

低レベル放射線被ばく健康に与える影響

2016年12月

日本原子力学会

保健物理・環境科学部会

はじめに

東京電力福島第一原子力発電所の事故により、放射線が人の健康に及ぼす影響を心配している人が多くいます。ここでは、低いレベルの放射線被ばく(放射線にさらされること)が人の健康に与える影響について、我が国も含めて世界の多くの国々が放射線安全規制に取入れている国際放射線防護委員会(ICRP)の勧告の考え方に基づいて解説します。

放射線の影響

放射線被ばくが人の健康に与える影響は大きく2つに分類することができます。それは、「確定的影響」と「確率的影響」です。

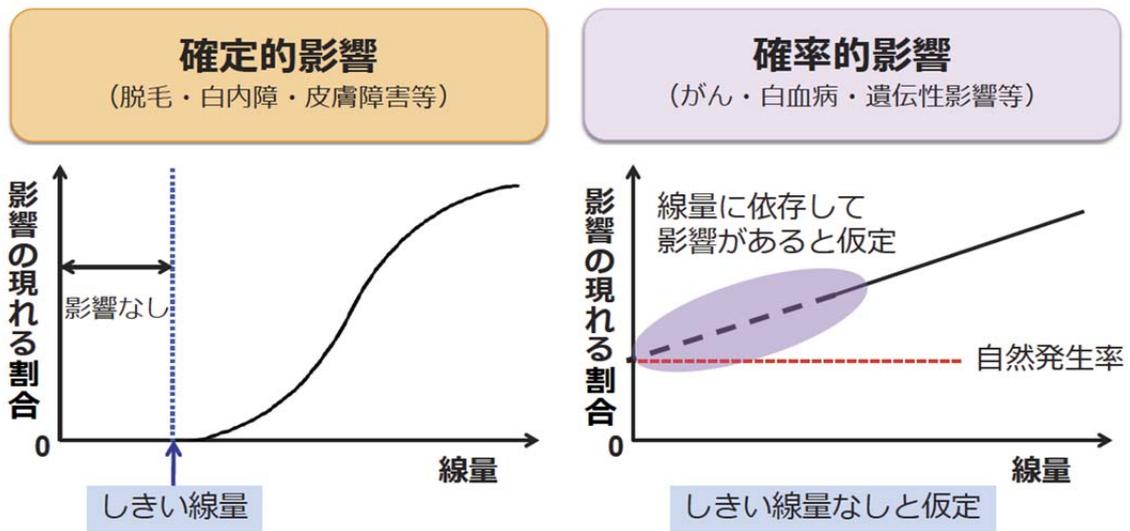


図1 確定的影響と確率的影響

出典：「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料 平成27年度版 ver. 2015001」

(<http://www.env.go.jp/chemi/rhm/h27kisoshiryo/attach/201606mat2-03-4.pdf>) から作成

放射線の確定的影響

前者の「確定的影響」は、図1の左側に示したように、ある放射線の量(以下、被ばく線量という)を超えて被ばくした時に発生する影響です。この「ある被ばく線量」とは、人の健康に与える影響が発生するしきい値(目安)となるため「しきい線量」と呼ばれます。確定的影響は、しきい線量を超える高い線量の放射線を一度に被ばくすると、有意に(1%以上¹⁾の割合で影響が発生し、被ばくの線量が大きくなればなるほど、発生割合が増加して影響が重くなります。確定的影響には、不妊、造血能力の低下(リンパ球の減少)、皮膚の障害、脱毛、白内障や、胃腸管、肺、腎臓や神経系の障害がありますが、それぞれのしきい線量は影響の種類によって異なることが明らかになっています¹⁾。放射線の健康に与える影響の防護対策を国際的に主導しているICRPは、その最新の主勧告である2007年

勧告¹⁾において、これらの障害のうち最も低いしきい線量は、一度に放射線を受ける場合でおおよそ 100mGy (ミリグレイと読む、ガンマ線の被ばくではほぼ 100mSv に等しい) (注 1) と考えています。これは、放射線作業に従事する人のように、年間を通して被ばくしてトータルでこの放射線量を受ける場合でも同じと考えています¹⁾。また、胎児の被ばくについても、100mGy 未満の線量での被ばくでは奇形が発生するリスクはないと判断しています¹⁾。精神的遅滞 (精神的な発達の遅れ) については、出生前の最も細胞などが放射線に対して敏感な時期 (受胎後 8-15 週間) に被ばくした人に重い精神的遅滞が現れた原爆生存者のデータがあります。このデータから判断して、精神的遅滞の影響が現れるためのしきい線量は 300mGy であり、それ以下の線量では精神的遅滞のリスクは存在しないと考えています¹⁾。以上をまとめますと、100mGy 以下の線量では確定的影響は発生しないといえます。幸いにも、福島第一原子力発電所事故においては、一般の人に 100mGy 以上の高い線量での被ばくは認められませんでした²⁾。このことから、同事故で被ばくした一般の人に、確定的影響の心配はありません。

放射線の確率的影響

後者の「確率的影響」には、「がん (白血病を含む)」と被ばくした個人の子孫に生じる「遺伝的影響」があります。図 1 の右側に示したように、この確率的影響は、高い線量で被ばくした場合は、被ばくした線量とともにその発生する割合が大きくなる特徴があります。確率的影響 (がんや遺伝的影響) は、被ばくした全ての人に必ず発生するわけではないので、被ばくした多くの人のデータを集めて、その発生割合を評価する必要があります。この確率的影響の発生割合を調べるため、広島・長崎の約 12 万人の原爆被爆者のグループ、チェルノブイリ原子力発電所事故で被ばくした住民などのグループ、がん治療などの放射線医療で被ばくした患者のグループなどの追跡調査から得られた疫学データ (がんなどの発生に係る人体の健康に与える影響のデータ) が用いられています³⁻⁴⁾。これまで、主にごんの発症に関するデータが詳細に解析され、この結果をもとにして、人体の安全の目安となる放射線管理に関するいろいろな基準が整備されています。遺伝的影響については、原爆被爆者や放射線治療を受けたグループの子供たちにおいて、統計の上で自然に発生する場合との明らかな差は認められていません¹⁾。

低レベル放射線被ばくの健康に与える影響

低レベル放射線被ばくの人の健康に与える影響を考える場合、100mSv (注 2) 以下の線量では、確定的影響は発生しませんし、確率的影響のうち遺伝的影響については、さらに高い線量を受けた原爆被爆者のグループでもその有意な発生が認められていないため、がんによる影響だけが問題となります。低レベル放射線被ばくによるがんの発生割合は、主に広島・長崎の原爆被爆者のグループの調査結果を用いて評価されています。線量とがん発生の関係としては、約 100mSv 以上では、線量とともにほぼ直線的にがん発生割合が増加します。しかし、約 100mSv より低い線量域では、放射線被ばくによるがん発生割合が小さすぎるため、直線的にがん発生割合が増加するかどうかはわかりません。また、被ばく

したトータルの線量が同じでも、例えば、原爆被爆者のように短時間にトータルの線量すべてを受ける場合（時間当たりの線量が高い高線量率の被ばく）に対して、放射線を取扱う作業者のように長期間にわたって少しずつ受ける場合（時間当たりの線量が低い低線量率の被ばく）の方が、健康に与える影響の割合は低くなる傾向が動物実験などの研究で明らかになっています¹⁾。低い被ばく線量や低線量率で健康に与える影響が低くなる程度を示す指標として、線量・線量率効果係数（DDREF）が用いられます。ICRP は、低い被ばく線量（200mSv 以下）や低線量率（1 時間当たり 100mSv 以下）での放射線の人体に与える確率的影響の発生割合が、高い線量や高線量率での値の 2 分の 1 であるとし、DDREF の値を 2 とし、放射線の人体に与える確率的影響の発生割合を推定するように提案しています¹⁾。

ICRP では、低レベル放射線被ばくの人々の健康に与える影響を推定する場合、実験研究や疫学データの情報をもとに、放射線による確率的影響については、トータルの線量とがん発生などの健康に与える影響は比例すると仮定しており、どれだけ小さい線量の被ばくを受けたとしてもそのトータルの被ばく線量に比例してがんが発生すると仮定したモデル（LNT モデル）を採用しています¹⁾。現在、ICRP 勧告やそれをもとにした我が国の放射線安全規制においては、この LNT モデルが前提とされていますが、LNT モデルの是非については様々な議論があります。フランスの科学アカデミーと医学アカデミーは、共同でまとめた報告書⁵⁾で、放射線によってがんが発生する被ばく線量には下限値があると主張しています。その報告書では、放射線生物学の研究成果から、放射線を被ばくすることによって損傷を受けた細胞が除去される機構があることや、疫学においても白血病の発症する割合が被ばく線量と比例していないことなどから、100mSv 以下の被ばく線量では、確率的影響を大きめに評価する LNT モデルを適用することは過大評価になるとしています。それに対して、米国国立アカデミーの BEIR（電離放射線の生物学的影響に関する委員会）VII 報告書⁶⁾では、どんなに低い線量でも DNA の損傷が生じ、その結果として確率的に突然変異とがんに関連することから、確率的影響と被ばく線量の関係は LNT モデルで説明できるとして、フランス科学・医学アカデミーと反対の結論を主張しています。これらの議論を踏まえた上で、ICRP は、放射線防護や被ばく管理の実用的な目的のためには、LNT モデルを採用するとしています¹⁾。

ICRP の 2007 年勧告¹⁾では、これまでの広島・長崎の原爆被爆者グループなどの調査結果をもとに、この LNT モデルを用いて DDREF の値を 2 とし、推定した放射線被ばく当たりのがんによるリスク係数（放射線によるがん死亡率と寿命の損失やがん発生による生活の質の低下に基づく単位線量当たりのリスクを表す係数）を一般の人に対して 1Sv あたり 5.5%、大人のみ集団に対しては 4.1%であるとし、放射線管理の目的には概ね 1Sv あたり 5%というリスク係数を用いるのが適当であるとしています。リスク係数が大人のみ集団よりも、大人と子供の全部を含む一般の人に対しての方が大きいのは、年齢の若い子供のリスクが大人よりも高いことが原因です。ICRP は、小さな子供と子宮内での胎児の被ばくのリスクは同じ程度であり、最大でも一般の人のグループ全体のリスクのおよそ 2 から 3 倍と仮定することが妥当であるとしています¹⁾。これらを考慮して、福島第一原子力発電所

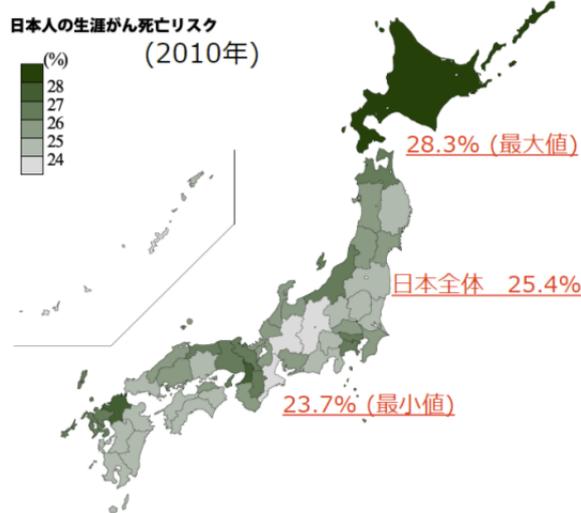
事故後においては、校庭や園庭などの小さな子供の生活環境の除染が優先的に実施されました。

1Sv あたり 5% のリスクを実感するためには、例えば、もともと日本人が持っているタバコ、飲酒、化学薬品やストレスなどのすべてを含めた生活上でのがんリスク、すなわち生涯を通してのがん死亡割合（以下、生涯がん死亡リスクという）がどれくらいかを知っておくことが重要です。図2に示すように、日本での2010年の生涯がん死亡リスクの全国平均値は25.4%であり⁷⁾、この数値は、日本人のおよそ4人に1人は通常的生活の中でがんで死亡していることを意味しています。仮に、日本人一人ひとりが全員100mSvの被ばくを受けるとすると、1Sv (1,000mSv) あたり5%のリスク係数であることからLNTモデルを仮定すると生涯がん死亡リスクは0.5%増加し、全国平均値は25.4%から25.9%に増加することになります。一方、この通常的生活の中での生涯がん死亡リスクは、食生活などの生活習慣の違いによって、もともと地域間で23.7~28.3%の間でばらついており⁷⁾、100mSvの被ばくによる0.5%のリスク増加は、このばらつきの中に埋もれてしまうほど小さいものです。疫学的な調査において、約100mSvより低い線量域では、受けた被ばく線量に比例してリスクを受けるかどうかはそのリスクが小さ過ぎてはつきりしませんが、仮にLNTモデルを前提にしてリスクがあると想定しますと、20mSvの被ばくでは0.1%、1mSvの被ばくでは0.005%のリスクの増加になります。

■ がんリスク 0.5%/100 mSv

- ICRPは、被ばくによる生涯がんリスクの上昇を、
100 mSv : 0.5% と推定し、
10 mSv : 0.05% と推定しています。
1 mSv : 0.005%
- 2010年の人口数・死亡数データを用いれば、日本人の生涯がん死亡リスク^{注)}は25.4% (男女の平均値) です。したがって、被ばくによる生涯がん死亡リスクの上昇の意味は、
25.4% → 25.9% (100 mSv)
25.4% → 25.45% (10 mSv)
25.4% → 25.405% (1 mSv) となります。
- 一方、生涯がん死亡リスクには、都道府県によって違いがあり、25.4%の生涯がん死亡リスクには
23.7% ~ 25.4% (平均) ~ 28.3%
のばらつきがあることとなります。
- この主な原因は、食生活などの生活習慣の違いにあると考えられています。

注) ICRPのがんリスクは、がんで死亡するリスク以外に、寿命の損失やがん発生による生活の質の低下を考慮に入れていますので、生涯がん死亡リスクを生涯がんリスクに換算すると、やや高くなります



出典 : H. Ogino and T. Hattori, Calculation of Background Lifetime Risk of Cancer Mortality in Japan, Jpn. J. Health Phys., 49(4), 194-198 (2014).

図2 生涯がん死亡リスクのばらつき⁷⁾

上で説明したように放射線の確率的影響としては、がんや遺伝的影響が考えられますが、最近の原爆被爆者の疫学調査、放射線治療患者やチェルノブイリ事故処理作業員などの健康影響調査研究で、がんだけではなく、心臓疾患、脳卒中、消化器疾患や呼吸器疾患など

のがん以外の疾患による死亡率についても、あたかも確率的影響のように被ばく線量とともに増加することが心配される事例が報告されてきました⁸⁾。しかし、このがん以外の疾患のリスクについては、まだその発症のメカニズムが十分解明されておらず、約 500mSv にしきい値があるとしても矛盾がないことから、ICRP の 2007 年勧告では、低レベル放射線の被ばくによるリスクの推定に含めないと判断されました⁹⁾。また ICRP は、その後に声明を発表し、心臓疾患や脳卒中などの循環器系疾患については、確定的影響の一つに分類することを明確にしています⁸⁾。

おわりに

日本原子力学会 保健物理・環境科学部会は、2000 年代初めまでの科学的知見と透明性のある議論の結果をもとに発表された ICRP の 2007 年勧告¹⁾の考え方を支持しています。この一つ前の主勧告である ICRP の 1990 年勧告⁹⁾は、我が国のみならず国際的にも現行の放射線安全規制のベースとなってきたものです。放射線審議会基本部会では、ICRP の 2007 年勧告の国内制度等への取入れについての第二次中間報告¹⁰⁾をまとめており、近い将来には、ICRP の 2007 年勧告¹⁾も国内規制に取入れられることでしょう。放射線防護や放射線管理の考え方は、新しい科学的知見を取入れながら絶えず進化してきています。今後、ICRP が従来と異なる DDREF の値、LNT 以外のモデルの採用、がん以外の疾患のリスクを放射線被ばくのリスクに含めるかどうか、などを検討していくためには、放射線影響に係る疫学研究やメカニズム解明のための生物研究などのさらなる知見の蓄積が望まれます。

参考文献

- 1) ICRP Publication 103: ICRP2007 年勧告, 2007.
- 2) Kouji H. Harada, etc, Radiation dose rates now and in the future for residents neighboring restricted areas of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, Proc Natl Acad Sci U S A., 111(10), E914–E923, 2014.
- 3) UNSCEAR 2000 年報告書, 電離放射線の線源と影響, 2000.
- 4) UNSCEAR 2006 年報告書, 電離放射線の影響, 2008.
- 5) フランス科学アカデミー: 「低線量電離放射線の発がん影響評価と線量効果関係」, 2004.
- 6) 米国科学アカデミー: BEIR-VII 報告書「低レベルの電離放射線の被ばくからの健康影響」, 2006.
- 7) 日本原子力学会, 特集 東電福島第一事故から 5 年を経て-原子力学会活動の総括と課題, 保健物理・環境科学部会の取り組み, 日本原子力学会誌, Vol.58, No.7, p393-394, 2016.
- 8) ICRP Publication 118: 組織反応に関する ICRP 声明 / 正常組織・器官における放射線被ばくの早期及び晩発影響- 放射線防護の観点から見た組織反応のしきい線量, 2012.
- 9) ICRP Publication 60: ICRP1990 年勧告, 1991.
- 10) 放射線審議会基本部会, 国際放射線防護委員会 (ICRP) 2007 年勧告 (Pub. 103) の国内制度等への取入れについて-第二次中間報告-, 2011.
- 11) UNSCEAR 2008 年報告書, 放射線の線源と影響, 2008.

注 1

mGy は、物質や人が放射線からのエネルギーを受けた量を表す線量（「吸収線量」という）の単位で、物質も人も区別しない値です。物質や人に放射線が当たり、1kg 当たり 1J(ジュール)のエネルギーが与えられた場合の吸収線量が 1Gy（グレイ）であり、その千分の一が 1mGy です。

本文で述べている確定的影響に関しては、本来、放射線による被ばくの影響の割合に対応する線量（「等価線量」という）の Sv（シーベルト）で表すべきですが、下記の注 2 で述べる実効線量（これも同じ Sv の単位を用いる）と区別するために、ここでは吸収線量 Gy を使っています。X 線やガンマ線では吸収線量 Gy と等価線量 Sv は同じ値となります。

注 2

mSv は、実効線量の単位です。実効線量とは、放射線防護や放射線管理の目的で用いる被ばく線量です。同じ吸収線量を被ばくする場合でも、全身に受ける場合と一部の臓器（局所的）に受ける場合では、確定的影響や確率的影響が発生する割合が異なるが、実効線量は、それぞれの器官・組織に受けた線量を、放射線によるがんなど（遺伝的影響も含む）の起こりやすさで重み付けの補正を行うことにより、全身での総合的ながんの割合に対応した被ばく線量を示しています。全身にガンマ線や X 線が 1mGy 当たれば、実効線量もおおよそ 1mSv と考えられます。単位は Sv を用い、Sv の千分の一である mSv がよく用いられます。「原子放射線の影響に関する国連科学委員会 (UNSCEAR)」の報告書^{3, 11)}では、自然の放射線により一般の人が受ける実効線量は、世界の平均値として年間 2.4mSv であると報告されています。