

総説 シンポジウム**放射線と健康影響**

山下 俊一

長崎大学原爆後障害医療研究所放射線災害医療学研究分野

Radiation and Health Effects

Shunichi Yamashita

Department of Radiation Medical Sciences, Atomic Bomb Disease Institute, Nagasaki University
1-12-4 Sakamoto, Nagasaki 8528523 Japan**要約**

放射線被ばくによる健康影響を考える場合、日常生活の身の回りに存在している放射能や放射線の正しい理解の上で、健康影響に関する国内外の疫学調査の研究成果と、防護基準の国際的なコンセンサスを理解する必要がある。すなわち、原爆被爆者が受けたような瞬時の高線量被ばくと、低線量・低線量率放射線被ばくの健康リスクとの違いを理解することが第一歩となる。前者の場合、確定的影響（組織反応）である急性放射線障害に加えて、確率的影響が問題になるのに対して、後者では、慢性的な放射線障害による確率的影響が健康影響の対象になる。また、被ばく様式には、外部被ばくと内部被ばく、そして体表面汚染による被ばくなど異なる被ばく形態があるが、これらの違いを超えて客観的に健康影響を評価できる尺度としてシーベルと言う単位に標準化して考える必要がある。

福島原発事故から5年半が経ち、環境モニタリングや食の安全モニタリングが継続され、また県民健康調査事業や内部被ばく線量の測定等から、県民の被ばく線量は極めて低いことが判明している。しかし、原発事故＝原爆＝白血病・がん＝死という短絡的な思考に加えて、チェルノブイリ原発事故後の小児甲状腺癌増加の報告に囚われた風評が蔓延し、論理的な思考を越えた情報の錯綜と氾濫が、今なお散見される。そして、放射能や放射線に関する不安や不信、更に恐怖感や嫌悪感はなかなか払拭されず、現地での復興の足枷となっている。

五感で感知出来ない放射能・放射線であればこそ、論理的思考による放射線リスクを学び、福島の実状とその健康影響を正しく評価することが重要となる。
(臨床環境 26: 1 - 6, 2017)

《キーワード》放射能、放射線、原発事故、健康影響、防護基準

Abstract

When we try to understand the health effects of radiation exposure, we need at first to have a clear idea about radioactivity and radiation, and then to know the results of epidemiological studies on radiation health risk in Japan and abroad, and also the international consensus of radiation protection. Namely, the first step is to logically grasp the difference of health consequences after the high dose exposure among the atomic bomb survivors in Hiroshima and Nagasaki and the low and low-dose rate exposure. The former causes acute radiation syndrome, the so-called deterministic effect (now referred to as the tissue damage) and also stochastic effect, while the latter produces chronic radiation damage leading to the stochastic effect. There are different exposure modes or routes such as external, internal and radio-contamination, but it is necessary to standardize all types of exposure using the same unit of Sievert reflecting the dose received to evaluate possible health effects.

Five and a half years have passed since the Fukushima Nuclear Power Plant accident; monitoring of the level of radioactivity in the environment and the safety of foods still continue. According to the data accumulated, it is now clear that realistic assessment indicates quite low exposure dose in the residents in Fukushima to detect any direct radiation health effect. However, in addition to simplistic way of thinking about the equality of nuclear accident and atomic bombings, which cause leukemia and cancer, and eventually death, the wrong information of the second coming of Chernobyl prevailed widely in Japan that rapid increase of childhood thyroid cancers was also true in Fukushima. There are still a confusion and a flood of wrong information far beyond the logical thinking. Furthermore, it is difficult to sweep away uneasiness and distrust, even fear and hatred of the public, which have long been a serious problem for recovery in Fukushima.

In summary, since we cannot feel the presence of radioactivity and radiation through the five sense organs, it is important to understand the risk of radiation realistically, and accurately evaluate the current situation of Fukushima and its health consequences. (Jpn J Clin Ecol 26 : 1 – 6, 2017)

《Key words》 radioactivity, radiation, nuclear accident, health effects, radiation protection

I. はじめに

東日本大震災から5年半が経過した。未曾有の大震災に引続き東京電力(株)福島第一原子力発電所事故(福島原発事故)が発災し、大量の放射性降下物の影響による環境汚染が引き起され、その結果健康影響が懸念されている。チェルノブイリ原発事故の再来とも喧伝され、放射能や放射線に関する風評被害も深刻化したが、一方では、風化と言う相反する問題への対応にも苦慮しつつ、現地では今なお多くの課題克服に向けた努力が続いている。

今回の原子力災害の教訓や反省の中でも、科学者や科学者社会が果たした役割と責任の妥当性や課題等も解析が進んでいる。日本学術会議や産学官連携事業を推進している日本学術振興会など、本来なら日本の権威ある、そして信頼されるべき

組織や学会でさえ、原発事故対応に関しては、その前後も含めて反省点が多く、多角的に改善の必要性が議論されている。もちろん原子力に係る各種関連学会や専門家も反省と自戒を、次の教訓に生かす必要がある。

本稿では、放射線被ばくと健康影響に関する考え方の基盤を紹介する。過去の歴史に学び、現在の福島での健康問題についての理解促進の為に、適切な参考文献と関連情報をぜひ参照頂きたい。

II. 原爆被災と放射能問題

広島市、そして長崎市にそれぞれ原子爆弾が投下されて、70年が過ぎた。爆風や熱傷、さらに急性放射線障害などで両市合わせて20万人近い犠牲者を出し、さらに生き残った市民にも後から健康

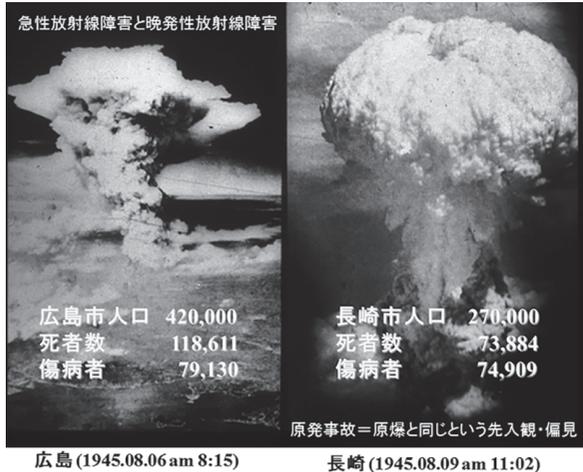


図1 広島、長崎の原子爆弾被爆による死傷者数と負傷者数

影響が認められている。この間疫学調査研究では、主として白内障や白血病・発がんリスクが議論されている。一回瞬時の大量被ばくという無差別殺戮核兵器の原爆と、原発事故後の放射性降下物による周辺住民の健康影響は当然異なるが、多くの人々は、原発事故イコール原爆イコール白血病・がんイコール死という先入観や偏見を持たれているようである (図1)。

そこでまず、「放射線と健康」という問題を考える場合、その大前提となる物理や化学、そして生物学の知識を共有する必要がある。すなわち、高エネルギー放射線が絶えず飛び交う宇宙空間に浮かぶ星々の一つが地球であり、その地球上で生命の進化を遂げた人類の生物学的特徴への理解が大前提となる。例えば、宇宙ステーションで活動する宇宙飛行士は一日平均0.5から1ミリシーベルト前後を被ばくする。高度1万メートルを飛ぶ国際線の飛行機内では、私たちは1時間当たり多い時で5から7マイクロシーベルトを被ばくし、また地球上には自然バックグラウンドが高い地域も存在している (図2)。

III. 放射線と健康リスクの考え方

身の回りの放射線被ばくの現実を見据える前の共通の理解として、すべての物質は異なる元素から成り立ち、その元素は共通の原子から成り、宇宙も地球も人間もその原子を基本単位としてい

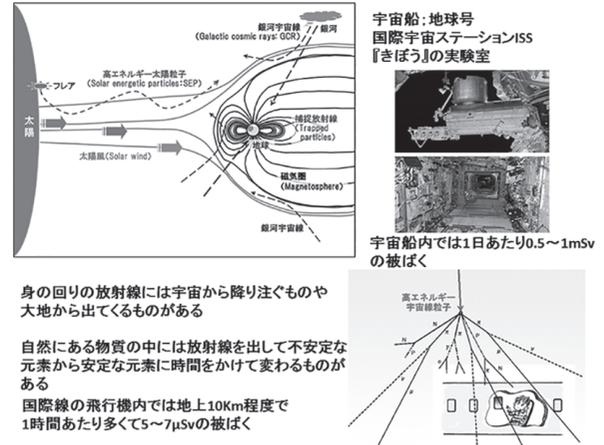


図2 宇宙線と身の回りの放射線

る。原子の中心には原子核が存在し、自然に存在する不安定な原子核は、自然に放射性崩壊して放射線を放出する。人類の進化も外部からの環境影響と同時に、内部のエネルギー代謝と活性酸素などの影響を受けて進化してきたこと、その中に放射線や紫外線、さらに寒暑、飢餓や感染症のリスクを乗り越えてきたことが、寿命ある生命の基本であることは周知の事実である。この有限な生命活動のなかで、放射線とその健康影響を、生命リスク、すなわち死亡リスクという大きな枠の中で考えた時に、科学的な理解として、放射線障害の発症機構を、論理的に認識する必要がある。すなわち、低線量の放射線被ばくの細胞や遺伝子への影響と晩発性の発がんリスクとの関係は、放射線被ばくだけに特別な問題ではなく、確率的にがんを起こすリスク概念の理解は、他の環境要因などの多様な発がんリスク因子の全体を生命リスクとして捉えて初めて理解できるものである。そして発がんに関する交絡因子との複雑な関係の中で、避けられない生病老死をどう考え、放射線リスクをどう位置づけて評価し管理をするのが重要となる。

IV. 放射線の基礎知識

五感に感知できない放射能の存在や放射線であっても、基本となる共通理解の物差しとして、放射線の単位を理解することは可能である。原子

の中の不安定な原子核が1秒間に1個の放射性崩壊をする能力を1ベクレル (Bq) と定義していることから、すなわちベクレルとは放射性物質が持つ放射線を出す能力を表す物差しであり、その能力は別名放射能と呼ばれる。エネルギーである放射線を浴びた場合、受けたエネルギーの大きさを表す物差しとして、吸収線量が用いられ、その単位としては、物理学的にグレイ (Gy) という単位が決められている。1 Gy とは 1 kg の物質が 1 ジュールのエネルギーを吸収すると言う意味である。放射能の詳細は他に譲るとして、エネルギーや性質の異なる放射線が存在するため、これら性質の違いを考慮した物差しとして、人体への放射線の影響量を換算値であるシーベルト (Sv) という単位を一律に用いることとしている。さらに瞬時の被ばくなのか、低線量の放射線を長期持続的に受ける被ばくなのかを表す為に、被ばくの時間軸が示され、時間あたりの被ばく量を線量率として表している。日常生活では、1時間あたりの被ばく量をマイクロシーベルトで表した $\mu\text{Sv/h}$ 単位が汎用されている。当然、一瞬の 1 mSv 被ばくと年間 1 mSv の被ばくでは、その線量率は大きく異なり、年間 1 mSv では、365日で割り、24時間で割ると時間あたり $0.114\mu\text{Sv}$ となる。したがって、1分あたりの瞬時の被ばく線量は、 $0.0019\mu\text{Sv}$ であり、1秒あたりであれば、 $0.000032\mu\text{Sv}$ となる。これが、年間 100mSv の積算線量の場合であれば、毎時 $11.4\mu\text{Sv}$ の日常被ばく線量となる。宇宙飛行士の場合、仮に 1 mSv/日ならば、 $41.7\mu\text{Sv/h}$ の船内被ばくと計算される。重要な事は、これら日常の被ばくの考え方として、外部被ばくであれ内部被ばくであれ、さらには瞬時の被ばくであれ慢性被ばくの積算であれ、Sv の単位で表現されている限りは、同じ健康影響を同じ物差しで標準化して考えることができるということである。放射線影響や防護の専門家、そして規制関係者らは、この Sv という尺度を用いることを長年にわたり国際機関で議論し、またその防護基準を科学的議論に基づくコンセンサスとして改訂してきた経緯がある。このような科学的な物差しがあって初めて、生活の中での放

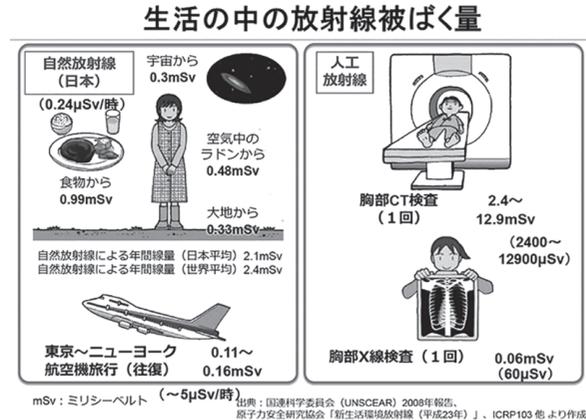


図3 生活の中での放射線被ばくの状況

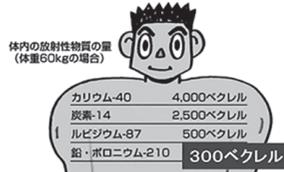
射線被ばくの線量への理解が可能になる (図3)。その上で、普段の生活の中で触れる μSv 単位での放射線被ばくは、例えそれが自然放射線であれ人工の放射線であれ健康影響は無い、あるいは検出されないと言う平時からの理解の上に立って、原発事故での緊急時の防護基準の考え方についても理解を深める必要がある。

さらに、外部被ばくであれ、内部被ばくであれ、その健康影響は同じであると言うのが Sv という単位の原則である。実際に体内にある放射能、すなわち放射性同位元素である天然の放射性物質は、カリウム40や炭素14を始め食事由来の放射性物質として普段から摂取しており、体重60kgの人では約7,000Bq 程度が平均的な量となる。食品の中では、お米やお茶、ほうれん草、干しシイタケや干し昆布にも放射性物質は含まれ、Bq から換算すると食品から受ける年間の放射線の被ばく量は、平均約 1 mSv の内部被ばくに相当することになる (図4)。

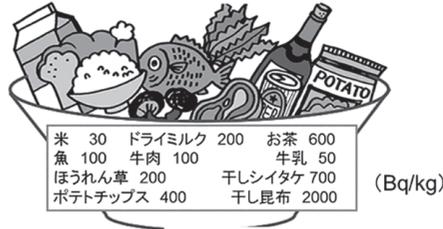
V. 放射線の遺伝子への影響は？

それでは自然界の放射線の影響とはミクロのレベルではどう考えられるのかを紹介する。放射線はエネルギーである。細胞に与えられたエネルギーの一部は、物質を形作っている化学結合 (共有結合とも呼ばれる) に必要な電子をはじき飛ばす。これが、いわゆる電離である。電離は、物質の構造を変化させるので、もしこれが DNA であった場合、DNA の構造に変化が起こり、これ

• 体内の放射性物質



• 食品内の放射性物質 (K-40)



参考: 原子力安全研究会資料より

図4 体内の放射性物質と食品中の放射性物質 (K-40)

を DNA 損傷と呼ぶ。正確にどれだけのエネルギーが細胞に吸収されたかで DNA 損傷の数は推定することができ、例えば、1 mGy、これはガンマ線の場合 1 mSv 被ばくに相当するが、瞬時にこの量を細胞が受けると、細胞内に存在する様々な物質が電離し、たとえば、水のイオン化が70個程度起こる。しかし、この程度のエネルギー量では、塩基損傷や脱塩基、さらに1本鎖切断は起こるか起こらないかの程度であり、放射線に特異的な2本鎖切断はほぼ生じない、あるいは検出できない極低レベルでしかできないことになる。

例えば、20mGyの瞬時の被ばく線量では、これもガンマ線の場合は20mSv相当となり、その場合生きた細胞一個に及ぼすイオン化は1,400個程度、塩基損傷や一本鎖切断は20ヶ所以内となり、それでも二本鎖切断はまずは観察されない程度である。この程度の放射線被ばくの影響がどのようなレベルであるかは、生きている事で細胞が消費するエネルギー産生に伴うフリーラジカルその他で遺伝子が傷を受ける数との比較をすればその差異が推測出来る。これまでの報告では、新陳代謝に伴う細胞内エネルギー産生に伴うイベント数は、イオン化が700,000/秒、塩基損傷は2.5個程度、二本鎖切断も偶発的に生じ残存する可能性が0.1/日程度とされる。細胞分裂の頻度に応じて生体構成細胞数約60兆個にこれらの損傷と修復が繰返されているのである。これらの遺伝子損傷から細

胞リスク、そして最終的な健康影響に繋がると言う生物学的な知識を基本として、単一ではない様々なリスクを比較して考えることが重要となる。このような比較により、防護の基準は実際の健康影響がでるレベルより遥かに厳しく規制されていること、そして健康影響の量と防護の量の違いについての理解が可能となる。

VI. 放射線影響量と防護量の区別

原子放射線に関する国連放射線科学委員会 UNSCEARによれば、100mSvを超える急性一回被ばくにより、被ばく線量依存性に発がんリスクが直線的に増加するが、これは確率論による考え方の基礎ともなっている。一方、100mSv以下では疫学的には放射線の影響を検出できないと報告されている。これに対して放射線の防護についても長年職業被ばくの低減や防護の基準が議論され、国際放射線防護委員会 ICRP の提言では、安全確保の為にできるだけ被ばく線量は低くするという ALARA (As Low As Reasonable Achievable) の原則に則り、100mSv以下であっても影響が直線的にあるという閾値無し仮説 (LNT: Linear Non-Threshold モデル) に従って安全確保の為に規制値が厳しく定められている (図5)。重要なポイントは、放射線の健康影響は被ばくの量により決まり、その影響量よりは厳しい防護量が安全確保の為に使われているということである。原発災害という放射線事故に遭遇した場合で

放射線影響量と防護量の区別

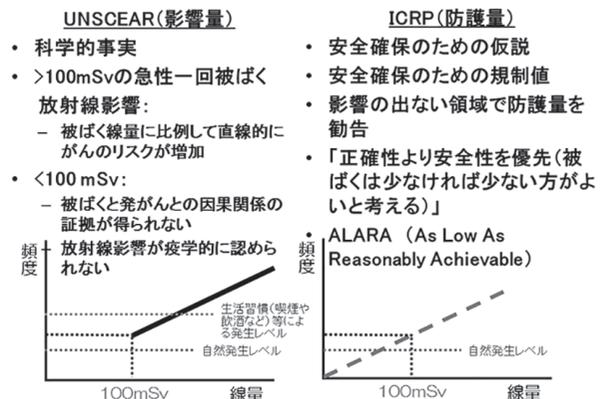


図5 放射線の線量と健康影響のまとめ

あればこそ、科学的、論理的な思考が求められるが、一方では、一人一人異なるリスク認知の違いを認めた上で、共通の物差しとなる正しいリスク評価を基本に放射線リスクコミュニケーションが推進される必要がある。

VII. 論理的に考えること

以上のように、放射線の健康影響をどう考えるかという視点に立脚すれば、不確定、不確実な事象への対応に共通する課題として理解できる。すなわち、論理的には、異なる事象に対して同じ尺度を用いた確率論的なリスク・ベネフィットという考え方である。この考え方が、放射線の人体影響、とりわけ低線量被ばくの健康影響の理解においても重要なポイントとなる。ゼロリスクはどの世界にも無いことを前提に、放射線被ばくの場合の線量あるいは線量率の単位、シーベルトを正しく理解し、単独ではない生命リスク、この場合は発がんリスクを減らす努力を、他のリスク因子とトレードオフすることで、前向きに考えることに繋がると期待される。それでも客観的ではないリスク認知の多様性から、不安や不満、恐怖や不信の心情は拭い去ることは困難である。原発事故イコール放射線の人体影響ではないこと、すなわち放射線以外の理由に基づく健康影響が多々あることも冷静に考える必要がある。

VIII. まとめ

最後に、もう一度放射線の被ばく量と健康影響の関係をまとめる(図6)。左図のように健康被害が起こる線量として100mSv以上の被ばく量が示されているが、原子力施設で働く作業員の安全は一度の瞬時の被ばくではなく、年間積算線量での100mSvの半分の線量である50mSv/年で守られている。更により厳しく5年間で100mSv、年間20mSvの限度内での作業許可となっている。この原理原則は一般の住民に当てはめても健康影響が観察されるレベルではない。それでもより厳しく一般公衆の追加被ばく線量を制限するために、線量限度を設けて、法令上1 mSv以下に抑えるよう、すなわち無益無用な被ばくをさせないという

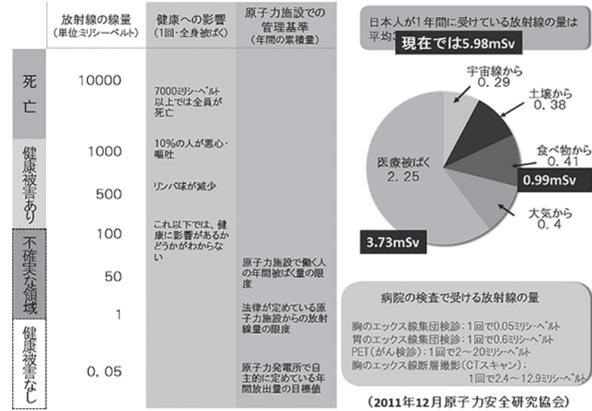


図6 放射線の被ばく量と健康影響

防護の観点から基準値が導きだされている。

一方、右図の日常被ばく線量は、以前は年平均3.7mSvと見積られていたが、2012年の報告では、日本人の医療被ばくが増え、またポロニウム(魚介類に多く含まれる)の体内動態がより精密に評価できるようになり、食べ物からの内部被ばく線量が0.99mSvと増加し、自然界から年間約2 mSv被ばくし、医療被ばくで3.87mSv、合計で年間5.98mSv平均となっている。X線やCT検査など医療目的の放射線については、医療用の放射線を被ばくする患者自身が受ける健康上のメリットが、そのデメリットよりも大きいので、線量限度という考え方は適用されていない。

このように放射線防護の基準が、国際的に共通の考え方を示すICRPの勧告に従うものであり、住民の健康を守るためのもっとも厳しいレベルを採用していることを理解することが、原発事故後の対応や対策の基本となり、同時に放射線の健康影響に対する理解を深めるものと期待される。

本論文の要旨は、第25回日本臨床環境医学会総会シンポジウム「環境汚染と健康」にて講演したものである(2016年6月18日、福島県郡山市)。

本論文に関する利益相反は無い。