

放射線影響のデータは、寿命集団の 41.5% である 5~200 mGy の低線量被爆者、11.3% の 200~1,000 mGy の中線量被爆者、2.7% の 1,000 mGy 以上の高線量被爆者から得られたものです。

放射線影響研究所は、定期的に寿命調査集団の全対象者のがん死亡を指標にした解析結果と、寿命調査集団のうち広島と長崎在住の対象者のがん罹患を指標にした解析結果を報告しています。図 1 は、寿命集団のがん罹患に関する疫学解析結果です。図では、5 mGy 未満の集団のがん罹患頻度を基準としたとき、横軸に結腸線量 (Gy 単位)、縦軸にそれぞれの線量区分の被爆者集団でがん罹患頻度が何倍増加したかを計算し、その値から 1 を引いた数値 (過剰相対リスク) をプロットしています。

図 1 から判るように、被ばく線量と放射線によるがんリスク (過剰相対リスク) は、ほぼ直線関係があることが判ります。そして、1 Gy の過剰相対リスクは約 0.5 です。直線関係が保たれると仮定するなら、100 mGy での過剰相対リスクは約 0.05 となります。しかし、150 mGy 以上の線量区分で被ばく線量と過剰相対リスクが直線関係を保っていることが統計的に証明できているのですが、150 mGy 未満で直線性を保っているのかどうか検証できていません。がんリスクの大きさは、放射線だけでなく、たばこや化学物質の摂取量、抗酸化食品の摂取量、肥満やその他の生活習慣などにより影響されます。低線量域では、放射線の発がん寄与率が相対的に小さくなるので、放射線以外のがんリスク要因やがん予防要因の影響が相対的に大きくなり、統計的に放射線影響を検出し難くなったと思われれます。

放射線リスクの評価法には、過剰相対リスクのほか、過剰絶対リスクや生涯リスクという評価法もあります。一般の人には生涯リスクが判りやすいかもしれませんが。表 1 は、放射線影響研究所が日本人の子供 (10 歳)、成人 (30 歳)、壮年 (50 歳) の生涯がん死亡リスクをもとに、100 mGy の過剰被ばくがあった場合に生涯がん死亡リスクがどの程度増加するかを報告したものです。

表の説明をしましょう。10 歳の日本人男子は元来 30% のがん死の生涯リスクをもっています。10 歳時に 100 mGy の被ばくを受けると、がん死亡リスクは 2.1% 増加し、32.1% に増えます。一方、10 歳の日本人女子は 20% のがん死亡リスクをもっています。日本人女子が 10 歳時に 100 mGy の被ばくを受けるとがん死亡リスクは 2.2% 増加し、22.2% に増加します。30 歳、50 歳の男女と比べると 10 歳の方が同じ 100 mGy の被ばくを受けたときのがん死亡増加率が高いことが判ります。すなわち、子供の方が放射線の影響を受けやすいことが判ります。一方、白血病で比べてみますと、被ばく時年齢によるリスクの差は、がんより小さいことが判ります。同じ 100 mGy の白血病リスクは、10 歳の男児と 50 歳男性では 1.5 倍しか変わりません。

仮に、100 mGy より低線量域でも放射線がんリスクが線量に比例して小さくなるとすると、この表から 10 mGy の被ばくがんリスクは 10 歳男児で 0.2% 増、5 mGy ならその半分の 0.1% 増と計算されます。国際放射線防護委員会 (ICRP) は、低線量

および低線量率でのがんリスクは中・高線量急性被ばくのがんリスクより半減するとしていますので、それを適用すれば 10 mGy の被ばくがんリスクは 10 歳男児で 0.1% 増、5 mGy ならその半分の 0.05% 増となります。ちなみに成人肥満のがん死亡リスクは、肥満のない成人と比べると BMI が 5 増加すると 1.1 倍になります。10 歳男児が肥満になりそのまま成人肥満になっていった場合のがん死亡リスクは、肥満のない男児の 30% に対して 1.1 倍の 33% に増加することになります。100 mGy の被ばくより、肥満のがんリスクの方が大きいことが判ります。

#### 4. 低線量域での放射線がんリスクに関する様々な仮説

低線量域での被ばく線量とがんリスクの大きさに関して、中・高線量域と同じ直線関係があるとする直線しきい値なし (LNT) モデルのほか、複数のモデルが提唱されています。それぞれ、培養細胞や動物実験データをもとに提唱されていますが、ヒト集団で実証されていません。ICRP などは、放射線防護の観点から LNT モデルを採用しています。

原爆被爆者集団のがん罹患を指標とした疫学調査では、150 mGy 以下の線量とがんリスクが直線性を保っているかどうか統計的に検定できていないことは先に述べました。また、原爆被爆者集団のがん死亡を指標にした疫学調査でも、200 mGy 以下の線量で直線性が保たれるかどうか検証できていません。そこで様々な研究者が培養細胞や実験動物の被ばく実験を根拠に図 2 に示すような複数の仮説を提唱しています。すなわち、① 逆線量率モデル：低線量率・低線量の被ばくでは、被ばくする細胞と被ばくしない細胞、あるいは、複雑な DNA 損傷を受ける細胞と軽微な DNA 損傷をうける細胞が混在します。培養細胞では、被ばくした細胞がラジカルなどを放出しで直接放射線に当たっていない周辺の細胞に細胞死や DNA 突然変異を惹起する効果（これをバイスタンダー効果と呼びます）が観察されています。また、細胞死を指標にするとごく低線量では細胞死という放射線影響が増加する効果（これを逆線量率効果と呼びます）があります。そこで、低線量では、リスクが直線しきい値なし (LNT) 仮説より大きくなるという逆線量率モデルを提唱する研究者がいます。② 適応応答モデル：低線量率・低線量被ばくでは、長時間かけて細胞は小さな線量を繰り返し被ばくします。最初に小さな線量に被ばくすると、DNA 修復機転が活性化され、後からうける被ばく影響を緩和する効果（これを適応応答と呼びます）が観察されています。このため、低線量率・低線量被ばくのリスクは、LNT 仮説で予測されるより小さくなると提唱する研究者がいます。③ しきい値モデル：ある線量（しきい線量）以下ではリスクが消失するという仮説、④ ホルミシス・モデル：低線量では免疫刺激作用などの効果により、むしろがんリスクが減少するという仮説です。それぞれ、培養細胞や疾病モデルマウスなどでの実験結果に基づく仮説ではあるのですが、がん

リスクを指標にしたマウス被ばく実験やヒトの疫学調査で検証はされていません。

注意しなければならないことは、100 mGy 未満のがんリスクは小さいので、どの仮説を採用してもリスクが極端に変わるわけではありません。生活習慣によるがんリスクの変動幅の方が大きいことを再度強調しておきます。

UNSCEAR や、米国科学アカデミーの「電離放射線の生物影響第 VII 次委員会」(BEIR VII 委員会) や ICRP は、低線量でも放射線によるがんリスクは直線関係を保つとの学説 (LNT 仮説) を採用しています。その理由として、培養細胞実験からは染色体変異を指標にした場合、中線量域から 20 mGy まで統計的に直線性を保つこと、DNA 2 重鎖切断を指標にした場合には、さらに 1 mGy 前後まで直線性が保たれることが挙げられます。一方、20 mGy 未満になると、DNA 修復機転が誘導されにくくなることが判っており、細胞死が増えます。超放射線感受性と呼ばれる現象です。腫瘍細胞株やウイルス感染等の手段で長期間培養できるようにした培養細胞株と異なり、ヒトの生体から採取し短期間しか培養できない細胞 (初代培養細胞株) を使った実験では 1 mGy の被ばくで誘導された DNA 2 重鎖切断は修復されないまま細胞分裂期に入り、細胞分裂を経て排除されてしまうとの観察結果も報告されています。このため、1 mGy 未満のごく低線量でも将来がん細胞に発展する可能性を有する自己複製能をもった細胞、すなわち、身体の組織や臓器の成熟細胞を供給するもとになる細胞 (組織幹細胞や前駆細胞) に突然変異が蓄積され、最終的にがんリスクに繋がるかどうかに関して疑問視する向きもあります。しかし、放射線防護という政策立案の観点からは、低線量域で実際のリスクが LNT 仮説による評価より低かったとしても、LNT 仮説に立脚した方が作業員や公衆の安全を保てるとの考えがあり、LNT 仮説が採用されています。

## 5. 原爆被爆生存者疫学調査とその他の集団の疫学調査との整合性

原爆被爆者集団の中・高線量被ばくに基づく単位線量当たりのリスクの大きさと、低線量繰り返し被ばくや毎時 0.05 mGy 以下の低線量率で慢性的に被ばくにより最終的に中・高線量被ばくを受けた集団の線量当たりのリスクの大きさは、ほぼ同じ大きさか、後者が小さいのです。また、内部被ばくの場合には、組織等価線量 (註) で評価すると外部被ばくのリスクとほぼ同じか、小さくなっています。

(註) 組織等価線量：詳しくは放射線の基礎の項を参照してください。放射線被ばくにより組織や臓器が受けるエネルギーの大きさを吸収線量とよび、グレイ (Gy) 単位で評価します。同じ 1 Gy の被ばくでも、放射線の種類によって発がん影響のレベルが変わります。アルファ線や中性子線は、組織内を突き抜けるときに、その軌跡の周囲にベータ線やガンマ線に比べて格段に密な電離を起こします。そのため、DNA 損傷のレベルが高くなります。そこで、放射線の種類が変わっても障害の程度が等しくなるよう放射線の種類毎に重み付けをした線量 (等価線量) が考案されています。単位はシーベルト (Sv)

です。原爆被爆は、ほぼ均一な外部被ばくですが、多くの事故被ばくや医療被ばくや内部被ばくは、線量の分布が均一とは限りません。そこで、原爆被爆の組織・臓器毎のがんリスクと比較する場合には、注目する組織や臓器の等価線量（組織等価線量）を使って比較することが重要です。

低線量・低線量率被ばく、あるいは、低線量の反復被ばくの疫学調査は、あまり多くありません。UNSCEAR 報告書や BEIR VII 報告書で取り上げられている代表的な調査結果を提示します。

① カナダおよび米国マサチューセッツ州の X 線透視検査を繰り返した結核患者集団は、その規模（カナダ約 6 万人、米国約 2 万人）と観察期間、追跡精度の高さなどから注目される調査です<sup>2,3</sup>。一回の検査で約 10 mGy を胸部に被ばくし、平均週一回、約 100 回検査を重ねています。最終的な被ばく線量は 1 Gy 近くなる集団です。この集団では、乳がんのリスクが上昇しており、その線量当たりのリスクの大きさは、寿命調査集団とほぼ同じでした。

一方、同じ胸部の臓器である肺がんのリスクは、増加しませんでした。寿命調査集団では、乳がんも肺がんも被ばくでリスクが増加する代表的ながんなので、両者の違いは一回の線量が小さくなった場合に、組織により放射線感受性の違いが顕著になるためなのかもしれません。これらの結核患者集団の強みは、全く独立して別々の研究者がカナダとマサチューセッツで調査したにもかかわらず、その結果は同じであったことです。

② テチャ川流域住民の疫学調査。1949 年から 1951 年にかけて、旧ソ連邦のマヤック秘密核施設から大量の放射性廃棄物がテチャ川に投棄されました。テチャ川流域の約 3 万人の住民は、放射性セシウムや放射性ルビジウムなどにより、慢性的な外部被ばくと内部被ばくを被りました。これら住民の疫学調査結果が今世紀に入り報告されています<sup>4</sup>。この集団でのがん罹患の線量効果関係を図 2 に示します。200 mGy 以上で線量効果カーブが上向きになっているように見えますが、現在線量を再検討中のことです。200 mGy 未満に限ると、線量当たりのリスクは原爆被爆者のそれとほぼ同じになります。

また、同じテチャ川住民の白血病リスクに関しても報告されています<sup>5</sup>。放射性ストロンチウムが骨に沈着するため、造血の場の骨髄の被ばく線量が高くなります。その白血病リスクの大きさは、原爆被爆者のそれと同じでした。

③ マヤック核施設労働者の疫学調査。原子炉運転やプルトニウムの精製作業等に従事した 21,500 名の追跡調査結果が発表されています<sup>6</sup>。原爆と異なり、小さな線量を繰り返し浴びた結果、生涯で平均 0.8 Gy、最大 10 Gy もの被ばくを受けた集団です。プルトニウム内部被ばくと外部被ばくを受けた労働者に関しては、プルトニウムによる発がんの寄与を調整したのち、外部被ばくによる肺がん、肝臓がん、骨がん

のがんリスクが求められました。その3種類のがんの過剰相対リスクは0.3/Gy、その他のがんリスクは過剰相対リスクとして0.08/Gyで、原爆被爆者の過剰相対リスク0.47/Gyより低めでした。

④ チェルノブイリ原発事故後の小児甲状腺がん。チェルノブイリ原発事故後、放射性ヨウ素による内部被ばくが起きました。放射性ヨウ素は甲状腺に取り込まれ、小さな甲状腺組織を集中して被ばくさせ、小児甲状腺がんのリスクを高めました。甲状腺の線量当たりの甲状腺がんのリスクは、原爆被爆や医療被ばく集団のリスクと比べると表2にまとめたように小さくなっていることが判ります。

⑤ 高自然放射線の地域の住民調査。世界中には、岩石に含まれる放射性物質からの外部被ばくが高い地域があります。インドのケララ州もこのような地域で、モナザイトという岩石の少ない海岸付近の住民と岩石の多い内陸部の住民では年間の被ばく線量が大きく異なります。平均で年4 mSv、岩石の多い内陸部では最高で年70 mSvにもなります。Nair博士と鹿児島大学の秋葉博士らは、精度の高い地域がん登録を使って、38万人の住民を対象にした追跡調査を1990年中頃から継続しています。30歳以上の成人約7万人を10.5年間追跡した結果が公表されております<sup>7</sup>。それによると、累積被ばく線量が高くなっても白血病およびがん罹患リスクは増加していません。論文公表はされていませんが、秋葉博士の学会発表によると、観察期間を4年間延長した解析結果でもがん罹患の増加はなく、統計的に原爆被爆者のリスクと比べると有意に減少していることが証明されたとのこと。

## 6. まとめ

以上、簡単に低線量・低線量率被ばく集団の疫学調査結果を紹介しました。まとめると、一回10 mGy程度の被ばくでも、繰り返し被ばくして蓄積線量が高くなった場合には、感受性の高い組織乳腺組織などでは高線量被ばくと同等のリスクがあること、しかし、感受性の低い組織ではリスクが低下ないし消失すること、自然放射線で年間4 mGyを継続して受けている集団ではリスクが検出できないこと、内部被ばくのリスクは、組織の等価線量として評価される場合には、外部被ばくのリスクと同等ないし半減していました。

## 文献

1. Rothkamm K, Lobrich M. Evidence for a lack of DNA double-strand break repair in human cells exposed to very low x-ray doses. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2003; 100 (9): 5057-62.
2. Howe GR, McLaughlin J. Breast cancer mortality between 1950 and 1987 after exposure to fractionated moderate-dose-rate ionizing radiation in the Canadian fluoroscopy cohort study and a comparison with breast cancer mortality in the atomic bomb survivors study. *Radiation Research*. 1996; 145 (6): 694-707.
3. Davis FG, Boice JD Jr, Hrubec Z, Monson RR. Cancer mortality in a radiation-exposed cohort of

- Massachusetts tuberculosis patients. *Cancer Research*. 1989; 49 (21): 6130–6.
4. Krestinina LY, Davis F, Ostroumova E, Epifanova S, Degteva M, Preston D, et al. Solid cancer incidence and low-dose-rate radiation exposures in the Techa River cohort: 1956–2002. *International Journal of Epidemiology*. 2007; 36 (5): 1038–46.
  5. Krestinina L, Preston DL, Davis FG, Epifanova S, Ostroumova E, Ron E, et al. Leukemia incidence among people exposed to chronic radiation from the contaminated Techa River, 1953–2005. *Radiation and Environmental Biophysics*. 2010; 49 (2): 195–201.
  6. Shilnikova NS, Preston DL, Ron E, Gilbert ES, Vassilenko EK, Romanov SA, et al. Cancer mortality risk among workers at the Mayak nuclear complex. *Radiation Research*. 2003; 159 (6): 787–98.
  7. Nair RR, Rajan B, Akiba S, Jayalekshmi P, Nair MK, Gangadharan P, et al. Background radiation and cancer incidence in Kerala, India-Karanagappally cohort study. *Health Physics*. 2009; 96(1): 55–66.
  8. Preston DL, Ron E, Tokuoka S, Funamoto S, Nishi N, Soda M, et al. Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958–1998. *Radiation Research*. 2007; 168 (1): 1–64.
  9. Ron E, Lubin JH, Shore RE, Mabuchi K, Modan B, Pottern LM, et al. Thyroid cancer after exposure to external radiation: a pooled analysis of seven studies. *Radiation Research*. 1995; 141 (3): 259–77.
  10. Brenner AV, Tronko MD, Hatch M, Bogdanova TI, Oliynik VA, Lubin JH, et al. I-131 dose response for incident thyroid cancers in Ukraine related to the Chernobyl accident. *Environmental Health Perspectives*. 2011; 119 (7): 933–9.
  11. Cardis E, Kesminiene A, Ivanov V, Malakhova I, Shibata Y, Khrouch V, et al. Risk of thyroid cancer after exposure to <sup>131</sup>I in childhood. *Journal of the National Cancer Institute*. 2005; 97 (10): 724–32.
  12. Likhtarov I, Kovgan L, Vavilov S, Chepurny M, Ron E, Lubin J, et al. Post-Chernobyl thyroid cancers in Ukraine. Report 2: risk analysis. *Radiation Research*. 2006; 166 (2): 375–86.
  13. Jacob P, Bogdanova TI, Buglova E, Chepurny M, Demidchik Y, Gavrilin Y, et al. Thyroid cancer risk in areas of Ukraine and Belarus affected by the Chernobyl accident. *Radiation Research*. 2006; 165 (1): 1–8.

図1 寿命調査集団における被ばく線量とがん過剰相対リスクの関係<sup>8</sup>

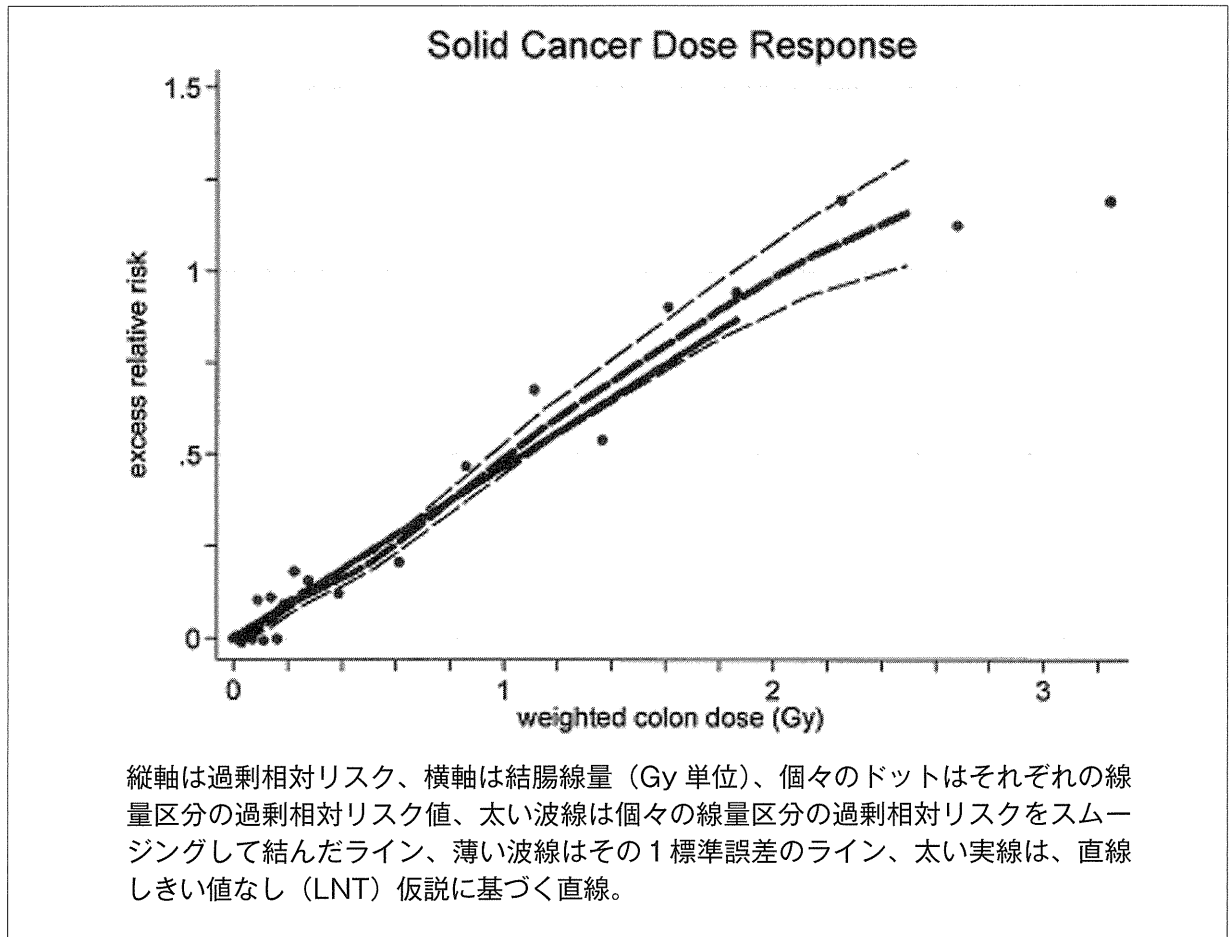


図2 低線量域における様々な線量効果関係モデル

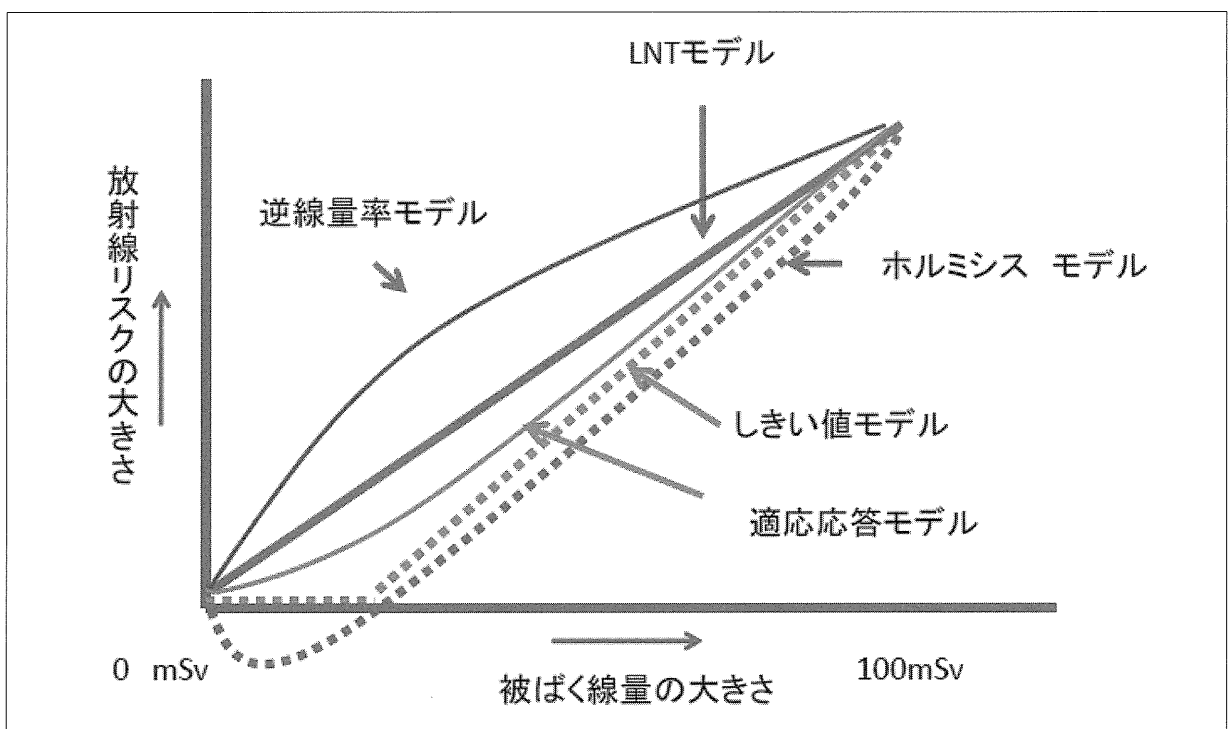


図3 テチャ川流域住民疫学調査<sup>4</sup>

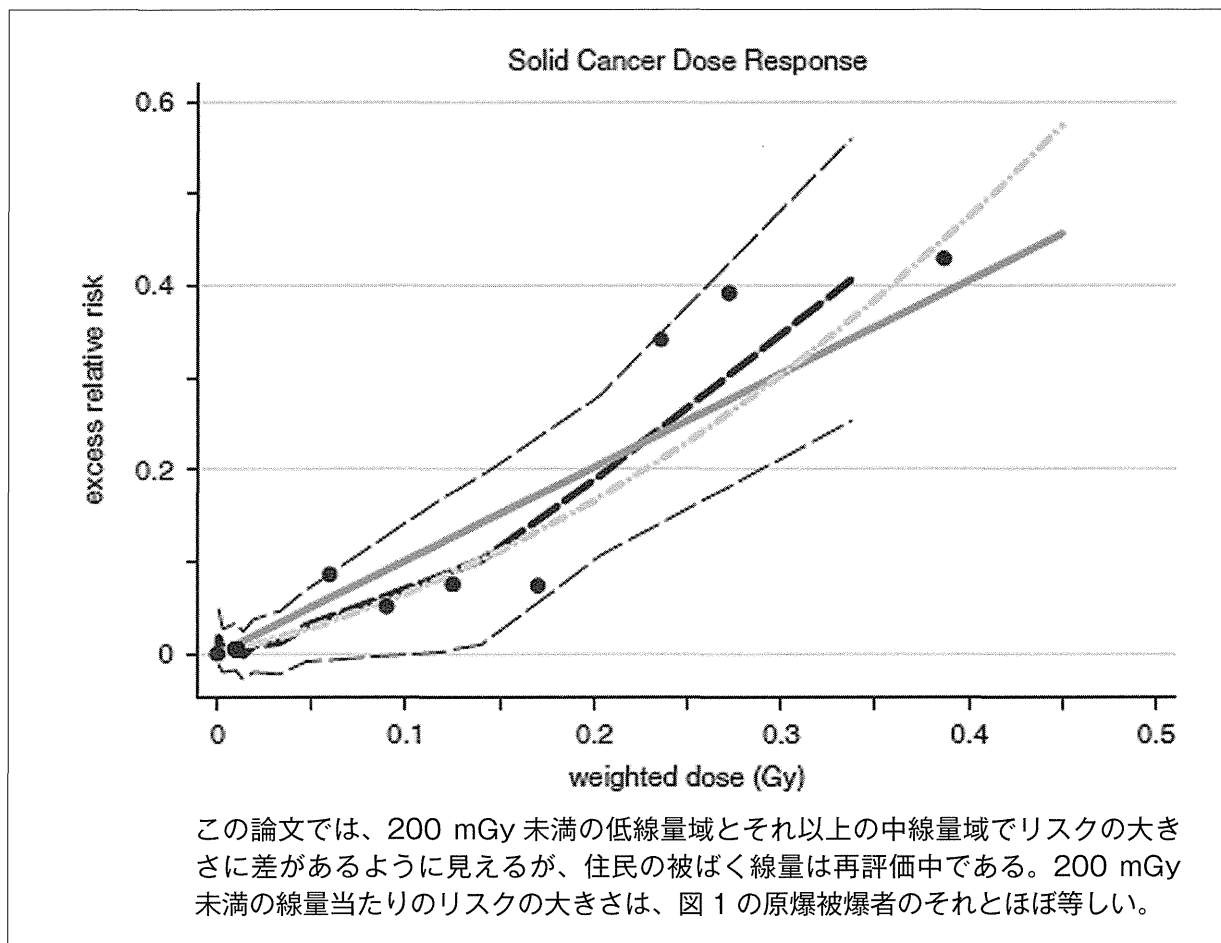


表1 日本人における放射線の生涯がん死亡リスクおよび白血病死亡リスク

被ばく時 年齢	性	100 mGy 当たりの がん死亡生涯 リスク (%)	バック グラウンド がん死亡 リスク (%)	100 mGy 当たりの 白血病死亡生涯 リスク (%)	バック グラウンド 白血病死亡 リスク (%)
10	男性	2.1	30	0.06	1
	女性	2.2	20	0.04	0.3
30	男性	0.9	25	0.07	0.8
	女性	1.1	19	0.04	0.4
50	男性	0.3	20	0.04	0.4
	女性	0.4	16	0.03	0.3



表 2 放射線誘発小児甲状腺がんのリスク

被ばく形式	調査集団	過剰絶対リスク EAR/10 <sup>4</sup> 人・Sv	過剰相対リスク ERR/Sv
外部被ばく	15歳以下の原爆被ばく者・医療被ばく児の7コホート統合解析(文献 <sup>9</sup> )	4.4 (95% C.I. = 1.9, 10.1)	7.7 (95% C.I. = 2.1, 28.7)
内部被ばく	ウクライナコホート調査(文献 <sup>10</sup> )	2.21 (95% C.I. = 0.04, 5.78)	1.95 (95% C.I. = 0.43, 6.34)
	白ロシア、ロシア症例対照研究(文献 <sup>11</sup> )	N.D.	4.5 (95% C.I. = 1.2, 7.8)
	ウクライナ生態学的研究(文献 <sup>12</sup> )	1.5 (95% C.I. = 1.2, 1.9)	8.0 (95% C.I. = 4.6, 15)
	白ロシア、ウクライナ生態学的研究(文献 <sup>13</sup> )	2.7 (95% C.I. = 2.2, 3.1)	19 (95% C.I. = 11, 27)

## (5) 放射線防護の原則

担当：米原 英典

### 要約

我々は、通常の生活をしていても、様々な自然放射線や人工放射線を受けています。人工放射線が発見されて以降、放射線を利用することは、社会や個人にメリットがある一方で、多くの線量を受けると健康障害をもたらすことも明らかになっています。これらの放射線の被ばくからどのように防護するかを国際放射線防護委員会（ICRP）は1928年以降長年にわたり、放射線防護の原則や基準を勧告として示してきました。放射線による健康障害のうち高線量による急性障害についてはしきい値があり、線量がそれを超えないようにすれば防護できます。しかしがんや遺伝性の影響は、低い線量において障害が発生するかしないかは統計的に明確でなく、どんなに線量が低い場合も線量とともにリスクが比例して増加すると考えて、社会的、経済的な観点も考慮に入れて、達成可能な限り低い線量に保つことによって防護するという最適化の原則を示しています。これらの原則の適用は、人工の放射線と自然放射線や原発事故による汚染による被ばくでは、最適化をすすめるやり方はそれぞれの被ばく状況に適切なやり方を勧告しています。ここでは、生活環境中の放射線と放射線防護の原則や基準について説明します。

### 生活環境中の放射線

私たちは、日常の生活環境で様々な放射線を受けています。これらの放射線は、人工の線源からと自然の線源からの被ばくに区分できます。人工の線源からの被ばくは、CTや胃の検査などの診断で用いられる医療放射線による被ばくが大部分であり、ごく微量ですが、原子力発電や関連産業の通常運転時に放出される微量の放射性物質や、放射線源を利用する一般産業からも受けている場合があります。図1に示すように、これらの人工線源からは、日本人の平均として、年間6 mSv くらい受けているとされています。自然の放射線源としては、地球が誕生したときに存在した非常に多くの種類の放射性核種のうち半減期が地球の年齢（43億年）と同程度の約10億年よりも長いものが現在でも地球上に残っています。これらの代表的なものは、ウラン-238やトリウム-232、およびそれらの壊変生成核種（ラジウムなど）のほかにカリウム-40などです。これらの核種は地面に含まれ、そこから放出されるガンマ線により外部被ばくとして、日本の平均で年間約0.3 mSv 受けています。また地面に存在する核種が移行により食品中に含まれ、それを摂取することにより年間約1 mSv 受けています。ウラン-238の子孫核種であるラジウム-226が壊変して生成される気体状のラドン-222は、大気中に拡散して換気が少ない室内で濃度が高くなり、それを吸入す

ることにより年間約 0.5 mSv の内部被ばくを受けています。さらに地球の外から高速で飛んでくる陽子やそのほかの原子核を宇宙線と呼んでいます。宇宙線が大気中で炭素-14 など様々な放射性核種を生成し、これらによって地表付近で年間約 0.3 mSv を受けています。ただし、高々度で運行している航空機の中では、地表と比べて大気の遮へいが少なくなるためかなり高いレベルになり、航空乗務員は、最大で年間 5 mSv を被ばくしています。私たち日本人は、図 1 に示すように、人工放射線源からは、主に医療放射線から比較的多くの線量を受けていますが個人によって大きく異なります。日本人の平均値として人工放射線からは年間約 4 mSv、自然の放射線源からは、年間約 2 mSv を、合計で年間約 6 mSv を受けていると推定されています<sup>1)</sup>。

## 放射線防護の原則

1895 年にレントゲン博士がエックス線を発見した頃より、すでに研究者や医療の患者が高線量を受けていたことから、放射線の様々な障害が問題となっていました。放射線被ばくからの防護の必要性を感じた研究者の活動がひろまり、やがて国際的な活動となって、1928 年には国際放射線医学会議の第 2 回会合において国際 X 線ラジウム防護委員会が設立され、その委員会が 1950 年には現在の名称である国際放射線防護委員会 (ICRP) となって、現在に至るまで放射線防護に関する考え方や基準を示してきました。最近では、基本的な考え方を示した基本勧告はこれまでに 1977 年、1990 年の勧告が発行され、2007 年に、それまでの 1990 年の基本勧告<sup>2)</sup> を改訂して Publication 103<sup>3)</sup> として新たな勧告が刊行されました。この勧告において、「勧告の目的は、放射線被ばくに関連して望ましい人間の努力および行動を不当に制限せずに、放射線被ばくによる有害な影響から人間と環境を守るための適正な水準の防護に寄与することである」としています。国際機関の制定する放射線防護の国際基準やほとんどの国で制定される放射線防護の法令や指針は、この ICRP が発行する勧告に基づいています。

放射線被ばくによる生体影響は、これまでに述べたように、高線量や低線量によって様々な影響があり、これらの影響は放射線防護の観点から、図 2 に示すように確定的影響 (deterministic effect) と確率的影響 (stochastic effect) の 2 つに区分されています。確定的影響は、比較的高線量 (100 ~ 数千 mGy 以上) の線量を短い時間で被ばくした後、数時間から数週間で出てくる影響で、その例としては、脱毛、皮膚障害、造血機能障害、不妊などの急性の被ばく症状があります。これらの急性被ばくの症状は、臓器を構成している細胞がかなりの割合で死滅してその機能が失われることが原因です。確定的影響の特徴は、図 2 の右上のグラフに示すように「しきい値」と呼ばれる線量を超えないと発症しません。このしきい値を超えるとほとんどの人で発症し、線量とともに重篤さが増すことが特徴です。このような障害を防護するには、それぞれの臓器の線量がそれぞれの確定的影響が生じるしきい値を超えないようにすること

です。

一方、確率的影響は、図1の下のグラフのように、しきい値がないと考えられ、どんなに低い線量でも発症することが否定できないような影響であり、被ばくした集団において線量が増すにつれて発症する確率が高くなるということが特徴です。確率的影響には、発がんと、被ばくした人の子孫にあらわれる遺伝性影響があり、これらの影響は、高線量でもほとんどの人が罹患するわけではありませんが、しきい値はなく、線量がゼロから比例してリスクが増加すると仮定されています。低線量の影響のところで述べたように、100 mSv以下の低線量域では、がんの発症が有意に増えているかどうかは明確ではありませんが、放射線防護の観点から、リスクは線量に比例して増加するものと考え、できる限り線量を低く保つという考え方を示しています。ICRPは、このように放射線の影響を区分して、具体的に人を有害な影響から守るためには、確定的影響については、線量をしきい値より低く保つことにより、その発生を防止し、確率的影響については、その誘発頻度を減らすためにあらゆる合理的な手段を確実にとり、リスクを容認できるレベルに保つこととしています。この放射線防護の目的を達成するために、放射線防護の3原則を示しています（表1）。

## 放射線防護の原則の適用

放射線防護の原則の適用については、冒頭で述べたような放射線の被ばくの種類によって異なります。ICRP 2007年勧告では、被ばくの状態を、計画被ばく状況、緊急時被ばく状況および現存被ばく状況の3つに区分して、それぞれの被ばく状況に応じた放射線防護の原則の適用のし方を示しました（図3）。

線源や施設を計画的に利用する場合は計画被ばく状況に区分されます。主に人工放射線源で、現在法令で規制対象になっている原子力発電所、工業での放射線源の利用、または医療で放射線を利用する場合です。この場合は、作業員や施設周辺の公衆に線量限度が適用されます。ICRP 2007年勧告で示された線量限度とわが国の現行法令における線量限度は、表2のとおりです。

これらの規制対象となっている線源を扱う作業員の職業被ばくの線量限度は、確率的影響に対して、定められた5年間の線量限度が年平均で20 mSvであり、かついかなる場合も1年間に50 mSvを超えないように勧告されています。またICRPの公衆の被ばくの線量限度は年間1 mSvですが、わが国の法令では公衆の限度としては規定されていません。ただし、ICRPの限度に基づき、許可された事業所ごとに事業の境界や放射性物質の放出濃度の限度等が決められています。また、線量限度は、医療被ばくでの患者個人へは適用されません。その理由としては、患者の診断または治療効果が損なわれることになれば、患者にとって大きな損害となるおそれがあるからで、医療被ばくの防護は、治療処置の正当化と防護の最適化に重点が置かれることとなります。もし作業員がいろいろな施設で作業する場合は、いろいろな線源からの

線量を合計した線量が線量限度を守る必要があります。それに対して線量拘束値とは、それぞれ一つの事業所や、一つの施設または一組の線源からの制限値で、最適化を開始する値として設定し、最適化のツールとして用いるものです。拘束値はそれを超えると防護が最適化されておらず、ほとんど常に線量低減するための対策をとらなければならないとされています。

以上で述べた計画被ばく状況に対し、現存被ばく状況とは、法令による厳しい規制の対象ではない線源による被ばくで、その放射線防護策を講じる時点において、すでに高い線量を受ける経路や被ばくが存在するような状況です。この状況は、例えば住居内のラドンのような自然放射線や原子力事故後の汚染が残存している場合で、緊急時被ばく状況と同様に、前もって線量の値が決められた線量限度は適用されず、線量の制限のためには参考レベルを設定することになります。参考レベルとは、これを上回る被ばくの発生があれば、必ず防護対策をとるような計画を策定するとされ、東京電力福島第一原発事故の例のように、すでに汚染地域が存在し、避難や除染のような防護措置をどのレベルでとるかを設定するものと考えられます。この事故で設定された計画避難地域の線量規準（20 mSv/年）や食品の規制値（線量規準 1 mSv/年）などのような基準はICRPの参考レベルにあたります。緊急被ばく状況では、参考レベルを100 mSvから20 mSvの間で、防護をとることの社会的、経済的な状況を考慮して値を設定することを勧告しています。また、事故が収束した後の復興期においては、参考レベルは1～20 mSvで設定するように示されています。

東京電力福島第一原発事故の場合、事故直後は、汚染が周辺よりも高い場所がありました。当初校庭の利用のための基準として20 mSv/年が設定され、混乱が起きました。しかし、はじめから1 mSv/年と低いレベルに設定すれば、広範囲の場所でその基準を超えるため、除染のための資源、マンパワー、汚染土壌の一時置き場の準備などが制限され、効率的に全体の除染が進まないことになります。参考レベルは、汚染の分布に応じて、はじめは比較的高い値に設定し、除染の措置の実行によりそのレベルを超えるような場所が少なくなれば、その時点で設定のレベルを低く改訂し、最終的には、年間1 mSvのレベルに設定することにより、効率的に最適化がすすめられます。

食品の規制基準値についても参考レベルの考え方にそって設定されています。当初設定された暫定基準値は事故の1年後に改訂されました。その改訂された基準値では、食品については、汚染された食品を摂取する全体の50%を1年間食べ続けても1 mSvを超えないように食品の規制レベルが設定されています。しかし、この規制値を超えない食品でも少しでも放射性物質が含まれていることでその食品を避ける人がいます。そのような微量の汚染を避けることにより低減化できる線量は、自然放射線による線量の地域による差より小さいと考えられます。また放射線のリスクがどの程度の大きさかを認知することも重要です。国立がん研究センターのホームページでは、

100～200 mSv 程度の放射線のリスクは、野菜の摂取不足や受動喫煙のリスクと同程度であり、喫煙や大量飲酒などの生活習慣と比べても 10 分の 1 程度のリスクであることが示されています<sup>5)</sup>。放射線防護において重要な原則は、最適化であり、線量は合理的にできる限り低く保つことが大切であります。ごく低レベルで汚染した野菜を摂取することを避けるなどの必要以上の最適化は、逆に野菜不足によって高くなるリスクの方が大きいことも考えなければなりません。このように、総合的にバランスがとれた生活を考慮に入れて、最適化を履行することが重要です。

## 参考文献

- 1) 新版 生活環境放射線（国民線量の算定）、平成 23 年 12 月、原子力安全研究協会
- 2) ICRP, 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Publication 60, 1991
- 3) ICRP, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Publication 103, 2007
- 4) ICRP, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Publication 26, *Annals of ICRP* 1 (3), 1977
- 5) 国立がん研究センターホームページ「わかりやすい放射線とがんのリスク」  
[http://www.ncc.go.jp/jp/shinsai/pdf/cancer\\_risk.pdf](http://www.ncc.go.jp/jp/shinsai/pdf/cancer_risk.pdf)

図 1

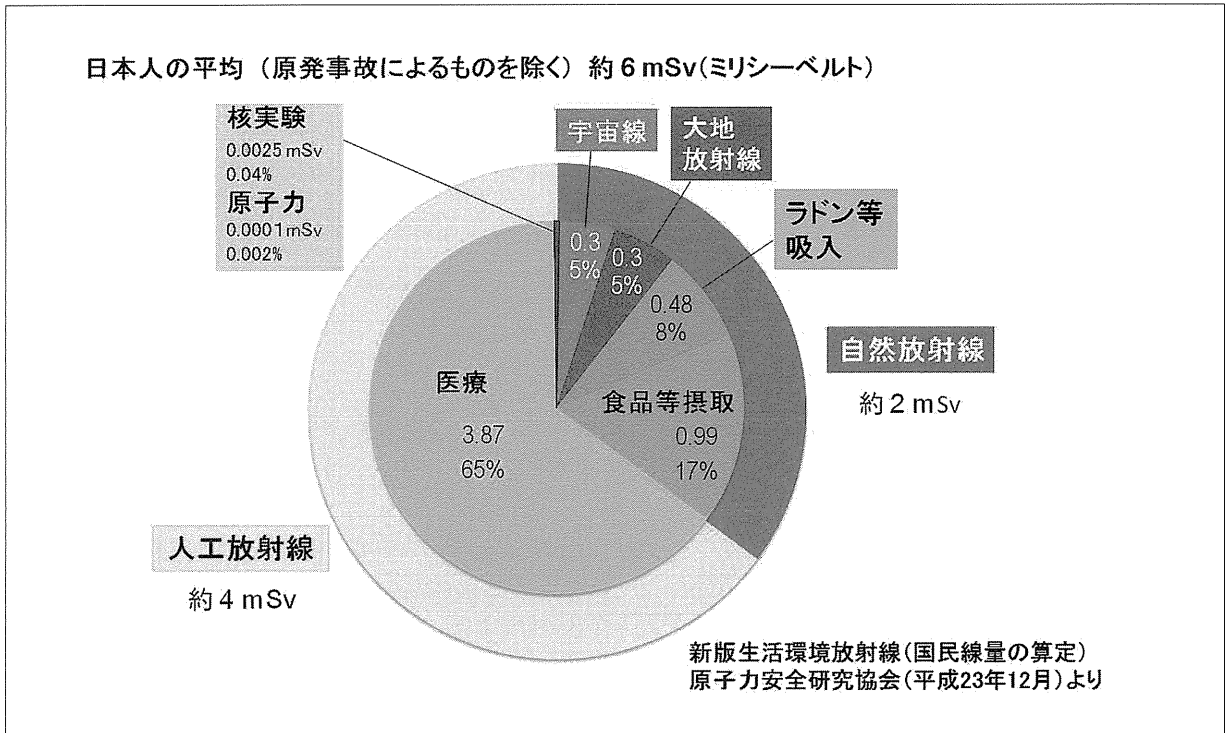


図 2 放射線の影響の分類

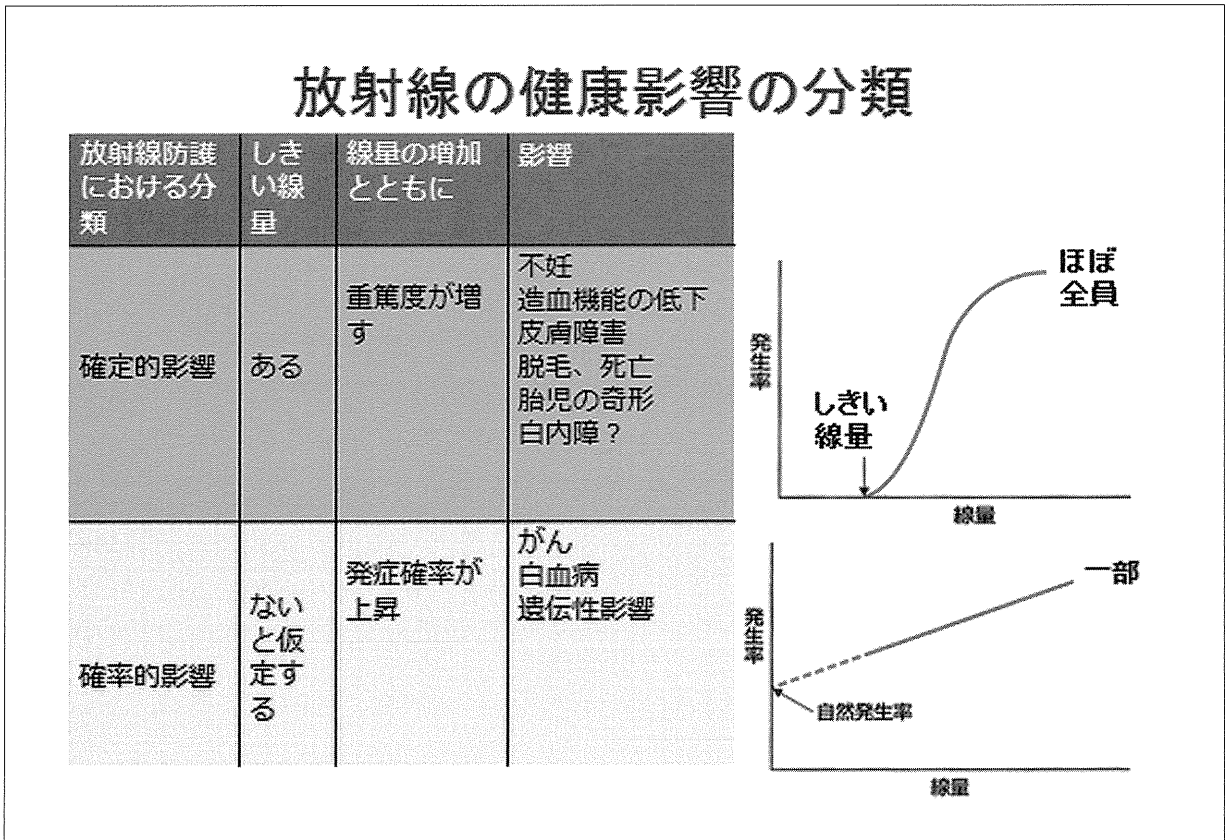


表1 放射線防護の3原則

正当化	放射線に関する計画された活動の導入又は継続が、活動の結果生じる損害よりも大きな利益を個人と社会にもたらすべきである。
最適化	被ばくする可能性、被ばくする人の数、及びその人たちの個人線量の大きさは、すべて、経済的及び社会的な要因を考慮して、合理的に達成できる限り低く保たれるべきである。
線量限度	規制された線源からのいかなる個人への総線量も、ICRP が勧告する適切な限度を超えるべきでない。

図3 ICRP 2007年勧告における被ばく状況の区分

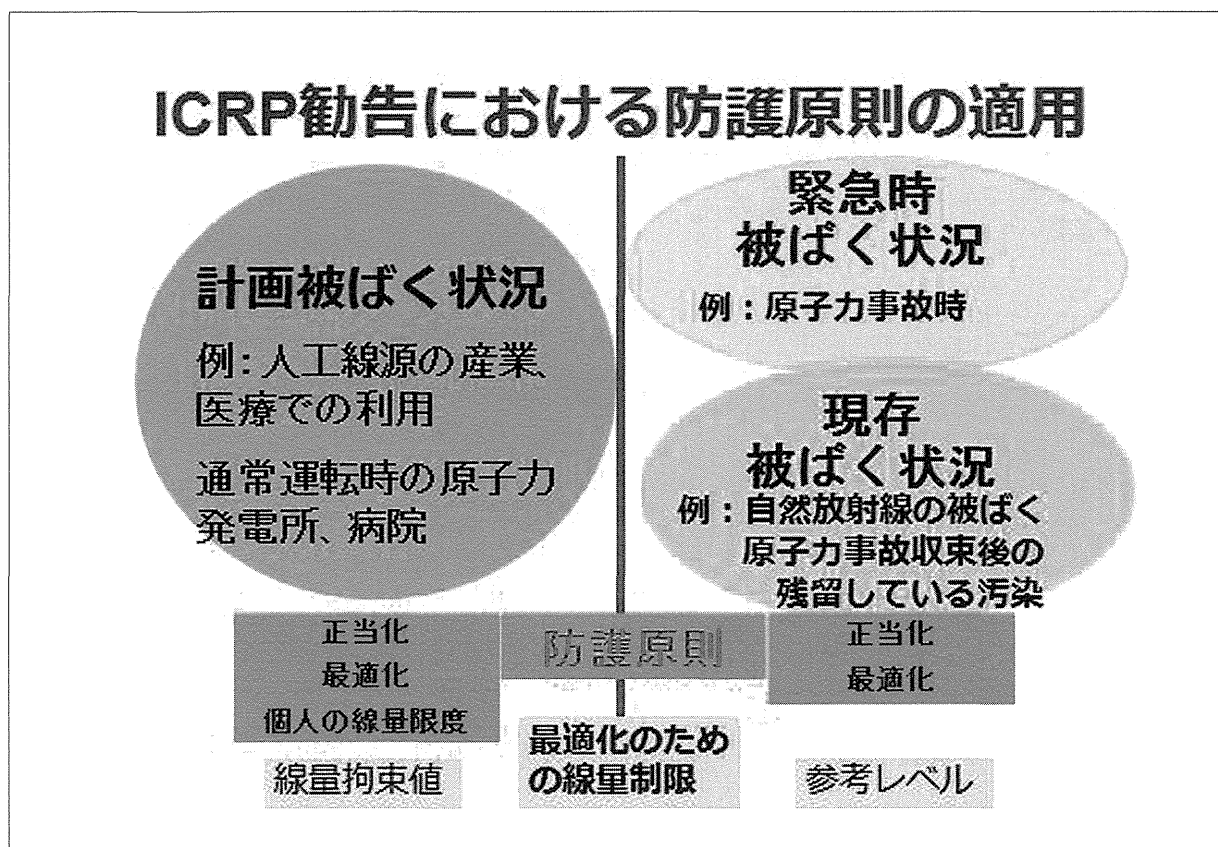




表 2 ICRP 2007 年勧告とわが国の法令における線量限度

線量限度	作業者	公衆	わが国の法令	
実効線量の線量限度	定められた 5 年間の平均として年間 20 mSv (いかなる 1 年にも 50 mSv を超えるべきでない)	1 mSv/年	職業被ばく：勧告に同じ 公衆被ばく：線量限度の規定はない (事業所境界の線量、排気排水の基準は、1 mSv/年)	
等価線量の限度 目水晶体 皮膚 手先、足先	150 mSv/年* 500 mSv/年 500 mSv/年	15 mSv/年 50 mSv/年 —	職業被ばく 150 mSv/年 500 mSv/年 —	公衆被ばく — — —
胎児 (妊娠した女性の職業被ばく)	妊娠の申告後残りの妊娠期間の胚/胎児に対する等価線量が 1 mSv を超えないようにする		<ul style="list-style-type: none"> <li>・一般の限度に加えて 5 mSv/3 月</li> <li>・妊娠の事実を知った後出産まで、 腹部 2 mSv、 内部被ばく 1 mSv</li> </ul>	

—：規定されていない

\* ICRP は 2011 年 4 月に等価線量の限度を 20 mSv/年に引き下げることを勧告した

---

「広島原爆体験者に対する不安軽減事業」  
相談担当者へのマニュアル

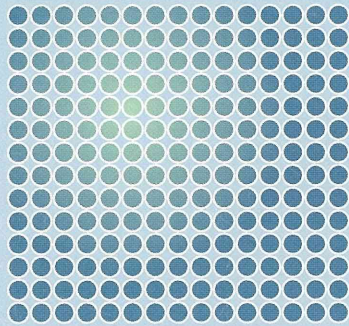
発行日 平成 25 年 3 月 30 日

編集／発行

平成 24 年度厚生労働科学特別研究  
「原爆体験者の健康不安への対策に関する研究」班  
主任研究者 佐々木康人

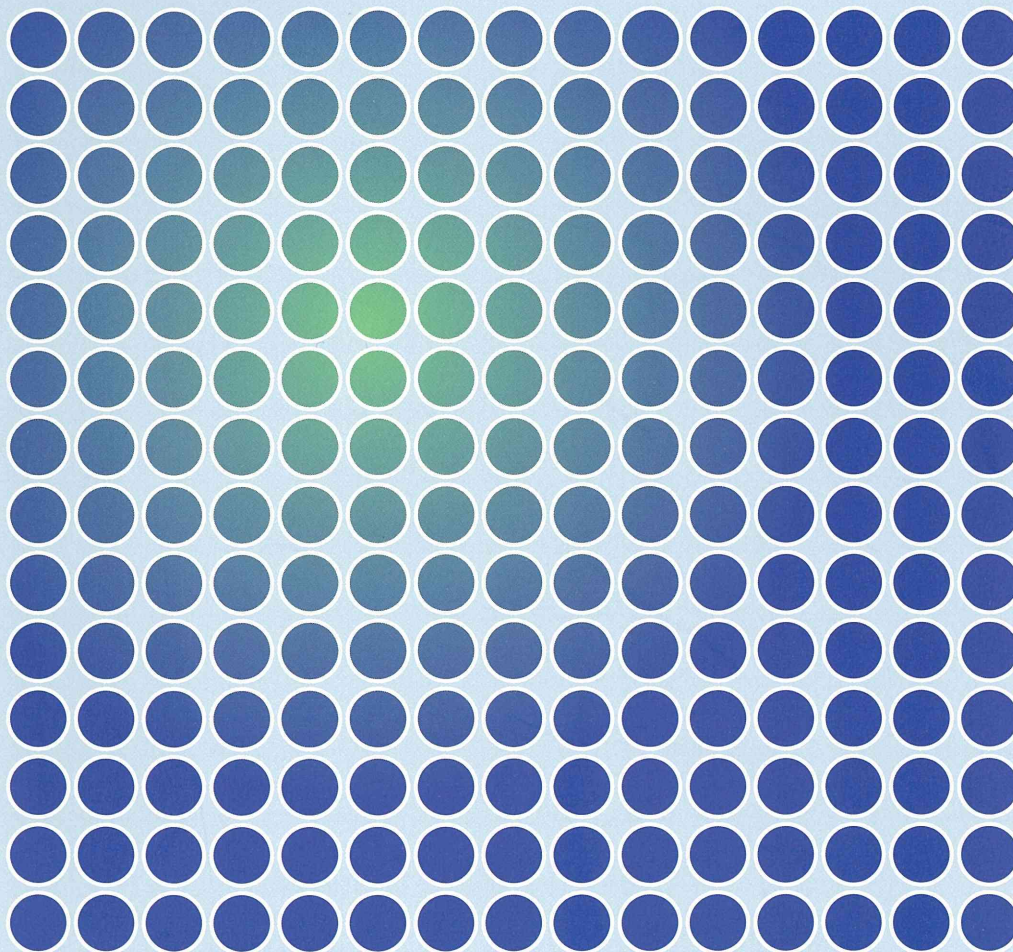
印刷 株式会社海川企画

---



「広島原爆体験者に対する不安軽減事業」  
相談担当者へのマニュアル

説明用資料



平成 24 年度厚生労働科学特別研究

「原爆体験者の健康不安への対策に関する研究」班