

機関番号：14301  
 研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2008～2010  
 課題番号：20510050  
 研究課題名（和文） 広島・長崎原爆放射線量評価体系 DS02 の検証計算と誘導放射線量の評価  
 研究課題名（英文） Validating calculation of Hiroshima-Nagasaki dosimetry system, DS02 and estimation of neutron-induced radiation  
 研究代表者  
 今中 哲二（IMANAKA TETSUJI）  
 京都大学・原子炉実験所・助教  
 研究者番号：90109083

## 研究成果の概要（和文）：

広島・長崎原爆放射線量評価システム DS02 策定のプロセスで得られた中性子束データを用いて、広島・長崎土壌中に生成した中性子誘導放射能からのγ線による空間放射線の評価を行った。爆心付近での空間放射線量率計算結果を数ヶ月後に得られた測定結果と比較すると、広島ではまずまず一致したが、長崎では計算値の方が大きくなる傾向が認められた。また、広島原爆については、“黒い雨”にともなうローカルフォールアウトと誘導放射能を合わせた残留放射能全体の再評価に向けての取り組みをはじめた。

## 研究成果の概要（英文）：

Gamma-ray exposure from neutron-induced radionuclides in soil by Hiroshima and Nagasaki atomic bombings were estimated based on neutron fluence values on the ground obtained through the works developing the radiation dosimetry system, DS02. Comparison of calculated exposure rates with measurements around the hypocenters several months after the bombings indicated an agreement in Hiroshima, while the calculated values were larger than measurements in Nagasaki. We began new efforts to reevaluate residual radiation taking into consideration the contribution of local fallout with so-called “black rain”.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
2011年度	0	0	0
2012年度	0	0	0
総計	2,500,000	750,000	3,250,000

研究分野：原子力工学

科研費の分科・細目：環境学・放射線・化学物質影響科学

キーワード：広島・長崎、原爆放射線、残留放射線、誘導放射線、黒い雨、DS02

## 1. 研究開始当初の背景

現在の広島・長崎原爆放射線量評価システム DS02 では、誘導放射線や“黒い雨”にともなうローカルフォールアウトといった残留放射線は、原爆炸裂時に放出される即発放射線や大気中を上昇する火球からの放射線を

合わせた初期放射線に比べて、人体被曝への寄与が小さいものと考えられているため、線量評価の対象とされていない。しかしながら、早期入市者の中には、放射線急性症状に類似した症状を経験したとの報告もあり、彼らの受けたであろう誘導放射線量をキチンと評

備しておく必要がある。また、原爆直後の放射線サーベイが不十分であった、広島山間部の“黒い雨”にともなうローカルフォールアウトの問題にも取り組むことにした。

## 2. 研究の目的

広島・長崎原爆放射線量評価に用いられている計算システム DS02 の検証計算を行うとともに、中性子誘導放射線放射線量や黒い雨とともに地表沈着したと考えられるローカルフォールアウトにともなう被曝の見積もりを行う。

## 3. 研究の方法

(1)DS02 の策定過程で報告されている即発線源スペクトルを用いて、DS02 とは異なる輸送計算手法や断面積ライブラリーを用いて大気・地面系放射線輸送計算を行い、DS02 での計算結果の妥当性を検証する。具体的には、Sn 離散分点近似輸送計算コード DORT と Monte Carlo 輸送計算コード MCNP との結果の比較、ENDF-B/VI ライブラリーと JENDL3,3 ライブラリーでの計算結果の比較を行う。

(2)DS02 計算で得られた地表中性子束に基づいて土壌中での中性子放射化計算を行い、 $^{28}\text{Al}$  (半減期 2.24 分)、 $^{56}\text{Mn}$  (2.58 時)、 $^{24}\text{Na}$  (15 時)、 $^{46}\text{Sc}$  (83.8 日) といった核種から放出される  $\gamma$  線による地表 1 m での放射線量率の強さを距離と時間の関数として求める。さらに、早期入市者経路に関する情報と組み合わせて個人の外部被曝を評価でききる計算ツールを開発する。

(3)誘導放射線量の強さは、土壌中の被放射化安定核種の濃度に比例するが、土壌中濃度のバラツキについてこれまでの評価では十分な注意が払われてこなかった。本研究ではとくに、原爆後 1 週間以上を経て入市した人々に被曝をもたらしたと思われる Sc の分布に着目して安定元素分布の測定を行う。

(4)広島原爆の“黒い雨”とともに降下したと考えられるローカルフォールアウトによる被曝については、とりわけ爆心北西の山間部での寄与が未解明である。原爆直後の放射線サーベイ活動の概要について、アーカイブ資料などを再調査してまとめるとともに、TIMS (表面電離型質量分析器) や AMS (加速器質量分析器) といった最新設備を用いた土壌中ウラン同位体測定を行っている研究者と協力して、広島原爆の痕跡であるウラン同位体の検出を試みた。同時に、黒い雨地域での核分裂生成物降下量を仮定しながら、その外部被曝量についての試算を行った。

## 4. 研究成果

(1)大気・地面系輸送計算の比較：

図 1 は、DS02 で用いられている広島原爆の DORT コードによる結果と MCNP による結果の比較である。

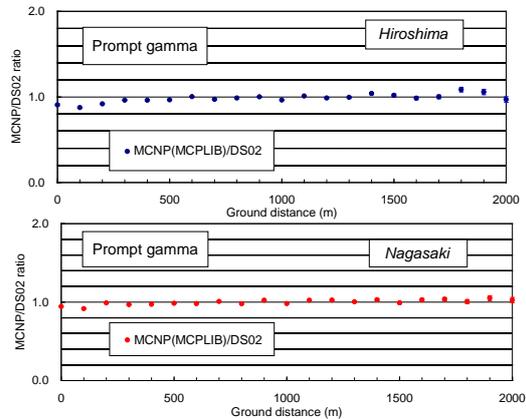
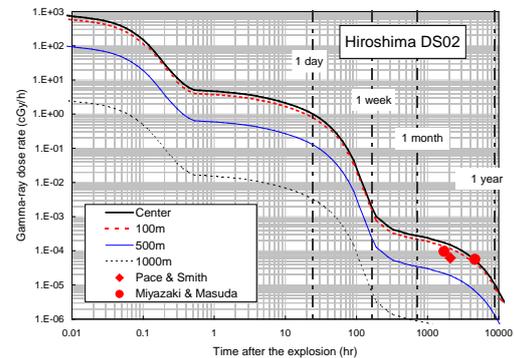


図 1. 即発ガンマ線計算の比較：MCNP/DS02

(2)地表 1 m での誘導放射線量率

図 2 と図 3 は、広島と長崎について、爆心地からの距離別に、誘導放射線量率の変化を、爆発後の時間の関数として示したものである。●や◆は、爆心地付近での測定とである。広島では計算値とまざまざ一致しているが、



長崎では計算値が大きい傾向が認められる。図 2. 誘導放射線量率の時間変化：広島

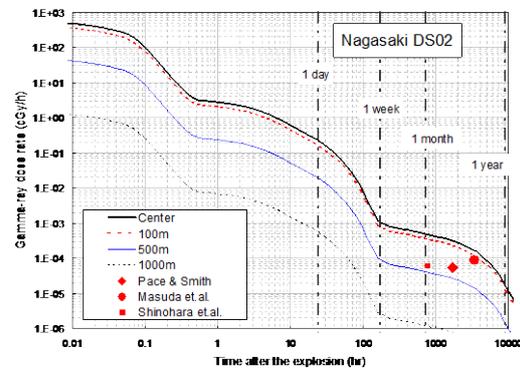


図 3. 誘導放射線量率の時間変化：長崎

(3) 誘導放射線被曝評価のための簡易ツール :

図2と3の計算結果を、爆心距離(100m毎)と爆発後時刻(10分刻み)の2次元データとしてMicrosoft Excelに入力し、早期入市者の行動ルートをインプットすれば外部被曝を解散できる簡易ツール InDose2008を開発した(図4)。

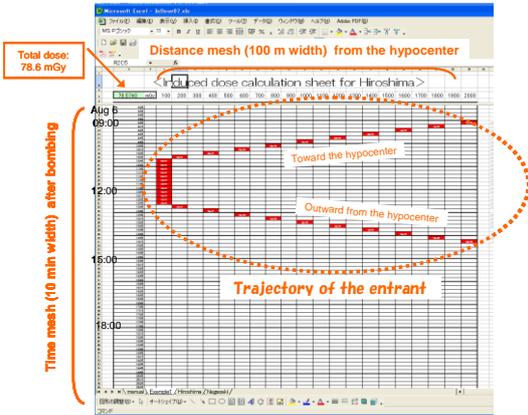


図4. 誘導放射線外部被曝計算 Excel ツール

入市者の移動経路を、図4の赤いセルで示したように入力すると、Excel マクロを用いて外部被曝の総量が求まる。これまでに4例の広島早期入市者について外部被曝の見積もりを行った。8月6日と7日に入市した残りでは24mGy、8月7日に入市した残りの3例については、それぞれ9mGy、3mGy、3mGyの外部被曝量となった。

(4) 広島市内土壌における被放射化安定元素の分布 :

図2や3の誘導放射能計算では、被放射化安定同位体の土壌中でのバラツキを考慮していない。土壌中での安定元素の分布を調べるため、2010年に広島市内の10カ所から土壌をサンプリングし、京大原子炉(KUR, 1MW)を用いて放射化分析を実施した。その結果は現在解析中である。

(5) 広島黒い雨地域の土壌中ウラン 236 の測定 :

広島原爆ではウランが核分裂材料であり、炸裂時にU235 (n, g) U236 反応により、半減期2340万年のウラン 236 が生成する。事前の評価によると、生成したウラン 236 の1%が、黒い雨が強く降ったとされている地域(66平方 km)に均一に沈着し残存していればTIMSやAMSといった最近の測定方法で検出できそうであった。そこでまず、TIMSにより爆心から北西方向にあたる山間部黒い雨地域での土壌中ウラン 236 を測定すると、南東の対照地域に比べ大きな値となる傾向が認められた。しかしながら、同じポイントの土壌をAMS

で測定してみると、値の違いが認められるので、その理由について現在検討を進めている。

(6) 黒い雨効果地域での積算外部被曝の試算  
原爆直後の広島市己斐・高須地区での放射線サーベイデータや、1976年に大規模に実施された広島市周辺土壌中のセシウム137測定結果を検査し、山間部の黒い雨地域で考えられる、広島原爆によるセシウム137の初期沈着量は、1平方m当たり0.5k~2.0kBqの範囲であろうと見積もった。図5は、セシウム137の初期沈着が1平方m当たり1kBqであったとき、半減期の短い他の放射能も含めたときの積算外部被曝を計算したものである。

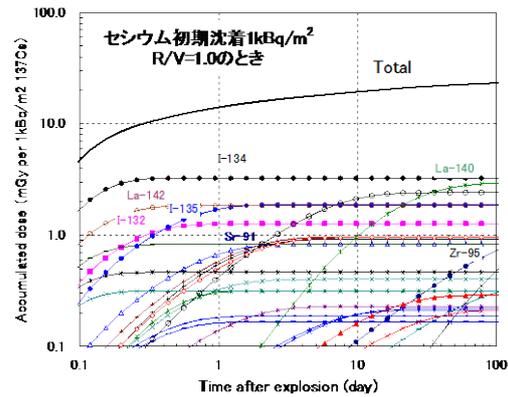


図5. セシウム137初期沈着1kBq/m<sup>2</sup>当りの地上1mでの積算空気吸収線量

セシウム137初期沈着1kBq/m<sup>2</sup>当りの積算線量は、1日後で14mGy、1週間で19mGy、2週間で20mGy、1カ月で22mGy、1年で24mGyとなった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計10件)

1. K. Takamiya, T. Imanaka, SD. Egbert, W. Ruhm. Amendments to <sup>63</sup>Ni production calculation for Hiroshima by Takamiya et al. and DS02 fluence data by Egbert et al. Radiation Environ Biophys, 有, 50, 2011, 329-333.
2. A. Sakaguchi, K. Kawai, P. Steier, T. Imanaka, M. Hoshi, S. Endo, K. Zhumadilov, M. Yamamoto. Feasibility of using <sup>236</sup>U to reconstruct close-in fallout deposition from the Hiroshima Atomic Bomb, Sci Total Environ 有, 408: 5392-5398, 2010.
3. 今中哲二、広島原爆直後に実施された放射能調査活動、広島“黒い雨”研究会編「広島原爆“黒い雨”にともなう放射性降下物

に関する研究の現状」(以下、「黒い雨報告書」)、無、2010、11-24

4. 今中哲二、広島原爆の黒い雨にともなう沈着放射能からの空間放射線量の見積り、黒い雨報告書、無、2010、87-99.
5. T. Imanaka, S. Endo, K. Tanaka, K. Shizuma, Gamma-ray exposure from neutron-induced radionuclides in soil in Hiroshima and Nagasaki based on the DS02 calculation. Radiation Environ Biophys, 有, 47, 2008, 331-336
6. M. Hoshi, S. Endo, K. Tanaka, M. Ishikawa, T. Straume, K. Komura, W. Ruehm, E. Nolte, T. Huber, Y. Nagashima, R. Seki, K. Sasa, K. Sueki, H. Fukushima, S.D. Egbert, T. Imanaka. Intercomparison study on <sup>152</sup>Eu gamma ray and <sup>36</sup>Cl AMS measurements for development of the new Hiroshima-Nagasaki Atomic Bomb Dosimetry System 2002 (DS02), Radiation Environ Biophys. 有 47, 2008, 313-322.

[学会発表] (計 10 件)

1. T. Imanaka, Reconstruction of residual radiation exposure by the atomic bombing in Hiroshima, Chronic Radiation Exposure: Low-Dose Effects. The 4<sup>th</sup> International Conference, November 9-11, Chelyabinsk, Russia.
2. 今中哲二、黒い雨にともなう沈着放射能からの空間放射線量の推定、日本放射線影響学会第 53 回大会、2010 年 10 月 20-22 日、京都
3. 今中哲二、遠藤暁、川野徳幸、田中憲一、広島原爆早期入市者の疾病記録と誘導放射能による外部線量の評価、日本放射線影響学会第 52 回大会、2009 年 11 月 11-13 日、広島
4. 今中哲二、星正治、静間清、遠藤暁、ほか 7 名、広島原爆による黒い雨地域での放射能降下量の再検討、日本放射線影響学会第 51 回大会、2008 年 11 月 19-21 日、北九州

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：

番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

[その他]

ホームページ等：

広島“黒い雨”研究会中間報告書

<http://city.youth-service.com/01publication/0301BlackRain2010.pdf>

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

今中 哲二 (IMANAKA TETSUJI)

京都大学・原子炉実験所・助教

研究者番号：90109083

##### (2) 研究分担者

遠藤 暁 (ENDO SATORU)

広島大学大学院工学研究院・准教授

研究者番号：90243609

##### (3) 連携研究者 なし