

名古屋大学名誉教授  
沢田 昭二 様

先日は、当検討会において、残留放射線と内部被曝に関してご発表いただきありがとうございました。

検討会の複数の委員から沢田様のご発表に関して質問がよせられております。

今後の検討会における議論の参考とさせていただきたいと思っておりますので、別紙の質問事項についてご回答をいただければとおもっております。

本検討会の重要性に鑑み、是非ともご協力をお願いいたします。

平成19年10月19日

原爆症認定の在り方に関する検討会  
座長 金澤 一郎

## 平成 19 年 10 月 4 日の発表に対する質問について

- 1) 放射線症状の感受性について、身長個人差と同様の変動を想定しておられますが、(スライド 14) これを証拠立てる科学的資料があればお示してください。
  
- 2) 市被爆者が高い放射線にさらされたのであればがんなどによる死亡リスクの上昇も認められると期待されます。放射線影響研究所の疫学調査 (1) では、早期入市被爆者のリスクが平均寿命で示されており、1ヶ月以内の入市 4600 名の平均寿命 81 歳 330 日は 1ヶ月以降の後期入市 21900 名の 81 歳 115 日とほぼ同じです。またこれは 3 km 以内で推定線量ゼロの方々 8500 人の 81 歳 250 日とほぼ同じであります。そして 3 km から 7 km の地点で被爆した方々 23500 人の 80 歳 340 日より少し長く、リスクは若干低くなっています。このように入市被爆者での顕著ながんリスクの上昇は認められていないと理解されますが入市者の死亡リスクについてその上昇を示す知見があればお示してください。
  
- 3) 放射線影響研究所での調査は、DS86・DS02 の推定線量に基づいて 2.5-3 km を線量ゼロ集団として、発がんリスクが線量に依存して直線的に増加する「直線仮説」を支持する結果を出しています。沢田先生の見解はこの放射線影響研究所のリスク研究のこれまでの成果を全く否定するものと思われまます。沢田先生の線量推定では、1.4 km 地点では従来の倍、それ以遠では距離の 2 乗で低減するとされた DS02 線量をはるかに越えており、3 km 以遠のどこかに線量ゼロ地点を設定しなければなりません、これはどのあたりであるのか、お教えいただければ参考にしたいと思います。

また沢田先生の推定線量が 3 km 以遠で高いことから、低線量域でのリスク係数が従来のものより小さくなると想定されます。しかし放射線影響研究所の調査で得られているリスク係数は、独立になされた世界各地での疫学調査からも支持されています。この点についてのご見解をお聞かせください。

  
- 4) 放射性同位元素をもつ粒子による内部被ばくでは、エネルギー付与事象が生じた微小空間を小さくとればとるほどいくらかでも線量は高くなります。これは外部照射においても同様です。沢田先生のスライド 29 にある高い線量は、マイクロドジメトリーの計算としては正しいが、その線量が与えられる空間が小さいので、高線量であるから危険ということにはならないと思います。またこれまでの研究では、微粒子による内部被ばくが、その微粒子からの線量を組織で一様にならした場合に予測されるより高いリスクをもたらすという結果は知られていないと理解しております。実際の内部被ばく発がん例であるトロトラスト肝がんやラジウム骨肉腫での発がん線量は 10 Gy レベルにまでおよびます。以上を踏まえて、粒子による内部被ばくのリスクについてご見解をお聞かせください。
  
- 5) ご意見の中で、「DS02 の初期放射線が実測値と符合しているのは約 1.5 km まで」とありますが、広島原爆の中性子線について実測値から確認できることが日米で合意されたのは 1.

2 km までです。それ以遠については実測値では確認できないとされています、また、 $\gamma$ 線については、1. 2 km 以遠についてもほぼ確認されています。

また、全被曝線量を初期放射線量  $cP(r)$  と  $F(r)$  (残留放射線?) の和で表されていますが、爆心地付近で、ほぼゼロとなり、1 ~ 2 km で最大となる関数  $F(r)$  を正しいモデルとする根拠をお示してください。

6) 今回の発表内容について、専門家の査読がある学術雑誌に論文として出されたものがあればいただきたく存じます。

#### 参考

1. Cologne JB, Preston DL. Longevity of atomic-bomb survivors. Lancet. 356, 303-307, 2000.

原爆症認定の在り方に関する検討会  
座長 金澤 一郎 様

原爆症認定行政の在り方の抜本的改革のためにご尽力戴き感謝しております。先日の検討会におきましては申し上げるべき内容が多くあり、いずれも詳細を省いて結論的なことに絞って申し上げましたので、別紙「原爆症認定の在り方に関する検討会における報告の説明」（ご質問への回答では「報告の説明」と略記）をお用意しておりました。この「報告の説明」をお送りするとともに、お寄せ戴いたご質問事項について回答いたします。

2007年10月22日

名古屋大学名誉教授  
沢田昭二

ご質問への回答

1) 放射線感受性の分布が正規分布であることについて

放射線生物学において、放射線による死亡の放射線感受性の分布が正規分布であることは、動物実験などを通じて早くから知られていました。例えば J. キーファー著、代谷次夫監訳『放射線生物学』（シュプリンガー・フェアラーク東京、1993年）の18.4を参照してください。

急性症状の発症率に関しては放影研の Stram と Mizuno が求めた DS86 による初期放射線推定被曝線量と重度脱毛の発症率の関係と同じ放影研の Kyoizumi らによってマウスに人毛を移植して脱毛発症率を求めた実験があります。発症に関する放射線感受性が、死亡に関する放射線感受性と同じように正規分布になることは尤もなことだと思えます。さらに詳しくは「報告の説明」の3-1を参照して下さい。

2) 入市者の死亡リスクについてその上昇を示す知見について

そもそも、入市者の死亡リスクのような調査自体がほとんど行われていないことから存在しないと思われます。しかし、鎌田七男教授の研究によれば、広島における早期入市者の場合、0.5 Sv 以上の被曝が考えられるとされています。これは明らかに人体に有意な影響を及ぼす線量です。また、古い報告ですが、志水清氏は、入市被曝者の有病率が高いことを報告しています。このような入市被曝者に関する研究が、その後継続してなされなかったことは残念です。

放影研の寿命調査集団 (LSS) の初期放射線被曝ゼロ線量集団の死亡リスクの地域別亜集団に関する Cologne と Preston の Lancet 論文については承知していま

す。さらに、彼らはその後も論文を書き、また放影研の“update”のVol. 13(2002) 15—20においてもさまざまな検討を展開しています。

しかし、被爆者の放射線影響を論ずる場合、さまざまな理由から、死亡率ではなく、放射線影響が大きい障害の発症率について検討すべきだと思います。

Cologne と Preston が指摘するように7km～10km で死亡リスクが大きくなった理由には農村部と都市部の社会的条件の違いの可能性があります。また、LSS 集団全体の特殊性の可能性もあります。Cologne と Preston が触れていない点としては、被爆者は援護に関する法律に支えられて健康診断を受けており、癌の発症があっても死亡リスクが小さくなる可能性があります。死亡リスクだけで議論するのはこうした系統的な影響を無視する議論になる危険性を秘めています。しかし、私はこうした Cologne と Preston の検討した問題を解く上でも、初期放射線被曝だけでなく、放射性降下物の影響を考慮して総合的に検討しなければならないと考えています。

ドイツのブレーメン大学の Inge Schmitz-Feuerhake の放影研のコントロールに関する指摘は重要だと思います。すなわち、放影研のコントロールとされた遠距離被爆者や入市被爆者の全死亡原因、全疾病は日本人平均よりも死亡相対リスクは小さく、全悪性腫瘍も1を僅かに超えただけです。LSS に含まれる被爆者には、遠距離被爆者や入市被爆者も含めて1950年までに生きることができなかった人が含まれていないためとの Alice Stewart の指摘が裏付けられています。しかし、こうした全疾病の標準死亡相対リスクが1より小さいLSSの遠距離被爆者や入市被爆者でも、残留放射線による被曝影響が強いとされる白血病と呼吸器系癌の死亡相対リスク、乳がん、甲状腺がんおよび白血病の発症の相対リスクは軒並み大きくなっています。とくに死亡相対リスクより、発症相対リスクが顕著に大きいことは、被爆者についてはがん死亡リスクよりがん発症リスクを考慮すべきことを示しています。さらに個々の死亡原因を調査し、残留放射線による影響も取り入れた総合的研究が求められると思います。

### 3)

#### 3-1) 線量ゼロ地点について

お尋ねの被曝線量0の地点は、放射性降下物の影響を考えると広島では6.5 km以内、長崎では12 km以内には見つからないことになります。

#### 3-2) 低線量域でのリスク係数が従来のものより小さくなると想定されることについて

リスク係数が従来のものより小さくなると想定されるとありますが、線量当たりの絶対リスクは初期放射線と放射性降下物による実効的線量を加えた全被曝線量当たりにすれば小さくなります。しかし、相対リスクを求めることを考えると、回帰直線上で求めるべき真のゼロ線量の絶対リスクは、初期放射線がゼロのところではなく、回帰直線を初期放射線のマイナスの方に延ばしたところの真の全被曝線量ゼロの絶対リスクにすべきで、この絶対リスクは小さくなりますから、これを分母

にした相対リスクは大きくなります。「報告の説明」の 8. 放影研の外部比較法と内部比較法 を参照下さい。

3-3) 放影研の研究で、発がんリスクが線量に依存して直線的に増加する「直線仮説」を支持する結果を出していることについて

放影研の研究で遠距離の低線量領域において「直線仮説」を支持していることがどう変わるかについて具体的に調べるためには、確率変数を初期放射線量から全被曝線量に変更するとどうなるかの問題を調べなくてはなりません。末尾に貼付した図 1 放影研の脱毛から推定した全被曝線量と DS02 初期放射線 において、細い実線で表した DS02 の初期放射線量 (あるいは細い鎖線で表した DS86 の初期放射線量) から太い破線によって表した全被曝線量への変換になります。かなり単調な変換ですから直線性はそれほど大きく崩れないと思います。むしろ初期放射線の 1 Gy 以下の低線量領域の方が 3Gy 以上の高線量領域よりも相対的に大きな線量移動がありますので、先に引用した放影研の“update”の Vol. 13(2002) 15—20 の論文において Cologne と Preston が論文の図 3 に関して指摘した高線量部分の非線形性は弱くなって線形性がよくなる可能性があります。

4) 内部被曝について

内部被曝については「報告の説明」の 7. 外部被曝と内部被曝の違い において詳しく論じましたので参照して下さい。酸化ジルコニウム 1 個の微粒子だけの被曝線量を計算しましたが、実際に被曝実態を説明するためには、被曝者が気づかなかった莫大な数のミクロンレベルやナノパーティクルレベルの各種の放射性微粒子が体内に摂取されることを考えなくてはならないと思います。

ホットパーティクル説を否定する Charls 論文を読みましたが、ミリメートル間隔の不均一さをつくって平行ビームを照射したのでは、ミクロンレベルの細胞への局所的集中被曝ではないので様な場合と差が出なかったと考えられます。最近マイクロビームが実用化され、1つ1つの細胞に照射する実験ができるようになり、バイスタンダー効果なども見出されていますので、これから研究が進むと期待しています。

トロトラスト肝がんやラジウム骨肉腫での発がんはアルファ線が問題になりますが、アルファ線の飛程が極端に短じかく細胞のサイズレベルに近いため、10 Gy の大部分は直近の細胞の死滅に寄与している可能性を考慮する必要があると思います。アルファ線と異なってベータ線は直近の細胞が死滅しても、その周辺に発がんに至る可能性の高い被曝領域を多くつくり出す可能性があります。

5) DS02 と実測値の一致に関して

5-1) DS02 がどこまで確認されているかについて

日米合意の確認という意味では言われる通りです。DS02 報告書では、コバルト 60 については 1.3 km まで一致していると確認されたという表現があります。

どこまで実測値を評価するかで、私はアメリカ側の言い分に納得していません。

私は1.5 kmを超えた実測値の、長友教授らの2.05 kmまでのガンマ線の測定と1.676 kmまでの静間教授らの中性子の測定結果を、遠距離の測定だからバックグラウンドが大きいとして切り捨てることは納得していません。今でも DS02 の過小評価を示している貴重なデータだと思います。

#### 5-2) 放射性降下物の被曝線量を表す式について

放射性降下物の被曝線量を表す式は試行錯誤によって到達したものです。しかし、今になって次のように説明しています。

この回答の末尾に貼付した図2の全被曝影響に対応したPrestonらの発表した放影研の寿命調査集団 LSS の脱毛発症率と、DS86 の初期放射線量に対応した Stram と Mizuno による黒い菱形のプロットで表した同じ LSS 集団の脱毛発症率の差が放射性降下物に対応する発症率の増加です。そうすると、図2の実線と破線の間につくられ1.2km~4 kmの隙間が  $F(r)$  の関数形を示唆してくれます。ただし、爆心地から1 km 付近以内の部分は  $\chi^2$  フィット解析からはずしたので  $ar$  という因子のべき乗の指数は「報告の説明」に述べたように決まりません。爆心地付近は火球の上昇と火災による影響で上昇気流が続いたので放射性降下物の降下は平均して少なくなると考えられ静間教授らの被曝3日後に採取された土壌のセシウム137の測定からも裏付けられていることを表しています。図2の破線と実線が交叉していますが、これは EXCEL の図を smooth にした時のいたずらで、有意なものではありません。

#### 6) 査読のある雑誌の発表論文

3年前に何らかの急性症状を発症した有症率について解析した結果を求めましたが、個別の急性症状の発症率それぞれについて解析したほうが説得力があると考えて、現在ようやくその結果がまとまりかけてきたところです。まだ長崎についての計算の最後の段階ですが、放影研の LSS の脱毛を基準にしておこなったこれまでの研究結果を検討会に報告した次第です。

広島脱毛に関する研究結果を2005年広島で開かれた Pugwash 会議の Working Group で報告したところ London 大学の物理学教授が関心を示し、放射線影響学の専門家が査読して“Medicine, Conflict and Survival” January-March 2007; 23 (1): 58-74 に掲載されました。その pdf を貼付いたします。

長崎の急性症状発症率の解析を行いながら、併行して現在欧文雑誌に投稿する準備を進めています。かなり長い論文になりそうです。一番重要な最近の発見は下痢の発症率を説明するためには初期放射線と残留放射線の影響の両方に別々の線量-発症率関係の正規分布を導入しなければならないことです。これをいっそう正確にするために試行錯誤を繰り返しながらパソコンで  $\chi^2$  解析をおこなうので時間がかかりますが、頑張っています。10月23日からイタリアに行き原爆展と被曝の実相を講演し、11月3日に帰国するまで、日本を留守にするので何かありましたらその後にご連絡下さい。

在り方検討会が、被曝実態に合致した結論を出して下さることを願っています。

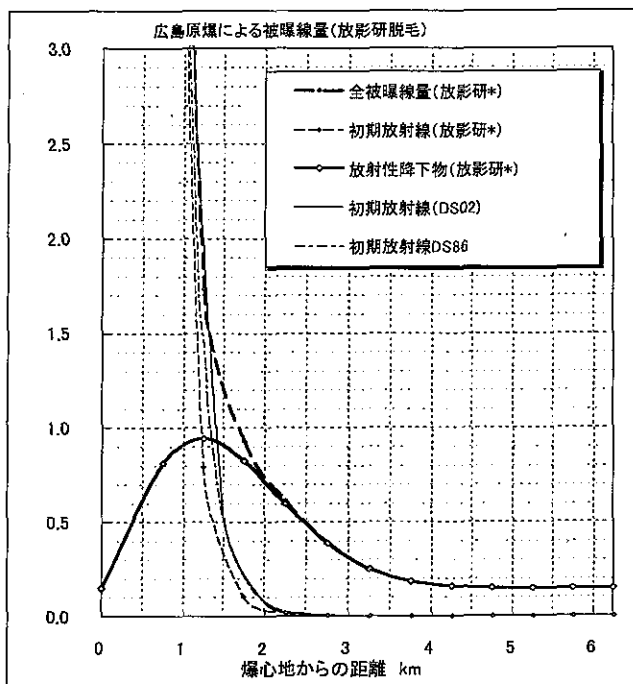


図1 放影研 LSS の脱毛発症率から求めた全被曝線量と DS02

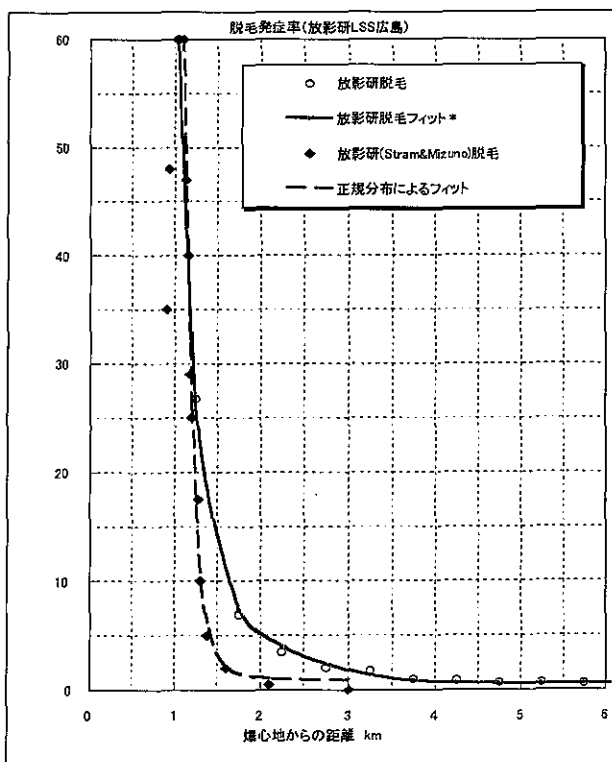


図2 放影研 LSS の初期放射線と全被曝線量による脱毛発症率



# 「原爆症認定の在り方に関する検討会」報告の説明

2007年10月22日

澤田 昭二

名古屋大学名誉教授

はじめに

1. DS02の初期放射線の遠距離推定線量は過小評価の可能性
2. 放射性降下物の微粒子は広範囲に大量に降下した
3. 放射性降下物による被曝影響の推定
  - 3-1. 被曝線量と急性症状発症率の関係
  - 3-2. 広島脱毛発症率の解析に基づく放射性降下物による被曝影響
  - 3-3. 広島原爆の紫斑と下痢の発症率解析に基づく放射性降下物による被曝影響
  - 3-4. 急性症状発症率に基づく長崎原爆の放射性降下物による被曝影響
4. 誘導放射化物質による被曝
5. 染色体異常の頻度による被曝線量の推定
6. 放影研コントロール集団の晩発性障害の相対リスク
7. 外部被曝と内部被曝の違い
8. 放影研の外部比較法と内部比較法
9. 残留放射線影響を無視した「原因確率」の欠陥
10. ホール・ボディ・カウンターの測定は放射性降下物による被曝影響の測定ではない
11. まとめ

おわりに

付録 被曝線量の理論式と $\chi^2$ フィット

# 残留放射線と内部被曝

沢田 昭二

## はじめに

私は放射線現象の基礎にも関わる素粒子・原子核物理学の理論的研究を行ってきた。1990年代の後半に葉佐井博己博士や静岡清博士の原爆放射線測定グループの研究会に参加して、主に初期放射線の測定結果について解析を行い、DS86を見直す日米ワークショップにおいてDS86の初期放射線計算値が遠距離において系統的に過小評価になっていることを報告した。また放射線影響学会広島大会の分科会においてDS86の遠距離過小評価の原因についての検討結果を報告した。その後、被爆者の被曝実態と原爆症認定基準の乖離の原因が、初期放射線の遠距離過小評価だけでなく残留放射線の過小評価、ないし無視である可能性が問題になって以来、残留放射線に関する研究を続けている。

原爆症認定集団訴訟の6地裁判決は、被爆者の証言と被曝実態を捉えた多くの調査結果に基づいて、共通して残留放射線と内部被曝の重要性を認め、判決に従って原爆症認定のあり方の抜本的転換が必要であることがいっそう明らかになっている。ここでは、こうした判決の背景となっている残留放射線の問題を科学的に裏付ける被曝実態調査の研究結果に基づいて10月4日の原爆症認定の在り方に関する検討会の報告の補充説明をおこなう。以下においてさまざまな数値を示すが、それは被曝実態を踏まえれば残留放射線被曝を無視できないことを示すためであって、その数値には不確定性が伴っており、半定量的ないし半定性的な性格のものであることをお断りしておく。

### 1. DS02の初期放射線の遠距離推定線量は過小評価

1945年8月6日、ウラン爆弾が広島市街の中心600メートル上空で爆発し、16,000トンのTNT火薬の爆発に相当するエネルギーを放出した。3日後の8月9日プルトニウム爆弾が長崎市の北部の上空500メートルで爆発し、TNT火薬22,000トンの爆発エネルギーを放出した。原爆の爆発による物理学的被害は3つに分けられる。第1は、火球からの熱線が人を焼き殺し、火傷を負わせ、火事を引き起こした。第2は、衝撃波と爆風が人びとを殺傷し建物を破壊した。第3は放射線による障害である。これらは相互に複合した被害をもたらした。

百万分の1秒以内という瞬間的時間内に継続した核分裂の連鎖反応によって放出されたガンマ線が、爆発点に小さな太陽ともいべき高温・高圧の大気プラズマ状態である火球をつくり、この火球および大気中で中性子を吸収した原子核から2次のガンマ線が放出された(図1)。原爆から1分以内に放出された中性子とガンマ線を初期放射線という。

現在の原爆症認定に関する審査の方針の中では、DS86 に基づいて初期放射線による被曝線量が別表9に爆心地から2.5 kmまで与えられている。裁判において国側はDS86の正当性は改訂された線量評価体系DS02によって裏付けられたと主張するが、計算による推定値であるDS02の実測値との一致が確かめられたのは爆心地から1.5 kmまでである。DS02の策定においては1.5 km以遠の実測値は原爆以外の自然放射線によるバックグラウンドが大きいとする主として米側科学者らの主張によって、1.5 km以遠の実測値との比較は棚上げになっている。大阪地裁の証人尋問において、DS02の遠距離推定線量が実測値と比較してすべて過小評価であることの裁判長の確認質問を国側の証人も肯定せざるを得なかった。DS02の報告書に記載されている実測値に基づいて、遠距離ではDS02の推定線量が過小評価になっている根拠を以下に列挙する。

(1) 遠距離ガンマ線 広島原爆の初期放射線のガンマ線の長友教授らによる実測値に基づく、DS86とDS02のガンマ線量は爆心地から1.5 km付近から系統的に過小評価になり、測定された2.05 kmまで過小評価の度合いが拡大している。遠距離では中性子を吸収した大気中の原子核が放出する2次ガンマ線の割合が大きくなることから、長友教授らは、DS86の推定ガンマ線量の過小評価の原因として1.5 km付近から中性子線線量が過小評価になっていることを示唆した。

(2) 広島熱中性子 中性子に関する最も遠距離の実測値は静間教授らによる広島の爆心地から1.676 kmのコバルト60の測定結果である。この測定結果はコバルト60の半減期が5年余と短いため、測定環境の良い金沢大学尾小屋実験室でも小村教授らが追測定できなかった貴重なデータである。この距離よりも近距離の静間教授らのコバルト60の測定は小村教授らの追測定によって支持され、1.676 kmにおける静間教授らの測定の信頼性も高まっているので、DS02の中性子線の推定線量が距離とともに過小評価になっていることが推測される。かつての静間教授らのユーロピウム152の測定値は小村教授らの精度の良い実験によって修正を受け、爆心地から1.5 kmまではDS02の推定値とほぼ一致していることになったが、小村教授らの1.5 km付近のユーロピウム152の実測値の距離による減少傾向に比してDS02の減少傾向が大きいので、1.5 kmを超えるとDS02が過小評価に転ずることを示している。以上のコバルト60やユーロピウム152の測定は熱中性子と呼ばれるきわめて低エネルギーの中性子の測定であるが、遠距離の低エネルギー中性子は近距離の高エネルギー中性子が大気中の散乱でエネルギーを失いながら遠距離まで到達したもので、その過小評価は近距離と遠距離の高エネルギー中性子の過小評価を示唆している。

(3) 高速中性子 ストローメらの高エネルギー中性子の測定結果が1.5 kmまでのDS02の推定値と一致したことがDS02を策定する決め手の1つになったが、一致しているといわれた1.5 kmまでの中性子線の距離による減少傾向を比較すると推定線量の方が実測値よりも速く減少しており、高エネルギー中性子の中で最もエネルギーの高い部分の割合の過小評価を示し、やはり遠距離の高エネルギー中性子線量の過小評価につながることを示唆している。

(4) 長崎熱中性子 長崎原爆については1.5 kmを超える遠距離中性子線の測定は行われ

ていない。しかし、静間教授らの 1.5 km 以内のコバルト 60 の測定は、DS86 の推定線量が近距離におけるやや過大評価から遠距離における過小評価に転ずることを示している。

(5) 原爆レプリカとの一致 DS86 の報告書は原子炉でつくった原爆のレプリカからの放出線量と DS86 の推定線量が一致したと述べている。この一致はかえって、原爆と原子炉の核分裂の連鎖反応で主要な役割を果たす中性子のエネルギーの違いが表れていないことを示している。すなわち、原爆では 100 万分の 1 秒以内に連鎖反応を終了させる必要から高速中性子が連鎖反応の主役である。一方、原子炉では持続的に連鎖反応を進行させるために熱中性子と呼ばれる低速中性子が主役をつとめる。核分裂では入射中性子のエネルギーが高いほど放出される中性子の高エネルギー部分の割合が多くなるので、原爆では高エネルギー中性子の放出が原子炉の場合よりやや多くなる。

(6) ソースタームの修正で実測値と一致 DS86 や DS02 の遠距離における過小評価の原因はソースタームと呼ばれる原爆容器を貫いて放出された中性子の高エネルギー成分の計算値が実際の放出量よりも過小評価になっていることにあると考えられる。ソースタームの高エネルギー部分の線量を修正すると上記の遠距離の実測値と DS02 の不一致はほぼ解消する。したがって、ソースタームの計算に問題がある可能性が高い。このことは早くから日本の科学者によって指摘されていた。しかし、原爆の軍事機密性によって計算の内容の詳細に立ち入ることができないのでこれ以上原因を明らかにすることはできない。

以上をまとめると、DS86 と DS02 はともにガンマ線、高低エネルギーの中性子線のいずれに対しても 1.5 km 以遠において過小評価になることが示唆されており、この示唆に反するものは見出されていない。DS02 の初期放射線の推定線量が実測値と符合しているのは約 1.5 km までである。それ以遠は過小評価になっている可能性が高い。したがって、原爆症認定審査の方針において、1.5 km 以遠の初期放射線による被曝評価に DS86 および DS02 の線量評価を適用することは妥当性を欠いている。

## 2. 放射性降下物の微粒子は広範囲に大量に降下した

爆心地に近いところでは、地上の物質の原子核が初期放射線中の大量の中性子を吸収することによって誘導放射化物質になり放射線を出し続けた。1 分以後に放出された放射線を残留放射線という。残留放射線には放射性降下物からの放射線もある。

**衝撃波や爆風によって放射性降下物が飛び散ることはない**

火球の膨張でつくられた超高圧のショックフロントと呼ばれる大気の層が火球表面から離れ、強い衝撃波を形成して外に向かって広がった。衝撃波によってつくられた強烈な爆風が、衝撃波が通過した後に続く。衝撃波が火球を離れたとき、放射性降下物となる放射性物質は火球の内部にほとんど留まっている。その放射性原子核の数は、(1) 核分裂生成物の原子核：3 兆個の 1 兆倍（広島）、5 兆個の 1 兆倍（長崎）、(2) 核分裂しなかったウラン 235 の

原子核：150兆個の1兆倍（広島）、プルトニウム239の原子核：20兆個の1兆倍（長崎）、  
(3) 中性子に誘導放射化された原爆機材・容器の原子核：2～5兆個の1兆倍と推定される。  
これらの放射性原子核は国側が主張するように爆風によって飛び散ることはない。これら放射  
性原子核は火球とともに上昇し、火球が膨張冷却すると、放射性の微粒子になって水蒸気  
を付着させて水滴の核になり、原子雲（きのこ雲）を形成する。乾燥した砂漠ネバダの核実  
験においてつくられた原子雲は短時間で消滅したのに対し、湿度の高い日本の夏では水滴が  
大きく成長し、原子雲は長時間存続して四方に広がり、一部が黒い雨として降下した。核実  
験とは異なる形態の放射性降下物をもたらした。ネバダの核実験においては放射性降下物に  
降雨がなく放射性微粒子だけであり、この放射性微粒子が放出した放射線の測定がおこな  
われている。広島・長崎原爆については放射性降下物の降下中の測定はおこなわれなかつた。  
そのため、放射性降雨によって地中の土壌に残された放射性物質からの残留放射線を測定せ  
ざるを得なかつた。

図3の写真は米軍が約1時間後に松山市上空付近から撮影した広島原子雲、図4は雲仙岳  
測候所からの約40分後の長崎原子雲のスケッチである。原子雲の中軸部分は圏界面を突き  
破って上昇し高度約15 kmに達し、周辺部分は圏界面に沿って四方に広がり、長崎原爆では  
厚い部分が約15 km先端は約20 kmにまで広がった。

図5は長崎の原子雲を北側から見た想像図である。原子雲の中軸部分は激しい上昇気流に  
よって水滴が急成長し強い放射性降雨となった。中軸部分の上昇気流を捕って原子雲の周辺  
部分には下降気流が生じ、原子雲の水滴は水分を蒸発させて放射性の微粒子となり原子雲の  
下の大気中に充満した。このことは黒い空に赤い太陽が「火の玉」のように見えたという被  
爆者の証言によって裏付けられている。あらかじめ準備されたネバダ砂漠の核実験では、実  
験ごとに広い範囲で放射線の測定がおこなわれ、放射性微粒子による強い放射線が測定され  
て、放射性微粒子の降下範囲がかなり広範囲におよんだことが確かめられている。これに対  
し、広島・長崎原爆の場合には、放射性微粒子がいったん水滴の核になり、水滴が結合して  
大きくなった放射性微粒子が爆心地に向う下降気流に乗って原子雲の広がった範囲に降下し  
たと考えられる。放射性降下物のうち放射性降雨に含まれて地中にしみ込み、風雨によって  
運び去られなかつた放射性物質は、放出する放射線の物理学的測定によってある程度推察で  
きるが、土壌に含まれていた放射性物質は地形や土壌の吸水性などの性質に大きく左右され  
て測定結果には大きなばらつきが見られる。大気中に浮遊していた放射性微粒子あるいは地  
表面の放射性微粒子は、時間の経過とともに風によって運び去られてしまうので、放射性微  
粒子の量をあらかじめ準備されていない状態で物理学的に測定することは不可能である。

原爆症認定に関する審査の方針の4の3)には、放射性降下物による被曝線量として、広  
島では己斐または高須の0.006～0.02 Gy、長崎では西山3、4丁目または木場の0.12～0.24  
Gyのみが認められている<sup>1</sup>。これらの地域では強い放射性降雨があり、地中にしみ込んだ放

<sup>1</sup> Gy グレイ：被曝組織1kg当たりが1ジュールのエネルギーを放射線から受け取ったとき1Gyとする吸収線量