

**Revisit  
The Hiroshima A-bomb  
with a Database  
Volume 2**

**日本語要約版**

**平成 25 年（2013 年）**

**広島市**



# 序

昭和 20 年（1945 年）8 月 6 日、一発の原子爆弾により広島の街は廃きよと化し、多くの尊い命が奪われました。

この原爆被害の実相を明らかにし、未曾有の大惨禍の全容を後世に伝えていくことは、核兵器廃絶を願う被爆地広島の使命となっています。

本市では、この原爆被害の実相の解明のために、平成 22 年（2010 年）から、広島原爆による放射性降下物などの実態を解明することを目的として、地球化学、放射線物理学、原子力工学などの様々な分野の専門家で構成する「広島原爆による放射性降下物等実態検証に係る関係者協議会（Hiroshima Study Group on Re-construction of Local Fallout from A-bomb in 1945 (HiSoF)）」を設け、最新の研究結果やデータの収集に取り組んできました。

本書は、平成 23 年（2011 年）7 月に発行した論文集「Revisit The Hiroshima A-bomb with a Database -Latest Scientific View on Local Fallout and Black Rain-」の第 2 卷として、新たな研究結果やデータをまとめたものです。

本書を通じて、国内外における原爆被害の実相の解明に向けた研究が更に進展し、原爆被害について多くの人々の理解が深まることにより、核兵器廃絶や世界恒久平和の実現につながることを心から期待します。

最後に、HiSoF のメンバーの皆様を始め、本書の製作に御協力を頂いた方々に改めて深く感謝の意を表しますとともに、本市の平和行政に対する一層の御協力をお願いいたします。

平成 25 年（2013 年）3 月

広島市長 松井 一 實



# Revisit The Hiroshima A-bomb with a Database

## Volume 2

### 日本語要約版

#### 目次

序	.....	i
---	-------	---

#### 1. 初期条件

1.1 1945年広島原爆投下時の高層風	.....	1
青山 道夫、千葉 長、鈴木 真奈美		
1.2 広島市内土壤と古民家瓦屋根漆喰の放射化分析	.....	3
遠藤 曜、田中 優太、今中 哲二、福谷 哲、Evgeniya Granovskaya、星 正治、 白石 浩太郎、梶本 剛、静間 清		
1.3 広島原爆の爆発の衝撃波により舞い上がった土埃の広がりの計算のための土壤の粒 子サイズ測定—日本家屋に使われた土や表面土壤に由来する土埃が中性子により放射 化し人体に与えた被曝線量計算のため—	.....	9
坂口 綾、星 正治、青山 道夫、加藤 弘亮、恩田 裕一		

#### 2. 検証データ

2.1 広島原爆被爆者の固形癌死亡危険度における被爆時所在地依存性の非円型対称性 に関する解析：生存時間解析による研究	.....	11
富田 哲治、佐藤 健一、大谷 敬子、佐藤 裕哉、丸山 博文、川上 秀史、 田代 聰、星 正治、大瀧 慈		
2.2 広島原爆投下1-4年後に建築された家屋の床下土壤中の微弱 $^{137}\text{Cs}$ 測定： 広島原爆由来フォールアウト $^{137}\text{Cs}$ 降下量の推定	.....	13
山本 政儀、星 正治、Kassym Zhumadilov、遠藤 曜、坂口 綾、今中 哲二、 宮本 ユタカ		
2.3 広島における TLD ガンマ線量測定値—フォールアウトとの関係について—	.....	15
Stephen D. Egbert、George D. Kerr		



## 1. 初期条件



## 1945年広島原爆投下時の高層風

○青山 道夫（気象研究所）、千葉 長（気象研究所）、鈴木真奈美（HiSoF）

### はじめに

広島原爆の際に観測された放射性降下物や黒い雨を含む降水現象の数値モデルによる再現計算において、熱、水および炭素の生成量を見積もることと同様に、高層風のデータは重要である。1991年に吉川らによって行われた数値モデルによる再現計算（Yoshikawa, 1991; Maruyama and Yoshikawa, 2005）のときには上層の風は南南東秒速3mで一様と仮定して行われていた。我々は吉川らの仮定を踏襲するのではなく、観測された高層風データを探し出しそれを使うことによってより現実的な放射性降下物や黒い雨を含む降水現象の数値モデルによる再現計算が可能になると想え、広島市の協力のもとデータの探索を行った。ここに得られたデータの概要を報告する。

### 1. データ探索の成果

#### 1) エノラゲイの航法記録からの抽出

広島に原爆を投下したエノラゲイの航法記録にはテニアン島から日本南方海上に至る航路に沿つて5件の高層風データが記録されていた。

- 2) アメリカの戦略爆撃団の報告書にはエノラゲイの広島上空での風データを含む12件の高層風データが記録されていた。緯度経度が記録されておらず都市名のみである。
- 3) 館野にある気象庁高層気象台および札幌管区気象台に1945年7月から8月にかけて観測した風や温度湿度などの記録があった。気象庁の使用承認を得て今回の研究に使用している。

### 2. 1945年8月6日の高層風の分布

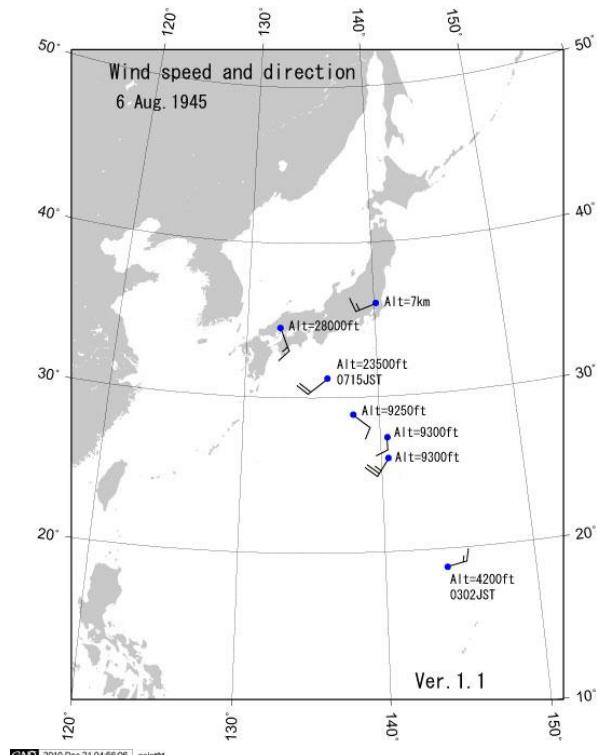


図1 1945年8月6日の高層風の分布

1945年8月6日の朝の広島上空の高層風は高度約8400mで南南東の風秒速3mと記録されていた。

### 3. 概要

我々は、爆撃機の航法記録から12件の高層風のデータを発掘した。また、館野および札幌の地上観測地点による1945年7月から8月の高層観測記録を入手した。しかしながら、広島原爆の際に観測された放射性降下物や黒い雨を含む降水現象の数値モデルによる再現計算を行うためには、これらのデータだけでは不十分であると言わざるを得ない。

### 引用文献

- Aoyama, M., Okada, Y., Koizumi, T., Tanikawa, T., Kawano, N., Estimation of heat, water, and black carbon fluxs during the fire induced by the Hiroshima A-bomb, In: Aoyama, M., Oochi, Y., eds. Revisit The Hiroshima A-bomb with a Database. Hiroshima, JAPAN: Hiroshima City; 2011. pp 43-54.
- Baba, M., Ogawa, F., Hiura, S., Asada, N., Height Estimation of Hiroshima A-bomb Mushroom Cloud from Photos, In: Aoyama, M., Oochi, Y., eds. Revisit The Hiroshima A-bomb with a Database. Hiroshima, JAPAN: Hiroshima City; 2011. pp 55-67.
- Maruyama, T. and Yoshikawa, T., 2005. Black Rain dose of residual radiation of the Hiroshima atomic bomb. KURRI-KR114, 184-195. (in Japanese)
- Tactical Mission Report on Special Mission flown 20 July – 14 August 1945, Headquarters Twentieth Air force APO 234.
- Yoshikwa, T., 気象シミュレーションによる広島原爆の放射性降下範囲について. In: 黒い雨に関する専門家会議報告書 資料編. Hiroshima, JAPAN: Hiroshima City; 1991, pp 29-105.

## 広島市内土壤と古民家瓦屋根漆喰の放射化分析

○遠藤 晓（広島大学大学院工学研究院）, 田口 優太（広島大学大学院工学研究院）,  
 今中 哲二（京都大学原子炉実験所）, 福谷 哲（京都大学原子炉実験所）,  
 Evgeniya Granovskaya（広島大学原爆放射線医科学研究所）,  
 星 正治（広島大学原爆放射線医科学研究所）, 白石浩太郎（広島大学大学院工学研究院）,  
 梶本 剛（広島大学大学院工学研究院）, 静間 清（広島大学大学院工学研究院）

### 1. はじめに

1986年に作成された広島・長崎の原爆線量評価システム DS86において、誘導放射能に伴う被曝線量は、爆心に継続して居続けた場合で 0.8Gy と見積もられている<sup>1)</sup>。また、2002年に改定された線量評価システム<sup>2)</sup>においては、誘導放射能に関する評価は行われておらず、DS86 から改定されていない。一方、今中らは、Gritzner らの空間線量時間依存性<sup>3)</sup>を、DS86 で評価された <sup>60</sup>Co の生成量を用いて熱中性子束の比 (DS02/DS86) を補正することで、DS02 に対応した空間線量時間依存性を評価している<sup>4)</sup>。その結果では、広島原爆の場合、爆心地地上 1m の高さで爆発 1 分後 4Gy/h と結論している<sup>4)</sup>。その他、田中らは、DS02 の熱中性子線束を用いて、土壤中に誘導される <sup>24</sup>Na、<sup>56</sup>Mn、<sup>42</sup>K、<sup>46</sup>Sc などの放射能を求め、モンテカルロ計算で、土壤中の核種が寄与する γ 線および β 線空間線量や皮膚線量の評価を行っている<sup>5)</sup>。この結果では、土壤放射化による空間線量は、およそ 1 時間後において、今中の値(~50mGy/h) と同程度の空間線量(~40mGy/h) を与えている<sup>4,5)</sup>。この 2 つの評価においては、DS86 中にまとめられている土壤中元素濃度を用いている。

DS86 中の元素濃度は、広島と長崎各 2 か所のみの測定評価であり、場所ごとのばらつきは評価していない。また、それ以前の 1969 年に橋詰らによって 16 か所の広島土壤について成分分析が行われて

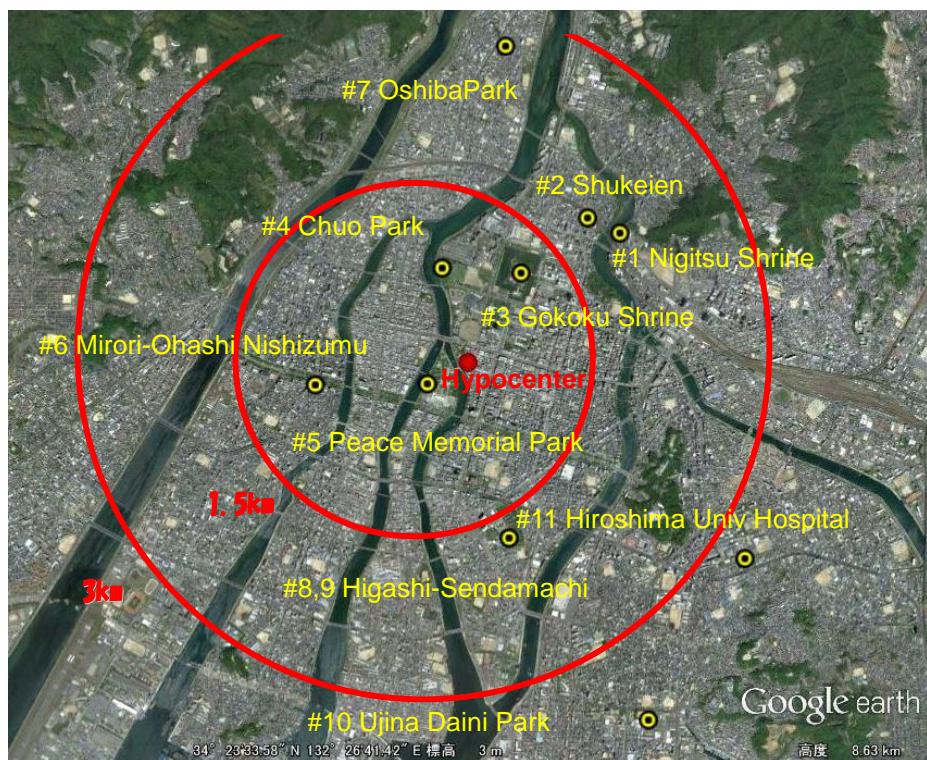


図 1 試料採取場所及び爆心

いるが、Mn、Na 濃度が中心で、Sc 濃度については 1 か所のみの報告であった<sup>6)</sup>。Sc は、原爆中性子により <sup>46</sup>Sc へ放射化され、半減期 83.79 日と長いため、10 日～数ヶ月の空間線量に大きく寄与する。したがって、原爆発後、家族を捜索しに市内に立ち入った人である入市被爆者の被曝線量を評価する場合において、Sc の濃度は重要であると考えられる。

本研究では、広島市内土壤中の Sc の元素濃度を放射化分析法で測定し、そのばらつきを確かめるとともに、得られた元素濃度を用いて、広島市内土壤放射化による原爆誘導放射線量の評価を行う。

## 2. 分析試料

土壤試料は、DS86 で測定されている広島城を含み、採取可能な被爆後大きく変わっていないと考えられる広島市内の 10 か所を選び 11 の試料を採取した。土壤は直径 5cm のパイプを用い表層から 20cm を採取した。採取場所の航空写真は図 1 に示す。また、広島地方の古民家瓦屋根漆喰を、平和建設株式会社から提供をしてもらった。

試料は 2mm メッシュの篩にかけ、120°Cで 15 時間乾燥したのち、<sup>137</sup>Cs の堆積量測定用と、放射化分析用とに分けた。放射化分析用試料は、分析時に 0.1 g 程度の少量しか使わないとため、試料中の均一性を確保するために、各試料のおよそ 10g をメノウ乳鉢ですりつぶした。中性子照射用として、0.1g をポリフィルムで 5mm 角にパックし、京都大学原子炉実験所(KUR)で熱中性子照射を行った。

## 3. 放射化分析

放射化分析には、京都大学原子炉実験所研究用原子炉を利用した。試料は、標準岩石試料 JA-1<sup>7)</sup>と共に放射化した。短寿命核測定用として、30 秒照射を行い、照射終了およそ 2 分後に、1 回目の測定を行った。この測定は、半減期が数分の短寿命核測定用であり、主に <sup>28</sup>Al の放射能同定を利用する。その後およそ 1 時間後に、再度同一試料を測定し、数時間程度の半減期の核種同定を行った。本測定には、京都大学原子炉実験所の Ge 検出器 (EG&G ORTEC 社製、GEM-25185) を用いた。中・長寿命核種の測定には、20 分の照射を行い、広島大学大学院工学研究科に持ち帰り、Ge 検出器 (EG&G ORTEC 社製、GEM-30200-P) を用いて測定を行った。この測定では、数日の半減期核種同定のために照射後およそ 10 日後、数十日以上の長い半減期核種同定に、およそ 40 日後の 2 度に分けて測定を行った。

## 4. 測定結果

土壤放射化後 Ge 検出器で測定した γ 線スペクトル例を図 2 に示す。短寿命核として、<sup>28</sup>Al、<sup>56</sup>Mn、<sup>52</sup>V 及び <sup>24</sup>Na、中・長寿命核測定では <sup>153</sup>Sm、<sup>181</sup>Hf、<sup>141</sup>Ce、<sup>169</sup>Yb、<sup>177</sup>Lu、<sup>85</sup>Sr、<sup>51</sup>Cr、<sup>140</sup>La、<sup>134</sup>Cs、<sup>95</sup>Zr、<sup>134</sup>Cs、<sup>46</sup>Sc、<sup>86</sup>Rb、<sup>233</sup>Pa、<sup>152</sup>Eu、<sup>153</sup>Gd、<sup>60</sup>Co および <sup>59</sup>Fe などが同定された。土壤試料及び標準試料中同定核種 γ 線の計数率を崩壊補正し照射直後の計数率を求め、比を導出した。得られた比を、標準試料に含まれる元素濃度に乘じ、11 土壤試料と漆喰試料中の元素濃度を決定した。その結果、土壤については Al、Mn、Na、Sc を含む 23 元素、漆喰試料については 19 元素の濃度を同定できた。

表 1 に、得られた 11 土壤試料中元素濃度の平均値を示す。Al、Mn、Na、Sc、Fe などの主要元素については 11-15% 程度のばらつき、その他ではおおよそ 20-30% 程度であった。また、比較のため DS86 にまとめられている広島城及び原爆ドーム土壤の元素濃度を合わせて示す。ほとんどの元素濃度では、ばらつきの範囲内で DS86 値と一致していることがわかる。

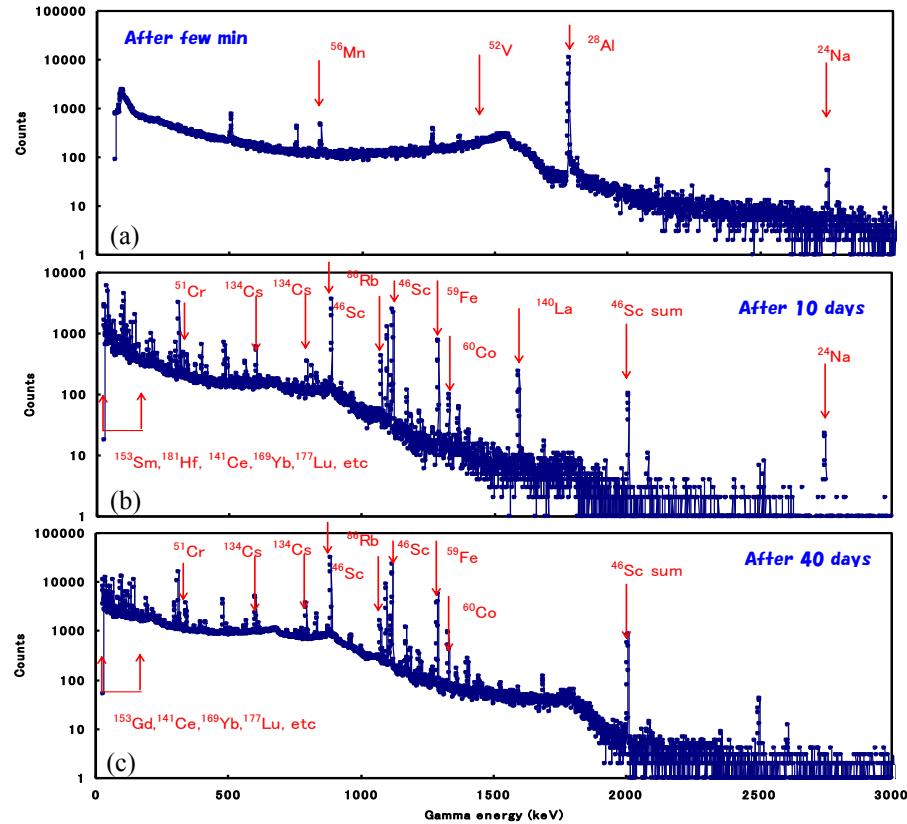


図 2 放射化土壤のスペクトル例（護国神社試料）

11 試料の Sc 濃度について平均値および分散を求めるとき  $5.12 \pm 0.59 (\pm 12\%) \text{ ppm}$  が得られた。したがって、Sc 濃度のばらつきは、12%程度と考えられる。Mn 濃度および Na 濃度について、平均値および分散を求めるとき、それぞれ、 $517 \pm 68 (\pm 13\%) \text{ ppm}$ 、および  $19300 \pm 3900 (\pm 20\%) \text{ ppm}$  が得られた。これらの結果より、広島市内土壤中の放射化線量に支配的な元素の濃度は、おおむね 20%程度と考えられる。

瓦漆喰の元素濃度では、K、Mn および Sc を除き、広島土壤と良く似た元素濃度を示した。K、Mn および Sc では、K でおおよそ半分、Mn と Sc では倍程度の濃度を示した。

## 5. まとめ

本研究では、放射化土壤に由來した被曝線量推定を行うためのもととなる広島市内土壤の元素分析を行うことを目的として、広島市内の爆心地半径 4km 以内の 10 か所から 11 の土壤試料を採取し、京都大学原子炉実験所を利用し、放射化分析を行った。

放射化分析の結果、Al、Mn、Na、Sc を含む 23 元素について、濃度を明らかにした。そのうち、既存の測定において測定数の少なかった Sc の濃度とそのばらつきを決定した。Sc の広島市内土壤の平均濃度は  $5.12 \pm 0.59 (\pm 12\%) \text{ ppm}$  と見積もられた。

また、橋詰らの Mn 濃度と測定値を比較すると、橋詰らの結果<sup>6)</sup>の約半分であったが、DS86 の Mn 濃度とはよく一致していた。Na 濃度については、DS86、橋詰らのデータと、矛盾はなかった。平均値および分散を求めるとき、それぞれ、Mn 濃度： $517 \pm 68 (\pm 13\%) \text{ ppm}$ 、および Na 濃度  $19300 \pm 3900 (\pm 20\%) \text{ ppm}$  が得られた。

瓦漆喰の元素濃度では、K、Mn および Sc を除き、広島土壤と良く似た元素濃度を示した。K、Mn お

より Sc では、K でおおよそ半分、Mn と Sc では倍程度の濃度であった。

表 1 試料中元素濃度及び広島城と原爆ドーム土壤の元素濃度 DS86 値<sup>1)</sup>

Element	Z	Concentration (ppm)			DS86 value (ppm)		
		Soil in average*		Plaster**	Castle	Dome	
Na	11	19300	± 20%	11500	± 1%	16000	12400
Al	13	63300	± 14%	66400	± 2%	71000	64900
K	19	-	± -	17100	± 16%	31100	35600
Sc	21	5.12	± 12%	11.5	± 1%	5	5
Ti	22	-	± -	3240	± 74%	1520	1570
V	23	21.4	± 26%	67	± 17%	22.3	25.3
Cr	24	20	± 65%	55	± 2%	20.5	27.3
Mn	25	517	± 13%	1050	± 4%	467	587
Fe	26	17100	± 16%	31200	± 1%	17700	20600
Co	27	4.13	± 23%	14.8	± 1%	3.7	3.8
Rb	37	137	± 12%	89	± 18%	230	225
Sr	38	45	± 38%	-	± -	88	70
Zr	40	105	± 40%	133	± 62%	41	35
Nb	41	2	± 60%	-	± -	7	5
Sb	51	1.87	± 11%	-	± -	1.4	0.8
Cs	55	4.4	± 14%	3.3	± 10%	5	5
La	57	27.4	± 23%	-	± -	23	21
Ce	58	88	± 24%	43	± 3%	40	36
Sm	62	3.7	± 27%	-	± -	3.4	3
Eu	63	0.81	± 15%	0.94	± 3%	0.9	0.9
Gd	64	2.23	± 44%	-	± -	-	-
Yb	70	-	± -	1.9	± 20%	-	-
Lu	71	0.133	± 33%	-	± -	-	-
Hf	72	4.17	± 19%	4.7	± 6%	4	4
Ta	73	-	± -	0.84	± 11%	0.8	0.8
Th	90	14.3	± 30%	7.3	± 6%	13.3	9.9
U	92	0.85	± 18%	-	± -	2.8	2.6

\*Concentration averaged over 11 soil samples. Errors are standard deviation for 11 samples.

\*\*Concentrations are for one plaster sample. Errors are only statistics.

## 参考文献

- 1) Roesch, W. C., Eds. (1987 U. S.—Japan Joint Reassessment of Atomic Bomb Radiation Dosimetry in Hiroshima and Nagasaki. Vols. 1 and 2. Radiation Effects Research Foundation.
- 2) Young, R. W. and Kerr, G. D., Eds. (2005) Reassessment of the Atomic Bomb Radiation Dosimetry for Hiroshima and Nagasaki—Dosimetry System 2002. Vols. 1 and 2. Radiation Effects Research Foundation .
- 3) Gritzner ML, Woolson WA (1987) Calculation of doses due to atomic bomb induced soil activation. In: Roesch WC (ed) Reassessment of atomic bomb radiation dosimetry—dosimetry system 1986, vol 2, chap 6, App 2. Radiation Effects Research Foundation, Hiroshima, pp 342–351.
- 4) Imanaka, T., Endo, S., Tanaka, K. and Shizuma, K., (2008) Gamma-ray exposure from neutron-induced radionuclides in soil in Hiroshima and Nagasaki based on DS02 calculations, Radiat Environ Biophys 47:331–336.

- 5) Tanaka, K., Endo, S., Imanaka, T., Shizuma, K., Hasai, H. and Hoshi, M. (2008) Skin dose from neutron-activated soil for early entrants following the A-bomb detonation in Hiroshima: contribution from  $\beta$  and  $\gamma$  rays. Radiat. Environ. Biophys. 47: 323–330.
- 6) Hashizume, T., Maruyama, T., Shiragai, A., Tanaka, E., Izawa, M., Kawamura, S. and Nagaoka, S. (1967) Estimation of the air dose from the atomic bombs in Hiroshima and Nagasaki. Health Phys. 13: 149-161.
- 7) Imai, N., Terashima, S., Itoh, S. and Ando, A.(1995) 1994 compilation of analytical data for minor and trace elements in seventeen GSJ geochemical reference samples, "igneous rock series", Geostandards Newsletter 19: 135-213 .



# 広島原爆の爆発の衝撃波により舞い上がった土埃の広がりの計算のため の土壤の粒子サイズ測定

—日本家屋に使われた土や表面土壤に由来する土埃が中性子により放射化し人体に与えた被曝線量計算のため—

坂口 綾（広島大学大学院理学研究科）, ○星 正治（広島大学名誉教授）, 青山 道夫（気象研究所）,  
加藤 弘亮（筑波大学アイソトープ環境動態研究センター）, 恩田 裕一（筑波大学生命環境系）

広島・長崎の放射線量は爆心から約 2km の範囲で原爆線量評価システム 2002 (DS02) で計算されている。このシステムは直接被曝である外部被曝の計算で、ベータ線や内部被曝は含まれていない。その当時はその部分は被曝線量が低いとして含めなかった。しかしながらベータ線の被曝は無視できなく、数百ミリグレイともなり得るという研究\*が発表されている。今回の研究の目的は土壤の粒子のサイズの測定を進めることで、その埃が中性子により放射化されたり核分裂生成物が付着したりした計算に役立てることである。さらにこのデータは原爆の衝撃波により舞い上がった埃の広がりや滞空時間の計算に使われ、そしてさらにそれから由来する被曝線量計算のために使われる。土壤としては、

(1) 当時の日本家屋に使われた屋根瓦の下の土と壁の土および (2) 広島市内の表面土壤である。表面土壤は 0-1cm, 1-2cm の深さで、合計 5 地点で採取し測定した。土壤サイズの測定はまず 2mm メッシュの篩いを使い大きな粒子を取り除いた後測定した。測定の結果は重量平均で、屋根瓦の下の土が  $23.8 \mu\text{m}$ 、壁の土が  $56.0 \mu\text{m}$  であった。表面土壤の結果は場所や深さによる傾向は特に見当たらなかった。またそのサイズは 0-2cm トータルとして  $40.9 \mu\text{m}$  から  $105.7 \mu\text{m}$  の間にあった。粒子のサイズの頻度分布の結果は表にして下記に示す。<sup>\*Tanaka et al. Radiat. Environ. Biophys. 47, 323-330 (2008).</sup>

No	Particle size ( $\mu\text{m}$ )	House material		Ground surface soil							
		Roof	Walls	Sanyo Buntokuden Memorial			Hiroshima University		Yoshijima park	Shinonome No.2 park	Ujina No.1 park
				Hina-no	Near park hill	Main building	North	South			
Frequency (%)											
1	2000.00	0.000	0.000	0.005	0.002	0.015	0.000	0.012	0.000	0.000	0.000
2	1618.04	0.000	0.000	0.025	0.001	0.014	0.000	0.036	0.000	0.000	0.000
3	1309.02	0.000	0.000	0.076	0.000	0.008	0.000	0.080	0.000	0.000	0.000
4	1059.03	0.000	0.000	0.155	0.000	0.003	0.000	0.124	0.000	0.000	0.000
5	856.77	0.000	0.000	0.237	0.002	0.003	0.000	0.150	0.000	0.000	0.000
6	693.15	0.000	0.000	0.324	0.055	0.048	0.000	0.233	0.000	0.000	0.000
7	560.77	0.000	0.000	0.536	0.284	0.224	0.000	0.554	0.000	0.000	0.000
8	453.67	0.000	0.000	1.028	0.887	0.646	0.016	1.308	0.000	0.002	0.000
9	367.03	0.000	0.036	1.844	1.952	1.333	0.155	2.455	0.029	0.062	0.043

10	296.93	0.000	0.272	2.842	3.327	2.165	0.741	3.769	0.205	0.325	0.295
11	240.23	0.000	1.059	3.798	4.731	3.025	2.059	4.996	0.786	0.763	1.173
12	194.35	0.003	2.643	5.040	5.945	3.887	4.144	5.939	2.147	5.146	3.226
13	157.23	0.235	4.915	6.054	6.845	4.787	5.878	6.500	4.517	9.459	7.649
14	127.20	1.065	7.218	6.514	7.395	5.692	6.534	6.746	7.142	7.406	10.530
15	102.91	2.725	8.872	7.534	7.669	6.492	6.994	6.810	8.553	6.941	9.047
16	83.26	4.708	9.429	8.374	7.908	7.062	7.258	6.746	8.071	7.187	9.559
17	67.36	5.827	8.697	8.816	8.013	7.269	7.337	6.516	6.850	6.861	9.451
18	54.49	5.551	8.026	8.185	7.259	7.047	7.177	6.096	6.916	6.446	9.049
19	44.09	5.274	7.012	6.550	6.111	6.500	6.733	5.526	6.633	5.943	8.314
20	35.67	5.143	5.851	5.416	5.100	5.784	6.044	4.859	6.043	5.364	7.389
21	28.85	5.044	4.740	4.308	4.137	5.035	5.250	4.176	5.374	4.789	6.454
22	23.34	5.022	3.862	3.426	3.345	4.379	4.513	3.564	4.686	4.242	5.559
23	18.89	5.032	3.221	2.741	2.711	3.794	3.861	3.026	3.998	3.691	4.709
24	15.28	4.929	2.706	2.187	2.179	3.200	3.255	2.531	3.375	3.176	3.983
25	12.36	4.827	2.328	1.782	1.769	2.707	2.781	2.132	2.891	2.744	3.421
26	10.00	4.861	2.079	1.516	1.484	2.368	2.458	1.844	2.558	2.393	2.980
27	8.09	4.828	1.845	1.304	1.254	2.065	2.164	1.595	2.267	2.070	2.581
28	6.55	4.607	1.588	1.098	1.038	1.740	1.848	1.356	1.946	1.748	2.187
29	5.30	4.320	1.363	0.917	0.858	1.448	1.560	1.153	1.658	1.472	1.851
30	4.28	4.057	1.172	0.764	0.701	1.214	1.313	0.976	1.408	1.229	1.558
31	3.47	3.853	1.026	0.653	0.575	1.056	1.111	0.834	1.200	1.019	1.309
32	2.80	3.617	0.990	0.619	0.548	0.991	1.003	0.779	1.125	0.932	1.225
33	2.27	3.165	1.000	0.606	0.588	0.939	0.953	0.772	1.133	0.941	1.256
34	1.84	2.500	0.860	0.519	0.541	0.788	0.802	0.669	0.990	0.832	1.117
35	1.49	1.940	0.547	0.390	0.361	0.594	0.519	0.439	0.656	0.546	0.731
36	1.20	1.708	0.280	0.327	0.195	0.496	0.271	0.233	0.367	0.282	0.380
37	0.97	1.634	0.272	0.354	0.201	0.526	0.238	0.211	0.347	0.258	0.361
38	0.79	1.421	0.531	0.423	0.393	0.616	0.431	0.386	0.599	0.494	0.693
39	0.64	0.976	0.654	0.388	0.490	0.562	0.520	0.470	0.712	0.607	0.857
40	0.52	0.661	1.646	0.773	1.130	1.100	1.331	1.144	1.706	1.596	2.112
41	0.42	0.432	2.486	1.162	1.593	1.712	2.065	1.714	2.454	2.375	3.088
42	0.34	0.029	0.776	0.396	0.425	0.660	0.688	0.539	0.657	0.663	0.869
43	0.27	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

## 2. 検証データ



# 広島原爆被爆者の固形癌死亡危険度における被爆時所在地依存性の 非円型対称性に関する解析：生存時間解析による研究

○富田 哲治（広島大学原爆放射線医科学研究所\*），佐藤 健一（広島大学原爆放射線医科学研究所），  
 大谷 敬子（広島大学原爆放射線医科学研究所），佐藤 裕哉（広島大学原爆放射線医科学研究所），  
 丸山 博文（広島大学原爆放射線医科学研究所），川上 秀史（広島大学原爆放射線医科学研究所），  
 田代 聰（広島大学原爆放射線医科学研究所），星 正治（広島大学原爆放射線医科学研究所），  
 大瀧 慈（広島大学原爆放射線医科学研究所）

## 1. 研究目的

原爆被爆者における固形癌の死亡危険度は非被爆者に比べて高いことが知られている（Preston et al., 2007）。本研究は広島原爆被爆者における固形癌死亡リスクの被爆時所在地依存性の特徴を把握することを目的とするものである。同死亡危険度の爆心を中心とする円型非対称性に関して、Peterson et al.(1983)は被爆時所在地の爆心からの方位(以下、被爆時方位)に基づき原爆被爆者を8群に分け、被爆時方位が東北東の群に対する他の群の相対危険度を算出し比較を行い、西北西の方向でやや高い傾向を見出していた。また、Gilbert and Ohara (1984)は同様な方法で急性症状に対して解析を行っている。しかしながら彼らの解析方法ではデータを層化して解析するため解析効率の低下が生じ、有意な差を検出するには至っていなかった。本研究では、Satoh and Yanagihara (2010)および富田ら(2010)の方法を応用することでより効率の高い新しい手法を開発し、被爆者の固形癌死亡危険度の被爆時所在地依存性解析への適用を行った。

## 2. 資料および方法

広島大学原爆放射線医科学研究所で作成し管理されている原爆被爆者データベース（ABS）に 1980 年 1 月 1 日の時点で生存・登録されている者で被爆時所在地情報を持つ 28,510 人を解析対象のコホート集団に設定し、1997 年 12 月 31 日まで追跡した。解析に当たっては、全固形癌死亡(2,545 人)をエンドポイントとし、追跡終了時点での生存者および転出・脱落などを打ち切りとして扱った。その上で、説明変数として、被爆時所在地情報を表す 100m メッシュ座標 (Matsuura et al., 1997)、性別、被爆時年齢を用い、時間変数として、到達年齢を用いた時間依存型のコックス重回帰モデルによる生存時間解析を行った。

## 3. 結果

上記の解析の結果に基づいて、(1) 被爆者の固形癌死亡危険度の被爆時所在地依存性に関する地理分布を示す地図および(2) 同地図から直接被爆線量の影響を除去した地図を作成した（図 1 を参照）。また、地図(1)に関して死亡危険度を被爆時方位別に比較し、その違いについても検討を行った。その結果、地図(1)と地図(2)のいずれにおいても西北西方向の地域で他より高い死亡危険度を示した。また、地図(1)に関して被爆距離による死亡危険度の変化を被爆方位別に図示したところ、北 74 度西(およそ西北西)の被爆時方位での死亡危険度が最も高く、北 74 度西の被爆時方位で 2km の被爆は、北 17 度東(およそ北北東)の被爆時方位で 845m での被爆に相当することが示唆された。

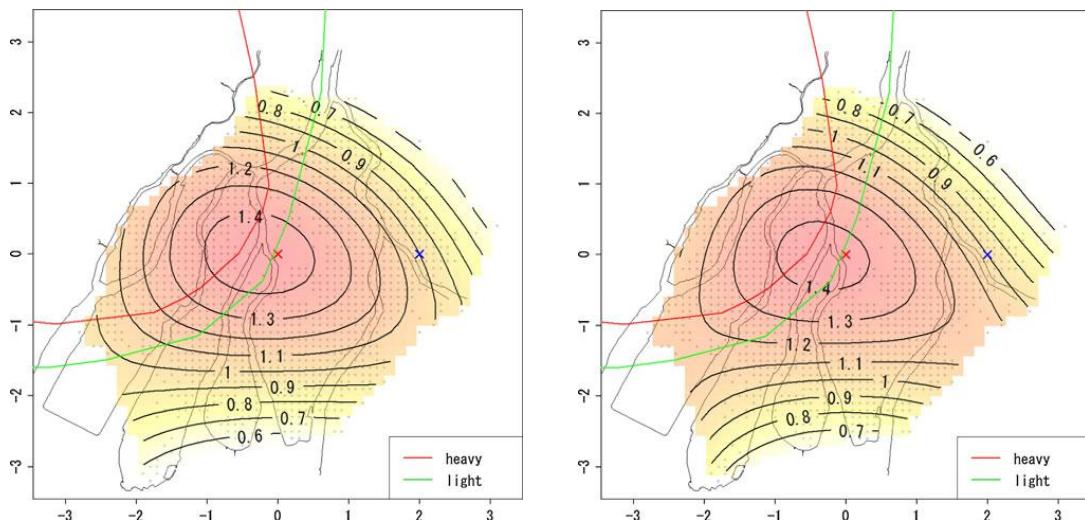


図1. 左図は、被爆者の固形癌死亡危険度の被爆時所在地依存性に関する地理分布を示すものである。右図は左図で示した被爆者の固形癌死亡危険度から直接被爆線量の影響を除去して得られた地図を示す。

#### 参考文献

- Gilbert ES, Ohara J (1984): An analysis of various aspects of atomic bomb dose estimation at RERF using data on acute radiation symptoms. *Radiation Research* **100**, 124–138.
- Matsuura M, Hoshi M, Hayakawa N, Shimokata H, Ohtaki M, Ikeuchi M, Kasagi F (1997): Analysis of cancer mortality among atomic bomb survivors registered at Hiroshima University. *Journal of Radiation Biology* **71**, 603–611.
- Peterson AV, Prentice RL, Ishimaru T, Kato H, Mason M (1983): Investigation of circular asymmetry in cancer mortality of Hiroshima and Nagasaki A-bomb survivors. *Radiation Research* **93**, 184–199.
- Preston DL, Ron E, Tokuoka S, Funamoto S, Nishi N, Soda M, Mabuchi K, Kodama K (2007): Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958–1998. *Radiation Research* **168**: 1–64.
- Satoh K, Yanagihara H (2010): Estimation of varying coefficients for a growth curve model. *American Journal of Mathematical Management Sciences* **30**(3&4), 243–256.
- 富田哲治, 佐藤健一, 柳原宏和 (2010): 空間データに対する交互作用モデルを用いた変化係数曲面の推測について, 応用統計学 **39**, 59-70.

[本稿は、論文 Investigation on circular asymmetry of geographical distribution in cancer mortality of Hiroshima atomic bomb survivors based on risk maps: analysis of spatial survival data、Radiation and Environmental Biophysics (2012) 51:133-141、DOI 10.1007/s00411-012-0402-4 の著者による日本語要約版である。]

\*主著者の2013年3月現在の所属は、県立広島大学経営情報学部である。

## 広島原爆投下 1-4 年後に建築された家屋の床下土壤中の微弱 $^{137}\text{Cs}$ 測定： 広島原爆由来フォールアウト $^{137}\text{Cs}$ 降下量の推定

○山本 政儀（金沢大学低レベル放射能実験施設），星 正治（広島大学原爆放射線医科学研究所），  
 Kassym Zumadilov（広島大学原爆放射線医科学研究所），遠藤 晓（広島大学大学院工学研究院），  
 坂口 綾（広島大学大学院理学研究科），今中 哲二（京都大学原子炉実験所），  
 宮本ユタカ（日本原子力研究開発機構）

現在、広島、長崎において DS02 (Dose System 2002) と呼ばれる被曝線量評価システムが、爆発直後に放出された中性子やガンマ線からの線量を評価するために用いられている。これら直接の放射線以外に、原爆投下 20-30 分後に広島市の北および北西方向に“黒い雨”が降り、これにより原爆で生成した核分裂放射性核種が降下したことが知られている。上記の DS02 システムでは、この黒い雨に伴うフォールアウトからの被曝線量寄与が少ないと考えられ考慮されていない。最近、黒い雨に含まれている放射性物質からの被曝が関心を呼ぶようになり、黒い雨の降下時間推移、降下範囲、この雨等による放射性物質の降下量とそれに伴う被曝線量がどの程度であったのかの検討が緊急の研究課題になっている。

1976 年と 1978 年に、厚生省が中心となり、広島市の爆心地 30 km 圏内 16 方位で、きめ細かな土壤試料の採取を行い、残留放射能の調査を行った。物理的半減期の長い核分裂生成核種  $^{137}\text{Cs}$  ( $T_{1/2}=30.17\text{ y}$ ) を中心に測定が行われたが、1950 年から 1960 年代はじめに行われた米ソの大気圏内核実験からの大量の地球規模フォールアウト (global fallout) のために、広島原爆由来のフォールアウト  $^{137}\text{Cs}$  の痕跡を見出すことが極めて困難であった。このように、原爆投下から 65 年経過した今日においてさえ、広島原爆のフォールアウト (close-in fallout) の実体、さらに、黒い雨による被曝線量評価は未解決のままであった。そこで、global fallout の影響を受けず、当時の close-in fallout の降下状況を保存している試料に目が向けられた。幸い、市民の協力が得られ、原爆直後 (1-4 年) に建築されて最近解体する建物が幾つか見つかり、その床下の土壤が最適ではないかということになり  $^{137}\text{Cs}$  測定を試みた。

爆心地から主に北および北西方向の 20 地点の家屋床下から採取した土壤（1 家屋から 3-5 サイト：約 30cm 深さのコア）について、 $^{137}\text{Cs}$  および  $^{239}, ^{240}\text{Pu}$  濃度（4 地点について  $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  同位体比）を測定した。その結果、全ての地点から  $^{137}\text{Cs}$  が数～数 100 Bq/m<sup>2</sup>（大部分は 10-50 Bq/m<sup>2</sup>）、 $^{239}, ^{240}\text{Pu}$  が 0.1～24 Bq/m<sup>2</sup>（大部分は 1 Bq/m<sup>2</sup> 以下）の範囲で検出された。また、4 地点の試料について測定した  $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  同位体比は 0.13～0.19 で、global fallout 値 0.18 と大差なかった。広島原爆は  $^{235}\text{U}$  爆弾であることを考慮すると、 $^{239}, ^{240}\text{Pu}$  生成は無視できるので、今回検出された  $^{239}, ^{240}\text{Pu}$  および  $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  同位体比は床下土壤が 1950 年代から 1960 年代はじめの global fallout で多かれ少なかれ汚染されている可能性を強く示唆する。その一方で、家屋が建築された 1945～1949 年代にも長崎をはじめとする Pu 爆弾の原爆が幾つか実施されている。青山、広瀬（気象研究所）らの  $^{137}\text{Cs}$  降下量を基にして 1945～1949 年頃の  $^{239}, ^{240}\text{Pu}$  降下量を試算すると 0.1 Bq/m<sup>2</sup> 程度になる。地理的、気象的条件等を考慮して 0.5Bq/m<sup>2</sup> を上限として、これ以下の  $^{239}, ^{240}\text{Pu}$  を検出した地点での  $^{137}\text{Cs}$  が全て広島原爆由来と仮定すると、当時 100 Bq/m<sup>2</sup> 程度の降下が見積もられる。また検出された  $^{239}, ^{240}\text{Pu}$  が 1950 年代から 1960 年代はじめの global fallout に由来するとして  $^{137}\text{Cs}$  降下量を見積もり、検出された  $^{137}\text{Cs}$  蕴藏量を補正すると最大で当時 50 Bq/m<sup>2</sup> の降下が予想される。今回採取した地域に限定して、広島原爆の close-in fallout  $^{137}\text{Cs}$  降下量は 50-100 Bq/m<sup>2</sup> 程度と推定されたが、採取地点の床下土壤の整地状況、洪水などによる土壤浸食なども踏まえて更に詳細な検討が必要である。また、当時降下量が多いと言われている己斐、高須地域での調査・研究も必要であると考えている。



## 広島における TLD ガンマ線量測定値

### —フォールアウトとの関係について—

○Stephen D. Egbert (Science Applications International Corporation) ,  
George D. Kerr (Kerr Consulting)

広島近郊の一部地域において、TLD ガンマ線量測定値は、DS02 により計算された初期放射線量およびその不確かさで説明できる範囲を超過している。この問題はこれまでには、広島市内の限られた地域に限定されているとは認識されていなかった。TLD 線量測定値と DS02 線量計算値の比は、爆心地から遠くなるにつれ、大きくなるようだが、より綿密に調べてみると、TLD 測定値の線量超過はいくつかの地域（場所により 0.1Gy、0.2Gy 又は 0.8Gy）に関係していることがはっきり確認された。本論文は、これが放射性降下物の分布パターンによるものなのかどうかという問題を提起している。

長崎においては、このような TLD 測定値の線量超過はみられない。おそらく、長崎では爆心地から 800 メートル以上離れた風下（東方）地域において、TLD 測定が行われておらず、微量の TLD 線量超過は風下サンプル中の大きな初期放射線量（25Gy～80Gy）に隠れてしまったことが理由の一つだと思われる。DS02 レポートでは、爆心地からの距離に関係なく、長崎の TLD サンプルのいくつかの測定値が低いということが指摘されている。これは、原爆投下前に撮影された航空写真から観察された、これまで知られていなかった遮蔽物による結果だということで説明された。しかし、広島の TLD 線量超過は解明されなかった。放射性降下物による TLD 信号は、セラミックス試料のある厚みまでは、ベータ線とガンマ線の外部照射によるものなので、これらの結果を説明するには更なる研究が必要であろう。

もし広島における TLD 超過測定値が放射性降下物の影響の指標であるならば、広島長崎両市の原爆投下後の放射性降下物の影響を受けた被爆者について、その場所での被曝線量をより適切に推定するために、TLD の追加的な研究を用いることが可能かもしれない。

〔本稿は、論文Gamma-ray thermoluminescence measurements: a record of fallout deposition in Hiroshima?、Radiation and Environmental Biophysics (2012) 51:113-131、DOI 10.1007/s00411-012-0411-3について、著作権保有者であるSpringer-Verlag社の書面による許可を得て、論文英文要旨を基に、HiSoFメンバー（青山道夫及び今中 哲二）が翻訳及び日本語での補足を行ったものである。また、本文を5年間HiSoFのwebに掲載する許可も併せて得ている。〕



登録番号	広H8-2012-787
名 称	Revisit The Hiroshima A-bomb with a Database Volume 2 日本語要約版
主 管 課 所 在 地	健康福祉局原爆被害対策部調査課 〒730-8586 広島市中区国泰寺町一丁目6番34号 TEL(082)504-2191
発 行 年 月	平成25年(2013年)3月

