

長崎の残留放射能の測定と DS02 との比較および広島・長崎の原爆の爆発威力の評価について

静間 清 (しずま きよし)

広島大学 名誉教授



1949 島根県生まれ
72 広島大学理学部卒
77 広島大学大学院理学研究科単位取得退学
79 広島大学工学部助手
92 広島大学工学部助教授
97 広島大学教授
2005 広島大学大学院工学研究科教授
13 広島大学定年退職、広島大学特任教授
18 広島大学客員教授
22 現職

主な著書

「原爆放射線の人体影響 1992」放射線被曝者医療国際協力推進協議会編
(1992年 文光堂) (共著)

「原爆放射線の人体影響 改訂第2版」放射線被曝者医療国際協力推進協議会編
(2012年 文光堂) (共著)

1. はじめに

1998年に長崎の被爆試料を測定するために現地で10カ所の岩石資料を集めた。また、被爆鉄試料5サンプルを島崎達也氏(当時、長崎大学)から提供を受けた。これらの被爆試料について残留放射能の測定を行ない、DS02の計算値¹⁾と比較する。

また最近、広島、長崎の原爆で発生した熱量および爆発威力について、田賀井篤平氏(東京大学名誉教授)が評価された。広島と長崎の原爆威力についてDS02の計算値および田賀井氏の評価との比較を行う。

2. 長崎の試料収集

2.1 被爆岩石の収集

長崎の被爆試料はDS86の原爆線量評価が始まった当時、広島に先行して収集・測定がおこなわれた。その結果はDS86の最終報告書¹⁾にまとめられている。その後、同報告書はDS02²⁾としてまとめられた。

我々は広島の被爆試料の収集と同様に場所がわかり、直接被爆している試料を収集した。試料の収集は葉佐井博巳氏、筆者、放射線影響研究所の藤田正一郎氏、渡辺忠明氏らとともに1998年8月11日および同年9月11日に行われた。試料収集の様子の一部を図1および図2に示す。

収集した試料の採取地点を図3³⁾に示す。これらの試料のうちNM2(浦上天



図1 南山高校の石垣の試料採取



図2 坂本町、下田様方の石垣の試料採取

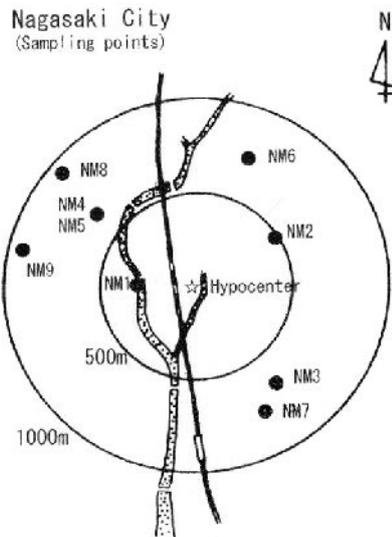


図3 収集した被爆試料の採取地点³⁾

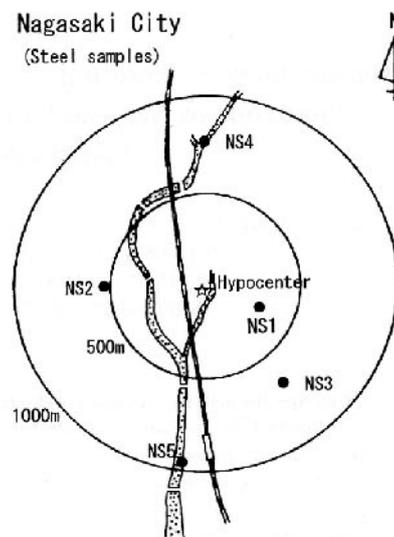


図4 被爆鉄材の採取地点⁴⁾

主堂、距離：458 m) は当時長崎大学の岡島教授から提供を受けた。なお、丸尾町の試料（距離：2849 m）はコントロール試料とした。

2.2 被爆鉄材

被爆鉄材 5 サンプルは島崎氏から提供された。それらの採取地点を図 4⁴⁾ に示す。鉄材は鉄筋や鉄板、レールなどであった。

3. 試料処理

岩石試料の化学処理および鉄材の試料処理は基本的に広島の場合と同じ処理を行った。岩石試料は粉末化したのち、NaOH を加えて 450°C で溶解した。次に HCl を加えて遠心分離し、沈殿物と上澄み液に分離した。上澄み液に BaCl₂ および Na₂SO₄ を加えて Eu を共沈させた。再度遠心分離し、上澄み液に NaOH を加え、pH ~ 13 にした。その沈殿物を水洗いし、乾燥させて Eu 濃縮試料を作成した。

鉄材については細片化したのち、塩酸に溶かした。溶液に過酸化水素を少量加え、イソプロピルエーテルで大部分の鉄を除き、コバルトイオンを溶液中に残した。そして陽イオン交換樹脂を用いてコバルトを分離した。その結果、数 g のコ

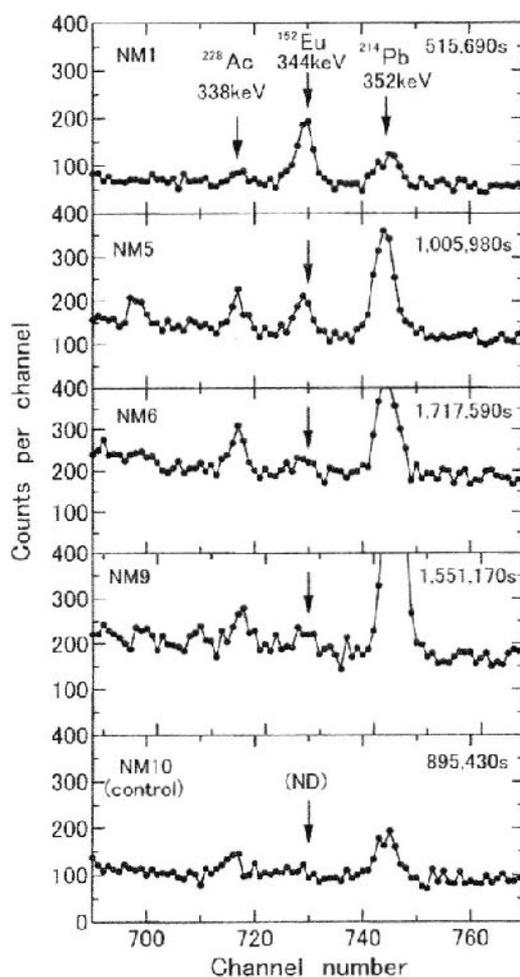


図5 岩石試料の測定スペクトル³⁾。
344 keV 付近。

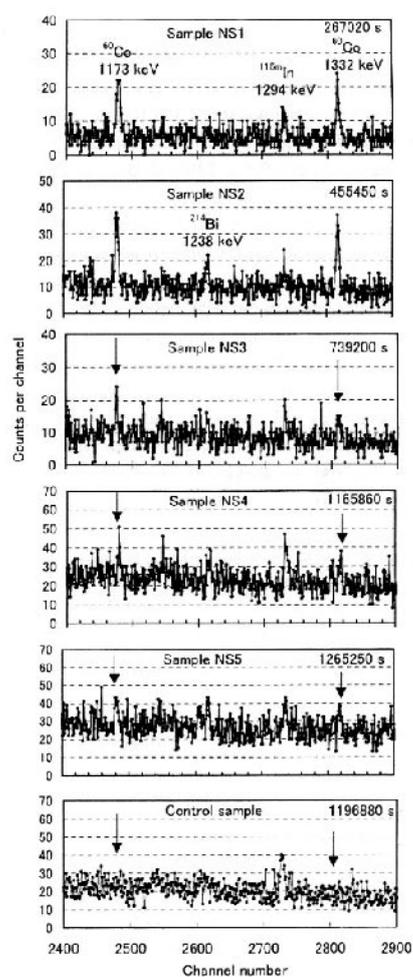


図6 鉄材の測定スペクトル⁴⁾。
1173 keV および 1332 keV 付近。

バルト濃縮試料を作成した。

4. 測定

作成した試料の測定は逆同時計数装置付き井戸型 Ge 検出器⁵⁾で行った。 γ 線スペクトルを岩石試料および鉄材試料について図5および図6に示す。これらの結果から被爆時の ^{152}Eu および ^{60}Co の放射能値^{3,4)}を求めた。

5. 結果

岩石試料については図5にみられるようにNM1からNM9まで344 keVのピークが明確に測定できた。また、鉄材試料については図6にみられるようにNS1からNS5まで1173および1332 keVのピークが明確に観測できた。岩石試料の ^{152}Eu および鉄材試料 ^{60}Co について被爆直後に換算した放射能値を表1³⁾および表2⁴⁾に示す。

表1 岩石試料の被爆直後の¹⁵²Eu比放射能³⁾。NM8はコントロール試料 (Slant rangeは爆発点からの距離を表す)

No.	Place	Slant range (m)	¹⁵² Eu/Eu ^a (Bq mg ⁻¹)
NM1	Yana Bridge	594 ± 22	24.8 ± 2.9
NM2	Urakami Church	671 ± 22	6.50 ± 1.10
NM3	Nagasaki Univ. Hospital	809 ± 23	2.07 ± 0.28
NM4	Gokoku Shrine B	815 ± 22	3.57 ± 0.63
NM5	Gokoku Shrine A	816 ± 22	2.73 ± 0.36
NM6	Nanzan School	850 ± 22	1.58 ± 0.33
NM7	Shimoda House	926 ± 22	1.25 ± 0.42
NM8	Prefectural Gymnasium A	1024 ± 22	0.96 ± 0.30
NM9	St. Maria School	1061 ± 22	0.86 ± 0.40

^aSpecific activity immediately after bomb explosion.

表2 鉄材試料の被爆直後の⁶⁰Co比放射能⁴⁾

No	⁶⁰ Co/Co ^a (Bq mg ⁻¹)
NS1	1.03 ± 0.09
NS2	0.26 ± 0.02
NS3	0.10 ± 0.02
NS4	0.070 ± 0.012
NS5	0.033 ± 0.006

6. 考察

6.1 DS86およびDS02計算値との比較

岩石試料

我々の岩石試料の測定結果³⁾と中西氏らの結果を図7⁶⁾に示す。

実測データはほぼ計算値と一致している。爆心付近では計算値のDS86とDS02にわずかの違いがみられるが実測値は誤差の範囲内にある。

次に、すべての長崎の岩石試料中の¹⁵²Euの測定結果を図8⁷⁾に示す。ここでFIAの意味は空中組織線量カーマを表し、平らな地面の1m上の空中で極めて小さい組織が受ける線量である。我々の測定データと中西氏らの測定データも図8のデー

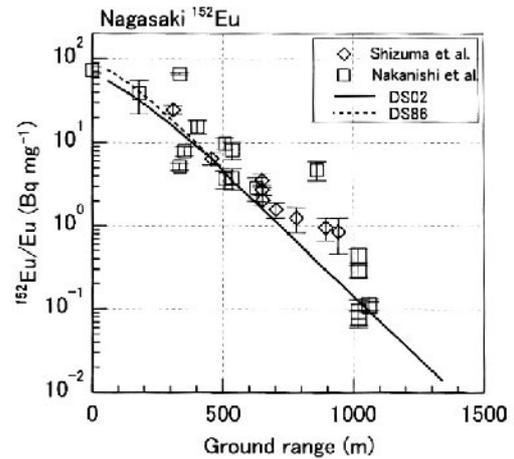


図7 我々の岩石試料(◇)³⁾と中西氏らの測定結果(□)⁶⁾。実線および破線はDS02およびDS86の計算値を表す。

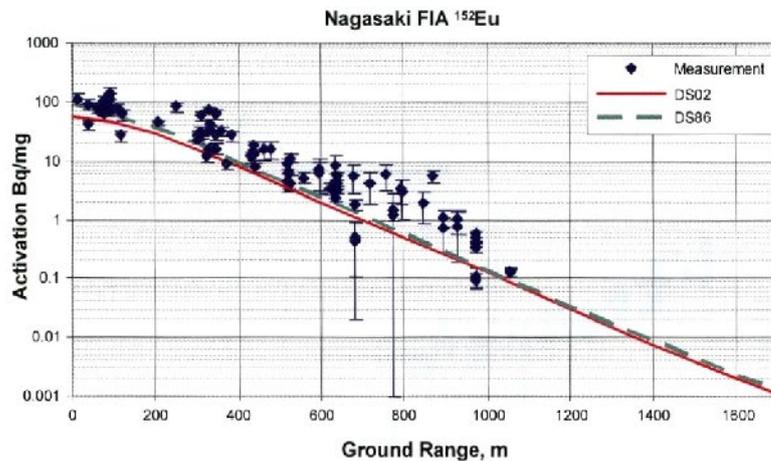


図8 すべての長崎の岩石試料中の¹⁵²Euの測定結果と計算値との比較⁷⁾。

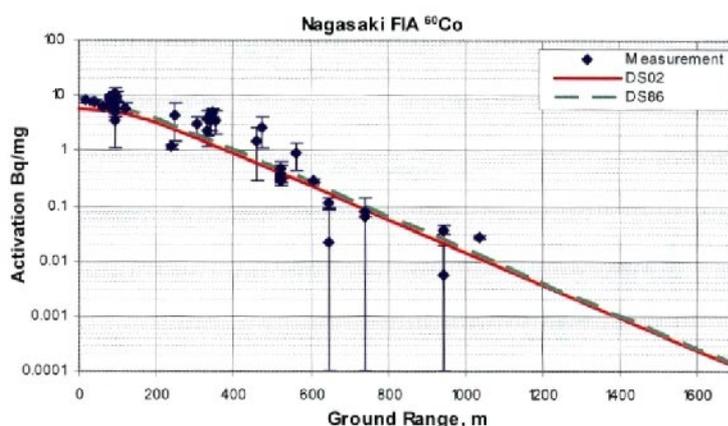


図9 すべての長崎の鉄材試料中の ^{60}Co ⁸⁾の測定結果と計算値との比較。

タの中に含まれているが、爆心から900 mの範囲では計算値との違いがみられる。計算値よりやや高めの値が多くみられるが、この原因としては初期の測定において検出効率の校正の違い、または被爆試料の採取方法の違いなどが考えられる。

すべての長崎の鉄材試料中の ^{60}Co の測定結果を図9⁸⁾に示す。鉄材については実測値と計算値でよい一致が見られた。DS86、DS02の計算値とも一致している。

6.2 田賀井氏の広島、長崎の原爆出力の評価とDS02の原爆出力の計算

田賀井氏は最近、「はじける石・泡立つ瓦」⁹⁾と題した本を出版された。そのなかで広島、長崎の原爆出力の評価を行われている。田賀井氏は福屋西で採取された瓦(700 m)に溶融がみられることから溶融限界はこれより遠方と考えた。そこで、広島の堺町の瓦、長崎の鳥居南の瓦(いずれも溶融限界とは無関係)の約1 cm角を切り出し、溶融実験を行った。その結果をもとに広島で旧広島県庁(850 m)、長崎で瓊浦中学(950 m)を瓦の溶融限界とした。そして、原爆の全エネルギーは広島では 9.22×10^{13} J、長崎では 9.81×10^{13} Jとなり、広島と長崎では爆発エネルギーに大差ないことを示した。「広島・長崎の原爆災害」¹⁰⁾によると広島・長崎ともかなり長い間、TNT換算で20 ktとされてきた。その後、広島原爆は12.5 kt、長崎は22 ktとされたことと比べると興味深い。

DS02の原爆の出力計算は広島の場合、 ^{235}U 約50 kgのうち、約1 kgが核分裂を起こしたとされた。このとき発生した中性子が鉄のケースを透過する過程がモンテカルロ法により計算され¹¹⁾、出力と爆発高度を求めるプログラムにあてはめた結果から実測値を最もよく再現する値として出力16 kt、爆発高度600 mが求められた¹²⁾。長崎の場合はプルトニウム爆縮装置が使われた。広島の場合と同じく出力と爆発高度の推定値を評価する計算プログラムが使われて出力21 ktと爆発高度503 mが求められた¹²⁾。

7. まとめ

長崎の被爆岩石、鉄材中に生成された ^{152}Eu および ^{60}Co を測定して計算値DS86およびDS02と比較した。全 ^{152}Eu データと計算値を比較するとやや実測

値が高くなる違いが見られたが中西氏と我々の実測データで比較すると計算値とほぼ一致することがわかった。 ^{60}Co については実測値と計算値でよく一致することがわかった。その結果、DS02 計算値は長崎の場合についても爆心から 1000 m までの範囲でほぼ正確であると日米線量評価委員会で評価された。

原爆の瓦の溶融限界について田賀井氏の著書について紹介した。田賀井氏は広島、長崎の瓦の溶融限界をもとに、原爆の出力は広島で 22 kt、長崎で 23 kt であり大差ないと評価された。原爆の出力を瓦の溶融限界から評価したのは田賀井氏が初めてであり、新しい試みである。被爆試料をいままでとは別の角度から見直し、新しい知見を得ることは意義深い。

参考文献

- 1) W. C. Roesch (Ed.) US-Japan Joint reassessment of atomic bomb radiation Dosimetry in Hiroshima and Nagasaki, vols. 1 and 2, Radiation Effects Research Foundation, Hiroshima, Japan, 2006.
- 2) R. W. Young, G. D. Kerr (Eds.). Reassessment of the atomic bomb radiation dosimetry for Hiroshima and Nagasaki; Dosimetry system DS02, vols. 1 and 2, Radiation Effects Research Foundation, Hiroshima, Japan, 2006.
- 3) K. Shizuma, S. Endo, M. Hoshi, et. al. Measurement of residual ^{152}Eu activity induced by atomic bomb neutrons in Nagasaki and contribution of environmental neutrons to this activity. J. Radiat. Res., 44 (2003) 133-139.
- 4) K. Shizuma, S. Endo, M. Hoshi, et. al. Measurement of residual ^{60}Co activity induced by atomic bomb neutrons in Nagasaki and background contribution by environmental neutrons. J. Radiat. Res., 43 (2002) 387-396.
- 5) K. Shizuma, K. Fukami, K. Iwatani, H. Hasai. Low-background shielding of detectors for the measurement of residual ^{152}Eu radioactivity induced by neutrons from the Hiroshima atomic bomb. Nucl. Instrum, Methods. in Phys. Res. B66 (1992) 459-464.
- 6) K. Shizuma, T. Nakanishi. pp. 482-489, In: R. W. Young, G. D. Kerr (Eds.). Reassessment of the atomic bomb radiation dosimetry for Hiroshima and Nagasaki; Dosimetry system DS02, vol. 2, Radiation Effects Research Foundation, Hiroshima, Japan, 2006.
- 7) S. D. Egbert, H. M. Cullings. Graphical comparison of measurements and calculations for neutrons and gamma rays. pp. 864-920, (p. 902). In: G. D. Kerr (Eds.). Reassessment of the atomic bomb radiation dosimetry for Hiroshima and Nagasaki; Dosimetry system DS02, vol. 2, Radiation Effects Research Foundation, Hiroshima, Japan, 2006.
- 8) S. D. Egbert, H. M. Cullings. Graphical comparison of measurements and calculations for neutrons and gamma rays. pp. 864-920, (p. 906). In: G. D. Kerr (Eds.). Reassessment of the atomic bomb radiation dosimetry for Hiroshima and Nagasaki; Dosimetry system DS02, vol. 2, Radiation Effects Research Foundation, Hiroshima, Japan, 2006.
- 9) 田賀井篤平著、はじける石・泡立つ瓦、株式会社智書房 (2020,5,20)

- 10) 広島・長崎の原爆災害（広島市・長崎市原爆災害誌編集委員会編），岩波書店
- 11) G. D. Kerr, R. W. Young, H. M. Cullings, R. F. Christy. Bomb parameters, pp. 42-61. In: G. D. Kerr (Eds.). Reassessment of the atomic bomb radiation dosimetry for Hiroshima and Nagasaki; Dosimetry system DS02, vol. 1, Radiation Effects Research Foundation, Hiroshima, Japan, 2006.
- 12) G. D. Kerr, R. W. Young, H. M. Cullings, R. F. Christy. Bomb parameters, pp. 42-61. (p. 57) In: G. D. Kerr (Eds.). Reassessment of the atomic bomb radiation dosimetry for Hiroshima and Nagasaki; Dosimetry system DS02, vol. 1, Radiation Effects Research Foundation, Hiroshima, Japan, 2006.

