

## 放射線安全管理の歴史

— 人類はどのように放射線のリスクと向き合ってきたのか —

角山雄一\*

### はじめに

2011年3月11日の東日本大震災。津波による全電源喪失により東京電力福島第一原子力発電所において核燃料のメルトダウンが起きた。原子炉格納容器内の過剰な圧力上昇を回避するための措置、いわゆるベントにより大量の放射性同位元素が大気や海洋へと放出され、結果原発事故による被災者を大量に生じさせることとなった。これまでも我が国は幾度か放射線被ばくを体験してきた。米軍による広島や長崎への原爆投下による被ばく、大気中核実験やチェルノブイリ事故等に起因する放射性降下物（フォールアウト）による被ばくなどである。そして今回、我が国の被ばく体験に福島原発事故による被ばくがさらに加わることとなった。

事故後の混乱の中、緊急措置として種々の放射線基準値の変更がなされてきた。これは緊急時における一時的措置であり、震災以前に確立していた放射線安全管理体制を蔑にするものではない。今後数年ないし数十年の間に基準値は元の数値に戻されなければならない。また、以前は整備されていなかった飲食物の基準値や除染の基準値も新たに定められることとなった。ではこの基準値はどのような背景や経緯により定められているのか、基準値の決定プロセスを知ることは、基準値の妥当性について考える上で重要な情報の一つである。

### 放射線の発見と被ばく影響

Würzburg 大学物理学実験棟の一室において W.C. Röntgen が未知の光線「X線」の存在を突き止めたのは1895年11月8日のことである。その成果はまず同年出版のヴェルツブルク物理学医学協会会報にて報告（独語）されるが、翌年英訳され Nature 誌などが掲載、これによってX線の存在が瞬く間に世界中に知れ渡ることとなる。この発見が契機となり、A.H. Becquerel は天然ウラン鉱石から放射線が発せられていることを見出し、Curie 夫妻はその鉱物が含有する放射性物質が放射性の元素であることを突き止める。1800年の末から1900年初頭にかけて、それまでの物理化学の常識を覆すような歴史的発見が相次いだ。X線が持つ能力や特性は発見当初から人々を魅了し、早速様々な分野での利用が始まる。人体内部の透視といった検査はもとより、胸部がんや皮膚がんの治療、アザ、胸腺肥大、強直性脊椎炎の治療等々とくに医療分野での利用が急速に展開されていく。ところが放射線の人体影響に関する知識など皆無の時代である。今では考えられないような照射方法や照射線量による治療、現在では到底認められない目的での利用、例えば美容のための脱毛や見世物として人体透過像の動画を見せるなど、つまりX線の乱用も横行した。当然のことながら、すぐさまX線が人体に悪影響をもたらし得ることが明らかとなる。X線発見からわずか2ヶ月後、X線照射によるがん治療のパイ

\*京都大学環境安全保健機構放射性同位元素総合センター助教

第256回京都化学者クラブ例会（平成23年10月1日）講演

オニア Emil Grubbe が、X線照射に起因する手や首の皮膚障害に気づく。次第にX線による放射性皮膚障害の実態が明らかとなり、1902年に皮膚がん、1911年には白血病の誘発も報じられる。X線の発見から十数年もたたないうちに、放射線は有益ではあるが、同時に極めて危険であるという認識に至る。つまり、放射線発見の歴史は被ばく影響発見の経緯と表裏一体なのである。

### 国際放射線防護委員会 ICRP の設立

その後、人類は危険物質であるという認識を十分に踏まえた上で放射線の利用を推進することを選択した。しかし、生命体という複雑系における物質相互作用を完全に明らかにするには相当の時間を要する。このため人類は放射線や放射性同位元素が人体に及ぼす作用やその機序の解明研究に膨大な資財と人員を投入し続ける

ことになる。今や放射線や放射性同位元素は、自然と人工双方含め、あらゆる危険物質の中で最も研究されている物質であるといっても過言ではない。

現在の放射線安全管理体制は、膨大な研究成果に基づく国際的な議論と合意の中で構築されたものである。その内容は、現在も更新され続けており、今回の原発事故によって何らかの新しい知見がもたらされた場合、それは直ちに国際的な議論の対象となり、新しい基準形成へとつながっていく。このような取組は、1925年にロンドンで開催された第二回国際放射線医学会議に端を発する（年表1）。この会議により1928年に国際X線・ラジウム防護委員会（IXRPC, International X-ray and Radium Protection Committee）が設立され、まずは医学用線源使用時の作業時間の制限が提言された。その制限値は年約1000mSv程度と推定さ

年表1 放射線防護に関する国際委員会・機関等の歴史

西暦（年）	委員会等設置動向及び放射線防護関連史実
1895	X線の発見
1896	X線照射による皮膚炎や火傷の報告
1902	慢性X線潰瘍から皮膚がんへ悪化・転移の報告
1911	X線による白血病発症の報告
1913	独がX線取扱を規制したことを機に、英米仏も防護委員会を設立
1923	日本レントゲン学会設立
1925	国際放射線医学会議において国際防護委員会設置の提案 国際X線単位委員会（現国際放射線単位測定委員会 ICRU）設立
1928	国際X線およびラジウム防護委員会 IXRPC 発足
1934	IXRPC 初の数値（耐容線量）を勧告
1945	広島・長崎に原爆投下
1950	IXRPC 国際放射線防護委員会 ICRP へ名称変更
1951	日本放射性同位元素協会（現日本アイソトープ協会）設立
1955	国連総会において原子放射線の影響に関する国連科学委員会 UNSCEAR の設置を承認
1957	国際原子力機関 IAEA 発足

れる。IXRPCは1950年に改組され、現在の国際放射線防護委員会（ICRP, International Commission on Radiological Protection）へと名称を変更する。設立以来、ICRPは定期的に放射線防護についての「勧告（Publication）」を発行している。この勧告は、権威あるものとして国際的に受け入れられており、我が国の放射線防護関連法規はこの勧告に準拠して定められることになっている。

ICRPは設立当初、低LET放射線については週約3 mSvという線量限度を示していた。しかし、広島・長崎における被ばく影響を踏まえ、1956年勧告において職業人年50mSv、一般公衆年5 mSvに限度値を変更した。その後さらに低減され、1991年勧告（Publication 60）では職業人年20mSv、公衆は「特殊な事情においては5年間にわたって平均する可能性を持った年1 mSv」という現行水準の値へと改定されるに至る。

ICRPは、防護の基準となる数値を提示することに加え、放射線防護に関する概念の提言も行ってきた（年表2）。まず1954年勧告において「すべてのタイプの電離放射線に対する被ばくを可能な限り低いレベルに低減するため、あらゆる努力をすべきである。」との見解を示し、1977年勧告（Publication 26）では「As Low As Reasonably Achievable（ALARA）」という放射線防護の基本理念の提唱を行った。現在もこのALARAの精神は確かに引き継がれており、「すべての被ばくは社会的、経済的要因を考慮に入れながら合理的に達成可能な限り低く抑えるべきである」という姿勢が関係各国間で約束されている。

#### 国際放射線防護委員会の構成と他の委員会等との関係

ICRPは、委員長と12人の委員からなる主委員会（Main Commission）と5つの専門委員

年表2 放射線防護概念の変遷と線量限度値の推移

西暦（年）	防護に関する概念と線量限度値
1902	急性皮膚障害の限界線量を約0.1Gy/日とする
1925	耐容線量、一ヶ月につき皮膚紅斑しきい値（約6 Gy）の1/100程度
1928	作業時間の制限や遮への必要性
1934	X線作業者について上限値を設定
1937	作業者に対する限度値をラジウムγ線にも適用
1950	放射線障害として白血病、遺伝的影響に言及
1954	晩発影響の防止のため、被ばく線量は実用可能な限り低く、あるいは容易に達成できる限り低く保つべきであるとした
1958	（Publication 1）公衆被ばくに対する線量制限
1965	（Publication 9）職業人年50mSv、一般公衆年5 mSv、預託線量
1977	（Publication 26）ALARAに基づく線量制限の体系化 確率的影響と確定的影響、実効線量当量、SI単位の採用等
1991	（Publication 60）放射線防護体系として「行為」と「介入」を定義。 職業人年20mSv、一般公衆年1 mSv
2007	（Publication 103）放射線防護の対象をヒト以外の生物に拡大

会 (Committee 1~5) で構成される。第1専門委員会は放射線影響 (Effects), 第2委は線量限度 (Doses), 第3委は医療放射線防護 (Medicine), 第4委は勧告の適用 (Application), そして2005年に新たに設立された第5委が環境防護 (Environment) を担当する。これら各委員会は年一回の頻度で開催されており, さらに各専門委員会傘下に特定の課題を検討するためのタスクグループやワーキングパーティが必要に応じて設けられる。各委員会は, 物理学, 生物学, 生化学, 生物物理学, 放射線医学, 防護学, 保健物理学など, 多岐にわたる放射線関連分野の専門家で構成されており, 委員の任期は4年である。日本人の委員も数名在籍しており, 現在は京都大学丹羽太貫名誉教授が主委員会委員に就任されている。

放射線に関する様々な国際的な枠組みを決定する機関はICRPの他にも存在する。国際放射線単位測定委員会 (ICRU, International Commission on Radiation Unit and Measurements), 国際原子力機関 (IAEA, International Atomic Energy Agency), 原子放射線の影響に関する国連科学委員会 (UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) 等である。中でもUNSCEARは科学的事実のみに基づいた報告書をまとめる事を意図して作られた国連傘下の組織であり, 放射線利用や利用による恩恵, あるいは防護に関する判断は一切行わない。したがってUNSCEAR刊行の報告書「Sources and Effects of Ionizing Radiation」は科学的客観性のみを重視した内容となっている。この点は, 放射線利用による恩恵とリスクとの均衡を図ろうとするICRPとは設立の趣旨や行動規範が大きく異なる。このUNSCEARの報告書は, ICRPが勧告を策

定する際の基礎資料であり, ICRPによるリスク判断の科学的裏付けとなっている。尚, ICRPは非営利団体 (英国NPO) である。震災後の一部の報道において, ICRPの勧告が原子力関係団体の影響下にあるような報道が見受けられたが, これまで述べてきたICRP設立経緯やその趣旨を考えれば, 誤報と言わざるを得ない。

### 放射線安全管理上における低線量被ばくについての考え方

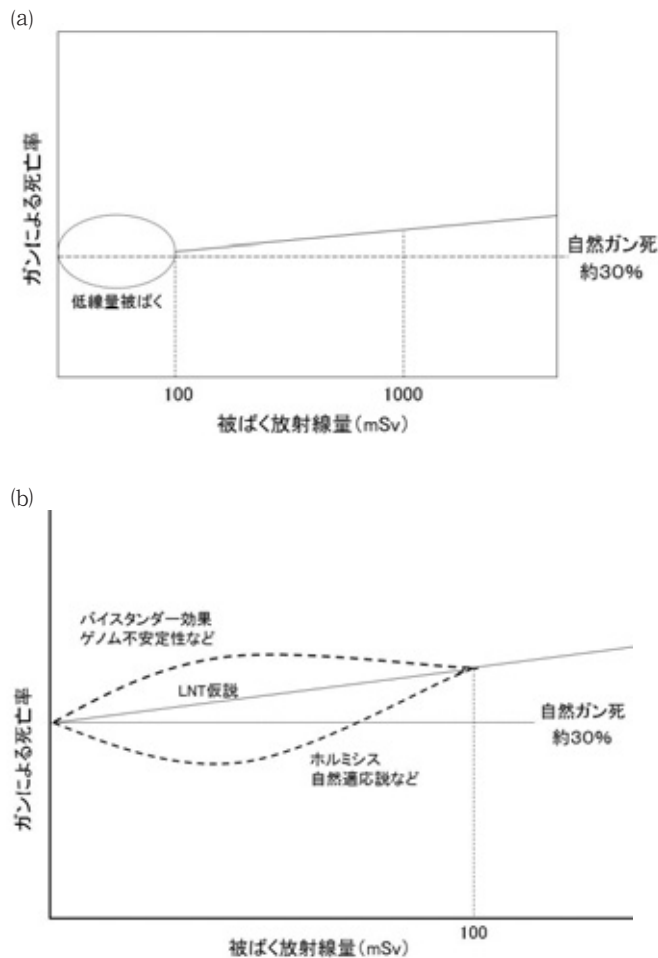
震災後, 市民は長期にわたる低線量放射線被ばくの問題と向き合うこととなった。とくに議論の対象となっているのが, どの線量までなら放射線は安全か, といういわゆる「100mSv問題」である。この極めて繊細な問題について, 放射線関連の専門家は震災以前より相当議論を重ねてきた。

ICRPは, 1977年勧告 (Publication 26) において, 放射線が人体に及ぼす影響を放射線防護の観点から, 確定的影響 (deterministic effect) と確率的影響 (stochastic effect) の二つに分けて考慮することとした。脱毛や皮膚や消化管の機能障害, 不妊, 白内障などは前者に該当し, がんや白血病, 子孫への遺伝的影響は後者に分類される。確定的影響の確定とは, 病状の発症に「しきい値 (threshold dose)」が存在するという事を意味する。例えば白内障の場合, 一回の全身被ばく量が5Gy (グレイ) を超えると発症する。これに対し, 確率的影響の場合はしきい値が判明していないか, もしくはしきい値が存在しない。がんは, 現代人の死因の約3割を占める。これをバックグラウンドとして, 放射線影響による上乘せ分を評価しなければならない。広島・長崎の被ばく者を対象とした疫学調査などより, 固形がんの場合, 自

然がん死に対して100mSvの被ばくにより1%, 1,000mSvの被ばくにより10%の死亡率の増加が見られるとされている。そして100mSv以上に関しては線量とがん死亡率の間に直線的な相関があり、被ばく線量が増えるほどがんによる死亡者が増大することが明らかとなっている(図1a)。また100mSvより低い線量においては、自然がん死との有為差が見出されなかった。しかし疫学調査はその手法上限界があり、100mSvをがん死のしきい値と断言することもできない。そこでICRPは、低線量域におい

ても100mSv以上で見られる比例直線をそのまま外挿することにした。これをLNT(Linear non-threshold)仮説(しきい値なし直線仮説)という(図1b)。このLNT仮説の採用については、不十分であるとする反対意見がある。低線量域については特にバイスタンダー効果やゲノム不安定性による効果分を計上すべきだとする説から、ホルミシス効果を想定して少しの被ばくは健康に良いとする説まで様々な主張が存在する。

また、そもそも科学的に非常に証明が困難な



(図1) 被ばく線量とがん死亡率との相関概要



線量域について議論を続けていること自体が新たな害を誘発していると指摘する者もいる。確かに低線量被ばく対策のために投入されるコストは、低い死亡リスクと見合っていない。チェルノブイリ事故に関する報告では、低線量被ばく市民に生じた健康被害の多くは、肉体への直接的な被ばく影響ではなく、事故後の生活や環境の激変などによる精神的影響に因るところが大きいとしている。福島においても心のケアの問題は今後クローズアップされることであろう。そこで、こうした弊害に対し一定の歯止めをかけるためにも、がん死についてしきい値を認めるべきとの主張がある。例えば、フランスの科学アカデミーと医学アカデミーは、20~40mSvにしきい値があるという「しきい値説」を提唱している。しかしICRPをはじめとする多くの国際関係機関および米国科学アカデミーは、現段階ではしきい値を設定するべきではないという立場を堅持している。今年1月、大阪にて開催された平成23年度保物セミナー（主催団体：日本保健物理学会等）において、先述のICRP主委員会委員丹羽太貫氏による特別講演があった。低線量被ばくの問題に関して、「しきい値を設定するという事は即ち被ばく者とそうでない者との間に明確な区別や差別をもたらすことを意味する。」という旨の人道的な立場からの意見を述べておられた。ICRPの基本的な精神を伺い知ることが出来る言葉である。

## まとめ

我が国における放射線の安全基準値（線量限度値等）は、科学的根拠に基づく国際的な合議を背景に、放射線利用によるリスクを社会が許容できる範囲まで十分に抑制した値となっている。したがってこの基準値は十分に厳しい値であるといえる。しかしその一方で、一般市民の

大半はこのような数値基準ではなく精神的な安心を求めている。リスク学においては、人が安心と感じる値は、公衆衛生的な見地による安全基準値より下方となる。人々は完全な安心を希求し、震災以前の空間線量率への回復を願うが、Cs-137の半減期が約30年であることを考えると、相当長期にわたる除染活動等の対応を覚悟しなければならない。もちろん我が国はICRPの精神にのっとり、除染や汚染地域住民の被ばく線量管理等、可能な限り被ばく線量低減のための努力を続けなければならない。しかしそれと同時に、科学的視点に立った放射線基礎知識教育や、人々が向き合わねばならないリスクの周知など、科学リテラシーやリスクリテラシーの熟成も極めて重要である。これらは学会や教育界が率先して今後注力すべき課題である。

今後30年間を目途に、放射線影響研究所が中心となり原発から30キロ圏内や、計画的避難区域に指定された福島県の飯館村、川俣町など大気中の放射線量が高い地域の全住民15万人を対象とした継続的な健康調査が行われる予定である。調査の主たる目的は健康に対する住民の不安解消とされているが、同時に疫学的な解析にも役立てられるとのことである。この疫学調査の結果は将来、UNSCEARを経てICRPでの新たな勧告へと反映されていくことであろう。現在設定されている基準値は、十分に科学的に妥当なものであるが、それと同時に決して将来も不変な値ではないということも忘れてはならない。

## 参考文献

1. 中谷内一也『リスクのモノサシ 安全・安心生活はありうるか』日本放送出版協会（2006）
2. (社)日本アイソトープ協会 『ICRP

- Publication 103 国際放射線防護委員会の  
2007年勧告』丸善 (2009)
3. 放射線取扱者教育研究会『図解放射性同位  
元素等取扱者必携』オーム社 (2007)
  4. Allison, W., Radiation and reason: the  
impact of science on a culture of fear.,  
Wade Allison Publishing (2009)
  5. Clarke, R.H., Valentin, J., The history  
of ICRP and the evolution of its policies.,  
Ann. ICRP, 39, 75-110 (2009)
  6. Gofman, J.W., Radiation and human  
health, Pantheon (1983)
  7. Nitsk, W.R., 山崎岐訳『X線の発見者  
レントゲンの生涯』考古堂書店 (1989)
  8. ICRP, International recommendations  
on radiological protection. Revised by  
the international commission on radio-  
logical protection and the 6th  
international congress of radiology,  
London, 1950., Br. J. Radiol., 24, 46-53  
(1951)
  9. ICRP, Recommendations of the interna-  
tional commission on radiological pro-  
tection., Br. J. Radiol., (Suppl.) 6 (1955)
  10. ICRP, Reports on amendments during  
1956 to the recommendations of the  
international commission on radiologi-  
cal protection (ICRP)., Acta Radiol., 48,  
493-495 (1957)
  11. ICRP, Recommendations of the inter-  
national commission on radiological  
protection. ICRP Publication 26., Ann.  
ICRP, 1 (1977)
  12. ICRP, The 1990 recommendations of the  
international commission on radiologi-  
cal protection. ICRP Publication 60.,  
Ann. ICRP, 21 (1991)
  13. Preston, D.L., Shimizu, Y., Pierce, D.A.,  
Suyamac, A. and Mabuchi, K., Studies of  
mortality of atomic bomb survivors.  
Report 13: Solid cancer and noncancer  
disease mortality: 1950-1997, Radiat.  
Res., 160, 381-407 (2003)
  14. Preston, D.L., Pierce, D.A., Shimizu, Y.,  
Cullings, H.M., Fujita, S., Funamoto, S.  
and Kodama, K., Effect of recent  
changes in atomic bomb survivor  
dosimetry on cancer mortality risk esti-  
mates., Radiat. Res., 162, 377-89 (2004)
  15. Röntgen, W.C., translated by Stanton,  
A., On a new kind of rays., Nature, 53,  
265-288 (1896)