連載
講座ICRP 新勧告
—新しい放射線防護の考え方と基準第1回 放射線防護の歴史的展開
—ICRP 勧告の変遷を中心として

東京大学 小佐古 敏荘

I. 序

1. 連載講座の初めに

本講座は、「新しい ICRP—新しい放射線防護の考え方と基準」と題した、計8回の連載講座である。国際放射線防護委員会(ICRP)は2007年に17年ぶりの主勧告の改訂を行い、ICRP-Publ.103として出版を行った。これを機に、放射線防護原則の変遷の歴史的経緯を紹介し、その基礎的な考え方を解説するとともに、最新の科学的知見をレビューし新勧告の内容をわかりやすく解説する。

2. 放射線の発見と放射線防護

放射線はレントゲン博士により1895年11月8日、X線の発見の形で登場した。科学者たちは、その物を透視してみることができる特別な能力に着目し、様々な応用、とりわけ医学における利用を試み、X線の利用は爆発的に広まっていった。

レントゲン博士はその功績のゆえに第1回ノーベル物理学賞を受賞している。しかし、ほどなく(1896年1月)グラーベによりX線の利用に伴う放射線障害(手のX線皮膚炎)が確認され、その後も、X線火傷、脱毛、さらに、皮膚がん、白血病等が引き続き見つかり、その防護の必要性が認識された。これらの放射線障害の事例は、英、米、仏等の学会などで取り上げられ、各国で対策を考える国内委員会が設けられた。これらは国際放射線医学会議での検討などを経て、1928年には国際X線・ラジウム防護委員会(IXRP:International X-ray and Radium Protection Committee)が組織された(IXRPは後にICRPと改称される(1950年))。それ以降、IXRPが世界の放射線防護の議論を牽引し、その活動、とりわけ放射線防護に関する勧告は世界中で権威あるものとして認められ、各国の放射線防護の基準として用いられていった。

New ICRP Recommendation—New Radiation Protection Principle and Standards: Historical Progression of Radiation Protection Principle— Following ICRP Recommendation Histories: Toshiso KOSAKO.

(2010年 1月25日 受理)

II. 放射線防護のための基準とその変遷

放射線防護は当初、皮膚等の紅斑の発現を避けることを目安としていた。つまり、人が障害を受けずに長期間にわたって耐えうるX線の線量(耐容線量: Tolerance Dose)という概念を用いていた。それは1ヵ月当たり皮膚紅斑線量の1/100であるとし、それ以下であれば、放射線作業者は安全であるとしていた。

1934年に、IXRPは耐容線量の考え方を採用し、1925年より発足した国際放射線単位・測定委員会(ICRU: International Commission on Radiation Units and Measurement)が1928年に定めた放射線の単位 レントゲン(当時は小文字rを用いた。約10 mGy)を用いて、放射線作業者に対して0.2 r/日とした(これはほぼ600 mGy/年に相当する)。

第二次世界大戦後は、放射線、原子力の利用は、従来からの医療分野のX線、ラジウムだけの利用から、工業利用、加速器、原子炉等を含み多様化していった。これを受け、1950年に、IXRPはその名称を国際放射線防護委員会(ICRP: International Commission on Radiological Protection)と改めた。その際、放射線安全基準の再検討が行われ、耐容線量に代わり最大許容線量の考え方が導入され、放射線作業者に対して空中線量で0.3 r/週とした(rはレントゲンの旧表示)。その後、放射線量の単位として、吸収線量ラド(rad: radiation absorbed dose, 10 mGyに相当)、人体への影響を表す量レム(rem: Roentgen equivalent man, 10 mSvに相当)が導入された。また、初めて公衆の最大許容線量が職業人の1/10と定められた。

1958年には、ICRPは初めての勧告、ICRP Publication 1を刊行し、放射線作業者と公衆に対して放射線安全基準を示した。最大許容線量の規制は次のとおりである。つまり、放射線作業者に対しては、①赤色骨髓、生殖腺に対して最大許容集積線量、 $D = 5 \cdot (N - 18)$, N : 年齢、および、③皮膚 8 rem/13週、③手、足など 20 rem/13週、④その他の臓器 4 rem/13週、⑤集団を対象とした最大許容遺伝線量 5 rem/30年を示し

た。公衆に対しては職業人の1/10とされ、赤色骨髓、生殖腺に対して0.5 rem/年を示した。

1965年には、ICRP Publ.9で、放射線作業員に対して①最大許容集積線量を廃止し線量限度を5 rem/年とし、②皮膚などを30 rem/年、③手、足などを75 rem/年、④その他の臓器を15 rem/年とした。公衆に対しては0.5 rem/年とした。

1977年には、ICRP Publ.26で、放射線作業員(職業人)については、①主として発がん等の確率的影響を避けるものとして実効線量当量限度を定め、50 mSv/年、②主として確定的影響を避けるものとして組織線量当量限度を定め、目の水晶体について150 mSv/年、皮膚その他について500 mSv/年とした。公衆に対しては、①実効線量当量限度として1 mSv/年を、②目の水晶体、皮膚等に対する組織線量当量限度として50 mSv/年とした。

1990年には、ICRP Publ.60で、放射線作業員(職業人)については、①主として発がん等の確率的影響を避けるものとして実効線量限度を定め、5年間の平均が20 mSv/年を超えず、かつ50 mSv/年を超えないこと(Sv: Sievert)、②主として確定的影響を避けるものとして等価線量限度を定め、目の水晶体について150 mSv/年、皮膚、手・足について500 mSv/年、妊婦の腹部表面について2 mSv/妊娠期間とした。公衆に対しては、①実効線量限度として1 mSv/年を、②目の水晶体について15 mSv/年、皮膚に対して50 mSv/年の等価線量限度とした。

2007年には、ICRP Publ.103で、放射線作業員(職業人)については、①主として発がん等の確率的影響を避けるものとして実効線量限度を定め、20 mSv/5年平均で50 mSv/年を超えないこと、妊婦の胎児について1 mSv/妊娠期間、②主として確定的影響を避けるものとして等価線量限度を定め、目の水晶体について150 mSv/年、皮膚、手・足について500 mSv/年とした。公衆に対しては、①実効線量限度として1 mSv/年を、②目の水晶体について15 mSv/年、皮膚に対して50 mSv/年の等価線量限度とした。

Ⅲ. 国際放射線防護委員会(ICRP)と 国際原子力機関(IAEA)

本章では、放射線防護基準の策定について重要な役割を持つ2つの機関について概説する。

国際放射線防護委員会(ICRP)は、その活動を1928年(昭和3年)に開始した任意団体で、「公共の福祉に供することをめざし、科学としての放射線防護を進展させること」を目的として設立された。ICRPは、現在も放射線防護に関連する学者の任意団体としてその活動を維持しており、約70名の委員を有している。委員は学者としての資質に基づきICRP自身が選任し、委員はその良識に基づき意見を述べ、活動を行うこととなっている。特

定の政府や、特定の企業等に縛られることなく検討が行われ、放射線防護に関する勧告を出してきている。ICRPの勧告は中立性が確保され、各国の放射線防護の基礎としてその勧告は尊重され、法令等に取り入れられている。

ICRPはその活動をいくつかの委員会で分担して行っている。節目ごとに主な勧告を出し、全体のハーモニゼーションをとる主委員会、放射線生物影響を検討する第1委員会、外部被ばく、内部被ばくの換算係数等の検討等の誘導限度を検討する第2委員会、医療分野の検討を行う第3委員会、委員会の行う勧告の現場への適用を検討する第4委員会、環境放射線防護を検討する第5委員会よりなる。ICRP勧告はこれらの委員会に対応してなされるが、節目ごとの主委員会の勧告が全体の防護体系を語り、それを補完、展開した形で勧告がなされる。現在のICRP出版物の形をとるようになって出された主委員会の勧告は、ICRP Publication 1 (1958)、Publ.6 (1962)、Publ.9 (1965)、Publ.26 (1977)、Publ.60 (1990)、Publ.103 (2007)である。放射線防護が、広島・長崎の原子爆弾の被ばく生存者の疫学データを本格的に取り込んで、体系化を確立していくのはPubl.26 (1977)からである。

他方、国際原子力機関(IAEA)は、各国の代表により構成されており、その意味でICRPとは性格を異にする。つまり、IAEAは国連(UN)の下にあり、その決定は基本的には加盟各国の合意に基づくため、いくつかの国の反対があれば、その表現は変えられる可能性があるということである。IAEAは1957年設立の国連の機関で、原子力の推進、安全、核不拡散等を進めるが、安全・セキュリティ部門の活動として、「放射線・原子力分野における国際整合性の取れた安全基準文書体系を供給すること」も行っている。

原子力安全分野では、IAEAは安全基準の体系化を図ってきており、原子炉安全基準委員会(NUSSC)、輸送安全基準委員会(TRANSSC)、放射線安全基準委員会(RASSC)、放射性廃棄物安全基準委員会(WASSC)ごとに安全基準を策定し、全体としても体系化が図られている。「放射線防護に関連する原則」、これは各分野、とりわけ後2者においては、安全の原則としてICRPの勧告を持ってきている。IAEAではこれを展開した基準類になっている点には留意の必要があろう。IAEA-RASSCにおける放射線防護原則はICRP勧告の概念を使用し、加盟国間で共通して使用できる国際基準の策定を目指している。放射線安全基準(RASSC)分野においては、ICRP Publ.60、1990年の勧告の際は、その最上位の基準として、「放射線防護の国際安全基準(BSS: Basic Safety Standards)」がWHO、ILO、FAO、OECD/NEAなどの国際機関との共同文書として策定された。これはIAEAのSS(Safety Series)-115として、独立の文書として刊行され広く用いられた。ICRP Publ.103、2007年の勧告に

対応しては、放射線安全基準(RASSC)の要件(Requirements)文書として、基準体系の中の一つの文書として策定されることになっており、現在その作業が進行中である。

Ⅳ. 放射線防護の体系化へむけて

1970年代に入り、本格的に広島・長崎の原爆被爆生存者の疫学データが活用できるようになり、放射線の単位系も国際SI単位系に統一され、吸収線量はグレイ(Gy)で、人への放射線リスクは線量当量(後に、実効線量)シーベルト(Sv)で表されるようになる。放射線防護の基礎も、確定的な影響の防止から長期の発がん等の確率的な影響の防止の視点が強調されるようになっていった。この一連の流れは、ICRP Publ.26(1977), Publ.60(1990), Publ.103(2007)と続き、放射線防護の体系化が図られていく。本章では、放射線防護の体系化の意義について述べ、その後、近年の防護の体系化に重要な意味を持つPubl.60, Publ.103の位置づけを簡単に述べる。

1. 放射線防護の体系化の意義

放射線防護の体系は人の疫学データにより組み上げられている。このことは一般にはよく知られていない点であり、日本人の広島・長崎の約17万人になる被爆生存者の貴重な疫学データが、放射線防護のための骨格を構築しているわけである。我々人類は環境リスクを与える人工物質を万を超えて作ってきたといわれているが、そのどれひとつとして十万人を超える人の疫学データ(それも、かなり完全な形で)を基礎として安全基準を策定したものはないし、これからのないであろう。被爆者の苦しみの中での協力があってのもので、貴いことである。これらの情報は、日米の合同機関である放射線影響研究所(RERF、従前は米国の機関、原爆障害調査委員会(ABCC)と呼ばれていた)で、放射線リスクを表現する疫学データとしてまとめられ、原子放射線の影響に関する国連科学委員会(UNSCEAR)や米国、電離放射線の生物学的影響(BEIR)委員会などでヒトへの影響として検討され、ICRPで放射線防護の原則としてまとめられていく。

2. ICRP Publ.60, 1990年勧告による放射線防護の体系化

1980年代後半より指摘されてきた、DS 86線量評価システムによる広島・長崎の原爆線量再評価、疫学データの蓄積、がん誘発の予測モデルの変更等によるリスク係数の変更等により、ICRPはPubl.60(1990)の主勧告を出版した。本勧告においては、緒言に続く第2章で放射線防護に用いられる諸量を付属書Aとともに、きちんと定義した。放射線荷重係数と組織平均の吸収線量との積により等価線量を定めた。放射線荷重係数について

は、特に中性子についてエネルギー依存の形で与えた。人の体全体のリスクは組織ごとの等価線量に組織荷重係数を掛けることにより実効線量の形で与えた。

放射線防護の生物学的側面(第3章)においては、付属書Bとともに、電離放射線の生物影響が、そのメカニズムにも論及し議論されている。より明確な定義の下に「損害」を論じ、確定的、確率的影響をまとめている。また子孫における確率的影響や、出生前被ばくの影響も考察している。その結果、総損害はPubl.26よりも大きくなっているが、新しく線量・線量率効果係数(DDREF)を持ち込み、この損害が高くなる効果は緩和されている。リスクや将来予測モデル(相乗モデルを評価に持ち込んでいる)については付属書Cに詳細に述べられているので、リスクの定量評価のみならず、職業人、公衆の線量限度を選定するための多属性分析についても知ることができる。(Publ.26では他の職業等のリスクの比較が議論の中心であったが、Publ.60では多面的な検討の上でこれを決めている)

放射線防護の概念的な枠組み(第4章)として、放射線防護の目的を「放射線被ばくの原因となる有益な行為を不当に制限することなく、人を防護するための適切な標準を与えることである」とし、「放射線防護の基本的な枠組みには、必然的に、科学的な判断だけでなく社会的な判断も含めなければならない」としている。ここに「線量制限体系:Publ.26」から「放射線防護体系:Publ.60」へと転換を遂げたのである。放射線防護の原則として、①行為の正当化、②防護の最適化、③個人線量の限度があげられ、全体の統一的表現を試みている。

行為に対する防護体系(第5章)として、被ばくの種別を①職業被ばく、②医療被ばく、③公衆被ばくに分け、おのおのについての防護体系の適用性を検証している。職業被ばくについては多属性アプローチを試み、年20mSvの数値を導出している。医療被ばくについては、正当化、最適化、線量限度、妊娠中の女性の医療被ばくにつき論じている。公衆被ばくについては、その限度設定についての詳細な検討が行われている。潜在被ばくにおいては、個人のリスク限度とリスク拘束値が必要になるが関連する勧告(Publ.64, Publ.76)を参考にすべきであろう。防護が、線源関連の評価に基づくものか、個人関連の評価に基づくものかの認識も、また大切である。

Publ.26においては、介入(第6章)の議論は未だ事故後の介入が中心であった。Publ.60においては、行為(線量を増やす行動)に対抗する概念として介入(線量を減ずる行動)がはっきりと定義されはしたが、とりわけ公衆の介入についての詳細はPubl.82(長期被ばく状況における公衆の防護)を待つ必要があった。介入は行為に比べると少し理解しにくい概念であるが、日常生活ではときどき使われる概念である。これを十分に理解することが重要である。

委員会の勧告の履行(第7章)においては、作業場所については、管理区域設定の自由度、作業条件の区分(A区分、B区分)の廃止、緊急時計画、免除と除外等について考察が加えられている。

ICRP Publ.60(1990)の勧告の骨子は、以下のとおりである。

1. 緒言
 2. 放射線防護に用いられる諸量(等価線量など)
 3. 放射線防護の生物学的側面
 4. 放射線防護の概念的な枠組み(放射線防護体系、行為と介入など)
 5. 提案された行為と継続している行為に対する防護体系(職業被ばく、医療被ばく、公衆被ばく、潜在被ばくなど)
 6. 介入における防護体系(事故及び緊急時、救済措置など)
 7. 委員会勧告の履行(緊急時計画、除外と免除など)
- 勧告の要約

付属書 A. 放射線防護に用いられる諸量

付属書 B. 電離放射線の生物影響

付属書 C. 放射線の影響の重要性を判断するための基礎

付属書 D. 委員会刊行物のリスト

3. ICRP Publ.103, 2007年勧告による放射線防護の体系化

放射線防護の体系は、1977年勧告(Publ.26)、1990年勧告(Publ.60)においてその完成度を高めてきているが、2007年勧告はこれらを発展させたものであり、本質的には1990年勧告を引いている。この新勧告に従って概要を以下に述べる。

まず、勧告の目的と範囲(第2章)であるが、「線源に関連する原則」は、すべての状況に適用するとしている。つまり、従前は含まれることのなかった、自然起源の放射性物質による被ばくも含めている。それらすべてに、「正当化」、「防護の最適化」の原則を適用しようとするわけである。また、「個人に関連する原則」について被ばく状況を、「計画被ばく状況」、「緊急時の被ばく状況」、「現存する被ばく状況」に分け、全体を「線量拘束値」による「バンド表示」を試みている。それはそれでいながら、「線量限度」は依然として堅持するとしている。これらの関心領域を外れるもの、いわゆる「トリビアル」な、取るに足りないもの、あるいは「コントローラビリティ」、つまり制御性のないものは、「除外と免除」の概念により、明確に防護の体系からはずしている。

具体的に勧告の検討をしてみよう。まず、生物学的側面(第3章)であるが、従前からの「確定的影響」をより正確に、「生体組織反応」ということを提言しているが、前述も併用するとしている。また、「発ガンのリスク」と「遺

伝的リスク」を同じ尺度で扱っている点について議論されたが、これも従前どおりとしている。新勧告においては、損失を補正した名目リスク係数を、全人口に対して $6.0 \times 10^{-2} \text{Sv}^{-1}$ (7.3×10^{-2} : Publ.60)、成人に対して $4.0 \times 10^{-2} \text{Sv}^{-1}$ (5.6×10^{-2} : Publ.60) としている。胎児被ばくについては、すでに Publ.60 でも約 100~200 mSv のしきい値を指摘し、遺伝的感受性は、Publ.79 で論じている。発ガン以外の発病については引き続きの調査等の研究が必要であるが、Sv レベルのしきい値の検討もされた。

防護量(第4章)についても、放射線加重係数のうち中性子線のそれを変更した。このことはすでに、Publ.92 にて公表されている。これらは、陽子の放射線加重係数を 5 から 2 に変更していることに関連している。組織加重係数も、乳房を 0.05 から 0.12 へ、生殖腺を 0.20 から 0.08 へと大きく変えている。組織等価線量、実効線量、計測量は従前の考え方を引き継いでいる。職業被ばく、公衆被ばく、医療被ばくも同様である。集団線量については線量ごとの多次元の検討を要求しており、従前のようなシングル・バリューでの使用に警鐘を鳴らしている。

人への放射線防護の体系(第5章)では、線源を自然起源のものを含め広く定義している。「被ばくの状況」を、計画被ばく、緊急時被ばく、現存する被ばくに分類、従前の「行為と介入」の介入側が分離して表現されている。「被ばくの種類」は前述のように、職業被ばく、公衆被ばく、医療被ばくに分けているが、「被ばくする個人」に着目、作業員(妊娠時については配慮)、公衆、患者・介助者・介護者について、より丁寧な防護体系としている。放射線防護のレベルとして、計画被ばく状況下で管理された線源に対して線量限度を、すべての被ばく状況下で単一線源に対して線量拘束値と参考レベルを求めている。「放射線防護の原則」として、①すべての被ばく状況下で線源に対する原則として、「正当化」、「防護の最適化」を求め、②計画被ばく状況下で個人に関連する原則として、「線量限度」を適用するとしている。

勧告の履行(第6章)は、計画被ばく状況、緊急時被ばく状況、現存する被ばく状況に分けて議論、緊急時および現存する被ばく状況下での胎児の防護の配慮も必要になる。現存する被ばく状況については、1990年勧告以前は、鉱業のラドン以外は系統的に扱われることのなかった、自然界からの被ばく(ラドン、自然起源の放射性物質(NORM)、航空機乗務員の宇宙線、宇宙飛行士の宇宙線)などへこれを適用、放射線安全の考え方を展開している。

患者の医療被ばく(第7章)についても、「患者の医療被ばくの正当化」、「患者の線量の防護の最適化」について従前以上に論及があり、具体的に、「医療被ばくにおける実効線量」、「妊娠時の対応」、「ビーム治療及びブランク治療時の事故回避」、「患者の退出」、「医学研究時の志願者」なども議論され記述がなされた。

環境の防護(第8章)については、環境防護の目的に沿うよう、人以外の動・植物についても、参考動物と参考植物を定め、その防護体系を今後、策定するとしている。これらはすでに、Publ.91にて出版されている。

ICRP 2007年の新勧告は1990年勧告と異なり、基礎となる個々の勧告をまとめる形で、主勧告が位置づけられている。1990年勧告は大部で(力作であり、全体の体系を示している点で優れている)まとまっているが、新しい主勧告はわかりやすくすっきりと書くべきであるとの議論がICRPであり、前述の形をとった。したがって、ICRP 新勧告を理解するには関連する勧告もきちんと参照することが肝要である。

ICRP Publ.103(2007)の勧告の骨子は、以下のとおりである。

1. 緒言
 2. 勧告の目的と適用範囲
 3. 放射線防護の生物学的側面
 4. 放射線防護に用いられる諸量
 5. 人の放射線防護体系
 6. 委員会勧告の履行
 7. 患者、介助者と介護者、生物医学研究志願者の医療被ばく
 8. 環境の防護
- 付属書 A. 電離放射線の健康リスクに関する生物学的及び疫学的情報
- 付属書 B. 放射線防護に用いられる諸量
- 全参考文献

V. 終わりに

ICRP を中心とする放射線防護基準の体系化は、医療分野での経験、放射線生物による基礎実験に加え、広島・長崎のデータ、環境のデータ、原子力発電所に関連するデータ、医療のデータ、等々を考察に加え、その応用とフィードバックにより構築されてきているが、それはかなりの完成を見てきている。関心は、極めて線量の高い

もの、極めて低いもの、環境に関連するもの、自然界に存在しているもの、化学リスクなどの異分野、国際間の整合性、などに向かっている。また、セキュリティやステークホルダー・インボルブメント(利害関係者の意思決定への関与)についても大切な問題として触れられている。

— 参考資料 —

- 1) ICRP Publication 1, Pergamon Press, Oxford, UK, (1958).
- 2) ICRP Publication 6, Pergamon Press, Oxford, UK, (1962).
- 3) ICRP Publication 9, Pergamon Press, Oxford, UK, (1965).
- 4) ICRP Publication 26, Pergamon Press, Oxford, UK, (1977).
- 5) ICRP Publication 60, Pergamon Press, Oxford, UK, (1990).
- 6) ICRP Publication 103, Pergamon Press, Oxford, UK, (2007).
- 7) <http://www.icrp.org>
- 8) IAEA, *International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources*, Safety Series 115, Vienna, Austria, (1996)
- 9) <http://www.iaea.org>

著者紹介

小佐古敏荘(こさこ・としろう)

東京大学大学院工学系研究科
(専門分野/関心分野)放射線安全/広島・長崎の原爆線量評価、放射線防護の体系化・標準化、環境放射線安全、放射性廃棄物処分の安全基準、など。放射線遮蔽/原子力施設の放射線遮蔽、高エネルギー加速器施設の放射線遮蔽、スカイシャイン問題、など。放射線計測/中性子スペクトロスコピー、個人・環境の線量計測、など。