

ABCC・放影研と被爆者固定集団調査 (LSS) の紹介

100ミリシーベルト以下の被曝影響

京都大学複合原子力科学研究所 研究員 今中 哲二

福島原発事故が発生してから、個人的に驚いたり呆れたりしたことがたくさんあった。そのひとつが、原発周辺での大規模な放射能汚染が明らかになると、「100mSv (ミリシーベルト) の被曝に健康影響はありません」という専門家が次々に登場したことがあった。私からしたら100mSvとは、「念のため、お医者さんに行って検査してもらっておいた方がいいですよ」とアドバイスするレベルの被曝である。原発事故の緊急時において、日本の法令で認められていた作業員の被曝限度は100mSvだった (原発事故が起きてから一時的に250mSvとされた)^注。事態が落ち着いてくると、「影響はありません」から、もっぱら「100mSv以下では影響は観察されていません」という言い方になった。登場する専門家の話を聞いていると、彼らの根拠は、広島・長崎被爆生存者の追跡調査 (LSS: Life Span Study) のようだ。

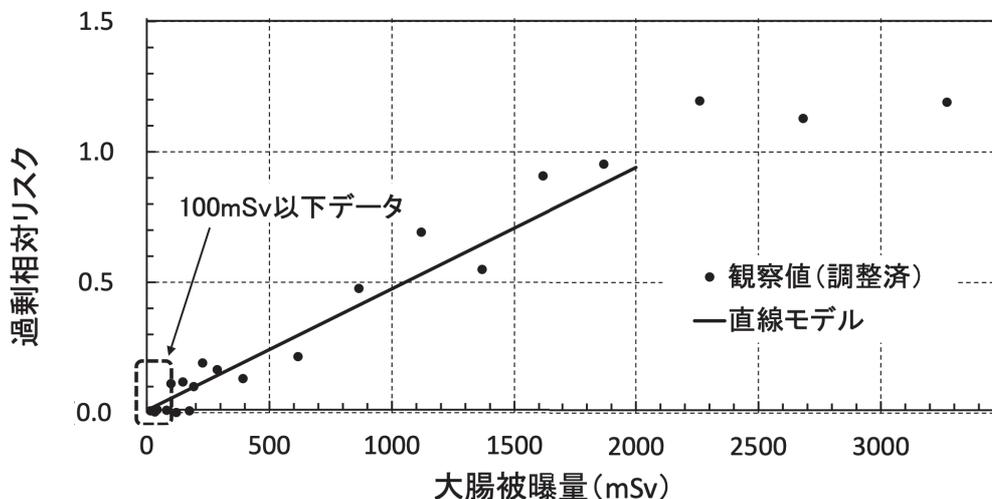
私に言わせればLSSの調査結果は、「低線量被曝でもそれなりに影響がある」という、被曝量と影響の大きさの関係についての、いわゆる「直線・しきい

値なし説」(LNT: Linear Non-threshold Theory) を強く支持している。ICRPがその2007年勧告で「100 mSvを下回る低線量域では、がん又は遺伝性影響の発生率が関係する臓器及び組織の等価線量の増加に正比例して増加するであろうと仮定するのが科学的にもっともらしい」(下線筆者) と述べている所以のデータでもある。

図1は、LSS集団の被曝量と固形がん過剰相対リスクとの関係¹⁾である (がん増加のない場合が過剰相対リスク0で、2倍に増えると1)。左下隅の100mSv以下の観察データだけを取り出せば、被曝量とともにがんが増えているかどうかは判断できない。しかし、LSS調査結果全体は、被曝量とがん増加の関係は直線モデルがよく適合することを示している。図1を眺めて「100mSv以下で影響はありません」というのは、“木を見て森を見ていない (見たくない)” 人々のコトバであろう。

本稿では、米国直轄のABCC (原爆傷害調査委員会) 設立の経緯から、どのように被爆者固定集団調

図1. LSS集団における固形がん過剰相対リスクの線量反応関係 (放影研要覧¹⁾より作成)。横軸は外部被曝にともなう大腸被曝量。元図の単位はGyだがSvで記述。1000mSvで約50%の増加。



【注】「250mSvへの引き上げ」は2011年12月に解除された後、2016年4月に法令に取り入れられた。

【参考文献・資料】

1. 放影研要覧 https://www.rerf.or.jp/uploads/2017/07/briefdescript_j.pdf

査LSSがはじまり、後身である放影研（放射線影響研究所、RERF）に引き継がれて、どのような結果が得られてきたのか、私も関わってきた原爆放射線量評価の問題を中心に紹介しておく。

ABCCの設立と初期の調査

1945年9月、日本の降伏にともなって米国占領統治がはじまると、米軍は、都築正男・東大教授ら日本人研究者の協力を得ながら、広島・長崎原爆被害の医学的調査を行った。急性放射線影響の調査が一段落した後の1946年11月26日、「原爆被爆者の生物学的・医学的影響について長期的な研究を行うべき」という海軍長官フォレストルからの提案に対して、米国大統領トルーマンが「承認」のサインをしている。これを受けて、米国占領下でABCCによる被爆者調査が始まった。（マンハッタン計画を引き継いだ）米国原子力委員会(AEC)が、米国科学アカデミー(NAS)経由で資金を提供し、1947年に広島で、1948年に長崎でABCCの活動が始まった²⁾。日本側からは、厚生省予防衛生研究所（現国立感染症研究所）が広島と長崎に支所を出して協力した。ABCCの当初の調査は、被爆に伴う遺伝的影響に重点が置かれ、広島・長崎の妊婦と新生児の調査が実施された。胎内被爆児の小頭症が観察されたものの、（生殖細胞の変異に起因する）有意な遺伝的影響は認められていない³⁾。また被爆者の間で、白血病と白内障の増加が観察された。

被爆者寿命調査LSSの始まり

1950年代に入って、AECからの予算削減もあり、ABCC調査を継続するかどうかの議論があった。1955年、疫学者フランスを委員長とするレビュー委員会が設置され、ABCCの研究計画全般を見直し、被爆生存者の固定集団を設定し死亡するまで長期的観察を継続すべきとの勧告を出した⁴⁾。フランス報告は「合理的な方法で人間における放射線の影響を調査研究できる場所は他にないのであって、原子力の平和利用に非常に重要である」と述べている。背

景には、アイゼンハワー大統領による1953年12月の国連での「アトムフォーピース演説」や1954年春のビキニ水爆実験など核実験による放射能汚染問題があったと思われる。

1950年に実施された国勢調査の際に、ABCCの要請を受けて日本政府は、広島・長崎での被爆の有無を問う附帯調査を行っていた。1950年10月1日段階で、広島で被爆15.9万人、長崎で被爆12.5万人、合計28.4万人の被爆者が日本全国にいることが確認されていた。その調査に基づいて、広島市、長崎市に居住し、かつ広島市、長崎市その近郊に本籍をもつ人々から寿命調査LSSの対象者10万人が、次の4つのグループ基準で選定された。

- I. 爆心から2km以内全員：広島2万1200、長崎6600、合計2万7800人
- II. 2kmから2.5km全員：広島1万1500、長崎5100、合計1万6600人
- III. 2.5kmから10km：グループIと都市、年齢、性別をマッチングした2万7800人
- IV. 原爆時に広島、長崎にいなかった人：グループIとマッチングした2万7800人

2km以内というのは急性症状の可能性有り、2.5km以上は遠距離で被曝影響は小さい、という距離区分だったようだ。（その後、予備グループから約2万人が追加され、最終的にLSS対象者は12万人余りとなっている。）

LSS対象者の生死の確認は、数年に一度の戸籍簿チェックを通じて行われ、死亡していた場合には死亡診断書により死因が確認される。こうして、1950年10月1日を起点として、広島・長崎被爆生存者の固定集団が設定されLSSが始まった。原爆投下から5年間の情報はLSS調査には入っていないことに留意しておきたい。1950～1958年の調査結果をまとめたLSS第1報はABCC TR 5-61として発表された。被爆グループで有意に観察された影響は、白血病死の増加のみだった。以降、数年に一度改訂版が公表され、最新版は、2012年に発表されLSS第14報（1950～2003年）である。（LSS報告は放影研のホームペー

2. Putnam PNAS 1998 <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.95.10.5426>

3. ABCC TR 7-81 https://www.rerf.or.jp/library/scidata/tr_all/TR1981-07.pdf

4. ABCC TR 33-59 https://www.rerf.or.jp/library/scidata/tr_all/TR1959-33.pdf

ジ⁵⁾で閲覧できるが、全文を日本語訳で閲覧できるのは第11報まで。

LSS調査に並行して、LSS対象者のうち2万人の健康状態をABCC施設で定期的に検診する「成人健康調査」、胎内被爆した3600人を対象とする「胎内被爆者調査」、LSS対象者の子ども約7万7000人を対象とする「被爆2世調査」という固定集団調査が始まった。

なお、ABCCは1975年4月から、日米合同の財団法人「放射線影響研究所」(RERF: Radiation Effects Research Foundation)に改組された。

LSS対象者の個人被曝量の推定

放射線被曝量と影響の大きさの関係、たとえばどの程度被曝するとどれくらいがん死が増えるかといった定量的な分析をするためには、被爆者個人の受けた被曝量の見積もりが必要になる。LSS調査が始まると対象者の個人被曝量を推定することになった。原爆による被曝量の推定は、次の2つを組み合わせる作業となる。

- A. (建物などの遮蔽物がない) 地表面の空气中放射線量、及び日本家屋等の放射線遮蔽効果の推定
- B. 被爆者がいた位置(爆心から距離)と、家屋内か建物の陰かといった遮蔽状況の聞き取り

初期放射線は、炸裂時の即発放射線(核分裂にともなうガンマ線と中性子線)と上昇する火球からの遅発放射線(火球内の核分裂生成物からのガンマ線と中性子線)に分けられるが、どちらも(建物など遮蔽物のない)地表での放射線量分布は、爆心を原点とする同心円で表すことができる。

1965年暫定線量: T65D

LSS調査が始まると、米国ではオークリッジ研究所が中心になって、広島・長崎の空气中放射線量と日本家屋の遮蔽効果を推定するための「ICHIBANプロジェクト」が始まった⁶⁾。長崎原爆(Fat Man)はプルトニウムを用いた爆縮型爆弾で、同型の核実験データを用いて、爆心からの距離と地表面放射線量

の関係が定式化された。一方、広島原爆(Little Boy)のような濃縮ウラン大砲型爆弾の核実験は行われていない。爆弾の構造によって外部に放出される放射線の量やエネルギーは変わってくる。そこで、模擬原爆の中に放射線源を入れて漏洩してくる放射線を測定したり、ネバダ砂漠に500mのタワーを作り、その上に小型原子炉や放射線源を設置して周辺への放射線伝播実験を行ったりして、広島原爆に対する爆心距離と放射線量の式が作られた。さらに、ネバダ核実験場に複数の日本家屋を作って屋内や周辺に放射線測定器を設置し、核実験やタワー実験の際に家屋の遮蔽効果を測定した。測定結果を基に、家の階層、爆心方向の壁からの距離、壁の枚数、家前方の遮蔽物の有無といった9つのパラメータを用いて遮蔽効果を見積もる式が作られた。

一方、日本国内ではABCCの職員が、原爆投下前の航空写真から作成した周辺地図を携えてLSS対象者と面談し、原爆炸裂時の状況(家の並び、間取り、被爆位置など)の聞き取り調査を行った。聞き取りに基づいて遮蔽歴図面を作成して9パラメータ式で遮蔽効果を見積もり、被爆位置での無遮蔽地表放射線量と合わせて個人被曝量を推定した。T65D線量が公表された段階(1967年8月)で、2km以内で被曝したLSS対象者を中心に2万9000人(2km以内では77%)の遮蔽歴調査が行われていた⁷⁾。T65Dでは、広島で1.6km、長崎で2.0km以上離れた被爆者については遮蔽を考慮せずに屋外線量を割り当てている。広島1.6km以内、長崎2.0km以内で遮蔽歴のない人については、遮蔽歴のある人の平均透過係数を適用して被曝量を求めている。

T65Dは、第6報(1950~1970年)から第10報(1950~1982年)まで、LSS集団の被曝量と死因や罹患率の関係についての解析に用いられた。レントゲンが19世紀末にX線を発見してから初めてと言ってよい、大規模な固定集団調査に基づいて、放射線被曝とがん死増加の関係について定量的な知見が示され、ICRP勧告などに、放射線防護基準の基礎となる重要なデータを提供した。

5. 放影研HP <https://www.rerf.or.jp/library/>

6. J.A. Auxier, ICIBAN, TID-27080 1977

7. ABCC TR 1-68 https://www.rerf.or.jp/library/scidata/tr_all/TR1968-01.pdf

T65Dの改訂：DS86とDS02

•**DS86 (線量推定システム1986)**:1981年、「T65Dの放射線量は間違っているようだ」という記事が米国のScience誌に掲載された⁸⁾。米国の核開発研究者が広島原爆による放射線場のシミュレーションを試みたらT65Dとは大きく異なっていたという内容だった。T65Dは、ネバダ砂漠で行われた核実験やタワー実験に依存していたが、ネバダ砂漠と広島・長崎では気象条件が大きく違っていた。また、広島原爆を模擬した裸の原子炉からの中性子スペクトルもLittle Boyとは違っていた。

広島・長崎の放射線量を再検討するため、日米合同の再評価委員会が設置され、最新コンピューター技術を用いた計算や被爆サンプルの新たな測定などが行われ、1986年にDS86が策定された。T65DからDS86への変更にもない、広島では中性子線量が約10分の1に減少し、ガンマ線量は2～3.5倍増加した。一方、長崎では、中性子線量が1/2から1/3となり、ガンマ線量は10～30%減少した。

T65Dでは、広島では中性子線が被曝影響の主役で、長崎ではガンマ線と考えられていたが、広島で中性子が大幅に減少した結果、広島、長崎ともに被曝影響はガンマ線が中心とされることになった。

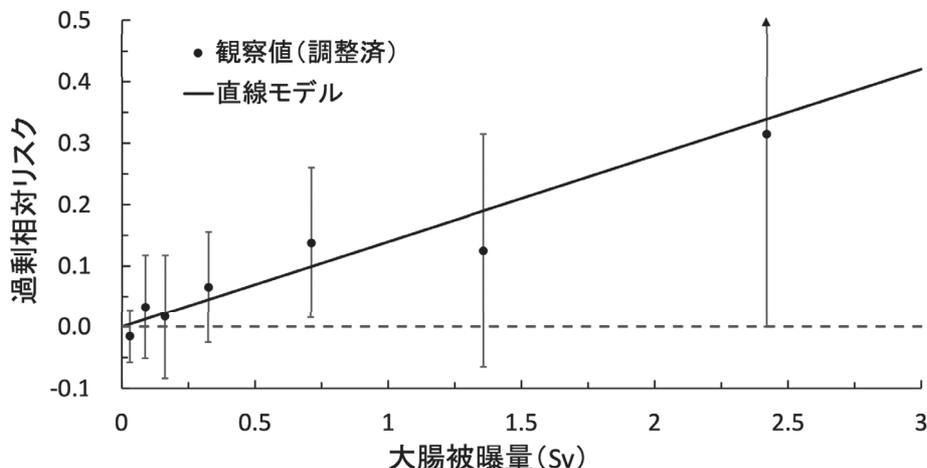
•**DS02 (線量推定システム2002)**:DS86策定時に、広島原爆の中性子放射化によって鉄材中に生成した

コバルト60の計算値と測定値が合わない問題が持ち越しにされていた。その後、花崗岩中のユーロピウム152やコンクリート中の塩素36も合わないというデータが発表され、原爆放射線量の再度の見直しが行われ、筆者も日本側WGで協力した。細かいことは文献^{9,10)}にまかせるが、再計算、再測定が行われ、2003年始めに日米委員会でDS02が承認された。DS02によると、広島2kmの無遮蔽地表線量は76mSvで、長崎2kmでは140mSvである。

長々と原爆放射線量のことを書いたのは、これまでさまざまな努力が重ねられてきたものの個人被曝量には不確かさが大きいこと、とくに遠距離低線量では、ほとんどのLSS対象者について遮蔽歴調査がなく、自然放射線、医療放射線による積算被曝の寄与が原爆と同程度あること、生活環境のばらつきが大きい集団であることを考えると、LSSデータの100mSv以下だけに着目して被曝影響を議論するのは困難だ、ということを理解していただくためである。LSS調査全体の調査結果については、分かり易くまとまっている放影研の要覧¹⁾を参照頂きたい。ご参考に、被曝にともなう心疾患死亡の増加に関するデータを図2に示しておく。

なお、100mSv以下の被曝影響については、LSSとは関係なく、福島原発事故以降に発表された論文についてまとめた拙稿¹¹⁾を参照されたい。

図2. LSS集団の被曝量（大腸被曝量）と心疾患死リスクの線量反応関係（放影研要覧より作成）。



8. E. Marshall. Science Vol 212: 900-903. 22 May 1981

9. 葉佐井ら KURRI-KR-114 2005 https://www.rrri.kyoto-u.ac.jp/PUB/report/04_kr/img/ekr011.pdf

10. 今中 KUR 学術講演会 2009 <http://www.rrri.kyoto-u.ac.jp/NSRG/seminar/100/PDF/GK43.pdf>

11. 今中 学術の動向 2020 https://www.jstage.jst.go.jp/article/tits/25/3/25_3_52/_pdf/-char/ja