

## 第 1 1 章

### 被ばくに伴うガンと白血病のリスク、第 2 部：最近の証拠

#### 第 11.1 節 核施設とその周辺

1983年のこと、あるテレビ局が、西カンブリアにある核燃料再処理工場・セラフィールド（以前の「ウィンズケール」）近くのシースケールにおいて、核施設近傍の小児ガンと白血病の発生群を初めて見出した。疫学者によるこの確認と政府による調査の後、英国政府は、(a) 小さな地域を対象にした疫学的監視の手法を開発し、(b) 核施設周辺の白血病の過剰発生の原因を調査するために、二つの新しい委員会を立ち上げた。セラフィールド白血病発生群に続く15年の間に、それと類似した集団が、ヨーロッパの他の2つの再処理施設、スコットランドのドーンレイ (Dounreay) と北部フランスのラ・アグ (La Hague) で確認された。これらに加えて、小児白血病発生群は、英国のアルダーマストン (Aldermaston)、バーフフィールド (Burghfield)、ハーウェル (Harwell)、ヒンクリーポイント (Hinkley Point) そしてチェプストウ (Chepstow)、ドイツのクリュンメル (Krümmel)、そしてスウェーデンのバーセベック (Barsebeck) という、環境中に放射性同位体を放出した他の核施設でも報告された。最近になって、ドイツの全ての核施設からの距離に応じた、1984年から2004年までの、小児ガンと小児白血病に関する研究は、その影響を疑いの余地のないものとして示している；0歳から4歳の子供のリスクは2倍以上であった。その研究の著者らは、ICRPリスクモデルはこの発見を説明するために、少なくとも1000倍の誤差を持っているはずであると主張している (Kaatsch *et al.* 2007, Spix *et al.* 2008)。これまでに研究されてきている施設を表 1 1. 1 に示す。

表 1 1. 1 核施設近隣に居住する子供らにおける過剰な白血病とガンとガンのリスクを立証している研究。

核施設	年	ICRP リスクの何倍か	備考
<sup>a</sup> セラフィールド/ウィンズケール、英国	1983	100～300	COMARE によってよく調べられた：大気と海への高いレベルの放出
<sup>a</sup> ドーンレイ、英国	1986	100～1000	COMARE によってよく調べられた：大気と海への粒子状の放出
<sup>a</sup> ラ・アグ、フランス	1993	100～1000	大気と海への粒子状の放出：生態学的、症例参照研究
<sup>c</sup> アルダーマストン/バーフフィールド、英国	1987	200～1000	COMARE によってよく調べられた：大気と河川への粒子状の放出
<sup>b</sup> ヒンクリーポイント、英国	1988	200～1000	沖合の泥土堆への放出
<sup>d</sup> ハーウェル	1997	200～1000	大気と河川への放出
<sup>b</sup> クリュンメル、ドイツ	1992	200～1000	大気と河川への放出
<sup>d</sup> ユーリッヒ、ドイツ	1996	200～1000	大気と河川への放出
<sup>b</sup> バーセベック、スウェーデン	1998	200～1000	大気と海への放出
<sup>b</sup> チェプストウ、英国	2001	200～1000	沖合の泥土堆への放出
全ドイツ；KiKK	2007	1000	様々なタイプをあわせたもの

<sup>a</sup>海に放出している再処理工場；<sup>b</sup>海あるいは河川に放出している原子力発電所；<sup>c</sup>核兵器あるいは核物質製造工場；<sup>d</sup>地域の河川に放出している原子力研究所

本委員会は、英国とドイツにある核施設周辺の集団 (aggregations) からの証拠を含

む、核施設の近くにおける小児ガンの発生群の存在に関係するかなりの量の証拠を調査してきており、そのような疾病の原因となっているものは、その施設からの放射線の放出物がもたらす内部放射線被ばくであると結論した。この見解に対する議論は、英国放射線防護局（NRPB: UK National Radiological Protection Board）からの報告書、COMARE（訳注1）によるさまざまな報告書、そしてフランス政府による3回の北コタンタンのミッション（missions）においてよく要約されている。KiKK研究に対する反応はもっと控えめなものであったが、このはっきりした発見の実例は、リスクモデルの再検討を強いるべきものであるにもかかわらず、何もなされていない。

セラフィールド（シースケール）に関してのこれらの議論は、1993年の訴訟で繰り返された。その中で提示された科学的な証拠に対して裁判官は、白血病の症例は放射線によって引き起こされたものではありえないとの判決を下した。しかしながら、この訴訟事件において法廷には、そのような症例が父親の受精前の被ばくによって引き起こされたという仮説が提出されたのであるが、第一の証言者、マーチン・ガードナー（Martin Gardner）教授の不運な突然の死のために、この仮説を支持する個別の証拠はほとんど提出されなかった。対立仮説の法廷における調査は全くなされなかったが、それは提出されたリスク係数の計算が外部急性被ばくに基づいており、従って仮説がくつがえされる可能性のあるものであった。

これこそが本委員会が一般的に憂慮していることである。全ての核施設発生群の症例における因果関係の分析は、子供たちやその両親について計算される被ばく線量はそのような疾病の原因とされるには十分ではないということを示すために、例外なくICRPモデルを頼りにしている。なぜならICRPの線形モデルはガンや白血病を予測しないからである。さまざまな研究における、被ばく量と、観察されている白血病の症例との間のおおよその食い違いを、表11.1に示す。

このアプローチについての科学的基礎は、第3章において先に議論した通りである。本委員会は、これらの核施設のガン発生群は一致して、内部被ばくのリスクについて情報を得るために外部被ばくの研究を用いていることに起因する、ICRPリスクモデルの誤差の証拠を与えるものと結論する。放出に関連する高い水準のリスクに対する説明は、その白血病やガンを引き起こしている被ばくが、ストロンチウムSr-90のような新奇な放射性同位体と、吸引された直径がミクロン以下のウランを含む粒子によるというものである。これらは肺からリンパ系に、そしてそこから体のあらゆる部位に移動し、局所的な組織に高い被ばく線量をもたらすことになる。プルトニウムとセラフィールドにおける事例では関係する地球物理学的なプロセスは十分に記述されており、海の潮間（高潮位と低潮位の間）にある沈殿物、海岸近くの空気、羊の糞便、子供の乳歯、そして英国各地から取り寄せられた検死標本体中において、プルトニウムおよびその他の放射性粒子の存在を示す測定が行われている。海からの距離に対するプルトニウムの濃度は、海から1 kmの範囲内ではレベルが鋭く増加しているがその外部では急速に低下し、ある有限の値にまで平坦化し、海から300 kmまたはそれ以上にわたってレベルが下がりつづけるという傾向を持っている。その証拠は後述するアイリッシュ海近辺におけるガンの議論において再検討する。しかしながら、セラフィールドの白血病発生群の分析においてCOMAREやNRPBによって用いられたICRPモデルは、吸引されたプルトニウムの被ばく線量を非常に大きな体積の組織の全体で平均化しており、その結果、それらの報告書は、これらの被ばくが観察されている疾病の原因であろうとすることに完全に失敗している。

研究された他の核施設の発生群は全て、本委員会のモデルにおいて危険要素の重み

付けをしている新奇な人造放射性同位体か、あるいは風媒粒子かのどちらかによる放射線被ばくを含んでいる。表 1 1. 1 に示した全ての核施設は共通して、地域の海岸や氾濫する河川を汚染しており、そのために、潮間（高潮位と低潮位との間）、河口、河川岸の堆積物の中に著しい量の放射性物質の沈着がある地域の近くに存在している。核施設周辺の白血病やガンについての蓄積された研究は、（上で議論された）幾つかの特定の核施設以外では、白血病またはガン発生群の存在は有意な特徴ではないということを示してきている。これらの核施設近隣の発症集団（aggregates）の研究にはさまざまな欠点がある。本委員会は、核施設の疫学調査は、その放射線周環境中における放射線物質の分散の測定に基づいて、どの集団が最もリスクがありそうかを立証しなければならないと考える。研究はたいていにおいて、河川や、海から陸への移送、土地の傾斜、そして卓越した気候や風向を通じてのその施設からの放射性物質の流れを考慮しないままに、その工場からある半径以内にいる集団が、あるより大きな動径方向距離にある集団と比較されることによって実施されている。良い例を、英国にある二つの核施設周辺の小さな地域の集団についての最近のいくつかの研究にみる事ができる。エセックス州ブラッドウェル（Bradwell）周辺において、英国小地域保健統計機構（SAHSU、この章の最初の段落で言及した二つの委員会のうちのの一つ）は、そのプラントへの近さの度合いが放射線被ばく線量の代用品になると考えられるということ根拠にして、4、10、17 km の半径を描いた。カーディフ（Cardiff）にあるナイコムド・アマーシャム（Nycomed Amersham）プラント近くの集団についての同様の研究においては、SAHSU は 2.5 km と 7.5 km の半径を持つ円環を選んだ。グリーン・オウディット（Green Audit）による区（Ward）レベルの研究は、特定の半径の選択によって、偏向した結論を引き出すことが可能であることを立証した。

表 1 1. 1 にあげられた核施設は、共通する要素を持つ；第 1 に、放射性物質が（人々に）摂取・吸引されるような方法で新奇の放射性物質を放出している。そして第 2 に、局地的なガンや白血病の発生群が確認されてきている。これは第 8 章で議論した、環境的な因果関係についてのブラッドフォード・ヒルの規範の応用を求めるのに用いられるかもしれない。各施設の近くでの小児ガンの発生頻度の統計的確率の評価を改善するためのベイズ統計の計算は、全ての施設と一緒に適用することはまだ一度も行われていないが、英国の NRPB と SAHSU の疫学者たちは、個別の確率（p-value）だけを根拠に、それぞれの症例集団を過小評価した。

表 1 1. 1 にあるほとんどの事例において、その被ばく線量は未知のままであるが、放出された放射線の量についての知見に基づいて、小さいと想定されているようである。しかしながら、セラフィールドのこれらの症例のほとんどの研究で、モデル化された被ばく線量と ICRP リスク係数に基づいて予測される白血病の発症数の食い違いが、すなわちそれら二つの間のずれが 300 倍であることが明らかされている。そして、この値と、その差異が内部被ばくについての研究が発見した差異と類似しているということ、これこそが本委員会がそのモデルにおいて損害を調整する係数を開発してきた理由である。

核施設周辺に住む子供たちにおけるガンや白血病発生群の確認は、ICRP の科学的モデルにかなりの圧力を与えてきている。過剰な小児ガンが核施設の付近で慢性的に観察されていることは、科学的基礎となっている ICRP の理論的枠組みの中では対応できない不整合があることを証明している。これに取り組む唯一のまじめな試みは、キンレン（Kinlen）らの研究であって、彼らの提案は人口混合（population mixing）の研究に基づいている。彼らの考えは、核施設近隣の白血病発生群は、新しい人々が感染に対する免

疫抗体力が弱い地方の集団と混合しているという状況の下で最も起こりやすい、あるウイルス感染に対する珍しい応答によって引き起こされているというものである。本委員会はこの理論を注意深く考察し、セラフィールドの発生群を説明するのは不可能であると感じている。それは実際に起こったどの人口混合の後も長く持続しており、その施設の建設よりもその核操業の開始により密接した関連をもっており、そして白血病と同様にガンにも著しい過剰なリスクを含むからである。これらに加えて、セラフィールド以外の場所においては、キンレンらによって見出された効果は比較的地味なもので、彼らが提案したもののほどには風変わりでない数多くの機構によって容易に説明された。いずれにしても、小児白血病に関与するウイルスが未だ発見されていないため、その病因学的な根拠はない；白血病におけるさほど大きくはない増加は、あるもっと当たり前の平凡な説明が可能であり、人口混合の効果は2次オーダーの効果に格下げすることができるというのが妥当な線であろう。したがって、本委員会は、核施設近隣の白血病やガンの発生群の存在は、放出された放射性物質への被ばくへの応答を代表しており、したがってそれはICRPモデルのあるひとつの「ポッペリアンの偽造 (Popperian Falsification)」である、と認める。

(訳注1 : COMARE: Committee on Medical Aspects of Radiation in the Environment の略称、ホームページは <http://www.comare.org.uk/>)

## 第11.2節 アイリッシュ海と、他の汚染された沿岸サイトについての最近の研究

本委員会は、アイリッシュ海沿岸におけるガンと放射線に関する3年間にわたる未公表の研究結果を利用してきた。バスビー (Busby) らは、ウェールズにおける1974-90年とアイルランドにおける1994-96年のガンの発生数を調べた。彼らは、その海の近くに住むことの効果を見るために、社会経済的なハンディ、性別、年齢について調整された小さな地域のデータを用い、いくつかの発見をした：

ウェールズに対しては、彼らは以下のことを見出した。

- ほとんどのガンについてそれが発症するリスクが、海岸近くで急速に高くなっている。
- その増加は、海岸に最も近い800mの細長い範囲で最大となる。
- セラフィールドからの放射性物質が最も高いレベルで測定されてきている、潮汐エネルギーの低い地域の近くで、その増加は最大である。
- その効果はその期間全体にわたって増大しており、1970年代半ばのセラフィールドからの放射能放出のピークに、約5年遅れで追随している。

その期間の終了時までには、放射能で汚染された沖合の泥の堆積物に近い北ウェールズのいくつかの小さな町における小児の脳腫瘍や白血病のリスクは、国内平均の5倍以上であった。

アイルランドについては、全ての(種類の)ガンについてのデータのみを用いて、彼らが発見したことは：

- その影響は、東海岸には存在するが、南あるいは西海岸には存在しない。
- その影響は、女性に対しては存在したが、男性に対しては弱いか、もしくは存在が認められなかった。
- 1957年のウィンズケール原子炉火災事故時の前後に生まれた男女双方ともに、強いコホート効果 (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) が存在した。

これらに加えてその研究グループは、東海岸のアイランドのある一地方、カーリングフォード (Carlingford) を詳細に調べた。地域の一般開業医 (GP) からのデータを用いて、彼らは 1960-86 年の期間の、白血病と脳腫瘍の過剰発生を確認することができた。また、彼らはアンケート調査をその地域において実施し、海からの 100 m くらいの距離に海岸効果 (sea coast effect) が存在することを明らかにした。海岸から 100 m 以内に住む人々は、1000 m 以上離れて住む人々よりも、ガンを発症する確率がおおよそ 4 倍高くなっていた。

その研究者たちは、潮間 (高潮位と低潮位との間の海岸) の堆積物に捕獲された放射性物質の海から陸への移送がその効果の原因であると考えている。この過程は 1980 年代半ばまでに発見され、十分に記述されている。海からの距離に伴うプルトニウムの傾向は、塩化ナトリウムの浸透に見られる傾向と似ており、最初の 1 km にある空気中で濃度が急速に高くなっているのが示されている。英国においては、プルトニウムが国土全体にわたって羊の糞便の中から測定されてきており、1980 年代に測定されたところでは、牧草地におけるその濃度は、セラフィールドからの距離との間に顕著な傾向を示している。プルトニウムは全く同じ傾向で、子供の乳歯においても測定されてきており、英国全域からの検死標本体においても見つかってきている。レベルは肺から排液する気管支リンパ節 (TBN) において最も高くなる。肺に入った直径約 1 ミクロンの粒子は、そのリンパ節やリンパ系に移動し、原理的には、身体のあらゆる部位に届くことができる。ごく最近の研究では、まれなケースにおいて、直径がおおよそ 0.1 ミクロン程度の微粒子は、胎盤に進入することが可能であり、そしておそらくは胎児に進入することも可能であることを示している。そのようなアルファ線放出粒子は、それらの核崩壊による飛跡の 40 ミクロンの範囲内にある局所的な細胞に、非常に高い被ばく線量をもたらす。それに加えて、細胞はその微粒子が放射線を放出し続けるために、繰り返し何度も打たれることになる。このように、第 9 章で考察したセカンドイベント過程 (Second Event process) (訳注: 第 9.8 節参照) が可能となり、そして、低確率/高リスクの問題を代表する。ベータ線を放出するホット・パーティクルは、胎盤の内部から胎児を被ばくさせることができる。これは十分な証拠がない研究分野であり、さらなる研究が必要とされる分野である。

そのアイリッシュ海の研究に続いて、バスビーらは、1995~1999 年のガン死亡率のデータを用いて、海に放出している他の核施設を調査した。彼らは同様なガンに関する海岸効果を、サマーセット (Somerset) にあるシンクリーポイント原子力発電所と、泥質の河口に (放射性物質を) 放出している東海岸のエセックス州ブラッドウェル (Bradwell) の原子力発電所の近くで発見した。その堆積物の近くに住む人々には、内陸に居住する人々と比較して、高い率のガンが認められた。ブラッドウェルの場合は、原発を持たない類似の泥質河口を持つよい比較対照となる町が存在したが、そこでは国内平均を上回るガンの増加は見られなかった。

これらの研究結果は、合衆国の「放射線と公衆衛生プロジェクト (Radiation and Public Health Project)」による別の研究によって支持されており、ミクロンサイズの放射性粒子による内部被ばくに関係する高いリスクを確認するものであると見なしてよいであろう。

本委員会は、これらの研究が生態学的疫学に基づいており、そのような研究に関連するあらゆる論駁の問題 (problems of confounding) を被るかも知れないが、しかしヒトの健康への結果に関連しているという視点からすれば、緊急を要する切迫した課題とし

てこの領域におけるさらなる研究を奨励すべきであると認識している。

### 第 11.3 節 核事故

地球規模の環境への重大な放射能放出をもたらした核事故を表 1 1. 2 に示す。

表 1 1. 2 主要な核事故とそれらの総放出量

事故	総量 (PBq)	粒子	備考
クイシトゥイム (Kyshtym) ソ連、1957 年	74	高い	Ce-144 による高濃度の微粒子生成：公表された健康影響についての適切な追跡調査なし
ウィンズケール 英国、1957 年	0.83	中	影響をうけた地域を隠蔽する画策
スリーマイル島 合衆国、1979 年	566	なし	ほとんど全てが気体；適切な追跡調査なし
チェルノブイリ ソ連、1986 年	2088	高い	初期データの隠蔽。高いかつ異常な甲状腺ガンが認められる。ほかの影響は論争されている、また重要な議論の領域（本文をみよ）

(訳注：PBq は  $10^{15}$  Bq、ペタベクレル)

本委員会は、1986 年のチェルノブイリ原子炉の爆発に先駆けて起こっていた 3 つの核事故による健康上への結果が、疫学的に調査されてこなかったことを憂慮している。ウィンズケール事故が東部アイルランドでのダウン症の出生数を増加させてきたであろうとする証拠が確認されてきている。そして、アイリッシュ海の研究により、1957 年前後に生まれた集団に顕著なガンのコホート効果が存在する最近の証拠がある。それらに加えて、ウィンズケールから西に 70 km ほど離れたアイリッシュ海上の小さな島であるマン島においては、その事故からまもなく後に始まったあらゆる原因による死亡率の急速な増加を示す幾つかの証拠が得られている。これはマン島の行政府によって提供されたデータの中に見ることができる。本委員会は、この事故からの公式の気象学的な風向記録が、なんらかの影響のありそうな地域を隠そうとする明白な動機のもとに、不正に改ざんされてきたという証拠もまた見つけてきている。

もっとも最近の核事故である、1986 年のチェルノブイリ原子炉爆発事故は、事故による環境への放射性物質の最も大きな放出であり、北半球にあるほとんどの国々に汚染をもたらした。影響を受けた国々における健康に関する数多くの研究が公表され、あるいは会議において発表されている。ECRR2003 の報告書が出たころの西側諸国に現れていた全体的な様相は、ひとつの混乱であり、一方においてはガンや白血病そして遺伝的疾患における増加の報告と、他方ではその被ばくに関連するいかなる有害な (adverse) 健康影響をも否定する、互いに相容れない報告があった。

現在では、これがソビエト当局による基本的データの偽造や隠蔽によるものであったことが明らかになっている。数多くの取締りの命令が発見され、それらはヤブロコフの 2009 年の著者のなかで再現されている (Yablokov *et al.* 2009.)。例えば、ソビエト連邦公衆保健省第一副大臣シュチェピン (O. Shchepin) は、1986 年 5 月 21 日に次のように書いた：

・・・電離放射線に被ばくした後入院した特定の個人に対しては、退院時に急性放射線

障害の兆候や症状がなければ、診断は栄養血管性ジストニア (*vegetovascular dystonia*) とせよ。

もう一つの例はソビエト連邦国防省の軍中央医療委員会 (Central Military Medical Commission of the USSR Ministry of Defence) の説明文に現れている :

(1) 電離放射線によって引き起こされる時間的に離れた結果、及び因果関係について : 50 ラド (訳注 : = 0.5 Gy) を超えた被ばく後の白血病や白血症、・・・急性の放射性症が診られなかった個人 (リクビダートル) における急性の身体的疾患や慢性的疾患の発症、については電離放射線との因果関係があるものとしてはならない。

事故の本当の健康影響についての評価は、UNSCEAR (国連原子放射線の影響に関する科学委員会) や IAEA (国際原子力機関) による、高圧的な隠ぺい工作やデータの隠蔽に支配されていた。WHO (世界保健機関) は、エイチ・ナカジマ WHO 事務局長が 2001 年のキエフにおける会議でカメラの前で語ったように、問題への実質的な関与からはずされてきた。この会議において、UNSCEAR 代表のエヌ・ジェントナー博士 (Dr N. Gentner) が会議の結論として彼自身が以下のように書いている : 放射線による計測可能な影響の存在を否定する声明を作ろうとしたが、会議がその案を拒否し、調査研究を呼びかけるという大きく修正した声明が強固に選択されてしまい、最終的な声明は元の案にさし戻された (Busby 2006)

本委員会は、放射線遺伝学的な疾病の増加に関係する結論のかなりの部分が、線量と影響との間にあらかじめ仮定されている線形的応答に過って基づいていると考えている。そのような仮定は、外部被ばく線量と内部被ばく線量とを混同しており、また第 9 章で議論した細胞線量や細胞の感受性に関係した議論に基づく理由から、根拠のないものである。これに加えて、疫学的研究は、その放射能放出によって被ばくした集団に対する ICRP リスクモデルの予測によって、影響を受けている、あるいは攻撃されてきている。ICRP のモデルは、研究集団が経験している高いバックグラウンドのガン発生率に対して、一般的に立証するのが困難であるような非常にかすかな影響しか予測しておらず、そのためにガンの増加がこのような集団の中に見られるときにはそれらは無視されるか、あるいは少なくともチェルノブイリによる被ばくが原因であるとは見なされないようになっている。本委員会が調査した主な報告書を表 1 1. 3 に示す。ガンに関しては、晩発的影響の最初の証拠は、甲状腺ガン、白血病そして固形腫瘍の増加に対する証拠に分類されるであろう。

2003 年の報告書以後、チェルノブイリの健康影響に関する状況は著しく変わった。これは主に、健康障害に関する研究、及び動物実験と遺伝子研究に関するロシア語のピア・レビュー審査付きの報告書 (これらは、UNSCEAR と ICRP に無視されたものであったが) が今や英訳され、レビューされたことによるものである (Yablokov & Busby 2006, Yablokov *et al.* 2009)。ヤーブロコフ教授 (Prof Yablokov) とブルラコバ教授 (Prof Burlakova) は 2003 年にオックスフォードで開催された CERRIE (内部放射体の放射線リスク検討委員会) の会議に出席し、ロシア語で公表されている論文の証拠は IAEA や UNSCEAR の報告書にあるものと極めて異なったものであると CERRIE の事務局に告げた。これらの論文の多くはヤーブロコフとバスビーによって英語に翻訳され、また要約された。しかしながら、CERRIE の報告書はそれらとその参考文献を除外した : それらは CERRIE の少数者報告書 (Minority Report) に含まれている (CERRIEa, CERRIEb)。ECRR はヤーブロコフ教授が議長を務めるチェルノブイリに関する小委員会を、2003 年に立ち上げた : これは "ECRR2006 – Chernobyl 20 Years on (ECRR2006 チェルノブイリか

ら 20 年とその後) ”の公表につながり、これは euradcom のウェブサイトから自由に無料でダウンロードすることができる。この研究論文には、ロシア共和国とウクライナ、ベラルーシからの著名な幾人かの科学者たちの貢献が含まれており、詳細については読者にその本を読んでいただきたい。簡潔に言えば、それは事故の深刻な健康への影響を報告しており、ヒトや動物、植物の集団への遺伝子的及びゲノム的な効果を含んでいる。従って、チェルノブイリの疫学調査とチェルノブイリ効果 (Chernobyl effects) が、UNSCEAR2000 報告や UNSCEAR2006 報告、及び ICRP2007 勧告から除外されているのは信じがたいことである。UNSCEAR2006 報告の中では、ある量の紙面が放射線疫学に割り当てられているが、チェルノブイリに付いてはほとんど言及されておらず、上記のたった 1 つの論文の引用もなされておらず、議論もされていない。

これらの国々やヨーロッパにおける状況の証拠は、もっと最近になってヤブロコフらによって概観され、有名な ”New York Academy of Sciences” から出版されている (Yablokov *et al.* 2009)。

チェルノブイリ効果は 2009 年にギリシャのレスボス (Lesvos) で開催された 2009 年 ECRR 国際会議での主要な議題であり、これに関するいくつかの論文が提出された；この会議のプロシーディングスは現在準備中である。この会議の結びの声明は、チェルノブイリ事故を放射線被ばくが健康へ与える影響について適切に評価するための機会としてとらえるように、各国の政府及び研究者に呼びかけている。この声明、レスボス宣言は、補遺 C に掲載している。ECRR もまた、バンダシェフスキイ (Bandashevsky) のベラルーシの汚染された領域における発見に関する、彼の論文を現在集めている。

まとめると、チェルノブイリ原発事故の影響は、ICRP や UNSCEAR、IAEA によって過小評価され、否定されている。これは、ICRP のリスクモデルを支持し続けるために必要であったことが極めて明白である；ロシア語の論文で報告されているチェルノブイリ効果は、その ICRP モデルが誤りであることを証明している。西側の情報源からのデータを使って公表されている 2 つのガン研究がある：小児白血病の解析と、スウェーデン北部におけるガンの発生率の解析である。両者ともに ICRP モデルが誤りであることを証明しており、リスクモデルの誤差は、前述した考慮に基づく ECRR によって予測されたのと同程度で、2 つの場合でほぼ同じである。これらについては以下で議論する。

表 1 1 . 3 本委員会が事故の影響調査の基礎として用いたチェルノブイリ研究及びその概要。

報告書/ 評価	備考
IAEA, 1994	重度の健康損害があること、あるいは、甲状腺ガン以外には重大な影響がほとんどないこと、のどちらかを示した諸報告によって特徴づけられる、ウィーンで開かれた公的な原子力機関の会議。報告集は未だ発行されていない。
IPPNW (訳注 1) , 1994	IAEA の会議と同時にウィーンで開催された独立した会議、科学者らは著しく悪い健康影響を報告した。
サバチェンコ (Savchenko) , 1995	ベラルーシの科学アカデミー会員サバチェンコ (Savchenko) による UNESCO の書籍、甲状腺ガン、固形腫瘍、先天性疾患の増加を報告している。
ブルラコバ (Burlakova) ,	ロシアの科学アカデミー会員ブルラコバ (Burlakova) による編集、さまざまなガン、白血病、健康障害に関係した生化学的そして免疫系示



1996	標の変化、そして放射線への新奇な線量応答についても報告している。
ネステレンコ (Nesterenko) , 1998	ミンスクの BELRAD 機関 (訳注 2) によって出版された書籍、甲状腺ガン、白血病、そして固形腫瘍がベラルーシ出身の子供らの間で増加していることを報告している。
UNSCEAR, 2000	放射線による健康障害の深刻な増加が甲状腺ガンだけであることを示唆する内容の公表された研究のうち選択されたものが総合的に示されている。甲状腺ガンについてでさえも、結果が ICRP モデルに従っていることを示そうとしたぶざまな試み。
WHO, 2001	重度の健康損害があること、あるいは、甲状腺ガン以外には重大な影響がほとんどないことのどちらかを示した諸報告によって特徴づけられる、キエフでの会議。リスクモデルの再評価を求める会議決議。
京都 (訳注 3) , 1998	国際共同研究の報告書、「放射線影響の公的な報告書」と、影響を受けた地域における実際の結果の間にある不一致の説明を含めて報告している。
バンダシェフスキ (Bandashevsky) , 2000	ベラルーシ出身の子供たちにおいて、測定された内部汚染に関連する心臓疾患の増加を示している書籍。
ポーランド、ブルガリアなど	ポーランドとブルガリアからのさまざまな報告書は、チェルノブイリ直後にはじまる、小児におけるガンや健康障害、そして出産異常が急速に増加したことを報告している。
バスビー (Busby) , 2001	ベラルーシにおけるガンの発生率からの新しいリスクモデルについてのデータと予測についての概説を伴うベラルーシ大使への報告。
乳児白血病	胎内被ばくした集団において、6 カ国で報告された乳児白血病は、ICRP リスク係数が 100 倍かそれ以上の誤りを有していることを確定する (本文を見よ)。
ミニサテライト突然変異	さまざまな研究論文が、高被ばく線量地域出身の子供たちや、リクビダートル (liquidators: 清算人) の子孫においてミニサテライト突然変異の発生率の増加を報告している : ICRP モデルに最大 2000 倍間違いがあることを示唆している。
IARC (訳注 4)、様々	蓄積されたデータベースを用いたヨーロッパにおける白血病の「公的な」調査は、チェルノブイリに起因する増加をまったく示していない : 欠陥のある手法。
ロシア語によるベラルーシならびにウクライナの報告	ベラルーシ、ウクライナ、そしてロシア連邦からの多くの報告書被ばくにつき、かつそれに起因する、白血病、固形腫瘍、甲状腺ガン、先天性奇形 (congenital malformation) そして全般的な重度の健康損害の増加の証拠を含んでいる。報告書は翻訳されていないか、または公的な概説には含まれていない。
CERRIE 2004b	チェルノブイリ事故の健康障害に関してのロシア語の 40 の主だったピアレビュー論文の要旨の章を含む
オケアノフほか (Okeanov et al.) 2004	ベラルーシ共和国ガン登録システムにより記録された、ガンの増加レベルについてのジュネーブでの報告(第 14 章本文をみよ)
トンデルほか (Tondel et al) 2004	チェルノブイリの降下物に関連した北部スウェーデンにおけるガンの研究(第 14 章本文を見よ)
ECRR2006 ECRR2009	ECRR2006 チェルノブイリから 20 年とその後 A.V.Yablokov, C.C.Busby 編集 ロシアで発表されたチェルノブイリ事故の健康への影響に関する研究

	のピアレビュー論文の比較と論評；2009年 第2版
バンダセフスキイ (Bandashevsky) 2008	リトアニアで出版された Bandashevsky の研究の更新
ECRR2009	第3回 ECRR 国際会議 ギリシャ Lesvos にて2009年5月5-7日
ヤーブロコフら (Yablokov et al) 2009	チェルノブイリ 人々と環境に対する大災害の結果

(訳注 1: IPPNW; International Physicians for the Prevention of Nuclear War,  
URL: <http://www.ippnw.org/>)

(訳注 2: BELRAD についての情報が次のサイトにある。  
URL: <http://www.k-mariko.com/old/sukuokai/belrad.htm>)

(訳注 3: 京大原子炉、今中哲二氏ら原子力安全研究グループのメンバーが中心になった研究、  
URL: <http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/NSRG/>)

(訳注 4: IARC; International Agency for Research on Cancer, URL: <http://www.iarc.fr/>)

#### 第11.4節 チェルノブイリの降下物の分散と被ばく線量

卓越していた気象条件にしたがって、チェルノブイリ原発の爆発と火災によって放出された放射性物質の分散は極めて変化に富んでいたが、世界の多くの国々で行われた測定によって十分に特徴づけられた。それは、放射性核種が遠く米国、東南アジア、日本で検出されるという地球規模のものであった。それゆえ、多くの国々で健康への影響が検出されるであろうことが ECRR のリスクモデルからは予測されるが、しかしそのような証拠を探す試みはほんのわずかしが行われなかった。おそらくそれは、被ばく線量が非常に低く、そのような低線量では ICRP モデルは何も測定可能な影響を予測しないためであった。しかし研究者が調べようとすれば、彼らは結果を見つけた。胎内の胎児コホート研究の中で、ヨーロッパにおける乳児白血病の増加が言及されている。この増加は米国においてもマンガーノ (Mangano 1997) によって報告された。スウェーデンでのガン増加はトンデルら (Tondel *et al.* 2004) によって報告された。ウェールズとスコットランドでは英国ガン登録の中ではガンの発生率の急激な増加があった (Busby 2006)。サバチェンコ (Savchenko 1995) によって報告された国ごとの様々な汚染についての、平均の初年預託実効線量 (ICRP) は、ベラルーシの 2 mSv から、ウクライナの 1 mSv、ブルガリアやオーストリア、ギリシャ、ローマ、フィンランド、ロシア連邦では 0.5 mSv と 0.7 mSv の間、イギリスや中国での 0.08 mSv までの範囲に及んだ。もちろん、ECRR の重みづけはこれらの線量を大きく増加させただろうが、しかし含まれる放射性同位体ごとの分析は無いので、単純な近似のみが可能である。この分散した雲に含まれる放射性核種は、初期に非常に高いレベルを示すテルル Te-132/ヨウ素 I-132、これは気体のセカンドイベント (訳注: 第9, 8節参照) のペアであり、また、セシウム Cs-137、プルトニウム Pu-239、ストロンチウム Sr-90 とウラン燃料粒子、様々な核分裂生成物ベータ線放射体を含んでいる。降下物の中のウランの量は計測されていないが、これらの粒子は空気と農産物を汚染した (Hohenemser *et al.* 1986)。そのような被ばくに対する ECRR (リスクの) 荷重は大変高く、およそ3桁である。その間の期間におけるガンの増加を基礎に、ECRR の重み付けを、主に (サバチェンコの推定の基礎を代表している) セシウム Cs-137 のガンマ線線量に適用し計算された線量は、その (ガンや白血病の) 増加をかな

り良く説明するようである。

### 第 11.5 節 報告されている被ばくの影響

ベラルーシにおいて確実に 600 mSv を超える ECRR の実効線量を基礎に、その国には明らかな健康への影響が存在するだろうと予想され、実際にベラルーシの文献の中にそのようなことが報告された：先天性異常、病気の集団、寿命の喪失 (Yablokov *et al.* 2009, Okeanov 2004, Bandashevsky 2000, 2000a -2000c, Bandashevskaya 2003, Busby & Yablokov 2006, Busby & Yablokov 2009, Yablokov *et al.* 2009)。データの中でもっとも明らかなことは、健康影響と汚染による放射性核種への被ばくが相関する条件が、非常に大きな範囲に及ぶこととである。この広い範囲の差異は健康への結果をガンの発生率という単純な指標の観点から評価することを難しくしている。上で指摘されているように、(ガン以外の) 病気や健康状態による小児と青少年の死亡率の増加はガンによる死亡の増加率に比べて低い。なぜならそれが高齢者の病気だからである。この出版物の中で、本委員会はチェルノブイリ降下物に対する被ばくに続いて起こった病気の全ての範囲 (Spectrum) を再検討する紙面がなく、この問題を追求したいと望む人々には、それ自体の出版物を参照していただきたい (Busby & Yablokov 2006 (第 2 版 2009)、Yablokov 2009)。チェルノブイリ原発事故の被ばくの影響は、ヨーロッパの他の多くの国々でも現れたが、そこでは、研究者たちが進んで調査をおこなった：例えば、ドイツ、スウェーデン、英国での 21 番染色体過剰ダウン症の (Trisomy 21 Downs) 出産、ミニサテライト DNA の変異、甲状腺障害などである

### 第 11.6 節 チェルノブイリ後の甲状腺ガン

その惨事によって最も影響を受けた地域における甲状腺ガンの著しい、そして攻撃的であるとも言える増加は、当初、放射線リスクの権威筋によって否定された。が、後になって、その疾患が通常は非常にまれであるという事実のために真実であると認められた。公式の計算はまったく公表されなかったけれども、その影響が ICRP のリスク係数による予測より何桁も大きかったばかりでなく、その増加は ICRP のリスクモデルに 2 つの重大な誤りが存在することを明らかに示した。その第一の誤りは、放射性ヨウ素による甲状腺の内部被ばくは、ガンを発生させる上で外部被ばくはあまり効率的ではないとする信念に関係していた。第二は、臨床的症状の開始には十年以上の時間的ずれが存在するという信念にあった。実際の事故においては、甲状腺ガンの増加は、その被ばく線量がもたらされてよりわずか 2~3 年で始まったのであった。

リスク評価機関のコミュニティは、その (甲状腺ガンが) 増加しているという事実をよく飲み込まなければならなかったのであったが、直ちに試み得る限り高いレベルにその被ばく線量を補正するような格好で反応し、そのデータをそのようなモデルで解釈してしまった。その考えとは、影響を受けた子供らはヨウ素欠乏の状態にあったのであり、したがって彼ら彼女らの甲状腺はより多くのヨウ素を摂取したのであろうと仮定することであった。(この仮定に基づいて) 線量をガンのデータに合わせると子供らが放射線症によって死んでしまうほど高くなったので、これはうまくいかなかった。初期のデータは ECRR2003 に示されているが、表 1 1. 4 がベラルーシにおける 2004 年までの状況を示している (Malko 2009)。最も汚染されている地域ゴメリ (Gomel) で、予想さ

れた数と実際に観察された数の差は 126 人であった。マリコ (Malko) によって 2009 年に示された 1986 年から 2007 年までのほかのデータは、ベラルーシでその影響は 1995 年に最大となり 2001 年に 1986 年以前のレベル付近にまで低下したことを示している。甲状腺はヨウ素を含むために放射線に対して非常に敏感であるということに注意しなければならない。というのは、ヨウ素は  $Z = 53$  という高い原子番号を持っているため、ガンマ線の高いところに住んでいることや、ヨウ素 (I-131) に加えて他のガンマ線放射体の内部被ばくがある場合に、二次的光電効果 (訳注：第 9.4 節参照) を通して著しく被ばく量が増加するためである。北部フィンランドの一部では住民がウランの内部被ばく (地域の地質のために) も受けていたが、チェルノブイリから放出されたヨウ素の被ばくは、ウランがない地域に比べてもっと多くの甲状腺ガンを発症する効果を持っていた (Slama 2009)。ICRP と UNSCEAR は甲状腺がんの増加と、彼らの放射線のモデルとの不一致に対して信頼性のある応答を行うことができずにいる。

表 1 1. 4 ベラルーシ地域の子供たちの 1986 年から 2004 年までの甲状腺ガンの発症数と (ICRP モデルに基づく) 相対的リスク。

地域	観察された数	予測数	観察数－予測数	相対リスク
ブレスト (Brest)	165	3	162	55
ビテブスク (Vitebsk)	11	2	9	5.5
ゴメリ (Gomel)	378	3	375	126
グロドノ (Grodno)	43	2	41	21.5
ミンスク市 (City Minsk)	62	3	59	20.7
ミンスク地域 (Region Minsk)	42	3	39	14
モギレフ (Mogilev)	43	2	41	21.5
合計	744	18	726	41.3

その影響の絶対数の大きさと急速な症例の出現の両者に見られた (ICRP モデルの) 誤りは、きわめて放射能の高いテルル Te-132 / ヨウ素 I-132 のセカンドイベント (訳注：第 9.8 節参照) のペアが、初期の被ばくにおける主要な危険因子になっていた結果であろう。加えて、放射性ヨウ素のリスクモデルの根拠にされているのは、病院における甲状腺患者に対するホルム (Holm) による一連の研究であるが、そこではヒロシマ LSS 研究では甲状腺ガンについて被ばくから発症までに顕著な時間的ずれを示していたことを根拠にして、被ばくから最初の 5 年間に発症したあらゆるガンが先に存在した病変に因るものとして研究からは捨てられていたのである。ホルム (Lars Erik Holm) は前の章において ICRP とのつながりで名前が挙げられていた。

## 第 11.7 節 チェルノブイリ後の白血病

原子爆弾の後に高い発生率の白血病が観察されたあのヒロシマ以来、あらゆる被ばく者集団において、白血病、特に小児白血病が、一番最初に調査されるべき症状になっている。この理由のために、白血病の発生数が、ある原子力事故による損害についての理解をコントロールしようとする権力機構によって、まず最初に述べられるデータになるようである。その事故が旧ソ連による情報の国家管理が厳しかった期間に発生したということを思い起こすと、チェルノブイリの影響を受けた地域における白血病発生率の増

加に関する混乱は、部分的にはこの要因によると本委員会は解釈している。表 1 1. 5 にチェルノブイリ後の白血病データの解釈と白血病研究における問題点を示している。

旧ソビエト連邦内のチェルノブイリの影響を受けた主要な地域における白血病の増加については、報告書が出されてきている（表 1 1. 3 に示されている）；それらの概説は、いかなる増加も予測されず、確認されたいずれの増加についても以前より詳しくなった調査のせいであり、正の線量応答係数がないので放射線によるものではあり得ない、と断言している（これも表に示している）。チェルノブイリの影響を受けた地域からの白血病データは、内部被ばく線量と外部被ばく線量についての正確なデータが欠落していることや、データベースの不確かさや表 1 1. 5 に示している諸問題のために、このデータを使って有効なモデルを開発するような方法で解析するのは困難であると、本委員会は見ている。

ヨーロッパにおける白血病のリスクについて情報を与える主要な二組の研究がなされてきている：リヨンの IARC（国際ガン研究機構）によって取り組まれている一連の研究と小児白血病の報告書である。その IARC の諸研究では、ヨーロッパと旧ソ連地域におけるほとんどのガン記録から小児白血病の発生データが集められ、時系列として分析されており、被ばくの時期につづいて小児白血病の顕著なステップ状の発生があるという仮説を検証するために回帰法が用いられている。ある増加は認められたものの、それはステップ状の変化を示さず、それに加えて、最大の被ばく線量は最大の発生率とは相関していなかった。この結果、著者らはその事故は顕著な影響を与えなかったと結んでいる。本委員会は、この研究は集められたデータ全体について被ばく線量と遺伝的感受性における差異のために本質的な欠陥を持っていると見ており、スコットランドとウェールズからのデータに見られたように、各々の国からの個別の時系列の調査は影響を明らかにするであろうと考えている。

二つ目の研究においては、セシウム Cs-137 やその他の同位体からの内部被ばくが最大の被ばく線量であった期間に胎内にいた、0～1 歳の集団における小児白血病の増加の調査が行われている。この現象の調査は、別々の 6 つの国から報告されているが、内部被ばくに関する ICRP のリスク係数における 100 倍かそれ以上の誤りに対しての明白な証拠として本委員会が認めている分析の一部分をなしている。これについては別に考察する。

表 1 1. 5 チェルノブイリ後の白血病に関するデータを解釈する上での問題

チェルノブイリ後の白血病に関するデータを解釈する上での問題
1. ソビエトが診療段階で隠蔽したため、医療記録に白血病が現れない。
2. ソビエトが登録／報告段階で隠蔽したため、数字が参照集団に調整された。
3. 後の研究者は、全数が不正確なデータベースを用いている。
4. 線形応答の仮説では、被ばく集団よりも対照集団の発生率が高くなってしまう。
5. 回帰理論は直線応答を仮定している：係数には第 2 の過誤が含まれるであろう。
6. 症例の数が少ないので、わずかな症例の除去や除外に結果が決定的に依存してしまう。
7. プールされたデータは、線量応答の多様性によって混乱した結果を与えるであろう。

## 第 11.8 節 チェルノブイリ後のスウェーデン北部におけるガン

ウェールズとイングランドの核兵器の降下物の研究は、2つの地域の異なる被ばく量の集団を扱っていた。トンデルら (Tondel *et al.* 2004) は、スウェーデン北部の小さな地域でのチェルノブイリの降下物の差分効果 (differential Chernobyl fallout effect) についての洗練された疫学的解析結果を発表した。彼らは被ばくの影響を調べるために、小さな地域 (コミュニティ) におけるセシウム Cs-137 の降下物と 1984 年から 1996 年までのガンの増加との相関を調べた。セシウム Cs-137 のデータはスウェーデン放射線防護機関 SSI から、ガンの発生数はスウェーデンのガン登録簿 (Swedish Cancer Registry) から入手した。その研究は、汚染量  $100 \text{ kBq/m}^2$  あたり 11% の統計的に有意なリスクの増加を見出した。外部被ばくだけを使うと、これは ICRP モデルが 650 倍の誤差を持っていると解釈されるが、もし内部被ばくも加えると、セシウム Cs-137 だけを使った場合でも誤差はおそらく 400 倍まで減少する。本当の被ばく量は未知 (放射線の共変量は Cs-137 の面積汚染量) であることに注意すべきである。チェルノブイリの降下物は、含まれる放射性核種の組成からも、核兵器の降下物と同じではない。他の放射性同位体を含んでいたろうし、物質にはウラン燃料の粒子も含まれていたであろう。しかしながら、ICRP の解析では、放射線防護のために使用された量としてはセシウム Cs-137 の外部被ばく量だけであった。それにもかかわらず、(ICRP モデルが) 300 倍の誤差をもつことを示したウェールズやイングランドの初期の研究とよい一致を見ることができる。

## 第 11.9 節 原子力労働者と彼らの子どもたち

原子力労働者と彼らの子どもらは、放射線誘導疾病の分析に対するひとつの明確な範疇であり、本委員会は、この集団におけるガンと白血病の発生率に注目している主な研究について調査してきた。(幾つかの例外はあるが) ほとんどの研究は、その集団が一般的集団からの参照集団よりもこれらの疾病の発生率が低いことを示してきている。研究の著者らはこれを、原子力労働者が彼らのより高い社会経済的地位によって一般集団よりも一般的によりよい健康状態にあるという事実に起因するもの、「健康労働者効果 (healthy worker effect)」であると認めている。この効果の大きさを公表されているデータから評価することは以前から難しかった。しかしながら、ある非常に大きな最近の研究が、本委員会がそのデータを再度分析し、原子力産業に雇用されていた期間に対するガンリスクの傾向を示すことを可能とする情報を与えている。その結果を表 11.6 に示す。

「健康労働者効果」についての値を求めるために用いた方法は、その労働者が原子力産業に入った瞬時における標準化死亡率 (SMR, standardized mortality ratio) が有する傾向の外挿に基づいている。結果的なゼロ線量、ゼロ時間における SMR を参照値として用いるならば (Using the resultant zero dose, zero time SMR as a control)、原子力労働者は一般的集団よりもより低い年齢別死亡率を持っているにもかかわらず、彼らは、もし彼らが原子力産業ではなくて同じような経済的社会的便益を享受できる何か他の仕事に就いていたとした場合よりもより高い率で死亡していることは明らかである。表 11.6 の結論は、この効果は雇用の最初の 5 年以内に生じており、その産業において 5~9 年働くことによって彼らのガンに由来する死亡のリスクは、彼らがこの職業に就いていなかったとした場合よりも 50% 以上高いことが示されている。

表 1 1 . 6 「英国放射線労働者の国家記録の第二次分析」のデータに健康労働者効果を認める。

従事年数	全死者数	全原因の SMR	全ガン死者数	全ガンの SMR	修正全ガン SMR <sup>a</sup>
0-1	281	64	67	64	112
2-4	623	72	159	73	128
5-9	1466	79	443	89	156
10-14	1863	81	508	80	140
15-19	2162	87	589	85	149
20-25	4194	85	1186	82	143
30+	2176	83	646	80	140

a:  $SMR^0 = 57$  を与える、ガンの SMR にある傾向のゼロ時間への外挿に基づく。  
(訳注 ; SMR : 標準化死亡率)

表 1 1 . 7 英国放射線労働者の国家記録の第二次分析から導かれ、健康労働者効果への調整をした、全ガン及び白血病による死亡リスクの外部被ばく増加に伴う傾向。

フィルムバッジ線量 (mSv)	全ガンの SMR	全ガンの修正 SMR <sup>a</sup>	白血病の SMR	白血病の修正 SMR <sup>a</sup>
0 (ゼロ時間)	0.57	1.00	0.57	1.00
< 10	0.97	1.7	1.06	1.86
10 -	1.01	1.8	0.7	1.22
20 -	0.97	1.7	0.77	1.4
50 -	1.10	1.9	1.24	2.2
> 100 <sup>b</sup>	1.01	1.8	1.19	2.1

<sup>a</sup> 健康な労働者の一般的集団に対するガン死リスク 0.57 に基づいて修正。

<sup>b</sup> 集団の人数が小さかったので、100-200、200-300、300+の被ばく線量グループの全ての平均をとった。

原子力産業労働者の研究における問題は、その被ばく線量がフィルムバッジによって測定されており、そのため外部被ばくだということである。内部被ばく線量についての実際のデータは存在しないが、原子力労働者や彼らの子どもらの間に見つかっている、ガンと白血病とのやや高い発生率を招いている原因は、内部低線量被ばくであるという注目すべき暗示的な証拠がある。これらの増加は、その線量応答関係が線形でないこと、そして、最も高いガンのリスクを持つ集団が、高い被ばく線量の集団にはなっておらず、たいていは中間的な線量の集団であることに基づいて、通常は軽視されている。この効果、ブルラコバ (Burlakova) 型応答は、表 1 1 . 7 に示すように、最近の英国労働者についての研究に見られる

原子力労働者と彼らの家族に関する様々な研究の著者らは、健康労働者効果の大きさを明らかにしようとする現実的な試みを何もしてきておらず、本委員会はこれを取り組まれるべきひとつの重要課題であると考えている。異なる外部放射線線量にある集団を用いた内部比較を利用することは、線量応答の線形性の仮定が、その結果の解釈に組み込まれることになるので有用なものにはならない。それに加えて、プールされた研究においては、そのような階層化が疫学的に一様であるかは明らかではなく、異なった施

設からの、または内部同位体による異なった内部被ばく線量をもつ個人が比較されているかもしれない。本委員会によって検討された主たる原子力産業の研究を表 1 1 . 8 に示す。

表 1 1 . 8 本委員によって検討された主な原子力労働者の研究

研究	備考
1.ハンフォード、合衆国	外部被ばく：外部被ばくのリスク係数に 10 倍の誤りを見出している。全てのガンの倍加線量 340mSv；過剰な白血病は線量に非依存的。
2. 英国原子力公社 (UKAEA)	外部被ばく：さまざまな種類のガンによる死亡率が増加。前立腺ガンの過剰発生は明らか。
3. 英国原子力公社 (UKAEA) の前立腺ガン	症例対照研究 (case control study)：内部被ばく線量の測定と結びつけられた前立腺ガンの相対的リスクは 20 倍。放射性同位体の体内被ばくのリスクが ICRP モデルより 1000 倍大きいことを明らかにしている。
4. セラフィールド、英国	外部被ばく：過剰ガンリスクを広い信頼区間を持つて見出した。10 mSv 範囲における中央推定値は 1 mSv あたり 0.1 である。
5. 原子力兵器施設 (AWE)	外部被ばくの平均は 8mSv。雇用期間の長さとともにリスクが増大している証拠が示されている。
6. 全労働者、英国	プールされたデータの分析：ブルラコバ (Burlakova) 型の応答；健康労働者効果に基づいて全てのガンによる過剰リスクを与えている。
7. オークリッジ、合衆国	より高齢の労働者のリスク増加が報告されている。
8. 原子力産業労働者の家族の研究、英国	英国の原子力産業労働者の 25 歳以下の子どもにおける白血病では、100 mSv 以上被ばくした父親の子どもの場合、5.8 という過剰な白血病のリスクが見られる。2 相的応答 (biphasic response)：内部被ばくの測定から 2 倍のリスクを示している。
9. 子どもに関する記録での関連する研究、英国	セラフィールドの父親達を除外した後に、放射線労働者の子孫には、白血病と非ホジキンリンパ種の過剰リスクが見受けられ (父親 RR = 1.77、母親 RR = 5)、それは体内の放射性同位体が測定された場合にはブルラコバ (Burlakova) 型応答と最も高いリスクを持つという証拠を伴っている (未測定の RR = 1.61 に対して RR = 2.91)。著者らは放射線が原因でない証拠として非直線応答を用いている。(訳注：RR；相対リスク)

#### 第 11.10 節 議論の余地のない証拠

低レベルの内部被ばくとガンや白血病とを結びつける証拠の全てが、放射線以外の原因が (それらがどんなにあり得そうにないものであったとしても) その影響を引き起こしたのかもしれないという問題に悩まされている。キンレン (Kinlen) らの (上で議論した) 人口混合説は、これの好例である。低レベル放射線に関しては、最初におこる遺伝的損傷と、組織病理学的な確認が可能なガンという最終的な臨床的表現との遅れ時間によって、原因と結果とが分断されており、そのような時間的隔たりの間に他の可能性のある要因が見つかるかも知れないという問題もある。しかしながらここ数年の間に、技術の発達や、チェルノブイリ事故後に被ばくした十分に定義された集団の存在が、ガン発生率や死亡率についての小規模なデータの利用に関する状況が多少緩和されたこととあいまって、ICRP モデルの誤りとそれが内部被ばくに関係していることについて明白



な証拠を示す2つの研究を可能にした。リスク係数の誤りについての議論の余地がなく明白な証拠を与えるその2つの研究を表1 1. 9に示している。

表 1 1. 9 ICRP モデルの誤りについての明白な証拠を示すために本委員会が取り上げる最近の研究。

研究	研究内容が示すこと
1. チェルノブイリ後のミニサテライト DNA 突然変異	チェルノブイリ事故後に生まれた子どもの客観的科学的尺度は事故前に生まれた兄弟姉妹と比べ、突然変異に関して7倍増加していることを示している。ICRP モデルの誤りはこのエンド・ポイントで700倍～2000倍。
2. 5カ国での小児白血病	胎児の時に体内の放射能によって被ばくした子どもらにおける小児白血病の増加は、ICRP モデルのリスク係数の誤りがこのエンド・ポイントで100倍～2000倍であることを明らかにしている。

## 第 11.11 節 ICRP モデルにある誤りについての議論の余地のない証拠を示す諸研究

### 第 11.11.1 節 ミニサテライト DNA

放射線照射後の遺伝子変異についての ICRP モデルは、ICRP のガンリスクモデルと同様に、遺伝的影響全体についてのヒロシマ寿命調査 (LSS) 研究における発生数と、マウスにおける放射線影響の研究とに基づいている。

出生性比 (sex ratio) に関するわずかな遺伝的影響は、そのヒロシマ LSS 対象者の子孫において明らかになってきたが、財団法人放射線影響研究所 (RERF) の研究者らは、それが、そのような効果から期待される方向が彼らの見解とは一致していなかったため、それらを研究から除外した (Padmanabhan, 1997, Busby 2006)。ニールス (Neels) による性別比効果の除外は、第一世代における 10 m Sv の遺伝的影響は測定不能であろうという信念を生み出すことになった。そのようにして BEIR-V (訳注 1) は、染色体への影響 (不均衡型転座と三染色体性; unbalanced translocation and trisomies) を含む、遺伝的影響の全発生率を、子孫の世代 100 万人当たり、4200 人という自然発生率と比較して、6 人であるとしている。それが予測するのは、10 mSv の被ばくがもたらす過剰リスクが、子孫の世代 100 万人当たり自然発生率が 25000 人である先天性奇形 (congenital malformation) が 10 症例発生するというものであり、それはまた、かき消されるほどのわずかな増加を、常染色体優性 (autosomal dominant) と、X 連鎖 (X-linked) および劣性遺伝疾患 (recessive disorders) に与えている。マウスを使った研究と LSS の疫学的結果を組み合わせることで、自発的な遺伝的負荷の倍加線量は 1 Sv であると評価された (例えば、BEIR V, 1990 p.70)。

しかしながら、分子を扱う技術の発展が、ヒトの集団において詳細に研究されるべき放射線照射の結果についての客観的測定を可能にしている。旧ソ連内の地域に居住し、チェルノブイリによる放射線に被ばくした子どもらにおける、ミニサテライト DNA 変異 (minisatellite DNA mutation) に関する研究がいくつも行われてきている。ミニサテライト DNA をその遺伝的同一性の特徴を示すバンドに分離する「DNA 試験」の技術的発展を利用することによって、ベラルーシに暮らし、その環境を汚染した核分裂生成物からの放射線に被ばくした子ども達が、遺伝子変異が倍増する被害に苦しめられていることを示すことが可能になってきている (Dubrova, 1996, 1997)。被ばくしたツバメ

を用いたベラルーシにおける同様の研究は、これら遺伝子の変化が存在しており、また、生存数の減少のみならず、鳥たちの羽毛パターンに見られる個体の表現型の変化にも関係していることを明らかにしており、そのような変異の潜在的重要性を強調している (Ellegren ら 1997)。

より最近になって、そのミニサテライト DNA 試験が、事故後に生まれたチェルノブイリのリクビダートル (liquidator: 清掃人) の子どもに対して、事故の前に生まれた兄弟姉妹と比較して実施された (Weinberg *et al.* 2001)。被ばく後の子どもらには、遺伝子損傷が 7 倍に増加していたことがわかった。測定された遺伝子座に対する変異発生率を比較することによって、子孫に遺伝する遺伝子損傷についての ICRP モデルには、700 倍から 2000 倍の間の誤りがあることを、この研究結果は明らかにした。さらに、その研究結果は、被ばく線量の範囲によって階層化することができ、それは 2 相的あるいはブルラコバ (Burlakova) 型の応答に帰結した。ヒロシマで外部放射線に被ばくした子ども達に関する研究では、そのような効果がほとんど、あるいはまったくみられなかったということは注目すべきことであり、それらの被ばくの間にあるメカニズムの根本的な相違を示唆している (Satoh & Kodaira, 1996)。その最も確からしい相違は、その効果をチェルノブイリ事故のリクビダートルにもたらしたのは内部被ばくだったということである。

ICRP モデルにおけるかなりの誤りを示すこの証拠は、環境放射線の医学的側面に関する委員会 (COMARE) の議長であるビー・エー・ブリッジ (B. A. Bridge) 教授に受け入れられてきたようで、彼はパラダイム・シフト (訳注 2) の時が来たのかも知れないと認めている。彼の問題意識を述べた概要の中で、ブリッジはバイスタンダー効果に焦点を当てている。バイスタンダー効果とは、一つの電離性放射線の飛跡が横切った細胞達の間での細胞間コミュニケーションが、周辺の細胞にゲノム不安定性を引き起こし、最初の電離損傷を受けていない多くの数の細胞に遺伝子突然変異をもたらすものである (Azzam *et al.* 1998; Hei, 2001)。原理的には、ゲノム不安定性とバイスタンダー効果は、外部被ばくにも内部被ばくにも、そして天然の放射線にも人工の放射線にも等しく作用することになるので、そのようなエンド・ポイントにおいて著しい相違を生み出すことになるのは、外部被ばくと内部被ばくのモデルだということになる。

(訳注 1 : BEIR-V: 全米科学アカデミーの「電離放射線の影響に関する委員会: Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation (BEIR)」の 1990 年報告)

(訳注 2 : paradigm shift、その科学の全体的な枠組みにおける変化)

### 第 11.11.2 節 チェルノブイリの乳幼児達

1986 年のチェルノブイリ事故の後、放出された放射性同位体への被ばくを彼ら彼女らの母親の胎内で受けた子どもの集団は、人生の最初の年に白血病を発症する過剰なリスクに曝された。この「小児白血病」の集団的影響は、6 つの異なる国々で観察された。スコットランドにおいて報告されたのが最初であり (Gibson *et al.*, 1988)、その後、ギリシャ (Petridou *et al.*, 1996)、合衆国 (Manganos *et al.*, 1997)、ドイツ (Michaelis *et al.*, 1997) でみつかっている。

バスビー (Busby) とスコット・カトー (Scott Cato) は、観察された症例数と、ICRP モデルによって予測されたそれらとの相関関係を検討した。その集団の特異性が、初めて彼らに、その影響はチェルノブイリの放射性降下物への被ばくによってのみ引き起こ

されえるものであると主張することを可能にした。それ以外に代わるような説明はありえなかった。

英国放射線防護局 (NRPB) はウェールズとスコットランドの集団に対するその線量を測定し、評価してきており、さらに ICRP モデルに基づいて放射線による白血病に関するリスク係数を公表してもいたので、彼らの予測とこの観察とを比べて、現代のリスクモデルを検証するのは簡単なことであった。その方法は、1980年～1985年と1990年～1992年の期間に生まれた小児は被ばくしていないと単純に仮定し、チェルノブイリ事故による放射性物質の降下から18ヶ月の期間に胎内にいた子どもらに発生した小児白血病の発症数のポアソン期待値 (Poisson expectation) を確定した。この18ヶ月という期間は、胎内での被ばく線量が母親が摂取あるいは吸入した放射性同位体によるものであるということが示されていたことから選ばれたものである。ホールボディ・モニタリングは、1987年の春まで母親の体内にこの放射性物質が残留していたことを示したが、これは、1986年の夏に刈りとられサイロに貯蔵された牧草が次の冬に牛に与えられていたためである。その調査の結果は、ウェールズとスコットランドとを合わせた集団における、統計的に有意な3.8倍の過剰な小児白血病を明らかにした ( $p=0.0002$ )。胎内で被ばくした集団における白血病の発生数は、ICRPモデルが予測する発生数の約100倍であった。表11.10は、3つの主要な研究におけるその影響を比較している。この表中の集団Bは、その事故後の18ヶ月の期間中に、胎内においてチェルノブイリがもたらした内部被ばくによって被ばくし、1987年6月から1988年1月までの間に生まれた子ども達である。これらの被ばく期間は、ホールボディ・モニタリングの結果によって決められた。参照期間であるAとCは、事故前の10年間(1975年～1985年)と、データが利用可能であった1988年以降の4年間である。

世界保健機構 (WHO) が、ギリシャ、ドイツそして合衆国において近似的な被ばくレベルを示しているので、いくつかの他の研究によって報告されている小児の「被ばく集団」における白血病の発生数を調べて線量応答関係を確定することも可能であった。別々の国々からのデータにおいて、2相的、あるいはブルラコバ (Burlakova) 型の線量応答関係が存在していたことが判明した。

ICRPの誤りを示す証拠としてのこの研究の重要性によって、これがCERRIE (内部放射体の放射線リスク検討委員会) の会議の議題に上げられた。ICRPモデルの擁護派、批判派それぞれの側の主張を持つ委員会のメンバーたちが、オックスフォードを基本とする小児ガン研究グループ (Childhood Cancer Research Group) によって提供された新しいデータ群を解析した。これはギリシャとドイツにおいて研究に使われた同じ被ばく線量の集団の中の小児白血病の数を与えるものであった。これは、ペトリドウら (Petridou *et al.* 1996) によって定義されたチェルノブイリの降下物の期間に胎内にいた子ども達のコホート集団であった。NRPBのミュアヘッド (Muirhead) や、英国核燃料公社のウェイクフォード (Wakeford) による解析は、様々な国における小児白血病の過剰が (ICRPのモデルで) およそ100から1000の誤差の範囲であることを示した。それでも、CERRIEの最終報告書はこれらの結果を本文から除外した。付録の表の中には実際の数字と信頼区間が示されているにもかかわらず。後に、英国のデータは、ドイツとギリシャのデータとあわせて、英国・ドイツ・ギリシャの合わせたコホート集団のなかでの小児白血病のリスクが43%過剰であることを、高い統計的有意性を持って示した (Busby 2009)。

その小児白血病の結果はICRPのリスクモデルが被ばくのタイプと線量について、100倍から1000倍のファクターで間違っている明白な証拠を表していると本委員会は認

める。後者の数値は、研究されている集団において過剰リスクが継続していることを考慮に入れたものである。本委員会は、その集団の加齢にしたがって、集団を追跡調査する必要があることに注意を喚起する。

**表 11. 10** ICRP のリスク係数の誤りを示す明白な証拠：チェルノブイリ後の小児白血病の発生率について、ウェールズおよびスコットランドのデータと、ギリシャと旧ドイツ連邦共和国からの同様のデータを比較したもの。

集団	<sup>a</sup> ウェールズとスコットランド	<sup>b</sup> ギリシャ	<sup>c</sup> ドイツ
<b>被ばく集団 B</b>			
集団の大きさ	156,000	163,337	928,649
発症数	12	12	35
発生率	7.67	7.34	3.77
<b>非被ばく集団 A+C</b>			
集団の大きさ	835,200	1,112,566	5,630,789
発症数	18	31	143
発生率	2.15	2.79	2.54
リスクの比	3.6	2.6	1.5
累積ポワソン確率	0.0002	0.0025	0.02

<sup>a</sup>A と B、C の期間については<sup>a</sup> 本文を参照のこと。

<sup>b</sup>Petridou et al., 1996

<sup>c</sup>Michaelis et al., 1997。