

環境・エネルギーシリーズ

原子力発電・放射線基礎講座 IV 放射線の人体影響

Seminar—The Basics of Nuclear Energy and Radiation—
IV Radiation Effects on Human Body横堀 仁
Yokobori Hitoshi

放射線によりデオキシリボ核酸（DNA）は傷つき、傷ついたDNAの修復エラーによってがんが発症する。放射線被ばく量と発がん死亡率との間には、1シーベルト（Sv）当たり5%死亡リスクが上乗せされるという比例関係があることが見いだされている。年間100mSv未満の低線量（率）被ばくを対象に、一般公衆の健康被害を最小化することを目的として行われている放射線防護上の規制について解説した。

The damage of DNA is caused by radiation exposure. The symptoms of cancer will be happened in future by the restoration error of DNA damaged. It has been found that there is proportional relation between the amount of radiation exposure and carcinogenic mortality rate. Mortality rate increases 5% by the exposure of 1 Sv. For the low dose (rate) exposure by less than 100 mSv per year, the regulation on the radiological protection aiming at minimizing the general public's health impairment is described.

キーワード：放射線、人体影響、健康影響、放射線防護、国際放射線防護委員会

1 はじめに

低線量（率）被ばくの影響に関しては次のように見解が分かれている^{1) 2)}。

- ①年間100mSv未満であれば健康影響は生じない
- ②放射線はどんな微量であっても健康に悪影響を及ぼすので無用な被ばくは避けるべきである

各見解は、疫学調査や病理研究、臨床経験等の論拠をそれなりに有しているものの、相互の是非を科学的に立証することが難しい状況にある。年間100mSv未満の低線量領域でのしきい値の存在を巡っては科学的に統一された見解はなくグレーゾーンである。国際放射線防護委員会（ICRP）では、被ばくリスクが線量に比例するという線形しきい値なし（LNT）仮説を基に防護のあり方を提唱している。また、各国の規制は、これに基づいている。

本稿では、放射線がどのように人体に影響を及ぼすのか（その仕組み）、その影響の程度（被ばく量と重篤度との関係）、被ばくによる影響を防護するための規制行政のあり方について解説する。

2 放射線影響の発生のしくみ³⁾

エックス線は、1895年のレントゲンによる発見後10年の間に、既に診断や治療に用いられた。同時に関係者は被ばくによる障害を経験した。以来、今日に至るまで、障害発生防止の努力に併せて障害発生の仕組みの研究が続いている。放射線のエネルギー吸収量1グレイ（Gy=J/kg）は、1Svの被ばく線量に対応するものである。人体は大部分が水であり、1Gyのエネルギー吸収では、体重60kgで60J（=14.3 cal）の吸収しかもたらさない。このような微小なエネルギーが健康に大きな影響を与えることは、細胞レベルよりも更にミクロな部分での現象であることを予感させるものがあった。1950年代になって漸く分子生物学の成果により、微弱なエネルギーにもかかわらず重篤な影響が生ずるのは遺伝情報を担うDNAの損傷にあることがわかつてき。人体は多くの器官・臓器によって構成されており、各器官・臓器は細胞組織の集合である。これら人体組織は一人当たり約60～100兆個のいろいろな機能をもった細胞から構成されている。各細胞の大きさは大小様々であるが10～30μm程度の

ものが多く、各細胞はDNAを内包する細胞核をもっている。DNAは4種類の塩基を糖により接続した高分子化合物である。細胞は60%以上が水分子で構成されているので、エックス線やガンマ線等の放射線が細胞を通過すると、水分子を電離し電離された電子により直接DNAの塩基配列を損傷する。あるいはDNA塩基を繋いでいる鎖を切断する。一方、水分子の電離はOHラジカルのような活性酸素を発生させ、OHラジカル（活性酸素）は同様にDNAを損傷する。（図1参照）

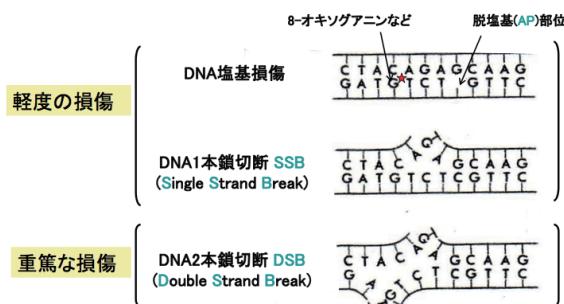


図1 放射線による人体損傷のしくみ
(出典:「放射線基礎医学(監修菅原努)」を参考に改変)

活性酸素発生の原因は放射線以外にも多数あり、DNAは損傷しても修復され細胞の健全性が保たれるよう自然の修復能力によって守られている。修復に失敗すると、その多くは細胞死に至るが、細胞分裂により新しい細胞が生まれて死滅した古い細胞と入れ替わる新陳代謝が日常的に行われている。平均的には数ヶ月の間に全ての細胞が一新されると考えられる。まれであるが、突然おこる修復エラーが、がん発生の原因となることがある。この場合は、修復エラーの生じたDNAを含む細胞は死滅せず、細胞分裂による自己増殖を行うことによって長い潜伏期間を経た後、がん発症に至る。

一方、多量の細胞死をもたらすような高線量被ばくの場合には、臓器の細胞死が機能障害発生の直接の原因となるため、被ばくから症状が発症する迄の期間は数週間と短く即時に影響が現れる。

3 被ばくによる人体影響⁴⁾

3.1 即発的影響（確定的影響）

多量（約1Sv以上）に被ばくした場合、被ばく後の症状として水晶体混濁、脱毛、永久不妊、紅斑等が生じる。これらは被ばく後、早めに症状

が現れるので、即発的影響と呼ばれている。即発的影響の特徴として、被ばく線量がしきい値未満であれば影響がみられないが、超えると何らかの影響が現れるようになる。即発影響の出現はしきい値以上ではほぼ確定的であり、その重篤度が被ばく量に応じて増加する。確定的影響と被ばく量の関係を図2に示す。ここで、白内障は確定的影響であるが約10年後と遅れて発症する傾向がある。

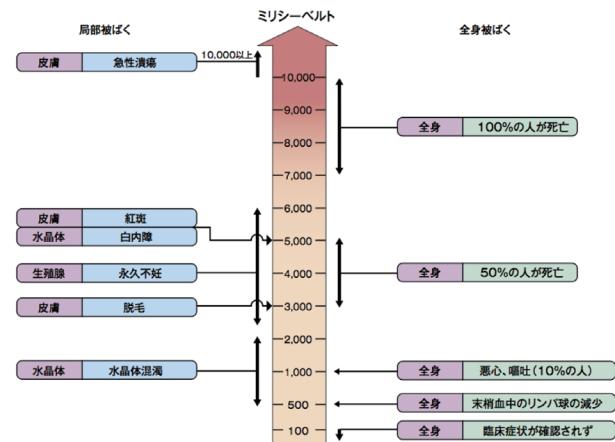


図2 放射線被ばく量と確定的影響
(出典:電気事業連合会 原子力・エネルギー図面集⁵⁾)

3.2 晩発的影響（確率的影響）

被ばくによる障害が即発的影響よりも遅れて現れるものを晩発的影響と呼ぶ。晩発的影響である発がんなどの確率は、被ばく量に比例すると考えられている。被ばくによるがん死亡率の増加割合（過剰相対リスク）と被ばく線量との間には、図3に示すとおり比例関係がみられている⁶⁾。これは、広島・長崎の被爆者を対象とした大規模な疫学調査によるもので、放射線影響の研究者の多くがよりどころとしている。図3からは、一度に被ばくした場合、がんによって死亡する可能性は、

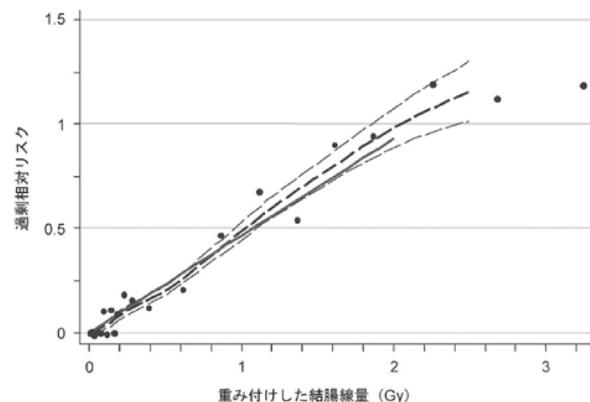


図3 被ばく線量と相対的死亡リスク
(出典:放射線影響研究所⁶⁾)

被ばくしていない場合と比べて 1 Sv (≈ 1 Gy)当たり 50% の割合で増加すると理解できる。

この結果に加えて、長時間かけて被ばくした場合の影響（線量率効果）や、その他の仔細な検討を基にして、ICRP から放射線防護上の勧告が行われている。勧告を簡潔にいうと「1 Sv の被ばくにより、がんによる死亡率が 5% 上乗せされる。低線量域においても、LNT 仮説を基に放射線防護を考えることは妥当である」との見解となる。この結果、100 mSv の被ばくは 0.5%，20 mSv の被ばくは 0.1% のがん死亡リスクの上乗せとなる。

3.3 内部被ばくと外部被ばく

体外からガンマ線などの放射線を被ばくする外部被ばくに対し、体内に取り込まれた放射性物質が発する放射線による被ばくを内部被ばくと呼ぶ。飲食や呼吸によって放射性物質が体内に取り込まれると内部被ばくの原因となる。内部被ばくは放射線の発生源と被ばく対象となる臓器との距離が近いことや発生源が体内に存在し続けることで被ばくが長期に及ぶことによる懸念から外部被ばくよりも警戒する声が大きい。臓器や細胞にとって放射線損傷の度合いは、ダメージを受ける部位の被ばく量に依存する。被ばく量は、被ばく時間と放射線強度によって決まるもので、放射線の発生が体内であるか体外であるかには関係しない。体内に取り込まれた放射性物質による内部被ばく量の評価には、吸収から排泄に至る過程の体内分布（各部位での存在量と滞在時間）が考慮されたものとなっている。このため、内部被ばくも外部被ばくと同様に被ばく線量 (Sv) によってその影響を判断することができる。

4 日常生活における被ばく⁴⁾

人類は進化の歴史において自然放射線による被ばくと共に存してきている。100 年余り前に放射線を発見したことにより、人工的な放射線による被ばくとも共存するようになった。日常生活で受ける自然放射線と人工放射線による被ばく量を図 4 に示す。

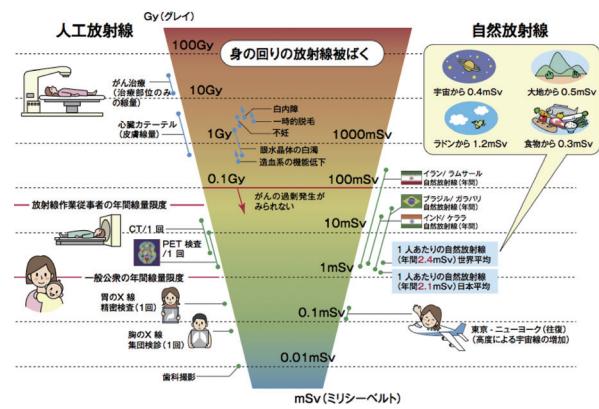


図 4 日常的な放射線による被ばく
(出典: 電気事業連合会 原子力・エネルギー図面集⁵⁾)

自然放射線による被ばく量（一人当たり）の世界平均は年間 2.4 mSv である。その内訳は、宇宙から（宇宙線）0.39 mSv、大地から（岩石中のウラン、カリウムなど）0.48 mSv、呼吸（ラドンなど）により 1.26 mSv、食物（カリウム、ポロニウムなど）から 0.29 mSv である。地域差が大きく、大地からの放射線の高いラムサール（イラン）、ガラパゴス（ブラジル）、ケララ（インド）地域など年間被ばく量が数 10 mSv となる高線量地域がある。

人体の構成元素の中には、炭素、カリウムや、ルビジウムがあり、これらには放射性同位体の C-14, K-40, Rb-87 が含まれている。このため、人体には少なからずこれら自然放射性核種が含まれている。体重 60 kg の日本人では、K-40 が 4 000 ベクレル (Bq) と最も多く、次いで C-14 が 2 500 Bq, Rb-87 が 500 Bq ほど含まれている。

人工放射線による被ばくは医療診断・治療に伴うものである。胸部 X 線検査は 1 回 0.1 mSv 以下であるが、胃の X 線精密検査は 1 回約 0.5 mSv, CT スキャンは 1 回 5~10 mSv となり、諸外国と比べて我が国の医療被ばくは大きい。

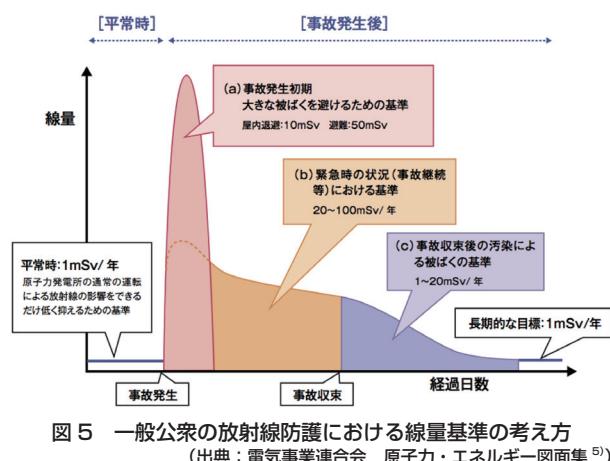
自然放射線と人工放射線との間に物理的特性の違いがない。このため、人体影響は両者の合算で考える必要があり、人工放射線がより悪影響があるとの考え方は適切ではない。

5 放射線防護の視点からの規制

放射線防護に関する規制の考え方は、ICRP の勧告に従って次のとおりとしている⁷⁾。確定的影

響（即発影響）に対しては、被ばくをしきい値未満に抑えることで影響の発生を防止する。一方、確率的影響（がんなどの晩発影響）に対しては、LNT 仮説に基づき、無用な被ばくは極力避けるべきであるとしている。元々自然放射線による被ばくもあり、人為的な被ばくゼロによるゼロリスクを限りなく追求することは非合理的であることから、「被ばくは合理的に達成が可能な限りできるだけ低く抑える」との運用を行っている。

被ばく線量限度の基準は職業人（放射線作業従事者）と一般公衆とで異なる。平常時および原子力発電所の大事故が発生した場合（緊急時）の事故発生から収束過程における線量基準の考え方を下記及び図 5 に示す⁷⁾。



（1）平常時

① 作業従事者：年間 20 mSv（5 年間平均）

確定的障害の発生を防止し、確率的障害のリスクをその他の職業リスクより小さくする。

② 一般公衆：年間 1 mSv 未満

自然放射線による年間被ばくの地域による変動範囲未満とする。

（2）緊急時（事故発生の初期段階）

① 事故対応作業者：100 mSv 未満

確定的な障害発生を防止する。

② 一般公衆：

確定的障害発生防止のため、年間 10~50 mSv を屋内待機とし、50 mSv 以上を避難とする。

（3）緊急時（発生から危機的状況の回避まで）

危機的状況が回避されるまで、年間 20~100 mSv の間に参考レベルを設けて避難等の処置を

する。

（4）緊急事態回避後の汚染継続状況

年間 1~20 mSv の居住区域では、年間 1 mSv 未満を目指して長期的な被ばく低減を行ってゆく。

6 むすび

（1）放射線の健康影響について

- 年間 100 mSv 未満の低線量（率）被ばくによる人体影響の有無には専門家の間に諸説がある。

（2）放射線防護の観点から

- 「20 mSv の被ばくは、がん発症による生涯死亡リスクを 0.1% 増加する可能性がある」との仮説を基に放射線防護は考えられている。科学的な真否の議論は継続の余地はあるものの合理的な判断であると考える。
- 年間 1~20 mSv の被ばくが予想される地域は、住民が被ばくすることに伴うリスクと被ばくを避けようとしてすることに伴うリスクとのバランスに配慮してトータルリスクの増加を招かないような合理性のある対処が必要である。

<引用文献>

- 原子力がひらく世紀第 4 章放射線の性質と防護 日本原子力学会
- 低レベル放射線の健康影響 AESJ-PS004r1 日本原子力学会保健物理・環境科学部会, 2009
- 菅原努：放射線は生命にどう働くか、体質研究会 <http://www.taishitsu.or.jp/r-bio/r-bio2.html>
- 技術士 CPD 教材 原子力・放射線の整理と検討のための資料～3.11 福島第一原子力発電所事故について共に考える～、日本技術士会, 2013 年 3 月
- 原子力・エネルギー図面集 2013, 第 6 章放射線 電気事業連合会
- 放射線影響研究所：原爆被爆者における固形がんリスク
- 被曝による健康への影響と放射線防護基準の考え方、日本原子力学会, 2011 年 5 月

横堀 仁 (よこぼり ひとし)

技術士（原子力・放射線／総合技術監理部門）

横堀技術士事務所 所長

e-mail : yokobori@sfo.kuramae.ne.jp

