.....資料

低線量放射線影響と安全評価

「低線量放射線影響と安全評価」研究専門委員会

(1992年 7月13日 受理)

*Effects of Low Level Radiation on Man and Safety Assessment*By Research Committee on Biological Effects
of Low Level Radiation on Man and Safety Assessment

Currently available information on the effects of low level radiation on man was reviewed with particular reference to the safety assessment of nuclear industry. Subjects reviewed by the Committee covered a wide area from basic radiobiology to risk perception. They are for example, (1) Problems and objectives of safety assessment of low level radiation, (2) Radiobiological bases of low level effects, (3) Genetic and somatic risk assessment, (4) Epidemiological study and criteria for assessing its results, (5) Risk assessment models, (6) Health effects models, (7) Computer codes for risk assessment, (8) Application of hybrid function in describing dose-response relationship, (9) Radon and its health effects, (10) Lung models and radon exposure, (11) Hormesis, (12) Risk perception, and (13) Institutions and organizations for research on low level radiation effects. Summary description of the results of review on 21 selected topics are given in this report.

As an additional activity of the Committee, a concise guidebook on terminology used in radiation health risk research and related subject areas was prepared in order to serve as an easy source of reference by the members of this society.

KEYWORDS : *low level radiation, man, hereditary effects, somatic effects, health effects, hormesis, radon, dose-response relationship, hybrid function, risk assessment, lung, biological models, epidemiological research, computer codes*

1. 設立の趣旨および組織

原子力が産業活動として定着しつつある一方で、原子力の利用において最も基本課題である人間と放射線の関係、すなわち人間(生物)に与える放射線の影響が捉えなおされようとしている。その潜在的な動きが、一方では英国の原子力施設に起因する環境汚染に伴う低線量放射線の影響(遺伝的影響を含む)の有無論争であり、他方では低線量放射線はむしろ人間(生物)への刺激効果として有益に働く可能性があるという、いわゆるホルミシス論争である。

本学会は多数の専門家から構成された複合的な学会であり、会員の大部分はその専門分野が人間(生物)の放射線影響に関係していないにもかかわらず、一般公衆から見れば、やはり原子力と放射線は不可

分なものとみられる故に、放射線の人間(生物)への影響に関する質問を受ける方も多いと思われる。また、会員の中にはそのようなことと離れて、まさにこの問題に関し、自らどう考え判断すべきか深く考えておられる方々も多いと思われる。いずれの場合でも、低線量放射線に関する情報を放射線影響評価の研究者が結集し、時宜を得た検討を加え、会員へ伝えることが、学会としても、またこの分野を専門とする会員としても必要と考え、本研究専門委員会が1990年4月に発足することとなった。

(1) 組織と進め方

本委員会は松岡 理(電中研)が主査を、また鶴田(近大)、草間(東大)、熊澤(原研)、大和(動燃)が幹事を務めた。検討の進め方については第1回の会合での議論を基に、対象とする範囲が広範囲に及ぶので、

焦点を絞って適宜まとめができるように専門家による講演と検討を繰り返すこととし、基礎的な事項に関する講演、世界的な重要な報告など生物影響評価の考え方に関する講演ならびに適宜課題を選定して検討することとした。

また、重要な用語の統一した定義および事情に関するきちんとした解説が有用であるとの認識から、これらを含む「用語集」を作成することとした。「用語集」の編集は担当するサブグループ(加藤、甲斐、高田、村松の各委員)を設置し、執筆は委員会のメンバーを4グループに分け、分担委員をグループごとに定めて進めることとした。

第1回会合を平成2年8月11日に開催して以来、平成4年5月29日の最終会合まで12回開催した。

(大和愛司)

(2) 調査検討項目および招待講師

検討課題および講師は次の通りである。

(敬称略, *は委員)

- (1) 低線量放射線影響の安全評価における
困難性と問題点 (松岡 理*)
- (2) リスクのとらえ方—安全評価は何を
目的として行うか (草間朋子*)
- (3) 低線量放射線影響の理解のための
放射線生物学 (放医研・山田 武)
- (4) 低線量放射線影響についての国際機関
の解釈：科学的見地から
(UNSCEARとBEIRでの解釈) (草間朋子*)
- (5) ヒトの遺伝の仕組みと放射線の
かかわり (放医研・戸張巖夫)
- (6) 遺伝的影響とリスク評価 (熊澤 蕃*)
- (7) 低線量放射線影響についての国際機関の
解釈：ICRPからみた低線量放射線の影響
(稲葉次郎*)
- (8) 疫学研究に関する基礎 (小林定喜*)
- (9) 放射線生物学の基礎 (高田和夫*)
- (10) 疫学論文の評価の仕方について
(放影研・秋葉澄伯)
- (11) リスク評価および評価モデル (甲斐倫明*)
- (12) 環境影響評価における健康モデル
(本間俊充*)
- (13) ICRP, 1991年合同会議の動向 (松岡 理*)
- (14) 放射線ホルミシス (御園生 淳*)
- (15) リスク評価に関する解析コード
の概要 (村松 健*, 本間俊充*)

- (16) ハイブリッド関数を用いた新しい
線量反応関係モデル (熊澤 蕃*)
- (17) ラドンの何が問題か (下 道国*)
- (18) 各国の屋内ラドン測定値と肺がん
との関連 (小林定喜*)
- (19) 新気道モデルからみたラドン吸入
被曝の問題点 (松岡 理*)
- (20) リスク認識 (草間朋子*, 小林定喜*)
- (21) 低線量影響研究に関する検討組織
および実験グループ (松岡 理*)
(大和愛司)

2. 低線量放射線の影響は なぜ問題になるのか？

低線量の影響は職業人および公衆の最も普通に起こる被曝として社会的関心が高いにもかかわらず、科学的事実は社会が要求する精度では明らかでなく、影響発現の機序に関しても十分解明されているとはいえない現状にある。

原子力の平和利用に際し、作業者や公衆の被曝の安全基準が示され、それに基づいての安全性が説かれる。またチェルノブイルの事故に対して、輸入食品の安全基準が示され、健康影響の安全性が説明される。しかし、これらの基準に示されたレベルの放射線影響はどれほどかと公衆に尋ねられると、正確に答えうる専門家は少ない。本学会の会員は、一般公衆から見れば放射線の専門家ではあるが、低線量の健康影響に関して公衆から質問を受けた場合は、専門分野の違いもあり、きちんと自信をもって答え得ないのではなかろうか。

低線量影響が十分に解明されていない理由は、

- (1) 人体での影響に関する疫学データは、多数の変動要因を含み信頼性が乏しいこと。人類集団での影響の調査結果が発表され、原子力批判運動の根拠として取り上げられる場合も多い。しかし、その結果の信憑性や精度に関し十分な追跡検討がなされたとはいえない。

国連科学委員会(UNSCEAR)や米国BEIR委員会などが情報をとりまとめ、その内容を検討、発表しているが、非専門家には内容の理解がかなり困難である。

- (2) この線量域での動物実験データは存在しない。動物実験で低線量域の実験での統計的有意な数の実験群を得ることは極めて困難で、低線

量での線量効果関係を直接得られたものはない。

- (3) 低線量のリスクはいろいろな角度からの推定によらざるを得ない。すなわち、高線量域の実験結果からの外挿か、他の類似現象からの推定によるかである。低線量の被曝が発がんにより効率的でありうる。大線量による細胞死が発がんにはつながらず、亜致死損傷のみが発がんにつながる。幼児被曝の影響は、成人に比べより低い線量で問題となる。胎児影響の重要な指標である奇形は社会的には最もインパクトが高く、重度精神遅滞は低い線量(10~20 rad)で発現する。低線量で問題になる遺伝的影響は集団の問題である。低線量での発現の頻度は非常に低いもので、原因を特定できないので、心理的不安を与える効果はかえって高い。低線量の被曝は職業人のみならず、公衆の被曝が実際上一番問題になる。公衆は被曝から直接利益を受けず、自らは被曝を制御することはできない、放射線管理も受けていない。公衆には放射線感受性の高い胎児、乳幼児も、また遺伝的に放射線感受性の高い人達が含まれている可能性があるなどである。(松岡 理)

3. 低線量とはどれくらいの線量と考えられてきたか。

低線量の定義は専門分野により意見が異なり、合意が成立していない。つまり公式の定義はない。人体影響という点で最も確実な証拠である原爆被爆者の被曝は、数秒間に数 100 mGy の大線量急性 1 回被曝である。現実の職業被曝、または公衆被曝は非常に低い線量での繰返し被曝がその実態である。職業人の 50 mSv/年、公衆被曝の線量限度 1 mSv/年などは極めて低い線量率が想定されている。これらの健康影響を高線量、1 回被曝のデータから直接推定するのは困難で、不正確である。現実の職業人の被曝の平均値は年間約 1 mSv 程度で、公衆が日常受けている自然放射線のレベルは年間約 2.4 mSv である。各分野での低線量域の見解を見ると、生物実験側では、急性効果の出現しないレベル: 0.1~0.25 Gy を、一方、環境研究側では原子炉周辺監視区域の線量目標値: 0.5 mSv を主張する。UNSCEAR の分類として、低: 0~0.2 Gy, 中: 0.2~2.0 Gy, 高: 2.0~10 Gy, 超高: 10 Gy 以上としている。現実の各種

線量基準との対比としては、職業人の線量限度 50 mSv/年、公衆の線量限度 1 mSv/年、自然放射線、自然放射能との対比としては 2.4 mSv/年である。

(松岡 理)

4. 国連科学委員会報告、BEIR 報告、ICRP 報告

低線量放射線の人体への影響に関して科学的に検討する作業が種々行われ、その結果が放射線防護を考えるのに大きく影響しているものに国連科学委員会報告書、BEIR 報告書および ICRP 報告書がある。

国連科学委員会報告書とは正式には、原子放射線の影響に関する国連科学委員会(国連内の一組織)が準備し、国連総会に提出する報告書とその付属書である。委員会は毎年 1 回会合を開き、放射線源とその人の被曝のレベルおよび放射線の人体影響とリスクについて最新の情報を科学的に検討し、結果を 4~5 年ごとに報告書として刊行している。内容は極めて広範かつ詳細である。

人に対する放射線影響、特に発がん影響については、広島、長崎の原爆被爆生存者の疫学調査の結果から、高線量、高線量率、低 LET 放射線につきリスク係数を与え、それは 0.5~6 Gy の線量域で適応できるとしている。これ以下の低線量については、その推定の困難さを述べた後で、種々の検討を加え、上述の高線量での値に対して補正係数による修正の要がありとしているが、それらを疫学的に実証することは極めて困難であろう。なお高 LET 放射線の低線量被曝に対しては線量線量率低減係数を考える必要はないとしている。

BEIR 報告書とは、科学アカデミー・研究審議会の中の電離放射線の生物影響に関する委員会(Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation)が準備した同名の報告書であり、その目的は放射線被曝による健康影響について最新の知見を整理、レビューし、放射線防護規制の意思決定の科学的基礎を得ることにある。あくまでも米国内のもので、リスク推定も米国人に限定している。米国は放射線影響に関する調査研究で世界の中で飛び抜けており、レベルは極めて高く、各国もその報告書を重視している。

低線量リスクに関しては、結果的に国連科学委員会の場合と同じく、原爆被爆生存者の疫学調査の結果を用い、種々の予測モデルを設定しながら、①低

LET 放射線 0.1Sv の全身急性被曝, ②年間 1mSv の生涯の全身連続被曝, ③ 18~65 歳にわたる年間 10mSv の全身被曝について推定している。原爆被曝者が日本人であり, そのデータを外国人に適用することの問題点などが指摘されている。日本人と米国人の間で発生するがんの組織型が違うからである。

ICRP 報告書とは, 国際放射線防護委員会が放射線防護に関する勧告を出すにあたり, その勧告の背景となる事柄を勧告の付属書として勧告とともに刊行したものである。Publication 60 として刊行されたものを指すが, そのほかにもいくつかの報告書が放射線影響を主題としている。いずれの場合も放射線防護への適用という明確な応用目的をもっている。時期的に最も最近に刊行されており, 上記国連科学委員会報告書と BEIR 委員会報告書も検討の対象になっている。

放射線防護の点から, 線量限度近傍のリスクを推定しているが, 広島・長崎の原爆被爆生存者を対象に導いたリスク係数を線量線量率低減係数を 2 として修正する手法をとっている。リスク推定の対象は公衆の構成員と放射線作業従事者などの職業人に分けている。なお, ICRP では, 従来のリスク概念にとどまらず, 新たにデトリメント(損害)という概念を展開し, それを用いて線量限度, 組織荷重係数, 放射線防護の最適化などを考えている。放射線発がんについては, リスクが致死がんの発生確率に着目していたのに対し, デトリメントは寿命短縮や非致死がんなどの影響も含めた有害の程度を指している。

低線量放射線の影響について使用できる情報が極めて限定されていることから, 上記いずれの報告書も現状において推定したリスクの不確実性は大きい。今後の調査研究の進展を期待したい。

(稲葉次郎)

5. 低線量の生物影響(発がん)

低線量被曝による健康影響を科学的に理解するため, 放射線生物学で得られた基礎的な知見の再検討を行なった。従来の研究は放射線による細胞の致死作用に関するものが多く, 生存細胞から起こる発がんの研究に直接つながり難いこと, また他の作用源による場合も含め, 発がんのメカニズムについてはまだ不明な点が多いことが確認された。しかし近年, 遺伝子レベルにおける発がん機構の研究は非常に盛んであり, 特にがん遺伝子, がん抑制遺伝子の発見

以来, 考え方に革命的な変化が起こり, 機構解明が加速されている。いくつかの場合には, 特定のがんに関与する遺伝子が同定され, それががん化に際し, どのように突然変異を受けるかが知られるようになった。現在放射線による発がんについての線量・反応関係, 時間, 発生率関係は, データ当てはめに便利のような経験的モデルにより表わされているが, 将来は発がんのメカニズムを考慮にいたったモデルになることが望ましい。

低線量放射線影響の特徴を理解するためには, 生体への線量付与のメカニズムが明確にされなければならない。この点で, 標的に対するヒット数が事実上 1 個である領域が存在することを明らかにし, これを低線量と定義した Kellerrer, Booz らの考え方は重要である。実験事実と関連させた研究の進展が望まれる。

がんは初発, 促進, 悪性化などの多段階の過程を経て発病する。従来は初発過程の研究に偏る傾向があったが, 今後これらの全過程について, 関わる因子とその関わり方を研究することが必要である。これは, 低線量放射線による発がんにしきい線量があるかどうかという最大関心事を明らかにする上で, 特に重要と思われる。

(高田和夫)

6. 放射線の遺伝的影響

親の卵巣または精巣にある生殖細胞が放射線による損傷を受け, その子孫に遺伝的疾患をもたらす場合, これを遺伝的影響(hereditary effect)という。ただし, 生殖細胞以外の細胞(体細胞)にも遺伝子があり, これも含めた遺伝子への放射線損傷を遺伝学的または遺伝的影響(genetic effect)という。表題は子孫に伝わる(継世代的)遺伝影響を指す。

遺伝子上の影響が子孫に伝わるには, 第 1 に体細胞ではなく生殖細胞中の遺伝子が影響を受け, 第 2 にそれが受精し, 第 3 に死産ではなく出生児であることが必要である。遺伝性影響として重要な生殖細胞の段階は, 精子のもとである精原細胞と, 卵子のもとである卵母細胞である。重大な損傷があると, 様々な防止機構(精子, 卵子形成阻害, 受精時に数億個中の 1 個の精子だけが選択, 出生児に至らず等)が働き, 遺伝性障害は子孫に現れづらくなっている。

遺伝子は 3 万対ほどあり, 優性と劣性に分けられる。一般の遺伝病は優性が 800 種以上, 劣性が 600 種以上, 伴性(血友病など)が 100 種以上が報告(1987)

されている。1977 年国連科学委員会報告によると、生涯のうちに発病する一般の遺伝病は出産児の 10 % に当たり、その約 10 % の要因は遺伝子損傷、残りは遺伝と環境の両方により発病するという。また、先天的奇形は 1 % 程度と推定されている。

放射線による重要な遺伝的損傷は、遺伝子突然変異と染色体異常 (23 対の染色体の構造や数の変化) がある。この結果、子孫に現れる遺伝的障害としてメンデルの法則に従う障害、染色体異常による障害および複数の遺伝学的要因と環境要因による障害がある。H.J. Muller (1927) 以来の各種実験から、人の遺伝性障害の発現の可能性は疑いないとされるが、人の遺伝性障害の事例は今のところない。したがって、マウスの突然変異実験のデータを人に外挿して遺伝性影響を評価している。

この影響評価には、一世代に自然に発生する突然変異の頻度と同じ数の突然変異を生ずるのに必要な線量を指標とする倍加線量法と、自然の発生頻度に依存せず線量に比例して増える突然変異の頻度を指標とする直接法がある。現在は倍加線量法が用いられ、その推定値は 1 Gy である。

ICRP の 1990 年勧告では、遺伝平衡時の低 LET 放射線 1 Gy 当たりの遺伝性障害 (120 例/10⁴ 出生児) に平均寿命 (70~75 年) 中の平均生殖年齢 (30 年) の割合 (40 %) を掛けて求めた障害確率 $0.6 \times 10^{-2} \text{ Gy}^{-1}$ 、および多因子性疾患分として有病率 70 % のうち 5 % が突然変異成分と仮定し、倍加線量を 1 Gy とし、その 1/3 が重篤と仮定して求めた障害確率 $0.5 \times 10^{-2} \text{ Gy}^{-1}$ から、重篤な遺伝性障害の全確率は $1.0 \times 10^{-2} \text{ Gy}^{-1}$ としている。これは全世代に対する値である。ただし、職業人は 18~85 歳の労働生涯中生殖年齢は平均 30 歳までと仮定すると、職業人の遺伝障害の確率は前記の全確率のおよそ 60 % に相当する $0.6 \times 10^{-2} \text{ Gy}^{-1}$ となる。

今後、人のデータに基づく評価を目指すことが重要である。しかし、父親の放射線被曝による遺伝性腫瘍と主張されたセラフィードの小児白血病 (ガードナー論文) などのように、専門家の間では否定的な放射線による人での遺伝性障害がマスコミで報道されることは大いにありうる。(熊澤 蕃)

7. 線量効果関係

被曝線量の増大に伴い、がん死亡率や遺伝性障害などの発生率が如何に変化するかという集量的な関

係を線量-反応関係 (dose-response relationship) という。また、この関係を的確に抑えることは、被曝をどの程度に規制するかという放射線防護の基本に関する重要事項の 1 つである。

典型的な線量-反応関係は米国放射線防護測定審議会報告 (NCRP No. 64, 1980) でまとめられたものが、ICRP 1990 年勧告などに広く引用されている。これによると、低 LET 放射線の場合、がんの発生率は低線量域では線量に比例して増え、中線量域では線量の 2 乗の項が加わり増え方が急になり、高線量域では細胞致死効果により損傷細胞の数が減るため、線量が増すと減少に転じると特徴付けられている。細胞致死効果を無視するとこの時の線量-反応関係は、線形-2 次式

$$E = \alpha D + \beta D^2$$

と表わされ、L-Q モデルといわれる。ここで、 E はがんの発生率、 D は線量、 α 、 β は定数である。理論的には、放射線損傷が DNA の一重鎖切断および二重鎖切断の事象に対応するとみなされている。また、細胞致死効果は

$$S = \exp(-\gamma D - \delta D^2)$$

と線量の 1 次の項および 2 次の項で表わされ、一般化された線量-反応関係は

$$I = E \times S = (\alpha D + \beta D^2) \exp(-\gamma D - \delta D^2)$$

と表わされる。ここで、 S は細胞生存率、 I は細胞致死効果で補正したがんの発生率、 γ 、 δ は細胞致死に係わる定数である。高 LET 放射線の場合、線量-反応関係は、線形で

$$E = \alpha D$$

と表わされる。また、このときの細胞致死効果も

$$S = \exp(-\gamma D)$$

と線量の 1 次の項だけで表わされる。

通常の放射線防護の管理で遭遇する範囲の線量および線量率においては、低 LET 放射線の場合も線量-反応関係は線形とした方が管理上都合がよい。このため、ICRP 1990 年勧告では、上記の非線形性を考慮し、線量・線量率効果係数 (DDREF) 2 を定め、数 Gy 程度における dE/dD の値を 1/2 にした定数を求めて、線形の線量-反応関係を用いている。DDREF は、低 LET 放射線の場合、低線量、低線量率には高線量、高線量率に比べ損傷修復の効果があることによる低減補正係数である、と解釈される。

以上のような線形-2 次式、線量-反応関係は染色体異常をはじめ、放射線生物学、放射線医学などで広

く用いられている。しかし、0.1 Gy 程度以下では実測データは極めて少なく、このような低線量領域での信頼性のある線量-反応関係を決めるのは、今後の研究に待たなければならない。(熊澤 蕃)

8. 放射線ホルミシス, Radiation Hormesis

生体には自身の恒常性を維持するための機構が備わっている。ホルミシスは、体内外から様々なストレスが加えられたときに、この機構が働くことによって引き起こされる自然的防御反応の一つであり、高レベルで作用させた場合には重大な損傷を与えるような有害要因でも、低レベルの場合は自然な形の刺激として観察される現象を一般にいう。生体の反応は正負両方向に向かうが、基本的には、一過性の変化であり、弾性変形の一つと考えられる。

従来、放射線はどんな微量であっても生体に有害であると考えられてきたが、T. D. Luckey は放射線についてもホルミシスの概念が当てはまり、低線量の放射線(100 mGy 以下)は生物に好ましい影響を与えるという説を提唱した(1990)。

微量放射線の刺激作用は広い範囲にわたって観察されているが、生体にとって最良の状態にあるときよりも、多少抑制的な条件に置かれたときの方が、反応量は大きくなる傾向が見られる。低線量照射の効果が顕著に現れるのは免疫機構である。初期の実験で観察された低線量長期照射を受けた動物の寿命が延長したという事実も、照射によって免疫機能が亢進して感染症に罹患する割合が低下したことによると考えられている。なお、SPF 環境(特定病原微生物フリー)で飼育された動物を照射した場合には、免疫機能の亢進が見られないとの指摘もあり、免疫系が照射によって活性化するか疑問視する意見もあるが、個体を病原菌で感作した後に照射すると免疫機能の亢進が促されるので、通常環境におかれた個体では十分起こりうると考えてよい。

免疫系を含む生体防御機構には、正常な機能としてがん化した細胞を攻撃し、その増殖を抑制する作用があるので、低線量放射線で活性化されれば、より顕著に発がんの抑制をもたらす可能性がある。疫学調査、動物実験のいずれによっても、一部のがんについてはしきい値が存在するというような線量効果関係が認められる。しかし、これを積極的に放射線の刺激作用により発がんが抑制されたとするか、消

極的に放射線が免疫系を含む生体防御機構の正常な働きに影響を与えなかったもので、発がんが見られなかったと考えるか、個体数の不足による統計的なバラツキとみなすかで低線量照射に対する評価が分かれ、統一した見解は得られていない。

Luckey のいう「有益効果」はひとまず置くとしても、低線量の放射線に対して、生体は基本的には他のストレスに対すると同様な応答を示すであろうことは、その後に行われた実験によって確かめられつつある。しかし、発がんと遺伝的影響について上に述べたような問題が残されており、この限りでは放射線防護の基準を緩和する方向で変更するほどの衝撃を与えるものとは考えられていない。

(御園生 淳)

9. 疫学研究と成果の判断基準

疫学は「流行病の学問」として始まり、近年に至って流行病以外のものも対象として包含するようになり、「人間集団を対象として疫病の現象、因果関係、予防法を定性的及び定量的に明らかにする学問」として定義される。疫学には、①疾病の予防に有効と思われる因子を加えたり、有害と思われる因子を取り除いて結果を観察する「実験疫学」と呼ばれる介入研究、自然の状態で実験に似ている場合を探し出して観察する方法としての、②記述疫学、③生態学的疫学、④分析的疫学、⑤理論疫学などがある。

放射線影響に係わる疫学研究には、以上の様々な方法が用いられている。放射線被曝と発がんなどの健康影響との因果関係を定量的に検討し得るのは、患者対照研究(症例対照研究)とコホート研究である。症例対照研究ではまず、因果関係について作業仮説をたて、対象とする疾病の症例(患者)を生じているような集団を確定し、次にこの集団の対照となる集団(対照集団)を定める。対照集団は性、年齢およびそのほかの生理的、社会的条件等、着目する疾病あるいは疾病要因(作業仮説による)に関すること以外の諸条件が、対象とする疾病集団と等しくなるように最大限に留意して選定される。その場合に、患者一人一人について、性、年齢などを対応させて対照者を定める「ペア(pair)法」と集団(グループ)について対照集団を定める「群対応法」とがある。症例対照研究は特殊な場合を除いて「症例の確定からその原因を過去にさかのぼって調べる」、「後ろ向き」調査である。症例対照研究は患者例数が少なくてもできるの

で経済的効率が良い。しかし、対照の選定や情報源に関してバイアスがかかり易く、また結果の分析から導かれる因果関係は決定的なものではない。

コホート研究は、ある疾病の原因として考えられる要因(仮説要因)を有する特定の集団(コホート)とそれを有しないがその他の点では、前者と同様であるような対照集団(コホート)とを定め、両者における疾病の発生頻度を経時的に追跡比較することにより、因果関係を解明する研究方法である。これにはコホートをある時点(出発点)から将来に向かって継続的に観察する前向き研究、ある時点から過去にさかのぼる後向き研究、ある同一の一時点のみで比較する断面的研究がある。前向き、後向きの出発点は過去でも現在でもよい。コホート研究では研究規模が大きく費用と時間がかかるが、対象とする疾病以外の疾病も同時に調査できること、仮説要因が直接的に検定され、相対危険度(比較危険度)、寄与危険度(帰属危険)、線量効果関係などの解析や結果の解釈が比較的容易であること、などの利点がある。

疫学研究の成果(結論)を判断するに当たっては、まず第1に用いられた方法に必然的に伴ってくる制限条件を考慮することが必要である。コホート研究でないような調査からは因果関係や線量効果関係を推論することはできても、結論することはできない。ガードナー論文(1991)は精緻な症例対照研究の一例であるが、その結論に出てくる「父親の放射線被曝線量と、被曝後に生まれた子供の白血病発症との間に相関関係がある」という説は、いくつかの有り得る仮説のうちの1つであり、「あり得ることが示唆された」のであって立証されたのではない。これは症例対照研究の特徴である。放影研による広島・長崎の原爆被爆者の疫学調査や、英国の放射線作業員についてのケンダール(Kenndall)論文(1992)および米国ハンフォード原子力施設作業員についての調査は、大規模なコホート研究の例である。これらのコホート調査では、対照群のとり方と交絡因子の関与の検討が特に重要である。いずれの方法においても、症例(集団)と対照(集団)の選定、発生頻度や相対危険度などを考慮した標本サイズ、特に対照(集団)の選定における交絡因子(性、年齢、職業など)を考慮した対応法(matching)、既往調査などが適切になされているか否か、結果の分析において判定の有意性やバイアスの有無が明確に述べられているか否か、がその結論の妥当性を判断する基準となる。(小林定喜)

10. 低線量のリスク評価

放射線防護において、放射線リスク評価が定量的に行われるようになったのは、広島・長崎の原爆被爆者データを中心とした疫学データが解析されるようになった1970年頃からである。

UNSCEAR 1977年報告が1975年までの原爆データをもとにリスク解析をしたのを受けて、ICRPは、1977年勧告で「リスク係数」を勧告し、実効線量当量の荷重係数や線量限度の妥当性の検討に用いた。1980年には、米国のBEIR委員会からBEIR III報告書が出版された。1986年の原爆線量再評価を受けて、1985年までの原爆被爆者の追跡調査データをもとに、1988年にUNSCEAR報告が、1990年にBEIR V報告が、1991年にICRP勧告がそれぞれ刊行されるに至っている。

現在、ICRP 1990年勧告や、BEIR V報告で行われているリスク評価は、人の疫学データを基本としてデータ解析、モデル適用、さらに生涯確率計算が行われている。データ解析では、放射線に起因する過剰がん死亡(被曝と関係なく生ずるがん死亡に比べての増加分)のハザード率(ある年齢の生存者がその年齢でがん死亡する確率)が、自然がん死亡率に比例する相乗リスク型のモデルを基本として解析が行われている。相乗リスク型を用いると、自然がん死亡率が高年齢での増加が著しいことが寄与して、自然がん死亡率と独立に考える従来の相加型のモデルで解析した場合に比べて、生涯がん死亡確率の推定値が増大した。その推定値の不確実さは、線量反応モデルの誤差を考慮しないならば、統計的変動に伴う誤差が最も大きく2～3倍程度と見積もられている(第1図)。しかし、現在のところ低線量・低線量率における影響を示す直接のデータがないために、線量反応関係や低線量・低線量効果係数などを推定する際に用いている生物モデルや考え方(例えば、しきい値の有無)を生物データを基礎にして検討していく必要がある。さらには、発現時間分布のモデル(risk projection model)や原爆データを他の国民集団に適用する場合の転換モデル(risk transfer model)などの問題は、疫学データの解析やモデルの実験データを用いた検証を通じて検討していく必要がある。

(甲斐倫明)

相加的リスク予測モデル

相乗的リスク予測モデル

第1図 相加的リスク予測モデルと相乗的リスク予測モデルの概念図

11. PSAにおける事故影響評価

放射線の健康影響評価を必要とする重要な分野の一つとして原子力施設の確率論的安全評価(PSA: Probabilistic Safety Analysis)がある。PSAは対象が原子炉の場合には、炉心損傷事故に至る事故シナリオの同定と、その発生頻度の評価をレベル1 PSAと呼び、さらに炉心損傷事故の進展のシナリオから格納容器破損に至るシナリオを同定し、その発生頻度と事故のソースターム(環境への放射性物質の放出量)評価までをレベル2 PSAという。事故の環境評価は、その後の第3段階に位置し、ここまでの評価をレベル3 PSAという。

米国の原子力規制委員会の NUREG-1150 報告書がある。我が国では原研において OSCAAR コードシステムを中心とした環境影響評価の手法が開発されている。評価は事故ソースタームおよび環境条件(気象データ、人口、農畜産物生産量分布)を入力として、気象シナシス設定、大気拡散・地表面沈着解析、被曝線量算定、被曝低減効果解析、健康影響推定、経済影響推定の順で行われる。OSCAAR の健康影響モデルは、早期および持続性の影響、晩発性影響、遺伝的影響に対して、米国でまとめられたモデルを基礎に、最新の情報を加えて改良がされている。近年、PSAは各国で実施され、その結果は安全規制、設計、緊急時計画、立地評価、確率論的目標の設定等、広い分野の意志決定に重要な入力情報として用いられるようになってきており、PSAの信頼性を評価してお

くことは非常に重要である。事故影響評価では今後、環境中の核種移行解析、線量算定、健康影響推定といった各段階における不確かさと最終的な評価結果のもつ不確かさとその不確かさに寄与するモデル、パラメータを明らかにしていく必要がある。

(村松 健, 本間俊充)

12. ラドン問題

現在ラドンは広い分野で着目され興味を持たれているが、最近ではその中でも、特に人体への影響が大きな話題となっている。ラドン問題に関して主に線量評価の観点から検討した項目と結果は次の通りである。

- (1) ラドンのどういう点が問題なのか
- (2) 屋内ラドンと肺がんとの関連
- (3) 新気道モデルとラドン吸入被曝

(1)については、ラドン濃度から実効線量を求める間に介在するいくつかの点、すなわちラドン濃度および平衡ファクタの場所と時間への依存性、特に屋内では、家屋の構造、建材の種類、換気の状態などに大きく依存すること、さらに粒度分布、フリー成分濃度、また器官の形態の違い、標的細胞の位置などが線量の変動幅と確からしさに大きな影響を与えることが紹介された。さらに、測定器について、低廉価で簡易に迅速に使える装置の開発の必要性和その標準化が重要であること、公共施設事業所などのデータがほとんどないので実測の必要があること、ラドンとトリロンを分離してそれぞれ評価すること、国内の

疫学調査ならびに生活、習慣の実態調査の必要性が強調された。

(2)に関しては、脂肪組織中のラドン濃度が高いこと、飲料水からラドンが取り込まれること、幼児の線量が高くなること、などの説明がなされた。さらに、地域のラドン濃度と肺がんを対応させる疫学調査では、線量が個人に結び付かないので、両者を関連づけることが難しいことが指摘された。

(3)に関しては、ICRP が改訂を進めている新気道モデルの改正点について、その主要な点は、最近の新しい知識ならびにコンピュータによる複雑な計算が可能になったことを入れて、これまでの気道の区分が変更され計算が細かくなったことや、気道表面からだけでなく、隣りや組織内部からのヒットも考慮されるべきであることである。(下 道国)

13. リスク認知, Risk Perception

種々の行為等に関連したリスクを理解し、受容する一連の過程をリスク認知という。潜在被曝を含めた放射線被曝の健康影響の発生確率をリスクという。したがって、リスクは潜在被曝の発生確率と被曝に伴う健康影響の発生確率の2つの要因からなる。

低線量被曝による確率の影響の線量反応関係は明らかでないために、放射線防護上は、がんおよび遺伝的影響にはしきい線量が存在しないとの仮定をとっており、このような仮定のもとでは、原子力・放射線利用に伴うリスクをゼロにすることはできない。しかし、原子力・放射線利用によって多くの便益を得ることも事実であり、ある程度のリスクは受容せざるをえない。リスクの受容の判断は、原則としてリスクを受ける側、すなわち被曝をする人々によって行われるので、被曝する人々がリスクを理解し、判断できるための根拠を示す必要がある。

原子力・放射線利用に際してリスク認知が不可欠であり、このため、①原子力・放射線利用に伴うリスクを算定すること、②リスクを評価すること、③それらの伝達手段を選択することなどが積極的に検討されている。

リスクの算定は、被曝線量(潜在被曝の可能性を含めた)および被曝線量と影響との関係(線量反応関係)から求められる。リスク評価、すなわちリスク受容のレベルを判断するための手段としては、①自然放射線と比較する、②便益とリスクとを比較する、

③代替手段のリスクを比較する、④すでに容認されている他のリスクと比較する(リスクの相互比較)などが用いられる。

現在、種々の国際的機関などでは、1年当たりの死亡リスクが、 10^{-3} (職業人)と 10^{-4} (一般公衆)が受容できるリスク上限値であるとしている。しかし、リスク受容の程度を判断する場合には、リスクの数値だけでなく、リスクの原因となる事象の特徴(自発的行為であるか、便益の程度など)、リスクそのものの特徴(リスクの時間的、空間的分布など)、リスクの不確かさの程度、リスク管理に対する信頼性の程度など様々な要因が関係し、しかもリスク認知が個人によって異なるので、階層分析法など(甲斐:日本リスク研究会誌, 3, 123(1991))を用いて、リスク受容の判断に影響を与える要因を定量的に判断し、リスク管理に役立てていく必要がある。(草間朋子)

14. 低線量影響研究の検討組織の調査

本委員会の関連事項として、国内における低線量影響研究の検討状況の調査を行なった。検討組織として次のものが挙げられることがわかった。

「ホルミシス委員会」	電中研
「微量放射線影響検討専門委員会」	原安協
「低線量影響研究専門委員会」	原安協
「生活環境放射能専門委員会」	原安協
「放射線リスク専門委員会」	体質研究会
「低線量放射線安全評価データベース専門委員会」	原子力データセンター
「低線量放射線の安全評価研究委員会」	原安協
「低線量放射線影響と安全評価研究専門委員会」	

本 会

以上のほかに、低線量影響を主題として開かれた集会所として次のものがある。

「ホルミシス講演会」	電中研
「極低レベル放射線の影響ワークショップ」	放影学会
「放射線の適応応答」	放医研セミナー
放影学会	
現在活動中の実験研究グループについて	も調査が行われた。
	(松岡 理)

15. 『用語集』の作成経過

本委員会では、活動の一環として、『低線量放射線の影響に関する用語集』を作成した。この目的は、原子力学会の一般会員、すなわち原子力や放射線に日常的に係わっており、放射線に関する一応の知識

はあるが、放射線生物学や保健物理の専門家ではない方々を対象として、低線量放射線の影響やそれに関わる放射線防護、安全性等の問題について調べたり議論したりするときに、手軽に参照できる用語説明書を提供することであった。内容は、低線量放射線の健康影響に関する知識の現状を理解するために必要となる用語を中心として、これに放射線管理や安全評価の用語、重要な報告書、放射線に係わる事故事例等を加えている。具体的には、

1. 放射線防護の理念と基準、2. 基本的な線量概念、3. 線量関連用語、4. 放射線防護に用いる線量および関連用語、5. 放射線生物、6. 放射線影響、7. がん、8. 遺伝、9. 疫学調査研究、10. 放射線リスク評価、11. 事故評価、12. 重要な報告書、13. 社会問題・事故事例

の13章に分けて約170の用語を収録している。このうち、1～11章は、専門用語についての200～500字程度の説明である。ここでは、例えば、放射線ホルミシス等、最近話題となった用語も採り入れている。また12章では、ICRP、BEIR、UNSCEARの3種の報告書、13章では、旧ソ連のチェルノブイリ原子力発電所事故や、英国シェラフィールド再処理施設周辺の小児白血病の発生が増加したとされる事例等、放射線の影響が社会的に関心と呼んだ11種の事例について、1,000～2,000字で解説がなされている。

各用語の説明では、必要に応じて図表を用いる等わかり易い記述とするよう努め、さらに詳しく知りたいという読者のために参考文献を示している。またICRPの1990年勧告での変更事項については、従

来の用語と併記して変更内容を示している。

なお、原稿作成に当っては、全委員が数語ずつ分担して原案を作成し、その原稿を分野ごとに2～3名の別の委員がレビューするという方法をとった。

本用語集は、全体でB5判約130ページからなり、本学会事務局から入手することが可能である。会員の方々のお役に立てば幸いである。(村松 健)

16. 今後への期待

低線量放射線影響の安全性評価のために今後どのようなことが期待されるか、また実行してゆくべきかについて討議を全員で行なった。

期待される研究としては、従来の放射線の致死効果を土台とする放射線生物学を、亜致死損傷を中心にした新しい放射線生物学の体系が構築されるような方向の研究が望まれる。

わが国ではいろいろな困難はあるが、リスク評価に直結する生物研究を推進する必要が痛感された。同時にメカニズムに関する研究も、それがメカニズムに基づいた線量-効果モデルの構築にまでつながる努力がなされなければならない。

低線量に関する疫学的研究の重要性は十分認識するが、この成果を決定する核種の行政的な各種の統計の精度を高めるための努力および情報の研究者への公開利用の推進の必要性が認識された。

低線量とはどれくらいの線量を指すかについても議論が行われた。そのレベルは確定的な影響が出ない線量、つまり0.1 Gy以下と考えるべきではないかというのが大よその一致した意見であった。

(松岡 理)

「低線量放射線影響と安全評価」研究専門委員会 構成 (1990年4月～1992年5月)

◎松岡 理(放医研)、○草間朋子(東大)、○熊澤 蕃(原研)、○大和愛司(動燃)、○鶴田隆雄(近大)、小林定喜・中村裕二・稲葉次郎(放医研)、加藤和明(高エ研)、村田幹生・森内 茂・村松 健・高田和夫・本間俊充(原研)、小佐古敏荘・甲斐倫明

(東大)、辻本 忠(京大炉)、下 道国(名大)、中村尚司(東北大)、二之宮和重・篠原邦彦・金森正至(動燃)、小村和久(金沢大) 御園生 淳(電中研) (計24名)

(◎は主査、○は幹事；敬称略、順不同)