

討論資料：放射線科学から見たトリチウムの危険性（概説）

——危険度を事実上「ゼロ」とする政府・専門家の虚偽——

2021年8月8日（8月20日改訂） 渡辺悦司

本論考は、以下に掲げる遠藤順子さんや山田耕作さんとの共著および個別の論考の続編となることを目指したものです。読者の皆さまには、本論考で触れられていない諸論点などについては、ぜひこれらを参照して下さるようお願いしたいと思います。

- 渡辺悦司、遠藤順子、山田耕作『放射線被曝の争点——福島原発事故の健康被害は無いのか』緑風出版（2016年）第2章トリチウムの危険性
- 遠藤順子「ミトコンドリア障害と心筋症、アルツハイマー病、パーキンソン病、筋委縮性側索硬化症の関連について」（2017年）<http://blog.torikaesu.net/?eid=64>
- 山田耕作、渡辺悦司『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』及び『東電報告』批判（2020年）<http://blog.torikaesu.net/?eid=100>
- 遠藤順子「トリチウム問題の核心——その人体への影響」『放射能で汚染された水で海を汚染するな！——国と東電の責任は重い』たんぼ舎パンフ No.103（2021年）所収

この場を借りて、この間、トリチウムの危険性を明らかにするために一緒に議論し共同して作業を進めてきた山田耕作さん、遠藤順子さんに深く感謝します。また、貴重なご意見やアドバイスや励ましをいただいた落合栄一郎さん、本行忠志さん、西尾正道さん、矢ヶ崎克馬さん、岡田俊子さん、黒田洋一郎さん、山内知也さん、小出裕章さん、上里恵子さん、田中一郎さん、三原翠さん、高橋精巧さん、児玉順一さんほか多くの皆さんに心より感謝の言葉を捧げたいと思います。

目次

はじめに——政府・専門家の主張の中に見えるもの

第1章 トリチウムとは何か？ その生成と環境中での存在量

第2章 放射性物質としてのトリチウムの「特別の」危険性

第3章 トリチウムβ線への被曝のメカニズムと主要な標的

付論 日本政府・政府側専門家による胎内被曝影響・遺伝的影響が「ない」という虚偽主張

第4章 トリチウムの危険性（リスク）の量的側面、恐るべき人為的過小評価

付論 放射性に炭素14の危険性

第5章 環境放射能汚染とウイルス変異の加速化、パンデミック反復のリスク

まとめ 人類滅亡への道を転落していくか、環境放射能汚染を止めていくのか

はじめに——政府・専門家の主張の中に見えるもの

ここでは、トリチウム（三重水素）の放射線の危険性に関する日本政府と政府側専門家たち（以下専門家たちとだけ表記する場合も同じ）の「うそ」を検討する。

汚染水をめぐる日本政府・専門家の基本的立場は極めて単純である。汚染水についてその海洋放出が「危険」であると主張すること、汚染水に大量に含まれるトリチウム（β線）への被曝によって健康影響が生じる「危険性」があるとの見解を表明すること、トリチウムには放射性物質として「危険性」があると評価すること、トリチウムには人間の健康に「危険」をもたらす「可能性」や「リスク」が「ある」と指摘すること——これらすべてが科学的根拠に基づかない「風評」にすぎず、そのような見解の表明や拡散こそが人々に「不必要な恐怖」を煽り「風評影響」や「風評被害」をもたらす「社会的犯罪」行為であるということである。時と場合によって、これを直接表明するか、間接的に示唆するかは異なっているが内容は同じである。

要するに、トリチウム放出の「被害」や「リスク」は、あるとしても「実害」ではなく、このような「風評影響」や「風評被害」だけであるというのだ。反原発・反被曝・避難者連帯・被災者支援等の運動が、トリチウムは「危険」だと騒ぐから「被害」があるのだというわけである。こうして、結局のところ、トリチウム「危険」論を「トリチウム無害論」「トリチウム安全神話」で塗り隠すことが、政府見解の実質的内容のすべてということになる。

このような主張に対し、「放射線被曝の科学」、すなわち放射線に関する物理学・化学・生物学・医学・疫学・放射線防護学などからなる放射線科学の体系から明らかになるトリチウムの危険性を可能なかぎり全面的に対置すること、それによって政府・専門家の「トリチウム無害論」の主張がいかにか虚偽であり危険なものであるかを明確に提示すること、これが本論考の目的である。

予め指摘しておきたいのは、ここで取り上げる数字は、すべて大まかな概数であるという点である。「生物学のおよび統計学的不確実性」は、リスクの「有無」の判断を避ける口実にはならないし、ましてや事実上「無リスク」を示唆する口実にはならない（ICRP2007 勧告をこの目的で利用しようとしている政府や専門家の危険性について警告しておきたい）。

第1節 政府関係会議の決定文書

たとえば、2021年4月13日、日本政府が汚染水の海洋投棄を決定した際の「廃炉・汚染水・処理水対策関係閣僚等会議」の文書は、放射性物質としてのトリチウムについて以下のように規定している（文中の番号①～⑥および下線は引用者が付けたもの）。

「トリチウムは、①水素の仲間（放射性同位体）であり、②弱い放射線を出す放射性物

質。③トリチウムは、雨水や、海水、水道水など自然界にも広く存在している。④多核種除去設備では、トリチウムを除去することは困難。また、⑤トリチウムは、各国の原子力施設から放出されており、福島第一原発に貯蔵されている全量以上のトリチウムが1年間で放出されている例もあるが、⑥トリチウムが原因と考えられる影響は確認されていない」（日本政府廃炉・汚染水・処理水対策関係閣僚等会議「東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所における多核種除去設備等処理水の処分に
関する基本方針」2021年4月13日付）*。

*https://www.kantei.go.jp/jp/singi/hairo_osensui/dai5/siryou1.pdf

政府文書のトリチウムに関する規定はここだけである。だが、この短い規定には虚偽が多く含まれている。その主な内容は番号順に以下の通りである。

① 文書はトリチウムが水素の「放射性同位体」と規定しながら、この規定のもつ特別の意味や危険性やリスクについて全く沈黙している。トリチウムが「放射性同位体」「放射性物質」であれば、当然放射性物質に伴う「危険性」が「ある」はずである。だが、17ページもあるこの政府文書の中に、「風評」「風評影響」「風評被害」という言葉はざっと数えても50回近く出てくるが、放射性物質であるトリチウムの「危険」「危険性」「被害」「健康影響」「健康被害」は文字通り一言もない。「可能性」の指摘としても一言もない。「魔女狩り」ならぬ「言葉狩り」が行われているわけである。これによって、政府は、実際には、放射性物質としてトリチウムには「危険性がない」といつているのに等しい。

② トリチウムが「弱い放射線を出す放射性物質」とであるとはいったい何を言いたいのだろうか？放射線について「弱い」という言葉は、放射線物理学的には、その放射線の「エネルギーが低い」したがって「飛程（飛距離）が短い」という意味で使われるのが普通である。だが、政府文書は、この「弱い」を一種の「情緒的表現」として利用し、トリチウムは放射性物質ではあるが、それが放出する放射線は人体への影響も「弱く」、危険性は「ほとんどない」「事実上ない」「無視できる」ということを示唆したいように見える。だが、実際には、エネルギーが低く速度が遅い「弱い」放射線は、放射線物理学の法則からは必然的に周囲の分子に対して反応性が高く、生物学的危険度がかえって高い。政府文書は、このような放射線物理学の基本法則*から人々の目をそらし、トリチウムの危険性が事実上「ない」という印象操作をしようとしているように見える。これは極めて危険な「うそ」である。

*このことは、放射線取扱主任者試験受験用テキスト（柴田徳思編『放射線概論』通商産業研究社〔2019年〕）に明記されているし、放射線についての一般向けの一連の解説書にも明確に記載されている。たとえば、鳥居寛之（東京大学大学院総合文化研究科助教）らの著作『放射線を科学的に理解する』丸善出版（2012年）は、「阻止能（エネルギー損失）の大きさ」（ここでは電離効果の大きさ、すなわち反応性と考えてよい—引用者）は荷電粒子の「速度 v の2乗に反比例する」と明記

している（26～28 ページ）。すなわち、速度が遅くなれば、その 2 乗に阻止能は増大する。同じ内容は、多田将（高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所 准教授）『放射線について考えよう』明幸堂（2018 年）74～78 ページなどにも解説されている。ここでは、もっと明確にこの点を述べた、ジョン・ゴフマン氏の規定を引用しておこう。「（ β 線・ α 線のような）荷電粒子の速度が遅くなるにつれて、電離効果は増大する。即ち、 β 線粒子、 α 線粒子が電離によりエネルギーを失って減速するにつれ、一段と効率よく次に電離を引き起こす」（ジョン・ゴフマン『人間と放射線』明石書店 [2011 年、最初の発刊は 1991 年] 43 ページ）、政府文書作成者がこのことを知らなかったとは考えられない。

③「トリチウムは、雨水や、海水、水道水など自然界にも広く存在している」というのも同じ情緒的表現による印象操作である。自然界にも存在するので「問題はない」「危険はない」と言いたいようであるが、実際には、現在自然環境中にあるトリチウムの大部分は核兵器保有国が行ってきた大気圏核実験の残存物であるか、原発や再処理工場によって人工的に排出された環境汚染物である（後述する）。政府は、世界の原発・核推進勢力の一翼として、自ら生み出し、自ら自然を汚染しておいて、そのような「自然界」の汚染を自分が行ってきたしこれから行おうとしている放射性汚染物放出の正当化に使っている。政府の主張は、すでに汚染物によって自然界は広く満たされているの「だから」、さらに汚染するのも「影響はない」「危険はない」「受忍すべきである」と言っているに等しい。

④「多核種除去設備では、トリチウムを除去することは困難」とは何を言いたいのだろうか？ トリチウムを回収する技術は不可能であるということを示唆したいのかもしれない。だが、現実には回収技術は現に存在する。この点も後述する。

⑤「トリチウムは、各国の原子力施設から放出されており、福島第一原発に貯蔵されている全量以上のトリチウムが 1 年間で放出されている例もある」というのは放出を正当化するために言っているのであろうが、今後の事態の恐ろしい展開を示唆している。つまり福島に溜まっている 1PBq（10 の 15 乗ベクレル）規模のトリチウムの年間での放出が「当たり前」のようにありうることを示唆している。つまり、今後予定されている青森県・六ヶ所再処理工場の本格稼働によるトリチウム大量放出や、今後原発再稼働がとくに設備寿命 40 年を超えてさらには 60 年にわたる老朽原発の稼働*が進んで行った場合に次の大規模原発事故（第 2 第 3 の福島級原発事故）必然的に予想されるが、その際、汚染水を「自由に」放出することが想定されているということである。後で詳しく検討するが、政府が強調している、全世界の原発・再処理工場から環境中に放出されているトリチウムの量は、自然界で宇宙線により生成されているのとほぼ同じ規模にまでなっている。このような事態が自然環境と人間を含む生物界全体に今後何を引き起こすか、この点が注目されなければならない。

*「原発 60 年超運転浮上 建て替え見送り延命頼み」日本経済新聞 2021 年 7 月 21 日は「政府内

で原子力発電所の運転期間の（60年超への）延長論が浮上している」と書いている。

<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUA15CZB0V10C21A7000000/>

⑥ その文の後半、「トリチウムが原因と考えられる影響は確認されていない」は、政府文書や専門家たちによってほとんど常套句のように繰り返されているが、これは明かな「うそ」である。既にトリチウムの影響がエビデンスとしてあることは、上記の遠藤さんのパンフレットで詳説されているのでそちらを参照されたい。

第2節 政府・専門家のその他の「うそ」

このように、海洋放出を決定時の政府文書は、「トリチウム安全・安心論」の印象操作を繰り返し、「うそでうそを塗り重ねている」としか言いようがない。政府とマスコミ、政府側「専門家」の言説には、これら以外にも虚偽や一面化が極めて多く見られる。以下にその主要なものを列挙しておこう。

- 人間には「素晴らしい」「見事な」DNA 損傷修復機能が備わっており、トリチウムによる DNA 損傷が生じても修復されるので問題は起きない。→ 実際には、修復は完全ではない。これは単純な教科書的知識である。たとえば、放射線により DNA2 本鎖の直接の共有結合（架橋と呼ばれる）が生じた場合、修復は事実上不可能である。だが、このような架橋は、被曝 1Gy あたり 150 個生じるとされている*。さらにトリチウム被曝の場合に多数形成される DNA の損傷には、修復が困難な「クラスター損傷」が多いのである。修復不全による遺伝子変異、突然変異、がんは現実には生じている。後に詳しく検討する。

*青山喬・丹羽太貫編『放射線基礎医学』金芳堂（2016年）207ページ。

- トリチウム水の生物学的半減期は「10日」であり、摂取しても体内からすみやかに排出される。これは、ヒトのトリチウム摂取が 100%トリチウム水であり、そのうち 3%だけが人体内で有機トリチウムに変化する、すなわち 97%はトリチウム水としてすみやかに放出され、有機トリチウムの影響は無視できる、という ICRP の現実離れした仮定に基づいている。→ 実際には、トリチウム水を摂取した場合、人体内で有機トリチウムが形成され、その体内の半減期はトリチウム水よりさらに長く、500日程度となる。また、人間は、トリチウムを、トリチウム水として摂取するだけでなく、食事により、植物が光合成や化学合成により産生した有機トリチウムとしても摂取する。このようなトリチウムの体内滞留期間はさらに長い。

- 国の放出基準（6万 Bq/L）を毎日 2リットル生涯飲み続けても健康に影響は「ない」。

→ 実際には、6万 Bq/L は、染色体異常や DNA の失活が生じると実験的に確認されてい

る最小値のレベル（3万7000Bq/L）を上回る。ICRP線量係数の極端な過小評価（後述する）を考慮すると、1年間など長期に飲用し続けることは、事実上致死量に近いと考えるべきである。

- 環境中に放出しても無限に希釈されていき、濃縮も生物濃縮もされない。→ 実際には、多孔質の粘土や砂の粒子に吸着されて無機的に濃縮され、さらに植物性プランクトンから始まる生態系の中で生物濃縮される。またトリチウム水として放出されたトリチウムは、有機物に対して親和性があり、環境中で多くの部分が有機結合トリチウム（有機トリチウム）となり、人体にも最初から有機結合トリチウムとして侵入してくるようになる。

- 汚染水に含まれる放射性物質はトリチウム「だけ」であり、トリチウムだけが問題になる。→ この言説は虚偽であることがすでに明らかになってしまった。実際にはストロンチウム90、炭素14、ヨウ素129など多くの放射性核種が含まれる。

- タンクは満杯で増設する土地は「ない」。→ 実際には土地は十分「ある」ことは明らか等々。

政府と専門家たちの主張の最近の特徴は、一方的な「決めつけ」である。すでに以前から、トリチウムの危険性は「小さい」「低い」という言い方は、「非常に小さい」や「極めて低い」に変わり、「事実上ない」「無視できる」になっていた。だが、最近では、これもまたいつの間にか、危険あるいは危険性が「ある」という見解はすべて「風評」である、危険あるいは危険性が「ある」という見解の表明は人々の「恐怖をあおる」「社会的犯罪行為」であるとなっているのである。

第3節 トリチウムの「危険」という言葉の抹殺に協力する専門家たち

政府側専門家たちは、このような立場に立ってトリチウムの「危険」という言葉の抹殺に熱中しているように見える。「魔女狩り」ならぬ「言葉狩り」、その言葉を発する『「危険論者」狩り』である。たとえば日本原子力学会とその関連ホームページにはこのような威嚇的脅迫的表現であふれているように見える*。だが、これらは、彼らの強さの表現ではない。彼らがトリチウムの危険性について科学的理論的に完全に破綻していることを自己告白しているに等しい。

*たとえば、日本原子力学会 シニアネットワーク連絡会、エネルギー問題に発言する会などのサイト参照のこと。ここでは典型的な例として、河田東海夫・元原子力発電環境整備機構（NUMO）理事の諸論考を挙げておこう。

- 「海洋放出の早期実現にはマスメディアの協力が必要だ」

<http://www.aesj.or.jp/~snw/tritium/tritium-TK01.html>

- 「トリチウム内部被ばくの恐怖を煽る西尾氏の欺瞞と非倫理性」

<http://www.aesj.or.jp/~snw/tritium/tritium-ad-TK01.html>

- 「【玄海原発と白血病】に騙されないで」「玄海町の白血病死多発問題：トリチウムが原因とする森永説の非科学性」

<http://www.engy-sqr.com/watasinoiken2/20200913kawatasiryou.pdf>

元原子力発電環境整備機構（NUMO）理事河田東海夫氏の西尾正道氏に対する批判論文「トリチウム内部被ばくの恐怖を煽る西尾氏の欺瞞と非倫理性」（追加して「海洋放出の早期実現にはマスメディアの協力が必要だ」も検討する）を見てみよう。（河田氏が批判の対象とした西尾正道・北海道がんセンター名誉院長のトリチウムに関する論考は、同著『被曝インフォデミック トリチウム、内部被曝——ICRPによるエセ科学の拡散』寿郎社（2021年）に収められている）。河田氏の5ページある批判は次の文章から始まっている。これは文字通り「最初の最初」の言葉である。これを見れば、専門家たちの「逆立ちした論理」といべきトリックは一見して明らかになる（番号と下線は引用者による）。

トリチウムを大気や海に放出する場合の安全性については、処理水取り扱いに関する小委員会報告書で、①仮にタンクに貯蔵中の全量相当のトリチウムを毎年放出し続けた場合でも、②公衆の被ばくは日本人の自然界からの年間被ばくの千分の一以下にしかならないとの試算結果が示されている。③安全上全く問題ないレベルである。④しかるに巷間ではトリチウムの危険性を過剰に煽る言説がネット上などで拡散している。

河田氏のもう一つ別の論考「海洋放出の早期実現にはマスメディアの協力が必要だ」からも引用しておこう。

⑤度を過ぎた不安情報発信で世の中を乱すのは社会的犯罪だ。… そうした（トリチウムの危険性を過剰に煽る）情報発信の急先鋒は、北海道がんセンター名誉院長の西尾正道氏である。

「安全上全く問題がない」（①および③）：

この河田氏の記述を文字通り読めば、①および③で、福島第1原発の「タンクに貯蔵中の全量相当のトリチウムを毎年放出し続けた場合でも」「安全上全く問題ないレベルである」となる。すなわち現在のタンク中トリチウム「全量」を1年間で放出しても、「安全上全く問題ない」というわけである。東電の推計通りとして約1PBqのトリチウム放出が「安全上全く問題ない」ということなのである。この、約1PBq（最近東電は0.8PBqとしている）のトリチウム「全量放出」が「安全上全く問題ない」という命題が、最初の最初から「前提」されているわけである。つまり、ペタ（10×15乗）ベクレル規模のトリチウム環境放出の

放射線科学的な危険性は、「全く」「ない」すなわち「ゼロ」であるということがまずもって大前提とされ、1PBqものトリチウム水の「毎年」の放出が「全く」「安全」であるという命題が議論の前に一方的に決められていることになる。

何より最初に、トリチウム汚染水の全量放出が「安全上問題ない」と何の証明もなく決めつけるというのは「子供だまし」のトリックとしか考えられない。だが、そのような転倒した論理では科学的議論にはならない。同じ論法を使って大学院生が研究論文として何か書けば、普通は即座に「不正」として却下されるであろうが、元 NUMO 理事が書けば日本を代表する学会の1つで「権威」として通用するのである。言うておろが、この倒錯した論理（今後「河田論法」とでも言うべきであろう）は、NUMO 元理事という「肩書き」が目立つ河田氏だけの特徴ではない。すでに検討した政府小委員会の報告書も基本は同じである。

政府発表では、実際に放出が行われるのは2年後であるという。もしそうなら、なぜ、政府も専門家たちも、この2年間で、タンクに溜まっている汚染水を実際に経口投与する形で動物実験をやらないのであろうか。たとえば、マウスの寿命は2年程度であり、受精・生誕・成長から死亡に到るまでの生涯期間全体について健康影響が観察できるはずである。魚や貝類、海生生物でも同じように実験可能であろう。「なぜ行わないのか」「影響が結果として現れるからではないのか」、人々には当然疑いが浮かぶであろう。そのような努力を行うこともなく、「安全」という言葉だけを繰り返す政府と専門家たちの精神構造と人格が疑われざるをえない。

放出トリチウムによる「被曝量」について（②の記述の意味）：

河田氏が根拠として上げているデータ②は、「小委員会報告書」とあるだけで具体的ソースが不明である。いま、河田氏の引用の通りの数字だと仮定しよう。そうすると、事故原発のタンクに溜まっているトリチウム（約1PBq）を放出することによる日本人の年間被曝量は、日本における公衆の自然界からの年間被曝量のおよそ「1000分の1」となる。河田氏は具体的数値を挙げていないが、政府・放射線医学総合研究所のデータによれば自然界からの年間被曝量は約2.09mSv*であるとされている。つまり、自然界からの年間被曝量のおよそ「1000分の1」とは、年間2.09μSv（およそ0.002mSv）ということである。

*放射線医学総合研究所（以下放医研と略記）編『低線量放射線と健康影響』医療科学社（2012年）23ページ。元データは原子力安全研究協会「生活環境放射線」2011年。

現在も降下し続けている過去の大気圏核実験の放射性降下物（「死の灰」）による年間被曝量は0.01mSvすなわち10μSvとされている。河田氏の挙げている年間約2μSvという被曝量は、その5分の1に相当する。決して「無視できる」レベルではない。

いま、被曝すると想定されている「公衆」の数を、日本の人口を1億2600万人とすると、1PBqのトリチウム放出による日本の公衆の集団線量（被曝人口×被曝量）は、約263人・Svとなる。これは、上記の政府・放医研の文書（162ページ）が記載しているリスク係数（がん致死で426～1460人/1万人・Sv）から計算すると、11～38人のがん致死が想定され

ていることになる。

過去の大気圏核実験の放射性降下物（「死の灰」）による年間被曝量（0.01mSv すなわち 10 μ Sv）の約 5 分の 1 の被曝量で、年間 38 人規模のがん「致死」想定は、果たして③の「安全上全く問題ない」レベルだと断言できるであろうか。つまり、河田氏自身が挙げている②のデータ自身が、その通りだと仮定しても、決して「安全レベルではない」こと、明らかに「危険性がある」ことを示しているのである。

「毎年放出」するというモデルの意味：

次に、放出が「毎年」と想定されている意味を考えてみよう。「毎年」の被曝影響の場合、ふつう生涯期間として 50 年（成人の場合）あるいは 70 年間（小児の場合）が採られる。そうすると河田氏の言説は、1PBq \times （50 \sim 70 年）で、およそ 50PBq から 70PBq 規模のトリチウムを放出した場合でも、「安全上全く問題ない」（①および③）という主張に等しい。この 50PBq とか 70PBq というのは、（後に検討するように）全世界の原発と再処理工場の年間トリチウム放出量に概ね相当する。これを河田氏自身の挙げている集団線量推計②で計算すると、550 \sim 2660 人のがん致死の可能性が出てくる。この規模の致死リスクが、果たして③の「安全上全く問題ないレベル」だと断言できるであろうか。

地域住民の集中的被曝の危険を無視

先回りして言うと、河田氏は、現在 0.01mSv/年（10 μ Sv/年）とされている「裾切り線量」*を持ち出して危険性は「ネグリジブル（無視できる）」だと主張するつもりだったのかもしれない。だが、この言い訳も成り立たない。

*「裾切り線量」（英語では de minimis dose あるいは negligible individual dose）とは、それ以下の線量をもたらす放射性物質は、危険性を無視できるレベルであり、環境中に放出しても問題ないとする線量のことである。これは、2005 年原子炉等規制法改正において採用された非常に危険な考え方であって、詳しい検討が必要であるが、ここでは指摘だけにとどめるほかない。エリック・ホールほか『放射線医のための放射線生物学』日本語版は原書第 4 版 篠原出版新社（1980 年）550 ページ、英語版 *Radiobiology for the Radiologist* 第 7 版 264 ページ。英語最新版（第 8 版）は以下のサイトで読むことができる。

https://www.academia.edu/39229645/Radiobiology_for_the_Radiologist_eighth_edition

河田氏の挙げている場合②の想定は、トリチウムが日本の公衆全体に広く希釈されて人口が均一に被曝する場合を仮定した数字である。実際にトリチウム汚染水の放出が行われれば、放出される福島県の沿岸などの特定の地域で住民が集中的に被曝することになるであろう。このような場合、集中的に被曝した地域住民に、②の 2 μ Sv/年を超える被曝量が与えられ、いっそう高い確率でがん発症やがん致死が集中することは十分に予想される。住民の被曝量が 2 μ Sv の 5 倍である「裾切り線量」を超えてしまう可能性も十分ありうる。これも河田氏は「安全上全く問題ない」と考えるのであろうか。

「過剰に」「度を過ぎた」(④および⑤) という限定詞の意味するもの：

河田氏は④で言う。「トリチウムの危険性を過剰に煽る言説がネット上などで拡散している」と(下線部は引用者が付けたもの、以下も同じ)。ここでは、トリチウムの「危険性」を煽るという言葉に「過剰に」という限定詞がついている。⑤でも河田氏は、西尾正道氏を名指して、「度を過ぎた不安情報発信で世の中を乱すのは社会的犯罪だ」と述べているが、この「不安情報の発信」という言葉にも「度を過ぎた」という限定詞がついている。

河田氏は、(1PBq から 70PBq までの) トリチウムの危険性が「ある」か「ない」かの問題を提起し「ない」という結論を導いている。危険性が「ない」のであれば、危険性の程度の問題は決して出てこない。したがって、危険性が「ある」という前提に基づく危険性の「程度」の限定詞は、河田氏の本来の主張(「ない」)に真っ向から矛盾しそれを全否定するものである。トリチウム放出の危険性が「ある」ということを前提にしなければ、「過剰」かどうか、「度を過ぎた」かどうかという「程度」の問題は本来生じない。「論理」以前の「二律背反」だが、その説明はどこにも見当たらない。あるのは、「ない」を前提にした、一連の誹謗中傷の文句だけである。

また、いまもし河田氏の言説をそのとおりと仮定すると、河田氏は、「過剰」では「ない」、「適切な」あるいは「真実」と河田氏が考えるところのトリチウムの「適度の」危険性についてまずもって提示しなければならない「はず」である。だが、それなら「度を過ぎない」「適度の」「不安情報」(河田氏の立場に立って言えば「リスク情報」とでも言うべきであろう)とは何か、をまずもって説明しなければならない「はず」である。だが河田氏の論考のどこにもそのような内容はない。

河田氏による北海道がんセンター名誉院長に対する名誉毀損について：

河田氏の論理はこうである。「タンクに貯蔵中の全量相当のトリチウムを毎年放出し続けた場合」でも「安全上全く問題ない」という命題(上記①および③)が(何の検証もなしにだが)議論の大前提とされれば、誰かが(ここでは西尾正道氏が)トリチウムの「危険性」が「ある」という主張すれば、本来「安全上全く問題ない」ものを「危険」だとすることになり、人々の「恐怖を煽る」「欺瞞」となり、「度を過ぎた不安情報の発信」になり、「非倫理」的な「社会的犯罪」となるというわけである。

だが、「独立行政法人国立病院機構・北海道がんセンター名誉院長」という公的社会的立場の人物に対して、具体的に特定せずに「社会的犯罪」者呼ばわりすることは、客観的に見て、西尾氏に対する「名誉毀損」を成立させうる不法行為であろう。それは西尾氏個人にとどまらず、西尾氏を名誉院長に任命した、公共的組織としての独立行政法人国立病院機構・北海道がんセンターに対しても同じである。

専門家たちのもっと深い「犯罪」について：嘘を言っているのは誰か

実際には「社会的犯罪」は政府と専門家の側が行っている深刻な不法行為であると言わざるを得ない。

本来であれば、「過剰でない」「度を過ぎない」「適度の」リスクとして、河田氏が挙げるべきであったのは、河田氏の線量評価の数字②であった「はず」であろう。そこからは河田氏の③「安全上全く問題ない」という評価は出てこない。出てくるのは、程度の如何は議論の余地があるが、トリチウムの「被曝リスク」「危険」は現実には「ある」という事実である。

だが、河田氏や日本政府はどうしてそれを認めないのだろうか。②を採れば、日本政府と専門家たちは、結局、毎年で最大 38 人、生涯期間で最大 2660 人程度のがんによる致死リスクの想定を認めることになるからである。もちろんこれは彼らにとっては「わずか」であり「統計的ノイズ」程度かもしれない。だが、それでもトリチウムの「危険」は認めることになる。「安全上全く問題ない」とは言えなくなる。危険なものであることを知った上で「安全上全く問題がない」としてトリチウム被曝を日本社会に押しつけ、それによって健康被害やとりわけ致死被害が出れば、それは「未必の故意」による多数の住民に対する傷害および傷害致死あるいは殺人という「社会的犯罪」である。

後に検討するが、ICRP の集団線量のリスク係数は、極めて大きく——およそ 8 分の 1 から 50 分の 1 に——過小評価された数字である。この場合は、実際には 2 万～13 万人に達してもおかしくないわけである。それでも、専門家たちは、トリチウムの「危険」や「危険性」や「健康被害の可能性」を何が何でも隠蔽し、あり得る「危険」「被害」「リスク」すべてから人々の目をそらし、客観的にはトリチウム放出による「大量殺人」を事実上容認するという重大な「社会的犯罪」を犯そうとしているのではないかと疑われても当然である。

本項の最後に先回りして言えば、西尾正道氏は、放射線と放射線医学の専門家として、ICRP とともに国連科学委員会 (UNSCEAR) を、核開発・原発推進のために「科学」を歪め「エセ科学」に堕していると厳しく批判している——それはまったく正当な評価である——が、その UNSCEAR や ICRP でさえ、トリチウムの 1PBq 規模の放出、さらには 50～70PBq 規模の放出が、「安全上全く問題ないレベル」であるとは決して規定していない。日本政府や河田氏らの専門家たちは、この意味で「ICRP・UNSCEAR に違反」していると批判されても仕方がない。この評価についても後に詳しく検討する。

第1章 トリチウムとは何か？ その生成と環境中での存在量

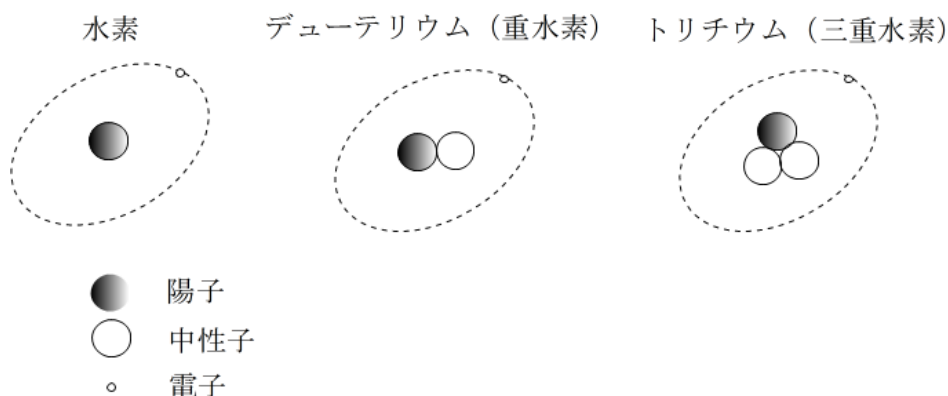
われわれは、前著『放射線被曝の争点』緑風出版（2016年）において、放射性トリチウムの危険性とその健康被害について概説した（第2章「トリチウムの危険性——原発再稼働、汚染水海洋投棄、再処理工場稼働への動きの中で改めて問われる健康被害」）。以下は、その第1節の概要をベースに書き加えたものである*。

*本稿の執筆に当たっては、イアン・フェアリー氏の著書『トリチウム・ハザード・レポート：カナダの核施設がもたらしている汚染と放射線リスク 第2部 トリチウム放射線の危険性』——Ian Fairlie; Tritium Hazard Report: Pollution and Radiation Risk from Canadian Nuclear Facilities, Greenpeace, 2007——を大いに参照した。日本語訳を作成したので必要な方はお知らせいただければ送ることが可能である。

第1節 トリチウムとは何か？

〔水素の同位体〕トリチウム（三重水素）は、水素の同位元素（同位体）であり、原子核が陽子1個と中性子2個から構成される。通常の水素原子が正の電荷をもつ陽子1個と負の電荷をもつ1個の電子からできているのに対して、トリチウムは電荷をもたない中性子2個を陽子に加えて質量数3の原子核を持つ。中性子1個を水素原子に加えた場合の水素原子がデュウムあるいは重水素と呼ばれるのに対して、トリチウムは三重水素とも呼ばれる。中性子と陽子はほぼ重さが等しく、電子はそれら陽子、中性子に比べて約1800分の1の重さなのでトリチウムは通常の水素より3倍重い水素原子である。（図1-1）

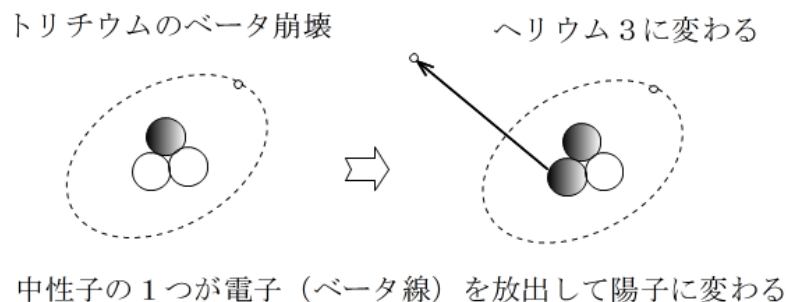
図1-1 水素の同位体とトリチウム



〔水素の唯一の放射性同位体〕トリチウムは水素の放射性同位体としては唯一の存在である。トリチウムは水素の同位体として不安定であって、 β 線（電子）を放出して壊変し（ β

崩壊)、安定したヘリウムの同位元素 (ヘリウム 3) に変わる (図 1-2)。

図 1-2 トリチウムのβ崩壊の概念図



[半減期] 放射性物質としてトリチウムの半減期は 12.3 年である。他の放射性物質と比較して決して短いというわけではなく、長期的な影響が問題になる (表 1-1)。

表 1-1 原発運転や原発事故に関連して問題となる主な放射性物質の半減期

核種	半減期	主要生成物質	備考
トリチウム (水素 3)	12.3 年	ヘリウム 3	
炭素 14	5700 年	窒素 14	(後述)
カリウム 40	12 億 5000 万年	カルシウム 40	代表的な自然放射能
コバルト 60	5.27 年	ニッケル 60	
クリプトン 85	10.8 年	ルビジウム 85	希ガス
ストロンチウム 89	50.6 日	イットリウム 89	
ストロンチウム 90	28.8 年	イットリウム 90	
イットリウム 90	2.67 日	ジルコニウム 90	
ヨウ素 129	1570 万年	キセノン 129	
ヨウ素 131	8.02 日	キセノン 131	
ヨウ素 132	2.295 時間	キセノン 132	
ヨウ素 133	20.8 時間(8.3 日)	Xe133m(Cs133)	3 段階壊変(計)
テルル 132	3.20 日	キセノン 132	
キセノン 133	5.25 日	セシウム 133	希ガス
セシウム 134	2.07 年	バリウム 134	
セシウム 137	30.2 年	バリウム 137	
ウラン 235	7 億 400 万年	壊変系列	
ウラン 239	45 億 1000 万年	壊変系列	
プルトニウム 239	2 万 4400 年	壊変系列	

出典：日本アイソトープ協会『アイソトープ手帳 12 版』、Wikipedia 各項目

〔トリチウム β 線のエネルギー〕トリチウムの発する β 線は、他の放射性物質と比較してエネルギーが低い、このことは決して危険性が低いことを意味しない。この点がトリチウムの危険性をめぐる最大の争点の 1 つである。

トリチウムの発する β 線のエネルギーは最大 18.6keV、平均 5.7keV である。他の核種の放出する β 線のエネルギーと比較すると、相対的に低い (表 1-2 にエネルギーの低い順に記載してある)。

表 1-2 β 線を発する主な核種と放出 β 線のエネルギーの比較 (単位 : keV)

核種	エネルギー (最大)	備考
トリチウム (水素 3)	18.6	平均 5.7 (平均エネルギーは最大の約 1/3*)
ヨウ素 129	150	
炭素 14	156	
イオウ 35	168	
コバルト 60	318	
キセノン 133	346	
セシウム 137	512	2 段階壊変:94.6%
ストロンチウム 90	546	イットリウム 90 に壊変後さらに β 崩壊
ヨウ素 131	606	
炭素 11	960	陽電子崩壊
セシウム 137	1,174	1 段階壊変:5.4%
モリブデン 99	1,230	
カリウム 40	1,311	β 崩壊は 89%
ストロンチウム 89	1,460	
リン 32	1,710	
モリブデン 101	2,200	
イットリウム 90	2,280	ストロンチウム 90 壊変の第 2 段階
ラジウム 226 (参考)	4,784	α 線を放出し壊変
プルトニウム 239 (参考)	5,157	α 線を放出し壊変
ラドン 222 (参考)	5,490	α 線を放出し壊変
医療照射用電子線	10,000~15,000	加速器による生成の場合

注記 : 最主要の崩壊形態の場合のエネルギー

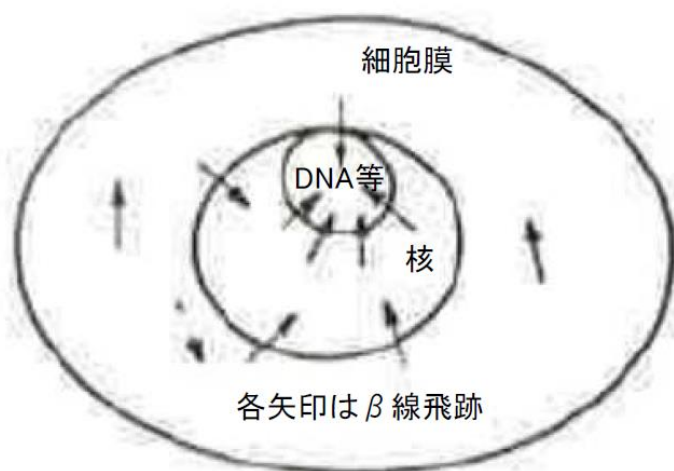
* 各核種について当てはまる。

出典 : Wikipedia と Atomica の各項目より筆者作成。

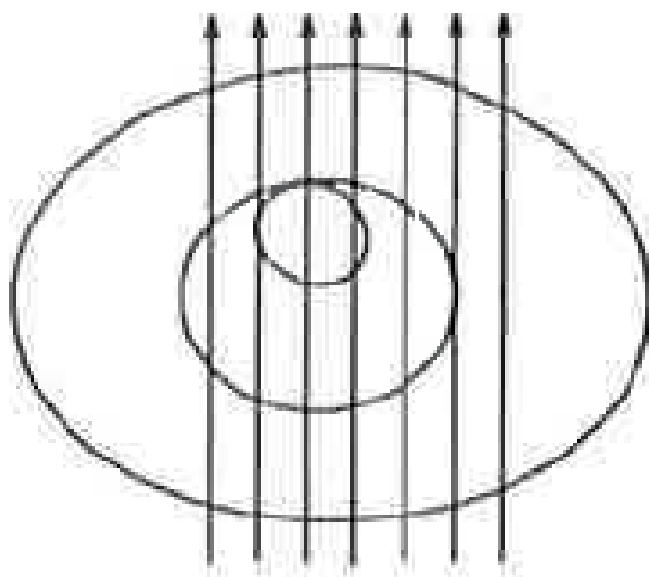
[トリチウムβ線の飛跡] トリチウムのβ線のエネルギーが相対的に低いことはその飛跡あるいは飛距離が短いことに表れている。トリチウムのβ線の飛跡あるいは飛距離は、細胞内で最大7μm、平均1μm程度である。ヒトの細胞の大きさはおよそ6~25μm程度であるので、トリチウムβ線の飛程がほぼ1つの細胞内に収まること、放射線の破壊的影響もまた1個の細胞の中に集中的に生じることを意味する。『トリチウム資料集・1988』は、トリチウムβ線の飛跡とヒトの細胞との大きさを対比した図を掲載している(図1-3)。

図1-3 トリチウムβ線の飛跡とヒトの細胞との大きさの対比

(1) トリチウムのβ線と細胞の大きさ(楕円:外から細胞全体、細胞核、DNAなど水以外の構成物質の大きさを表している)とトリチウムβ線の飛跡の長さ(矢印により表わされている)の模式図



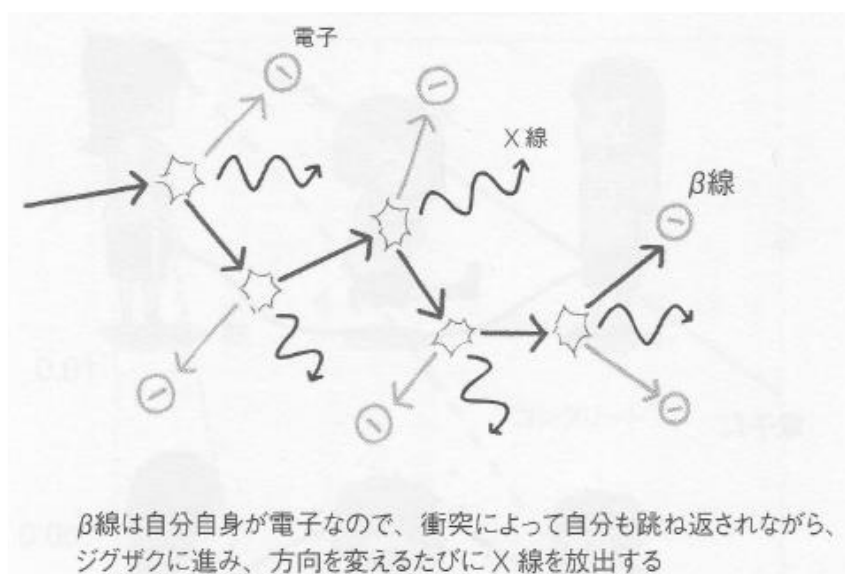
(2) γ線の場合の模式図(γ線は矢印によって表されている、細胞内の円状の図形が表すものについては上と同じ)



上記 2 図とも出典：『トリチウム資料集・1988』202 ページ

〔トリチウム β 線の飛跡の特徴〕 β 線の飛跡の特徴として、いろいろな原子にぶつかって曲がり、コンプトン効果によって X 線や二次電子を放出しながら飛ぶという性質がある (図 1-4 および 1-5)。この結果、主飛跡による生体分子の直接的 (すなわち電離作用による) 影響、および間接的 (すなわち活性酸素・フリーラジカルによる) 影響に加えて、二次的な X 線や電子線によって直接的および間接的な追加的損傷が生じる。

図 1-4 β 線の軌跡と二次電子および X 線の放出の概念図



出典：多田将『放射線について考えよう』明幸堂 (2018 年)

図 1-5 ベータ粒子の軌跡



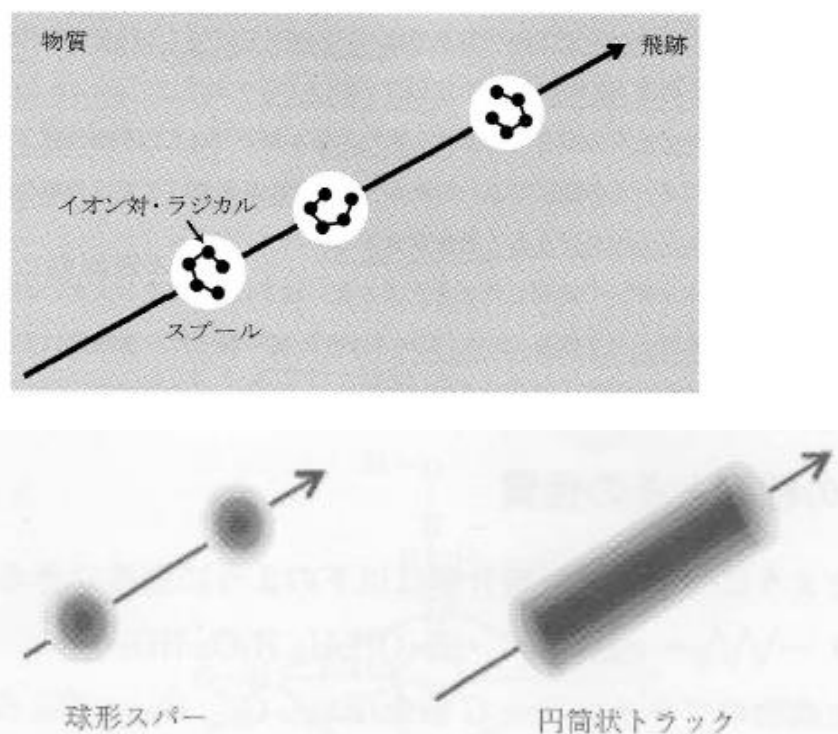
出典：落合栄一郎『放射能と人体』講談社 (2014 年) 97 ページ

〔スパー (スプール) の生成〕 生体内で放射線は、その飛跡に沿って断続的にイオン化 (電離) を起こす。それにより「イオン、ラジカルなどの集合体」であるスパー (スパー) が、

「小さなガラス玉を糸でつないだような形で」とできるとされている（柴田徳思編『放射線概論 第12版』通商産業研究社 278～279 ページ）。スパークは1個の直径が数 nm～10nm であるが、接近して生じると円筒型（トラックと呼ばれる）を取ることもであるとされている（『放射線化学』丸善出版 61～63 ページ）。図 1-6 にこのスパークあるいはスパークの概念図を示しておこう。

このように、反応性に富むイオンやラジカルは、集団あるいは塊りとして、クラスターとして生じることがわかっているが、このことは飛程が 1000nm 程度と短いトリチウムの β 線では、スパークが極めて密に生じる可能性が高いことを示している。

図 1-6 スパークあるいはスパークの概念図



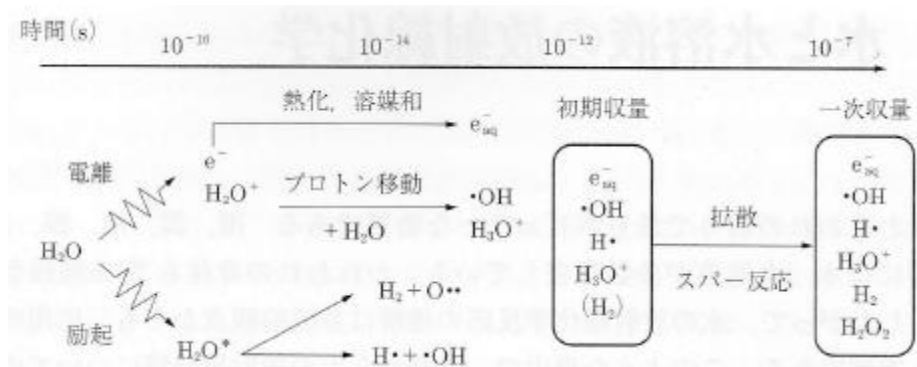
注記：スパークの直径は数 nm～10nm 程度とされている。

出典：(上) 柴田徳思編『放射線概論 第12版』通商産業研究社（2019年）279 ページ

(下) 勝村庸介・工藤久明『放射線化学』63 ページ

スパーク内のイオンとラジカルによる化学反応についてはここで論じることはできないが、勝村氏らの教科書から基本的な図だけを挙げておきたい（図 1-7）。

図 1-7 スパー (スプール) 反応とその化学的過程



出典：勝村庸介・工藤久明『放射線化学』丸善出版（2020年）60ページ、引用者編集

これらのことから、エネルギーの低く飛程の短いトリチウムβ線が、直径 2nm（周囲の水和殻を入れると直径 4nm）の DNA2 本鎖にヒットした場合、エネルギーの高く飛程の長い他の核種のβ線やγ線の場合に比較して、複雑な損傷（いわゆるクラスター損傷）を生じやすいということは明らかである。この点に関しては、後に詳しく検討しよう。

第 2 節 トリチウムの発生源

トリチウムに関する政府・専門家のうその一つは、トリチウムが自然界でも生成されているので、危険性は低く、事実上無視できるというものである。さらには、現存するトリチウムの大部分が自然生成のものであると示唆するような議論も存在するが*、これもミスリーディングである。ここでは、トリチウムの発生源と環境中の現存量（インベントリー）を、政府が発表している資料をベースに検討しよう。

*たとえば、日本放射化学会編『放射化学の事典』朝倉書店（2015年）は、1950～1960年代の「核実験による放出量は天然トリチウムの存在量の 200 倍以上推定されている」とした上で、雨中のトリチウム濃度の推移を例に挙げ、「現在は天然の濃度に戻ったと考えられている」と書いている（214 ページ）。

[宇宙線など] トリチウムは自然の中で宇宙線と上層の大気反応などにより生成される。

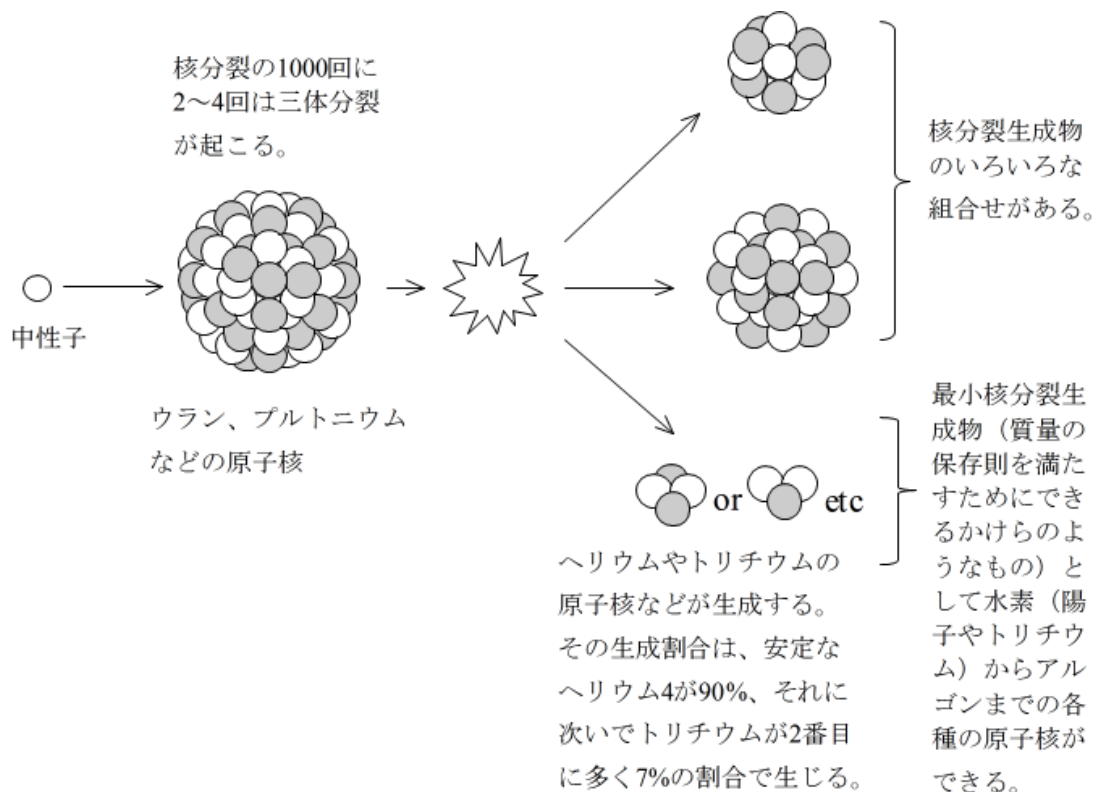
- 窒素（陽子 7 個・中性子 7 個） + 中性子 → 炭素（陽子 6 個・中性子 6 個） + トリチウム（陽子 1 個・中性子 2 個）、
- 水素（陽子 1 個） + 中性子 → 重水素（陽子 1 個・中性子 1 個） + 中性子 → トリチウム（陽子 1 個・中性子 2 個）

などの過程により生成する。

[原子炉内での反応 1：三体核分裂]

トリチウムは、原子炉内で、ウランが（MOX 燃料が使用される場合はプルトニウムも）三体核分裂する際に、最小核分裂生成物の1つとして生じる（図 1-8）。

図 1-8 三体核分裂の概念図



このようにして生じるトリチウムは、大部分が、使用済み核燃料棒の中に閉じ込められた状態で留まっている。事故で燃料棒が破損した場合や福島原発事故のように燃料棒が融解した場合には、環境中に漏れ出すことになる。また、再処理工場では、使用済みの核燃料棒を細かく切断する工程を経るが、それによって燃料棒中に閉じ込められていたトリチウムが大量に漏れ出すことになる。

[原子炉内の反応 2：冷却水の化学制御剤と中性子の反応]

原発では、燃料棒の核反応を制御するために、制御棒に加えて、化学的制御剤としてホウ酸（ボロン）が使われている。また冷却水の pH 調整剤（冷却水により原子炉材料が酸化されて腐食されるのを防止する薬剤）としてリチウムが使われる。ホウ素（ボロン）やリチウムのイオンは中性子と核反応を起こし、必然的にトリチウムが生じる。主な反応は以下の通りである。

- ホウ素（ボロン）原子（陽子 5 個・中性子 5 個） + 中性子 → ヘリウム原子（陽

子 2 個・中性子 2 個) × 2 + トリチウム原子 (陽子 1 個・中性子 2 個)

- リチウム原子 (陽子 3 個・中性子 3 個) + 中性子 → ヘリウム原子 (陽子 2 個・中性子 2 個) + トリチウム原子 (陽子 1 個・中性子 2 個)
- リチウム原子 (陽子 3 個・中性子 3 個) + 中性子 → リチウム 7 原子 (陽子 3 個・中性子 4 個、リチウムの同位体)
- リチウム 7 原子 (陽子 3 個・中性子 4 個) + 中性子 → ヘリウム原子 (陽子 2 個・中性子 2 個) + トリチウム (陽子 1 個・中性子 2 個) + 中性子

これらの反応によってトリチウムが冷却水中に生じる。このようにして生成したトリチウムは、原子炉の定期検査の際、蓋を開けて燃料棒の交換が行われる時に、蒸気あるいはガスとして、また冷却水と共に、環境中に放出される。とりわけ、原子炉が相対的に小さい加圧水型原子炉 (PWR) では、沸騰水型原子炉 BWR に比較して、核反応の化学的制御に大きく依存しており、ホウ酸の投入量も大きい*。このため、PWR では、BWR に比べて桁違いに大きい量のトリチウムが放出される**。

*神田誠ほか『原子力教科書 原子力プラント工学』オーム社 (2009 年) に解説がある。

**原子力安全委員会 (当時)「発電用軽水型原子炉施設の安全審査における一般公衆の線量当量評価について(1989)」は、110 万 kw 原発について年間の液体トリチウムの放出量を次のように想定している：

加圧水型 PWR : 7.4×10^{13} 乗 Bq=74 テラ(兆)Bq/年

沸騰水型 BWR : 3.7×10^{12} 乗 Bq=3.7 テラ Bq/年

[原子炉内の反応 3 : 水 (重水) と中性子との反応]

水 (の水素) と中性子との核反応により、水→重水→トリチウム水が生じる。これは、大気圏上層での反応と同じである。

- 水 H₂O の水素 (陽子 1 個) + 中性子 → 重水素 (陽子 1 個・中性子 1 個)
- 重水 HDO の重水素 (陽子 1 個・中性子 1 個) + 中性子 → トリチウム (陽子 1 個・中性子 2 個)

この反応による生成率は一般には低く、1 および 2 の反応が主要であろうと考えられる。ただし、中性子の減速剤として重水を使う重水炉 (CANDU 炉や新型転換炉 [ふげんなど]) では、この反応により、一般の PWR や BWR より多くのトリチウムを発生する。原子炉をもたない核施設、たとえば加速器、リニアコライダー、核融合研究施設などにおいても、この反応などにより、稼働によりトリチウムが生成する。

[生成したトリチウムはほとんどそのまま放出されている]

トリチウムをめぐる最大の問題の 1 つは、人工的に生成したトリチウムは、放射性物質であるにもかかわらず、希釈されるかどうかにかかわらず、基本的にはすべてが環境中に放出されていることである。すなわち、生成したトリチウムは、総量制限なしに無制限に廃棄

されて環境汚染を積み上げ続けているわけである。

第3節 環境中の生成量と現存量（インベントリー）

[トリチウムの自然的な生成量と存在量]

人工的源泉を除いた自然的な発生量は、年間 $7 \times 10^{16} \text{Bq}$ (70PBq) とされ、自然的存在量は $1 \sim 1.3 \times 10^{18} \text{Bq}$ (1000~1300PBq) と推計されている*

*多核種処理設備等処理水の取扱に関する小委員会事務局「トリチウムの性質等について」

https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/osensuitaisaku/committee/takakusyu/pdf/008_02_02.pdf

[トリチウムの人工的な生成と現存量]

現在のトリチウム存在量の大部分は、人工のトリチウムである。人工トリチウムの生成の歴史を振り返ってみよう。単位はややこしいのでできるかぎりペタベクレル (PBq、ペタは10の15乗) に統一する。以下、その主要な数値である。

(1) **原爆投下**によるトリチウムの放出は、広島原爆でおよそ $1.1 \times 10^{16} \text{Bq} = 11 \text{PBq}$ と推定されている (UNSCEAR2000)。

(2) **核実験**は、自然的な生成量を大きく上回るトリチウムの最大の放出源である。水素爆弾 (水爆) では、重水素やトリチウムの核融合反応を爆発力増強のために利用するので、トリチウムの放出量は桁違いに大きい。水爆を含む核実験全体 (2379回うち大気圏 502回、総出力 530Mt [メガトン] うち大気圏 440Mt) では、累積して、 $2.4 \times 10^{20} = 24$ 万 PBq (UNSCEAR1993)、あるいは $1.86 \times 10^{20} \text{Bq} = 18$ 万 6000PBq (UNSCEAR2000) が放出されたと推計されている。大気圏での 1Mt 当たりの放出量はおよそ 423~545PBq である。核実験による放出の規模が、自然的な生成 (年間 70PBq) に比較して桁違いの大きさであることがわかる。現在、核実験による大量放出からすでに 30~50 数年経過しているので、核壊変による減衰によって当時のトリチウム量が大きめに現在 32分の1となっていると仮定しても、核実験による放出の残存量だけで、およそ $5.8 \sim 7.5 \times 10^{18} \text{Bq}$ (5800~7500PBq) となる。これは、自然的な発生源によるトリチウム現存量 $1.0 \sim 1.3 \times 10^{18} \text{Bq}$ (1000~1300PBq) よりもはるかに大きい (4.5~7.5 倍である)。政府や政府側専門家に見られる、現在の自然中のトリチウムが大部分自然発生したものであるというような言説は、このことからだけでも決して成り立たない。しかも実際には、これに、以下に検討する世界の原発や再処理工場、核施設からの人工トリチウムの放出が付け加わる。

(3) **核兵器工場**では、水爆製造過程で莫大な量のトリチウムが生産され、その一部は環

境中に漏れ出してきたと考えられる。アメリカは、サバンナ・リバー・サイトで、操業開始の1955年から施設閉鎖の1988年までに総計225kgの核兵器用トリチウムを生産したと報告されている（Wikipedia「三重水素」の項目）。これをBqに換算*するとおよそ25万PBqとなる。1プラントだけで核実験による全放出量（24万PBq）にほぼ匹敵する。世界全体の推計を見つけることはできなかったが、上記のデータに、ロシアや中国の数字を加えれば、現在までにおそらくトン規模のトリチウムが製造されているものと思われる（核融合施設用のトリチウム生産も含まれる）。このほんの一部が環境中に漏出したとしても大変な量となることに注意が必要である。ちなみにトリチウムによる人間の致死量は、極めて過小評価された数字であるが、それでもわずか1mg [110GBq] とされている（これについては後に詳しく検討する）。

*落合栄一郎氏が引用している、「100Bq を与える放射性物質の重量」からトリチウムの重量（ $9.3 \times 10^{-14}g$ ）により計算した（『放射能と人体』講談社 [2014年] 57ページ）。

（4）原子力発電所および再処理工場からの放出。

これは、少し詳しく検討しよう。

日本政府の多核種除去設備等処理水の取扱いに関する小委員会（以下処理水小委員会）資料「トリチウムの性質等について」には、「世界の原子力発電所等からのトリチウム年間排出量」が図として記載され、トリチウムが世界中で大量に放出されているというイメージが作られている。しかし、この推計には、一部の国の一部の原発の放出量しか含まれておらず、さらに気体での（トリチウム水蒸気および元素ガスでの）放出量が未記載のケースも多いことがわかる。それでも、それらを合計すると約20PBq/年という相当な数字となる（小委員会は、多くの官僚も専門家も抱えているのに、誰も合計しなかったのだろうか、それとも都合が悪いので公表しなかったのだろうか）。

日本放射化学会が掲載している UNSCEAR2008 のデータ（基準年は2002年、表1-3）から計算すると、単純合計で約27PBqである。これを、フェアリーおよび中部電力のデータで原発の大気中放出量を補正するとおよそ45~49PBq/年程度となる（表1-3の注記参照）。ここではおよそ50PBqとしよう。最低限この規模の数字であることはほぼ確かであろう。この規模は、毎年、広島原爆程度の「小型核爆弾」約4発分を大気圏で爆発させているに等しい放出量である。

表 1-3 世界の主な原発・再処理工場からのトリチウムの排出量推計（2002年）

核種	原子力発電所 (単位 Bq)		再処理工場 (単位 Bq)	
	大気	液体	大気	液体
希ガス	6.4×10^{15}		3.5×10^{17}	
トリチウム	3.1×10^{15}	8.3×10^{15}	3.2×10^{14}	1.5×10^{16}
炭素 14	5.3×10^{13}		1.8×10^{13}	2.1×10^{13}

ヨウ素 131	4.7×10^{10}			
ヨウ素 129			2.6×10^{10}	2.1×10^{12}
セシウム 137			4.8×10^8	8.7×10^{12}

出典：日本放射化学会編『放射化学の事典』朝倉書店（2015年）198～9 ページ。元データは UNSCEAR2008 報告書の 2002 年のデータとされている。

注記：このデータによれば、原発と再処理工場のトリチウム放出量の合計は 27PBq/年となる。ただし、大気中への放出量は国連に未報告の国も多く、実際の放出量はこれよりかなり多いと思われる。再処理工場からの放出量については、ロシアと中国のデータが全くか十分に入っていない可能性が高い。日本政府小委員会発表のフランスのラ・アーグの放出量（13.8PBq、2015年）と比較すると、これだけで全世界の再処理工場からの放出量の 9 割以上を占めることとなり、いかに測定年が違うといえども極めて不自然である。ここでは、ロシア、中国やその他諸国の再処理工場の放出量をラ・アーグと同じと仮定し、再処理工場放出量を全世界で 28PBq/年としよう。原発については大気中放出量／液体放出量の比率が約 3 分の 1 程度で少なすぎるように思われる。この比率は、フェアリー（Tritium Hazard Report、9 ページ）では大気中放出量の方が多く、約 1.5 倍、中部電力推計（「放射性廃棄物の管理状況」*）ではおよそ 1 倍であるので、これらを基に計算すると原発の放出量は 17～21PBq/年となる。合計で総放出量は年間およそ 45～49PBq と考えることができる。

*https://www.chuden.co.jp/energy/nuclear/hamaoka/hama_about/hama_jisseki/hama_haikibutsu/

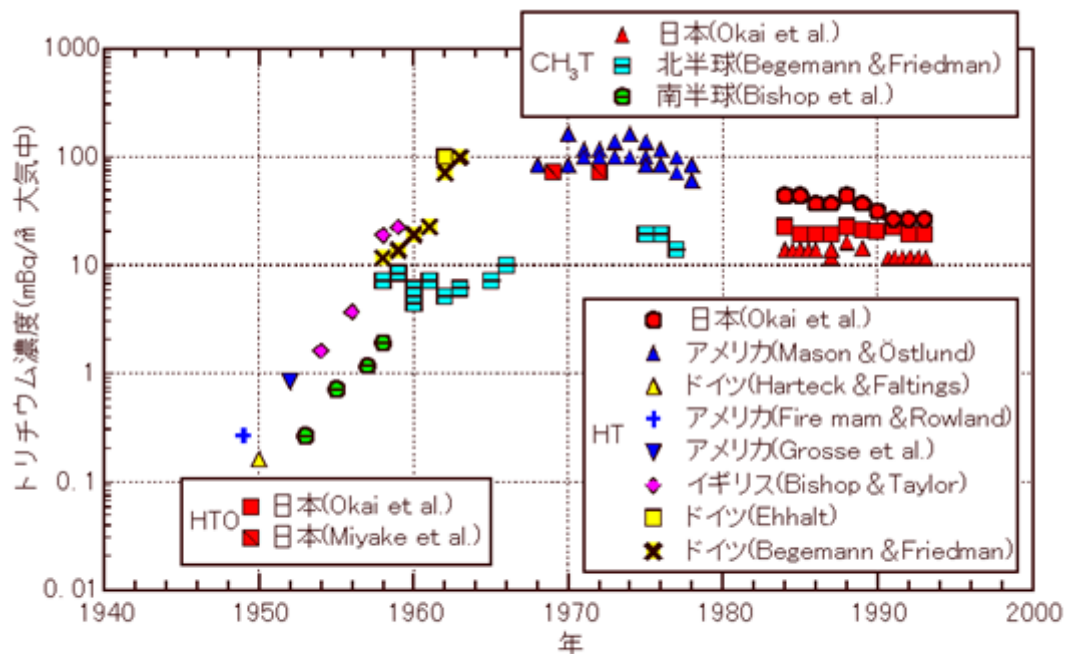
いずれにしろ、この放出量からも、大気中のトリチウム濃度が、大気中核実験が停止された以降も大きくは低下せず、核実験開始以前よりも極めて高い水準にあることの現実的基礎が理解できよう（図 1-9）。

再処理工場では、使用済核燃料棒を裁断し溶解するため、中に閉じ込められていた大量のトリチウムが放出される。六カ所再処理工場では、試験稼働中の 2007 年に放出したトリチウムは、年間で 1.3PBq に達した。福島事故原発のタンクに溜まっている全量を大きく上回る。本格稼働時の計画放出量（管理目標）は年間 20PBq（液体 18PBq＋気体 1.9PBq）という驚くべき水準に設定されている。（2018 年には日本原燃は管理目標を約 10PBq に引き下げたとされているが、経産省は国会答弁で 20PBq の方の数字を使っており、ここでは 10～20PBq とする）*。先回りして言えば、その意味では、トリチウム放出「無害論」「安全安心論」の議論は六カ所再処理工場の本格稼働が「本命」なのである。

*<http://kakujoho.net/npt/tritium6ks2.html>

<http://kakujoho.net/npt/tritium6ks4.html#:~:text=%E5%85%AD%E3%83%B6%E6%89%80%E5%86%8D%E5%87%A6%E7%90%86%E5%B7%A5%E5%A0%B4%E3%81%AE%E3%81%8B%E3%82%89%E3%81%AE%E3%83%88%E3%83%AA%E3%83%81%E3%82%A6%E3%83%A0%E5%B9%B4%E9%96%93,%E7%B4%8410%E5%80%8D%E3%81%A8%E3%81%AA%E3%82%8A%E3%81%BE%E3%81%99%E3%80%82>

図 1-9 大気中のトリチウム濃度の歴史的推移—原爆・核実験の以前より 2 桁以上高い水準にある



大気中のトリチウム濃度の経年変化

[出典] 百島 則幸ほか:トリチウムの影響と安全管理 日本原子力学会誌, 39(11), p.924 (1997)

<https://atomica.jaea.go.jp/data/pict/09/09010308/02.gif>

無視されている未測定のスパイク放出

ただ、原発からのトリチウムの放出量は、液体での数字は公開されている場合が多いが、大気中への気体・水蒸気の形態での放出は測定そのものがなされていないか、公開されていない場合が多い。このことによりトリチウム放出量の不確実性はさらに大きいものと考えられるべきであろう。

さらに、フェアリー氏が指摘しているように*、気体放出では、原発の定期検査時に原子炉の蓋を開けたときなどのガス状トリチウム（トリチウム水蒸気・トリチウム水素ガス）の一挙的な大量放出（「スパイク」「サージ」などと呼ばれる）が生じるが、そのような突発的な大量放出は、計測されること自体が稀であり、放出量統計に含まれていないと考えるべきである。

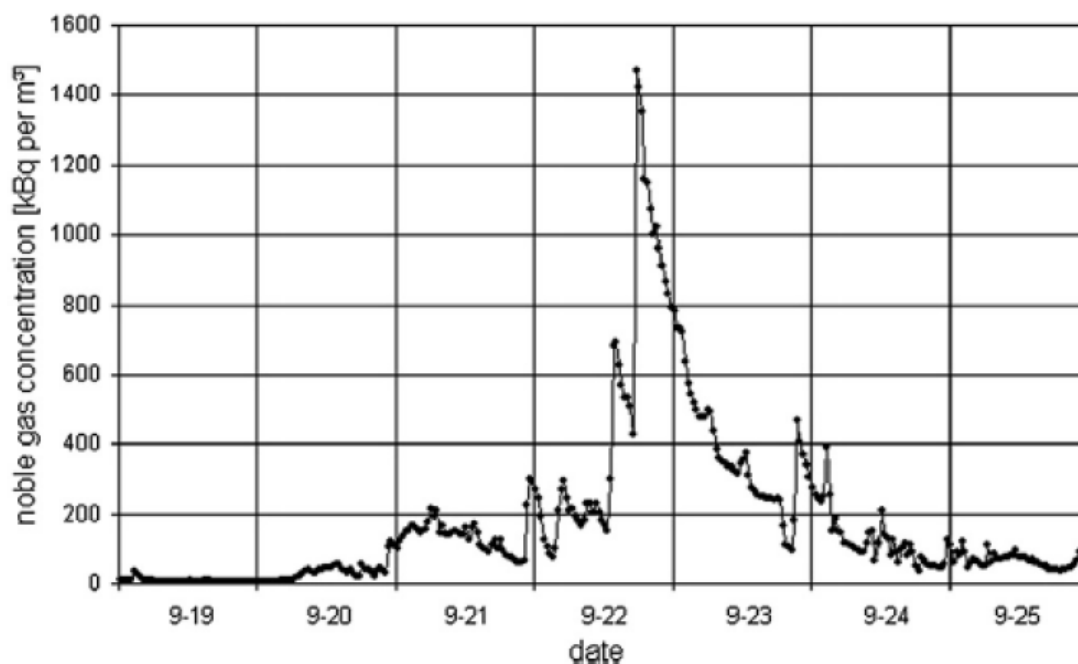
*イアン・フェアリー「原子力発電所近辺での小児がんを説明する仮説」

<http://fukushimavoices2.blogspot.com/2014/12/blog-post.html>

以下に「放出スパイク」として観測されたドイツのグルンドレミンゲン原発 C 号機からの希ガスのサージ状の放出事例を掲げておこう（図 1-10）。ガス状のトリチウム（元素ガス

と水蒸気) は希ガスと同時に放出されると考えられるので、トリチウムについてもスパイク的な放出が生じていると考えるべきであろう。

図 1-10 スパイク放出の事例：ドイツ・グルンドレミンゲン原発 C 号機における希ガス濃度 (2011 年 9 月 19～25 日)



出典：イアン・フェアリー「原子力発電所近辺での小児がんを説明する仮説」

<http://fukushimavoice2.blogspot.com/2014/12/blog-post.html>

このデータを公表した IPPNW ドイツ支部によると、点検時および燃料棒交換時には「平時の濃度の約 500 倍に上昇」し、この週の間希ガス放出量は「年間放出量のほぼ半分」であったという。

再処理工場におけるスパイク的な放出があるかどうか、あったとしてどの程度計測されているかは不明である。

これらからして、世界の全原発からの年間放出量は上記 UNSCEAR2008 の推計約 11.4PBq よりもさらに大きいと考えてよいであろう。ここでは、大まかにだが、液体放出の 1.5 倍程度の気体放出があったと仮定して、およそ 21PBq/年程度と推計している

福島原発事故前の日本の全原発からの放出量

付言しておく、福島事故以前における日本の全原発からのトリチウム放出量は、日本政府のデータで年間 0.38PBq (上記小委員会事務局「トリチウムの性質等について」) であった。この場合も日本の電力会社は、中部電力を除いて、液体としてのトリチウム放出量しか

発表していない。日本の原発の大気中への放出量（トリチウム水蒸気・トリチウム水素ガスとしての）は小委員会の数字にもほとんど含まれていない可能性が高い。前述したように、中部電力推計（「放射性廃棄物の管理状況」*）では、大気中放出量と液体放出量との比はおよそ 1 である。これだけから推計して、すなわちスパイク放出量を捨象してもこの 2 倍、0.76PBq 程度であろうと考えられる。

*中部電力は浜岡原発（BWR）からの気体トリチウム放出量を公表している（1997～2008 年度）。

・気体は合計 9.48T（テラ）Bq

・液体は合計 9.31T（テラ）Bq

ではほぼ 1 対 1 となっている。したがってトリチウム総放出量は、液体トリチウム放出量の約 2 倍（正確には BWR の場合）とすれば良いと考えられる。浜岡の放出量統計にスパイク放出が含まれているかどうかは不明だが、恐らく算入されていないと思われる。

https://www.chuden.co.jp/energy/hamaoka/hama_jisseki/hama_haikibutsu/index.html

(5) 核事故あるいは原発事故

核事故あるいは原発事故による放出量は、**チェルノブイリ原発事故**については 1.4PBq とされている（UNSCEAR2000）。**福島第 1 原発事故**については、東電のデータからわれわれが推計して約 1.4～1.7PBq（『放射線被曝の争点』第 2 章）である。

つまり、汚染水放出以前に、すでに 1.7PBq 程度のトリチウムが福島事故原発から放出され、環境中に循環・滞留していることに注意されたい。これは、事故前の日本の全原発からのトリチウム放出量のおよそ 4 年分に相当する。

これに環境中に放出されたのち回収されタンクに貯蔵されている汚染水中の残存量約 1PBq を加えて、総計で 2.4～2.7PBq 程度となる。

東電はタンクに入っていない未回収の汚染水中のトリチウムの炉内存在量は 1.2PBq と推定しており*、これを加えると事故原発でのトリチウムの環境中への放出量・残存量は 3.6～3.9PBq 程度となると思われる。現在までの元素壊変による減衰を考慮すると、事故時の環境への放出量はさらに大きいものとなろう。

ただし、海洋放出はすでに始まっており、2015 年 9 月 3 日から運用が始まっているサブドレインからの放出は、2017 年までに 2760 億 Bq に上るといふ。2018 年も 2017 年と同じとすると 3860 億 Bq（0.386 テラ TBq、テレ朝モーニングショー 2019 年 9 月 25 日）。現在までにはおよそ 0.6TBq 程度が放出されたと考えられる。

*伴英幸「トリチウムの危険性」2020 年 5 月 3 日 原子力資料情報室より引用した。

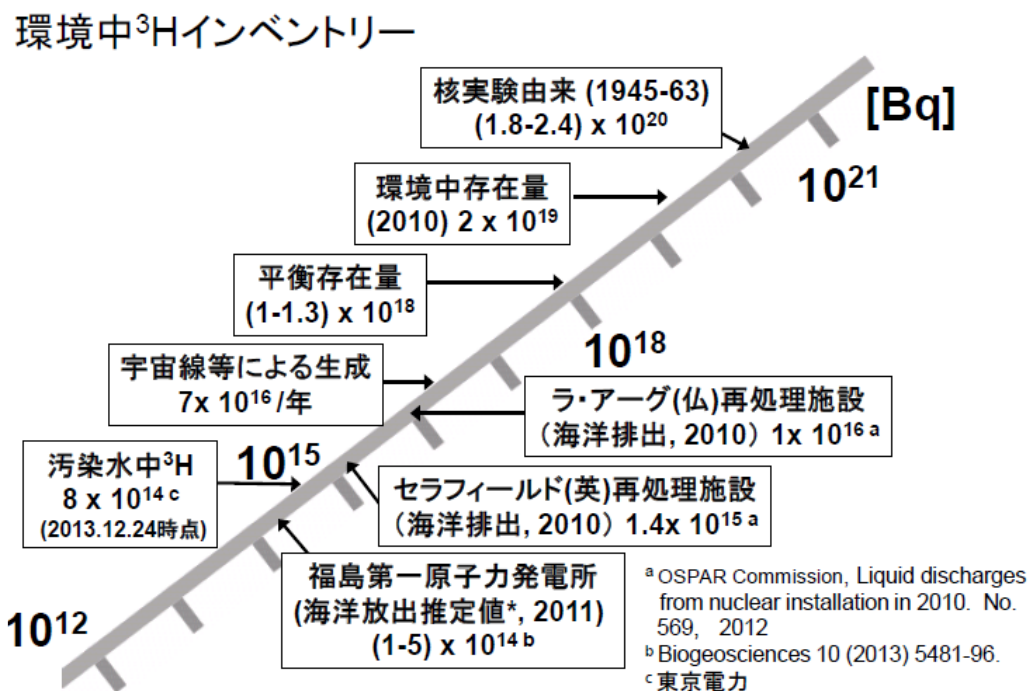
https://www.foejapan.org/energy/fukushima/pdf/200503_ban.pdf

第 4 節 トリチウム生成量・存在量のまとめ

最後に政府小委員会の資料からトリチウムのインベントリーの図を掲げておこう（図 1-

11)。世界の原発・再処理工場からの放出量は、現在、前述筆者推計でおよそ年間 50PBq 程度、図 1-11 にある宇宙線による生成量 70PBq とほぼ同じ水準にあるのではないかと推定される。

図 1-11 政府小委員会の環境中トリチウムの発生量・存在量



出典：日本原子力研究開発機構 山西敏彦「トリチウムの物性等について」経産省トリチウム水タスクフォース参考資料

この図に抜けている重要なデータもあるので、まとめとして、全世界と福島原発事故関連のトリチウム放出量・存在量・現存量の総括表を以下に掲げておこう（表 1-4）。

表 1-4 環境中のトリチウムの存在量と放出量の一覧

桁	存在量/放出量 Bq	PBq(10^{15})表示	放出源/由来	データソース
20	$1.86 \sim 2.4 \times 10^{20}$ Bq	18.6～24 万 PBq	核実験(1945-63)	UNSCEAR1993/2000
19	2×10^{19} Bq	2 万 PBq	環境中存在量(2010)	日本政府・処理水小委員会
18	$5.8 \sim 7.5 \times 10^{18}$ Bq	5800～7500PBq	核実験放出の推定現存量	現在 32 分の 1 に減衰と仮定
	$1 \sim 1.3 \times 10^{18}$ Bq	1000～1300PBq	自然的存在量	日本政府・処理水小委員会
16	7×10^{16} Bq/年	70PBq/年	宇宙線等自然的生成量	日本政府・処理水小委員会
	5×10^{16} Bq/年	50PBq/年	原発・再処理工場放出量	UNSCEAR2008 より推計
	1.4×10^{16} Bq/年	14PBq/年	ラ・アーク放出量(2015)	日本政府・処理水小委員会*

	1.1×10^{16}	11PBq	広島原爆放出量	UNSCEAR2000
	$1 \sim 2 \times 10^{16}/\text{年}$	10~20PBq/年	六カ所再処理工場計画値	日本原燃・経産省
15	$3.6 \sim 3.9 \times 10^{15}$	3.6~3.9PBq	福島原発事故放出量	東電資料などから推計
	1.4×10^{15}	1.4PBq	チェルノブイリ放出量	UNSCEAR2000
	1×10^{15}	1PBq	汚染水タンク中の滞留量	日本政府・処理水小委員会
14	$3.8 \times 10^{14}/\text{年}$	0.38PBq/年	事故前日本の液体放出量	日本政府・処理水小委員会
	$2.23 \times 10^{14}/\text{年}$	0.23PBq/年	日本の降水中の存在量	日本政府・処理水小委員会

注記：本論考中の分析と記述に基づく。ラ・アーク再処理工場の放出量は、図 1-11 のデータ 10PBq（海洋放出）ではなく、上で引用した政府の処理水小委員会のデータ 13.8PBq（おそらく気体放出と海洋放出の合計であろうと思われる）を採った。

第2章 放射性物質としてのトリチウムの「特別の」危険性

第1章では、トリチウムが放出する放射線（ β 線）の特殊性——エネルギーの「低さ」と飛程の「短さ」——が、それが与える「弱い」放射線という一般的印象とは正反対に、極めて高い細胞侵襲性・細胞毒性をもつことを見てきた。ここでは、それに加えて、トリチウムが水素の同位体として化学的には「水素」であるという属性が、トリチウムの放射線とそれへの被曝を生物学的・医学的・遺伝学的に一段と「特別に」危険なものとしている点を検討しよう。

第1節 放射性物質としてのトリチウムの特殊性が規定する特別の危険性

水素の放射性同位体であるトリチウムは、水素として環境中に放出され、生態系とその循環の中に入り、ヒトの体内に入り、水素として振る舞う。だが、人体を構成する原子数の約63%、体重のおよそ10%は水素である（他に酸素が体重の約60%、炭素が約20%である）。さらに、トリチウムは酸化されて、水（トリチウム水）として侵入し、体内で水として振る舞う。この場合も、人間の身体の60~70%は水である。トリチウムは環境中で植物および植物性プランクトンにより炭水化物、脂肪、たんぱく質から、DNA前駆物質に到るあらゆる有機物質に合成される。動物はこれを食することを通じて、生命維持に必要な有機物質を体内で合成する。このように水素は、フェアリーのいうように環境中・生体中において「遍在性 ubiquity」*をもっており、このことが、水素の放射性同位体であるトリチウムに特別の危険性を付与する。

*Ian Fairlie; *Tritium Hazard Report: Pollution and Radiation Risk from Canadian Nuclear Facilities*, Greenpeace, 2007、第11章

トリチウムのもつこのような特別の危険性は、広く認識されている。もちろん政府側の専門家たちを除いて、ではあるが。

たとえば、放射線と被曝に関する一般公衆向けの入門書においてさえ、十分に認識され明確に記述されている。たとえば、高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所 多田将准教授は次のように書いている。

「トリチウムの β 線のエネルギーは、たった19keVしかありません。これまで紹介したどの放射線よりも小さなエネルギーです … こんな弱々しい放射性物質だけに、特に気をつける必要もないと思ってしまいがちです。（普通の測定器では）測定もできないものなど、気にするな、と。ところが、これが水素の同位体であるということが、トリチウムを最も厄介な放射性同位体としているのです」（高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所 准教授 多田将『放射線について考えよう』明幸堂 [2018年] 276

ページ)。

物理学者だけではない。脳神経科学者である黒田洋一郎、木村・黒田純子両氏は、ストロンチウム 90 やトリチウムなど放射性物質の脳への影響の危険性を警告しているが、その際トリチウムのもつ「特別の」危険性を強調している。

「ヒトなど生物に対するトリチウムの毒性は特別で、直接、DNA など有機物に結合し致命的に働くので、これまで心配されたヨード (ヨウ素)、セシウム、ストロンチウムなど内部被曝する他の核種とは比べものにならないほど危険である。白血病など発がんをはじめ、催奇性、生殖など、人の健康に大きく広い毒性の最終影響 (エンドポイント) を持つと考えられる」(黒田洋一郎、木村・黒田純子『発達障害の原因と発症メカニズム 第2版』河出書房新社 [2020年] 312ページ)。

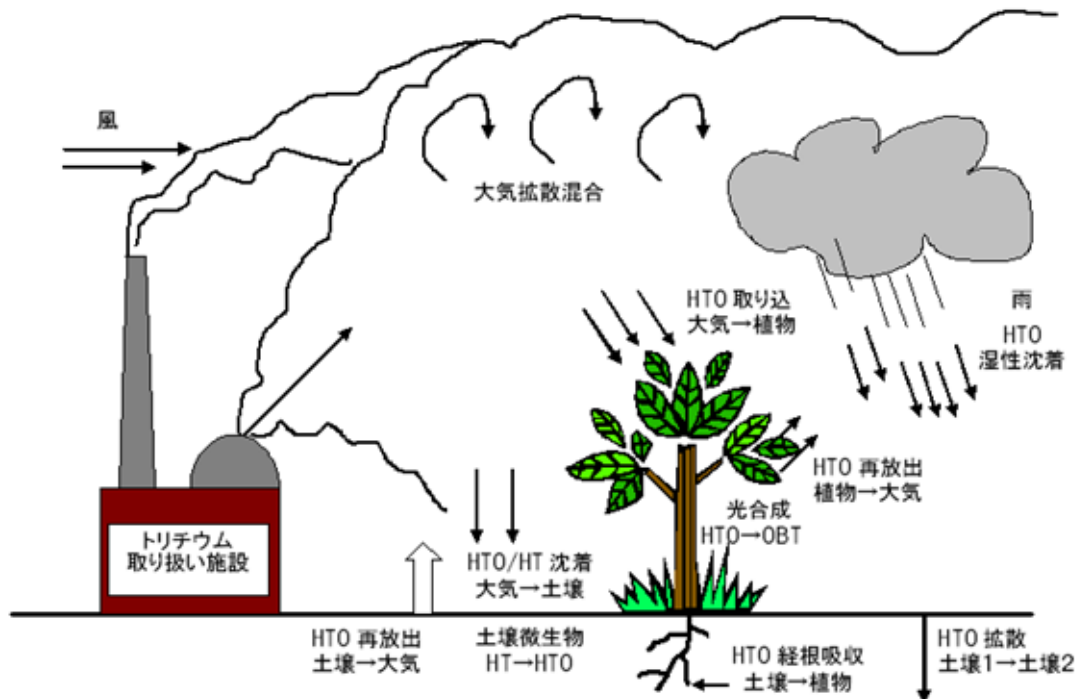
日本政府と政府側に立つ一連の専門家たちは、トリチウムが水素の放射性同位元素であることから放射線科学上特別の存在であるというこの明確な事実さえ認めない。それだけではない。トリチウムの「特別な」危険性を指摘すること自体が「過度に危険性を強調」し「風評被害」を流していると誹謗するのである。すでに「はじめに」において検討したように、実際には、政府と政府側専門家たちこそが「虚偽主張を行い」「デマを流し」「嘘を広め」ており、科学的な議論を妨害し、トリチウムの危険性に対して国民の目を塞ごうと試みているというほかない。

第2節 トリチウムの環境中での存在形態

放出されたトリチウムは、環境中で主にどのような物理化学的形態をとって存在するのだろうか？

環境中に放出されたトリチウムの特殊性は、他の放射性物質のように、放出後短期間に沈着・希釈して、環境中で移動性や循環性が減少するということが極めて少ないという点にある。つまり、環境中で長期に滞留循環して、生態系や人間の生活環境を含めて当該地域全体をトリチウム汚染環境に変えてしまうのである。この点を、元素(水素)ガス、トリチウム水、無機物(土壌鉱物)に結合したトリチウム、有機物に結合したトリチウムについて検討しよう(図2-1)。

図 2-1 環境中でのトリチウムの循環（日本原子力研究開発機構 Atomica のサイトより）



出典：W.Raskob：Description of the New Version 4.0 of the Tritium Model UFOTRI, KfK5194(1993), p.2

<https://atomica.jaea.go.jp/data/pict/09/09010309/02.gif>

● **元素ガス**（主として HT である、 T_2 もありうるが稀な存在と考えられている）の形態で環境中に放出された場合、長期的には大気中で酸化され、トリチウム水（HTO）に変化すると考えられる。大気中での酸化にどの程度の時間がかかるかは明確になっていないようである。また、トリチウムガスが土壌に沈着し、土中の微生物によってトリチウム水に酸化される現象も確認されている。水素ガスは、吸引した場合、脂肪に取り込まれる形で生体内に入り込むので、トリチウムガスの場合も危険性は無視できないと考えるべきであろう。

重水炉（CANDU 炉）の場合、元素ガスの放出量が多い。フェアリー氏によればカナダのダーリントン原発は 2001～2005 年までの 5 年間に合計 1.8PBq を放出したとされている。カナダの他の原発でも元素ガスの放出はあったと思われるが、放出量の報告は引用されていない。日本の原発についてもトリチウム元素ガスの放出データを見つけることはできなかった。

● **トリチウム水（HTO）**、すなわち酸化されたトリチウムは、水蒸気として気体で、水として液体で放出されるが、これについては既に述べた通りである。

トリチウム水に関して重要な問題は、トリチウム水に溶けこんだか、あるいはトリチウム水と接した化合物（微粒子のように）にある水素原子とトリチウムとが交換される過程が必然

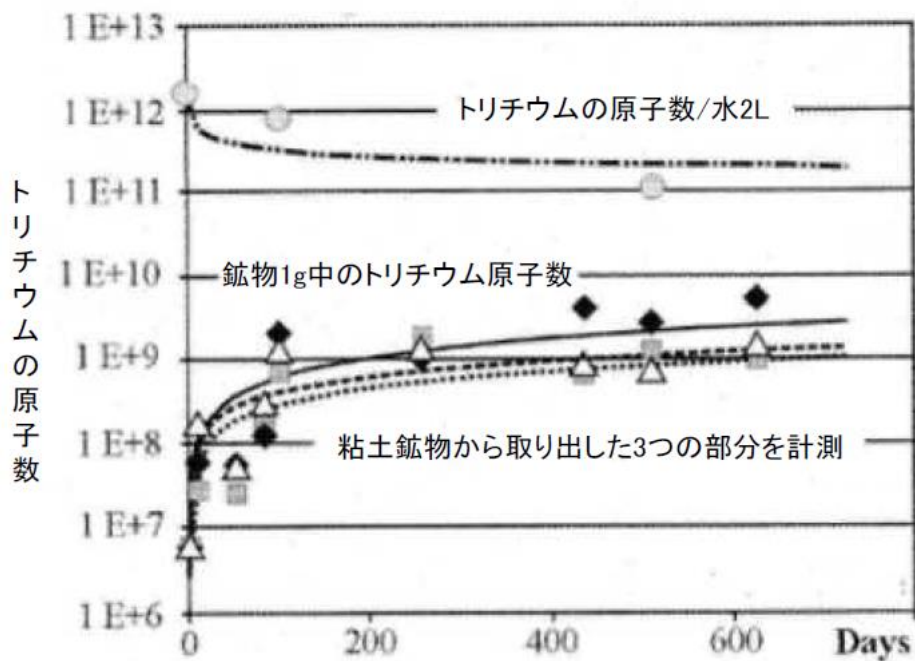
的に生じることである。これは「同位体交換」と呼ばれ、水素とトリチウムの間で双方向に ($H \rightleftharpoons T$) 行われるが、トリチウム原子 Tの方が水素原子 Hの約3倍重いので、水素がトリチウムに置換される反応の方が、その反対のトリチウムが水素に置換される反応よりも、速度が速くなる(およそ20倍とされる)*。つまり一度 $H \rightarrow T$ が起こるとその反対の $T \rightarrow H$ はそれに比較して起こりにくい。すなわち $H \rightarrow T$ の方が $T \rightarrow H$ よりも生じる確率が高くなるのである。それにより、時間的経過と共に Tの比率が上昇し、結果として Hと交換された Tが濃縮し蓄積していく現象が生じる。

*D・ケンプ『有機化学 中巻』東京化学同人(1983年)806ページによると、水素と水素の間の置換に比べ、水素を重水素で置換した場合、反応速度は「7倍遅くなる」とされ、水素を三重水素(質量=3)で置換した場合、反応速度は「20倍ほど遅くなる」という。つまり、長期になると水素がトリチウムに交換される過程は平衡に達するまで累積的なテンポで進む可能性がある。

日光による紫外線や、トリチウムが放出するものを含むいろいろな放射線、その結果として発生する活性酸素種・フリーラジカルなどが、この交換過程を促進する。

● **土壌鉱物結合トリチウム**についての最近の研究成果の一つは、トリチウムには無機的な濃縮過程がある(有機的濃縮は後述する)ことが解明されてきたことである。生物無機化学者の落合栄一郎氏は、トリチウムの粘土鉱物 clay mineral への組み込みとそれによるトリチウムの無機的な(すなわち有機化合物や生物を介さない)滞留・蓄積・濃縮に注目している(Nuclear issues in the 21st Century [21世紀の核問題]、251ページ)。落合氏は、ロペス・ガリンドと共同研究者たち(Lopez-Galindo and coworkers)の実験を引用して、次のように述べている。「OBT-1の場合と同じように、OH基のような交換性の水素をもつ物質では、その水素 Hがトリチウム Tに交換され、Hに再度交換される速度が緩慢なため、Tが結合した状態のままに保持される」。モンモリロナイトは、典型的な粘土鉱物でアルミニウムの含水珪酸塩、マグネシウム、鉄、リチウム、ナトリウム、カルシウムなども含む板状の結晶構造をなし、層間に水を吸収して膨潤する。モンモリロナイトを使った実験結果では、「鉱物は当初はトリチウム Tを含んではいなかったが、Tはまもなく鉱物の中に入り込み、やがて安定した状態になった。水中のトリチウム T原子は600日間でおおよそ2割減少したが、「鉱物中のトリチウム T原子は粘土中に入り込みそのまま留まっていた」(図2-2)。これは「鉱物中の Al-OH(水酸化アルミニウム)の位置で、トリチウム Tが(OHの)水素 Hと置き代わる」ことによるという。

図 2-2 粘土鉱物へのトリチウムの取り込み (Lopez-Galindo et al 2007)



Eiichiro Ochiai; Nuclear issues in the 21st century, Nova Science Publishers, 2020

最近の研究では、多孔質の土壌粒子がある場合、その孔構造の中にトリチウムがすっぽり入ってそこに滞留する傾向があることが確認されている*。この点は、トリチウム回収技術を考える際にとくに重要となる。

*トリチウム アルミで除去 近畿大など新技術

毎日新聞 2018年8月27日 00時47分(最終更新 8月27日 02時15分)

<https://mainichi.jp/articles/20180827/k00/00m/040/120000c>

● トリチウムは「有機物との親和性」をもつことが明らかになっている。アンドリュー・ターナー氏は、トリチウム水と有機物との間でのトリチウムの分配を研究して、水素とトリチウムとの同位体交換だけによっては説明できない、トリチウムの有機物との「親和性」と規定すべき現象を見出している*。トリチウムは、この有機物との親和性によって、同位体交換によって一般的に規定される以上の速度で、水中に存在する有機物と結合していくことができる。

* Turner A, Millward GE, Stemp M, *Distribution of tritium in estuarine waters: the role of organic matter.*

Journal of Environmental Radioactivity, Volume 100, Issue 10, October 2009, Pages 890-895

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19608308>

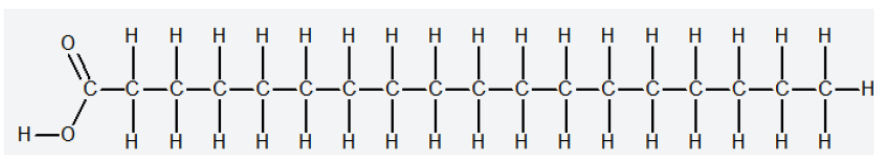
● **有機結合トリチウム**（有機結合型トリチウムあるいは有機トリチウム [Organically Bound Tritium OBT]）には2種類があることがわかっている。つまり、上で述べた、①「**交換性**」の有機結合トリチウム（短期的な存在であるので **OBT-1** といわれる）とは別に、②一度交換が起こると容易には解離しない「**非交換性**」の有機結合トリチウム（長期にわたり存在するので **OBT-2** といわれる）である。フェアリー氏はこれを①交換反応と、②酵素触媒反応とに分類しているが、筆者自身は、②には、酵素反応だけでなくラジカル反応（紫外線や放射線、微粒子や化学物質による活性酸素やフリーラジカルが媒介して生じる）が加わると考えている。以下、フェアリー氏を引用しよう。

①について、「交換反応においては、トリチウムは、水酸化物・チオール・リン化合物・アミンの形でそれぞれ酸素原子 (O)・イオウ原子 (S)・リン原子 (P)・窒素原子 (N) と結合している水素原子 (H) と入れ替わる。このようなトリチウムは、従来から「交換性」OBT と名付けられてきた」（フェアリー前掲書）。

②について、「酵素触媒反応においては、トリチウムは有機分子の炭素原子 (C) に結合する。これは、通例、「非交換性」[非交換型あるいは交換不可能] OBT と名付けられている。このように結合したトリチウム [非交換性の有機結合トリチウム] は、交換性トリチウムよりもさらに強力に付着し、より長い滞留時間をもつ。このような結合は、通常、代謝分解反応によってのみ解消される」（フェアリー前掲書）。これについては落合氏の規定も引用しておこう。「炭素原子と結合したトリチウム (OBT-2) は、近傍にある HHO と容易には交換されることはなく、代謝によりトリチウムが水素として水に転化されるまで、有機物に結合した状態にとどまる。この種類のトリチウム (OBT-2) は、人間などの動物により経口摂取され、代謝されるか、他の有機化合物に組み込まれて代謝されるまでそのような状態にとどまり、体内にとどまる間ずっと体内を被曝させることとなる」（落合栄一郎前掲書）。

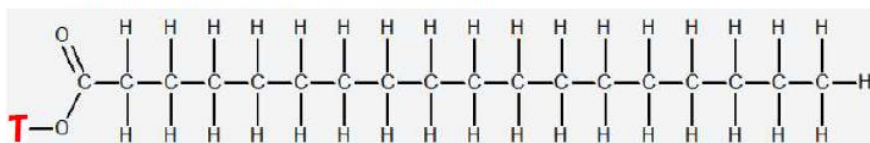
脂肪酸の例をとって2者の違いを見てみよう（図2-3）。

図 2-3 脂肪には水素がいっぱい付いている——脂肪酸の化学式の例（ステアリン酸）

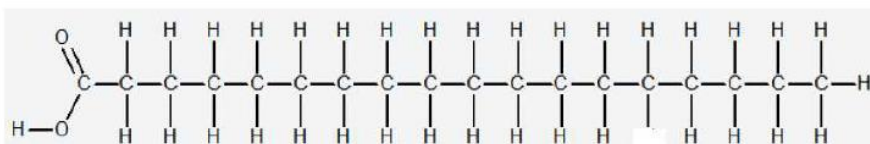


<https://aburano-hanashi.kuni-naka.com/143>

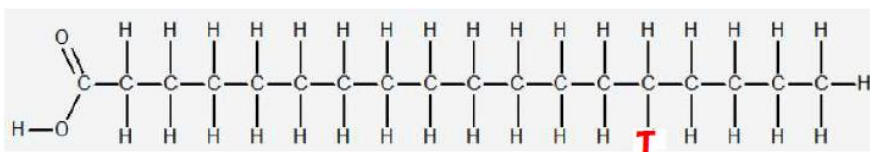
1. 交換性有機結合トリチウムの例



2. 非交換性有機結合トリチウムの生成例



活性酸素による攻撃などにより水素が剥がされると $H \rightarrow$



トリチウムによる非交換性の同位体交換が生じる↑

つまり、 $HTO < OBT-1 < OBT-2$ の順に生体内での滞留期間が長くなり、被曝量も大きくなると考えるべきである。しかも、 $OBT-2$ の場合には、他の動物やヒトによって食され、接触により最初からトリチウム被曝を受けることになる可能性がある。

● **〔光合成および化学合成〕** トリチウム水のある環境で植物の光合成およびそれを基礎とする植物の代謝反応は、トリチウムが結合した、極めて多様な化合物を合成する——

①炭水化物（糖類、でんぷん、セルロース、グリコーゲン、ATP [アデノシン 3 リン酸 [エネルギー源] など）、

②脂肪（脂肪酸とグリセリンのエステル）、

③たんぱく質（アミノ酸のみからなる単純たんぱく質、糖質・塩基性有機化合物・リン酸などと結合した複合たんぱく質——植物および微生物の窒素同化・窒素固定反応を介して）、

④DNA 複製に関与するトリチウム結合核酸成分*までを生成する。それには $OBT-2$ が多く含まれる。つまり、植物および植物性プランクトン・微生物による光合成と代謝は、トリ

チウム結合炭化水素はもちろん、トリチウム結合脂肪、一般的なトリチウム結合タンパク質はもちろん、DNA複製に関与するトリチウム結合核酸成分*までを生成する。

とくに、④について実感がわからないという人は、麦芽に含まれるプリン体（DNAを形成する核酸の材料物質）を想起すれば良いだろう。トリチウムが結合した核酸成分は、細胞分裂と複製の際に、前駆物質としてDNAやRNAに直接取り込まれる可能性が高く、被曝リスクは大きいと考えるべきである。たとえば、DNAの前駆物質チミジンと結合したトリチウムによる染色体異常誘発効果はトリチウム水の100倍、細胞致死効果はトリチウム水の1000～2000倍とされている**。

*核酸：生物にとってもっとも重要な化学物質で、核酸塩基（プリンおよびピリミジン塩基）とペントース（五炭糖で、リボースまたはデオキシリボース）とリン酸からなる高分子物質。遺伝、生存、繁殖になくてはならない物質で、地球上の生物はもっとも簡単なウィルスから人間に至るまで、核酸を土台として生きている。（日本大百科全書）

**堀雅明、中井斌「³H 標識化合物による人培養リンパ球における染色体異常」日本放射線影響学会第18回大会、「低レベル・トリチウムの遺伝効果について」『保健物理』11,1-11（1976年）

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jhps1966/11/1/11_1_1/_article/-char/ja/

生島隆治「トリチウム・チミジンの毒性」『トリチウム資料集・1988』293ページ

これらのトリチウム水とトリチウム結合有機物のすべてが環境中で生成される。つまり、人間がトリチウム水の形でトリチウムを環境中に放出すれば、トリチウムはトリチウム水だけでなく、これらのあらゆる形の有機物質の形でまた人間の体内に侵入してくるのである。

第3章 トリチウムβ線への被曝のメカニズムと主要な標的

ここまで、環境中でのトリチウムの分子的存在形態について検討してきた。次に、トリチウムβ線への被曝のメカニズムを具体的に検討し、それを通じてその健康リスクの範囲をまずは質的側面から、つまり定性的に考えよう*。その後で、リスクの量的側面の検討、つまりリスクの深刻度や、ICRP・UNSCEAR・日本政府によるリスクの過小評価の程度を検討する（第4章）ことにしたい。

*日本政府と政府側専門家（日本学術会議）は、人間に対する放射線被曝の遺伝的影響（遺伝性影響および継世代影響も同じ意味で使用）一般を事実上「ない」とする見解に立っている。この点の批判的検討は本章の付論で行っている。ただ、本来の行論からは多少外れるので、ヒトへの遺伝性影響が『ある』か『ない』かという議論に直接関心のない読者の方々には、付論を飛ばして読んでいただいても問題はないとこを指摘しておきたい。

これだけを確認して、トリチウムの被曝リスクの具体的なメカニズムの検討に進もう。

第1節 トリチウムの体内での生物学的半減期

[トリチウムの生物学的半減期]

人間でのトリチウム水（HTO）の生物学的半減期は「約10日」とされ、トリチウムを摂取しても「短期間に」排出されるとされている。この数字は、トリチウムのβ線が、被曝しても与える線量が「少なく」、危険性が「低い」という見解の基礎の1つとなっている。だが、このような主張は成り立つのであろうか？

このような主張は、トリチウムによる被曝がほとんどトリチウム水の摂取だけによって起こるというICRPモデルに基づいている。すなわち、①トリチウムが最初から有機結合トリチウムとして摂取されることはない、②摂取されたトリチウム水の97%は半減期10日ですみやかに排出され、③3%が体内で有機結合トリチウムに変わるものの、トリチウムが人間の体内で長期に滞留あるいは蓄積することはない、ということを前提している。有機結合トリチウムとしてのトリチウムの摂取がありうることはすでに植物の光合成・代謝の分析においてすでに検討した。ここでは、

——トリチウム水以外の化学的形態でのトリチウムの生物学的半減期はどの程度か、

——トリチウムが臓器ごとに取り込まれる割合と臓器に取り込まれた場合の生物学的半減期はどう違うのか、

——どのような形態のトリチウムが長く体内に留まる可能性があるか、を検討する必要がある。

[有機結合トリチウムOBTの生物学的半減期]フェアリー氏がまとめている各種の研究

データ（表）によれば、OBT1、OBT2 はさらに体内滞留期間が長いことが示されている。OBT-2 では、最長 550 日であり、トリチウム水（約 10 日）の 55 倍である（表 3-1）。

表 3-1 トリチウム水経口摂取後の人間におけるトリチウムの生物学的半減期

文献	事例数	生物学的半減期（日）		
		HTO	OBT-1	OBT-2
ピンソン/ランガム 1957	9	11.3	—	—
バトラー/ルロイ 1965	310	9.5	—	—
オズボーン 1966	30	10.5	—	—
スナイダーら 1968	1	8.7	34	—
サンダーズ/レイニング 1968	1	6.1	23	344
マインダー 1969	1	—	1～30	139～230
ランベールら 1971	1	9.1	36	—
モギッシら 1971	—	—	21～26	280～550
モギッシら 1972	1	9.0	30	450
バルノフら 1974	—	12.0	39～76	—
ルドランら 1988	8	6.0	30	226

出典：Ian Fairlie, Tritium Hazard Report, Greenpeace, 2007、52 ページ

<https://www.nirs.org/wp-content/uploads/radiation/tritium/tritium06122007gphazardreport.pdf>

【脂肪】代謝的に見て一般に脂肪は体内での滞留期間が長く、したがってトリチウム結合脂肪の体内滞留期間はトリチウム水より長いことが予想される。実際、放射線医学総合研究所によるラットにトリチウム水を投与した実際の観測値でも、半減期は脂肪組織で 80 日、脳では最長 213 日であった（放医研「放射線医学総合研究所年報 昭和 52 年度」[1978 年] 16 ページ）。上で見たように、脂肪は水素の含有比率が極めて高く、トリチウムとの交換反応が生じる確率も、トリチウムの残留する比率も必然的に高いと考えるべきであろう。

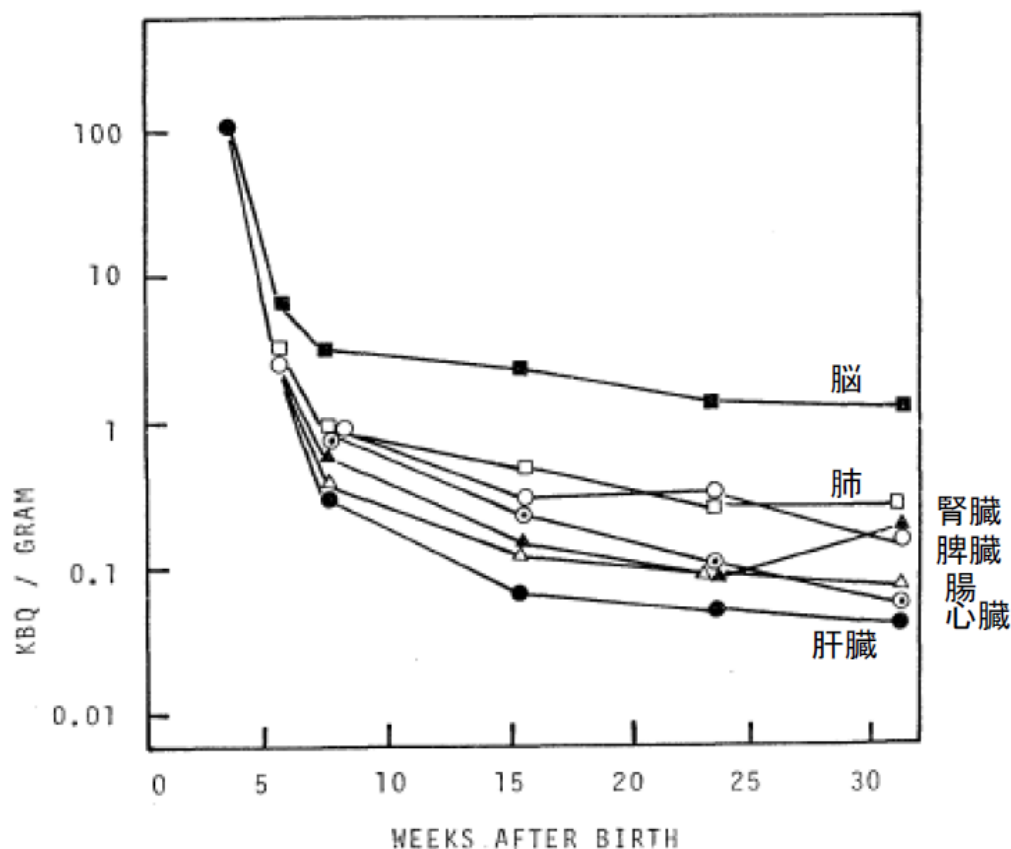
【DNA と遺伝子】フェアリー氏は、トリチウムが DNA やヒストンなどの遺伝子巨大分子に対して結合する傾向があることを指摘している。「マウスを一時的に HTO に被曝させると、被曝 8 週間後には残留トリチウムがすべて DNA とヒストンに結合していた」というコマフォード氏らの実験結果を引用している（前掲 2007 57 ページ）。

DNA の半減期は極めて長く、マウスの肝臓の DNA は 318 日、マウスの脳の DNA は 593 日である。後者はおよそマウス自体の寿命に相当する。人間においては DNA の生物学的半減期はさらに長いと考えられるという。

【トリチウムが滞留しやすい細胞・臓器】フェアリー氏は、著者たちは結論を紹介している。「最もリスクが大きいのは被曝時に分裂過程にありその後長期間生存するような細胞、すなわち胎芽の基幹細胞、神経細胞、卵母細胞であろう、と」(同 57 ページ)。神経細胞や心筋など細胞の再生産がほとんど行われない細胞にトリチウムが取り込まれた場合、極めて危険性が高いと考えるべきである。

斉藤・石田氏らの研究により、トリチウム水を摂取させその後投与を停止した場合の臓器ごとのトリチウムの残留比率は、図 3-1 に示されている。脳への残留が圧倒的に多いことがわかる。

図 3-1 各臓器中の総トリチウム濃度のトリチウム投与停止後の経時変化



出典：斉藤真弘・石田政弘「トリチウム代謝と線量評価」『保健物理』20, 167～173 (1985)

放医研の研究でもトリチウムが取り込まれた割合が大きかった臓器は、脂肪分の多い①脂肪組織、②脳、③睾丸、④肝臓であった(放医研前掲書)。

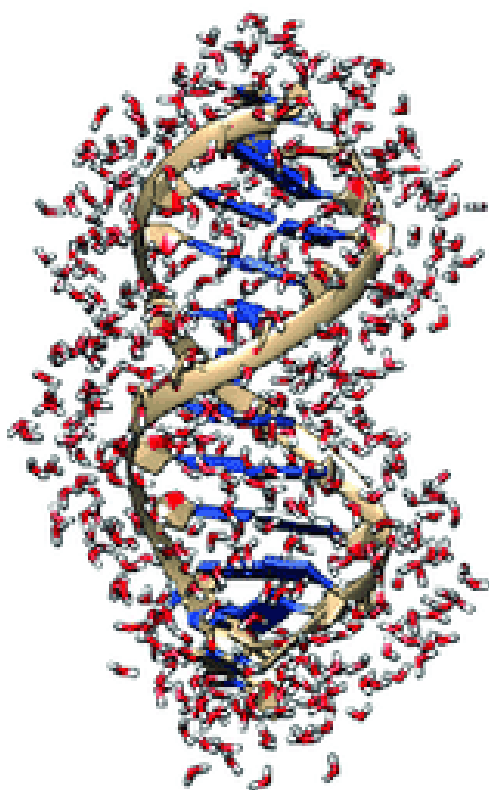
これらのことから、トリチウム水を摂取しても半減期約 10 日という短期間に体外排出されるので、トリチウムによる被曝の危険性は「極めて小さい」「ほとんどない」という主張は全く成り立たないといえることができる。

第2節 トリチウム β 線の主要な標的

[DNA鎖] トリチウムは、DNA鎖に対して、①DNA周辺に形成される水和殻に取り込まれることによって間接的に、②DNAを形成する前駆物質（核酸成分）に取り込まれることを介して直接に、遺伝子に組み込まれる。

DNA鎖の周辺には、水分子が、静電気による相互作用と外延的な水素結合によって結合している（水和殻と呼ばれる、図3-2）。この水和した水はDNA巨大分子の重量の60%を占めるとされ、多くの先行研究を総括したフェアリー氏によれば、トリチウム水はDNA水和水に集積する傾向があるとされている。

図3-2 DNA水和殻の模式図



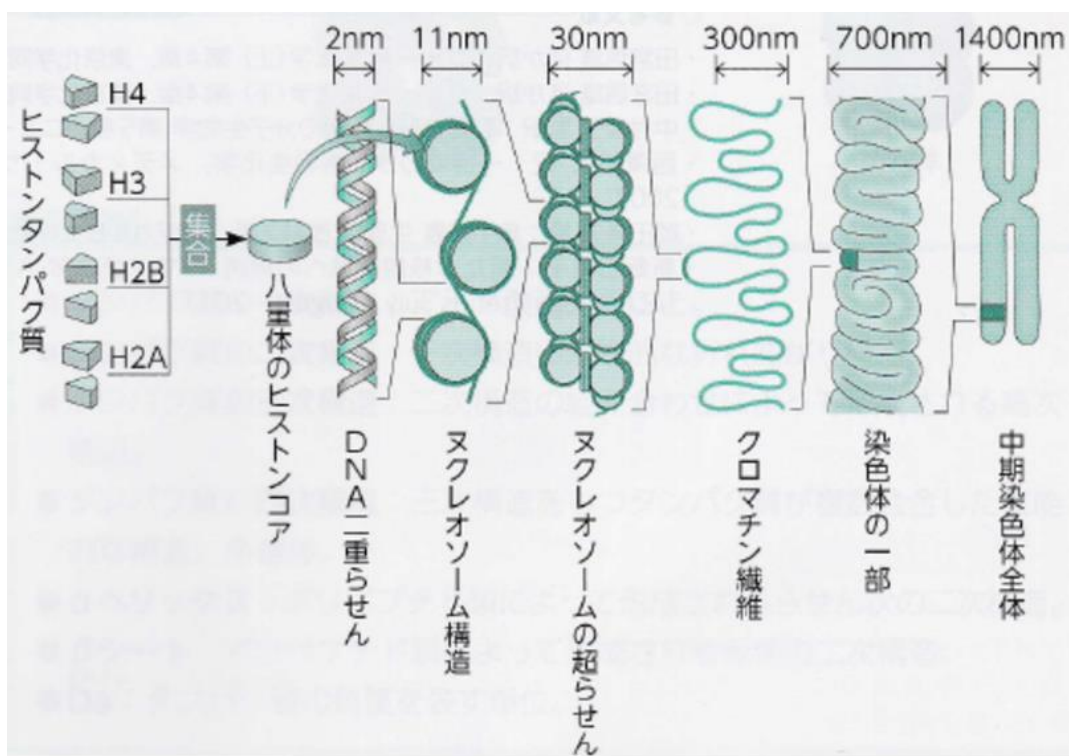
https://www.researchgate.net/figure/Typical-hydration-shells-of-a-a-protein-b-a-DNA-double-strand-and-c-a_fig9_314165941

フェアリー氏は、この点に関して、Mathur-De vre and Binet の研究を引用して、「水和水に含まれた HTO の部分は、最初の分子損傷をもたらす効果的な線源となる。少なくともこれらのトリチウム水分子の一部分は、DNA 巨大分子の鎖と極めて近い位置にまで接近し、トリチウムの β 粒子の最大飛程よりも短い距離に入ることになる」と結論している（フェアリー前掲書）。

西尾正道氏は、トリチウムが放射性物質として直接 DNA 鎖の内部に取り込まれることがトリチウムに固有の危険性をもつことを強調している（『被曝インフォデミック』寿郎社 [2021年] 第7章）。DNA が形成される際の前駆物質（たとえばチミン塩基の素となるチミジン）にトリチウムが結合する（トリチウム・チミジン）と、細胞分裂の際にトリチウムが含まれる DNA 巨大分子が合成されるからである。このような、トリチウム結合 DNA 鎖（DNA 巨大分子）は、細胞核 DNA にもミトコンドリア DNA にも含まれる可能性がある。

この場合、各形態の遺伝子のサイズとトリチウム β 線の飛距離が問題になるので、遺伝子の各要素のサイズを検討しておこう（図 3-3）。フェアリー氏によれば、トリチウム β 線の飛距離は、水中で平均約 1000nm、生体組織中で 500~700nm と短く、染色体のサイズ（およそ 1400~5000nm）の中にすっぽりと入ってしまう。トリチウムの β 線が染色体の内部や近傍で放出された場合、遺伝子に対する集中的な損傷が生じることが示されている

図 3-3 遺伝子の各要素のサイズ(トリチウム β 線の組織内での平均飛距離約 500~700nm と対比されたい)



注記：トリチウム β 線の飛距離は平均 1000nm であるので、染色体のサイズ（およそ 1400~5000nm）の中に入ってしまう、染色体内部で放出された場合、遺伝子に対する集中的な損傷が生じることを示している。

出典：松本義久編『人体のメカニズムから学ぶ放射線生物学』メディカル・ビュー

このようなトリチウム結合遺伝子物質が、生殖細胞に生成されたり、胎芽・胎児の段階で

形成されたりすると、深刻な長期的影響や遺伝的影響が生じる危険性がある。また神経細胞など、ほとんど細胞分裂せず生涯に近く保持される細胞において生じる場合の危険も同じである（この点は後に検討する）。

第3節 トリチウムβ線への被曝リスク

次に、トリチウムβ線への被曝のメカニズムを具体的に検討し、それを通じてその健康影響リスクの範囲を、まずは「質的」側面からつまり「定性的」に検討しよう。

トリチウムはトリチウム水として放出された場合でも、環境中で、有機物との親和性によって、また植物および植物性のプランクトンや微生物があれば光合成・代謝によって、有機結合型トリチウムあるいは有機トリチウムとなり、植物を食餌とする動物も介して、ヒトの体内に、生命活動に必須な水としてだけでなく、同じく生命の維持に必須の糖類・脂肪・タンパク質（アミノ酸）から核酸成分（遺伝子材料物質）に到るまで、多様な栄養分に取り込まれた形で体内に侵入してくる。

それが有機トリチウムの場合、①長期にわたって生体内にとどまり、②DNAの構造の内奥にまで侵入して内部からDNAを損傷し、③体内で水素含有量の多い脂肪に結合して体内の脂肪組織に蓄積され、④脂肪の割合の大きい脳や生殖細胞に集中的に被曝影響を及ぼすなど、他の放射性核種にはない一連の「特別な」危険性がある。以下、これらの点を検討しよう。

[環境中に滞留し循環する有機結合トリチウムへの被曝の危険]

トリチウムが数十年の長期にわたりトリチウム水（およびトリチウム元素ガス）として環境中に放出される（汚染水放出の場合がそうである）と、環境中で順次有機結合トリチウムに変化し、有機結合トリチウムとして環境中に滞留し蓄積されていく過程が生じる。つまり、トリチウムがトリチウム水と元素ガスの形態で放出されるとしても、現実には、①トリチウム水と元素ガスの摂取・被曝だけでなく、②トリチウムの土壌への滞留と濃縮、③光合成・代謝による有機結合トリチウムへの転化、④生物系への移行、⑤食物連鎖による生物濃縮、⑥再度の有機結合トリチウムの摂取と被曝という多重過程が生じている。

トリチウムへの被曝が、トリチウム水によってだけではなく、最初から有機結合トリチウムの摂取とそれによるリスクが問題になる。

[トリチウムによる被曝の諸形態]

ここからは、トリチウムβ線による分子損傷の特質、トリチウム被曝の特性について取り上げよう。トリチウムへの被曝系路は、①気体トリチウム・トリチウム水蒸気の肺からの吸入、②飲食によるトリチウム水および有機結合トリチウムの経口摂取、③皮膚からの吸収（おそらくさほど多くない）であるが、いずれもほぼすべて内部被曝のみが問題となる。

トリチウムβ線の直接・間接作用の標的となりうる器官として重要なのは：

- (1) 細胞核 **DNA**・ミトコンドリア DNA、染色体を含む**遺伝子**全体である。さらにはトリチウムの脂肪組織への取り込みが大きいことから生じる、
- (2) **生殖細胞**（脂肪分が多く含まれる）、
- (3) **脳と中枢神経系**（脂肪が多く含まれ、しかも脂肪が神経情報の伝達の際の電流の絶縁物 [ミエリン] として重要な役割をはたしている）、
- (4) 脂肪組織（主として脂肪を多く含む脂肪細胞からなる）の多い**乳房**（その障害とりわけ乳がん）、
- (5) 脂肪組織の炎症性疾患とくに**糖尿病**とその関連疾患である。
- (6) これらとは別の機序であるが、**腸内細菌叢**とそのバランスもその標的であろうと考えられる。以下に検討しよう。

(1) DNA 損傷に対する修復機能とその限界

政府と政府側専門家たちは、トリチウムβ線による DNA 損傷に対して、DNA が持っている修復機能によって、損傷が 100%完全に修復されるかに示唆している。たとえば、元 NUMO 理事、河田東海夫氏は、「DNA には素晴らしい損傷回復機能が備わっている」と強調している。だが「素晴らしい」という情緒的で非科学的な形容詞は「100%」の修復を示唆しているのだろうが、その具体的な規定はどこにも行われていない。だが、そもそも、トリチウムβ線による DNA 分子損傷が「完全に」修復されるので心配無用であるというかという言説は本当だろうか？

第 1 は、放射線が DNA 修復を司る遺伝子（p53 が有名であるが ATM、BRCA1/BRCA2 など多くの遺伝子が DNA 修復に関わるということが明らかにされている*）を損傷させた場合に何が起るかである。また DNA 修復が完全には行われなために現実にはがんが大量に発症しているのであり、その中には放射線影響が含まれていることは明らかである。

*松本義久編『人体のメカニズムから学ぶ放射線生物学』メディカルビュー（2017 年）271 ページ
など参照のこと

第 2 は、粒子線による DNA 分子損傷が修復の困難な DNA の複雑な損傷（「クラスター損傷」）を生み出す傾向を持っていることである。核開発推進側の国際機関である ICRP や日本政府傘下の放医研や日本原子力開発研究機構（JAEA）でさえ、このことを明確に指摘し警告している。

第 3 は、トリチウムの壊変がもたらす元素転換による突然変異「トランスミューテーション」効果である。

日本政府や政府側専門家たちは、仲間うちの議論ではともかく、一般国民向けの文書や発表では、これらの事実沈黙するか、情緒的表現でごまかして認めない。ここではとくに後者の 2 点を検討しよう。

[DNAのクラスター損傷]

放射線とくに粒子線（ α 線・ β 線など）によるDNAの「クラスター損傷」については、ICRPの『2007年勧告』に以下の記述がある。重要な規定なので少し長い引用しよう。

「飛跡構造のデータは、放射線生物学的情報と相俟って、DNAに対する生物学的に重要な損傷の性質に関して考える上で大きなインパクトをもたらした。」「特に、放射線で誘発されるDNA損傷の大部分は化学変化の複雑なクラスターの形で*現れると認識されるようになった。そのようなクラスター損傷は、主飛跡、二次電子及び二次的な活性ラジカル種によって誘発される損傷の組合せを通して発生しうる。DNAの糖・リン酸バックボーンにおける二本鎖切断と一本鎖切断（DSBとSSB）及び種々の損傷したDNA塩基は、クラスターを成して、お互いに近接している全損傷のうち多くの割合と結合することができる。」「複雑なクラスター損傷は、低LET*放射線（ β 線や γ 線——引用者）及び高LET放射線（ α 線など——引用者）によって生じる全DNA損傷の中の、それぞれ60%（低LET）及び90%（高LET）を占めるかもしれない」（107ページ）。

*日本語訳は「の中に」となっているがわかりにくいので訂正した——引用者

ICRPはDNAのクラスター損傷が、①「高エネルギー」の放射線の「主飛跡」だけでなく、②エネルギーの低い「二次電子」及び、③「二次的な活性ラジカル種」によって誘発される可能性を認めている。これとは多少割合の数字が違うが、日本政府傘下の放射線医学総合研究所編著『低線量放射線と健康影響』もこのことを指摘しており、ここからも引用しよう。

「放射線はさまざまなDNA損傷をつくる。低LET放射線（ β 線や γ 線・X線）により加速された電子については、飛跡の末端部分や2次電子の電離の空間密度がたいへん高いことが知られている。このような高密度の電離で生じたDNA損傷は特定部位に集中した複雑なDNA損傷であるため、クラスター損傷と呼ばれる。クラスター損傷は修復がしにくく、たとえ修復しても配列情報が2本鎖の双方から失われるため、突然変異をもたらす。…高エネルギーX線や γ 線照射などによる100keV程度の電子では全2本鎖切断の20%がクラスター損傷で、1keV程度の電子で全体の30%程度がクラスター損傷である。一方 α 線では、二本鎖切断の70%程度がクラスター損傷である」（133～134ページ）。

ここで、電子線のエネルギーが低下する方が、つまり100keVの電子よりも1keVの電子の方がクラスター損傷の割合が高くなっていること（20%に対して30%）に注意していた

だきたい。

[2 次電子とフリーラジカルの作用]

α 線など高 LET 線によってだけでなく、低 LET の β 線によっても、DNA のクラスター損傷が生じる、しかも (ICRP によると) 全損傷の 60% というかなりの高率で起こるとされているが、どのようなメカニズムによってこのような現象が起こるのであろうか。これを解明する上での大きな一歩前進を示したのが、JAEA・放医研・東京農工大の研究者たちが行ったシミュレーション研究である (「DNA 損傷の複雑さを決める極低エネルギー電子の新たな役割を解明—放射線照射により生体の遺伝子情報はどのように変質するのか—」)。

同論文が明らかにした、「①主飛跡②二次電子及び③二次的な活性ラジカル種によって誘発される損傷の組合せ」は、以下の通りである (図 3-4 および 3-5)。1000 回に 1 回以上のかなり高い確率でクラスター損傷が生じていることが示されている。

図 3-4 ベータ線の飛跡——飛跡の終端部で集中的に損傷が生じる

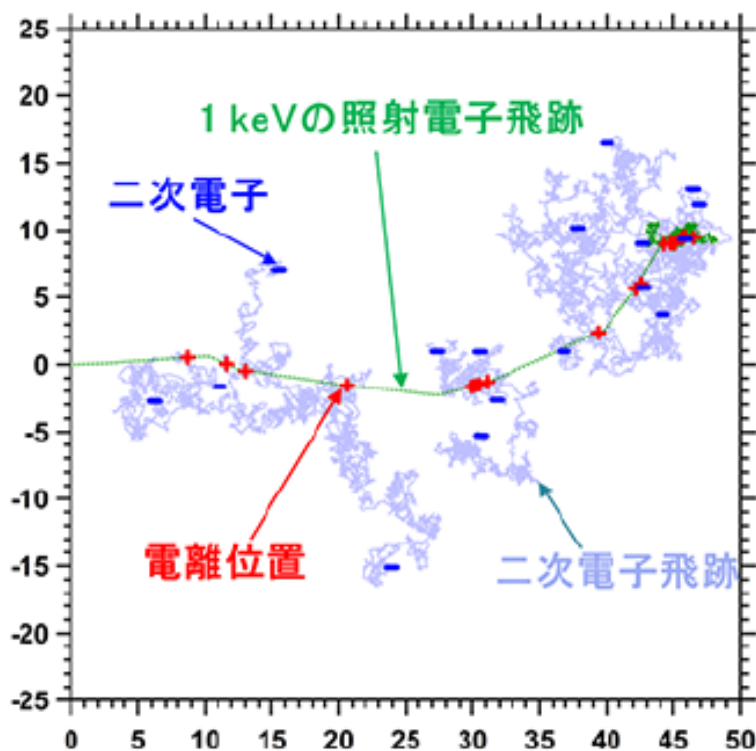
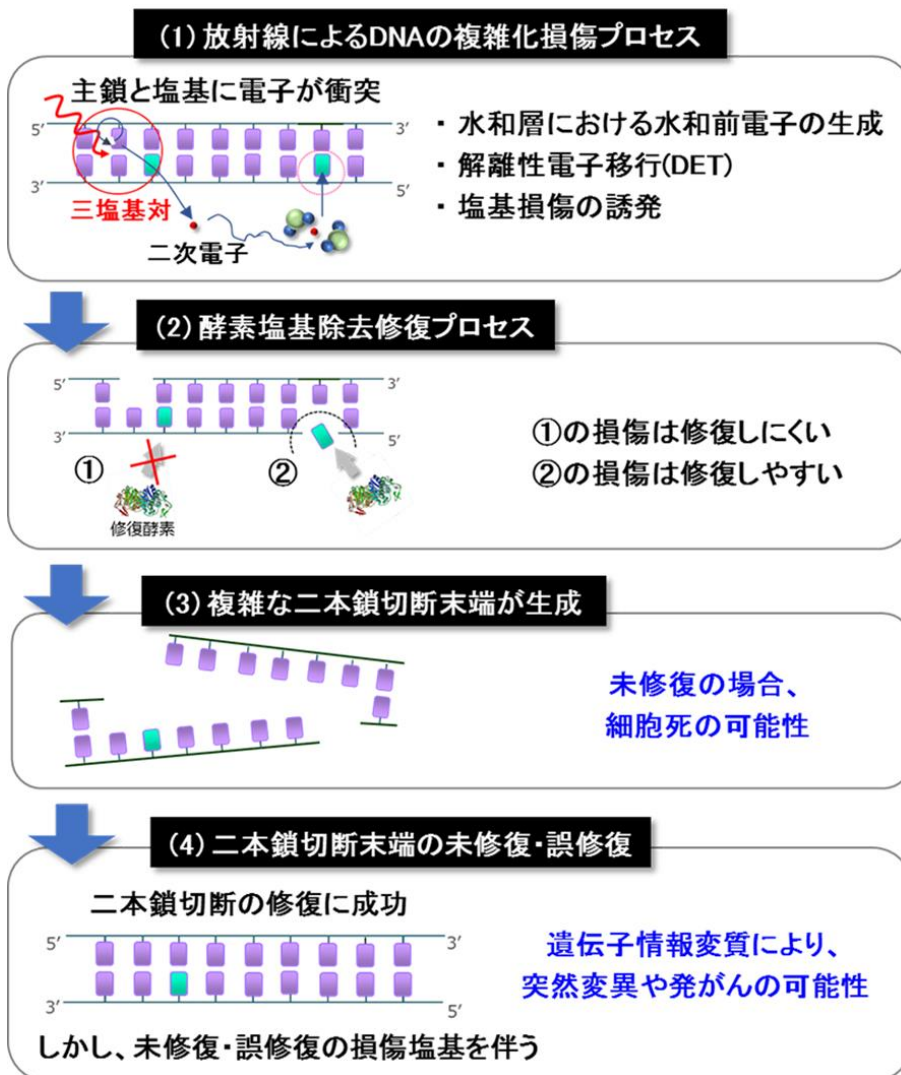


図 3-5 β線によるクラスター損傷の生じるメカニズムと未修復・誤修復の模式図



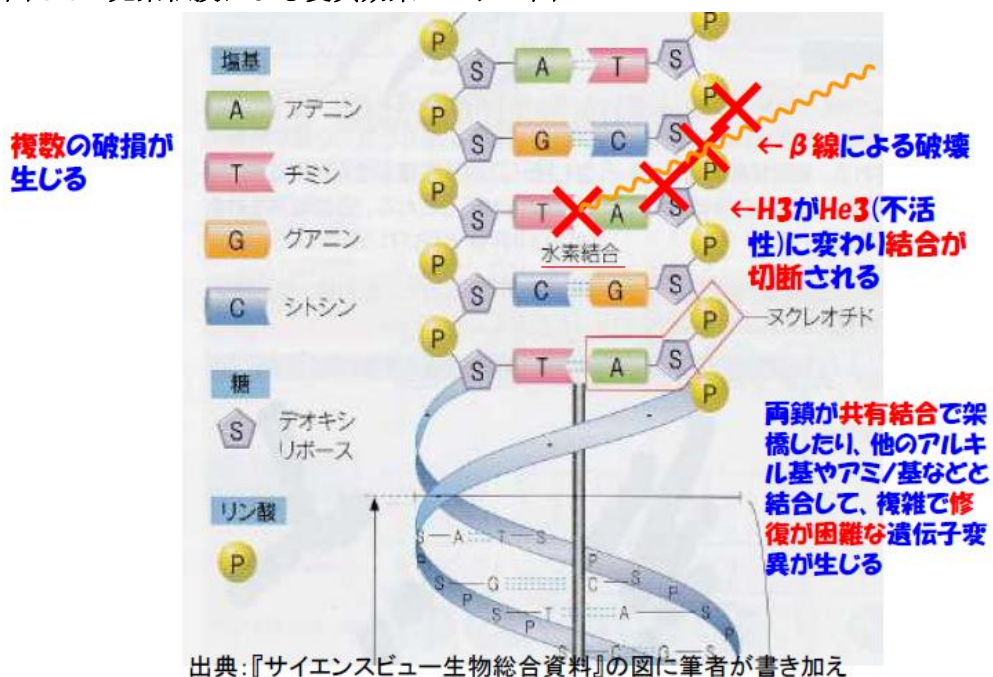
以上出典：JAEA・放医研・東京農工大「DNA 損傷の複雑さを決める極低エネルギー電子の新たな役割を解明—放射線照射により生体の遺伝子情報はどのように変質するのか—」

これらのβ線によるクラスター損傷は、飛程が短く細胞内で集中的な損傷を与えるトリチウムβ線のとくに重要な特徴である。『トリチウム資料集・1988』では、細菌を使った実験結果で、「γ線照射に比べてトリチウムβ線による修復不能 DNA 鎖切断は高率」になるとされている（酒井・岡田 [1987] 『トリチウム資料集・1988』 216～7 ページ）。つまり、トリチウムベータ線による DNA 損傷では、修復不能となる比率が高いことが指摘されている。現実には、専門家たちが一般国民向けに高唱する DNA の「素晴らしい修復能力」（河田東海男氏）には明確な限界がある、ということを示している。

[元素転換による突然変異効果（トランスマューテーション効果）]

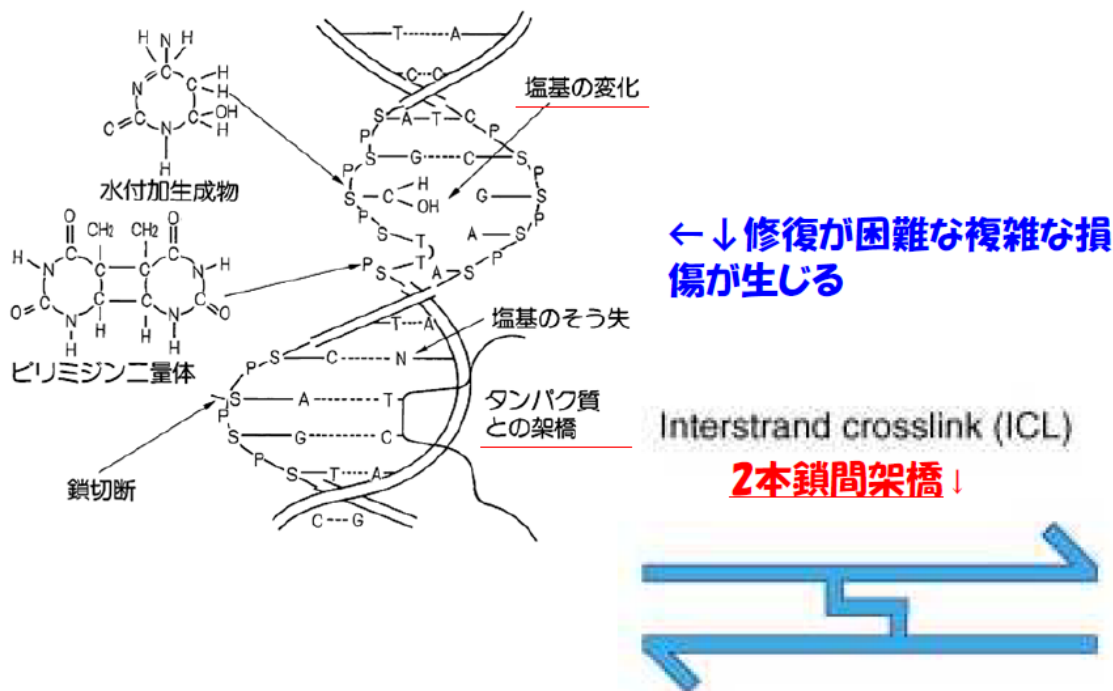
トリチウムβ線によるDNA損傷が修復困難な損傷をもたらすもう一つの要因は、トリチウム壊変のもつトランсмューテーション効果（元素転換による変異効果）である。トリチウム（放射性核種である三重水素）は、放射線一般の損傷作用とともに、それらには当てはまらない特別の作用をDNA・ゲノムに対して行う。この場合のモデル図を以下に掲載する（図3-6）。トリチウムは水素の同位体として、チミジンやシチジンなど4種類のDNA前駆物質（糖とアミノ酸の結合体）に取り込まれると、細胞分裂時にDNAの内部に、とりわけ水素結合部位やそれに近い位置に組み込まれることがありうるからである。

図3-6 元素転換による変異効果のモデル図



出典：『サイエンスビュー生物総合資料』の図に筆者が加筆（図の太字と波線の部分）

図 3-7 元素転換によって生じる修復困難な損傷の例



<http://www.rist.or.jp/atomica/data/pict/09/09020206/02.gif>

<http://blog.goo.ne.jp/news-t/e/0fe63a49c5d893f0cb6c99ed6dbc0b98>

97

実際、トリチウムが取り込まれる位置によって、損傷が深刻化することが実証されている（『トリチウム資料集・1988』、フェアリー前掲書）。このように、トリチウムは DNA の構造の内部に奥深く取り込まれる数少ない放射性核種であり、その壊変は、DNA に他の核種とは異なるきわめて深刻な影響を及ぼすと考えなければならない。

〔トリチウム被曝における「ペトカウ効果」（「賀田 Kada 効果」）〕

『トリチウム資料集・1988』にはこの点に関する重要な問題提起が掲載されている。「形質転換 DNA の不活性化を指標とした系で、トリチウム水濃度を下げる程、つまり、トリチウムによる照射線量率を下げる程、不活性化の効率が增大する現象」が報告されているという（219 ページ）。「吸収線量をそろえると明らかに、低線量率のトリチウム（低濃度で長時間の作用）の方が DNA 失活効果が大きい」（220 ページ）。「理由は、ベーター線で直接生成するフリーの酸素もしくは生成した H_2O_2 の緩慢な分解により二次的に生成するフリーの酸素 ($H_2O_2 \rightarrow H_2O + O$) がトリチウム濃度が高い程、酸素分子になる ($O + O \rightarrow O_2$) 率が高くなり、フリーの酸素による酸化率が低下すると考えられる」（224 ページ）。

(2) 脂肪に取り込まれたトリチウムの特別の危険性 その 1—遺伝的影響

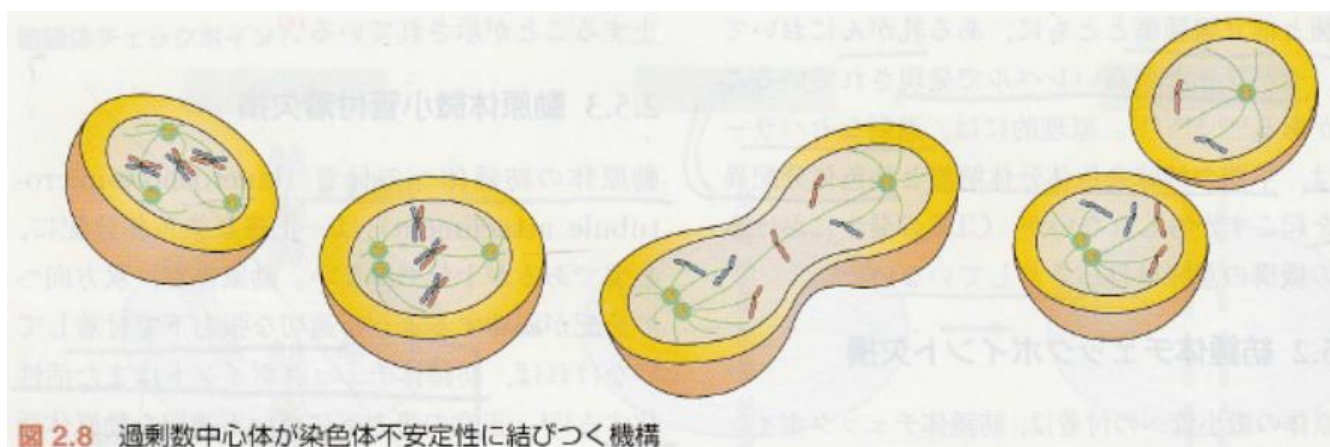
トリチウム（三重水素）は、脂肪含有比率の高い精巣・卵巣への蓄積傾向を持つ。それによって、トリチウムは、放射線の遺伝的影響の中で特に深刻な影響をもたらす可能性がある*と考えるべきであろう。

*トリチウムによる遺伝的影響が「ある」ことを示した研究の一つとして：

栗下昭宏ほか「マウス F₁ 胎仔の外形奇形発現に及ぼすトリチウム水の影響」『「トリチウム β 線の RBE とその線量率依存性」平成元年度文部省科学研究費補助金研究成果報告書』所収を挙げておく。

ここまで、われわれは、トリチウムが DNA 遺伝子構造の内部や生殖細胞に多く含まれる脂肪に蓄積しやすく、そこで壊変を起こした場合に、修復されにくい複雑な損傷を与える傾向があることを指摘してきた。とりわけ、DNA の 2 本鎖間の直接の共有結合（架橋）が生じ、なおかつ細胞分裂過程を制御する遺伝子たとえば p53 など変異が生じた場合、染色体の破壊や切断、染色体異数性などの複雑な変異（染色体不安定性）が生じるリスクが大きくなる。腫瘍学の教科書は、細胞分裂時に普通 2 ヶ所に形成される動原体が 3 ヶ所に生じる変異により細胞の染色体数の異常が生じる例を挙げている（図 3-7）。これらが、受精卵や生殖細胞で生じる場合、遺伝的影響が生じることになる。

図 3-7 染色体不安定性の事例——過剰中心体の生成による染色体数異常の概念図



出典：ヴィンセント・デヴィータほか著、宮園浩平ほか訳『がんの分子生物学』メディカル・サイエンス・インターナショナル（2012年）

すでにわれわれが前著（『放射線被曝の争点』）において論じたように、現在までに、トリチウムによる生殖器の被曝と、フィラデルフィア染色体（9番染色体と22番染色体の転座）異常による白血病や、先天性欠損症による死産および新生児死亡、新生児の中樞神経系異常、ダウン症（21番染色体数の異常）などとの関連が示唆されてきている**。さらには、遺伝性の「難病」の種類拡大と多発***についても何らかの関連が考えられている。

**渡辺悦司・遠藤順子・山田耕作『放射線被曝の争点』緑風出版（2016年）第2章を参照のこと。

***難病情報センター「2015年から始まった新たな難病対策」

ロザリー・バーテル氏は、トリチウム被曝と新生児の中樞神経系の異常とが関連する可能性を示唆している (Rosalie Bertell, "Health Effects of Tritium" 2005)。

トリチウムの放射線の標的となるのは女性の生殖細胞だけではない。男性の生殖細胞への影響はさらに深刻であろうと考えられている。落合栄一郎氏が指摘するように、精子細胞は体細胞と違って DNA 修復機構を有しておらず、このことが精子を放射線やそれが生みだす活性酸素・フリーラジカル (環境汚染物質が産生するものも含めて) に対してとりわけ脆弱なものにしている*。

* Eiichiro Ochiai, Nuclear issues in the 21st Century [邦題: 21世紀の核問題], Nova Science Publishers Inc., New York, 2020, 276 ページ

多くの先進国で再生産年齢の男性の精子数が減少していること、精子の活動性が低下していることは、すでに広く認識されている*。さらに最近では、人口減少がたんに先進国にとどまらず、全世界に及びつつあるのではないかと考えられるようになってきている。雑誌『世界』(岩波書店)は「サピエンス減少——人類史の折り返し点」という特集(2021年8月号)を組み、「世界人口」が「長期の人口減少期に入り始めている」と結論づけている。新型コロナウイルスの影響もこのような「増加から減少へと向かう世界人口の歴史的転換を加速するもの」と捉えなければならぬと指摘している(87~88ページ)。ただ、同誌は、このような人口減少の原因として主に社会経済的な諸要因を挙げ、それらと複合的に作用する放射能汚染を含む環境汚染にはあまり注目していない。だが、中国の人口減少への転換が典型的に示しているように、人口減少には社会政策ではコントロールできない要因がある。それは、環境要因であり、核兵器開発・核開発・工業化に伴う環境の放射能汚染と化学物質汚染であると考えられる。

*たとえば「最近の精子数の減少に関する国内外文献調査」平成9年度厚生省心身障害研究「不妊治療の在り方に関する研究」1997年

<https://www.niph.go.jp/wadai/mhlw/1997/h090928.pdf>

最近のチェルノブイリ被曝者の調査では、遺伝性影響が、一時的に直接被曝した事故処理作業員の子孫よりも、汚染地域に住み続けている住民の子孫に、より明確に現れているという事実が明らかになっている(付論において後述する。大西武雄監修『放射線医科学の事典』朝倉書店(2019年)野村大成氏の論考173~174ページ)。このことは、短期間に直接的に被曝するよりも、居住によって長期間にわたり被曝する方が、継世代影響が顕著に現われるという傾向を示している。これは、汚染地域における環境と生態系全体のトリチウム汚染(すでに第2章で検討した)や、さらには環境全体の放射性微粒子汚染による、長期に及ぶ内部被曝が、一時的直接的被曝よりも、遺伝的影響を引き起こす重要な要因であることを示唆している。そして、これは福島における帰還政策の危険性を改めて示していると言える。

日本政府と政府側に与する専門家たちは、ヒトに対する放射線による遺伝的影響自体を頭から否定している。この点に関しては、この章の最後にある付論を参照願いたい。

(3) 脂肪に取り込まれたトリチウムの特別の危険性 その2——脳と神経細胞

脂肪の比率の高い臓器の代表的なものの一つは脳であり（脳の60%が脂肪である）、脳腫瘍や中枢神経系の障害へのトリチウムの影響が考えられる。この点について、われわれは前著においてすでに指摘してきた。

[発達障害とトリチウムへの被曝]

脳・神経細胞へのトリチウムの取り込みとそれによる被曝の影響については、脳神経科学者である黒田洋一郎、木村・黒田純子両氏の著書『発達障害の原因と発症メカニズム——脳神経科学からみた予防、治療・療育の可能性 第2版』河出書房新社（2020年）に優れた概説がある。そこでは、われわれがすでに述べた、①トリチウムβ線によるDNA損傷の複雑性（クラスター損傷の多さ）、②トリチウム結合脂肪による神経細胞の損傷とりわけ神経情報の伝達の電気的絶縁（ミエリン被覆）の損傷、③それらによる発達障害、認知機能の低下、アルツハイマー病、パーキンソン病など長期的な脳機能の障害との関連、④トリチウムやストロンチウム90などの放射性物質の神経毒性作用と、ネオニコチノイドなどの農薬の神経損傷作用との複合影響、が総括されている。トリチウムの箇所を少し長くなるがそのまま引用する。なお小見出しは引用者がつけたものである。

精子・卵子の段階でのトリチウム被曝

「自閉症などの発達障害では、精子、卵子のDNAの新規の突然変異（デノボ変異*）が、発症に因果関係があることが、すでに科学的に確定している。

胎児の段階でのトリチウム被曝の影響

これは受精の際の問題だが、その後胎児が成長すると、脳細胞のDNAは特に活発に活動して脳を共発達させていく。トリチウムは脳細胞でも、被曝した細胞のDNAに変異を起こし、異常を生じさせる。

この異常の程度にはいろいろあるが、最悪の場合には、DNAの塩基間の水素結合を壊し、DNA二重らせん構造はもはや機能を失ってしまう。そのため脳のあらゆる種類の細胞は細胞死を起こす可能性が高まり、脳機能の要である神経回路網の異常の原因となる。

大人にも受け継がれる

認知機能の低下、運動機能の低下など、子どもの脳の発達を妨げるだけでなく、大人の脳機能も低下し、認知機能がトリチウム被曝によっておかしくなる可能性がある。

さらに、トリチウム汚染による神経細胞死は、認知機能の低下、老化関連脳疾患を起

こす加齢以外の一つの原因となる。

脳の神経細胞の特殊性——その長生きする性質

ヒトの脳の主役、神経細胞は記憶が何十年も保たれるように、他の細胞より格段に長生きで入れ替わりにくく更新されない。

大国の核実験による放射性物質の蓄積もあるが、日本ではアルツハイマー病、パーキンソン病ばかりでなく、統合失調症や一般の精神疾患も、福島事故以後日本で急に増えている。

トリチウムの蓄積する部位

発達障害、アルツハイマー病など脳関係の疾患については、「トリチウムの脳細胞への長期蓄積による神経細胞などの異常が、脳機能への影響の原因」とすれば説明できる。しかも脳では一般の脂肪組織ではなく、特に神経情報をはこんでいる電気コード（軸索）にトリチウムは残留・蓄積するので、他の組織と違い、脳神経の機能回路に与える影響が甚大で、老化関連脳疾患、発達障害が将来、更に増える危険がある。

電氣的絶縁体であるミエリン損傷の意味

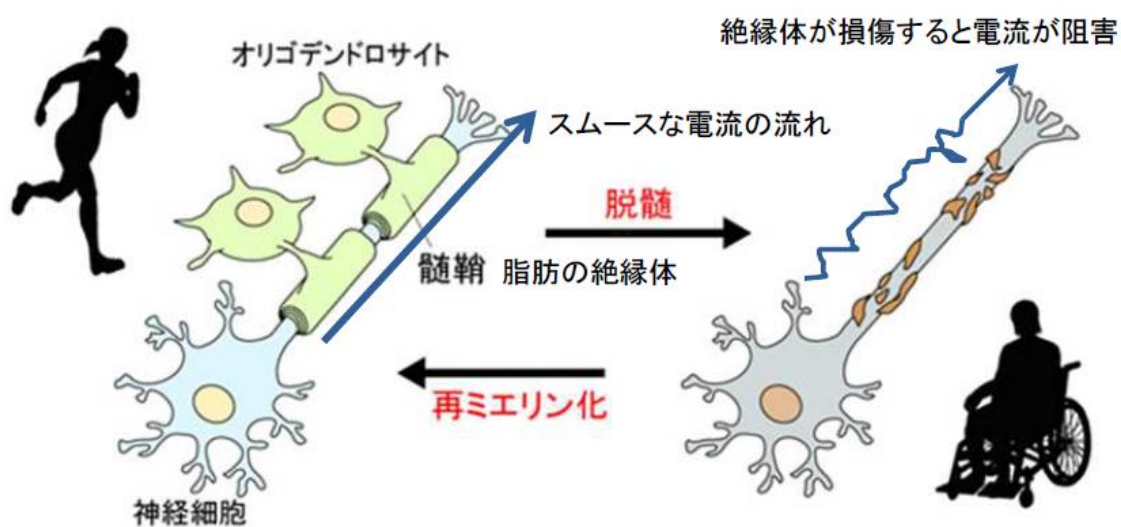
記憶などの高次機能に肝心の「シナプス」の代謝は、主に細胞体から順行、逆行する軸索流の各種成分で保たれているので、神経回路網など脳の機能に障害が起こるのは当然だ。シナプスの伝達物質が出る接合部は軸索（絶縁体としてのミエリン）に覆われていないが、軸索のミエリン被覆がどのくらいシナプス部に近いのかは、いままで研究者があまり重要と思わず、トリチウムが脳への毒性をもつのは確かだが、詳しくは、まだ研究が少なくわかっていない。

*デノボ変異とは両親が持っていない新しい変異のこと——引用者注記

黒田洋一郎、木村・黒田純子両氏の著書『発達障害の原因と発症メカニズム 第2版』河出書房新社 [2020年] 313～314 ページ。

ここで指摘されている、神経組織に流れる電流を周辺組織から絶縁し神経情報の伝達を保護するミエリン（軸索を覆う脂肪組織の一種である髄鞘）の損傷については、以下にモデルの図を挙げておく（図 3-7）。

図 3-7 神経伝達系の絶縁物質ミエリン（髄鞘）の損傷の模式図



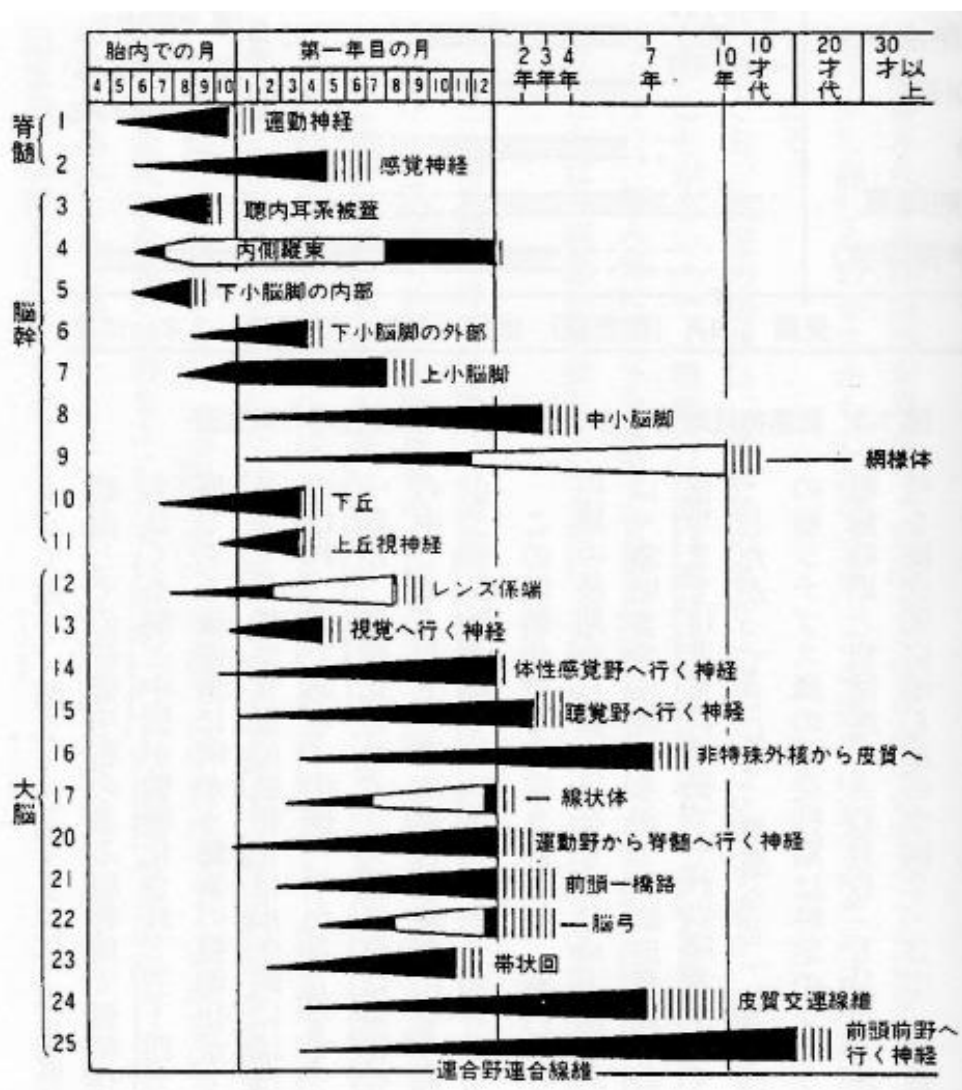
出典：基礎生物学研究所「髄鞘再生に関わる分子機構の解明 ～神経回路の絶縁シートが回復する仕組み～」
 に加筆

<https://www.nibb.ac.jp/press/2015/09/03.html>

また、軸索が髄鞘（ミエリン）で覆われることは、人間の脳の発育・成長にとって生成した神経系統を固定化することを意味し、脳機能の発達にとって重要な役割をはたしている（図 3-8）。すなわち、ミエリンの損傷が、胎児から乳幼児への、さらには子どもから青年への発達の時期に生じることがあれば、生涯に及ぶ脳機能損傷を与えることを示唆している。この意味でも、脳組織に長期にわたり滞留するトリチウムの被曝の危険性がとりわけて強調されなければならない。

黒田氏は、腸内細菌叢の異常と自閉症などの神経疾患との関連を指摘している。この点は、極めて重要なテーマであり、本論考では以下の（6）で扱っている。

図 3-8 脳機能の発達にともなう、軸索の髄鞘化の脳部位別の発達時期の違い——胎芽・胎児・子どものトリチウム被曝の危険性を示す



原著注記：髄鞘化は、軸索の周りをミエリンでおおい絶縁することで電気信号の伝達を速め情報が正確に伝わる。その軸索の先端のシナプス結合が、実際に機能しはじめた指標と考えられている。

出典：黒田洋一郎、木村・黒田純子『発達障害の原因と発症メカニズム 第2版』河出書房新社（2020年）225 ページ

[脳におけるミトコンドリア障害]

脳におけるトリチウム被曝がさまざまな神経疾患・障害を引き起こすもう一つの重要な経路は、ミトコンドリア DNA の損傷とミトコンドリア機能障害によるものである。もちろん、この場合も、放射線の直接的作用だけでなく、それが生成する活性酸素・活性窒素・フリーラジカルの破壊作用（酸化ストレス）によるものでもある。

われわれは、アルツハイマー病やパーキンソン病、筋萎縮性側索硬化症などの神経変性疾

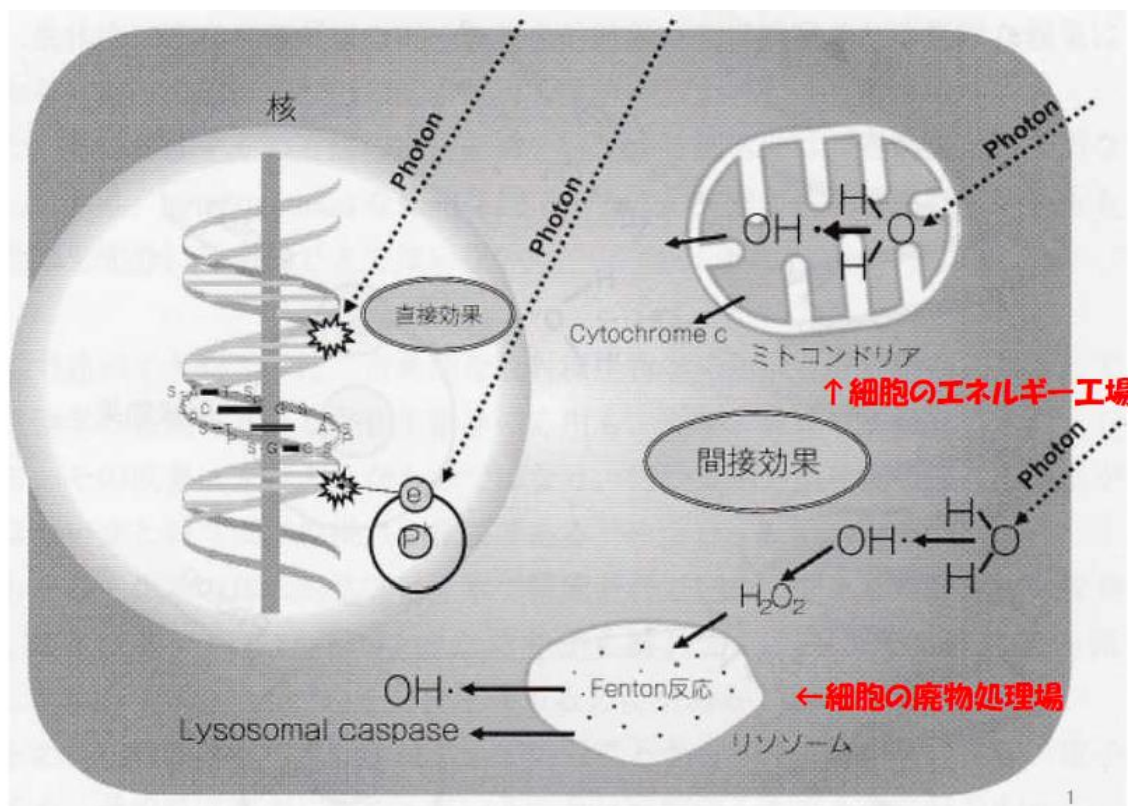
患と脳内のミトコンドリアの機能障害との関連を指摘してきた。たとえば、遠藤順子「ミトコンドリア障害と心筋症、アルツハイマー病、パーキンソン病、筋委縮性側索硬化症の関連について」（2017年7月22日 <http://blog.torikaesu.net/?eid=64>）を参照されたい。

この場合とりわけ重要な役割を果たすのは、放射線による酸化ストレスとミトコンドリア障害との関連である。以下、遠藤論考からの要約である。

[DNA 以外の細胞小器官への放射線影響——酸化ストレスとラジカル連鎖反応]

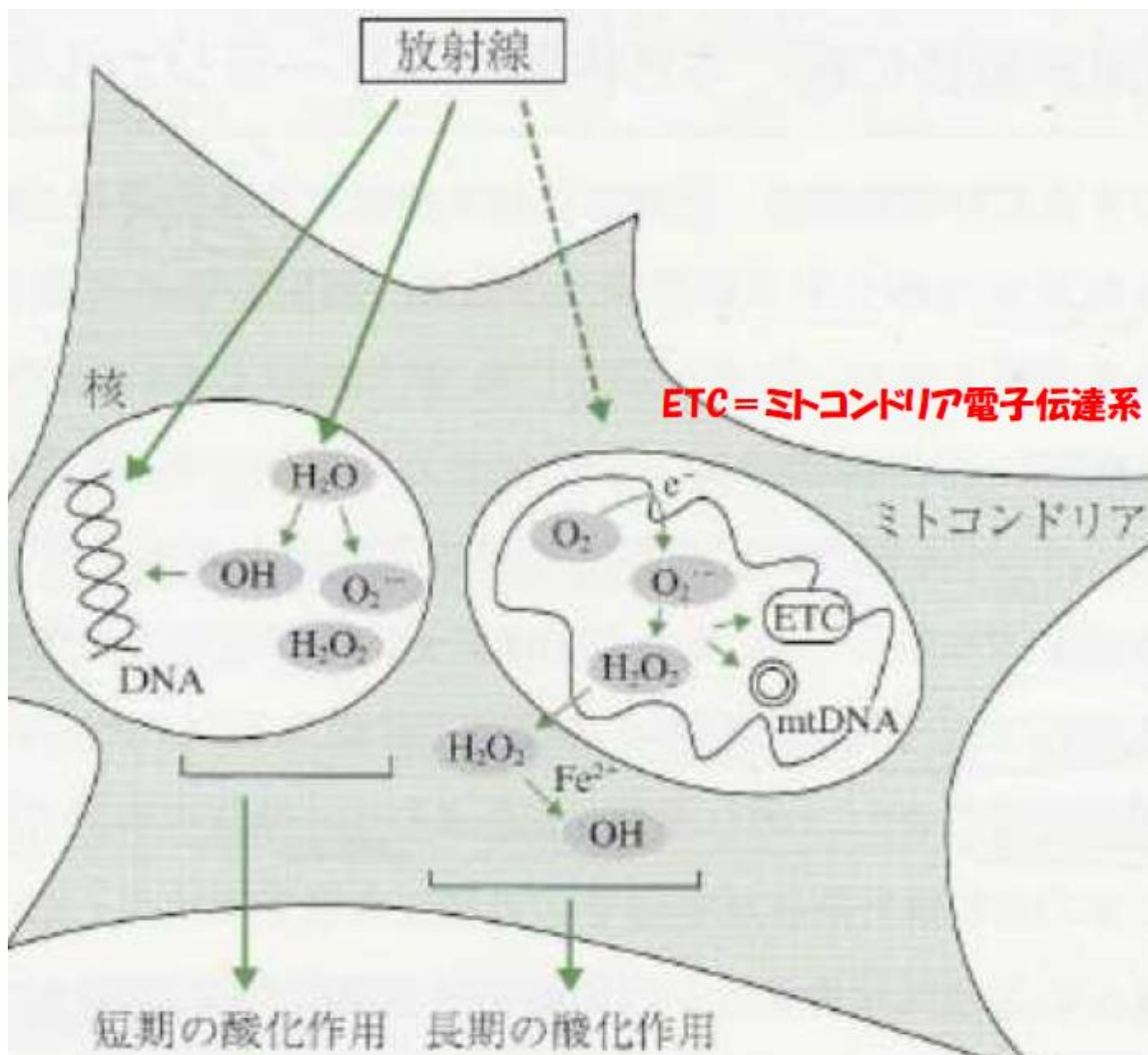
核 DNA を標的としない放射線生物作用においては、細胞から生成されるフリーラジカル（活性酸素種 ROS、活性窒素種 RNS）並びにそれにより引き起こされる酸化ストレスが重要な役割を果たしている。すなわち、生体への放射線照射によって生成される ROS のうち、 $O_2^{\cdot-}$ および H_2O_2 は比較的安定であり 10 および 100 秒ほど存在が持続する。これらはその近傍に存在するすべての生体高分子と反応し損傷を与える可能性がある。この ROS と生体高分子との相互作用により有機ラジカルが形成されるが、有機ラジカルは急速に酸素と反応し、ペルオキシラジカル (ROO^{\cdot}) となる。 ROO^{\cdot} は、もとの有機ラジカルよりもはるかに強い酸化剤であり、近傍の有機分子の水素を引き抜くことで過酸化物質として安定する一方、さらに別の有機ラジカルを生成する。この連鎖反応は、放射線によって引き起こされる脂質過酸化反応に深く関与しており、細胞並びに細胞小器官の膜に対して放射線障害をもたらす原因となると考えられている（図 3-9 および 3-10）。

図 3-9 放射線の細胞小器官（ミトコンドリアとリソソーム）への作用が活性酸素を生み出しアポトーシスを促進する概念図



出典：青山・丹羽編『放射線基礎医学 第12版』金芳堂（2013年）304ページ

図 3-10 放射線のミトコンドリアへの損傷が長期の酸化ストレスを産生する概念図



出典：吉川敏一監修『酸化ストレスの医学 改訂第2版』189 ページ

[機能障害に陥ったミトコンドリアは長期的な酸化ストレスを産生する]

また、放射線照射直後に起きる細胞内の様々なイベントにおいて、細胞内レドックス（酸化還元）環境が放射線照射後持続的に変化することが 照射数か月以降に現れる放射線障害の原因となることも示唆されている。すなわち、放射線照射後、一定時間経過後に起こる ROS、RNS の生成は、それが組織や臓器において酸化ストレスの蓄積を引き起こし、照射後かなりの時間がたってからの酸化障害を引き起こす可能性がある。もし放射線による酸化障害がミトコンドリア電子伝達系 (ETC) の機能維持に必要な遺伝子の変異を引き起こすのであれば、この酸化ストレス状態は放射線照射を直接受けた細胞だけでなく、その娘細胞にも受け継がれることになる。それゆえ、長期にわたる放射線によるゲノム不安定性の原因となる。慢性炎症を引き起こし発がんや繊維化の原因ともなる。このような放射線照射の結果生じる短期及び長期の酸化ストレスと生物学的影響の関係を示す知見が積み上げられて

きている。

[ミトコンドリア機能障害によるアポトーシスの活性化]

また、細胞にアポトーシスを引き起こすメカニズムとして、ミトコンドリアからのシグナルにより活性化される内因性経路と細胞膜に存在する細胞死受容体からの外因性経路が存在するが、放射線照射はこのうち内因性経路の活性化を引き起こす（図 3-9）。このアポトーシスシグナル活性化に、放射線照射後に産生される ROS が関係していることを示唆する所見が多数報告されている。

これらの過程が脳内で起これば、たとえばトリチウムが脳内の脂肪組織や神経組織に蓄積した場合がそうであるが、脳内の分裂も再生産されない神経細胞が重大な損傷を受け、しかもそれが長期にわたって蓄積されていくであろう。

[精神疾患とミトコンドリア障害との関連]

加藤忠史氏（理化学研究所・脳科学総合研究センター副センター長）は、同センター編『つながる脳科学——「心のしくみ」に迫る脳研究の最前線』講談社（2016年）において、精神疾患の1つである双極性障害が、脳のミトコンドリア DNA の変異の蓄積と関連があるという重要な指摘をしている（257 ページ）。もちろん、これは、一連の精神疾患と細胞遺伝子レベルでの変異（デノボ変異）——統合失調症では 100 個以上、双極性障害で 10 個近くの遺伝子が報告されているという——との関連を前提とした上でのことである。

「(患者の死後脳を調べると) 双極性障害の患者の脳に、ミトコンドリア DNA の変異が多いというデータが得られた。… 磁気共鳴スペクトロスコピーのデータとその DNA のデータを合わせると、双極性障害の少なくとも一部は、ミトコンドリア病と似たような分子レベルの変化があり、脳のエネルギー代謝に障害が生じて発症している可能性がある」(266 ページ)。

加藤氏らは、双極性障害の原因の 1 つがミトコンドリア機能障害であるという仮説から出発して、患者の変異が溜まっている脳内の場所を特定することに成功した。それは「視床室傍核」という部位であったという。

以上から明らかなように、脳細胞のミトコンドリアの機能障害がヒトの神経疾患の発症と関連があることからして、トリチウムの脳内への蓄積とトリチウムβ線への被曝がミトコンドリアの機能障害を 1 つの経路として、ヒトの広範な神経疾患と関連している可能性は否定できないと考えるべきであろう。このような観点からの、さらなる研究が必要である。

福島原発事故では、すでに検討したように 1.7PBq もの大量のトリチウムが現実放出されておいた。それが与える子供への精神発達への影響はすでに現れていると考えるべきである。この点に関しては、本章付論第 2 節で扱っている。

(4) 脂肪に取り込まれたトリチウムの特別の危険性その3——乳がん

脂肪に取り込まれたトリチウムの特別の危険性を表す病態の1つは、乳がんである。ここでは指摘するだけにとどめるが、トリチウムが脂肪組織に溜まりやすいという性質は、原発周辺の住民の乳がん発症が原発の稼働によるトリチウムの放出との関連を示唆する指標となり得ることを示している。ジェイ・マーティン・グールド氏が『低線量内部被曝の脅威—原子炉周辺の健康破壊と疫学的立証の記録』緑風出版（2011年）において、原発からの放射性物質の放出との関連を示すために、乳がんを選んだのは十分に根拠があることであったと考えられる。

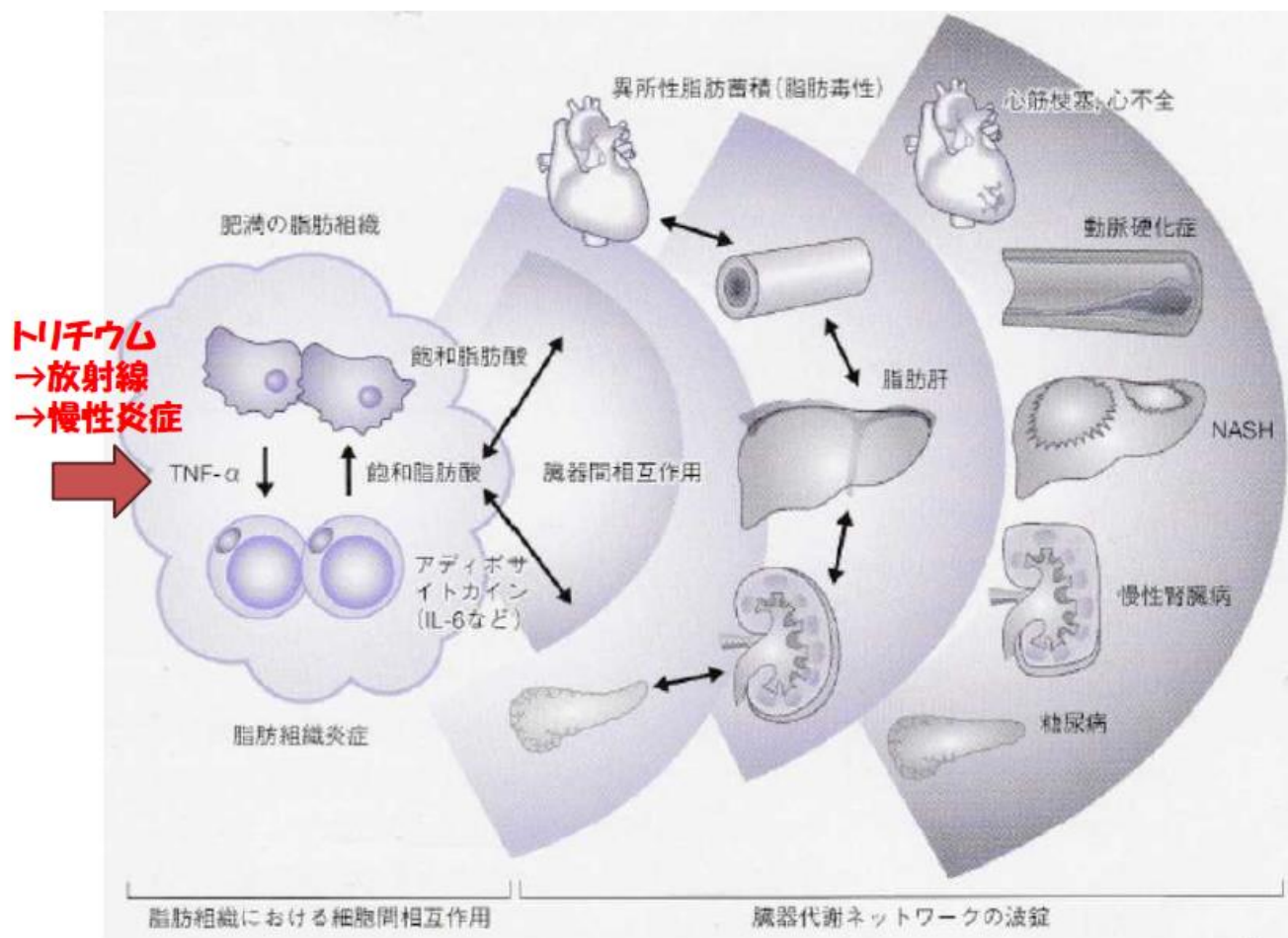
(5) 脂肪に取り込まれたトリチウムの特別の危険性 その4

——脂肪細胞・脂肪組織の炎症から糖尿病関連疾患へ

トリチウムの蓄積する生体部分の一つは、脂肪細胞からなる脂肪組織である。最近の病態学の研究成果の1つは、脂肪組織の炎症が引き金となって、「糖尿病関連疾患」として総括される、広範囲の代謝性症候群、狭義の糖尿病から始まり血管炎症や動脈硬化、心筋梗塞や心不全、脳梗塞、NASH（非アルコール性脂肪肝炎）、慢性腎炎などがどのように引き起こされるのか、そのメカニズムが解明されつつあることである（ここでは、小川佳宏・真鍋一郎編『慢性炎症と生活習慣病』南山堂〔2013年〕だけを挙げておこう）。

小川氏らによれば、肥満によって引き起こされる脂肪組織の慢性炎症が、サイトカインと血管炎症を介して、臓器間相互作用により伝播し、いままで統一的な理解が困難であったような、多様で複雑な代謝性症候群を引き起こすとされている。この機序は、脂肪組織に蓄積する傾向を持つトリチウムの被曝によるリスクの場合にぴったりとあてはまる（図 3-11）。

図 3-11 脂肪細胞の炎症が広範な糖尿病関連疾患の引き金になるメカニズム



出典：小川佳宏・真鍋一郎編『慢性炎症と生活習慣病』南山堂（2013年）

このような、脂肪組織に蓄積したトリチウムの被曝によるリスクは、前述した乳がんだけでなく、卵巣がん、精巣がんなどについても同じであると考えられる。

(6) 常在細菌叢の攪乱を通じた機序から考えられる健康影響

近年、人体の常在細菌叢とりわけ腸内細菌叢（フローラあるいはマイクロビオータとも呼ばれる）に関する分子生物学的手法を用いた基礎研究と臨床研究が進み、常在細菌・腸内細菌叢が宿主である人間との間で極めて広範囲から多様な相互作用を行い、複雑で重要な機能を担っていることが明らかになってきた。腸内細菌叢は、300～1000種の100兆個の細菌から構成され、人間の細胞数よりも多く、その重要な役割から「もう一つの臓器」と呼ばれるようにまでなっている。まだ未解明な部分も多いが、腸内細菌叢の *dysbiosis*（偏り、攪乱あるいは破綻と訳される）が、極めて様々な疾患や症状を現すこともまた解明されつつある。

このような腸内細菌叢に対して、病原菌、脂肪過多や食物繊維不足の食生活、食品添加物（サッカリン系甘味料、乳化剤など）、残留農薬、酸化ストレス、喫煙、飲酒、肥満、うつ、生活環境などだけでなく放射線が深刻な影響を及ぼすこともまた分かってきている。少なくとも以下の諸文献が放射線被曝による腸内細菌叢への影響を示している。

・高井大策「低線量率放射線長期連続照射が腸内細菌叢に与える影響」環境科学技術研究所政府・電力会社傘下の研究機関がマウスへの 15mGy (0.05mGy を 300 日) という低線量被曝において腸内細菌叢への放射線影響を認めた文献として重要である。

・Anton Lavrinienko et al, Environmental radiation alters the gut microbiome of the bank vole *Myodes glareolus*, *The ISME Journal* volume 12, pages2801–2806 (2018)

チェルノブイリの汚染地域のネズミによる放射線の腸内細菌叢への影響の研究。

・David Cacero et al, Space-type radiation induces multi-modal responses in the mouse gut microbiome and metabolome, *Microbiome* 20175:105

宇宙飛行士の被曝による腸内細菌叢の攪乱についての研究の一つ。宇宙飛行士の腸内細菌叢の影響の研究は多くあるようである。

・Harry Sokol, Timon Erik Adolph, The microbiota: an underestimated actor in radiation-induced lesions?, *BMJ* Volume 67, Issue 1

医療被曝による腸内細菌叢の攪乱の研究にかんする註釈がある。

・Shiran Gerassy-Vainberg et al, Radiation induces proinflammatory dysbiosis: transmission of inflammatory susceptibility by host cytokine induction, *BMJ Gut*. 2018 Jan;67(1):97-107. doi: 10.1136/gutjnl-2017-313789. Epub 2017 Apr 24

<https://gut.bmj.com/content/67/1/97>

医療被曝による腸内細菌叢の攪乱の代表的な研究の一つ。

・清野宏・植松智編『実験医学増刊 生体バリア』羊土社（2017年5月1日号）には医療用の放射線照射によって生じる「腸内細菌の組織侵襲」を含む「放射線性消化管症候群」が指摘されている（121～126）。

以上から、放射線被曝→腸内細菌叢の攪乱の連関と、腸内細菌叢の攪乱→広範囲の疾患・症状の連関を 1 つに結びつけることができ、放射線被曝→腸内細菌叢の攪乱→広範囲の疾患・症状という機序を考えることが十分に可能であると結論できる。もちろん、トリチウム水の日常的飲用や、有機結合トリチウム食材の日常的摂取が、ヒトの腸内細菌叢にいかなる影響を及ぼすか、これらはまだ解明の途上であり、まだ十分に検討できていない。ただトリチウムが今まで見てきたようにこの過程に深く関わる可能性があることは明らかである。

また、腸内細菌種には嫌気性の細菌が多く、またその嫌気性の度合いには相違があることから、①食品中の放射性物質による活性酸素・フリーラジカルの産生により、②放射線被曝に起因して体内で酸化ストレスが生じる場合、腸管壁から腸管内に溶出する活性酸素・フリーラジカルにより、腸内細菌のバランスが攪乱される可能性が容易に示唆される。

常在細菌叢とりわけ腸内細菌叢への損傷の影響がいかに広いかについては、以下の表 3-3

と図 3-12 が示している。

表 3-3 常在細菌叢・腸内細菌叢の攪乱によってもたらされる種々の疾患と症状

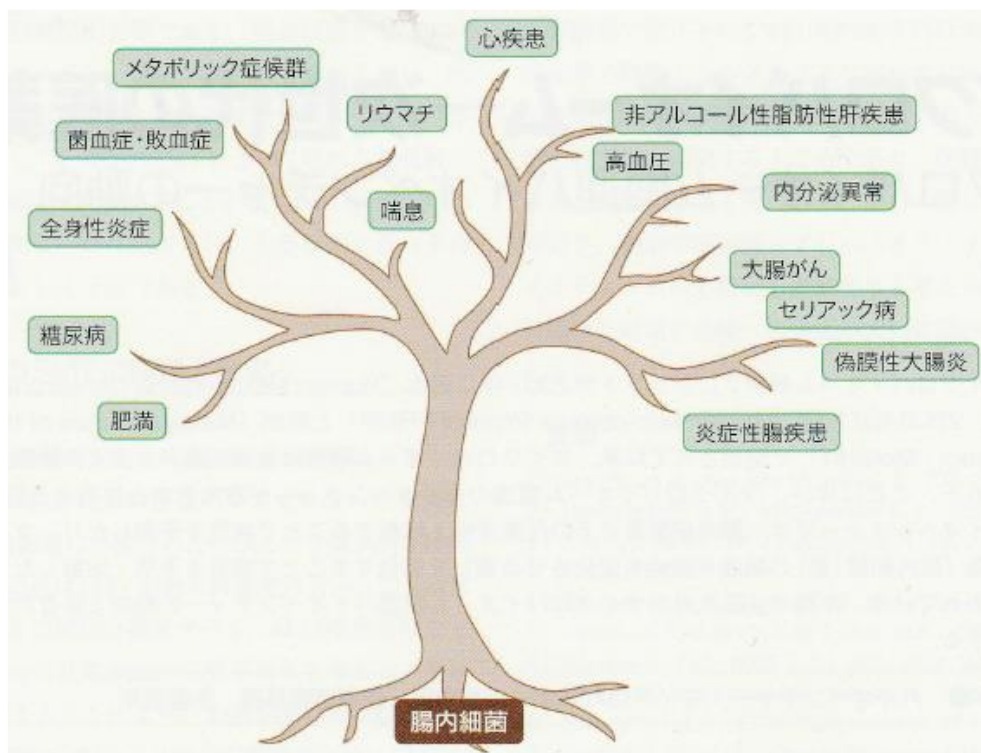
分類	疾患・症状
がん	(好発部位として) 大腸がん、肝がん
代謝性疾患	過食・肥満、1 型および 2 型糖尿病、メタボリックシンドローム (代謝性症候群)
脳・神経系	多発性硬化症 (MS)、自閉症スペクトル障害、脳出血増悪、脳内微小出血 (健常者)、アルツハイマー病、認知症、うつ・不安障害 (不安症には全般不安症・社交不安症・パニック症・強迫症が含まれる*)、パーキンソン病
腸疾患	過敏性腸症候群、炎症性腸疾患、潰瘍性大腸炎、クローン病、小腸障害、慢性便秘症、盲腸炎・虫垂炎、偽膜性大腸炎 (腸粘膜に偽膜形成をみる抗菌薬起因性腸炎)、下痢・出血・腸内細菌の組織侵襲・感染症・敗血症など放射線性消化管症候群
自己免疫疾患	小児アレルギー疾患、リウマチ、喘息、アトピー性皮膚炎
肝疾患	アルコール性肝障害、非アルコール性脂肪性肝疾患 (NAFLD)、肝硬変、原発性硬化性胆管炎
循環器疾患	動脈硬化症、動脈硬化粥腫破綻の血栓性閉塞、脳梗塞、虚血性心疾患、高血圧、感染性心内膜炎
腎臓	IgA 腎症
産科・生殖器	早産、性感染症への易感染性
小児	セリアック症候群 (小児脂肪便症)
全身性ほか	全身性炎症、菌血症・敗血症

注記:「自閉症スペクトル (スペクトラム) 障害」とは、従来からの自閉症に、関連する様々なコミュニケーションや言語に関する症状など低次の発達障害症状を含む分類である。

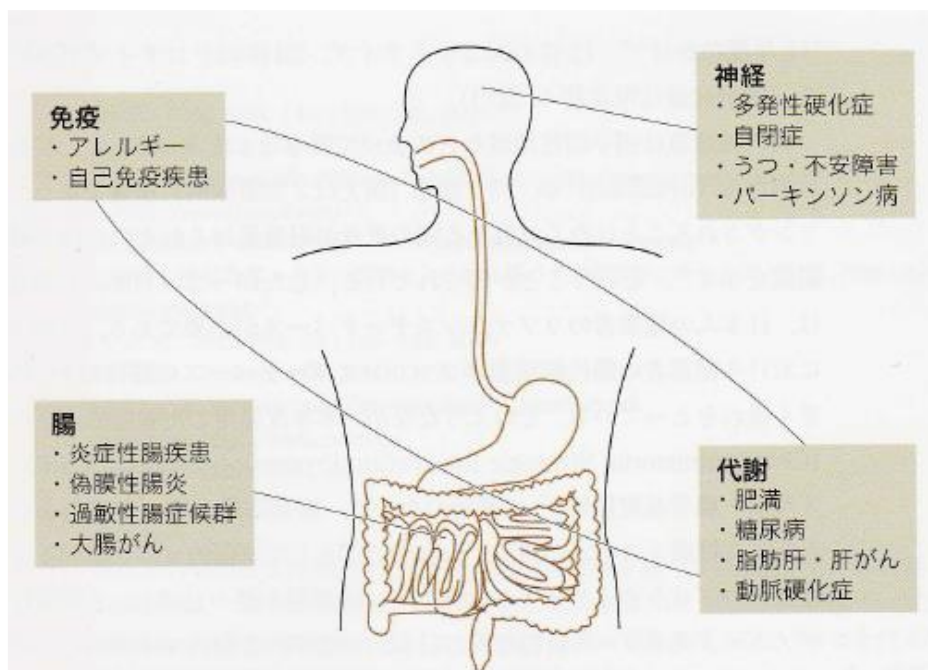
出典: 安藤朗企画『週刊医学のあゆみ特集 腸内細菌と臨床医学』医歯薬出版 (2018 年 1 月 6 日号)、福田真嗣企画『実験医学 特集 明かされるもう一つの臓器 腸内細菌叢を制御せよ!』羊土社 (2016 年 4 月号)、清野宏・植松智編『実験医学増刊 生体バリア』羊土社 (2017 年 5 月 1 日号)、大野博司編集『実験医学増刊 腸内細菌叢 健康と疾患を制御するエコシステム』羊土社 (2019 年 2 月号)、Nicholas M Vogt et al., Gut microbiome alterations in Alzheimer's disease, Scientific Reports, 19 Oct 2017、Naoki Saji et al., Analysis of the relationship between the gut microbiome and dementia: a cross-sectional study conducted in Japan, Scientific Reports, 30 Jan 2019、に言及がある疾患・症状を筆者がリスト化した。

*浦部晶夫ほか編『今日の治療薬 解説と便覧 2018 年』886 ページ

図 3-12 腸内細菌叢と関連する主な疾患



出典：金倫基「マイクロバイオーム——次世代の医薬品」より、福田真嗣企画『実験医学 特集 明かされるもう一つの臓器 腸内細菌叢を制御せよ！』羊土社（2016年4月号）904ページ



出典：大野博司編集『実験医学増刊 腸内細菌叢 健康と疾患を制御するエコシステム』羊土社（2019年2月号）13ページ

第3章付論 日本政府・政府側専門家による胎内被曝影響および遺伝的影響が事実上「ない」という虚偽主張について

日本政府・政府側専門家の最も危険な議論の一つは、福島事故被曝による胎内被曝影響が「ない」だけでなく、遺伝的影響（遺伝性影響あるいは継世代影響ともいう）についてそのような影響そのものが「ない」という主張である。たとえば、日本学術会議の文書「子供の放射線被ばくの影響と今後の課題」（2017年）や復興庁文書「風評払拭・リスクコミュニケーション強化戦略」（2017年）は、明確にそのような見解を表明している。また放射線の遺伝的影響が「ある」という見解自体が「風評」を流布するものであると主張されている*。ヒトについて放射線被曝の遺伝的影響は「ない」という見解は、その後一貫して、日本政府の放射線被曝に対する政策の大前提となっている。

*これらの文書の批判は以下のサイトでダウンロードできる。参照いただければ幸いである。

<http://blog.torikaesu.net/?eid=68>

<http://blog.torikaesu.net/?eid=71>

<http://blog.torikaesu.net/?eid=73>

これは、全くの虚偽主張であるだけでなく、日本国民あるいは「民族」の将来にとって極めて深刻な危険性をはらんでいる。以下に少し詳しく検討しよう。

第1節 UNSCEAR2001年報告の不誠実な引用

学術会議報告は、UNSCEARやICRPなどの報告書が「健康影響に関する科学的根拠」である（ii ページ、2 ページ）として、真理の基準を、科学や科学研究それ自体ではなく、外的な権威に求めている。いわば「国際権威主義」を振り回している。これは、科学のもつ客観性を頭からの否定するものである。だが、この点の検討の前に、まず学術会議報告が、自分の「科学的根拠」である「はず」のUNSCEARなどの報告書を、不正確どころか極めて不誠実にかつ歪めて引用している事実を指摘しなければならない。悪質極まる研究不正として断罪されるべきであるという他ない。

放射線の遺伝性影響が人間について「ある」か「ない」かという根本問題について、学術会議報告は、UNSCEAR 2001年報告に依拠するとして以下のように述べている。

「原爆被爆者二世をはじめとして、多くの調査があるが、放射線被ばくに起因するヒトの遺伝性影響を示す証拠は報告されていない」（3 ページ）と。

学術会議報告はこの部分を UNSCEAR 報告書から「引用」している。これだけ見ると、読者には、UNSCEAR は遺伝性影響が「ない」と主張していると思われるであろう。とこ

ろが、元の UNSCEAR の報告書の方は、学術会議報告が引用した内容を述べた後すぐ続けて、結論として次のように結んでいる。

「しかし、植物や動物での実証研究で、放射線は遺伝性影響を誘発することが明確に示されている。ヒトがこの点で例外であることはなさそうである」(UNSCEAR2001 年報告書『放射線の遺伝的影響』9 ページ、100 ページ) と。

つまり、UNSCEAR 報告は、放射線の遺伝性影響は、動植物の場合と同様に、人間についても「証拠は報告されていない」が「ヒトが例外であることはなさそうである」すなわち「ある」可能性が高いというのである。人間の遺伝性影響は「ない」を強く示唆する学術会議報告は、UNSCEAR と「全く反対の」評価をしているのである。

第 2 節 胎児影響の存在は実証されている

学術会議報告は、日本産科婦人科学会の決定を引用しながら、

①「福島原発事故に起因しうると考えられる胚や胎児の吸収線量は胎児影響の発生のしきい値よりはるかに低い」、

②したがって「胎児への影響は心配ない」、

③「死産、早産、低出生時体重および先天性異常の発生率に事故の影響が見られないことが証明された」と書いている (9 ページ)。

この 3 点とも、はっきりと虚偽の主張である。

①について:学術会議は「しきい値」について言及しながら具体的な数値を挙げていない。これについて医学生向けの代表的な教科書の一つ、キース・L・ムーア氏編集の『人体発生学』医歯薬出版(邦訳 2015 年)を見てみよう。そこでは、「妊娠全期間を通じて妊婦が照射されてもよい放射線は、全身照射量として、500 ミリラド (0.5 ラド=5mSv) が限界である」と明記されている(邦訳 459 ページ)。これはヒトの妊娠期間を 266 日として計算すると年間換算で約 6.9mSv となる。日本政府は、年間 20mSv までの放射線被曝を居住可としているのであるから、妊婦が居住すればわずか 4 ヶ月で到達してしまう水準である。

日本学術会議も日本産科婦人科学会も、もし自分の主張に忠実であるならば、年間 6.9mSv を超える汚染区域への妊婦の帰還は胎児影響のリスクが「ある」と言わなければならないはずなのである。彼らの主張ははっきり不誠実である。

しかも、以下に見るように「しきい値」の存在を一方的に検証なしに断定することはできないのである。

また、毒物学(毒性学)の原則として、「心配がない」と判断するためには安全側に余裕を持たせて「安全係数」をとらなければならない。一般的に言っても、胎児や妊婦の命を預かる医師や学者の団体として当然の義務であろう。安全係数は、普通「最小無毒性量」の 100

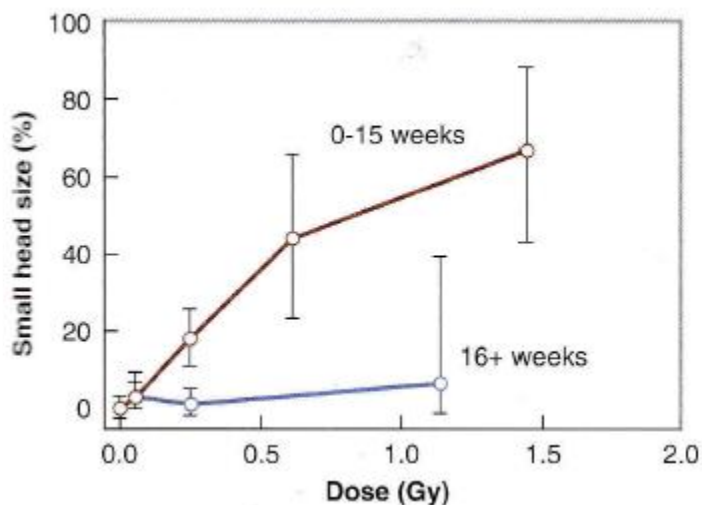
分の1である（「最小毒性量」の場合は1000分の1）*。したがって、この場合は0.069mSv/y程度となるであろう。

*日本トキシコロジー学会教育委員会編集『トキシコロジー』朝倉書店（2009年）4ページ

以上から、「胎児への影響は心配ない」としたこれら組織の責任は、厳しく追及されなければならないし、厳しく追及されることになるであろう。

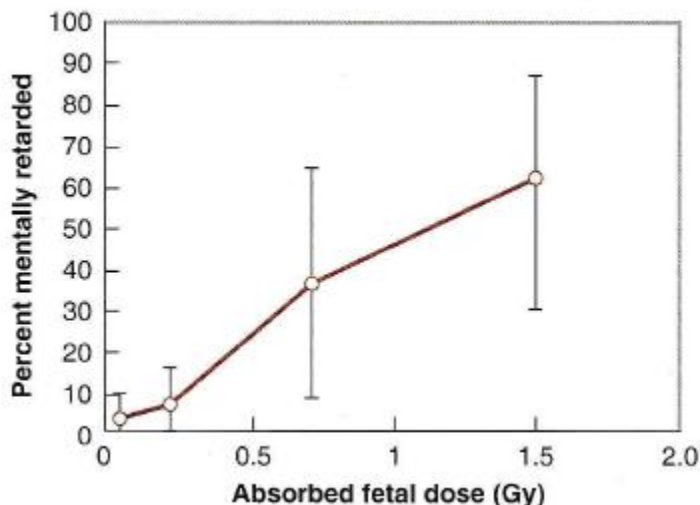
②について：学術会議報告自体が、この「胎児への影響は心配ない」との評価を述べながら、一方では、それに全く反する形で「臓器の奇形発生」「生後の精神発達遅滞」「小頭症」を胎児影響の具体的形態として挙げている（3ページ）。欧米で一般的に使われている大学の教科書、エリック・ホール氏らの『放射線医のための放射線生物学』（英文）を見てみよう。それによれば、母胎内で被爆して出生した被爆者の調査は、小頭症と知的障害（精神発達遅滞）について、放射線影響を明確に認めているだけでなく、小頭症については「しきい値がない」（低線量でも発症が被曝量に比例する）可能性が高いことを指摘している（179～182ページ）。また同書の図を見る限り、精神発達遅滞についても、しきい値がない可能性が示されている（図3付-1および2）。したがって「影響は心配ない」とは決していえないのである。

図3付-1 小頭症と被曝量の相関



出典：エリック・ホール『放射線医のための放射線生物学 第8版』（英文）183ページ

図 3 付-2 精神発達遅滞の割合と被曝量との関連



出典：エリック・ホール『放射線医のための放射線生物学 第8版』（英文）183 ページ

エリック・ホール氏の同書は、医療被曝した患者の事後研究によって、上の 2 例に加えて、さらに二分脊椎、両側内反足（足の奇形）、頭蓋骨の形成異常、上肢（腕）奇形、水頭症、頭皮脱毛症、斜視、先天性失明など、多くの被曝に起因すると思われる先天性異常が報告されていると明確に記載している。これらについて学術会議報告は何の言及もなく、「影響が見られないことが証明された」とはいえないことが明らかである。

③について：この点に関しては東京五輪の危険を訴える市民の会編『東京五輪がもたらす危険——いまそこにある放射能と健康被害』緑風出版（2019年）第3部第2章「がん、白血病・血液がん、子どもの発達障害の多発」を参照願いたい。

福島原発事故において胎児への「影響が見られないことが証明された」という主張は明らかに虚偽主張である。ここでは詳論できないが、Hagen Scherb氏と森国悦・林敬次氏の共著によれば、福島原発事故からおおよそ10ヵ月後に、福島とその近隣5県（岩手・宮城・福島・茨城・栃木・群馬）で周産期死亡率が急増していることが明らかになっている*。

*<http://ebm-jp.com/2016/10/media2016002/>

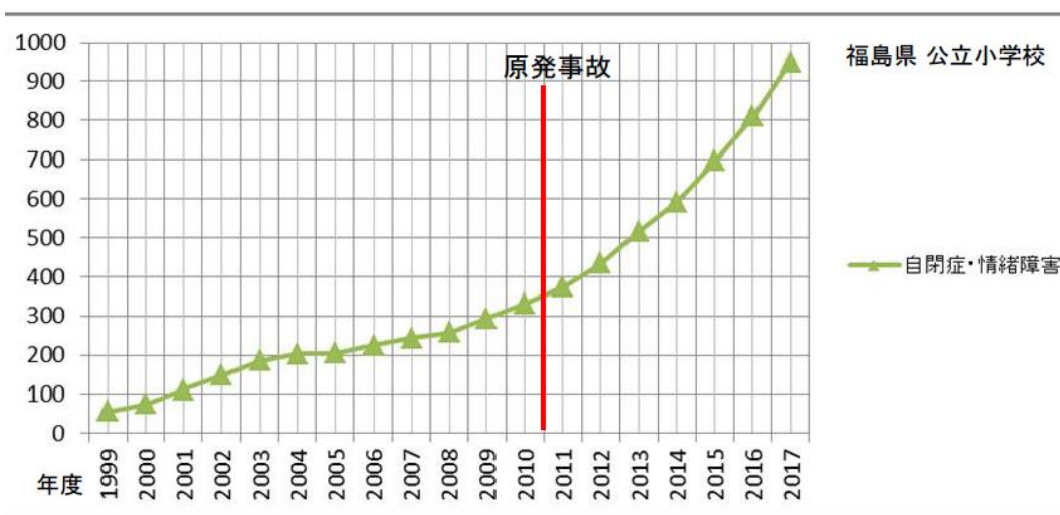
精神発達遅滞（現在の表現では発達障害）に関連しても、胎内被曝の影響と直接的な関連はないが、示唆的な関連データはある。福島県が発表している「学校統計要覧 平成29年度（2017年度）」では、小学校での「特別支援」の児童・生徒数は、事故前の2010年度の1,211人から事故6年後の2017年度までに2,270人へと1.87倍に、中学校では同期間に607人から923人へと1.52倍に増えている。そのうち「知的障害」では小学校で同期間に864人から1,289人へと1.49倍に、中学校では466人から585人へと1.26倍に、「自閉症・情緒障害」では増加はさらに顕著であり、小学校で332人から950人へと2.86倍に、中学校では127人から332人へと2.61倍に増えている*。このように、放射線との関連が考えられる

「精神発達遅滞」の徴候は、福島県自身の学校統計調査によってさえ、はっきり現れているのである（図3付-3）。

*<https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/258509.pdf>

図3付-3

子供たちの精神的発達に異常事態が生じている



学校基本統計調査（福島県）に見る特別支援の児童数「自閉症・情緒障害」の件数

福島県において子供の精神的な障害が多発していることは、すでに周知のこととなっている。これまで「風評被害」をさかんに攻撃してきた読売系の『福島民友』紙は、次のように書いて「子供を取り巻く問題の深刻化」を認め「今後も患者数は増える」と予測している。「(福島) 県立矢吹病院（矢吹町）にある精神科子ども専門外来『児童思春期外来』の昨年度の延べ患者数は2270人で、過去最多を更新したことが県のまとめで分かった（図3付-4）。県は、医師を増員して診察日を増やしたことや子どもを取り巻く問題の深刻化などが要因と分析。今後も患者数は増えるの見込み、医療スタッフの増員などさらなる対応力の強化を急ぐ」と*。

* 『精神科子ども外来』患者増加対応急ぐ 県立矢吹病院で過去最多 2018年12月16日 福島民友ネット <http://www.minyu-net.com/news/news/FM20181216-334643.php>

図3付-4 精神科子ども専門外来の患者数急増を報道する読売新聞の記事より



福島県内や周辺諸県において幼稚園や保育所での綿密な調査を行えば、胎内被曝についてもはっきりその傾向が分かるはずである。発達障害が問題になっているのであるから、数十年にわたる長期的で系統的な調査を行う必要性を提起することもせずに、胎児被害が「ない」ことが事故から数年後の段階ですでに「証明された」という主張は、デマ以外の何物でもない。学術会議は国際原子力マフィアの手先となり、放射線被曝影響に関してデマゴギー（デマによる支配）の一機関に墮落しようとしていると論難されてもやむを得ない。

第3節 被曝2世調査でヒトについての遺伝的影響全体を否定することはできない

もう一点、ヒトに関する遺伝的影響を否定する際に広島・長崎の被曝2世の調査がよく引用されるが、これはヒトについての遺伝的影響を調べた「唯一の」研究では「ない」。日本で広く使われている放射線医学の教科書の一つ、青山喬・丹羽太貫監修の『放射線基礎医学』（現在第12版）は、「放射線の遺伝的影響について人類を対象にした研究」の一覧を掲載している（417ページ）。掲げられている研究20件のうち、遺伝的影響が「ある」か「ある可能性がある」という結果が10件の研究で報告されている（表3付-1）。しかも、「ない」か「ない可能性がある」という結果を示したのは同表では被曝2世調査だけであ

る。したがって被爆2世調査だけを根拠に遺伝的影響全体を全否定するという論理が本来なりたない。ということは明らかであろう。

表3付-1 放射線の遺伝的影響について人類を対象にした研究 —— 医学生向けの教科書『放射線基礎医学』では人を対象とした遺伝的影響の研究の半数が遺伝的影響の可能性を認めていることが示されている

著者	対象	結果	備考
影響を認めた研究			
Macht & Lawrence 1955	米国放射線医の子	+ (?)	正常出産の頻度
Turpinら 1956	治療のためにX線を受けた患者の子 (フランス)	+	性比の偏り
Neel & Schull 1956, 1958	広島、長崎原爆被爆生存者の子	- & +	性比について検討して有意性を見出した
田中と大倉 1958	日本の勤続25年以上のX線技師の子	+	性比の上昇
北島ら 1959	愛知県下の放射線関係者の子	+	性比の上昇
Gentryら 1959	N.Y.州の住民、バックグランド放射線との関係	+ (?)	奇形の頻度
Tanaka 1963	日本の全X線技師の子と孫	+	性比の偏り
Sholte & Sobels 1964	治療のためにX線を受けた患者の子 (オランダ)	+	性比の偏り
Cox 1964	先天性股脱のため頻回X線診断を受けた婦人の子	+	性比の低下と男児の出生時体重の低下
Dubrovaら 1996	チェルノブイリ事故の汚染地域住民の子供	+	ミニサテライト変異
影響を認めなかった研究			
Neelら 1975	原爆生存者の子	-	死亡率 (平均17歳まで)
Schullら 1981	原爆生存者の子	(-)	死産、乳幼児死亡、染色体異常などから倍加線量の下限を1.56Svと推定
Awaら 1987	原爆生存者の子	-	染色体異常の頻度
Neelら 1988	原爆生存者の子	-	蛋白の電荷と機能を変化させる突然変異
Otakeら 1990	原爆生存者の子	-	先天性奇形、死産、新生児死亡

Yoshimotoら 1990	原爆生存者の子	—	子どものがん
Neelら 1990	原爆生存者の子	(-)	倍加線量の下限の推定、低線量率では3.4~4.5Sv
Kodaira 1995	原爆生存者の子	(-)	ミニサテライト変異

出典：青山喬・丹羽太貫監修『放射線基礎医学』金芳堂（2013年）417ページ

第4節 ICRP も UNSCEAR も人間の遺伝性影響の存在を認めている

国際放射線防護委員会（ICRP）2007年勧告は、放射線の遺伝性影響の存在を明確に認めている。同勧告は、遺伝性のリスクを1万人・Svあたり20例、うち致死性を80%の16例、非致死性（つまり生児出産）を20%の4例と推計し明記している（143ページ、表としては139ページなど、またこれは線量線量率係数 DDREF=2の下でのことなので、低線量に関する評価である）。だが、学会報告はこの点をまったく無視している。

さらに、UNSCEAR や ICRP は、遺伝性影響について、倍加線量（DD）という基本概念を提起しているが、学会報告はこれも無視している。これら国際機関によれば、倍加線量は1Gyと推計され（UNSCEAR 推計の中央値は0.82Gy）、この量の被曝により、自然的に発生する突然変異発生率と同率の（あるいは100万人あたりで自然発生数と同数の）突然変異が誘発されると考えられている（UNSCEAR 前掲書101ページ、ICRP 前掲書175ページ）。

現在の日本の年間出生数はおよそ100万人なので、UNSCEARの「先天異常」の自然発生確率6%（UNSCEAR 前掲書100ページ）を採用すると、自然発生的な先天異常の生児は年間約6万人となる。LNTを前提しDD=1Svを用いると、政府がそれ以下では放射線影響が「ない」と言う100mSv（これはうそであるが）を日本の妊娠可能女性全体が被曝したと仮定した場合、上記（100万×6%=6万人）の10分の1の約6000人に先天異常の過剰発生が予想される。政府の帰還基準の年間20mSvとして年1200人程、公衆の被曝基準の年間1mSvとしても年60人程に先天異常の過剰発生が想定される。UNSCEARによれば、放射線被曝によって先天性異常の発生が「ない」ということには決してならないのである。

UNSCEAR2001は、自然発生のいろいろな遺伝性の「慢性疾患」を持つ生児出産数を改訂して、生児出生全体の65%と推計している。これは非常に高い水準であり、放射線被曝や環境汚染などの複合要因による現実の上昇を反映しているものと思われる。この数字にしたがえば、日本での年間出生数およそ100万人あたり65万人である。したがってこの場合も、LNTを前提すれば、100mSv被曝で約6.5万人（合計で72.5万人）、年間20mSvで年約1.3万人、年間1mSvでさえ年650人の過剰発生となる。

もちろん、UNSCEAR2001は、倍加線量の場合にも、この予測される数値に、さらに「突然変異成分」と「潜在的改修能補正係数」を掛けて係数操作し、先天異常について上記の4.5

～9%に、慢性疾患については0.04～0.18%にしている。それでも、親の被曝1Gyに対して出生100万人あたり合計で3000～4700人の遺伝性影響を推計している（UNSCEAR2001報告94～95ページ）。

係数補正後でさえ、被曝量100mSvでは300～470人、年間20mSvの場合はこの1Gyの50分の1であるので、年間の被曝に対して60～94人である。UNSCEARに基づく限り遺伝性影響は「ある」という結論が出てくるのである。

このように、UNSCEARやICRPなどの国際機関の評価によれば、遺伝性影響のリスクは決して「ゼロではない」。見てきたようにかなりのレベルである。学会報告が試みている「ヒトでは遺伝性影響がない」「(福島事故では)胎児影響はないことが証明されている」という議論の方向付けは、明らかに、学会報告が「科学的根拠」と称する国際機関の見解にさえ真っ向から違反する、完全なうそであるといわざるをえない。

第5節 UNSCEARによる遺伝的影響の過小評価とECRRによる補正の試み

もちろん、これら国際機関のリスクモデルには大きな過小評価がある。欧州放射線リスク委員会（ECRR）によれば、遺伝性影響の分野ではとくに大きく、2000分の1から700分の1程度の過小評価があるとされる（『2010年勧告』邦訳221ページ）。

また、学会報告が無視している問題として、放射線被曝による精子・卵子への影響とくに精子数の低下、受胎数・妊娠数の減少、流産・死産の増加、それらの結果としての出生数の低下などの被曝影響がある。

だが、今は遺伝性影響が「ある」か「ない」かが問題であり、過小評価の度合いの詳しい検討は別稿に譲るほかないが、以下の点だけを確認しておきたい。

放射線被曝の遺伝的影響に関してはインゲ・シュミット＝フォイエルハーケ氏らの論文*が注目される。彼らは低線量放射線被曝の遺伝的影響の文献を調査し、広島・長崎の原爆被曝者を調べたABCCの遺伝的影響の調査は信頼性がないと結論している。その理由として、遺伝的影響の線量応答が線形であるという仮定自体が間違いであることを指摘している。そしてチェルノブイリの被曝データから新しい先天性奇形に対する相対過剰リスク（ERR）はギリシャなど積算1mSvの低被曝地においては1mSvあたり0.5であり、10mSvの高い被曝地では1mSvあたりERRが0.1に下がるという。おおまかにはすべての先天異常を含めて積算線量10mSvにつき相対過剰リスクが1という結論である。積算10mSvで先天異常が2倍になるというのは大変なことである。

*Inge Schmitz-Feuerhake, Christopher Busby, Sebastian Pflugbeil, Genetic radiation risks: a neglected topic in the low dose debate. Environmental Health and Toxicology, vol.31, Article ID e2016001

<http://dx.doi.org/10.5620/eh.t.e2016001>

同氏らは、10mSv以上の被曝では、胚が死んでしまう結果、リスクが減少するという現象が観測され、それによって線型モデルを前提にする限り、遺伝性影響が「ない」という誤った結論がもたらされると指摘している。

第6節 最新の『放射線医科学の事典』（2019年）における継世代影響の評価

最新の放射線医学についての概括的著作、大西武雄監修『放射線医科学の事典』朝倉書店（2019年）は、チェルノブイリ事故での被曝者の最新の調査に基づいて、「継世代への影響」が「ある」ことを明確に認めている。同項目（「継世代への影響」）の執筆者、野村大成氏は、以下のように書いている（173～174ページ）。

「ヒト集団においては放射線による遺伝性影響はいまだ明確にされていないが、チェルノブイリ原発事故直後よりロシア政府は汚染地域に住む約10万人の小児の健康調査と治療を行い、被ばく住民の子孫には、先天異常・がん・内分泌／消化器／循環器／神経系などの疾患の増加が近年報告されるようになった。とくに小児期被ばく者で甲状腺がんが増加しているのに対し、被ばく者の子孫には造血器系・中枢神経系などにいわゆる小児期に特異的ながんが発症している傾向が見られる。」

「ミニサテライト変異などを用いた分子疫学調査では、チェルノブイリ原発事故における兵士、消防士など事故処理作業に従事した人々などの直接的被ばく者の子孫には遺伝子変異の増加はみられず、（チェルノブイリの）被ばく住民の子孫には有意の突然変異の増加が報告されている。」

前掲書は、政府側専門家として有名な甲斐倫明氏が編集・執筆者の1員に入り、これまた政府側として有名な明石真言氏や大津留晶氏、鈴木元氏らも執筆者に加わった共同著作である。そのような著作が継世代影響すなわち遺伝的影響を認めた意味は極めて重要である。つまり専門家レベルでは、ヒトについて放射線被曝による継世代影響（遺伝的影響と言おうと遺伝性影響と言おうと同じことである）が実際に「ある」か最低でも「ある可能性がある」ということは「既知の事実」なのである。

最近、読売新聞は、この問題に関する論説委員のコメントを載せ、福島原発事故に関して「将来生まれてくる子孫の健康に影響があるか」との質問に対して、「国民の4割」が「可能性は高い」などと回答したこと（環境省調査）を取り上げている。同論説によれば、これは国民の間に「放射線を巡る根深い誤解」があることを示しており、「風評」の

結果だとしている。そしてこの「4割」という割合を「2割に引き下げる」ことを目標に情報発信を強化すべきだとしている（読売新聞2021年7月24日付*）。

*読売新聞オンライン 「放射線を巡る根深い誤解」 2021年7月24日

<https://www.yomiuri.co.jp/science/20210724-OYT1T50182/>

指摘されている事実は、極めて重要である。それは、国民の多くが自然発生的に正しい「感覚」を持ち、正しい判断をしているということ、しかも、おそらくは国民の多くにそのように感じさせる何か、遺伝的影響の端緒的諸現象が現に広く生じている客観的な事実があることを示唆している。また、本論考で見えてきたような政府や専門家による「うそをうそで塗り固める」というようなやり方が、かえって広範な国民の不信を招いており、原発推進派の先頭に立つ読売新聞をも慨嘆させるような状態を生みだしていることを図らずも明らかに示している。

第4章 トリチウムの危険性（リスク）の量的側面、恐るべき人為的過小評価

いままで、主として、トリチウムの放射線エネルギーの相対的な低さと飛程の短さに由来する、またトリチウムが水素の同位体であること等から生じる、トリチウムの「特別な」危険性の質的側面をいわば「定性的に」検討してきた。ここからは、この特殊性の量的側面、フェアリー氏の適切な表現を借りれば「危険度」*を考えていこう。

*翻訳者として付言すれば、フェアリー氏は、危険 hazard の複数形 hazards を使っており、それによって危険の程度や数値を表していると解される。

ここでは、大きく言って4つの点を検討する。第1は、UNSCEARがトリチウム放出の場合のリスクを集団線量として試算し公表している事実があり、政府・専門家が主張する「トリチウム放出無害論」と真っ向から矛盾するという点である（第1節）。第2点は、ICRPのトリチウムの線量評価（ドシメトリー）の体系——トリチウムの危険度やリスクを過小に評価する体系——線質係数・生物学的効果比・線量係数をはじめ各種の係数操作の体系（とりわけ線量係数）を分析し、それらによるリスクの過小評価の程度を大まかにでも明らかにすることである（第2～6節および第9～14節）。第3点は、少し余談だが、この点から見た放出するトリチウム水は「飲む」という麻生副首相発言の意味である（第7・8節）。第4点は、これらの諸要因を考慮した場合、UNSCEARの集団線量リスク係数から、事故原発からのトリチウムの放出について、どのような危険度が導き出されるであろうかということの大まかにでも推計することである（第15節）。

数字が多く出て読みづらく感じる場合、読み飛ばしても論の展開上大きな支障はない。

第1節 UNSCEARによるトリチウム放出の集団線量リスク係数

UNSCEARは、「福島原発事故では被曝被害は識別できない」「放射線影響で福島の子供の甲状腺がんは見られそうにない」と主張するなど、「似非科学」に基づいて放射線被曝被害を否定し正当化する国際的なデマゴギー機関に成り下がっていると言われても仕方がない。だが、UNSCEARの見解は、トリチウムの被曝リスク係数を極度に小さく設定し「ゼロ」に近い水準にまで引き下げているが、それでも日本政府や政府側専門家たちとは違って、トリチウムの被曝リスクや被曝の危険性を決して「ゼロ」とはしていない。それが、世界の住民の被害リスクを明確にした上で放出を正当化するという露骨極まる政策の反映であるのか、被曝被害の否定と住民への被曝強要という基本線を隠すための「イチジクの葉」であるのか、二面性あるいは二枚舌と言うべき自己矛盾の偶然の露見であるのか、見極めるのは困難であるが。

もちろん、以下に見るように、UNSCEARのトリチウムリスク係数は、極度に著しい過

小評価であり、法外に小さい数字に矮小化されている。だが、リスクは「ある」とされている。このことは重要である。過小評価の度合いについては後に検討するが、ここでは、UNSCEAR のリスク係数に基づいて、実際にトリチウム放出による世界的規模の「健康被害が想定できる」ということが重要である。以下にそのことを示そう。

UNSCEAR1993 および同 2008 によるトリチウムの被曝リスクは、放出量 1PBq 当たりの集団線量で計算されており、この点が注目される。日本原子力開発機構のウェブサイト Atomica によれば、「集団線量」とは、「集団をつくる住民あるいは放射線業務従事者一人一人が受けた放射線量をその集団全体について合計したもの」で、「人の集団中に確率的影響が発生すると予想される数は、被ばく人数と平均線量の両方に比例すると考えられる」ので、「集団の中に生ずる放射線被ばくに伴う損害を測る尺度として用いられる」とされている。(Atomica「集団線量」*)。

*https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_09-04-02-10.html

UNSCEAR によるトリチウム放出のリスク係数（世界に対する集団線量）は以下の通りである（表 4-1）。付言すれば、トリチウムの危険性について「過度に強調する」として西尾氏を批判している元 NUMO 理事の河田東海夫氏は、危険性を「適度に強調する」としてこの UNSCEAR の集団線量リスク係数を引用すべきであった「はず」である。

表 4-1 UNSCEAR によるトリチウムのリスク係数（放出量 1PBq 当たりの集団線量 [人・Sv]）

	放出の種類	UNSCEAR1993 のリスク	UNSCEAR2008 のリスク
トリチウム	大気放出	11	2.1
	液体放出	0.81	0.65

出典：UNSCEAR1993 報告書 AnnexB 表 41、UNSCEAR2008 報告書 AnnexB 表 2

ICRP2007 が掲げている、放射線の確率的影響のリスク係数をベースとすると仮定しよう（表 4-2）。ICRP が認めている低線量被曝リスクはがんと遺伝性影響だけである。

表 4-2 ICRP2007 年勧告の想定する集団線量 1 人・Sv 当たりの発症・致死リスク（人）

リスク種類	固形がん発症	うち致死性	白血病発症	うち致死性	遺伝性致死	遺伝非致死
リスク係数	0.165	0.037	0.0042	0.0028	0.0016	0.0004

注記：ICRP2007 年勧告 138～139 ページの表 A.4.2 により筆者が計算。ICRP は万人・Sv 当たりのリスクで表示されているので人・Sv に換算した。ICRP は遺伝性リスクを致死性と非致死性に分けている。大まかに、前者は流・死産の場合、後者は生児出産すなわち遺伝性障害をもつ子供の出産の場合と考えることができる。

世界の放出量については、上で検討したように、単純化のため、まだしも不確実性の低い

と考えられる液体放出量をベースにし、大気中放出量を大体それと同じと推計し、 $23\text{PBq} + 23\text{PBq} = 46\text{PBq}$ であると仮定しよう。UNSCEAR1993 によるトリチウムのリスク係数を使うとトリチウム放出量 1PBq 当たりの被曝被害は、両者を掛けて、以下の通り想定されることになる（表 4-3）。

表 4-3 UNSCEAR1993 のトリチウム放出のリスク係数による世界の被害想定(年間、人)

放出種類	固形がん発症	同致死	白血病発症	同致死	遺伝性致死	遺伝非致死
液体リスク	0.134	0.03	0.0034	0.00227	0.0013	0.00032
気体リスク	1.852	0.407	0.0462	0.0308	0.0176	0.0044
合計(年間)	1.986	0.41	0.0496	0.0331	0.0189	0.00472
液体 23PBq	45.7	9.4	1.1	0.76	0.435	0.11
(参考 50 年)	(2290)	(470)	(55)	(38)	(22)	(6)

注記：世界のトリチウム液体放出量 23PBq から、大気中放出量も同じ規模と仮定して、筆者が計算。

ここでは、予測される被害の規模ではなく、UNSCEAR のトリチウムリスク係数および ICRP の放射線確率的影響リスク係数に従ったとしても、トリチウム放出により被害が「ある」というリスクが十分に想定されるという事実が重要である。トリチウムの「特別の」危険性を指摘する人々を、政府側専門家たちは「過度に」リスクを煽っていると批判するが、もしそうなら「過度ではない」「適度の」リスクはこれだと言わなければならないはずであろう。その場合には、UNSCEAR の係数が当然参照されなければならないはずである。だが、ほとんど誰もこのことに言及しない。なぜであろうか？

UNSCEAR・ICRP のリスク係数自体が、現在の規模でのトリチウム放出が年間約 50 人のがん発症と約 10 人のがん致死という、「ゼロに近い」とは決して言えない被曝被害をもたらしている可能性があることを十分に示しているからである。日本政府や政府側専門家が示唆しているトリチウムの被曝リスク「ゼロ」という主張は、明確な UNSCEAR・ICRP 違反であるという他ない。

しかも、ECRR が推計しているように、UNSCEAR・ICRP の生物学的リスク係数の過小評価率が 1000 分の 1 だと仮定すると、現在のレベルでのトリチウムの放出は、全世界で毎年 4 万 6000 人の新たながん発症と 9400 人のがん死、110 人の遺伝性障害の子どもの出生をもたらしている可能性があることになる。通常、リスク評価に使われる 50 年の期間を取ると、230 万人のがん発症と 50 万人程度のがん死、6000 人の遺伝性障害を持つ子どもの出生をもたらしている可能性があることになる。これは明らかに見過ごすことのできないリスクである。

予め言うておくが、UNSCEAR の集団線量係数と同様、この ICRP のリスク係数も著しい過小評価である。ジョン・ゴフマン氏は、広島・長崎原爆のデータに基づいてこの過小評価の比率をおよそ 8 分の 1、ECRR は世界全体の死亡者数についておよそ 50 分の 1 と評価

している（ジョン・ゴフマン『人間と放射線』明石書店〔2011年〕275ページ、ECRR『放射線被ばくによる健康影響とリスク評価 2010年勧告』270ページ）。

ただ、我々が心しておくべきなのは、確率影響のリスク係数や集団線量の考え方の基礎には、極めて多数の放射線医療従事者の被曝被害に関する歴史的研究の積み重ね、広島・長崎の被曝被害の調査、原爆実験による被曝被害の調査、いろいろな原発事故での被曝事例の調査、様々な医療被曝事例の事後調査、多数の原子力・核産業従業者の健康調査など、現実的なエビデンスが横たわっているということである（「放射線発がんの疫学的研究」についてのUNSCEAR1994報告書など）。現在、政府や専門家側は、自分で提起したこの考え方を、自分で否定しようと努力しているように見える（ICRP2007勧告など）。他方、多くの被曝影響に警告を発する立場の人々は、このような概念や考え方を正当に評価したり利用しようとはせずに、過小評価などの理由を挙げて、いわば頭から否定する傾向が強い。

いずれにしても、質的な側面と同様、ICRPやUNSCEAR、日本政府・政府側専門家など原発推進勢力による、トリチウム放射線の危険度評価には、文字通り法外で恐ろしい過小評価があるということは確実である。

〔トリチウムの危険性を事実上「ゼロ」とする政府の主張は虚偽である〕

日本政府や政府側専門家たちは、崩壊時の放出エネルギーが低い・生物学的半減期が短い（トリチウム水で10日）等を理由に、いろいろ留保を付けて、トリチウムの危険性を認めない。トリチウムの生物学的・放射線学的危険性や健康リスクを事実上「ない」「ゼロ」とする宣伝は、公然と強まっている。このような日本政府や政府側専門家たちの主張は、ICRPやUNSCEARの立場からしてさえも、全くの嘘であり、虚偽主張であり、デマである。

ICRP2007年勧告は、トリチウム水の生物学的危険度（外部被曝一般に対する生物効果比RBE）が外部被曝一般よりも高い可能性（1～3.5倍）を検討しながら、結局「1」（倍）としている（日本語版228～229ページ）。この評価は極めて問題である（以下に検討する）が、それでも重要な点は、ICRPがトリチウムのリスクを決して日本政府が示唆するような「0（ゼロ）」とは決して評価してい「ない」ことである。

第2節 ICRPによるトリチウムの被曝線量評価の多重の体系

ICRPはトリチウムによる被曝線量の評価（ドシメトリー）に当たって、極めて複雑な体系を採用している。おそらくは人為的に複雑化したものであろう。フェアリー氏のまとめによると、それは多重的なもので、主として以下の係数からなるという。

(1) **線量係数** [当該核種の一原子の放射性壊変によって細胞や組織や生物体に対してもたらされる推定放射線量のこと、1Bq当たりのSvで表される(Sv/Bq)]、トリチウムの化学形態（元素ガス、トリチウム水、有機結合トリチウム〔OBT-1およびOBT-2〕について

それぞれ与えられている)。

(2) **RBE** [生物効果比または生物学的効果比、放射線の与える生物学的影響を基準となる放射線との比較で示した値]、被曝線量は同じでも、トリチウムによる被曝が、他の核種と比較してどの程度の生物学的な危険度をもつかを表す係数と考えられる。

(3) **wR 値** [「線質係数」または「Q 値」、組織内の荷電粒子の飛跡に沿った電離密度に基づく放射線の生物学的効果の特徴づける係数、放射線の性質による生物学的な影響の強さを表すとされる、吸収線量 (Gy で表される) から等価線量 (Sv で表される) に変換するとき前者に掛けられる係数、現在 ICRP は「放射線荷重係数」と呼ぶことが多いようである (1990 年勧告)]、トリチウムの wR 値は 1970 年までは 1.7 であったが、水爆製造と原発推進の目的から「原子力産業界と軍」の圧力の下、1 に引き下げられ、それが現在も続いている。ICRP 主委員会の委員であったカール・モーガン氏は少なくとも 3 以上、適切な値は 5 であろうとしている (カール・モーガン『原子力開発の光と影』昭和堂 [2003 年] 155 ページ)。

(4) **電離密度 (LET) 効果** [飛跡の単位長さ当たりにつき与えられるエネルギー量の相対的な大きさ]、すでに述べたようにトリチウム原子核の壊変により生じる β 粒子 (すなわち電子) は、放出エネルギーが低いため飛程が短い。トリチウムはそのエネルギー量が炭素 14 や他の β 線放射体に比べてはるかに大きいという。この係数についてフェアリー氏は、具体的な数値を挙げて検討しておらず、ここでは指摘するだけにとどめる。

(5) **生物学的半減期** [線量係数の算定に当たって反比例の関係にある] の補正、これについては ICRP はトリチウム水に 10 日間という極めて短い仮定を採っているが、実際には最大 550 日までにすべきデータがある。この点はすでに検討済である。

(1) の**線量係数**については後に詳論する。しかし、以下に述べるように (2) **RBE** の検討からだけでも、トリチウムの危険性の恐るべき過小評価が明らかになる。

フェアリー氏は、2007 年の著作で、トリチウム水の線量評価について、(2) **RBE** に関しておよそ「2 倍」、(3) **wR 値** に関しておよそ「3 倍」、(4) **LET 効果** および (5) **生物学的半減期** などその他の係数でおよそ「2 倍」とすべきであろうとしている。つまり、ICRP など国際機関のリスク係数には、(2) ~ (5) を検証するだけで、およそ「**12 倍程度の過小評価**」が明らかになると指摘している (前掲書第 2 部の結論)。2014 年にはフェアリー氏は、とくに小児の白血病については「1 万~10 万倍」の過小評価の可能性を指摘している (前掲論考)。

第 3 節 トリチウム水の生物学的危険度：2~3 倍

UNSCEAR2006 年報告は、「トリチウムのベータ粒子は、ガンマ線や X 線より大きな生物学的効果比 RBE をもつ。低線量または低線量率では、酸化物 (トリチウム水) の形で RBE 値が 2~3 であり、有機分子に結合した形では、さらに高い RBE 値が提唱されている」(123

ページ) と明記している。

野村大成氏(大阪大学医学部名誉教授、現医薬基盤研究所研究リーダー)らは「トリチウムβ線のRBEとその線量率依存性」研究プロジェクトにおいて、マウスの実験に基づいてトリチウムのRBEを2.7と推計している*。UNSCEAR2006年報告の上の評価はすでに1989年に実験的に確認されているのである。

*野村大成・山本修「トリチウムによるマウス固体での遺伝子突然変異の誘発」『「トリチウムβ線のRBEとその線量率依存性」平成元年度文部省科学研究費補助金研究成果報告書』所収

第4節 有機トリチウムの生物学的危険度：10～60倍

UNSCEAR2006年報告は「有機トリチウムのさらに高いRBE」の具体的な数値を挙げていない。澤田昭三氏は、同研究プロジェクトの「研究の総括と今後の研究課題」において「有機結合型トリチウムはHTO(トリチウム水)に比べてマウス初期胚の発生に対する効果が5～20倍くらい高いことがわかった」としている*。つまり、野村氏の研究をベースとすれば、有機結合型トリチウムのRBE(生物学的危険度)は、これ(5～20倍)に上記の2.7をかけて、13.5～54倍となるということになる。UNSCEAR2006年報告の挙げている数値2～3をベースにすれば、これに5～20倍をかけておよそ10～60倍ということになる。

*澤田昭三(当時広島大学原爆放射能医学研究所)「研究の総括と今後の研究課題」『「トリチウムβ線のRBEとその線量率依存性」平成元年度文部省科学研究費補助金研究成果報告書』所収

第5節 ECRRによるトリチウムの危険度の評価から計算：50～600倍

ECRR2010年勧告は、トリチウムによる内部被曝の「生化学的強調係数」(ほぼRBEに相当する係数)を10～30と推定している(日本語版96ページ)。つまり、外部被曝およびカリウム40による内部被曝と比較して、トリチウムによる内部被曝には10～30倍の危険度があるということである。ECRRは、上記で検討した「有機トリチウム」のとくに高い危険度(澤田氏によるトリチウム水の5～20倍)について触れていないようである。ECRRと澤田氏による2つの係数を掛け合わせるとX線やガンマ線による外部被曝に対して50～600倍となる。

この50～600倍という数値は、ECRRが引用している、運転中の原発や核施設の周辺地域で観察されている子供の白血病の高い発症率の数値(表4-4)を説明する要因の1つとなるであろう。原発や核施設は、莫大な量のトリチウムを放出するからである。子供の放射線感受性の高さ(ICRPの過小評価された数字でさえも2～3倍)を考慮すると、子供について100～1800倍であり、1000倍はその範囲内に含まれる。

表4-4 核施設近隣に居住する子供らにおける過剰な白血病とがんのリスクを立証してい

る研究

核施設	年	ICRP リスクの何倍か	備考
a セラフィールド/ウィンズケール、英国	1983	100~300	COMARE によってよく調べられた：大気と海への高いレベルの放出
a ドーンレイ、英国	1986	100~1000	COMARE によってよく調べられた：大気と海への粒子状の放出
a ラ・アーグ、フランス	1993	100~1000	大気と海への粒子状の放出：生態学的、症例参照研究
c アルダーマストン/バーフフィールド、英国	1987	200~1000	COMARE によってよく調べられた：大気と河川への粒子状の放出
b ヒンクリーポイント、英国	1988	200~1000	沖合の泥土堆への放出
d ハーウェル（英国）	1997	200~1000	大気と河川への放出
b クリュンメル、ドイツ	1992	200~1000	大気と河川への放出
d ユーリッヒ、ドイツ	1996	200~1000	大気と河川への放出
b バーセベック、スウェーデン	1998	200~1000	大気と海への放出
b チェプストウ、英国	2001	200~1000	沖合の泥土堆への放出
全ドイツ；KiKK	2007	1000	様々なタイプをあわせたもの

a 海に放出している再処理工場、b 海あるいは河川に放出している原子力発電所、c 核兵器あるいは核物質製造工場、d 地域の河川に放出している原子力研究所

CMARE：英国「環境中放射線の医学的側面に関する委員会」Committee on Medical Aspects of Radiation in the Environment

注記：ヒンクリーポイント、クリュンメル、バーセベック、チェプストウが原発、KiKKが原発関連である。

出典：ECRR2010年勧告邦訳194ページ

第6節 トリチウムのリスク過小評価の「核心」——線量係数 (Sv/Bq) の極度に過小な設定

トリチウムのリスク過小評価の核心にあるは、ICRPによる線量係数 (Sv/Bq) の極度に過小な設定であると考えらるべきである。このことは、政府の多核種除去設備等処理水の取扱に関する小委員会資料「トリチウム水およびトリチウム化合物の生体影響について」および日本放射線影響学会・放射線災害対応委員会編「トリチウムによる健康影響」が明らかに示している。

トリチウムの危険性を評価する場合、ICRPによる「トリチウムの線量係数」、すなわちトリチウムの放射エネルギーを被曝量シーベルトに換算する係数(単位はSv/Bq)が極めて小さな値に設定されていることに気づくであろう(1.8×10⁻¹¹Sv/Bq)。われわれも前著『放

放射線被曝の争点』緑風出版（2016年）の中でこの問題に言及した（第2章を参照のこと）。ここでは、このような数値が一体どこから導き出されているか、なぜこのような過小評価が生じるのか検討したい。

すなわち、①汚染水の海洋放出を正当化する目的をもって作成されたと思われる政府側の2つの文書、政府の多核種除去設備等処理水の取扱に関する小委員会資料「トリチウム水およびトリチウム化合物の生体影響について」および日本放射線影響学会編「トリチウムによる健康影響」*が示唆しているように、トリチウムの線量係数は、マウスでの動物実験の「致死量」（マウスの腹腔内へのトリチウム水の投与）をベースに推計されている可能性が高い、②トリチウムβ線による内部被曝の特殊性（短飛程で1回の崩壊でおよそ1個の細胞にしか損傷を及ぼさないこと）を考慮すれば、マウスの腹腔内へのトリチウム水投与による致死量に基づくこのような方法がトリチウムによる被曝影響の極めて大きな過小評価を導かざるをえない、③その結果、トリチウムの放射線の危険性と被曝リスクの文字通り「危険な」過小評価を結果せざるをえない、ということである。

*多核種除去設備等処理水の取扱に関する小委員会資料 3-1「トリチウム水およびトリチウム化合物の生体影響について」（著者は茨城大学田内広教授）

https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/osensuitaisaku/committee/takakusyu/pdf/011_03_01.pdf

日本放射線影響学会 放射線災害対応委員会編「トリチウムによる健康影響」

https://jrrs.org/assets/file/tritium_20191212.pdf

たとえば、日本政府のトリチウム水の基準は「飲用」も含めて6万Bq/Lである。政府の説明では、この濃度のトリチウム水を毎日2リットル、1年間飲んだとしても（すなわち6万Bq×2L×365日＝計4380万（×10⁷）Bqを経口摂取したとしても）、Svに換算した被曝量は0.8mSv程度であり（詳しくは第9節を参照のこと）、政府の通常時の公衆の被曝基準である1mSvに達しない、だから「安全」であるという。これが公式の政府見解である。

第7節 6万Bq/Lのトリチウム水を日常的に飲用すれば何が起こると予測されるか？

では、現にある実験結果から考えて、6万Bq/Lのトリチウム水を飲用すれば何が起こると予測されるだろうか？

すでに1970～1980年代から、ヒトのリンパ球の染色体異常の発生率が、0.001μCi/ml（すなわち3万7000Bq/L）以上の濃度のトリチウム水中で高くなることが実験的に明らかになっている*。細菌を使った実験では、これもまた、最小で0.001μCi/ml（すなわち3万7000Bq/L）の濃度のトリチウム水までDNA失活（活性が失われ機能しなくなる）が観測されてきた**。これらの観測事実は専門家の間では既知のこととなっていた。毒物学（毒性学、トキシコロジー）の規定する「最小毒性量（Least Observed Adverse Effect Level、LOAEL）」は、3万7000Bq/Lである可能性が十分に示されてきた。

日本政府が放出（飲用も含めて）の基準としている 6 万 Bq/L は、明らかにこの 3 万 7000Bq よりも高い。すなわち、染色体異常あるいは DNA 活性に対する影響が十分に想定されうる濃度である。6 万 Bq/L は毒物学（毒性学、トキシコロジー）の規定する「最小毒性量（LOAEL）」を「超える」濃度であり、危険性が「ある」レベルであるといえることができる。

*堀雅明、中井斌 「低レベル・トリチウムの遺伝効果について」保健物理,11,1-11（1976）

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jhps1966/11/1/11_1_1/_article/-char/ja/

**（賀田恒夫・定家義人「枯草菌の形質転換における DNA 不活化の線量依存性——トリチウム水の場合——」『トリチウム資料集・1988』所収、219～222 ページ）

普通、教科書的には、許容量は最小毒性量の 1000 分の 1 とされている（日本トキシコロジー学会教育委員会編『トキシコロジー』朝倉書店 [2009 年] 4 ページ）。すなわち、毒物学的には、人間が 1 日に 2 リットルの水を飲用すると仮定して、トリチウム水の飲用基準（許容摂取量）は、最小毒性量（3 万 7000Bq/L）の 1000 分の 1、すなわち 18.5Bq/L（37Bq/L ÷ 2L）とならなければならないはずである。フェアリー氏によれば、カナダのオンタリオ州 ACES 勧告値やアメリカの 2 つの州（カリフォルニア州とコロラド州）の基準値は実際にこのレベルとなっている（表 4-5）。

日本の排出基準であり事実上の飲用基準である 6 万 Bq/L は明らかに健康に有害である可能性のあるレベルであり、この事実は、専門家であれば誰もが知っている「はず」の実験データによって明らかである。

表 4-5 世界各国・機関の飲用基準および排水基準

国・機関	飲用基準 (Bq/L)	排水基準 (Bq/L)
オーストラリア	76,103	
日本	(事実上 60,000)	60,000
——麻生副首相「飲める」と発言 2021 年 4 月 13 日	1,500	
フランス		40,000
フィンランド	30,000	
WHO	10,000	
スイス	10,000	
ロシア	7,700	
カナダ・オンタリオ州	7,000	
——同州 1994 年 ACEAS 勧告、実施されなかった	当初 100→5 年後 20	
アメリカ (EPA)	740	37,000
EU	100	
アメリカ・コロラド州	18	

注記：Ontario Government's Advisory Committee on Environmental Standards (ACES)

出典：Wikipedia「三重水素」、フェアリー『トリチウム・ハザード・レポート』より作成

第 8 節 麻生副首相の「処理水は飲める」発言をめぐる国際的「騒動」——麻生副首相が結局「飲まなかった」事実「処理水の健康影響の危険性」を示している

麻生副首相は、2021年4月13日、福島事故原発から海洋廃棄することになっている汚染水（トリチウム水濃度で1500Bq/L）を「飲んでも何ということはない」と発言した。これに対し中国外務省の報道官は『「飲める」と言うのなら、飲んでから言ってほしい』と批判した。これに対しても麻生副首相は16日に再度「飲める」と繰り返した*。

*朝日新聞デジタル <https://www.asahi.com/articles/ASP4J67HDP4JULFA022.html>

つまり、毎日2リットルとして1500Bq/Lのトリチウム水3000Bqを長期にわたり「飲める」（もちろん幼児も子どもも含めて）というのは、驚くことに、日本政府の、日本の副首相じきじきの、「公式」見解なのである。年間で累計110万Bq、生涯で（70年で取って）およそ8000万Bqのトリチウム水を飲んでも「無害だ」という主張なのである。

コップ1杯200mlとしてトリチウムは300Bq程度でしかない。だが、それでも麻生副首相は、実際には「飲んでいない」。1年続けて飲むことはおろか1回も飲んでいない。この事実は何を示すだろうか？ この程度の濃度のトリチウム水を飲むことが「現実に健康上のリスクがある」か「健康上不適切であることが明確である」ということである。麻生副首相が中国当局者に嘲笑され挑発され馬鹿にされても、「実際には飲まなかった」という事実は重い。トリチウム水の危険性が政府の言うような「風評」ではない、「現実にある危険」「実害をもたらすリスク」であるということを端的に示している。

第 9 節 ICRP の「線量係数」とは？

なぜこのような事態が生じるのであろうか？

麻生副首相の「飲める」発言が引き起こした国際的「騒動」の背景には、トリチウムの「安全・安心」を「うそ」であろうが「脅し」であろうが「デマ」であろうが、どんな手段を使っても国民に印象づけ押しつけないという日本政府・原発推進勢力・専門家達の意図が見えている。だがこの点はいまは置いておこう。科学的外観を呈しているかに見える「論理」として取り扱おう。そうすると、その秘密はICRPが定めているトリチウムの線量係数（放射線量Bqを被曝線量Svに換算する際の預託実効線量係数）にあると考えるしかないことが明らかになる。

ICRPによるトリチウムの線量係数は、トリチウムの危険性を過小評価する際の中心的役割を担っている。たとえば、トリチウム水（HTO）の線量係数は $1.8 \times 10^{-11} \text{Sv/bq}$ とされて

いる。これはセシウム 137 の係数 ($1.3 \times 10^{-8} \text{Sv/Bq}$ 、これも大きな過小評価であるが) の約 720 分の 1 にすぎない。日本放射線影響学会編「トリチウムによる健康影響」が掲載している線量係数の表を、日本原子力学会のデータとともに下に引用する (表 4-6 および 4-7)。

表 4-6 経口摂取の場合のトリチウム水の預託実効線量係数 (Sv/Bq) と倍率

	トリチウム水	セシウム 134 (倍)	セシウム 137 (倍)	ヨウ素 131 (倍)
3 ヶ月児	6.4×10^{-11}	2.6×10^{-8} (T の 406 倍)	2.1×10^{-8} (328)	4.8×10^{-8} (750)
1 歳児	4.8×10^{-11}	1.6×10^{-8} (333)	1.2×10^{-8} (250)	1.8×10^{-8} (375)
5 歳児	3.1×10^{-11}	1.3×10^{-8} (419)	9.6×10^{-8} (3097)	1.0×10^{-8} (323)
10 歳児	2.3×10^{-11}	1.4×10^{-8} (609)	1.0×10^{-8} (435)	5.2×10^{-8} (2260)
15 歳児	1.8×10^{-11}	1.9×10^{-8} (1056)	1.3×10^{-8} (722)	3.4×10^{-8} (1888)
成人	1.8×10^{-11}	1.9×10^{-8} (1056)	1.3×10^{-8} (722)	2.2×10^{-8} (1222)

出典：日本放射線影響学会 放射線災害対応委員会編「トリチウムによる健康影響」

https://jrrs.org/assets/file/tritium_20191212.pdf

表 4-7 トリチウムの化学形態別および年齢別の線量係数

年齢	線量係数 (Sv/Bq) (単位接種放射能当たりの実効線量)				
	経口摂取		吸入摂取 (可溶性またはガス状)		
	HTO	OBT	HTO	OBT	HT*
3 ヶ月齢	6.4×10^{-11}	1.2×10^{-10}	6.4×10^{-11}	1.1×10^{-10}	6.4×10^{-15}
1 歳	4.8×10^{-11}	1.2×10^{-10}	4.8×10^{-11}	1.1×10^{-10}	4.8×10^{-15}
5 歳	3.1×10^{-11}	7.3×10^{-11}	3.1×10^{-11}	7.0×10^{-11}	3.1×10^{-15}
10 歳	2.3×10^{-11}	5.7×10^{-11}	2.3×10^{-11}	5.5×10^{-11}	2.3×10^{-15}
15 歳	1.8×10^{-11}	4.2×10^{-11}	1.8×10^{-11}	4.1×10^{-11}	1.8×10^{-15}
成人	1.8×10^{-11}	4.2×10^{-11}	1.8×10^{-11}	4.1×10^{-11}	1.8×10^{-15}

* 肺中の HT ガスからの照射による線量は含まれておらず、これを加算すれば約 20% 増になると見積もられている。

出所：ICRP Pub72 (1995)

出典：武田洋ほか「トリチウムの影響と安全管理」『日本原子力学会誌』39 (11)、923 ページ (1997 年)

引用：Atomica 「トリチウムの環境中での挙動」

<https://atomica.jaea.go.jp/data/pict/09/09010308/01.gif>

「線量係数」の議論はわかりにくいので、日本政府の言うトリチウム水 6 万 Bq/L の「基準」を例に少し詳しく考えてみよう。

政府は 1 日に基準値のトリチウム水を 2 リットル飲むと仮定している。つまり、1 日のトリチウム水の経口摂取による被曝量は、 $6 \times 10^4 \text{Bq} \times 2 = 12 \times 10^4 \text{Bq}$ である。政府は、この濃度のトリチウム水を 1 年間 (365 日) 飲み続けると仮定しているので、年間の被曝量は：

$$12 \times 10^4 \text{Bq/日} \times 365 \text{日} = 4380 \times 10^4 \text{Bq} = 4.38 \times 10^7 \text{Bq} \text{ (4380 万 Bq)}$$

となる。

これを被曝線量の単位とされるシーベルト (Sv) に変換する際に使う定数が「線量係数」である。トリチウム水の線量係数は、日本政府が採用している ICRP 体系によれば上記の通り、 $1.8 \times 10^{-11} \text{Sv/Bq}$ である。したがって、年間のトリチウム水摂取による被曝線量は：

$$(4.38 \times 10^7 \text{Bq}) \times (1.8 \times 10^{-11} \text{Sv/Bq}) = 7.884 \times 10^{(7-11)} \text{Sv} = 7.884 \times 10^{-4} \text{Sv} \\ = \text{およそ } 0.79 \text{mSv}$$

となる。

これが政府が 6 万 Bq/L のトリチウム水を毎日 2 リットル 1 年間飲んでも被曝量が一般公衆の基準値 1mSv に達しないと主張する根拠となっている。

いま、「線量係数」の一種の「マジック」を示すために、この場合飲むのがトリチウム水ではなく、セシウム 137 が含まれる水であると仮定しよう。つまりセシウム 137 を 6 万 Bq/L 含む水を、毎日 2 リットル 1 年間飲用したと仮定しよう。セシウム 137 の「線量係数」は、上記の通りトリチウム水の 720 倍である $1.3 \times 10^{-8} \text{Sv/Bq}$ であるので、上と同じように計算して、年間の被曝線量は：

$$(4.38 \times 10^7 \text{Bq}) \times (1.3 \times 10^{-8} \text{Sv/Bq}) = 5.694 \times 10^{-1} \text{Sv} = \text{およそ } 570 \text{mSv}$$

となる。

これは、以下に検討する政府・放医研の文書でさえ放射線致死線量 (0~10%致死量) の下限値とする値のおよそ半分に相当する被曝量である。つまり 2 年間飲み続ければ、致死線量下限値に十分到達する「危険な」レベルである。

ここに示したように、「線量係数」は、その設定の仕方によって、トリチウム水の場合の一般公衆の基準値以下の「安全域」とされる被曝線量から、セシウムの場合の致死線量下限値近傍の「危険値」の被曝線量まで、非常に広い幅を持って、各々の放射性核種の危険度を人為的かつ恣意的に操作することが可能になる。もちろん、上で検討したいろいろな係数によってもこの操作は可能であるが、線量係数ではとくに大きな幅 (10 の乗数) を持って設定できるのである。

係数操作全体の人為的正確については第 5 章の冒頭で取り扱うことにしよう。

第 10 節 政府小委員会資料に引用されたマウスのトリチウム半数致死量

ICRP などの国際機関も日本政府も、トリチウムの線量係数が具体的にどのように推計されているかについて、詳しいデータを発表していないようである。

しかし、トリチウムの線量係数が動物実験（マウス）での致死被曝量あるいは致死線量に依拠して決められているのではないかということを示唆する状況証拠は実際にある。政府小委員会の資料と日本放射線影響学会の資料はともに、ICRP 線量係数がマウスの半数致死量データを基礎にして計算されていることを示唆している。

放射線による致死被曝量はほぼ決まった数字である（表 4-8）。したがって、それを与える放射エネルギー（Bq 数）が推定されれば、それによりおよそその線量係数が計算可能である。

表 4-8 動物とヒトの放射線半数致死線量 LD₅₀

動物種	LD ₅₀ 全身被曝量 Gy	ヒトとの比
マウス	7	1.75
ラット	6.75	1.69
アカゲザル	5.25	1.31
イヌ	3.7	0.93
ニワトリ*（チキン生後 3～40 日）	10.0～18.7	2.5～4.68
ヒト	4	1

出典：ニワトリ以外は Eric Hall, et al., *Radiobiology for the Radiologist*, 8th edition, Walters Kluwer, 2018, 117 ページ（『放射線医のための放射線生物学』英語版）

*ニワトリについては Astasheva NP et al, Effects of gamma-irradiation on survival, growth and productivity of broiler chicken, *Radiats Biol Radioecol.* 2004 Jan-Feb;44(1):43-6.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15060939>

その 1 つは、政府の多核種除去設備等処理水の取扱に関する小委員会資料「トリチウム水およびトリチウム化合物の生体影響について」に引用されているマウスの半数致死量の実験データである（同 13 ページ）。そこでは、「半数致死量は 8Gy 程度（マウスの腹腔内投与で 0.56～0.93GBq/g 体重）」と記載されている（ここでは中央値を採って 0.745GBq/g つまり 7.45×10^8 Bq/g としよう）。引用されている表にはこのデータがファーチナー氏（J.E.Furchner 1957）からの引用であることが示されている。そこではマウスの半数致死量は「4～8Gy」となっており、その中央値は 6Gy となる。だが本文ではなぜか 8Gy とされている。ここでは上のホール氏の表（表 2）にある 7Gy を採ろう。

この半数致死量からトリチウム水の線量係数（Gy=Sv/Bq）を計算すると、Sv は 1kg 当たりの単位であると考えられるので、マウスでのトリチウム水の線量係数は：

$$7\text{Gy} [\text{LD}_{50} \text{を与える被曝量}] \div (7.45 \times 10^8 \text{Bq}) [\text{LD}_{50} \text{を与える } 1\text{kg} \text{ 当たりのトリチウムの Bq 数}] = 0.94 \times 10^{-11} \text{Sv/Bq}$$

次にこれをヒトについて計算してみよう。半数致死量は、大まかだが動物種ごとにほぼ決

まっており、マウスとヒトの放射線感受性の比率を表のデータによる 1.75 倍の場合で計算してみよう。

$$0.94 \times 10^{-11} \text{Sv/Bq} [\text{マウスの線量係数}] \times 1.75 [\text{マウスとヒトとの放射線感受性比}] = 1.64 \times 10^{-11} \text{ (Gy/Bq)}$$

上記と同様、計算結果は、まったく大まかな推計でしかないが、このデータによれば ICRP のトリチウム水の線量係数 = $1.8 \times 10^{-11} \text{Sv/Bq}$ とほぼぴったり同じレベルになる。つまり、トリチウムの線量係数が、細かい計算方法はともかく、大まかには Sv (Gy) 値が既知となるマウスの致死量の実験データをベースにしているのではないかと強く推定される。

第 11 節 もう一つの例——日本放射線影響学会編「トリチウムによる健康影響」

それを示唆するもう 1 つの証拠が日本放射線影響学会編「トリチウムによる健康影響」の解説である。同資料では、トリチウムの健康影響の項目は、以下の通り「トリチウムによる個体死への影響」から始まっており、マウスの致死量のデータがトリチウムの線量係数のベースとなり数値決定の重要な要因になっていることが示唆されている。その部分の数値を表にしてみよう (表 4-9)。

表 4-9 Brue によるトリチウム水によるマウスの半数致死量 LD_{50/30}

マウスの推計 LD _{50/30} (Gy)	LD _{50/30} を与えるマウスの体重 1g 当たりのトリチウム水の放射エネルギー Bq/g	マウスの個体 (30g) 当たりのトリチウムの放射エネルギー Bq*
9	3.7×10^7	11.1×10^8 *
8	3.3×10^7	9.9×10^8 *
8	2.8×10^7	8.4×10^8 *
13	4.7×10^7	14.1×10^8 *
平均 9.5*	平均 3.6×10^7 *	平均* 10.9×10^8 *

*印は渡辺による計算

出典：日本放射線影響学会 放射線災害対応委員会編「トリチウムによる健康影響」

https://jrns.org/assets/file/tritium_20191212.pdf

ここでのマウスの半数致死量の幅 (8~13Sv) が何によるものなのかは不明であるが、致死被曝量の数値は、動物種ごとに (表 2 参照) ほぼ決まっており、大きく変わるものではない。

半数致死量濃度からトリチウム水の線量係数 (Sv/Bq) を計算すると、Sv は上と同様、体重 1kg 当たりの単位であると考えられるので、マウスでのトリチウム水の線量係数は：

$$9.5 \text{Sv} [\text{LD}_{50} \text{ を与える平均被曝量}] \div (3.6 \times 10^7 \text{Bq}) [\text{LD}_{50} \text{ を与える 1kg 当たりの Bq 数}] = 2.6 \times 10^{-10} \text{Sv/Bq}$$

ヒトについてのトリチウム水の線量係数を計算すると、致死量における人間の対マウスの放射線感受性は $9.5/4$ でおおよそ 2.4 倍、表 2 の数値をとれば 1.75 倍なので、両方で計算して、ヒトでのトリチウムの線量係数は、

$$2.6 \times 10^{-10} \text{Sv/Bq} [\text{マウスの線量係数}] \times (1.75 \sim 2.4) [\text{ヒトの放射線感受性比}] = 4.55 \sim 6.24 \times 10^{-10} \text{ (Sv/Bq)} \text{ 中央値でとると } 5.4 \times 10^{-10} \text{ (Sv/Bq)}$$

上記の方法での計算結果もまた、まったく大まかな推計でしかない。だが、それでも ICRP の $1.8 \times 10^{-11} \text{Sv/Bq}$ よりかなり大きく、その 25~35 倍（中央値で 30 倍程度）になる。つまり、放射線影響学会のデータからは、マウス半数致死量から推計したとしても、ICRP の線量係数が大きく過小評価されていることが強く示唆される。

いまもし上記 2 つのデータがともに不正確とは判断できないと仮定すると、通常、致死量が係わるようなデータでは、予防原則に基づいて、安全側に傾くよう数値を選択する (err on the safe side) が、ここではそのようなことが行われたとは見えない。むしろまったく反対のことが行われているように見える。

いずれにしろ、日本放射線影響学会の資料も、トリチウム水の線量係数が、細かい計算方法はともかく、大まかには Sv (Gy) 値が既知である致死量の動物実験データを基礎にしていることを十分に示唆している。

第 12 節 腹腔内投与による動物実験——トリチウムβ線の特殊性を無視、リスクの法外な過小評価に導く

政府の放射線医学総合研究所（放医研）が公表している資料（放射線医学研究所編『低線量被曝と健康影響』医療科学社〔2012 年〕）によれば放射線による致死を導く主な要因は①骨髄損傷、②胃腸管・肺・腎臓の損傷③神経系の損傷である（表 4-10）。これらは、がんや白血病、遺伝性疾患、心血管疾患や炎症性疾患など影響が長期に及ぶ放射線リスクとは別の過程である。

表 4-10 放射線医学総合研究所によるヒトの放射線致死線量

被曝線量	人体影響	死亡時間	典拠
>50Gy	中枢神経系症候群（致死率 100%）	1~48 時間後	UNSCEAR1988 年報告
>15Gy	神経系の損傷	5 日以内	ICRP2007 年勧告
10~15Gy	胃腸症候群（致死率 90~100%）	2 週間後	UNSCEAR1988 年報告
5~15Gy	胃腸管・肺・腎臓の損傷	60~150 日	ICRP2007 年勧告
3~5Gy	骨髄損傷（半数致死量）	30~60 日	ICRP2007 年勧告
2~10Gy	骨髄症候群（致死率 0~90%）	数週間後	UNSCEAR1988 年報告
1~2Gy	骨髄（致死率 0~10%）	数ヵ月後	UNSCEAR1988 年報告

出典：放射線医学総合研究所『低線量放射線と健康影響』179 ページ、ICRP2007 勧告 126 ページ

致死量をベースに線量係数を計算する場合には、トリチウムのβ線に特有の属性から、線量係数が小さくならざるをえない固有の事情がある。

すでに解説したように、トリチウムの発するβ線は飛程が短く、最大7μm、平均1μmを飛び、1つの細胞(大きさ6~25μm程度)に対して集中的に破壊的影響を及ぼす。つまり、トリチウムは細胞に重大で集中的な損傷を与えるが、1回の壊変でほぼ1個の細胞か、最大でも隣接の細胞を含めた2個程度の細胞にしか損傷を与えない。

一般に毒物の致死量を確認する場合の動物実験では、①腹腔内投与に加えて、②血管内投与(静注など)、③経口投与などが行われる(池田良雄『薬物致死量集 第7版』南山堂[1968年]など)。だが、なぜか②③でのデータはない。腹腔投与では、とくに血管内投与に比較して、トリチウム水が骨髄にまで拡散する速度や割合が大きく制約される可能性があると考えられるべきである。

つまり、マウスの腹腔内投与という方法では、トリチウムによる内部被曝影響が、比較対象である外部被曝の場合と同じ条件で、体の細胞に均一に分布するとは考えられない。またとくに、第1の致死要因である「骨髄」に侵入する割合は極めて小さくなる可能性があると思われる。

内部被曝の半数致死量を推計する際に、一般毒物と同じように、腹腔内注射による全細胞に対する被曝を前提することは、自然なこととは言いがたい。たとえば、骨髄は放射線致死(線)量を決定する大きな要因であるが、マウスの骨髄の細胞数は 13.8×10^6 個(1380万個)程度*、多い推計でも $30 \sim 50 \times 10^6$ 個(3000~5000万個)ほど**であり、マウス全細胞数の0.07~0.2%である。

つまり、たとえば血管内注射のような、骨髄細胞にトリチウムによる被曝損傷がより容易に広がるような実験方法が採られていたならば、LD₅₀を与えるトリチウム水の放射エネルギーはより小さくなったであろうし、その線量係数はより大きなものになったであろうと推測されざるをえないということである。

第13節 無視された日本における過去のトリチウム研究の成果

日本においては、1980~90年代に、核融合研究のベースとして、核融合炉で大量に使われることになるトリチウムの危険性とその被曝リスクについて、集中的な研究が行われ、研究成果は何冊かの報告書にまとめられた(核融合特別研究総合総括班事業『昭和62年度文部省科学研究費補助金研究成果報告書 トリチウム資料集・1988 トリチウム安全取扱目安・改訂版資料検討 同(続)』1988年、澤田昭三研究代表『トリチウムβ線のRBEとその線量率依存性 核融合特別研究I』1990年など)。だが、意図的かどうかは分からないが、なぜか政府も推進側専門家もこの研究の成果やデータを無視し、大規模な研究プログラムが組織された事実さえも半ば忘れ去られている。

その中では、トリチウム水 THO によるマウスへの線量計算も行われている。ここでは、『トリチウム資料集・1988』所収のいくつかの線量係数の試算を紹介しよう。それらはいずれも ICRP の係数が異常とってよいほどの法外な過小評価であることを示している。

(1) 横路謙次郎氏による「トリチウム水投与の場合の線量計算」(284 ページ)。これは、トリチウム水投与によるマウスの発がんおよび体細胞突然変異のデータをベースにしたものである。

それによれば、マウスにおけるトリチウム水の総吸収線量は、52.08 (rad) / mCi であるという。Sv/Bq に換算すると：

$$(52.08 \times 0.01) \text{ Sv} \div (37 \times 10^6) \text{ Bq} = 0.0141 \times 10^{-6} = 1.41 \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$$

ヒトについては、感受性がマウスの 1.75 倍 ($\times 1.75$) とすると、

$$2.5 \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$$

となる。

この場合も ICRP の線量係数 (1.8×10^{-11}) よりも極めて大きい数値になる。すなわち $2.5 \times 10^{-8} / 1.8 \times 10^{-11} = 1.4 \times 10^3$ 倍程度となる。つまり ICRP の係数は **1400 倍** (すなわち 1400 分の 1) の過小評価となる。

(2) もう一つの事例は、同じ『トリチウム資料集・1988』で公表されている伊藤彬氏による線量係数の計算値の紹介である(「これまでの計算例」195 ページ)。そこでは、トリチウム水が $1 \mu\text{Ci}$ ($3.7 \times 10^4 \text{ Bq}$) /g の濃度であるとき、水溶液の吸収線量は、 $0.293 \text{ cGy/day} \cdot \mu\text{Ci} \cdot \text{g}$ となるとされている。 $\text{cGy}/\mu\text{Ci} = 10 \text{ mGy}/37 \times 10^3 \text{ Bq} = 2.7 \times 10^{-9}$ なので、Sv/Bq に換算して、

$$0.293 \times 2.7 \times 10^{-9} = 7.9 \times 10^{-10} \text{ となる。}$$

これは ICRP の線量係数のおよそ **44 倍**となる。過小評価率は、およそ 44 分の 1 である。

(3) 『トリチウム資料集・1988』で野村大成氏は、トリチウム水投与によるマウスの体細胞突然変位を研究し、同書 288 ページの図の結果を得ている。同図によれば、HTO で $60 \mu\text{Ci/g}$ が、X 線で 130R (レントゲン) に相当するということが示されている。つまり、 2.22×10^6 ($60 \times 37 \times 10^3$) Bq/g が照射線量で 1.3Gy に相当するとされている。

これは、本行忠志氏 (大阪大学医学部名誉教授) によれば、吸収線量に換算して計算するとおよそ 1 MBq/g 体重が 0.1Gy に相当することになるという。マウスの体重 (20g 程度) を計算に入れると、マウスにおける線量係数は：

$$\text{Sv/Bq} \text{ は } 5 \times 10^{-9} \text{ となる。}$$

ヒトとマウスの放射性感受性比を 1.75 とするとヒトについては：

$$\text{Sv/Bq} \text{ は } 8.8 \times 10^{-9} \text{ となる。}$$

これは ICRP の線量係数のおよそ **500 倍**となる。

このように、発がん性や突然変異誘発性から、トリチウムの放射線の被曝量すなわち線量

係数を推計すると、半数致死量からの推計に比較して、極めて大きな値（およそ 44～1400 倍）となる。この点に、トリチウムβ線の特別の危険性が、集中的に現れているといえることができる。

第 14 節 トリチウムの線量評価はどのように決められたか——インサイダーの証言

トリチウムは、「放射性物質ではあるが危険度が極めて小さい」という評価に基づいて、ほぼ無制限に放出され、作業員や地域住民の大量被曝が容認されてきた。また同じ評価と論理に基づいて、世界中の原発や再処理工場から莫大な量のトリチウムが環境中に放出され、現在もほぼ無制限に放出され続けている。だが、前述した、ICRP で当事者であったカール・モーガン氏が証言するように、実際には「科学的」評価と「政策」決定との論理的順序は逆転していた。つまりトリチウムの無制限の環境放出や作業員さらには地域住民の大量被曝の容認という政策を正当化するために、トリチウムの危険度が意図的に極めて小さいものと評価され、あたかもそれが「科学的」評価であるとする目的で、線量評価の体系が系統的に歪められ、真実が見えないように複雑化され、結局のところ極度の過小評価の体系に矮小化されてきたのである。（あわせて言えば、このことは、放射性希ガスや炭素 14 などのリスクについても、さらには内部被曝一般の評価、とりわけ放射性微粒子の危険性についても同じである）。モーガン氏は、線質係数についての ICRP 内部の論争について次のような証言をしているが、極めて示唆的である。

「私たちはトリチウムがどれほど危険であるかということをはっきりと明らかにし、W・S・スナイダー（ORNL [オークリッジ国立研究所] 保健物理部の次長、ICRP の内部被ばく線量委員会の事務局員）と私は、トリチウムの『線質係数』の値を引き上げるよう命がけで努力した。」だが「線質係数が高くなると」「放射線を取り扱っている施設に雇用されている人々の作業条件がより安全になる」が、「産業界と軍にとってこれに対応するためにより困難が生じ経費がかかるので重大なことである」。「スナイダーと私は、トリチウムの線質係数は（当時の）1.7 から 4 あるいは 5 に上げることを議論した」。「私たちは強い反対に直面した。英国出身の ICRP メンバーであるグレッグ・マーレイは、少なくとも原子力産業界が ICRP に対して密接な関係を持っていることを率直に認めている。ICRP 主委員会の際に、マーレイは、スナイダーと私が求めるより高い線質係数を使えば、作業条件はその分だけより安全になるだろうが、そのように変えると政府はトリチウムを使った兵器製造ができなくなるということを公に認めた。同じことが（アメリカの核兵器工場であった）ロス・アラモスにおいても真実であった。」「私をとくに困惑させたことは、ロス・アラモスでグローブボックスに手を入れている大多数の放射線作業員が婦人だったことである。」「1970 年に私が ICRP を去って間もなく、トリチウム問題は線質係数を 1.7 から 1 に下げることで解決し、それが現在も残っている」。

(モーガン前掲書 154～155 ページ)

だがこのような政策を、大気圏核実験が禁止された後も長期にわたって実行すれば、結果として何が起こるであろうか？

第 15 節 各係数の過小評価が重なり合って過小評価が恐るべき規模に巨大化

以上を要約しよう。マウスなど動物実験の腹腔内投与による致死量をベースにトリチウムの線量係数（ここではトリチウム水の線量係数）を推計すれば、①Bq を被曝線量 Sv に換算する（ドシメトリー）の段階で被曝リスクの極めて大きな過小評価となり、②個体死を招く以前の段階での、がんや白血病、遺伝性疾患、心血管疾患や炎症性疾患など、影響が長期に及ぶトリチウム被曝の極めて多面的で長期的な危険性を捨象することになり、③トリチウム放射線の危険性とそれによる被曝リスクを単に量的のみならず多面的かつ質的に過小評価することになり、④今後長期にこのような体系が実行されていくなれば人類の生存そのものを脅かしかねない悲劇的結果に導いていくことにならざるをえない（第 5 章で取り扱う）、ということである。

致死量を与える放射エネルギーが非常に大きくしたがって極めて「弱い」放射線とされていても、細胞に対する損傷の度合いと長期的な被曝リスク（確率的影響と呼ばれているがさらに広く考えるべきである）が極めて大きい核種が存在するが、その典型的な事例がトリチウムなのである（もう一つの C14 については付論を参照のこと）。

以上検討してきたことから、ICRP のトリチウム水の線量係数には、実験値から見て、最小で 44 分の 1、最大で 1400 分の 1 という極めて大きい過小評価があり、これを基礎にトリチウムのリスクを評価することは、恐ろしい結果を引き起こす可能性があるということが明らかになる。上で検討した、現行のトリチウムの危険度の係数（上記 (1) から (5) の総合）が、およそ 1000 分の 1 程度の過小評価であろうという ECRR やフェアリー氏の評価の妥当性が、この面からも確認できる。これは、成人に比較して、胎児や子どもの放射線感受性の高さ（10～100 倍）を考慮すると、フェアリー氏の、過小評価が 1 万～10 万分の 1 であろうという指摘の蓋然性も十分確認できる。

ICRP のトリチウムの線量評価の多重性を考慮すると、過小評価は以下のようにまとめられる（表 4-11）。

表 4-11 各係数の多重的な過小評価が積み重なって巨大な過小評価が生じている

部面	ICRP	過小評価率	典拠
線量係数 (HTO)		44～1400 12	トリチウム資料集・1988 フェアリー
生物学的効果比 RBE	1	2～3	UNSCEAR2006、フェアリー

有機トリチウム		10～30 5～20	ECRR2010 澤田昭三
線質係数 (wR、Q 値)	1	5 2	モーガン フェアリー
LET 効果	考慮せず		フェアリー/具体的な数字は挙げていない
OBT/HTO の生物半減期比	考慮せず	55	小松
DNA 取込み T アミノ酸 同放射線危険度 別の放射線危険度推計	考慮せず	2～4 25～30 4	Feinendegen Feinendegen Commerford、小松・斉藤・石田
集団線量のリスク係数		8 2～55	ゴフマン ECRR2010

注記：上記引用した各データより著者作成。現実にはこれらの過小評価の積が問題になることに注意。

すでに検討した UNSCEAR のトリチウムリスク係数を基礎に、現在のトリチウム放出量
がもたらしている可能性の高い被害想定を補正すると表のようになる（表 4-12）。

表 4-12 UNSCEAR1993 のトリチウム放出リスク係数による世界の被害想定（年
間、人）

放出種類・過小評価	固形がん発症	同致死	白血病発症	同致死	遺伝性致死	遺伝非致死
液体年間 23PBq と仮定	46	9.4	1.1	0.76	0.44	0.11
過小評価 1/1000 の場合	4 万 6000	9400	1100	760	440	110
過小評価 1/10 万の場合	460 万	94 万	11 万	7.6 万	4.4 万	1.1 万
集団線量リスク 1/8 の場合	3680 万	750 万	88 万	61 万	35 万	8.8 万

注記：世界のトリチウム液体放出量 23PBq から、大気中放出量も同じと仮定して、筆者が計算。

もちろんこの数字は極めて大まかな概数でしかない。日本政府や専門家たちは「世界の各
国もトリチウムを放出している」「だから日本も放出しても問題ない」と主張しているが、
「だから」世界中で被害が出ているのであり、UNSCEAR 自身がそのことをリスク係数と
して公式に認めているということになる。各種係数の多重の過小評価によって表向きは見
えなくしているが、上記のようにそれを剥がしていけば相当な規模の被害想定になる。

ICRP や UNSCEAR、日本政府が、原発推進と核開発、結局は核兵器開発の利害を優先
して、トリチウムとそのβ線のもつ危険性を文字通り恐るべき規模で過小評価しているこ
と、それが恐るべきリスクを全世界的にもたらしていること——この事実こそ真正面から
認識すべき時である。

第4章付論 放射性炭素 14 の危険性

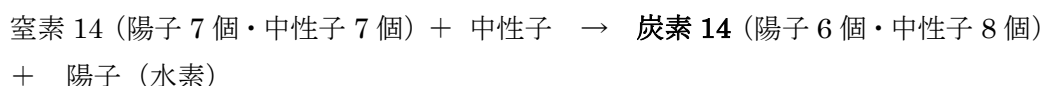
トリチウムの危険性についての概説を終わる前に、残された課題として、事故原発に大量に溜まっているとされる炭素の放射性同位体である炭素 14 (C14 あるいは ^{14}C と表記) の危険性を簡単に検討しておこう。国際環境保護団体グリーンピースは「東電福島第 1 原発汚染水の危機 2020」*を公表し、その中で汚染水に含まれる炭素 14 の放出の危険性をトリチウムの危険性と並んで指摘している。原子力資料情報室の伴英幸氏もまた、郡山や東京などの講演で炭素 14 の危険性とそれによるトリチウムの有機結合トリチウムへの変化の危険性を警告している**。これらは、極めて重要な指摘だと考える。汚染水タンク中のトリチウムはすでにかかなりの割合ですでに**有機トリチウム** (C14 含有・有機物結合トリチウム) になっていると考えるべきであろう。福島事故原発から放出されようとしている汚染水は、福島県と広範囲の周辺住民を、放射性の水素であるトリチウムと放射性の炭素である炭素 14 との**複合被曝**に曝そうとしているのである。

*https://www.greenpeace.org/static/planet4-japan-stateless/2020/10/ba82306e-radioactivewater_jp_fin.pdf

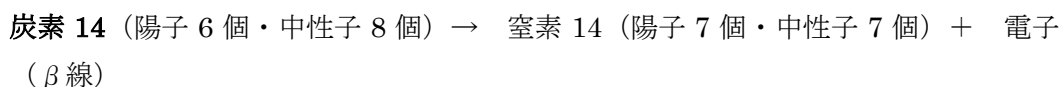
**伴英幸「トリチウムの危険性」原子力資料情報室

https://www.foejapan.org/energy/fukushima/pdf/200503_ban.pdf

炭素の安定同位体は炭素 12 で陽子 6 個と中性子 6 個からなる。炭素 14 は中性子が 2 個多く、陽子 6 個と中性子 8 個である。炭素 14 は大気圏上層で、宇宙線として飛来する中性子と空気の主成分である窒素 14 との反応により生成される。



炭素 14 は、「弱い」 β 線 (電子) を放出 (中性子 1 個が電子 1 個を放出して陽子に変化) して壊変し、窒素 14 (陽子 7 個・中性子 7 個) に変化する。



原子炉内での反応も基本的に同じであると考えられている。放射性物質としての炭素 14 の顕著な特徴としてここでは以下の 3 点だけを挙げておこう。

(1) **炭素の放射性同位体**であり、化学的には炭素であるので、生体や有機物のどこにも入り込むことができる。この点で炭素 14 にはトリチウムと同様、放射性物質として「特別の」危険性がある。

(2) 放射性物質としての**半減期が 5700 年と非常に長く**、人工的に一度生成され汚染されると、**半永久的に残留**する。すなわち、炭素 14 の危険性は人間の寿命との比較では永久に残ると考えなければならない。

(3) 専門家によれば、炭素 14 は生成されても、炭素として酸化され、二酸化炭素として

海水中に溶け込んでそこで滞留するので「危険性は少ない」と評価されている。だが、現在進行中の温暖化により、海水への溶解過程が停滞する、あるいは海水中の溶け込んだ二酸化炭素が大気中に再放出される場合（現在この過程が始まりつつある）には、放射性二酸化炭素による被曝の危険度が高まり、このような言い訳は通用しなくなっている。

前述の『放射化学の事典』朝倉書店によれば、炭素 14 の生成・存在量は、2002 年現在で、①自然起源の生成量が年間約 1.5PBq。自然の大気中存在量が約 150PBq、地球上の天然存在量総計が約 1 万 3000PBq、②核実験による総生成量が約 213PBq、③原発・再処理工場からの放出量が年間 0.092PBq（92TBq うち大気中放出 71TBq、液体放出 21TBq）、総放出量が 2.8PBq（これのみ 1997 年までの総計）であるという。

原発・再処理工場からの放出量は、15 年間で自然起源の年間放出量にほぼ等しいことになる。2002 年から現在（2021 年）までに原発・再処理による放出量はさらに増加していると思われるので、現在おそらく原発・再処理工場からの放出量は自然起源の生成量の 1 割を超えているものと思われる。

東京電力「ALPS 処理水 告示濃度比総和別貯留量の更新について」（2020 年 8 月 27 日）から、文書の通り、告示濃度比 0.11（C14 告示濃度は 2000Bq/L なので 220Bq/L）として計算すると 0.264TBq 程度となる。かなりの量であることがわかる。

以上をまとめると以下のようなになる（表 4 付-1）。

表 4 付-1 炭素 14 の環境中での生成・存在量（2002 年）（福島については 2020 年現在）

	生成量 (PBq)	存在量 (PBq)
自然中の生成	年間 1.5	
大気中		150
天然存在量 (大気中+海水中)		13,000
核実験による生成 (主に 1950～1963)	総生成量 213 (年間 15 程度)	
原発・再処理工場による生成	総生成量 2.8 (1997 年まで)	
原発による生成 (年間)	0.053	
再処理工場による生成 (年間)	0.018(大気中)/0.021(液体)	
福島事故タンク貯留量 (東電発表の数値より計算)		0.00026 (0.26TBq)

出典：日本放射化学会『放射化学の事典』朝倉書店（2015 年）より作成。東電「ALPS 処理水 告示濃度比総和別貯留量の更新について」（2020 年 8 月 27 日）のデータより、告示濃度比 0.11（C14 告示濃度は 2000Bq/L なので 220Bq/L）として計算。

同書は、人工の炭素 14 について、「施設放出による ¹⁴C 濃度レベルの増加は比較的施設

周辺に限られて」いることとくに注目している (215 ページ)。つまり、炭素 14 による汚染とそれによる健康リスクは、原発や再処理工場周辺において集中して蓄積していく傾向があるということである。すなわち、政府が計画しているように、福島事故原発から大量の炭素 14 を放出すれば、福島周辺でこのような蓄積過程が起こる可能性が高いということになる。

政府や専門家の議論では、天然の放射性物質であり、「弱い」放射線しか出さない (本論考第 1 章参照) ことに加えて、炭素の生物学的半減期が「約 40 日」とされ、短期間で体外に放出されるので危険性は少ないと強調されている。だが、生物学的半減期について、上述したフェアリー氏は、OBT-2 の半減期が 500 日超であることだけから見ても、このような見解には根拠がないと述べている (フェアリー前掲、第 2 部第 13 章)。また、炭素 14 は、トリチウムと同様、有機炭素として植物や動物など生態系内部に広く蓄積され、それを人間が摂取した場合人体内で長く蓄積される可能性がある。

最後に、今やほとんど忘れ去られている 2 つの事実を指摘してこの項を終わろう。

量子化学の創始者の一人としてノーベル化学賞を受賞し、核実験反対運動に果たした主導的役割によって同平和賞とを受賞したライナス・ポーリング博士は、1958 年に刊行された著作*のなかで、1 節を割いて (「炭素 14 は脅迫する」)、炭素 14 の数千年にも及ぶ寿命と、それがもたらす深刻この上ない遺伝的影響に警告している。ポーリング氏は、炭素 14 について、「他の寿命の短い放射性元素よりはるかに大きい脅威を人類に与える」「核爆発で生み出される放射性物質のうちでいちばんおそろしい」ものであると書いている。

*原著は Linus Pauling, *No More War*, Dodd, Mead and Co, 1958、邦訳は丹羽小弥太訳『ノーモア ウォー』講談社 (1959 年) 71~73 ページ。

もう一つは、1959 年原水爆禁止世界大会において世界に向けて発せられた文書——上記ライナス・ポーリング博士を筆頭に物理学者の坂田昌一氏をはじめ世界の 26 人の科学者が名を連ねている「第 5 回原水爆禁止世界大会に集まった科学者のアピール」(1959 年 8 月 7 日付) である。それは、「放射能被害」に関して「とくに注目する必要がある」諸点の 1 つとして、ストロンチウム 90 と並んで、炭素 14 の危険性を特記して警告している。その部分を引用して本章を終わろう。

「水爆実験の結果、大気中の炭素 14 は最近 5 年間に 10 パーセントふえている。この放射性物質は通常の炭素とともに人体に入り込み、約 5600 年にわたる半減期をもって放射線を出し続ける。炭素 14 は今後幾十世代にわたり遺伝的および身体的影響を人体に及ぼし続けるであろう。」*

* 原水爆禁止日本協議会編『原水爆禁止世界大会宣言・決議集 第 1 回——第 20 回』(1975 年) 42~43 ページより引用。

炭素 14 は、現在も、トリチウムや放射性希ガスなどとともに原子力発電所や再処理工場の稼働により放出され、放出量は世界的に増加しつつある。このポーリング博士や坂田昌一氏ら当時の科学者たちの警告は、まさしく現在についてぴったりと当てはまる。

第5章 環境放射能汚染とウイルス変異の加速化、パンデミック反復の危険性

世界的な原発利用の拡大と使用済核燃料の再処理によって、また世界各地の原発や核施設で繰り返されまた今後に予想される原発の大事故によって、人工的なトリチウム放出量は現在のレベルからさらに拡大しようとしている。さらに現在世界の核大国、核帝国主義が準備している「小型核」を使った核戦争が現実にかかるという最悪の場合には、放射性降下物＝「死の灰」だけでなくトリチウムの放射能放出量もさらに拡大するであろう。福島事故原発に溜まっている汚染水の放出もまたこのような環境への放射能放出の世界的な動きの一環である。放出されているのは、本論考で取り上げたトリチウムや炭素 14、放射性希ガスだけではない。

だがこのような事態からは、いったい何が生じると想定されるであろうか。人間の健康に対する影響は、すでに第1～3章で詳しく検討した。ここでは、現に生じている新型コロナウイルスによるパンデミックと自然環境の放射能汚染の関連について考えてみよう。

第1節 「脱炭素」ブームに乗って原発推進へ回帰する支配層

多くの人々は、原発推進勢力や政府側専門家はとくにそうであるが、物事を利害から捉えることにいわば「慣れっこ」になっていて、トリチウムを大量に含む汚染水を流そうが、放射能で地球環境を汚染しようが、自分たちに対する直接の影響が見えなければ「問題ない」か「関係ない」と考えている。放射能の危険性やリスクは「見ない」というか「見えない」という安全・安心サイドへの「無意識のバイアス」*（ジェニファー・エバート氏の鋭い表現）である。もっとストレートに言えば、実際に現象として現れていても無意識のうちに「見ない」か「見えない」ことにするのである。「見えても見ない、だから『ない』」というのである。

*ジェニファー・エバート著・山岡希美訳『無意識のバイアス』明石書店（2020年）

日本の財界は、原発製造企業（日立）のトップ経営者であり、原発反対派を公然と「エモーショナルな人たち」（「非科学的な人たち」と示唆する揶揄）と決めつけてはばからなかったほどの原発強行推進論者*であった自分たちのトップ、中西宏明経団連会長を、75歳という財界人としては相対的に若い年齢で、「リンパ腫」により失った**。だが悪性リンパ腫は、普通のがんではない。がん一般が放射線被曝に関連がある可能性があるが、悪性リンパ腫は、稼働中の原発から放出される放射能に関連する可能性がとくに高いとされているがん疾患の1つである***。もちろん、個人の病気の原因について確実なことは何も言えないが、中西氏が人生のどこかの段階で、（おそらくは、基本的部分が日立製であった福島第1原発の事故の後に）、被曝を受け、それが後年のがん発症につながった可能性は強く示唆される。

*「経団連会長『感情的な人と議論 意味ない』原発巡る議論に」朝日新聞デジタル 2019年3月11日付 <https://www.asahi.com/articles/ASM3C663FM3CULFA01Q.html>

**「中西宏明・経団連前会長が死去 リンパ腫再々発で治療中」朝日新聞デジタル 2021年7月1日 <https://www.asahi.com/articles/ASP7143X5P63ULFA037.html>

***明石昇二郎『敦賀湾原発銀座「悪性リンパ腫」多発地帯の恐怖』宝島社（2012年）、初版の発刊は1997年。表紙は以下。悪性リンパ腫の放射線被曝との関連は、厚労省のサイトでも指摘されている。「悪性リンパ腫、特に非ホジキンリンパ腫と放射線被ばくとの因果関係について」厚生労働省 労働基準局 <https://www.mhlw.go.jp/shingi/2008/10/s1010-3.html>

つまり、原発推進派トップの被曝関連疾患による死去も、原発推進がもたらしてきた大量の放射能放出に対して自然が与えた「教訓」である可能性が否定できないのである。だが、日本の財界人たち、少なくともその主流の人々は、この教訓を一顧だにしないかのようだ。原発推進陣営のトップが、つまり自分たちの最高指導者が、原発関連が疑われる疾患で死去しても、何の反省もなく無情に振る舞っている。基本的な原発への依存と残存老朽原発の全面再稼働の強行という現在の危険な方針を、せめてのことに立ち止まって再点検する1つの機会にしようとはしていない。

だが、それだけではない。事態は、電力産業や原発機器業界だけでなく財界・自民党・学会・その他関連諸団体を挙げて、世界的な「脱炭素」の波に乗り、既存原発（27基）すべての再稼働へ、全原発の60年稼働へ（続いて80年へ）、さらに衆院選挙が終われば「原発新增設」や「リプレース」方針の決定へ、「再処理工場本格稼働」へ、「新型炉」や「次世代炉」開発*へとしゃにむに突き進もうとしているかの様相を呈している。

*日立のホームページ「日立の原子力ビジョンと新型炉開発」

<https://www.hitachihyoron.com/jp/archive/2020s/2020/02/02d03/index.html>

東芝のホームページ「安全性に優れた次世代炉・新型炉の追求」

<https://www.toshiba-energy.com/nuclearenergy/rd/safety-reactor.htm>

このような、新エネルギー基本計画策定に関連する原発への一種の熱狂は、支配層側から見てもある種危険なレベルにまで進みつつあるようだ。政府の2020年度『原子力白書』が、生まれつつある原発の「新たな安全神話」に公然と警告を発するまでに至ったからである。日本政府の公式文書である同白書は、「基準を満たせば安全という慢心がはびこり、『新たな安全神話』が生みだされる懸念がある」と「警鐘」を発している*。「安全という慢心」と「新たな安全神話」——これらの結果として、次なる、チェルノブイリ・福島原発事故の規模かそれらを超える原発重大事故へと事態が突き進んでいることに、支配層内部でも一端の躊躇があることを示唆している。

*日本経済新聞『「新たな安全神話」懸念——新規制で慢心 警鐘』2021年7月28日付

<https://www.nikkei.com/article/DGKKZO74234870X20C21A7EP0000/>

「警鐘」を言うのであれば、現在進行中のコロナ禍、新型コロナウイルス（SARS-COV-2）によるパンデミック（世界的大流行、COVID-19）こそ、改めてこのような状態に対す

る自然から人類への深刻な「警鐘」だと捉えるべきである。遺伝子の急速な変異がコロナウイルスの顕著な特徴であること 1 つを見ても、コロナウイルスと環境放射能を含む環境中の突然変異促進物質とが影響しているとは考えられない。ウイルスの突然変異が環境放射線や環境汚染物質（活性酸素やフリーラジカルなど）によって促されることは明かであるからだ。

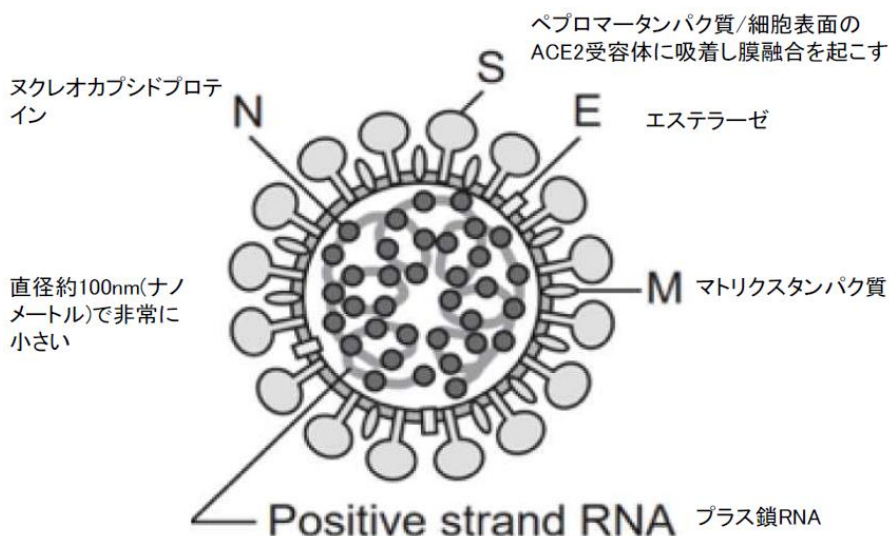
もちろん、現在進行中のコロナ禍が今後どのような展開をとるか、ワクチンの効果や治療薬開発の帰趨を含めて、予め決めてかかることはできない。流行初期にあった、遺伝学的な「日本人例外論」や「アジア人例外論」すなわち「ファクターX論」は、現実そのものによって、一部専門家たちの「権威」と「名誉」と共に、打ち砕かれてしまった。菅政権によるコロナ禍での東京五輪の強行によって、事態は悲劇的結末に向かって、半ば人為的に促された形で、転がり落ちて行きつつあるように見える。

本章では、コロナ感染症の広範な（後遺症を含めての）病態やコロナパンデミックの全面的な分析を試みるものではない。現在最重要の根本的問題はその原因であり、その発生原因の一つ、重要な要因の一つが、われわれがここまで検討してきたトリチウムをはじめ人工放射能の人為的な環境放出、それによる地球環境全体の放射線レベルの上昇にあるのではないかという問題を提起することである。

第 2 節 コロナパンデミックにおける真の問題——ウイルスに対する放射能・有害物質による環境汚染の影響

環境の放射能汚染や化学物質汚染で、とくに深刻なのは、人体影響だけではない。細菌・ウイルス世界に対する影響、とくに半ばむき出しの遺伝子（DNA あるいは RNA）であるウイルス（図 5-1）への影響は重大である。

図 5-1 コロナウイルス（プラス鎖 RNA ウィルス）の概念図



出典：国立感染症研究所のサイト（新型コロナウイルス感染症[COVID-19] 関連情報）より筆者作成

<https://www.niid.go.jp/niid/ja/kansennohanashi/9303-coronavirus.html>

微生物は、放射能汚染・複合環境汚染の影響を極めて受けやすい。ウィルスは常に遺伝子変異を繰り返している。またウィルスの遺伝子には、とくにコロナのような RNA ウィルスの場合には、複製ミスをチェックしたり修正したりする機能が十分備わっていないか、極めて弱い。自然的過程として、ウィルスや細菌の遺伝子変異は、常に確率的に生じ、とくに感染力や有毒性の強いウィルスが一定あるいは不確定な周期で現れる。

環境中の放射線レベルの上昇がウィルスに与える影響については、以下の現象を確認できる。

〔ウィルス遺伝子の変異の促進と加速〕

環境中の放射線濃度の上昇が生じた場合、このようなウィルスの変異の促進と加速が必然的に生じざるをえない。この点だけからも、放射線に被曝するとウィルス突然変異の加速化が生じ高毒性のウィルスの出現確率が上昇するであろうことは明らかである。微生物学のよく使われている教科書の 1 つである中込治監修『標準微生物学 第 13 版』医学書院（2019 年）は、ウィルスに放射線（X 線）を照射すると変異の頻度が高くなる現象を記している（343 ページ）。ウィルスの遺伝子変異については多くの型があり、ここでは取り扱えないが、この点も同書第 29 章「ウィルスの遺伝・進化」を参照願いたい。

問題は、環境放射線の上昇が現在パンデミックを生みだしているコロナウィルスの生成と何らかの重要な関連があるのではないかということである。

多くのウィルス学者・微生物学者（山内一也氏、宮沢孝幸氏など）が、今回のパンデミックをもたらした環境要因の重要性を指摘している*。だが、私の見た限り、彼らは放射線影

響には触れていないようである**。彼らが指摘している放射線以外の重要な諸要因——温暖化や森林破壊、野生動物の食肉化やヒトと野生動物の接触の増加、グローバリゼーションや経済格差拡大などの社会経済的要因などは、その通りであり、ここでは触れないことにしよう。

*文献は非常に多く、十分に検討できていないが、参考にしたものとして以下のみを挙げておく。

山内一也『ウィルスの世紀 なぜ繰り返し出現するのか』みすず書房（2020年）、『新版 ウィルスと人間』岩波書店（2020年）

宮沢孝幸『京大おどろきのウィルス学講義』PHP 新書（2021年）

免疫学の観点からは、宮坂昌之『新型コロナ7つの謎』講談社（2020年）がある。

**コロナウイルスへの放射線影響を明確に指摘した論考としては、小出裕章「原発被害とコロナ被害『今だけ金だけ自分だけ』による災厄」『人民新聞』2020年11月5日付がある。

ウイルスに対する放射線影響は多面的であり、被曝による変異の加速化だけではない。

【大気汚染や化学物質汚染と放射線影響との複合影響——フリーラジカル産生で共通】

環境（大気）汚染・環境破壊にプラスして、環境の放射能汚染とくに RNA・DNA に直接入り込むトリチウムによる汚染が、複合影響として、累積的かつ相乗的に、ウイルスの RNA・DNA 変異を飛躍的に促した。前述の中込治監修『標準微生物学 第13版』医学書院（2019年）は、X線など放射線以外に、亜硝酸、ヒドロキシルアミン、ニトロソグアニジンなどの活性酸素・フリーラジカルを産生する化学物質によりウイルスの変異の頻度が高くなることを指摘している。われわれは、これらの作用が「複合的に生じる」可能性を付け加えたいと考える。

【人間と動物への健康影響】

放射能汚染および化学物質汚染・大気汚染がもたらした人間と動物界全体の健康状態の変化と弱体化、とりわけ免疫機能障害・異常・低下、および呼吸器系や心血管系への影響が、宿主側の条件として加わる。つまり、人間にウイルスを伝染させる動物系の健康状態の変化と、そのウイルスを受け取る人間の側の健康状態との両方が問題になる。

第3節 環境放射能汚染によるウイルス・細菌変異の危険性の指摘——歴史的概観

放射能による環境汚染が、ウイルスや細菌の変異を促進することによって、高毒性のウイルスや細菌が生みだされ、それが活性化して、人類に重大な健康被害をもたらす、人類の生存そのものを脅かす危険性がある——このことは、大気圏核実験のもたらす不可避的な結末の一つとしてすでに1950年代から指摘されてきた。

【先駆的なサハロフ博士の問題提起】

グロイブ、スターングラス両氏（肥田舜太郎・竹野内真理訳）『人間と環境への低レベル放射能の脅威』あけび書房（2011年）は、アンドレ・サハロフ博士——ソ連の水爆開発者でありながら、核実験や核開発・核戦争による放射能の危険と核実験停止を訴え続けた——が、1958年に、原爆や原水爆実験によって環境中に放出される「死の灰」により、「様々なウィルスが危険なものに変異」する危険があると警告したことを指摘している*。サハロフ氏は、このような変異の歴史的事例として、19世紀半ばに生じたジフテリアの変異と、論考執筆当時のインフルエンザ（おそらく「アジア風邪」のことであろう）の大流行を挙げている。他方では、サハロフ氏は、放射性降下物によってばら撒かれた放射能によって生じる「活性酸素」によりウィルス・細菌に対する「人間の免疫組織が弱体化」する恐れがあると警告していた。グロイブ、スターングラス氏は、この点にも注目するよう訴えている。なおサハロフ氏によれば、このようなウィルス・細菌による危険は、放射能による遺伝性影響に匹敵すると示唆されている**。

*グロイブ、スターングラス両氏（肥田舜太郎・竹野内真理訳）『人間と環境への低レベル放射能の脅威』あけび書房（2011年）217ページ

**サハロフ氏の論考は以下のサイトで読むことができる。

<http://fissilematerials.org/library/sgs01sakharov.pdf>

[エイズウィルスの変異をめぐって]

スターングラス氏は、早くから、大気中核実験が拡散した大量の「死の灰」と1980年代からのエイズの発症・蔓延との関連の可能性を指摘してきた。スターングラス氏は、1986年に発表された「仮説」で次の点を強調している。エイズウィルス（HIV）自体はすでに1940年代から散発的に症例が発見されていたが、大気圏核実験による放射性降下物（とくに放射性ストロンチウム）が、以前の有害性の低かったウィルスを、致命的な現在のHIVに変異させ、それが1980～82年にエイズの世界的規模での蔓延を導いたと考えられると。事実、エイズの発症した中央アフリカ、カリブ海地方、米国東海岸など集中的に発症した地域は、緯度において大気圏核実験が繰り返し行われた実験場の緯度と重なっていた*。つまり、成層圏に舞い上がった帯状の「死の灰」が降下してきたゾーンと一致しているわけである。

*前掲、グロイブ、スターングラス『人間と環境への低レベル放射能の脅威』215～217ページ、263～264ページ

核爆発は強力な上昇気流を生みだし、対流圏を越えて成層圏下層まで到達し、成層圏下層に幅の広い帯状の放射能汚染層を形成する。その後数十年から数百年をかけて放射性物質は対流圏に落下してくると考えられている。

[チェルノブイリ事故で実証されたウィルス・細菌の変異の加速化と活性化]

スターングラス氏は、自らのこのような見解を「反証のない仮説」と呼んでいたが、チェルノブイリ原発事故で汚染された地域において細菌やウィルスの活動を観察した当時の

ソ連の科学者たちは、実際に、この現象を観察しそれがもはや仮説ではなく現実であることを実証した。ヤブロコフ氏らによれば、チェルノブイリ事故によって「追加被曝を受け」たウイルスを含むすべての微生物類は、「急激に変化」し、「突然変異の頻度が高ま」り、「この小進化の機構がすべての放射能汚染地域で活発になり在来ウイルスや細菌を活性化したり、新種を出現させたりする」ことが確認されている（ヤブロコフら『チェルノブイリ被害の全貌』岩波書店 [2013年] 239 ページ）*。

*落合栄一郎氏は、2020年に刊行された新著においてヤブロコフ氏らのこの指摘に注目している。その後のコロナパンデミックを考えると、これは極めて時宜にかなった指摘であったと考える。筆者（渡辺）は個人的にこの部分を読んだことが、コロナパンデミックと放射能環境汚染との関連を考えていく上で「eye opener」となったことを記しておきたい。落合栄一郎『21世紀の核問題』（英文）、Nuclear Issues in the 21st Century, Invisible Radiation Effects on Life, Nova Science Publishers, 2020、96 ページ

[コロナパンデミックの前史]

新型コロナウイルスによるパンデミックは、すでに全世界で2億人以上に感染し430万人以上の人々の生命を奪って（2021年8月8日現在）なお、その猛威が衰える兆しは見えていない。だが、これにもまた前史があった。

1918年には有名な「スペイン風邪」の世界的大流行があり、全世界で、第1次世界大戦の死者を大きく上回る5000万人が死亡したと推定されている。だが、これでも過小評価であろうと思われる。

第二次世界大戦後では、**1957年**に「アジア風邪」、**1968年**には「香港風邪」の世界的大流行があり、それぞれ全世界で200万人、100万人が亡くなったと推定される（日本経済新聞2020年6月29日付）。これらはインフルエンザウイルスによるものである。

2000年代以降、エマージング・ウイルス（新興ウイルス）が次々の出現する傾向が顕著となっている。**1976年**に豚インフルエンザ（米国）の流行があったが、それに続いての**2000年**ごろ豚インフルエンザ（メキシコ・米）。**2002年**中国広東省から広がったSARS（重症急性呼吸器症候群、これはコロナウイルスである）。**2009年**の新型インフルエンザ（鳥、豚由来とされる）はメキシコが発生地であった。**2012年**以降、MERSウイルス（コロナウイルス、中東戦争による米軍の劣化ウラン弾との関連が指摘されている）。**2013～15年**エボラ出血熱（エボラウイルスによる、西アフリカ）。これらを挙げるだけで十分であろう。すなわち、今回のコロナ禍以前にもすでに何回も危険な「ニアミス」事例があり、現在のコロナパンデミックは起こるべくして起こったのである（表5-1、図5-2参照）。

表5-1 エマージング（新興）ウイルスの出現と自然宿主

年	病気（原因ウイルス）	発生国・地域	自然宿主
1957	アルゼンチン出血熱（フニンウイルス）	アルゼンチン	ネズミ

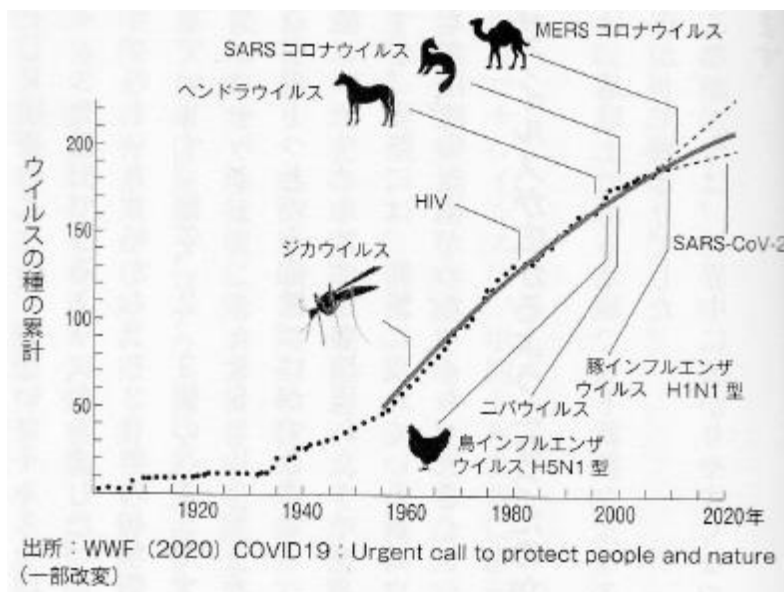
1959	ボリビア出血熱 (マチュボウイルス)	ブラジル	ネズミ
1967	マールブルグ病 (マールブルグウイルス)	ドイツ	コウモリ
1969	ラッサ熱 (ラッサウイルス)	ナイジェリア	マストミス*
1976	エボラ出血熱 (エボラウイルス)	ザイール	コウモリ
1977	リフトバレー熱 (リフトバレーウイルス)	アフリカ	ヒツジ、ウシ
1981	エイズ (ヒト免疫不全ウイルス)	アフリカ	チンパンジー
1991	ベネズエラ出血熱 (グアナリトウイルス)	ベネズエラ	ネズミ
1993	ハンタウイルス肺症候群 (シンノブレウイルス)	アメリカ	ネズミ
1994	ブラジル出血熱 (サビアウイルス)	ブラジル	ネズミ
1994	ヘンドラウイルス病 (ヘンドラウイルス)	オーストラリア	コウモリ
1997	高病原性トリインフルエンザ (トリインフルエンザウイルス)	香港	カモ
1998	ニパウイルス脳炎 (ニパウイルス)	マレーシア	コウモリ
1999	ウェストナイル熱 (ウェストナイルウイルス)	アメリカ**	野鳥
2003	SARS (SARS コロナウイルス)	中国	コウモリ
2003	サル痘 (サル痘ウイルス)	アメリカ	齧歯類
2004	高病原性トリインフルエンザ (トリインフルエンザウイルス)	アジア	カモ
2009	新型インフルエンザ (インフルエンザウイルス)	アメリカ、メキシコ	ブタ?
2012	MERS (MERS コロナウイルス)	サウジアラビア	コウモリ
2015	ジカ熱 (ジカウイルス)	ブラジル	サル
2019	COVID-19 (SARS コロナウイルス 2 型)	中国	コウモリ

* (引用者注) ネズミの一種

** (引用者注) 当初の発見は 1937 年にウガンダであった。1999 年に北米で毒性の高い新型のウイルスが発生し流行。

出典：山内一也『新版 ウィルスと人間』岩波書店 (2020 年) 83 ページ

図 5-2 ヒト新興ウィルスの出現数の推移



宮沢孝幸『京大 おどろきのウィルス学講義』PHP 新書 (2021 年) より引用

これらの新興ウィルスは、時期的に見て、大量の放射能を環境中に放出した核実験の開始 (1945 年) 以降に、さらには湾岸戦争 (1990 年～)・イラク戦争 (2003 年～)・ユーゴスラビア内戦 (1991 年～) などでの劣化ウラン弾の大量使用と、時期的に並行してあるいは少し後を追う形で出現してきていることに注意すべきである*。

*劣化ウラン弾使用の放射線影響としての従軍兵士らの「湾岸戦争症候群」については、ロザリー・バーテル「劣化ウランと湾岸戦争症候群」ICBUW 編『ICBUW の挑戦 ウラン兵器なき世界をめざして NO DU ヒロシマプロジェクト』合同出版 (2008 年) を参照。

第 4 節 環境汚染影響によるウィルスの標的となる諸器官の機能障害と免疫力の低下

放射能汚染と放射線被曝の諸要因の検討の前に、それらが作用しその作用を増強すると思われるもう一つの大きな要因を検討しよう。

[大気汚染の健康影響]

その 1 つは、環境汚染とくに大気汚染による健康影響である。現在、原発推進論と結びついて環境問題を「CO₂削減」の問題に矮小化する傾向が強まっているが、これは根本的な誤りである。原発に反対する人々の中にはこの傾向への機械的反発として、正反対の「CO₂無害論」のような主張が見られるが、これもまた危険な一面化である。

これらの議論は、いずれも、CO₂と共に放出されている莫大な大気汚染物質、窒素酸化物*、イオウ酸化物、大気中微粒子 (PM_{2.5}、PM_{0.5} など大気エアロゾル粒子)、有害化学物

質、環境ホルモン物質などの危険性を無視ないし著しく軽視している。また大気汚染物質中には、放射性微粒子による放射能汚染が重要な要因として含まれていると考えられる。たとえば、中国から飛来する微粒子汚染の中には、中国の核実験やそれ以前にはソ連の核実験によって放出され砂漠などの土壌粒子に沈着・吸着した放射性微粒子が含まれている可能性が高いことにも注意しなければならない**。

*今後、CO2 排出削減の目的でアンモニア燃料が広く使用されようとしているが、これは各種の窒素酸化物、NOX を放出することによって取りかえしのつかない大気汚染をもたらすであろう。

**高田純『中国の核実験』医療科学社（2008年）。

2018年のWHO推計によれば、大気汚染は全世界で年間に880万人の犠牲者を出している*。ヨーロッパについては、マックス・プランク研究所から、大気汚染による死者の詳しい内訳が推計されている（図5-3）。大気汚染が、コロナウィルスが襲う対象である呼吸器系や心臓・血管系に深刻な影響を及ぼしていることは明らかである。これが世界的なパンデミックの条件を生みだした基礎となったのである。

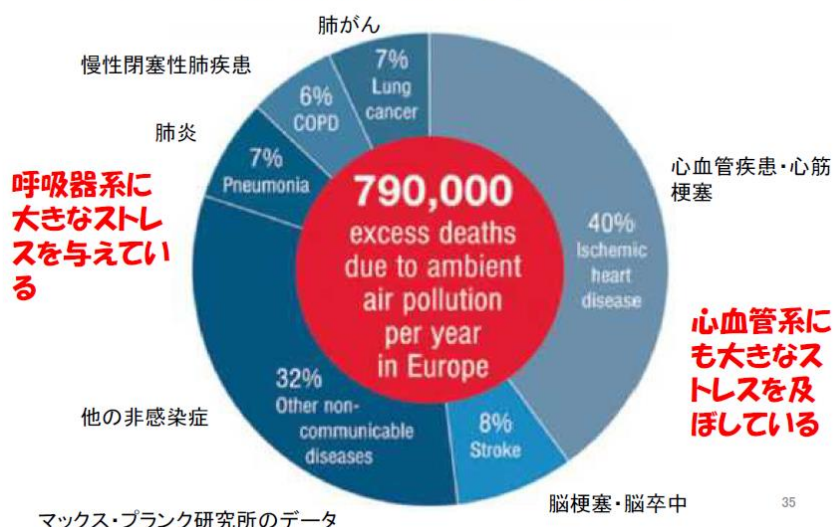
*「大気汚染で世界で年間880万人が早死に 従来推定値の2倍 喫煙原因上回る」AFP通信2019年3月13日付

<https://www.afpbb.com/articles/-/3215540>

この場合、大気汚染が原因とされている健康被害の中には、狭義の大気汚染だけでなく、現在も原発・再処理工場から放出されている大量の気体状・蒸気状の放射性物質（トリチウムや希ガス）およびエアロゾル状の放射性微粒子による影響、すなわち環境放射能汚染の影響も、1つの要因あるいは複合要因の1つとして含まれていると考えるべきであろう。

図5-3

ヨーロッパでの年間死者数の推計(79万人)とその症状別の内訳



[免疫機構への影響]

もう一つの要因は、動物・人間世界への影響とりわけ免疫不全・障害・攪乱である。ウィルスへの耐性(免疫力)には、動物種やヒト間での大きな格差があることが知られている。コウモリやラクダなどが強くウィルスが体内にいても発症しないが、他の動物やヒトでは発症する。たとえば、狂犬病ウィルスは、コウモリを宿主とするかぎり発症しないが、イヌでは発症し、ヒトでも発症し、致死性となる。コウモリはウィルスが体内にいてもその毒力を抑制できる免疫力をもつと考えられている。SARSは、コウモリ→ハクビシン→ヒトと伝わって発症し、新型コロナではコウモリ→センザンコウ→ヒトと伝播して発症したのではないかと考えられている。各動物種とヒトとの免疫力の階層構造(ヒエラルヒー)は微妙なバランスにあり、環境放射線レベルによって変化したり崩壊したりする可能性がある。

すなわち、放射線被曝や大気・環境汚染による、環境ホルモンや抗生物質、免疫調整剤など医薬品の濫用による、動物界・人類全体の免疫システムの能力低下やバランスの崩れ、免疫機能弱化や不全を、直接的健康影響とあわせて考慮する必要がある。しかも、この場合、免疫力の強い動物種から弱い動物種への伝播にともなって、ウィルス自身が独自の変異をしながら拡散して行くであろう。

第5節 新型コロナウイルスの生成と疑われる中国における放射能汚染

今回の新型コロナウイルスが中国・武漢の研究所から流出したという疑惑は大いに喧伝されている。だが、その発生が中国核実験や核兵器工場再処理工場などによる放出放射能との関連があるのではないかという、当然生じてくる疑惑には、なぜか無視のカーテンが降ろされているようだ。

問題は、なぜ中国で、SARS(悪性急性肺炎)や、鳥インフルエンザ、豚コレラ(豚熱)に続いて新型コロナウイルスなど、次々と新種のウィルスが何度も何度も生じてくるのか、その客観的な条件は何なのかという点である。

[核実験の残留放射能]

このことを考えていく上で1つの鍵となるのは、中国が新疆ウイグル自治区ロプノール地区(武漢からおおよそ2500キロの距離しかない)で繰り返し行ってきた原水爆実験(1964年から、水爆は1967年~1996年まで合計45回うち大気圏内は23回)との関連である。中国の大気圏核実験の総爆発出力は、おおよそ20メガトンであったと考えられ*、広島原爆換算でおおよそ1250発分という莫大な規模である。

*Wikipedia「中国の核実験」では、数字が挙がっている地上核実験の総出力が17.5メガトン(出力不明が1回あるが、そのすぐ前の実験が2.5メガトンなのでこれを加えた)。

[中国の核兵器製造・原発関連産業・再処理工場の集積と放射能放出]

もう一つの鍵は、核兵器工場・再処理工場・核関連研究機関などによる環境放射能放出が

ウィルス変異を促進した可能性である。中国の核兵器工場・再処理工場・核関連研究機関は、米軍による攻撃に対抗するという軍事上の理由から中国の内陸部に、武漢が省都である湖北省のとなりの四川省に集中しているとされる*。したがって、放射性物質を含んだ排液や廃棄物は、放出されて揚子江に流入していると推定される。

*Atomica「中国の核燃サイクル」参照

放射性のガスや微粒子としても、西風に乗り、武漢のある湖北省にも、長期にわたり飛来し沈着していたものと考えられる。黄砂の飛跡はこのことを示唆している*。

*藤田慎一ら『越境大気汚染の物理と化学 2 訂版』成山堂書店（2021 年）第 12 章参照

また中国は、現在、原発の建設と稼働を急速に進めており、年間 5～8 基を新規着工し、2030 年には原発の発電量を現在の 2 倍にする計画という。2022 年にフランスを抜き、2026 年には米国をも抜く想定という*。それが放出するトリチウムや希ガス、放射性微粒子の量も加速度的に増えていると考えられる。揚子江流域の内陸部に建設された原発では、液体トリチウムを含め排水は揚子江に流されているものと推定される。

*たとえば、サンケイビズ「中国、原発世界の野望堅持 最大の脅威は他の“クリーンエネルギー”」ブルームバーグ 2020 年 6 月 29 日

<https://www.sankeibiz.jp/macro/news/200629/mcb2006291035010-n1.htm>

[動物と人間の特殊に密接な交流]

中国において、食材や漢方薬原材料として動物と人間の特別に密接な関係があり、ウィルス感染での交流関係があることは広く知られている。すでに述べたように、環境中の放射線濃度の上昇は、ウィルス自体の突然変異速度の上昇とともに人間と動物世界両方への免疫力を低下あるいは異常な免疫反応を生じさせ、動物間での感染と動物から人間への感染、人間から人間への感染の両方を起こりやすい条件があったと考えるべきであろう。こうして、中国武漢では、ウィルス・動物・人間の全側面から新型の変異ウィルスや細菌による爆発的な感染のリスクが高まっていた可能性が十分考えられる。

第 6 節 環境破壊・気候変動・温暖化の危険、社会経済的諸要因など

ここではざっと概括するだけにとどめるほかないが、温暖化と熱帯雨林の破壊が、熱帯や亜熱帯のジャングルや森林の条件で生息する病原体・ウィルスなどを活性化し、他方温暖化により今までの温帯や世界の都市部などに拡大する危険がかねてから指摘されてきた。

また、温暖化による永久凍土や氷河の融解によって、その中に封じこまれていた古ウィルス・古細菌が再活性化したり再感染したりする危険性もまた注目されてきた（ロシア永久凍土地帯での融解による 75 年前の炭疽菌による死亡例や、スイスでの融解氷河水からの 1918 年「スペイン風邪」ウィルスの発見など）。

現存のウィルス・細菌とこれら再活性化ウィルス・細菌との相互作用のリスクも指摘され

しており、これによる今までになかった有害・危険な病原体の出現の危険も現実のものとなっている。

その他の社会経済的要因については、この数十年の社会的格差のかつてない拡大、広範な労働者・勤労人民の貧困化、労働条件・住宅条件・生活条件・栄養条件の悪化、それらが広範な人々の健康状態の全般的な低下をもたらしていることが重要である。他方では、経済と社会のグローバル化により、ウィルスや疾患の世界的伝染の速度と範囲が顕著に加速化している。こうして、一握りの帝国主義諸国（米、中、欧州、そして日本も含む）による広範な途上国の搾取体制が、途上国での労働者・人民の劣悪な生活条件をもたらし、医療体制の脆弱性と相俟って、ワクチン配分をテコとした途上国支配が進む一方、途上国にウィルス変異の「温床」を生みだしている。世界の製薬独占体の支配が急ごしらえのワクチンによる莫大な利益と、その反面として、一般公衆向け医療の切り捨て、公衆衛生機構への投資不足、結果としての感染症対策の脆弱化をもたらしていることだけを特記しておこう。

[環境中の放射能レベルの上昇と気候変動の加速]

原発や再処理工場などの稼働や事故に伴うトリチウムや放射性希ガス（とりわけクリプトン 85 やキセノン 133）、さらにはヨウ素 131 やセシウム 134/137 の微粒子などの放出が、気候変動過程に影響を及ぼし、その攪乱を促進している点についても、ここでは論じることができなかった。少なくとも、環境中のトリチウム水蒸気濃度上昇による霧*の発生頻度の増加の傾向や、クリプトン 85 の大気中濃度の上昇による大気の電気組成の変化（電気絶縁度の低下）がもたらしうる、降雨の増加、雷雨・落雷の頻度の増加、山火事や土壌火災の増加、異常気象などの現象**について、すでに指摘あるいは報告されている。この点だけは、今後への課題として、特記しておきたい。

* 「消えないモヤの正体はいかに？」『週刊プレイボーイ』2015年10月25日

** グリンピース・ジャパン「六ヶ所核燃料サイクル施設周辺の環境放射線調査報告 再処理工場運転開始前」

http://www.aec.go.jp/jicst/NC/tyoki/sakutei_youbou/38.pdf

「北極圏の雷が倍増する、環境を激変させる不吉な予測」National Geographic 2021年4月15日
記事

<https://natgeo.nikkeibp.co.jp/atcl/news/21/041300179/>

「気候変動で増える北極圏のゾンビ火災、無視できない理由」National Geographic 2021年4月15日
記事

<https://natgeo.nikkeibp.co.jp/atcl/news/21/052100249/>

第8節 必然的な帰結——パンデミックの「反復性」、他の感染症との相互的活性化、高毒性レトロウィルスの活性化などの危険性

これらの分析からいくつかの重要な帰結が必然的に出てくる。ここでは 3 点だけを検討しよう。

(1) 第 1 は感染症パンデミックの「反復性」である。これは恐るべき帰結であるが、すでに多くのウィルス感染症学の専門家がこれを予測している。

全ての核兵器開発を止め、核兵器を全廃し、原発稼働を止め、原発を全廃し、再処理を止め、環境中への放射能の放出を止め、環境破壊・森林破壊を止め、CO₂ 放出だけでなく大気汚染物質放出を抜本的に削減し、再生可能エネルギーに転換しなければ、すなわちいま根本的対策をとらなければ、必然的に何度も繰り返される可能性が高いということである。繰り返しになるが、現状の環境中の放射能・放射線レベル、環境汚染・大気汚染レベル、温暖化を放置すれば、変異ウィルスによるパンデミックは、ワクチンの効果がどの程度あろうが、治療薬が開発されてもされなくても、何度も繰り返し襲ってくる結果を避けることができない。

ジャーナリストの井田徹治氏は最新刊で「第二、第三のパンデミックのリスクを減らすために何をすべきなのかを世界は真剣に考える必要がある」と書いている（『次なるパンデミックを回避せよ 環境破壊と新興感染症』岩波書店 [2021 年] の「はじめに」）。井田氏は「新型コロナウイルスのようなパンデミックと過去 50 年ほどの間に急速に進んできた地球規模での環境破壊との関連である」と指摘している。ただ井田氏の言う環境破壊の中には放射能汚染は含まれていないが、井田氏は、この観点から、「将来のパンデミックのリスクを減らす」ためには「自然を守り、生物多様性の消失に歯止めを掛ける」ことが必要だと強調している（前掲 130 ページ）が、その通りであろう。

だが、井田氏の予測する「第二、第三のパンデミック」が現在のコロナ感染症（COVID-19）と同じような病態を発現し同じような経過をたどるとは限らない。現在の COVID-19 が広範囲で長期的な後遺症をもたらすことが徐々に明らかになってきているように、今後予測されるパンデミックが、全く新しい、発症形態や病態や経過を辿るであろうと考えるべきである。それは予測不可能である。

(2) 専門家が警告している今後に向かってのもう 1 つの危険は、今回のようなウィルスによるパンデミックが、人間の他の感染症への易罹患性（罹りやすさ）を高め、他方では既存の他の細菌や微生物を活性化し、相互作用として人間の健康に全体的な毒性影響を及ぼす可能性である。たとえば、コロナパンデミックにより、カビの一種である真菌感染症が活性化し、免疫抑制剤を使用した患者に感染を拡大しているという*。また公衆衛生学が専門の高鳥毛敏雄関大教授は、パンデミックにより今後感染拡大を警戒すべき疾患として結核（日本では他の先進諸国に比べて罹患率が 2 倍以上高い**）の危険性が高まると指摘している（本行忠志元大阪大学教授より筆者への個人メール）。そのほかには、コロナ感染によって、RS ウィルスやインフルエンザウィルスなどの感染症も危険性が高まると予測されている。

* 「人を襲うカビ 真菌感染症——COVID-19 で高まるリスク」『日経サイエンス』2021 年 9 月号

**ニューズウィーク日本版『COVID-19のすべて』

(3) さらに考えられる帰結は、今後のウイルス変異によって高毒性のレトロウイルス (HIV のような DNA 自体を書きかえる逆転写ウイルス) が活性化し、レトロウイルスによるパンデミックが生じる危険である。コロナパンデミックに関して出版された最新刊において、ウイルス学者の宮沢孝幸氏は、レトロウイルスの変異の可能性に注目している。宮沢氏によれば、放射線や宇宙線によってレトロトランスポゾン (レトロウイルスと同じような逆転写機能を果たす可動的な遺伝子) が活性化するという現象が確認されているという。つまり、今後、ウイルス一般の変異だけではなく、HIV のようなゲノム DNA を書きかえるようなレトロウイルスの変異、とりわけ生殖細胞に遺伝子を書き込むようなレトロウイルスの変異ウイルスが生じ活性化してくる可能性に注目しなければならないという。

また宮沢氏は、環境放射線 (宮沢氏はγ線バーストなど宇宙線を挙げているが) によるレトロウイルス (レトロトランスポゾン) の活性化の可能性を、ヒトの精子数の減少や運動強度の弱化などヒトの生殖能力 (生殖率) の低下が現実に進んでいる事実 (われわれが第 1 章で指摘した) とともに、この人類の「絶滅」(宮沢氏の表現) への接近の徴候と一体のものとして提起している (宮沢前掲書第 7 章)。もちろんこのような提起は単純化や短絡的との批判を招くであろうが、放射能汚染や環境汚染の現状を考えると宮沢氏の問題提起は極めて示唆的である。

第 8 節 必然的な帰結——パンデミックの「反復性」、他の感染症との相互的活性化、高毒性レトロウイルスの活性化など、人類の種としての生存そのものの危機

これらの分析からいくつかの重要な帰結が必然的に出てくる。ここでは 3 点だけを検討しよう。

(1) 第 1 は感染症パンデミックの「反復性」である。これは恐るべき帰結であるが、すでに多くのウイルス感染症学の専門家がこれを予測している。

全ての核兵器開発を止め、核兵器を全廃し、原発稼働を止め、原発を全廃し、再処理を止め、環境中への放射能の放出を止め、環境破壊・森林破壊を止め、CO₂ 放出だけでなく大気汚染物質放出を抜本的に削減し、再生可能エネルギーに転換しなければ、すなわちいま根本的対策をとらなければ、必然的に何度も繰り返される可能性が高いということである。繰り返しになるが、現状の環境中の放射能・放射線レベル、環境汚染・大気汚染レベル、温暖化を放置すれば、変異ウイルスによるパンデミックは、ワクチンの効果がどの程度あろうが、治療薬が開発されてもされなくても、何度も繰り返し襲ってくる結果を避けることができない。

ジャーナリストの井田徹治氏は最新刊で「第二、第三のパンデミックのリスクを減らすために何をすべきなのかを世界は真剣に考える必要がある」と書いている (『次なるパンデミックを回避せよ 環境破壊と新興感染症』岩波書店 [2021 年] の「はじめに」)。井田氏は

「新型コロナウイルスのようなパンデミックと過去 50 年ほどの間に急速に進んできた地球規模での環境破壊との関連である」と指摘している。ただ井田氏の言う環境破壊の中には放射能汚染は含まれていないが、井田氏は、この観点から、「将来のパンデミックのリスクを減らす」ためには「自然を守り、生物多様性の消失に歯止めを掛ける」ことが必要だと強調している（前掲 130 ページ）が、その通りであろう。

だが、井田氏の予測する「第二、第三のパンデミック」が現在のコロナ感染症（COVID-19）と同じような病態を発現し同じような経過をたどるとは限らない。現在の COVID-19 が広範囲で長期的な後遺症をもたらすことが徐々に明らかになってきているように、今後予測されるパンデミックが、全く新しい、発症形態や病態や経過を辿るであろうと考えるべきである。それは予測不可能である。

(2) 専門家が警告している今後に向かってのもう 1 つの危険は、今回のようなウイルスによるパンデミックが、人間の他の感染症への易罹患性（罹りやすさ）を高め、他方では既存の他の細菌や微生物を活性化し、相互作用として人間の健康に全体的な毒性影響を及ぼす可能性である。たとえば、コロナパンデミックにより、カビの一種である真菌感染症が活性化し、免疫抑制剤を使用した患者に感染を拡大しているという*。また公衆衛生学が専門の高鳥毛敏雄関大教授は、パンデミックにより今後感染拡大を警戒すべき疾患として結核（日本では他の先進諸国に比べて罹患率が 2 倍以上高い**）の危険性が高まると指摘している（本行志忠元大阪大学教授より筆者への個人メール）。そのほかには、コロナ感染によって、RS ウイルスやインフルエンザウイルスなどの感染症も危険性が高まると予測されている。

* 「人を襲うカビ 真菌感染症——COVID-19 で高まるリスク」『日経サイエンス』2021 年 9 月号

** ニュースウィーク日本版『COVID-19 のすべて』

(3) さらに考えられる帰結は、今後のウイルス変異によって高毒性のレトロウイルス（HIV のような DNA 自体を書きかえる逆転写ウイルス）が活性化し、レトロウイルスによるパンデミックが生じる危険である。コロナパンデミックに関して出版された最新刊において、ウイルス学者の宮沢孝幸氏は、レトロウイルスの変異の可能性に注目している。宮沢氏によれば、放射線や宇宙線によってレトロトランスポゾン（レトロウイルスと同じような逆転写機能を果たす可動的な遺伝子）が活性化するという現象が確認されているという。つまり、今後、ウイルス一般の変異だけではなく、HIV のようなゲノム DNA を書きかえるようなレトロウイルスの変異、とりわけ生殖細胞に遺伝子を書き込むようなレトロウイルスの変異ウイルスが生じ活性化してくる可能性に注目しなければならないという。

また宮沢氏は、環境放射線（宮沢氏はγ線バーストなど宇宙線を挙げているが）によるレトロウイルス（レトロトランスポゾン）の活性化の可能性を、ヒトの精子数の減少や運動強度の弱化などヒトの生殖能力（生殖率）の低下が現実に進んでいる事実（われわれが第 1 章で指摘した）とともに、この人類の「絶滅」（宮沢氏の表現）への接近の徴候と一体のものとして提起している（宮沢前掲書第 7 章）。もちろんこのような提起は単純化や短絡的との

批判を招くであろうが、放射能汚染や環境汚染の現状を考えると宮沢氏の問題提起は極めて示唆的である。

まとめ——原発や放出放射能と共に人類滅亡への道を転落していくか、原発をやめ環境放射能汚染を止めていくのか

将来への観点からは以下の3点をあわせて強調したい。

第1点は、すでに1950～60年代から多くの科学者によって指摘され警告されてきた「バイオ世界大戦」の危険性である。つまり、ウイルス・細菌を兵器として使用する戦争であり、それは必然的に世界戦争にならざるを得ない。今回のコロナ禍をそうだとする考え方には無理があろう。だが、実際的には、救急対応、医療資源・人材の動員、ワクチンの獲得競争や接種競争など、ウイルスを利用した事実上の帝国主義戦争の側面があることは疑いの余地がない。中国は、現在までのところ、アメリカの犠牲者数（61万人）が、自国の死亡者数（公表5000人弱）に比較して圧倒的に多いことを、どう解釈するだろうか？

第2点は、われわれの本来の論点である環境中の放射線レベルの歴史上昇が持続しさらに加速する危険性である。広島・長崎への原爆投下、核実験とりわけ地上・大気中核実験、核兵器製造、原発の通常稼働（とりわけトリチウム、希ガス、炭素14、さらにはヨウ素131、放射性セシウム微粒子など）、再処理工場の稼働（とりわけトリチウム、プルトニウム）、繰り返される原発事故・核事故（とりわけチェルノブイリと福島原発事故）、さらには非電離放射線である環境電磁波レベルの上昇（携帯電話、同基地局、高圧送電線、家庭内配線など）など、核実験以前との比較で、環境中の放射線濃度は明らかに高まっている。第1章で見たように、トリチウムベースで見て、大気中トリチウム量が核実験以前の最低でも1000倍以上になった状態が持続し、さらに世界中の原発と再処理工場から、宇宙線による自然界での年間生成量（約70PBq）に近い量（筆者推計で約50PBq）を毎年放出していると考えられる。国際エネルギー機関（IEA）のシナリオでは、原発による発電量は新興諸国を中心に現状（2020年）の2倍になることが想定されており*、その場合原発・再処理工場からのトリチウム放出量（約100PBq）は自然界での年間発生量（約70PBq）を1.43倍とかなり上回ることになるであろう。

*日本経済新聞 2021年8月19日号「東欧原発 米中仏口競う」

<https://www.nikkei.com/article/DGKKZO74904050Y1A810C2FF8000/?unlock=1>

現在、問題になるのは、原発と再処理工場がトリチウムの大量放出を続けていることに加えて、現状ではさらなるチェルノブイリや福島原発事故のような核事故・原発事故が避けられそうもないが、それによりトリチウムや放射性物質がさらに大量に放出されるであろうということである。

中国の最新鋭台山原発（仏フラマトムとの合弁）からの放射性ガス漏れ事故*は、中国における深刻な原発事故が迫っているのではないかという疑惑を全世界に広げた。報道では、

漏れた放射性ガスは放射性希ガス（キセノン 133 とクリプトン 85）とされているが、トリチウムも含まれると思われる。

日本においても同じである。関西電力の美浜原発 3 号機は 40 年を超えて運転を開始したが、すぐに非常用設備に異常が生じ、本格稼働に遅れが生じる事態となった**。だが関電は予定を 1 日遅らせただけでフル稼働を強行した***。つまり、非常用設備の異常があっても、まともな設備点検や安全チェックを行わないまま、本格稼働を急いだわけである。

確かにこれは小さい事実かも知れない。だが関電は、それによって、再稼働が事故の発生を半ば前提として進められていること、40 年以上の原発を 60 年まで延長稼働するという方針が、さらには 60 年を超えて 80 年、結局のところ「事故を起こして使えなくなるまで遣い潰す」方針に過ぎないことを、いわば自己暴露した。

* 「中国原発、放射性ガス漏れか」日本経済新聞 2021 年 6 月 15 日

<https://www.nikkei.com/article/DGKKZO72891730V10C21A6EAF000/>

** 「美浜原発 設備に異常」日本経済新聞 2021 年 7 月 3 日

*** 共同通信 2021 年 7 月 4 日 「美浜の 40 年超原発、フル稼働に」

<https://news.yahoo.co.jp/articles/def99f0336b2b9bd45c0f91a14202195bc002d33>

原子力規制委員会は 2020 年 2 月に発覚していた日本原燃による敦賀 2 号機の地質データの「書き換え」問題に対し、ようやく審査を中断するという処分を下した。日本経済新聞は、これに関連して、原発の管理に関する不祥事の主要なものをリストアップしている(表)。しかも、電力会社も原子力規制当局も政府も立地市町村も立地県も周辺府県も、原発を巡る管理のずさんさに対してだれも責任を取ろうとしていない。事故リスクをわかって、推進するか見て見ぬ振りをしている。しかも、これは、自滅に向かう大きな流れの中の小さな実例の一つに過ぎない。

表 5-3

電力事業者の主な原発関連の不祥事

	内容	結果
日本原電	2020年に敦賀原発の地質データの無断書き換えが発覚	安全審査を一時中断
東京電力	20年度に柏崎刈羽原発でテロ対策不備が発覚	核燃料の移動禁止命令
関西電力	19年に原発を巡る金品受領問題が発覚	福井県との再稼働に向けた議論に影響
中国電力	21年に原子力規制庁に借りたテロ対策関連文書の誤廃棄が発覚	安全審査とは別に事実関係を調査

出典：日本経済新聞 2021年8月19日「原発不祥事 再稼働阻む」

<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUA1817Y0Y1A810C2000000/>

第3点は、原発の稼働によって電力会社や原発関連企業が獲得すると思われる莫大な「利潤」は、実は人為的に作り出された会計上の「操作」にすぎず「架空」の「幻想」にすぎないということである。「儲け」は、使用済核燃料や放射性廃棄物などの本来は「核のゴミ」という「将来コスト」を会計的処理により「価値物」として評価した「幻の資産」「会計上の錬金術」（経済学では「空資本」「架空資本」と呼ばれる）にすぎない。資産化された「核のゴミ」はすでにおよそ3兆円という莫大な額に上っている（表5-4参照。データは2016年のもの。「核燃料」とくに「加工中等」の項が該当すると考えられる）。

表5-4 電力各社の原子力発電関連の貸借対照表各項目（2016年3月31日現在／単位億円）

	原子力発電設備	核燃料	(加工中等)	原発・燃料計	純資産合計
北海道電力	2,195	1,586	(1,586)	3,781	1,609
東北電力	2,673	1,446	(1,099)	4,119	5,658
東京電力	7,269	7,517	(6,311)	14,786	18,005
中部電力	1,732	2,339	(1,938)	4,071	13,683
北陸電力	1,616	1,084	(822)	2,700	2,972
関西電力	3,908	5,263	(4,357)	9,171	7,420
中国電力	901	1,586	(1,515)	2,487	4,435
四国電力	1,183	1,349	(1,349)	2,532	2,724
九州電力	2,650	2,832	(2,133)	5,482	3,852
日本原電	1,260	1,160	(1,002)	2,420	1,608
10社合計	25,387	26,162	(22,112)	51,549	61,966
日本原燃 ^注	—	6,742	(6,742)	6,742	5,741
合計	25,387	32,904	(28,854)	58,291	67,707

出典：各社「決算短信」の個別貸借対照表（各社単体の決算）による。網掛けは原発廃止となって関連資産が完全に償却された場合、債務超過に陥る企業。

注記：日本原燃の青森県六ヶ所施設に貯蔵されている核燃料の価額は、探し出すことができなかった。筆者による概算による推計値である。同社の「会社概況書」（2016年6月）によると、廃棄物管理事業で受け入れ使用済み核燃料棒の累計は1698本、再処理事業で受け入れ累計3389トンU（ウラン重量トン=約1.103トン、U₃O₈に換算すると3738トン）となっている。朝日新聞（2016年2月28日^{注1}）によると、最近のMOX燃料棒の価格は、BWR用で1本約3.4億円、PWR用で約9億円、通常用はMOX用の9分の1とのことなので、BWR用で1本約0.37億円、PWR用で約1億円。燃料棒（集合体）の重量は、BWR用が1本約250kg、PWR用が約670kgなので^{注2}、1トン当たり約1億4925万円である。廃棄物管理事

業で貯蔵されている燃料棒を、BWR用とPWR用が同じ割合で存在する（MOXはない）と仮定すると、約1163億円。再処理事業では、約5579億円。合計で約6742億円となる。これを加えると、日本にある使用済み核燃料の資産価額は、約2兆9000億円程度となる。「死の灰」という無限のマイナスの価値が、およそ3兆円の架空の虚偽の資産として計上され、この無限のコストを巨大な資産とする虚構の上に、すべての電力会社と一国のエネギー政策の全体が構築されているのである。

（注1）福島慎吾記者「MOX燃料の価格、ウランの9倍 高浜原発で1本9億円」より

朝日新聞デジタル 2016年2月28日05時05分

http://digital.asahi.com/articles/ASJ2V44DQJ2VPLBJ001.html?_requesturl=articles%2FASJ2V44DQJ2VPLBJ001.html&rm=777

（注2）原燃輸送株式会社のホームページに記載されている。

<http://www.nft.co.jp/qa/qa3.html>

しかも、核のゴミが会計上で資産扱いを受けそれが電力会社の原発稼働による利潤の源泉となっていることは、池上彰氏のベストセラー『知らないと恥をかく世界の大問題 4 日本が対峙する大国の思惑』角川マガジズ（2013年）などで取り上げられており、よく知られている「はず」である。だが、マスコミがこの点を取り上げることはほとんどない。ここでも「無意識のバイアス」による「知らないふり」に支配されているのである。

以上指摘してきた諸点をまとめてみると、落合栄一郎氏が注目している、1973年という早い段階で原子力の「平和利用」を「救い」ではなく「呪い」とであると鋭く警告したE・F・シューマッハー氏の発言に行き着くであろう。

「(核戦争よりも) いわゆる原子力の平和利用が人類に及ぼす危険のほうが、はるかに大きいかもしれない。… 放射性物質は、いったん造ったが最後、その放射能を減らす手だてがまったくない。原子炉から出る大量の放射性廃棄物の安全な捨て場所とは、一体どこであろうか。地球上に安全と云える場所はない。… 危険は、我々だけではなく、子々孫々にまで悪影響を及ぼすという点なのである。… その規模たるや人々の想像を超える。」

E・F・シューマッハー 小島慶三・酒井懋訳『スモール・イズ・ビューティフル』講談社学術文庫
(1986年) 第4章より

「核のゴミ」というこの廃棄されるはずの放射能は、原発推進勢力の支配の下で、人々の観念の中で「価値」に転化し、「自己増殖する価値」である「資本」として「自己増殖」していくことは、何万年何十万年もの将来への危険な「核のゴミ」が止めどもなく「蓄積」していくことを意味する。それが、一握りの原発関連企業——広範な裾野を持ち一国経済の中で未だ支配的な地位にある——の利益に、利潤に、財産に、資本になるのだから。人々はその「からくり」を薄々感じながらも、無意識のうちに、この「錬金術」によって「資産化」

された「核のゴミ」への「物神崇拜」（カール・マルクス）に陥り、ひれ伏すわけである。人類は、未来の世代へ、「放射性廃棄物」というほとんど無限の「負債」「コスト」、現在と将来の被曝による健康影響と病気と致死の無際限の「危険」「リスク」を、「資本」として、経済学的には「架空資本」として積み上げ、積み残そうとしているわけである*。

*これらの点に関しては、ここで論じることはできないが、以下のサイト*を参照いただきたい。渡辺悦司「原発再稼働の経済と政治——経済産業省専門家会議『2030年度電源構成』の分析と批判」市民と科学者の内部被曝問題研究会ホームページに掲載

<http://blog.acsir.org/?eid=43>

<http://blog.acsir.org/?eid=44>

先人たちが指摘してきた「核の平和利用」の「呪い」そのものであり、自滅へと突き進む人類の愚かさの極致であろう。

矢ヶ崎克馬氏は、このような現状を「知られざる核戦争」として特徴付けている*が、まさしく至言である。

*矢ヶ崎克馬「原発事故に猛威を振るう『知られざる核戦争』『東京五輪がもたらす危険』緑風出版（2019年）所収

第三次世界大戦は「すでに始まって」おり、「私たちが気づかないだけ」のこの世界戦争は「私たちの子供や子孫を破滅させる戦争」とであるという、有名なドイツのファンタジー作家ミヒャエル・エンデの言葉*もまたまさにぴったり当てはまる。

*『エンデのメモ帳』岩波書店（2013年）212ページ

ここで本来のテーマに戻ろう。

たしかに、個々の新しく生じたウィルスや細菌は、ウィルスや治療薬の開発・投与によって克服されるかもしれない。だが、パンデミックの根本原因——温暖化の進行だけでなく放射能と有害化学物質による環境汚染——に手を付けない限り、パンデミックの反復の危険は減らないし克服できない。再生可能自然エネルギーの利用による原発の世界的規模での全廃や、核兵器の廃絶、それによる環境への放射能汚染の停止、火力発電や工場などからの二酸化炭素と有害化学物質の放出の削減と停止によってしか、一言で言えば、二酸化炭素の放出を削減するだけでなく、環境中でウィルスや微生物の遺伝子変異を加速する環境放射線レベルを下げ、環境破壊や環境汚染のレベルを下げるしか、この自滅への「悪魔的なサイクル」に対する根本的解決策はない。

「密林の聖者」と呼ばれた偉大な医師であり、神学者で哲学者、オルガン奏者で音楽学者でもあったアルベルト・シュバイツァー博士は、最近その「名言集」で再び注目されているが、世界の原水爆禁止運動の重要な参加者の一人として、核実験の危険性に対して鋭い警告を人類全体に対して発していた。博士が言及している「核爆発」「核実験」を、原発や再処

理工場の稼働や事故によるトリチウムをはじめとする日常のかつ断続的な「放射性物質の環境放出」、核兵器の開発・製造およびあり得べき使用による「放射能放出」、と読み替えれば、博士の警告は恐るべき正確さをもって現在にぴったりと当てはまる。

「... (放射能の) 子孫に対する影響はただちに現れず、100年、200年の後になって現れるものである。

われわれは、核爆発による放射性元素の発生により現在の危険がさらに増大することは、人類に対する破滅であると考えざるをえなくなっている。この破局を全力をあげて阻止しなければならない。われわれは後世子孫に影響を及ぼす恐れがある事態について、責任を負うことができないという理由からしても、阻止に全力を挙げなければならない。われわれの子孫は人類がこれまで直面しなかったほどの最も恐ろしい危険に脅かされている。人類が作り出した放射能とその結果生じる事態を等閑視すれば、人類は後刻恐ろしい代価を支払わねばならなくなる。われわれはいまその愚かさを重ねている。

事態が手遅れになるまで、われわれの声が揃わないということであってはならない。われわれは現在陥っている愚かさから抜け出るための洞察力と真剣さ、さらに勇気をもたなければならない。」*

*アルベルト・シュバイツァー「核実験は人類を破滅に導く」『第三回原水爆禁止世界大会討議資料 人類の危機と原水爆禁止運動 第二分冊』原水爆禁止日本協議会（1957年）272～273ページ、原文は『中央公論』1957年7月号所収。