第8章

電離放射線が健康に与える影響

ティルマン・A・ラフ

要 旨

電離放射線の生物学的影響は、原子力発電など核技術の分析において最も激しい議論が行なわれ、かつ政治化された問題の一つである。本章の第1節ではまず電離放射線の性質および発生源、そしてそれが生態系や人間の健康に与える影響を述べ、そうした影響が以前の予測を上回っていることを示す新たな重要な証拠を示す。放射線と健康は歴史的に極めて政治化された分野であり、既得権益の側による議論や干渉が数多く行なわれた。そのため本章の第2節では、誰が、どういった理由で、何を言っているのか、その裏側にある経緯、動機、そして利益に関するいくつかの重要な疑問を理解し考える上での道しるべとなるよう、放射線と健康の分野における主要人物を簡潔に紹介する。そして第3節において、人間が引き起こす大規模な放射線被曝が生じる原因について検討する。

電離放射線の性質、発生源、および影響

電離放射線とは何か？

電離放射線には様々な種類の伝達されたエネルギーが含まれる。波長が長く低エネルギーの電波、マイクロ波、および赤外線から始まり、可視光線と紫外線を経て、波長が短く高エネルギーのX線およびガンマ線に至る電磁スペクトルを構成するものもあれば、亜原子粒子や核子から構成される電離放射線もある。高エネルギーの電磁放射線および粒子放射線には様々な種類があり、そのうち原子から一つ以上の電子を引き剥がし（電離）、化学的な束縛を無力化するのに十分なエネルギーを持っているもの（表8-1参照）は、いずれも「電離放射線」と呼ばれる。本章で「放射線」という場合、それは別に特記しない限り電離放射線を意味する。

表8-1 各種電離放射線

電離放射線の種類		放射線加重係数 (ガンマ線と比較し た生物学的影響の大 きさ)(注1)	透過能力
電磁放射線 (光子)	ガンマ線（エックス線 と類似）	1	透過能力は高く（エックス線撮影 に用いられるのはそのため）、遮蔽 するには鉛やコンクリートなど 密度の高い物質が必要となる (衣服では遮蔽不可能)。
亜原子粒子	アルファ線（ヘリウム 核）、および原子核な ど核分裂性の高い粒子	20	外皮および紙で遮蔽可能（呼吸 や経口摂取といった内部被曝によっ て害がなされる）
	ベータ線（電子）	1	衣服1枚で遮蔽可能。一部は皮 膚の基底部まで浸透する。
	中性子	中性子エネルギー により5～20	透過能力は高く、遮蔽にはコン クリートや地層が最も有効。

注1：この加重係数は、ある特定の放射線が、同じエネルギーのエックス線ないしガンマ線に比べどの程度生物学的損傷を与えるかを表す。つまり加重係数が2になると、その放射線は同じエネルギーのエックス線ないしガンマ線に比べ、2倍の生物学的損傷を与えることになる。

出典：Centers for Disease Control and Prevention（2015）；European Nuclear Society（n.d.）。

電離放射線は放射性元素の自発的な崩壊によって放出される。その過程で放射性元素はより小さな原子へと何度も変化し、大抵の場合、変化のたびに電離放射線という形でエネルギーを放出する。こうした放射性崩壊の連鎖反応は、同じく放射性の中間段階を複数経て、最後に安定的な元素に変化する。放射性崩壊の連鎖、各段階の生じる頻度、そして放出される放射線の種類は、それぞれの放射性元素に固有の物理学的特性である。放射性崩壊の頻度は半減期、すなわち放射性元素を構成する原子のうち半分が崩壊するのにかかる時間で表される。半減期が長い元素は長期にわたって残存するが、その放射能は急速に崩壊が進む元素に比べて弱い。多くの元素は様々な異なる原子構成（原子核内部の陽子の数は同じだが、中性子の数が異なるものであり、同位体と呼ばれる）を有しているが、その一部ないし全部が放射性である場合もあり、その時は放射性同位体と呼ばれる。

電離放射線はまた、X線装置におけるように、急速に動く荷電粒子を別の物質につけることでも発生する。核爆発によって放出される中性子線は、通常では放射能を持たない物質の放射性崩壊を誘発する。大気中の窒素を半減期5,730年の炭素14に変化させるのがその一例である。

放射線が物体を透過する力は、その種類によって大きく異なる。アルファ粒子は薄い紙や布によってせき止められるため、通常人間の皮膚、それも細胞が死んだ表面ですら透過できない。しかしエネルギーが大きいため、肺や消化器官など人体内部に取り込まれると深刻な損傷を引き起こす。一方、ベータ粒子（電子）の一部は、新たな細胞が生み出される皮膚の基底部を透過する。またガンマ線やX線は透過力が高く、医療画像の分野でエックス線が用いられるのもそれが理由である。それらをせき止めるには厚いコンクリートや鉛が用いられる。

放射能の発生源と被曝の要因

人間は様々な要因を通じて放射線に晒されており、それは内部被曝と外部被曝に分かれる。宇宙を発生源とし、大気を通過して降り注ぐ放射線、地表ないし地中、建物の内部、あるいは空中の放射性物質から発せられた放射線は、いずれも外部被曝の要因である。放射線の放出源に直接触れることは、最も近い部分に最も大きな被曝を生じさせる。呼吸、消化（食料、水、あるいは環境中の土や埃など

が要因であり、とりわけ子どもに影響する)、ないし傷口や皮膚の裂け目の汚染は、人体に入った放射性物質からの放射線に曝される原因となり得る。こうした場合、ごく短い距離しか透過しない放射線であっても危険であり、放射性の粒子が人体に長期間留まればその危険性は特に高まる。また透過力の高い放射線を放出しない物質（プルトニウム、ストロンチウム、トリチウムなど）による内部被曝は、測定がより難しく、放射線被曝の評価において無視されることもある。

生物学的に重要な放射性同位体の多くは化学的に振る舞うため、我々が必要とする他の物質と同じように人体内部で処理される（表8-2参照）。それらの一部は生物の体内、および食物連鎖の過程で蓄積し、生物圏の中でリサイクルされる。一例を挙げると、淡水魚の体内に蓄積されたセシウム137の濃度は、その魚が住

表8-2 原子力発電所から放出され、人間の健康に大きな影響を与える放射性同位体の代表例

放射性同位体	放出する主な放射線	半減期	健康への影響および主な被曝経路
ヨウ素131	ベータ線、ガンマ線	8日	経口摂取。食物連鎖の途中（特に乳）で蓄積され、甲状腺に集中し、がんを含む甲状腺疾患を引き起こす。とりわけ子どもが大きな影響を受ける。
セシウム137	ベータ線、ガンマ線	30年	外部被曝および経口摂取。体内に入ると、細胞内部の主な荷電イオンであるカリウムと同じように振舞う。生体濃縮し多くのがんを引き起こす。現在のところ、大気中の核実験および原発事故による放射線被曝の圧倒的原因である。
ストロンチウム90	ベータ線	28年	経口摂取。体内ではカルシウムと同じように扱われ、骨や歯に蓄積する。生体濃縮し体内に残留する。白血病および骨肉腫を引き起こす。
プルトニウム239	アルファ線	24,400年	呼吸によって被曝し、体内に残留する。内部疾患を引き起こし、とくに呼吸によって被曝した場合、肺がんの原因となる。ウラン原子が中性子を吸収することで、原子炉内で必然的に生成される。
トリチウム (三重水素)	ベータ線	12.3年	経口摂取によって被曝し、内部疾患を引き起こす。水溶性であり、生体濃縮を起こさない。

出典：UNSCEAR（1993: Annex B, 128-9）を基に作成。

む水中における濃度の1万倍に達することもある。

放射性物質は固体、液体、気体いずれの形もとる。放射性物質を含む、あるいはそれによって表面が汚染された物質、物体、および有機体は放射線を放出するが、放射線に被曝したものの放射性物質を含んでいない物体ないし有機体は、他の物体を被曝させたり害を及ぼしたりすることはない。たとえば、医療目的で放射性の薬品を投与された人間は一定期間放射能を放出するが、X線装置による診断を受けたり、がん治療のために放射線療法を受けたりした人間は放射線の放出源とはならない。

自然放射線に被曝する要因の大半は、希ガス類で最も重いラドン、そして土壤に含まれるウランウム235および238、トリウム232の崩壊によって生み出される発がん性物質である。ラドンはポロニウム、ビスマス、テルリウムなど多数の中間段階を通じて崩壊するが、それらはより反応性が高く、また空気中の微粒子や塵に付着するため、呼吸の際に肺へ取り込まれる可能性がある。これらラドンの生成物はラドンに関係する放射線の大半を生み出しており、またラドンは世界中で喫煙に次ぐ肺がんの原因となっている。

ここ数十年、放射線治療が世界各地で急速に普及しており、いくつかの国では自然放射線と同程度（オーストラリアおよびアメリカなど）、あるいはそれ以上（日本など）の放射線被曝の要因となっている。こうした状況をもたらした原因としてCTスキャン（X線診療の進化版とも言えるコンピュータによる断層写真撮影）の普及が挙げられる。

現代の核兵器の大半は高濃縮ウランおよびプルトニウムから製造される。ウランとプルトニウムの核分裂反応はおよそ40通りあり、合わせて300もの放射性核種が生成される。またそれらの半減期は数分の1秒から数百万年まで様々である。原子炉内部でもウランとプルトニウムの核分裂が行なわれているものの、原子炉内部における連鎖反応を制御・増殖させる中性子は、核兵器の爆発に関わる「高速」中性子よりも速度が遅い。加えて、最初の分裂反応で生じた核種は短命ながら原子炉内部で分散しないため、より長寿命の崩壊生成物が蓄積されてゆく。ゆえに、原子炉内部に蓄積される長寿命の放射性同位体は、核爆弾によって生み出されるそれに比べて相対的に量が多くなる。

表8-3 原子力発電所から日常的に放出される放射性同位体

種類	主な同位体（質量数）
大気中への放出	
核分裂および放射化で発生する気体	クリプトン（85, 85m, 87, 88）、キセノン（131, 131m, 133, 133m, 135, 135m, 138）、アルゴン（41）
ハロゲン元素	ヨウ素（131, 132, 133, 134, 135）、臭素（82）
微粒子	コバルト（58, 60）、セシウム（134, 137）、クロミウム（51）、マンガン（54）、ニオブウム（95）
トリチウム	水素（3）
液体として流出	
核分裂および放射化による生成物	鉄（55）、コバルト（58, 60）、セシウム（134, 137）、クロミウム（51）、マンガン（54）、ジルコニウム（95）、ニオブウム（95）、ヨウ素（131, 133, 135）
トリチウム	水素（3）
水溶性の希ガス	クリプトン（85, 85m, 87, 88）、キセノン（131, 133, 133m, 135, 135m）

出典：National Research Council（2012: 37-8）より転載。

核爆発と原子炉は、以前には存在しなかった数百もの放射性元素を新たに生み出すだけでなく（表8-3参照）、当初の物質の放射エネルギーを百万倍もしくはそれ以上に増加させるのである。

電離放射線はなぜ生物学的に重要なのか

電離放射線が生物学的に極めて危険なのは、大量のエネルギーを含んでいるからではなく、そのエネルギーが束になって細胞を襲うからである。たとえば医療用X線のエネルギーは、化学結合エネルギーのおよそ1万5,000倍に上る。また人間の場合、4グレイ（Gy）の電離放射線を全身に浴びると重篤な放射線障害が引き起こされ、死に至る可能性もある。しかしながら、4Gyの放射線が体重70キログラムの成人に及ぼすエネルギーはわずか280ジュールに過ぎず、これは摂氏60度の茶またはコーヒーを3ミリリットル飲んだ時の熱量と同じである。

我々が誰であるかを決め、数多くの生物学的プロセスを制御しているのは、DNAに代表される大規模かつ複雑な分子鎖であり、それは我々の最も貴重な相続財産であると同時に子孫へ伝える最も大切な遺産である。我々の細胞に存在す

るDNA二重らせんの鎖のうち1本は母親から、もう1本は父親から受け継いだものだが、それら大型の分子は電離放射線の影響を特に強く受ける。放射線はDNAに直接損害を与えるだけでなく、フリーラジカルイオンなど極めて反応性が高い化学物質を生み出し、それらがDNAと反応することで、間接的にも損害を与える。それは一本鎖および二本鎖DNAの破壊、DNAを形作るヌクレオチド塩基の酸化、DNAの一部欠損、そしてその結果生じる遺伝子および染色体の損傷など様々である。血液中のリンパ球における染色体異常、とりわけ二動原体染色体異常の頻度は、数週間以内に全身に被曝した放射線量を推計する際に使われる。また日本の被爆者やニュージーランドの原爆実験要員の間では、被曝してから50年以上経った今もなお、転座（染色体の一部が位置を変えること）など、細胞を殺さない安定的かつ永続的な染色体変化の頻度が上昇している（Wahab et al. 2008）。

放射線によるDNAへの損害は、効果的に修復することもある一方、細胞の死（特に線量が高い場合）、機能不全、がんの誘発、そして次世代に伝達し得るDNAの変化など、様々な結果をもたらす。細胞にはDNAの損害を修復する機能があるが、それらは完全でなく、またエラーが発生する余地もある。細胞分裂の際、DNAは放射線の害を最も受けやすい。そのため骨髓中の血液細胞、卵巣および精巣内の生殖細胞、消化器官を形作る細胞、そして毛嚢など、急速に分裂・成長する組織が放射線に対して最も脆弱である。子宮が被曝すると胎児に知能障害や奇形などの悪影響を及ぼす恐れがある。乳児や胎児は放射線の影響をとりわけ受けやすく、胎児期の初期に発生する発がん性の突然変異は、後に生じる突然変異に比べ、より多くの娘細胞（訳注：細胞分裂の結果生じる2つ以上の細胞のこと）に転移する可能性が高い。後期の突然変異では、その細胞から生み出される娘細胞の数がより少なくなるためである。

放射線と健康に関する科学は今なお発展途上である。急激な被曝は、長い時間をかけて同じ量の放射線に被曝した時と比べ1.5ないし2倍有害であると、しばしば考えられてきた。だが後に論じるように、最近の研究ではそうでないことが示されている。また多くの放射線に見られるのが「傍観者効果」である。つまりDNAに対する最初の損傷が発現しなくとも、ある細胞への放射線の損傷が近く

の細胞にも損傷を与えるのである。そこには炎症反応も関わっているものと思われる。さらに放射線による遺伝子への損傷として「ゲノム不安定性」というものがあり、それはさらなる損傷への耐性を弱めるとともに、親細胞から娘細胞にも伝達し得る。だが傍観者効果とゲノム不安定性はいずれも遅らせることができる。

放射線レベルとその影響

放射線は様々な方法で測定される。放射能の最も基本的な測定単位は原子が崩壊する頻度であり、1秒あたりの放射性崩壊回数がベクレル (Bq) である。また吸収した放射線の量はグレイ (Gy) で表され、物体 (通常は細胞組織) 1キログラムにつき1ジュールのエネルギーが与えられた時の線量を1Gyとする。

「等価線量」は特定の器官ないし細胞組織に吸収されたエネルギーの生物学的な影響を測定するものであり、吸収線量と当該細胞組織の荷重係数をかけ合わせることで求められる。荷重係数は、その細胞組織が放射線の影響をどれだけ受けやすいかによって決められる。放射線感受性には荷重係数によって40倍もの差が生じるため、以下の5つに分類される。最も影響を受けやすいのは生殖器官 (子宮および精巣) であり、それに続くのが赤色骨髄 (血液細胞が作られるところ)、胃、結腸、そして肺である。また「実効線量」は、被曝した器官および細胞組織の各等価線量を、器官ごとに異なる放射線感受性で調整した後の合計値であり、全体的なリスクの指標である。その合計値は科学的に厳密なものではなく、被曝が様々な細胞組織に及んでいる場合は意味が薄い。一例を挙げると、CTスキャンを受けた脳は40~50ミリグレイ (mGy) の放射線を吸収するが、これは脳がんのリスクを高める水準である。ところが、これを全身の実効線量に換算すると約4.5ミリシーベルト (mSv) になる (Mathews et al. 2013)。なお等価線量と実効線量はいずれもシーベルト (Sv) で表される。またX線やガンマ線のように透過力のある放射線について、GyとSvは等価である。

土壌や宇宙線に含まれるウランの崩壊で生じたラドンを吸い込んだり、自然発生した低レベル放射性物質を消化したりすることで、我々はみな自然放射線に被曝しているが、その全世界における平均値は1年間につきおよそ2.4mSvである。また胸部レントゲン1回あたりの線量は通常0.01mSvであり、CTスキャンにな

ると3~12mSv以上になる。なお線量100mSv以上の被曝を一度に受けると、実験室で検出可能な染色体への影響が生じる。ちなみに「低線量」と定義されるのは通常100mSv未満である。

線量100~250mSvの電離放射線は一般的な血液検査で検出できる深刻な影響を引き起こし、線量がさらに上がると放射線障害の急性症状が現われる。また線量100mSv以上の放射線は、体内の様々な器官に可逆的・不可逆の両方の影響を与える。一度に被曝した線量が数百mSvになると急性症状の可能性が高まり、集中治療を受けなければ約4Sv(4,000mSv)で被曝した人間の多くは死亡する。なおがん治療においては、それよりはるかに高い線量の放射線が身体の特定の器官に照射される(がん細胞は通常の細胞に比べて分裂が速い)。皮膚の火傷、脱毛、不妊といった放射能による影響、そして頭痛や吐き気、嘔吐といった急性症状は、一定水準以上の放射線を被曝しなければ起こらない。優れた治療が行なわれれば、深刻な放射線障害からの回復は可能である。

それとは対照的に、短期的な影響や急性症状を引き起こすに至らない線量であっても、電離放射線の被曝はその線量に比例する形で、長期にわたる遺伝子障害や慢性病のリスクを増大させ、ほぼあらゆる種類のがん発生率を増やすと考えられている¹。放射線はがんの発生リスクを増大させるだけでなく、その発症も早める。こうした過度のリスクは、被曝した人間の生涯にわたってつきまとう。また、これを下回れば健康リスクが増す恐れはないという水準はない、という結論がすでに確立している——いかなる放射線被曝であっても、長期的な健康リスクを増大させるのだ。これは自然放射線にもあてはまる。自然放射線の線量が高い地域では、突然変異率の増加、免疫学的変化、身体的肉体的変化、そして人間を含む多様な動植物におけるがん発生率の増加といった現象が確認されている(Møller and Mousseau 2013)。CTスキャンを受診した子どものがん発生率が予想以上に高く、また早期に発生していることが最近のデータで明らかになっているが、それ以前から、年間2.5mSvの自然放射線を骨髄が被曝した場合、小児白血病の

1——がんは多くの場合広く二つに分類される——造血器から発生する血液がん(白血病)と固形がんである。

発症率が30パーセント上昇すると推計されていた（Wakeford, Kendall, and Little 2009）。

放射線による健康リスクについて、最も権威があり、かつ厳密な定期的評価とされているのが、全米科学アカデミーによる「電離放射線による生物学的影響の報告書」（BEIR）である。しかし最新版であるBEIR VII（Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation 2006）が公表されたのは2006年のことであり、それ以降に積み上げられた新たな証拠はかなりの量に上る。BEIR VII報告書の推計によると、人口全体における固形がんの発症率は、被曝した線量が1mSv増加するごとに、人口1万人あたり1人の割合で増えるという。また白血病の発症率増加はこの10パーセント程度である。全てのがんのうち死に至るのはおよそ半数であることから、がんによる死亡率の増加は上記の半分、すなわち自然放射線が1mSv上昇するごとに、人口2万人につき1人の割合で増加するものと推定される。

国際放射線防護委員会（ICRP）および各国の放射線防護機関の大半が勧告する、医療行為以外における放射線被曝の年間上限は1mSvである（放射線被曝の一般的な測定単位に換算すると、0.11マイクロシーベルト毎時となる）（ICRP 2009）。放射線防護機関の一部はこれよりも厳しい基準を採用しており、たとえばアメリカ環境保護庁は年間0.12mSvをもって放射能汚染地域の除染水準としている（US EPA 2014）。

放射能の影響について知るにつれて、データで示されるそうした影響の程度が大きくなることは、一貫して変わらない傾向である。一方で放射線被曝の許容上限が引き上げられたことは1度もなく、常に引き下げられている。一例を挙げると、1950年から1991年にかけ、放射能取扱業務における全身被曝の年間許容線量は、およそ250mSvから20mSvに引き下げられた。これらの許容上限は、それを下回れば健康上のリスクがないことを意味するものではない。それはむしろ、安全性および人々の最善な防護と、商業上の利益およびコストをはかりにかけた、最も新しい妥協の産物なのである。

また電離放射線は心疾患や呼吸器疾患など、がん以外の病気を発症し、それによって死に至るリスクも上昇させる。これは中・高水準の被曝において明確に立

証されており、また最近の研究結果によると、循環器疾患の死亡率は、原子力産業に従事する労働者の多くが常に晒されている低水準の線量および被曝率でも上昇するという。心臓などの循環器系疾患による死亡リスクの増大は、放射能に由来するがん発生リスクと相関関係にあると見られており、そうすると被曝による死亡リスクの増大は、がん単体による死亡リスクのおよそ2倍になることを示唆している (Little et al. 2012)。

放射線が健康に与える影響を理解する上で重要な要素の一つとして、たとえ低線量の放射線であっても多くの人々が被曝すれば、重大な結果を招きかねない、ということが挙げられる。イギリスで行なわれた研究によると、同国においてラドン由来の肺がんで死亡した人の大半 (85パーセント以上) は、空中のラドン濃度が1立方メートルあたり100ベクレル (Bq/m³) の家屋に住んでいたという。これは治療行為が必要な水準として勧告されている200 Bq/m³をはるかに下回るものである (Gray et al. 2009)。人口1億人中の平均被曝線量がわずかに1mSv増加しただけで、がんの発生数は1万件増加するものと推測されている。

放射線の健康被害を受けやすい年齢集団

放射線のリスクは年齢集団ごとに一様でなく、幼い子どもが最も高い水準にあり、年齢とともに徐々に減少する。乳幼児は中高年に比べ、放射線によってがんを発症する可能性が4倍高い (Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation 2006)。またイギリスのアリス・スチュワートが1950年代に行なった先駆的研究によると、妊娠中の女性がX線の放射を腹部に1度受けただけで、胎児の被曝線量はおおよそ10mSvに上り、その子の小児期のがん発症リスクを40パーセント上昇させるという結果が出ている (Doll and Wakeford 1997)。

またBEIR VII報告書では、全身均一に被曝した場合、成人女性および少女が成人男性および少年に比べがんの発症リスクが52パーセント高く、またがんによる死亡リスクも38パーセント高いことが示されている。この差異は若年層で最も大きく、0歳児から5歳児の場合、女兒ががんを発症する可能性は男児に比べて86パーセント高いという結果が出ている (Makhajani, Smith, and Thorne 2006:35-40)。

子どもは大人に比べ、放射能のもたらす害に極めて弱い。男性乳児（1歳未満）が30歳の成年男性と同じ線量の放射線を被曝した場合、がんを発症する確率は3.7倍に達する。また女性乳児と30歳の成年女性を比べると、その差は4.5倍となる（Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation 2006:470-99）。このような差異は、放射線の影響が顕在化するにあたり、若くて余命が長ければ長いほどそれを受けやすいことと関係がある。がんのリスク全体と年齢との関係を図8-1に示す。

若年層ほど放射線の影響を受けやすいという事実は、被曝がもたらすがん以外の健康リスクにもあてはまる。イギリス人を対象に最近行なわれた研究では、放射線を被曝した若者の心疾患リスクも同じように増大するという結果が出た。被曝による循環器系疾患の死亡リスクは、10歳未満の子供のほうが70歳以上の老人よりも約10倍大きくなる。同様に、子どものうちに被曝した人間が固形がんで死亡する確率は、70歳以降に被曝した人間のそれに比べ20倍高く、また30～39歳の間に被曝した人間のおよそ2倍に達する（Little et al. 2012）。

幼少期の被曝と、放射線に対する女性の脆弱性が重なると、その影響は劇的な

図8-1 10mSvの放射線を追加被曝した場合のがん発症リスクの増加（年齢別、男女別）

出典：NAIIC（2012）低レベル電離放射線の被曝による健康リスクの評価委員会のデータ（2006）を基に作成。

ものになる。たとえばストロンチウム 90 という放射性同位体を含んだ液体を口にした場合、女性乳児は 30 歳の成人女性に比べて乳がんを発症する確率が 20.6 倍高い。また摂取したのがヨウ素 131 だと、その値は 32.8 倍に達する。つまり放射能汚染の水準が同じであるならば、人生の最初の 5 年間で放射性物質を摂取した少女は、大人になってからそれを摂取した成人女性と比べ、乳がんないし甲状腺がんの累積リスクがより大きいのである (Makhijani, Smith, and Thorne 2006:40)。

だがこうした脆弱性の差は、年齢集団全体でリスクが平均化されることによって曖昧にされてしまう。

放射線の健康被害に関する証拠の蓄積

広島および長崎の被爆者を対象に実施された長期の追跡調査によって大量の歴史的データがもたらされ、それを基に放射線の健康リスクが推計されている。原子力産業その他の放射線関連業務に携わる人間、あるいは一般国民の被曝上限許容値も、そのデータを土台として策定・勧告されてきたのである。広島および長崎の被爆者調査は現在も継続中だが、公表済みの最新データは、被曝線量とがん全体のリスクとがしきい値のない直線的な比例関係にあることを示している (Ozasa et al. 2012)。それはまた、低水準の放射線被曝におけるほうが、線量 1 単位あたりのリスクが大きいことを示唆している。さらに、ICRP などの機関がいまだに仮定しているように、同じ線量でも被曝が長期に渡った場合のほうががんのリスクは低いということを、追跡調査のデータは否定している。その上、日本の公的機関や学生・教師向けの教育資料は、線量 100mSv 未満でがんのリスクが増大する証拠は存在しないとしているが、追跡調査はこれも明確に否定している (Cabinet Office et al. 2016)。日本国内においても、こうした極端かつ根拠のない公式説明は否定されており、日本政府は最近になって、福島第 1 原発で 14 ヶ月にわたり除染作業に従事した後白血病を発症した男性に対し、労働災害補償を給付している (Soble 2015)。なお日本では、労災と認められる放射線被曝の線量は年あたり 5mSv とされている。

しかし日本の被爆者追跡調査には、放射線のリスクを過小評価させる方法上の欠陥がいくつも存在する (表 8-4 参照) (Richardson, Wing, and Cole 2013; Mathews et

表8-4 放射線の健康リスクを過小評価する傾向にある、
日本の被爆者を対象とした長期追跡調査の特徴

頑健な人間が選ばれる傾向	原爆投下からの生存者は、苦痛、栄養失調、および戦争による欠乏状態から生き残った選ばれた人々たちである。そこに原爆によるストレスが加わることは、より頑健で栄養状態もよく、以前からある健康問題によって傷ついたり苦しんだりすることが少なく、ゆえに原爆の健康への悪影響に対してより耐性を持つ人々の生存を有利にすると考えよう。
がんによる初期の死者が見逃されている事実	がんによる死者数が記録されたのは1950年以降であり、1945年から50年までは計上されていない。
初期の白血病およびがん発症が見逃されている事実	白血病の発症数は1950年から、その他のがんの発症数は戦後13年が経過した1958年から計上が始まった。その一方、発症数の増加は1947年から48年にかけて始まったものと見られている。
放射線に被曝していながら、被曝していないとして計上されたケースの存在	爆心から2.5ないし10キロメートルの範囲にいた人々は「被曝していない」ものとみなされているが、その多くは被曝している可能性が高い。原爆投下から1週間以内に広島ないし長崎に立ち入った人々も、中性子によって誘発された放射線（爆撃翌日の広島の場合、結腸に対する内部被曝の平均線量は82mSvと推定されている）に被曝している。広島近辺に住み、「黒い雨」の形で放射性降下物に晒された人々も、1950年から62年にかけて高い死亡率を示しているが、これらの人々は対照群の中で計上されている。彼らの被曝はすべて無視されており、放射線被曝による被害者への影響を軽視することにつながる。さらに、さまざまな分析において線量10mGy未満の被曝は「被曝していない」ものとして計上されている。
線量推計の不確かさ	被爆者の被曝線量は注意深く何度も推計されているが、個々のケースではいまだかなりの不確実性が残っている。
低線量の放射線を被曝した人が比較的少ないという事実	低線量（100mSv未満）を被曝したと推測される生存者は7万名だが、労働者およびCTスキャン受診者を対象とし、より統計検出力が高く、かつ正確度も高い最近の研究で計上された人数よりもかなり少ない。
より高線量の放射線を被曝した人々において、被曝線量の不明が多すぎる問題	広島・長崎両市において、爆心に近いところにおり、それゆえ高線量の放射線を被曝した生存者のうち、およそ3,500名が「被曝線量不明」とされている。その多くは後に両市を離れた若者で、結果を歪めるほど多数が調査対象から除外されたのである。
時間差の問題	生存者の長期追跡調査が始まったのは1950年だが、対象者の被曝線量推定とがん発症数の計上が完了したのは1965年のことだった。ゆえに対象者の中には、がんの発症が最大15年にわたって計上されないまま調査対象となっていた人もいたのである。
放射線関連のがん発症が今なお続いている事実	リスクが最も高い青少年期に被曝した人々において、彼らが生きている限りがんの発症は続く。
汚名と差別の問題	被爆者の多くは村八分や差別、あるいは結婚の機会を減少させる社会的孤立に苦しんでおり、自分が被爆者であることを隠しがちである。

出典：著者；Richardson, Wing and Cole（2013）；Mathews et al.（2013）。

al. 2013)。中でも重大な点として、追跡調査は身体の頑健な被爆者集団を対象としている、一部の被曝を誤って分類している、被曝線量の少ない調査対象者が比較的少数である、そして最初の5年間でがんにより死亡した人数と、最初の13年間でがんを発症した人数が欠けている、という点が挙げられる。

しかし過去10年間にわたって新たな疫学的調査が実施され、より正確な推定結果をもたらすとともに、放射線関連のリスクが以前の推定より大きいことを示している (Kitahara et al. 2015)。これらの調査研究は、特に低レベルの放射線被曝に関するデータと、多数の国民を対象とした健康に関するデータとを、電子的に結びつけることで可能になったものである。なお後者の例として、国民健康保険でCTスキャンを受診し、その後がんを発症して地域のがんセンターに登録された子どもなどが挙げられる。こうした新たな調査研究の中でとりわけ重要なものにつき、以下に概略を示す。

原子力発電所の近くに住む子どもの小児白血病

原子力発電所の近辺で暮らす子どもたちの間で白血病の発症数が明らかに多い事実は、過去数十年にわたって懸念と論争を引き起こしてきた。中でも有名なものとして、1980年代にイギリスのセラフィールド原発近くで白血病とリンパ肉腫の発症数が高水準に上った事例が挙げられる。ちなみにその場所は、1957年に発生したウィンズケール原発事故の現場であり、1986年にチェルノブイリ原発事故が起きるまで、ヨーロッパで最も放射能に汚染された原子力施設だった。政府の委託を受けた委員会が設立され、その勧告によって捜査が行なわれた。その結果、セラフィールドから5キロ以内に住み、原発で働く労働者を父に持つ子どもたちの間で、白血病とリンパ肉腫の発症リスクがとりわけ高いことが偶然明らかになった。この現象は、子どもの出生前に父親が高水準の被曝を経験していた場合、さらに顕著だった (Gardner et al. 1990)。また米エネルギー省の支援を受けて2007年に行なわれたメタ分析では、世界中の信頼可能なデータが残らず集められた。その結果、原子力発電所の近くで暮らす子どもたちの白血病発症数が、統計的に有意な増加を示している。

だが最も決定的なのはドイツ政府が実施した大規模調査の結果である。国内

16の原子力発電所の近くで暮らす子どもたちを対象に、過去25年間にわたる白血病の統計データが調べられた。それによると、原発の5キロ以内で暮らす子どもたちが白血病を罹患するリスクは2倍以上に達し、原発から50キロ以上離れていてもリスクの上昇が見られるという (Kaatsch et al. 2008)。この結果は統計的に極めて有意だった。後にフランスで行われた調査も、これほど有力ではないものの、同様の結果を示している。一般的な放射線被曝推計と、その予想される影響を基に考えれば説明不可能であるという理由から、これらの結果にはこれまで疑問符がつけられているが、原因が何であれ両者の強い関連性には変わりはなく、また放射線以外の要因は見つかっていないのである。現実世界における実際のデータは、常にあらゆる理論モデルをひっくり返してしまうのだ。

CTスキャン後の小児がん

世界中で医療用放射線の被曝が増えている主要な要因はCTスキャンである。CTスキャンはエックス線を用いて渦巻き状の画像を撮影し、臓器が密に詰まった身体の断面を映しているが、その際に全身が被曝する実効線量は1~10mSv、あるいはそれ以上（最大20mSv以上）になる。多数の調査研究が行なわれた結果、CTスキャンを受診した子どものがん発症リスクは、以前の推計よりもかなり大きいことが明らかになっている。現時点で最大規模の調査はオーストラリアで実施されたものであり、CTスキャンを受診した若者（20歳以下）68万人のがん発症リスクと、CTスキャンを受診していない若者1,030万人のそれとを、20年間にわたって比較したものである (Mathews et al. 2013)。この調査の対象となった被曝人数は、日本の低線量被曝者データ（線量100mSv未満の被曝者約7万人）に比べ10倍多く、また被曝線量の合計は4倍多いものとなっている。

このCTスキャン受診者調査の結果、平均実効線量がわずか4.5mSvのCTスキャンであっても、1度目の受診から10年以内にがんを発症する確率は24パーセント上昇し、またその後受診するたびに16パーセント上昇することが明らかになった (Mathews et al. 2013)。また受診からがんを発症するまでの期間はわずか2年だった。最初のCTスキャン受診後の追跡調査期間は平均およそ10年なので、被曝した人間は生涯にわたって新たながんを発症する可能性がある。調査対象者

の年齢層と追跡調査の期間が類似していることから、CTスキャンによる白血病のリスクは、日本の被爆者におけるそれとほぼ同じである。しかしより大規模なCTスキャン調査においては固形がんのリスクがはるかに大きく現われており、日本の調査と比べ、脳がんのリスクは12.5倍 (Smoll et al. 2016)、固形がん全体のリスクは9倍となる (Mathews et al. 2013)。白血病と脳がんに関するこうした発見は、オーストラリアで行なわれたこの調査と、イギリスで実施されたより小規模な調査 (他の固形がんは調査対象にしていない) とで極めて似通っている (Pearce et al. 2012)。

オーストラリアの調査研究は、低線量放射線に関して行なわれた集団調査の中で最大規模であり、また放射線の影響を最も受けやすい年齢集団である子どもが調査対象であることから、その結果はより重要性を帯びている。これらの調査研究は、低線量放射線、早い時期のがん発症、そして子どもという年齢集団について日本の被爆者調査に存在していた重大な溝を埋めるものである。これらの子どもを対象とするより長期の追跡調査と、放射線医療に伴うリスクの検証は今も行なわれており、今後数年間で重要な新発見がなされるものと期待されている。そうした調査研究の結果、すでに放射線リスクの見積りが上方修正され、また放射線の影響を最も受けやすい人々を確実に守るべく、被曝線量の許容上限も引き下げられている。さらに、放射線に関係するがんのリスクに関し、被曝線量と発症可能性の相関関係を示すグラフはこれまで想定されていたように直線ではなく、とりわけ子どもの場合、低線量において勾配が急である、つまり1mSvあたりの影響は低線量におけるほうが大きい、と結論づけられる可能性が高い (Smoll et al. 2016)。また被曝後すぐに発症するがんの増加が放射線の影響を受けやすい人々の間で最大となる、ということも示されようとしている。

原子力産業に携わる労働者のがんリスク

原子力産業労働者の白血病リスク (Leuraud et al. 2015) およびがんリスク (Richardson et al. 2015) に関し、国際がん研究機関のもとで実施された数十万人規模に上る長期調査の最新結果が2015年に公表された。この調査はフランス、イギリス、アメリカの労働者30万8,000人を対象とするものであり、その一部は

1944年から追跡調査の対象とされている。また平均追跡調査期間は26年、調査対象の平均年齢は58歳である。その結果、直腸の放射線被曝（臓器への被曝を測定する最も一般的な方法である）の総計は、低線量を被曝した日本の被曝者の総計と比べ5倍以上に上った。原子力労働者の平均被曝線量率はわずか1.1mGy/年に過ぎず、これは世界の大半の場所における自然放射線よりも少ない。また累積線量も、原子力産業に携わる労働者の最も一般的な許容上限値である年あたり平均20mSvを下回っている（調査対象となった労働者の平均勤務年数は12年であり、その間に被曝した累積線量は平均20mSv弱だった）。

固形がんのリスクは、日本の男性被曝者（20歳から60歳まで）のそれと統計的に比較可能だが、原子力労働者のほうが50パーセント高く、加齢が進む中でますます増大するものと思われる。また白血病のリスクに関しても、日本の男性被曝者（20歳から60歳まで）とほぼ同様である。なお調査対象の平均年齢が58歳であることから、がんおよび慢性病の発症が加速しつつあることに留意する必要がある。

これらの大規模調査は、被曝した線量がかなり低く、職業上の許容上限を下回っていたとしても、リスクがあることを示している。同じ線量を長期間にわたって被曝する（つまり線量率が低い）ことがリスクの縮小につながるものでないことは、この結果から明らかである。BEIR VII報告書は低線量の被曝線量率割引係数を1.5と設定しており、ICRPをはじめとする放射線防護機関の多くは係数として2を用いている。しかしこうした係数は、世界保健機関（WHO）が2013年に公表した福島原発事故による健康への影響に関する報告書の中では用いられず、原子放射線の影響に関する国連科学委員会（UNSCEAR）も2013年にこの係数の使用を取りやめた（UNSCEAR 2014）。CTスキャンおよび原子力産業労働者に関する調査研究から、電離放射線によるがんのリスクにしきい値は存在しないと結論づけられる。

チェルノブイリおよび福島原発事故で被曝した人々における、がんなどの健康に対する影響

1986年に発生したチェルノブイリ原発事故による影響が、最近になって自主

的に見直されている (Fairlie 2016)。以下に主要な研究結果を示す。

- ・ 2065年までにヨーロッパで4万人が、チェルノブイリ原発事故に由来するがんのため死亡すると推定される。
- ・ 甲状腺がんの発症件数がすでに6,000件増えており、2065年までにさらに1万件増えるものと予想される。当初は子どもにはほぼ限られていたが、近年では年長者も発症している。甲状腺がんの増加は、オーストリア、スロバキア、チェコ共和国、およびポーランドなど他の多くの国々でも確認されており、少なくともその一部はチェルノブイリが原因であると思われる。
- ・ 推定60万ないし80万人に上る除染作業員の間で白血病と甲状腺がんの発生率が高まっており、また以前に考えられていたよりも低いしきい値 (100～250mGy) での白内障の増加が見られる。
- ・ チェルノブイリ事故によって汚染された地域で先天的奇形の増加が確認されることはない、各国際機関が予測しているにもかかわらず、放射能汚染が著しいウクライナのリウネ・ポリーシャ地方で神経系統の先天性異常の増加が確認された。これには二分脊椎、無脳症、小頭症、眼球の未成熟もしくは欠落といった神経管欠損の諸症状も含まれる (Dancause et al. 2010)。
- ・ ベラルーシおよびウクライナの汚染が最も激しい地域における乳がん発生率が増加している。
- ・ 放射能汚染による生活の混乱、および放射能リスクに対する長期の心労も、健康に悪影響を及ぼし得る——事故後数十年経った今もなお、除染作業員の間で鬱病や心的外傷後ストレス障害 (PTSD) の発生率が増加しており、また被曝した子どもの母親も鬱病や不安障害といった精神障害のリスクに晒されている。

日本および世界の様々な機関は、福島原発事故の結果として放射能による健康への悪影響が見られる可能性は低いと述べているが、こうしたにわかに信じ難い見通しは誤りであることがすでに立証されている。日本の復興庁は福島県における2016年初頭までの原発関連死者数を3,407名と推計している (不十分な避難による死者、放射能汚染地域における慢性病患者の治療継続困難、そして自殺も含まれ

る)。被曝した住民に対する包括的な集団検診や継続管理が行なわれていないこと、および関連する地域の多くでがん患者の登録が十分行なわれていないことは、健康問題を突き止め対応する能力が限られていることを意味する。

福島県で行なわれようとしているより効果的な方策の一つが、震災当時18歳未満だった少年少女を対象とする、超音波を用いた甲状腺の定期検査（スクリーニング）である（ただし放射能の影響を受けた他の県では実施されていない）。対象者の24ないし29パーセントがいまだ検査を受けていない（2016年9月現在）ものの、甲状腺異常を発見しようとするこうした意欲的な取り組みは、集団検診の計画がない場合に比べてより多くの嚢胞や結節の発見につながるものと期待されており、現時点までに突き止められた事実によると、福島県における甲状腺の被曝線量はチェルノブイリ事故後の水準よりもはるかに低いと推定されたにもかかわらず、甲状腺がんの大量発生を示す初期の証拠が現われつつあるという。2015年末までに福島県の子ども113人が甲状腺がんと診断されており、うち51人は2度目の超音波スクリーニングで発見されたが（Tsuda et al. 2016a, 2016b）、それを基に次の事実が導き出せる。

- ・福島県で当初突き止められた甲状腺がんの発生率は、日本人平均の20倍から50倍に上った。
- ・初回の2年後に行なわれた2度目の超音波スクリーニングにおいても、がん発生率は日本人平均の20倍から38倍に上っており、スクリーニングの強化だけではこの差異を説明できない。
- ・福島県内で最も汚染が著しい地域の甲状腺がん発生率は、最も汚染されていない地域のそれに比べて2.6倍に上っている。
- ・診断されたがんは主に良性であったという事実はない——手術に至った症例のうち92パーセントにおいて、がんはリンパ節や他の器官など甲状腺の外に転移していた。

なお2016年9月の時点で、スクリーニングを受けた福島県の子どものうち、甲状腺がんと診断された人数は145名に上る。

汚染地域に住む人間以外の生物に対する放射線の影響

ティモシー・ムソーとアンダース・モラーは本書の中で、チェルノブイリと福島
島の汚染地域で暮らす人間以外の生物に対する放射線の影響について驚くべき証
拠の数々——その大半は二人によって集められたものである——を概説している。
事実上全ての生物および生態学的共同体について調査された結果——土壤中のバ
クテリアや木々に生息する菌類から、様々な昆虫、蜘蛛、鳥類、そして大小の哺
乳類に至るまで——生物学的な悪影響が突き止められた。それは放射能汚染の度
合いに比例し、明確なしきい値は存在せず、また悪影響の大半は年あたり1～
10mGyの範囲で出現している。

人間が同様の影響を受けないというのは生物学的に考え難い。近年集められた
人間に関するデータでも、放射能の生物学的影響が以前の予測よりも大きいとい
う、人間以外の生物と同様の傾向が示されている。ムソーとモラーによる研究結
果は、生物が暮らす現実の生態学的環境および条件において放射線の影響を評価
すること、そして生殖細胞や胎芽など、最も脆弱な発達段階、組織、および器官
をそこに含めて考えることの重要性を示している。

放射線と健康に関する歴史の概説

証拠が政策や実践に反映されるまでの遅れ、既得権益の 不当な影響力、科学界・医学界の腐敗

歴史的に見て、国民の健康に関する事実の証拠が政策や実践に反映されるまで
に数十年を要することは珍しくなく、時には100年近くかかることもあった。と
りわけそのリスクが、被曝から結果の出現までの長い期間に及んでいる場合、そ
して強力な既得権益が存在する場合はなおさらである。その例として喫煙、アス
ベスト、アルコール、不健康な「ジャンクフード」、化石燃料、そして低線量の
放射線が挙げられる。特に放射線と化石燃料については、大半の被害者は顔も名
前もわからないという匿名性にまつわる問題があり、そのことが否定、無関心、

そして怠慢を一層甚だしいものになっている。放射能によって引き起こされたがん（ないし心臓発作）を、喫煙や化学物質など他の要因によって引き起こされたものと区別するのは一般的に不可能であり、またがんの大半は数多くの複合的な要因によるものである。従って放射線による犠牲者の多くは個人的に原因を識別できず、その他多くの事例の中に埋没することとなる。放射線は目に見えず、存在を感じられず、臭わず、また味もしない。高線量を被曝した際の急性放射線障害を除き、放射線が自分に害を及ぼしていることは実感できない。長期の遺伝子障害やがんは、発現するまでに通常で数年、時には数十年を要する。こうした要因のため、放射線の影響はしばしば十分認識されていないか、あるいは過小評価されている。しかしそうだとすると、被害を受けた人々やその家族は現実の存在であり、苦痛や早すぎる死を防ぐ努力はされなければならない。その例が大気圏内核実験によって世界中に降り注いだ放射性物質であり、そのために全人類が体内に放射性物質を抱え、最終的に200万人のがんによる死者と、それと同じ数の死に至らないがん患者を生み出すものと予想される（Ruff 2015）。しかし核実験関係者やその風下で暮らしていた人々の一部を除き、これら核実験によるがんで苦しみ、あるいは命を絶たれた個人の大半は、個人的に認識されることはないのである。

放射能による健康への影響について、それに関する力学、制度、そして対立を理解するにあたっては、より幅広い歴史的状況を把握することが重要である。核兵器はあらゆる武器の中で最も破壊力が大きく、地球上の生物にとって現存する最大の脅威である。しかし一部の国家ではそれが政治や政策の中心にあり、大国といえども例外ではない。核保有国が核兵器の廃絶を目指し、法的拘束力のある核不拡散条約を締結しておよそ半世紀、世界にはいまだ1万4,930発もの核兵器が存在しており（Kristensen and Norris 2017）、軍縮条約交渉も行なわれておらず、また核兵器を保有する9カ国は大規模な投資を行い（アメリカだけでも続く30年で1兆ドル）、その近代化と配備を将来にわたって進めようとしている（Kristensen and McKinzie 2015）。化学兵器、生物兵器、地雷、そしてクラスター爆弾の禁止条約は、すでに大部分が効力を発揮しつつある。また2017年7月7日、史上初となる包括的な核兵器禁止条約が、122カ国の賛成により国際連合（UN）でついに

採択された。この条約は、全ての兵器の中で最も無差別的かつ非人道的な核兵器が正当な目的に資することはなく、地球を破壊する自爆の爆弾に他ならないという明確な論拠に基づいている。しかし核兵器保有国やそれに頼っている国々はこの条約に反対しており、いまでも核兵器の廃絶を拒否し続けている。

過去70年以上にわたり、核兵器が国力を誇示する強力な手段として見られていたことが、その拡散だけでなく、核兵器の開発・製造に必要なウラン濃縮工場、原子炉、および使用済み燃料再処理工場の原動力となっていた。1953年にアメリカのドワイト・アイゼンハワー大統領が国連において「平和のための原子力」演説を行うと、研究炉および同位体製造用原子炉、そして原子力発電所の導入が世界各地で活発に行なわれた。アメリカ国防総省の顧問を務めたステファン・ボソニーは1953年に心理的戦略委員会でこう述べている。「原子力エネルギーが同時に建設的な目的で用いられるなら、原子爆弾ははるかにたやすく受け入れられるはずだ」(Kuznick 2011において引用)。またアメリカ原子力委員会のトーマス・マレーは日本への原子力導入を念頭にこう語っている。

広島と長崎の記憶は今もなお鮮明に残っているが、日本のような国でこうした発電所を建設することは、両都市における惨劇の記憶から我々全てを高みへと引き上げる、劇的かつキリスト教的な行為と行うことができよう。(Kuznick 2011において引用)

マンハッタン計画に始まり、冷戦時代には核兵器の軍拡競争に巨額の資金が投じられ、米ソによって100カ国以上に研究炉が供与されるとともに、原子力の開発に公的支援が行なわれた。それからというもの、放射線による健康リスクの大きさについて、証拠の操作、歪曲、過小評価、そして隠蔽に力が注がれ、それは今も続いている。これには官民の大組織、巨額の資金、さらには核兵器および原子炉にまつわる人的、制度的、政治的、経済的な既得権益が絡んでいる。好ましからぬ研究はしばしば妨害され、中止に追い込まれた。また歓迎されざる証拠を集めた在野の研究者も抑圧の対象となり、研究費を削減されたり、職を失ったり、あるいは信用を傷つけられたりした。ここで放射線の健康リスクに関する詳細な

歴史を全て記すことはできないが、アリス・スチュワート、ジョージ・ニール、トーマス・マンクーズ、エドワード・マーテル、そしてカール・ジョンソンをはじめとする科学者や医師の勇気と科学的貢献を認識し、敬意を表することの重要性を強調しておきたい。放射線による健康リスクの大きさに関する彼らの重要な科学研究は、原子力分野の巨大な既得権益にとって好ましからざるものであり、そのために迫害の対象となったのだ (Quigley, Louman, and Wing 2012)。

タバコ業界のある幹部は1969年にこう述べている。「懐疑は我々の武器である。それこそが一般大衆の脳裏にある『事実の集合体』と対決する最良の方法であり、また反論の余地があると示す手段でもあるからだ」(Brown and Williamson, Minnesota Lawsuit 1969)。こうしたリスクの否定および過小評価、ならびに反論の余地があるという認識を植えつけることは、放射線による健康リスクの分野でも広く行なわれている。ここでこの分野の主要機関に関する懸念の一部を簡単に記しておく。

世界保健機関 (WHO)

保健分野における世界最高峰の技術組織であり、世界の全ての国家が加入しているWHOは、強大な権威と権力を有しており、その報告書、勧告、技術基準、そしてガイドラインは注目的であり、かつ高く評価されている。しかしWHOの活動は慢性的な資金不足に足枷をはめられている。放射線と健康の分野では能力だけでなく指導力の欠如にも苦しんでおり、国際原子力機関 (IAEA) に比べて過度に従順であり独立性も不十分であることがそれに拍車をかけている、と広く認識されている。両機関が1959年に結んだ協定ではこう謳われている。「一方の機関が計画ないし活動を提案したとき、もう一方の機関がそこに実質的な利害関係を有している、あるいは有していると思われる場合、前者は後者に助言を求め、相互の合意によってその件の調整を図るものとする」(IAEA 1959: Article 1.3)。

IAEAは利益相反的な構造を有しており、原子力産業の基準および安全策を全世界で規制しつつ、同時に発電を含む原子力技術を推進している——IAEAは本来核兵器の廃絶を目指しているが (IAEA 1957)、実質的にはその拡散手段を促進しているのだ。2006年に国連の複数の機関が作成したチェルノブイリ原発事故

の結果に関する報告書において、IAEAは結論、配布、および広報対応で主導的な役割を果たしているが、事故による健康被害の扱いは不当なまでに控えめである（IAEA 2006）。この報告書では事故関連の死者をわずか4,000と見積もっているが、国際癌研究機関——WHOの関連機関だが、より活発な研究を行ない、独立性も高い——が同年に実施した推計によると、2065年までに予想されるがんの発症数は4万1,000件、死者は1万6,000名（6,700～3万8,000名）となっている（Cardis et al. 2006）。

放射線被曝と放射能汚染をもたらす最も重大な潜在的要因は核戦争であるが、その健康に与える影響についてWHOは2件の歴史的報告書を作成している（WHO 1983, 1987）。また世界保健総会（WHA）においても、「核兵器は人類の健康と福祉に対する最も差し迫った脅威である」と認識されている（WHO 1983）。1987年、WHAは核戦争の健康に対する影響の調査継続を決議するとともに、WHO事務総長に対し、その進捗を定期的に報告するよう求めた。しかしそうした追跡調査は現時点で行なわれていない。

福島原発事故に関し、WHOの役割は本質的に放射線被曝量に関する報告書の編集、およびそれら被曝による健康リスクの推計にとどまっており（WHO 2012, 2013）、災害時の公的保健管理に対する国際的貢献、および被災者の健康維持において、WHOは積極的な役割を果たしていない。さらに、阿曾沼慎司厚生労働省事務次官がWHO事務総長に対し、福島原発事故による日本人児童の甲状腺への放射線被曝線量の推計値を引き下げよう直接圧力をかけたと報じられたことから、日本政府に対する疑念とWHOの独立性への懸念が持ち上がった。WHOは当初、放射能汚染が最も深刻な地域での被曝線量を300～1,000mSv、東京および大阪での被曝線量を10～100mSvと推計していたが、最終報告書ではそれぞれ100～200mSvおよび1～10mSvに引き下げられ、また日本政府は報告書が公表される直前まで、より一層の引き下げを図っていたと報じられたのである（*Asahi Shimbun GLOBE* 2014）。

WHOの慢性的な財政危機はその能力を弱め、収入の大半を各国政府の善意に頼っていることで独立性が失われている。その予算は1990～91年度の14億ドルから2016～17年度には44億ドルに増加する見通しだが、各国政府による（通常

の) 拠出金は毎年10億ドル未満のまま推移している。ゆえにWHOは自発的な寄付——その多くは特定の目的に紐づけされている——に依存せざるを得ず、各国政府および慈善団体からの寄付金は予算の79パーセントを占めているというのが現状である。

国際放射線防護委員会 (ICRP)

ICRPは1928年の創設以来、放射線防護基準の勧告において主要な役割を果たしてきた。自らを独立機関と謳っており、公衆の利益に奉仕する公平で透明、かつ説明責任を果たす組織であるとしている。2014年の年次報告書によると、ICRPは30ヵ国以上からの232名の人員で構成され、彼らは開かれた選考過程を通じて選ばれるとともに、独立した専門家として自由意思による参加を前提に招聘される。正式にはイギリスの慈善団体であり、カナダに小規模な事務局を置くなど、その形態は共済会あるいはクラブ活動に近い。2016年7月現在のウェブサイトを覗くだけでも、その独立性には重大な疑問符がつけられる。たとえば科学担当副事務局長の荻野晴之博士は電力中央研究所、すなわち日本の商用原子炉事業者から無償で派遣された人物である。他にも原子力および核兵器の開発に携わる政府職員や、明らかに既得権益を持つウラン採掘企業カメコ、アレヴァ・リソース・カナダ、そしてアメリカ、ヨーロッパ、日本の原子炉事業者およびその関連業者の従業員が多数、ICRPに在籍している。また多くの原子力関連企業が資金を提供している。既得権益を有する者が多層的かつ密接に関与していることは、いかなる基準から見ても、こうした科学的組織にとって明らかに不適切である。

日本の国会が設置した東京電力福島原子力発電所事故調査委員会(国会事故調)によって、ICRP内部の腐敗、そして既得権益による過度の影響力の行使が徹底的に明らかにされた(NAHC 2012)。委員会が入手した内部文書には、電気事業連合会(電事連)がICRP会員を含む放射線の専門家にロビー活動を行ない、放射線防護基準の緩和と、日本における被曝放射線量の許容値の引き上げに成功したことが記されていた。また電事連が別団体への出費を装い、ICRP会員の海外への旅費を負担したことも明らかになっている。さらにこの文書には「職業被ばくの線量拘束値は、規制に取り組むべきものではない……女性の特別な線量限

度、従事者の特別な健康診断……及び緊急被ばくの法令上の線量限度については廃止すべき」と記されていた。そしてロビー活動の結果、「ICRP2007年勧告等に対する電力の主張が全て反映された」のである（NAIIC 2012: Chapter 5, section 5.2.3）。ICRPがこうした不正や不適切な慣行を是正したか否かは、現時点で不明である。

また国会事故調は原子炉事業者について、「放射線の健康影響に関する研究については、より健康被害が少ないとする方向へ、国内外専門家の放射線防護に関する見解については、防護や管理が緩和される方向へ、それぞれ誘導しようとしてきた」としており、電事連の内部文書にも「線量影響が蓄積しないことが科学的に実証されれば、将来的に線量限度の見直しなど大幅な規制緩和が期待できる」と記されている。さらに、東京電力（福島原子力発電所の所有者および事業者）の武藤栄元副社長は次のように述べていた。「悪い研究者に乗っ取られて悪い方向に向かわないように、研究の動向を監視しておくこと」（NAIIC 2012: Chapter 5, section 5.2.3）。

原子放射線の影響に関する国連科学委員会（UNSCEAR）

大気圏内核実験とその放射性降下物、そして乳児の口腔内におけるストロンチウム 90 濃度の増加に対する地球規模の懸念、および核実験への反対運動を受け、国連総会は 1955 年に UNSCEAR を創設した。ウェブサイトによると、「核爆発の即時中止を求める提案をかわす意図もあって、電離放射線の水準および影響に関する情報を収集・評価すべく委員会を設けるという提案が国連総会になされた」（UNSCEAR 2016）。UNSCEAR の創設はまた、国連教育科学文化機関（UNESCO）や国際科学会議を通じて核実験による放射性降下物の科学的調査を各国政府とは無関係に支援するという、科学者たちの国際的運動に対する核兵器保有国の疑念も関係している（Herran 2014）。ネスター・ヘランは UNSCEAR 創成期における米英の科学分野での覇権構造を紹介する中で、放射性降下物の危険性を一貫して覆い隠すというパターンが確立されたことを記している——一例を挙げると、1958 年に作成された UNSCEAR 初の主要報告書には、核実験による人間の長期被曝の大半をなす炭素 14 が記載されていない（Ruff 2015）。

設立当初のUNSCEAR加盟国は15であり、その後1973年と2011年にそれぞれ数カ国が加わった結果、現在の加盟国は27である。2016年に中国との間で原発建設の枠組み合意を行なったスーダンを除き、全ての加盟国は核兵器、原子力発電所、または研究炉のいずれかを保有している。各国の代表と専門家は政府によって任命され、原子力発電所か原子力規制機関の職員が大半である。ゆえに科学や医学の技量に基づいて任命された、独立した専門家とみなすことはできない。さらにその一部は原子力業界と密接な関係にあり、ICRPの会員である者も複数存在する。その代表としてUNSCEARカナダ代表団の一員であり、2012年に代表を務める傍ら、オンタリオ州の原子力発電事業者ブルース電力の下で働いていたダグラス・R・ボレアム博士が挙げられる。放射線リスクに対するボレアム博士の見方は現在入手可能なデータや国内外の放射線防護機関の見解を反映したものではなく、たとえば「ともかく、低線量の被曝は、健康にとって危険ではなく有益である」(Higson et al. 2007: 259)と述べるなど、微量の放射線は害よりも益のほうが大きい、あるいは、CTスキャンはがんのリスクをむしろ減らす(Scott et al. 2008)などと繰り返し主張している。またボレアム博士はトロ・エネルギー、ウランウム・ワン、ヒースゲート・リソースなどといったウラン採掘企業の代理人として少なくとも3回オーストラリアを訪れており、「従業員の放射線教育」や「放射線と健康に関する地域共同体へのコンサルタント業務」に従事した——いずれも放射線のリスクを包み隠し、人々を混乱させるための活動である(Toro Energy Limited 2008; MAPW 2012)。

「気候変動に関する政府間パネル」の広範な業績評価システムのように、人類の健康を守るにあたってUNSCEARやICRPなどの国際機関が独立性と科学的統合の推進役になればと、多くの人間が願い、またそうなるものと予想しているが、逆にこれらの機関は政治的・経済的な既得権益に支配され、透明性を欠き、また加盟国間の利害関係における倫理基準も不十分である。さらには証拠を恣意的に選択し、放射線のリスクを覆い隠すというパターンも繰り返し起きている。一例を挙げると、ムソーとモラーは本書の中で、チェルノブイリおよび福島原発事故が動植物に著しい影響を与えたとする経験に基づく証拠が増えつつあると論じているが、UNSCEARの報告書は長年にわたり、自らのモデルと合致しないという

理由でそれらの証拠を無視してきた。その上、チェルノブイリ事故による健康への影響を示す証拠の大半をも無視したのである。

将来における大規模放射線被曝の可能性

地球上の生物は環境放射線による絶え間ない影響と生物学的リスクに晒されながら進化してきたが、原子炉と核兵器の出現によって、時間的にも空間的にも類を見ない莫大な量の放射能が放出される可能性が生み出された。

核兵器

広島と長崎への原爆投下、核兵器生産時の放射能漏れと廃棄物、そして2,056回に上る核実験はいずれも、人間の手による最も大規模な環境放射能汚染の原因であり、今後数千年にわたって人間の健康を蝕んでゆくだろう（Ruff 2015）。だがそれでも、核戦争によって人類が被るであろう放射線被曝に比べれば物の数でなく（WHO 1987; IOM 1986）、現在世界に存在している核兵器1万4,930基のうちほんのわずかでも使用されればそうなる可能性が高い（Kristensen and Norris 2017）。核戦争による放射線被曝の結果は、線量の水準に関わらずはるかに深刻である。なぜなら必然的に他の複数の要因、すなわち怪我、ストレス、そして健康リスクを伴うからであり、さらに核戦争時に医療機関が有効に機能するとは考えられないからである。

核兵器が存在する限り、核戦争は現在進行中のリスクであり、またその可能性は高まりつつあるというのが知識層の一般的な見解である。そう考えられる要因として、軍縮が実現に至らなかったこと、全ての核兵器保有国で大規模な近代化プログラムが進められていること、1,800基もの核兵器が数分以内に発射できる厳戒態勢にあること、核兵器の指揮・制御システムに対するサイバー攻撃のリスクが高まっていること、アメリカおよび北大西洋条約機構（NATO）とロシア、あるいはインドとパキスタンの関係が悪化し、核兵器保有国の強硬姿勢が顕著になりつつあること（これは南シナ海や朝鮮半島においても同様である）、そして核兵器保有国の多くが、軍事的対立が激化した際、核兵器を最初に、場合によって

は早期に使用するという政策を打ち出していることが挙げられる（Helfand et al. 2016）。2015年、『原子力科学者会報』は世界週末時計の針を0時5分前から3分前に移動し、2016年もその場所にとどめた後、2017年には2分30秒前とした。アメリカのウィリアム・ペリー元国防長官やロシアのイーゴリ・イワノフ元外務大臣といった人々も、核戦争の可能性が冷戦時よりも高くなっており、今後もその傾向は高まるとしている（Helfand et al. 2016）。

たとえ1回でも都市で核爆発が起きた場合、有効な医療活動が実施される可能性は極めて低いため、核兵器の即時全廃だけが核兵器使用という必然的な事態を恒久的に防ぐ唯一の手段であり、ゆえに人類の健康にとっても絶対不可欠である。「核兵器の全廃に向け、これを禁止する法的拘束力のある制度」に関する交渉を2017年に行なうという国連総会決議（United Nations General Assembly 2016: 4）は、核軍縮の膠着状態を打破する歴史的な契機である。核軍備の禁止と全廃に加え、核兵器のない世界を作り維持するには、核兵器の材料となる核物資——高濃縮ウランや分離プルトニウム——の管理と廃棄が必要になるだろう。そのためこれら物資の生産を中止し、在庫についても可能な限り不可逆的な形で処分することが求められる。ウラン濃縮工場が高濃縮ウランの生産にも用いられること、および原子炉で必然的に生成されるプルトニウムが使用済み燃料から抽出されることはそれぞれに本来備わっている要素だが、いずれも原子力時代における最も大きな地球規模の健康リスクを引き起こしているのだ。

高濃縮ウランの生産を中止すること（von Hippel and IPFM 2016）、全てのウラン濃縮工場を国際的な管理下に置くこと（Diesendorf 2014）、そしてプルトニウムの抽出を目的とした使用済み燃料の再処理をやめること（IPFM 2015b）は、より安全な世界に向けた重要な取り組みである。

核関連施設からの放射能漏れ

核関連施設は通常の稼働時でも放射性物質を放出しており、また小規模なアクシデントは日常茶飯事である。原子力発電所においては、放射能が極めて高く半減期も長い放射性物質が原子炉内部や使用済み燃料プール内の燃料の中に蓄積される。使用済み燃料は極めて高温で放射線も高いため、乾式キャスクで貯蔵する

までの3ないし5年間、循環する水の中で冷却しなければならない。だがこうしたプールは原子炉と異なり複数の層から成る格納容器に収められているわけではなく、一層の簡素な建物内部に設置されている。福島第1原発では2011年の震災当時、敷地内に存在する放射性物質のうち70パーセントが使用済み燃料プールで保管されていた（Stohl et al. 2011）。だが冷却水の循環装置や、それを作動させる発電システムが短時間でも機能を失った場合、これらの燃料プールは原子炉と同様に火災や爆発に対して脆弱となる。

公的機関や製造業者の文書によると、福島第1原発の原子炉は地震そのものではなく津波のためにメルトダウンを起こしたのだという。しかし地震発生から津波到来の間に放射能漏れが発生していたとする証拠があり（Stohl et al. 2011; NAIIC 2012）、これは世界中のあらゆる原子力発電所に対する示唆を含んでいる。原子炉や使用済み燃料冷却装置の機能喪失は、設計の不備、建設時の欠陥、そして2011年3月11日に発生した地震や津波のような自然災害が組み合わされた結果、あるいは電源システムや冷却水の供給・循環装置を物理的に破壊するといった故意の結果、また将来的にはサイバー攻撃の結果として生じ得る。2010年に発見されたアメリカおよびイスラエル製のマルウェア、スタックスネットは、少なくとも1992年以降頻発している原子力施設を標的としたサイバー攻撃の最も有名な例である。スタックスネットはイランの原子力発電所で用いられているシーメンス社製Step 7 SCADAシステムに攻撃を仕掛け、ウラン濃縮用の遠心分離機を過剰に速く回転させることでおよそ1,000基を部分的に破壊した（Baylon, with Brunt and Livingstone 2015）。平均的な出力1ギガワットの原子炉には、1メガトン級の原子爆弾が放出する以上の放射性物質（広島を壊滅させた原爆の67倍で、半減期もより長い）が存在している。ゆえに2016年7月1日時点で稼働している402基の原子炉それぞれが、すでに配置済みの巨大なテロ兵器（「汚い爆弾」）と事実上なり得るのだ。

1950年代初頭以降に発生した事故のうち、メルトダウンに至ったことが知られているのはおよそ20件に上る（Burns, Ewing, and Navrotsky 2012）。これらは異なる国々における軍民の原子炉で発生したものであり、その設計も様々である。その全てで放射性物質が周辺環境に放出されたわけではないものの、いずれもそ

うなる可能性があった。また国際原子力事象評価尺度（INES）のレベル4以上に分類された事故も同じく20件に上る。レベル4の事故は局所的な影響を伴うものであり、「高い確率で公衆が著しい大規模被ばくを受ける可能性のある相当量の放射性物質の放出」を含む（IAEA n.d.）。過去このレベルの事故はアルゼンチン、カナダ、フランス、日本、スロバキア、スイス、イギリス、アメリカ、そしてソビエト連邦およびロシアで発生した（Lelieveld, Kunkel, and Lawrence 2012）。なおメルトダウンは原子炉の運転年数800年につき1回の割合で発生しているが、福島第1原発やアメリカの多くの原子力発電所で用いられている、マーク1および2型と呼ばれる初期の設計による沸騰水型原子炉の格納容器の場合、メルトダウンの発生頻度は運転年数630年につき1回となる（Cochran 2011）。よって400基以上の原子炉が稼働している現在、メルトダウンは数年ごとに発生すると予想される。

世界における主要な原発事故の発生頻度および放射性降下物に関するレリフェルトらの分析結果によると、放出されたセシウム137のうち平均90パーセント以上が50キロを超える距離まで飛散し、およそ半分は1,000キロ以上に達したという（Lelieveld, Kunkel, and Lawrence 2012）。またレリフェルトらは、セシウム137の濃度が1平方メートルあたり37キロベクレル（kBq/m²）を超えた場合に「重大な汚染」としているが、これは重大事故から1年間で人間が被曝する1mSvという線量と関係がある。また事故の影響を推定する基礎としてチェルノブイリ事故を用い、かつ最悪レベルの原発事故（INESレベル7、チェルノブイリと福島の事故がこれにあたる）が発生する歴史的頻度を仮定することで、1年につき1パーセントを超える割合で発生する大規模な原発事故によって、北アメリカ、東アジア、そしてヨーロッパの大部分で放射能汚染のリスクがあると推測している。深刻なメルトダウンによって平均13万8,000km²が40kBq/m²を超えるセシウム137に汚染され、西ヨーロッパでこうした事故が発生した場合に影響を受ける人間は平均2,800万人、南アジアでは3,400万人に上るというのだ。

放射性物質の拡散

通常の爆弾を爆発させるなど、水ないし食物供給に放射性物質を拡散させるこ

とは技術的に容易で、しかも放射性物質を入手できる機会は豊富に存在している。大量に入手可能な放射性物質のうち最も危険なのが高レベル放射性廃棄物（使用済み燃料や、プルトニウムを抽出するため使用済み燃料の再処理を行なった後に残る廃棄物）および使用済み燃料から分離されたプルトニウムである。現在世界にはおよそ505トンの分離プルトニウムが存在しており、そのうち半分が民間施設で保管されている（IPFM 2015a）。高レベル放射性廃棄物の放射能は数十万年にわたって危険な水準であり、最高で100万年もの間地下水や生態系から厳格に隔離しなければならない。平均的な原子炉は毎年30トンの高レベル放射性廃棄物を生み出し、世界全体での生成量は1年間でおおよそ1万2,000トンになる。また2015年の時点で放射性廃棄物の蓄積量は39万トンに上る。しかしこうした廃棄物を永久保管する施設は世界のどの国でもまだ稼働しておらず、とりわけ使用済み燃料再処理工場からこうした物資が盗まれ、あるいは転用され、一つないし複数の都市にばらまかれる可能性は現実のものであり、地質学的な時間の枠組みが続く限り消えることはない。このような事態は深刻な放射能汚染を局地的に引き起こすものである。

〔参考文献〕

- Asahi Shimbun GLOBE*, 2014. Revision demanded of the Fukushima radiation exposure report. 7 December.
- Baker P. J., and D. G. Hoel, 2007. Meta analysis of standardised incidence and mortality rates of childhood leukaemia in proximity to nuclear facilities. *European Journal of Cancer Care* 16: 355–63. doi. org/10.1111/j.1365-2354.2007.00679.x
- Baylon, Caroline, with Roger Brunt, and David Livingstone, 2015. Cyber security at civil nuclear facilities: Understanding the risks. Chatham House Report. London: Royal Institute of International Affairs.
- Brown and Williamson, Minnesota Lawsuit, 1969. Smoking and health proposal. Truth Tobacco Industry Documents. www.industrydocumentslibrary.ucsf.edu/tobacco/docs/#id=psdw0147 (accessed 19 January 2017).
- Burns, Peter C., Rodney C. Ewing, and Alexandra Navrotsky, 2012. Nuclear fuel in a reactor accident. *Science* 335: 1184–8. doi. org/10.1126/science.1211285

- Cabinet Office, Consumer Affairs Agency, Reconstruction Agency, Ministry of Foreign Affairs, Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, Ministry of Health, Labour and Welfare, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Ministry of Economy, Trade and Industry, Ministry of the Environment, and Secretariat of the Nuclear Regulation Authority (Japan), 2016. Basic information on radiation risk. February. www.reconstruction.go.jp/english/topics/RR/index.html (accessed 19 January 2017).
- Cardis, Elizabeth, Daniel Krewski, Mathieu Boniol, Vladimir Drozdovitch, Sarah C. Darby, Ethel S. Gilbert, Suminori Akiba, Jacques Benichou, Jacques Ferlay, Sarah Gandini, Catherine Hill, Geoffrey Howe, Ausrele Kesminiene, Mirjana Moser, Marie Sanchez, Hans Storm, Laurent Voisin, and Peter Boyle, 2006. Estimates of the cancer burden in Europe from radioactive fallout from the Chernobyl accident. *International Journal of Cancer* 119: 1224–35. doi.org/10.1002/ijc.22037
- Centers for Disease Control and Prevention, 2015. Radiation and your health. 7 December. www.cdc.gov/nceh/radiation/health.html (accessed 6 March 2017).
- Cochran, Thomas B., 2011. Statement on the Fukushima nuclear disaster and its implications for US nuclear power reactors. Testimony to the US Senate Joint Hearings of the Subcommittee on Clean Air and Nuclear Safety and the Committee on Environment and Public Works, 12 April. www.nrdc.org/sites/default/files/tcochran_110412.pdf (accessed 19 January 2017).
- Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation, 2006. *Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: BEIR VII, Phase 2*. Washington, DC: National Academies Press.
- Dancause, Kelsey Needham, Lyubov Yevtushok, Serhiy Lapchenko, Ihor Shumlyansky, Genadiy Shevchenko, Wladimir Wertelecki, and Ralph M. Garruto, 2010. Chronic radiation exposure in the Rivne-Polissia region of Ukraine: Implications for birth defects. *American Journal of Human Biology* 22(5): 667–74. doi.org/10.1002/ajhb.21063
- Diesendorf, Mark, 2014. *Sustainable Energy Solutions for Climate Change*. Sydney: UNSW Press.
- Doll, Richard, and Richard Wakeford, 1997. Risk of childhood cancer from fetal irradiation. *British Journal of Radiology* 70: 130–9. doi.org/10.1259/bjr.70.830.9135438
- European Nuclear Society, n.d. Radiation weighting factors. www.euronuclear.org/info/encyclopedia/r/radiation-weight-factor.htm (accessed 6 March 2017).
- Fairlie, Ian, 2016. TORCH-2016: An independent scientific evaluation of the health-related effects of the Chernobyl nuclear disaster, Version 1.1. Vienna: GLOBAL 2000/Friends of the Earth Austria/Vienna Office for Environmental Protection, 31 March. www.global2000.at/sites/global/files/GLOBAL_TORCH%202016_rz_WEB_KORR.pdf (accessed 19 January 2017).
- Gardner, Martin J., Michael P. Snee, Andrew J. Hall, Caroline A. Powell, Susan Downes, and John D. Terrell, 1990. Results of a case-control study of leukaemia and lymphoma among young people near Sellafield nuclear plant in West Cumbria. *British Medical Journal* 300: 423–9. doi.

- org/10.1136/bmj.300.6722.423
- Gray, Alastair, Simon Read, Paul McGale, and Sarah Darby, 2009. Lung cancer deaths from indoor radon and the cost-effectiveness and potential of policies to reduce them. *British Medical Journal* 338: a3110. doi.org/10.1136/bmj.a3110
- Helfand, Ira, Andy Haines, Hans Kristensen, Patricia Lewis, Zia Mian, and Tilman Ruff, 2016. The growing threat of nuclear war and the role of the health community. *World Medical Journal* 62(3): 86–94.
- Herran, Nestor, 2014. 'Unscare' and conceal: The United Nations Scientific Committee on the effects of atomic radiation and the origin of international radiation monitoring. In *The Surveillance Imperative: Geosciences during the Cold War and Beyond*, edited by Simone Turchetti and Peder Roberts, 69–84. New York: Palgrave Macmillan. doi.org/10.1057/9781137438744_4
- Higson, D. J, D. R. Boreham, A. L. Brooks, Y-C. Luan, R. E. Mitchel, J. Strzelczyk, and P. J. Sykes, 2007. Effects of low doses of radiation: Joint statement from the following participants at the 15th Pacific Basin Nuclear Conference, sessions held in Sydney, Australia, Wednesday 18 October 2006. *Dose-Response* 5(4): 259–62. doi.org/10.2203/dose-response.07-017.Higson
- IAEA (International Atomic Energy Agency), 1957. The Statute of the IAEA (ratified 29 July 1957). www.iaea.org/about/statute (accessed 19 January 2017).
- IAEA (International Atomic Energy Agency), 1959. Agreement between the International Atomic Energy Agency and the World Health Organization. www.ippnw.de/commonFiles/pdfs/Atomenergie/Agreement_WHO-IAEA.pdf (accessed 19 January 2017).
- IAEA (International Atomic Energy Agency), 2006. Chernobyl's legacy: Health, environmental and socio-economic impacts and recommendations to the governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine. The Chernobyl Forum: 2003–2005. 2nd rev. edn. IAEA/PI/A.87 Rev.2/06-09181. Vienna: IAEA.
- IAEA (International Atomic Energy Agency), n.d. INES: The international nuclear and radiological event scale. www.iaea.org/sites/default/files/ines.pdf (accessed 19 January 2017).
- ICRP (International Commission on Radiological Protection), 2009. Application of the Commission's recommendations to the protection of people living in long-term contaminated areas after a nuclear accident or a radiation emergency. ICRP Publication 111. *Annals of the ICRP* 39(3).
- IOM (Institute of Medicine), 1986. *The Medical Implications of Nuclear War*. Washington, DC: National Academy Press.
- IPFM (International Panel on Fissile Materials), 2015a. Global fissile material report 2015: Nuclear weapon and fissile material stockpiles and production. fissilematerials.org/library/gfmr15.pdf (accessed 19 January 2017).
- IPFM (International Panel on Fissile Materials), 2015b. Plutonium separation in nuclear power

- programs: Status, problems, and prospects of civilian reprocessing around the world. [fissilematerials.org/library/ rr14.pdf](http://fissilematerials.org/library/rr14.pdf) (accessed 27 June 2017).
- Kaatsch, Peter, Claudia Spix, Renate Schulze-Rath, Sven Schmiedel, and Maria Blettner, 2008. Leukaemia in young children living in the vicinity of German nuclear power plants. *International Journal of Cancer* 1220: 721–6. doi.org/10.1002/ijc.23330
- Kitahara, Cari M., Martha S. Linet, Preetha Rajaraman, and Estelle Ntowe, 2015. A new era of low-dose radiation epidemiology. *Current Environmental Health Reports* 2: 236–49. doi.org/10.1007/s40572-015-0055-y
- Kristensen, Hans M., and Matthew G. McKinzie, 2015. Nuclear arsenals: Current developments, trends and capabilities. *International Review of the Red Cross* 97(899): 563–99. doi.org/10.1017/S1816383116000308
- Kristensen, Hans M., and Robert S. Norris, 2017. Status of world nuclear forces (updated 8 July). Federation of American Scientists. [fas.org/ issues/nuclear-weapons/status-world-nuclear-forces/](http://fas.org/issues/nuclear-weapons/status-world-nuclear-forces/) (accessed 7 September 2017).
- Kuznick, Peter, 2011. Japan's nuclear history in perspective: Eisenhower and atoms for war and peace. *Bulletin of the Atomic Scientists*, 13 April.
- Lelieveld J., D. Kunkel, and M. G. Lawrence, 2012. Global risk of radioactive fallout after major nuclear reactor accidents. *Atmospheric Physics and Chemistry* 12: 4245–58. doi.org/10.5194/acp-12-4245-2012
- Leuraud, Klervi, David B. Richardson, Elisabeth Cardis, Robert Daniels, Michael Gillies, Jacqueline A. O'Hagan, Ghassan B. Hamra, Richard Haylock, Dominique Laurier, Monika Moissonnier, Mary K. Schubauer-Berrigan, Isabelle Thierry-Chef, and Ausrele Kesminiene, 2015. Ionising radiation and risk of death from leukaemia and lymphoma in radiation-monitored workers (INWORKS): An international cohort study. *Lancet Haematology* 1: e276–81. doi.org/10.1016/S2352-3026(15)00094-0
- Little, Mark. P., Tamara V. Azizova, Dimitry Bazyka, Simon D. Bouffler, Elisabeth Cardis, Sergey Chekin, Vadim V. Chumak, Francis A. Cucinotta, Florent de Vathaire, Per Hall, John D. Harrison, Guido Hildebrandt, Victor Ivanov, Valeriy V. Kashcheev, Sergiy V. Klymenko, Michaela Kreuzer, Olivier Laurent, Kotaro Ozasa, Thierry Schneider, Soile Tapio, Andrew M. Taylor, Ioanna Tzoulaki, Wendy L. Vandoolaeghe, Richard Wakeford, Lydia B. Zablotska, Wei Zhang, and Steven E. Lipshultz, 2012. Systematic review and meta-analysis of circulatory disease from exposure to low-level ionizing radiation and estimates of potential population mortality risks. *Environmental Health Perspectives* 120(11): 1503–11. doi.org/10.1289/ehp.1204982
- Makhijani, Arjun, Brice Smith, and Michael C. Thorne, 2006. Science for the vulnerable: Setting radiation and multiple exposure environmental health standards to protect those most at risk. Takoma Park, MD: Institute for Energy and Environmental Research, 19 October.

- MAPW (Medical Association for Prevention of War), 2012. Toro Energy promotes radiation junk science. Statement of 45 medical doctors, May. www.mapw.org.au/download/doctors-slam-uranium-miner-over-junk-science-radiation-safety-statement-issued-mapw-1-may-2 (accessed 19 January 2017).
- Mathews, John, Anna Forsythe, Zoe Brady, Martin Butler, Stacy Goergen, Graham Byrnes, Graham Giles, Anthony Wallace, Philip Anderson, Tenniel Guiver, Paul McGale, Timothy Cain, James Dowty, Adrian Bickerstaffe, and Sarah Darby, 2013. Cancer risk in 680,000 people exposed to computed tomography scans in childhood or adolescence: Data linkage study of 11 million Australians. *British Medical Journal* 346: f2360. doi.org/10.1136/bmj.f2360
- Møller, Anders P., and Timothy A. Mousseau, 2013. The effects of natural variation in background radioactivity on humans, animals and other organisms. *Biological Reviews* 88: 226–54. doi.org/10.1111/j.1469-185X.2012.00249.x
- NAIIC (National Diet of Japan Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission), 2012. The official report of the Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission. Tokyo: National Diet of Japan.
- National Research Council, 2012. *Analysis of Cancer Risks in Populations near Nuclear Facilities: Phase I*. Washington, DC: National Academies Press.
- Ozasa, Kotaro, Yukiko Shimizu, Akihiko Suyama, Fumiyoshi Kasagi, Midori Soda, Eric J. Grant, Ritsu Sakata, Hiromi Sugiyama, and Kazunori Kodama, 2012. Studies of the mortality of atomic bomb survivors, report 14, 1950–2003: An overview of cancer and noncancer diseases. *Radiation Research* 177(3): 229–43. doi.org/10.1667/RR2629.1
- Pearce, Mark S., Jane A. Salotti, Mark P. Little, Kieran McHugh, Choonsik Lee, Kwang Pyo Kim, Nicola L. Howe, Cecile M. Ronckers, Preetha Rajaraman, Sir Alan W. Craft, Louise Parker, and Amy Berrington de González, 2012. Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: A retrospective cohort study. *The Lancet* 380(9840): 499–505. doi.org/10.1016/S0140-6736(12)60815-0
- Quigley, Dianne, Amy Lowman, and Steve Wing, 2012. *Tortured Science: Health Studies, Ethics and Nuclear Weapons in the United States*. Amityville, NY: Baywood Publishing Company Inc.
- Richardson, David, Steve Wing, and Stephen R. Cole, 2013. Missing doses in the lifespan study of Japanese atomic bomb survivors. *American Journal of Epidemiology* 177(6): 562–8. doi.org/10.1093/aje/kws362
- Richardson, David B., Elisabeth Cardis, Robert D. Daniels, Michael Gillies, Jacqueline A. O'Hagan, Ghassan B. Hamra, Richard Haylock, Dominique Laurier, Klervi Leuraud, Monika Moissonnier, Mary K. Schubauer-Berigan, Isabelle Thierry-Chef, and Ausrele Kesminiene, 2015. Risk from occupational exposure to ionizing radiation: Retrospective cohort study of workers in France, the United Kingdom, and the United States (INWORKS). *British Medical Journal* 351: h5359. doi.org/10.1136/bmj.h5359

- Ruff, Tilman A., 2015. The humanitarian impact and implications of nuclear test explosions in the Pacific region. *International Review of the Red Cross* 97(899): 775–813. doi.org/10.1017/S1816383116000163
- Schneider, Mycle, and Antony Froggatt, with Julie Hazemann, Ian Fairlie, Tadahiro Katsuta, Fulcieri Maltini, and M. V. Ramana, 2016. *The World Nuclear Industry Status Report 2016*. Paris: Mycle Schneider Consulting Project.
- Scott, Bobby R., Charles L. Sanders, Ron E. J. Mitchel, and Douglas R. Boreham, 2008. CT scans may reduce rather than increase the risk of cancer. *Journal of American Physicians and Surgeons* 13(1): 8–11.
- Smoll, Nicholas R., Zoe Brady, Katrina Scurrah, and John D. Mathews, 2016. Exposure to ionizing radiation and brain cancer incidence: The Life Span Study cohort. *Cancer Epidemiology* 42: 60–5. doi.org/10.1016/j.canep.2016.03.006
- Soble, Jonathan, 2015. Japan to pay cancer bills for Fukushima worker. *New York Times*, 20 October.
- Stohl, A., P. Seibert, G. Wotawa, D. Arnold, J. F. Burkhardt, S. Eckhardt, C. Tapia, A. Vargas, and T. J. Yasunari, 2011. Xenon-133 and caesium-137 releases into the atmosphere from the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant: Determination of the source term, atmospheric dispersion, and deposition. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions* 11(10): 28319–94. doi.org/10.5194/acpd-11-8319-2011
- Toro Energy Limited, 2008. Radiation information seminar. www.ausimm.com.au/Content/wir/doug_boreham_invit.pdf (accessed 19 January 2017).
- Tsuda, Toshihide, Akiko Tokinobu, Eiji Yamamota, and Etsuji Suzuki, 2016a. Thyroid cancer detection by ultrasound among residents ages 18 years and younger in Fukushima, Japan: 2011 to 2014. *Epidemiology* 27: 316–22. doi.org/10.1097/EDE.0000000000000385
- Tsuda, Toshihide, Akiko Tokinobu, Eiji Yamamota, and Etsuji Suzuki, 2016b. Thyroid cancer under age 19 in Fukushima – As of 57 months after the accident. Presentation to the International Physicians for the Prevention of Nuclear War (IPPNW) Congress – Five Years Living With Fukushima, 30 Years Living With Chernobyl, Berlin, 27 February. www.tschernobylkongress.de (accessed 19 January 2017).
- United Nations General Assembly, 2016. Taking forward multilateral nuclear disarmament negotiations. A/C.1/71/L.41, 14 October.
- UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation), 1993. *Sources and Effects of Ionizing Radiation: UNSCEAR 1993 Report to the General Assembly with Scientific Annexes*. New York: United Nations.
- UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation), 2014. *Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation: UNSCEAR 2013 Report: Volume I. Scientific Annex A: Levels and Effects of Radiation Exposure Due to the Nuclear Accident after the 2011 Great East-Japan Earthquake and Tsunami*. New York: United Nations. www.unscear.org/docs/

- reports/2013/13-85418_Report_2013_Annex_A.pdf (accessed 19 January 2017).
- UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation), 2016. Historical milestones. www.unscear.org/unscear/about_us/history.html (accessed 19 January 2017).
- US EPA (Environmental Protection Agency), 2014. Radiation risk assessment at CERCLA sites: Q&A. EPA 540-R-012-13, May.
- von Hippel, Frank, and IPFM (International Panel on Fissile Materials), 2016. Banning the production of highly enriched uranium. fissilematerials.org/library/rr15.pdf (accessed 27 June 2017).
- Wahab, M. A, E. M. Nickless, R. Najar-M'Kacher, C. Parmentier, J. V. Podd, and R. E. Rowland, 2008. Elevated chromosome translocation frequencies in New Zealand nuclear test veterans. *Cytogenetic and Genome Research* 121: 79–87. doi.org/10.1159/000125832
- Wakeford, Richard, G. M. Kendall, and Mark P. Little, 2009. The proportion of childhood leukaemia incidence in Great Britain that may be caused by natural background radiation. *Leukemia* 23: 770–6. doi.org/10.1038/leu.2008.342
- WHO (World Health Organization), 1983. *Effects of Nuclear War on Health and Health Services*. Geneva: World Health Organization.
- WHO (World Health Organization), 1987. *Effects of Nuclear War on Health and Health Services*. 2nd edn. Geneva: World Health Organization.
- WHO (World Health Organization), 2012. Preliminary dose estimation from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan earthquake and tsunami. Geneva: World Health Organization.
- WHO (World Health Organization), 2013. Health risk assessment from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan earthquake and tsunami, based on a preliminary dose estimation. Geneva: World Health Organization.
- WHO (World Health Organization), 2015. Investing in the World's Health Organization: Taking steps towards a fully-funded Programme Budget 2016–17. *Financing Dialogue 2015*. www.who.int/about/finances-accountability/funding/financing-dialogue/Programme-Budget-2016-2017-Prospectus.pdf?ua=1 (accessed 19 January 2017).

This text is taken from *Learning from Fukushima: Nuclear power in East Asia* (Japanese version), edited by Peter Van Ness and Mel Gurtov, co-published 2020 by ANU Press and Ronso-sha Publishing.

doi.org/10.22459/LF.2020.08