

これまでの黒い雨の測定結果等について

静岡 清

広島大学大学院工学研究科

1. 広島原爆の初期調査およびその後の調査

初期調査については主として原子爆弾災害調査研究特別委員会の報告書¹⁾にまとめられている。この委員会は原子爆弾の災害を総合的に調査研究するために、1945年9月に文部省学術会議により設立され、物理化学地学科会をはじめ9分科会で構成された。

1945年、8月8日に理化学研究所の仁科芳雄氏は陸軍調査団とともに空路、広島に入った。8月9日には仁科氏の指導のもとに陸軍関係者により爆心から5km以内の28カ所から土壌試料が採取された²⁾。試料は使用済みの封筒などに入れられて8月10日に東京に空輸され、その日の内に理研において測定されて、銅線から放射能が検出された。これにより原爆であることが確かめられた。この他、初期調査としては8月10日に大阪調査団³⁾が入市し、携帯用箔検電器を使用して西練兵場の砂から放射能を検出した。翌11日には市内の数ヶ所から砂を採取し、己斐駅付近で放射能が高いことが確かめられた。8月10日には京都大学調査団⁴⁾も入市し、市内で砂を採取して11日に帰京ののち放射能を検出した。そして、9月3日、4日には山崎文男氏⁵⁾(理研)がローリッツェン検電器を自動車に乗せて外部放射線量の現場測定を行った。

渡辺武男氏(東京帝国大学教授)は地学班長として1945年10月11日に広島に入り、11, 12, 13日に広島の調査を行った⁶⁾。14日には長崎に向かい、15-19日に長崎の調査を行った。さらに、1946年5月7日に広島、13日に長崎を再調査した。渡辺氏の収集した資料は東京大学総合研究試料館(現、東京大学総合研究博物館)で保管されていた。これらの試料は平成16年1月24-4月12日に「石の記憶-ヒロシマ・ナガサキ」として初めて特別展示されるとともに、写真集⁷⁾にまとめられている。渡辺氏の調査のあと小島丈児氏(広島文理大)らは独自に調査を行った。実際の現地調査と試料収集は10月27日、11月4, 5, 9, 13日、12月2, 3日に当時学生であった秀敬氏(広島大学名誉教授)が行った。これらの試料は岩石学的調査のあと、広島大学理学部岩石学教室で保管されていた。

原爆後、1945年10月3日~7日には、日米合同調査団の調査⁸⁾が行われた。この調査では携帯用ガイガーミュラー計数管を用いて広島の100ヶ所、その後、長崎で900ヶ所について行われた。そして、両市の爆心地と風下にあたる広島市の西方3.2kmの高須地区、長崎市の東方2.7kmの西山地区で高いことが確かめられた。

近年の調査として、昭和51年度および53年度に厚生省は広島において爆心地から半径30kmの範囲の107地点、長崎で98地点について土壌を採取し、フォールアウトに含まれる¹³⁷Cs、⁹⁰Srの調査を実施した⁹⁾。しかしながら、当時はすでに核実験フォールアウトの影響があり、広島原爆に起因する明らかなデータは得られなかった。また、黒い雨地域と他の地域との違いも認められなかった。

爆発の20~30分後から黒い雨が降ったことが知られている。1953年、宇田道隆氏ら¹⁰⁾は、雨域、降雨開始時刻、降雨継続時間などについて116のアンケート調査を行った。宇田氏らは1時間ないしはそれ以上激しい降雨のあった区域は長径19km、短径11kmの楕円ないしは長卵型で、少しでも降雨のあった区域は長径29km、短径15kmの長卵型の区域であった。この降雨地域を図1に示す。その後、

1987年8月(昭和62年6月)に増田善信氏は宇田氏の調査データに加えて再度、170のアンケート調査を実施し、さらに気象データをもとに降雨地域は従来よりも広い説¹⁾を発表した。その降雨地域を図2に示す。

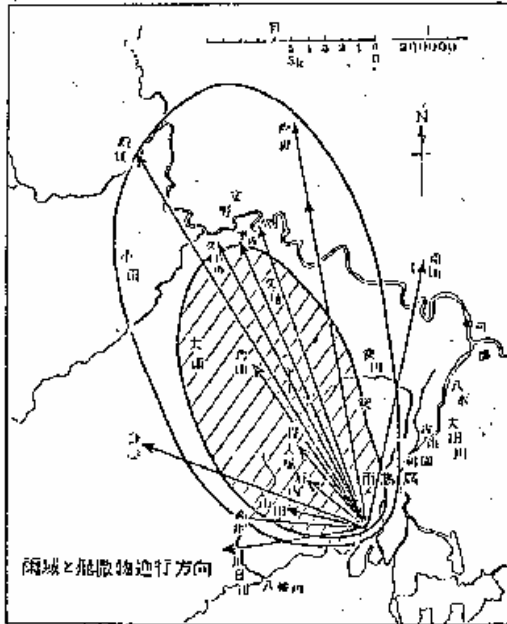


図1 宇田雨域(文献10)

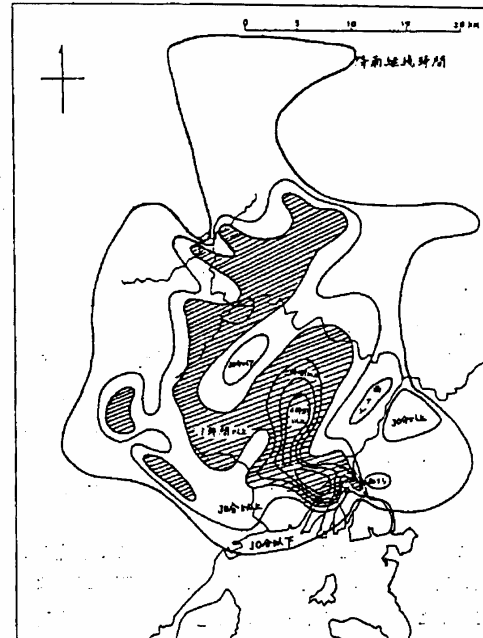


図2 増田雨域(文献11)

昭和62年6月に我々は(株)中国放送より、広島市の近郊で黒い雨にあったといわれる農具等の放射能測定を依頼された。それらは、(1)背負子(湯来町白砂)、(2)ベニヤ板(加計町穴)、(3)雨戸(広島市口田)であった。これらの測定結果は文献12に報告した。

本報告においては、1. 湯来町試料等の測定、2. 広島大学理学部岩石学教室の被爆試料、3. 理化学研究所の土壌試料、4. 広島市原爆資料館の黒い雨壁面の測定についてまとめる。

2. 湯来町試料等の測定

中国放送より提供を受けた3点の試料、背負子、ベニヤ板、雨戸の写真を図3に示す。また、それらの位置を図4に示す。

(1) 背負子(背負子1とする)(湯来町白砂)

現在の小雨地域の外にある農家の所有のものである。原爆当日、屋外にいた所有者が降り始めた雨を避けるためにこの背負子を傘代わりに使用したとのことであった。この背負子の保存状態を調べるために現地で聞き取りを行ったところ、この背負子はその後、納屋の軒先に掛けられていた。この納屋は昭和60年頃に取り壊されて、その後は倉庫の中に収められていた。

(2) ベニヤ板(加計町穴)

原爆当日、広島市内から舞い上がった紙や板切れが加計町まで飛んできたものの一つ。台枠に張りつけられて保存されていた。黒い雨をあびたかどうかについては不明。

(3) 雨戸(広島市口田)

民家の2階の雨戸で、黒い雨をあびたとされるもの。この雨戸はその後、昭和62年当時まで使

用されていたので核実験フォールアウトの影響を受けている。

図3 広島市近郊で集められたサンプル

A：背負子1、B：ベニヤ板、C：雨戸

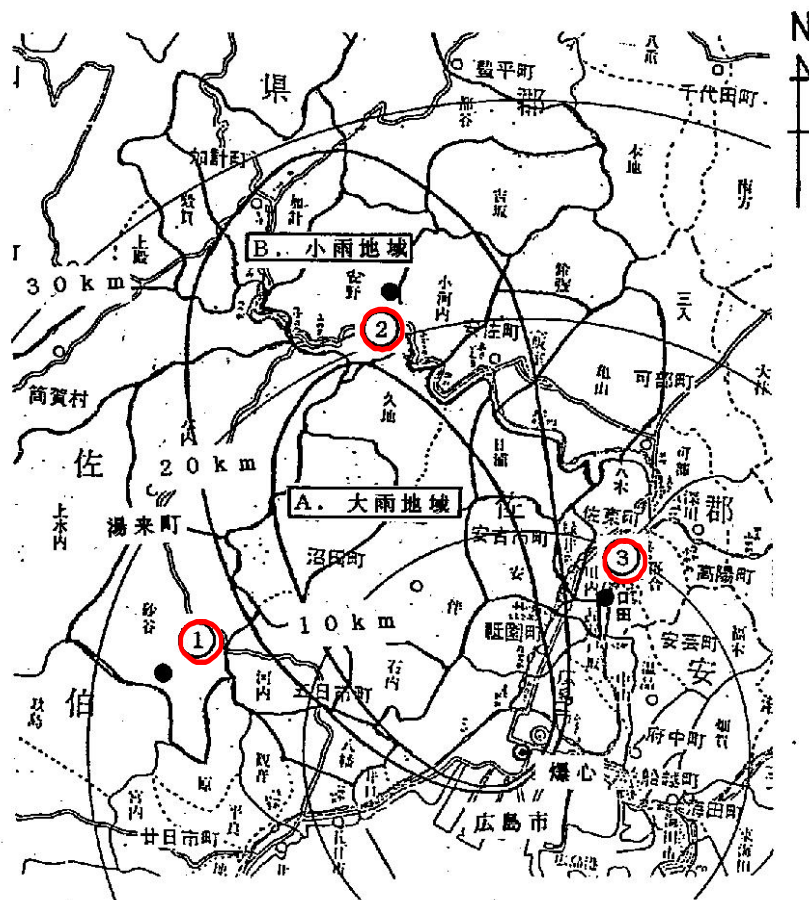
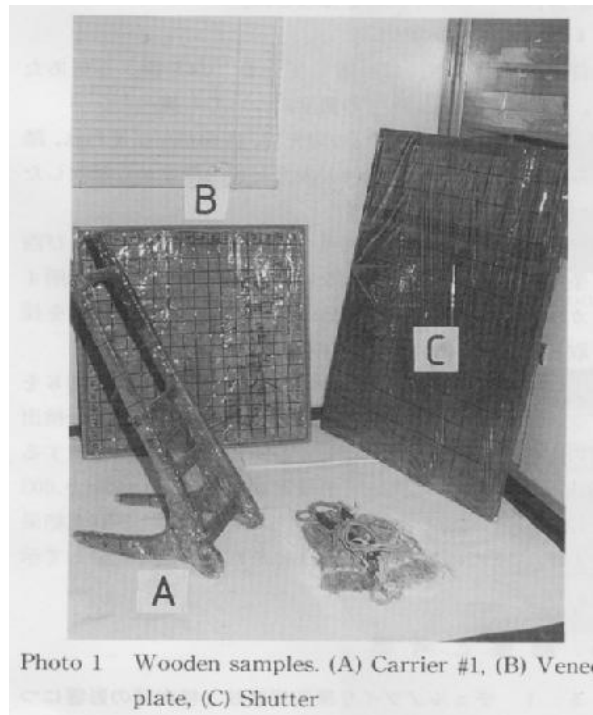


図4 黒い雨雨域（宇田雨域）と広島市近郊で集められたサンプル①：背負子1（湯来町白砂）、②ベニヤ板（加計町穴）、③：雨戸（口田）

各試料の検査に先立ち、GM サーベイメータ（Aloka 製 GP-1013C）で表面汚染のチェックを行った。いずれの試料も測定値はバックグラウンドと同程度で、サーベイメータにより検出されるような表面汚染は無かった。

次に、各試料から小片を切り出し、低バックグラウンド Ge 検出器を使用して ^{137}Cs の測定を行った。この検出器は Ge 検出器（結晶体積 124cm^3 ）と鉛遮蔽（ 20cm ）から構成されている。この低バックグラウンド装置では ^{137}Cs 662keV γ 線に対するバックグラウンド計数率を $1/140$ に低減することができる。

背負子 1 から $2\text{cm}\times 2\text{cm}\times 3\text{mm}$ の木片を 40 片切り出し、Ge 検出器で測定した。木片の部位を図 5 に示す。背負子 1 の ^{137}Cs の測定結果を図 6 に示す。このほかに対照試料として原爆以降に作られた背負子 2、加茂郡黒瀬町の農家からいただいた背負子 3、荷車、納屋の梁、鋤についての ^{137}Cs の測定結果を図 7 に示す。

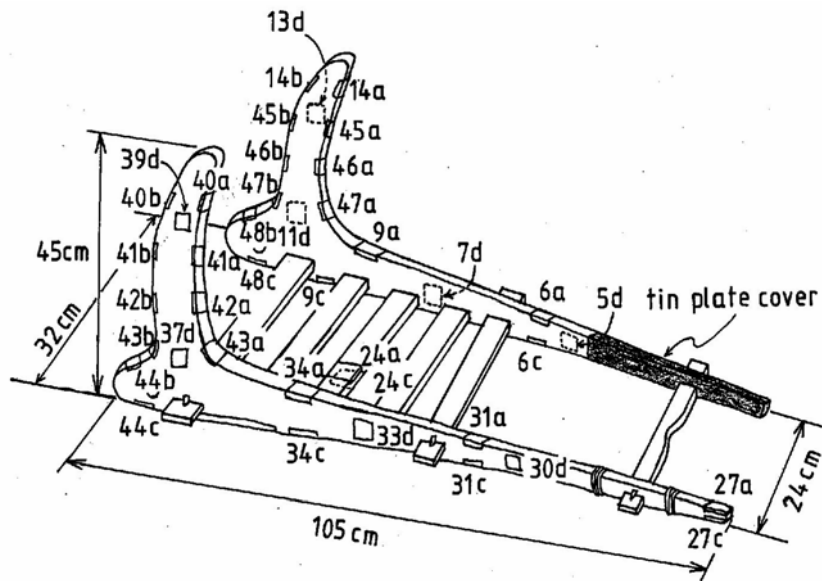


図 5 背負子 1 から切り出した測定用木片サンプルの位置

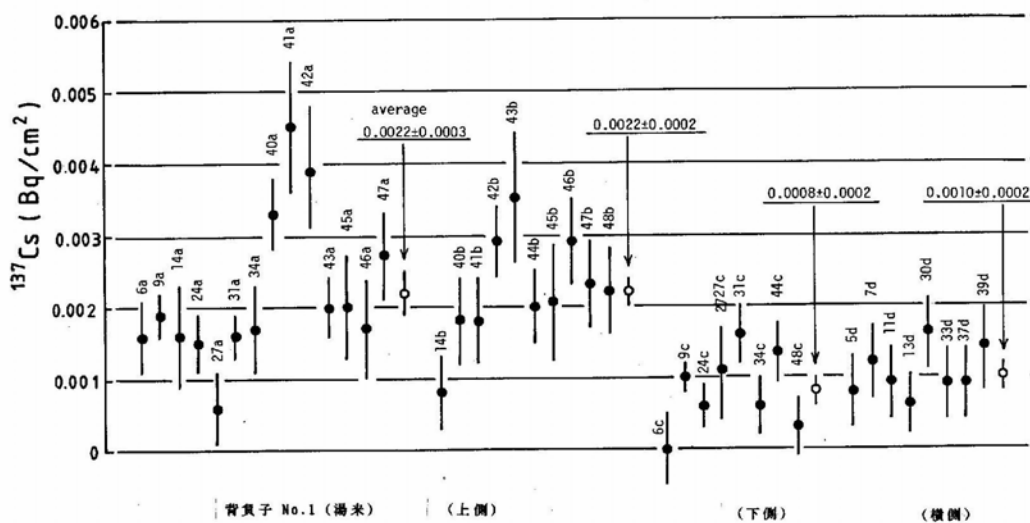


図 6 背負子 1 の ^{137}Cs 測定結果

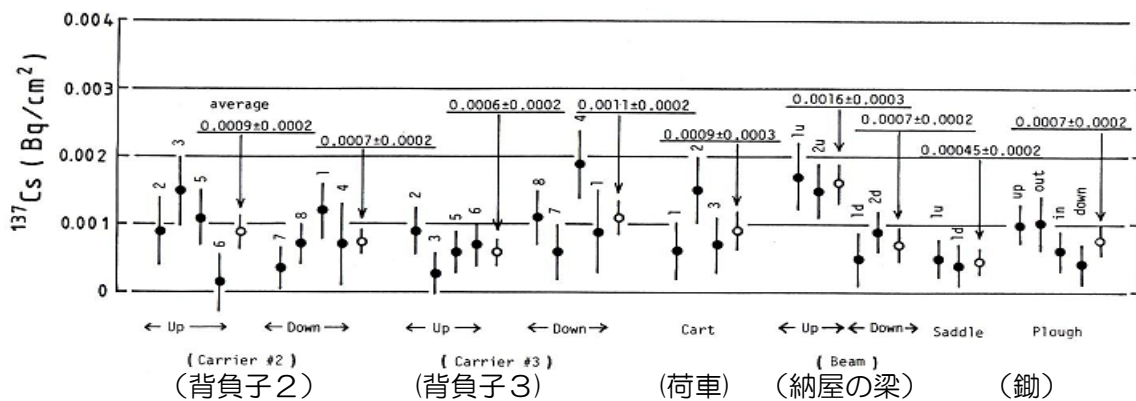


図7 背負子2、背負子3、荷車、納屋の梁、鋤の¹³⁷Cs測定結果

また、背負子以外に土壌試料も採取して¹³⁷Csの測定を行った。背負子1の所有者の庭先の土と、対照試料として広島大学工学部（東広島市）のキャンパス内、古い神社など4ヶ所の土を採取した。その¹³⁷Csの測定結果を図8に示す。

図8 土壌試料の¹³⁷Csの測定。
湯来町、東広島市西条町4サンプル、
広島大学工学部キャンパス内（東広島市）

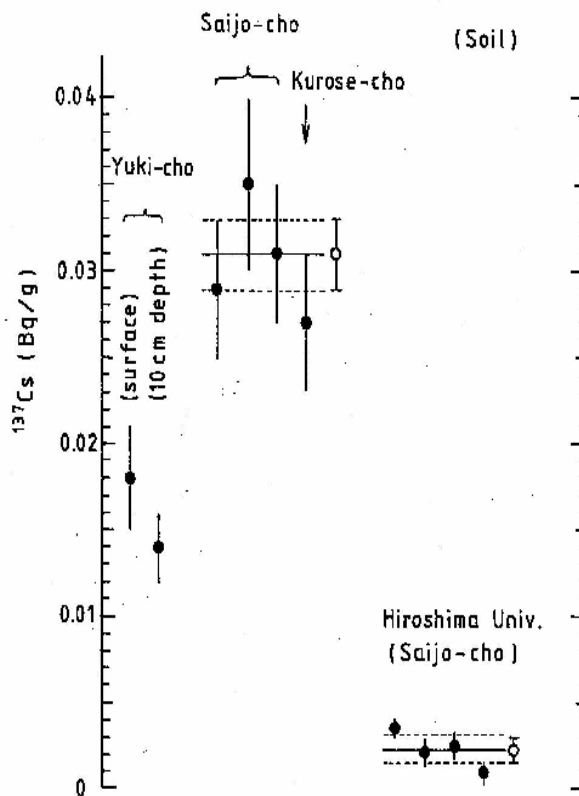


図6に示すように背負子1の上側(荷物側)において、背中側より約2倍高い結果が得られた。しかしながら、その後、この背負子が納屋の軒先に長年掛けられていたために核実験フォールアウトが付着したことが考えられる。このため、背負子1の上側が原爆の¹³⁷Csが付着したためとは結論づけられない。また、土壌試料からも湯来町より東広島市の方が高くなっており、これは核実験フォールアウトの降下の地域差と考えられる。なお、広島大学工学部キャンパス内の¹³⁷Csはチェルノブイリ原

子炉事故によるものである。従って、原爆フォールアウトのみを見出すには核実験フォールアウトの影響を受けないように保存された試料でなければ困難であるといえる。

3. 広島大学理学部岩石学教室の調査試料

原爆線量の見直しが1980年頃から日米で開始された。その結果は1986年にDS86線量システム¹⁸⁾としてまとめられた。我々は1985年頃から原爆中性子による残留放射能の測定を行っていた。その間、1987年に、広島大学理学部岩石学教室に被爆試料が保管されていることを知った。これらの試料は倉庫のなかに14箱、別の部屋に3箱の合計17箱あった。図9に試料の一部を示す。

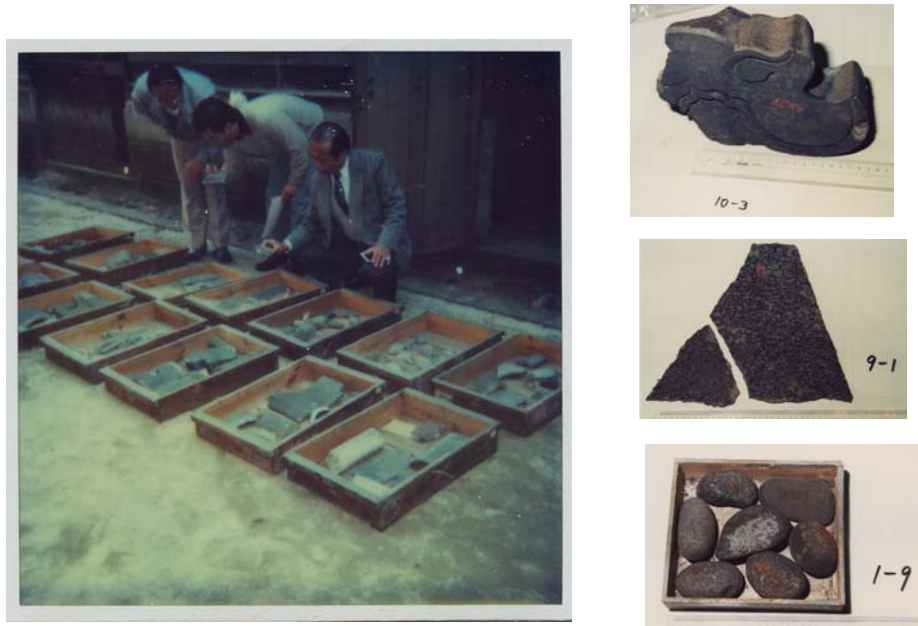


図9 理学部岩石学教室の原爆調査試料

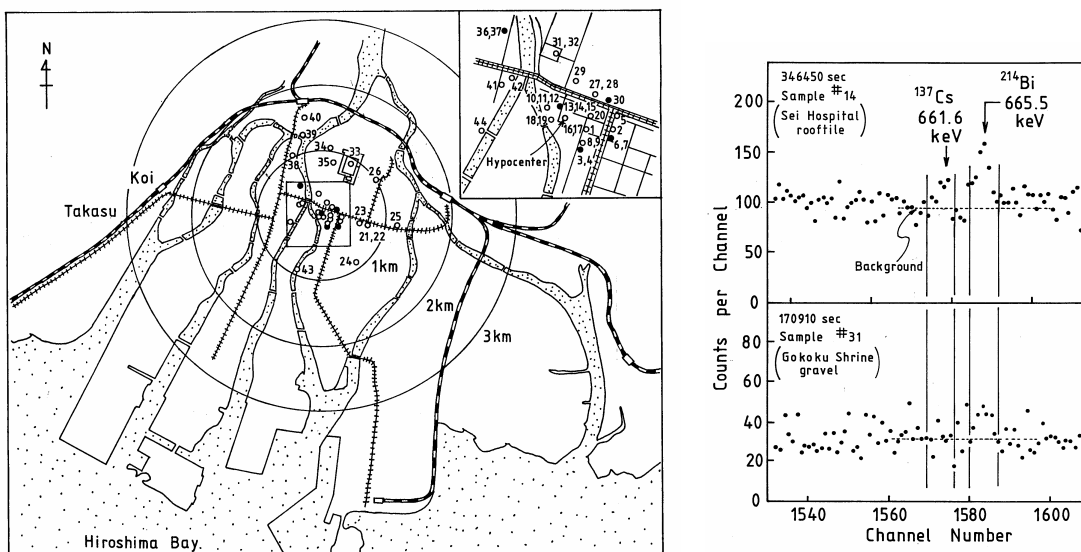


図10 理学部岩石学教室の被爆試料とガンマ線スペクトルの例¹⁴⁾

これらの試料採取を行った秀氏はフィールドノートと地図を保管されていた。フィールドノートから全サンプル 115 のうち、40-50 個の採取場所を確認できた。これらの試料は原爆の熱線による岩石学的調査の目的のために集められたので、爆心付近の試料が多く、己斐、高須付近の試料は含まれていなかったが、現在では存在していない爆心付近にあった広島郵便局、清病院、島病院などの建物の試料が数多く含まれていた。我々はこれらの試料についてまず、非破壊のまま、試料表面に付着しているフォールアウト成分 ^{137}Cs の測定を行い¹⁴⁾、続いて原爆中性子誘導放射能 ^{152}Eu の測定を行った¹⁵⁾。試料の採取位置と ^{137}Cs の 662keV 付近のガンマ線スペクトルの例を図 10 に示す。 ^{137}Cs が検出されたのは爆心付近の 5 サンプルのみであった。

4. 理化学研究所の土壌試料

我々は己斐、高須付近の被爆試料を探る中で、仁科氏により集められた土壌試料を岡野真治氏（元理研）が保管されていることを知った。これらの試料は 1992 年に広島市に返還された。試料の写真を図 11 に示し、試料の採取位置と、ガンマ線スペクトルの例を図 12 に示す。我々は低バックグラウンドガンマ線スペクトロメータを使用して ^{137}Cs の測定を行い、爆心から 5km の範囲内のフォールアウトの分布を調べた。そして、宇田雨域および増田雨域との比較を行い、旧広島市内の降雨域は増田雨域により近いと推定されることを示すとともに、フォールアウトによる放射線量の推定¹⁵⁾を行った。また、降雨地域との比較を図 13 に示す。



図 11 理化学研究所 仁科芳雄氏らにより集められた土壌試料

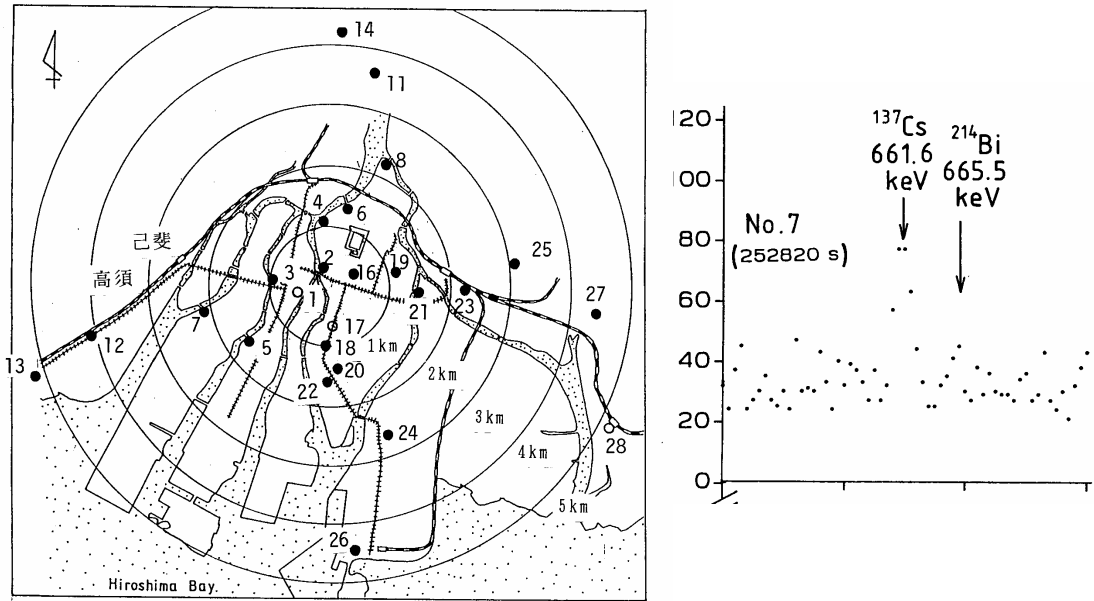


図 12 仁科芳雄氏らにより集められた土壌試料（白丸は現存しない試料）

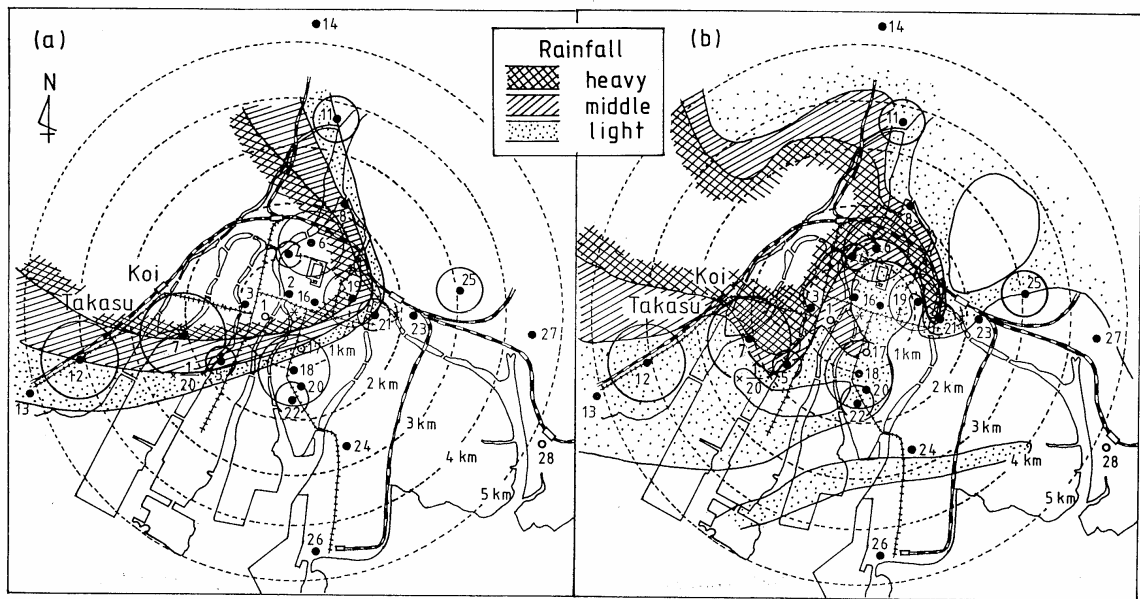


図 13 広島市内における ^{137}Cs の分布と宇田雨域（左）および増田雨域（右）との比較

しかしながら、仁科試料においても、もっともフォールアウトの激しかった、己斐、高須付近のサンプルは無かった。最も近いのは己斐橋付近（図 12 の No. 7）であったので、そこでの測定をもとに己斐、高須付近でのフォールアウトを推定した。

5. 広島市原爆資料館の「黒い雨」壁面

現在、原爆資料館（平和記念資料館）には黒い雨の痕跡の残る壁が2つ所蔵されている。いずれも広島市西区高須の八島秋次郎氏から寄贈されたものである。原爆による爆風で八島氏宅の屋根がずれ、屋根と洋間の内側の壁の間に隙間ができて、そこから黒い雨が降り込んで壁に跡が残った。雨は粘着性が強く、跡は少し厚みがあった。その跡を雑巾で拭いたので、現在は平らになっている。昭和42年に自宅改装の際、壁の一部が切り取られて原爆資料館に寄贈された。

その後、昭和60年にNHKにより黒い雨の特集番組が製作・報道された。その際、壁の一部が切り取られた。八島氏宅を図14に示し、この壁の写真を図15に示す。

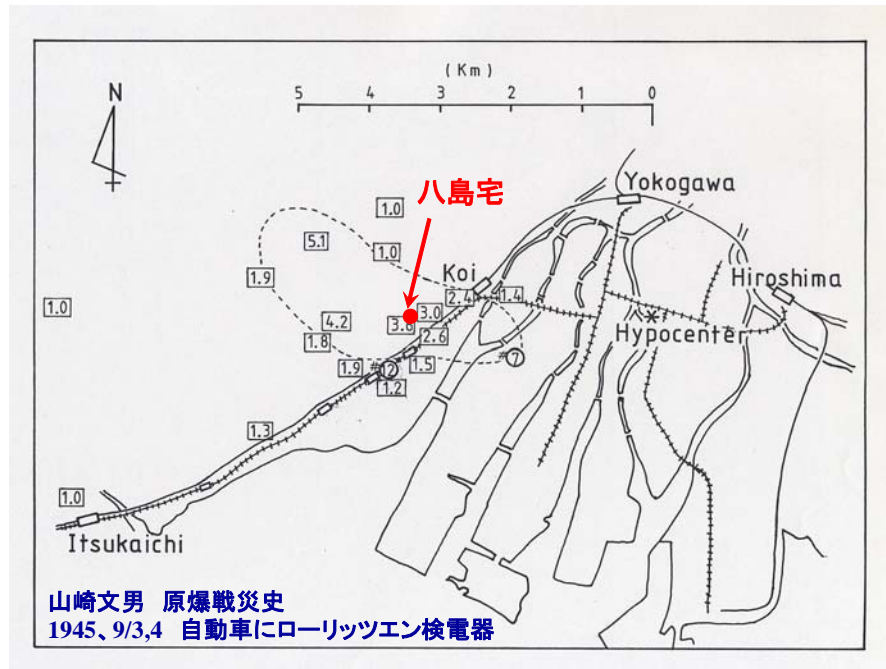


図14 黒い雨壁面の八島宅と山崎文男氏のヒロシマ西部地域における線量測定

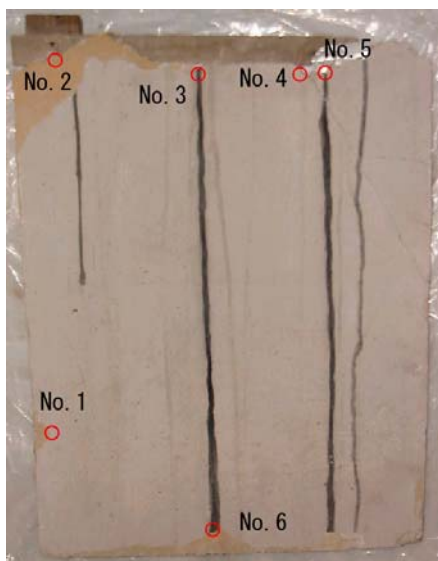


図15 昭和60年に切り取られた壁面

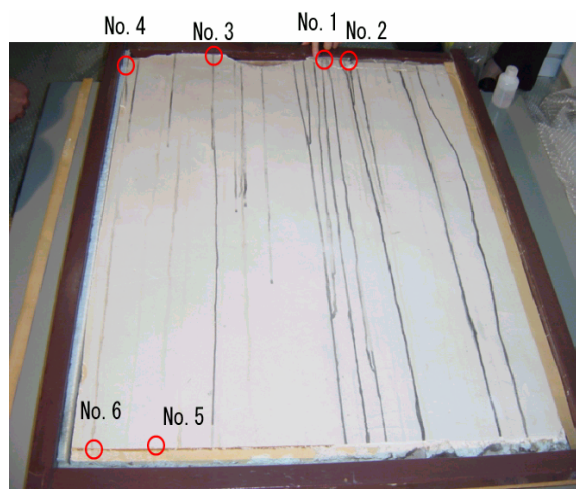


図16 昭和42年に切り取られた壁面

そして、イメージングプレートを用いてオートラジオグラフィを行った結果、黒い雨に原因する放射線像が検出された¹⁶⁾。この壁は平成12年5月に原爆資料館に寄贈された。我々はこの壁について1) 高須地区の黒い雨の痕跡を残していることから、己斐・高須地区における¹³⁷Csの降下量を推定できること、2) 広島原爆に由来する濃縮ウランが検出できる可能性があることの2点を研究目的として調査を行った。広島原爆は濃縮したウラン235(U-235)を使用した唯一の爆弾であった。使われたウランは約51kgであり、そのうち核分裂を起こしたのは1kg程度で残り約50kgは爆弾のケース、核分裂片とともにガス化し、原子雲に含まれて飛散したと考えられている。黒い雨に原爆由来のウランが含まれていれば²³⁵Uと²³⁸Uの原子数比が天然比(0.00726)よりも高くなることが予想される。ウランの原子数比を測定するには誘導結合プラズマ質量分析法(ICP-MS)が最適であるので、広島黒い雨地域の土壌の分析を試みていた藤川陽子氏(京都大学原子炉実験所)と共同研究を進めた。まず、この壁の端から6個の小片を採取することの許可を得て、耳搔き一杯程度の小片(重量0.017g~0.275g)を採取した。採取位置を図16に示す。これらの試料をガンマ線検出器で測定することにより、黒い雨部分から¹³⁷Csが検出された。

広島における¹³⁷Cs測定データのまとめを表1に示す。数値は原爆直後に半減期補正をした値である。理学部岩石学教室の被爆試料のうち¹³⁷Csが測定された5サンプルから推定した爆心近くでの¹³⁷Csの降下量は 0.13×10^8 Bq/km²であった。理研土壌試料のうち、己斐に近いNo.7を除く試料から推定した¹³⁷Cs降下量は 0.15×10^8 Bq/km²であり、前者とよく一致した。次に「黒い雨」壁面から求めた¹³⁷Csの平均表面密度は 4.9×10^8 Bq/km²であった。この値は理研土壌試料のうちで、己斐に近いNo.7試料から推定した¹³⁷Csの降下量とよく一致した。

表1 広島における¹³⁷Cs測定データのまとめ

サンプル	¹³⁷ Cs 濃度		強度比
1) 爆心付近	1.3 ± 0.7 mBq/cm ²	0.13×10^8 Bq/km ²	1/37
2) 理研土壌サンプル			
・ 10 サンプル平均 (No.7を除く広島市内)	1.5 ± 0.2 mBq/cm ²	0.15×10^8 Bq/km ²	1/32
・ No.7	49.3 ± 5.2 mBq/cm ²	4.9×10^8 Bq/km ²	1
3) 「黒い雨」壁面	48.5 ± 22.5 mBq/cm ²	4.85×10^8 Bq/km ²	1
4) 核実験フォールアウト (1980年以前、北緯30-40° UNSCEAR1982)		37×10^8 Bq/km ²	7.6

¹³⁷Cs降下量の相対的比較のために己斐・高須でのフォールアウト中の¹³⁷Cs降下量を1とすると、土壌試料のうち、No.7を除く試料から推定した旧広島市内の平均値の38倍、核実験フォールアウトの1/8である結果が得られた。

次に、ICP-MS分析によるU-235/U-238同位体比は黒い雨の部分で天然比より有意に高いことがわかった。本研究の一部は2004年に開催された京都大学原子炉実験所専門研究会¹⁸⁾で報告した。

6. まとめ

1. 広島原爆のフォールアウトの影響を調べるためには核実験フォールアウトの影響を受けていない試料が必用である。
2. 広島市内で集められた被爆土壌試料（理学部、理研）からは、降雨地域は宇田雨域よりも増田雨域に合うことが示された。
3. 原爆資料館に展示されている「黒い雨壁面」からは¹³⁷Csだけでなく、濃縮²³⁵Uが検出された。

参考文献

- 1) 原子爆弾災害調査報告集、第一分冊理工学編（日本学術振興会、1953）
- 2) 「原子爆弾 広島・長崎の写真と記録」仁科記念財団（風光社、昭和48年）
- 3) 山岡静三郎、山田正明、桑田岩雄、中田、浅田常三郎、尾崎誠之助：“広島原子爆弾災害報告” 原子爆弾災害調査報告集、第一分冊理工学編（日本学術振興会、1953）pp. 1-4.
- 4) 荒勝文策：“爆発後数日間に行える広島市の放射能学的調査に関する報告” 原子爆弾災害調査報告集、第一分冊理工学編（日本学術振興会、1953）pp. 5-10.
- 5) 山崎文男：“原子爆弾爆発後、広島西方に残った放射能について” 原子爆弾災害調査報告集 第一分冊理工学編（日本学術振興会、1953）pp. 25-33. および広島原爆戦災誌、第五巻資料編（広島市、昭和46年）、p. 899.
- 6) 渡辺武男、山崎正男、小島丈児、長岡省吾、平山 健：“広島および長崎両市における原子爆弾災害物の地質学および岩石学的観察” 原子爆弾災害調査報告集、第一分冊理工学編（日本学術会議、1953）pp. 143-158.
- 7) 田賀井篤平編「石の記録ーヒロシマ・ナガサキ」（東京大学出版会、2004）
- 8) N. Pace, R. E. Smith :” Measurement of the Residual Radiation Intensity at the Hiroshima and Nagasaki Bomb Sites” Hiroshima, ABCC TR26-59, 1959
- 9) 橋詰雅他：“広島、長崎の残留放射能について” 広島医学 31 巻 4 号（1978）pp. 455-458.
- 10) 宇田道隆、菅原芳生、北勲：“気象関係の広島原子爆弾被害調査報告” 原子爆弾災害調査報告集、第一分冊理工学編（日本学術振興会、1953）pp. 98-135.
- 11) 増田善信：“広島原爆の黒い雨はどこまで降ったか” 天気、Vol. 35, No.2（1989）pp. 69-79
- 12) 静間 清、岩谷和夫、葉佐井博巳、“広島原爆フォールアウト¹³⁷Csの調査：広島市近郊から集められた木製農具等について” 広島大学工学部研究報告 39（1990）63-72.
- 13) W. C. Roesh (ed), US-Japan Joint Reassessment of Atomic Bomb Radiation Dosimetry in Hiroshima and Nagasaki, Final report. Hiroshima RERF, Vol.1 and 2 , 1987.
- 14) K. Shizuma, K. Iwatani, H. Hasai, M. Hoshi : Fallout in the Hypocenter Area of the Hiroshima Atomic Bomb, Health Phys. 57 (1989) 1013- 1016.
- 15) K. Shizuma, K. Iwatani, H. Hasai, M. Hoshi, T. Oka and M. Okano:” Cesium-137 Concentration in Soil Samples from an Early Survey of Hiroshima Atomic Bomb and Cumulative Dose Estimation from the fallout” Health Phys. 71 (1996) 340-346.
- 16) 宮原諄二：“オートラジオグラフィとラジオグラフィ” Radioisotopes, 47 (1998)143-154.
- 17) Y. Fujikawa, K. Shizuma, S. Endo and M. Fukui: “ Anomalous U-235/U-238 Ratio and Metal Elements Detected in the Black Rain from the Hiroshima A-Bomb” Health Phys. 84(2003) 155-162.
- 18) “広島・長崎原爆放射線量評価システム DS02 に関する専門研究会” KURRI-KR-114 (2005) 京都大学原子炉実験所 <http://hlweb.rri.kyoto-u.ac.jp/shibata-lab/DS02/KURRIKR114.html>