

放射線防護の考え方についての最近の動き

加藤正平*

放射線防護の考え方について、X線発見から最近までの歴史の変遷の概略を紹介し、最近 ICRP 委員長クラーク氏の新しい勧告案と、OECD/NEA の放射線防護システムの開発状況について述べている。

Keywords: 放射線防護体系、放射線防護の概念、国際放射線防護委員会、経済開発協力機構・原子力エネルギー機関、最近の動向

Brief history of a development of radiation protection system from discover of X-ray to recently is explained. The background and the outline of the new radiation protection system proposed by Professor Clarke, Chairman of ICRP and the development of the system by OECD/NEA are introduced.

Keywords: radiation protection system, ICRP, OECD/NEA, history

1 はじめに

1895年、X線発見以来、放射線防護の考え方は放射線・放射能の利用形態、放射線測定技術、放射線の人に対する影響の知見に応じて変遷し、発展し、現在に及んでいる。最近、現行の放射線防護システムでは解決困難な面もでてきており、ICRP委員長のClarke氏が新しい放射線防護の考え方を提案するなどの動きが出ている。ここでは、これまでの放射線防護の考え方の変遷を紹介し、現在の問題点、議論について紹介する。

2 放射線防護の考え方の変遷

2.1 初期の放射線防護の考え方[1~5]

1895年レントゲンによりX線が発見され、X線発生装置は、急速に世界中にひろまった。当時のX線発生装置は安全上の設計も悪く、またX線の性質に対する知識も無かったことから、X線発見の翌年には早くも放射線障害が報告されている。この時期は放射線源の低い透過力のX線か、ラジウムの場合の近距離からの照射であり、観測された有害な症状は皮膚障害であった。急性皮膚障害、慢性皮膚障害および皮膚がんが問題となったが、皮膚がんは閾値があるものと考えられていた。一方、内部被ばくについては、1896年Becquerelによる放射能発見、1898年Curie夫妻によるポロニウムとラジウムが発見され、1899年にはラドン、トロンの存在が知られた。1910年代にはラドン溶液が健康によいとして飲用として市販され始めた。1915年~1930年医療用として静脈注射溶液が使用され始めた。1908年ころダイアルペイントに利用され始め、特に、第1次大戦の軍事用に大量に使われた。その結果、ラジウムダイアルペインターの顎骨の骨髄炎、顎壊死、体内への残留、骨沈着が指摘している。1926年、再生型白血球減少、

1929年、骨肉腫が報告された。1928年トリウムを含むX線造影剤トトロストの注射が始まった。1947年、患者の肝の血管内皮腫が報告された。

放射線の人体への影響の知識が集積されるにしたがって、放射線に対する防護の必要性が認識され始めた。放射線防護の対策として、照射時間を制限する、距離をおく、遮蔽を設けるといった、放射線の安全取り扱い手法の提案が、個々の研究者によって出され始めた。これは今で言う放射線取り扱いの3原則である。

放射線防護で最初に効果的な対策を講じたのはドイツで、X線取り扱いの免許制であった。また、1905年ドイツのレントゲン学会は放射線防護を目的として体系的に対策を示した「注意文書(Merkblatt)」を発表した。内容は放射線安全取り扱いの方法を定めたものであった。英国レントゲン学会、米国レントゲン学会も同様の内容の勧告を出した。

線量効果関係の定量的なものでもっとも初期のものは皮膚の紅斑が発生する被ばく量(紅斑線量; Skin erythema dose (SED))であった。1925年Mutschellerが1ヶ月100分の1の紅斑線量は受容できるという耐容線量の概念を提案した。耐容線量の重要な点は、物理的放射線測定と防護の基準を関連させたことよりは、むしろ生物学的単位と物理学的単位を関連つけた点であり、最初の物理的防護基準が耐容線量測定にむすびつけられ、現在までの作業者の放射線防護の体系に影響を与えたことである。

第1次世界大戦以前はすべての放射線影響は確定的影響であり、閾値を超えないようにするということが防護上重要であった。

1928年第2回国際放射線医学会において、国際X線ラジウム防護委員会(International X-ray and Radium Protection Committee: ICRP) (国際放射線防護委員会(ICRP)の前身)が設立された。1931年国際連盟は放射線のリスクと放射線防護に関する調査を実施するための委員会(「原子放射線の影響に関する国連科学委員会: UNSCEAR」の前身)を発足させた。

1928年の国際X線ラジウム防護委員会の勧告は、次ぎ

Current situation of development of a radiation protection system, by Shohei Kato(shkato@popsvr.tokai.jaeri.go.jp)

本稿は日本原子力学会バックエンド部会 第17回「バックエンド夏期セミナー」における講演内容に加筆したものである。

* 日本原子力研究所 保険物理部次長・放射線リスク研究室 Japan Atomic Energy Research Institute 〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4

のとおり。

- 勧告における防護の対象は、外表面組織の障害と内臓の変調と血液の変化の防止
 - 線量限度を示さず、作業時間と空き時間を勧告
 - X線装置の防護壁の設置と安全取り扱い法
 - ラジウムに対する遮蔽と遠隔操作
- さらに、1934年には、国際X線ラジウム防護委員会の次ぎの勧告を出した。
- 満足できる作業条件のもとで通常の健康の人は1日当たり0.2 rのX線被ばくに耐えることができるとし、耐容線量として0.2 r/dayを勧告した。

1日7時間連続照射として、これは 10^{-5} r/secに対応する。この勧告値は基本的にはドイツの定めていた勧告 10^{-5} r/secに基礎を置くものであった。対象は放射線医と婦人が大部分をしめる補助者に対する基準であるが、性別を考慮していなかった。

1936年U.S.FDAは、化粧クリーム、避妊薬などラジウムを添加した消費財が販売されており、その販売継続の問題を抱えていたことから、消費財中のラジウムの許容量の定量的根拠の確立を急いだ。しかし、当時は許容身体負荷量を設定するための定量的な研究はされていなかった。国立基準局は、基準設定の委員会を設置して取り組んだ。調査の結果、残留負荷量が $0.5 \mu\text{Ci}$ 以下の7人については障害がなく、 $1.2-23 \mu\text{Ci}$ の20人については障害が見られた。これらのケースをもとに、「耐容レベルは自分の妻または娘が対象となってもまったく安心できる残留レベル」として $0.1 \mu\text{Ci}$ が提案され、採択された。ヨーロッパの鉱山労働者のラドン・トロンの濃度と肺がんの発生について検討し、 10^9Ci/l の濃度で長期にわたる吸入によって肺ガンが高い頻度で発生することを根拠に、濃度はその100分の1の 10^{11}Ci/l にすべきとした。

マンハッタン計画 (Manhattan Engineer District) と米国原子力委員会 (AEC) で、健康影響と環境について研究が開始され、内部被ばくの基準が検討され、後に、1959年ICRP Publ. 2「体内放射線の許容線量」として公表された[6]。

2.2 確定的影響の防止から確率的影響の防止の考え方へ

第2次大戦後直後から放射線防護の国際的な取り組みが始まった。国際X線ラジウム防護委員会 (IXRPC) は1950年国際放射線防護委員会 (ICRP) に名称変更し現在の組織形態をとった。米国では1929年X線ラジウム防護諮問委員会が国立基準局と関連機関で設立され活動をおこなってきたが、1946年NCRPに改組された。1955年国連は、核実験による環境汚染、原子力施設からの放射性物質の放出、医学・工業におけるX線と放射性物質の利用の増大について問題を認識し、「原子放射線の影響」という議題を採択し、「原子放射線の影響に関する国連科学委員会 (UNSCEAR)」を設置した。

これまでは、防護基準として耐容線量という概念で被ばくを管理してきたが、耐容線量という概念には、線量がある一つの値 - 限界値 - 以下である場合に障害がない、という仮定を含んでいた。耐容線量は何かが起こされたとしても、それが有害であるが耐え得る影響であると期待されるような線量をあらわす。したがって、適切でないということから、耐容線量から許容線量に変更した。許容線量という概念は、「現在得られている知識に照らして生涯のいずれの時期にも感知され得る程度の身体障害をおこさないと思われる電離放射線の量」と定義された。

ICRPは1950年、放射線影響は非可逆的に蓄積するものであるという知見があるにもかかわらず、判断の基本とすべき事実の不十分さの観点から、生活における他の危険と比べて小さいリスクを含むものであるとし、すべての電離放射線の被ばくは可能な最低のレベルに押さえる努力をすべきとした。全身線量について、最大許容線量はX線、 γ 線について 0.3r/w とした。1950年の重要な点は、考え方が明確に示された点である。

放射線防護は次第に、確率的影響に関心をむけてきたが、定量的なリスクのデータが不足していた。

冷戦期間の1950-1956年は米国、英国、ソ連が最も頻繁に大気圏内核実験を行った時期で、遺伝的影響に対する一般公衆の懸念が増した。1952年主に国際合同放射線生物学委員会で遺伝的影響について討論するために組織された会議が開催され、遺伝的観点からの最大許容線量について議論されはじめた。

1950年以来議論されてきた考え方[7]を総括した形で1958年ICRP勧告 (ICRP Publ. 1) が出された[8][9]。要点は次のとおり。

- 防護目的：身体的障害を防止し、または最小にとめるとともに、その集団の遺伝的素質の劣化を最小にすること
- 決定組織 (臓器)：造血組織、生殖腺、および水晶体
- 個人に対する許容線量：現在の知識に照らして重い身体的障害または遺伝的障害の起こる確率が無視できる線量である。全集団に対する生殖腺の許容線量は、主として遺伝的影響の考察により制限されるとした。
- 職業人：最大許容線量：年齢分配の式が提案され、 $D = 5(N-18) \text{ rem}$, 13週間で3rem
- 公衆構成員：年間 0.5rem , 濃度は最大許容濃度の10分の1
- 遺伝線量に対する限度：医療行為ならびに自然バックグラウンドを除いて、遺伝線量5rem

ICRP 1965年勧告 (ICRP Publ. 9) [10]において、閾値無しの線量効果仮説に基づく防護の考え方、すなわち、「閾値無し及び加算性の仮定は正しくないかもしれないが、リスクを過小評価することはない」として、確定的影

響の防止の考え方から、確率的影響からの防護という概念を構築した。

- 放射線従事者:「最大許容線量」:生殖腺と赤色骨髄(均等照射では全身) 5rem/y, 皮膚, 甲状腺, 骨 30rem/y, 手, 足, くるぶし 75rem/y, すべての他の臓器 15rem/y.
- 公衆の構成員の計画された被ばくについては「線量限度」という用語を, 制御されていない線源については「対策レベル」の用語を使用した. 公衆については最大許容線量の 1/10.
- 集団の被ばくの制限について, 危険と利益の定量的評価の必要性を提案し, 防護の最適化の原理を示した. 後の費用効果解析, 集団線量の制限の議論へ発展した.

2.3 リスクの概念による防護の考え方

ICRP は 1977 年勧告 (Publ. 26) [11]において, リスクの概念の導入した. 放射線防護の目的は, 非確率的な有害な影響を防止し, 確率的影響の確率を容認できると思われるレベルにまで制限することであるとして防護体系を構築した. 要点は次のとおり.

- 損害という概念を導入.
- 晩発性確率的影響と結びつく線量として線量当量を導入.
- 線量限度は放射線と関係のない産業における事故死の率との比較により決定.
- 体内被ばくに関する補助限度として年摂取限度(ALI)の導入.
- 3 原則: 行為の正当化, 防護の最適化, 個人の線量限度とした.
- 最大許容線量を線量限度で入れ替えた.
- 公衆については 5mSv をとしたが, 生涯の平均は 1mSv とした.

さらに, ICRP は 1990 年勧告[12]においてリスクベースの防護体系を発展させた. すなわち, 被ばくに関連した活動を, 被ばくを増大させる活動としての「行為」と, 被ばくを減少させる活動としての「介入」とに大きく分類し, それぞれ防護の考え方を示した.

- 防護の最適化においては, 個人線量分布, 被ばく対象人数をその社会的経済的要因を考慮してできるだけ低く設定し, 個人の線量の上限值として線量拘束値を与えた.
- 線量について, 組織・臓器全体が関心のあることから, ICRP 1990 年勧告では, 臓器全体にわたって平均した線質を荷重するため, 放射線荷重係数を吸収線量に乗じた等価線量を使用することとした.
- 組織荷重係数を等価線量に乗じることにより得られる実効線量を用いることとした.

- 線量限度の設定においては, 1990 年勧告では, 被ばくによる影響をデトリメントとして, その属性は死亡の生涯確率, 死亡による時間損失, 平均余命の損失として考慮した.
- デトリメントの容認性について検討し線量限度は受け入れることができないレベルの下限值であると定義した. 生涯線量としては 1 Sv であるが, 実用的には 5 年間で 100 mSv で管理するという弾力性を備えた基準とした.
- 規制上の管理からの除外と免除について考えを示した.

3 現行 1990 年勧告の放射線防護体系の見なおしの動き

現在の ICRP の放射線防護体系は, 防護の対象を行為と介入に分け, 対象を職業, 医療, 公衆にわけ, 正当化, 最適化, 限度の防護の考え方で構築されている.

ICRP は放射線防護体系の基本に閾値無し直線仮説を採用している. 最近では 50mSv までは線量影響関係が統計的に有意に認められるとしているものの, 広島・長崎被爆者等の疫学データからは統計学的に限界がある. 一方, 汚染された土地の除染あるいは避難の問題など, 汚染された材料の再利用に関してどこまで除染すべきかについて, 除染レベルにより除染費用が莫大なものになる. 同様に廃棄物管理の基準により経済的な負担が莫大になる. そのため, 低線量域における基準の意味付けがクリティカルになってきている. また, 様々な被ばくについて, 特に, 潜在被ばく, 遷延被ばく, ラドン, 宇宙線, NORM などに対する放射線防護基準の考え方はいかにあるべきかが大きな課題になってきている.

さらに, 現在のリスクベースの勧告の難解さが公衆の理解を阻害していると考えられている. また, 放射線防護対策に係る意志決定における利害関係者 (stakeholder) の参加のありかた, といった課題の解決が重要となってきた.

3.1 ICRP 委員長 Clarke 氏の Controllable dose の概念の提案 [13][14]

このような背景のもと, 1999 年 ICRP 委員長の Clarke 氏が“Controllable Dose”の提案し, 現行の ICRP 勧告にかわる放射線防護体系を提案して大きな議論となった. 最初に私案として出された案はこれまでの考え方を大きく変えるものであった. それは, 行為と介入の分け方を放棄, 低線量閾値論争を避ける, 集団線量の概念を放棄, 対象者のカテゴリーの一本化, 限度の概念を放棄, 単一の線量管理体系化, というものであった. その概要は次のとおりである.

a) 管理対象とする線源または被ばく

被ばくまたは線源の制御可能性が重要とし, 管理可能な線源を次のように定義している. 線源を Optional Source (選

択できる)と Unavoidable Source (線源の存在の選択ではなく、被ばく経路が制御可能か)に分ける。線源またはそれによる被ばくが制御できない場合、管理対象から除外する。

b) 功利ベースから公平ベースの防護の原則への変更

これまでの考え方は「最大多数の最大幸福」という功利主義的な考えにもとづくシステムであった。これにかわって、公平ベースのシステム(全ての人に対して平等な扱いをするという原則)が望ましいとする考え方を中心におくというものである。集団の管理から個人の管理へと変更するものである。

c) スケールをバックグラウンドベースに変更

リスクは公衆に理解されていないという反省から、理解されやすいバックグラウンドをベースとした線量のスケールを提案した。

d) 防護対策レベルの提案

提案された防護体系は、個人の線量を出発点としており、この個人の線量は防護対策レベルに結びつけられている。これらの防護対策レベルは個人の線量レベルであり、このレベルを超える場合には線量を下げのために実効可能な全ての手段を取る必要があることが提案されている。

防護対策レベルについての、最近の提案を Table 1 に示す。

e) 防護の最適化

防護対策レベルという概念を導入するにともない、これまでの ALARA から ALARP(As Low As Reasonably Practicable)という概念を導入した。これは防護の最適化は防護対策レベルを適用し、その線量以下で合理的に達成可能な限り低くすべきという考え方である。ALARP はもっとも影響を受ける個人を含める利害関係者参加プロセスが最も重要なアプローチとしている。

f) その他

除外(制御できない被ばく)、免除(資格からの免除)、認定(物質の放出)に分類し、クリアランスの概念を無くすること、放射線荷重係数の単純化などを提案している。

これまでの ICRP 勧告の策定経緯は公開されてこなかったが、Clarke 委員長は、最初から提案を雑誌に公開し、

広く意見を求めた。この姿勢は関係者に歓迎された。Clarke 氏は意見を取り入れながら作業をすすめているためか、その後公表される勧告の案はその度に変化してきている。提案は多くの検討すべき問題点を含んでおり、今後とも提案について注意を払い、積極的に意見を述べていくことが大事であると考えられる。

3.2 OECD/NEA の動き[15]

国際機関である、経済開発機構原子力エネルギー機関(OECD/NEA)の放射線防護及び公衆の健康に関する委員会(CRPPH)は放射線防護に関する活動を続けてきている。1999年 ICRP 委員長 Clarke 氏が Controllable dose と題した論文発表を契機に、NEA は、現行の ICRP 防護システムに関してレビューをおこない、次の点を指摘した。

(a)明快さと一貫性:用語の複雑さはコミュニケーションの伝達と、公衆の防護の勧告の支障となっている。行為と介入は混乱の原因になっている。公衆、作業員、患者の一貫性を保つべき。

(b)正当化:大きな意味での正当化(例:原子力の利用)と、ケース毎(例:医療診断、治療)の個別の正当化がある。後者が重要になってきている。

(c)最適化:最適化はほぼ全ての放射線防護プロセスにおける基本的なステップであるが、現実への適用は困難で、いろいろな場合についての最適化の例示を示す必要がある。ひとつの集団から他の集団へのリスクの移転についての最適化、他の非放射線のリスクとの最適化を示すべき。

(d)集団線量:閾値なし直線仮説による積算についての疑問、不確かさによる信頼性の問題があり、集団線量の限定利用の実用的な指針が必要である。

(e)線量限度:従事者と公衆の限度の違いを明確に説明すべき。勧告の透明性が重要、ステークホルダーの放射線防護体系に対する信頼を育てることも根本的課題である。

(f)triviality:放射線防護において、triviality の概念の有用性や必要性の必要性。一貫性がある透明性のある論理が必要である。

(g)公衆の防護:低線量影響の科学的側面と不確かさの理解、不確かさゆえの過剰防護、社会的経済的を考慮した政策的意志決定のあり方が課題である。LNT は正確あるいは不正確という科学的な道具ではなく、規制上の道具である。

(h)環境の防護:ICRP は環境中の他の種の防護を勧告しているが、勧告の根拠あるいは勧告しないことの根拠について議論すべき。

現在、NEA ではこのレビューを踏み台として、防護システムのあり方の検討をすすめている。

放射線防護に関する考え方は、そのときの科学的知見と社会的背景をもとに、変化してきている。現在、1990年に勧告された現行の防護体系も、社会的背景等の変化でいろいろな課題が出てきている。これらの解決のため ICRP

Table 1 Doses for radiation protection action or protection action levels[14]

		DPA
人について	作業員 公衆の避難 ラドン	~20 mSv/y
放出について	単一線源からの 線量の増加分	<300 μ Sv/y
免除	規制または免許	<10 μ Sv/y

防護対策のための線量(DPA): 健康の防護のための最小のレベル

で新しい放射線防護体系が検討されているところであるが、関心をもって積極的に意見を述べていくことが重要であろう。

参考文献

- [1] Taylor, L.: Organization for Radiation Protection: The operations of the ICRP and NCRP 1298-1974. DOE/TIC-10124 (1979).
- [2] Lindell; B.: A brief history of ICRP. *Radiological Protection Bulletin*, No.209-211 (1999).
- [3] Stannard, J.N.: Radioactivity and health a history. DOE/RL/01830-T59 (1988).
- [4] 鶴野之男: 原典 放射線障害 1896-1944 年の資料から, 東大出版会, 東京(1988).
- [5] Evans R.D.: Radium in man. *Health Phys.* **27**, 479-510 (1974).
- [6] 国際放射線防護委員会: 体内放射線の許容線量 1958年. ICRP Publication 2, 日本放射性同位元素協会, 仁科記念財団 (1964).
- [7] Recommendation of the International Commission on Radiological Protection: *British J. Radiology Suppl.* **6**, (1955).
- [8] 国際放射線防護委員会: 国際放射線防護委員会 1958年勧告. ICRP Publication 1, 日本放射性同位元素協会, 仁科記念財団 (1964).
- [9] 国際放射線防護委員会: 国際放射線防護委員会勧告 1959年修正, 1962年改定. ICRP Publication 6, 日本放射性同位元素協会, 仁科記念財団 (1965).
- [10] 国際放射線防護委員会: 国際放射線防護委員会勧告 1965年採択. ICRP Publication 9, 日本放射性同位元素協会, 仁科記念財団 (1974).
- [11] 国際放射線防護委員会: 国際放射線防護委員会勧告 1977年採択. ICRP Publication 26, 日本放射性同位元素協会, 仁科記念財団 (1977).
- [12] 国際放射線防護委員会: 国際放射線防護委員会勧告 1990年採択. ICRP Publ. 60, *Annals of the ICRP*, **21**, Nos 1-3 (1991), 国際放射線防護委員会の1990年勧告, 日本アイソトープ協会 (1991).
- [13] Clarke, R.: Control of low-level radiation exposure: time for a change? *J. Radiol. Prot.* **19**, 107 (1999).
- [14] Clarke, R.: Radiological protection at the start of the 21st century: Progress report. *Radiological Protection Bulletin*, No.231 (2001).
- [15] OECD/NEA: A critical review of the system of radiation protection. OECD/NEA (2000).