

2007年12月8日

広島・長崎誘導放射能による外部被曝簡易計算ソフト (InDose07.xls 暫定版) 使用方法

今中哲二

京都大学原子炉実験所

DS02の策定に関わった日本側WGのまとめの集まりとして、2004年7月に京都大学原子炉実験所で専門研究会を開催した(文献1)。その研究会に合わせ、DS02での仕事の延長として、広島・長崎の誘導放射線量について予備的な計算を行った(文献2)。ついでに、広島のはじめの2日間の計算結果をExcelシートに入れて、入市者の行動(日時と爆心距離)を入力すると、外部被曝が出てくるような簡易ソフトを作成した。研究会などで何度かソフトの話をし、原爆症認定訴訟に関する民間TVでも簡単に紹介された。

現在、原爆症認定基準の見直し作業が行われており、私が作ったソフトについての問い合わせがあった。そこで、これまでやってきたことの延長として、長崎を加え、期間を原爆後1週間に延ばした改訂版(InDose07.xls(暫定版))を作成した。(暫定版としたのは、中味のチェックを十分にやっていないため。)

改訂版を作るにあたって危惧したのは、出てくる“計算結果のひとり歩き”である。ソフト作成者として、計算結果には、広島・長崎誘導放射線被曝に関する“たたき台のひとつ”としての意味はあるだろうと考えている。しかし、それが“どこまで確かか(実際の被曝をどこまで反映しているか)”については、もっと議論が必要だと思っている(添付資料を参照頂きたい)。

◇ 使用方法: Excelファイルを開く(「マクロ可」に設定のこと)

1. 広島か長崎かに合わせて、シート“Hiroshima”、“Nagasaki”を選択する。
2. 入市者の行動経路に従って、時刻(2日目の23:50までは10分刻み、3日目午前0時以降は1時間刻み)と距離(100m以内から2000mまで100m刻み)の対応するセルに蛍光ペンで色をつける。(シート“Example”の例は、6日9時に2000mに入り、10時40分に爆心地域に達し、2時間ほど滞在し、14時10分に2000m外にでた。)
3. 「Ctrl+d」(ctrlキーとdキーを同時に押す)で、蛍光ペン部分の被曝量を合計し、左上(セル(行4,列2))にmGy単位で表示。被曝量は地上1mでの空気中組織カーマ。
4. 「Ctrl+c」キーでリセット。

文献:

1. 葉佐井博巳ほか編「広島・長崎原爆放射線量新評価システムDS02に関する専門研究会」報告書
<http://hlweb.rri.kyoto-u.ac.jp/shibata-lab/DS02/KURRIKR114.html>
2. 今中哲二「DS02に基づく誘導放射線量の評価」(2005)
http://hlweb.rri.kyoto-u.ac.jp/shibata-lab/DS02/Final_pdf/Imanaka-2.pdf

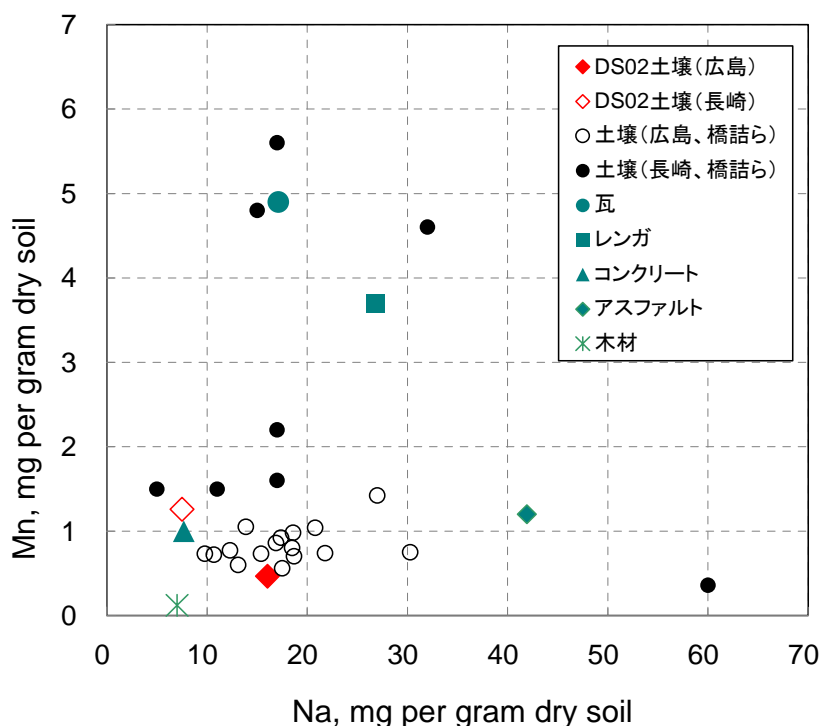
2007.12.8 今中哲二

InDose07.xls (暫定版) 計算結果について

InDose07 で誘導放射線量の算出に用いている DS02 計算は、大気と地面のみで構成されるシンプルなモデルの場合の計算結果であり、建物などの影響は入っていない。実際の被曝状況はもっと複雑であるし、内部被曝や皮膚など表面汚染による被曝も入っていない。本ソフトの計算結果は、誘導放射能による被曝量を考えるための出発点のひとつと見なして頂きたい。

土壌中に生成する誘導放射能のうち「支配的な役割」をもつのは、はじめの 30 分は ^{28}Al (半減期 2.24 分)、最初の日は ^{56}Mn (2.58 時間)、はじめの 1 週間は ^{24}Na (15 時間) である。土壌中誘導放射能の強さは、その中に含まれている放射能生成成分の量に比例する。DS02 計算で用いられている土壌組成は、爆心地近辺で採取された土の測定値である (DS86 final report Vol.I p79) 一方、橋詰らは、広島 16 ケ、長崎 8 ケの土壌サンプルについて成分を報告している (Hashizume et.al, Health Physics 16 (1969)761-771)。下の図は、それら土壌中の Mn 濃度と Na の濃度、さらに、瓦、レンガなどの橋詰データをプロットして比較したものである。

図の分布から判断すると、DS02 計算で用いられている土壌組成は、Mn、Na とともに、どちらかと言えば小さめな値である。つまり、InDose07 計算値は、平均的な値に比べて小さめなところを見積もっている可能性が大きい。また、瓦やレンガの Mn 濃度が大きいこと、アスファルトの Na 濃度の大きいことが注目される。したがって、実際の外部被曝が InDose07 計算結果より 3～5 倍程度大きいことは、「容易に想定される範囲」と言えるであろう。



広島・長崎土壌などの Mn と Na 濃度：DS02 と橋詰ら

InDose07 計算結果と生物学的被曝評価との比較

厚労省の「原爆症認定の在り方に関する検討会」第4回（H19.11.29）において、鎌田委員が、染色体異常や白血球値に基づいて、誘導放射線による被曝量を推定した資料を提出している。ここでは、鎌田らの値と InDose07（暫定版）の計算結果を、以下の5つのケースについて比較してみた。

その結果、例1と例2では（生物学的評価値）／（InDose07 計算値）の比は3～5程度で、添付資料1から想定される範囲に落ち着いた。しかし、例3では25倍、例4、例5については、80～170倍以上の違いを示しており、被曝量評価について今後の discussion が必要なことを示している。

◇ 鎌田委員説明参考資料4 (<http://www.mhlw.go.jp/shingi/2007/11/dl/s1112-7e-d.pdf>) の抜粋。

0. 5Sv以上の残留放射線に被曝したと推定される事例 —白血球数と染色体異常率からの検証—

鎌田七男¹、川上秀史²、

¹広島大学名誉教授、²広島大学原爆放射線医科学研究所 放射線分子疫学研究分野

表2. 地下室（壕）に居て市外へ逃げた人の染色体異常からの推定（第2群）

| | 当時の年齢 | 推定線量 Sv | 事 例 |
|---|-------|---------|--|
| 1 | 20才 | 0.9 | 富国生命ビル地下当直室、国民服、無帽、地下足袋、ゲートルなし。退避時間・経路：6時間後、紙屋町－八丁堀－白島、通信局本庁に報告にゆく 69歳時 大腸癌 生存中 |
| 2 | 35才 | 1.87 | 天神町地下防空壕、退避経路：天神町－市役所－鶴見橋－比治山 72歳 脳出血死亡 |
| 3 | 8才 | 1.96 | 袋町小学校地下室、学生服、素足。退避時間・経路：90分後、袋町小学校－富士見町－鶴見橋－比治山 55歳時 胃癌 71歳時 自殺 |
| 4 | 9才 | 3.3 | 袋町小学校地下室、学生服、学生帽、左足素足。退避時間・経路：90分後、袋町小学校－富士見町－比治山 42歳時 胃癌 生存中 |

表1. 早期入市者の白血球数（WBC）からの推定（第1群）

| | 症 例 | 白血球数 | 事 例 |
|---|---------|-------|---|
| 1 | 広島市配給課長 | 3,200 | 当日正午頃より市役所（1km地点）出勤、泊り込みで作業。その後、足が化膿、WBC 3,200（三菱病院）、1ヶ月後 WBC 5,800に回復 入市経路：仁保－御幸橋－市役所－比治山橋 |
| 2 | 陸軍下士官 | 3,200 | 当日より数日間 0.9～1.6km 範囲で作業。9月初旬、出血と紫斑、9月24日 WBC 3,200（陸軍軍医学校） |

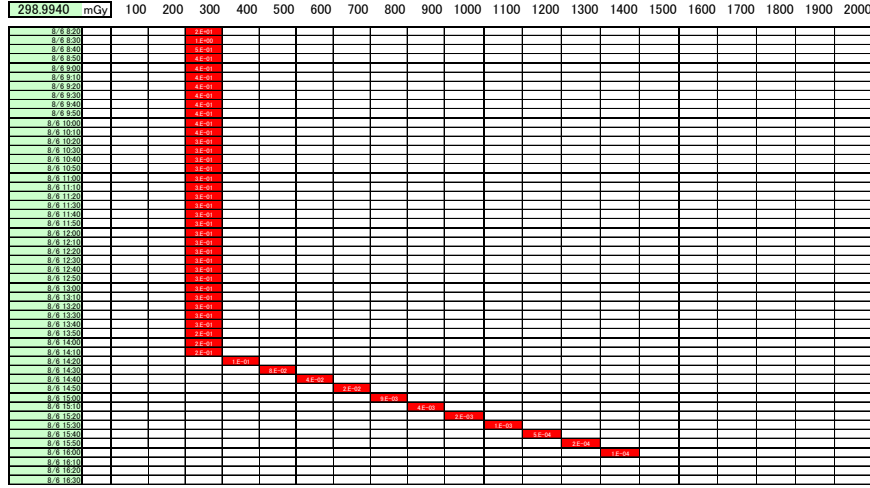
◇ InDose による計算結果

◎例 1 (表 2 の 1) : 富国生命ビル地下室 (300m) 6 時間 → 通信局 (1400m)

◆ In-Dose 計算値 : 0.3Sv、◆ 染色体に基づく被曝量 : 0.9Sv

(注 : InDose 計算値は地上 1m での空中組織カーマ (mGy) だが、そのまま mSv とした.)

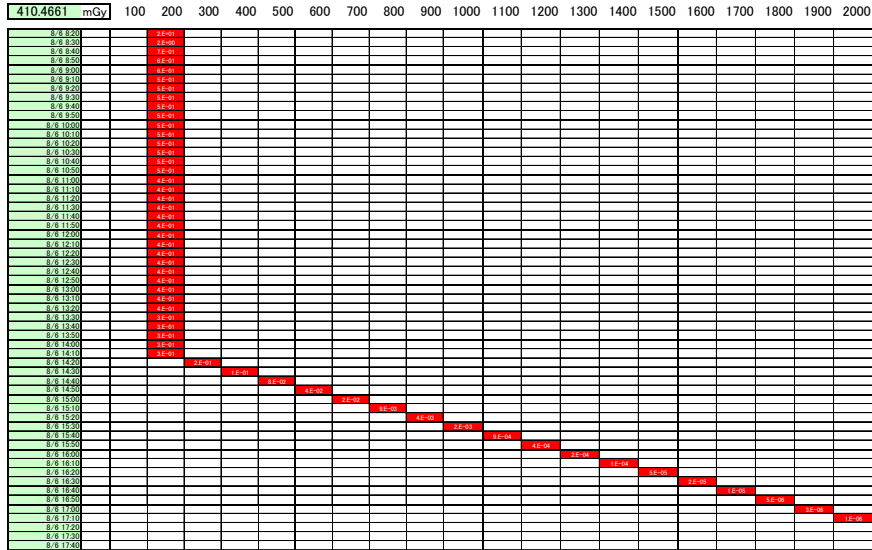
<誘導放射能による外部被曝計算シート : 広島>



◎例 2 (表 2 の 2) : 天神町地下防空壕 (200m?) → 比治山 (2000m). 待避時刻は不明だが例 1 と同じにした.

◆ In-Dose 計算値 : 0.4Sv、◆ 染色体に基づく被曝量 : 1.87Sv

<誘導放射能による外部被曝計算シート : 広島>



2007.10.24

広島爆心地近辺にあった鉄カブトからの誘導放射線被曝

今中哲二（京都大学原子炉実験所）

imanaka@rri.kyoto-u.ac.jp

広島大・静間さんより、広島爆心 200m で被曝した鉄カブトを使って煮炊きしたケースについての誘導放射線被曝について問い合わせがあった（静間さんへの依頼は、元原医研の鎌田先生）。原爆投下後 2 週間後からとのことなので、直感的には大きな被曝になるとは思えないが、何かの参考にもなりそうなので、数字をあたってみた。

◇ 鉄カブト（右写真）

爆心から 200m で被曝した鉄カブトで、原爆後 14 日目から 21 日目にかけて、煮炊きに使ったとのこと。大きさは、縦 28cm、横 25cm、高さ約 15cm。重さは 810g。



◇ 鉄の組成

鉄サンプルの放射化分析などを行っている KUR 柴田研のみなさんにコメントを求めたところ、鉄の放射化で問題になりそうなのは、不純物の Mn や Co とのことだった。その濃度は、鉄（やステンレス）によってかなり違いがありそうだが、「日本鉄鋼認証標準物質一覧」といった資料をながめながら、とりあえず Mn 1%wt、Co 0.2% wt としておく。

◇ 放射化量

表 1 のようにここで着目する放射化反応は 4 つとし、Fe 1kg、Mn 10g、Co 2g という組成を仮定して、広島爆心地での放射化量を計算してみた。

表 1. 鉄カブト中 (Fe 1kg、Mn 10g、Co 2g) に生成する誘導放射線エネルギー

| 放射化反応 | Abundance % | 反応断面積* barn | 中性子束** n/cm ² | 生成放射線エネルギー*** Bq |
|--|----------------|------------------------|-----------------------------|---------------------|
| ⁵⁸ Fe (n, γ) ⁵⁹ Fe | 0.282 | 1.153 (thermal) | 9.05E+12 | 5.7E+4 |
| ⁵⁴ Fe (n, p) ⁵⁴ Mn | 5.85 | 0.001~0.4 (1~20MeV) | 1.35E+11 | 89 |
| ⁵⁵ Mn (n, γ) ⁵⁶ Mn | 100 | 11.89 (thermal) | 9.05E+12 | 8.8E+8 |
| ⁵⁹ Co (n, γ) ⁶⁰ Co | 100 | 32.89 (thermal) | 9.05E+12 | 2.5E+4 |

* ; JENDL3.3 より. **;Egbert による広島爆心地の地上 1 m. *** ; 爆発直後の放射線エネルギー.

☆ ガンマ線量率と内部被曝

^{54}Mn (半減期 312 日) の生成量は少ないので無視し、残りの 3 核種によるガンマ線被曝を考える。結果を表 2 と図 1 に示す。ついでに、図 1 には NaCl 100g 中に生成する ^{24}Na (半減期 15 時間) から 1 m での線量率も示した。また、表 3 は、生成した誘導放射能の全量を経口摂取したときの内部被曝量である。

表 2. 原爆直後における鉄カブトから 1 m 離れた距離でのガンマ線量率

| 核種 | 半減期 | 主なガンマ線、MeV (%) | 線量率定数* $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ | t=0 のとき | |
|------------------|---------|---------------------------|---|-----------------|--------------------------------------|
| | | | | 放射エネルギー Bq | 1m ガンマ線量率 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ |
| ^{59}Fe | 44.5 日 | 1.1(57)、1.3(43) | 0.171 | $5.7\text{E}+4$ | 0.0098 |
| ^{56}Mn | 2.58 時間 | 0.847(99),1.8(27),2.1(14) | 0.236 | $8.8\text{E}+8$ | 208 |
| ^{60}Co | 5.27 年 | 1.17(100)、1.33(100) | 0.352 | $2.5\text{E}+4$ | 0.0090 |

線量率定数：1MBq の線源から 1 m 離れたときの 1cm 線量当量率、 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ (アイソトープ手帳)。

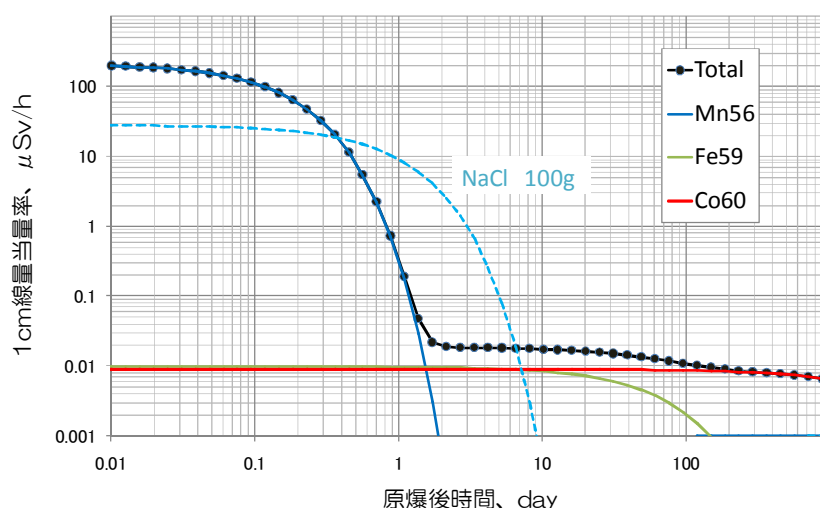


図 1 鉄カブトから 1 m でのガンマ線量率の変化 (+NaCl 100g から 1 m)

表 3 誘導放射能全量を経口摂取したときの内部被曝

| 核種 | 線量換算係数*、 $\mu\text{Sv}/\text{Bq}$ | 生成放射エネルギー、Bq | 内部被曝線量、mSv |
|--------------------|-----------------------------------|-----------------|------------|
| ^{59}Fe | $1.8\text{E}-3$ | $5.7\text{E}+4$ | 0.1 |
| ^{56}Mn | $2.5\text{E}-4$ | $8.8\text{E}+8$ | 220 |
| ^{60}Co | $7.0\text{E}-3$ | $2.5\text{E}+4$ | 0.18 |
| $^{24}\text{Na}^*$ | $3.9\text{E}-4$ | $5.6\text{E}+7$ | 22 |

* ; ICRP Pub60 に基づく。 * ; 100g の NaCl 中生成量。

● まとめ

- ▶ 図 1 の計算結果は距離 1 m なので、距離 10cm にすると 100 倍になる。それでも 2 週間後では $1\mu\text{Sv}/\text{h}$ 程度にしかならず、鉄カブトから外部被曝があっても BG の数倍である。
- ▶ 煮炊きしたことにより若干の鉄を取り込んだとしても有意な被曝は考えがたい。
- ▶ 原爆初日に、100kg といった大きな鉄板の上に居れば ^{56}Mn からかなりの被曝が起こりうる。また、爆心地で被曝した食塩を取り込んだら若干の内部被曝があったであろう。 以上