

ヒバクと健康 LETTER No.14

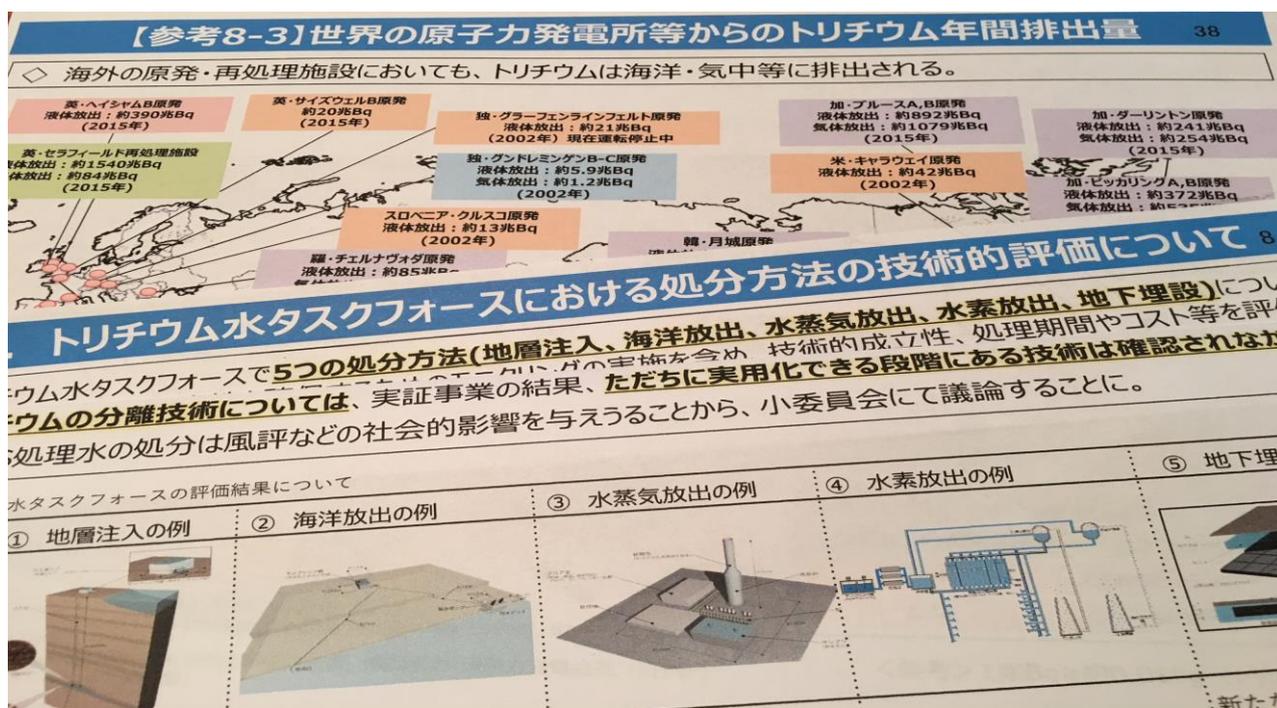
2018年 9月 15日

一般社団法人 被曝と健康研究プロジェクト

<http://hibakutokenkou.net/>

トリチウム海洋投棄「経産省・公聴会」で激論。反対意見が圧倒

陸・海で放射性廃棄物の処分急ぐ政府 2頁



「世界で放出すれば怖くない」と言いたげな公聴会の経産省資料。そこには、公聴会で最も発言の多かった「巨大タンクで数十年～百年貯蔵」は、はじめから除かれていた。

▲関連の頁 3～13

公聴会 山田耕作氏の提出意見概要
西尾正道氏の提出意見概要
三原 翠氏の提出意見概要
満田夏花氏の提出意見概要
海洋投棄に反対する科学者・市民有志の決議

核兵器禁止条約と核兵器の非人道性 (中) 沢田昭二 14頁

活動報告 社団法人 被曝と健康研究プロジェクト 2018年 8月以降

8月7日 実証事業で、2回目の環境省交渉(安倍知子室政野氏仲介)。環境省土田審議官補佐ら。
LETTER臨時号「実証事業って？」50部を発行
旬報社と飛田晋秀写真集準備。写真(USB)届ける。三浦氏へ送付。

8月10日～16日 「LETTER13号」制作

8月17日 「LETTER13号」136部送付

8月20日 「LETTER13号」86部送付、手配り11部 総計234部

8月27日 第8回甲状腺検診案内・申込チラシ完成

対象や名称について議論

8月28～29日 事務所へ甲状腺チラシ7000部届く

8月30日 トリチウム海洋投棄で経産省が公聴会(富岡町)

8月31日 同上 午前郡山市会場、午後東京会場 山田耕作、西尾正道、三原翠、満田夏花氏ら公述

8月31日～9月1日 トリチウム公聴会を土台に、記事「陸海で放射能汚染物の処理急ぐ政府」執筆
同時に、「LETTER14号」構想決める。「LETTER」印刷の外注化検討

.....

「ご寄付」や「交流誌(レター)購読(年5000円)」を希望される方は、
下記へご連絡ください。よろしくお願いたします。

◆ 「LETTER」の内容についてのご意見は下記へお寄せください。

一般社団法人 被曝と健康研究プロジェクト 代表 田代真人

〒325-0302 栃木県那須町高久丙407-997

☎0287-76-3601 Eメール：masa03to@gmail.com

◆陸で海で「放射性汚染土・水」の処分急ぐ政府

住民反撃、トリチウム放出公聴会

公述人 9 割が反対 賛成 1 人だけ

2018年8月30(木)、31(金)の両日、東電福島第一原発にたまったトリチウムなどを多量に含む汚染水の海洋投棄についての「説明・公聴会」で、公述した44人のうち39人が反対した。賛成は1人だけ、自案の提案が4人だった。経済産業省「多核種除去設備等処理水の取り扱いに関する小委員会」が開いた。

30日は原発から約10^{km}の富岡町文化交流センター学びの森で、31日は午前が郡山市商工会議所、午後が東京千代田区内幸町イイノホールで行われた。あらかじめ登録した44人の公述人がそれぞれの会場で意見を述べた。賛成したのは大坂から富岡会場に参加した大阪大学関係者の大槻宗司氏。

(公述人1人は富岡と郡山で重複)。

公述人と委員との間では、公聴会のあり方、国民合意、トリチウム被曝、タンク貯蔵長期保管などをめぐり、公述人が次々発言を求めるほど激しい議論となった。委員長の山本一良・名古屋大学副学長は東京会場で、西尾正道北海道がんセンター名誉院長などの追及に、今後の委員会で「議論させていただくという事でご容赦願いたい」「がんばります」などと発言する一幕もあった。写真は河北新報(上)、東京新聞(下)報道から。



いま政府は、311原発過酷事故いらい溜まりに溜まった放射性廃棄物、ひとつは原発冷却などの後に出たトリチウムをはじめ多くの核種を含む大量の高濃度汚染水、もうひとつは大気中に放出された大量の放射性降下物による大量の汚染土・汚染物の処分に苦慮している。汚染水はエネルギー庁を持つ経産省、汚染土などは環境省だ。各国政府関係者・選手・観光客が押し寄せる東京オリンピックまでに何とか片付けた

い本音も絡んでか、事態は風雲急を告げる様相となりつつある。

陸では 実証事業という、汚染土の拡散

環境省は昨年、福島県含む8県(福島、岩手、宮城、茨城、栃木、群馬、埼玉、千葉)に残る膨大な除染土を急いで処理したいため、福島県では連日大熊町の間処理施設に大量の放射能ゴミを運びつつ、放射能基準が8000ベクレル以下だからと称して、二本松市で公道地下に埋め立てる「実証事業」を提案、同時期に栃木県那須町の一般住宅近隣広場と茨城県



東海村原研敷地内で埋め立てのための安全性を立証するとして「実証事業」を行うと提案した。二本松市では住民の反発が多く、いったん「撤退」した。那須町では当法人「被曝と健康研究プロジェクト」（代表 田代真人）をはじめとする住民らと交渉中である。ここでは那須町当局が事業実施地区数人の住民にしか説明せず、合意があったかのような不透明な住民周知が問題となり、環境省は「住民合意は不十分」と認めざるを得なかった。また、汚染土の埋め立てには、法令上の基準がなく実施できない。那須町、東海村の実証事業の結果で省令を作り7県で実施すると環境省は言明。安全問題でも、環境省のいう「安全です」とは違う見解があることも認めた。これらは当法人パンフレット「ヒバクと健康 LETTER8 月臨時号」（☎0287-76-3601 田代）、9月11日号『週刊女性』記事「汚染土再利用でバラまかれる放射能」（フリー・吉田千亜記者）、に詳しい、乞うご参照。

海では 放射線汚染水の放流

東京会場 経産省の「トリチウム公聴会」のハイライトは東京会場だった。

当法人の「LETTER」を読んで頂いている西尾正道、山田耕作、三原翠、満田夏花の各氏を含む16人が意見を述べた。トリチウム被曝で、「日本では珍しいトリチウム研究者」と自らいう茨城大学理学部田内広教授と西尾正道氏とで緊張した議論が交わされた。

トリチウム被曝はセシウムより低いか

田内氏は、セシウムは外部被曝でトリチウムは内部被曝、時間当たりの被曝量が問題だとして、外部被曝と内部被曝の比率は1.5～多くても2倍というICRP基準を述べつつトリチウムの被曝量はセシウムより低いと断じた。

対して西尾氏は「 3H は体内では水素として代謝され、人体の62%を占める水(H_2O)を構成する水素(H)として 3H が結合し、また人体を構成している種々の高分子化合物の化学構造式の中に水素として 3H が取り込まれ有機結晶型 3H となり生体内に長く留まる。この場合は 3H 水とは異なった挙動をとり、結合している物質の性質に依存し体内での被曝は長期化する。」

「医学領域の実験では 3H は水素として細胞の核内のDNAに取り込まれることが証明されている。DNAの遺伝子を構成する4つの塩基は水素結合力で結合しており、また各塩基の中にも 3H が入り、 β 崩壊して 3He に変換されれば塩基は異なった化学構造式となる。塩基間の結合力の消失と、塩基の化学構造式の変化により遺伝子情報が変化する。この遺伝子レベルの影響は確率的影響ではなく、 3H があれば確実に生じる生体内での変化だ」

「1970～1980年代には、低濃度でもトリチウムが染色体異常を起こすことや、母乳を通して子どもに残留することが動物実験で報告がされている。また2003年3月には、小柴昌俊氏（ノーベル物理学者）らは 3H の危険性を指摘し、当時の総理大臣小泉純一郎宛に、トリチウムを燃料とする核融合炉を中止するよう『嘆願書』を出している。」

「世界各地の原発や核処理施設の周辺地域では事故が起こっていなくても、健康被害が報告されており、その原因は 3H が関与していると考えられる。特に 3H を大量に放出するカナダのCANDU原子炉では稼働後に小児白血病やダウン症や新生児死亡の増加があり、住民の実感として問題となった。日本でも 3H を大量に放出する加圧水型原子炉である玄海 原発や泊原発では明らかな健康被害のデータが示されている。」しかし、日本は飲料水のトリチウム基準も決めていない、トリチウムの海洋放出は「人類に対する緩慢な殺人行為だ」と指摘した。

有機トリチウムを考えてきたのか

山田耕作氏は「これまで（当局は）水のトリチウムを考え、有機トリチウムを考えてこなかった。トリチウムは生命・健康への危険性が少ないと誤解されているが非常に危険な放射性物質である。なぜなら、人体の大部分を占める通常の水の水素と化学的に区別がつかず、生体のあらゆる場所に取り込まれ、内部から被曝させ、活性酸素等を介して間接的に細胞膜やミトコンドリアを破壊する。また、直接的に遺伝子、DNA の化学結合を切断する。トリチウム特有の危険性として遺伝子の水素原子とトリチウムが入れ替わるとベータ（ β ）崩壊でトリチウムがヘリウムに変わることによって遺伝子の化学結合（DNA の二重鎖結合）が切断される。植物では炭酸同化作用によって水と炭酸ガスからでんぷんを作るが、このでんぷんの水素原子がトリチウムに変わることによって有機トリチウムが形成される。このようにあらゆる有機化合物（核酸、タンパク質、脂質、炭水化物等）の水素がトリチウムに取り換えられ、動物、植物や人間が体の一部として有機結合型トリチウムを長期間取り込み、内部被曝する。」

「希釈して海洋投棄しても有機結合型トリチウムの食物連鎖などにより、生態系を通じて濃縮される。さらに気化してトリチウムを含む水蒸気や水素ガスなどとなって陸地に戻り、環境中を循環する可能性がある。希釈すれば安全というのは多くの公害問題で繰返された誤りであり、環境に放出される総量こそ問題である。投棄されようとしているトリチウムの総量は、1～3 ペタベクレルと推計され、事故前の日本の全原発が放出していた総量の3～9年分という途方もない量。放射性物質や有害物質は徹底的に閉じ込め生態系から隔離することが唯一正しい原則的な対応だ。」と説いた。

1 電子ボルトに 18000 電子ボルトが飛び込んだら

三原翠氏は「トリチウムは、セシウム 137 に比べ、 β 線が弱いので生体への影響が少ないとよく言われています。確かにセシウム 137 の β エネルギーは最大 1,170,000 電子ボルトに比べ、トリチウムは 18,590 電子ボルトです。しかし、生体内の細胞のエネルギーレベルは、1 電子ボルトです。一番強固な結合と言われている共有結合でさえ、4 電子ボルトです。このような世界に 18000 電子ボルトの電子が飛び込んできたらどうなるか？明らかに細胞の中の水と反応し、たくさんの活性酸素を細胞内に生じさせるでしょう。活性酸素はご存知のように老化促進因子であり、血管狭窄から心筋梗塞や脳梗塞などをもち、或いは認知症を起こすとも言われています。セシウムに比べてのトリチウムの害でなく、トリチウムがある場合と無い場合の比較をすべきです。」と指摘した。

ヨウ素 129 は 60 回以上計測された 甲状腺へとりこまれたら

満田夏花氏は「経済産業省のタスクフォースや多核種除去設備等処理水の小委員会では、『ALPS 処理水はトリチウム以外は除去されている』という東電の説明の通りの前提で検討が行われており、他の核種については検討が行われていない。説明会の資料にも盛り込まれていない。今回問題になったヨウ素 129 は既設 ALPS 以外に増設 ALPS で 2017 年 4 月～2018 年 7 月まで 60 回以上計測されている。最高は 2017 年 9 月 18 日の 62.2Bq/L であった。すなわち、何かのはずみに 1 回のみ計測されたわけではなく、慢性的に発生していたわけである。ストロンチウム 90 に関しては、増設 ALPS では 2017 年 11 月 30 日に 141Bq/L と告知濃度（30Bq/L）を超えていた。2015 年に東電が原子力規制委員会に告知濃度を超えたと報告しているが、その対策は取られていたのか。にもかかわらず、2017 年から現在にいたるまでヨウ素 129 は告知濃度を超えている。ヨウ素 129 は、減期 1,570 万年。特に海藻に濃縮・蓄積される。体内にとりこまれるとほぼすべて甲状腺に集まり、とりわけ胎児や乳幼児への影響が懸念される。「薄めて出せばよい」とは思えない。公聴会の前提はくず

れた。経済産業省は改めて検討をやりなおすべき」と独自調査に基づき主張した。

また、細川弘明氏が、トリチウム放出では濃度基準とは別に総量規制があることを指摘、福島第一原発の保安規定では年間 22 兆ベクレルが限度、溜まっている 1000 兆ベクレル相当の処理水をすべて放出するには 45 年、多ければ 100 年かかる、とタンク保管が年数かかるとの委員会側主張の矛盾を突いた。これについては回答がなかった。

生活かかる 漁業者の悲痛な訴え

富岡町会場

14 人が意見を述べた。福島県漁連の野崎哲会長は、「汚染水対策である地下水バイパス、サブドレン排水の実施協議の際、福島県漁連からはALPS処理水の取扱について『発電所内のタンクにて責任を持って厳重に保管管理を行い、漁業者、国民の理解を得られない海洋放出は絶対に行わないこと』と要望し、東京電力からは代表執行役社長名で『多核種除去設備で処理した水は発電所敷地内のタンクにて貯留いたします。』との回答を。経済産業省からは経済産業大臣臨時代理国務大臣名で『関係者の理解なしには、いかなる処分も行いません。』との回答を得ている。放射性物質についての性質や特徴、危険性について、正しく国民に認識されているとは言えず、仮に 1000 兆ベクレルもの大規模海洋放出となれば、その数値の大きさだけが先行し国内外で混乱を来し、風評被害を惹起するのは必至」「風評の払拭には想像を絶する精神的、物理的な労苦を伴うことを経験している。処理水の海洋放出は、試験操業という形で地道に積み上げてきた本県水産物の安心感をないがしろにし、魚価の暴落、漁業操業意欲の滅失、ひいては漁業関連産業の衰退等を招き、福島県漁業に致命的な打撃を与える。正に築城 10 年、落城 1 日である。」「処理水の取扱については、広く国民的な議論を経て国が判断し、国がその責任を負うことを明確にすべきものである。国民的議論が行われておらず、国民の理解を得られていない現状では、福島県の漁業者として、ALPS処理水の海洋放出に強く反対する。」「タンクを改善し保管することが最も現実的だ」と断固とした口調で述べた。

漁業者の小野春雄氏は「なぜ漁民に先に説明しないのか」「報道で愕然とした」「目の前の海で漁民が魚を取ることができない、この苦しみがわかりますか」「仕事をしているわれわれは日中のこんな場に来ることはできない、休んできた」「経済保障、補助でやっているというが、漁ができないんですよ、当たり前でしょ。賠償金もらうためにやっているんじゃない」「とにかく、福島の海に放出することだけは絶対に反対です」と悲痛な声で訴え、場内の拍手を誘った。

郡山市会場

翌日午前には、郡山市で 14 人が公述（一人は富岡会場と同じ人）した。前日の漁業者の訴えに対して多くが「怒りをもって」賛同した。武藤類子氏は「説明会・公聴会の開催が 3 か所だけでは、住民の意見を十分聞くことはできない。せめて海に面した県、市町村で必要。平日の昼間だけでは、多くの人が参加できない。曜日や時間帯の工夫が必要だ」「タンクの保管場所がないとの説明だが、敷地内にもまだあるのではないか。東電の敷地を広げれば良いのではないか。」などと発言した。

公聴会三会場を通じて、委員長や委員から「公聴会は検討する」「5つの選択肢①地層注入②海洋放出③水蒸気放出④水素放出⑤地下埋設、のほかタンク長期保管も考えるべきかも」との意見があった。また田内委員からは「タンク長期保管は、外してくれと言われたのでそうしただけ」との委員会内部事情をうかがわせる発言もあった。

(2018年8月31日 田代真人)

◆山田耕作氏提出意見概要

トリチウムを含む福島原発放射性廃液の海洋投棄に反対する

私は以下の理由でトリチウムを含む放射性廃液を決して海洋に投棄するべきでないと考える。

1. トリチウムは生命・健康への危険性が少ないと誤解されているが非常に危険な放射性物質である。なぜなら、人体の大部分を占める通常の水の水素と化学的に区別がつかず、生体のあらゆる場所に取り込まれ、内部から被曝させ、活性酸素等を介して間接的に細胞膜やミトコンドリアを破壊する。また、直接的に遺伝子、DNAの化学結合を切断する。トリチウム特有の危険性として遺伝子の水素原子とトリチウムが入れ替わるとベータ（ β ）崩壊でトリチウムがヘリウムに変わることによって遺伝子の化学結合（DNAの二重鎖結合）が切断される。

植物では炭酸同化作用によって水と炭酸ガスからでんぷんを作るが、このでんぷんの水素原子がトリチウムに変わることによって有機トリチウムが形成される。このようにあらゆる有機化合物（核酸、タンパク質、脂質、炭水化物等）の水素がトリチウムに取り換えられ、動物、植物や人間が体の一部として有機結合型トリチウムを長期間取り込み、内部被曝する。

2. 現実に被害が発生している

原発から放出されたトリチウムによって玄海原発周辺の住民の白血病の増加、世界各国の再処理工場周辺の小児白血病の増加、原発周辺の小児がんの増加等が報告されている。例えば2003~2007年の10万人当たりの白血病による死者数は全国平均5.8人、佐賀県全体9.2人、唐津保健所管内15.7、玄海町38.8人で原発に近づくほど増加する。

3. たとえ、希釈して海洋投棄されたとしても有機結合型トリチウムの食物連鎖などにより、生態系を通じて濃縮される。

さらに気化してトリチウムを含む水蒸気や水素ガスなどとなって陸地に戻り、環境中を循環する可能性がある。希釈すれば安全というのは過去に多くの公害問題でくりかえされた誤りであり、環境に放出される総量こそ問題である。今回投棄されようとしているトリチウムの総量は、1~3ペタベクレルと推計され、事故前の日本の全原発が放出していた総量の3~9年分という途方もない量になる。それ故、放射性物質や有害物質は徹底的に閉じ込め生態系から隔離することが公害問題では唯一正しい原則的な対応である。

以上のようにトリチウムは半減期が12年と長く、長期にわたって環境を破壊する。さらに8月19日に報道されたように汚染水中に長寿命放射性核種が基準値以上の濃度で存在するとすれば、希釈して投棄して安全とは決して言えない。それ故、トリチウムを含む汚染廃液の海洋投棄を決して行わないよう政府・原子力規制委員会に強く要請する。

以上のわたしの意見の基本的な内容は、世界各地の放射線被曝を危惧する市民と科学者個人268名と30団体の賛同を得ている普遍的な声を反映したものであると考えている。

トリチウム汚染水からトリチウムを分離する方法は現在様々研究されている。重さで分離することが難しいならば、融点で分離する方法やフィルターで分離する方法が指摘され、まさに実用化に向けて開発途中であり、実用化してから、きちんとトリチウムを分離して水を放出すべきである。それまで石油備蓄船に貯蔵する。

◆西尾正道氏提出の意見概要

私はトリチウム(3H)汚染水の海洋放出に健康被害の観点から断固反対いたします。以下に図を含め理由を記します。

- A. 3Hは自然界にも微量に存在するが、人工的に発生した大量の3Hの人体影響は未解明な事が多い。また人体影響を検討する場合は、(自然界の3H+人工3Hの総和)として影響を考える必要があり、3Hは自然界にもあることは放出する理由とはならない。そもそも自然界の3Hの最大の発生源は核実験や原発稼働によるものである。また排出規制基準値も沸騰水型原子炉が排出する3Hを海洋放出できるようにする為に設定されたものであり、医学的・科学的な健康被害を検討して決められたものではない。
- B. 3Hは体内では水素として代謝され、人体の62%を占める水(H₂O)を構成する水素(H)として3Hが結合し、また人体を構成している種々の高分子化合物の化学構造式の中に水素として3Hが取り込まれ有機結合型3Hとなり生体内に長く留まる。この場合は3H水とは異なった挙動をとり、結合している物質の性質に依存し体内での被曝は長期化する。
- C. 放射線の影響は基本的には、被ばくしている部位のみ影響を受ける。全く実証性のない線量換算係数を用いて全身化換算した3HのSv値は全く健康障害の指標とはならない。ICRPの非科学的な疑似科学的物語を根本的に見直すべき
- D. 医学領域の実験では3Hは水素として細胞の核内のDNAに取り込まれることが証明されている。DNAの遺伝子を構成する4つの塩基は水素結合力で結合しており、また各塩基の中にも3Hが入り、β崩壊して3Heに変換されれば塩基は異なった化学構造式となる。塩基間の結合力の消失と、塩基の化学構造式の変化により遺伝子情報が変化する。この遺伝子レベルの影響は確率的影響ではなく、3Hがあれば確実に生じる生体内での変化なのである。
- E. 1970~1980年代には、低濃度でもトリチウムが染色体異常を起こすことや、母乳を通して子どもに残留することが動物実験で報告がされている。また2003年3月には、小柴昌俊氏(ノーベル物理学者)らは3Hの危険性を指摘し、当時の総理大臣小泉純一郎宛に、トリチウムを燃料とする核融合炉を中止するよう『嘆願書』を出している。
- F. 世界各地の原発や処理施設の周辺地域では事故が起こっていなくても、健康被害が報告されており、その原因は3Hが関与していると考えられる。特に3Hを大量に放出するカナダのCANDU原子炉では稼働後に小児白血病やダウン症や新生児死亡の増加があり、住民の実感として問題となった。日本でも3Hを大量に放出する加圧水型原子炉である玄海原発や泊原発では明らかな健康被害のデータが示されている。

小柴昌俊氏(2002年ノーベル物理学賞)の警告
 ~「トリチウムの危険性」(2003年)~
 【トリチウムは僅か1mgで致死量(猛毒) 約2kgで200万人の殺傷能力】
<http://blog.goo.ne.jp/mayayurimishrj/e/6446a74524e16a03d9e93d0b4f49f6>

★カナダの重水を用いるCANDU原子炉のトリチウム排出と、その結果の周辺地域に住む子ども達の健康被害増大が報告済み(ダウン症、新生児死亡率、小児白血病の増加)

★3H排出規制基準値
 水 60Bq/lcm³
 ⇒ 60,000Bq/L, 60,000,000/m³
 有機物の形態: 30Bq/cm³
 水以外の化合物: 40Bq/cm³

3Hチミンは細胞のDNAに取り込まれる

DNAの二重螺旋構造を構築する塩基を結合させるのは水素結合力

(1985.3.16毎日新聞) 染色体異常起す 母乳通し子に死傷

トリチウムはごく低濃度でも人間のリンパ球に染色体異常を起こす(朝日新聞記事) 放射線遺伝学部長 中井さやか 日本放射線影響学会第17回大会 1974年10月7日発表(福島県)

★1細胞内のDNAに77億5千万個もの水素原子が関与
 ★1塩基対当り平均2.5個の水素原子が必要

A=アデニン, C=シトシン, G=グアニン, T=チミン

トリチウムの元素変換によるDNA損傷

水素結合があるべきところに結合したトリチウムがヘリウムに変換される際、DNAの構造が破壊される

① DNAを構成している塩基は水素結合力で結合
 ② DNAを構成している塩基対に放射線が当たる
 ③ 水素結合している塩基対が破壊され、遺伝情報が変化・破壊される
 ④ 塩基・DNAの分子構造が変化し、細胞が損傷

三原 翠氏提出の意見概要

多核種除去設備等処理水の海洋放出に反対する意見は、下記のとおりです。

1. トリチウム水タスクフォースの報告結果を踏まえての意見

世界の再処理工場や原発から、多量のトリチウムが過去に現在に放出されている事実には、愕然としますが、だからと言って海洋に放出して良いという答えになるのでしょうか。法(人間の作ったものでなく、生命や自然や地球を守るための法)違反を他の人々がしているからと言って、自分もゴミの不当投棄をする事と同じレベルの話と思います。

海洋放出には反対ですが、最大譲って、事故以前の正常運転の際、福一で出していた約 2 兆ベクレル/年程度と考えます。

2. ALPS 処理後の水質の問題について

経産省の資料によると、ALPS 処理によってトリチウムしか処理水に残らないようになっていますが、この評価結果は、ALPS を導入した際の性能を表しているものであって、たくさんの処理を行った後にどの程度の性能が維持されているのかが資料の中では確認出来ません。少なくとも定期的な処理水の分析が行われていないと、トリチウムを放出すると言って、実際は他の残存核種も排出されるような事態になる可能性が大了。すると 8 月 20 付け東京新聞によると、既に 2017 年に東電調査でヨウ素 129、ルテニウム 106、テクネチウム 99 の残存が分かっている公表しなかったとの報道がありました。この記事によるとタンク内の残存放射性物質の分析は行っていないとの事です。トリチウムだけが残っているようなイメージで今回の海洋放出議論が行われていますが、事実をしっかりと見つめた上で問題提起が行われるべきです。仮に海洋放出する場合は、排出タンク毎の残存核種の確認の義務付けが必須です。

3. トリチウムの生体内影響について

トリチウムは、セシウム 137 に比べ、 β 線が弱いので、生体への影響が少ないとよく言われています。確かにセシウム 137 の β 線エネルギーは最大 1,170,000 電子ボルトに比べ、トリチウムは 18,590 電子ボルトです。しかし、生体内の細胞のエネルギーレベルは、1 電子ボルトです。一番強固な結合と言われている共有結合でさえ、4 電子ボルトです。このような世界に 18000 電子ボルトの電子が飛び込んできたらどうなるか？明らかに細胞の中の水と反応し、たくさんの活性酸素を細胞内に生じさせるでしょう。活性酸素はご存知のように老化促進因子であり、血管狭窄から心筋梗塞や脳梗塞などをもたらす、或いは認知症を起こすとも言われています。セシウムに比べてのトリチウムの害でなく、トリチウムがある場合と無い場合における害の比較をすべきと考えます。

又、経産省資料中、WHO が認めていると基準値が記載されていますが、WHO は放射能に関しては、ICRP の基準に従う事となっていますので、誤解を招かないよう ICRP と記載すべきです。

4. 多核種除去処理水対策への一案

処理水は、パイプによって福島第二原発の敷地に送られ、そこで数十年間の保管後、海洋に放出すべき(トリチウムのみが存在すると仮定し)と考えます。これは福一において、凍土壁を作ったエネルギーとその維持のエネルギーを考えれば、遥かにたやすい事であり、合理的です。又、保管期間にトリチウムを分別する方法が確立する可能性もあり、当分の保管が最善と考えます。

◆満田夏花(かんな)氏提出の意見概要

1. 既設・増設 ALPS でヨウ素 129、ストロンチウム 90 の基準超えが明らかに。公聴会の前提は崩れた。経済産業省は検討をやり直すべき。

経済産業省のタスクフォースや多核種除去設備等処理水の小委員会では、「ALPS 処理水はトリチウム以外は除去されている」という東電の説明の通りの前提で検討が行われており、他の核種については検討が行われていない。説明会の資料にも盛り込まれていない。今回問題になったのはヨウ素 129 については既設 ALPS 以外に増設 ALPS で 2017 年 4 月～2018 年 7 月まで 60 回以上計測されており、出口は A～C。最高は 2017 年 9 月 18 日の 62.2Bq/L であった。すなわち、何かのはずみに 1 回のみ計測されたわけではなく、慢性的に発生していたわけである。

ストロンチウム 90 に関しては、増設 ALPS では 2017 年 11 月 30 日に 141Bq/L と告知濃度 (30Bq/L) を超えていた (出口 C)。

2015 年に東電が原子力規制委員会に告知濃度を超えたと報告しているが、その対策は取られていたのか。にもかかわらず、2017 年から現在にいたるまでヨウ素 129 は告知濃度を超えている。ヨウ素 129 は、半減期 1,570 万年。特に海藻に濃縮・蓄積される。体内にとりこまれるとほぼすべて甲状腺に集まり、とりわけ胎児や乳幼児への影響が懸念される。「薄めて出せばよい」とは思えない。

いずれにしても説明・公聴会の前提はくずれた。経済産業省は、改めて検討をやりなおすべきだ。

2. 経済産業省が示している処分方法以外にも有力な代替案がある

「原子力市民委員会」は、海洋放出を強行するのではなく、恒久的なタンクの中に保管することを提案している。国家石油備蓄基地で使用している 10 万トン級の大型タンクを 10 基建設して、その中に 100 年以上備蓄する案であり、減衰により、トリチウムの量が現在の 1000 分の 1 程度に減少する。すでに実績のある既存の手法であること、現在の 1,000 トン容量のタンクに比して面積効率ははるかに高いという利点がある。十分現実的な提案なのではないか。「環境中への放出」ありきではなく、こうした案を十分検討すべき。

3. 放射性物質は集中管理が原則

他の有害物質と同様、放射性物質は拡散させず、集中管理することが原則である。一度拡散してしまえばとりかえしがつかない。この原則を守るべきである。

4. トリチウムのリスクが十分に検討されていない

5. 公聴会のやり方がおかしい

①代替案を検討する段階から、多くの意見をきくべき

②資料の作成段階から異なる意見を有する第三者からのインプットを得るべき

③開催場所が限定的すぎる

④異なる立場の専門家等からの重点的な意見聴取を

⑤自由な質疑および意見陳述の時間を

トリチウムを含む福島原発放射性廃液の海洋投棄に反対する決議

市民と科学者の内部被曝問題研究会有志及び内部被曝を憂慮する市民と科学者

2018年7月20日

福島原発事故によるトリチウム総量は約 3400 兆ベクレル、2014 年 3 月でタンク貯留水中に 830 兆ベクレルのトリチウムがあると発表されている。この膨大な放射性廃液はその後増加する一方である。そのため、漁連などの反対運動の際があれば、政府・東電はトリチウムを含む福島原発事故廃液の処理・処分として、それを希釈して海洋に投棄しようとしてきた。現在、ここに至っていよいよ政府は海洋投棄の実施に踏み切ろうとしている。

原子力規制委員会の更田豊志委員長は規制するどころか海洋投棄を提唱し、先導している。

我々は以下の理由で放射性廃液を海洋に投棄することは決してすべきでない考える。

1. トリチウムは生命・健康への危険性が少ないと誤解されているが非常に危険な放射性物質である。なぜなら、人体の大部分を占める通常の水と化学的に区別がつかず、生体のあらゆる場所に取り込まれ、内部から被曝させ、活性酸素等を介して間接的に細胞膜やミトコンドリアを破壊する。また、直接的に遺伝子、DNA の化学結合を切断する。トリチウム特有の危険性として遺伝子の水素原子とトリチウムが入れ替わるとベータ (β) 崩壊でトリチウムがヘリウムに変わることによって遺伝子の化学結合が切断される。

植物は炭酸同化作用によって水と炭酸ガスからでんぷんを作る。このでんぷんの水素原子がトリチウムに変わることによって有機トリチウムが形成され、動植物や人間が体の一部としてその有機トリチウムを長期間取り込み、内部被曝する。

2. このようにして、原発から放出されたトリチウムによって玄海原発周辺の住民の白血病の増加、世界各国の再処理工場周辺の小児白血病の増加、原発周辺の小児がんの増加等が報告されている。現実に被害が発生しているのである。

3. たとえ、希釈して海洋投棄されたとしても食物連鎖などの生態系を通じて濃縮される。

さらに気化してトリチウムを含む水蒸気や水素ガスなどとなって陸地に戻り、環境中を循環する可能性がある。希釈すれば安全というのは過去に多くの公害問題でくりかえされた誤りであり、環境に放出される総量こそ問題である。それ故、放射性物質や有害物質は徹底的に閉じ込め生態系から隔離することが公害問題では唯一正しい原則的な対応である。

以上のようにトリチウムは半減期が 12 年と長く、長期にわたって環境を破壊する。生体の大部分を、さらに遺伝子をも構成する水素の同位体であるから、希釈して投棄して安全とは言えない。それ故、トリチウムの海洋投棄を決して行わないよう政府・原子力規制委員会に強く要請する。

決議賛同者 8月5日現在 個人 191名 10団体

< 投稿 > 福島原発のトリチウム—何が問題か

河田昌東 (NPO 法人チェルノブイリ救援・中部理事)

はじめに

現在も続いている福島第一原発からの放射能汚染水流出問題は今後も簡単には解決出来そうにない。その大きな原因は「トリチウム」にある。現在、一日の汚染水流出量は約300トンといわれている。東電の発表では2011年5月～2013年7月にかけて流出したトリチウム量は約20～40兆(20～40×10¹²)ベクレル(Bq)で、この中には事故直後に流出した高濃度の汚染水や東電が意図的に放出した汚染水中のトリチウムは含まれていない、という。止まらないトリチウム放出に東電、政府ばかりでなく、IAEAまでもが「海水で薄めて放出」とか「蒸発させて空中に放散」の案までが飛び交っている。

(1) トリチウムって何?

トリチウム(Tritium: 略号T)は日本語では三重水素と呼ばれ、化学的性質は水素(H)と同じである。水素は原子核に一個の陽子(P)、その周りを一個の電子(e)が回っている最も小さい安定元素である。トリチウムは原子核に一個の陽子(1P)の他に2個の中性子(2N)を含み(1P2N)、不安定なため中性子の1個が電子を放出して陽子に変化し、原子核に2個の陽子(2P)と1個の中性子(N)を含む(2P1N)新しい元素(ヘリウム2: 2He)になって安定化する。この時放出される電子がベータ線である。トリチウムの半減期は12.3年である。原子炉の中では、冷却水(H₂O)に僅かに含まれる重水(H-O-D)の重水素(D)の原子核に中性子が取り込まれたり、不純物のリチウム-6という物質が分解したりしてトリチウムが出来る。従って、原子炉の冷却を続ける限りトリチウムは新たに生産され続けることになる。一方、我々が生きている生活圏でもトリチウムは存在する。過去の核実験や宇宙線の影響で、地球上の水の中には1~2Bq/L程度のトリチウムが含まれている。

(2) トリチウムは何故除去出来ない?

化学的性質が水素と同じで、トリチウム(T)を含む水(T-O-H)と通常の水(H-O-H)が区別出来ないからである。セシウム137やストロンチウム90など多くの放射性物質の除去には、その元素の化学的性質を利用し吸着や濾過などを行い除去する。しかし、通常の水とトリチウムを含む水はこうした方法では区別できず除去できないのである。その結果、沸騰水型原発では原子炉内で年間20兆Bq(20×10¹²)のトリチウムが生成されるが、その殆どを放出可能な年間22兆(22×10¹²)Bqの海洋放出基準が定められている(濃度では60000Bq/L)。余談だが、青森県六ヶ所村の再処理工場では通常に稼働すれば、年間1900兆Bq(1.9×10¹⁵)を大気中に、1.8京Bq(1.8×10¹⁶)を海中に放出する予定である。トリチウムの放出基準は事実上存在せず、現実追認であり、それが根本的な問題である。

(3) トリチウムの何が問題か

トリチウム水は通常の水と同様、経口や呼吸、皮膚を通じて体内に入る。体内でも普通の水と同様に血液や体液を通じて細胞内の様々な代謝反応に関与し、タンパク質や遺伝子(DNA)の中の水素に取って代わりその成分として入り込む。体内で水として存在する場合は新たに入ってくる水に置きかわり体外に排出される(生物学的半減期は12日)が、こうした細胞の構成成分として取り込まれたトリチウムは容易に代謝されず、その分子が分解されて水になるまで長時間留まり(放射線生物学者ロザリー・バーテルによると少なくとも15年以上)、ベータ線を出し続けることになる(1)。盛んに細胞分裂する若い細胞ではより多くのトリチウムを成分として取り込む。体内の有機物に取

り込まれたトリチウムは OBT (Organic Bound Tritium) と呼ばれ、セシウムのように単に元素として体内に存在し放射線を出す放射能とは区別が必要だが、国際放射性防護委員会 (ICRP) はこの点を過小評価している。トリチウムの出すベータ線はエネルギーが極めて小さく、外部被曝は殆ど問題にならないが、こうして体内の構成成分に取り込まれると、全てのベータ線は内部被曝の原因になる。

(4) DNA に取り込まれたトリチウムの問題

トリチウム水を介してトリチウムは DNA 中の酸素や炭素、窒素、リン原子と結合し、化学的には通常の水素原子と同じ振る舞いをするが、半減期とともに電子 (ベータ線) を放出して周囲を内部被曝させ様々な分子を破壊する。しかし、それだけではない。トリチウムが壊れヘリウム原子になると、トリチウムと結合していた炭素や酸素、窒素、リン等の原子とトリチウムとの化学結合 (共有結合) が切断する。ヘリウムは全ての元素の中で最も安定な元素で他の元素とは結合出来ないからである。その結果、DNA を構成している炭素や酸素、窒素、リン原子は不安定になり、DNA の化学結合の切断が起こる。このように、トリチウムの効果は崩壊時に出すベータ線の被曝だけではなく、一般的な放射性物質による照射被曝とは異なる次元の、構成元素の崩壊という分子破壊をもたらすのである。いわゆる照射被曝は確率論的現象だが、DNA の破壊はトリチウムの崩壊と共に必ず起こる現象である (1)。

(5) トリチウム汚染で起こること

核実験が始まった 1950 年代以降、トリチウムの生物学的影響に関する研究は数多く行われている。最も広く知られているのは染色体の切断などの異常である。人リンパ球を使った実験ではトリチウム水に晒された場合、3700Bq/ml 位から染色体異常が起こり、370 万 Bq/ml ではほぼ全ての細胞で染色体の切断が起こる。DNA の構成要素の一つチミジンの水素をトリチウムで置換した場合、37Bq/ml 位から染色体の異常が始まり 19 万 Bq/ml の濃度では 100% の細胞が染色体異常を起こす

(2)。生体次元での研究も数多くあり、染色体異常 (突然変異) の結果、致死的なガンなどの健康障害が指摘されている。特に問題なのは子宮内胎児への影響である。トリチウム水やトリチウムを含む体内の分子は、胎盤が識別出来ないため、そのまま胎児に入り、盛んに分裂中の細胞に取り込まれることになる。その結果、胎児に異常が起こり、死産や早産、流産などの他、様々な先天異常などの原因になる。米国カリフォルニア州のローレンス・リバモア国立核研究所の T. ストラウムらの研究 (3) ではトリチウムによる催奇形性の確率は致死性ガンの確率の 6 倍にのぼる。カナダのオンタリオ湖はカナダ特有の重水原子炉から出る大量のトリチウムによる汚染が知られている。その結果、周辺地域で 1978~1985 年の間に出生異常や流産の増加が認められ、ダウン症候群が 1.8 倍に増加し、胎児の中樞神経系の異常も確認された (4)

このように、トリチウムは放射線のエネルギーが低いためにその影響が過小評価されがちだが、ベータ線被曝だけでなく、生体分子の構成成分の破壊を通じて、他の放射性物質とは全く異なる生物への影響もたらしめることが大きな問題である。

文献 (1) Rosalie Bertell: The Health Effects of Tritium (<http://www.beyondnuclear.org/>)

(2) 堀、中井: 総説: 低レベル・トリチウムの遺伝的リスクについて: 保健物理 (1976 年) vol.11, p1-11.

(3) Straume, T and Carsten, AL. Tritium Radiobiology and Relative Biological Effectiveness. *Health Physics*. 65 (6) :657-672; 1993.

(4) Tritium Releases from the Pickering Nuclear Generating Station and Birth Defects and Infant Mortality in Nearby Communities : Atomic Energy Control Board, Report INFO-0401(1991)

核兵器禁止条約と核兵器の非人道性（中） 沢田昭二

◆前号に続き、沢田昭二さんの「核兵器禁止条約と核兵器の非人道性」（下）を掲載します。なお、論旨を分かりやすくするために、前号と一部重複して掲載しました。ご了承ください。

- 1 はじめに 核兵器の非人道性と科学者の責任を学ぶ
- 2 人類の本来の発展方向
- 3 ウラン 235 の核分裂の発見から人類を誤った道へ
- 4 火球と原子雲の形成と放射性降下物（ここまで 13 号）
- 5 放射線の人体影響（以下今号）
- 6 脱毛発症率と被曝線量の関係を与える正規分布と広島原爆による被曝線量
- 7 放射性降下物による被曝は主として内部被曝であることの証明
- 8 長崎原爆による被曝線量（以下次号）
- 9 原爆被害隠蔽政策に歪められた放射線被曝の研究体制 *参考文献

5. 放射線の人体影響

被曝影響の根源は電離作用

放射線が人体に入ると、電磁相互作用を通じて放射線の持っているエネルギーを生体分子の原子を結合する役割をしている電子に与え、電子を分子から飛出させて生体分子を壊す。これを**電離作用**という。ミクロのエネルギーの単位は電子ボルト（electron volt、記号は eV）を用いる。電子や陽子など電荷を持つミクロの放射線量子が持つ電荷を素電荷という。マイナスの素電荷 $-e$ を持つ電子を 1 ボルトの電位差の電極板のマイナスの電極に置いて離すと電気力を受けてプラスの電極板に向かって加速されて走り出す。プラスの電極に達した瞬間の電子のエネルギーが 1 eV である。これを普通に使われるマクロのエネルギー単位のジュールによって表すと $1 \text{ eV} \doteq 0.1602 \times 10^{-18} \text{ J}$ （ジュール）となる。

放射線量子の走行飛跡における電離作用の密度（電離密度）が高いと放射線量子が持っているエネルギーは急速に減少して放射線量子は止まるので放射線の透過力は弱い、人体影響は大きい。電離密度が低いと透過力は強いが人体影響は小さい。

放射線はそれぞれの放射線量子が多数まとまって放射されている。 γ 線（ガンマ線）は電磁波と呼ばれる光の一種で特に原子核から放出されるものの呼び名である。電磁波の量子は光子（photon）と呼ばれる。 γ 線は電磁波の中で最も波長が短く、振動数が最も大きく大きいエネルギーを持っている。光子は質量を持たないので光速 $c = 3 \times 10^8 \text{ m/秒}$ で飛翔し、そのエネルギー E は電磁波の 1 秒間の振動数を ν 、波長を λ とすると、プランクの定数 $h = 6.626 \cdot \cdot \times 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ kg/秒}$ を用いて $E = h\nu = hc/\lambda$ と表されるが、 γ 線は同じ電磁波の X 線より短い 10^{-11} m 以下の波長、振動数は 3×10^{21} 以上の振動数である。 γ 線の電離作用はまばらで透過力が強いので 10 cm の厚さの鉛板でも γ 線の 100 分の 1 ないし 1000 分の 1 は透過する。原子核の崩壊から放出される γ 線のエネルギーは通常 0.1 MeV～100 MeV 程度である（M は million、100 万）。

β 線（ベータ線）の量子は電子、 α 線（アルファ線）の量子はヘリウムの原子核である。放射線量子は数万 eV のエネルギーで飛来し、生体分子の電子は 10 eV 以下のエネルギーを受けても電離作用で飛び出すので、1 個の放射線量子が生体内に入ると 1000 カ所～10 万カ所の電離作用が引き起こされる。ウランのような重い原子核は α 粒子を放出する α 崩壊をする。 α 崩壊で放出された α 粒子は秒速 1 万 5 千 km から 2 万 km の速度で放出されるが、 $+2e$ の電荷を持って密度の高い電

離作用をするので生体影響は強いが、急速にエネルギーを失うので透過力は弱く、紙1枚すら通過できない。

原子核を構成する中性子が原子核の中で陽子に変わってマイナス電荷を持った電子と中性の反電子ニュートリノを放出する β 崩壊のとき放出される電子が β 線である。 β 線は α 線に比べればまばらな電離作用をするが、体内では γ 線に比べて影響が強い。国際放射線防護委員会 (ICRP) は β 線の生物学的効果比を1すなわち X 線や γ 線と同じとしている。しかし、内部被曝では生体影響は X 線と比べてかなり大きい。

様々な放射線の単位を列挙しておく。

ベクレル：放射性物質の中で1秒間に起こる原子核崩壊数、すなわち放射線量子が1秒間に放出される個数で、フランスの放射線を発見した物理学者のアンリ・ベクレルに因む。

グレイ：放射線が通過した組織 **1 kg** 当たり放射線から吸収したエネルギー、すなわち吸収線量で放射線の強さを表し、**1 ジュール**のエネルギーを吸収したとき1グレイ (Gray, Gy) の吸収線量とする。放射線生物学の道を開いたハンス・グレイの名に因む。

生物学的効果比：同じ吸収線量でも放射線によって人体影響が異なることを X 線と比較して何倍の影響を与えるかを生物学的効果比 (Ratio of Biological Effectiveness, RBE) で表す。

放射線荷重係数：放射線が生体組織に入って電離作用を引き起こすが、放射線によって次々と集中して電離作用を起こすか、まばらに電離作用を起こすかによって生体に及ぼす影響が異なるので、これを放射線荷重係数 (Quality Factor) で表す。X 線、 γ 線、 β 線の放射線荷重係数は1、中性子線はエネルギーが 10 keV 以下のときは 5、10 keV~100 keV のときは 10、 α 線は 20 とされている。

線量当量：放射線の種類によって人体影響が異なることを考慮して、グレイに放射線荷重係数を乗じた線量当量 (Dose Equivalence) あるいは等価線量 (Equivalent Dose) によって人体影響を表す。その単位名を放射線防護の研究をしたロルフ・シーベルトの名を付けてシーベルトとする。

人体には約 60 兆個の細胞があり、50 kg の人が1グレイの放射線を全身に浴びると約 50 ジュールのエネルギーを吸収することになる。この場合、約 3×10^{19} 箇所の電離作用を受けて全身の1個の細胞当たり 50 万箇所の電離作用を受ける。1 ミリグレイの吸収線量の全身被曝では1個の細胞当たり 500 ヲ所の電離作用を受けるが、細胞内の分子はほとんど修復されて、全細胞に平均 1 ヲ所程度の**損傷**が残る。

自然放射線は (宇宙線、地面、体内などから) 1 年間で 2.4 ミリグレイの被曝を与えるが、1 年間にかけた被曝で、ほとんどの細胞が修復された後での被曝なので障害は気付かないが、DNA の損傷は細胞分裂で新しい細胞に引き継がれるので、DNA の損傷が蓄積して年齢が高くなると癌などの後発障害の原因になる可能性がある。

急性放射線障害：

1 ミリグレイの全身被曝で全身の細胞に修復できない欠陥 (損傷) が平均 1 ヲ所残り、100 ミリグレイの全身被曝で細胞1個当たり平均 100 箇所の損傷が残ると細胞死が始まる。急性症状のように被曝線量が増えれば必ず発症する障害性症状を「**確定的放射線障害**」と呼び、重篤度は線量の増加で重くなり、遂には死亡する。もっともありふれた分布で身長や体重の分布が正規分布であるように急性症状の発症率も被曝線量の正規分布であることが動物実験で確立している。

晩発性障害：

細胞の細胞核内にある染色体 (遺伝子) に損傷すなわち染色体異常ができると細胞分裂において

この染色体異常は新しい細胞に引継がれる。染色体異常で免疫機能が損傷を受けると、がんの発症につながるなどで晩発性障害が起こる。白血病は被爆数年後から、その他の癌は 10 年、20 年以上を経た後に発症する。

がん以外にも多様な晩発性障害（甲状腺機能低下症、肝機能障害）がある。晩発性障害は被曝したら必ず発症するとは限らないが、発症する度合いは被曝線量に比例するので「**確率的放射線障害**」と呼ばれる。ごく低線量被曝では他の発症原因で覆われるので、被曝によるかかどうかが判定が難しくなる。障害の重篤度は被曝線量によらない。

外部被曝と内部被曝

外部被曝：初期放射線（ γ 線と中性子線）は瞬間的に身体の外から体内に入って被曝させる。初期放射線は透過力が強く、身体の内部まで到達して被曝させることをいう。

内部被曝：放射性降下物の放射性微粒子を呼吸や飲食で体内に摂取すると、これら放射性物質が体内で放射線を放出して被曝する。放射性微粒子が付着した周辺は継続的に被曝を続けるので外部被曝より深刻な被曝を受ける。内部被曝では透過力の弱い電離密度の高い放射線の方が大きい影響を与える。元素の種類で集中する器官・臓器が違う。

6. 脱毛発症率と被曝線量の関係を与える正規分布と広島原爆による被曝線量

内部被曝は外部被曝のように物理学的測定では測れないので、生物学的測定である被曝線量と人体影響との関係、すなわち急性症状や晩発性障害の発症率や死亡率との関係から求める。広島と長崎の原爆投下は、それぞれ一発の爆発で数十万人が被曝し、多くが死亡したという、決して許されない行為であるが、その放射線被曝による障害の発症率の調査が詳しく行われて調査資料がつけられ、また、初期放射線の線量については米国と日本の研究者によってかなり正確に評価されてきた。これらの調査資料は、内部被曝も含めた被曝線量を求めることのできる貴重なものである。しかし、これまでは放射線影響研究所などが、核兵器政策と関連して、爆心地に近い近距離の外部被曝に重点を置いてきたことと、内部被曝については、その評価が難しいことのために十分な取組みがおこなわれてこなかった。こうした状況の中で、これから説明する放射線被曝影響が正規分布であることを基礎において、内部被曝も含めた被曝影響を明らかにする研究方法は、人類の放射線による被曝影響を考える上で極めて重要な意味を持つと思われる。

正規分布 被曝線量と急性症状発症率の関係は動物実験によって正規分布であることが示されている。正規分布はもっともありふれた分布で、身長や体重も正規分布をしており、ご存知の方も多いと思うが、念のため正規分布の説明をしておく。正規分布は確率変数（身長、体重、放射線量など）と呼ばれる変数を x として確率密度関数 $\varphi(x, \mu, \sigma^2)$ は

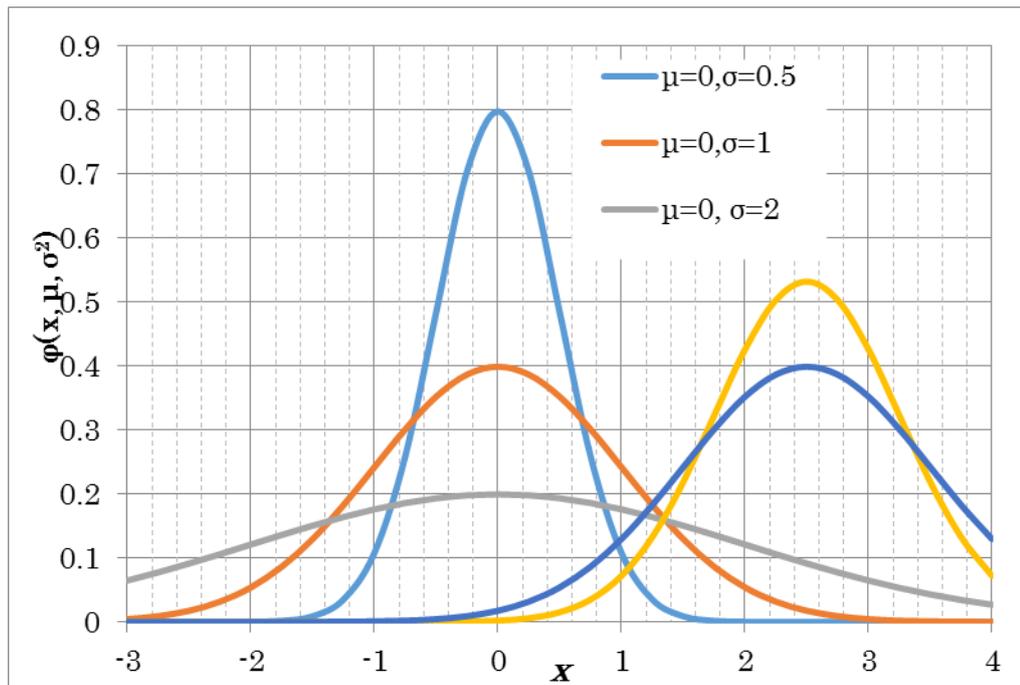
$$\varphi(x, \mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left\{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\}$$

と表せる。ここで $z = -(x-\mu)^2/2\sigma^2$ として $\exp(z) = e^z$ は自然対数の底あるいはネイピア数と呼ばれる数学定数 $e = 2.718281828459\cdots$ を底とする指数関数である。 μ （ミュー）は**平均値**と呼ばれ、 $x = \mu$ のとき $\exp(0) = e^0 = 1$ となって確率密度関数は最大値をとる。 σ （シグマ）は標準偏差と呼ばれ、平均値のまわりに分布がどの程度広がっているか散らばりの度合いを与える。図7には一般的に分布を考える確率変数と呼ばれる変数 x を横軸にとり、その x の値を取る正規分布の確率密度関数 $\varphi(x, \mu, \sigma^2)$ を縦軸に取って、平均値の値が $\mu = 0$ で標準偏差の値が $\sigma = 0.5$ 、 $\sigma = 1$ 、

および $\sigma = 2$ である場合と、平均値が $\mu = 2.5$ で標準偏差の値が $\sigma = 0.75$ と $\sigma = 1$ の場合について示した。このように正規分布の確率密度関数は平均値を中心に左右対称な釣り鐘状の分布となる。

平均値のまわりの散らばりの程度を標準偏差の自乗の分散 σ^2 で表すことも多く、正規分布を $N(\mu, \sigma^2)$ と平均値 μ と分散 σ^2 で表すことになっている。Nは正規分布の Normal Distribution の頭文字である。確率変数が平均値 μ から離れて小さいとき発症の割合は小さく、平均値に近づくと発生の

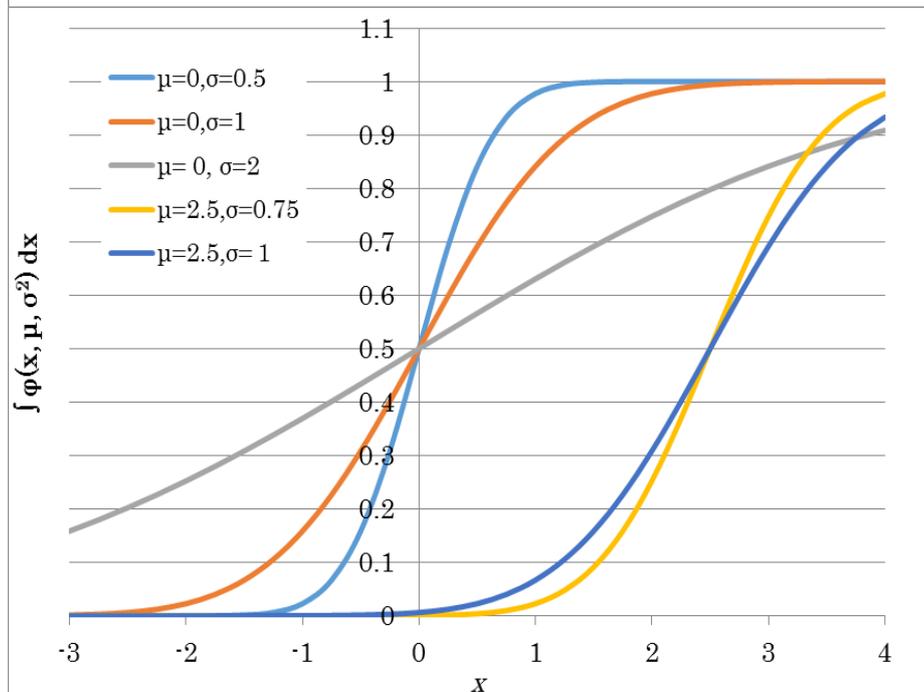
図7 正規分布 $N(0, 0.5^2)$ 、 $N(0, 1^2)$ 、 $N(0, 2^2)$ 、 $N(2.5, 0.75^2)$ および $N(2.5, 1^2)$ の確率密度関数 $\varphi(x, \mu, \sigma^2)$ 。



割合が増加して、平均値に達してピーク

に達し、さらに被曝線量が増加すると発生の割合は減少していく。

図7に示されているように標準偏差 σ あるいは分散 σ^2 が小さいと平均値のピークは大きくなり、標準偏差 σ あるいは分散 σ^2 が大きいと平均値のピークが小さくなっていて、それぞれの曲線の広がる確



率変数 x の全領域にわたって積分するとすべて1になる。すなわちあらゆる可能性が起こる確率は1、パーセントで100%である。平均値より低い値の曲線下の面積と平均値より大きい値の曲線下の面積はともに0.5すなわち50%である。

分布を議論するとき確率密度関数を用いることも多いが、ある確率変数 x の値以下までに起こった

事象の累積割合を知りたい場合には、その x の値まで確率密度関数を積分し

図8 正規分布 $N(0, 0.5^2)$ 、 $N(0, 1^2)$ 、 $N(0, 2^2)$ 、 $N(2.5, 0.75^2)$ および $N(2.5, 1^2)$ の累積関数を示す。

た累積積分 $\int_{-\infty}^x \varphi(x, \mu, \sigma^2) dx$ が用いられる。図8の曲線は図7に示した様々な平均値 μ と標準偏

差 σ の正規分布の確率密度関数に対応した累積正規分布である。平均値 $\mu = 0$ の場合は x が負の領域で増加を続けて $x = 0$ のところで 0.5 すなわち 50% になって交叉し、標準偏差の大きいほど曲線の勾配は緩くなっており、 x の正の領域で増加を続けると曲線は 1 に近づいていく。平均値 $\mu = 2.5$ のときは $x = 2.5$ で 0.5 すなわち 50% になり、 x がかなり大きくなって 1 に近づいていく。標準偏差 σ の大小は、やはり x が平均値周辺のときの曲線の傾きの勾配に表れている。

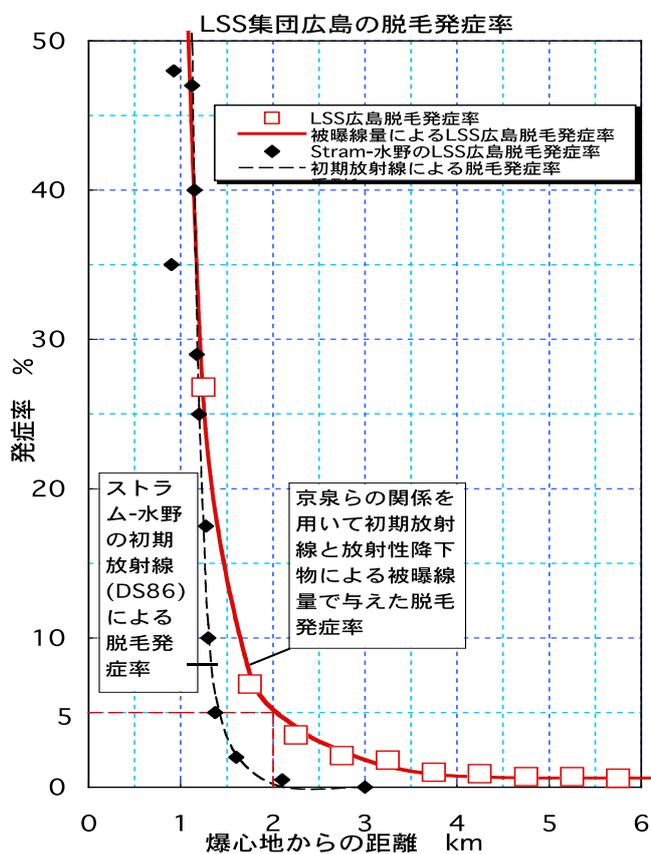


図9 広島被爆者の脱毛発症率 (ABCC)

ど到達しない爆心地から 2 km 以遠でも脱毛が発症しており、放射性降下物による被曝影響の存在を示唆している。しかし、放射性降下物による被曝影響については、これまで十分な研究が行われていないので、差し当たり初期放射線量だけを用い、後に放射性降下物による被曝線量を考える。図9の広島の爆心地からの距離における全脱毛発症率の□印を、DS02に基づいて初期放射線による被曝線量との関係にすると図10の□印になる。建造物などによる初期放射線の遮蔽効果は後に検討する。

得られた図10の□印は累積正規分布とは大きく違っている。放射性降下物による被曝線量を考慮しなかったために全脱毛発症率はゼロ線量から急速に立ち上がる一方、被曝線量が 2.5 グレイを越えると一様に増加しなくなっている。脱毛は典型的な急性症状で、被曝線量が増加すれば累積正規分布に従って発症率は一様に増加し、遂には全ての人が発症する確定的障害であるから発症率は累積正規分布に従って 100 % に近づくはずである。

広島原爆の放射線による脱毛発症率の正規分布

原爆の被曝線量による急性症状発症率を与える正規分布として、広島原爆による脱毛発症率から出発する。図9の赤い□印で示したのは1950年頃、米国の原爆傷害調査委員会 (Atomic Bomb Casualty Commission, ABCC) が設定した寿命調査集団 (Life-Span-Study group, LSS 集団) の広島被爆者の爆心地からの距離による全脱毛発症率で、これまでの急性症状発症率調査において最も調査数が多いので、この調査結果から出発する (文献9)。

図9の黒色の◆は脱毛率が 3 分の 2 を越える重度脱毛の発症率で、今回は用いない。図9では、爆心地からの距離と全脱毛発症率の関係になっているので、これを被曝線量と脱毛発症率の関係にするために、爆心地からの距離と初期放射線の線量との関係性を評価した「2002年原爆放射線線量評価体系」(Dosimetry Systems 2002, DS02) (文献10)を用いる。

9の脱毛発症率を見ると初期放射線がほとんど

図 10 被曝線量と脱毛発症率の正規分布を求める。

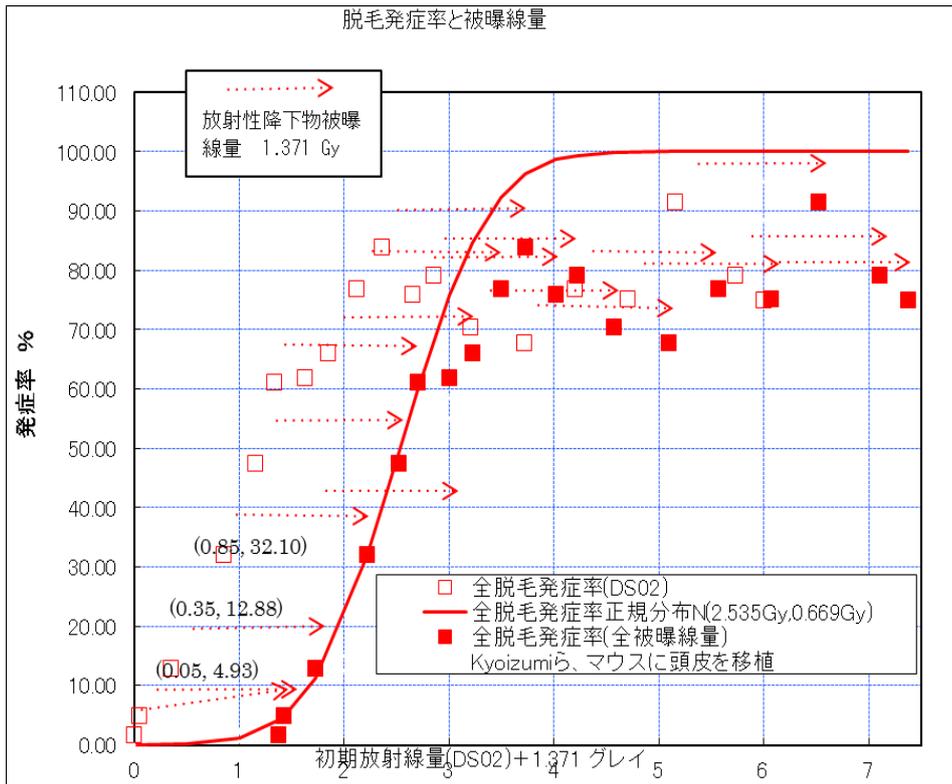


図 10 の□印が示す LSS 集団の高線量被曝者の全脱毛発症率が 100%に近づかない理由について 1980 年代の始め、放射線影響研究の著名な先駆者であった英国のアリス・スチュワート博士が、LSS 集団は、被曝した 1945 年 8 月から 5 年以上を経た 1950 年 10 月の国勢調査で広島市または長崎市に戸籍のある被曝者から選定されたため、被曝して 5 年以上生き残ることのできた人だけで構成されているためであると指摘した。被曝して 60 日以内

に 50%の人が死亡する半致死線量は 4 グレイとされており、LSS 集団の高線量被曝者には、半致死量程度あるいは半致死量以上を被曝しても 1950 年 10 月まで生き残れた極めて放射線抵抗力の強い被曝者しか含まれていないので、高被曝線量でも発症率が 100%に近づかないことを説明できる。図 10 の□印の動きを詳しく見ると、LSS 集団には高線量被曝し被曝後 5 年間で死亡した方の影響によって□印の増加が様でないことが最初に表れているのは、初期放射線被曝線量が 1.5 グレイを超えたところで、1.5 グレイ以上では 5 年間で死亡した人の影響を受けている可能性がある。そこで今後の解析では、LSS 集団のこうした問題による偏りのないことが明白な 1.5 グレイ以下の領域を用いることにする。

図 10 の□印のもう一つの不自然さは脱毛率が被曝線量ゼロのところから急増することで、放射性降下物による被曝を無視したことから予想したことである。脱毛を発症するのは 0.5 グレイであるが、初期放射線被曝線量 0.05 グレイで 4.93%、0.35 グレイで 12.88%、0.85 グレイで 32%の脱毛発症率になっている。DS02 によれば、広島の爆心地から 1.55 km 以遠の距離で初期放射線量が 0.5 グレイ以下になるので、図 9 のこの距離以遠の脱毛は放射性降下物による被曝影響である。

そこで、先に指摘した LSS 集団の発足時期が被曝後 5 年以上を経てその間に死亡した人の影響の見られない、図 10 の初期放射線被曝線量が 1.5 グレイ以下の 0.05 グレイから 1.33 グレイの領域の全脱毛発症率が正規分布になるように放射性降下物による被曝線量を考慮する。DS02 によれば初期放射線被曝線量が 0.05 グレイから 1.33 グレイの間になるのは爆心地からの距離にして 1.2 km から 2.1 km の範囲に相当する。この範囲では放射性降下物による被曝線量は大きく変化しないでほぼ一定値であると仮定し、その一定値を初期放射線被曝線量に加えて脱毛発症率が最も正規分布に従うようになる一定値を求めた。その一定値は 1.371 グレイとなった。初期放射線量に放射性降下物による一定値の被曝線量 1.371 グレイを加えた全被曝線量に対する脱毛発症率は、図 10 に矢印で示したように□印から■印に移動する。死亡者による偏りのない低被曝線量の領域において、全脱毛発

症率を表す■印は赤い実線で示された平均値 2.535 グレイ、標準偏差 0.669 グレイの正規分布 $N(2.535 \text{ Gy}, 0.669^2 \text{ Gy}^2)$ に従って変化することがわかった。こうして得られた被曝線量と全脱毛発症率の関係を与える正規分布 $N(2.535 \text{ Gy}, 0.669^2 \text{ Gy}^2)$ は LSS 集団の偏りがある部分も含めて被曝線量の全領域に亘る被曝線量と全脱毛発症率の関係を与えると考えられる。

被曝線量と全脱毛発症率の関係を表す正規分布 $N(2.535 \text{ Gy}, 0.669^2 \text{ Gy}^2)$ が得られたので ABCC 調査の図 9 の広島市の被曝者の脱毛発症率の全領域から、原爆による被曝線量を求める。

爆心地から r km の地点の初期放射線線量 $P(r)$ として DS02 の推定値を用いる。爆心地に近い初期放射線の強い距離で被曝して生き残った LSS 集団の被曝者は、初期放射線が建物などによって大きく遮蔽されたと考えられる。その平均的遮蔽効果をパラメータ c で表すと、遮蔽効果を考慮した初期放射線による被曝線量は c を乗じて $cP(r)$ となる。遮蔽効果がない場合は $c=1$ 、完全に遮蔽されると $c=0$ 、一般に c は 0 と 1 の間の値をとる。被曝者の浴びた全被曝線量 $D(r)$ は、初期放射線による被曝線量 $cP(r)$ と放射性降下物による被曝線量 $F(r)$ の和として

$$D(r) = cP(r) + F(r)$$

と表される。放射性降下物による被曝線量 $F(r)$ は試行錯誤の結果

$$F(r) = a r \exp(-r^2/b^2) + d$$

という式によって表すことが便宜であることがわかった。パラメータ a はガウス分布の形 $\exp(-r^2/b^2)$ で変化する部分の強さを与え、パラメータ b はこの変化をする部分の範囲を表す。 r を乗じたのは、爆心地周辺で強い上昇気流が放射性降下物の降下を遮った影響を反映するためである。ガウス関数の部分は $x = -r^2/b^2$ とするとネイピア数あるいは自然対数の底と呼ばれる定数 $e = 2.718281828 \dots$ を底とする指数関数 $\exp(x)$ あるいは e^x として表すこともできる。パラメータ d は調査範囲において被曝線量が一定値とみなせる部分の強さを表す。4つのパラメータ a, b, c, d を適当にとって全被曝線量 $D(r)$ を求め、その数値を、表計算ソフト Excel の累積正規分布の関数 $\text{NORM.DIST}(D(r), 2.535, 0.669, \text{TRUE})$ の全被曝線量 $D(r)$ のところに代入すると爆心地から r km 地点の脱毛発症率の理論値が求まる。これに調査地点ごとの調査人数を乗ずると、調査地点の脱毛発症者の理論度数が求まる。各調査点の脱毛発症者の調査度数と理論度数を用いて χ^2 (カイ) 2乗という量を式

$$\chi^2 = \sum (\text{理論度数} - \text{調査度数})^2 / \text{理論度数}$$

を用いて求める。 Σ は調査地点について計算結果を加え合わす総和記号である。4 個のパラメータ a, b, c, d を様々に動かしてカイ 2乗が最小になるようなパラメータのセットを求める。その時のカイ 2乗の値がカイ 2乗検定の自由度 (今の場合は調査地点数 - パラメータ数 4 - 1) ごとに決まるカイ 2乗分布の棄却領域に入らなければ得られた結果はカイ 2乗検定で排除されないことになる。

カイ 2乗を最小にして得られた広島原爆の被曝線量を図 11 に示した。用いた DS02 による初期放射線被曝線量の爆心地から r km 地点の値 $P(r)$ を黒い実線で示した。爆心地から 1 km を超えると $P(r)$ は急速に減少している。遮蔽効果を考慮した初期放射線による被曝線量 $cP(r)$ は $c=0.52$ となったので黒い実線の $P(r)$ の約半分の赤く細い破線になった。米国の核実験によって日本家屋の遮蔽効果は $c=0.7$ とされており $c=0.52$ は遮蔽効果が大きいことを示している。これは LSS の爆心地に近いところで生き残った被曝者が遮蔽効果の強い建物にいて助かったことを反映した可能性を示している。全被曝線量 $D(r)$ は赤く太い破線で、放射性降下物による被曝線量 $F(r)$ は太く赤い実線で示されている。爆心地から 2.2 km 以遠では初期放射線による被曝線量 $cP(r)$ は無視されるほど小さいので、赤い■印の全被曝線量は放射性降下物による被曝線量と一致して赤い○印の下に隠されて

いる。

被曝線量と脱毛発症率の関係を与える累積正規分布を求めるとき遮蔽効果を無視して爆心地から 1.2 km から 2.1 km の距離の DS02 による初期放射線量を用いた。しかし、図 9 の爆心地から全被曝距離の脱毛発症率から被曝線量を求める時は、遮蔽効果を与えるパラメーター c を導入して $c = 0.52$ とかなりの遮蔽効果がある結果を得た。その結果、初期放射線による被曝線量は減少したが、その減少分だけ放射性降下物による被曝線量が増加して、爆心地から 1.2 km で 1.6 グレイ、2.1 km で 1.3 グレイになって、一定値とした 1.375 グレイよりやや大きくなったことが図 11 に見られる。

図 11 脱毛発症率から求めた広島原爆の放射線被曝線量

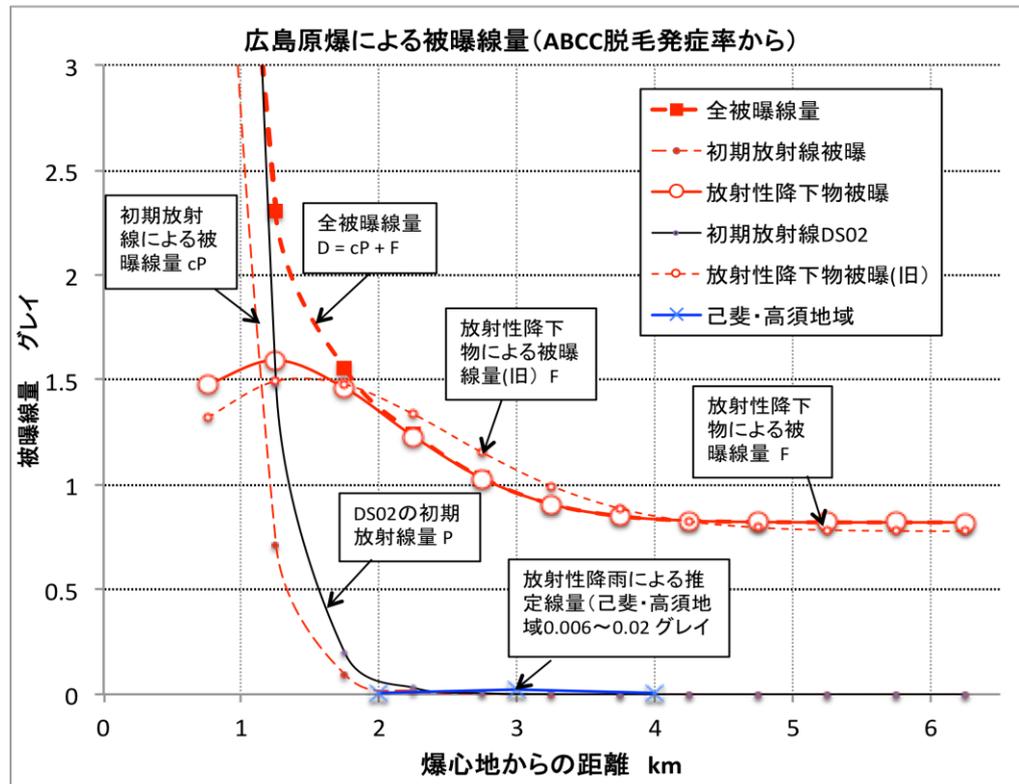


図 11 に放射性降下物による被曝線量を赤く細い破線で示したのは、放影研の京泉誠之博士らの死亡胎児の頭皮を免疫不全マウス (SCID) に移植し、X 線を照射して脱毛率 (単位面積当たりの抜け落ちた毛髪の割合) を求めた研究結果に基づいて求めた被曝線量と脱毛率の関係を示す累積正規分布 $N(2.751 \text{ Gy}, 0.794^2 \text{ Gy}^2)$ を、多数の被爆者の全

脱毛発症率として用いた結果 (文献 11) で、今回の被爆者調査結果から求めた方法とそれほど大きな違いはないことがわかった。

政府や放影研が広島放射性降下物の最大線量と主張する己斐・高須地域の土壌中の放射性物質からの生涯被曝線量 0.006 グレイ～0.02 グレイを図 11 の 2 km～4 km の青い×印を結んで示した。この被曝距離の円盤状の地域の内部被曝の平均値は政府の主張する最大値の数十倍以上となる。

放影研の平井裕子研究員 (文献 12) らが広島爆心地から 2.75 km 以遠の、黒い雨地域と黒い雨が降らなかった地域の被爆者について、臼歯の頬側と舌側のガンマ線による被曝影響を比べて、黒い雨地域の反対方向の地域の被爆者の方が放射性降下物からのガンマ線を沢山浴びていることを示した。「黒い雨」地域では雨滴が漂っていた放射性微粒子を取込んだため降下物による被曝線量が低下したと考えられる。平井らの臼歯の頬側のガンマ線被曝の測定値の平均値が 0.017 グレイで、国が広島で最大としている己斐・高須地域の 0.02 グレイとほぼ同じである。さらに 0.02 グレイよりも遥かに大きい 0.5～0.6 グレイのガンマ線を外部被曝線量だけで受けている人が数人いるので、政府の己斐・高須地域が最大であったとの主張は崩されている。

7. 放射性降下物による被曝は主として内部被曝であることの証明

放射性降下物による被曝影響は内部被曝であることを、急性症状の下痢の発症率を脱毛や紫斑の発症率と比較することによって示すことができる。

於保源作医師は広島市の被曝者の屋外被曝か屋内被曝かを区分し、さらに被曝から3ヶ月以内に爆心地から1 km 以内に入ったか入らなかったかで区分して被曝影響を調査して1957年に論文を発表している(文献13)。その調査の中から、火傷の影響と爆心地付近の誘導放射化物質による被曝影響を避けるために、屋内被曝で被曝から3ヶ月以内に爆心地から1 km 以内に入らなかった被曝者について、脱毛、紫斑、下痢の発症率を比較する。図12に示すように、脱毛の発症率は爆心地から遠距離まで距離とともに紫斑の発症率とほとんど同じように変化しているのに、政府が遠距離被曝の脱毛は精神的影響によると主張することの誤りは歴然としている。脱毛と紫斑はABCCの脱毛率から求めた正規分布 $N(2.751 \text{ Gy}, 0.794^2 \text{ Gy}^2)$ を用いた。

図12. 於保医師による広島市の急性症状発症率

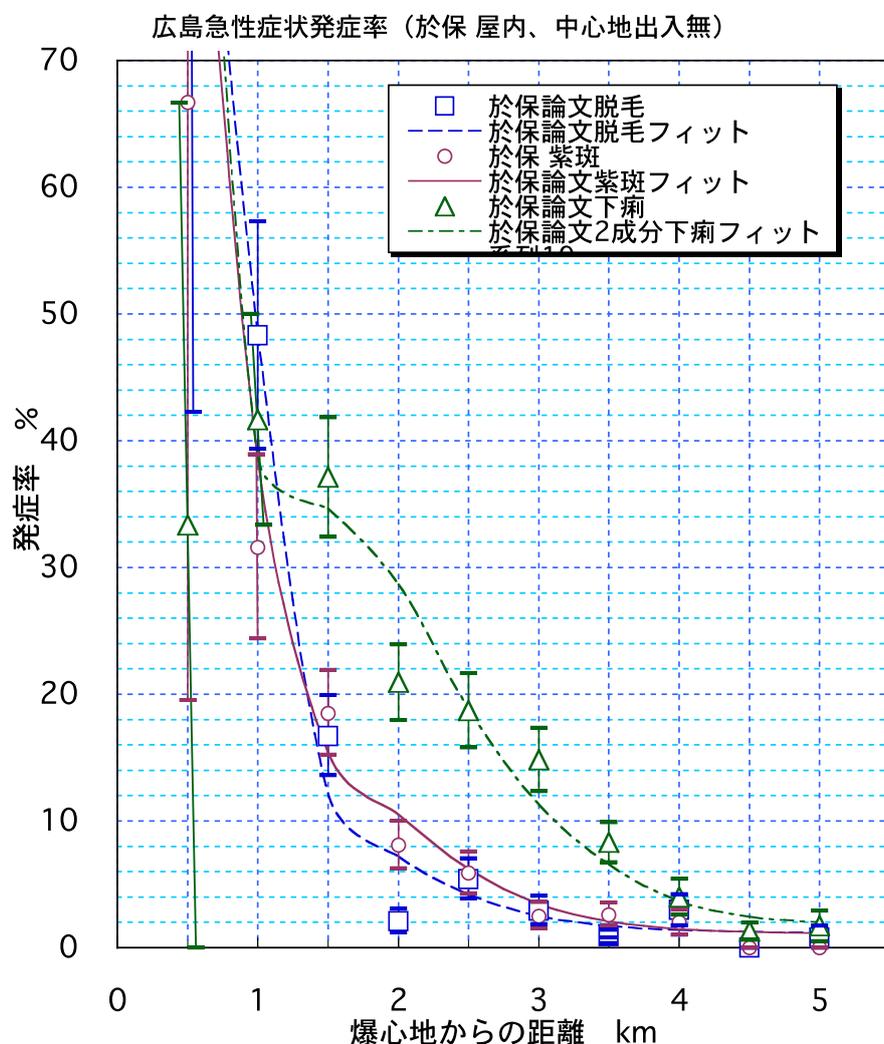


図12に示されているように、爆心地から1 km 以内では脱毛や紫斑がほとんど100%の発症率であるのに、下痢の発症率は約30%程度の低い発症率である。1 km 以内での主要な被曝は初期放射線による外部被曝で、初期放射線のガンマ線と中性子線は疎らな電離作用で透過力が強いために腸壁細胞に到達できる。しかし透過力が強いので薄い腸壁細胞にほとんど傷害を与えないで通り過ぎてしまう。そのため外部被曝ではかなりの高線量被曝でなければ下痢は発症しないので30%程度の発症率になったと考えられる。逆に爆心地から1.2 km 以遠では、下痢の発症率は脱毛や紫斑の発症率の約3倍とかなり大きくなっている。1.2 km 以遠では初期放射線量は小さいので、

下痢の発症は放射性降下物による被曝以外には考えられない。放射性降下物による被曝は放射性微粒子などが呼吸や飲食を通して体内に取り込まれ、血液やリンパ液で運ばれて腸壁細胞に付着するなどして直近から透過力の弱いベータ線などによる集中した内部被曝によって下痢を発症させたと考えられる。

そのため下痢の発症率と被曝線量の関係を与える正規分布は、外部被曝と内部被曝とで別々にしなければならない。初期放射線による外部被曝線量と下痢の発症率の関係を与える正規分布は脱毛の場合より平均値が高線量被曝側にずれた正規分布になり、放射性降下物による内部被曝と下痢の発症率の関係を与える正規分布は脱毛の場合より低線量被曝側にずれた正規分布になるであろう。内部被曝による下痢の発症率を与える正規分布は脱毛について図 10 で行った方法と同じ方法によって正規分布 $M(1.981 \text{ Gy}, 0.572^2 \text{ Gy}^2)$ が求まった。外部被曝による下痢の発症率については図 12 に見られるように爆心地に近い距離での調査地点が少なく、被曝から 7 年後の調査時点までに死亡した人によるバイアスも大きく、1 km 以内の平均距離 0.5 km 区間における発症率の値 33% も信頼性は弱い。差し当たり外部被曝線量と下痢発症率の関係を与える正規分布 $M(3.026 \text{ Gy}, 0.873^2 \text{ Gy}^2)$ を得た(文献 11)。 図 12 に示したように脱毛、紫斑、下痢のそれぞれの発症率にフィットする曲線を与える広島原爆の被曝線量は、図 13 のように初期放射線被曝線量と放射性降下物の両方とも 3 種の発症率からほぼ一致する被曝線量になった。このことは、脱毛も紫斑も放射性降下物による被曝は下痢と同じ内部被曝であるが、脱毛と紫斑の発症率と被曝線量との関係を与える正規分布は、それぞれ外部被曝と内部被曝に共通に与えられることを示している。これは脱毛も紫斑も身体の表面近くの組織の被曝で発症し、外部被曝と内部被曝はほぼ全身一様に引き起こされるためと考えられる。

図 13. 3種の急性症状による広島原爆の被曝線量

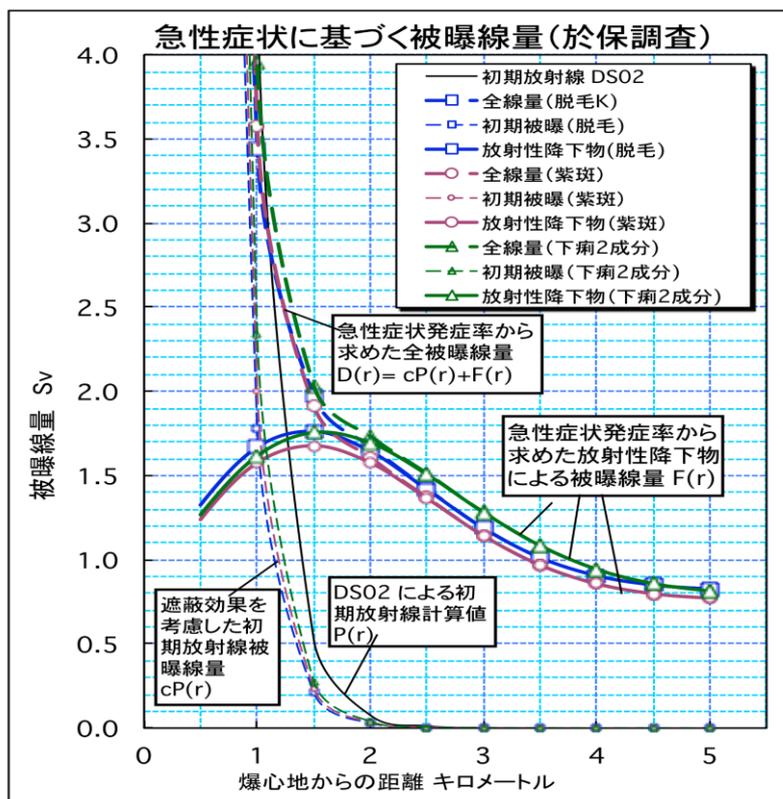


図 13 の被曝線量の結果を ABCC の脱毛発症率から求めた図 11 の結果と較べると、放射性降下物による被曝影響のピークの位置は爆心地から 1.5 km と同じであるが、その値は 1.7 グレイとやや大きい。これは ABCC 調査の脱毛発症率の値が、於保調査を含めた他の多くの広島における脱毛発症率の調査結果に比べてやや小さめであったことによる。

(つづく)