

14章 長崎原爆プルトニウムの測定と大学

奥村 寛、島崎 達也、吉田 正博

1 節 はじめに

長崎原爆の放射性降下物の分布は、西山地区を中心とし、東方に広がっていると報告されている^{1,2)}。我々は爆心地を中心に未耕地土壌を採取し、^{239, 240}Pu濃度及び¹³⁷Cs濃度の測定を行い、長崎原爆による放射性降下物の分布を求めた。さらに、原爆投下後数カ月の間に測定された放射性降下物によって汚染された地域の測定された空間線量率と^{239, 240}Pu濃度および¹³⁷Cs濃度の距離分布の比較を行った。

2 節 実験方法

未耕地土壌の採取は1990年9月から11月の間に行った。図1に示すように、爆心地を中心とした半径15km以内の検討地区70地区およびバックグラウンドとして爆心地より西側に位置し15km以上離れた5地点より採取した。

直径5.3cmの円筒状の採取容器を用い、深さ10cmの土壌を採取した。採取箇所は1地点につき10箇所から16箇所である。^{239, 240}Pu濃度の測定は日本分析センターにて行った。¹³⁷Cs濃度の測定は純ゲルマニウム検出器（GMX-15200：EG&G社製）を用いて行った。¹³⁷Cs濃度は半減期補正を行い、試料採取時（1990年10月15日）の値に換算した。濃度は単位面積あたりの放射能（MBq/km²）で示した。

3 節 結果

図2は単位面積あたりの全^{239, 240}Pu濃度の距離分布を示す。

距離は爆心地からの直線距離であり、東方をプラス、西方をマイナスとした。バックグラウンドの5箇所の^{239, 240}Pu濃度（±標準偏差）は、 $69.6 \pm 16.9 \text{ MBq/km}^2$

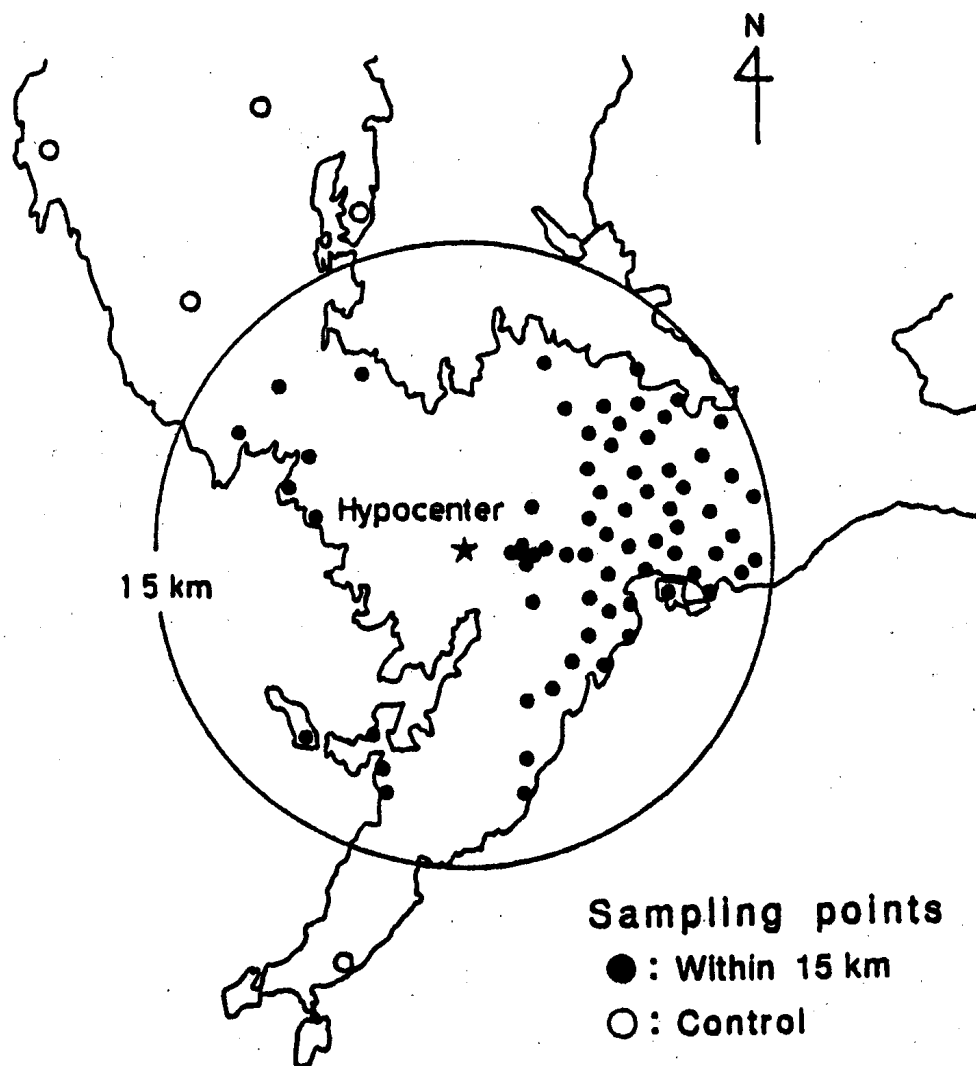


図 1

と推定された。爆心地より東側にバックグラウンドより有意に高い地点が存在することが分かった。 $^{239, 240}\text{Pu}$ 濃度の最大値は爆心地より東に 3 km の地点で $1455\text{MBq}/\text{km}^2$ であった。

図 3 は全 ^{137}Cs 濃度の距離分布を示す。距離の表示は図 2 と同様である。バックグラウンドの 5 地点の ^{137}Cs 濃度 ($\pm\text{SD}$) は、 $3471 \pm 807\text{MBq}/\text{km}^2$ と推定された。 $^{239, 240}\text{Pu}$ の場合と比べ ^{137}Cs がバックグラウンドの値と差がなかった。これは、測定の時期が原爆投下後 45 年も経過し、 ^{137}Cs の半減期より減弱したためである。

全 $^{239, 240}\text{Pu}$ 濃度からバックグラウンドの平均値を差し引いた値が、その標準偏差の 3 倍以上であったときに、 $^{239, 240}\text{Pu}$ が有意に検出されたとした。図 4 は $^{239, 240}\text{Pu}$ が検出された 18 地点について、バックグラウンドの値を差し引いた正味の

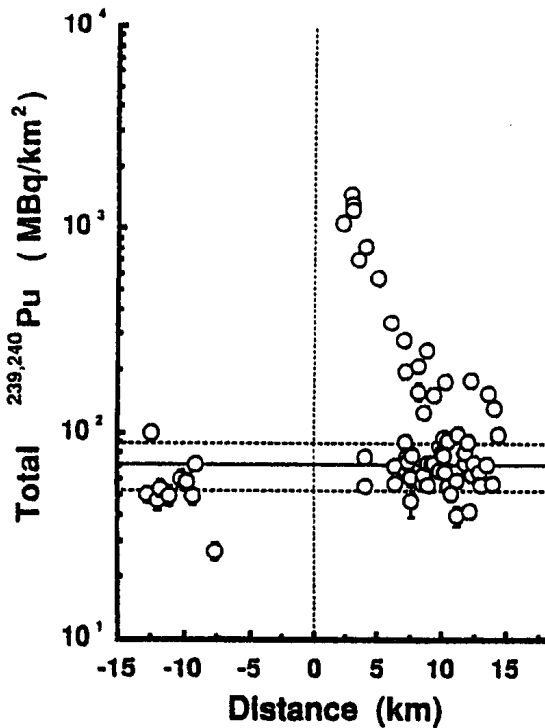


図 2

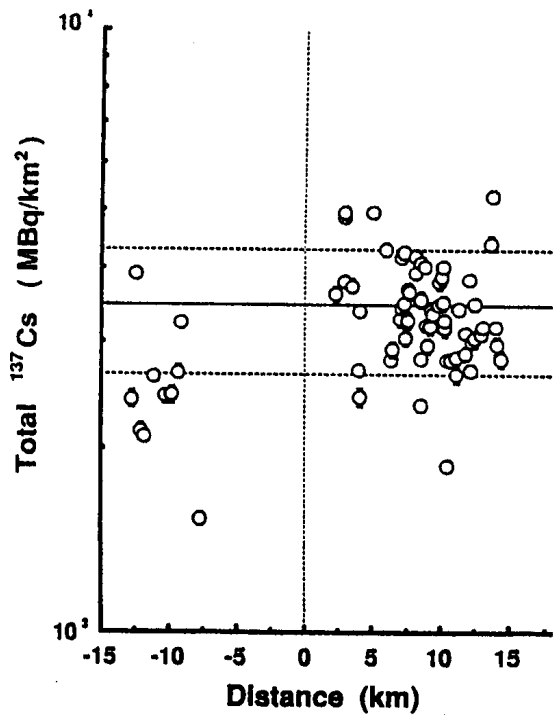


図 3

$^{239,240}\text{Pu}$ 濃度と距離との関係を示す。

$^{239,240}\text{Pu}$ の放射能 $A_{^{239,240}\text{Pu}}$ ($\text{MBq} \cdot \text{km}^{-2}$) の回帰式を求めると次の式が得られた。

$$A_{^{239,240}\text{Pu}} = 7180 \times D^{-1.81}$$

ここで、 D は爆心地から採取地点までの直線距離 (km) である。爆心地から14.1kmの範囲に放射性降下物を確認することが出来た。

図5に $^{239,240}\text{Pu}$ 濃度がバックグラウンドの値と比較し有意に高かった地点を地図上に黒丸で示した。それらの地点は爆心地から真東を0度とし、北側15度から南側10度の間の扇状の地域にあった。

4 節 考察

^{137}Cs 濃度は、 $^{239,240}\text{Pu}$ 濃度と比べ有意に高い濃度を示す地点は少なかった。爆心地より東側に4地点でバックグラウンドより有意に高い地点で存在したが、 $^{239,240}\text{Pu}$ 濃度と比べ距離分布を回帰直線で求めるほどの明らかな傾向はなかった。

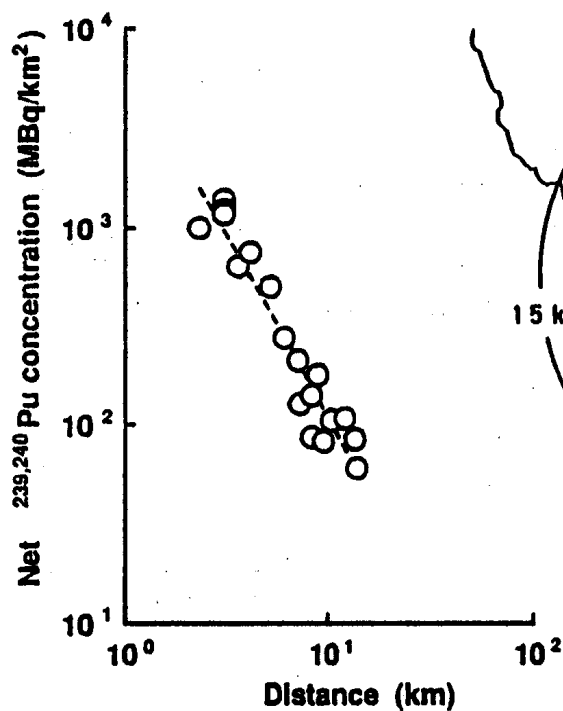


図 4

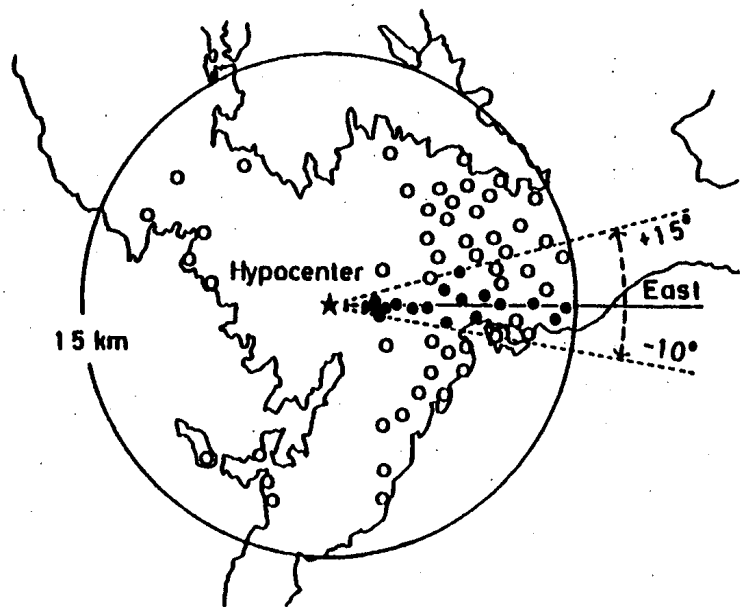


図 5

そこで、長崎原爆による ^{137}Cs 濃度の距離分布を推定するために、以下の解析を行った。長崎原爆の放射性降下物としての $^{239, 240}\text{Pu}$ および ^{137}Cs の濃度をそれぞれ $\text{Pu}_{,N}$ および $\text{Cs}_{,N}$ とすると

$$\text{Pu}_{,N} = \text{Pu}_{,T} - \text{Pu}_{,B} \quad (1)$$

$$\text{Cs}_{,N} = \text{Cs}_{,T} - \text{Cs}_{,B} \quad (2)$$

となる。ここで、

$\text{Pu}_{,T}$: 全 $^{239, 240}\text{Pu}$ 濃度

$\text{Cs}_{,T}$: 全 ^{137}Cs 濃度

$\text{Pu}_{,B}$: バックグラウンドの $^{239, 240}\text{Pu}$ 濃度

$\text{Cs}_{,B}$: バックグラウンドの ^{137}Cs 濃度

である。 $\text{Cs}_{,N}$ は測定値がバックグラウンドと比べそれほど大きくなく、(2)式より求めることは不可能である。そこで、以下の方法により $\text{Cs}_{,N}$ を求めた。距離 (x) に対する $^{239, 240}\text{Pu}$ 濃度および $^{239, 240}\text{Pu}$ 濃度と ^{137}Cs 濃度の比は、両対数グラフ上で直線を示す。この直線を回帰分析によって求めると、

$$f_1(x) = \text{Pu}_{,N} \quad (3)$$

$$f_2(x) = \frac{\text{Pu}_{,T}}{\text{Cs}_{,T}} - \frac{\text{Pu}_{,B}}{\text{Cs}_{,B}} \quad (4)$$

の回帰式は

$$f_1(x) = 7180x^{-1.81} \quad (5)$$

$$f_2(x) = 1.65x^{-1.75} \quad (6)$$

であった。相関係数はそれぞれ-0.82および-0.83であった。 $\text{Cs}_{,N}$ を(1)～(4)式より求めると

$$\begin{aligned} \text{Cs}_{,N} &= \text{Cs}_{,T} - \text{Cs}_{,B} \\ &= \frac{\text{Pu}_{,T}}{f_2(x) + \frac{\text{Pu}_{,B}}{\text{Cs}_{,B}}} - \text{Cs}_{,B} \\ &= \frac{f_1(x) + \text{Pu}_{,B}}{f_2(x) + \frac{\text{Pu}_{,B}}{\text{Cs}_{,B}}} - \text{Cs}_{,B} \quad (7) \end{aligned}$$

となる。バックグラウンドの $\text{Pu}_{,B}$ および $\text{Cs}_{,B}$ は

$$\text{Pu}_{,B} = 70.3 \text{ (MBq/km}^2\text{)}$$

$$\text{Cs}_{,B} = 3470 \text{ (MBq/km}^2\text{)}$$

であったので、これらの値と(5)、(6)式により

$$\text{Cs}_{,N} = \frac{7180 \cdot x^{-1.81} + 70.3}{1.65 \cdot x^{-1.75} + 0.0203} - 3470 \quad (8)$$

となる。図6に(8)式で求めた $\text{Cs}_{,N}$ 濃度を示す。 $^{239, 240}\text{Pu}$ 濃度(図4)と比較して緩やかに減弱していた。

図7は長崎における原爆投下後数カ月の間に測定された放射性降下物によって汚染された地域の空間線量率の距離分布を示す。測定値はバックグラウンドに対するバックグラウンドを差し引いた正味の測定値で示されている。図に示した値は、図1の $^{239, 240}\text{Pu}$ 濃度が有意に高かった地区のものである。○は増田ら³⁾が1945年12月25日より、Neher型宇宙線計を用いて測定した値を示す。△はPase and Smith⁴⁾が1945年10月より、携帯型GM計数管によって測定した値を示す。●は篠原ら⁵⁾が1945年10月1日より、Luaritsen検電器を用いて行った値を示す。

図8では、原爆投下直後の空間線量率(図7)、 $^{239, 240}\text{Pu}$ 濃度(図4)および

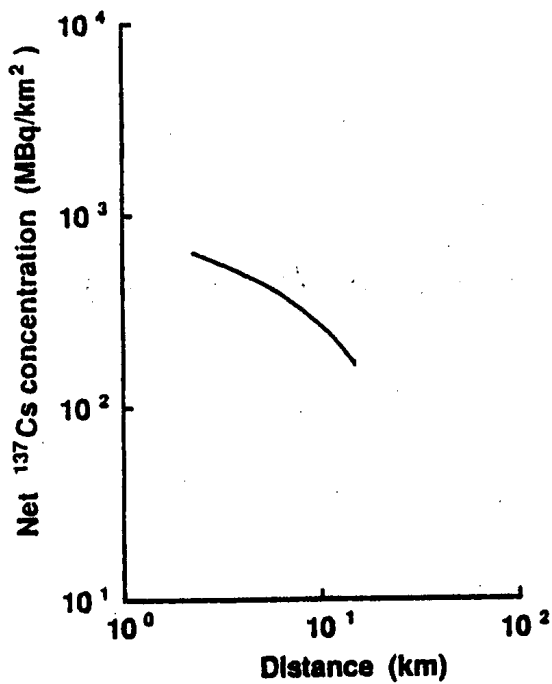


図 6

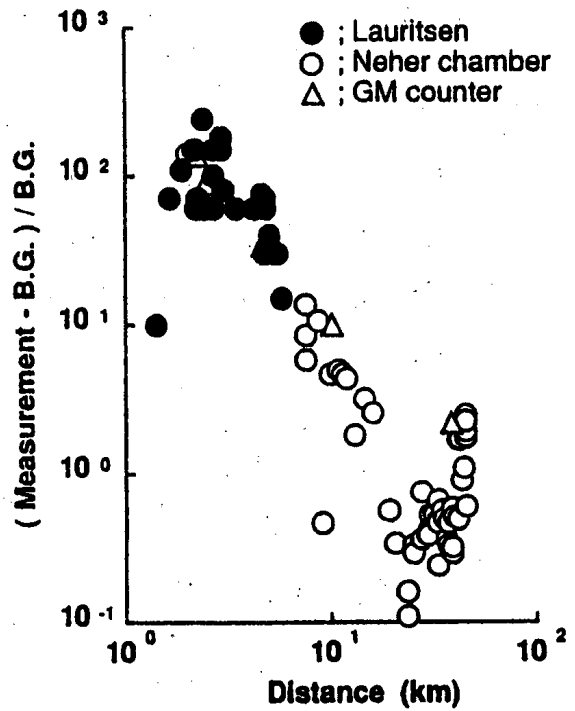


図 7

^{137}Cs 濃度 (図 6) について、それぞれ回帰直線を求め、それぞれのバックグラウンドに対する値の比較を行った。 ^{137}Cs 濃度は原爆投下時 (1945年 8月) の値に半減期補正を行った。原爆投下直後の測定でNeher型宇宙線計の値がGM計数管やLauritsen検電器の値と比較して小さいのは測定を行った時期が2ヶ月程度遅かったために、残留放射能が減少したためと考えられる。空間線量率の傾きは3種類の測定器ともよく一致している。空間線量率の傾きは $^{239, 240}\text{Pu}$ 濃度の傾きと比較すると、やや緩やかな傾きであった。 ^{137}Cs 濃度の傾きは他の傾きと比較して、最も緩やか

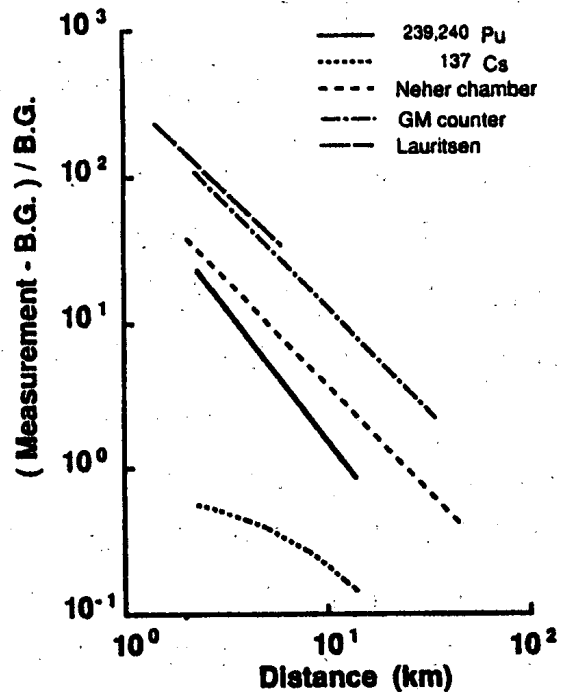


図 8

であった。このことは ^{137}Cs が $^{239, 240}\text{Pu}$ と比較し、より遠くに到達した可能性を示した。セシウムおよびプルトニウムの沸点は、それぞれ703℃および3235℃である。沸点の高い $^{239, 240}\text{Pu}$ は、原爆の雲の中で速く凝固し、爆心地から近い距離に多くの放射能を降下させ、遠距離には少なく降下させたと考えられる。沸点の低い ^{137}Cs は、凝固が遅くなり、気体と粒子が混合した状態でより遠くまで飛んだと考えられる。

〔参考文献〕

- 1) M. Yamamoto, K. Komura and M. Sakanoue: Pu isotopes, ^{241}Am and ^{137}Cs in soils from the atomic bombed areas in Nagasaki and Hiroshima. J. Radiat. Res., 26: 221-223, 1985.
- 2) A. Kudo, Y. Mahara, T. Kauei and D. C. Santry: Fate of plutonium released from the Nagasaki A-bomb, Japan. Wat. Sci. Tech., 23: 291-300, 1991.
- 3) 増田時男、坂田民雄、中根良平：長崎およびその隣接地区における原子爆弾による放射能、原子爆弾災害調査報告集、第一分冊、38-40、日本学術振興会、1953
- 4) N. Pace and R. E. Smith; 広島および長崎の原子爆弾被爆地域における残留放射能の強さの測定、ABCC業績報告書26-59、1-30、原爆障害調査委員会、1959
- 5) 篠原健一、森田 右、河井直幸、森田昌広、高良和武：長崎市およびその近傍における土地の放射能（第2部 西山貯水池付近の放射能）、原子爆弾災害調査報告集、第一分冊、45-53、日本学術振興会、1953