

「残留放射線」に関する放影研の見解

2012年12月8日
公益財団法人
放射線影響研究所

はじめに～「残留放射線」のデータは本当に考慮されていないのか？

広島・長崎に投下された原子爆弾の放射線被曝線量については、公益財団法人放射線影響研究所（放影研）やその他多くの研究者によって解析されてきました。その結果、「残留放射線」の関与は「初期放射線（直接放射線）」の被曝線量推定値の誤差範囲内にあることが示されております。放影研は以前よりこのことを公表し、説明してまいりましたが（第2章参照）、残念ながら一部の方々から「残留放射線のデータが考慮されていない」との批判や疑問が繰り返し提起されてきました。本稿は、そうした批判と疑問が誤解に基づくものであることを述べ、皆様に正しい知識を提供することを目的とするものです。

2011年に山田・Jones 報告書（米国オークリッジ国立研究所 ORNL-TM-4017, 1972）の存在が報道されて以来、「黒い雨」問題が再び社会的関心を呼んでおります。その結果、種々のメディアでこの問題が論じられておりますが、中には必ずしも正確な内容ばかりではなく、例えば「残留放射線被曝」を「内部被曝」そのものと混同して報道するといった状況が見られます。最近では、放射線リスク解析に用いられる放射線被曝線量に「残留放射線」によるものが含まれていないがゆえに「放影研のリスクデータは役に立たない」とするテレビ番組まで放映されるなど、このままでは世界の放射線リスクおよび放射線防護基準の科学的根拠となっている放影研の研究結果が著しく誤解されはしないか、その結果、被爆者の方々をはじめとする関係者の皆様に無用のご心配を引き起こしかねないのではないかと憂慮しております。そこで、放影研としてここに改めて本件に関する見解の説明、ならびに情報提供をさせていただくものです。

第1章 原爆放射線による被曝

原爆放射線への被曝は、爆弾炸裂時に放出された「初期放射線」によるものと、それより遅れて起こる「残留放射線」によるものの二通りがあります。本稿で言う「初期放射線」は、核爆発で発生する一次放射線と、それにより生成された火球内で続く二次核反応で放出される放射線の総称として説明するもので、直接放射線と呼ばれることもあります。「初期放射線」は中性子線とガンマ線が主体であり、放射線被曝は体表面に到達した放射線により数秒～数十秒間というごく短時間のうちに起こりました（外部被曝）。この「初期放射線」による直接的な被曝線量を決定するものとして、爆心からの距離～①、建物、丘陵などによる遮蔽～②と、体表面到達後に目的臓器に到達するまでの体内通過組織による遮蔽～③（放射線の進行方向に対する被曝時の体位によって変わる）とによる減衰が考えられます。したがって、この①、②、③の情報が揃えば、被爆者個人別の臓器別被曝推定線量を計算することが可能です。

これに対して「残留放射線」は、核爆発に伴って生成された放射性物質から発生する二次的放射線です。これは、さらに「誘導放射線」と大気中に拡散した放射性微粒子からの放射線とに分類されます。「誘導放射線」は、「初期放射線」中の中性子線によって、地上の建物や土壌などの物質を構成する原子が一時的に放射化されて発生します。この「誘導放射線」による曝露は、粉じん吸入が多い場合を除き「外部被曝」が主体です。ただし、大部分の「誘導放射線」は原爆投下後数週間で急速に減衰しました。

一方、燃え残りの核爆弾原料物質や核爆発で二次的に発生した放射性粒子は、爆発に伴う高温で一旦気化した後、再冷却の過程で微粒子となり高空に広く拡散しました。大気中に拡散し浮遊する放射性微粒子は、次第に地上へと降下しますが、これは降雨に伴い促進されます。いわゆる「黒い雨」の中にはこの放射性微粒子が含まれていたと考えられています。ただし、黒い色の本体は二次火災による「煤」であり、色と放射性の強弱には直接的な関係はありません。直後に降った雨の場合には「黒くない雨」でも放射性微粒子が含まれていた可能性もあり、反対に黒い雨でも放射性微粒子を含まない場合もありえます。

放射性微粒子からの曝露としては、大気中に滞留し、あるいは地上に降下し蓄積した放射性微粒子からの「外部被曝」と、空気中に滞留する粒子を直接吸入したり、地上に到達した放射性微粒子をさまざまな経路から体内に摂取したりすることによる「内部被曝」があります。「内部被曝」に至る経路としては、地上に降った放射性微粒子（放射性降下物）の一部が飲料水や野菜を汚染することにより直接摂取される場合、また、放射性降下物中の放射性ヨウ素が牧草を汚染し、それを飼料とした牛（または山羊）によって再濃縮された牛乳を摂取したことによる場合などもあります。

前述のとおり、「初期放射線」による個人別の被曝量の計算は可能ですが、「残留放射線」による被曝量を個人別に推定することはこれに比べてはるかに複雑になり、推定に必要な情報の入手は格段に困難になります。

まず、「残留放射線」の内、「誘導放射線」に関しては、実測値やそれを補完する計算方法などにより、およそその環境中放射線量の時間・地理分布が判明しているため、個人別放射線被曝量を推定することが可能ですが、そのためには、「誘導放射線」が有意に高かった原爆投下後約 1 週間の期間について、経過時間ごとの、正確な滞在場所と滞在時間に関する個人別の行動記録が必要です。といっても、疫学調査の対象者全員となると、被曝量推定に使えるだけの信頼性が高い情報入手は不可能です。

次に、「残留放射線」の内、放射性微粒子の場合にはその地理的分布が一様でないことに加え、地表到達後の風や地表水による移動の結果、分布がさらに複雑になります。そのため、放射線量の経過時間別の地理分布は、一部の实測例を除いてほとんど把握できていません。したがって、被曝線量の推定は非常に困難です。空気中の放射性物質の吸入量や飲食物を介しての体内摂取量（内部被曝量）の推定もほとんど不可能だといっても過言ではありません。

このような「内部被曝量」を把握するには、ホールボディカウンターを用いた実測や、

染色体の検査、歯のエナメル質の電子スピン法などによる生物学的モニタリングによる方法を用いる以外はありません。ただしこれらの方法は、放射線の減衰、対象者の生存有無など事後経過年数の制約があり、検出精度も高いとは言えません。生物学的モニタリングの例では、試料収集は被爆者の生存中に限ることに加え、200mSv以下の被曝は検出できないという制約があります。また、ホールボディカウンターは、測定時点での「内部被曝」を評価するのに対し、生物学的モニタリングでは、「外部被曝」と「内部被曝」の蓄積的効果を評価することになります。

第2章 「残留放射線」による被曝量が原爆放射線のリスク評価に及ぼす影響

放影研は、被爆者など12万人を対象とする「寿命調査」の結果として、これまで放射線被曝量とがん発生（死亡）頻度の関係を表す放射線リスクを発表してきました。これらのデータは国際的に高く評価され、放射線防護基準制定の基礎データとして活用されてきました。このリスク計算には「初期放射線」による被曝量のみが用いられております。もし、「残留放射線」の影響が無視できないほど大きいものであれば、その程度に応じてこのリスクデータの信頼性は下がることとなりますが、放影研はこれまでに「残留放射線」の影響が無視できる程度に少なかったと考えられる証拠を以下のように提示してきました。

1) 広島・長崎に投下された原子爆弾による放射線量については、放影研をはじめ多くの研究者によって解析されております。このうち、世界各地で実施された後年の原爆実験より前の、つまり地球全体が放射性降下物の影響を受ける以前で、かつ、「残留放射線」量の実測が可能であった原爆投下後数年以内に実施された研究結果については、線量評価体系DS86の第6章にその総括が掲載されております。この大部分の測定は1945年8月から11月に実施され、その内一部は広島地方を襲った台風以前に行なわれたことは特筆に値します。その他を含めた研究結果から、「残留放射線」量は「初期放射線」量の推定誤差の範囲内にあることが示されております。

2) この内、「誘導放射線」に関しては前述のとおり、原爆投下後の経過時間別の線量地理分布が分かっているので、投下直後の行動に関していろいろな事例を想定して、被曝線量のシミュレーションが行われております。次の表は爆心地付近に早期に入市した場合の曝露線量の試算結果です。この表では、しかるべき被ばく線量になるよう、爆心に極めて近い場所に数日以内にながりの長時間滞在した条件を示しました。例えば原爆投下の翌日、爆心から500mの所に12時間滞在したとすると、広島での「誘導放射線」曝露量は約15mSv、長崎では3mSvと計算されています。また、もし1000mの所に滞在したとすると被曝量は僅かとなります。

広島・長崎における早期入市者の被曝線量推定値

入市日 ^A	爆心からの距離別 大腸被曝線量 (mSv)				
	200m	500m	700m	1000m	1500m
広島					
2日目 ^B	82	15	3	<0.5	<0.5
3日目	40	8	2	<0.5	<0.5
長崎					
2日目	18	3	1	<0.5	<0.5
3日目	9	1	<0.5	<0.5	<0.5

A この表の被曝線量推定値は、それぞれの爆心距離に午前6時15分から入り、その後12時間そこに滞在したと仮定した場合の計算値である。

B 2日目は被曝翌日、3日目はその次の日。4日目以降の推定値は毎日ほぼ半減していく。

3) 実際に「残留放射線」に被曝した集団を調査した事例としては、NHKによる賀北部隊の調査報告例があります。これは東広島市の予備役兵約250名により編成された救援のための臨時部隊で、原爆翌日の8月7日から13日までの間、爆心地付近で瓦礫の片付けなどの救援活動に従事しました。この期間の行動記録が克明に残っていた99名からなる部隊について、広島大学や放影研などが参加して被曝線量の推定計算を行いました。その結果、大部分の被曝は「誘導放射線」によるものであり、その推定被曝線量は、染色体異常の頻度やコンピューターによるシミュレーションで最大100mSv、全隊員の平均値は13mSvという結果が得られています。また、昭和20年8月から42年間にわたるこの99名の死亡率調査では、全死因とがんに関して、いずれも全国平均と比べて差は認められませんでした。

4) このほか、「残留放射線」被曝の調査事例として、寿命調査の一部である早期入市者の死因調査もあります。これは、原爆投下後1カ月以内に、広島・長崎両市に入市した4,512名についての1950年から1978年までの死因調査で、その結果、死亡数（全死因およびがんによる）が増加している証拠はありませんでした。原爆が投下された当日は二次火災のため爆心地付近には近寄れなかった事実を考慮すると、上記の賀北部隊の被曝量が最大レベルのものであったと考えられます。

5) 「内部被曝」を考慮した調査としては、広島・長崎を通じて放射性物質の降下量が最も多かった長崎市の西山地区の1969年、1970年、1971年に実施された長崎大学の岡島らとの共同研究結果があります。これは、まずこの地区で最も被曝線量が高かったと考えられる地域住民の面接調査を行い、地元の野菜や飲料水の摂取があるなど、「内部被曝」が高かったと考えられる住民50名を対象にしたものです。ホールボディカウンターで「内部被曝」線量（セシウム137；半減期30年の長半減期の主要な同位元素）を測定した結果について、

一部の人達の 1981 年の再測定から推定した半減期 7.4 年を基に計算した 1945 年から 1985 年までの 40 年間の積算線量は、男性 100 μSv 、女性が 80 μSv で、これは WHO が発表した世界の自然放射線被曝量 40 年分の 1,000 分の 1 程度という低い値でした。

放影研の放射線リスク算出には、前述のとおり、「初期放射線」の推定値のみが用いられていますが、線量推定システム 2002 (DS02) に基づく個人別被曝線量推定値には約 35% の誤差があるとされています。その誤差の最大の要因は、被曝線量推定のために行われた遮蔽調査の聞き取りにおける誤り（不確実性）だと考えられています。

放影研での原爆放射線によるがん罹患・死亡等のリスク評価は、1–4Gy という高線量に被曝した方々のリスク推定値が、被曝線量に対して明確な量反応関係を示していることに立脚しています。したがって、10–100mGy 程度と見積もられる「残留放射線」被曝を受けた少数の人たちが、「初期放射線」量がゼロや低線量である多数の人たちの中にある程度含まれていたとしても、主として 100mSv を越える高線量被曝の結果から算出されたリスク推定値に対して大きな影響を与えるものではありません。

このように、「残留放射線」は「初期放射線」と比べてかなり小さな値であり、かつ推定誤差が大きいので、この情報を加えたとしても、推定リスクに大きな変化は想定されませんし、リスクの推定精度を上げる効果も期待できません。リスク計算の分子として用いられるがん死亡やがん発生数は、放射線被曝量を推定する作業とは別個に、死亡届やがん登録を経て入手された数です。もしリスク計算の分母として用いられる放射線被曝量が、「残留放射線」を除いたことにより低めの数値になると、がんのリスクは高めに評価されることとなります。放射線障害の防護基準策定に当たって高めのリスクを用いることは、防護上安全側に働くこととなります。

第 3 章 「内部被曝」について

最初にも記したように、「残留放射線」が注目される中でも、最近特に顕著なのが「内部被曝」への関心です。「内部被曝」がクローズアップされて取り上げられるようになったのは、チェルノブイリの子供に甲状腺がんが多発したことによるものと考えられます。これは、旧ソ連時代に放射能汚染の事実が隠蔽されていたことにより、牧草飼料経由で放射性物質が再濃縮された牛乳を知らずに長期間にわたり摂取してしまったことに加え、予防剤であるヨウ素剤も使用されなかったことが被害を拡大した大きな要因でした。

幸いにもそれ以降は、このような経路による大量の「内部被曝」例は世界中のどこからも報告されていません。しかしながら、依然として「内部被曝は外部被曝よりも 1,000 倍危険」などと心配されていますが、これを説明する科学的根拠はありません。確かに、「外部被曝」の場合は、環境レベルとその滞在時間に応じて被曝するのに対し、「内部被曝」の場合、一旦体内に取り込んだ放射性物質は、物理的半減期に応じた放射線量の減少はあるものの、体外に排出されない限り放射線被曝が継続します。したがって、放射性物質の体内への取り込みを極力防ぐことが肝要であることは事実です。また、「内部被曝」も「外部

被曝」も共にかん発症などの後影響に寄与し得ると考えられています。

ただし重要なことは、どちらの場合でもリスクの大きさは、がん発症の当事者たる細胞（組織の幹細胞と考えられる）が受ける放射線の量に依存し、被曝が外部か内部かの問題ではないということです。「外部被曝」の場合には、皮膚や途中に介在する体内組織による遮蔽効果まで考慮して、目的とする臓器の線量が計算されます。「内部被曝」の場合には、甲状腺とヨウ素の関係のように、放射性核種（元素）によって体内での代謝が異なり、体内分布に偏りが生じる場合があります。これらをすべて考慮したうえで、目的とする臓器での蓄積線量が同じであれば、「内部被曝」も「外部被曝」もリスクの大きさに違いはないということです。人における「内部被曝」と「外部被曝」の発癌作用の比較に関する多くの研究でも、これは明らかにされています（Little et al. *Radiation & Environ Biophysics*, 46:299-310, 2007）。

「内部被曝」の場合、体内に取り込まれた放射性粒子から放射状に放射線が発せられるので、その粒子の近傍では線量が相当高くなることがあります。しかし、局所的に線量が高いことが直ちに発がんリスクに結びつくかは別問題です。それは、発がんに関係する幹細胞は普遍的に存在している細胞ではないので、放射性粒子のごく近傍に幹細胞が存在していなければ、放出された放射線は、細胞がん化に関与しないで終わることになります。また、局所の放射線量が極めて高い場合には、細胞自体が生きられず、がん化のリスクはかえって低下します。このような知見から、国際放射線防護委員会（ICRP）は、体内に取り込まれた粒子からの放射線（つまり「内部被曝」）によるがん化について、放射性物質が全身に均等に分布した場合に「外部被曝」と同等になり、偏在した場合にはむしろ低下するのではないかと考えています。

これは、大量の動物を使った高精度の動物実験において、放射性ヨウ素投与による「内部被曝」と X 線による「外部被曝」と比較して、甲状腺発がん頻度に差のないことで実証されています（Lee et al, *Radiation Research*, 92:307-319, 1982）。また、「内部被曝」したチェルノブイリの子供の調査と医療用放射線や原爆放射線で「外部被曝」した子供の調査との比較でも、次のようにほぼ同じリスクが証明されています。すなわち、「外部被曝」を扱った 5 つの主要な調査を結合した研究で、1Gy あたりの甲状腺発癌相対リスクは 8.7 倍と報告されています（Ron et al, *Radiation Research*, 141:259-77, 1995）。チェルノブイリにおける子供の放射性ヨウ素による「内部被曝」に関する主要な研究では、同じく 1Gy あたりの甲状腺発癌相対リスクは 6.2, 3.2 および 2.9 と報告されています（Tronko et al. *J Natl Cancer Inst*, 98:897-903, 2006; Zablotska et al. *Brit J Cancer*, 104:181-87, 2011; Brenner et al. *Environmental Health Perspectives*, 119:933-39, 2011]。このようにチェルノブイリでの放射性ヨウ素のリスク推定値は外部曝露研究で得られた推定値と有意な違いはなく、少なくとも高いとは言えません。

最後に、東電福島第一原子力発電所の事故による影響についても、「内部被曝」の影響を誇張する報道がみられますが、以上のような観点から、被曝線量を考慮せず、「内部被曝の

方が外部被曝より危険だ」という単純な主張には全く根拠がないことが分かります。現在では食品や飲料水の管理は十分に行われており、空気中に浮遊する放射性物質の量も極めて少ないので、現在の監視体制を継続する限り、今後さらに「内部被曝」の心配が増すとは考えられません。事故直後の被曝による影響についても、福島県による現在までの数万人に及ぶホールボディカウンターによる実測結果から、預託線量は **1mSv** 未満が **99.9%** 以上で、最大値を示した人でも自然放射線量（年間 **2.4mSv**）のレベルに留まっていることが判明しています。

付記：放影研ホームページ上にこの「残留放射線に関する放影研の見解」を掲載して以降、この文章は「原爆の残留放射線による健康影響がないことを説明する目的だ」とのご指摘をいただきました。しかし、この「見解」の趣旨は、広島・長崎に投下された原爆の場合、直接放射線に比べ残留放射線への曝露量が小さいことを説明したものであり、原爆の残留放射線による健康影響がないことを説明したものではありません。（2013年5月1日）