

放射線の非がんリスクに閾値(しきいち)がない？

— ICRP で大事件 —

永井 宏幸

- 1 確定的影響に関する ICRP の従来の見解 (2007 年勧告まで)2
- 2 近年の研究成果5
- 3 ICRP の確定的影響に関する新見解 (2012 年声明)13
- 4 市民はこれから何を学ぶか.....19

放射線の人体への影響は、がんや遺伝的障害などの形で現れる確率的影響とそれ以外の形で現れる確定的影響に分類できるとされてきました。これは ICRP (国際放射線防護委員会) が提唱し、各国政府が公認してきたことです。ところが 2012 年、ICRP は確定的影響に関する見解を根本的に変更する声明を発表したのです。確定的影響と確率的影響の従来分類が妥当だったのかという問題さえ生じています。

本稿ではまず、ICRP が確定的影響についてどのような見解をもっていたかを整理したうえで、この見解が最近の研究によって揺らいできた流れを紹介していきます。それから、ICRP の 2012 年の声明でその見解がどのように変わったかを解説していきたいと思います。私は、今回の ICRP の見解の変更を多くの研究者の努力がもたらしたものであるという点では評価していますが、これが職業被曝の線量限度の見直しに結びつかなかったことに残念な気持ちをもっています。

本稿は 'ICRP Statement on Tissue Reactions and Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs - Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context' (2012 年公表) をもとに書いています。日本語の訳は執筆時点で公開されていません。

1 確定的影響に関する ICRP の従来の見解（2007 年勧告まで）

放射線の人体への影響に関する ICRP の見解は、教科書、参考書、専門書で「公認された事実」として引用され、公的機関、マスコミ、専門家などにより広く国民に浸透しています。ICRP の確定的影響に関する見解を整理しておきましょう。

放射線の人体への影響は、確定的影響と確率的影響に分けることができる。確率的影響はがんと遺伝的障害として、確定的影響はがん以外の疾病や傷害として現れる。確定的影響には次のような性質がある。

- (1) 線量**閾値**があり、線量閾値以下で確定的影響は生じない。
- (2) 線量-反応関係は**S 字曲線**（シグモイド曲線）で表される。
- (3) 閾値は全線量よりも**線量率**（一定時間内に被曝する線量）で決まる。
- (4) **潜伏期間**は確率的影響に比べて短い。
- (5) これらの性質は**細胞死モデル**で説明ができる。

(1)～(3)は「公認の説明」で特に強調される性質です。たとえば、放射線医学総合研究所の一般向けホームページでは、確定的影響と確率的影響の違いを次のように説明していました(図 1)。(研究所の改組にあわせて今は削除されているようですが。)

放射線防護の目標は、確定的影響については被ばく量をしきい値以下にすることでその影響の発生を防止し、確率的影響については、その発生確率が容認できるレベルに抑えることとされています。確率的影響における職業被ばく量の限度は、その考えに基づいて20mSv/年(5年間の年間平均値)に定められています。日本の現在の公衆における被ばく量の限度は、20mSv/年より低い1mSv/年に定められています。

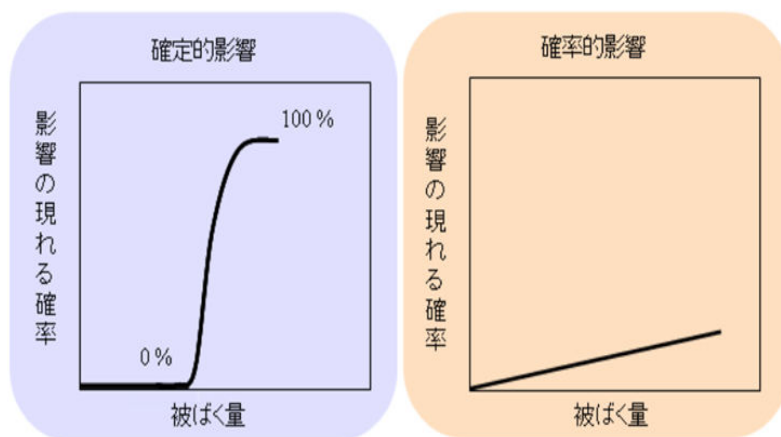


図 1 放射線医学総合研究所の一般向け旧ホームページから

確定的影響には線量閾値があつて、それ以下の線量で放射線の影響は現れないと説明し、この性質のおかげで、確定的影響は完全に防止できていると述べています。確定的影響の図には、被曝量と影響の現れる確率の関係がS字型（シグモイド曲線）になることも示しています。

それでは、その閾値はどのくらいの線量なのでしょう。ICRPの2007年勧告にこれが示されています（図2）。

表A.3.1 成人の睾丸、卵巣、水晶体、及び骨髄における組織影響のしきい値の推定値
ICRP (1984, Publication 41) より引用¹⁾

組織と影響	しきい値		
	1回の短時間被ばくで 受けた総線量 (Gy)	多分割又は遷延被ばくで 受けた総線量 (Gy)	多年にわたり多分割又は遷延被ばくで毎年受けた場合 の年間線量率 (Gy/年)
睾丸			
一時的不妊	0.15	— ²⁾	0.4
永久不妊	3.5~6.0 ³⁾	—	2.0
卵巣			
不妊	2.5~6.0	6.0	>0.2
水晶体			
検出可能な混濁	0.5~2.0 ⁴⁾	5	>0.1
視力障害（白内障） ⁵⁾	5.0 ⁵⁾	>8	>0.15
骨髄			
造血機能低下	0.5	—	>0.4

改訂された判断については、表A.3.4及びA79, A80項を参照。

1) 更なる詳細については、Publication 41 (ICRP, 1984) を参照。

2) 該当せずの意。その理由は、そのしきい値が総線量よりもむしろ線量率に依存しているからである。

3) UNSCEAR (1988) を参照。

4) OtakeとSchull (1990) も参照。

5) 急性線量のしきい値として2~10 Svが与えられている (NCRP, 1989)。

図2 ICRP2007年の勧告閾値の推定値

図2の水晶体の項で見てください。単回被曝（原爆被曝者）と分割被曝・遷延被曝（治療の分割照射・職業被曝など）に分かれています。分割被曝・遷延被曝に着目すると、検出可能な混濁の閾値が5Gy、視力障害（白内障）の閾値が8Gy超となっています。広島・長崎の原爆被曝者の被曝による死亡率が50%になる線量が3Gyだといわれていますから、これは相当に高い線量です。低線量（累積線量0.1Gy以下）の被曝で水晶体混濁や白内障になる心配は全くないこととなります。

表を見たついでに、睾丸の一時的不妊の項もみておいてください。閾値に総線量の記入はなく、年線量率だけが記されています。理由は、欄外の注に書かれていますが、閾値が総線量より

も線量率に依存するからというのです。1年間の被曝が0.4Gy以下なら何年被曝しても影響はないというわけです。この閾値は50年間の総線量に直せば20Gyの閾値ということになります。常識的には納得できませんが、ICRPはこう考えているのです。骨髄についても同様です。

ICRPは、影響の発生メカニズムの違いをあげて、確定的影響と確率的影響の区別を説明しています。がんなどの確率的影響は1個の細胞のDNAの損傷からでもおこるが、確定的影響は一定量の細胞の細胞死によっておこるとというのがそれです。

放射線は電離作用によって組織／器官の細胞を傷つけて細胞死を起こします。しかし、生体には日常的に起こる細胞死を周辺の細胞の分裂／分化で補う修復能力があります。したがって、細胞死する細胞の数が修復能力を越えなければ、組織／器官に障害が生じることはないと考えられます。また障害が生じて、それが軽微であれば修復能力によって組織／器官はもとの状態にもどるでしょう。修復能力を超える数の細胞死がおこったときだけでなく、組織／器官の機能が不全となり死に至るのです。これが確定的影響を説明する「細胞死モデル」です。

繰り返します。被曝によって細胞死が起こる。その数が多ければ死に至る。数が少なければ何事もなし。その中間だと、障害が現れ、やがて回復する。細胞死モデルではこの3つのシナリオが想定できます。どのシナリオをたどるかは被曝時の細胞死の数で決まります。だからこれを「確定的影響」といつているのです。

細胞死モデルによれば、確定的影響に閾値が存在するのは自明です。また、定まった時間に修復できる細胞の数には限界があるでしょうから、閾値が線量率に依存すること

線量の単位について

吸収線量は物理量で単位はGy(グレイ)である。実効線量は確率的影響を定量化するためにICRPが定義した現象論的線量で単位はSv(シーベルト)である。実効線量は吸収線量に係数をかけて求める。係数の決定はICRPがおこなうが、決定の原理は実効線量のがん発病率(がん死亡率も加味)に比例するようにということである。放射線の種類による影響の違いは放射線荷重係数で吸収する。がんの部位による違いは組織荷重係数で吸収する。

したがって、確定的影響に実効線量(Sv)を用いるのは不適切である。全身一様なガンマ線の外部被曝では吸収線量と実効線量の値が等しいのでSvとGyを読も変えてもよい。医療被曝では非一様被曝なので実効線量を用いることが多いが、がんのリスク評価にしか使えない。確定的影響のリスク評価では放射線荷重係数を明示してその組織の吸収線量を示さなければならない。

この論稿は確定的影響を扱っているので吸収線量(Gy)を用いるのを原則としたが、文献の引用ではSvを使わざるを得なかった。

も理解できることとなります。潜伏時間が短いことは、損傷した細胞の数が時間とともに減っていくと考えることで説明できます。細胞死モデルでは損傷した細胞の数が修復能力の働きで減っていくことはあっても増えることはないのです。

このように、確定的影響の性質は細胞死モデルをうまく説明できるのです。しかし...。

2 近年の研究成果

細胞死モデルに従えば、低線量の被曝で確定的影響が生じることはありませんでした。また、被曝してから何十年も経ってから確定的影響が現れるということもありませんでした。ところが、近年の疫学研究や動物実験などから、このありえないことが実際には起こっていたとわかってきたのです。

2.1 白内障

◆ NASA 宇宙飛行士の調査 (Cucinotta et al., 2001)

水晶体への影響に関する研究に強いインパクトを与えたのは NASA 宇宙飛行士の白内障の調査でした。NASA 宇宙飛行士の健康を管理している NASA-JSC クリニックのメンバーが参加するグループが宇宙飛行士の約 30 年の眼科検診データを用いて、高被曝グループの水晶体混濁および白内障の有症率が低被曝グループに比べて明確に高いことを明らかにしました (図 3)。高線量グループといってもグループの平均線量はわずか 45mSv です (線量は水晶体の実効線量)。2つのグループは 8mSv で分けられ低線量グループの平均線量は 3.6 mSv です。図 3 には初ミッションからの経過年数を横軸にとって白内障の有症率を示しています。●が低線量グループで、○が高線量グループです。NASA-JSC クリニックは、NCRP (米国放射線防護委員会) の定めた 2Sv を白内障の閾値に使う宇宙飛行士の健康管理をしていたのですが、これよりはるかに低い線量で白内障が増加していたことに関係者は相当ショックを受けたと思います。ICRP の閾値 8Sv よりも厳しい値で健康管理していたのに、です。著者らは、規制当局のガイドラインを見直すべきであると指摘しています。

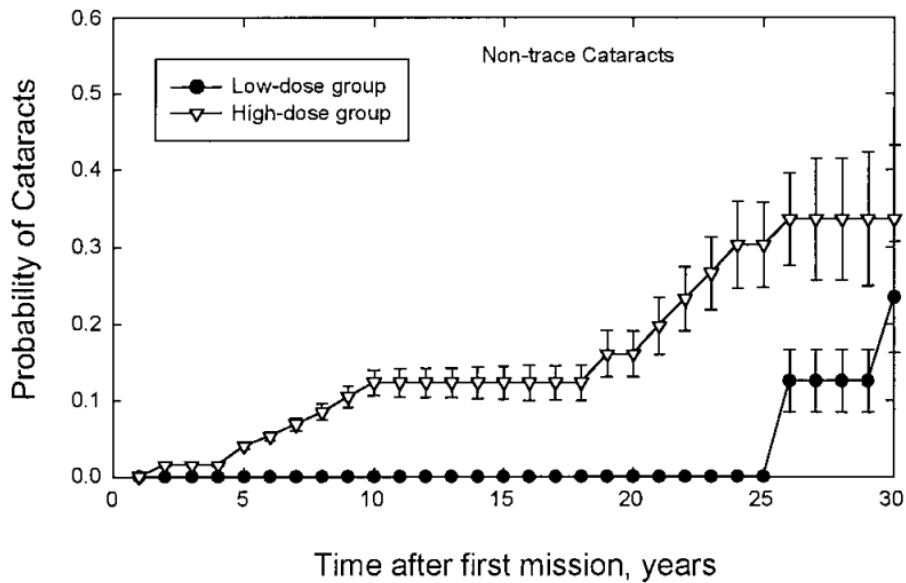


図 3 NASA 宇宙飛行士の白内障の有症率 (Cucinotta et al., 2001)

◆ 広島・長崎原爆被爆者の調査(E.Nakashima et al., 2006, K.Neriishi et al.,2007, R.E.Shore et al., 2010)

放射線影響研究所が実施している広島・長崎原爆被爆者の成人健康調査でも、白内障が低い被曝線量から増加していることが明らかになっています。2010年の論文では、1Gy以下で白内障が増加しており、推定される閾値は0-0.8Gyの範囲にあると報告しています。また放射線防護機関のガイドラインは変更する必要があると指摘しています。

◆ 米国放射線技師の調査 (G.Chodick et al., 2008)

米国放射線技師 35,700人を対象にしたアンケートによる調査です。図4でわかるように10mGy、20mGyの線量域から白内障の発症率が上昇しています。線量は水晶体の吸収線量です。これを高線量グループ(平均60mGy)と低線量グループ(平均5mGy)に分けると、高線量グループの発症率は低線量グループの1.18倍になると報告しています。この研究では喫煙、病歴などの交絡因子を補正していて信頼性が高いといえます。

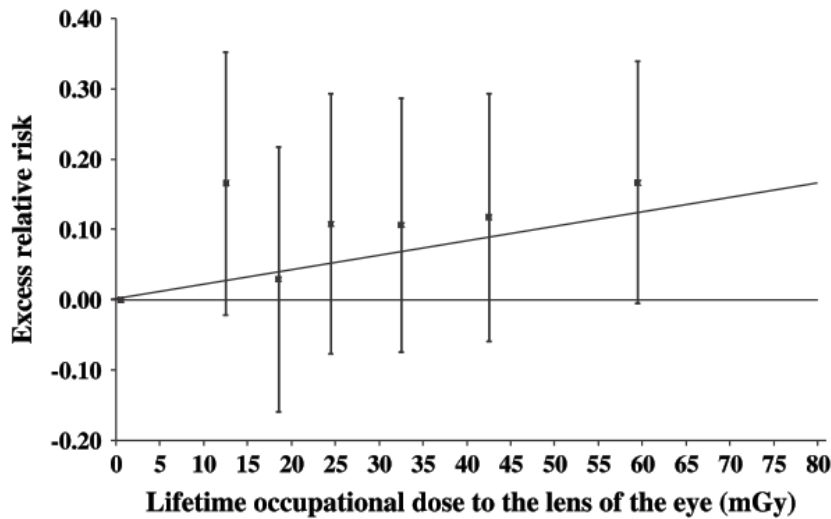


図 4 米国放射線技師の白内障の調査 (G.Chodick et al., 2008)

◆ Ainsbury らの白内障のレビュー (E. A. Ainsbury et al., 2009)

2009 年に、英国健康保護庁放射線・化学物質・環境センターの Ainsbury らが白内障のリスクのレビューを発表しています。広島・長崎の原爆被爆者の研究 6 件，治療被曝 3 件，職業被曝 3 件をレビューして，LNT モデルがよいこと，閾値はあったとしても 0.5Gy より確実に小さいことを報告しています。12 研究の RR/OR がまとめられています (図 5)。これらの研究のほとんどは，30 年，40 年，50 年という長期の観察にもとづいています。

図から RR/OR が 1 より大きいことがわかりますが，これは被曝で白内障が増加していることを意味しています。また，論文では指摘していませんが，原爆被爆生存者（単回被曝）と慢性被曝や分割被曝の間に大きなリスクの差がないことから，白内障のリスクが線量率にあまり依存しないこともわかります。著者らは放射線防護機関のガイドラインを変更する必要があると指摘しています。

死亡率の過剰相対リスク

被曝線量 0 のときの死亡率を 1 にしたときの死亡率を相対リスク (RR) という。相対リスクから 1 を引いた量を過剰相対リスク (ERR) という。

$$ERR = RR - 1$$

閾値なし線形 (LNT) は死亡率が被曝線量を比例していることを意味する。データに最適な LNT モデルは回帰直線を与えられる。最適な LNT 直線から 1Gy の過剰相対リスク (ERR/Gy) が得られる。死亡率を発病率に変えても同様である。

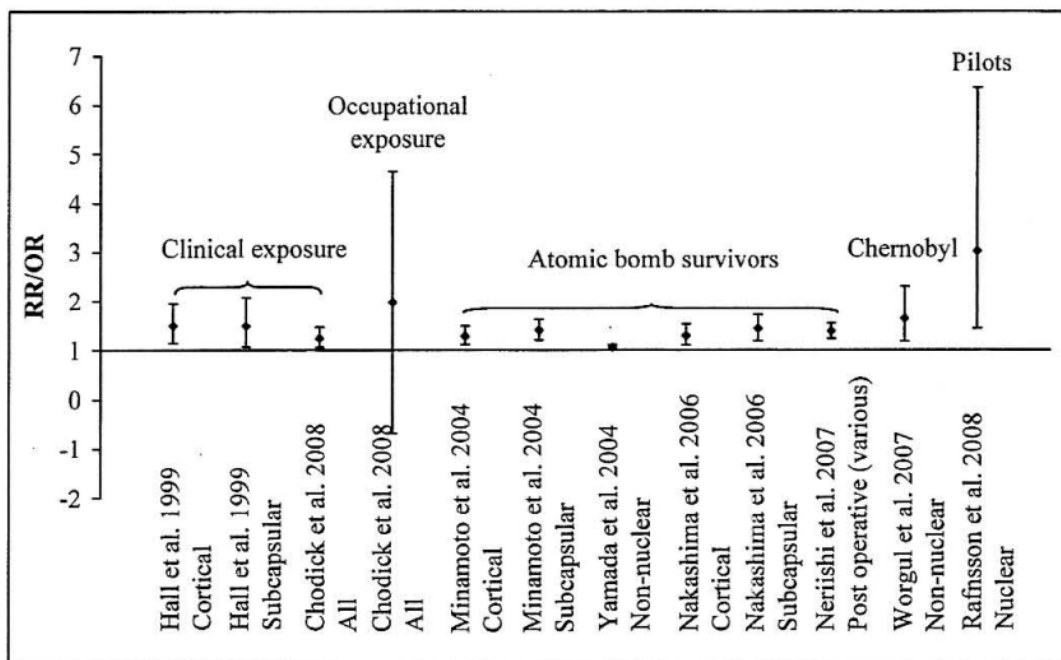


図 5 白内障のレビュー(E. A. Ainsbury et al., 2009)

◆ ハプロ不全マウスの実験(N.J.Kleiman et al., 2007,2008, N.J.Kleiman, 2006)

低線量の白内障リスクについて、近年の疫学研究成果を紹介しましたが、動物実験による重要な成果をひとつ紹介しておきます。遺伝子ハプロ不全のマウスを用いた実験です。この種のマウスは発がん確率の高いことがわかっていますが、0.5Gyの放射線をこのマウスと通常のマウスに照射すると、この種のマウスのほうが白内障になる確率が高いことがわかりました。これは被曝による白内障の発症に遺伝子が関与していることを意味しています。この実験グループのひとり Kleiman は、2006年に開かれた欧州委員会の科学セミナー「放射線リスクと安全基準の新見解」で「白内障には、細胞死より、むしろ損傷したゲノムをもつ細胞の生き残ることのほうが決定的である」と報告しています。白内障とがんには発生メカニズムにおいて共通するものがあるということです。

2.2 循環器疾患

◆ 広島・長崎の原爆被爆者の死亡調査 (Y. Shimizu et al., 2010)

放射線被曝によるがん以外のリスクの研究に大きなインパクトを与えたのは、なんといっても、広島・長崎の原爆被爆者を対象に循環器疾患のリスクに調査した2010年発表の論文でした。放

射線影響研究所は、1950年の被曝生存者を対象に調査を続けていますが、この論文は1950-2003年の循環器疾患による死亡調査を用いて、低線量被曝で循環器疾患による死亡率が増加することを明らかにしました。脳梗塞と心臓疾患による死亡について相対死亡率を求めてグラフで示しています（図6, 7）。横軸は結腸の吸収線量ですが中性子線の吸収線量は生物学的係数10をかけています。赤の破線は閾値なし直線（LNT）の回帰直線を示しています。心臓疾患ではLNTモデルがよく適合しています。脳梗塞については少し複雑です。0.5Gy以上でリスクの上昇が見られますが、それ以下でリスクの増加はみえません。しかし数理的分析によれば閾値なしの可能性が残るといっています。いずれにしても、0.5Gy以上の線量で心臓疾患にも脳梗塞にも死亡リスクの増加が認められたこと、心臓疾患についてはLNTモデルが0.5Gy以下の線量域もよく記述していることを示したことで、関連の研究に大きなインパクトを与えました。

それにしても、低線量被曝のリスクについてこれだけのことを知るのに65年の年月を要したことは驚きです。また、このリスクを知るのに本当に65年が必要だったのかという疑問も残ります。

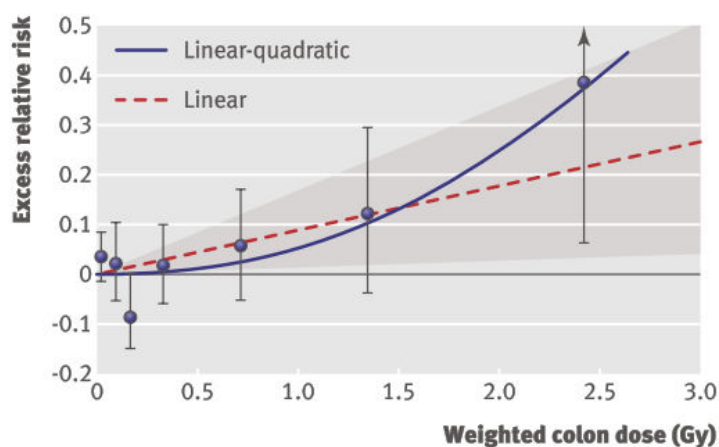


図6 脳梗塞の過剰相対リスク (Y. Shimizu *et al.*, 2010)

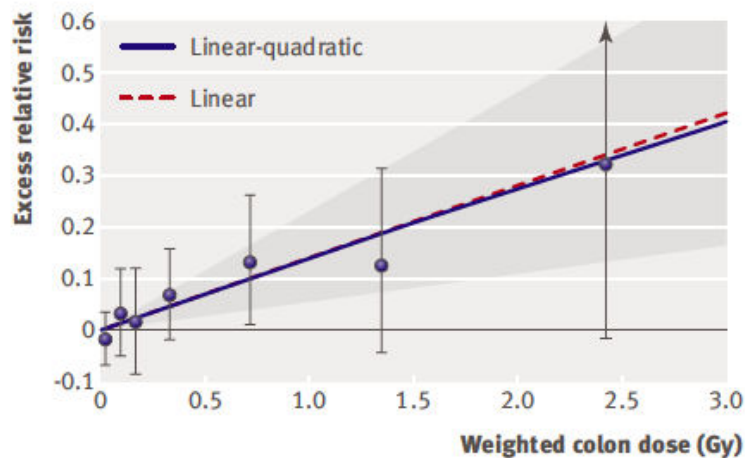


図 7 心臓疾患の過剰相対リスク (Y. Shimizu *et al.*, 2010)

◆ 米国立がん研究センターの Little らによる循環器疾患のレビュー(M.P. Little *et al.*, 2012)

循環器疾患のリスクについてのレビューを紹介しておきます。

米国立がん研究センターの Little ら各国の疫学研究者のグループが、循環器疾患を扱った論文 10 件をレビューしています。広島・長崎原爆被爆者の調査 2 件、核施設労働者ほかの調査 8 件です。循環器疾患リスクのレビューとしてはすでに英国 AGIR の 2010 年の報告がありましたが、Little らのレビューは低線量 (0.5Sv 未満) / 低線量率 (1 日 10mSv 未満) の調査に限定したことに特徴があります。10 件で脳梗塞(CSV)を調査していたものは 9 件, 虚血性心疾患 (IHD) を調査していたものは 8 件でした。レビューの結果, 中間線量・低線量の放射線と循環器疾患の死亡率には関連があるという結論を得て, 低線量の循環器疾患のリスクが LNT モデルでよく記述できるならば, 低線量のリスクは ICRP の評価の約 2 倍になると推定しています。

論文に記載された 1 Gy の過剰相対リスク(ERR/Gy)とそれらの加重平均値をラフしておきました (図 8, 図 9)。脳梗塞と虚血性心疾患についてです。いずれも LNT モデルで求めた値です。最確値を棒グラフで, 95%信頼区間をエラーバーで表しています。ERR/Gy の加重平均は脳梗塞で 21%, 虚血性心疾患で 10%です。(グラフに赤色で表示。)

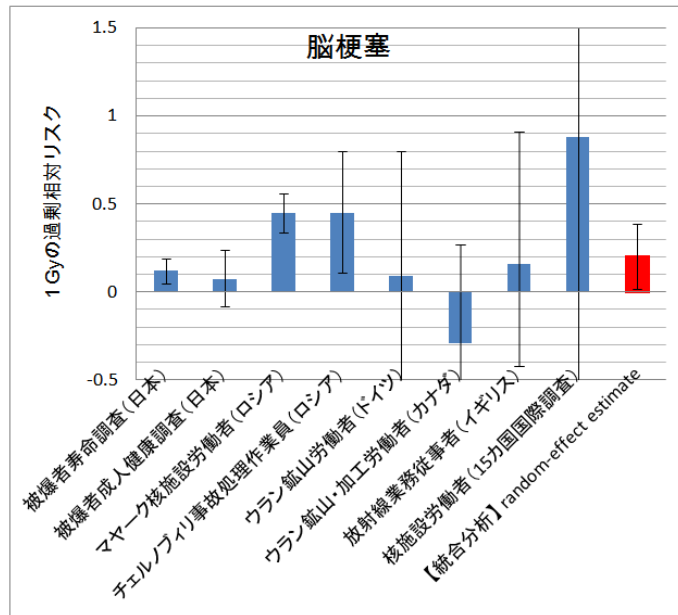


図 8 脳梗塞の過剰相対リスク(M.P. Little et al., 2012) グラフは筆者が作成. フランス電力会社従業員のデータはグラフの枠に収まらないので表示していない.

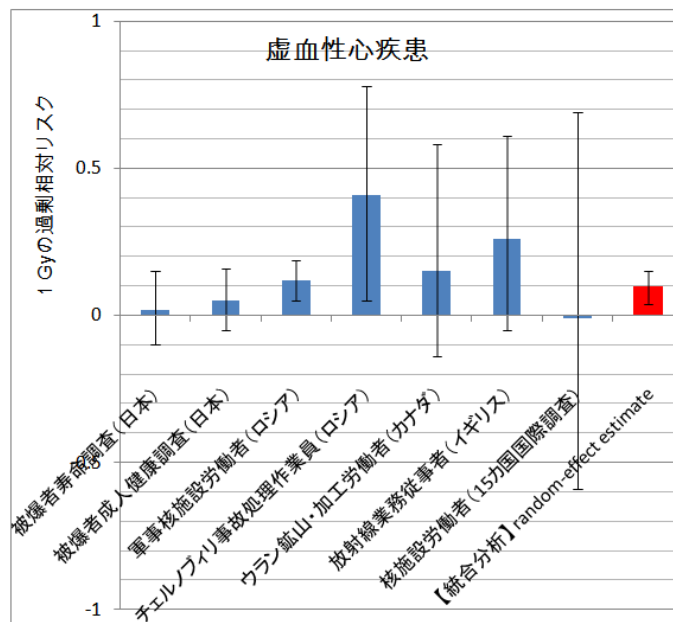


図 9 虚血性心疾患の過剰相対リスク(M.P. Little et al., 2012) グラフは筆者が作成. フランス電力会社従業員のデータはグラフの枠に収まらないので表示していない.

以上をまとめると、白内障と循環器疾患について次のことが明らかになりました。

- (1) 白内障と循環器疾患の閾値は、ないか、あっても相当に小さい。
- (2) これらの影響は30年、40年、50年と年数が経つにつれて顕著になる。
- (3) これらの影響は線量率に依存しないようである。
- (4) 虚血性心疾患の線量-反応曲線はLNTでよく記述される。
- (5) これらの性質は細胞死モデルで説明できない。

3 ICRP の確定的影響に関する新見解 (2012 年声明)

2012 年声明の骨子を紹介して解説を加えることにします。

2012 年声明は第 1 部「組織反応に関する ICRP 声明」と第 2 部「標準的な組織と器官にたいする放射線の早発性影響と晩発性影響—放射線防護における組織反応の線量閾値」の二部構成になっています。レポートを準備したのは ICRP 第 1 委員会の作業グループであると説明されています。作業グループのメンバーには循環器疾患と白内障のリスクを調査した研究者の名前がみられます。第 2 部は最近の研究の成果が反映された記述になっているように思えます。第 1 部は結論をまとめたものですが、現行の規制に影響がでないようにまとめたものだといえます。したがって、第 1 部と第 2 部の間で、また、第 2 部の段落や文の間で、しばしば一貫性や論理性がなく、表現の曖昧さも随所に目立ちました。そこで第 2 部から手をつけることにしました。そうしないと、2012 年声明と 2007 年勧告の違いを正しく理解することができないと思います。

以下では、各項目の末尾の[]で 2012 年声明の文書の該当箇所を示しておきました。数字は段落番号を示します。2012 年声明の文書 (英文) は次の URL から入手できます。

http://files.site-fusion.co.uk/webfusion117640/file/icrp118_1.pdf

第 2 部 標準的な組織と器官にたいする放射線の早発性影響と晩発性影響—放射線防護における組織反応の線量閾値

- (1) このレポートは特に白内障と循環器疾患について注意を払った。最近の証拠で、これらの低線量での発生率が考えていたより高く、閾値がもっと小さいことがわかったのである。こうしたことが起こったのは、主に、被曝から時間がたって障害の発生数が増加したことによる。[Abstract]
- (2) 観察の追跡期間が延びれば閾値は小さくなる。労働者と公衆の防護目的で最も関係があるのは、40 年、50 年と追跡調査をしている、たとえば広島・長崎原爆被爆者の調査のような、調査から得られる閾値である。[14]

(解説) 被曝から時間が経って統計的精度が上がるにつれて閾値の推定値が下がることを認めている事は重要です。現在行われている疫学調査は今後さらに追跡時間を延ばしていくので、今回 ICRP が提案している閾値はこれからさらに小さくなると予想されます。その値はあくまで仮のものだということです。広島・長崎原爆被爆者の調査は追跡期間が長いので信頼できるとして

いますが、この観察集団は被爆5年後の生存者で作成されているため、放射線への適応力が比較的高い集団であるという問題があります。リスクの過小評価にならないようにこの点を考慮しておく必要があります。

- (3) 大半の身体の組織は線量を分割して照射すれば障害発生率が減少するものだが、低線量の被曝で非常に遅く発生する白内障や循環器疾患のような障害については、線量率の依存性がないようである。このことは、低線量での損傷が回復不能のシングル・ヒット型 (single-hit, irreparable type) の事象からおこることを意味している。[Abstract]

(解説) これまで ICRP は確定的影響の発生が線量率により変わるとしてきましたが、今回、影響は線量率にはあまりよらず累積線量で決まるという見解を表明しました。これは回復能力が作用していないことを示唆しています。また、障害が低線量で発生することは障害を起こすトリガーがシングル・ヒットによるものであることを示唆しています。

- (4) この文書でいう閾値とは「実用閾値」(practical threshold) のことである。「実用閾値」はそれ以下の線量でリスクがないことを意味するものではない。「実用閾値」は1%発生率線量 (estimated dose for 1% incidence, ED₁) のレベルの線量である。[13]

(解説) 2012年声明は、確定的影響のリスクを「実用閾値」によって制御しようと考えています。ここで注意すべきは、「実用閾値」が閾値でもなんでもないことです。閾値は「ある反応を起こさせる作用の最小値」です。それ以下で反応が起こるならそれは閾値ではないのです。ICRPが、確定的影響が生じない線量があるとの見解を取り下げたことを覚えておく必要があります。次に「実用閾値」の定義についてです。「実用閾値」は1%発生率線量のレベルの線量というのが定義ですが、その1%発生率線量は、集団の1%に特定の影響が発生するときの線量とされています。発生率は死亡率や疾患発症率のことです。いま循環器疾患の死亡率を例にして説明します。1%死亡率線量が x(Gy) であるということは、x(Gy) の線量を被曝した集団の死亡者101人につき1人が被曝による循環器疾患が原因であったということを意味します。「実用閾値」の定義は1%発生率線量のレベルの線量です。レベルということなので1%発生率線量から一義的には決まりません。ICRPはこの曖昧さによって相当自由に決めることができるのです。

- (5) 白内障と循環器疾患の急性被曝と慢性被曝における「実用閾値」はいずれも0.5Gyである。慢性被曝における線量0.5Gyは累積線量である。[Executive Summary (h), (i)]

(解説) 循環器疾患の「実用閾値」を 0.5Gy とした根拠

2012 年声明は次の式で根拠を説明しています[682]。

$$0.08 \times 0.5 \times (30\% \sim 50\%) = 1.2 \sim 2.0\%$$

数字の意味は、0.08 が循環器疾患死亡率の 1Gy の ERR (過剰相対リスク)、30%~50%が国の死亡のうち循環器疾患死亡が占める割合です。この比率は国によって異なるので範囲で与えています。(日本の値は 30%あたりです。) この式は線量 0.5Gy を被曝した集団では循環器疾患による死亡増加のため 1.2%~2.0%だけ死亡率が上がることを示しています。右辺が 1%でないので 0.5Gy が 1%発生率線量にはならないのですが、これで 0.5Gy を正当化しています。「実用閾値」を曖昧に定義したのはこのような余地を残すためだったのです。なお、ERR に死亡率でなく発症率の値を使えば、右辺は 1.5~2.5%になり、1%発生率線量とのずれはもっと大きくなります。

もう一つここで重要なことは、上の計算が LNT モデルを前提にしているという点です。0.5Gy の ERR を求めるのに、リスクが線量に比例して変化するという LNT モデルの性質を使っています。また 1 Gy の ERR として採用した AGIR (英国健康保護局放射線防護部門の電離放射線諮問委員会) の推定値 0.08 は、LNT モデルを前提にしてえられたものです (AGIR, 2010)。循環器疾患の「実用閾値」を求めるには LNT モデルが不可欠であったのです。

水晶体の「実用閾値」を 0.5Gy とした根拠

0.5Gy という数字の根拠がはっきり示されていません。2012 年声明では次のようなことが記述されています。広島・長崎の原爆被爆者の調査で、水晶体混濁の閾値として 0.50-0.70 Sv, 白内障手術の有症率から閾値 0.10Sv, 白内障手術の過剰リスクから閾値 0.45-0.50 Sv という値が報告されていること、職業被曝ではチェルノブイリ原発事故作業員の調査から水晶体混濁の閾値として 0.35 Sv が報告されていること、一方これらの調査で閾値が 0 の可能性があること、NASA 宇宙飛行士や米国放射線技師の調査などで閾値がないかあったとしても非常に小さいという報告があること、など。また、ネズミの水晶体に X 線と中性子を照射して水晶体皮質に生じる混濁ドット数を調べた実験で、水晶体混濁ドット数が水晶体の吸収線量に比例して増えることが指摘されています。(図 10 参照) (Di Paola *et al.*, 1972)。これは水晶体混濁に真の閾値がないことを強力に支持する証拠です。

(6) 白内障はたとえ小さくても閾値のある確定的影響である。[699]

(解説) ICRP は 2007 年勧告で非がん疾患が確定的影響か確率的影響かわからないと述べてい

ましたが(2007年勧告, 57), 2012年声明は白内障を確定的影響であると断定しています。その理由として, 白内障が1個の細胞の障害から起こるという直接的証拠がないと言うのですが, 1個の細胞から起こらないという証拠もないのですから強引な結論です。水晶体の混濁が確率的事象であることははっきりわかってきたことであり, それはICRPも認めているのですから, 白内障を確定的影響と決めるのは相当無理なことです。

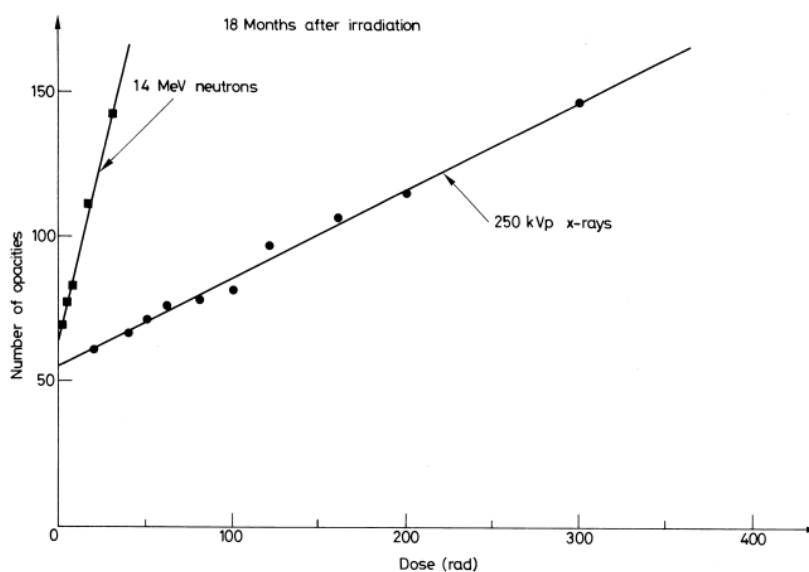


図10 ネズミの水晶体にX線と中性子線を照射して18ヶ月後に皮質に発生した混濁ドット数。横軸は水晶体の吸収線量(単位rad)。100rad=1Gy。

- (7) 約0.1 Gyまでの急性被曝では組織の機能障害が生じないとしたICRPの判断に変更はない。したがって職業被曝と公共被曝の主なリスクががんと遺伝的影響の確率的影響であるというは変わらない。しかしながら, 0.5Gy以上の急性または慢性被曝で, 確定的影響の, とくに水晶体と循環器のリスクが重要になってくる。[Summary-(p), 714]

(解説) 2007年勧告では, 「約100 mGyまでの吸収線量域では, どの組織も臨床的に意味のある機能障害を示すとは判断されない。この判断は, 1回の急性線量と, これらの低線量を反復した年間被曝における遷延被曝のかたちで受ける状況の両方に当てはまる」[2007勧告, 60]となっています。遷延被曝(慢性被曝)では年間線量100 mGyまでどの組織も臨床的に意味のある機能障害を示さないと判断したのです。しかしこれでは5年間で累積線量が0.5Gyに達してしまいます。

そのため慢性被曝という語句を削除したと考えられるのですが、これは非常に重要な変更ですから、姑息なやり方でなく誰もがわかるように説明すべきです。ともかく、ここから、ICRP が年間 0.1 Gy の線量 以下で組織の機能障害が生じる可能性を否定していないことがわかります。次に、「したがって」の接続詞に続いて 0.1Gy 以下で確定的影響は「主なリスク」でないという判断を述べていますが、前文との論理的つながりがありません。それでは確定的影響は副次的リスクなのか、それともリスクは無視できるのか説明がありません。

(8) 集団には放射線に強い感受性を遺伝的にもっている人々が存在する[51, 320]。子供の水晶体は成人に比べ放射線への感受性が強い。[697]

(解説) ICRP が勧告する線量限度の値はあくまで平均的な集団を前提に推定されたものであることが強調されています。

(9) 放射線による組織の損傷のプロセスとしては、(a) 細胞死、(b) 細胞破壊を伴わない機能障害、(c) 2 次的な組織反応、が考えられる。[48, 50]

(解説) 確定的影響は高線量で被曝して数年までに現れると判断していたので、ICRP にとって、40 年、50 年後に低線量被曝の影響で非がん疾患が現れることは理解できない驚きであったことでしょう。こうした確定的影響を説明するために、(b)、(c)を加えています。しかし内容が具体的に示されているわけではありません。とにかく、確定的影響と確率的影響の違いを DNA 損傷か組織細胞の壊死かによって区別するという考え方を放棄したということです。

次に、第 1 部の内容をまとめておきます。

第 1 部 組織反応に関する ICRP 声明

- A) これまで確定的影響とってきたもののあるものは、被曝時だけで以後の影響が決定されるわけでないことがわかった。確定的影響という用語は不適切になり「組織反応」と言い換える。
- B) 晩発性の組織反応の閾値は、これまで ICRP が考えていたより小さいか、小さい可能性がある。
- C) 眼の水晶体の閾値は吸収線量で 0.5Gy である。

- D) 計画被曝状況の職業被曝では、眼への線量制限として、5年を平均して1年間 20mSv の等価線量を超えないこと、1年で 50mSv を超えないことを勧告する。
- E) 脳と心臓の閾値（循環器疾患の閾値）には不確定さがあるが、閾値が吸収線量で 0.5Gy 程度である。医療従事者はこのことに留意し、最適化（optimisation）を図らねばならない。
- F) 職業被曝でも公衆被曝でも防護の最適化を図るよう勧告する。特に水晶体・心臓・脳の組織の被曝についても最適化を図るよう勧告する。

（解説）ここで使われている閾値はすべて「実用閾値」のことです。第2部で説明したように、「実用閾値」以下のリスクはLNTモデルを使って評価するのが最も妥当な方法です。しかし、第1部だけだと、0.5Gy以下でリスクはないと誤解するように書かれています。

D) について 2007年勧告では眼の1年間の等価線量の限度が150mSvだったので一桁ほど小さくなりました（表参照）。しかし、これは2007年勧告の(全身)実効線量の限度と同じ値なので、放射線の管理者側は新しく眼の防護措置を図る必要がないという内容になっています。「実用閾値」を1%発生率線量のレベルであると曖昧に定義したことでうまくいったわけです。

表6 計画被ばく状況において勧告された線量限度の値^{a)}

限度のタイプ	職業被ばく	公衆被ばく
実効線量	定められた5年間の平均として、年間 20 mSv ^{e)}	1年につき 1 mSv ^{f)}
以下の組織における年等価線量：		
眼の水晶体 ^{b)}	150 mSv	15 mSv
皮膚 ^{c,d)}	500 mSv	50 mSv
手足	500 mSv	—

a) 実効線量の限度は、ある特定の期間の外部被ばくからの該当する実効線量と、同じ期間における放射性核種の摂取からの預託実効線量の合計である。成人に対しては、預託実効線量は摂取後50年の期間で計算され、子供の場合には70歳までの期間について計算される。

b) この限度はICRPの課題グループで現在検討中である。

c) 実効線量のこの制限は、皮膚の確率的影響に対して十分な防護を与える。

d) 被ばく面積に関係なく、皮膚面積1cm²当たりの平均である。

e) 実効線量はいかなる1年にも50 mSvを超えるべきではないという規定がある。妊娠女性の職業被ばくには追加の制限が適用される。

f) 特別な事情の下では、単年における実効線量のより高い値が許容されることもあり得るが、ただし5年間にわたる平均が年に1 mSvを超えないこと。

表 ICRP2007年勧告の線量限度の値

公衆被曝の眼の線量限度は変更していません。そのため、2007年勧告で10:1だった職業被曝と公衆被曝の線量限度の比が20:15に変わりました。ちなみに、皮膚組織の線量限度もこの比は

10:1 です。

E)について 循環器疾患のリスクが低線量で増加する可能性が大だという大問題を、医療関係者だけが知っておけばよいというのはひどい話です。

F)について ICRP は 2007 年勧告で、最適化を「被ばくの生じる可能性は合理的に達成できる限り低く保つべきである」と説明しています。これまで ICRP は、線量限度の勧告を守れば確定的影響は起こらないと考えてきたので、医療被曝以外で最適化をいう必要がありませんでした。低線量で確定的影響が否定できなくなったため責任逃れで加えた一文であると考えられます。防護措置の基準は放射線事業者に任せるが「合理的に達成できない」と判断するのならそれで結構ということです。

4 市民はこれから何を学ぶか

「低線量でがん以外の影響が生じることはない」という ICRP の従来の見解を、国をはじめ関連する研究機関と学会は「公認の事実」であるといって国民に浸透させてきました。核施設事業者はこれを使って放射線従事者を教育し、文部科学省は学校で子供たちを教育してきました。それが事実と大きく違っていたのです。「線量限度を守っていれば安全だ」と教えられ安全だと信じこまされて働いてきた人々が、白内障や循環器の病気のリスクに曝され健康や命を失っていたのです。影響は原発をはじめとする核施設の作業員や放射線治療にあたっている医療従事者に及んでいると考えられます。責任は ICRP にあります。もし ICRP が慎重な姿勢で安全側に立ったリスク評価をしていれば、このような被害をある程度は防止できたはずです。そして、ICRP の見解を「公認の知識」として浸透させた人たちの責任が厳しく問われるのです。

ICRP は安全側に立って判断しているか？

2007 年勧告で確定的影響に高線量（数 Gy 以上）の閾値があると誤って判断したのは、追跡期間の短い疫学調査や動物実験に頼ったためだと釈明していますが、こんな言い訳で済ませられる問題ではありません。第 2 章で明らかにしたように、2007 年よりもずっと前から低線量で非がん疾患が増加することが疫学研究で報告されていたのです。これを重要な警鐘と見ることができたはずです。広島・長崎原爆被爆者の寿命調査では、はやくから小さい線量で非がん疾患による死亡リスクが増えていることが報告されていました。2003 年にはその閾値が 0Gy である可能

性と 0.5Gy である可能性がある」と報告しています (LSS 第 13 報告, 2003)。ところが ICRP はそのどちらも認めませんでした。可能性が二つあるのは不確実を意味するというのがその理由です。ところが、その後の寿命調査で、非がん疾患の死亡リスクの閾値が 0 であることを否定する証拠はないことが明らかになったのです (LSS 第 14 報告, 2012)。これからわかるように、ICRP には安全側に立ってリスクを評価するという基本姿勢がありません。今回の ICRP の間違いはそこから起こったことであり、「安全側に立ってリスクを評価する」という姿勢をもたなければ、また同じことを繰り返すでしょう。

「統計的に有意でない」という意味は？

リスクの過小評価を援護する「理論」があることを知っておいてほしいと思います。「統計的に有意ではない」という言い回しを使ってリスクを否定するのがそれです。疫学で使われる統計学的推論には「信頼区間」と「仮説検定」という 2 つの手法があります。「統計的に有意」という言い回しは「仮説検定」で使われているものですが、「公認の事実」を広めている人たちは、「信頼区間」を仮説検定の枠組みで解釈しなおし、リスクの信頼区間の下限値が正でないかぎり、統計的に有意でないことを理由に、リスクがあったとは認められないと主張します。(統計的偶然だとみなします。) この人たちは、リスクの信頼区間の下限値だけに注目し、リスクの最確値や信頼区間の上限値には意味を見出しません。そのため、仮説検定のこのような使い方は、リスクの過大評価を避けることが最大目的になり、たいていはリスクの過小評価をおこなうこととなります。市民からすれば、リスクの過小評価だけはしてほしくないのですが、統計的に有意でないからリスクを認めないと言い張るのは、リスクの過小評価はかまわないが過大評価だけはしたくないと表明しているのと同じです。

「放射線を正しく怖がろう」とは何だったのか？

福島原発の重大事故の直後からよくこのキャッチフレーズを見るようになりましたが、この裏には「わたしは正しい怖がり方を知っている。あなたはそれを知らずにむやみに怖がっている」という姿勢が透けて見えるのでいい感じがしません。最高の権威をもつと宣伝されてきた ICRP でさえまったく不十分な知識しかもってなかったのです。「公認の知識」を広めてきた人が、自分こそ正しいなどと言えるはずがありません。放射線の影響はわかっていないことが多いのです。避けられるのなら、できるだけ避けるのが原則です。これから下の線量は安全だという閾値は発見されていません。

職業被曝の線量限度は年 7mSv に下げる

ICRP は確定的影響のリスクの大きさを表すために「実用閾値」を定義しましたが、曖昧さがあり使い物になりません。リスクの大きさを表すためなら 1%発生率線量を使うほうがまだましです。(本当は ERR のほうが、国によって変わるパラメータを含まないので、もっとましだと思っています。)そこで、循環器疾患の 1%発生率線量を死亡率に関して計算してみましょ。ICRP の計算では、ERR の値に AGIR 報告の最確値 0.08 を使っていましたが、ここでは安全側にたつて防護するという観点から、95%信頼区間の上限値である 0.12 という値を使うことにします。日本では循環器疾患の死亡比率が約 30%です。この数値を使って計算すると 1%発生率線量は約 280mGy になります。これは累積線量です。この値をいま線量限度と考え、年間線量限度を計算してみます。公衆被曝の場合は、寿命を 80 歳として 1 年 3.5mGy (3.5mSv) になります。職業被曝の場合は、40 年勤続として 1 年 7mGy (7mSv) になります。職業被曝の年線量限度の現行は 20mSv ですから、これを 1/3 ほどに下げなければなりません。そうでないと循環器疾患死亡率を確実に 1%以下に抑えることができないことになります「確実に」とは、死亡率が 1%以下に抑えられる確率が 97.5%であるという意味です。

線量限度を下げるだけでいいのか

では、年線量限度を 7mSv に下げればそれでよいのかと問われれば、そうだとはいえません。この値は循環器疾患死亡率が 1%を超えないというだけの条件から決めたものです。確定的影響のリスクは組織ごとにリスクが加算されていきます。循環器疾患のリスクに白内障のリスク加わり、さらにほかの組織のリスクも加わる可能性が大なのです。広島・長崎原爆被曝者の寿命調査からは、呼吸器系と消化器系の疾患による死亡率が増加していることが明らかになっています。これとは別にがんのリスクも加わります。年線量限度を 7mSv にしてもこれだけのリスクを容認することになってしまうのです。さらに、被曝は職場だけのことではありません。医療被曝を考慮する必要があります。CT 検査を 1 回受ければ約 7mSv の被曝です。放射線治療を受ければもっと被曝量は多くなります。このように考えていくと、年線量限度を 7mSv に下げても想定されるリスクはあまりにも大きすぎます。そのような犠牲を強いて、核保有国が核兵器を開発・製造し、原発保有国がエネルギーを手に入れることは許されるのでしょうか。これは明らかに人道に反する行為だと思います。このような犠牲を人々に強いる社会を文明社会とは決していけないのではないでしょうか。(終)

『市民研通信』第 38・39, 2016 年 12 月 20 日 HP 公開.

<http://www.shiminkagaku.org/30101020161220/>