と瀬戸内海沿岸各県、各地域の比較											
2010年	全国	大分県全体	姫島村	山口県全体	柳井市	広島県全体	大崎上島町	愛媛県全体	伊方町	香川県全体	直島町
人口	128,057,000	1,196,529	2,189	1,451,338	34,730	2,860,750	8,448	1,431,493	10,882	995,842	3,325
白血病死者数	8,078	122	1	98	5	194	4	100	4	76	1
10万人当たり	6.31	10.20	45.68	6.75	14.40	6.78	47.35	6.99	36.76	7.63	30.08
全国比	1.00	1.62	7.24	1.07	2.28	1.08	7.51	1.11	5.83	1.21	4.77
注記	全国10万人当たりの白血病死者数は、国立がん研究センター がん情報サービス「がん登録・統計」によるものです。 国および各自治体の人口は国勢調査のデータによるものです。 大分県および姫島村の白血病死者数は大分県作成の「大分県公衆衛生年鑑」によるものです。 山口県および柳井市の白血病死者数は山口県作成の「山口県保健統計年報」によるものです。 広島県および大崎上島町の白血病死者数は広島県作成の「広島県人口動態統計年報」によるものです。 愛媛県および伊方町の白血病死者数は愛媛県作成の「えひめの衛生統計」によるものです。 香川県および直島町の白血病死者数は香川県作成の「香川県保健統計年報」によるものです。										
伊方発電所	1号機は、1977年9月に運転開始し、2016年3月に廃炉決定されました。 2号機は、1982年3月に運転開始し、2018年5月に廃炉決定されました。 3号機は、1994年12月に運転開始し、2019年8月現在使用中です。 (ただし、2012年1月13日から2016年8月12日までの期間は全機が運転停止しました。)										
											20191217

表4

次ページの図3は、表4の数値と一関係をわかりやすくするために、棒グラフを地図上に配置したものです。

伊方原発の全機が稼働中の2010年に、大分県姫島村の白血病死者数が全国平均の7.24倍（人口10万人当たりの死者数が50人を上回る）もあり、原発のある伊方町でも、5.83倍と白血病死者数の多さが目立っています。対岸の山口県柳井市でも2.28倍、広島県大崎上島では、7.51倍、遠く離れた香川県直島町においても、4.77倍という異常な数字が出ており、白血病の多い地点が瀬戸内海に広く分布しているのが観察できます。

2010年 白血病死数 対比マップ



▲2010年の10万人あたりの白血病死数の対比 数字とグラフは国を1とした県と市町村の白血病死数比率

図3

(8) 有機結合型トリチウム

近時の研究では、海洋に流されたトリチウムは河川などから流入する豊富な有機物によって有機結合型トリチウムとなり、これが生物に取り込まれると、この有機結合型トリチウムは生物の体内に長期間留まり、濃縮することが知られてきました。四国電力が伊方原発を運転し続けることは、トリチウムを瀬戸内海に流し込み続けることに他なりません。複雑な地形と海流、底質土砂の膨大な表面積を考えると、流し込まれたトリチウムは、幾世代も瀬戸内海から除かれることなく存在し、自然とそこに暮す生物を汚染し続けます。そのトリチウムが流入河川などから運び込まれる夥しい有機物と相互作用して有機結合型トリチウムに形を変えた場合の影響は測り知ることさえ困難です。

(9) 水俣病の経験から学ぶもの

わが国産業界は不幸にして水俣病を発生させた経験を持っていますが、この原因を生んだ新日本窒素肥料株式会社（後のチッソ）は国策に導かれた企業であり、原子力発電事業も国策の名のもとに押し進められて来たという点で共通しています。しかし、両社の決定的な相

違点は、伊方原発が立地する瀬戸内海区域人口の合計は 2972 万 7 千人（環境省統計）とされ、水俣湾の沿岸人口の 100 倍を優に超える点と、次から次へと瀬戸内海に流し込まれる放射性物質がもたらす害毒は、人間の時間感覚から言えば無限と言ってよい程長い期間消滅しないということです。原発には人間が制御することのできない本質的な危険が存在し、原発から頬出されるトリチウムは生物にとって致命的な被害を与えるのです。

(10) トリチウムは瀬戸内海を死の海にし、沿岸を死の地にする

国の定める基準では、1 リットルあたり 6 万ベクレルを下回る濃度のトリチウム水の海への放出を認めています。仮に、伊方原発から瀬戸内海に向かって流し込まれる 53 兆ベクレルのトリチウムを国の基準濃度の上限値となる 1 リットルあたり 6 万ベクレルになるまで希釈するとすれば、88 万 3 千 333 トンの海水が必要になり、これを一日あたりに換算すると 2420 トンになります。

厚生労働省が 2014 年 4 月 1 から施行した飲料水に許容される放射能セシウムの基準値を「すべての人が摂取し、代替がきかず、摂取量が多いことから、WHO が示している基準を踏まえて 1kg あたり 10 ベクレルとしている」（厚生労働省医薬食品局食品安全部資料 食品中の放射性物質の新たな基準値リーフレット）のに対して、原発からのトリチウムを含む排水は、上記のように、1 リットルあたり 6 万ベクレル以下とすれば外部環境に放出することが制度上許されています。しかし、毎日毎日 1 億 4520 万ベクレルもの多量のトリチウムを瀬戸内海に流し込むことが生物環境に悪影響を与えないとは到底考えられません。

公益財団法人海洋生物環境研究所非常勤研究参与の宮本霧子氏は、1998 年から 2002 年の間に原子力発電所から液体廃棄物として主に海洋に放出されたトリチウム量を図示し、次のように言っています。（引用は括弧内を含めて原文のまま）

「この期間トリチウム以外の放射性核種の全種類、それも全世界で放出されたベクレル量を合計してみても、トリチウムの放出量のわずか 1% 以下にしかありません。/ それでは、トリチウムはなぜこんなに多量に放出できるのでしょうか。（中略）その理由は、トリチウムの人体影響が他の核種に比べて非常に小さいと国際放射線防護委員会（ICRP）が判断しているからです。（中略）仮に、もしトリチウムの〈線量係数〉が小さくならなかったら（人体影響が強ければ）、分離や濃縮が困難な核種（費用・時間が大きくかかる）なので、原子力を発電に利用することは難しかったかも知れません。」（『海洋生物と放射性物質—世界の海で放出されるトリチウム—』『海生研ニュース』119 号、2017 年 7 月）

上記の文章を整理するとこのようになります。

- トリチウムの放出量は膨大であり放出される放射性物質の 99% 以上を占める。
- トリチウムの人体影響が他の核種に比べて非常に小さいと判断したのは国際放射線防護委員会（ICRP）である。
- トリチウムの人体影響が大きい（すなわち線量係数が大きい）ことになったら、費用や時間のかかる処理をしなければならない。
- トリチウムは分離や濃縮などの処理が困難核種なので処理費用が嵩む。

○トリチウムが人体に与える影響が大きいとされると、原子力発電は成り立たなかったのではないか。

つまり、原発を使用するには生成するトリチウムによる健康被害を小さく見せなければならぬという事情がありました。(実際 ICRP や原子力産業はトリチウムの線量係数をセシウムの 1000 分の 1 であると評価をしている。5 ページ 5 行目から 6 行目を参照)

これを書かれた宮本霧子氏は 2013 年まで放射線医学研究所に在籍してトリチウム研究に携わっていた方ですので、トリチウムの危険性を低く評価しないと原発を動かさないことを知っていて上のような説明をされたものでしょう。

しかし、既に UNSCEAR2016 年報告書に HTO による生殖細胞の内部被ばくにより、幅広い範囲の被ばく量で細胞の遺伝的に優勢致死となる突然変異が引き起こされることが確認されたこと、RBE (生物学的効果比) は 1.6~2.6 となり、トリチウムのベータ線による影響はガンマ線より大きいことの記載があることを考慮すれば、宮本霧子氏の上記説明は間違いとは言えませんが、読者に正確な情報を与えるものではありません。科学や技術が人類の幸福を目指すものであるためには、個々の科学者の在り方が問われます。トリチウムの危険性はそれを正しく理解している少数の人には当初から解っていました。

原発の運転においてはトリチウムの計画的な排出が避けられませんが、放射線の影響を過小に評価して海に放流すれば気付かれ難く、気付かれても言い逃れができると世界中の核施設からトリチウムが流されて来たのです。5 ページに引用した東京電力の文書にみられるセシウムの濃度限度などから、原発の運転に伴って生じる様々な核分裂生成物がトリチウムを分離する困難さと多額の費用を回避するために海洋に放出され続けていることが伺えます。

瀬戸内海の沿岸で暮らす者は、海の幸の多くを瀬戸内海から得ています。海外での研究では、海岸から巻き上げられ気流に乗ったトリチウムは海岸から 16km の地点まで到達し、その範囲を高度に汚染させる事が報告されています。

私たちの多くは海岸から運ばれるトリチウムが到達する場所に住んでおり、そこで生産される食物を日々の糧としています。私たちは、四国電力株式会社の伊方原発から出されるトリチウムを始めとする様々な核分裂生成物が豊かな瀬戸内海を死の海に変え、その沿岸地域が人の住めない地となることを何よりも恐れます。

第2章 伊方発電所からは膨大な熱が瀬戸内海に排出され、地球温暖化の原因を作る

(1) 伊方原発からの膨大な排熱

伊方発電所は原子炉内の核分裂反応によって発生するエネルギーの約3分の1しか電気の形で取り出すことが出来ない極めて効率の悪いものです。残りの3分の2のエネルギーは取り入れた海水を温め、温排水として海に捨てられます。現在稼働中の伊方3号機の出力は89万kwですから、その2倍の178万kwが排熱とされて瀬戸内海を温め、地球の温暖化を進行させます。

原発には高度な技術に支えられたものであるかのような印象がありますが、実際は捨てられるエネルギーが役に立つエネルギーの2倍もあるという、この上なく非効率的な発電装置なのです。

(2) 伊方原発からの膨大な量の温排水

事業者の説明によれば、伊方発電所から瀬戸内海に流される水量は1秒当たり65トン、1分で3900トン、1時間で23万4千トン、1日では561万6千トン、1年では20億4千984万トンになります。四国三郎と呼ばれる、わが国有数の大河吉野川が紀伊水道に流す水量は1年間に9億2千300万トンという独立行政法人水資源機構早明浦ダム・高知分水管理所の資料がありますので、伊方原発は、一級河川吉野川の2.22倍の量の海水を瀬戸内海から取入れ、海水中に含まれる生物を冷却系の障害防止のために薬剤などを用いて死滅させ、水温を約7度も高くした状態で海へ放流するのです。

瀬戸内海の面積は約9500平方キロメートルとされていますので、伊方原発からの年間排水量20億4千984万トンを便宜的に1トン=1立方メートルとして計算すると、海面から21.5cmまでの範囲の海水を7℃温める熱量に匹敵します。

また、7℃高めた一日の排水量561万6千トンを上記と同様に1トン=1立方メートルとして計算すると、一辺1メートルの升で561万6千杯となり、この升を一列に並べると5616キロメートルになります。このように説明すれば、伊方原発から瀬戸内海に流し込まれる一日の温排水の量が並大抵のものでは無いことが実感できるのではないのでしょうか。

(3) 原発は地球温暖化の原因の一つ

上に述べたように、運転中の原発からは膨大な廃熱が発生していますが、使用期間を終え、原子炉から取り出した使用済み核燃料も、使用した年月の10倍以上の長期間に亘って冷却保管をしなければなりません。使用済み燃料からの大量の崩壊熱は、他の発電方法には見られない原発特有の発熱現象です。

国と原発事業者は口を揃えて、「原発は地球温暖化の防止に役立つ」と言いますが、実態は全く逆で、原発は地球温暖化の原因の一つだと言えます。

おわりに

上に見たように、原発には人間が制御することのできない本質的な危険が存在し、原発から放出されるトリチウムを始めとする各種の核生成物は、人間や生物、自然界にとって致命的な被害を与えます。また、膨大な量の排熱が地球を温め続け、冷却の過程で多くの水棲生物の命を奪うという問題から考えても、原発の存在は許せないものです。

特に伊方原発は、閉鎖性の強い瀬戸内海に立地し、沿岸地域には瀬戸内海の幸に依存する多くの人々が暮らしているという現状を考慮すれば、放射線被曝被害が拡大する前に原発を廃止する以外に取り得る方法はありません。

先に例として挙げた水俣病は1956年に確認されましたが、63年を経過した現在も問題が解決された訳ではありません。この公害は多くの人を苦しめながら今日に至っています。私たちにできることは、歴史に学び、悲劇を繰り返さないことです。

原発を推進したい人にとって、原発は利益獲得の手段としてそれなりの存在理由があるのかも知れませんが、原発から利益を受ける立場の者でも、環境に放出された有害な放射線から逃れることはできません。地域で独占的な地位を占める電力会社といえども、顧客の健康や人命を奪いかねない生産手段を用い続けることは、自らが築いた電力市場を自身の行為で縮小、消滅させることに他なりません。

すべて人に幸福を追求する権利が平等にあり、未だ地上に現われていない次世代の人々にも健康で文化的な人生を全うする権利があることを認めるならば、今の時代に生きている私たちには原発を止めるための行動を起こす責任があり、原発を国策として推進してきた国、これに呼応して事業を展開してきた電力会社は、将来に対する一層重大な責務を負っていると言えます。

参考文献リスト

書名	著者・編者	出版社	初版出版	内容
元素図鑑	中井 泉	KKベストセラーズ	2013年4月	周期表、元素
元素の話	斎藤 一夫	培風館	1982年9月	元素、原子
原子カプラント工学	神田 誠 ほか	オーム社出版局	2009年2月	原発設備
原子炉物理入門	平川 直弘 ほか	東北大学出版会	2003年10月	原子炉物理
原子力防災	松野 元	創英社／三省堂	2007年1月	原子力防災
原子・原子核・原子力	山本 義隆	岩波書店	2015年3月	原子力一般
原子力市民年鑑 2016-17	原子力資料情報室	七つ森書館	2017年3月	原子力資料
原爆と原発	落合 栄一郎	鹿砦社	2012年5月	放射能
原発のいま	原子力資料情報室	原子力資料情報室	2019年1月	原子力資料
放射線被曝の争点	渡辺 悦司 ほか	緑風出版	2016年5月	健康被害
原発を考える50話	西尾 漢	岩波書店	1996年4月	原発一般情報
原発事故と放射能	山口 幸夫	岩波書店	2012年11月	放射能、核事故
公害・環境問題と東電福島事故	畑 明朗	本の泉社	2016年9月	放射能、核事故
放射線被ばくによる環境影響とリスク評価	欧州放射線リスク委員会	明石書店	2011年11月	ECRR
隠された被ばく	矢ヶ崎 克馬	新日本出版社	2010年7月	内部被曝
ドイツ低線量被曝から28年	ふくもと まさお	言叢社	2014年3月	低線量被曝
見えない恐怖	松井 英介	旬報社	2011年6月	内部被曝
低線量放射線被曝	今中 哲二	岩波書店	2012年10月	被曝一般
「環境を守る」とはどういうことか	尾関 周二 他	岩波書店	2016年11月	自然、環境哲学
水をはかる	箕輪 善蔵	日本規格協会	1988年2月	水一般
水の科学	北野 康	日本放送出版会	1995年1月	水、地球環境
日本の海はなぜ豊かなのか	北里 洋	岩波書店	2012年1月	海洋資源、海
海水の科学	岡部 史郎 ほか	東海大学出版会	1970年11月	海洋科学、海水
瀬戸内海の発見	西田 正憲	中央公論社	1999年3月	瀬戸内海、生活
海の働きと海洋汚染	原島 省 ほか	裳華房	1992年4月	海の放射能汚染
原発再稼働と海	湯浅 一郎	緑風出版	2016年7月	海の放射能汚染
海の放射能汚染	湯浅 一郎	緑風出版	2012年6月	海の放射能汚染
魚と放射能汚染	片山 知史	芽ばえ社	2016年2月	海産物の放射能汚染
九電と原発	中野 行男 ほか	南方新社	2009年11月	温排水、海洋環境
放射線と健康	館野 之男	岩波書店	2001年8月	放射線健康被害
医学的根拠とは何か	津田 敏秀	岩波書店	2013年11月	疫学、統計学、予防
細胞—そのひみつを探る	中野 義信	共立出版	1994年12月	生体、細胞、代謝
いのちの旅	原田 正純	岩波書店	2016年4月	水俣病、公害、汚染
環境と公害 (VOL48N03、2018 冬号)	岩波書店	岩波書店	2019年1月	水俣病、原発事故
ドイツ脱原発倫理委員会報告	ミンダ・A・シュラズ ほか	大月書店	2013年7月	社会、政治、核