

100 mSv 未満の線量における 放射線リスク

キース・ベーヴァーストック

**2013年10月に開催された第12回「県民健康調査」
検討委員会資料（県民健康調査「基本調査」の実
施状況について」では、次のように述べられている：**

「実効線量の統計結果に関しては、これまでと同様の傾向にあると言える。これまでの疫学調査により100 mSv以下での明らかな健康への影響は確認されていないことから、4ヶ月間の積算実効線量推計値ではあるが、『放射線による健康影響があるとは考えにくい』と評価される。」

ここで疑問を問いかけてたい。

この供述は科学的に信頼できるのか？

この主張の裏付けとして、国連原子放射線の影響に関する科学委員会 (UNSCEAR) の2008年報告書の下記の部分が引用されている:

「今までのところ、最も有益なLSS研究もいかなるその他の研究も、[100 mSvよりも]より低い線量での放射線の発がん効果についての**決定的**証拠を提供していない。」

ここでの問題は、「決定的」という言葉が何を意味するかということである。実際、疫学では、ごく稀な状況を除いて、決定的(100%真実であるという意味)な結果を出せないからである。疫学研究の結果の判断には、「統計的有意さ」が用いられる。

「統計的有意さ」という言葉は、何を意味するのか？

例として、バイアスがない場合よりも頻繁に表が出るバイアスを持つと疑われるコインがあるとしよう。コインを投げ、表が出る回数を記録すると、次のようになる：

投げた回数	表が出る回数
1	1
2	2
10	7
50	30
100	61

投げた回数が1回か2回だと、コインのバイアスについては何も分からない——単なる偶然からでも同じ結果が得られるからだ。しかし10回投げたら、コインにバイアスがかかっていると明確に疑うことができる。50回、あるいは100回投げたらさらに確信は強まるが、それでも、確信が「決定的」になるわけではない。

これらの結果の有意さを求めるために、p値と呼ばれる値を計算する。さきほど行ったコイントス実験のp値は、次のようになる：

投げた回数	表が出た回数	p値
2	2	0.25
10	7	0.117
50	30	0.042
100	61	0.007

1回投げただけでは、何も分からない。10回投げたらコインにバイアスがあるのではないかという疑いが起こる。しかし、50回投げたら、コインにバイアスがあるという確信が95% ($p < 5\%$)になり、100回投げたら、コインにバイアスがあるという確信が99% ($p < 1\%$)になる。

疫学研究では、放射線リスクを決める場合、統計的有意さの判断基準として、95%信頼水準が一般的に受け入れられている：

UNSCEARが用いている「決定的」という言葉が100%の信頼性を意味することは不可能なため、UNSCEARの供述は、「決定的」が95%信頼水準を意味していると解釈しないと意味を為さない。

UNSCEARは、100 mSv以上の線量では放射線リスクが決定的(>95%信頼水準)であると認めている。ということは、もしも100 mSv未満の線量で95%信頼水準以上のリスクを示している研究があるとするれば、UNSCEARの供述も、そして「県民健康調査」検討委員会の供述も、**間違っていることになる。**

しかし、ここで考慮すべき重要点がひとつある：

コイントスの実験で分かったように、コインを投げた回数が、その結果に強い影響を及ぼした。投げた回数が少ない場合は、95%信頼水準を達成するのが、より困難だった。これと同じことが、疫学研究での調査人数にも言える。調査人数が少ない場合は、純粹な影響、すなわち真のリスクは、調査技術に固有の感度性の欠如があるため、検出されないかもしれない。ゆえに、調査人数が少ない場合だと、特に低線量域で、真のリスクが検出不可かもしれない。調査人数が増えるにしたがい、そして線量の増加に伴い、放射線リスクの検出が簡単になる。

ゆえに、100 mSv未満の線量で95%以上の有意さを持つ研究は、100 mSv以上での線量における研究と、少なくとも同じ程度の信頼度を持つ：

100 mSv未満あるいは100 mSv以上の線量におけるリスクに関して、100 mSvという線量レベルそのものに特別な重要性があるという考えは偽りであり、紛らわしい(UNSCEARによる意図的な設定)。

1950年代と1960年代に行われた、英国でX線診断検査を受けた妊婦の研究では、その妊婦らから生まれ、胎内被ばくを受けていた子どもにおける白血病の増加が、オックスフォード小児癌調査(OSCC)によって検出された。

8513症例の白血病患者のX線診断歴を、同様の数の対照群と比較した結果、全体的な相対リスクが1.47(95%信頼水準で有意)であることが明らかになった。そしてこの相対リスクは、X線フィルムの数の増加に伴って大きくなった、すなわち線量に依存していたことが分かった。

X線フィルムごとの被ばく線量が計算された結果、リスクが10 mGy (10 mSv)のオーダーで起こり、ひとつの電子がひとつの細胞を通っただけで、白血病発症に十分な損傷が起きたことが分かった。

これらの結果は、出版当時にかかなりの物議を醸し出し、主著者であるアリス・スチュアート博士は、多くの批判を受けた。その結果として、この研究については、綿密な議論と再分析が行われてきた。

興味深いことに、ドイツでは(そしてこれは他の場所でも確認されていることであるが)、原子力発電所近辺(5 km圏内)に居住する5歳未満の子どもにおける小児白血病発症率が大変大きく(120%)増加したという確かな証拠があるが、現時点では、その理由が見つかっていない。

イアン・フェアリー氏の論考では、原子力発電所の通常点検時に、原子炉から放射性物質が大気に放出されるために、風下住民の妊婦の胎児が特別なリスクに晒されていると示唆されている。

この場合の被ばく線量は、2-3 mSvを超えているとは到底思われぬ。

子どもの放射線感受性は、確かに成人よりも高いのではあるが、100 mSv未満で有意なリスクがあるという証拠が、**子どもだけに限定されているわけではない。**

15ヶ国における40万人以上の放射線作業員(大部分が男性)の調査では、白血病を除く全癌の相対リスクは1.97で、95%信頼水準で有意であった。これらの作業員が受けた平均累積被ばく量は、約20 mSvだった。

このリスクの中央推計値は、原爆被爆者の調査(調査人数 >86,000人)の最新分析(2012年)での、両性別での1.42よりも大きい。その上、この分析によると、しきい値があるという証拠はなく、ゼロ線量からの線形性の仮定が、データに最も適合している。

最後に、たとえばCTスキャンのような診断用X線検査を受けた人たちの研究において、100 mSvよりずっと低い線量でも95%信頼水準での過剰リスクを示した証拠が増えつつある。

ここで列挙した証拠は、決して包括的なわけではなく、現在出版準備中の論文内で詳細に説明されている。ここでは、100 mSv未満の線量と100 mSv以上の線量で、100 mSvあたりのリスクが異なると仮定すべきではない、と示すのに十分な証拠を提示した。

これは別に新しい情報だというわけではない！2003年に、米国の権威ある科学誌「米国科学アカデミー論文集」に掲載された論文にも、同じ結論が提示されている。

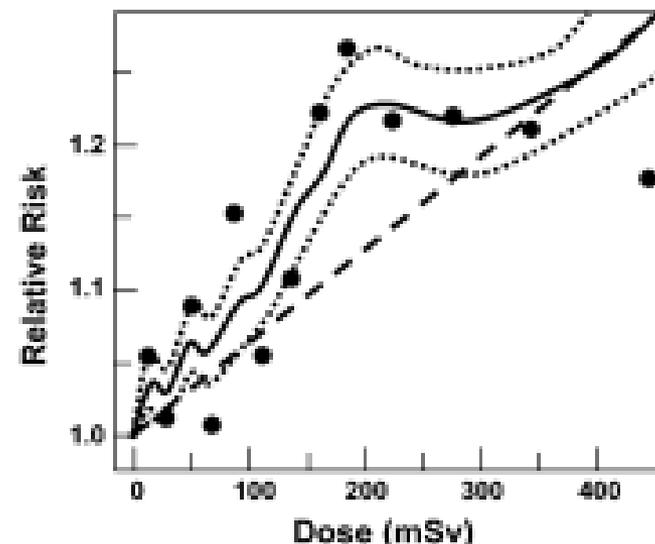
Cancer risks attributable to low doses of ionizing radiation: Assessing what we really know

David J. Brenner^{a,b}, Richard Doll^c, Dudley T. Goodhead^d, Eric J. Hall^e, Charles E. Land^f, John B. Little^g, Jay H. Lubin^h, Dale L. Prestonⁱ, R. Julian Preston^l, Jerome S. Puskin^j, Elaine Ron^k, Rainer K. Sachs^h, Jonathan M. Samet^l, Richard B. Setlow^m, and Marco Zaiderⁿ

^aCenter for Radiological Research, Columbia University, 630 West 168th Street, New York, NY 10032; ^bClinical Trials Service Unit, Radcliffe Infirmary, Oxford OX2 6NW, United Kingdom; ^cRadiation and Genome Stability Unit, Medical Research Council, Oxfordshire OX11 0RD, United Kingdom; ^dRadiation Epidemiology Branch, National Cancer Institute, Bethesda, MD 20892; ^eLaboratory of Radiobiology, Harvard School of Public Health, Boston, MA 02115; ^fBiostatistics Branch, National Cancer Institute, Rockville, MD 20892; ^gRadiation Effects Research Foundation, Hiroshima 732-8815, Japan; ^hEnvironmental Carcinogenesis Division, Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC 27711; ⁱOffice of Radiation and Indoor Air, Environmental Protection Agency, Washington, DC 20460; ^jDepartment of Mathematics, University of California, Berkeley, CA 94720; ^kDepartment of Epidemiology, Johns Hopkins University, Baltimore, MD 21205; ^lBiology Department, Brookhaven National Laboratory, Upton, NY 11973; and ^mDepartment of Medical Physics, Memorial Sloan-Kettering Cancer Center, New York, NY 10021

Contributed by Richard Doll, August 29, 2005

Fig. 4. Estimated risks (relative to an unexposed individual) of solid cancer in atomic bomb survivors exposed to low radiation doses (12). Data points are placed at the mean of each dose category. The solid curve represents a weighted moving average of the points shown (dotted curves: ± 1 SE), and the dashed straight line is a linear risk estimate computed from all the data in the dose range from 0 to 2,000 mSv. Age-specific cancer rates from 1958 to 1994 are used, averaged over follow-up and gender.



「年間20 mSv」は、これまで汚染がひどいために居住できないとされていた避難区域への、帰還・再居住に適しているとされている外部被ばく線量率なので、重要な判断基準である。

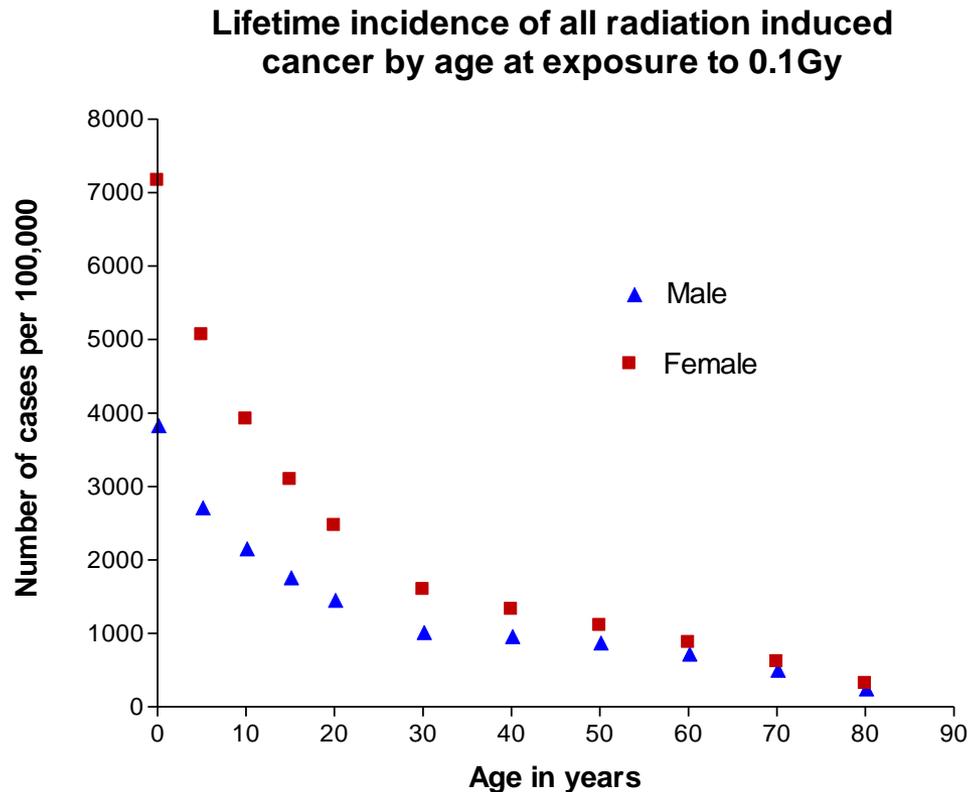
この「年間20 mSv」は、避難区域へ帰還する住民への放射線リスクと言う面では、何を意味するのか？

まず最初に、事故後1年日以降の各年の線量率を考慮し、そしてそれらの線量率と関連した疾病リスクを考慮する必要がある。

新しく沈着したフォールアウトの放射性物質からの外部被ばく線量は、短命核種の崩壊のために、1年日以降は急激に低下する。だから、10年間の累積被ばく線量は、1年目の被ばく線量の約2倍となるのである。フォールアウト沈着後のわずか2-3年後でさえも、短命核種からの放射能が既に減衰したので、線量は低下する。

線量率の低下は10年間で半分にしかならないかもしれないために、10年間で平均した線量は年間15 mSvとなり、10年間の合計では150 mSvとなる。

放射線被ばくからのリスクは、年齢と性別によって異なる。一番若い子どもたちと20歳以下の人たちでのリスクは一番高く、女兒における放射線感受性は、男児の2倍である。



BEIR 2007より引用。
DDREF = 1とされている。

ここでは、政府の帰還案には含まれていないと思われる、最悪のシナリオを考慮してみる：

事故後1年目の年間被ばく線量の20 mSvが、10年後に年間10 mSvに低減する環境（平均線量率が年間15 mSv）に居住する1歳女児を仮定。

この1歳女児の10年間の累積線量は、150 mSvとなる。

この1歳女児ががんに罹患する生涯リスクは、100 mSvあたりで4,500/100,000（10万人中4,500人）、累積線量の150 mSvでは6.75%となる。

さらに、非がん疾患のリスクも追加される可能性が強く、この規模は推計しがたいにせよ、がんと同様の可能性がある。

ゆえに、この1歳女児が11歳になるまでに、放射線被ばくのみから重篤な疾患に罹患する生涯リスクが、およそ10-15%となる可能性がある。

次に、この1歳女兒の例を、20歳から60歳まで雇用され、年間5 mSvの(ICRPの線量限度に基づいた)最大許容線量率に被ばくし、生涯線量が200 mSvとなる放射線作業員の生涯リスクと比較してみる。

これは、福島第一原子力発電所の作業員でこれから20-30年の間に起こり得ることである。

スライド14のグラフによると、この男性の40年の雇用期間中のがん罹患リスクの平均は、

100 mSvあたり1,000/100,000 = 200 mSvあたり2%、となる。

非がん疾患の罹患リスクは、これを大体2倍すればよいので、

200 mSvあたり4%、となる。

もちろん、非汚染地域に居住する女児でも、自然バックグラウンド放射線、および年間最大1 mSvの公衆被ばく限度からの放射線リスクがある。これを年間3 mSv、あるいは、10年間で30 mSvとする。

この女児が重篤な疾患に罹患する生涯リスクは、他の例と同じデータに基づくと、2-3%となる。

これと同じリスクは、世界中のほとんどどこにでも当てはまる。

現在入手できる疫学データを考察し、影響(胎内被ばくの結果の小児白血病)が観察される最小の線量が約10 mSvだと分かった。

これがしきい値であると言えるのか？

確かにしきい値であると言えるが、そうすると、生後わずか2-3年で、単なる自然バックグラウンド放射線への被ばくによりしきい値を超えてしまい、リスクが増加してしまうことになる。

それでは、これまでに考慮したシナリオ3例で、100 mSv未満
のリスクが無視できると仮定した場合の影響を考えてみる：

事故後1年目の年間線量率が20 mSvの地域に

1歳から11歳まで居住している女兒： 2 - 3%

放射線作業員： 2%

フォールアウト由来の汚染がない地域に

1歳から11歳まで居住している女兒： 0%

この時点まで、被ばく源がフォールアウトによる外部被ばくのみ
だろうと仮定してきた。

食物規制により、内部被ばく線量がかなり低減されてきたようではある。これは、当分の間続行される必要がある。さらに、たとえば森で収穫されたキノコなどによる、コントロールされない内部被ばくからのリスクが、おそらく何十年間にもわたって続くだろう。つい最近、ノルウェーのトナカイで放射性セシウムレベルの増加が見つかった。これは、キノコが例年になく異常に豊作で、30年近く前のチェルノブイリのフォールアウト由来のセシウムの量が増えたからである。

上記で推定されたリスクは、過去に既に受けた被ばく線量、特に事故後初期の放射性プルーム由来の、浸漬による外部被ばく線量と吸入被ばく線量を考慮していない。最近出版された論文に、これらの線量の推定を可能にするかもしれない重要なデータが含まれている。

UNSCEARの2013年福島報告書は、事故に必然的に伴うリスクについてどう述べているのか？

「より長期的な疾患リスクは、既存のリスクモデルにもとづいて理論的に推論することができるが、実際には、被ばく集団の大きさが限定されており、かつ被ばく線量が低いという複合的な理由から、疾患発生率の上昇が現在利用可能な方法を用いた将来の疾患統計で観察されることは考えにくい。すなわち、影響は、基準リスクとその不確かさに対して相対的に小さいのである。」
(パラグラフE23)

UNSCEARの線量推定にもとづくこと、ここで述べられていることはもちろん正しい。限定されているのは疫学である。報告書内の、他のもっと目立った箇所では、「リスクに識別可能な上昇はない」だろうと述べられてはいるが、しかしそれがなぜなのかという詳細な説明はされていない。一般の読者にとって、「リスクに識別可能な上昇はない」という供述は、公衆衛生への影響に関して大きな安心感をもたらすかもしれない。しかし実際の所、「リスクに識別可能な上昇はない」という供述は、影響の「検出感度」、すなわち疫学に関して述べているにすぎない。

仮にすべての潜在的有害物質の影響を疫学調査で証明できるレベルまで環境中へ放出してもいいということになれば、
寿命は劇的に短縮するだろう。

これがまさに、UNSCEARが示唆しようとしていることである。すなわち、
もしもリスクが「識別可能でなければ、無視しても安全である」と、「100
mSv未満での確定的証拠はない」を一緒にしているのである。

しかし、100 mSvの被ばくを受ける若い女児へのリスクは、がんに対して
4%、そしておそらく、他の疾患に対しても同じく4%である。

これらは、無視しても良いリスクとは言えない。

仮に100 mSvへの被ばくのリスクが、**すべての環境汚染物質に対して
無視できるリスクとして設定されたなら、寿命は劇的に短縮するだろう。**

結論

100 mSv未満と100 mSv以上で、100 mSvあたりのリスクが量的・質的に異なるという仮定は、科学的に支持できない。

十中八九、リスクの線量依存性は、ゼロ線量から上方に線的である。すなわち、線形しきい値なし(LNT)関係が適用される。そして、公衆衛生政策を目的とするリスク推定においては、たとえどんなに微量であろうとも、集団が被ばくするかもしれないすべての線量を考慮することが不可欠である。

現在、事故後3年半経ったが、事故により一般市民に必然的に伴うリスクの細部にわたる実態は、いまだに完全に理解されていない状態である。