

# 広島・長崎原爆放射線推定方式 DS02 の背景と総括

葉佐井 博巳\*  
広島国際学院大学

広島・長崎原爆放射線量評価に関する日米合同 WG (米国側代表：R.Young、日本側代表：葉佐井) は、放射線影響研究所 (RERF) が原爆被爆者のリスク解析に用いている 1986 年線量推定方式 (DS86) の再評価を行い、新たな線量推定方式 DS02 をとりまとめるに至った。本報告では、原爆線量評価問題の歴史的背景を含め、DS86 の再評価と DS02 策定に至った経緯をまとめておく。DS02 の作業は日米独の研究者が共同して行ったものであるが、ここでは日本の研究者が寄与した研究を中心に述べる。個々の研究の詳細については、それぞれの報告を参照されたい。

## ・歴史的背景

### (1) 爆投下直後の測定

1945 年 8 月 6 日広島に最初の原子爆弾が投下され、3 日後の 8 月 9 日には長崎にも投下された。新型爆弾投下のニュースを受けて、直ちに日本の科学者ら数グループが被爆地を訪れ調査を開始した。一方米軍は、広島の前爆投下直前に測定器を搭載したパラシュートを投下し、それから得た圧力情報から爆弾の出力を 16.5kt と推定していた。

日本側では、陸軍の依頼で 8 月 9 日仁科らが来広し、砂や骨などからの放射能を測定、原子爆弾と確認した。さらに海軍の依頼により 8 月 10 日大阪大学の浅田らが誘導放射能を予測し、箔検電気、GM 計数管や写真乾板を持参し、広島市内の放射能を測定している。京都大学の荒勝、木村らは、自主的に調査隊を編成し 8 月 10 日第 1 次調査隊が土砂を採取し、その資料を持ち帰りベータ線を測定した。13 日には第 2 次調査隊が再確認のため市内約 100 箇所から資料を採取し、中性子による誘導放射能を確認した。馬の骨から  $^{31}\text{P}$ (n,  $\gamma$ ) $^{32}\text{P}$ ,  $^{32}\text{P}$   $^{32}\text{S}+$  を測定し、爆心地の速中性子数を  $10^{10} \sim 10^{13} / \text{cm}^2$  と推定した。第 3 次調査隊は長期調査を計画したが、残念なことに 9 月 17 日の大暴風雨のため 3 名の隊員を失い調査を断念した。

8、9 月には理化学研究所の山崎らが、人骨中の  $^{32}\text{P}$  から熱中性子数を、捕獲断面積  $0.2 \times 10^{-24} \text{cm}^2$  と仮定し、 $9 \times 10^{12} / \text{cm}^2$  と推定、さらに硫黄中の  $^{32}\text{S}$ (n,p) $^{32}\text{P}$  から速中性子数を散乱断面積  $3.7 \times 10^{-27}$  と仮定し  $1.2 \times 10^{12} / \text{cm}^2$  と推定した。また広島西方で放射能の異常に高い場所を発見した(放射能降下物)。

また長崎では 1945 年 9 月 10 日九州大学の篠原らが爆心地付近の放射能を測定し Lauritsen 検電気で自然係数の 8 倍の量があることを報告している。また 10 月 1 日には西山地区で自然係数の 200 倍を観測している。

日本学術会議では 1945 年 9 月初めに日本の科学者らを多数動員し、被爆の状況を広く調査させた。しかし、調査結果が日本学術会議により原子爆弾災害調査報告書として出版されるのは、連合軍占領統治が終わったあとの 1953 年であった<sup>(1)</sup>。この報告には先に述べた直後の測定も詳細に掲載されている。

1945 年 9 月下旬にはアメリカの陸軍、海軍、マンハッタン計画の専門家チームが来日し、日本人科

\* HASAI Hiromi, Hiroshima Kokusai Gakuin University; [hasai@hkg.ac.jp](mailto:hasai@hkg.ac.jp)

学者と共同で調査を行っている<sup>(2)</sup>。

## (2) T65D までの経緯

1946 年 11 月アメリカ大統領 Harry S Truman は、日米医学研究者で組織された放射線の影響を研究する日米共同委員会(1945 年 10 月 12 日発足)の勧告を受け、広島、長崎の生存者らを長期にわたり研究するよう米国科学アカデミー(NAS)に命じた。NAS は直ちに原爆傷害調査委員会(ABCC)を設け、広島、長崎に研究所を設置して調査を開始した。この ABCC は 1975 年に、放射線影響研究所(REF)という日米共同組織となり、原爆被爆者の健康と福祉の保持と、放射線の生物学的影響の研究を通じ全人類の健康に貢献することを目的とし、広島で約 8 万人、長崎で約 4 万人の追跡調査を行っている。追跡調査を基に放射線の影響を評価するためには、被爆者の浴びた放射線量が不可欠である。

米国では 1956 年、広島・長崎原爆被爆者の放射線量を推定するため、ORNL を中心に極秘プロジェクト「ICHIBAN」がスタートした<sup>(3)</sup>。ネバダ核実験場に日本家屋を建設し、原爆実験により線量と遮蔽効果の測定を行い、暫定線量「T57D」を発表した。さらに 1960 年から地上 500m のタワー実験を開始、裸の原子炉で中性子を、1200Ci のコバルト 60 を用いて線の測定を行った。一方日本では、放射線医学総合研究所(NIRS)の橋詰らが独自に残留放射能測定を行い、誘導放射能<sup>60</sup>Co から中性子線量を、熱ルミネッセンス(TLD)測定から線量の推定を行った<sup>(4)</sup>。それらの結果が ORNL とほぼ一致し 1965 年 ABCC, ORNL 研究所から暫定線量「T65D」が発表された。原爆の出力は広島で  $12 \pm 1$ kt、長崎で  $22 \pm 2$ kt と推定された。

## (3) T65D から DS86 まで

1970 年後半まで T65D はかなりの信頼度を持って使用されてきた。その後 ABCC や REF で臓器の吸収線量の推定が出来るようになり、T65D 線量に基づいて白血病になる危険度を解析すると、長崎に比べ広島の方がかなり大きくなることが判明した。1976 年 Rossi は米国放射線防護測定委員会に、中性子による許容線量限度を低くするよう勧告した<sup>(5)</sup>。一方、核兵器開発のため放射線漏洩を計算していた LANL の Preeg が、広島、長崎の原子爆弾についての計算データを明らかにし、広島原爆による中性子が T65D に比べ少ない可能性を示唆した<sup>(6)</sup>。こうして T65D 線量再評価の気運が高まり、1981 年、米国ではエネルギー省(DOE)が原爆放射線量再評価作業グループを組織し、原子爆弾出力、ソースターム、空中輸送、家屋遮蔽、臓器線量などを線量評価に関する要因すべてを再評価させることにした。日本では厚生省が、原子力安全委員会委員の田島英三や NIRS の橋詰らを中心に研究チームを結成した。このチームは先の NIRS の鉄筋中誘導放射能<sup>60</sup>Co データの補足に重点を置き、石や建造物内の誘導放射能<sup>152</sup>Eu の測定も開始した。さらに、遠距離でのタイルやブロックを使って TL の測定を進めた。また、日本の文部省の援助により、いくつかの研究グループが発足した。原爆線量再評価の日米共同ワークショップが 1983 年から 1986 年までに 4 回開かれ、最終報告は DOE と日本のワーキンググループのメンバーによって作成され、第 4 回ワークショップにおいて REF で用いる線量推定方式として DS86 使用が承認された<sup>(7)</sup>。

### ・ DS86 の再評価

#### (1) 再評価の始まり

DS86 では、米国のグループが原爆の出力を推定し、中性子や線の原爆放出エネルギースペクトルを計算し、大型計算機を駆使して輸送計算を行った。一方、日本チームは誘導放射能や TL の測定か

ら現場の線量を推定することを行い、原爆放射線量推定方式 DS86 が作成された。

国際的な放射線防護基準は、この DS86 に基づく原爆被爆者データに長らく依存してきた。しかし残念ながら、日本チームの出した誘導放射能  $^{60}\text{Co}$  のデータは、DS86 に基づく計算と一致していなかった。これは資料の数が少ないため、積極的に資料を集めデータを増やせば解決すると考え、DS86 を検証するため、広島グループが中心となり測定を始めた。このメンバーには DS86 の策定に参画した星も含まれている。

広島グループは当初、爆心から 130m に位置する元安橋橋柱の  $^{152}\text{Eu}$  の深度分布を測定した<sup>(8)</sup>。その後、文部省からの援助を受け、日本の科学者が共同で再評価の作業を開始した。静間らは、被爆建造物、特に花崗岩に着目して約 100 に及ぶサンプルを採取し、花崗岩中の  $^{152}\text{Eu}$  や、被爆鉄材中の  $^{60}\text{Co}$  の測定を行った。その結果広島では、DS86 に基づく計算値に比べ、測定値が近距離で小さく遠距離では大きくなり、計算と実測の間で顕著な系統的違いが認められた<sup>(9)</sup>。一方米国の Straume らは、広島の被曝建造物コンクリートに含まれる  $^{36}\text{Cl}$  の測定を行い、日本側による  $^{60}\text{Co}$  や  $^{152}\text{Eu}$  の測定と同じ傾向を報告した<sup>(10)</sup>。日本グループは、中性子誘導放射能に関するこうした測定値と計算値の違いについて、爆発高度や、様々な爆発過程を想定して検討してきた。これらの問題は日本の研究者だけで解決することではないので、1994 年から 97 年までに広島で 4 回、また 1996 年から 2000 年まで米国 Irvine で 3 回、日米ワークショップを開催して検討した。これらの反響を受けて、米国 DOE の呼びかけがあり、2000 年 12 月に米国グループの代表者 Young と Kerr が来日し、日本グループ代表の葉佐井と会い日米実務研究者会議を持つことになった。もちろん日本の厚生省も協力することになった。

## (2) 日米実務研究者会議

第 1 回日米実務研究者会議(日米 WG 会議)は、2001 年 3 月 21 日から 2 日間、広島の国際会議場で開かれ、測定値と計算値が一致する部分、不一致と不確実性が認められる部分、およびこのような不確実性を解消するための方策を検討し、今後の課題について確認した。第 1 回日米 WG 会議では、以下の点について同意した。

- 1) LANL において新たに計算された広島原爆アウトプットスペクトルを基に、新しい放射線量計算方式を 1 年以内に完成させるよう努力する。
- 2) 爆心地から 1km 以遠における誘導放射能サンプルについて、より精度の高い測定を行う。特に金沢大学の小村に依頼して尾小屋地下実験室の低バック Ge での測定を行い、静間らのデータと相互比較を行う。これらの測定は今年度中に完成させる。
- 3) 1 年以内に誘導放射能に関する測定値と計算値の不一致を解決するよう試みる。

第 2 回日米 WG 会議は 2001 年 6 月 11～14 日、米国保健物理学会に合わせて Cleveland で開かれた。米国側から、LANL の新スペクトルに基づく輸送計算についての報告があったが、中性子計算不一致問題の解消につながるような結果は得られず、基本的に DS86 と同じ計算結果であった。ドイツのミュンヘンから参加した Ruehm より、加速器質量分析装置(AMS)を使って測定した  $^{36}\text{Cl}$  の結果について発表があった。内容は、広島の 5ヶ所の花崗岩サンプルを測定した結果、産地による宇宙線バックグラウンドを仮定し、測定値から差し引くと DS86 と一致するというものであった。また、AMS による  $^{63}\text{Ni}$  の測定についても報告があり、1400m での測定値は DS86 計算値に比べ 3～4 倍であった。 $^{63}\text{Ni}$  データについても、バックグラウンドを考慮すると DS86 計算値と合うという報告であった。これに対し日本

側メンバーは、 $^{152}\text{Eu}$  データでは、宇宙線バックグラウンドの寄与は無視できるほどであり、バックグラウンドを考慮しても計算と測定の不一致は解消しない、と述べた。

第3回日米 WG 会議は 2001 年 11 月 14～15 日広島で開かれた。2001 年 6 月の Cleveland 会議で披露されたドイツグループによる花崗岩中  $^{36}\text{Cl}$  と銅中  $^{63}\text{Ni}$  の AMS 測定結果、静岡の  $^{152}\text{Eu}$  サンプルを小村が尾小屋地下実験室で行った再測定結果などが検討された。米国の Straume は、コンクリート中  $^{36}\text{Cl}$  データについて、「表面汚染効果」および「バックグラウンド」を考慮すると、測定と計算はよく一致すると報告した。また、筑波大学の長島から、AMS による広島  $^{36}\text{Cl}$  サンプル測定の現状報告があった。小村の静岡サンプル再測定結果は、静岡データと矛盾しないものであったが、遠距離サンプルの測定は検出限界以下のサンプルが認められ、計算との比較についてははっきりした結論は出せなかった。第3回会議では、以下の今後の課題として以下の2点で合意した。

- 1) 検出限界やバックグラウンド効果のため、遠距離での誘導放射能測定データを基に計算との一致について細かい議論を行うのは困難である。今後の方向性としては、爆発距離 1200m 以内のデータに重点をおいて検討する。
- 2) 静岡らが既に測定している花崗岩などの広島サンプルなどを用いて、小村による  $^{152}\text{Eu}$  低レベル線測定、Ruehm、Straume ならびに長島による  $^{36}\text{Cl}$  の AMS 測定を行い、相互比較を実施する。

2002 年 3 月 1 日、アメリカ側 WG の要請で急遽サンディエゴ近くの SAIC において第4回日米 WG 会議がもたれた。そこで米側は、広島原爆について爆発高度を 20m 引き上げ、出力は 15kt に据え置いて新たな線量評価方式 DS02 をまとめたい、と言う提案を行った。日本側は、誘導放射能に関する計算と測定の不一致問題を解消するためには、原爆放出スペクトルを含むソースタームを見直す必要があると主張した。結局、LANL のソーススペクトルは変更しないが、DS86 より詳細な輸送計算を行った結果、測定値との比較は直線距離にして 1km まではほぼ一致するに至った。米国側としては、もっと遠方の測定データは測定誤差が大きく計算結果の妥当性を判断できないという見解であった。DS02 の採択については、次回の広島合同 WG で改めて検討することになった。

第5回日米合同 WG 会議は、2002 年 4 月 3～4 日に広島の放影研で開かれた。米国側から 11 名、日本側から 17 名、さらにドイツから 1 名の研究者が参加した。また、米国側から DOE および日本側から厚生労働省の担当官各 1 名がオブザーバーで出席した。米国側は、新たな線量評価方式 DS02 についてこの会議で日本側から基本的な合意を得る心つもりであった。会議ではまず、小村から  $^{152}\text{Eu}$ 、長島と Ruehm から  $^{36}\text{Cl}$  に関する相互比較測定の間接報告があった。3 者の測定データは相互によく一致し、また DS02 による計算結果とも 1.2km の距離まで一致していた。相互比較測定の報告をうけて、態度を保留していた日本グループも、「中性子不一致問題を解決する方向性が明らかになった」として、新線量評価方式 DS02 の策定に基本的に合意した。9 月に予定する次回の WG 会議で、DS02 の報告書作成について相談することになった。

日本側は 2002 年 8 月 19 日に広島で WG 会議を開き、小村と長島から相互比較測定に関する報告を受けるとともに、9 月会議に向けての方針を検討した。結局、広島の  $^{60}\text{Co}$  測定データなど open question

はいくつか残るものの、DS02 は全体として妥当であろう、ということになった。2002 年 9 月 11～12 日に広島・放影研で第 6 回日米 WG 会議が開かれ、日本側 15 名、米国側 6 名、またドイツから 2 名が参加した。相互比較測定の結果は、米国 Straume の  $^{36}\text{Cl}$  測定も含めて互いに一致し、1200m の距離まで DS02 計算値とも基本的に一致することが報告された。細かい遮蔽計算など、若干の課題は残っているものの、日米合同 WG として新線量評価方式 DS02 に合意し、上級諮問委員会へ報告することとなった。DS02 報告書をまとめる過程で、2002 年暮れ米国側 WG から、広島原爆の出力を 16kt に修正するとの連絡があった。建物等の遮蔽効果を細かく考慮したモデルで誘導放射能を計算し測定値と比較した結果、16kt とした方がよいという理由であった。

#### ・ DS02 の承認

日米合同 WG が策定した DS02 の妥当性を検討するため、米国 DOE と日本の厚生労働省は日米合同上級委員会 (JSRG) を設置した。JSRG のメンバーは、米国側 4 名 (Warren K. Sinclair, Harold L. Beck, Richard E. Faw, Nolan E. Hertel) と日本側 4 名 (森亘、濱田達二、丹羽太貫、葉佐井博巳) の計 8 名であった。2003 年 1 月 21～23 日、JSRG は米国 Pasadena のカリフォルニア工科大学でヒアリングを開き、日米 WG から DS02 策定作業について個々の課題の担当者から説明を受けた。

2 回目の JSRG 会議は、2003 年 3 月 14～15 日に東京で開かれた。米国側 WG の Young から改めて総合的な説明を受けた後、JSRG は、RERF で実施されている被爆生存者追跡調査で用いる新たな線量推定方式として DS02 を承認した<sup>(11)</sup>。

DS86 と DS02 の主な相違点をまとめると次のようになる。

	DS86	DS02
<b>&lt; 広島 &gt;</b>		
爆弾出力	15 キロトン	16 キロトン
爆発高さ	580m	600m
線量		若干増加 (10%以内)
中性子線量		1-2km で増加 (最大 10%)
<b>&lt; 長崎 &gt;</b>		
爆弾出力	21 キロトン	変化なし
爆発高さ	503m	変化なし
線量		若干増加 (約 10%)
中性子線量		1-2km で減少 (10-30%)

日本側 WG は、2003 年 5 月までに DS02 報告書に関するすべての分担原稿を米国側に送り、昨年秋には放射線影響研究所から報告書が発表されるものと思われた。しかしながら、その後米国側 WG 内で、長崎 線データに関する細かい議論が蒸し返されるなどといった事情により、DS02 報告書は未だ発表されるに至っていない。本研究会 1 カ月前の 2004 年 6 月に米国側 WG 代表の Young が来広し、DS02 報告書ドラフトについて議論した。米国 WG で長崎原爆の遅発 線について再計算を行ったが、結局、DS02 を変更する必要はないことでコンセンサスが得られ、現在は報告書完成にむけて全力で取り組んでいるとのことであった。日米合同 WG の最後の仕事として DS02 報告書を早急に発表したい。

## 参考文献

1. 日本学術会議原子爆弾災害調査報告書刊行委員会編；原子爆弾災害調査報告集、日本学術振興会、1953 .
2. R.H. Ritchie, G.S. Hurst；核兵器放射線の透過性：広島・長崎調査への応用、ABCC TR 26-59, 1959 .
3. J.A. Auxier；ICHIBAN: Radiation Dosimetry for the Survivors of the Bombings of Hiroshima and Nagasaki. TID-27080, 1977.
4. Hashizume, T. et.al.; Estimation of the air dose from the atomic bombs in Hiroshima and Nagasaki. Health Phys. 13 (1967)149-161.
5. Rossi, H.H. and Mays, C.W.; Leukemia risk from neutrons. Health Physics 34 (1978)353-360.
6. Preeg W. E., Letter to C. P. Knowles dated on April 5, 1976.
7. W. C. Roesch Ed.; US-Japan Joint Reassessment of Atomic Bomb Radiation Dosimetry in Hiroshima and Nagasaki. (DS86 Final Report) Vols. 1&2. RERF, 1987.
8. Hasai, H. et.al.; Europium-152 depth profile of a stone bridge pillar exposed to the Hiroshima atomic bomb:  $^{152}\text{Eu}$  activities for analysis of the neutron spectrum, Health Phys. 53:227-239; 1987.
9. Shizuma, K. et.al.; Residual  $^{152}\text{Eu}$  and  $^{60}\text{Co}$  activities induced by neutrons from the Hiroshima atomic bomb. Health Phys. 65: 272-282; 1993.
10. T. Straume et.al.; Neutron Discrepancies in the DS86 Hiroshima Dosimetry System. Health Phys. 63 (1992)421-6.
- 11 . 原爆放射線量評価検討会、「DS02 に関する原爆放射線量評価検討会日米会議報告書」厚生労働省健康局総務課、2003年3月 .