

ICRP, 1998b. Radiation protection recommendations as applied to the disposal of long-lived solid radioactive waste. ICRP Publication 81. Ann. ICRP 28 (4).

ICRP, 1999a. Protection of the public in situations of prolonged radiation exposure. ICRP Publication 82. Ann. ICRP 29 (1–2).

ICRP, 2000c. Prevention of accidental exposures to patients undergoing radiation therapy. ICRP Publication 86. Ann. ICRP 30 (3).

ICRP, 2001a. Doses to the embryo and embryo/fetus from intakes of radionuclides by the mother. ICRP Publication 88. Ann. ICRP 31 (1–3).

ICRP, 2003a. Biological effects after prenatal irradiation (embryo and fetus). ICRP Publication 90. Ann. ICRP 33 (1/2).

ICRP, 2004b. Release of patients after therapy with unsealed sources. ICRP Publication 94. Ann. ICRP 34 (2).

ICRP, 2005a. Protecting people against radiation exposure in the event of a radiological attack. ICRP Publication 96. Ann. ICRP 35 (1).

ICRP, 2005b. Prevention of high-dose-rate brachytherapy accidents. ICRP Publication 97. Ann. ICRP 35 (2).

ICRP, 2005c. Radiation safety aspects of brachytherapy for prostate cancer using permanently implanted sources. ICRP Publication 98. Ann. ICRP 35 (3).

ICRP, 2006a. Assessing dose of the representative person for the purpose of radiation protection of the public and The optimisation of radiological protection: Broadening the process. ICRP Publication 101. Ann. ICRP 36(3).

Krewski, D., Lubin, J.H., Zielinski, J.M., et al., 2006. A combined analysis of North American case-control studies of residential radon and lung cancer. *J. Toxicol. Environ. Health Part A* 69, 533–597.

Lubin, J.H., Wang, Z.Y., Boice Jr., J.D., et al., 2004. Risk of lung cancer and residential radon in China: pooled results of two studies. *Int. J. Cancer* 109 (1), 132–137.

NEA, 2005. Nuclear Regulatory Decision Making. Nuclear Energy Agency, Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, France.

UNSCEAR, 2000. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Vol. II: Effects. United Nations, New York, NY.

UNSCEAR, 2008. Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Report to the General Assembly with Scientific Annexes. United Nations, New York, NY.

7. 患者、介護・介助者、生物医学研究の志願者の医療被ばく

(322) 主として、医療被ばくは、診断検査、IVR、あるいは放射線治療の手順を受けている個人に対して存在する。患者を介助し介護するその他の個人も被ばくに曝される。これらの個人には、診断手順の間に子供を抱く、又は放射性医薬品の投与後、あるいは小線源治療の間に患者に接触することがある親および他者として家族や親しい友人が通常含まれる。退出した患者による一般公衆への被ばくも発生するが、この被ばくは殆どの場合には非常に小さい。さらに、生物医学研究の志願者は、患者に対し実施される手順に似た放射線被ばくを伴う医療手順を受けることが多い。医療被ばくはこれら全ての種類の被ばくに該当する。この章では、特に以下の点を取り上げる。

- 妊娠もしくは授乳中の患者の医療被ばく中に、胚／胎児もしくは乳幼児の被ばくを含む、診断、IVR と治療を目的とした個人の被ばく；
- 診断あるいは治療を受けている患者の介助と介護のために、病院や自宅のいずれかで手助けをしている家族と親しい友人などの個人が、承知の上で進んで被る（職業被ばく以外の）被ばく。
- 志願者に直接的な便益を与えない生物医学研究のプログラムの一部として、志願者が被る被ばく。

(323) 医療中の患者の放射線被ばくは、その他の計画被ばく状況における放射線防護とは異なるアプローチを求められる。被ばくは、意図的であり患者の直接的な便益のためである。放射線治療において、高線量放射線の生物学的影響（細胞死など）が、癌及びその他の疾病を治療する患者の便益のために使用される。従って、放射線の医療使用に対する委員会の勧告の適用には個々の指針が必要であり、それ故、この章では患者の医療被ばくについて取り上げる。

(324) IVR の手順において、これは不必要な被ばくを避けることを意味し、一方、放射線治療において、要求される線量を正常組織への不必要な被ばくを避けながら治療されるべき体積に照射することを意味する。

(325) 目的は、医療手順の正当化と医療目的に見合った防護の最適化である。医療における放射線防護と安全に関する委員会の勧告は、*Publication 73* (ICRP, 1996a) に記載されており、これは現在でも有効である。これらの勧告は、医療における防護システムの履行とその他 2 種類の被ばく（職業及び公衆）における履行との間の重要な相違点について述べている。これらの相違点は、以下の内容を含む。

- 正当化の原則は、項目 7.1.1 に記述されているように、医療における 3 つのレベルに該当する。
- 患者防護の最適化に関する原則を適用する場合には、便益と損害を同一人物の患者が

受け、患者への線量は基本的には医療の必要性により決まる。従って、患者に関わる線量拘束値は、職業被ばくと公衆被ばくにおいて重要であるのとは対照的に、適切ではない。それにも関わらず、患者被ばくのある種の管理が必要であり、診断参考レベルの使用が付属ガイダンス 2 (ICRP, 2001b) と共に、*Publication 73* (ICRP, 1996a) の中で勧告されている。

- 個々の患者への線量限度値は、患者の診断や治療効果を減少させることで、効果があるというよりむしろ害になることがあるので、勧告されていない。医療手順の正当化と防護の最適化が重要視される。

(326) *Publication 60* (ICRP, 1991b) の中で定められた防護に関する基本的な枠組みは、下記の一連の刊行物の中でさらに具体化されてきた。これらの刊行物中の勧告、指針及び助言は現在でも有効であり、委員会により増加している医療被ばくに関する情報ライブラリーの一部を成している *Publication 105* (ICRP, 2007b) も参照すること。

(327) 患者の被ばくは、意図的である。放射線治療を除いて、それは照射線量を投与することが目的ではなく、診断情報を与え IVR 手順を実施するために放射線を使用するのが目的である。それにも関わらず線量は意図的に与えられるのであり、意図された効果を害することなしに線量を無制限に軽減することはできない。放射線の医療使用は本質において自発的でもあり、患者への直接的な健康への効果の期待と結び付いている。患者もしくは患者の保護者は、放射線を用いる医療手順に同意するか、承諾する。決定には予想される便益のみならず（放射線を含む）潜在的なリスクを伴う、様々な度合のインフォームドコンセントにより行う。インフォームドコンセントを得るために提供される情報量は、被ばくレベル（例；診断、IVR、または治療）と放射線被ばくに起因する緊急時の医療被ばくによる合併症の程度に基づき変わる。

(328) 患者を照射する手順に関わる医師とその他の医療専門家は、常に、物理と生物の基本的な原則を含む放射線防護の原則を学ぶべきである。放射線被ばくの最終責任は医師にあるので、医師は伴う手順のリスクと便益を認識すべきである。

(329) 外部放射線による患者の医療被ばくは、一般的には身体の限局された部分のみに関係しており、医療従事者が照射野内の正常組織への線量について十分に認識していることが重要である。望ましくない組織反応が生じないようにするためにも、そのような状況においては注意が必要である。

7.1. 医療手順の正当化

(330) 患者の医療被ばくは、正当化の過程において様々でより詳細な取り組みを必要とする。正当化は通常、政府または規制当局よりも医療専門家にあるが、その他の計画被ばく状況がそうであるように、放射線の医療使用は正当化されるべきである。医療被ばくの基本

的な目的は、患者に損害を与えるのではなく役立つことであり、放射線従事者の被ばくとその他の個人の被ばくによる放射線損害を補足的に考慮することである。特定な手順の使用の正当化に関する責任は、当該の医師にある。従って医療手順の正当化は、現在でも委員会の勧告の主要な部分である。

(331) 正当化の原則は、医療において放射線の使用に対し3つのレベルに適用される。

- 第1レベルでは、医療における放射線の使用は患者に害を与えるよりも利益があるものとして受け入れられる。このレベルの正当化は当たり前のこととされているので以下で更に議論されてはいない。
- 第2レベルでは、特定の目的を持つ特定の手順が定義され正当化される（例えば、関連する徴候を示す患者、あるいは検出と治療が可能な状態にありリスクに曝されている集団の胸部X線）。正当化の第2レベルの目的は、放射線手順が通常では診断や治療を改善するか、あるいは被ばくした個人についての必要な情報を提供するかどうかを判断することである。
- 第3レベルでは、個々の患者への手順の適用が正当化されるべきである（すなわち、その患者に害を与えるよりも利益があるために、特定の適用が判断されるべきである）。したがって、被ばくの特定の目的と関与する個人の特徴を考慮して、全ての個々の医療被ばくが前もって正当化されるべきである。

正当化の第2及び第3レベルは、以下のとおりである。

7.1.1 一定の放射線手順の正当化（第2レベル）

(332) 放射線手順の正当化は、国の保健及び放射線防護機関や当該の国際組織と併せて、国内及び国外の専門団体の事項である。事後的な、あるいは意図せぬ被ばくの可能性についても考慮されるべきである。既存の手順のリスクと効果及び新しい手順についてはさらなる情報が入手可能になるので、定期的に再検討されるべきである。

7.1.2 個々の患者に関する手順の正当化（第3レベル）

(333) 個々の患者に対する被ばくの正当化は、必要な情報をまだ入手できておらず、それにより提案された検査が必要な臨床情報を提示する最適な方法であることを確認することを含むべきである。複合診断、IVR 手順のような高線量被ばくを伴う検査では、個々の正当化は特に重要で、全ての利用できる情報を考慮すべきである。これには、提案された手順と代替となる手順の詳細、個々の患者の特性、患者への予想される線量と以前または予想される検査もしくは治療に関する情報の入手を含む。参考基準や患者のカテゴリを前もって定義することで、正当化を速めることが多くの場合可能となる。

7.2 医療被ばくにおける防護の最適化

- (334) 現在、委員会は線源の種類に関係なく、線源関連の防護において同様の概念的な取り組みを行っている。診断及びIVRによる医療手順からの被ばくの場合、診断参考レベルは防護の最適化を目的としているが、それは個々の患者線量に拘束値を設けることではない。それは、医療目的に見合うように患者の被ばく線量を管理するための手段である（項目7.2.1を参考）。

7.2.1 診断参考レベル

- (335) 診断参考レベルは、医療イメージングの目的で行われる手順により生じる放射線被ばくに適用される。診断参考レベルは放射線治療には適用されることはない。診断参考レベルは、委員会の線量限度や線量拘束値の数値に直接的な関連はない。実際、数値は、患者もしくは参考患者の被ばく線量分布に係るパーセンタイル点を基準として選択される。値は、（国の保健及び放射線防護当局と協力して）医療専門団体が選定すべきであり、実測された線量分布における必要とされる安定性と長期にわたる変化との間の妥協点を示す間隔で再検討されるべきである。選択された値は国や地域ごとに特有である。
- (336) 診断参考レベルは、日常的な状況においては特定の画像手順から患者線量のレベルあるいは投与された放射能のいずれかが、そのような手順に関して極端に高いか又は低いかを示すための医療診断に使用される。そのような場合は、防護が適切に最適化されてきたか、あるいは是正措置が必要であるかを定めるために、院内において検討が開始されるべきである（ICRP、1996a）。特定の手順に関し、容易に測定できる患者線量関連の量として、診断参考レベルが示されるべきである。一般集団における症状のない女性にマンモグラフィ撮影をするような検診的な検査は、同様の診断方法の臨床利用とは異なる診断参考レベルを要求する。追加の指針は、*Publication 105*（ICRP、2007b）及び補助指針2（ICRP、2001b）に記載されている。
- (337) 基本的に、より低い診断参考レベルを選択するのが可能であるかもしれないが、それ以上低いと十分な画質を得るには線量が低すぎてしまう。しかし、線量以外の要因も画質に影響を与えるので、そのような診断参考レベルを設定するのは困難である。それに関わらず、実測された線量あるいは投与された放射能の量が一貫して診断参考レベルを大きく下回る場合には、取得した画質について院内で見直す必要がある。
- (338) IVR 手順、CT 及びデジタルラジオグラフィにおける患者線量の管理に関する幅広い情報は、*Publication 85, 87*及び*93*にてそれぞれ記載されている（ICRP 2000b, 2000d, 2004a）。

7.2.2 放射線治療

- (339) 放射線治療において、最適化は規定された線量を腫瘍へ与えるのみではなく、標的体積の外側にある正常組織の防護も計画することである。これらの放射線治療の考慮すべき事項については、*Publication 44* (ICRP, 1985a)を参考にすべきである。

7.3 医療被ばくにおける実効線量

- (340) 作業者と全集団に関する年齢構成（これに関して実効線量が導出される）は、電離放射線を用いる医療手順を受けている患者に関する全般的な年齢構成とは全く異なることがあり得る。年齢構成は、評価される病気の症状ごとの患者数に依存し、医療手順の種類ごとに異なることにもなる。これらの理由から、電離放射線を用いる医療診断と治療のリスク評価は、個々の組織のリスクと医療手順を受けている個人の年齢及び性別に対して、適切なリスク値を使用して評価するのが最も良い。参考患者や参考集団が年齢及び性別に関して似ているのであれば、実効線量は異なる診断手順から相対的な線量を比較し、同じ医療検査に対して異なる技術を使用し比較するのみならず、異なる病院や国々における同様の技術と手順の使用を比較する場合にも有用である。
- (341) 患者の医療被ばくから実効線量の評価と解釈は、臓器や組織が局所的な被ばく、あるいは非常に不均等の被ばくのみを受ける時には特に問題となる、特に診断及び IVR 手順の場合がこれに該当する。

7.4 妊娠している患者の被ばく

- (342) 電離放射線を用いる手順を行う前に、女性患者が妊娠しているかを判断することが大切である。発育中の胚／胎児の放射線感受性が高いので、妊娠期間中の医療被ばくの実現可能性と実施には特定の考慮を要する。
- (343) 最も適切に行われた診断手順による出産前の線量は、自然発生率を超えるような、出産前あるいは出産後の死亡、奇形もしくは知能の発育障害を含む発育上の損傷というリスクが評価できるほどには増加していないことを示している。子宮内被ばく後の生涯にわたる癌の発生リスクは、幼児期の照射後における癌のリスクに近いと推定されている。治療手順に伴う線量のような、より高い線量では発達障害をもたらす可能性がある（3.4 章参考）。
- (344) 妊娠している患者は、子宮内被ばくにより生じるかもしれない潜在的な放射線影響の程度と種類を知る権利がある。放射線診断検査が医学的に指示されるならば、殆どの場合、母親が手順を受けないことによるリスクは、胚／胎児への潜在的な障害リスクよりも大きい。しかし、核医学にて用いられる一部の手順と放射性医薬品（放射性ヨウ化物など）は、胚／胎児へのリスク増加をもたらしかねない。委員会は *Publication 84* (ICRP, 2000a)に詳細な指針を記載してきた。

- (345) 放射線治療前に、女性患者が妊娠しているかを確認することが必須である。妊娠している患者において、骨盤から離れた位置にある癌は通常では放射線治療で治すことができる。しかしこれには、治療計画における特別な注意を要する。散乱線を含む、胚/胎児に予想される被ばく線量を推定しなくてはならない。骨盤における癌は、胚/胎児への深刻で致命的な結果を招かずに、妊娠期間中に適切に治療することは稀である。
- (346) 放射線被ばくによる妊娠中絶は、多くの要因の影響を受ける個人の決断である。胚/胎児への 100mGy を下回る吸収線量が妊娠中絶の理由として見なされべきでない。このレベルを上回る胚/胎児の被ばく線量では、個人の状況に基づいて詳細な説明を受けた上での決断が下されるべきであり、これには推定される胚/胎児の線量の規模と、発育中の胚/胎児への深刻な損害の結果として生じるリスク及びその後の生活における癌のリスクが含まれる。
- (347) 出産前における放射線被ばく後の放射線リスクは、*Publication 90* (ICRP, 2003a)の中で詳述されている。妊娠している患者の被ばくは、*Publication 84* (ICRP, 2000c)と *Publication 105* (ICRP, 2007b) の中で詳しく取り扱っており、放射線被ばく後の妊娠中絶に関し考慮される点についても触れている。生物医学研究における妊娠している女性の放射線被ばくについては、7.7 に記述されている。

7.5 外照射療法と小線源療法における事故防止

- (348) 外部照射法と小線源療法における事故防止には、装置と施設の設計及び作業手順が不可欠な部分である。長期に渡る事故防止の最も重要な点は、過誤に備えて複数の防護策を利用することであった。この取り組みは、「深層防護」と呼ばれ、装置の誤作動と人為的な過誤を防ぎ、それにより引き起こされる深刻な結果を緩和することを目的としている。委員会は、潜在被ばくの可能性の低減と事故防止に関する広範囲な助言を *Publication 76, 86, 97, 98* (ICRP, 1997b, 2000c, 2005b, 2005c) に記載してきた。

7.6 放射性核種を用いる治療を受けた患者の介護者と介助者の防護

- (349) 非密封放射性核種は、患者に静注、経口摂取又は吸入摂取される放射性医薬品の形状で、様々な疾病の治療や診断に使用される。放射性核種が減衰するか、あるいは様々な経路を通して排出される(例:尿)までは、これらが体内組織に局所的に集積する。密封線源は、患者の体内に埋め込まれる。
- (350) 核医学診断の手順後には公衆に対する注意事項は稀にしか要求されないが、一部の核医学治療の手順、特に ^{131}I を伴う手順には他者、とりわけ患者の介護と介助に関わる者に対してかなりの被ばくをもたらしかねない。従って、病院や自宅でそのような患者を介護

する一般の人には、個別の配慮が必要となる。

- (351) *Publication 94* (ICRP2004a) では、非密封放射性核種を伴う治療後の患者の退出に関して勧告を行っている。これらの勧告には、幼児と乳児のみならず介護に直接携わらない訪問者には放射線防護の目的で公衆として扱われるべきであることが含まれる（すなわち、年間 1mSv の公衆線量限度の対象となる）。幼児と乳児以外の、介護に直接関わる個人については、1 行為当り 5mSv の線量拘束値（すなわち、治療後の一定の退出期間に関して）が妥当であるように思われる。この拘束値は、厳密に使用される訳ではない。例えば、より高い線量は、重症の子供の両親には恐らく適切であろう。
- (352) 15 歳以下の甲状腺は成人に比べ、放射線感受性が高いため、放射性ヨウ素で治療を受けた患者から乳児、子供及び妊婦（すなわち胚や胎児）の汚染を避けるために注意が必要である。
- (353) 治療後の患者を入院させるかどうかの決定は、患者の残留放射能、患者の意向、家族の状況特に子供の存在、環境因子、現存の指針と規則など様々な点を考慮し個人を基準に行うべきである。*Publication 94*(ICRP,2004b)では、尿の保管をする貯留タンクの使用についてコメントし、その使用は必須ではないと述べている。
- (354) 通常、待機室内における公衆および公共輸送における公衆への意図せぬ被ばくは、放射性ヨウ素により治療を受けている以外、核医学患者に対して特別な制限を要求するほど高くはない（*Publication 73,94*, ICRP1996a, 2004b）。
- (355) 原則的に、患者が永久刺入の密封線源を用いる治療を受けている場合は、同様の理由が適用される。しかし、有効なデータは、患者が刺入時にパートナーが妊娠していて、妊娠中のパートナーへの予想される被ばく線量が年間 1mSv を超えるような稀な場合を除いては、大半の例では介護者または介助者への線量が、勧告されている年間 1mSv の限度を十分に下回っていることを示している。（*Publication 98*, ICRP, 2005c）。
- (356) 密封線源を刺入後、最初の数ヶ月以内に患者が死亡した場合には、死体を火葬する国では以下に関わる幾つもの問題をもたらす。(1)患者の灰に残留する放射性物質、及び(2)火葬業者や公衆が吸入する可能性のある空気中の放射性物質。有効なデータは、¹²⁵I を伴う刺入を行った後 12ヶ月が経過している場合には火葬が許可されることを示している（¹⁰³Pd に関しては 3ヶ月）。この経過時間前に患者が死亡した場合は、特定の対策を講じる必要がある（ICRP, 2005c）。

7.7 生物医学研究の志願者

- (357) ボランティアの参加は、生物医学研究に大きく貢献する。医学調査研究の一部は、疾病

の解明に直接有用である。その他の研究は、医薬品および作業場所及び環境の汚染により吸収されることがある放射性核種の代謝に関する情報を与える。これら全ての研究は医療機関で行われる訳ではないが、委員会は生物医学研究における志願者全員の被ばくを医療被ばくとして扱っている。

(358) 生物医学研究に志願者を用いることの倫理上及び手続き上の側面は、委員会の *Publication 62* (ICRP1991c) で扱われてきた。異なる状況下にある志願者に対する線量拘束値について議論し、表 8 に簡単に纏めた (6 章)。

(359) 多くの国々では、生物医学研究における被験者としての妊娠している女性放射線被ばくは明確には禁止されていない。しかし、そのような研究への参加は非常に珍しく、妊娠が研究の不可欠な部分でない限りは阻止されるべきである。これらの場合、胚/胎児の防護のために、放射線使用に対する厳重な管理が行われるべきである。

7.8 参考文献

- ICRP, 1985a. Protection of the patient in radiation therapy. ICRP Publication 44. Ann. ICRP 15 (2).
- ICRP, 1991b. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21 (1-3).
- ICRP, 1991c. Radiological protection in biomedical research. ICRP Publication 62. Ann. ICRP 22 (3).
- ICRP, 1996a. Radiological protection in medicine. ICRP Publication 73. Ann. ICRP 26 (2).
- ICRP, 1997b. Protection from potential exposures: application to selected radiation sources. ICRP Publication 76. Ann. ICRP 27 (2).
- ICRP, 2000a. Pregnancy and medical radiation. ICRP Publication 84. Ann. ICRP 30 (1).
- ICRP, 2000b. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. ICRP Publication 85. Ann. ICRP 30 (2).
- ICRP, 2000c. Prevention of accidental exposures to patients undergoing radiation therapy. ICRP Publication 86. Ann. ICRP 30 (3).
- ICRP, 2000d. Managing patient dose in computed tomography. ICRP Publication 87. Ann. ICRP 30 (4).
- ICRP, 2001b. Radiation and your patient: A guide for medical practitioners. ICRP Supporting Guidance 2. Ann. ICRP 31(4).
- ICRP, 2003a. Biological effects after prenatal irradiation (embryo and fetus). ICRP Publication 90. Ann. ICRP 33 (1/2).
- ICRP, 2004a. Managing patient dose in digital radiology. ICRP Publication 93. Ann. ICRP 34 (1).
- ICRP, 2004b. Release of patients after therapy with unsealed sources. ICRP Publication 94. Ann. ICRP 34 (2).
- ICRP, 2005b. Prevention of high-dose-rate brachytherapy accidents. ICRP Publication 97. Ann. ICRP 35(2).
- ICRP, 2005c. Radiation safety aspects of brachytherapy for prostate cancer using permanently implanted sources. ICRP Publication 98. Ann. ICRP 35(3).
- ICRP, 2007b. Radiological protection in medicine. ICRP Publication 105. Ann. ICRP 37 (5).

8. 環境の防護

(360)環境防護への関心は、人の活動のあらゆる側面に関連して、近年、大いに高まってきている。こうした関心は、人が環境に与える様々な影響を評価し、管理するための様々な方法の開発や適用に付随して起きている。委員会は放射線防護関連のそのような問題に関する助言と指針の必要性が高まっていることを認識しているが、こうした必要性は放射線が環境へ与える影響に対する新たな、あるいは具体的な懸念から生じているわけではない。委員会は、また、放射能の問題を扱う場合の国際レベルでの一貫性が、現在は欠けていることを認識しており、よって、より前向きな取り組みが必要であると考えている。

8.1 環境中の放射線防護の目的

(361)委員会は人の放射線防護とは対照的に、環境防護の目的は複雑であり、また明確に述べることが困難であると認識している。しかし、委員会は生物の多様性を維持し、種の保護を保証し、かつ生息環境、自然群落、及び生態系の健全および状態を守るために求められる世界的な必要性と試みに同意している。委員会は、また、これらの目的が別の方法で達成される可能性があること、環境の被ばく状況によっては電離放射線がささやかな考慮事項でしかないこと、および目的を達成するためには全体のバランスが必要であることを認識している。

(362)委員会はこれまで、主に計画被ばく状況における環境を介しての放射性核種の輸送は、人の放射線防護に直接影響するという理由から、そうした輸送に関してのみ人類の環境を懸念してきた。そのような状況においては、一般公衆を防護するために必要な環境の管理基準によって、他の種がリスクにさらされることもなくなると考えられており、委員会はそうであると確信し続けている。

(363)しかし、現在、委員会はあらゆる被ばく状況に関連した助言を与える必要があると考えている。委員会は、また、人が関与しているかどうかに関わらず、広範囲な環境状況を考慮する必要があると確信している。さらに、委員会は計画された状況下でさえ環境が保護されていることを、直接的に及び明確に示すために、国の機関が必要であると認識している。

(364)従って、委員会は被ばくと線量との関係、線量と影響との関係、及びこうした影響が人以外の種にもたらす結果を一般的な科学的根拠に従って評価するためには、より明確な枠組みを構築する必要があると確信している。この問題は *Publication 91* (ICRP, 2003b) で最初に取り上げられており、人の防護に関する体系的な枠組みの構築によって得た教訓を参考にする必要があると結論付けられた。この枠組みは非常に広範な知識に基づいており、委員会は様々なデータベースにおける広範な誤り、不確実性、及び知識の差を念頭に置きつつ、そうした知識を異なる被ばく状況を管理する際に価値を持つ

実用的な助言に切り替えようと試みている。

- (365) そのような包括的で、かつ体系的な取り組みの利点は、(新しい科学的データの取得、社会の受けとめ方の変化、あるいは単に実際の適用において得た経験により) システムの要素を修正する必要があるにつれ、そのような修正がシステム内の別の部分及びシステム全体にどのような影響を及ぼすかを考えることが可能になることである。そのような取り組みは、いくつかの重要な評価基準を含んだ数値的な枠組みに基づいていない限り、機能しないと思われる。

8.2 参照動植物

- (366) 人の放射線防護の場合、そのような問題に対する委員会の取り組みは、解剖学及び生理学的な参考モデルの作成によって大いに助けられてきた (ICRP, 2002)。委員会は別の種の防護に関するさらなる助言と指針を作成するための基盤として、同様の取り組みが重要であろうと結論付けた。従って委員会は、主な環境を象徴する数種類の生命体に関し、参照動物と参照植物の小集団 (Pentreath, 2005)、及びそれに関連するデータベースを作成している。そのような存在は、被ばくと線量の関係、線量と影響の関係、及びそのような影響がもたらすかもしれない結果との関係を理解するため、より構築された取り組みの基盤を形成することになる。
- (367) 参照動物や参照植物は、種の分類レベルの一般概念に従って、解剖学的、生理学的、及び事例史研究の明確な特性を有する特殊な種類の動物あるいは植物に関する、ある種の仮定に基づく基本的な生物学的特性を持つ想定上の存在として見なすことができる。従って、参照動物や参照植物自体は必ずしも防護の直接的な対象ではないが、評価基準としての役割を果たすことで、管理上の決定を下す場合の基盤を与えるに違いない。単純な線量測定モデルおよび関連するデータ一式が、現在、各種のライフサイクルの様々な段階用に作成されている。各種の放射線の影響に関する入手可能なデータも検討されている。
- (368) 委員会の目的を満たすためには、様々な種類の動植物への放射線影響に関して現時点で我々が持っている知識水準に基づいた判断を下す必要がある、そのためには何らかの形の実用的な方法が確かに必要である。しかし、哺乳類を除くと、多くの被ばく状況で得られる比較的低い線量率に関しては特に、賢明な結論を誘導することができる線量の反応関係を定めることができる情報が一般的に不足している。実際、一般的には、一定の影響を生じるのに必要な水準が、殆どの環境状況で予想されるものよりもはるかに高い場合、多くの動植物に対する放射線影響のデータベースは、「化学毒性」に関するデータベースと大差ない。
- (369) 放射線に関しては基準となる別の線源がある、それはこうした動植物が継続的に、そして「一般的に」被ばくする自然バックグラウンド放射線である。よって、動植物への追

加される放射線量は、そのような種類の動植物において特定の生物学的影響を及ぼすことが知られている、あるいは推定されている線量率や、自然環境の中で動植物が通常経験する線量率と比較することができる。

(370)従って、委員会は環境防護に関していかなる形の「線量限度」の設定も提案していない。一部の参照動物と参照植物に関するデータを透明性のある方法で設定し、さらなる活動が検討される可能性があるデータを提示することで、委員会はこれまでよりも実用的な助言を提供するつもりである。委員会は、特に様々な放射線被ばく状況の下で懸念されがちな異なる環境のそのような側面や特性に関して、今後はより包括的な助言を提供するために、この枠組みを用いてデータを収集し、解釈することになる。

8.3 参考文献

ICRP, 2002. Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection. ICRP Publication 89. Ann. ICRP 32 (3/4).

ICRP, 2003b. A framework for assessing the impact of ionising radiation on non-human species. ICRP Publication 91. Ann. ICRP 33 (3).

Pentreath, R.J., 2005. Concept and use of reference animals and plants. In: Protection of the Environment from the Effects of Ionizing Radiation, IAEA-CN-109, IAEA, Vienna, 411-420.

付録 A. 電離放射線に起因する健康リスクに関する生物学および疫学的

情報：

人の放射線防護の目的に対する判断の要約

付録 A の目次

付録 A の目次

付録 A の前書き

主な結論と勧告

A.1. 序文

A.1.1. 前書きと A.1 項の参考文献

A.2. 細胞と組織における放射線の相互作用

A.2.1. 細胞における放射線作用の生物・物理的側面

A.2.2. 放射線に対する主な標的としての DNA 染色体

A.2.3. DNA 損傷反応と修復

DNA 修復、アポトーシス、および細胞情報の伝達
適応反応

A.2.4. 遺伝子と染色体突然変異の誘発

A.2.5. 放射線の遺伝子以外への反応

放射線誘発ゲノムの不安定性
被ばく後バイスタンダー情報の伝達

A.2.6. 組織反応（確定的影響）

A.2.7. 放射線腫瘍形成のメカニズム

放射線腫瘍形成の動物モデル
放射線関連の人腫瘍
癌に対する遺伝的感受性

A.2.8. 遺伝性疾患

A.2.9. A.2 項の参考文献

A.3. 組織反応（確定的影響）のリスク

A.3.1. ICRP Publication 60 で与えられた判断の改定

確率的影響と組織反応の定義

組織と臓器の反応

細胞生存曲線

組織と臓器における早期および晩期反応

全身被ばく後の死亡率

発生率と死亡率に対する線量閾値の予測評価の要約

- 特定の組織に対する線量限度
 - A.3.2. 胚と胎児における影響
 - A.3.3. A.3 項の参考文献
- A.4. 放射線誘発癌のリスク
 - A.4.1. 放射線反応に関する主なデータ
 - 遺伝子と染色体突然変異に対する線量反応関係
 - 細胞における DNA 損傷反応
 - 放射線による遺伝子以外への反応
 - A.4.2. 腫瘍誘発および寿命短縮に関する動物データ
 - A.4.3. 生物効果比 (RBE) および放射線荷重 (w_R)
 - A.4.4. 疫学的データから癌のリスク評価
 - 名目リスク係数、放射線損害、及び組織荷重係数
 - 癌と遺伝的影響に対する名目リスク係数
 - 出生前（子宮内）被ばく後の癌リスク
 - 放射線誘発癌による遺伝的感受性
 - 癌リスクに対する非直線低線量の実現性
 - A.4.5. 損害計算の更なる詳細
 - A.4.6. 性特異集団の損害評価
 - A.4.7. A.4 項の参考文献
- A.5. 放射線被ばく後の癌以外の疾患
 - A.5.1. A.5 項の参考文献
- A.6. 遺伝性疾患のリスク
 - A.6.1. 序文
 - A.6.2. 背景情報
 - 自然に発生する遺伝的疾患
 - 倍加線量法
 - A.6.3. 解釈における最近の進歩
 - 遺伝子疾患の基準頻度
 - 倍加線量
 - 突然変異因子
 - 潜在的修復能力補正因子の概念
 - 多因子発達異常が人における放射線誘発遺伝的傷害の主な症状である可能性があるという概念
 - A.6.4. 2001 年 UNSCEAR によるリスク評価
 - 放射線被ばく集団における代々受け継がれる遺伝的リスクの評価
 - 1 世代のみに放射線被ばくが受け継がれる集団に対する遺伝的リスクの評価
 - リスク評価の長所と制限
 - A.6.5. 遺伝的影響に対しリスク係数を導出するため ICRP によるリスク評価の早期および現在の評価
 - 遺伝的影響に対するリスク係数

ICRP Publication 60

最近の評価

リスク係数の計算に対し、最大2世代までのリスク評価を使用することに対する正当化

A.6.6. A.6 項の参考文献

A.7. 主な結論と提案の要約

A.7.1. A.7 項の参考文献

表

- 表 A.3.1. 成人の睪丸、卵巣、水晶体、骨髄内の組織影響の閾値予測
(ICRP 1984 *Publication 41* より)
- 表 A.3.2. マウスまたはその他の種(表内に記載のとおり)について報告されている線量修飾係数
(DMF) Hendry (1994) から更新。
- 表 A.3.3. 急性低 LET 均一全身照射により、被ばくを受けた人における特定の放射線誘発症と死に関
連する線量の範囲
- 表 A.3.4. 全身にガンマ線を照射後に、成人の臓器や組織に関わる発病と死亡率が1%であることに
対する急性吸収線量の閾値予測
- 表 A.4.1. 性別平均名目リスクと損害の概要
- 表 A.4.2. 異なる計算方法に基づく全集団における性別平均名目リスクと損害の比較
- 表 A.4.3. 提案された組織荷重係数
- 表 A.4.4. 癌および遺伝的影響に対する調整名目リスク係数損害 (10^{-2} Sv⁻¹)
- 表 A.4.5. *Publication 60* における一致する値と共に、致死係数、非致死例の重量に対する値、およ
び最近の計算において使用される相対的寿命損失
- 表 A.4.6. 最近の癌誘発に基づく ERR モデルにおける係数
- 表 A.4.7. 最近の癌誘発に基づく EAR モデルにおける係数
- 表 A.4.8. 最近の死亡率に基づく ERR モデルにおける係数
- 表 A.4.9. 最近の死亡率に基づく EAR モデルにおける係数
- 表 A.4.10-17 女性/男性、欧州・米国/アジア、年齢と部位による癌発生率/死亡率
- 表 A.4.18. 被ばく時 0-85 歳における性別特異集団損害の評価
- 表 A.4.19. 被ばく時 18-64 歳における性別特異集団損害の評価
- 表 A.6.1. 人集団における遺伝的疾患の基準頻度

- 表 A.6.2. 常染色体および X 染色体連鎖遺伝子における放射線誘発の潜在的な修復能力の評価の要約
- 表 A.6.3. 倍加線量 1 Gy と想定される低 LET、低線量または慢性的な継続被ばくからの遺伝的リスクの最近の評価 (UNSCEAR,2001)
- 表 A.6.4. 倍加線量 1 Gy と想定される低 LET、低線量又は慢性疾患による第一世代被ばくからの遺伝的リスクの最近の評価 (UNSCEAR,2001)
- 表 A.6.5. 代々受け継がれる放射線被ばくを受ける集団に対し Publication 60 におけるリスク係数の評価 (ICRP,1991b, Sankaranarayanan,1991)
- 表 A.6.6. 集団が代々放射線被ばくを受ける場合、2 世代まで得られた生殖および総集団に対するリスク係数 (全ての値は Gy あたりのパーセントで記述した)
- 表 A.6.7. 被ばく後、第一世代における生殖および総集団に対するリスク係数 (全ての値は Gy あたりのパーセントとして記述した)
- 表 A.7.1. 放射線防護目的を特別に対象とした主な結論と提案の要約

図

- 図 A.3.1. 直線二次方程式 $S=\exp-(\alpha D+\beta D^2)$ により記述された片対数プロットにおける細胞生存 (S) に対する線量反応。ICRP(1991 b)から。
- 図 A.3.2. 線量と死亡率の関係
- 図 A.3.3. 線量、組織反応の頻度と重篤度 (確定的影響) の関係。

付録 A に対する前書き

1998年に、南アフリカケープタウンでの主委員会の会議で、委員会がICRPの1990年勧告の改定と最新化に対しそのプロジェクトを開始した時、1990年勧告と概ね同様な方法で新しい勧告の本文が科学的付録と報告書で支持されることが必要であることが着手時点から明確であった。

従って、ICRP第1委員会(放射線影響に関し)および第2委員会(放射線被ばくからの線量に関し)は、放射線の健康影響に関して、および線量測定の考慮に関して付録の概要を説明し、草案を作成することが求められた。(医療における防護に関し第3委員会およびICRP勧告の適用に関し第4委員会は、別々の報告書として刊行された、および刊行される支援文書を作成することを同様に求められた: *Publication 105*, ICRP 2007b 医療における防護に関し、および *Publication 101*, ICRP 2006a 代表的個人への評価線量に関し、あるいは最適化に関して)。

冒頭の総会后、第1委員会は主委員会に助言し、勧告に対する現付録を草案化するため2001年にタスクグループを組織した。

タスクグループの会員は、以下であった:

R. Cox, Chairman	J. Hendry	A. Kellerer
C. Land	C. Muirhead	D. Preston
J. Preston	E. Ron	K. Sankaranarayanan
R. Shore	R. Ullrich	

通信会員

A. Akleyev	M. Blettner	R. Clarke
J.D. Harrison	R. Haylock	J. Little
H. Menzel	O. Niwa	A. Phipps
J. Stather	F. Stewart	C. Streffer
M. Tirmarche	P. Zhou	

本付録の準備の間ICRP第1委員会の会員:

(2001-2005)

R. Cox, Chairman	A. Akleyev	M. Blettner
J. Hendry	A. Kellerer	C. Land
J. Little C.	Muirhead, Secretary	O. Niwa
D. Preston	J. Preston	E. Ron
K. Sankaranarayanan	R. Shore	F. Stewart
M. Tirmarche	R. Ullrich, Vice-Chairman	P.-K. Zhou

(2005-2009)

J. Preston, Chairman	A. Akleyev	M. Blettner
----------------------	------------	-------------

R. Chakraborty
C. Muirhead
E. Ron
F. Stewart
Vice-Chairman
P.-K. Zhou

J. Hendry, Secretary
O. Niwa
W. Ru'hm
M. Tirmarche

W. Morgan
D. Preston
R. Shore
R. Ullrich,

主な結論および勧告

下記の要旨は、放射線防護の目的で約 100mSv まで（単一の又は年間の）とする線量範囲において、放射線に起因する健康への影響に大きな関連性がある。

- ・ 低線量/低線量率で発生する癌や遺伝性疾患の誘発について、線量増加とリスク増加の間には単純な比例関係があるという説は、科学的にみて説得力があるが、判断に不確実性があることは認識されている。
- ・ *Publication 60* (ICRP, 1991b) において、推奨された2の線量・線量率効果係数 (DDREF) は、放射線防護目的のためにこれを維持する。癌リスクに対し、低線量閾値の可能性を導入する影響は、DDREFの値における不確実な増加による影響と同様であると判定される。
- ・ 陽子と中性子に対する放射線荷重係数の変更は、よく知られている。この判断は、現勧告の付録Bの「放射線防護に使用する量」で議論される。
- ・ 新たな放射線損害値と組織荷重係数 (w_r) が提案されてきた。*Publication 60*からの最も大きな変更は、乳房、生殖腺、残りの組織の治療に関するものである。問題になっている組織荷重係数の変更は、乳房 (0.05 から 0.12)、生殖腺 (0.20 から 0.08)、残りの組織 (新たな追加システムを使用し、0.05 から 0.12)
- ・ 癌の罹患率データに基づいた、癌に対する調整損害名目リスク係数は全集団に対して $5.5 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ 、そして成人作業員に対して $4.1 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ である。また、*Publication 60*に記載している数値は、それぞれ $6.0 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ と $4.8 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ である。
- ・ 2世代までの遺伝性疾患に対する調整損害確率係数は、全集団に対して $0.2 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ 、成人作業員に対して $0.1 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ である。また、*Publication 60*に記載している数値は、それぞれ一般公衆に対して $1.3 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ 、と $0.8 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ である。ただし、上記の数値は、理論的な平衡でのリスクに関連するが、もはや正当化はされていないようである。
- ・ 子宮内被ばく後の癌リスクは、幼児期における被ばく後の癌リスクと同じくらいであると判断される。
- ・ 放射線誘発健康影響におけるゲノムの不安定性、バイスタンダー細胞情報の伝達、適応反応の役割については、放射線防護の目的としてはあまり知られていない。多くの場合、こうした細胞過程はリスクの疫学的手法に組み込まれている。
- ・ 強く発現する遺伝子に伴い放射線誘発癌への遺伝的感受性のある例はあまりに稀であるため、集団リスクに対する評価を顕著にゆがめることはないと判断する。そして、一般的だが、弱く発現する遺伝子の潜在的影響は不確定のままである。
- ・ 成人と小児における放射線誘発による組織反応 (確定的影響) についての線量反応は、一般に低線量でリスクがないとされる真の線量閾値を持つと判断される。さらに、白内障誘発 (視力障害) に対する線量閾値の範囲についてさらに考察することを奨励する。
- ・ 子宮内での放射線誘発による組織反応、奇形、神経学的影響に対する線量反応も、約 100mGy 以上の線量閾値を示すと判断される。IQ 不足の誘発において不確実性は、依然として残るが、低線量では、リスクに実質的意義があるとは判断されない。
- ・ 低線量で癌以外の疾病のリスクは、最も不確実なままであり、具体的な判断を下すのは不可能である。

A.1.序章

(A1) 1990年にICRPの勧告(*Publication 60*, ICRP 1991b)が発表されて以来、ICRPの第1委員会は、科学の発展における広範な調査を継続してきた。その調査は、放射線被ばくに起因する健康への影響の定量化について、あるいはこうした影響の基礎となる生物学的メカニズムについてである。委員会1が出した成果の多くは、ICRPタスクグループの報告書に記載されている。また、第1委員会作業グループは、その他関連部門のデータを検証した。

(A2) 現在の付録の目的は、委員会による新勧告の作成を支援するため、放射線の健康影響に関連する1990年以降の第1委員会の見解全てを要約することである。現在の付録で考慮されている多くの分野において、第1委員会はすでに具体的な見解を示している。その例として、多因子遺伝病のリスク(*Publication 83*, ICRP 1999b)、放射線荷重係数(*Publication 92*, ICRP 2003e)、低線量での癌リスク(*Publication 99*, ICRP 2005d)がある。しかしながら、以下の項目について改訂を行うには追加的な多くの作業が必要となる。a) 組織反応誘発の見解、b) 癌と遺伝性疾患のリスクに対する名目リスク係数、c) 異なる母集団間の癌リスクの移動、d) 組織荷重係数の選択。このため、上記の項目については本付録にて詳細に記載している。

(A3) 現在の付録は1990年以降、疫学的なまたは生物学的な知識を蓄積していることにより、*Publication 60*における幾つかの見解がどれほどを強化されたか、また場合によっては、その知識の蓄積がどれ程リスク推定の手順改定につながったかを追加的に示している。我々は細部に渡る知識を増幅させてきたが、本付録の主な目的は、放射線防護の実際的な目的に対し幅広い見解を示すことにある。従ってここに示した仕事の大半は、母集団におけるリスクを事前に推定するため放射線防護量としての実効線量を継続的に使用すること、および線量限度を順守していることを証明することである。実効線量の考え方をどのように適用するかは、付録Bにて取り上げている。

(A4) 本付録は、下記の方法で構成している。A.2項では、1990年以来増大してきた放射線被ばくの健康影響についての基礎となる生物過程についての概要を示している。A.3項では、放射線誘発組織反応のメカニズムとリスクについて最新の見解を記載している。A.4項では、癌誘発のメカニズムと遺伝学について検討し、また放射線荷重係数に関する以前の見解の要約、そして名目リスク係数、リスクの移動、放射線損害、組織荷重係数について疫学に基づいた新たな見解の詳細を述べている。さらにA.4項では、子宮内の癌リスクに関する初期の見解についてまとめている。A.5項では、放射線照射後の癌以外の疾患について簡単に検討する。A.6項では、遺伝性疾患のリスク推定方法の新たな開発について詳細を述べ、このリスクについて改訂後の推定を記載している。最後にA.7項では、簡単な表形式で本付録の主な勧告を要約し、これらの見解を本付録の適切な項目に配置している。

A.1.1. 前文およびA.1項の参考文献

ICRP, 1991b. The 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21 (1-3).

ICRP, 1999b. Risk estimation for multifactorial diseases. ICRP Publication 83. Ann. ICRP 29