

## 第10章

### 被ばくに伴うガンリスク、第1部：初期の証拠

#### 第10.1節 ECRR リスクモデルの基礎

ECRR2003の出版の後、フランスのIRSN（フランス放射線防護原子力安全研究所）や他の機関はECRRのモデルをその科学的な基礎を説明することに失敗しているとして批判した。本委員会の新しいリスクモデルの基礎として使用している証拠は、第一にヒトの疫学調査であり、次にヒト、動物、細胞についての数多くの研究であり、最後に、細胞レベルの放射線と分子との間の相互作用の性質に関する、物理化学及び生物学の知識である。それは、第一義的に物理学的基礎に基づくものではなく（そしてこの点の本質的にICRPと異なる点である）、その代わり帰納法的に疫学的証拠から始まり、それからこれらを放射線と生体組織の間の、希釈した溶液中の生物現象としての分子レベルの相互作用として説明している。

第一に、我々のリスクモデルは、大気圏内核実験の降下物の中の核分裂生成された放射性核種とウランについての内部被ばくの経験的データに基づいている。1959-63年にピークを迎えたこれらの核実験は、体内放射性核種による人類への放射線被ばくの効果についての最初の実験であった。なぜならその放射能は世界中に拡散したからである。それは、だれも検討したことの無い結果をもたらす実験であった。世界保健機関（WHO）は初期の健康への影響が現れ始めた1959年に急いで取り組むことを強いられ、おそらくそのため、その時点では系統的な研究は一切存在しなかった。前述したように、WHOはその（放射線の影響）調査業務を国際原子力機関（IAEA）に任せるようにIAEAと合意させられ、その合意は現在も施行されている。しかし、裏舞台の公にされないところで、放射性降下物が人々を殺し始めていたことは当局には明らかとなっていた。この（影響があるという）ことを述べた初期の指摘は、日本の原子爆弾の（被害の）研究の引用によりすぐさま否定された；高いレベルでの隠ぺい工作があった（Medical Research Council 1957）。それでもやはり、部分的核実験禁止条約が1963年に調印された。

核兵器の放射性降下物は世界中に拡散したけれど、それは一様に拡散したわけではなく、南半球より北半球に多かった。少ない雨の地域よりも沢山雨が降る地域に多く、しばしばかなりの量の違いが生じた。総被ばく量はICRPのリスクモデルで評価され、INSCEAR（国連原子放射線の影響に関する科学委員会）により表にまとめられた。汚染状況は多くの国々で測定され、その結果が公表された。1950年代から今日に至るまでの非常に優れた汚染データが利用可能な一つの国は英国である。これは、イングランド地方とウェールズ地方別に、個別の放射性核種による汚染に関するデータを含んでいる。

英国には、1974年からのガンの発生を集めた機能的なガンの記録簿をもつ地域も2つあるが、英国における区分けされた死亡登録簿は、その死因について1930年代にまで遡って残されている。ウェールズ地方は英国の大西洋岸に位置し、（多い雨のために）ウェールズにおける放射性降下物と測定された汚染、及び（放射性同位体ストロンチウムSr-90に支配された）被ばく量はイングランド地方のそれにくらべて2倍から3倍多かった。

年齢で規格化されたガンの発生率の傾向を、遺伝的に似た集団で似たライフスタイルを持つウェールズ地方とイングランド地方で比較することは、核兵器の放射性降下物による高レベルの被ばくがどんな効果を生じるのか見るために、直接的な方法であった。

その効果は驚くべきものであった (Busby 1994, 1995, 2006)。年齢で規格化されたガンの発生率の傾向は二つの地方で似通っていた。その傾向は 1979 年からウェールズでの発生率がイングランドの率に比べてあがり始めるまでは、傾向は平行していた。1984 年までにイングランドの率が上がり始めたが、ウェールズのガン発生はそれまでに 30% 増加していた。ウェールズにおける傾向のその奇妙な形は、厳密に放射性降下物による初期の被ばくをなぞる形のものであった。1959 年からの部分的核実験禁止条約によって放射能の降下量は急激に減少したが、その不連続性までも一致していた。ガンの傾向と放射性降下物による被ばくの初期の傾向との時間的な相関は (ストロンチウム 90 (Sr-90) でモデル化されたものであるが) 統計的に高い精度で有意であった。被ばく線量とその線量における過剰なガンの発生を ICRP モデルで予測した場合の誤差は、300 倍であった (Busby 1994, 1995, 2002, 2006)。このレベル (100 倍から 1000 倍の範囲) の ICRP モデルの誤差は核分裂生成物による内部被ばくの研究では何度も何度も現れていたものである。最近になって、トンデルら (Tontel et al, 2004) の北部スウェーデンにおけるチェルノブイリ原発事故後のガンの研究から強力な確証が得られている。その研究によると誤差は (発生率が) 高い方向へ 600 倍となることが示された。このことに付いては後の章で議論することにする。オケアノフ (Okeanov) が 2004 年に報告したベラルーシにおけるガンの増加率もこのことを支持している。

内部被ばくに関して ICRP のモデルを使った場合に誤差があるということを立てることは一つのことである；放射性降下物を構成する様々な放射性同位元素の中で、その誤差を区分けすることはまったく別のことである。彼ら (ICRP) はすべて (の放射性同位元素) を機械的に同じように誤評価したのか？ (放射性同位元素のうち) いくつかは他のものより危険であるのか？放射性降下物からの被ばく量は表として ICRP モデルで与えられているが、その中でストロンチウム-90 (Sr-90) がもっとも大きな被ばく量を与えている。なぜならそれは比較的長い半減期 (29 年) をもち、カルシウムの代わりに骨の中に蓄積される可能性を持っているためである。従ってそれは「単位質量あたりのエネルギー」をより長い間与えることになる。しかし、本委員会の手法に基づく、ウランもまた重要な危険因子となるかもしれない。まだウラン汚染レベルは測定されておらず、ウランからの被ばく量も評価されていない。この段階では、他の放射源からの個別の放射性核種の危険度に付いての証拠を導入することが必要であり、これが本委員会の手法であった。もし、主な放射性降下物の被ばくがセシウム-137 (Cs-137)、ストロンチウム-90 (Sr-90) とウランであったなら、Cs-137 からの被ばく線量が 2つの理由で軽く扱われることは妥当なことと思われる：この元素は生物学的半減期が短く、その科学的特性から身体に一樣に拡散する。従って、それは 6 章に与えられている理由から外部被ばくの危険因子としてモデル化することが出来る。動物実験において、Cs-137 は Sr-90 に比べて遺伝子損傷についてははるかに小さな効果しかない (Luning and Frolen 1963)。同じ議論が (身体中で一樣に拡散する) 炭素-14 (Ca-14)、(生物学的半減期の短い) トリチウムと短い半減期を持つ多くの放射性核種についてもあてはまる。

主な証拠を再検討する続く 2つの章の中で、本委員会が採用した立場を示す研究と結果の数々を簡潔に示す。この章では、1963 年の大気圏内核実験禁止条約によって終了した時点までの、核兵器による地球規模の放射性降下物の状況から効果までを取り扱う。第 11 章では今日までの原子力発電所による白血病とガンの発生群の証拠から始まっている。紙面の都合によりこれらの章は全ての証拠の包括的な概観とはなっていない。

## 第10.2節 特異性 (Specificity)

本委員会は、ここまでに議論した理由によって、内部被ばくと外部被ばくがもたらすリスクを区別して取り扱うことを決定した。しかしながら、それらのリスク係数が根拠としている証拠は現実世界の状況から来ているものであり、その被ばくが完全に外部被ばくだけであったり、あるいは完全に内部被ばくだけであったりするものは稀で、たいていは両者が混在していることは明らかである。もしも内部被ばくが外部被ばくよりも著しく高いリスクを持っているとき、内部被ばく線量と比べて高い外部被ばく線量を受けた集団に関する研究から得られた外部被ばくのリスク係数を使うと、純粹に外部被ばくの有無だけの場合を比較した研究から得られるリスク係数より高い値となり、この差は、より大きな内部被ばくを含む集団では更に大きくなる、ということは容易に理解できる。例えば、ヒロシマ寿命調査 (LSS) の研究では (他の諸要因もその経験的な結果に寄与しているとは思われるが)、最も低い線量域における放射線の効果は超線形的線量応答 (super-linear dose response) または他の形の、低線量にいて高い応答を持つものとして現れている。合衆国が主導したヒロシマ生存者に対する諸々の研究が、原子爆弾が空中で爆発したことを理由にして、その研究集団が受けた被ばくにはどのような内部被ばくの要素も存在しないと一貫して否認してきたことは興味深いと言えよう。しかしながら、それ以降に行われた測定では、ヒロシマ近辺の土壤にプルトニウムやセシウムの存在が示されており、そして最近になって、ヒロシマ原爆による同位体元素の降下物が、北極からのアイス・コア内に同定されている。これらの発見は、初期の研究において、その参照集団の中での白血病が日本全体の記録と比較して増加しているという謎を説明することになるだろう。ABCC (原爆障害調査委員会) が、爆撃された町の LSS (寿命調査) の中に初期の白血病を含めることを怠り、その町における放射性降下物の存在と一般的疾病率についても報告することを怠り、最終的な結論をねじ曲げることになってしまったという証拠が明らかになっている：このことは、とりわけガン以外の疾病や遺伝性疾患について事実である (Kusano 1953, Sawada 2007)。ガン以外の疾患がガンの統計や放射線ガンの疫学に影響を与えることを思い出すべきである。なぜならガン以外の病気で死亡するおおよそ 50 歳以下の個人は、ガンの率が指数関数的に増加し始めるその年齢のガン死亡ほどにはないからである。

それでもやはり、本委員会は、従来通りのモデルによる外部線量が内部被ばくの 100 倍以上になる場合については、主に外部放射線量を外部被ばくのリスク研究として扱うことを決定した。そして、いくつかの不一致や例外の現れを内部被ばくに基づくものとして受け入れることとした。このようなやり方は、外部被ばくのリスク係数に対する数値を押し上げる結果をもたらしたが、助言が必要となるような、外部被ばくのみ状況における放射線防護の目的に使われることに対して問題はないだろう。

## 第10.3節 放射線リスクの基礎的研究

表 10.1 に示した諸研究は、ICRP モデルが採用しているリスク係数の正当性を支えている主要な研究であり、現行の放射線防護管理体制を決定づけている。これらがほとんど外部被ばくに限ったリスクに関する研究であり、そして、ヒロシマの研究を除いて、全ての研究が純粹に外部被ばくのみを受けた被験者と被ばくしていない参照集団との比較であることは明白である。これらの諸研究から得られたガンについてのリスク係

数は、大方において広く同意を得てきており、したがって本委員会としても、急性の外部放射線量とエンド・ポイントとしてのガンに対しては、これらのリスク係数がひどく不正確であるようなことはなさそうであると考えている。

表 10. 1 ICRP と他の機関によって電離放射線によるリスク係数を決定するのに利用されている研究のまとめ。しかし ECRR はこれらをガンと白血病についての外部被ばくのリスク係数を決定するために使っている。

| 研究                                     | 人数      | 線量 (Gy)    | 形態       | 参照集団                   | 備考                                |
|--|---------|------------|----------|------------------------|-----------------------------------|
| 1. ヒロシマ 寿命調査研究 (life span study) (LSS) | 91,000  | 0-5<br>高線量 | 一回<br>急性 | 市内「非被ばく」               | 標準的でない集団；参照集団におけるバイアス；晩発性影響が現在進行中 |
| 2. 英国関節強直脊椎炎 (ankylosing spondylitis)  | 14,000  | 3-4<br>高線量 | 急性       | 平均的集団                  | X 線                               |
| 3. 頸部 (cervical) ガン患者                  | 150,000 | 高線量        | 慢性       | 平均的集団                  | ラジウムカプセル                          |
| 4. カナダ蛍光透視診断                           | 31,700  | 0.5-1.2    | 数回<br>急性 | 気分の悪くなった (unwell) 参照集団 | 気分の悪くなった (unwell) 集団、X 線          |
| 5. 出産後の乳腺炎 (post partum mastitis)      | 601     | 0.6-1.4    | 数回<br>急性 | 治療しなかった乳腺炎             | 小規模研究、X 線                         |
| 6. マサチューセッツ蛍光透視診断                      | 1,700   | 高線量        | 数回<br>急性 | 平均的集団                  | 高度に区分けされた、X 線、小規模研究               |

ヒロシマ寿命調査における晩発性ガンの影響についての最新のデータは、ガンの発生率が以前のリスク係数による予測を超えて継続していることを示している。ゴフマン (Gofman) によるヒロシマ寿命調査データについての独自の分析、寿命調査の研究集団の一様性に関するシュアート (Stewart) の発見、及び、参照集団の選択についてのパドマナバン (Padmanabhan) の研究が、寿命調査の研究集団によって与えられるガンのリスク係数には、約 20 倍の誤差があるであろうことを示唆している。しかしながら、本委員会は、ヒロシマ寿命調査は、外部被ばくと内部被ばくの両方を被った異例の集団を基礎にしていて、純粋な外部被ばくリスク係数を得るための理想的な基礎ではないと認識している。本委員会が選択した、致命的ガンの生涯の絶対的リスクである 0.2/シーベルトは、すべての外部被ばくに関する研究を再検討した結果に基づく決定を代表している。

#### 第 10.4 節 自然バックグラウンド放射線

本委員会は、様々な自然バックグラウンド放射線被ばくにおける変動とガンや先天的疾患を含むヒトの健康指標に関する証拠について検討してきた。高レベルのバックグラウンド放射線地域で生活することの健康への影響を理解することに寄与している主要な研究を、表 10. 2 に示す。数多くの理由のために、どのようにすればこれらの研究の結果が放射線被ばくのもたらすリスクに関する議論に情報を与えることができるかは定かではない。第一に、これらの研究の多くにおいて、対象となっている集団は第三世界で生活していることに関連するストレスに苦しんでおり、そこでは若い時期からの

競合する複数の原因のためにガンが主要な死因ではなく、概して寿命がより短い。これに加えて、長い期間にわたる放射線抵抗性へのその集団の自然選択 (natural selection) は、適切な参照集団を見つける試みを難しくすると考えられる：したがって、ガンを誘発する遺伝子中の傷の修復効率は、参照集団よりも被ばく集団において高くなると期待されるだろう。さらに、異なる集団が、異なる部位のガンに対して異なる遺伝的感受性を持っていることを示すかなりの量の証拠によって、バックグラウンド放射線研究から一般的に広く適用できるいかなる結論をも導くことが不可能になっている。バックグラウンドの高い地域において、人造放射能汚染レベルが関係する地理学上の混乱要因もある。表 10. 3 には、自然放射線の高い地域における健康指標を混乱させる可能性のある要因のリストを示している。

表 10. 2 自然バックグラウンド放射線の高い地域におけるガンと他の諸影響における変動

| 調査地域           | 調査人数   | 被ばく   | ガンの増加？                 | 染色体欠損？ |
|----------------|--------|---|------------------------|--------|
| 1. オーストリア      | 122    | 1-4 mGy ( $\gamma$ )<br>0.1-16 mGy ( $\alpha$ ) | 予測されている                | あり     |
| 2. フィンランド      | 27     | 水中ラドン   | 研究されず                  | あり     |
| 3. アイオワ,米国     | 111 の町 | Ra-226 4 pCi/l,調整                               | 骨ガン+24%増加              | あり     |
| 4. ブラジル        | 12,000 | モナザイト<br>6.4 mSv/年                              | なし                     | あり     |
| 5. ケララ、インド     | 70,000 | 4 mGy/年   | 論争中                    | あり     |
| 6. 中国、イェンジャン   | 70,000 | 3-4 mGy/年                                       | 見かけ上なし                 | あり     |
| 7. ブルターニュ、仏国   | 16,000 | $\gamma$ 線バックグラウンド                              | +43% (胃ガン<br>+132%) 増加 | 未検査    |
| 8. アイオワ、米国     | 28 の町  | Ra-226  | +68%以上の肺ガン<br>増加       | あり     |
| 9. 日本          | 全域     | $\gamma$ 線バックグラウンド                              | 胃ガンと肝臓ガン               | 研究されず  |
| 10. スコットランド、英国 | 全域     | $\gamma$ 線バックグラウンド<br>+0.15 mGy                 | +60%以上の白血病<br>増加       |        |

表 10. 3 自然バックグラウンド放射線研究の解釈上の難しさ

| バックグラウンドの高い地域と低い地域とにわたって健康指標を比較することの問題              |
|---|
| 1. 恵まれない状態に置かれている集団における競合する死因                       |
| 2. 健康データの欠如によって発症率を決定することの困難さ                       |
| 3. 遺伝学的に比較可能な参照集団を見つけることの困難さ                        |
| 4. 研究集団の彼らの寿命中における誘導応答 (induced responses) の進展      |
| 5. 世代を越えた集団における放射線抵抗性についての自然選択                      |
| 6. 降雨効果による放射性降下物汚染の変動                               |
| 7. 外部線量の範囲に対する疫学的説得力 (epidemiological strength) の欠如 |

これらの諸困難にもかかわらず、染色体の変異や切断が、高いレベルの自然バックグラウンド放射線にさらされている人々に見られることは、すべての研究から明らかである。ダウン症の頻発のように、しばしば、これは遺伝的損傷の他の徴候に関連してい

る。ガンは遺伝的損傷のひとつの結果なので、染色体損傷の増加の証拠は、このような損傷の原因が、もし寿命が長ければガンの増加の原因でもあったろうことを示唆する。ガンリスクの増加は一般的な観察結果であるようには見えないが、いくつか種類のガンについての一定数の研究は、高レベルのバックグラウンド地域におけるガンの発生率の増加を実証している。しかしながら、そのような損傷が生じる条件の下で発育してきた集団は、感受性の高い個体が出産前に死亡することによる結果としてのガンに対する抵抗性の進化論的な増加、あるいは、全生涯の長さのいくらかを犠牲にして代謝レベルにおけるガンへの抵抗性の増加すら享受しているのかもしれない。

それらの研究自体に見られる線量の範囲についての疫学的説得力の問題もある。自然放射線（主に外部ガンマー線）から1年間に受ける線量範囲が1~5 mGyの間であれば、致死ガンについてのICRPリスクモデルによると（ECRRは外部被ばくについてはほとんどそれを認めている）、50年間の累積線量によるガンのうち放射線による部分は、0.6%から3%に増加することになるが、これを明らかにするのは難しいであろう。

本委員会は、この分野の研究からの証拠は放射線防護目的には有用ではないと結論する。とりわけ、高いバックグラウンド地域にわたってのガン発生率の比較に基づいた議論や、低いバックグラウンド地域に住む集団に外挿している議論については、核分裂生成物やTENORM（Technologically-Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material）からの低レベル放射線被ばくに対する低いリスクの証拠として認められない。

#### 第10.5節 ガンと地球規模の核実験降下物

全体として、人間活動による放射性物質汚染の支配的根源は、1945年から1980年の間に世界の様々な地域で行われた、大気圏内核実験の残骸による地球規模での降下物である。総計520回の核爆発が行われ、1952~54年、1957~58年および1961~62年に最も集中的に実験が行われた。これらの実験によって放出された放射性物質の78%は地球全体に広がり、生命を傷つける核分裂生成物や超ウラン物質の被ばくの主要な要因となっている。これらの物質は今や世界的な環境汚染物であり、また、生命体内の細胞にもあまねく行きとどいたものになっているが、それらの潜在的な健康影響の調査を目的とした研究はほとんどなされてきていない。その同位体の多くは、生命体によって活用されている元素の周期表グループ上の同種元素である：それゆえ、それらは細胞や組織に取り込まれることになる。

ケネディ・フルシチョフ（Kennedy-Kruschev）の実験禁止で1963年に終結する、主な大気圏内核実験と降下物による被ばくの時代は、そのような内部被ばくの健康影響を評価し得る最初の機会だった。しかしながら、ほとんど調査は行われなかったし、注意を喚起するものであっても、あるいは結果を過小評価するものであっても、研究はほとんど公表されなかった。その降下物が幼児死亡率を増加させたというスターングラス（Sternglass）らによる提唱は、物笑いにされ、攻撃された。このような否定的な風潮は、多分に冷戦政策に関連する秘密主義や統制によるものである。これは世界保健機関（WHO）と国際原子力機関（IAEA）との合意の下で1959年に制度化され、WHOが放射線影響を調査することを拒否する権限をIAEAに与える効力を持っていた。

このように核兵器実験がつづいた時期には、ガン研究と放射線生物学の双方の分野において、膨大な研究活動が存在したが、核実験降下物による被ばくの結果についての有効な光を当てた報告や研究はわずかだけである。存在するそれらの研究を表10.4

にまとめる。

表 10. 4 ECRR によって検討された降下物によるガンの研究

| 研究グループ  | 被ばく線量                          | 結果  | 備考                       |
|---|--------------------------------|---|--------------------------|
| 1. マーシャル諸島住民                                    | 外部+<br>内部：1-10 Gy              | 甲状腺ガン、白血病、死産、流産。                              | 200 名のみ、参照集団も汚染          |
| 2. 合衆国ユタ州の核実験汚染                                 | 外部-<br>内部 1 Gy                 | +甲状腺<br>+白血病                                  | 線量不明/アリゾナ州が参照集団          |
| 3. ユタ州の核実験：モルモン (C. Johnson)                    | 同上                             | 白血病 (4 倍)、甲状腺 (7 倍)、乳ガン (1.7 倍)、骨ガン (11 倍) など | 線量不明                     |
| 4. 合衆国白血病と地球規模の降下物 (V.E. Archer)                | 内部<NBR                         | 白血病とストロンチウム-90 との相関<br>合衆国の水準                 | ICRP リスク係数の誤りをはっきりとさせる   |
| 5. スカンジナビア：白血病と地球規模の降下物 (Darby ら)               | 内部<NBR                         | スカンジナビアにおける小児白血病との低い相関を確認                     | 納得できない解析；疑問のある手続き        |
| 6. 英国 白血病と降雨 (Bentham 1995)                     | 内部<NBR                         | 英国における小児白血病と降雨とに顕著な相関を確認                      | 研究 5. との不一致              |
| 7. 合衆国降下物 被ばく集団 (RPHP: Gould, Sternglass 1995-) | 内部<NBR<br>ストロンチウム-90<br>引用     | 合衆国における降下物に被ばくした赤ん坊の様々なガンの過剰リスク               | 現在のガンの異常発生は降下物が原因であると予測  |
| 8. 合衆国 NAS ガン研究                                 | ネバダの実験からのヨウ素                   | +甲状腺  |                          |
| 9. 英国とウェールズにおける婦人乳ガン (Busby 1995, 1997)         | ストロンチウム-90<br>1 mSv 累積線量       | 乳ガンについての集団の影響                                 | 乳ガンの異常発生を予測し説明           |
| 10. 英国とウェールズにおける全ガン発生率 (Busby 1995-2002, 2006)  | 内部<br>ストロンチウム-90<br>1 mSv 累積線量 | 時間経過を追跡した研究で顕著な相関；全悪性腫瘍                       | 回帰解析はリスク係数に 300 倍の誤差を与える |

UNSCEAR (国連原子放射線の影響に関する科学委員会) によると、ICRP モデルを使つての、1955~65 年の期間における北半球での核実験降下物による累積内部被ばく線量は、約 0.5 mSv から、高いレベルの降雨が沈着量の増加をもたらしたヨーロッパのある地域における 1~3 mSv までさまざまである。被ばく線量の傾向は、1958 年と 1963 年の間に、メガトン級の水素爆弾実験による急激な増加を示した。内部同位体については、その蓄積の傾向は同様な急激な増加を示し 1965 年には頭打ちとなった。その後その傾向は (生物学的減衰と物理的崩壊を通じて) 約 20% 程度ゆっくりと低下し、1999 年の数値まで下がっている。内部被ばく線量に対しては、他のより放射能の強い同位体も同時に高い被ばく線量をもたらしたが、2 つの同位体が支配的であった：半減期が 30 年のセシウム Cs-137 及び半減期が 28 年のストロンチウム Sr-90 である。ウランによる汚染は報告されていないようである。ICRP を基礎に計算されたその同位体と線量についての詳細は、UNSCEAR1993 と UNSCEAR2000 にまとめられている。被ばくの主要な要素については

表10.5に示す。

表10.5 UNSCEAR1993による世界中の集団に対する降下物による平均預託実効線量（人・シーベルト単位）。被ばく線量はICRPモデルを使って計算されており、内部被ばくに様々な荷重を加えるECRRモデルではもっと高くなるであろう。

| 期間        | 外部        | 摂取         | 吸引      | 総計         |
|-----------|-----------|------------|---------|------------|
| 1945年から無限 | 2,160,000 | 27,200,000 | 440,000 | 29,800,000 |

本委員会は、検討してきたそれらの研究からの証拠が、地球規模の核実験降下物への被ばくがヒトの健康に著しい影響を及ぼしてきたものであることを示唆していると解釈する。この影響はその時の小児死亡の原因となる即時的なものでもあり（次章で再検討される問題である）、また被ばくと疾病の臨床的発現の間に遅れがあるガンや、白血病、その他の遺伝的原因をもつ疾病（冠状動脈疾患を含む）の増加をもたらす遅延性のものでもある。この結論に到達するに際して、本委員会は、1975～85年の期間に始まった地球規模でのガンの異常発生の原因に関する証拠の不足を痛感させられた。今日医学界においては、ガンは細胞レベルで発現した遺伝的疾患であると広くみなされている。そして初期のそして最近の研究はともに、その疾病の原因が本質的に突然変異誘導物質への環境被ばくであるという考えを支持している。ガンの発生率が1975～1985年の間に急激に増加し始めたとして、そしてその疾病は被ばくから15～20年遅れて発症することを研究が示しているので、明らかにその異常発生の原因は、何らかのガンを生じせしめる突然変異誘導物質が1955～1965年の期間に環境中へ極めて突然導入されたと考えなければならない。その突然変異誘導物質を核実験降下物がもたらす放射性核物質汚染と同一視することには説得力がある。その上、降雨量や沈着量に高低のある領域にわたってのガンの発生率における差異は、そのガン異常発生の主要な原因として放射線を指し示している。

たった2つのグループだけが、このような可能性を研究してきたことが知られている：米国のグールド（Gould）、マンガノ（Mangano）およびスターングラスの「放射線および公衆衛生プロジェクト（RPHP）」、そして英国のバスビーらの「グリーン・オウディット（Green Audit）」グループである。後者は、イングランドとウェールズにおけるガン発生率を使用して、ストロンチウム Sr-90 同位体への0.2 mSvから1 mSvの間の累積的な被ばくを受けた類似した集団についての差異を調査し、その核実験降下物への被ばくの変動が晩発性ガンの発生率と高い相関関係を持っている（ $R=0.96$ ）ことを示すことができた。グリーン・オウディットの研究者達は、これがICRPリスクモデルに300倍の誤差があることを実証していると指摘している。両グループは、河口や河谷のような降下物同位体を濃縮する地球物理学的要因の調査に取りかかっており、これらの地域でガンや白血病の過剰疾病のリスクが一貫して示されていることを明らかにしてきた。RPHPの研究者達は、降下物中や核施設の風下でのストロンチウム Sr-90 によって乳ガンが引き起こされるという証拠を提供してきており、現在、彼らが乳歯内に存在することを測定したストロンチウム Sr-90 と発ガン率との関連を調査している。この研究の公表前の予備的な結果は、晩発性のガンと歯の中の Sr-90 のレベルの間に有意な相関関係を示している（Mangano 2009）。

核実験降下物がピークに達して以来発生している全てのガンの増加に加えて、顕著な増加を示したいくつかの特異な発ガン部位もあった。顕著なそして説明のつかない増



加は、女性の乳ガンおよび男性の前立腺ガンに現れている。これらの疾病は両方とも放射線によって引き起こされる。本委員会は、スターングラスらによって公表された乳ガンとストロンチウム Sr-90 とを関連づける証拠、および、バスビーによって報告された乳ガン死亡率のコホート研究 (cohort study) に注目しており、それら双方ともその疾病の最近における増加の原因に関する説得力ある証拠を与えている。前立腺ガンもまた、核実験降下物の傾向にしたがって、ウェールズでおよそ15年の後にもっとも高い発生率で現れたことが示されてきている。ローマン (Roman) らによって明らかにされた、内部被ばくが測定されている核施設の労働者における過剰な前立腺ガンのリスクは、ICRP によって使用されているリスクモデルに最大で1000倍の誤差があることを示している (Atkinson et al.1994)。

表10.6 異なる経路を通じてヒトへの被ばくに寄与する核実験降下物の主要な同位体、並びに、ICRP モデルを使用して UNSCEAR によって計算された、それぞれの同位体からの北半球の温帯地方 (北緯 40~50 度) の集団への平均被ばく実効線量。\* 印は、ECRR が危険性を考慮して荷重した同位体と被ばく経路を示す。最後の2つの行は、ICRP と ECRR のモデルに基づいた線量を比較している (上記第6.9節参照)。ウランは被ばく量が未知であるためこの計算に含まれていない。

| 外部被ばく      | 線量 (μSv) | 摂取     | 線量 (μSv)     | 吸引      | 線量 (μSv)   |
|------------|----------|--------|--------------|---------|------------|
| Cs-137     | 510      | Cs-137 | 280          | *Pu, Am | 81 (24300) |
| Sb-125     | 47       | *C-14  | 2600 (26000) | *Sr-90  | 15 (4500)  |
| Ru, Rh-106 | 70       | *H-3   | 48 (1440)    | *Ru-106 | 110 (5500) |
| Mn-54      | 93       | *Sr-90 | 170 (51000)  | *Ce-144 | 86 (4300)  |
| Zr, Nb-95  | 207      | I-131  | 79           |         |            |
| Ru-103     | 20       |        |              |         |            |
| Ba, La-140 | 25       |        |              |         |            |
| Ce-144     | 23       |        |              |         |            |
| ICRP 総計    | 995      |        | 3177         |         | 292        |
| ECRR 総計    | 995      |        | 78440        |         | 38600      |

(UNSCEAR1993 の表9に基づく)

国連への1993年の報告書の表11 (表10.5として先に示した) は、核実験の結果としての世界の集団に対する預託実効線量はちょうど30,000,000人・シーベルトを少し下回ることを示している。この線量からICRPの致死ガンリスク係数である0.05/シーベルトは、世界の集団中にトータルで1,500,000人の致死ガンの発生を予測する。より最近のUNSCEAR2000は、核実験降下物からの預託実効線量についての同様の計算を与えるが、その結果は1993年版で与えられたものとは著しく異なる (より小さい)。

表10.6 (UNSCEAR1993より) は、関連する主要な同位体の各々による、北半球の温帯地方 (北緯40~50度) での預託実効線量を示している。比較のために、この表は内部放射体による過剰疾病のリスクを認識しているECRRによって提案されたモデルを使用して計算された総線量も示している。表10.6に与えている外部被ばくに対する内部同位体の比率を利用した内部被ばくリスクについてのECRR補正の使用は、上に与えたICRP評価値から致死ガンの発生を60,000,000人以上にまで増加させることにな

る。この発症の大部分は、被ばくから 50 年以内に生じるだろう。また、それらの予測されたガンの増加は、もちろん、十分に目に見える形で現れる。この計算については第 13 章において立ち返る。

#### 第 10.6 節 小児ガン、小児白血病と地球規模の核実験降下物

核兵器の使用および実験に続く期間において最も憂慮すべき展開の一つは、子供達の間での白血病と脳腫瘍の急激な増加であった。それらはともに小児ガンの主要なタイプを構成している。1950 年代において小児ガンの初期の増加が非常に著しかったので、政府はそれらが降下物によって引き起こされたのかと問い始めた。そして、ミルクの重大な汚染物質になっていた同位体ストロンチウム Sr-90 に関心が集中した。英国では、医学研究審議会 (Medical Research Council) が、その仮説を検討するように依頼された。審議会はリチャード・ドール卿 (Sir Richard Doll) による助言を受けて、ヒロシマの結果からするとその線量があまりにも低いので、それはあり得ないと報告した。これにもかかわらず、低線量の分娩時の X 線が子供達の中に白血病の増加をもたらすというスチュアートによる同時代の発見が、そのような助言の不確かさを焚きつけ、1963 年の大気圏核実験禁止に至ったのだった。

ダービー (Darby) とドール (Doll) らによる北欧諸国における小児白血病と降下物についての 1993 年の研究は、低線量の内部放射線は安全であるという主張を支持するものとしてしばしば引用されている。この研究は、デンマーク、ノルウェー、スウェーデン、フィンランド、およびアイスランド (非常に異なる大きさの人口および核実験降下物への異なる被ばく歴を有する国々) からの小児白血病に関するガン登録データを互いに (時系列の中で) 継ぎ合わせた。その研究期間である 1948-88 年における 0-4 歳児の白血病発生率の傾向は、1948-58 年と 1965-1985 年という期間の間では、100,000 人あたり 6 人から 6.5 人へのあまり大きくない増加を見かけ上示していたが、それは子供への被ばく線量が約 0.5mSv であった 1958-63 年の核実験のピークの期間を一括して扱っており、つきなみなやりかたでモデル化されている。しかしながら、その研究を綿密に調べると、その初期の期間はデンマークのガン登録だけからのデータによって代表されていることが明らかになった。1958 年以後は、その 5 カ国から全ての登録データが共に出されていた。したがって、その研究には欠陥があった (CERRIE2004b, Busby 2006)。1958 年から集められたデータの綿密な調査は、0-4 歳の白血病の増加が 100,000 人あたり約 5 人から 6.5 人へと、約 30%の増加したことを示唆している。これはベンサム (Bentham) によって公表されたイングランドおよびウェールズでの、小児白血病死の研究とよく一致する。

被ばくした子供における白血病の発生率は、子宮内で受けた骨髄線量 0.15 mSv と 0 歳-4 歳の間を受けた 0.8 mSv までの間にある累積線量の結果として、その 5 年の期間にわたって 30%増加した。これは ICRP のリスク係数 (子供に対して、0.0065/シーベルト) にある誤差が、この集団においてこれ以上の過剰死が生じない場合には 3-15 倍であり、もしこの超剰なりリスクが彼ら彼女らの生涯を通じて継続するとした場合には、40-200 倍であることを示唆するものである。合衆国においては、アーチャー (Archer) は核実験降下物による白血病の増加をストロンチウム Sr-90 を通じて調べており、成人で 1.3 mSv、子供で 4 mSv という彼が推定した線量に従うと、全ての年齢集団にわたってかなり首尾一貫しておよそ 11%増加することを指し示した。もしこれらの線量が正確である

ならば、これはヨーロッパにおける研究よりも、より低い線量でより高い発生率を示唆するものである。ベンサム (Benthom) やハイネス (Haynes) と同じように、アーチャーは降水量が高、中、低のそれぞれの地域と、それに関連した白血病発生率の明瞭な差異を実証することができた。

本委員会は、定期的 X 線診断の開発、1930～40 年の期間における腕時計文字盤へのラジウムの広範な利用、および 1945 年に急激に増加する、核分裂性同位体の地球環境への最初の放出につづいて、英国における小児白血病発生率が、確実に増加していることに注目している。イングランドとウェールズでの 1916～1950 年の期間における小児白血病の傾向は、世界のラジウム生産量、従ってウランの生産量についてのデータと相関をもっている。ラジウム文字盤の放射線源からの被ばく線量は確定されてきていない。白血病増加の原因について別の可能性を調査するために、そして、結核症を撮影するために 1950～1960 年の間に広く使用された可搬式 X 線システムのデータを得ようとした本委員会の試みは実りあるものではなかった。

### 第 10.7 節 続く世代における核実験降下物影響の反響

ダービーらによって公表された北欧人における白血病の傾向は、最大の核実験降下物のあった期間である 1958～63 年を通じて発生率が上昇を示している。しかしながら、それらはさらに 1983 年のはじめに 100,000 人あたり 6.5 人から 7.5 人の発生率まで、際だった増加を示している。この階段状の増加は、チェルノブイリ事故に先立って始まっており顕著である。それはほとんどのデータの組の中にはっきりと見ることが可能であり、ウェールズおよびスコットランドからのデータの中では 1984 年と 1988 年に中心を持つ 2 つの接近したピークとしてその姿を見せている。これらは、25 年くらい前の、1959 年から 1963 年あるいはその近辺に生まれた両親に原因を持つ遺伝的損傷の世代を超えた反響である可能性がある。

本委員会は、あるひとつの白血病救済団体から得られた小さなデータの組を分析することによって、この仮説をさらに詳しく検討した。これは白血病と診断されたイングランドの子供達の親の生まれた年を記録している。分析は 1960 年頃に生まれた両親の子供達に最も高いリスクがあることを示しており、核実験降下物への彼らの被ばくが小児白血病の増加に対するひとつの深刻な要因であろうことを示唆している。英国政府の医学統計局は、1981 年以降に生まれた子供達の親の生まれた年に関する追加的なデータを公開することを拒んできている。小児白血病を両親の生まれた年のコホートにより調査する研究が CERRIE (内部放射体の放射線リスク検討委員会) のプロセスの一部として委託されたが、CERRIE を設立した大臣が罷免されたときにそれはキャンセルされた。

またこの仮説は動物実験からのいくつかの証拠によって支えられている。1963 年にルニング (Luning) とフローレン (Frolen) は、ストロンチウム Sr-90 に被ばくしたオスのハツカネズミの子孫が、発育不良による胎児死亡として現れた重度の遺伝的損傷を受けたことを示した。遺伝的損傷は、被ばくから 2 世代目になる次の世代に引き継がれた。白血病に関しての類似した影響は、白ネズミにストロンチウム Sr-90 を投与し、その子孫の白血病を検査することによって、1962 年に、セツダ (Setsuda) らによって発見された。そのような影響は、ヒトのその疾病においても期待されるかも知れない。これについては、第 1 2 章でさらに議論する。

## 第10.8節 その他の降下物研究：全体的影響

地球規模の集団や風下住民の間における核実験降下物への被ばくのリスクを評価するために使われてきた諸研究が、表10.4に列挙されている。これらは、その表の中で言及されている様々な問題、しかし主としてヒロシマの研究で経験されたのと同じ問題（被ばくしていない対照群を見つけることの困難）を持っている。線量応答関係が線形ではない場合には、これは重要な問題である。それは、低い被ばくの参照集団がより高い被ばくをした集団よりガンのより高い発生率を示すかも知れないし、そこでは高線量では細胞は（あるいは胎児は）、変異するより殺されてしまうだろう。それにもかかわらず、これら総ての研究についての考察から浮かび上がる全体像は、その降下物として放出された物質のその量の大きさの故に安心を与えるものではない。たとえ計算された線量とリスク計数が UNSCEAR/ICRP に基づくものであったとしても、予想される致死ガン発生数は全世界で160万人と300万人との間の過剰なガンである。これは些細な数字ではない。ECRRの修正被ばく線量は、6000万人と1億3000万人の間の過剰な致死ガンを予測する。あるいは、ヨーロッパにおける1958～63年の期間において被ばくしたそれらの集団の中でおよそ20～30%のガン発生率の上昇を予測する。この上昇はデータの中に現れている。ECRRもまた1958年と1966年の間に生まれた人々においてガンが増加するコホート効果（cohort effect: 訳注、その特異な集団に有意な効果が見られることを指す）を予測しており、そして、彼らの子供達の間においてもリスクが増加すると示唆する証拠（例えば、上で考察した白血病データ）について憂慮している。